

# **建物のレジリエンスと BCPLレベル指標検討 特別調査委員会報告書**

**事業継続計画策定のための地震災害等に対する  
建物維持・回復性能評価指標の提案に向けて**

**2020年3月**

**一般社団法人 日本建築学会**  
**建物のレジリエンスとBCPLレベル指標検討特別調査委員会**

### **ご案内**

本書の著作権・出版権は（一社）日本建築学会にあります。本書より著書・論文等への引用・転載にあたっては必ず本会の許諾を得てください。

本書の無断複写は著作権法上の例外を除き禁じられています。

また、私的使用以外のいかなる電子的複製行為も一切認められておりません。

**一般社団法人 日本建築学会**

## 目 次

委員会活動の概要	2
1. 建物のレジリエンスと BCP レベル指標検討特別調査委員会における調査研究の主旨 竹脇 出 (京都大学)	3
2. レジリエンスの概念と既存の評価指標 増田幸宏 (芝浦工業大学)	10
3. BCP の概念と既存の評価指標 藤谷秀雄 (神戸大学)	28
4. レジリエンス指標と BCP レベル指標の策定 牧 紀男 (京都大学)・朝川 剛 (東京電機大学)・西本篤史 (日建設計)・ 坂本成弘 (大成建設)・奥野智久 (竹中工務店)・鳥澤一晃 (関東学院大学)・ 増田幸宏 (芝浦工業大学)・野畑有秀 (大林組)	48
5. レジリエンス向上のための構造ヘルスマonitoringシステムの活用方法 畑田朋彦 (鹿島建設)・小檜山雅之 (慶應義塾大学)・西本篤史 (日建設計)・ 森井雄史 (清水建設)	56
6. 建物レジリエンス指標の付与例 西本篤史 (日建設計)・坂本成弘 (大成建設)・野畑有秀 (大林組)	70
7. BCP 活動の普及に向けて 堀江 啓 (MS&AD インターリスク総研)・竹脇 出 (京都大学)・ 林 孝幸 (東京海上日動リスクコンサルティング)・鳥澤一晃 (関東学院大学)	81
8. 2019 年度大会パネルディスカッションの記録 森井雄史 (清水建設)・小檜山雅之 (慶應義塾大学)	95
9. レジリエンスや BCP に関する既往の取り組みの紹介	
9.1 鹿島建設の取り組みの紹介 鳥澤一晃 (関東学院大学)	108
9.2 大成建設の取り組みの紹介 坂本成弘 (大成建設)	111
9.3 大林組の取り組みの紹介 野畑有秀 (大林組)	119
9.4 竹中工務店の取り組みの紹介 奥野智久 (竹中工務店)	128
9.5 清水建設の取り組みの紹介 森井雄史 (清水建設)	131
9.6 日建設計の取り組みの紹介 西本篤史 (日建設計)	134
9.7 災害復旧サービス・ベルフォアジャパンの取り組みの紹介 林 孝幸 (東京海上日動リスクコンサルティング)	140

## 委員会活動の概要

建物の耐震安全性だけでなく、企業の事業継続計画（BCP）や建物の機能維持・回復（レジリエンス）性能に対する社会の認識や関心が高まりつつある。「建物のレジリエンスとBCP レベル指標検討特別調査委員会」（2017年4月～2020年3月）は、地震災害時の建物の機能維持・回復を目指して、建物のレジリエンス能力とBCP レベルを定量的に評価する指標について検討することを目的に設置され、2年目から以下の三つのワーキンググループに分かれて活動を行ってきた。

### (1) BCP レベル指標・レジリエンス指標検討ワーキンググループ

- ① 建物の構造安全性だけでなく、機能維持と関連する多くの要因とBCP レベルとの関係を明らかにする。
- ② 建物、設備、機器、倉庫などで地震動レベルなどの基準の不統一が問題となっているため、その改善について検討する。
- ③ わかりやすいシナリオ（チェック、対応項目）を検討する。

### (2) 構造ヘルスマonitoringシステムの活用方法検討ワーキンググループ

- ① ビル建物におけるモニタリングシステムの稼働状況について調査を行う。
- ② コミュニケーションなど運用の評価方法も検討する。
- ③ システムによる避難やダウンタイムの短縮等の成功例を提示する。

### (3) BCP 活動普及検討ワーキンググループ

- ① 融資や保険制度など、すでにインセンティブとなる制度が存在しており、より普及を進めるための提案を行う。
- ② 普及・啓発のための冊子やパンフレットなどを作成する。

2018年と2019年には、地震、台風、豪雨等の自然災害による建築物の被害が多発し、構造体だけでなく、非構造体や設備（電気、水道）などの被害による建物機能の停止が大きな社会問題となった。この特別調査委員会による成果をさらに発展させ、種々の建物や多くの被害シナリオに対応可能なレジリエンス性能指標とBCP レベル指標の策定が行われることが期待される。

委員長：竹脇 出

幹 事：小檜山雅之

委 員：朝川 剛，奥野智久，坂本成弘，鳥澤一晃，西本篤史，野畑有秀，畑田朋彦，  
林 孝幸，藤谷秀雄，堀江 啓，牧 紀男，増田幸宏，森井雄史

# 1. 建物のレジリエンスと BCP レベル指標検討特別調査委員会における調査研究の主旨

## 1.1 序

企業・組織の事業継続計画（BCP）・事業継続マネジメント（BCM）や建物・組織の機能維持・回復（レジリエンス）性能に対する社会の認識や関心が高まりつつある<sup>1-9)</sup>。レジリエンスは、幅広い概念であり、ロバスト性や冗長性とも密接に関係している<sup>10-12)</sup>。最近では、Performance-Based Design (PBD)から、時間軸を考慮した Resilience-Based Design (RBD)へと向かう流れも出ている。また、Resilience-Based Performance という用語もあり、広い意味では RBD は PBD の延長線上にあるともいえる。

BCPは文字通り、ビジネス（企業活動／さらに広範な意味では社会活動）に関係する概念であるのに対して、レジリエンスは組織（企業や社会的組織）全体を対象とする場合もあれば、建物単体を対象とする場合もある。本調査研究では、主としてビル建物を対象とする。BCPは「災害時にも企業・社会活動を継続する」ために必要な計画を立案することを目的とし、企業・社会活動を継続するために必要となるのは、建物・組織のレジリエンスを高めることである。

本報告書は、建物のレジリエンスと BCP レベル指標検討特別調査委員会の活動結果を取り纏めたものである。本報告書では、以下の内容について取り纏めを行っている。

- ① レジリエンスの概念と既存の評価指標
- ② BCP の概念と既存の評価指標
- ③ レジリエンス指標と BCP レベル指標の策定
- ④ レジリエンス向上のための構造ヘルスマニタリングシステムの活用方法
- ⑤ BCP レベル指標の付与例
- ⑥ BCP 活動の普及に向けて
- ⑦ 2019 年度大会パネルディスカッションの記録
- ⑧ レジリエンスや BCP に関する既往の取り組みの紹介

## 1.2 Bruneau のレジリエンストライアングル（文献<sup>2)</sup>を参照）

建築の設計・生産に限らず、最近では社会の様々な場面でレジリエンスという言葉が頻繁に使われている。共通の概念としては、ある対象（オブジェクト）が存在し、それに何らかの外乱要因が作用した場合のその対象の性能低下からの復旧力に関するものと定義される。レジリエンスの評価尺度を最初に定量化した研究としては、Bruneau 博士によるレジリエンストライアングルがある（図 1）<sup>6,7)</sup>。実は、Bruneau 博士は日本と浅からぬ関係がある。彼は 1995 年 1 月に兵庫県南部地震が発生した際に京大防災研の中島正愛博士のもとに長期滞在していた。当時建築学会近畿支部を中心に被害調査を実施し報告書に取り纏めたが、都市における甚大な被害から考えて、これを英文化して世界に発信することの重要性が議論された。中島正愛博士を中心に翻訳グループが結成され、本執筆者もその一員に加わった。Bruneau 博士もその時に強力にサポートされた経緯がある。

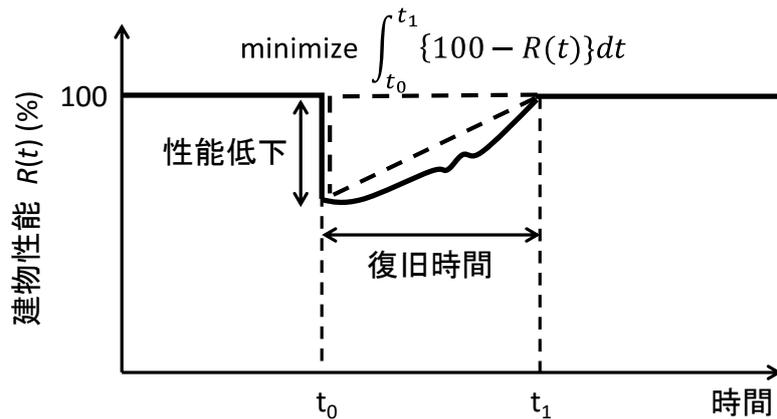


図 1. Bruneau のレジリエンストライアングル

Bruneau と Reinhorn ら<sup>6-8)</sup>は、構造物やインフラのレジリエンスについて言及し、レジリエントな構造物やシステムとは、(1) 崩壊確率が小さなもの、(2) 災害発生時の人命損失やシステムの損傷および負の経済的・社会的結果に関してそれらの影響が可能な限り低く抑えられていること、(3) 損傷や被害を受けた後に正常な状態まで回復するのに短い時間で済むもの、と定義している。図 1 は、構造物やシステムが地震動の作用を受けた際に呈する性能・機能の時間変動を表しており、(2)や(3)の要件は、100%の性能からの低減量 (100-性能) の時間積分 (Bruneau のレジリエンストライアングル) を可能な限り減少させることがよりレジリエントな構造物やシステムを設計することに対応すると考えられる。

Bruneau と Reinhorn<sup>6)</sup>は、レジリエンスを表現する指標として、

ロバストネス (特性ばらつきに対して性能低下を招かずに外力に耐えることのできる能力)

リダンダンシー (代替能力)、

リソースフルネス (豊富な利用資源)、

ラピディティー (即時対応能力)

の 4 つを挙げている。

このような高いレジリエンス性能を有する建物・組織を構築・確保するための方策としては、例えば次のようなものが挙げられる。

#### <構造分野>

1. 地震動などの外乱に対する構造物の応答を抑制する手法の開発 (制振, 免震)
2. 安全率の見直し: Performance-based design, 最悪な状況の設定に基づく安全率の見直し (地震動特性, 建物特性), 多重安全性の定量化, ロバスト性・冗長性の定量化
3. 地震経験後の復旧を容易にする設計法の開発: 損傷制御設計など
4. 構造ヘルスマモニタリングの建物への普及

### <環境・設備分野>

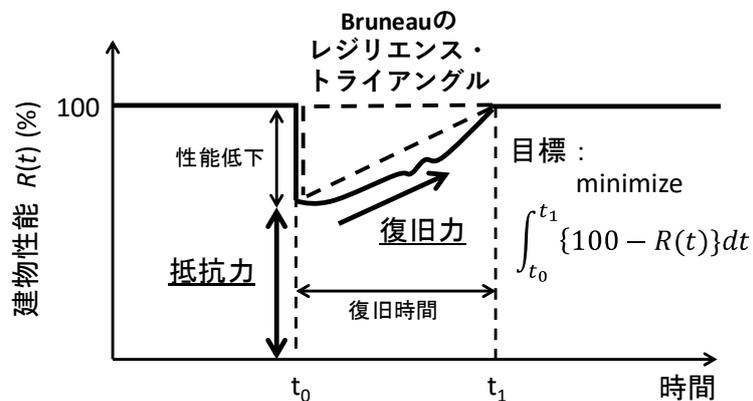
1. 災害用の電源・エネルギーの確保
2. 災害時の設備改修の方策の準備
3. 災害時のヘルスケア
4. スマートシティ計画

### <計画分野>

1. 災害時の避難訓練
2. 建物内の部屋の配置計画
3. コミュニティにおける建物配置計画
4. 災害対応の社員の居住地計画
5. 保険制度の検討と導入

## 1.3 建物のレジリエンス性能と BCP レベル指標

図 1 の Bruneau のレジリエンス・トライアングルの図を用いて、建物のレジリエンス性能や BCP レベル指標等の概念の一つの定義を図 2 に示す。抵抗力と復旧力はレジリエンス性能を構成する要素であり、抵抗力と復旧力の両者を組み合わせたものがレジリエンス性能の全体といえる。また、レジリエンス指標とはレジリエンス性能を表す指標であり、BCP レベル指標とはレジリエンス性能の全体のレベルを表す指標である。



抵抗力 : レジリエンス性能の一側面

復旧力 : レジリエンス性能の一側面

抵抗力+復旧力 : レジリエンス性能の全体

レジリエンス指標 : レジリエンス性能を表す指標

BCPレベル指標 : レジリエンス性能の全体のレベルを表す指標

図 2. 建物のレジリエンス性能や BCP レベル指標等の概念の一つの定義

## 1.4 国土強靱化基本計画の策定と建物のレジリエンス・BCP

建築構造物やインフラのレジリエンスや BCP, BCM に大きな関心が向けられるようになったのは、2011 年に発生した東日本大震災であると思われる。この大震災に対して政府は国土強靱化基本計画を策定し、大規模災害に対して国を挙げて対応することの重要性を指摘している。その中で、表 1 に示すのは、「起きてはならない最悪の事象」を列挙したものの一例である<sup>13)</sup>。基本目標の I~III は「抵抗力」に関するものであり、IV は「復旧力」に関するものである。このような最悪の事象<sup>1-3)</sup>を具体的に示すことにより、それらに対してどのような対策が必要かを具体的に想像させることを目指しているものと思われる。表 1 の中でも最初に挙げられているのは、住宅・建物・交通施設等の倒壊を防ぐ事項である。本特別調査委員会では、主としてビル建物を対象としているため、それに対するレジリエンスや BCP の評価指標を策定することに焦点を当てている。

表 1. 起きてはならない最悪の事象<sup>13)</sup>

基本目標	事前に備えるべき目標		起きてはならない最悪の事象
I 人名の保護が最大限図られる II 国家及び社会の重要な機能が致命的な障害を受けずに保護される III 国民の財産及び公共施設に係る被害の最小化 IV 迅速な復旧復興	1 直接死を最大限防ぐ	1-1	住宅・建物・交通施設等の複合的・大規模倒壊や不特定多数が集まる施設の倒壊による多数の死傷者の発生
		1-3	広域にわたる大規模津波等による多数の死傷者の発生
		1-4	突発的又は広域かつ長期的な市街地等の浸水による多数の死傷者の発生
		1-5	大規模な火山噴火・土砂災害（深層崩壊）等による多数の死傷者の発生
	2 救助・救急、医療活動等が迅速に行われるとともに被災者等の健康避難生活環境を確実に確保する	2-1	被災地での食料・飲料水・電力・燃料等、生命に関わる物資・エネルギー供給の長期停止
		2-3	自衛隊、警察、消防、海保等の被災等による救助・救急活動等の絶対的不足
		2-7	劣悪な避難生活環境、被災者の健康管理の不全による、多数の死者・病症者の発生
	4 必要不可欠な情報通信機能・情報サービスは確保する	4-3	災害時に活用する情報サービスが機能停止し、情報の収集・伝達ができず、避難行動や救助・支援が遅れる事態
	5 経済活動を機能不全に陥らせない	5-1	サプライチェーンの寸断等による企業の生産力低下による国際競争力の低下
		5-5	太平洋ベルト地帯の幹線が分断する等、基幹的陸海上交通ネットワークの機能停止による物流・人流への甚大な影響
5-8		食料等の安定供給の停滞	
6 ライフライン、燃料供給関連施設、交通ネットワーク等の被害を最小限に留めるとともに、早期に復旧させる	6-1	電力供給ネットワーク（発電所、送配電設備）や都市ガス供給、石油・LP ガスサプライチェーン等の長期間にわたる機能の停止	
	6-2	上水道等の長期間にわたる供給停止	
...	...		...

### 1.5 これまでの構造分野における研究・設計とレジリエンスを考慮した研究・設計（文献<sup>1)</sup>より抜粋）

ここでは一例として構造分野を取り上げる。建築構造分野においては、これまで図3のように、主として建設時の建物の構造安全性についての議論を行っていた。これまでも、大地震経験後の建物復旧などについて個別の研究や議論は行われてきているが、BCPの観点などに基づき体系的な議論が十分になされてきたとは言い難い。

20世紀後半における構造物の設計パラダイムは、主として経験に基づき考えられ得る大きなレベルの地震動入力に対して、構造物の塑性変形能力に期待するものであったと言っても過言ではない。1981年に導入された新耐震設計法はそのような設計思想に基づいている。しかしながら、低炭素都市・建築の実現に向けた環境負荷低減への貢献、サステナブルデザインへの取り組み、BCPの必要性の認識、東日本大震災以降のエネルギー需給が逼迫する中での対応などの社会情勢は、大幅なパラダイムシフトを迫っている。すなわち、人命の確保のみに重点が置かれていた設計目標から、人命だけでなく、建物の継続使用を可能とし、できる限り建物内外にいる人々が地震時に感じる恐怖を解消することまでを求めた設計法へと流れは大きく変わってきている。

このような観点から、大振幅地震動に対して構造物の継続使用を前提として損傷を制御する設計法の開発や、制振装置の利用により柱・梁などの構造物本体の応答を弾性範囲にとどめる設計法の開発がなされ、注目すべき成果をあげつつある。

一方で、このような概念を有効なものとするには、地震経験後の構造物の状態を、構造ヘルスマニタリング技術等を利用して早期かつ的確に把握し、万が一損傷を受けた場合にも当初の状態に回復させる総合的な評価方法を確立することが期待されている。

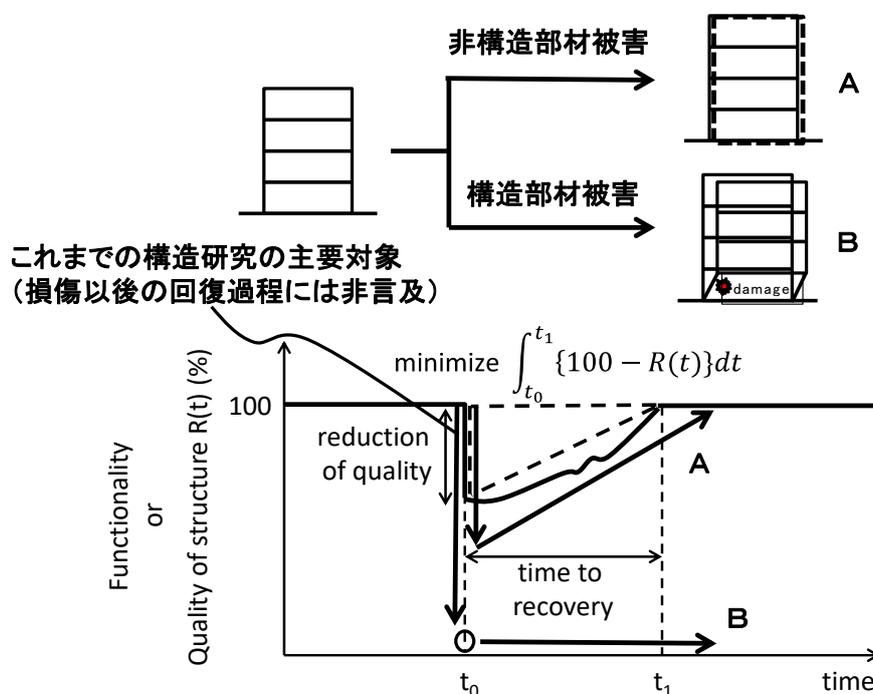


図3. 構造分野におけるこれまでの研究・設計とレジリエンスを考慮した研究・設計

## 1.6 想定を超える外力への対応と建物のレジリエンスをとりまく諸要因（文献<sup>1)</sup>を参照）

地震動の特性は現在の研究をもってしても尚詳細に予測可能なレベルにあるかどうかは疑問であるため、想定を超えるような外乱に対しても急激な性能の低下を抑制するようなロバスト性や冗長性に優れた構造システムを設計することが望まれている。図4は、性能低下の観点から見た想定を超える外力に対するロバストな設計とロバストでない設計の相違を示す。免震や制振はそれに対応するための有力な手段と言える。

最後に、建物のレジリエンスをとりまく諸要因を図5に示す<sup>12)</sup>。キーワードは、最悪シナリオの想定（逞しい想像力）、構造ヘルスマonitoringを用いた早期損傷検知システムの導入、地震に対する備え（Preparedness）、想定外の外乱にもロバストで冗長性に優れた構造システムの開発等である。

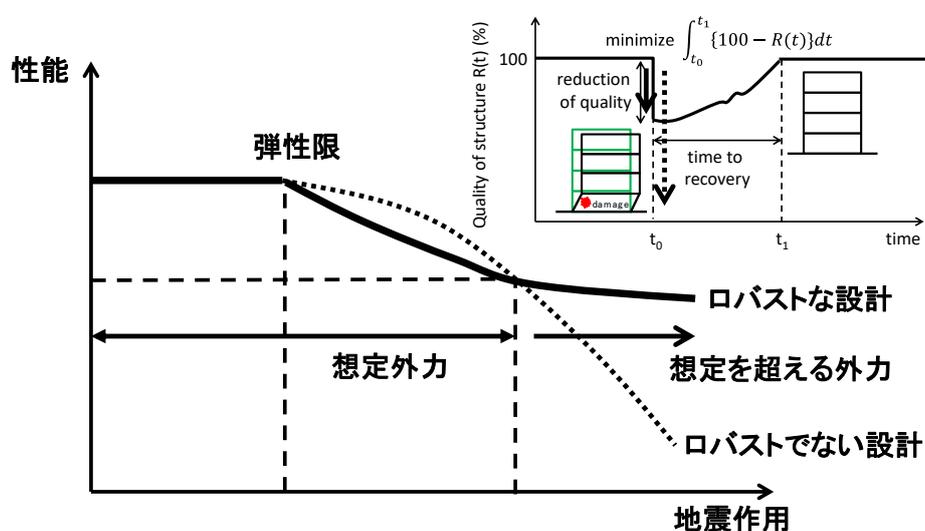


図4. 性能低下の観点から見た想定を超える外力に対するロバストな設計とロバストでない設計

### 参考文献

- 1) 2016年度日本建築学会大会PD資料「レジリエントで高い安全性を確保する構造設計とは」.
- 2) 竹脇 出, 建築におけるレジリエンス, *Structure* (JSCA機関誌), No. 147, pp46-47, 2018. 7.
- 3) I.Takewaki, A.Moustafa and K.Fujita, *Improving the Earthquake Resilience of Buildings: The worst case approach*, Springer (London), July, 2012.
- 4) 竹脇 出, レジリエンスという建築物の新しい耐震評価尺度の向上を目指して, *建築雑誌*, 2014年10月号, Vol. 129, No. 1663, p13.
- 5) 丸山 宏, Roberto Legaspi, 南 和宏, レジリエンスのタクソノミと共通戦略, *オペレーションズ・リサーチ*, 2014年8月号, 446-452.
- 6) M. Bruneau and A. Reinhorn, Overview of the resilience concept, *Proc. of the 8th US National Conference on Earthquake Engineering* (米国地震工学会議), 2006.
- 7) M. Bruneau et al., A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities, *Earthquake Spectra*, 19(4), pp.733-752, 2003.
- 8) G. Cimellaro, A. Reinhorn and M. Bruneau. Framework for analytical quantification of disaster resilience. *Engineering Structures*, 32(11), pp.3639-3649, 2010.

- 9) S. Tesfamariam and K. Goda (eds.). *Handbook of seismic risk analysis and management of civil infrastructure systems*, A volume in Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2013.
- 10) 2011 年度日本建築学会技術部門設計競技入選作品「ロバスト性・冗長性を向上させた建物の構造デザイン」, 建築雑誌 2011 年, 11 月号, pp.73-79.
- 11) 竹脇 出 (編集, 1, 2 章執筆) 「建築構造設計における冗長性とロバスト性」, 応用力学シリーズ 12, 日本建築学会, 2013.
- 12) 竹脇 出『地震に対してロバストな建築構造物の設計法の構築』 (理工系), 日本学術振興会「科研費 NEWS」 (2015 年度 VOL. 1), 2015.
- 13) 国土強靱化基本計画 (内閣府) 平成 30 年 12 月 14 日 (改訂版)  
[https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo\\_kyoujinka/pdf/kk-honbun-h301214.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/kk-honbun-h301214.pdf)

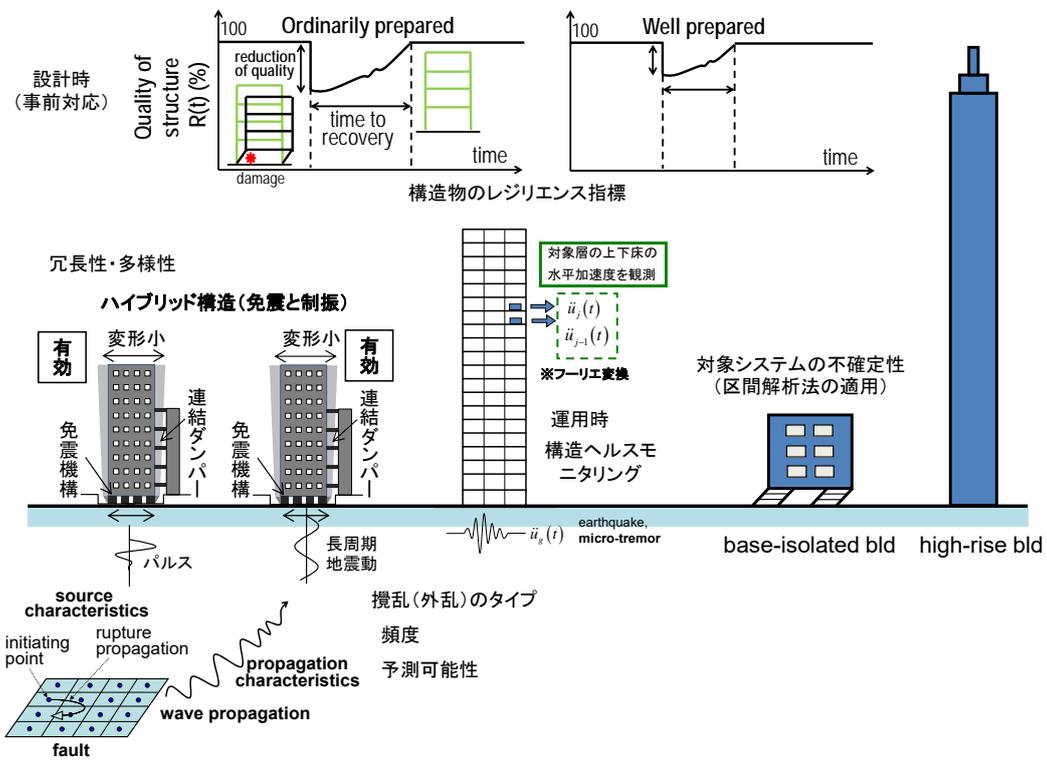


図 5. 建物のレジリエンスをとりまく諸要因<sup>12)</sup>

## 2. レジリエンスの概念と既存の評価指標

東日本大震災をはじめとする昨今の災害から学んだ教訓は、災害時に命を守るための方策を更に徹底することの必要性に加えて、暮らしと働く場の双方を守り、都市の社会的・経済的機能を守ることの重要性である<sup>1)</sup>。拠点となる建物の機能が維持されることで、はじめて事業や生活の継続が可能となる。例えば災害対応拠点となる行政庁舎、病院、ライフライン事業者、物流事業者、情報化社会において重要なサーバやデータを扱うデータセンター、金融機関等の機能が維持されることが被災後に大きな力となる。生活や業務の重要な拠点として位置付けられる建物については、その機能を確実に維持することが求められる。建物の機能を確実に維持するための大きな指針となる考え方がレジリエンスである。本稿ではレジリエンスという言葉の概念や様々な使われ方の紹介と、特別調査委員会で提案する性能・指標の必要性に繋がる内容を中心に報告を行う。

### 2.1 レジリエンスという言葉の概念や使われ方の紹介

個々の都市の取り組みに加え、レジリエンス構築に向けた国との緊密な協力が必要である。多く国のレジリエンスに関する政策の枠組みは、地方政府の責任を強調し、行政のあらゆるレベルの垣根を越えた協力と、ベストプラクティスの共有を促進している（表2）。例えば、日本のレジリエンスに関する国内政策の枠組みは、地域計画と国からの適切な支援を定義し、政府全体での情報共有をすることにより、レジリエンス構築における地域行政の役割を強化することを目的とし、東日本大震災の後に発表された。国レベルからの十分な財政、規制、そして制度面での支援が、都市のレジリエンスを更に発達させるために不可欠である。

#### 2.1.1 「VUCA」の時代

現代は「VUCA」の時代と言われる。VUCAは、Volatility（変動性）、Uncertainty（不確実性）、Complexity（複雑性）、Ambiguity（曖昧性）の頭文字をとった言葉であり、先を見通すことが困難な現代社会を表現している。災害（自然災害、人為的災害）、気候変動、政治・経済や国際情勢の状況、社会環境の変化（人口減少、少子高齢化等）、技術革新（AIやIoT等の急速な進展）等々、不安定で変化の激しい多様な要因が複雑に絡み合い、意思決定者がコントロールしきれない様々な不確実性が存在する。個人にとっても組織にとっても、難局を乗り越えて生き残り成長を続けていくために、また社会的な役割・責任を果たし続けるためには、生活や事業の継続を脅かす危機事象と真剣に向き合うことが不可欠である。

著者は、レジリエンスとは「厳しい環境変化を乗り越えるしなやかな力」であり、持続可能性（Sustainability：サステナビリティ）の重要な柱（必要条件）となるものであると考えている。様々な環境条件の変化や不測の事態に直面した際にどのように切り抜けるのか、外乱や変動要素、リスクにどう対処するのか、対応力をどのように高めていくのか、時代の大きなうねりをどのように乗り越えていくのか、異質なものとどうつきあっていくのか、様々なバランスをどのように保つのか。このような観点から現代社会において「レジリエンス」の視点が重要になっている。

#### 2.1.2 レジリエンスに関する動向

特に東日本大震災以後、日本でもレジリエンスという言葉が学術、行政、産業・ビジネス等における重要なキーワードになっている。「強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災等に資する国土強靱化基本法（平成25年12月11日法律第95号）」が制定された。内閣官房国土強靱化推進室はオールジャパンでの国土強靱化（ナショナル・レジリエンス）の取り組みを進めている。日本建築学会の「巨大災害の軽減と回復力の強いまちづくり特別調査委員会」からは、「レジリエントな日本を目指して- 建築学会の挑戦-」と題する報告書が2013年度末にまとめられた<sup>2)</sup>。国際的な動向で重要なものを紹介するとすれば、阪神・淡路大震災から10年目の年にあたる2005年に神戸で開催されたWorld Conference on Disaster Reduction（国連防災世界会議）にて採択された「Hyogo Framework for Action 2005-2015（兵庫行動枠組み）」において、「Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters」が謳われた。世界経済フォーラムが主催するダボス会議の2013年のテーマが「Resilient Dynamism」であったことや、市場において投資家が「レジリエント銘柄」として「危機に直面し経営環境が変わっても、柔軟に対応して回復する力がある企業」に注目しているといった話題も興味深い<sup>3)4)</sup>。政府主導の研究開発プログラム（戦略的イノベーション創造プログラム（SIP））では「レジリエントな防災・減災機能の強化」が、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）・社会技術研究開発センター（RISTEX）では「コミュニティがつなぐ安全・安心な都市・地域の創造」領域の研究として災害からの立ち直り過程も含めた「レジリエンスモデル」の導入と「コミュニティレジリエンス」が議論されるなど、レジリエンスは政策、科学技術、産業・ビジネスの各分野における重要な潮流になっている。

### 2.1.3 様々なレジリエンスのかたち

粘り強さとしなやかさを意味するこのレジリエンスという言葉はこれまでも様々な学術分野で使用されている。例えば理工学では材料科学の分野で、応力に対する材料の弾性や耐性に関する性能としてレジリエンスが扱われている。心理学におけるレジリエンスでは、辛い出来事に深く傷ついたり、落ち込んだとしても、自分らしさを取り戻していく過程、元気な姿を取り戻す立ち直りの様子を表す。こうしたレジリエンスの概念はへこんだ弾力あるボールが徐々に元通りになっていく様子が例えとして用いられる（図1）。



図1. 弾力あるボールが徐々に元通りになっていく様子<sup>5)</sup>

生態学はもともとレジリエンスの概念が学術領域で議論されるようになった歴史上重要な分野であり、Holling<sup>6)</sup>の研究は多くの論文でも引用が行われている。例えば外乱やダメージを受けた生態系の変化や生態系ネットワークがどのようにして再構築されていくのかということが議論されている。香坂、半藤、窪田ら<sup>7)</sup>は、ストックホルム大学レジリアンス・センターの「(回復できなくなるような)境界線を越えない範囲で、システムが継続的に変化して適応していく能力」という定義を紹介した上で、「外からの変動や変化に対して、システムが反応し、衝撃を吸収しながら、自らの機能、構造を維持する能力」としてレジリエンスを説明している。ビー玉の入ったお椀の例を挙げ、「衝撃があったときに、ビー玉が飛び出してしまうよう、揺れをある範囲の中に収めていく仕組みがレジリアンス」という紹介

を行っている<sup>7)</sup>。レジリエンスを考える上では許容限界の議論が必要になる。システムの許容限界を動的に説明するモデルとして重要な要素を含んでいると考えられる。

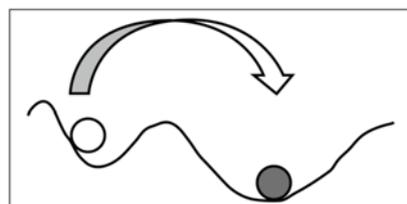


図2. 許容量以上の影響を受けた場合の安定点の変位<sup>5)</sup>

また香坂<sup>7)</sup>は、「なぜレジリエンスという概念が重要となるかという議論は、科学的な将来予測に限界や不確実性があることの裏返しである。」との指摘を行っている。

将来予測の難しい状況においては、危機事象発生前の準備・対策に加えて、危機事象発生後の対応のそれぞれが重要となる。後者は想定内外を問わず発生した重大な危機に対処するためのものであり、クライシスマネジメント (Crisis Management) 等に対応する。実際に災害や問題が発生した際に、進行している事態を正確に把握・判断、迅速に対処し、被害の最小化と事態の適切な收拾をはかることであり、こうした動的な考え方があって初めて重大な事態や不測の事態への対応が可能となる。リスクは不確実性の扱い、危機は実際に発現した事象の扱いである。リスクと危機という言葉を使い分け、事後の対応も念頭に事前の準備を進める必要がある。

ビジネスに関しては、マネジメントに関する規格 ISO 22300 (JIS Q 22300) において、「Adaptive capacity of an organization in a complex and changing environment (複雑かつ変化する環境下での組織の適応できる能力)」と定義し、「レジリエンスは、中断・阻害を引き起こすリスクを運用管理する組織の力である(Resilience is the ability of an organization to manage disruptive related risk)」としている<sup>8)</sup>。上記 ISO22300 の定義では「adaptive」という言葉が使われていることはレジリエンスへの理解を深める上で興味深い。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) はレジリエンスを「The ability of a social or ecological system to absorb disturbances (社会的、生態学的システムが擾乱を吸収することのできる能力)」と定義している<sup>9)</sup>。

国連のレポート<sup>10)</sup>では、レジリエンスを以下のように定義している。「The ability of a system, community or society exposed to hazards to resist, absorb, accommodate to and recover from the effects of a hazard in a timely and efficient manner, including through the preservation and restoration of its essential basic structures and functions. (ハザードにさらされたシステム及び地域社会の抵抗力・吸収力・適応力であり、かつ、時宜を得た能率的なやり方でしかも本質的・基本的な構造と機能の維持・回復を通してハザードの影響から回復する能力<sup>注1)</sup>)

(Comment: Resilience means the ability to “resile from” or “spring back from” a shock. The resilience of a community in respect to potential hazard events is determined by the degree to which the community has the necessary resources and is capable of organizing itself both prior to and during times of need.)」

丸山らはシステムズレジリエンスの観点からレジリエンスを「さまざまな擾乱からの回復力」と定義している<sup>11)</sup>。また丸山らは回復のタイプとして、「構造的レジリエンス」、「機能

的レジリエンス」、「革新的レジリエンス」の3種類を定義している<sup>11) 12)</sup>。構造的レジリエンスは元通りの状態に戻るケース、機能的レジリエンスはシステムの機能・目的を同等以上に維持する範囲で、異なる構造に変化するケース、革新的レジリエンスは機能・目的を失ったとしても、あるレベルの同一性を維持しつつ別の新たな機能・目的を持った新たなシステムとして生まれ変わるケースとしている。

文献<sup>13)</sup>では、災害レジリエンス (Disaster resilience)、エンジニアリング・レジリエンス (Engineering resilience)、生態学レジリエンス (Ecological resilience)、社会生態学レジリエンス (Socio-ecological resilience)、進化論的レジリエンス (Evolutionary resilience)、ビルトイン・レジリエンス (Built-in resilience)、気候変動レジリエンス (Climate change resilience) として分類をしている。

その他、文献<sup>14) 15)</sup>においてはレジリエンスの概念や歴史、分類等についての興味深い様々な紹介が行われている<sup>注2)</sup>。

このように、レジリエンスが工学分野以外でも、心理学、生態学、社会学、経営学等の様々な学術分野でこれまで重要なキーワードとして扱われ、今再び重要な概念として着目されていることは示唆に富む。レジリエンスに対して何かひとつの統一的・共通的な定義をすることより、それぞれの分野においてレジリエンスが重要となっている背景や状況を理解し共有すること、そしてレジリエンスということばで表現しようとしている内容を注視することが有意義なことではないだろうか。

レジリエンスの意味合いとして、もともとの語源 (ラテン語の *resilio*) である弾力、反発力、回復力、復元力に関わる「Bounce Back (跳ね返る)」にという考え方に加えて、「Bounce Forward」という言葉も使用されている。例えば災害からの「復旧」が「Bounce Back」だとすれば、「創造的復興」は「Bounce Forward」に該当する。故障や障害が発生した際に部品の交換や修理を行うことや、従前と同じ元通りの姿に戻すことは前者であり、同じ目的に対してよりスマートで合理的なシステムや仕組みに更新することが後者に該当する。例えば都市を考えた場合、被災前の姿にそのまま戻すことは、脆弱性の課題もそのまま再現されることになってしまう。こうしたケースではそのまま元に戻すことには慎重にならないといけない。

試練は新たな成長の原動力になる。私たちの社会の歴史を振り返ってみても、オイルショックという危機を契機として省エネルギーに強い体質を獲得したことや、現在も気候変動への対応を通じてよりよい社会制度・構造への変革や、新しいビジネスや経済成長の機会を創出するための議論が行われていることも、レジリエントな社会を構築するという視点では重要な事実である。「雨降って地固まる」のことわざの通り、危機的な状況や深刻なダメージからプラスの要素を見いだしていくこと、様々な変化と上手につきあいながら、衝撃を成長のエネルギーに繋げていくことが重要である。ダーウィンの進化論的な考え方と共通するところがあるが、生存や安定を脅かす擾乱や厳しい環境変化、危機的事象と向き合わざるを得ない状況において、逆境に負けず、生き残るためのしぶとさやねばりづよさに関わる能力としてレジリエンスを捉えることが出来る。

現在行われているレジリエントな建築を実現するための様々な議論によって、結果として建築計画・構造・設備間の整合性や、設計・施工・運用・維持管理といったライフサイクルを通じた取り組みや、平常時性能と非常時性能の連携に配慮した全体の統合的なデザインを行うことに今後繋がるのであれば、まさに建築システムとして Bounce Forward な姿であると言える。

#### 2.1.4 「能力」としてのレジリエンスとシステム思考の重要性

このように様々な表現や説明が行われているレジリエンスであるが、レジリエンスがシステム等の「能力」と理解されている点は共通事項であるといえる。建築・都市分野においても、建築システム・都市システムの新しい能力としてレジリエンスの評価を行うことができれば有意義である。以上のような議論をふまえ、著者は既往の研究<sup>16)</sup>等を参考に、レジリエンスを「組織やコミュニティ、環境システム、コンピュータシステム、生態系システム、建築・都市システム等に代表される複雑なシステムが、環境の急激な変化や困難な状況に直面した際にも、難局を切り抜けて生き残り、回復することのできる能力。さらには、試練を克服することで進化・深化し、適応し、成長する能力であり、システムが新しい均衡点に向けて動いていくしなやかな強さを意味する言葉として捉えることができると考えている。また、レジリエンスを考える際には対象をシステムとして捉えることが重要であり、システムの思考がより重要になる。例えばソフト的な要素とハード的な要素の連携であったり、計画、構造、環境、都市分野の連携、また計画、設計、運用、維持管理を繋げて議論することなど、学際的、横断的な観点でのアプローチが求められることになる。建築計画、構造体、非構造部材、建築設備に関する取り組みをバランスよく、かつ整合性を保ちつつ進めることで、総合的に建物の性能を高める必要がある。多様な分野を包含する建築学会の全体性はレジリエンスを議論する上で重要な役割を果たすのではないだろうか。

#### 2.1.5 工学におけるこれからのレジリエンス

昨今「Resilient By Design」, 「Built in Resilience」という言葉も用いられるようになっていく。著者は、巨大人造物や大規模システム、複雑システムにレジリエンスという能力を機構として予め組み込んでおくという考え方として理解しており、サイバーセキュリティや大都市のインフラシステム、超高層建築物や大規模複合建築物では必須の考え方になるであろうと考えている。後述のように、「できる限り問題・被害が発生しないように事前に対策を行うこと」に加えて、「問題・被害が発生したらどうするかを事前に考える」ことが重要であり、発災後の対応に備えた仕組みや仕掛けを事前に整えておくことが求められる。これまで安全率や冗長性を考慮する安全工学の取り組みなど、前者の取り組みが充実している一方で、後者はこれから取り組むべき領域であると感じている。例えばシンプルな例ではあるが、造船工学においては、船が傾いても転覆せずに直立状態に戻ろうとする「復原力」の確保や限界傾斜角が設計上の重要なポイントとなる。「元の状態からはずれたときに、如何に体制を立て直すことができるか」という能力を工学の中でどのように位置づけるのかという視点を大切にしたいと考えている。

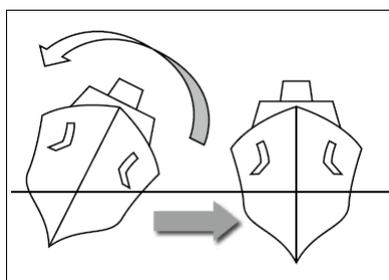


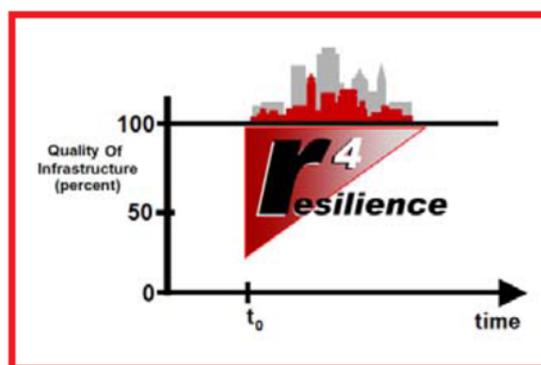
図 3. 造船工学における「復原力」<sup>5)</sup>

例えば 2010 年に、搭載されていた 4 基のイオンエンジンがすべて故障するという危機に見舞われながらも、難局を乗り越えミッションを遂行した「はやぶさ（小惑星探査機）」の設計とオペレーションはその範例になり、工学領域や私たち建築学会が対象とする **Built Environment** のレジリエンスを考える上で示唆に富む事例であると考えている。

尚、レジリエンスエンジニアリングに関する文献<sup>17)</sup>の中ではレジリエンスを「変化や外乱の前、途中、後でシステムが自分の機能を調整し、それによってシステムが想定内、想定外、いずれの状況に対しても必要な動作を維持することができる能力」と定義している。また「単に外乱があった際に反応し回復するという能力では無い。機能を継続する能力、さらには想定されていない範囲の事象まで含む多様な条件下での機能を継続する能力」であることが強調されている。

## 2.2 レジリエンスの評価の視点

レジリエンスの評価の枠組みについていくつかの事例を紹介する。Michel Bruneau らはレジリエンストライアングルという概念を用いてレジリエンスの定量的な評価の枠組みを提示しており<sup>18)</sup>、これについてはあらためて後述する。MCEER (Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research)の「MCEER's Resilience Framework」では、レジリエンスの特徴を **Reduced failure probabilities** (障害の発生確率の低減)、**Reduced consequences from failures** (障害による影響の低減)、**Reduced time to recovery** (回復に要する時間の低減) を挙げている。そしてレジリエンスの特性として 4 つの「R」(**Robustness, Redundancy, Resourcefulness, Rapidity**) を挙げている<sup>19)</sup>。



*Resilience is represented by the red triangle above. When disasters strike ( $t_0$ ), damage to critical infrastructure results in diminished performance. Over time, infrastructure is restored to its original functionality. Four "Rs" - Robustness, Redundancy, Resourcefulness, and Rapidity - represent the fundamental properties of Disaster Resilience.*

図 4. MCEER's Resilience Framework<sup>18)</sup>

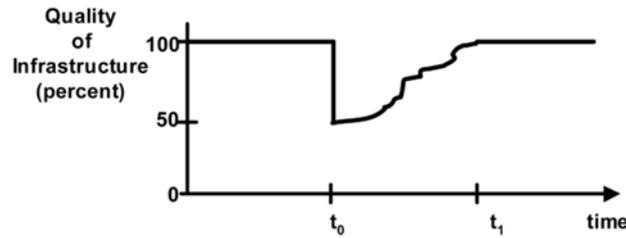


図 5. Measure of seismic resilience—conceptual definition<sup>19)</sup>

また塩崎<sup>20)</sup>らは、システムの望ましさを測る軸として、被災前と被災後のそれぞれの望ましさの方向性について3次元での表現を提示している。

林は、「防災力」を「Vulnerability Reduction」と捉え、そのため道具が「Mitigation」と「Preparedness」であったこれまでのあり方に対して、2005年の兵庫行動枠組み以来“Resilience”という言葉が「防災力」という意味で市民権を得たと述べている<sup>21)</sup>。また、ハザード、曝露量、脆弱性の関数で被害が表現される従来の予防中心の防災モデルから、被害、人間活動、時間の関数として表現される新しいレジリエンスモデルを提示している<sup>22)</sup>。

**被害低減モデル**  
従来の防災のモデル：予防中心

$$D = f(H, E, V)$$

Where D: 被害  
H: ハザード (理学)  
E: 曝露量 (都市計画)  
V: 脆弱性 (土木建築構造)

→ 脆弱性の克服

---

**「レジリエンスモデル」**  
新しい防災のパラダイムの確立

$$R = f(D, A, T)$$

Where  
R: レジリエンス  
D = f(H, E, V)  
A: 人間活動  
T: 時間

図 6. 「レジリエンスモデル」<sup>22)</sup>

Arup社による「The Resilience-based Earthquake Design Initiative (REDi) Rating System」<sup>23)</sup>では、建物のレジリエンスを評価するための総合的な手法を提示している。「Resilient Design and Planning」と「Evaluation」の枠組みを提唱し、「Resilient Design and Planning」としては

Organization Resilience (supply chain や business continuity 等) , Building Resilience (structural design, non-structural design, capacity design 等) , Ambient Resilience を、「Evaluation」としては financial losses と downtime の評価を行っている。特に Downtime Assessment Methodology を議論しているところが特徴的なところである。(図 7) また ASCE (American Society of Civil Engineers) からは「Resilience-Based Performance : Next Generation Guidelines for Buildings and Lifeline Standards (Risk and Resilience Measurement Committee)」<sup>24)</sup>が刊行されており、個々の施設のパフォーマンスに重点を置いて、コミュニティと支援インフラの特徴、ハザード評価、community resilience の測定基準と評価方法、建物およびライフラインのパフォーマンスに関する測定基準と評価方法、レジリエンスをベースとしたパフォーマンス基準 (resilience-based performance standards) を開発するための概念的フレームワークを扱っている。文献<sup>25)</sup>では「Resilient Design and Risk Assessment using FEMA P-58 Analysis」として、地震動、応答、部材損傷の評価を経て最終的に損失 (Repair Cost and Recovery Time) を求める考え方を紹介している。

都市の評価ではロックフェラー財団 (Rockefeller & Arup) の City-Resilience-Framework<sup>26)</sup>がある。都市のレジリエンスの要素を 4 つの領域 (健康と福利、経済と社会、インフラと生態系、リーダーシップと戦略) に分類し、更にそれぞれの領域に達成すべき 12 の目標と 52 の指標に細分化して評価を行う枠組みを提示している。52 個の指標は定性評価と定量評価を行っていくものであり、各都市の行政に関わる担当者やパートナーが評価者となりセルフチェックする形で各都市のレジリエンス評価を行っていく構成となっている。またレジリエンスに重要な 7 つの特質として、以下を挙げている (図 8)。

統合性 (Integrated) : 集成的機能、情報共有する力

包括性 (Inclusive) : 連携性、調整能力

省察力 (Reflective) : 過去経験と証拠から熟考する力

資源力 (Resourceful) : 資源の豊かさ (ヒト,モノ,カネ)

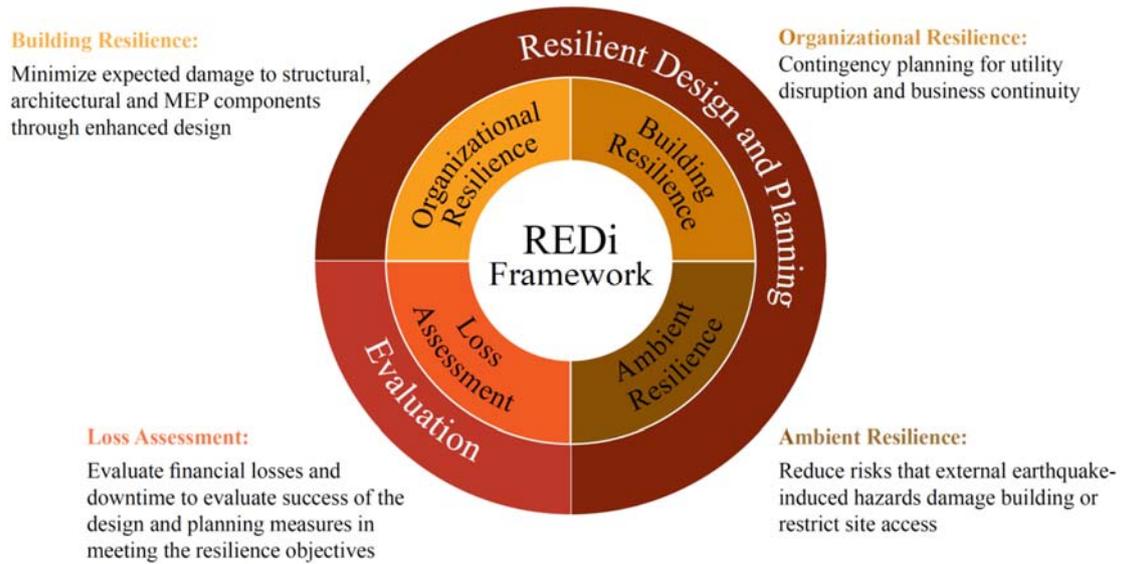
頑強性 (Robust) : 災害や事故に強い (しぶとさ)

余剰性 (Redundant) : 予備の能力

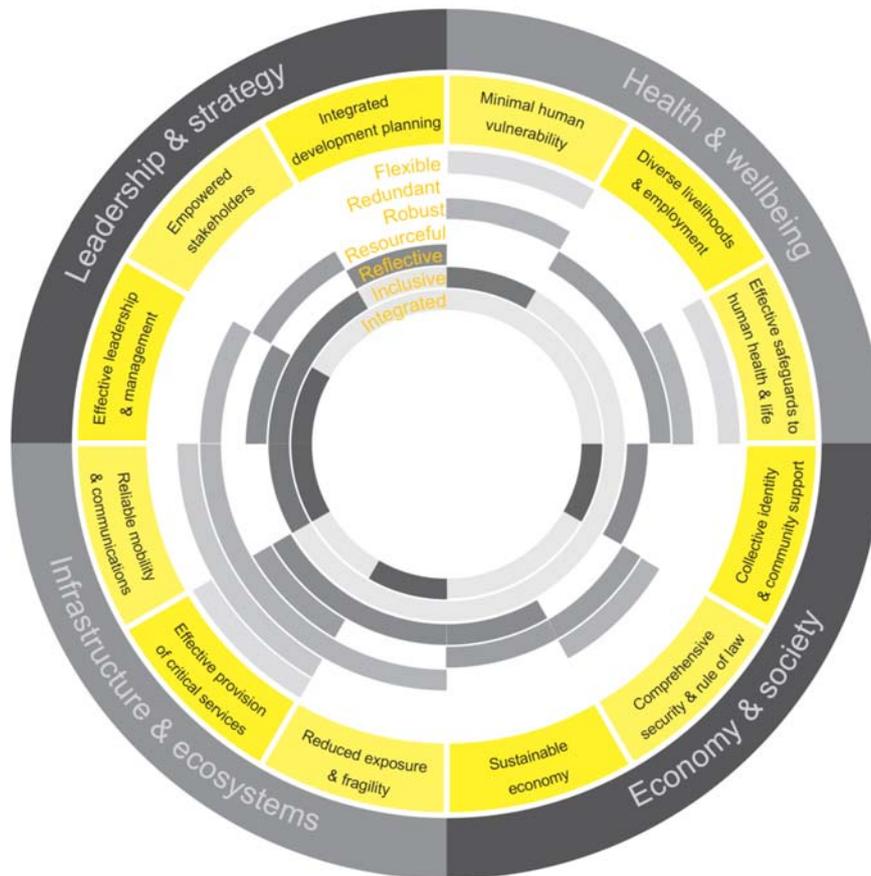
柔軟性 (Flexible) : 臨機応変力

日本地震工学会からは、地域の災害レジリエンスに関する評価手法・評価シートが提案されている。報告書の中では、地域レジリエンスを「地域としての総合的な防災力向上を目的に、地域自身のハザード特性を認識するとともに、中長期的な社会環境の変化を踏まえ、地域の構成員それぞれが自助努力を講じるとともに、関連するステークホルダーが各々の活動を積極的に後押しする総合的な能力のこと」と定義している<sup>27)</sup>。

「CASBEE-レジリエンス住宅チェックリスト」(一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構 (IBEC))では、住まいの建物の性能と住まい手の暮らし方を対象に、平常時の「免疫力」、災害発生時の「土壇場力」、災害後の「サバイバル力」という 3 つの観点から「住まいのレジリエンス度」を評価するためのチェックリストを公開している。日ごろの健康・安全性を高めるレジリエンス度、災害発生時の安全・減災に備えるレジリエンス度、災害後の生活に備えるレジリエンス度を総合評価して得点化している (図 9)<sup>28)</sup>。



☒ 7. The Resilience-based Earthquake Design Initiative (REDi) Rating System, Arup<sup>23)</sup>



☒ 8. City Resilience Index, Rockefeller & Arup, Feb. 2017<sup>26)</sup>

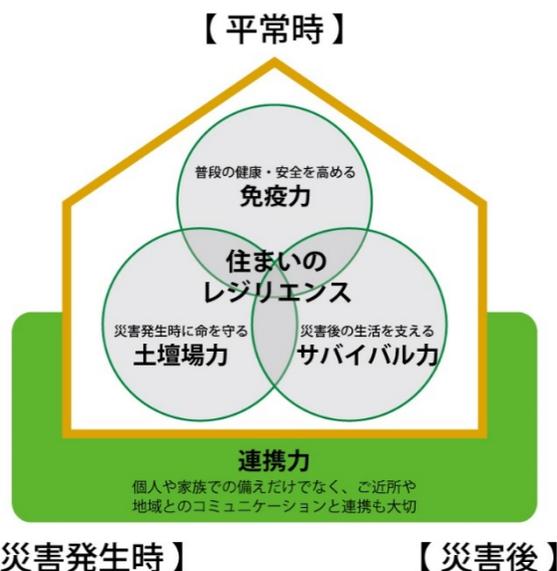


図 9. CASBEE-レジリエンス住宅チェックリストの構成<sup>28)</sup>

組織の事業継続力に関する認証制度として、内閣官房「国土強靱化貢献団体の認証に関するガイドライン」に基づくレジリエンス認証制度が平成 28 年度より運用されている。危機事象発生時において、事業継続力を発揮して日本のレジリエンスに貢献できる団体を認証することを目的としており、重要業務と目標復旧時間を的確に把握し、事業継続戦略・対策を着実に実施し、訓練を繰り返し、継続的改善により前進を続けている団体を認証する制度である。この中では目標復旧時間の設定が必須事項として求められている。また目標復旧時間が、達成できるかどうかの検討が行うことが推奨事項となっている（図 10）<sup>29)</sup>。



図 10. レジリエンス認証制度<sup>29)</sup>

著者は、「災害に対するレジリエンス」の評価の枠組みを図 11 のように捉えている。災害発生時に被る損害や損傷を最小限に留めること、最重要機能を維持・継続すること、迅速な回復・復旧を推進することの 3 項目それぞれについて、事前の十分な準備(Preparedness and Readiness)と災害時の対処・対応(Response)が求められることを表形式で示している。こうした体系的な取り組みによって、予防力、防御力、抵抗力、継続力、回復力、対応力、実行力を高め、被害を最終的に最小限にすることを目的としている。Robust, Redundant, Resourceful, Flexible, Independent, Accurate, Rapid 等の性質が評価の視点となる。



図 11. 「災害に対するレジリエンス」の評価の枠組み

## 2.3 組織のレジリエンスと BCM, BCP (ビジネスや建物ユーザーの観点から)

### 2.3.1 事業継続マネジメント

事業継続マネジメント (BCM :Business Continuity Management) の ISO (国際標準化機構) 及び日本工業規格の定義を紹介する。規格の中では、事業継続マネジメントが以下のように定義されている<sup>30)</sup>。

**事業継続マネジメント(Business Continuity Management)**

組織への潜在的な脅威、及びそれが顕在化した場合に引き起こされる可能性がある事業活動への影響を特定し、主要な利害関係者の利益、組織の評判、ブランド、及び価値創造の活動を保護する効果的な対応のための能力を備え、**組織のレジリエンスを構築するための枠組みを提供する包括的なマネジメントプロセス。**

(JIS 22301:2013)

このように、組織のレジリエンスを高めるための取り組みが事業継続マネジメントである。そして事業継続マネジメントの一環として文書化される成果物が BCP (Business Continuity Plan) である。災害や事故等の危機事象が発生した際にも、重要業務が中断しないよう、または中断した場合にも許容できる範囲内に再開できるように一連の計画、手順書、リスト等を策定する。この BCP の中で拠点となる建物の扱いが明示されることが重要になる。そのためには建築物のレジリエンスに関わる性能が評価され共有可能な状態となっている必要がある。

尚、BCPは従来の防災計画と異なり、組織にとっての製品やサービスの供給責任を果たすための取り組みである。全てを守ることは難しいという前提のもと、何を守り抜くのか、選択と集中の議論となる。そのため明確な目標を設定し関係者が合意形成を行う必要がある。従来の防災・減災で取り込まれてきたように「できる限り問題・被害が発生しないように事前に取り組みを行うこと」は変わらず重要で大前提となることは言うまでもない。そのことに加えて、事業継続のためには「問題・被害が発生したらどうするかを事前に考え抜き、対応力を高めるための取り組みを進める」ことが重要である。重要リソースが制限を受ける状況下では、活動に様々な制約がかかる。そのような中でも、如何に重要業務の継続や目標復

旧時間までの事業再開を達成し得るのかを検証し、その実現可能性を向上させるように、発災後の対応に備えた環境を事前に整えておくことが重要になる。そのような要望と経営判断に建物の性能がどの程度どのように応えられるのかを明示することが求められている。

### 2.3.2 BCPに基づいた「建物の機能維持・回復計画」の立案と課題

前述のように、組織のレジリエンスを高めるための手段として BCP を立案する。言い換えれば BCP の目的は組織のレジリエンスを高めることにある。そして BCP を実行するために、もしくは BCP に基づいて、重要拠点建物では「建物の機能維持・回復計画」を立案する。その結果として得られる建物の機能維持・回復性能（建物のレジリエンス性能）を評価する。

被災後にライフラインの停止や設備の故障など様々な制約がかかる状況では、建物の部分使用をしたり、機能レベルを落とすことで重要機能については維持するようオペレーションを行うことになる。同時に一時期完全に機能が停止してしまう場合も想定をしておかないといけない。このように建物を部分使用して重要業務を継続している場合や業務や建物のサービスレベルを落として重要業務を継続している場合、機能が中断した場合、いずれの場合においても、どこから、どのように、どの程度再開させるのかについての考え方と手順を予め定めておく必要がある。

自社ビル以外の場合でテナントビルにおいても、借り手がこうした内容を確認できることが重要である。テナントビルの商品力や不動産価値にも関係するものである。しかし現状ではこうしたユーザーの視点や市場の目線での建物性能に関する情報発信や相互理解が十分機能していない現実があり、いくつかの課題も明らかになっている。例えば現在 BCP 対応において、設計面では当該建物の要求性能や意思決定の根拠が不明瞭なまま設計が行われる場合が多いことや、要求性能との適合性と無関係に過大設計（オーバースペック）の傾向があること等が挙げられる。運用面ではオペレーションやマネジメント体制において、責務と権限、役割分担が明確化されていないこと等である。設計、施工、管理、ユーザー等の関係者が多岐にわたり組織・分野間の横断的な検討や、省エネ、耐震性、経済性といった複数の要件間の調整・整理が難しい現状がある。今後は、本委員会で提唱する性能・指標が共有されることで、建築のライフサイクルにおける各段階において、様々なステークホルダー、社会やユーザーとのコミュニケーションを促進することができると考えている。

### 2.3.3 災害に対する建物のレジリエンス-Resilience Triangle

建物の性能評価にあたり、Bruneau が Resilience Triangle として提示している概念をあらためて紹介する。大災害に見舞われた時に、私達の組織や地域社会は、入念に対策を講じていたとしても程度の差こそあれ被害を受けることは避けられない。しかしながら、被害を受けながらも致命的な状況を回避し、厳しく困難な状況を乗り越え、乗り越える力こそが重要となる。図 12 は日常生活や業務のレベルが災害発生と同時に落ちることを示している概念図である。災害発生時の被害を最小限に留めるための対策に加え、組織の最重要機能を維持すること、その上で迅速に立ち直す回復力を備えることが重要である。発災時の被害を最小限にとどめ、目標とする日常に近いレベルまで最終的に回復することこそが重要なことである。発災後も状況は刻々と進行する。レジリエンスには時間の概念と目標設定が重要である。災害への対応は常に時間経過の中で考えることが重要であり、発災後は時間が重要な資源とな

る。図 12 の斜線部の面積（積分値）が最終的な被害の大きさを表すことになり、レジリエントな建築・都市は斜線部の面積が小さくなる。このようにレジリエントな建築・都市とは、難局に負けない力を備えた建築・都市であり、予防力、抵抗力、防御力の向上に加えて、被災後の継続力と、被災からの回復力を総合的に考慮した考え方である。こうした内容を工学的に評価する指標が必要となる。

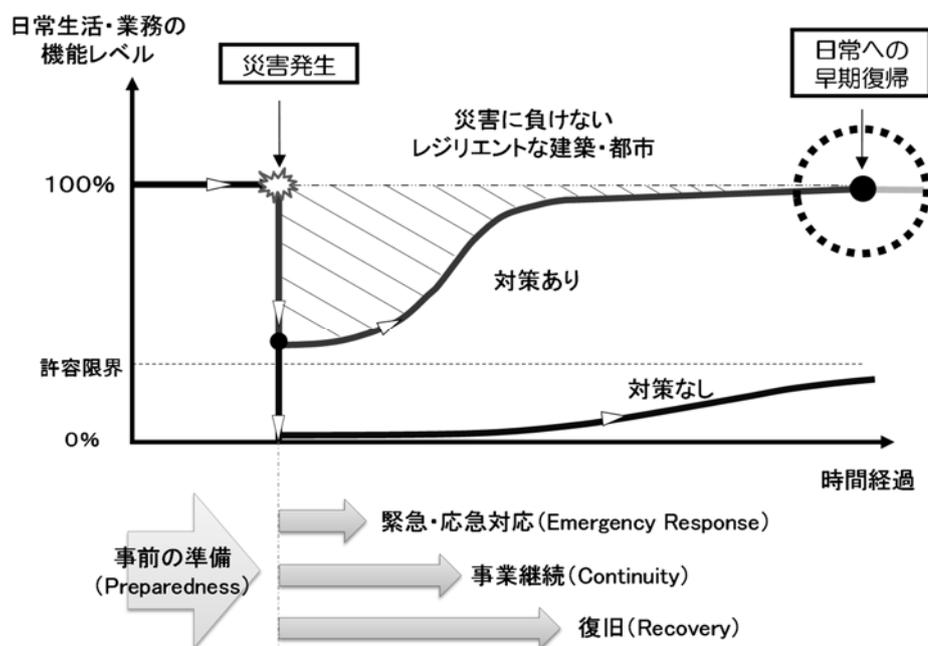


図 12. レジリエントな建築・都市の考え方<sup>31)</sup>

### 2.3.4 「結果指標」と「能力指標」

また丸山<sup>11)</sup>らはこうしたレジリエンスの指標について、事後に過去のシステムの振る舞いを評価して結果的にレジリエンスがどうであったかを示す「結果指標 (Performance Metric)」であるという Leena Ilmola (国際応用システム分析研究所) の指摘を紹介した上で、将来起こりうる事象に対する現在のレジリエンスを評価するための「能力指標 (Competency Metric)」のあり方について論じている<sup>11)</sup>。レジリエンス性能と BCP レベル指標の策定はこの能力指標に該当するものとして期待される。

### 2.3.5 「早期復旧戦略」と「建物の機能維持・回復性能評価指標」の必要性

BCP を立案する上での戦略として、「早期復旧戦略」と「代替戦略」という考え方がある。「早期復旧戦略」は現地での事業継続を目指すものであり、「代替戦略」は遠隔地での代替拠点の確保や提携事業者との連携による生産の継続等である。代替戦略は強力であり、特に大災害においては有効な戦略である。そのため現在事業継続の取り組みにおいては原則代替戦略が重視されるようになってきている。一方で、レジリエントな建物への対策や投資は主に「早期復旧戦略」に該当する。建物の機能維持・回復性能評価指標が明示されていない状況においては、「早期復旧戦略」の中で重要リソースとしての建物の位置づけを評価することが難しい。建築分野への投資を促し良質な建物を実現していくためには、「早期復旧戦略」に資する情報提供が非常に重要である。「代替戦略」が主流になる中で、「籠城型」の建物を

目指すことが最善の方策になるとは限らない。建物に投資することが他の対策と比べてどの程度の比較優位性があるのかが経営判断として厳しく評価される。

BCPでは従来の防災計画とは異なり、被災や機能停止を前提として検討されるため、必要となる復旧日数の提示、機能停止期間を考慮した回復性能の表示や、時間の概念を取り入れて時間を明示した「1日レジリエンス性能」、「7日レジリエンス性能」、「90%の復旧1週間以内」、「90%の復旧1カ月以内」といった情報は有用な指標となる。こうしたエビデンスが整備されることで、ステークホルダーへの説明責任を果たすことに加え、保険市場や金融市場で評価される新しい仕組みへの展開（不動産評価や新しい保険商品との連携など）も期待される。

また、「早期復旧戦略」には都市の機能を維持することに寄与するという重要な貢献もある。建物を守ることで都市の機能が維持する。組織のBCPとして「代替戦略」のみが重視される場合、組織は生き残ったとしても、足下の都市の機能が低下する恐れがある。都市への様々な集積による便益を組織は受けており、都市の価値や都市力が落ちることは結局は組織にとってもマイナスになる。個々の拠点施設や空間を守ることで都市の機能が維持される。個々の企業は生き残っても、都市力が落ちることで最終的に企業は不利益を被る。拠点都市の機能集積を守ることが重要である。組織の継続と都市の機能維持がともに実現する方向で議論を進める必要がある。

### 2.3.6 Business と Building の Continuity

上述のように、BCP（事業継続計画）は組織の生き残りをかけた経営戦略である。BCP（事業継続計画）の中では、目標復旧時間を明示し、戦略と対策を策定する。被災を前提として、様々な制約がかかる状況において、どのように目標復旧時間・目標復旧レベルを達成するかを検討する。こうした目標が明示しステークホルダーで共有する。こうした点がこれまでの命を守るための防災とアプローチや趣旨が異なる点でもある。BCPは業種・業態、本社と支社の地理的な展開状況や役割分担、自社ビルかテナントビルか等によって様々なアプローチがあるが、共通する事項として、事業継続の取り組みにおける代表的な戦略としては、代替戦略と早期復旧戦略がある。建物の機能を守ることは早期復旧戦略に該当する。BCP（事業継続計画）の早期復旧戦略を検討する際に、現地の建物における対策が重要となる。組織の重要業務を継続するためのリソースとして拠点建物が位置づけられ、「BCPを実行するための建物の機能維持・回復計画」や「BCPを考慮した建物の機能維持・回復計画」が検討されることになる。建築の分野では、この「建物の機能維持・回復計画」をBCPとして扱うこともあるが、組織のBCP（事業継続計画）と「建物の機能維持・回復計画（Building Continuity）」は必ずしも一対一で対応するものではないため、今後不動産や金融他、様々な関連業界と建物性能に関する情報をやりとりすることになる場合には、どちらの議論を行っているのか、BusinessにおけるBuildingの位置づけを確認し、文脈や場面に応じて齟齬の無いようにすることも必要であると考えている。本委員会で提案されているように、レジリエンス指標（レジリエンス性能を表す指標）とBCPレベル指標（レジリエンス性能の全体のレベルを表す指標）を活用することによってこうした相互理解が進展することで、「建物の機能を守ることが組織の事業継続にどの程度寄与するのか」についての評価を行うことが可能となる。このような観点で、本委員会で提案する性能・指標が重要な役割を果たす。事業継続の取り組みを通じて、様々なステークホルダーとの議論が深まり、真に「BCP対応型」の建物が実現することが望まれる。

### 2.3.7 発災後の対応とモニタリングの重要性

「早期復旧戦略」では発災後の対応が重要となる。しかし場当たりの対応では来るべき危機を乗り越えることはできない。前述のように、繰り返しになるが事業継続の取り組みでは、非常事態発生前の準備・対策に加えて、非常事態発生時や発生後の危機対応のそれぞれが重要となる。後者は想定内外を問わず発生した重大な危機に対処するためのものであり、クライシスマネジメント（Crisis Management）等に対応する。実際に災害や問題が発生した際に、進行している事態を正確に把握・判断、迅速に対処し、被害の最小化と事態の適切な收拾をはかることであり、こうした動的な考え方があって初めて重大な事態や不測の事態への対応が可能となる。リスクは不確実性の扱い、危機は実際に発現した事象の扱いである。リスクと危機という言葉を使い分け、事後の対応も念頭に事前の準備を進める必要がある。「できる限り問題・被害が発生しないように事前に対策を行うこと」に加えて、「問題・被害が発生したらどうするかを事前に考える」ことが重要であり、発災後の対応に備えた環境を事前に整えておくことが求められる。

そのためには発災後において、対応にあたる人間・組織の間で、基礎となる統一的な状況認識を持つことが重要であり、状況認識の統一（COP:Common Operational Picture）が求められる。このことで、被害状況や活用可能な資源の把握、組織間連携、地域連携の検討が可能となる。各種のモニタリング技術はそのための有用なツールとなり積極的な活用が望まれる。災害への対応は常に時間経過のなかで考えることが重要であり、災害発生後は時間が何より重要な資源となる。発災後の早い段階で、何が起きたのか、現状はどうなっているのか、状況を正確に把握することが重要となる。例えば、オフィスビルや病院であれば、建物を使ってよいのかいけないのか、重要業務空間が使えるのか使えないのか、機能不全の原因がどこにあるのか、あとどの程度の時間、どのレベルで機能が維持できるのか、異常警報の意味するところは何なのか、今何をすべきなのか、迅速かつ的確に判断し、建物利用可能度を見極めることが重要になる。

また、発災に備えた訓練・演習も欠かせない。単純な安否確認訓練や避難訓練、消火訓練の実施だけではなく、傷病者への対応、発災後の被災度把握、建築設備のオペレーション、備蓄等の確認や資材の活用、緊急点検箇所の確認・判断・報告、応急・補修措置の手順確認、帰宅困難者への対応、建物の臨時的運用方法の確認、建物利用者への情報伝達等に関して、被災時の様々な状況を想定した総合的な訓練を実施し有事に備えることが求められる。

尚、関係する興味深いビジネスとして「災害復旧支援サービス」というものがある<sup>32) 33)</sup>。一例としてベルフォア社を紹介する。ベルフォア社は、火災、水災等からの災害復旧支援を行う世界的な災害復旧専門会社であり、被災した建物や機械設備の調査、腐食抑制応急処置、汚染除去、機械・設備の分解洗浄等を提供しており、従来は新品交換する以外に方法がなかった機械、設備等を罹災前の機能・状態に修復し、事業の早期復旧を支援するためのサービスを提供している。例として自動車部品工場の火災では操業停止期間を5ヶ月短縮、食品工場火災では操業停止期間を11ヶ月短縮した事例が紹介されている<sup>31)</sup>。

## 2.4 まとめ -災害に「強い」から「負けない」へ

日常への早期復帰こそが住民や企業の求める切実なニーズであり、危機事象に負けないしなやかな強さを備えたレジリエントな組織・地域・都市を実現することが重要である。本稿

では、レジリエンスに関する動向やレジリエンスという言葉の概念や評価の視点、組織の事業継続の取り組みである BCM,BCP を考える上での「建物の機能維持・回復性能評価指標」の必要性について紹介を行った。BCPとは危機事象に直面した際に、制約条件の中で何を守り何をあきらめるのか、選択と集中の考え方を定めるものであると言い換えることができる。だからこそ判断の根拠を明示しないとイケない。クライアントやステークホルダーに対して説明責任を果たす必要がある。BCPには必ず目標復旧時間を明記する必要がある。それに建物が応えられるかどうかは重要な情報となる。

災害に勝つことは難しくても負けない社会を目指すことは可能であると考えている。負けないためのちからを総合的に高めていくことを目指してこれからのレジリエントな建築を展望することは、計画、構造、環境、都市分野の連携、また計画、設計、運用、維持管理を繋げて議論することなど、建築システムの総体として進化・深化する重要な契機となると考えている。また、建築が建物使用者に対して如何に良質のサービスを提供できるのかという建物を利用する人間の視点を大事にした議論に繋がるものであると考えている。レジリエンスは人間中心の概念であるとも言える。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会東日本大震災調査復興支援本部「研究・提言部会」：建築の原点に立ち返る－暮らしの場の再生と革新－東日本大震災に鑑みて（第二次提言）、首都③建築・都市機能維持, pp. 21-23, 2013.5
- 2) 巨大災害からの回復力が強いまちづくり特別調査委員会,レジリエントな日本を目指して－建築学会の挑戦－  
[http://www.aij.or.jp/scripts/request/document/20140331\\_c.pdf](http://www.aij.or.jp/scripts/request/document/20140331_c.pdf)（参照 2019-6-28）
- 3) 想定外、不透明… そんな時こそレジリエント銘柄, マネー底流潮流, 日本経済新聞, 2016年11月14日
- 4) Peter David Pedersen, レジリエント・カンパニー: なぜあの企業は時代を超えて勝ち残ったのか, 東洋経済新報社, 2014
- 5) 増田幸宏, 建築・都市のレジリエンスと地域熱供給-サステナビリティ・持続可能性の新しい視点, 熱供給, Vol. 89, 2014
- 6) C. S. Holling, Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 4, pp. 1-23, 1973
- 7) 香坂 玲 (著, 編集), 香坂玲, 松田曜子, 半藤逸樹, 窪田順平, 関谷直也, 竹中雅治, 山田薫夫, 古田裕之, 太田真立, 小林勝則, 山田厚志(著): 地域のレジリアンス—大災害の記憶に学ぶ, 清水弘文堂書房, 2012
- 8) ISO 22300 (JIS Q 22300)
- 9) IPCC, AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report, pp. 6, 2007  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf)
- 10) United Nations, UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. ISDR (International Strategy for Disaster Reduction), pp. 24, 2009
- 11) システムのレジリエンス さまざまな擾乱からの回復力, 情報・システム研究機構新領域融合センターシステムズ・レジリエンスプロジェクト(著), 近代科学社, 2016
- 12) 丸山宏, Legaspi Roberto, 南和宏: レジリエンスのタクソノミと共通戦略: オペレーションズ・リサーチ, 経営の科学 Vol. 59(8), pp. 446-452, 2014
- 13) Adriana Sanchez, Jeroen van der Heijden, Paul Osmond, The City Politics of the Urban Age: A Literature Review of Urban Resilience Conceptualisations and Policies, Palgrave Communications, 4 (The Politics of an Urban Age collection), article 25, DOI: s41599-018-0074-z, 2018
- 14) Ronak Patel, Leah Nosal, Defining the Resilient City, United Nations University Centre for Policy Research, Working Paper 6, 2018

- <https://cpr.unu.edu/defining-the-resilient-city.html> (参照 2019-6-28)
- 15) Alexander, D. E.: Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 13, pp. 2707-2716, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2707-2013>, 2013
  - 16) Center for Resilience, Ohio State University,  
<http://www.resilience.osu.edu/CFR-site/concepts.htm> (参照 2013-6-28)
  - 17) Erik Hollnagel, Nancy Leveson, David D. Woods(著), 北村 正晴(翻訳)レジリエンスエンジニアリング—概念と指針, 日科技連出版社, 2012
  - 18) MCEER's Resilience Framework, [http://mceer.buffalo.edu/research/resilience/Resilience\\_10-24-06.pdf](http://mceer.buffalo.edu/research/resilience/Resilience_10-24-06.pdf) (参照 2013-6-28)
  - 19) Michel Bruneau, et al. : A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities, *Earthquake Spectra*, Vol 19, No. 4, pp. 733-752, 2003.11
  - 20) 塩崎由人,加藤孝明,菅田寛:自然災害に対する都市システムのレジリエンスに関する概念整理,土木学会論文集 D3 (土木計画学) ,71(3), 127-140, 2015
  - 21) 林春男, 「レジリエンス」という言葉は大変便利な言葉, <https://resilience-japan.org> (参照 2019-6-28)
  - 22) 林春男, 基調講演 2『都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト, 「3. 都市災害における災害対応能力の向上方策に関する調査・研究」』,平成 27 年度 第 4 回災害対応研究会 公開シンポジウム  
[http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/projects/cd/proceedings/docs/ws16/03\\_hayashi\\_haruo.pdf](http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/projects/cd/proceedings/docs/ws16/03_hayashi_haruo.pdf) (参照 2019-6-28)
  - 23) Arup, REDi Rating System  
<https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/redi-rating-system> (参照 2019-6-28)
  - 24) Risk and Resilience Measurement Committee, ASCE: Resilience-Based Performance: Next Generation Guidelines for Buildings and Lifeline Standards, ASCE, 2019
  - 25) <https://ja.scribd.com/document/376805999/C-StructuralAnalysis-Haselton-Mar18> (参照 2019-6-28)
  - 26) The Rockefeller Foundation and Arup, City Resilience Framework April 2014 (Updated December 2015),  
<https://assets.rockefellerfoundation.org/app/uploads/20140410162455/City-Resilience-Framework-2015.pdf> (参照 2019-7-7)
  - 27) 地域の災害レジリエンス評価に関する研究 最終報告書,日本地震工学会地域の災害レジリエンスの評価指標開発と政策シミュレーション研究委員会,平成 30 年 3 月
  - 28) 「CASBEE-レジリエンス住宅チェックリスト」,一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構 (IBEC)  
[http://www.ibec.or.jp/CASBEE/cas\\_home/resilience\\_checklist/index.htm](http://www.ibec.or.jp/CASBEE/cas_home/resilience_checklist/index.htm) (参照 2019-6-28)  
[http://www.ibec.or.jp/CASBEE/cas\\_home/resilience\\_checklist/webtool/index.html](http://www.ibec.or.jp/CASBEE/cas_home/resilience_checklist/webtool/index.html) (参照 2019-6-28)
  - 29) 一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会  
<http://www.resilience-jp.biz/certification/application/> (参照 2019-6-28)
  - 30) JIS Q 22301:2013 (社会セキュリティ-事業継続マネジメントシステム-要求事項)
  - 31) 増田幸宏:重要業務継続を目的とした建物管理システムの開発-建物のレジリエンスを高める手法に関する基礎的研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 700, pp. 535-544, 2014
  - 32) ベルフォアジャパン株式会社  
[https://www.belfor.com/sites/default/files/brochures/zai\\_hai\\_zao\\_qi\\_fu\\_jiu\\_supesiyarisuto\\_0.pdf](https://www.belfor.com/sites/default/files/brochures/zai_hai_zao_qi_fu_jiu_supesiyarisuto_0.pdf) (参照 2019-6-28)
  - 33) リカバリープロ株式会社  
<http://recoverypro.jp/> (参照 2019-6-28)

注 1) 日本語訳は一般社団法人レジリエンス協会「レジリエントな都市研究会」による。

注 2) 一般社団法人レジリエンス協会「レジリエントな都市研究会」では関連研究資料の翻訳を進めている。以下のサイトにて順次公開を行っている。<http://www.sic.shibaura-it.ac.jp/~yukihiro/ResilientCity.htm>

### 3. BCP の概念と既存の評価指標

#### 3.1 はじめに

事業継続計画（BCP）の考え方が広まったのは、2001年の同時多発テロが契機であったと思われる。ニューヨークの世界・トレード・センター（WTC）にオフィスを置いていた企業の中で、事業継続への準備の程度によって、事業の復旧の早さが異なると言われている。当時は、連邦緊急事態管理庁（Federal Emergency Management Agency: FEMA）等が政府機関に対し業務継続のガイドライン Continuity of Operations(COOP)を推進していたこと、企業や団体に対しても米国の全国防火協会（National Fire Protection Association: NFPA）が発行する災害／緊急事態マネジメントおよび事業継続プログラムの規格（Standard on Disaster/Emergency Management and Business Continuity Programs）である NFPA1600 の 2000 年版に事業継続の考え方が示されていたことが、その背景になっていると言われている。

事業継続計画の規格に着目すると、米国では民間企業の災害対応力を向上させるための規格の認証制度の取組(Private Sector Preparedness (PS-Prep)) が始まり、英国では 2006 年に英国規格協会(BSI)から事業継続マネジメントに関する規格（BS25999）が発行され、やがて 2012 年の国際標準化機構（ISO）において ISO22301（事業継続マネジメントシステム-要求事項）の制定へとつながっていった。そして日本では ISO22301 を受けて、JIS Q22301 を制定したり。

一方、日本でも 2002 年以後、内閣府や日本経済団体連合会、経済産業省等によるガイドラインの策定が行われており、ISO22301 の要求事項との適合性に関する認証制度も存在する。

ここでは、代表的な規格やガイドラインの概要をまとめつつ、これらから BCP の概念を整理し、また BCP の実現に関わる建物の設計に関する技術資料等の概要をまとめ、これらで用いられている評価指標を整理する。さらに参考となる実務の事例も紹介したい。

#### 3.2 JIS Q22301 について

ISO22301 を受けて 2012 年に JIS Q22301（事業継続マネジメントシステム-要求事項）<sup>2)</sup> が制定された。JIS Q22301 では、事業継続計画（BCP : Business continuity plan）は「事業の中断・阻害に対応し、事業を復旧し、再開し、あらかじめ定められたレベルに回復するように組織を導く文書化した手順。」、事業継続マネジメント（BCM : Business continuity management）は「組織への潜在的な脅威、及びそれが顕在化した場合に引き起こされる可能性がある事業活動への影響を特定し、主要な利害関係者の利益、組織の評判、ブランド、及び価値創造の活動を保護する効果的な対応のための能力を備え、組織のレジリエンスを構築するための枠組みを提供する包括的なマネジメントプロセス。」と、それぞれ定義されている。

この規格は、組織の事業継続マネジメントシステム（以下、BCMS）を「マネジメントシステム全体の中で、事業継続の確立、導入、運用、監視、レビュー、維持及び改善を担う部分。」と定義し、BCMS を策定し運用するための要求事項を示している。その BCMS の重要な事項を、以下の 4 点としている。

1) 組織のニーズ並びに事業継続マネジメントの方針及び目的を確立する必要性の理解

- 2) 事業の中断・阻害を引き起こすインシデントへの組織の総合的な対応能力を活かすための管理策及び手段の導入及び運用
- 3) BCMS のパフォーマンス及び有効性の監視及びレビュー
- 4) 客観的な測定に基づく継続的改善

そしてこれを実行するために、組織の BCMS の計画、確立、導入、運用、監視、レビュー、維持、及び有効性の継続的改善に PDCA (Plan-Do-Check-Act) モデルを適用することとしている。図 1 および表 1 に BCMS プロセスに適用される PDCA モデルを引用する。

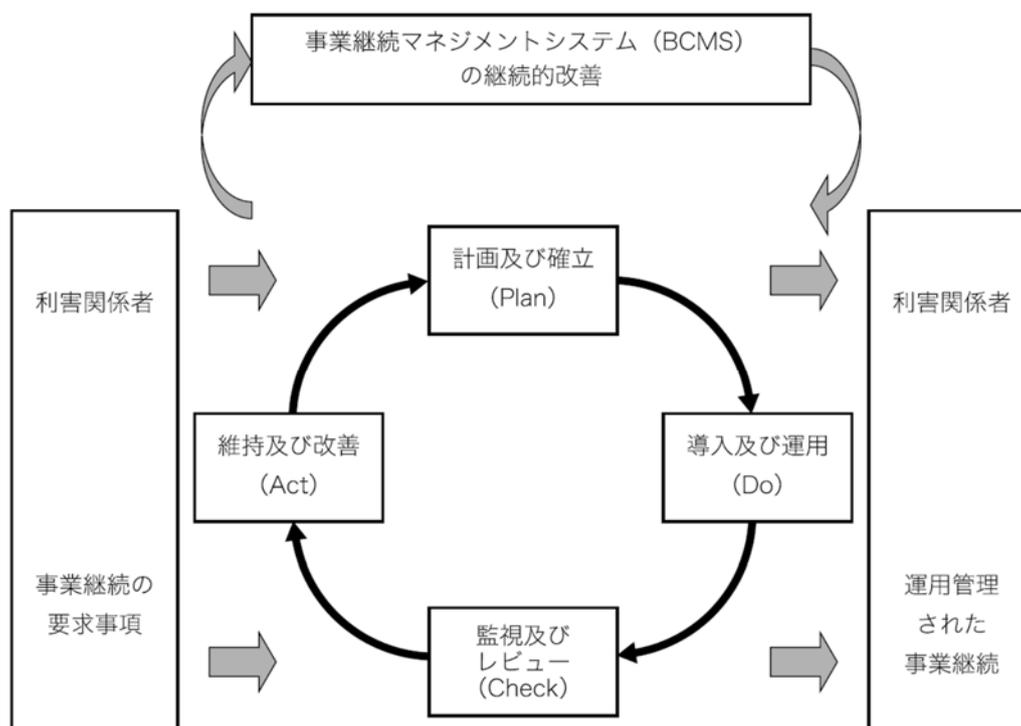


図 1. BCMS プロセスに適用される PDCA モデル<sup>2)</sup>

表 1. PDCA モデルの説明<sup>2)</sup>

計画及び確立 (Plan)	組織の全体的な方針及び目的に沿った結果を出すために、事業継続の改善に適した事業継続の方針、目的、目標、管理策、プロセス及び手順を確立する。
導入及び運用 (Do)	事業継続の方針、管理策、プロセス及び手順を導入し、運用する。
監視及びレビュー (Check)	事業継続の方針及び目的に照らしてパフォーマンスを監視及びレビューし、その結果を経営者に報告してレビューに付し、是正及び改善の処置を決定し、許可する。
維持及び改善 (Act)	マネジメントレビューの結果に基づいた是正処置をとり、BCMS の適用範囲、事業継続の方針及び目的を再評価することによって、BCMS を維持し、改善する。

### 3.3 BCP に関するガイドライン

#### 3.3.1 経緯

- ・中央防災会議は、2002 年 12 月、「企業と防災に関する検討会議」（座長：樋口公啓、日本経済団体連合会副会長）を設置し、2003 年 4 月、「企業と防災～今後の課題と方向性」<sup>3)</sup>を取りまとめた。ここで提示された 4 つの課題の 1 つに「企業のリスクマネジメント」があり、その中に「業務継続計画 (BCP) 策定のための環境整備」が示されている。

- ・日本経済団体連合会は、2003年7月、「災害に強い社会の構築に向けて」<sup>4)</sup>を発表した。ここで提示された5つの項目の1つに「企業が取り組むべきこと」として、「人道的な対応」と「事業継続」の視点からマニュアルを作成することが示されている。
- ・中央防災会議は、2003年9月、「民間と市場の力を活かした防災力向上に関する専門調査会」（座長：樋口公啓、日本経済団体連合会顧問）を設置し、2004年10月にその成果「民間と市場の力を活かした防災戦略の基本的提言」<sup>5)</sup>をとりまとめた。その方向性を示す中で、具体的な方策の1つとして「事業継続計画（BCP）」のガイドラインを官民連携で早急に策定するべきとしている。
- ・これらの動きを受けて、中央防災会議は、2005年8月に、「事業継続ガイドライン」<sup>6)</sup>をとりまとめている。この第一版は、前出の「民間と市場の力を活かした防災戦略の基本的提言」（2004年10月）の普及促進に有効であったと言われている。第二版（2009年11月）では、ガイドラインの実用性の向上を図り、第三版（2013年8月）では、企業・組織の平常時からの事業継続マネジメント（BCM）の普及促進、災害教訓、国際動向等の反映を目的としたとされている。
- ・一方、経済産業省は、2005年6月に「事業継続計画策定ガイドライン」<sup>8)</sup>をとりまとめている。また中小企業庁も、「中小企業BCP策定運用指針」<sup>9)</sup>（第1版、2006年2月）、（第2版、2012年3月）を策定している。

### 3.3.2 各ガイドラインにおけるBCPの概念

以下に、上記の各ガイドラインにおけるBCPの概念を整理する。

#### (1) 民間と市場の力を活かした防災戦略の基本的提言<sup>5)</sup>

ここでは、BCPを、「バックアップシステムの整備、バックアップオフィスの確保、要員の確保、安否確認の迅速化などにより、災害時に事業活動が中断した場合に可能な限り短期間で重要な機能を再開させ、業務中断に伴う顧客取引の競合他社への流出、マーケットシェアの低下、企業評価の低下などから企業を守るための経営戦略」と定義している。具体的方策の1つとして「企業の業務継続支援」を挙げ、下記のように説明している。

- ・個々の事業所ごとの対応ではなく、全社的な経営戦略として事前に準備
- ・『いざというときのための計画』を作るのではなく、平時からのマネジメントに活かすこと
- ・BCPは、経済被害軽減のためのもっとも効果的な対応の1つ
- ・企業のBCP策定を促進するため官民連携して環境整備
- ・ライフライン、金融・株式市場等の早期復旧にかかる企業側の目標に対する環境整備・支援

また「企業については、まず自分自身が災害対策をきちんととって、災害が発生しても事業継続できるようにすることが必要。・・・そのうえで、地域への支援、さらには経済復興への貢献を果たしていくことが求められる。」と締めくくっている。

#### (2) 事業継続ガイドライン<sup>6)</sup>

まず第一版で、BCPと従来の防災計画との違いについて解説している。BCPは、「生命の安全確保や被害軽減に重きをおく従来の防災対策の考え方に加え、重要業務の選定、目標復

旧時間の決定、サプライチェーンの観点の対策等の新たな視点をプラスするものである。」と説明されている。企業が必要な検討を行って BCP を策定し、訓練し、計画の見直しを行っていくという事業継続の取組みは、従来の防災対策と異なる以下の特徴をもっているとしている。

- ・事業に著しいダメージを与えかねない重大被害を想定して計画を作成する。
- ・災害後に活用できる資源に制限があると認識し、継続すべき重要業務を絞り込む。
- ・どのような被害が生じると、どの重要業務の継続が危うくなるかを抽出して検討を進める。
- ・重要業務の継続に不可欠で、復旧の制約となりかねない重要な要素（ボトルネック）を洗い出し、重点的に対処する。
- ・重要業務の目標復旧時間を設定し、その達成に向け事前準備をする。
- ・指揮命令系統の維持、情報の発信・共有、災害時の経営判断の重要性など、危機管理や緊急時対応の要素を含んでいる。

また BCP の概念での「許容限界」について述べており、企業の耐力、取引関係、社会的責任等から許容限界を認識し、これを踏まえて目標復旧時間や最低限の目標とする操業度を決定し、対策を検討・実施することとしている。

その他、災害時に企業が考慮すべき重要事項としては、生命の安全確保、二次災害（周辺に及ぶ危険）の防止、地域貢献・地域との共生の3点があることを確認している。

第二版では、設定した目標復旧時間における、重要業務の「目標復旧レベル」を設定することを求めている。例えば、重要業務の稼働の割合（%など）を定める、あるいは重要業務の中の業務プロセスのうちいくつかを停止（継続）する、などの判断を行うことである。

目標復旧レベルは、災害発生後の時間に対して設定されるものであるが、災害直後においても一定レベルで維持されるべき業務（例：本社機能）もある。

さらに定期的に監査を実施することが求められている。

第三版では、東日本大震災の経験を踏まえ、甚大な災害による被害にも有効な事業継続の戦略を見だし、対策を実施し、取組の改善を続けていくべきであるとして、事業継続の取組、すなわち BCP を含めた事業継続マネジメント（BCM）の概念、必要性、有効性、実施方法、策定方法、留意事項等を示すことで、我が国の企業・組織の自主的な事業継続の取組を促し、我が国全体の事業継続能力の向上を実現する必要性を強調している。

さらに ISO22301 の制定を踏まえ、国際的な規格や諸外国での取組とも基本的な考え方が合致するように策定したとされ、本ガイドラインに沿って取組を行うことは、BCM の国際的な整合性を確保する上でも役立つとしている。

BCP と BCM の関係については、大地震等の自然災害、感染症のまん延、テロ等の事件、大事故、サプライチェーン（供給網）の途絶、突発的な経営環境の変化など、不測の事態が発生しても重要な事業を中断させない、または中断しても可能な限り短い期間で復旧させるための方針、体制、手順等を示した計画のことを BCP と呼ぶとしている。そして、BCP 策定や維持・更新、事業継続を実現するための予算・資源の確保、事前対策の実施、取組を浸透させるための教育・訓練の実施、点検、継続的な改善などを行う平常時からのマネジメン

ト活動は、事業継続マネジメント（BCM）と呼ばれ、経営レベルの戦略的活動として位置付けられるものとしている。

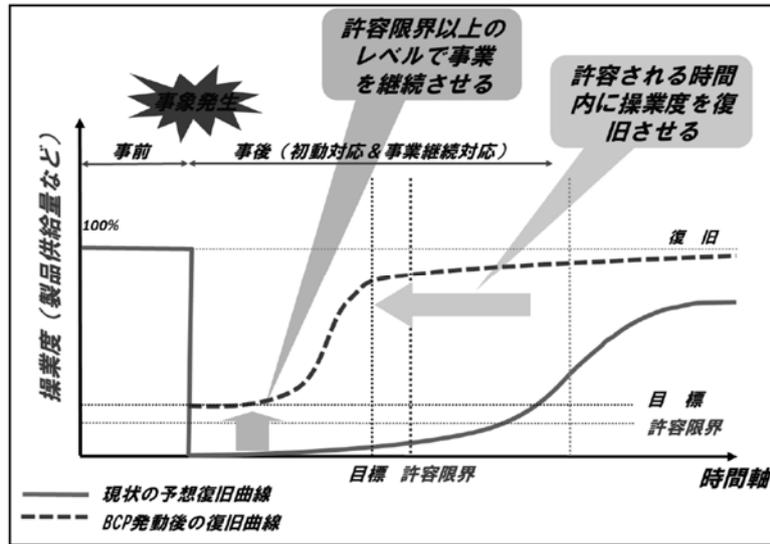


図 2. 事業継続ガイドラインにおける BCP の考え方<sup>67)</sup>

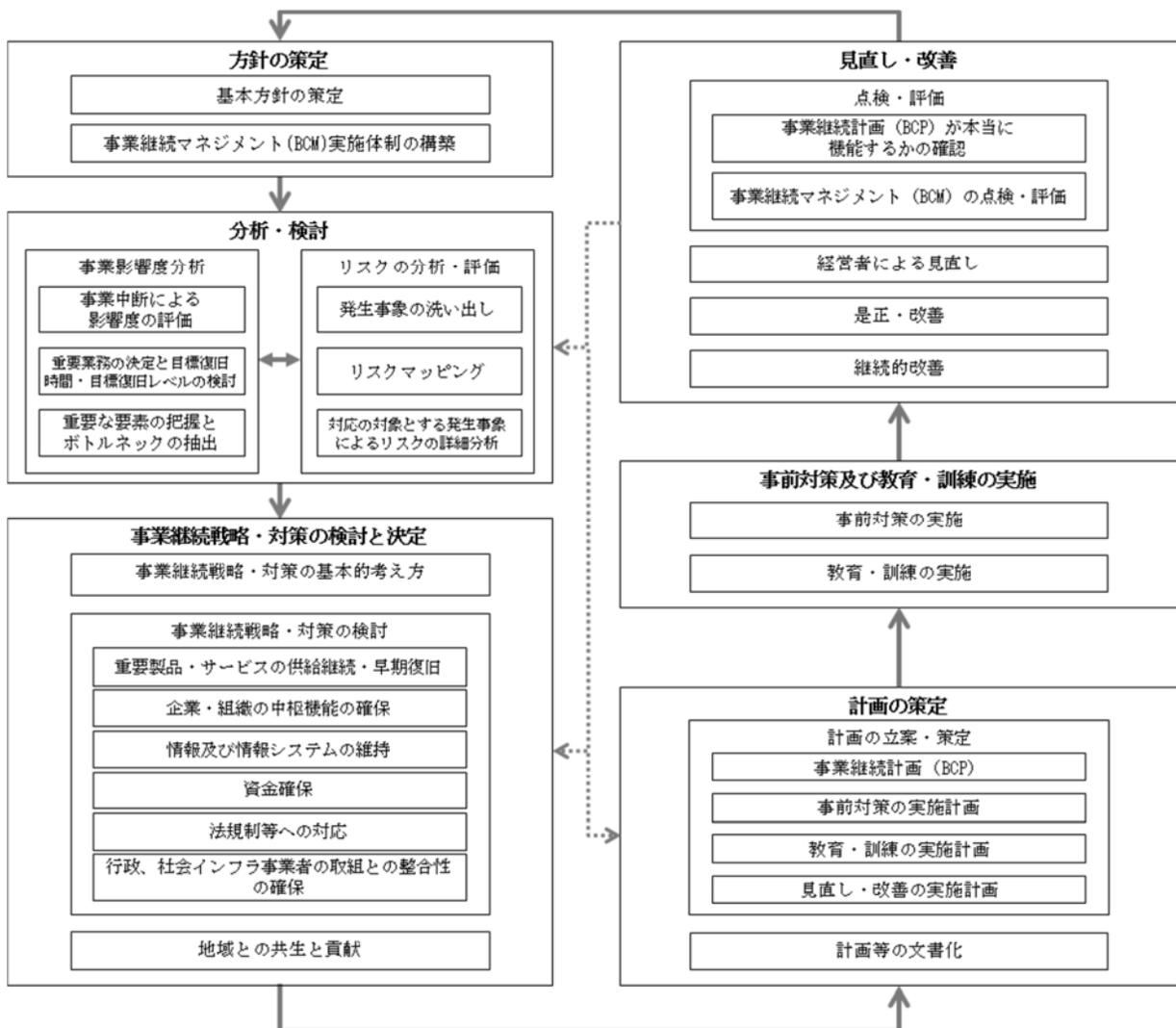


図 3. 事業継続ガイドラインにおける BCM の考え方<sup>67)</sup>

### (3) 事業継続計画策定ガイドライン<sup>8)</sup>

危機が発生したときに、企業に対して問われるのは、その企業が危機に直面した時であったとしても事業を遂行（継続）するという社会的使命を果たせるかどうか、である。これは、危機に直面したときの「企業経営のあり方」そのものである。企業は、自身の被害の局限化という観点に留まらず、コンプライアンスの確保や社会的責任という観点から対策を講じなければならないとしている。BCP・BCM の定義として、英国規格協会(BSI)が策定したPAS56「事業継続管理のための指針（Guide to Business Continuity Management）を参照して、以下のように定義している。

**BCP**：潜在的損失によるインパクトの認識を行い実行可能な継続戦略の策定と実施、事故発生時の事業継続を確実にする継続計画。事故発生時に備えて開発、編成、維持されている手順及び情報を文書化した事業継続の成果物

**BCM**：組織を脅かす潜在的なインパクトを認識し、利害関係者の利益、名声、ブランド及び価値創造活動を守るため、復旧力及び対応力を構築するための有効な対応を行うフレームワーク、包括的なマネジメントプロセス。

またサプライチェーンの重要性から、サプライチェーンマネジメント（SCM）を定義している。SCM の導入は、

- ・ サプライチェーンを構成する一企業にボトルネックがあれば、構成企業全体に影響を与える可能性を有する、
- ・ つまりサプライチェーンを構成する一企業の事業中断が、他の企業の事業中断へと波及することになる、
- ・ それゆえに自企業だけで BCP を構築するのではなく、サプライチェーンを構成する全企業で BCP を構築する必要がある、

との考え方による。

こうした考え方が浸透した欧米のグローバル企業から、サプライチェーンを構築する企業に対して BCP の策定や適用を求められるケースも見られる。

BCP を運用していく上で、関連法規及び関係官公庁等との関係も生じてくる。例えば、災害対策基本法や都道府県の防災計画等に基づく国や自治体との情報共有、連携も場合によっては必要になってくる。

また中小企業庁は「中小企業 BCP 策定運用指針」（2006 年 2 月）<sup>9)</sup>を策定している。

## 3.4 建物の設計技術資料における BCP の評価指標

### 3.4.1 国内の公共施設に関する指針類

ここでは、国内の官庁施設に関する以下の指針類の中で、主に地震時の事業継続・機能維持を目標として設定されている水準およびそのために建築構造に要求している水準を整理する。

- (1) 国家機関の建築物及びその付帯施設の位置、規模、及び構造に関する基準（1994 年 12 月 15 日、2013 年 3 月 29 日改正）<sup>10)</sup>

この基準は、官庁施設の位置、規模、及び構造に関する基準を定めており、特に地震に対しては、安全性の確保の観点から、構造体、建築非構造部材、建築設備について基準を示している。

他に「国家機関の建築物及びその付帯施設の保全に関する基準」（2005年5月27日）もある。

(1) 官庁施設の基本的性能基準（2013年3月29日、2015年31日一部改訂）<sup>11)</sup>

この基準は、官庁施設の性能の水準並びに技術的事項及び検証方法を定め、官庁施設として有すべき性能を確保することを目的としている。

(2) 官庁施設の総合耐震・対津波計画基準（2013年3月29日）<sup>12)</sup>

この基準は、官庁施設の地震災害、津波災害及びこれらの二次災害に対する安全性と保全に関する事項を定め、地震及び津波による災害時に官庁施設として必要な機能の確保を図ることを目的としている。

(3) 業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針（2010年3月31日、2016年10月14日改定）<sup>13)</sup>

この指針は、発災時において官庁施設に求められる機能を定め、それを満たすための具体的手法を示すことにより、業務継続の確実な実施に資することを目的としている。

(4) 災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）（2018年1月）<sup>14)</sup>

このガイドラインは、総プロ「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」の成果を基に、自治体の災害対策本部など災害応急対策の拠点となる建築物が、被災時においてもその機能を継続して發揮できるように、設計に当たって配慮すべき事項がまとめられたものである。

(5) 防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン（2018年5月、2019年6月追補版）<sup>15)</sup>

このガイドラインは、庁舎、避難所、病院など、大地震時に防災拠点等となる建築物について、大地震時の安全性確保に加えて機能継続を確保するため、企画・設計・管理の各段階において参考となる事項をまとめたものである。追補版では、既存建築物を対象にした記述が加えられている。

### 3.4.2 官庁施設の設計の水準の観点から

上記の(1)の「国家機関の建築物及びその付帯施設の位置、規模、及び構造に関する基準」では、官庁施設を12種類に分け、その重要度から2-3のグループに分類して、構造体、建築非構造部材、建築設備について極めて稀に発生する地震動に対する耐震性能の目標を定めている。この(1)に基づき、(2)の「官庁施設の基本的性能基準」では安全性のみならず多岐にわたって官庁施設の基本的性能、技術的事項及び検証方法を定めている。その中でも地震・津波時に必要な機能は、(3)の「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」に示されている。これらの関係を整理すると、表2のようになる。これによって、国土交通省は耐震安全性の目標を、表3および表4のように整理している。

表 2. 3つの基準の関係

官庁施設の 位置・規 模・構造	「国家機関の建築物及びその付帯施設の位置、規模及び構造に関する基準」	
	官庁施設の性能の水準	「官庁施設の基本的性能基準」
	地震・津波時に必要な機能	「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」

表 3. 耐震安全性の目標

部位	分類	耐震安全性の目標
構造体	I類	大地震動後、構造体の補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られるものとする。
	II類	大地震動後、構造体の大きな補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて機能確保が図られるものとする。
	III類	大地震動により構造体の部分的な損傷は生じるが、建築物全体の耐力の低下は著しくないことを目標とし、人命の安全確保が図られるものとする。
建築非構造部材	A類	大地震動後、災害応急対策活動等を円滑に行ううえ、又は危険物の管理のうで支障となる建築非構造部材の損傷、移動等が発生しないことを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られるものとする。
	B類	大地震動により建築非構造部材の損傷、移動等が発生する場合でも、人命の安全確保と二次災害の防止が図られていることを目標とする。
建築設備	甲類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られているとともに、大きな補修をすることなく、必要な設備機能を相当期間継続できることを目標とする。
	乙類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られていることを目標とする。

表 4. 官庁施設の分類と各種耐震安全性能の分類との対応

耐震安全性の分類			官庁施設の種類の
構造体	非構造部材	設備	
I類	A類	甲類	(一) 災害対策基本法（昭和三十六年法律第二百二十三号）第二条第三号に規定する指定行政機関が使用する官庁施設（災害応急対策を行う拠点となる室、これらの室の機能を確保するために必要な室及び通路等並びに危険物を貯蔵又は使用する室を有するものに限る。以下（二）から（十一）において同じ。） (二) 災害対策基本法第二条第四号に規定する指定地方行政機関（以下「指定地方行政機関」という。）であって、二以上の都府県又は道の区域を管轄区域とするものが使用する官庁施設及び管区海上保安本部が使用する官庁施設 (三) 東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、愛知県、大阪府、京都府及び兵庫県並びに大規模地震対策特別措置法（昭和三十九年法律第七十三号）第三条第一項に規定する地震防災対策強化地域内にある（二）に掲げるもの以外の指定地方行政機関が使用する官庁施設 (四) (二) 及び（三）に掲げるもの以外の指定地方行政機関が使用する官庁施設並びに警察大学校等、機動隊、財務事務所等、河川国道事務所等、港湾事務所等、開発建設部、空港事務所等、航空交通管制部、地方气象台、測候所及び海上保安監部等が使用する官庁施設
II類			
I類	A類	甲類	(五) 病院であって、災害時に拠点として機能すべき官庁施設 (六) 病院であって、(五) に掲げるもの以外の官庁施設
II類			
II類	A類	乙類	(七) 学校、研修施設等であって、災害対策基本法第二条第十号に規定する地域防災計画において避難所として位置づけられた官庁施設（(四) に掲げる警察大学校等を除く。） (八) 学校、研修施設等であって、(七) に掲げるもの以外の官庁施設（(四) に掲げる警察大学校等を除く。） (九) 社会教育施設、社会福祉施設として使用する官庁施設
	B類		
I類	A類	甲類	(十) 放射性物質若しくは病原菌類を貯蔵又は使用する施設及びこれらに関する試験研究施設として使用する官庁施設
II類			(十一) 石油類、高圧ガス、毒物、劇薬、火薬類等を貯蔵又は使用する官庁施設及びこれらに関する試験研究施設として使用する官庁施設
III類	B類	乙類	(十二) (一) から（十一）に掲げる官庁施設以外のもの

### 3.4.3 災害時の業務（機能）継続の観点から

表 3, 4 に見られるように、従来から大地震動（極めて稀に発生する地震動）に対して機能確保が図られてきたが、3.4.1 節の(4)(5)(6)のガイドラインでは、より業務継続のための対策に重点が置かれている。また首都直下地震を想定して、内閣府（防災担当）が、(7)「中央省庁業務継続ガイドライン」（第1版<sup>16)</sup>：2007年6月、第2版<sup>17)</sup>：2016年4月）および(8)「政府業務継続計画（首都直下地震対策）（案）」（2018年3月）<sup>18)</sup>を定めている。

上記(4)の「業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針」では、地震・津波および水害を主な対象とし、発災時に官庁施設に求められる機能を定め、それを満たすための具体的手法を示すことにより、業務継続を確実に実施することを目的としている。そのために「官庁施設の目標とする性能と機能」と「発災時における施設機能確保のための運用計画の作成」について述べている。

BCP の評価指標としては、構造体の耐震安全性の分類（表 5）、建築非構造部材および建築設備の耐震安全性の目標をそれぞれ表 6, 7 のように示している。また家具類の設置場所や固定方法、OA 機器の固定方法についてもチェックを行うこととし、さらに水害を想定し、家具類・OA 機器は、最高水位より高い位置・階に設置することとしている。

上記(5)の「災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）」<sup>14)</sup>は、国土交通省総合技術開発プロジェクト「災害拠点建築物の機能継続技術の開発（2013年度～2016年度）」（以下、「災害拠点総プロ」）の成果を基に、庁舎を中心に災害拠点建築物の機能維持の観点から設計ガイドラインとして提示されたものである。ここでは、「機能継続に支障となるような損傷を生じない」ことを目標性能とし、各外乱に対する各部位の安全性の目標を示している。

構造躯体の耐震安全性の目標は、「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」（表 3）を踏襲している。構造躯体の耐風安全性の目標は、「官庁施設の基本的性能基準」のⅠ類、Ⅱ類を踏襲するとともに、より高い性能水準の設定として、更に遭遇する可能性が低い暴風に対する安全性を確保するための性能水準にも言及している。例えば竜巻についてもその趣旨に準じた扱い方を示している。津波に対しても、その荷重の特性を考慮して、倒壊・崩壊に対して相当の余裕を確保することを目標性能に加えている。

非構造部材の耐震安全性の目標および建築設備の耐震安全性の目標についても、「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」（表 3）を踏襲している。それに加えて竜巻等による飛来物の衝撃に対して安全性を確保する点は、災害拠点総プロの技術開発によって対策が可能になった例と考えられる。

また、時間軸に沿った機能確保目標の設定として、物資の備蓄・供給やオペレーション上の支障等による機能継続への影響についても、被害シナリオに沿って、各段階で期待される機能を整理しておくことの重要性に言及している。

最後に(6)の「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」は、建築主、設計者、管理者が、防災拠点建築物の機能継続を図る際の参考となるよう、企画、設計、運用の各段階における基本的な考え方を示している（表 8, 9）。その際に検討すべき、立地、建築計画、構造計画、設備計画、管理面に関する基本的な事項が取りまとめられており、機能継続ガイドラインのチェックリストを用いて機能継続のために検討すべき事項を確認していくこととしている。ここには「災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）」<sup>14)</sup>の中の要素技術の内容が適宜取り入れられている。なお既存建築物のための内容を追加した追補版が2019年6月に公開されている。

機能継続に係る目標として、(3)の「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準」、「文教施設の耐震性の向上の推進について」、(5)の「災害拠点の設計ガイドライン（案）」を踏襲すると共に、一般社団法人日本建築構造技術者協会の「JSCA 性能設計【耐震性能編】」を参考としている。

また非構造部材、建築設備の目標水準を設定するにあたっては、構造体について設定した変形量や床応答加速度等の目標水準に対して、非構造部材や建築設備に重大な被害が発生せず、かつ必要な機能を発揮できることを目標としている。さらに室内の使用継続性の目安として、床応答加速度について目標水準を設定することも示している。

次に、時間軸に沿った対象建築物の機能継続の目標の設定にあたっては、対象建築物が大地震時に求められる役割、ライフラインの復旧に要する想定時間など、災害・復旧シナリオを想定したうえで、対象建築物が機能継続するために必要な、ライフライン途絶時における自立期間の目標を設定することとしている。参考事例として、総務省消防庁は、庁舎については、72 時間は外部からの供給なしで非常用電源が稼働できること、停電の長期化に備えて予め燃料販売事業者と協定を締結すること等により 1 週間程度は災害対応に支障が出ないよう準備することを推奨している。病院については、厚生労働省は、災害拠点病院の指定要件として、通常時の 6 割程度の発電容量のある自家発電機等を保有し、3 日分程度の燃料を確保しておくこととしていることを紹介している。

特に代替施設の確保が困難な場合には、通常的设计よりも余裕を持たせるため、より大きな地震力を用いる等により建築物が倒壊・崩壊しないことを確かめ、耐震性の余力を確保することも考えられる。また、施設が分散配置されている場合は、それぞれが少しでも耐震性の余力を確保することが、大地震時に機能継続できる施設を地域に残す可能性を高めることにつながると考えられる。より頻度の低い大地震を想定することや、周期特性等が異なる複数の地震動を想定することも考えられる。

表 5. 耐震安全性の目標に応じた構造体の耐震安全性の分類

分類	活動内容	対象施設	耐震安全性の分類
災害応急対策活動に必要な施設（災害対策の指揮、情報伝達等のための施設）	災害時の情報の収集、指令 二次災害に対する警報の発令 災害復旧対策の立案、実施 防犯等の治安活動 被災者への情報伝達 保健衛生及び防疫活動 救援物資等の備蓄、緊急輸送活動等	左記のうちの中核的施設	I 類
		上記以外の施設	II 類
一般官庁施設			III 類

表 6. 建築非構造部材の耐震安全性の目標

耐震安全性の分類	耐震安全性の目標
A 類	大地震動後、災害応急対策活動や被災者の受け入れの円滑な実施又は危険物の管理のうえで、支障となる建築非構造部材の損傷、移動等が発生しないことを目標として、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
B 類	大地震動により建築非構造部材の損傷、移動等が発生する場合でも、人命の安全確保と二次災害の防止が図られている。

表 7. 建築設備の耐震安全性の目標

耐震安全性の分類	耐震安全性の目標
甲類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られているとともに、大きな補修をすることなく、必要な設備機能を相当期間継続できる。
乙類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られている。

表 8. 防災拠点等となる建築物の設計等に当たっての関係者の役割

担当	目的	チェック事項
建築主	対象建築物に求められる役割の明確化	大地震時に対象建築物において遂行すべき業務を特定する。
		大地震時に対象建築物が果たすべき具体的な機能について設計者に明示する。
設計者	建築主による機能継続の目標設定のサポート	大地震時における建築物の状態と、期待できる機能継続性の関係について明らかにする。 建築主から示された具体的な機能の継続性を評価し、対象建築物の機能継続の目標設定をサポートする。
	一貫した設計のための適切な業務管理	設計を統括する立場の者は、構造体、非構造部材、建築設備について一貫した設計が行われるよう、設計業務全体を管理する。
管理者	日常の管理、大地震時の点検・復旧の実施	日常の維持管理、物品の備蓄、大地震時の点検、補修等が円滑に行われるよう、関係者の訓練を実施する。
		日常の維持管理、物品の備蓄、大地震時の点検、補修等が円滑に行われるよう、手順書を作成する。

表 9. 機能継続に係る目標

担当	目的	チェック事項
建築主	機能継続の目標の設定	地域防災計画や組織のBCPに基づいて大地震時における機能継続の目標を明確にし、設計者へ伝達する
		機能継続の目標の設定において、各地方公共団体の防災担当部局等と連携する
設計者	建築主による機能継続の目標設定のサポート	大地震時における対象建築物の状態と機能継続性との関係を建築主にできるだけ分かりやすく説明する
	建築物の状態等に関する目標水準・目標期間の設定	大地震時における構造体の状態に関する目標水準を設定する
		大地震時における非構造部材の状態に関する目標水準を設定する
		大地震時における建築設備の状態に関する目標水準を設定する
		ライフライン途絶時において、対象建築物が機能継続するために必要な自立期間の目標期間を設定する
さらに大きな地震動の想定	代替施設の確保が困難な場合に、耐震性の余力を確保する 施設が分散配置されている場合に、建物それぞれが耐震性の余力を確保し、大地震時に機能継続できる施設の確保の可能性を高める 建築基準法で規定する極めて稀に発生する地震動以外に、より頻度の低い大地震や、周期特性が異なる複数の地震動についても想定する	

### 3.4.4 国内の指針の例

#### (1) BCP 対応ビル指針(案)<sup>19)</sup> (2016年9月30日)

「極く稀に発生する大地震動に対する機能確保」と「稀に発生する内水・外水氾濫等に対する機能確保」に対して、人命の安全確保に止まらず、建築物として次の機能を確保することを求めている。

- ①執務空間が確保できること
- ②業務を実施できる条件が確保できること

さらに、これらを確保するために次の措置を求めている。

③震災又は水害（以下、「震災等」という。）の発生後の対応が適切に講じられること

④発災時に①～③が実効性を有するよう、発災に備えて適切に維持管理しておくこと

例として、大地震動に対する機能確保のグレードを下記に示す。

大地震動の後の BCP 対応ビルの建築物としての機能確保のグレードの基本的考え方については、次の3段階としている。

グレードⅠ：大地震動の後、補修（構造体以外にかかる軽微なものを除く。）の必要が生じずに、かつ、ライフラインの途絶に対して相当の時間以上自立的に、ほぼ全館の執務空間における業務が支障無く継続して実施できるよう、建築物としての機能が確保できる建築物

グレードⅡ：大地震動の後、大規模補修の必要が生じずに、かつ、ライフラインの途絶に対して一定の時間以上自立的に、大半の執務空間における業務が相当な支障が無く継続して実施できるよう、建築物としての機能が確保できる建築物

グレードⅢ：大地震動の後、大規模補修（一定の業務中断が必要な場合を含む。）の実施によって、大半の執務空間における業務が重大な支障が無く実施できるよう、建築物としての機能が確保または復旧できる建築物

そしてごく稀に発生する大地震動に対する各グレードの建築物の構造体、非構造部材、建築設備及びエレベーターに求められる性能が提示されている（表 10）。

(2) JSCA 性能設計説明書 2017年版【耐震性能編】<sup>20)</sup> (2018年3月)

阪神・淡路大震災を契機に、建物の耐震性能として人命保護、財産保全、機能維持が求められるようになり、また首都直下地震、上町断層地震、南海トラフや相模トラフに関連する地震動の様々なタイプの地震動の作用が想定される中、建築主や社会が要求する耐震性能を実現する性能設計を行うにあたり、参考となる事項が整理されている。

ここでは耐震性能の「性能メニュー」（表 11）を用いて建築主との合意を形成しようとしている。このとき、構造骨組の被害の程度、建築物としての機能維持の程度、構造骨組と仕上材等に要する修復の程度という「建物の状態」を指標として、耐震性能のグレードを示していることが特徴である。

また耐震性能を高めた場合のメリットとして、損害額（ライフサイクルコスト）の低減と並んで事業継続・早期復旧の有効性が述べられており、BCP 対応への性能設計の意義について述べている。

表 10. ごく稀に発生する大地震動に対して建築物の構造体、非構造部材、建築設備及びエレベーターに求められる性能

	グレード I	グレード II	グレード III
高さ 60 メートル以下の建築物の構造体	必要保有水平耐力が 1.5 倍以上、かつ層間変形角が、RC 造・SRC 造で 1/200 以下、S 造・CF T 造で 1/100 以下。 限界耐力計算では、層間変形角が補修を要する限界に達しない。	必要保有水平耐力が 1.25 倍以上、かつ層間変形角が、RC 造・SRC 造で 1/200 以下、S 造・CF T 造で 1/100 以下。 限界耐力計算では、層間変形角が大規模補修を要する限界に達しない。	必要保有水平耐力が 1.0 倍以上、かつ層間変形角が、RC 造・SRC 造で 1/200 以下、S 造・CF T 造で 1/100 以下。 限界耐力計算では、層間変形角が大規模補修よって構造体の性能が発揮できる限界に達しない。
高さが 60 メートルを超える建築物または免震構造の建築物の構造体	構造体の損傷が、構造体の性能を維持するための補修を要しない。	構造体の損傷に対して、大規模補修を要しない。	構造体の損傷に対して、大規模補修によって構造体の性能が復旧できる。
非構造部材	損傷によって、業務に支障を生じない。	損傷に対する大規模補修を必要とせず、業務に相当な支障を生じない。	大規模補修によって業務に重大な支障を生じないよう復旧できる。
建築設備	損傷や機能停止が、業務に支障が無い程度。 ライフラインの途絶に対して 72 時間以上自立。	損傷や機能停止が、大規模補修を必要とせず、業務に相当な支障が無い程度。 ライフラインの途絶に対して 24 時間以上自立。	損傷や機能停止が、大規模補修によって業務に重大な支障が無い程度。 ライフラインの途絶に対して、一定時間以上応急的に機能を確保するための非常用電源の設置等とエネルギー等の備蓄。
エレベーター (グレード II 及び III については、5 階以下の建築物は除く。)	すべてのエレベーターが損傷等を被らない。 自動で診断復旧して継続的に運転できるエレベーターを、業務に支障を生じないための所要の台数備える。	一部のエレベーターが損傷等を被らない、かつ、その他のエレベーターが損傷等を被らない。	(希に発生する大地震動によって) すべてのエレベーターが損傷等を被らない。

表 11. JSCA 性能設計【耐震性能編】パンフレットより「性能メニュー」

構造	地震の 大きさ	稀に 発生する地震動 [震度 5 弱程度]	かなり稀に 発生する地震動 [震度 5 強程度]	極めて稀に 発生する地震動 [震度 6 強程度]	余裕度 検証用の地震動 [震度 7 程度]
	耐震性能 グレード				
耐震・ 制振	特 級	無被害 機能維持	無被害 機能維持	軽微な被害 主要機能確保	小破 指定機能確保
	上 級	無被害 機能維持	軽微な被害 主要機能確保	小破 指定機能確保	中破 (～大破) 限定機能確保
	基準級	無被害 機能維持	—	中破 (～大破) 限定機能確保	—
免震	免震特級	無被害 機能維持	無被害 機能維持	軽微な被害 主要機能確保	軽微な被害 主要機能確保
	免震上級	無被害 機能維持	無被害 機能維持	軽微な被害 主要機能確保	小破 指定機能確保
	免震基準級	無被害 機能維持	—	軽微な被害 主要機能確保	—

### 3.4.5 海外の指針の例

#### Resilience-based Earthquake Design Initiative for Next Generation of Buildings (REDi™ Rating System)<sup>21)</sup>

REDi™ は、Arup のメンバーが、多くの参加者を得てまとめたドキュメントである。その目的は、地震に対するレジリエンス性能を図 2 に示す枠組み (Building Resilience, Organizational Resilience, Ambient Resilience, Loss Assessment で構成) に沿って評価し、言わば”Resilience-Based Design”を目指そうというものである。ここでは、図 5 に示すように、建物のレジリエンスの目的とするレベル (Platinum, Gold, Silver) に応じて確保すべき条件を示している。

図 4 のレジリエンス性能の枠組 (REDi Framework) は、以下の 4 つの観点から成立している。

- 1) **Building Resilience** (建築、構造、設備に起こりうる損傷を高度な技術で最小化)  
免震構造やエネルギー吸収技術の発達と解析技術の進歩によって、合理的に被害を低減する設計が可能になり、人命の安全に加えて所有者の財産を守ることが可能になってきている。
- 2) **Organizational Resilience** (ライフライン断絶など不測の事態に対処して事業を継続できる計画)  
機能を回復するまで、建物の補修の時間に加えて、損傷に起因する事態から回復する時間を要する。地震の前に、起こりうる事態に備える計画を行うことが、リスクを低減する。
- 3) **Ambient Resilience** (1 つの建物被害が、周辺に及ぼすリスクを最小化)  
高密度の都市部では、被害建物の倒壊や瓦礫の散乱が、道路や周辺建物に影響する。津波や斜面崩壊は地域の回復を遅らせる。これらを防ぐための立地条件などに配慮する必要がある。
- 4) **Loss Assessment** (経済的損失やダウンタイム (down-time) の評価)  
Resilience-Based Design を実行するには、経済的損失やダウンタイムを見積もることによって、定性的に損失の予測を行うことが必要である。

次に、レジリエンスの目的とするレベルを以下の表 12 のように 3 段階に設定している。

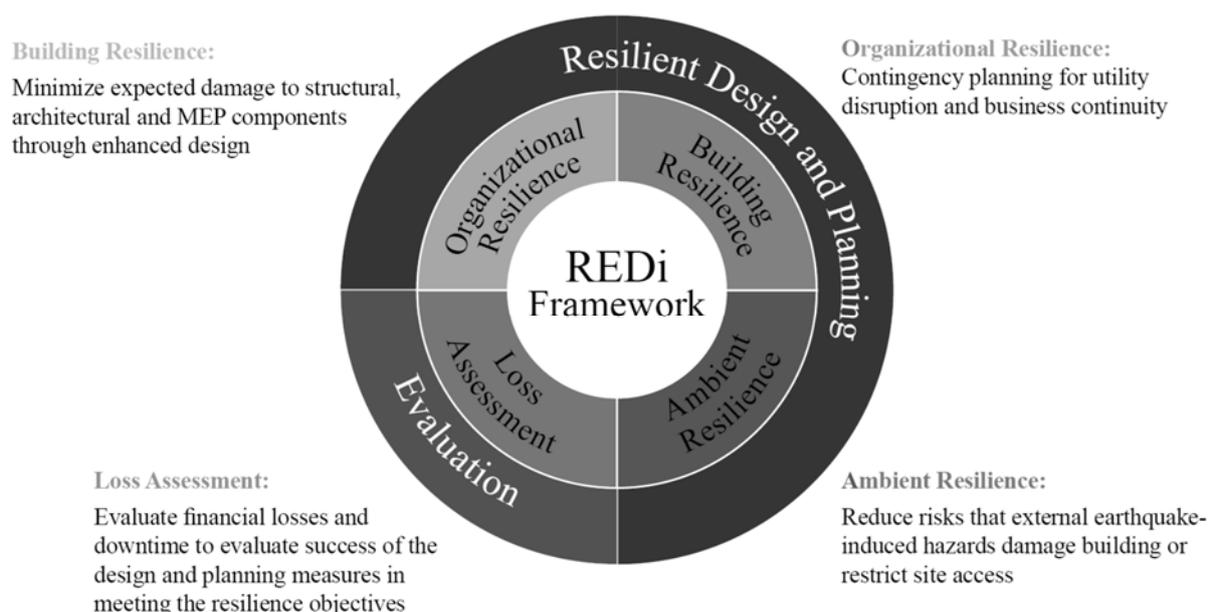


図 4. REDi Framework

## Baseline Resilience Objectives for Design Level Earthquake

Platinum	<p><b>Downtime:</b> Immediate Re-Occupancy (Green Tag expected) and Functional Recovery &lt; 72 hours</p> <p><b>Direct Financial Loss:</b> Scenario Expected Loss &lt; 2.5%</p> <p><b>Occupant Safety:</b> Physical injury due to failure of building components unlikely</p>
Gold	<p><b>Downtime:</b> Immediate Re-Occupancy (Green Tag expected) and Functional Recovery &lt; 1 month<sup>1</sup></p> <p><b>Direct Financial Loss:</b> Scenario Expected Loss &lt; 5%</p> <p><b>Occupant Safety:</b> Physical injury due to failure of building components unlikely</p>
Silver	<p><b>Downtime:</b> Re-Occupancy &lt; 6 months (Yellow Tag possible) and Functional Recovery &lt; 6 months<sup>1</sup></p> <p><b>Direct Financial Loss:</b> Scenario Expected Loss &lt; 10%</p> <p><b>Occupant Safety:</b> Physical injury may occur from falling components (but not structural collapse), fatalities are unlikely</p>

図 5. Baseline Resilience Objective<sup>21)</sup>

表 12. Baseline Resilience Objectives for Design Level Earthquake<sup>21)</sup>

	Platinum	Gold	Silver
Down time	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Immediate Re-Occupancy</li> <li>• Functional Recovery &lt; 72 hours</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Immediate Re-Occupancy</li> <li>• Functional Recovery &lt; 1 month</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Re-Occupancy &lt; 6 months</li> <li>• Functional Recovery &lt; 6 months</li> </ul>
Direct Financial Loss	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scenario Expected Loss &lt; 2.5%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scenario Expected Loss &lt; 5%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scenario Expected Loss &lt; 10%</li> </ul>
Occupant Safety	Physical injury due to failure of building components unlikely	Physical injury due to failure of building components unlikely	Physical injury may occur from falling components (but not structural collapse), fatalities are unlikely

### 3.5 実務の事例

様々な立場で BCP の推進が図られているが、そのうち開発者の例と、設計施工者の例を紹介する。

#### (1) 森ビルの「総合震災対策」<sup>22)</sup>

##### ①構造ヘルスマニタリングシステム

大地震直後に実測データに基づく安全確認ができることは、テナントの BCP 及び居住者への安全・安心に寄与し、また帰宅困難者受入れに際しても効果を発揮するとの考え方である。速報レポートや判定結果をメールで関係者に一斉自動送信し、災害時情報収集システムと連動させることで、最優先確認フロアを指示するとともに、広域被災推測で近隣ビルからの応援などにも効果を高めようとするものである。

##### ②エネルギー

独自のエネルギープラントによる安定的な電力供給、都市（中圧）ガスを燃料とする系統電力によるバックアップと灯油のストックを行っている。

またエレベーター長周期地震動管制システムにより、エレベーターを安定的に運行するとともに、エレベーター籠内救護キャビネットの設置している。

##### ③ソフト

例えば六本木ヒルズでは、夜間、休日にも迅速な初動を可能とする防災組織体制、管理職社員 1 名が 1 泊ずつ交代で六本木ヒルズに宿泊するとともに、防災要員社宅が六本木ヒルズ近隣 2.5km 圏内にあり、震災対策本部の立ち上げや緊急対応のために管理事業部社員 7 名が六本木ヒルズの近隣住宅に入居している。

また継続的な防災人員育成、徒歩出退社訓練、防災用自転車（サバイバルシティバイク）の利用を行っている。

##### ④備蓄

民間では最大規模となる約 27 万食（うち六本木ヒルズに 10 万食）の備蓄食料を持っており、このうち来街者（帰宅困難者）用には、1 人あたり 9 食分（1 日 3 食、3 日分）、計約 10 万食を用意している。そのほか、東日本大震災後、アルミブランケット（防寒保温シート）を新規購入するなど、備蓄内容は随時見直している。災害用井戸も自主設置している。

#### (2) 三井不動産の「防災対策・BCP サポートの強化」、「防災ガイドブック」<sup>23)24)</sup>

##### ①インフラ停止後 72 時間の電力機能確保・主要機能の維持

a)72 時間対応の非常用発電設備の標準装備（専用部にも電力供給可能）

b)主要機能の維持・早期復旧のための対応強化（エレベーター・トイレ・換気など）

c)建物被災度判定システムの導入拡大（高さ 60m 未満のビルにも導入）

##### ②帰宅困難者対応の強化

a)防災備蓄品の配備を強化（「在館人口」＋「一般帰宅困難者（想定）」の 1 日分の水・食料確保）

b)情報発信の強化（情報提供のための TV モニター等を設置）

##### ③『危機管理センター』の機能向上・スペース拡張

a)災害時に情報の一元管理、総合的判断など、司令塔の役割を果たす「危機管理センター（常設）」の機能向上・スペース拡張

b)専用回線による最新のTV会議システムなど複数の非常時通信インフラを完備

c)当直体制による365日24時間対応

#### ④防災関連ガイドブックの発行

a)テナント企業に防災の取り組みや、什器の転倒対策の重要性を伝えるための『防災ガイドブック』『オフィス什器転倒落下防止ガイドブック』を発行

#### (3) 清水建設のBCP関連技術

地震発生後の事業の早期復旧を目指して、揺れの直前、揺れた直後、復旧時の3つのタイミングに対して事業継続確保をサポートする技術の他、地域防災を考えた取り組みを行っている。

##### ①揺れの直前 緊急地震速報活用システム<sup>25)</sup>

大きな揺れが来る前に、さまざまな伝達ツールを使い警報を発報し、関係者に地震波の到達時間・震度予測を伝えることで、安全確保や二次災害防止への対応を促すことができる。

##### ②揺れた直後 構造ヘルスマニタリングシステム<sup>26)</sup>

構造ヘルスマニタリングシステムで、1分ほどで構造体の健全性と天井・仕上げ材の損傷度を階別に表示することで、損傷の大きな階の把握や、建物からの避難有無の判断を支援することができる。

##### ③復旧時 ecoBCPクラウドサービス<sup>27)</sup>

クラウドサービスを活用して、事業復旧に向けた情報を効率よく整理し、表示する。また、非常時だけでなく、平常時の電気、コージェネ、水道、ガスといった主要設備の稼働状況などの施設情報の一括管理を実現し、エネルギーコストの削減や施設管理効率の向上を支援する。

##### ④京橋スマートコミュニティの地域を守る防災拠点としての機能<sup>28)</sup>

中央区と連携して、帰宅困難者を支援する地域防災センターを設置するとともに、防災拠点としての機能を満足させるためのBCP数値目標を設けている（表13）。

表13. 京橋スマートコミュニティにおけるBCP数値目標とその対策

対象	求められる機能	対策・対応
建物損傷の防止	巨大地震において著しい損傷がないこと	免震システムの採用（レベル2（震度6強～7程度）でも損傷しない）
本社機能継続	72時間（3日間）の本社機能の維持 地下浸水対応	備蓄・貯留・代替手段の採用 電力：発電機燃料備蓄（3日間） 上水：水槽に備蓄（3日間） 下水：地下ピットに備蓄（3日間） 通信：内線電話・デジタル無線・衛星電話
地域との連携	帰宅困難者の一時退避場所の提供	帰宅困難者の生活の場を提供 場所：滞流スペースの確保 社内外の帰宅困難者及び残留者：4,000名 飲料水・食料等の備蓄

#### (4) 大林組の「BCM ソリューション」<sup>29)</sup>

大林組では、内閣府が「事業継続ガイドライン」を公表した 2005 年頃から、下記に列挙する機能維持に重きをおいた「事業継続」のための技術を顧客に提供してきている。当初は予測・評価技術が多かったが、東日本大震災以降、低減技術やヘルスマonitoring等復旧を早める技術への要望が高まっている。

##### ① 予測・評価技術「リスクをつかむ」

BCP達成度診断、自然災害リスク簡易診断、地震リスク評価システム、生産施設の事業継続マネジメント評価、有形資産リスク評価、ラプラシアンによる簡易水害予測、事業継続性能の総合評価 移転・建替え・代替地選定などの支援 等

##### ②被害低減技術「被害を減らす（事前対策）」

地震対策(免震、制振、耐震、設備機器転倒防止、液状化対策、配管・天井の耐震対策、自動ラック転倒防止など)、風害対策、水害対策、爆発・テロ対策、情報セキュリティ対策、落雷対策、瞬停(停電)対策、津波対策(直立浮上式防波堤)等

##### ② 早期復旧技術「復旧を早める（事後対策）」

###### ・大林組震災時 BCP／訓練による PDCA

総合防災情報システムによる情報収集

地震被害予測システム、

安否確認システム、

携帯 BCP（被害状況の迅速な収集）

###### ・顧客への緊急時体制

建物の損傷評価

構造ヘルスマonitoring（被災度即時判定システム、ポケレポ）

### 3.6 まとめ

2000 年代初めから BCP について官民で議論され、10 数年の間に BCP の必要性は、幅広い機関に理解され、BCP のための対策が浸透してきている。そして BCP を達成するために必要な BCM が導入され、ISO や JIS も BCM の規格として制定されている。

BCP と BCM の概念と内容は、3 章で紹介した各ガイドライン等において、それぞれに整理されている。一方、BCP の既存の評価指標として、BCP を目的としたガイドライン等の指標を整理した。

まず、災害対応施設の例として官庁施設の設計の水準の観点からは、国土交通省の「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準（2013 年 3 月 29 日）」が、その基本となっている。さらに国土技術政策総合研究所の「災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）」および「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドラインおよび追補版」では、国土交通省の災害拠点総プロの技術的成果が取り込まれている。

また一般社団法人日本建築構造技術者協会は JSCA 性能設計説明書【耐震性能編】を提示しており、国のガイドラインでも参考となる資料として引用されている。

次に、公益社団法人ロングライフビル推進協会の「BCP 対応ビル指針(案)」では、構造体、非構造部材、設備について指標を設けていることが共通しているが、エレベーターに対する指標を独立して与えている。また時間軸も指標になっており、「BCP 対応ビル指針(案)」や「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」では、高いグレードの建築物や防災拠点建築物に対しては、72 時間の自立を求めている。あるいは米国の「REDi™ Rating System」では、機能が回復するまでのダウンタイムが示され、ランクによって、72 時間、1 ヶ月、6 ヶ月で回復することが目安になっている。さらに「REDi™ Rating System」では、経済的損失も指標として示されている。

## 参考文献

- 1) リスク対策.com : 9.11 後の BCM の発展、誌面情報 Vol. 27、2011 年 9 月 25 日。  
<https://www.risktaisaku.com/articles/-/133>
- 2) JIS Q22301「社会セキュリティー 事業継続マネジメントシステムー要求事項」(2013)。
- 3) 企業と防災に関する検討会議：企業と防災～今後の課題と方向性、2003 年 4 月。  
<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kigyoutobousai/pdf/honbun.pdf>
- 4) 日本経済団体連合会：災害に強い社会の構築に向けて、2003 年 7 月 22 日。  
<https://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2003/070/honbun.html>
- 5) 中央防災会議：「民間と市場の力を活かした防災力向上に関する専門調査会」：民間と市場の力を活かした防災戦略の基本的提言、2004 年 10 月。  
<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kigyoutobousai/pdf/kihonteigen.pdf>
- 6) 中央防災会議：事業継続ガイドライン  
第一版「わが国企業の減災と災害対応の向上のために」(2005 年 8 月)  
第二版「わが国企業の減災と災害対応の向上のために」(2009 年 11 月)  
第三版「あらゆる危機的事象を乗り越えるための戦略と対応」(2013 年 8 月)  
<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kigyoutobousai/pdf/guideline03.pdf>
- 7) 中央防災会議：「事業継続ガイドライン」の解説と Q&A、日科技連、2006 年 1 月 17 日。
- 8) 経済産業省：事業継続計画策定ガイドライン、企業における情報セキュリティガバナンスのあり方に関する研究会 報告書 参考資料、2005 年 6 月。  
[https://www.meti.go.jp/policy/netsecurity/docs/secgov/2005\\_JigyoKeizokuKeikakuSakuteiGuideline.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/netsecurity/docs/secgov/2005_JigyoKeizokuKeikakuSakuteiGuideline.pdf)
- 9) 中小企業庁：「中小企業 BCP 策定運用指針」、2006 年 2 月。  
<https://www.chusho.meti.go.jp/bcp/>
- 10) 国土交通省官庁営繕部：国家機関の建築物及びその付帯施設の位置、規模、及び構造に関する基準、1994 年 12 月 15 日。  
<https://www.mlit.go.jp/common/000993666.pdf>
- 11) 国土交通省官庁営繕部：官庁施設の基本的性能基準、2013 年 3 月 29 日。  
<http://www.mlit.go.jp/gobuild/kijun/perform/perform.pdf>
- 12) 国土交通省官庁営繕部：官庁施設の総合耐震・対津波計画基準、2013 年 3 月 29 日。  
<https://www.mlit.go.jp/common/001157883.pdf>
- 13) 国土交通省官庁営繕部：業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針、2010 年 3 月 31 日。  
[http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild\\_tk2\\_000014.html](http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild_tk2_000014.html)
- 14) 国土技術政策総合研究所：災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)、国総研資料 第 1004 号  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn1004.htm> (2019 年 6 月 8 日確認)
- 15) 国土交通省住宅局：防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン(2018 年 5 月)、追補版(2019 年 6 月)  
[http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku\\_house\\_tk\\_000088.html](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk_000088.html)  
<http://www.mlit.go.jp/common/001292550.pdf>
- 16) 内閣府(防災担当)：中央省庁業務継続ガイドライン～首都直下地震への対応を中心として～、2007 年 6 月。  
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/20/pdf/shiry04.pdf>
- 17) 内閣府(防災担当)：中央省庁業務継続ガイドライン第二版(首都直下地震対策)、2016 年 4 月。  
[http://www.bousai.go.jp/taisaku/chuogyomukeizoku/pdf/gyoumu\\_guide\\_honbun160427.pdf](http://www.bousai.go.jp/taisaku/chuogyomukeizoku/pdf/gyoumu_guide_honbun160427.pdf)

- 18) 内閣府（防災担当）：政府業務継続計画（首都直下地震対策）（案）、2018年3月  
[http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/34/pdf/34\\_siryu2-7.pdf](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/34/pdf/34_siryu2-7.pdf)
- 19) 公益社団法人ロングライフビル推進協会：BCP対応ビル指針（案）、2016年9月30日。
- 20) 一般社団法人日本建築構造技術者協会：JSCA 性能設計説明書 2017年版【耐震性能編】およびパンフレット、2018年3月。
- 21) Ibrahim Almufti, Michael Willford, et al.: Resilience-based Earthquake Design Initiative for Next Generation of Buildings (REDi™ Rating System), Version 1.0, October 2013.
- 22) 森ビル株式会社：「逃げ出す街」から「逃げ込める街」へ 森ビルの総合震災対策、  
[https://www.mori.co.jp/pdf/pdf\\_safety\\_08.pdf](https://www.mori.co.jp/pdf/pdf_safety_08.pdf)
- 23) 三井不動産株式会社：「三井のオフィス」防災対策・BCPサポートの強化、2016年3月8日  
[https://www.mitsuifudosan.co.jp/corporate/news/2012/0308\\_01/download/20120308.pdf](https://www.mitsuifudosan.co.jp/corporate/news/2012/0308_01/download/20120308.pdf)
- 24) 三井不動産株式会社：「防災ガイドブック」  
[https://www.mitsuifudosan.co.jp/corporate/news/2012/0308\\_01/download/bousai\\_book.pdf](https://www.mitsuifudosan.co.jp/corporate/news/2012/0308_01/download/bousai_book.pdf)
- 25) 清水建設株式会社：緊急地震速報活用システム、<https://www.shimz.co.jp/solution/tech001/index.html>.
- 26) 岡田敬一，森井雄史，佐々木仁志：ベイズ更新と時刻歴応答解析を併用した地震直後の建物健全性判定支援システムー安震モニタリングSPシステムー，清水建設研究報告，第94号，pp.51-63，2017.1.
- 27) 清水建設株式会社：ecoBCPクラウドサービス，<https://www.shimz.co.jp/ecobcp/management.html>.
- 28) 清水建設株式会社：京橋スマートコミュニティ，<https://www.shimz.co.jp/ecobcp/cityplanning.html>.
- 29) 野畑有秀：特集解説「防災・減災」，大林組技術研究所報，No.79，pp.1-21，2015.

## 4. レジリエンス指標と BCP レベル指標の策定

### 4.1 はじめに

建物のレジリエンスと BCP レベル指標検討特別調査委員会では、2017 年から地震災害時の建物の抵抗力、機能維持・復旧力に着目した建物のレジリエンス性能を定量的に評価する指標について検討を行ってきた。

WG1 (BCP レベル指標・レジリエンス指標検討 WG) においては特に、「建物は、組織が災害時に事業を継続的に実施する場所である」という考え方にもとづき、構造性能に加えて、迅速に安全性の確認ができるのか、設備は使えるのか、といった視点も含めた、建物の事業継続にかかわる総合的な性能を「建物のレジリエンス性能」として捉え、BCP 策定時に利用可能な「建物の BCP レベル指標」のあり方について検討を行ってきた。

検討の前提条件として、以下の2つを設定した。

- 1) 対象とするハザードについては、地震について検討を行うこととし、火災、水害、高潮、津波、土砂災害等については今後の検討課題とする。
- 2) 地震動については「極めて稀に発生する地震動」を対象として例示を行う。それ以外の地震については、「極めて稀に発生する地震動」で想定した影響を下回ることから、本検討で規定した性能以上の評価になると考える。

BCP 策定時に利用可能な指標を作成するため、「建物の BCP レベル指標」については、★★★、★★、★、標準という4つのレベルを設定することとし、各レベル指標の建物に求められる性能について以下のようにすることとした。

★★★：90%の復旧が1週間以内

★★：90%の復旧が1カ月以内

★：90%の復旧が6カ月以内

標準：90%の復旧が6カ月以上

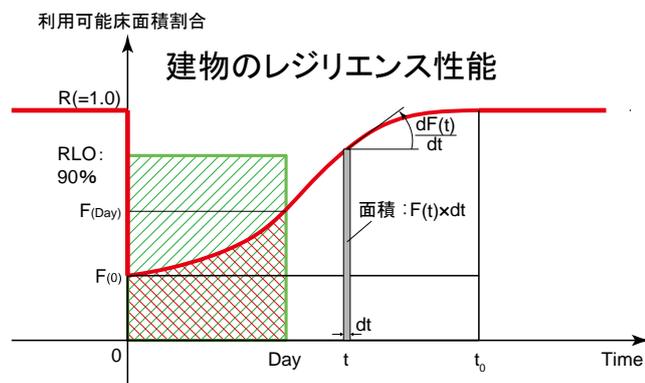
また、建物のレジリエンス性能を考える場合には、「被害を発生させないという抵抗力」、「迅速に復旧させるという復旧力」の2つの側面が存在することから、抵抗力特化型、復旧力特化型、両者のバランス型という側面から建物のレジリエンス性能を考えることとした。

### 4.2 建物のレジリエンス性能をどう定義するのか

BCP を考える際の評価指標は、「目標復旧時間、R.T.O.(Recovery Time Objective)」内に業務を回復することができるかどうかということであり、時間が重要な要素となる。したがって、BCP 策定に利用可能な建物レジリエンス性能を考える場合にも時間の要素は不可欠であり、「ある日数までの建物の復旧度 (利用可能な床面積等)」を建物のレジリエンス性能と定めることとした。

建物のレジリエンス性能は、3 日建物レジリエンス性能、7 日建物レジリエンス性能といったように、ある時間までの復旧率として設定され、その結果、各組織の BCP が定める目標復旧時間にあわせて建物のレジリエンス性能を評価することが可能となっている。

図 1 には、本検討における建物のレジリエンス性能の考え方を示す。  の面積は「3日間・1週間といった期間」と、「求められる建物性能（Recovery Level Objective, RLO）」（R=1.0 の場合）の積であり、建物に求められる性能で使い続けられた場合のサービスの量となる。  の面積は、実際の災害直後からある設定期間までに当該建物が提供可能なサービス量であり、復旧曲線（曲線）の勾配が各時点の建物の復旧力に対応する。ここでは  の面積（実際のサービス量） /  の面積（求められるサービス量）を建物のレジリエンス性能と定義する。



ある期間(=Day)と、目標レジリエンス比(=RLO)を定めた場合に、その期間までのレジリエンス性能は、  /  となり、下式で表せる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{Green hatched box} = (RLO \times R) \times Day \\ \text{Cross-hatched box} = \int_0^{Day} F(t) dt \end{array} \right\} \Rightarrow \text{(Day)日(RLO)\%レジリエンス性能: } R_{Day}^{RLO} = \frac{\int_0^{Day} F(t) dt}{(RLO \times R) \times Day}$$

RLOは90%で設定

図 1. 建物のレジリエンス性能の考え方

各組織は、BCPに合わせて必要な「建物のレジリエンス性能」を、例えば、災害直後から利用可能な建物が必要な場合には「1日レジリエンス性能が高い建物」を、7日後から業務再開ということであれば「7日レジリエンス性能が高い建物」をとるように、選択することが可能となる。

3日、7日といった固定の時間ではなく、レジリエンス性能を時間を任意に設定可能とすることで、抵抗力特化型、復旧力特化型、バランス型について、上記の考え方のもとに統一的に評価することが可能となる。図2に示すように、抵抗力特化型(b)では、1日レジリエンス性能が高く、復旧力特化型(a), (c)では、7日レジリエンス性能が高くなり、バランス型(d)では、1、7日レジリエンス性能ともある程度の性能を有することを定量的に示すことが可能となっている。

### 4.3 抵抗力・復旧力とレジリエンス性能

BCP を考える場合に復旧時間が重要な要素となることから、★★★★~標準という 4 つの「建物の BCP レベル指標」に対して個々の建物のレジリエンス性能をどのように分類していくのかについては、図3に示すように復旧時間を目的関数とし、災害に対する抵抗力と災害からの復旧力を説明変数として規定する。

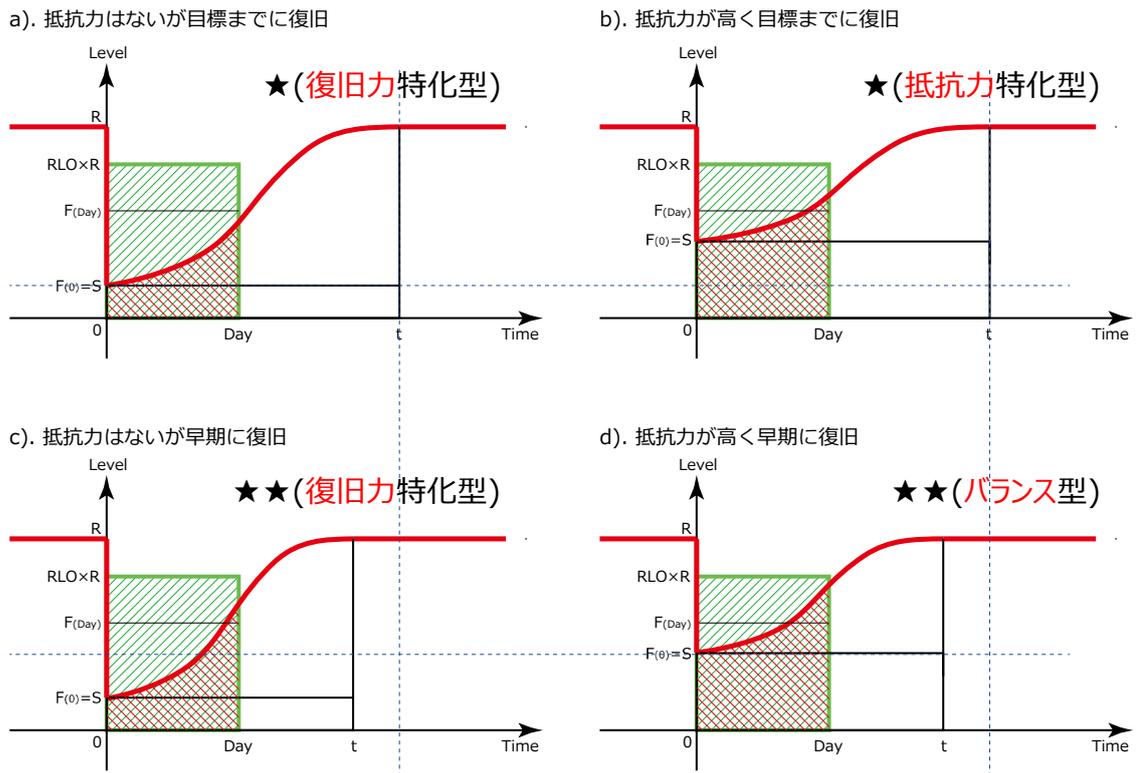


図2. 抵抗力特化型、復旧力特化型、バランス型

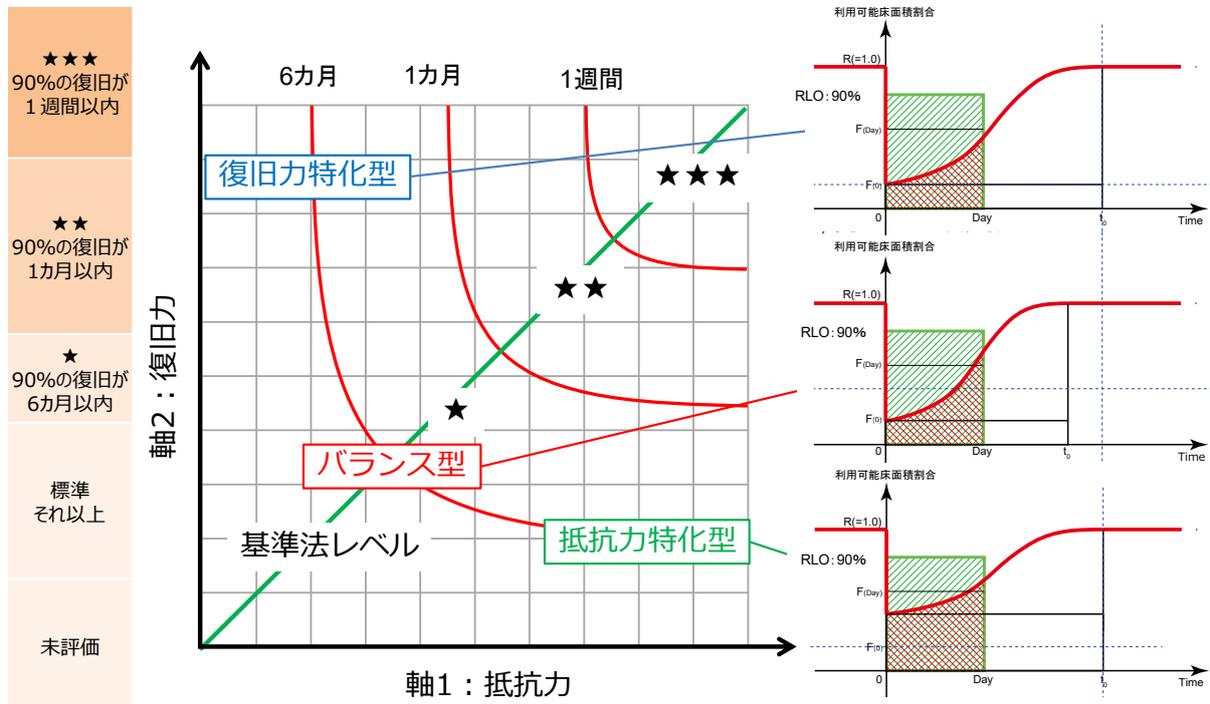


図3. 建物のBCPレベル指標の考え方

抵抗力は構造性能、スペックとして捉える。一方、復旧力はマネジメント、システム信頼性として考える。ここでは、表1に示すように、抵抗力、復旧力についての規定を設けることとした。

抵抗力については、「主要構造」「非構造部材」の耐震性能と、「設備」の耐震性能・システム信頼性に関する規定を設けた。「主要構造」については、「官庁施設の総合耐震・対津波計画基準平成25年版」<sup>1)</sup>が規定するⅠ類、Ⅱ類、Ⅲ類を導入し、建築基準法レベルにおいても性能にばらつきがあることから2段階に分類したうえで、無被害→大破までのレベルを設定した。「非構造部材」については、被害なし(変形追従可)→比較的大きな損傷のレベルを、「設備」については建築研究開発コンソーシアム「地震後の継続使用性と設備機器等の耐震性能に関する研究会」<sup>2)</sup>が規定する機器の耐震性×システム信頼性=ⅠからⅢの基準、に従ってレベル設定を行った。

表1. レジリエンス性能を規定する要素

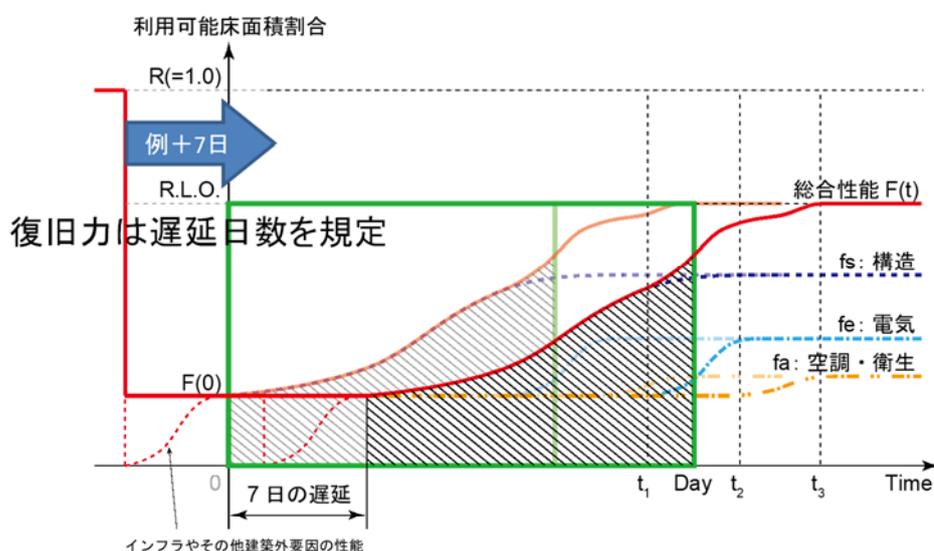
	抵抗力			復旧力			
	主要構造	非構造部材	設備	構造性能 安全を確認する仕組み	マネジメント	迅速な復旧のための 仕組み	
	ハード			ソフト			
高い ↑	無被害 Ⅰ類	被害なし (変形追従可)	機器の耐震性×システム信頼性=Ⅰ	・モニタリングシステム ・エビデンスとして残す仕組み ・ビル管理会社が確認	・変形性能が明示されていること	定期的訓練	振動解析用データ即時利用可 (図面有り)
	無被害 Ⅱ類	被害なし ～軽微な被害にとどまる	機器の耐震性×システム信頼性=Ⅱ	・チェックシートを整備 ・人的にチェックを行う仕組み	-	なし	静的な構造解析データ利用可 (図面有り)
	軽微な被害にとどまる (小破) Ⅱ類	中程度	機器の耐震性×システム信頼性=Ⅲ	・判定を建設会社・設計事務所 所に依頼	-		静的な構造解析データ利用可 (図面有り)
低い ↓	小破～中破 基準法レベル Ⅲ類	軽微な被害～比較的大きな損傷	機器の耐震性	・なし	-	-	構造解析データ利用不可 (図面有り)
-	中破～大破 基準法レベル Ⅲ類	比較的大きな損傷	なし	・なし	-	-	構造解析データ利用不可 (図面無し)

復旧力については、モニタリングやチェックシートの整備といった「構造性能安全を確認する仕組み」、定期的に BCP 対応訓練等を実施しているのかという「マネジメント」、さらには、構造計算結果や図面が利用可能かといった「迅速な復旧のための仕組み」に関する規定を設けた。「構造性能安全を確認する仕組み」については、構造ヘルスマニタリングシステムが導入されることや、変形性能が明示されていてビル管理会社が確認する仕組みが整備されていることを最上位としたレベル設定を行った。「マネジメント」については、BCP 訓練、

建物の被害把握訓練といった様々な訓練が定期的に行われていることの有無によりレベル設定を行った。「迅速な復旧のための仕組み」については、振動解析用データ即時利用可（図面有り）、静的な構造解析データ利用可（図面有り）、構造解析データ利用不可（図面有り）、構造解析データ利用不可（図面無し）というレベル設定を行った。

#### 4.4 建物のレジリエンス性能の定量化

建物のレジリエンス性能は、抵抗力と復旧力から構成される。抵抗力については構造、設備（電気、空調・衛生）の復旧曲線の重ね合わせとして考えることができる。建物が復旧するためには、まず構造体が復旧されることが前提となることから構造が先に復旧し、その後、電力、空調・衛生については、電力の供給が前提となることから最後に復旧することとなり、図4に示すような復旧曲線で復旧していくと考える。総合的な復旧曲線は、構造、電気、空調・衛生の重ね合わせとして考えることとする。



- ・ レジリエンス性能を構造・電気・空調/衛生に分離。
- ・ fsがある程度回復してからfeが上昇し始め、feがある程度回復してからfaが上昇し始める。
- ・ 各性能を分析/積上げていくことで  $\frac{dF(t)}{dt} = \frac{df_s}{dt} + \frac{df_e}{dt} + \frac{df_a}{dt}$  を表現。

図4. 建物のレジリエンス性能の定量評価

復旧力については定量的に示すことが難しいが、「構造性能安全を確認する仕組み」、「マネジメント」、「迅速な復旧のための仕組み」が準備されていないと復旧にとりかかる時間が遅れると考え、抵抗力により規定される復旧の取り組みを遅らせると定義することで簡易的に評価できる。

表1に示した規定のレベルが充足されているかどうかという観点から、建物のレジリエンス性能評価を具体的にを行うことが可能になると考える。今後、この考え方にに基づき定量的に「建物のレジリエンス性能」の評価を行うことが可能になると考えられるが、詳細な検討が必要であり、今回のWGの検討ではこの考え方にもとづく簡易的な評価手法の提示を行う。

#### 4.5 簡易法での評価

定量評価については今後の課題であるが、これまで説明してきた考え方にもとづき、中層建物の「建物のレジリエンス性能」の簡易評価手法の開発を行った。

抵抗力については表 1 に示す「主要構造」5 レベル、「非構造部材」5 レベル、「設備」5 レベルの組み合わせから 125 通りの図 4 に示すような復旧曲線を描くことが可能となるが、簡易的に判定が可能となるように、主要構造部に非構造もしくは設備の復旧日数の長い日数を加えた日数を復旧日数とすることとした。復旧力については、各項目の遅延日数の最大のものを復旧日数とすることとし、抵抗力に関する復旧日数+復旧力に関する復旧日数を建物のレジリエンス性能とした。すなわち、以下のような考え方で復旧日数を判定することとした。

復旧日数=主要構造の復旧日数+max(非構造、設備の復旧日数)+max(遅延日数)

また、図 3 にもとづき、復旧 1 週間以内を★★★、1 カ月以内を★★、6 カ月以内を★として「建物の BCP レベル」を判定する。

例えば、

<抵抗力>

「構造性能」：無被害（Ⅰ類）、「非構造部材」：被害なし（変形追従可）、「設備」：機器の耐震性×システム信頼性=Ⅱ

<復旧力>

「構造」：モニタリングシステムあり、「設備」：モニタリングシステムあり、「マネジメント」：定期的な訓練なし、「迅速な復旧のための仕組み」：振動解析用データ即時利用可（図面有り）

の場合は、

0 日（「抵抗力」主要構造）+7 日（「抵抗力」設備）+1 日（「復旧力」「マネジメント」定期的な訓練なし）=8 日

となり「建物の BCP レベル」は★★となる。

表 2 に建物のレジリエンス性能簡易計算のための基準を示す。

表2. 建物のレジリエンス性能簡易評価のための基準（中層建物）

中層建物	抵抗力			復旧力			
	主要構造	非構造部材	設備	構造	設備	マネジメント	迅速な復旧のための仕組み
	ハード			ソフト			
高い ↑	無被害 I類 0日	被害なし (変形追従可) 0日	機器の耐震性×システム信頼性=I 0日	・モニタリングシステム ・エビデンスとして残す仕組み ・ビル管理会社が確認 0日(遅延)	・モニタリングシステム ・エビデンスとして残す仕組み ・ビル管理会社が確認 0日(遅延)	定期的訓練 0日(遅延)	振動解析用データ即時利用可 (図面有り) 0日(遅延)
	無被害 II類 0日	被害なし ～軽微な被害にとどまる 7日	機器の耐震性×システム信頼性=II 7日	・チェックシートを整備 ・人的にチェックを行う仕組み 1日(遅延)	・チェックシートを整備 ・人的にチェックを行う仕組み 1日(遅延)	なし 1日(遅延)	静的な構造解析データ利用可 (図面有り) 3日(遅延)
	軽微な被害にとどまる(小破) II類 30日	軽微な被害にとどまる 14日	機器の耐震性×システム信頼性=III 14日	・判定を建設会社・設計事務所に依頼 7日(遅延)	・判定を建設会社・設計事務所に依頼 7日(遅延)		静的な構造解析データ利用可 (図面有り) 3日(遅延)
低い ↓	小破～中破 基準法レベル III類 90日	軽微な被害～比較的大きな損傷 30日	機器の耐震性 60日	・なし 14日(遅延)	・なし 14日(遅延)	-	構造解析データ利用不可 (図面有り) 14日(遅延)
-	中破～大破 基準法レベル III類 180日	比較的大きな損傷 90日	なし 90日	・なし 14日(遅延)	・なし 14日(遅延)	-	構造データ利用不可 (図面無し) 90日(遅延)

復旧日数=(主要構造の日数+max(非構造、設備))+max(遅延日数)

復旧日数<1週間=★★★、復旧日数<1カ月=★★、復旧日数<6カ月=★

#### 4.6 まとめ

建物のレジリエンス性能評価の考え方の整理を行い、地震ハザードを対象に「極めて稀に発生する地震動」を想定して、★★★：90%の復旧が1週間以内、★★：90%の復旧が1カ月以内、★：90%の復旧が6カ月以内、標準：90%の復旧が6カ月以上、という4つのレベルからなる「建物のBCPレベル指標」の提案を行った。

次に、構造体や設備の耐震性能といった「抵抗力」と、モニタリング・BCP訓練といったソフト要素に基づく「復旧力」をもとに、「建物のレジリエンス性能」を評価する枠組みを提案した。定量的に「建物のレジリエンス性能」の評価を行うには詳細な検討が必要であるが、簡易的に復旧日数を評価し建物のBCPレベル判定する「簡易法」の提案を行った。

今後の課題としては、火災、水害、高潮、津波、土砂災害など、地震とは異なるハザードを考慮することや、より詳細な定量的評価結果との比較を通じて簡易法の妥当性検証を行うことなどが挙げられる。

## 参考文献

- 1) 官庁施設の総合耐震・対津波計画基準 平成 25 年版、  
<http://www.mlit.go.jp/common/001050232.pdf>、2019 年 6 月 17 日閲覧
- 2) 木村 剛他、地震後の継続使用性を確保した新築建築物の設計・耐震性能評価 その 10 地震後の継続使用性に資する設備耐震の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州)、pp.49-50、2016

## 5. レジリエンス向上のための構造ヘルスマニタリングシステムの活用方法

### 5.1 序

企業・組織の被災後の事業継続計画（Business Continuity Plan, BCP）において、対象とする企業・組織の構成要素である建物と事業活動の機能維持・復旧（レジリエンス）性能に対する社会の認識や関心が高まりつつある。ここで、BCPは被災後の企業活動を継続するために必要な計画の立案を目的としており、レジリエンスの向上はその手段となる。レジリエンスとは Bruneau と Reinhorn<sup>1)</sup>が提案した概念であり、表現する指標の一つとして、ラピディティ（即時対応能力）が挙げられている<sup>1)~4)</sup>。それは「損傷や被害を受けた後に正常な状態まで回復するのに短い時間ですむ能力」と定義されており、構造ヘルスマニタリング（Structural Health Monitoring, SHM）システムはその具体的な対応技術として有効な活用手段となりうるものである。

平成 23 年東北地方太平洋沖地震や平成 28 年熊本地震などの震災を契機として、被災後の建物の安全に関わる性能のより正確な情報の提示が求められるようになってきている。このような状況のもと、被災後の建物の健全性を評価・把握する SHM システムには BCP への活用という観点から大きな関心が寄せられている<sup>5),6)</sup>。ここで、SHM システムは「センサから得られた情報に基づき、構造物の損傷を検出評価したり、あるいはその構造健全性を監視したりといったシステム」と定義されている<sup>7)</sup>。

建物のレジリエンスと BCP レベル指標検討特別調査委員会（以下、本委員会）では建物のレジリエンス性能を、①発災直前まで建物が保有する性能、②発災直後に被害状況に応じて低下する性能、③発災直後から復旧まで推移する性能の 3 つから定量的に示すことを検討している。ここで SHM システムは、②の発災直後の被害状況を迅速に確認し、③の発災直後から復旧までの性能回復を早める仕組みとして機能しうる技術であり、活用により建物のレジリエンス性能を向上できる可能性は高い。

本委員会下に設置された構造ヘルスマニタリングシステムの活用方法検討ワーキンググループ（以下、WG）では、建物のレジリエンス性能を高める SHM システムの BCP への活用方法の提示を目的として検討を進めてきた。本報告では、SHM システムの BCP への活用を主眼として、まず一般的なシステムの全体概要を示し、被災後の健全性評価を目的とした適用事例を紹介する。次に、SHM システムの実適用件数の調査結果により、その普及状況を把握する。そして、SHM システムの活用状況に関するヒアリング調査結果に基づいて、震災時の活用項目を示し、その BCP への活用方法と抽出された課題について考察する。なおここでは SHM システムの活用対象に関して、外乱としては地震、BCP を考慮する対象としてはオフィス建物とそれに関連する組織および機能に絞ることとする。

### 5.2 SHM システムの概要<sup>8)~10)</sup>

本章では、SHM システムの構成技術と適用方法について、その全体概要を紹介する。BCP への活用において、SHM システムには建物の健全性を客観的・定量的に評価・把握し、その評価結果に基づいて適切な対策を計画的・効率的に管理していくことが求められる。

#### 5.2.1 SHM システムの構成技術

一般的な SHM システムの概要を図 1 に示す。SHM システムは、建物の揺れを計測する計測システム、建物の被災状況を分析する評価システムから構成されている。評価システムか

ら得られる情報を活用することで、建物管理者は、被災直後の建物の安全性の確認や建物利用者の避難の要否の判断を迅速に行うことが容易となる。次に、SHM システムを構成する技術を以下に示す。

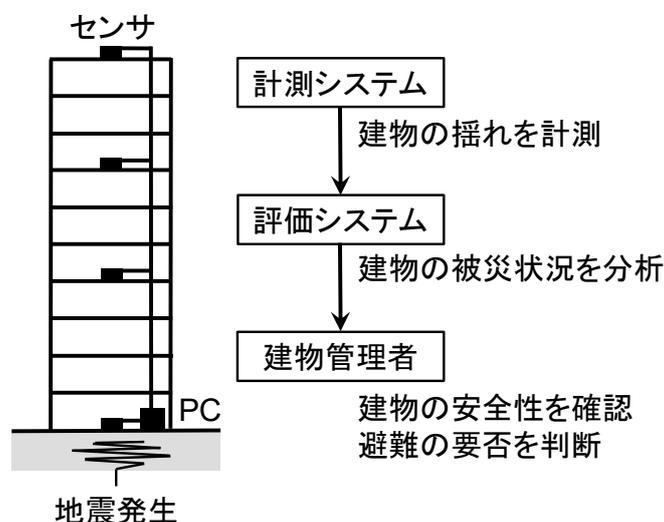


図 1. SHM システムの概要

#### (1) 計測システム：センシング技術

計測システムは、対象建物の健全性を把握するために必要な情報を取得するためのセンシング技術で構成される。取得情報には、その目的に応じて電気的なセンサによる被災時の構造物応答の計測情報、目視による検査や非破壊検査による情報等も含まれる。また、情報を取得するための計測技術と合わせて、ネットワークを活用して計測した情報を収集・処理する情報通信技術（Information and Community Technology, ICT）もその構成要素であり、遠隔モニタリングなどで活用される。

#### (2) 評価システム：健全性評価技術

評価システムは、計測システムにより得られた情報から建物の健全性を客観的・定量的に評価するための健全性評価技術で構成される。例えば、対象建物の使用期間中の劣化を把握する場合は材料的な健全性評価が中心となり、地震などによる被災後の対象建物の損傷有無を判定・検出する場合は、構造体・非構造部材・設備などの健全性評価が必要となる。

### 5.2.2 SHM システムの適用方法

#### (1) 長期モニタリングと短期モニタリング

SHM システムの構成は、その適用の目的に応じて異なる。それは大きく分けて、長期モニタリングと短期モニタリングの二つに分類される。

長期モニタリングとは、使用期間中に長期的に進展する構造物などの経年変化等による劣化度評価を目的とした SHM システムである。その適用例としては、橋梁や建物の老朽化に対する安全性診断を目的とした常時モニタリングなどがある。長期モニタリングは、対象物のライフサイクルにわたるモニタリングであり、人間の健康維持を目的とした定期健康診断を構造物などに適用してその維持・管理を図ることに例えることができる。

短期モニタリングとは、地震など短期的な外乱により被災した直後の構造物などの損傷評価を目的とした SHM システムである。その適用例としては、地震後の建物の安全性診断を目的としたリアルタイム損傷モニタリングなどがある。短期モニタリングは、外乱による対象物の短時間応答に対するモニタリングであり、人間の突発的な病気に対する診断を構造物などに適用して早急な対応を図ることに例えることができる。具体的には、建物の被災直後の健全性把握は、機能の早期回復を促す事業継続活動や危機管理の観点からも重要であり、直後の減災を図る有効な手段となりうるものである。本報告では、地震に対する短期モニタリングに焦点を当てている。

モニタリングの対象構造物として、土木分野の橋梁・トンネル・ダム等に対しては、劣化度評価を目的とした長期モニタリングの適用が大部分となっている。これは、対象構造物のライフサイクルスパンが比較的長期にわたるものが多く、地震などによる損傷より老朽化による劣化が顕著であるという現実が背景にあるためであり、平成 24 年の笹子トンネル天井板落下などの構造物の老朽化事故を契機としてその対策は現在早急な取り組みが必要とされている。一方、建築分野の建物に対しては、地震などによる建物の損傷評価を目的とした短期モニタリングの適用が一般的である。これは、対象となる建物のライフサイクルスパンが比較的短いものが多く、劣化による損傷が具体的事例としてほとんど見られないということが現実としてあり、土木・建築分野による大きな違いの要因となっている。本報告では、オフィス建物とそれに関連する組織・機能に焦点を当てている。

## (2) ローカルモニタリングとグローバルモニタリング

建物に対して SHM システムを適用する際、何をセンシングし、そして対象建物の健全性をどのように評価するかという観点から、ローカルモニタリングとグローバルモニタリングという二つのアプローチに分類される。

ローカルモニタリングとは、建物の一部を対象としたヘルスマニタリングの総称である。例えば、建物の特定の部材を対象として、その対象部材にセンサを設置し、その損傷を直接評価することでローカルモニタリングが構成される。ローカルモニタリングにおけるセンシング技術としては、部材の材料歪を計測する光ファイバセンサやアコースティックエミッションセンサなどがあり、いずれも損傷を評価したい位置に設置される。本センシング技術では、計測情報からその位置の損傷の直接評価が可能となり、建物の特定位置の損傷を評価したい場合に有効である。しかし、例えば力学的不静定次数が比較的高い建物の細部を対象として損傷の発生位置を特定することは容易ではなく、また建物細部にセンサを設置することもコストや施工面から課題が多い。

一方、グローバルモニタリングとは、建物全体としての損傷を対象とした SHM システムの総称である。例えば、地震後の建物の安全性を診断する場合、対象建物の各階にセンサを設置し、各層の損傷状況を推定することでグローバルモニタリングが構成される。グローバルモニタリングにおけるセンシング技術としては、加速度センサや接触型・非接触型の変位センサなどがあり、いずれも建物の全体挙動を把握することのできる位置に設置される。グローバルモニタリングは、比較的少数のセンサを設置することで建物全体の損傷状況を推定することを目的としており、コストや施工面からその適用範囲は広い。ここで、グローバルモニタリングにおける健全性評価技術では、計測情報から建物全体の損傷状態を推定する手法として同定法などが用いられているが、建物の実際の損傷状態と物理的な観点から明確に関連付けることのできる損傷指標を評価することが重要であり、本適用における課題となっている。

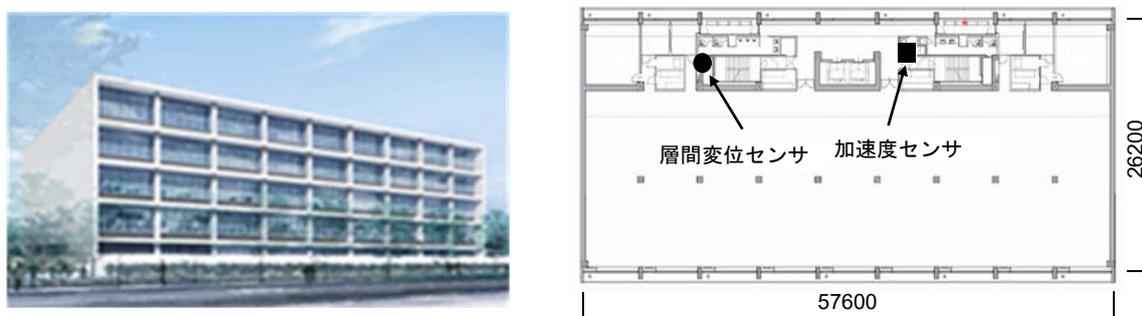
SHM システムの適用において、その適用目的に応じてローカルモニタリングとグローバルモニタリングという二つのアプローチがあるが、実際の適用においては、どちらかのアプローチに限定する必要はなく、それらを適宜組み合わせることで、より最適な SHM システムを構築することが可能となる。例えば、センシングの観点からは、コストや施工面からグローバルモニタリングが有効であり、健全性評価の観点からは建物の損傷位置と程度を特定して適切な補修・修復を施すことで建物の長寿命化を図る場合、ローカルモニタリングが有効である。このように、適用の目的を明らかにした上で、センシング・健全性評価の観点からローカルモニタリング・グローバルモニタリングを総合的に考慮することが、SHM システムの適用において重要となる。

### 5.3 SHM システムの適用事例 <sup>11)</sup>

地震などにより建物が被災した直後に、その継続使用の可否判断や居住者の緊急避難要否判断と合わせて、仕上げに覆われた部分など目視判断が困難な構造部材の損傷部位とその程度を把握することが、建物の事業者や管理者のニーズとして確認されている。ここでは、建物の構造損傷度の定量評価に直接的かつ明瞭な指標を与える層間変位計測に基づいた SHM システムの適用事例について、そのシステム概要と実稼動例を紹介する。

#### 5.3.1 システム概要

適用建物は、2011年10月に竣工した東京都調布市に建設された地上5階、地下1階建て、延床面積約 9000m<sup>2</sup> の総合建設業研究施設である。建物概要観を図2に示す。本建物の構造形式は壁式 RC フラットスラブ構造であり、また企業の防災拠点の一つとして機能している。



(a) 建物外観

(b) 基準階平面図

図2. 建物概要

本建物には、計測システムとして層間変位センサが適用されている。層間変位センサは非接触型の光学式センサであり、光源と受光部から構成される。センサは LED 光源と PSD（光位置検出素子）受光部で構成されており、その模式図を図3に示す。なお、本建物への適用仕様は、計測レンジ±50mm、分解能 0.1mm、計測間距離 3～5m、計測周波数 DC～20Hz となっている。

層間変位センサは図2に示す平面位置に各階1ユニット、地上部全階に計5ユニット設置した。センサの取付けは、下部 PSD 受光部はスラブ上固定、上部 LED 光源は上階のスラブ下固定とした。そして加速度センサを各階に併設することでモニタリングシステムを構成し

た。層間変位センサ、加速度センサとも全数同時計測とし、センサ信号は分解能 16 ビット、100Hz サンプルングで 1 階の防災設備センターに設置された A/D ボード内蔵パソコンで収録・評価され、地震直後に表示モニターに地震情報および損傷評価結果として表示される。

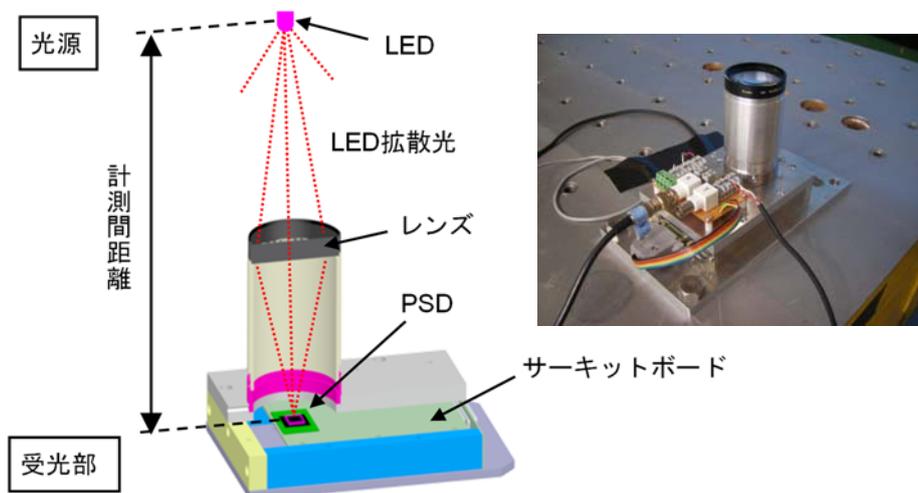


図 3. 層間変位センサの模式図

### 5.3.2 システムの実稼動例

2015年9月12日に調布市の一部で最大震度5弱を記録した東京湾を震央とする地震 (M5.2) の際のシステムの実稼動例について示す。地震直後に得られた地震情報と損傷評価結果のモニター表示画面を図4に示す。



(a) 地震情報



(b) 損傷評価画面

図 4. モニター表示画面

同画面の点検種別は、建物最下階 (B1F) の最大加速度に応じて簡易評価された建物設備の必要点検程度を示す。そして、損傷評価画面の構造体および設備配管系の損傷は建物各層

の最大層間変形角、設備機器の損傷は建物各階の最大加速度に基づいて、設計者との事前協議により得られた各許容値に対する安全余裕度として評価・表示される。本ケースでは、地震直後に建物構造体・設備系とも十分な安全余裕度を有していることを確認している。

#### 5.4 SHM システムの普及状況

SHM システムの BCP への活用について検討するに当たり、その普及状況を把握するために実施した実適用件数の調査結果を示す。本調査は、SHM システムを提供している企業のうち、適用実績が多いと思われる企業に対する個別調査により実施した。ここでは、「SHM システムを適用した建物」として、「強風または地震に対して建物の健全性に関わる情報を得るために、建物にモニタリング機能を付与（＝センサを設置）した建物（ただし、建物の個々の構成要素（オイルダンパ、エレベータ等）単体の状態をモニタリングするためにセンサを設置した場合を除く）」と定義し、適用件数を提供していただいた。2019 年 3 月時点の調査結果を図 5 に示す。なお、本調査結果はあくまで一部企業に対する調査結果の集計であり、実総適用件数ではないことに留意する必要がある。

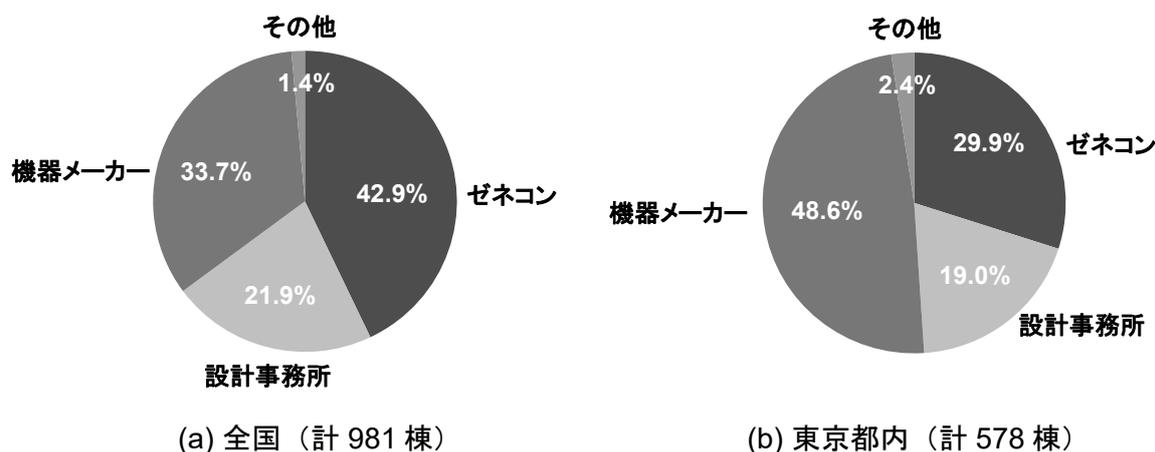


図 5. SHM システムの適用実績 (2019 年 3 月時点)

本調査結果より、これまでに全国で 980 棟以上の建物に SHM システムが適用されており、またその 60%程度に当たる約 580 棟が東京都内で適用されている。また、適用実績の内訳をみると、全国・東京都内とも、ゼネコン、設計事務所、機器メーカーによる適用が大部分を占めているが、適用件数の比率については、全国ではゼネコン、東京都内では機器メーカーが大きい。

SHM システムの適用は、技術の発展と合わせて、近年の平成 23 年東北地方太平洋沖地震や平成 28 年熊本地震などの震災を契機に増加傾向にあると思われ<sup>12)</sup>、今後もその傾向は続くものと考えられる。

#### 5.5 SHM システムの活用状況

本章では、SHM システムの BCP への活用方法とその課題を抽出することを目的として行ったヒアリング調査の結果を報告する。

ヒアリング調査の目的・対象・方法は以下のとおりである。まず、調査目的は SHM システムの導入や活用の実態を明らかにすることである。調査対象は SHM システムのユーザーとなりうる企業で、不動産系 3 社、インフラ系 1 社、官庁系 1 団体、報道系 1 社の計 6 事業者である。調査方法は SHM システムの導入あるいは運用に携わる担当者に対する面会形式の個別ヒアリング形式で実施した。なお、ヒアリング調査においては、まず本委員会の WG 活動における SHM システムの BCP への活用方法の調査という趣旨に理解をいただき、情報の開示が可能な範囲で協力をいただいた。以下にヒアリング調査結果の概要を示す。

### 5.5.1 SHM システムの適用状況

ヒアリングを実施した事業者における SHM システムの導入状況として、6 事業者中 4 事業者は地震に対する建物の加速度応答計測に基づいたグローバルモニタリングによる SHM システムを自社ビル等に導入・運用中であり、残りの 2 事業者は現時点では SHM システムを導入していない。

### 5.5.2 SHM システムの導入について

#### (1) 導入の動機付け

- ・東日本大震災、新潟県中越沖地震などの震災経験が導入あるいは本格稼働の動機となった。
- ・東日本大震災時に、テナントからの要求に対してモニタリング結果を提供するのに時間を要したことが、現在運用中のシステムへの改良の動機となった。

#### (2) 導入時の意見・課題

- ・東日本大震災、新潟県中越沖地震などの震災経験が導入あるいは本格稼働の動機となった。
- ・導入に関しては、社内における安全・安心への積極的な投資からスムーズに行うことができた。
- ・幹部の意図と財政状況によって導入の可否が決まる。
- ・導入予算の確保が課題である。
- ・有益性が明確でないため、予算確保と運用管理部署がはっきりと決まらない。
- ・導入には対費用効果が必ず挙がってくる。
- ・SHM システムは地震時のみ有効であるが、保険的な位置付けとして導入メリットを考えている。
- ・システムのメンテナンスを考慮して、買取ではなくリース契約も視野に入れていきたい。
- ・SHM システム導入に対して、例えば行政からのコスト優遇措置等のインセンティブがあれば、SHM システムの適用は拡大するのではないか。

#### (3) 導入しない理由（システムを導入していない事業者からの回答）

- ・導入するとすれば中低層建物が中心となり、被災後の建物状況は人海戦術による目視点検で対応可能。導入のメリットが不明瞭なため適用には至っていない。
- ・耐震性の確保が最重要と考えており、SHM システムの導入に関しては明確な理由付けやその説明が難しい。
- ・対コスト効果を勘案して、SHM システムのようなソフト対策技術ではなく免震・制振などのハード対策技術への投資を考えている。
- ・導入することにより建物利用者に不安をあおる可能性があるのではないか。
- ・自社ビル以外の建物（共同名義ビルなど）への導入は特に難しい。

#### (4) システムの導入についての総括

システムの導入に関して、震災経験が大きな動機付けとなったという回答が見られた一方、導入には費用面での対応が重要となるという回答が多く得られた。本ヒアリング結果より、事業者にとって、導入メリットの明確化が導入可否の重要な判断指標となることがうかがえる。

#### 5.5.3 SHM システムの運用状況について

##### (1) 運用方法

- ・ 幹部に対する情報配信として活用している。
- ・ SHM システムから得られた情報を、被災後の耐震補強に活用している。
- ・ 対策本部の設置・非設置に関する判断材料として活用している。
- ・ BCP における地震後の建物点検マニュアルに SHM システムは組み込まれており、効率的な事後対応策が策定されていると考えている。
- ・ SHM システムの活用については震災時の対応マニュアルに記載している。ただし、把握しているのは担当者のみ。
- ・ 被災後の対応は、防災担当者による一次即時対応と構造エンジニアによる現場検証も含めた二次対応で実施しており、それぞれで SHM システムの情報を活用している。
- ・ SHM システムの情報を補助的に用いて、建物の継続使用可否を建築技術者が判断している。ただし、今後は警備員などの建築技術者以外の人間が情報を確認できる仕組みにしたいと考えている。
- ・ 現時点では BCP において運用せず地震モニターとして用いているが、現在 BCP への活用を検討中である。
- ・ 設備系の不具合については即時性が重要なため、被災後早急に目視確認するため業者（専門技術者）に連絡する。ただ業者がすぐ対応可能かどうかという不安は常にある。

##### (2) テナントなどの建物利用者へのシステムの導入や運用における情報の伝達状況

- ・ SHM システムの設置については、建物利用者の中でも知らせる人間を絞っている。
- ・ 地震直後はエレベータの稼働状況や火災情報のみ館内放送し、建物の安全性の判断についてはしない。
- ・ SHM システムにより得られた情報について、社内で精査したデータをテナントに報告している。
- ・ テナントへの情報開示には細心の注意を払っている。
- ・ テナントへの情報開示は、要求があった場合のみ対応している。
- ・ テナントへの情報伝達として、インターネットを活用している。

##### (3) SHM システムの広報

- ・ 観測データの公開については慎重になっている。
- ・ 免震・制振のようなハード対策技術については、安全性確保の取り組みとして積極的に広報する方針だが、SHM システムのようなソフト対策技術については積極的に広報することは考えていない。
- ・ 被災後の広報については、社会の受け取り方を勘案して慎重にならざるをえない。

##### (4) これまでの運用実績

- ・ 東日本大震災時に、システムの正常稼働を確認した。一方で、正常に作動しなかったもの

も一部あった。

- ・東日本大震災時に、応答計測値の妥当性を目視検査と比較することで確認した。
- ・東日本大震災時の計測データを、被災後の耐震補強に活用した。
- ・東日本大震災時に、地震直後にテナントからの情報提供の要求があって対応した。
- ・小笠原諸島の地震の際、建物への来訪者の避難誘導対応に活用した。
- ・SHM システムの稼働は確認したが、建物が大きな損傷を受けるような地震は経験しておらず、その有効性についてもあまり確認できていない。
- ・SHM システムが設置されていない免震建物では、東日本大震災時にもテナントからの問い合わせはほとんどなかった。

#### (5) システムの運用担当者への教育状況

- ・SHM システムの運用担当者の教育をシステム運用上の一番の課題と考えている。
- ・システム運用担当者の教育施策として、平常時の業務にシステムの運用を組み込むことを検討している。
- ・SHM システムの運用担当者への教育は徹底しており、運用時のコミュニケーション上の問題はない。
- ・SHM システムの運用担当者の部署異動に伴う引継ぎが課題となっている。
- ・防災訓練時に BCP マニュアルに従って SHM システムの教育訓練を実施している。
- ・防災訓練において、現状では SHM システムの稼働を組み込んでいない。

#### (6) システムの運用状況についての総括

運用方法として、BCP において SHM システムを活用しているとの回答が見られた。また、運用時の建物利用者への情報伝達については、慎重に行っているとの回答が多くあった。同様に、広報についても慎重に行っているとの回答が多くあった。これまでの運用実績に関するヒアリング結果では、システムの有効性を確認できたとの回答と合わせて、導入時に期待した効果は現状では確認できていないという回答も見られた。そして、SHM システムの運用担当者への教育状況に関するヒアリング結果では、教育の重要性を指摘する回答が多く見られた。

### 5.5.4 SHM システムに対する自由意見

#### (1) システムの有効性

- ・オフィス建物の健全性の確認という目的において、SHM システムは有効と考えている。
- ・管理施設が多いため、地震直後の目視による応急危険度判定は困難である。機械的な SHM システムの活用を考えていきたい。
- ・モニタリング導入により被災直後の対応の迅速化という点で、SHM システムは有効である。

#### (2) システムの問題点

- ・SHM システムにより施設の運営を停止する仕組みは経済的な影響も大きく、難しいと考えている。
- ・システム更新などの機器管理は煩雑である。

#### (3) 今後の SHM システムに求めることおよび技術上・運用上の課題

- ・SHM システムを構造だけでなく非構造部材や設備などのモニタリングに活用したい。
- ・まずは避難関連設備（防火戸、エスカレータ、エレベータ等）の状況を知りたい。

- ・リアルタイムな情報として建物利用者に指示を出すためには、判断基準として信頼性のある指標が欲しい。
- ・今後、SHM システムにおける表示の仕方や基準・用語の定義などを国（行政機関）や学会（学術団体）などで統一してもらえれば、建物利用者に提示しやすい。
- ・震災後はインフラの確保が重要である。それに関連したシステムとしてモニタリングを導入したい。
- ・避難施設（エレベータや非常階段など）の発災直後の使用箇所や、窓ガラス等による二次災害の有無など被害箇所を特定することが必要となる。
- ・被災度判定において、損傷箇所がわかるような仕組みが欲しい。
- ・建物利用者に伝達する情報の内容については今後検討が必要である。
- ・被災時の効率的な情報伝達網の整備が必要である。
- ・技術的な課題として、センサの設置台数の削減、システムの無線化、システムの不具合の検出方法、機器の耐久性、システムのメンテナンスと長期運用に対する対策が挙げられる。
- ・SHM システムと設備系のモニタリングは現状別系統だが、将来的には統一したい。
- ・建物の健全性判断と館内放送、エレベータ等の設備系の制御判断との連携が課題である。

## 5.6 レジリエンス性能を高める SHM システムの BCP への活用方法

本章では、SHM システムの活用状況の調査結果に基づいて、SHM システムによる震災時の活用項目を示し、その BCP への活用方法と抽出された課題について考察する。

### 5.6.1 SHM システムによる震災時の活用項目 <sup>13)~15)</sup>

SHM システムによる地震直後の建物の被災度即時判定は、BCP における迅速な復旧支援として、建物の継続使用の可否判断や建物利用者の避難要否判断などに活用することができる。震災時の初動対応における SHM システムの活用例を図 6 に示す。

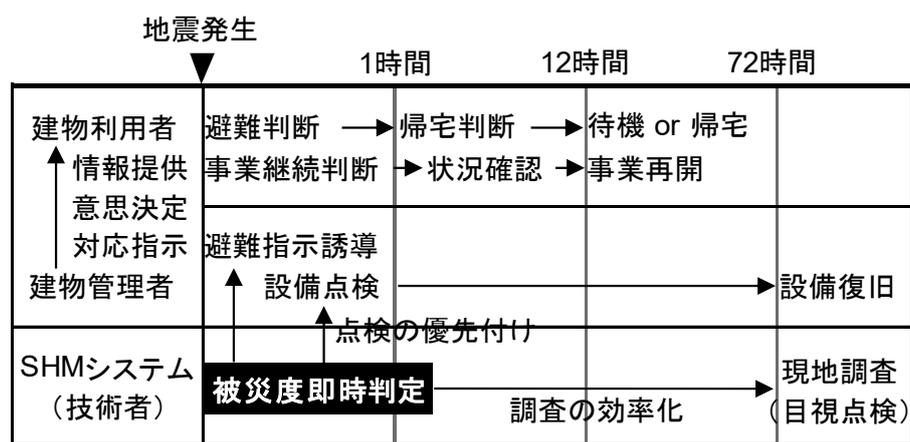


図 6. 震災時の SHM システムの活用例（初動対応）

次に、SHM システムの活用状況の調査結果に基づいて、被災後の建物性能の早期復旧支援という観点から、その適用による震災時の主要な活用項目を示す。

- ・建物の継続使用可否に関する即時情報の提供。
- ・建物利用者の避難要否判断に資する即時情報の提供。

- ・ 建物利用者の事業継続判断に資する即時情報の提供。
- ・ 被災後の設備点検における点検の優先順位付け。
- ・ 被災後の目視点検における現地調査の効率化。
- ・ 被災後の建物の修繕・補強への活用。

### 5.6.2 SHM システムの BCP への活用方法

SHM システムによる震災時の活用項目から、その BCP への活用方法を考察する。本委員会で提案する建物のレジリエンス性能は、①発災直前まで建物が保有する性能、②発災直後に被害状況に応じて低下する性能、③発災直後から復旧まで推移する性能の3つを建物の保有性能として示すものであり、「目標復旧期間内にどの程度業務を回復することができるかを示す性能」として定義される。建物のレジリエンス性能の考え方を図7に示す。同図は、縦軸に震災時の建物性能の震災前の建物性能に対する比率としてここでは収益部分の床面積において震災時に利用可能な部分の割合、横軸に評価期間（例えば、地震発生からの経過時間）をとり、その関係を復旧曲線として図示したものである。なお、復旧曲線の微分値が各時点における建物の復旧力を示している。

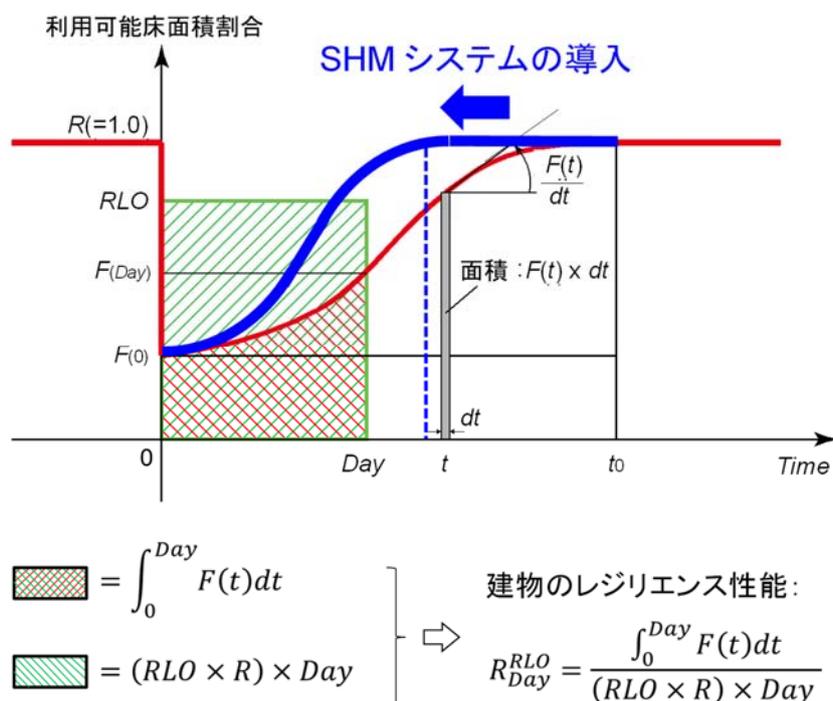


図7. 建物のレジリエンス性能の考え方

ここでは建物のレジリエンス性能を、ある期間における建物の復旧度として定義し、対象建物が震災時に提供可能な実際のサービス量の、建物に求められるサービス量に対する比率として表す。ここで、図7を参照して、対象建物が震災時に提供可能な実際のサービス量を復旧曲線の評価期間  $Day$  までの積分値で表現する。また、建物に求められるサービス量を、建物の目標性能復旧レベル  $RLO$  (Recovery Level Objective) の震災前の建物性能  $R$  (通常は1) に対する規準化値  $(RLO \times R)$  と評価期間  $Day$  との積として表現する。本委員会では、建

物のレジリエンス性能を評価指標として、建物の BCP レベルのランクを分類することを試みている。

SHM システムを BCP に導入して適正に運用することで、レジリエンス性能において、②の発災直後の被害状況を確認し、③の発災直後から復旧までの性能回復を早める仕組みとして機能することが可能となる。SHM システムの導入効果を図 7 の復旧曲線に併記する。SHM システムを導入することで、建物の復旧力を高め、被災後の建物性能の早期復旧を促すことができる。その結果、建物のレジリエンス性能を高め、BCP レベルのランクを高めることが可能となる。

### 5.6.3 SHM システムの BCP への活用における課題

本調査活動を進めるに当たり、日本建築学会構造委員会振動運営委員会の建物健全性モニタリング小委員会（主査：佐藤貢一(大成建設)）および強震観測小委員会（主査：大野晋(東北大学)）と意見交換を行った。そこでの討議を参考として、建物のレジリエンス性能を高める SHM システムの BCP への活用において、システムの活用状況の調査結果から得られた課題を以下に示す。

#### (1) SHM システムの構成技術の充実と検証

SHM システムの構成技術（センシング技術、健全性評価技術）の信頼性を確保するためには、各技術の充実と合わせて、実建物における検証が必須であり、そのためには観測や実験による定量的な検証データの継続的な蓄積と分析が必要となる。

#### (2) システム信頼性の確保

SHM システムの実適用においては、システムが確実に稼働するという信頼性を確保する必要がある。それは地震などの短時間応答に対する短期モニタリングにおいてより顕著となる。そのためには、ロバスト性の高いシステム構築と合わせて、設置後の緊急時対応を含む合理的かつ計画的な維持・管理体制の確立が必要となる。

#### (3) 適切なコストの設定

SHM システムは、BCP における付加価値技術として考えることができる。その点を考慮すると、ユーザー側の SHM システムの適用コストに対する要求はより厳しいことを前提とする必要がある。SHM システムの適用コストは、各要素技術に要するコストと合わせて各要素技術を統合してシステムを構築するコストおよびシステム適用後の維持・管理コストで構成されており、それぞれについて社会的な経済状況と見合わせながら慎重に検討することが必要である。なお、活用状況のヒアリング調査結果では、リース契約の活用や行政のコスト優遇措置等のインセンティブを望む声も挙がった。

#### (4) SHM システム導入におけるコンセンサスの形成

SHM システムは、震災時の意思決定のための仕組みとしての活用が期待される。その導入効果を高めるためには、システムの導入側（技術者）とユーザー側（建物管理者）との間で、その技術的特徴・使い方・適用範囲などに対して、特にユーザー側の理解に基づいたコンセンサスを形成することが必須である。そのためには、利用上の約束事（取扱説明、保証範囲、免責など）を明確にした上で、システムの導入側がユーザー側に対して合理的な説明を行うことが必要となる。

## (5) SHM システムの導入メリットの明確化

SHM システムを BCP に導入してその効果を有効に活用するためには、その導入メリットを明確にすることが重要である。そのためには、SHM システムの導入の際、対象建物（規模、用途、構造形式など）とその利用者（利用目的、人数規模など）の特徴を把握した上で、導入目的（建物の継続使用の可否判断、建物利用者の避難要否判断など）とその効果（目標性能復旧レベル、評価期間など）を明確にして、それぞれの関連性について慎重に検討する必要がある。

## (6) SHM システムの適正な運用

SHM システムを BCP に導入して建物のレジリエンス性能を高めるためには、その適正な運用が前提条件となる。そのためには、SHM システムの運用に携わる担当者とその役割を明確にするとともに、建物の管理者内および建物の管理者とその利用者間の情報伝達体制（内容、伝達経路など）の整備とシステム運用に関するコミュニケーションの向上が必要となる。その手段として、SHM システムの運用担当者の平時における適正な教育は有効かつ重要である。

## 5.7 おわりに

本報告では、建物のレジリエンス性能を高める SHM システムの BCP への活用を主眼として、その活用状況に関するヒアリング調査結果に基づいて、SHM システムによる震災時の活用項目を示し、その BCP への活用方法と抽出された課題について考察した。

SHM システムによる地震直後の建物の被災度即時判定は、BCP における迅速な復旧支援として、建物の継続使用の可否判断や建物利用者の避難要否判断などに活用することができる。そして、SHM システムを BCP に導入することで、建物の復旧力を高め、被災後の建物性能の早期復旧を促すことができる。その結果、建物のレジリエンス性能を高め、BCP レベルのランクを高めることが可能となる。そのためには、SHM システムの適正な運用が前提条件となり、そこでは建物の管理者と利用者間の情報伝達網の整備とコミュニケーションの向上、および運用担当者の平時における教育が重要となる。また、SHM システムの BCP への導入効果を有効に活用するためには、その導入目的と効果などの導入メリットを明確にすることが重要となる。

SHM システムの活用状況のヒアリング調査を通して、震災時の状況に応じた意思決定に関わる情報の提示に対する多くのニーズが建物管理者にあることがわかった。その有力な手段の一つとして SHM システムの BCP への活用は大きな可能性を有している。今後、BCP におけるレジリエンス性能の向上という観点において、SHM システムの果たす役割がより重要となっていくものと考えている。

## 謝辞

システムの適用件数データをご提供いただきました企業の方々ならびにシステムの活用状況に関するアンケート調査にご協力いただきました事業者の方々に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) M. Bruneau and A. M. Reinhorn: Overview of the Resilience Concept, *Proc. 8<sup>th</sup> US National Conference on Earthquake Engineering*, pp. 18-22, 2006.4.
- 2) M. Bruneau et al.: A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities, *Earthquake Spectra*, Vol. 19(4), pp. 733-752, 2003.11.
- 3) G. P. Cimellaro, A. M. Reinhorn, and M. Bruneau: Framework for Analytical Quantification of Disaster Resilience, *Engineering Structures*, Vol. 32(11), pp. 3639-3649, 2010.11.
- 4) 竹脇出：主旨説明，レジリエントで高い安全性を確保する構造設計とは，2016年度日本建築学会大会(九州)・構造部門(応用力学)・パネルディスカッション資料，pp. 2-5，2016.8.
- 5) M. Takahashi, Y. Uchimura, H. Hagiwara, T. Nasu, and Y. Watabe: Actual Application of Real-time Disaster Mitigation System to High-rise Building, *Proc. Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure*, Paper No.128, 2007.11.
- 6) 三田彰：センサネットワークを活用した都市・建築の健全性診断システム，計測と制御，Vol. 46, No. 8, pp. 612-617, 2007.8.
- 7) 中村充：SHM 技術の現状と課題，構造ヘルスマモニタリングがつくる安全・安心な建築空間，2008年度日本建築学会大会(中国)・構造部門(振動)・パネルディスカッション資料，pp. 15-24, 2008.9.
- 8) 国土技術政策総合研究所：多世代利用住宅の維持管理・流通を支える構造ヘルスマモニタリング技術の利用ガイドライン(案)，2011.12.
- 9) 濱本卓司：性能評価のためのヘルスマモニタリング技術、建築防災，No. 318, pp. 9-15, 2004.7.
- 10) 三浦悟, 畑田朋彦, 今井道男：構造物の点検・モニタリング技術，鹿島技術研究所年報第 64 号, pp.10-13, 2016.11.
- 11) 畑田朋彦, 片村立太, 谷井孝至, 仁田佳宏, 西谷章：層間変位センサを用いたモニタリングシステムの実建物への適用，日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)，構造 II, pp. 155-156, 2018.9.
- 12) 杉村義文：強震観測の応用としての「モニタリング」，将来の大地震に備えて，第 6 回強震データの活用に関するシンポジウム，pp. 52-63, 2018.12.
- 13) 朝川剛：モニタリングと復旧性，レジリエントで高い安全性を確保する構造設計とは，2016年度日本建築学会大会(九州)・構造部門(応用力学)・パネルディスカッション資料，pp. 34-39, 2016.8.
- 14) 内閣府防災担当：事業継続ガイドライン 第三版，2013.8.
- 15) 国土交通省住宅局：防災拠点となる建築物に係る機能継続ガイドライン，2018.5.

## 6. 建物レジリエンス指標の付与例

### 6.1 序

「建物のレジリエンスと BCP レベル指標検討特別調査委員会」では、これからの建築物に求められる、発災前のみならず発災後の性能をも併せて評価する建物レジリエンス性能指標について検討を行ってきた。本稿では、これまで提案されてきた指標との本質的な違い、および提案性能指標の特性について、モデル建物に対し指標を付与検討することを試み、その特徴を分析・紹介する。

### 6.2 既提案指標との差異

日本国内で建築的な観点から提案された既指標の代表例として、以下のような基規準・指標<sup>1)11)</sup>が挙げられる。

- ・官庁施設の基本的性能基準
- ・業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針
- ・官庁施設の総合耐震・対津波計画基準
- ・防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン
- ・BCP 対応ビル指針(案)

建築物設計時には、一般に『官庁施設の基本的性能基準』に倣って性能を分類するケースが多く見られる。その他の各指標も、多くはこれに倣って定められている。しかしながら、当該指針では「発災直前の保有性能をどの程度に設定するか」という観点から分類がなされている。すなわち、発災直前の状況に焦点を当てた性能指標となっており、発災以降については特に明言がない。一方で、『BCP 対応ビル指針(案)』は、「発災直後の被害状況がどの程度で、復旧にどの程度要するか」という観点から検討がなされている。すなわち、主に発災後の事業継続性に焦点を当てた性能指標である。その他の指標も、発災前後いずれかに注目して検討されたものがほとんどで、発災前後の性能についての連続性を議論した事例は多くない。

本委員会で提案する性能指標は、図 1 に示す形で表現され、①発災直前まで建物が保有する性能、②発災直後の被害状況、③発災直後から復旧までの性能、の 3 つの性能を、発災前に建物が保有する性能として分類することで、総合的に評価しようと試みたことに大きな特徴がある。

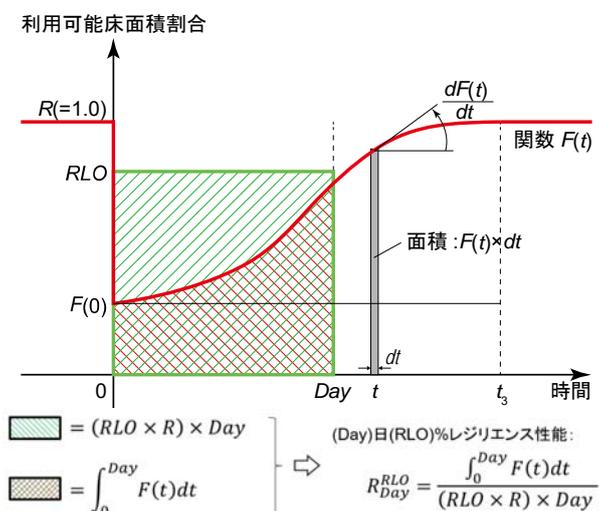


図 1. 建物レジリエンス性能

## 6.3 提案性能指標

### 6.3.1 提案性能指標概要

本委員会の提案性能指標において、建物レジリエンス性能は、抵抗力特化型・バランス型・復旧力特化型と大きく3種類に分類して説明される。いずれも『(Day)日(RLO)%レジリエンス性能』(以降便宜的にRLO-Resilience Performance in Period, 以降RRPPと呼ぶ)という統一的な性能評価のもとに分類されており、①何日で(Day), ②初期性能の何%の性能(RLO)まで復旧できるかによって★の数を決めている。なお、★の数ではなく、実性能を評価する上ではRRPPの数値そのものを参照することが出来るが、RRPPは①あるレジリエンス評価期間(Day), ②原設計時のレジリエンス性能(R=1.0)に対して(RLO)%の性能の2つを定めた際、建物が保有する復旧性能F(t)を建物保有性能から定めることができ、次式で定義される。

$$R_{Day}^{RLO} = \frac{\int_0^{Day} F(t) dt}{(RLO \times R) \times Day} = \frac{\int_0^{Day} F(t) dt}{RLO \times Day}$$

復旧性能曲線F(t)は、概ね図2に示すような曲線を描くものと想定される。これは、以下のような事実に起因している。

- ① 発災直後から性能を改善するまでに準備期間や発注期間が必要であること
- ② 例えば設備復旧工事を行うには、対象部位の構造的な性能がまず復旧される必要があるように、工事が段階的にしか進まないこと
- ③ 90%の性能まで改善してから100%まで性能を改善するにはかなりの補修が必要となること

実際に復旧曲線F(t)を求めるには、建物ごとに保有性能を評価しシミュレーションを行う必要があり、詳細に算定するには大きな困難を伴う。しかしながら、数値化に関しては、例えば鳥澤らの研究<sup>12)</sup>が参考になる。当該論文では、通常定量化が困難と考えられる傾向にある設備機器に関しても、定量化が可能であることの良い実例が示されている。これに関してはAppendixにおいて詳細を述べる。また、後述の簡易法に基づけば、擬似的にその性能を評価することが可能であると考えられる。

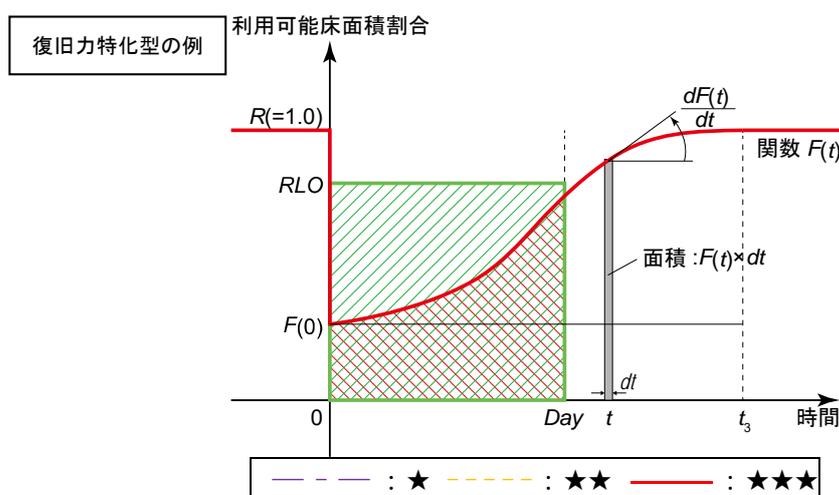


図2. 各性能の特性

### 6.3.2 提案性能指標の保有する定性的な傾向

各型の中で★～★★★★を比較することを考える。レジリエンス性能を縦軸に、レジリエンス評価期間を横軸に取って考える。レジリエンス評価期間とタイプ(ここでは復旧力特化型を例とする)を固定すると、★の数が増えるにつれてRRPPは増加するが、図1に示すように、その増分量は建物保有性能の改善と線形の関係になく、建物保有性能の改善とともに徐々に増分量は小さくなり、ある一定値に収束する傾向があると考えられる。

一方で、レジリエンス評価期間と★の数を固定して、抵抗力特化型／バランス型／復旧力特化型を比較するとき、図3に示すように、短い評価期間では抵抗力特化型タイプが、長い評価期間では復旧力特化型が、中間的な評価期間ではバランス型のRRPPが大きくなりやすい傾向にあることがわかる。ただし、全体通して抵抗力特化型のRRPPが大きくなることは

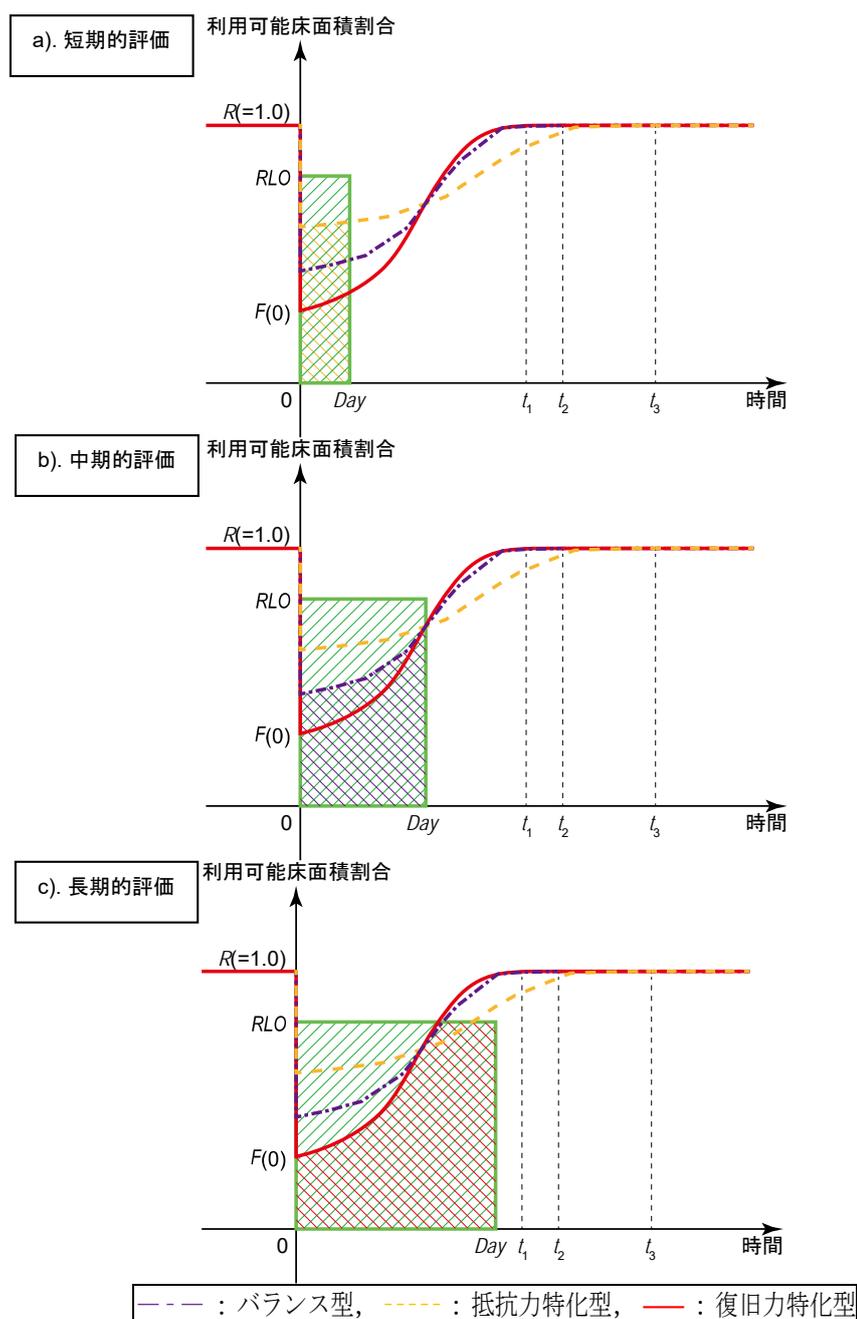


図3. 評価期間ごとのレジリエンス性能評価

明らかであり、発災後も建物耐震性能を落とさないことで、復旧までに要する時間を短くすることが出来るという、直観的にも当然の事実が確認できる。

### 6.3.3 性能評価の簡略化(簡易法)

6.3.1 で記載した通り、建物性能を定量化して復旧曲線  $F(t)$  を算定することは可能とはいえ、簡略化されることが望ましく、簡易法が例示されている。その算定方法は大きく以下の通りである。

- 図 3 に示す様に、抵抗力は性能(縦軸)の落ち込み量、復旧力は復旧開始までに要する日数(横軸)のずれ量を指すと仮定し、復旧曲線はどのタイプの場合も同一であると仮定する。
- RRPP をより簡易に、RLO 復旧日数で評価し、復旧日数は次式により算定する。

$$RD_{eq} = \{D_{ms} + \max(D_{ss} + D_f)\} + \max(D_d)$$

ここに、各変数は以下の通り。

$RD_{eq}$  : 復旧日数,  $D_{ms}$  : 主要構造部の復旧日数,  $D_{ss}$  : 非構造部の復旧日数,

$D_f$  : 設備の復旧日数,  $D_d$  : 復旧力による遅延日数

- それぞれ表形式で評価した日数に対し、積み上げ式で算定し評価する。(即ち、図 4 に示す様に、復旧曲線が直線であると仮定する)

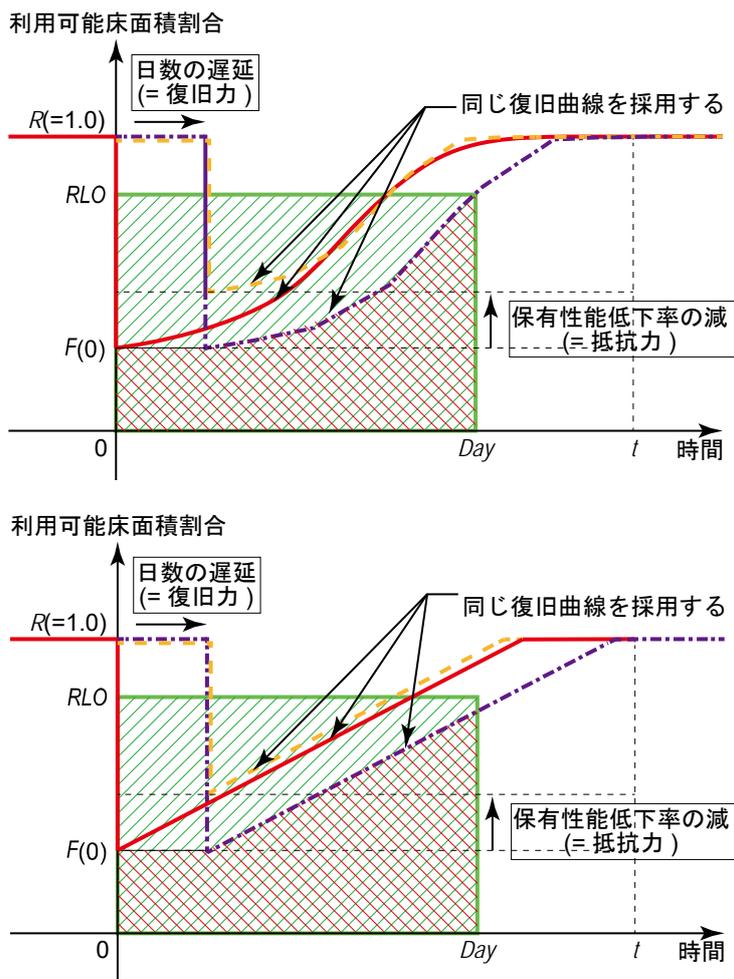


図 4. 復旧曲線の仮定図

精密に計算するには、1週間90%レジリエンス性能が0.8以上か、などといった判断が必要となるが、簡易法に依れば単純に復旧日数という形で評価するため、直観的にもわかりやすい形である。なお、上記に確率的な評価を加えれば、復旧曲線を近似したのもも単純な直線ではなくなることから、より実情に近い形での評価が可能となる。

## 6.4 モデルケースによる検討

### 6.4.1 モデルケース

6.3 で述べた定性的な傾向が、実際にどのような形として現れるか、表1に示す各ケースをモデルとして扱う。すなわち、本性能指標を適用した場合にどのような評価が可能であるか、簡易法を用いて例示する。共通の前提条件として、以下のものを仮定する。

- ・ 極めて稀に発生する地震動時の建物性状に対する設定を考える。
- ・ 中層オフィスビル(14階建て程度)とする

なお、表1に示す( )内の数字は、復旧に要する日数の仮定値を示す。各ケースは以下の事項を想定したものである。

- ・ Case 1 : 理想的な最高スペック
- ・ Case 2-4 : 各型に特化した場合の比較
- ・ Case 2, 5 : 抵抗力特化型の比較
- ・ Case 6 : 抵抗力特化型と謳っているが、バランスの悪い性能を保有するタイプ

### 6.4.2 比較結果

表1に記載した通り、各項目の設定に基づいて復旧日数を算定し、レジリエンス性能を評価した。この結果に対し、特定ケースに着目した場合、および各ケース間の比較を行った場合の考察と結果を以下に示す。

#### 1). Case 1 単体に着目した場合

『非構造部材』・『設備機器耐震性×システム信頼性』のいずれか、あるいは両方の項目を1グレード落とした場合であっても1週間以内の復旧が可能であり★★★(復旧力特化型)に該当する。同様に『構造』・『設備』のいずれか、或いは両方の判定を外部に委託するとしても1週間以内の復旧が可能であり★★★(抵抗力特化型)に該当することが確認できる。

#### 2). Case 2-4 を比較した場合

バランス型・復旧力特化型に対し、抵抗力特化型の復旧日数が大きく減少することが確認できる。一方で、バランス型・復旧力特化型は互いにほぼ同等である。これは主要構造躯体性能の復旧に最も時間がかかることから、発災後も建物耐震性能を落とさないことで、復旧までに要する時間を極端に短くすることが出来るという自明な理屈に基づいている。このことから、抵抗力特化型が最も建物レジリエンス性能を高めやすいことがわかる。逆に言えば、建物レジリエンス性能を高めるためには、抵抗力(特に主要構造の耐震性能)を高めることが必須になると判断できる。ただし、イニシャルコストが非常に嵩むことから実現するにはハードルが高く、その他が主要構造躯体性能を上げることに比べて低コストで済むことから、性能指標全体バランス感としては整合しているといえる。

#### 3). Case 2, 5 を比較した場合

Case 5の様に、同じ抵抗力特化型でも主要構造躯体の耐震性能が落ちると急激に復旧日数が増加し、復旧力を小さくしている分Case 2-4のいずれに対してもより多くの復旧日数を要

することがわかる。このことから、建物レジリエンス性能を高めるためには、主要構造の耐震性能を高めることが必須になることが確認できる。

#### 4). Case 5, 6を比較した場合

Case 5 に対して、Case 6 は『設備機器耐震性×システム信頼性』の性能を確保したい場合を想定しているにもかかわらず、その性能を担保する主要構造の耐震性能が低く、十分に設備機器の性能を活かせていない設計となってしまうタイプを想定している。本来であれば、目標を達成するには主要構造・非構造部材の耐震性能を高める必要がある。このように、設備の耐震性能を高く設定している一方で、それを支える主要構造や非構造部材の性能が低い場合、性能が低い側に引き摺られるように復旧日数が増加し、必ず Case 5 以下の復旧日数とはなり得ない。このように、 $\max(D_{ss} + D_f)$ で値を評価することで、ちぐはぐな設計に対しては頭打ちとなるペナルティがかかる様にしている。同様に、抵抗特化型と謳って設備耐震性能を向上させているものの、構造耐震性能については性能を上げると費用がかかるため SHM をつけただけで、SHM をつけながら設備エビデンスなしというような場合もペナルティがかかる。

なお、ここでは仮に提案されている 1 週間・1 か月・3 ヶ月といった閾値を採用しているが、この閾値に関しては更なる深度化に合わせて見直しが必要であることは言うまでもない。復旧力に関しても代表的な項目を挙げたにすぎず、深度化により項目が増えるにしたがって遅延日数は更に伸びる可能性がある。例えば、本性能指標では地域性も大きいことからインフラ復旧は対象としていないが、実状に近づけていくうえでは必須である。場合によっては上記と併せて性能指標の閾値を見直すことも必要である。

## 6.5 結

本稿では以下 2 点について示した。

- a) 既往提案指標との違いから、モデルケースを通してその定性的な特徴を評価することを試みた。
- b) 検討モデルケースに対して簡易法を適用し、①提案性能指標の特性の確認、②実性能との対応関係、③全体のバランス感の重要性の 3 点を確認した。大胆な仮定のもとに検討しているが、比較的妥当な結果が得られることを確認している。

一方で、提案性能指標を実際に適用していくにあたっては、課題として以下のものが残されている。

- ・ 発災前から復旧までの性能をリンクさせた性能指標であるため、発災前の性能を発災後にも評価できるようより適切に分類することが重要である。現時点での分類は、モデルケースに対しての提案レベルであり、実ケースでの検討を通してより詳細に改善していく必要がある。
- ・ 定量的な評価としていくにあたって、継続的にデータを蓄積して評価を見直していく必要がある。
- ・ 簡易法と精算法との対応関係を明確にしていく必要がある。
- ・ 建物性能の経時的な劣化を評価する必要があるため、過大評価しないためにも、各建築物レベルでも何年かに一度見直す必要がある。

これらの事実からも、今後近似的に評価できる箇所を明らかにし、業界全体でデータの蓄積に取り組んでいくことが望まれる。現在、構造分野では JSCA が中心となって、総合的な構造耐震クライテリアについて整理する性能設計<sup>13)</sup>が整理・提案されている。ある部分に高いス

表 1. 検討用モデルケース

項目		Case 1		Case 2		Case 3		Case 4		Case 5		Case 6		
タイプ		バランス型		抵抗力特化型		バランス型		復旧力特化型		抵抗力特化型		抵抗力特化型※1		
抵抗力	主要構造性能 (L2地震時被害)	I類 (無被害)	(0)	I類 (無被害)	(0)	II類 (小破)	(30)	II類 (小破)	(30)	II類 (小破)	(30)	II類 (小破)	(30)	
	非構造部材	被害なし	(0)	被害なし	(0)	軽微な損傷に とどまる	(7)	軽微な損傷に とどまる	(7)	軽微な損傷に とどまる	(7)	軽微な損傷に とどまる	(7)	
	設備機器耐震性 × システム信頼性	I	(0)	II	(7)	II	(7)	II	(7)	II	(7)	I	(0)	
	性能例※	電力	自家発電 100%提供		自家発電なし		自家発電なし		自家発電なし		自家発電なし		自家発電 100%提供	
		水	地下水 / 貯水槽		貯水槽		貯水槽		貯水槽		貯水等なし		地下水 / 貯水槽	
空調		温度調整 (72h.)		換気 (24 h.)		換気 (24 h.)		換気 (24 h.)		換気 (24 h.)		温度調整 (72h.)		
EV		変形追従可		変形追従可		軽微な損傷にとどまる		変形追従可		軽微な損傷にとどまる		変形追従可		
復旧力	構造	SHM システム	(0)	外部に判定委託	(7)	人海戦術による	(1)	SHM システム	(0)	外部に判定委託	(7)	SHM システム	(0)	
	設備	エビデンスと して残す仕組み	(0)	なし	(14)	外部に判定委託	(7)	エビデンスと して残す仕組み	(0)	なし	(14)	なし	(14)	
	定期的訓練	有り	(0)	無し	(1)	有り	(0)	有り	(0)	無し	(1)	無し	(1)	
	復旧のための 仕組み	振動解析 データ利用可	(0)	静的構造解析 データ利用可	(3)	静的構造解析 データ利用可	(3)	静的構造解析 データ利用可	(3)	静的構造解析 データ利用可	(3)	静的構造解析 データ利用可	(3)	
	図面	有		有		有		有		有		有		
復旧日数	0 日		21 日		44 日		40 日		51 日		51 日			
レジリエンス性能	★★★		★★		★		★		★		★			

※1：抵抗力特化型と謳っているが、目標としている性能と実性能が合致していないタイプ。結果として Case 5 と同等性能しか保有しない。

※2：『設備機器耐震性×システム信頼性』の項目から想定した保有性能。あくまでも例示であり、他のスペックも考えられる。

ペックを要求する場合、その高いスペックが発揮されるための最低限の性能が他の部分にも要求されることは自明である。性能設計の観点からも、バランスが悪く建物性能としてちぐはぐな、所謂『なんちゃって設計』を評価することが無いよう、建物供与期間トータルの観点から性能を評価することが肝要である。発災前から復旧までを含めて評価する手法である本提案性能指標が、経済活動としての建築物の性能を適正に評価し、建築物としての質を向上させる一助となることを期待する。

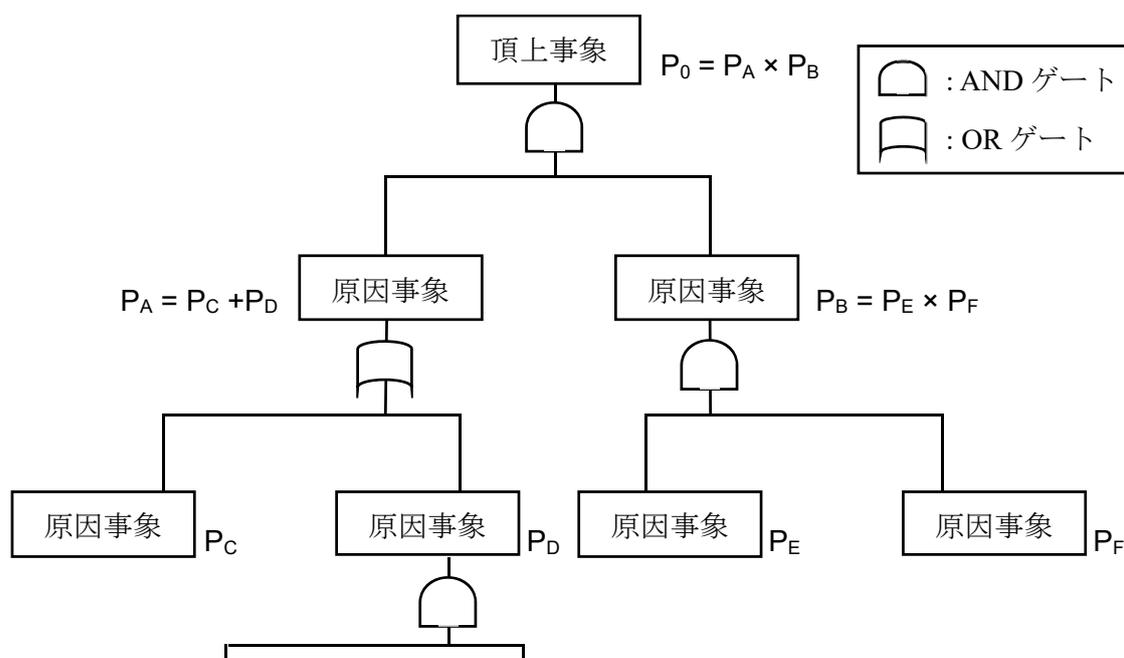
## 参考文献

- 1) 国土交通省官庁営繕部:官庁施設の基本的性能基準, 2013年3月29日.  
<http://www.mlit.go.jp/gobuild/kijun/perform/perform.pdf>
- 2) 中央防災会議:事業継続ガイドライン  
第一版「わが国企業の減災と災害対応の向上のために」, 2005年8月.  
第二版「わが国企業の減災と災害対応の向上のために」, 2009年11月.  
第三版「あらゆる危機的事象を乗り越えるための戦略と対応」, 2013年8月.  
<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kigyuu/pdf/guideline03.pdf>
- 3) 中央防災会議:「事業継続ガイドライン」の解説とQ&A, 日科技連, 2006年1月17日.
- 4) 内閣府:中央省庁業務継続ガイドライン第二版(首都直下地震対策), 2016年4月.  
[http://www.bousai.go.jp/taisaku/chuogyoumukeizoku/pdf/gyoumu\\_guide\\_honbun160427.pdf](http://www.bousai.go.jp/taisaku/chuogyoumukeizoku/pdf/gyoumu_guide_honbun160427.pdf)
- 5) 国土交通省官庁営繕部:業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針, 2010年3月31日.
- 6) 内閣府(防災担当):中央省庁業務継続ガイドライン~首都直下地震への対応を中心として~, 2007年6月.  
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/20/pdf/shiryu4.pdf>  
[http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild\\_tk2\\_000014.html](http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild_tk2_000014.html)
- 7) 国土交通省官庁営繕部:官庁施設の総合耐震・対津波計画基準, 2013年3月29日.  
<https://www.mlit.go.jp/common/001157883.pdf>
- 8) 国土技術政策総合研究所:災害拠点建築物の設計ガイドライン(案), 国総研資料 第1004号  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryuu/tnn/tnn1004.htm>
- 9) 国土交通省住宅局:防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン, 2018年5月.  
[http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku\\_house\\_tk\\_000088.html](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk_000088.html)  
<http://www.mlit.go.jp/common/001292550.pdf>(2019年6月8日確認)
- 10) 国土交通省住宅局:防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン, 2018年5月.
- 11) 公益社団法人ロングライフビル推進協会:BCP対応ビル指針(案), 2016年9月30日.
- 12) 鳥澤一晃, 石田寛:建築設備システムの地震被害による機能停止リスク評価手法, JCROSSAR2011 論文集 (第7回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム), A論文, pp.49-54, 2011.
- 13) 一般社団法人日本建築構造技術者協会:JSCA 性能設計説明書 2017年版【耐震性能編】およびパンフレット, 2018年3月.
- 14) 日本建築学会:建築物の耐衝撃設計の考え方, 日本建築学会, 2015

## Appendix : 精算法算定フロー

ここでは、参考文献 12), 14)に示される手法を基にした精算法について、概念と大まかなフローを示す。精算により検討を行うに当たっては、フォールトツリー解析(FTA: Fault Tree Analysis), イベントツリー解析(ETA: Event Tree Analysis), 及びそれらを複合させたリスク評価手法である確率論的リスク評価(PRA: Probabilistic Risk Assessment)に基づいて検討を行う。

FTA は、システムの望ましくない結果をもたらす原因をトップダウンで体系的に探究する手法である。FT(Fault Tree: 故障の木)は、図 A1 に示すように、対象となるシステムの望ましくない結果を頂上事象とし、その原因を階層的に上位から下位レベルまで順次展開して、その因果関係を AND, OR 等の論理記号で結んだ樹木状の論理展開図のことである。最下位レベルは、対象となるシステムを構成する機器の故障・人的過誤事象・外部要因事象など、システムの望ましくない結果の原因となる事象(原因事象)である。FT を用いることにより、頂上事象を発生させる原因事象の組合せを導き出すことができ、この組合せと各原因事象の発生確率を積み上げることで頂上事象(システムの望ましくない結果)の発生確率を定量化することが可能である。回路には原因事象の関係から AND ゲートと OR ゲートが存在し、AND 回路は並列(事象 A と事象 B の両方が起きる), OR ゲートは直列(事象 A と事象 B のいずれかが起きる)として積み上げることとなる。



ETA は、ある単一の原因から生じる複数の潜在的な結果を分析する手法である。ET(Event Tree: 事象の木)とは、図 A2 に示すように、左端の発端となる事象(起因事象)を出発点として、右に向かって起因事象がもたらす状況の進展を防止するために講じる複数の対策を時系列順に配置し、対策の成功/失敗で上下に分岐させながら最終状態に至るまで展開した樹木状の論理展開図のことである。ET を用いることにより、起因事象から各分岐における対策の成功/失敗確率を順次積算していくことで最終状態の発生確率を定量化することができる。回路には FT と同様、原因事象の関係から AND ゲートと OR ゲートが存在し、AND ゲートは並列(事象 A と事象 B の両方が起きる), OR ゲートは直列(事象 A と事象 B のいずれかが起きる)として積み上げることとなる。

本稿で提案するレジリエンス量の算定にあたっても同様の手法を用いる。具体的には以下の通りである。なお、以下では設備機器の安定性を例にとり説明する。

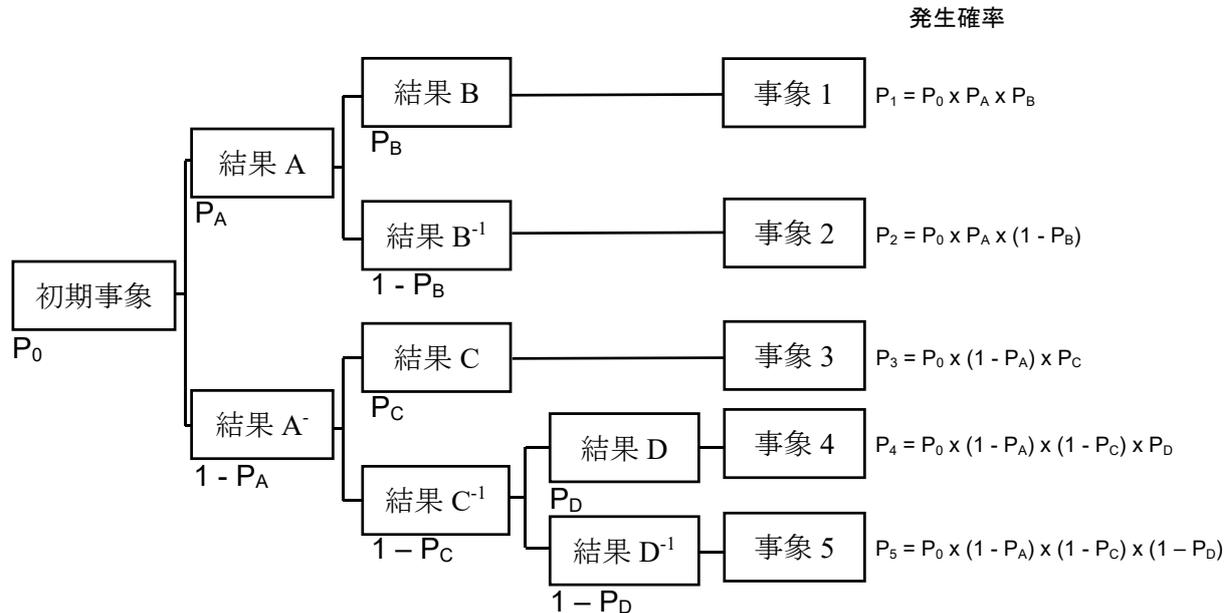


図 A2. イベントツリー

地震動強さが  $x$  のときに設備機器  $i$  が停止する確率  $G_i(x)$  は、設備機器  $i$  の耐力が対数正規分布に従うと仮定すると次式で表すことができる。

$$G_i(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x/\theta_i)}{\beta_i}\right)$$

ここに、 $\Phi(\cdot)$  は標準正規分布関数、 $\theta_i$  は設備機器  $i$  の耐力の中央値、 $\beta_i$  はその対数標準偏差を表す。

また、設備機器  $i$  が停止したときに復旧期間が  $t$  以下になる確率  $H_i(t)$  は、設備機器  $i$  の復旧期間が対数正規分布に従うと仮定すると、次式で表すことができる。

$$H_i(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t/q_i)}{b_i}\right)$$

ここに、 $q_i$  は設備機器  $i$  が停止したときの復旧期間の中央値、 $b_i$  はその対数標準偏差を表す。

これらより、地震動強さ  $x$  が発生したときに設備機器  $i$  の復旧期間が  $t$  以下になる確率の確率分布関数は、『設備機器  $i$  が停止しない確率』と『停止したときに復旧期間が  $t$  以下になる確率』の和となり、次式のように表すことができる。

$$F(t|x) = (1 - G_i(x)) + G_i(x) \cdot H_i(t)$$

これを用いると、設備システム全体の機能停止期間の確率分布関数は次式で表される。

$$\text{AND ゲート} : F(t|x) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i(t|x))$$

$$\text{OR ゲート} : F(t|x) = \prod_{i=1}^n F_i(t|x)$$

これらを FT に基づき積み上げることにより、設備システム全体の機能停止期間を算定する。構造に関しても同様の考え方によれば計算が可能である。

地震動強さが  $x$  のときに構造が損傷する確率  $T_i(x)$  は、構造要素  $i$  の耐力が対数正規分布に従うと仮定すると、次式で表すことができる。

$$T_i(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x/\theta_i)}{\beta_i}\right)$$

ここに、 $\Phi(\cdot)$  は標準正規分布関数、 $\theta_i$  は構造要素  $i$  の耐力の中央値、 $\beta_i$  はその対数標準偏差を表す。

また、構造要素  $i$  が停止したときに復旧期間が  $t$  以下になる確率  $U_i(t)$  は、設備機器  $i$  の復旧期間が対数正規分布に従うと仮定すると、次式で表すことができる。

$$U_i(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t/q_i)}{b_i}\right)$$

ここに、 $q_i$  は構造要素  $i$  が損傷したときの復旧期間の中央値、 $b_i$  はその対数標準偏差を表す。

これらより、地震動強さ  $x$  が発生したときに構造要素  $i$  の復旧期間が  $t$  以下になる確率の確率分布関数は、『構造要素  $i$  が損傷しない確率』と『損傷したときに復旧期間が  $t$  以下になる確率』の和となり、次式のように表すことができる。

$$S(t|x) = (1 - T_i(x)) + T_i(x) \cdot U_i(t)$$

これを用いると、構造システム全体の復旧期間の確率分布関数は次式で表される。

$$\text{AND ゲート} : S(t|x) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - S_i(t|x))$$

$$\text{OR ゲート} : S(t|x) = \prod_{i=1}^n S_i(t|x)$$

その他の性能に関しても同様に積み上げることにより、算定が可能である。

ただし、精算法については各要素の『耐力の中央値・標準偏差』、『復旧期間の中央値・標準偏差』を求める必要がある。設備機器に関しては文献 12) において例示されているが、すべての機器に対して提示されているわけではない。示されていないものに関しては新たにデータを収集したり、類似の機器から推定したりするなどの手法が考えられる。一方で、構造要素に関してはどう設定するか自体が今後の課題となると考えられる。略算法ではその煩雑さと不明瞭さを排除し、大胆な仮定を導入しながらも大きく傾向がつかめることを念頭に置き、本稿では検討を行った。

## 7. BCP 活動の普及に向けて

### 7.1 はじめに

建物のレジリエンスと BCP レベル指標検討特別調査委員会（以下、特別調査委員会）は、2018 年 4 月に「BCP 活動普及検討 WG（以下、WG）」を設置して以下の検討を行ってきた。

- ① 融資や保険制度など、すでに存在しているインセンティブも参考にして、より BCP 活動の普及を進めるための提案を行う。
- ② 建物の所有者、管理者、利用者への教育が重要であり、BCP 活動の普及・啓発のために、パンフレットなどを作成する。

本稿では、上記 WG における取組成果として、まず、BCP 活動の普及や建物耐震性能向上などのインセンティブとして期待される既存制度事例を調査した結果を報告する。ここでの BCP 活動とは災害や事故等の発生時に、事業資産の損害を最小限にとどめつつ、中核となる事業の継続あるいは早期復旧を可能とするために平時および緊急時に行うべき活動を指している。そこで、次にこの BCP 活動の基盤となる建物に着目し、企業・組織の BCP 策定時に利用可能な指標として、上記の特別調査委員会が提案する建物のレジリエンス性能（機能維持・回復性能）の全体のレベルを表した「BCP レベル指標」を普及させるための方策について検討した結果を報告する。また、近年、リスクコンサルティング会社を中心に、企業の BCP 活動を支えるコンサルティングサービスが提供されており、その代表的な事例を提示する。最後に BCP 活動の普及・啓発を目的として、建物レジリエンス性能評価指標に対する利用者の理解を促すために作成したパンフレットを紹介する。

### 7.2 インセンティブとなる既存制度の調査

#### (1) 既存制度事例とインセンティブ

BCP 活動を普及させるための取組みとして、様々な制度が展開されている。そこで BCP の普及や建物耐震性能向上などのインセンティブとして期待される既存制度事例を収集して内容を整理した。表 1（その 1）～（その 3）に収集した 9 件の既存制度事例の概要を示す。各制度における主なインセンティブには以下が含まれていることを確認した。

- ・ リスク情報の提供による BCP 活動の促進・改善
- ・ 第三者機関の認証による BCP 活動の対外的アピール力の向上や利害関係者への安心感の提供
- ・ 経済的優遇（入札・融資・保険割引等の条件）による制度利用率の向上

表1(その1). BCP等の普及や建物の耐震性能向上に向けた既存制度事例

■ BCMS 適合性評価制度 <sup>1)</sup>	
主体	(財) 日本情報経済社会推進協会
概要	国際規格 ISO22301 との適合性に基づいて第三者認証機関が評価することで、 <u>重要業務が継続される仕組みが確立・維持されていることを利害関係者に保証するもの。</u>
普及実績	・認証取得組織数 (2019年12月4日現在) : 【登録】94組織、【公表】88組織 (情報源 : <a href="https://isms.jp/bcms/1st/ind/index.html">https://isms.jp/bcms/1st/ind/index.html</a> )
■ レジリエンス認証制度 <sup>2)</sup>	
主体	(財) レジリエンスジャパン推進協議会
概要	各種団体における事業継続の積極的な取組を広めることにより、社会全体の強靱化を進めることを目的として行うもの。認証取得により、 <u>対外的アピール力の向上、事業継続に関する取組の改善、銀行融資の優遇などのメリットがある。</u>
普及実績	・認証取得団体数 (2019年11月29日現在) : 161団体 ※認証有効期限が2年間のため、過去2年分を調査 <参考> ・2019年度第2回 : 37団体 (新規18団体、更新19団体) ・2019年度第1回 : 11団体 (新規4団体、更新7団体) ・2018年度第3回 : 28団体 (新規21団体、更新7団体) ・2018年度第2回 : 35団体 (新規16団体、更新19団体) ・2018年度第1回 : 50団体 (新規10団体、更新40団体) (情報源 : <a href="http://www.resilience-jp.biz/certification/organizations/">http://www.resilience-jp.biz/certification/organizations/</a> )
■ 災害時建設業事業継続力認定制度 <sup>例えば3)</sup>	
主体	国土交通省地方整備局 (東北・関東・近畿・中国・四国)
概要	建設会社のBCP策定を促進するために地方整備局が評価して認定証の発行や公表を行い、その効果により地方整備局の災害対応力や地域の防災力の向上を図るもの。認定された建設会社は、 <u>総合評価落札方式の入札時に加点対象となる。</u>
普及実績	・認定会社数 : 1,907社 <参考> ・東北地整 (2019年10月現在) : 76社 ・関東地整 (2019年10月現在) : 787社 ・近畿地整 (2019年10月現在) : 687社 ・中国地整 (2019年4月現在) : 218社 ・四国地整 (2019年9月現在) : 139社 (情報源 : <a href="http://www.az-bcp.jp/bcp-k2.html">http://www.az-bcp.jp/bcp-k2.html</a> )
■ SMBC 事業継続評価融資/私募債制度 <sup>4)</sup>	
主体	(株) 三井住友銀行
概要	BCP/BCM/BCMS を三井住友銀行等が策定した独自の基準で評価し、結果に応じて <u>資金調達</u> の条件設定を行うもの。資金調達方法は融資・私募債から選択できる。
普及実績	・制度利用会社数 (2018年4月時点) : 述べ53社 <参考> 2011年4月～ : 8社、2012年4月～ : 8社、2013年4月～ : 7社、 2014年4月～ : 8社、2015年4月～ : 5社、2016年4月～ : 4社、 2017年4月～ : 8社、2018年4月～ : 5社 (情報源 : <a href="https://www.smbc.co.jp/hojin/eco/goriyou/continuity.html">https://www.smbc.co.jp/hojin/eco/goriyou/continuity.html</a> )

※表中の概要について、下線部分はインセンティブ関連箇所。

表1(その2). BCP等の普及や建物の耐震性能向上に向けた既存制度事例

■ DBJ BCM 格付制度 <sup>5)</sup>	
主体	(株) 日本政策投資銀行
概要	日本政策投資銀行 (DBJ) が開発した独自評価システムにより、防災及び事業継続対策への取り組みに優れた企業を評価し、その評価に応じて融資条件を設定するという「BCM 格付」を導入した融資制度。
普及実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制度利用会社数 (2019年3月時点) : 延べ176社</li> <li>&lt;参考&gt;</li> <li>2006年度 : 10社、2007年度 : 2社、2008年度 : 5社、2009年度 : 3社、</li> <li>2011年度 : 25社、2014年度 : 32社、2015年度 : 28社、2016年度 : 29社、</li> <li>2017年度 : 19社、2018年度 : 23社</li> </ul> (情報源 : <a href="https://www.dbj-sustainability-rating.jp/bcm/list.html#list">https://www.dbj-sustainability-rating.jp/bcm/list.html#list</a> )
■ 住宅性能表示制度 (耐震等級) <sup>6)</sup>	
主体	(社) 住宅性能評価・表示協会
概要	「住宅性能表示基準」に従って建物の耐震性能 (等級 1~3) を評価したもの。 <u>住宅ローン減税</u> や <u>地震保険料の耐震等級割引</u> 等でより大きな優遇制度を受けるための条件となる場合がある。
普及実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計住宅性能評価戸数 (2019年9月末まで累計) : 交付 3,536,534 戸</li> <li>・建設住宅性能評価戸数 (2019年9月末まで累計) : 交付 2,716,303 戸</li> </ul> (情報源 : <a href="https://www.hyoukakyukai.or.jp/download/jisseki_jutaku.html">https://www.hyoukakyukai.or.jp/download/jisseki_jutaku.html</a> )
■ 耐震基準適合証明制度 <sup>7)</sup>	
主体	国土交通省
概要	旧耐震基準により建築された既存住宅で、現行の耐震基準に適合するよう耐震改修を行ったことを証明するもの。 <u>住宅ローン減税</u> や <u>地震保険料の耐震診断割引</u> などを受けることができる。なお、住宅ローン減税目的の場合、新耐震基準の建物は適合審査が省略されるため、中古マンション取引 (旧耐震基準による建物のみ) が対象となる。
普及実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住宅金融公庫の中古住宅に関する借入申し込み実績 : 18,383 件 (2018年度実績) の内、旧耐震基準による建物</li> </ul> (情報源 : <a href="https://www.jhf.go.jp/about/research/loan_flat35.html">https://www.jhf.go.jp/about/research/loan_flat35.html</a> )
■ 耐震マーク表示制度 <sup>例えば8)</sup>	
主体	国土交通省・所管行政庁
概要	「建築物の耐震改修の促進に関する法律 (2013年改正)」に基づき、地震に対する安全性に係る表示マーク制度が創設され、所管行政庁から認定を受けた建物の所有者は耐震性確保の旨を表示できるもの。建物の利用や中古物件の流通に安心感をもたらす効果などが期待されている。
普及実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一般財団法人日本建築防災協会・既存建築物耐震診断・改修等推進全国ネットワーク委員会 (交付実績、H20~H23) : プレート建物用 / 219枚、施設用 / 106枚</li> <li>・東京都耐震マーク (交付実績) : 特定緊急輸送道路沿道建築物 / 約400件、公共建築物約 / 約18,000件</li> <li>・横浜市耐震改修済証表示板 (交付実績、H19~H24) : 37枚</li> </ul> ※既存建築物耐震診断・改修等推進全国ネットワーク委員会や各地方公共団体で実施されているが、全体を把握した資料は確認できず、上記は国土交通省資料 <sup>9)</sup> に記載された実績値を記載している。

※表中の概要について、下線部分はインセンティブ関連箇所。

表1(その3). BCP等の普及や建物の耐震性能向上に向けた既存制度事例

■ CASBEE 評価認証制度 (レジリエンス住宅チェックリスト) <sup>10)</sup>	
主体	一般財団法人建築環境・省エネルギー機構
概要	「CASBEE (建築環境総合性能評価システム)」は、建物の環境性能を評価し格付けする手法で各種の評価ツール。そのツールの一つとして <u>住まいのレジリエンスを高め</u> る「きっかけ」として活用されることを目的として開発された「レジリエンス住宅チェックリスト」がある。
普及実績	(不明)

※表中の概要について、下線部分はインセンティブ関連箇所。

## (2) なぜインセンティブが必要か

BCP活動を普及させるために上述のようなインセンティブが必要となる理由を考察する。そもそも我が国は地震災害の多発国であり、震災経験や地震リスクに関する情報および科学的知見は比較的豊富にあるはずであるが、具体行動に容易に結びつかない現状にある。このようなリスク認知と行動が乖離し、非合理的な行動選択をしてしまう要因の一つとして説明される理論に二重過程理論<sup>例えば 11), 12)</sup>がある。二重過程理論とは、人間には直感型 (システム 1) と熟慮型 (システム 2) の2つの情報処理システムがあるという理論である。

長瀬<sup>13)</sup>はまれに襲ってくる天災リスクは確実性が低く、時間も切迫していないため、リスクとベネフィットのトレードオフに思考をめぐらす余裕があり、一般的にシステム 2 の情報処理を行うが、天災リスクには以下の特徴があるため、人間の認知システムにおいてリスクを過小評価に導きやすい点があると指摘している。

- ① 物理的な実体のような鮮明なイメージが喚起しにくい。
- ② リスクの存在が距離的に遠く感じられる。
- ③ 起こる確率が比較的小さく、起こるとしても遠い先に思われる。
- ④ リスクに晒されている時間が長時間に及ぶ。
- ⑤ リスク回避の行動をとるべきかどうかの費用便益計算をする余地がある。

したがって、BCP活動を普及させるためにはリスク認知におけるバイアスを小さくし、合理的な選択をさせるようなインセンティブを与える必要があると考える。

## 7.3 BCP レベル指標を普及させるための方策の提案

### (1) ヒアリング調査の実施結果

特別調査委員会が提案する「BCP レベル指標」の活用可能性と、活用による効果への期待に関する意見を聴取することを目的として、関係機関・企業に対してヒアリング調査を実施した。対象機関・企業は、①不動産会社 (デベロッパー)、②建設会社、③損害保険会社、④報道機関、⑤自治体機関である。ヒアリング調査の結果を表2に示す。

ヒアリング調査の結果から、自治体機関以外は普及が一定進めば指標が活用できる可能性があることを確認した。活用効果については、経済面での優遇のほかに、不動産会社からの意見として、建築基準法や消防法等の定期点検などの諸検査回数の低減が期待されており、他の制度や仕組みとの連携を含めた全体的な業務負担軽減もインセンティブになりえること

が明らかになった。また、評価指標への認知度を高めるためのパンフレット等の作成や建物の性能を向上させるための具体的な仕組みとの連動が必要との意見も出された。

表 2. 「BCP レベル指標」の活用可能性と効果への期待（ヒアリング調査結果より）

ヒアリング対象	活用可能性	活用による効果への期待
不動産会社 (デベロッパー)	・ 機関投資家へのアピールポイントやテナント誘致に活用できる可能性がある。	・ 税制優遇や賃料と連動するなどの企業収益に直結するとよい。 ・ 建築基準法や消防法等の定期点検などの諸検査回数が低減するとよい。
建設会社	・ 顧客が費用負担して指標による評価への要望があれば、建築設計時に採用していくような可能性がある。	・ 直接的なメリットは現状では見出しにくいですが、デベロッパー主導で進むと動きやすい。
損害保険会社	・ 企業費用・利益総合保険の保険料を検討する際の社内参考資料として活用できる可能性がある。	・ 利益損失リスクの軽減に向けて事業継続への関心を高める効果に期待している。
報道機関 (営繕部局)	・ 耐震補強を含めて、建物の性能向上に結びつくような改修工事への周囲の理解を促すような活用が考えられる。	・ 社会的な関心が高まれば番組として採りあげることができるかもしれない。
自治体機関	・ 自治体の建物を対象とした場合、直接的な活用の可能性は小さい。	・ 建物の性能を向上させる仕組みと連動するとよい。

## (2) 損害保険のインセンティブとしての可能性

既存制度事例の調査、および関係機関・企業へのヒアリング調査の結果から、インセンティブとして経済的優遇策への期待が大きいことを確認した。そこで WG では損害保険に着目して実現可能性の検討を行った。

### a) 抵抗力向上と損害保険商品との関係

図 1 に、Bruneau<sup>14),15)</sup>のレジリエンストライアングルの図を用いて、建物のレジリエンス性能と BCP レベル指標の概念を示す。

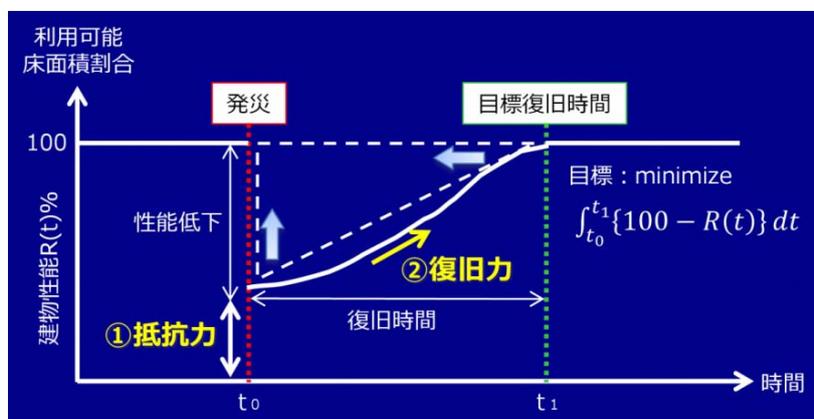


図 1. 2つの評価軸（①抵抗力と②復旧力）

同図に示すように、本提案指標には①抵抗力と②復旧力の2つの評価軸がある。同図の①抵抗力は建物や設備の耐震性能に係る指標であり、耐震性能が高い建物は財物が損害を被るリスク（プロパティリスク）が小さくなることから保険料の低減を検討することができる。実際に住宅用の地震保険（家計地震保険）には、耐震等級割引や免震建築物割引などがあり<sup>16)</sup>、耐震性能を向上させるためのインセンティブとして機能している。一方、商業ビルや工場用の地震保険（企業地震特約）は、各損害保険会社の裁量で一定の割引を検討することは可能であるが、明示的な割引制度は存在していない。

#### b) 復旧力向上と損害保険商品との関係

図1の②復旧力は事業停止期間に係る指標であり、事業停止期間が短くなれば、利益機会の喪失を逃れることができる。このような事業中断リスクに対して損害保険各社<sup>例えば 17)</sup>は企業費用・利益総合保険を販売している。この保険は売上高・営業利益の減少、固定費（経常費）の支出、臨時費用の支出に対する補償を提供するものである。保険料はあらかじめ設定した想定事業停止期間を基に算出されるため、想定される停止期間が短くなれば保険料を低減することができる。ただし、想定停止期間を超えた場合に十分な補償が受けられない可能性に留意が必要となる。

#### c) インセンティブとしての課題

レジリエンス性能が高い建物、すなわち抵抗力や復旧力が高い建物に対して、保険料の割引や低減を行える可能性があり、インセンティブとしての活用が期待できる。一方、その実現に向けては下記の課題が挙げられ、今後継続的な検討が必要である。

- ・ 事業停止リスクのグレードが高ければ割引率をいくらにする、というような保険商品の販売には金融庁の認可が必要となる可能性がある。
- ・ 利益系補償商品の加入率は財物補償商品と比較して相対的に低く、インセンティブ効果は、現状においては限定的である。
- ・ 地震による事業中断リスクは、損失が巨額に膨らむ可能性があり、損害保険各社単体は慎重な引き受けを行っている。
- ・ 保険金支払いは事業中断期間ではなく、実際の売上減少額を評価しており、特別調査委員会が提案する指標と整合しない可能性がある。

### (3) 行動経済学に基づくインセンティブの検討

7.2 節で述べたようにリスク認知と行動には乖離があり、必ずしも経済的合理性だけでは適切な行動に誘導できない可能性がある。そこで、本来、地震が多発している我が国に居住する人々は地震リスクを無視しているわけではないと捉え、そのような人々に対して自発的に適切な行動をとるように誘導するような仕掛けを提供することを検討した。具体的には行動経済学<sup>18)</sup>で近年注目されているナッジ理論を切り口として、インセンティブの検討を行った。検討結果を表3に示す。今後、各インセンティブ案の実現可能性と効果について検討を進める必要がある。

表3. 行動経済学におけるナッジ理論に基づくインセンティブ案

理論・効果名	理論・効果の概要	インセンティブ案
プロスペクト理論	<ul style="list-style-type: none"> <li>人は利益を得られる状況ではリスクを回避して利益を得ようとする</li> <li>損失を被る場面ではリスクをとってでも損失を回避しようとする</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>無料評価キャンペーンを実施し、評価を受けることが得とってもらう</li> <li>評価を受けないとデフォルトで★なしと評価する</li> </ul>
プラシーボ効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>効果のないものに対して、何らかの思い込みによって影響が生じる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>著名人などの意見を宣伝し、大きな価値を感じてもらおうと同時に、性能評価の負の部分（手続きの面倒さなど）は妥協してもらう</li> </ul>
ハロー効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>人やモノなど何らかの対象を評価する時に、目立った特徴によって他の特徴に対する評価が歪められる効果</li> </ul>	
バンドワゴン効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの人がある評価を利用している、と気づくような仕掛けを与える</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>マスメディアや SNS 等で評価事例を宣伝し、皆が評価を受けていることを伝える</li> </ul>
サンクコスト、コンコルド効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>埋没費用に対して損切りできない心理がもたらす効果</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価を受けた場合に自家発電等の割引クーポンを配布し、構造ヘルスマニタリングシステムを導入にした場合には性能評価の割引クーポンを配布する</li> </ul>

## 7.4 BCP 活動に関連したコンサルティングサービス事例

リスクコンサルティング会社を中心に、企業の BCP 活動を支えるコンサルティングサービスが提供されている。代表的な事例<sup>19),20)</sup>として、(1)事業継続マネジメント (BCM) 体制構築支援、(2) 事業継続マネジメントシステム (BCMS) 構築支援、(3)事業継続計画 (BCP) 訓練支援、(4) 建物の継続使用判定支援を紹介する。

### (1) 事業継続マネジメント (BCM) 体制構築支援

BCM とは、事故や災害などの発生に伴って平常時の事業活動が中断した場合を想定して、あらかじめ目標として設定した期間内に中核事業を再開できるよう計画・準備するための取り組みのことである。これまでに発生した多くの事故や災害において、大幅な減益や業務停止、企業の倒産などの事態に陥ったケースでも、BCM への取り組みが適切に行われていれば避けることができたと思われるケースも少なくはない。このような背景のもと、BCP 策定をはじめ、BCM の活動全般を総合的・多面的に支援するコンサルティングサービスが提供されている (図 2)。

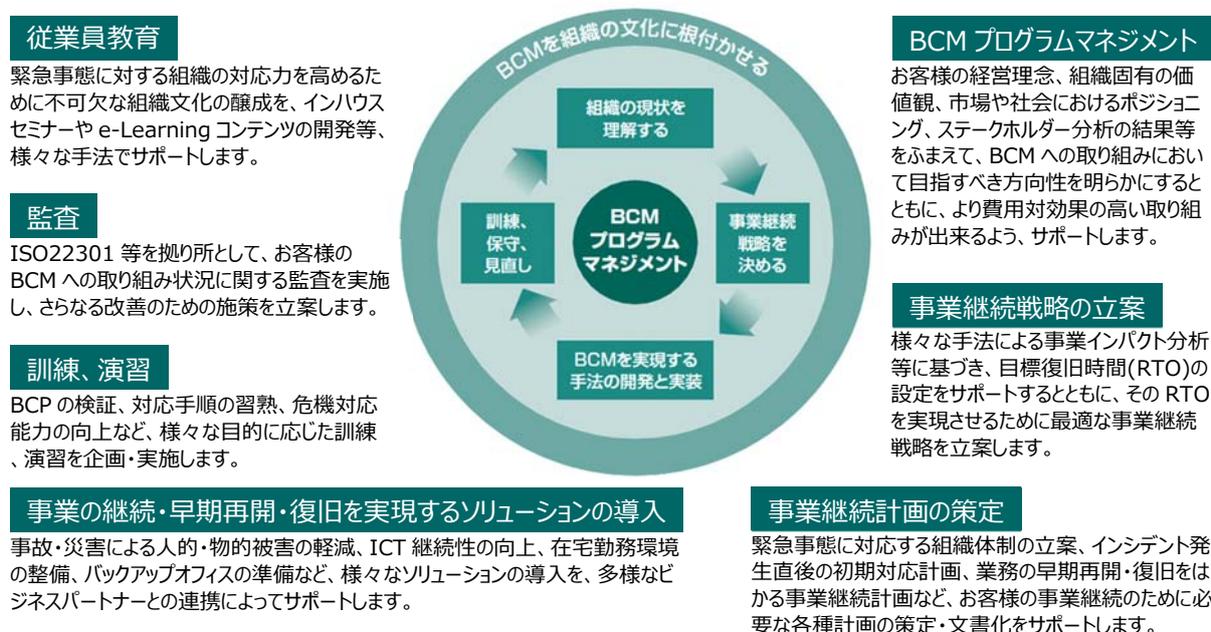


図 2. 事業継続マネジメント (BCM) 体制構築支援サービスの全体像

### (2) 事業継続マネジメントシステム (BCMS) 構築支援

BCMS とは、全社的なマネジメントシステムのうち、事業継続を確立・実践・運用し、モニタリングやレビューを行い、維持・改善する部分のことである。ISO22301:2012「社会セキュリティー事業継続マネジメントシステムー要求事項」に示されている代表的なモデルには、PDCA サイクルをはじめとした、ISO9001 や ISO14001 と同様なマネジメントシステムの考え方が適用されている。BCMS ではこのモデルの運用により、業務の阻害・中断を引き起こす事故や災害などのインシデントを予防し、その発生確率を低減し、発生に備え、発生した場合には対応し、事業を復旧することを目指している。また、リスクコンサルティング会社では、企業に最適な BCMS の構築、維持・運用、継続的改善について、企業の要望に

応じた支援サービスや、BCMS の認証取得に向けた取り組みについても全面的にバックアップするサービスを提供している（図3）。



（出典：MS&AD インターリスク総研株式会社）

図3. 事業継続マネジメントシステム（BCMS）構築支援サービス全体像

### (3) 事業継続計画（BCP）訓練支援

近年、大地震の発生を想定した BCP の策定支援に加えて、大規模水害や新型インフルエンザ等に対応する BCP や、サプライチェーンを考慮した BCP の策定を支援するコンサルティングサービスの提供が行われている。策定した BCP を基にした訓練は、①BCP の理解と定着、②BCP の課題抽出、③関係者の判断能力・対応能力の向上、などの事業継続対応における実効性を高めるために必要不可欠なプロセスである。最近では、表4に示す多様な訓練手法から企業にとって最も効果的な訓練サービスの提供や、企業が独自に訓練を継続実施できるよう「自走化」を支援するサービスが提供されている。

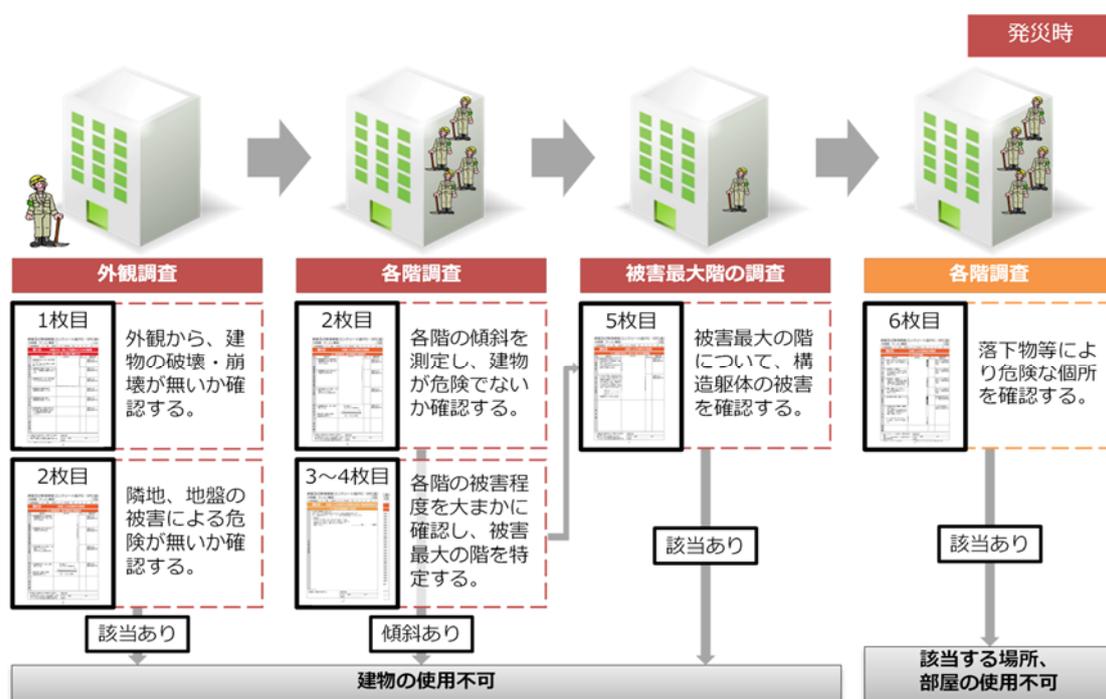
表4. BCP 訓練手法の事例

訓練手法	具体的なやり方	特徴・効果
状況付与型シミュレーション	参加者に被災状況を次々に付与し、BCP に基づいた対応・判断を行ってもらいます。	災害時に BCP が機能するかの検証に効果的
アクション	BCP で予定されている行動を実施する、実働訓練です。（例：安否確認システム操作、対策本部の設営、要員の参集、通信機器操作、バックアップシステム稼動 など）	手順の習熟に効果的
クイズ・ワークショップ	提示した様々な状況下において、BCP に基づき何を行うか、グループディスカッションをします。	BCP の内容理解、手順の理解に効果的
チェックリスト	災害時における実施事項と順序を示したチェックリストに基づき、実際に各手順を実行・チェックします。	遠隔地にある複数の拠点（支店など）で実施する訓練に効果的
読み合わせ	BCP 文書の読み合わせを実施し、その実効性の可否や整合性などを検証します。	BCP の内容理解、関係者の意識向上に効果的
お芝居	予め作成した台本に沿って、参加者が BCP 対応を演じることにより、その実効性の可否や整合性などを検証します。	特定の災害発生時における行動フローの理解に効果的

（出典：MS&AD インターリスク総研株式会社）

#### (4) 建物の継続使用判定支援

大地震等の発生時には建物の所有者・利用者等は早急に建物の安全性を確認し、待機・退避の判断をする必要がある。課題として、建物の状況を把握できずに利用を続けて大きな2次災害が発生してしまう可能性や、建物の調査を専門家に依頼しても、状況把握までに時間を要する場合がある。この課題に対して、2015年2月に内閣府<sup>21)</sup>より「大規模地震発生直後における施設管理者等による建物の緊急点検に係る指針」が示された。同指針は、大規模地震発生時の帰宅困難者受け入れなどのため、建物の安全確認方法を取りまとめたもので、建物の管理者等、建築に関する専門知識を持たない者が、緊急・応急的に建物の安全確認を行う際の事前準備や安全確認の具体的な方法が記載されている。この内閣府の指針に掲示されている安全確認カルテやチェックシートを活用した建物の継続使用判定支援サービスが提供されている(図4)。



(出典：内閣府資料、MS&AD インターリスク総研株式会社)

図4. 建物の継続使用判定支援サービスにおける被災時の安全確認フロー

## 7.5 BCP レベル指標の普及・啓発に向けたパンフレットの作成

### (1) パンフレットの構成

前述の関係機関・企業へのヒアリング調査結果では、「BCP レベル指標」への認知度を高めるためにパンフレット等の作成が必要との意見が出された。そこで、建物の所有者、管理者、利用者などの被評価者や、評価の実施者を対象としたパンフレットを作成した。図5、図6にパンフレットの構成を示す。

パンフレットは A3 両面を用いて作成し、折り畳むと A4 サイズとなる大きさを採用した。図5の A3 表面は被評価者向けの内容として、図5の A3 裏面は評価者向けのコンテンツで構成した。

### (2) 被評価者向けコンテンツ

表紙には、Bruneau<sup>14),15)</sup>のレジリエンストライアングルの図を用いて、建物のレジリエンス性能や BCP レベル指標の概念と 2 つの評価軸の概要を表示した。裏表紙にはレジリエンス性能が抵抗力特化型と復旧力特化型の建物を例とした 6 種類のイメージ図を掲載し、各建物のレジリエンス性能と BCP レベル指標との概ねの対応関係が容易に理解できるようイラスト図にて示した。また、各機関・組織において想定される活用イメージを掲載した。

### (3) 評価者向けコンテンツ

A3 用紙の裏面は見開きページとし、建物のレジリエンス性能や BCP レベル指標をより詳細に理解し、評価手法の全体像を把握するための情報を記した。具体的には、パンフレットの上段に、本パンフレットの位置付けを説明するとともに、本提案指標は、①発災直前まで建物が保有する性能、②発災直後の被害状況、③発災直後から復旧までの性能、の 3 つ性能を総合的に評価することに特徴がある点を示した。また、定量的評価のための前提条件として、適用ハザードは地震と対象にしていること、および、地震動レベルは「極めて稀に発生する地震動」を対象にしていることを明記した。パンフレットの中段から後段には、建物のレジリエンス性能と BCP レベル指標の定量化の考え方、および、特別調査委員会が提案する簡易な定量化方法について図表を用いて記載した。

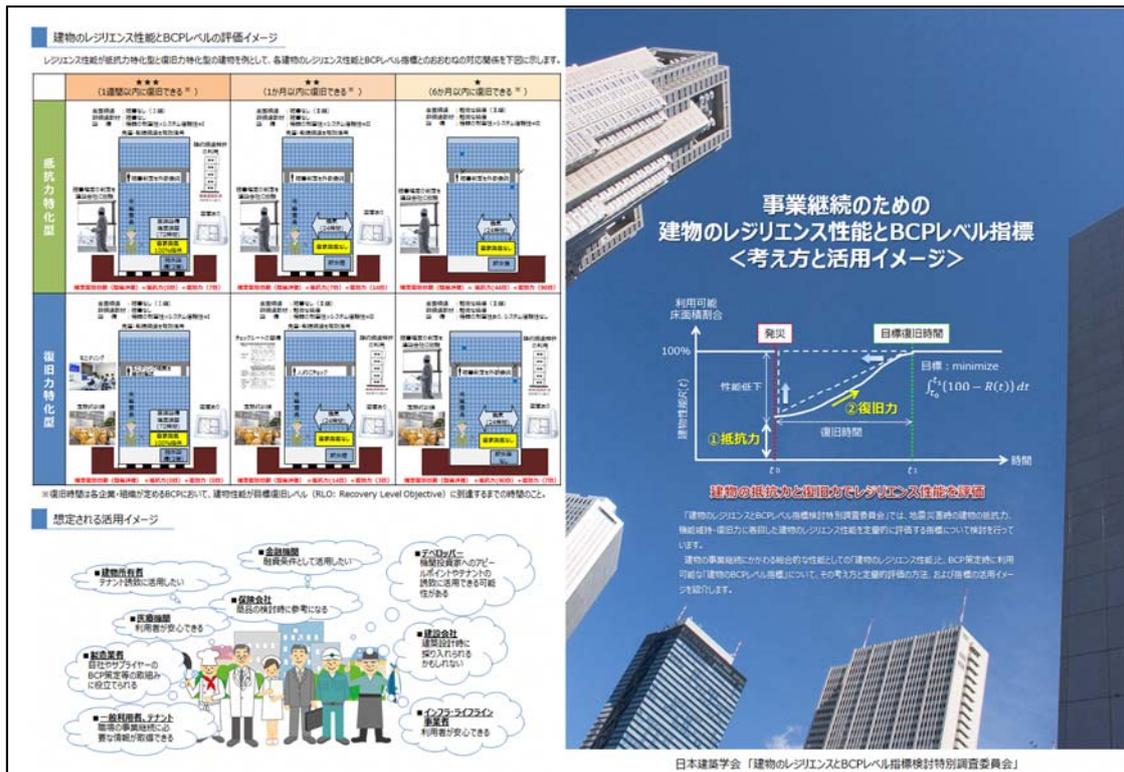


図 5. BCP レベル指標の普及・啓発に向けたパンフレットの構成 (A3 表面：表表紙および裏表紙)

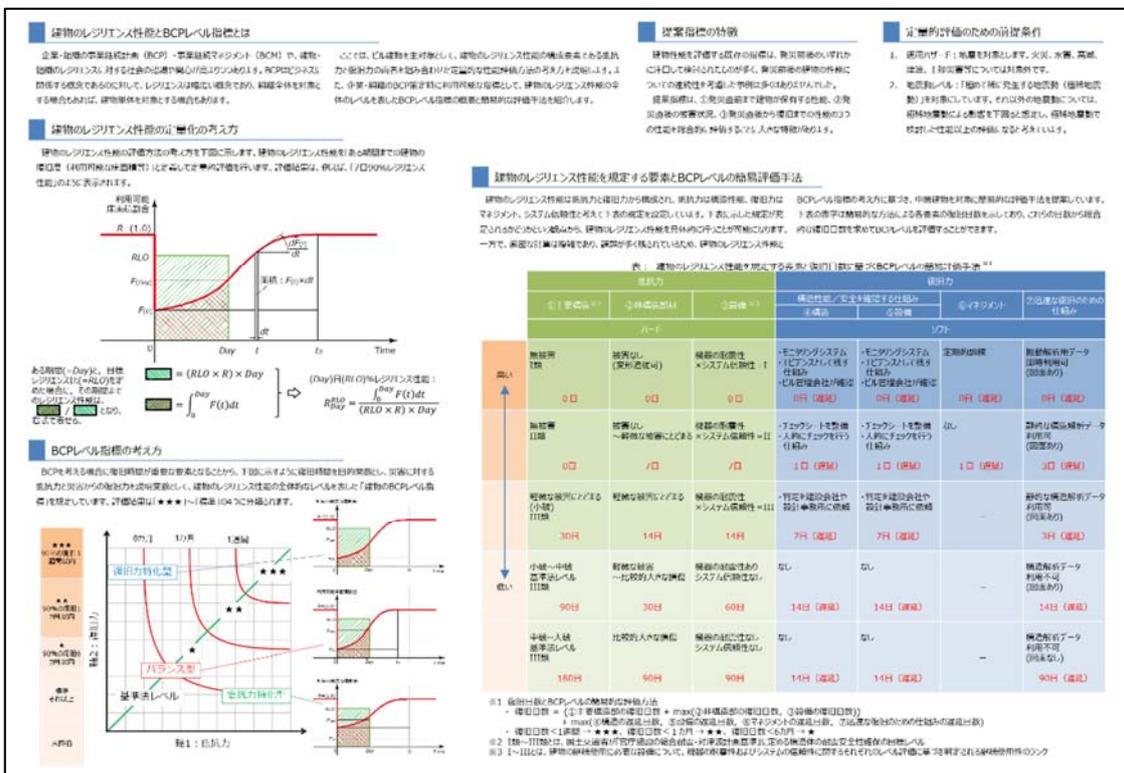


図 6. BCP レベル指標の普及・啓発に向けたパンフレットの構成 (A3 裏面：見開きページ)

## 7.6 おわりに

本稿では「BCP 活動普及検討 WG」における取組成果として、BCP レベル指標を普及させるための方策に関する検討結果を報告した。既存制度事例をとおして確認したように、典型的なインセンティブには、リスク情報の提供、第三者機関による認証制度の設立、経済的誘因策（減税、報酬、優遇措置、ペナルティ付与等）の適用、などが挙げられた。これらのインセンティブに加えて、指標の活用が想定される関係機関・企業へのヒアリング調査、損害保険のインセンティブとしての可能性検討、および行動経済学に基づくインセンティブ案の検討を行った。また、普及に向けた具体方策として、企業の BCP 活動を支える代表的なコンサルティングサービスの事例を提示するとともに、被評価者や評価者を対象に作成したパンフレットを紹介した。今後の課題として、他の制度や仕組みとの連携を含めて、効果的かつ実効的な普及のための方策の検討が必要である。

## 謝辞

7.3 節のヒアリング調査では機関・企業の方々に協力をいただき貴重なご意見やご助言を賜りました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 一般財団法人日本情報経済社会推進協会：BCMS 適合性評価制度の概要，経営者と管理者のための事業継続の手引き，<https://isms.jp/doc/bcmspanf.pdf>（2019.12.10 アクセス）
- 2) 一般財団法人レジリエンスジャパン推進協議会：内閣官房国土強靱化推進室「国土強靱化貢献団体の認証に関するガイドライン」に基づくレジリエンス認証について，[http://resilience-jp.biz/wp-content/uploads/2019/01/2019.1.24\\_pamph\\_2\\_2019.1\\_ver.8.pdf](http://resilience-jp.biz/wp-content/uploads/2019/01/2019.1.24_pamph_2_2019.1_ver.8.pdf)（2019.12.10 アクセス）
- 3) 国土交通省近畿地方整備局：近畿地方整備局災害時建設事業継続力認定制度について，<https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/jigyousya/kensetubcp/index.html>（2019.12.10 アクセス）
- 4) 三井住友銀行：SMBC 事業継続評価融資/私募債，<https://www.smbc.co.jp/hojin/financing/continuity/>（2019.12.10 アクセス）
- 5) 日本政策投資銀行：DBJ BCM 格付け，[https://www.dbj.jp/service/finance/risk\\_manage/index.html](https://www.dbj.jp/service/finance/risk_manage/index.html)（2019.12.10 アクセス）
- 6) 一般社団法人住宅性能評価・表示協会：確かな性能・安心の住まいづくりをしませんか？  
[https://www.hyoukakyokai.or.jp/download/pdf/seinou\\_2017.pdf](https://www.hyoukakyokai.or.jp/download/pdf/seinou_2017.pdf)（2019.12.10 アクセス）
- 7) 国土交通省：耐震基準適合証明書（様式），<https://www.mlit.go.jp/common/001285928.doc>（2019.12.10 アクセス）
- 8) 東京都：東京都耐震マーク表示制度について，東京都耐震ポータルサイト，<http://www.taishin.metro.tokyo.jp/tokyo/topic09.html>（2019.12.10 アクセス）
- 9) 国土交通省：今後の建築基準制度のあり方について、「住宅・建築物の耐震化促進方策のあり方について」（第一次報告）【概要資料】、[www.mlit.go.jp/common/000987681.pdf](http://www.mlit.go.jp/common/000987681.pdf)（2019.12.20 アクセス）
- 10) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構：レジリエンス住宅チェックリスト，CASBEE（建築環境総合性能評価システム），[http://www.ibec.or.jp/CASBEE/cas\\_home/resilience\\_checklist/index.htm](http://www.ibec.or.jp/CASBEE/cas_home/resilience_checklist/index.htm)（2019.12.10 アクセス）

- 11) Keith E. Stanovich, and Richard F. West: Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate?, Behavioral and Brain Sciences, Vol. 23, pp. 645–726, 2000.
- 12) ダニエル・カーネマン：ファスト&スロー(上) (下), 早川書房, 2014.
- 13) 長瀬勝彦：リスク認知のバイアス—なぜリスクが過小評価されるのか—, 組織科学, Vol. 45, No. 4, pp. 56-65, 2012.
- 14) M. Bruneau and A. Reinhorn, Overview of the resilience concept, Proc. of the 8th US National Conference on Earthquake Engineering (米国地震工学会議), 2006.
- 15) M. Bruneau et al., A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities, Earthquake Spectra, 19(4), pp733-752, 2003.
- 16) 損害保険料率算出機構：日本の地震保険, pp. 66-67, 2019.
- 17) 三井住友海上火災保険株式会社：企業費用・利益総合保険のご案内,  
<https://www.ms-ins.com/pdf/business/cost/kigyo-hiyou.pdf> (2019.12.10 アクセス)
- 18) リチャード・セイラー, キャス・サンスティーン：実践行動経済学, 日経 BP 社, p.415, 2014.
- 19) MS&AD インターリスク総研株式会社：コンサルティングメニュー,  
<https://www.irric.co.jp/risksolution/> (2019.12.10 アクセス)
- 20) MS&AD インターリスク総研株式会社：コンサルティングメニューのご案内, pp. 1-6, 2019.
- 21) 内閣府：大規模地震発生直後における施設管理者等による建物の緊急点検に係る指針, p.62, 2015.

## 8. 2019 年度大会パネルディスカッションの記録

本章では、2019年9月6日に開催された日本建築学会全国大会 PD「事業継続計画策定のための地震災害等に対する建物の機能維持・回復性能評価指標の提案に向けて」における議論内容について報告する。

### ◆司会：奥野 委員

まず初めに、各発表者の方に、他の主題解説の内容と絡めつつ、言い足りなかった事や補足などがありましたらお願いします。増田先生からお願いできますでしょうか。

### ◆増田 委員

最後の堀江さんの発表の中で利益保険の話がありました。利益保険とこの BCP 指標がダイレクトに 1対1 で対応する訳ではないということで、そのことについて補足させていただきます。

実は、今 BCP を策定する中では、必ず目標復旧時間を明示することが要求されていて、組織が BCP を定めた場合に、例えば、レジリエンス認証においても目標復旧時間が明示されることが 1つの判断基準です。しかし、この目標復旧時間については策定に工夫が必要です。顧客がどう考えているのか、それが実現可能なのか色々なことを総合的に判断しなければなりません。その時に、建物がどのくらいこたえてくれるのか、今まではわかりにくかったのです。ですから、この委員会で検討されているような、「7 日レジエンス性能」、「90% の復旧 1 カ月以内」といった指標が共有されれば、BCP の策定に非常に有益な指標となると考えております。

一方、このような指標がない中では、建物への投資や需要が低下する事も危惧しております。先程、堀江さんもおっしゃいましたが、ビジネスを考える上では、本当にその場所に留まって、その場所で事業を継続しなければいけないのか？という視点もあります。例えば、東京が被災した場合、大阪や京都で事業を継続するとか、グローバルに考えると、日本がダメならシンガポールやアメリカ、あるいはアメリカでも西海岸がダメなら東海岸と考えることができます。業種業態やビジネスの規模にもよりますが、複数のラインを確保しておく代替戦略が BCP の中で主流になってきています。この代替戦略を中心に考えると、なぜその場所、その建物に固執するのか？この場所がダメなら、他の場所でも良いのではないのか？という議論の中で、建物の重要性が見逃されてしまうことに繋がります。そのため、建物、建築に携わる人間としては、建物の性能をきちんと表現・発信していくことがとても重要であると思います。

もう 1つの戦略として、早期復旧戦略、現地復旧戦略と言われるものがあります。他に移すのではなく、その場所に留まり、その場所で早期に再開するものです。私達が良い建物を造る、レジリエントな建築を造るというのは、この早期復旧戦略、現地復旧戦略に対応しており、これからは代替戦略のみではなく、早期復旧戦略、現地復旧戦略のオプションをきちんと考えて提示していくことが必要だと思います。

各組織の BCP として、代替戦略のみが進むと、結果として、ビジネスが残ったとしても、都市としてはどんどん空洞化してしまい、全てが他に移ってしまうことにも繋がります。阪神・淡路大震災の後、神戸の港湾機能がグローバルな機能ネットワークの中ではまだ復興復

していないという話も聞きますが、都市力が低下することに繋がることになります。現在、色々な物が都市に集積しており、その都市力から便益を受けているので、その場所の建物にきちんと投資し、その場所である程度の事業を継続するという事は、結局はその組織にとっても、非常に重要なことだと考えております。そのため、こういった指標ができることが、BCPの中でも早期復旧戦略の充実に繋がると期待しております。1点補足をさせて頂きました。

#### ◆藤谷 委員

災害拠点建築物の設計ガイドラインで、「機能継続に支障となるような損傷を生じない」という話をさせて頂きましたが、発生確率の低い竜巻などによる飛来物対策評価法がなぜ重要かというところを補足させて頂きます。それがなぜ重要かと言うと、官庁施設では非構造部材として、すべてがひとくくりにされていますが、同じ非構造部材であっても、外壁と内壁とでは、それが壊れた時の建物の機能低下が大きく違ってきます。外壁が壊されると、建物は使い続けられないということがあり、これは非常に重要と考えていますので、強調して説明させて頂きました。

また、住宅局のガイドラインでは、床応答加速度が項目として入っていると申し上げましたが、これは言うまでもなく、室内の什器・家具の移動に関わる指標としてとても重要な指標となります。このあたりの点について、背景を申し上げずに説明しましたので、補足させて頂きました。

#### ◆牧 委員

私の方は計画系と言うことですので、BCPを計画するという立場から補足させていただきます。BCPと一般の防災計画のどこが違うのか？とよく聞かれます。1つは増田先生が説明された、目標復旧時間を決めること。2つ目は、ビジネスインパクトという事で、普通の防災であれば、人が亡くなる、建物が壊れるといった個々の被害ということですが、BCPの防災計画は、我が業務に対する影響を総合的に評価しなさいということ。3つ目は、重要業務ということで、全ての仕事を継続するわけではないので、残すべき重要な業務を決めなさいということ。この3つが特徴だと思います。この中で建築的に考えると復旧時間を決めるということですが、建物がいつから使えるのか？がわからないのは、計画を立てる上で非常に大きな問題になります。基本的に代替オフィスはどこに置くかといったような対策が取られる訳ですが、代替オフィスがとりやすい所は良いですが、例えば、東日本大震災後、外資系の方が関西に沢山来られ、代替オフィスを見つけていかれました。外資系ですと、支社は東京に1個しかないの、東京が落ちた時に日本国内のビジネスを引き継ぐということで大阪を考えられたようです。

しかし、根本的に考えると、72時間もしくは1週間で復旧するというのが、専門家によって正しく認証と言うか、保障のようなことがされるのであれば、その場所に留まって、復旧・ビジネスを再開することも可能となる。

BELCAの事例をご紹介頂きましたが、あれもまた案で留まっています。このような案で評価されると、影響が大きいというのがわかりますが、建築学会という立場から、この目標復旧時間がわかるような建物性能を評価するのは非常に重要なことだし、これを社会に展開し、定着させていくことも重要なことだと思います。

2つ目は、この検討会の中でも、とりあえずオフィスビルを対象にしましたが、BCP、建築業界のことを考えると、工場をどう評価していくかは、非常に重要な問題だと思います。熊本地震でも大きな影響が世界中に広がりましたし、中越地震の工場内の設備をどのように評価していくかが問題となりました。今回示したようなものの中で、建物を総合的に位置づけていくのかが、もう1つ取り組みたい内容になるかと思います。従って、オフィスビルの場合には、今日お見せしたものになりますが、瞬時たりとも落とせない工場あるいは病院といったものに広げて行く時に、どのようなことを考慮していく必要があるのかも継続して議論したいと考えております。

#### ◆畑田 委員

モニタリングというかなり特化した技術に関して、BCPの中での位置づけに関して説明しましたが、調査の中で、非常に貴重な意見を企業の方々から頂きましたので、企業の方々には、この場をお借りして感謝の意を表させていただきます。

モニタリングの適用が進められていますが、モニタリングで一番大事なことは、モニタリングシステムを適用された方々が、実際にどのような運用をされているのかどうかを把握することと考えています。運用といっても当然、適正な運用を行うためには、それぞれの企業のノウハウがあります。そういったものを出来るだけ広い範囲から聴取させていただくために、ヒアリング調査を実施致しました。

その実際の調査活動の中で得られたことの一つは、地震の後、震災の後に、その状況を確認する方法ということになります。重要な確認手段の1つとして、モニタリングがあるということですが、従って、ある意味モニタリング手法に関わらず、当然目視による確認手段でも良いわけですが、そういった確認手法は非常に重要であり、それに関して検討を進めていくことの重要性がわかったということが、私の報告の主要な内容となります。

その中で、やはりモニタリングシステムは非常に使い勝手が良く、使い方によっては非常に効力を発揮することになりますが、その効力を発揮させるためにも、やはり適正に使うことが大事だということが改めてわかりました。それに関してみなさんのご意見を伺えればありがたいと思っている次第です。

#### ◆西本 委員

私の方からは、指標の具体的な検討例についてご説明いたしました。その中で今回、牧先生から初めに前提条件として示して頂いたとおり、レベル2地震動に対して、性能評価を設定して検討しております。ただ、抵抗力特化型タイプで考えて、それである意味尖った設計をするっていう対応はありますが、レベル2地震動は、あくまでも現段階でのレベル2地震動で考えており、当然のことながら、今後、基整促波や相模トラフ地震に関しても、いろいろと提案されていくかと思います。そうすると、最終的な被害状況に関しての性能規定は、先程の表でもありましたが、入力地震動に関しては、レベルが上がることを前提としない考え方になっています。そう言った意味で、ある特性に特化した設計をするということで、抵抗力に特化した設計をするのは、現時点での1つの方法ではありますが、将来的なリスクを含んでいると言う意味では、あくまでも、バランスが重要だということ認識しておいて頂きたいと思っております。

#### ◆堀江 委員

本日、保険がインセンティブとして機能するか？といったお話しをさせて頂きましたが、そもそもの所で、企業の地震保険の普及率が低いといったような状況、さらに利益保険に加入している企業さんが少ないという状況があります。まず、ここをなんとかしないと、例えば、BCP のレベルに応じて保険料を下げたとしても、元々の普及率が低いところで、インセンティブがどれだけ機能するのか？という問題になります。利益保険を普及させるためにどのようにすればよいかというと、各社個別に取組みを行っていますが、それでは限界があります。業界全体での取組みに繋げて行くような話にしなければいけないですし、日本国内だけでなく、もう少し海外マーケットの活用も考えていくことが必要かもしれません。このような取組は、既に実施されている部分はありますが、それをもっと広げていく必要もあるだろうと考えています。その先のプレイヤーとしては、国レベルでバックアップしてもらような仕組み、要は国を巻き込んで取組めるかどうかが、今後の大きな課題だと思っています。

もう1つとしては、この取組みの中で保険を設計するためには、利益保険は情報が非常に少ないということです。もともと加入率が低い中で、東日本大震災、熊本地震のような地震が起きましたが、どのくらいの事業停止があったかのデータが少なく、データが少ないということは、保険商品の設計も難しいことに繋がります。統計的なアプローチでは、そういったところに限界がありますが、今回提案されているのは、理論的な方法に基づいています。さらに、これまで抵抗力主体で評価していた部分に、復旧力という新しい概念を導入しようとする点は、保険を設計するにあたって、検討範囲をもう少し広げることができるのではないか、新しいアプローチができるのではないかとすることに繋がっていき、非常に期待しているところです。

#### ◆質問：京都大学 藤田 先生

目視判断では困難な損傷建物を対象とした構造ヘルスマニタリングシステム(SHM)を、建物の継続使用の判断に利用してもらうためには何が必要となるのか？ SHM の判断と管理者、オーナーの判断が一致しないなど、余震のリスクなどいろんなことがあるが、その辺をどのようにお考えか、畑田先生にお伺いします。

#### ○回答：畑田 委員

まず、目視判断できない場合の判断ですが、ある意味、構造ヘルスマニタリングシステムが一番パワフルなところで、その部分の判断を目的としています。ヒアリング調査結果からも、皆さんおっしゃられるのは、例えば大地震で壊れている、明らかに柱が傾いているのは目視でわかるので、モニタリングはいらないのではないかとことです。モニタリングが必要というのは、一見壊れていない、全然傾いてもないものについての判断です。壁と言いますか、色々見えていない箇所を、いかに判断するかであり、そういったものを判断するために、モニタリングシステムを利用しているという話をよく聞きます。ただ実際、技術論の話をする、やはり部材といいますか、見えないところの損傷を詳細に評価することは、技術と適用のトレードオフにもなりますが、技術的観点からも難しくなります。ただ、ここで一番大事なことは、モニタリングはあくまでも初動対応ということです。モニタリングで全てが終わるわけではなく、一つのスクリーニングとしてどこが壊れている可能性が高い

か？を推定できれば、その次の判断に非常に使いやすくなります。例えば、ある階が壊れている可能性が高いのであれば、それに応じて、避難あるいは実際の被災後の部材のチェックに活かすことができます。見えないところをキチンとみるという技術的な発展は当然必要ですが、それと同時に出来る範囲で、モニタリングシステムを使いながら、それをいかにBCPに組み込んでいくのかということが重要になると考えております。

質問にありましたが、実際、モニタリングシステムで得られた結果と建物管理者の判断ですが、おそらく建物管理者が思っていた結果が出ないこともあると思います。ただ、それも含めて、BCPの中でモニタリングシステムをいかに使い込むかということのための、所謂BCPプランを作ることが重要になるかと思えます。そういった意味でも、モニタリングシステムはあくまでも一つのツールであり、そのツールもコストと目的に応じて、詳細なものからシンプルなものまであります。それぞれのシステムに対して適用可能性があるのも、それに対して建物管理者だけでなく、実際の利用者との話し合い、コミュニケーションが重要になってくると思います。そのため、いかにコミュニケーションを通して、BCPに取り組んでいくかということが、重要になると考えております。

◆質問：名古屋大学 勅使川原 先生

復旧力がモニタリングに特化しているように見受けられるが、構造体自体の修復のし易さを考慮しなくて良いか？

○回答：牧 委員

ご指摘のとおり、早く直せることを復旧力に組み入れるのは、当然考えられると思います。しかしながら、今回の検討では考慮されていません。ダンパーが入っていて、ダンパーだけをすぐに修理できるといった議論は、途中段階ではありましたが、最終的には、どのようにその効果を評価するのかという意見もありました。現状では、図面の有無や契約の有無といったところで、一応要素としては考慮されているとご理解頂けたらと思っております。従いまして、最終的に図面の有無を判断材料とするというところで、具体的な機能は書かなかったとお考え頂けたらと思えます。

○回答：西本 委員

同じく復旧力の項目にあげられていたことですが、図面と解析モデルというものがあげられていたと思います。それ以外で委員会の中で議論があったものに関しては、変形性能が明示されているか、というところまで突っ込んだ話がありました。そう考えると、当然、建物のどこで壊れるのか、逆にどこを壊すのか、というのも構造設計の一部になるため、そういう意味では、直し易いというよりはどこが壊れているかというのは、構造設計で概ね把握していることを前提にしています。従いまして、意味計算書が用意されていれば、どの辺りが壊れやすいか、余裕があるかどうか、耐力的に変形的に厳しくなっているかどうか？を評価できる部分はあるので、そのような指標も含めて考えれば、復旧力の中では評価できると思っております。ただ、ご指摘の通り、モニタリングに特化して、かなり点数を与えているのは否めないところですので、その点に関しては検討が必要であると感じております。

◆意見：名古屋大学 勅使川原 先生

畑田先生より、モニタリング情報が中々公開されないというお話がありましたが、それに関するものだと思います。勅使川原先生から、「地域の安全性を把握するのに、各建物のモニタリング情報が重要と思いますが、これをどのように扱っていったらよいでしょうか？」というご意見がきております。

○回答：畑田 委員

これは非常に良い意見だと言いますか、難しい問題だと思います。基本的に、モニタリング情報は、各設置された建物のオーナーのものになります。それを防災に活かすと言う意味では、大事なこととなりますが、防災に活かすためには、各企業同士で公開し合う仕組みが必要となってくると思います。現状ではそのような仕組みはございません。従って、今回の私のつたない発表ではございましたが、それも全て企業の方に協力して頂いて、あくまでも公開できる範囲で伺ったものをみなさんにご紹介したというわけです。今後、防災を考えると、今までの建物1つ1つではなく、いわゆる町レベルの対応が必要になってくると思います。建物のモニタリングシステムもどんどん広がってくると、その情報は非常に貴重な情報になってくると思います。そういった意味では、実際スタートしているところもありますが、できれば建築学会とか、国レベルで情報を扱っていくための議論を今度どんどん進め、防災に活かすために使われていけば良いと、個人的には考えています。

◆質問：日本大学名誉教授 新宮 先生

竹脇先生が委員長でやっておられる特別調査委員会は3年目と言うことですが、別の特別調査委員会で「歴史的な大規模木造宿泊施設」という特別調査委員会があり、私はそれに2年間携わったことがあります。過去2年間の報告として、先生方のお話を伺って、随分話が進んでいるなど改めて感心して、勉強になったと思っております。

敢えて言えば、BCPと言うことで、牧先生に質問をさせていただきたいと思っております。建築の範疇を超えて、事業計画に関することからということで、非常に範囲の広いところから、最終的には建築物単体を対象として復旧を目指すということを考えておられると思っておりますが、今日のお話では、主に建築物単体での話だったと思っております。ところが、東京を始め、大阪、名古屋の大都市圏では、大きな地震あるいは津波、その他の災害が起こった際、沢山の木造家屋が密集しているために火が出る、東京でも海に近い所は浸水する、というような状況も有り得ると思っております。その場合、建物単体でいくら調査しても無駄になる、全く無駄になる訳ではないですが、十分に活かしきれないこととなります。ということで、都市全体として捉えないと、せっかく単体で復旧の見通しを立てても、十分ではないのではないかと思います。都市としての状況がある程度反映しないと、本当の復旧の見通しが立てられない可能性があると思っておりますので、都市としてどのように考えるかを質問させていただきます。その他に、委員長にもちょっと聞きたいことがあります。先ほどの質問に対して牧先生からお答えして頂いてからにしたいと思っております。

○回答：牧 委員

増田先生も説明されたと思いますが、都市全体のレジリエンスをどのように考えるのか？ということで、今までは、燃えない都市にする、それに耐震性に強い都市にする（特に木造）という課題がありました。都市計画的に考えているのは、まさにレジリエンスで事前復興計画と言うことで、そのやられた後という形で、燃えたエリア、やられたエリアを戻していくのか？ということがテーマになっております。

そのやられた後に、街づくりをどう考えるかは、国交省の方でも、どういう手順で復興していくのかを定めなさいということ、日本全国の自治体に言っております。復興イメージトレーニングということで、災害復興というのは、ビル管理者の判断が大変なのと同じように、技術者も経験したことがないことに対応しなければなりません。例えば、モニタリング結果を見て、それを入居者の方々にお知らせしなければなりません。同じように、都市を復興していくというのも、中々技術者も経験した人がいないため難しい問題ですが、ここではあくまでも建物主体ですが、そういったことを都市全体としても考え始めているというのが現状になります。

○質問：日本大学名誉教授 新宮 先生

そうすると建物全体というか、都市全体から捉えて今後進められると捉えてよろしいでしょうか？ 建物単体ではなく都市全体から捉えていって、最終的に建物単体に落とし込む？建物が地震に対しては問題なかった。けれども、周りの木造密集地帯から火が出て、あるいは津波によって地下の部分が浸水するとなると大きな影響を受ける気がします。

○回答：牧 委員

おっしゃるように、当然、建築の問題だけではなんともならないと思います。一年前になりますが、北海道のブラックアウトのような、電気の問題、ガスの問題など、全体的に考えていかなければならない問題だとは思っておりますが、全てを達成出来る訳ではありませんが、先生がおっしゃるような視点も重要であると思っております。

○回答：増田 委員

少し今の話で補足させていただきますと、都市全体も非常に重要ですが、例えば丸の内とか、東京駅周辺とか、業務集積地帯を中心としてのビジネス コンティニティディストリクト（BCD と呼びます）が重要となります。そのくらいのスケールでは、インフラを共有・融通したり、新たな自立的なインフラが導入されたりと、地域としてレジリエンスを高めるための取り組みも行われています。まずは、建物単体で色々と議論していますが、基本的な考え方は、街区や面的な議論にも応用できると考えております。今後、委員会で議論できればと考えています。

◆質問：柳父 氏

いまの質問とちょっと関連するところがあると思いますが、この評価手法の適用限界を少し明示したほうが良いと思います。つまり、これはあくまでもフォーカルポイントが決まっていますよね？ 我々使う側が建物に望むのは、まず、安全であって、健康であって、生活を支援してくれて、仕事のパフォーマンスがあがるということになります。例えば、この4つがあった時に、計画停電のようなことが起こることは、この評価法ではカバーできない。

このことを少し明示しておかないと、「この評価法では、大阪に東京事務所が有りさえすれば、大阪でなくても良いと直接評価できる」ようなニュアンスは、牧先生のご意見からは、少しずれるのではないと思います。阪神大震災のときに僕ら困ったのは下水道になります。下水道が壊れているか壊れていないかは、開けるまでわかりません。水が溢れてから、こういった問題については、カバーしていないと言っても遅くなります。そのため、ここ 10 年ぐらいの災害の中で、この手法ではカバーできない範囲がどこかということを示しておかないと、全てをカバーできるというイメージに捉えられる可能性があり、非常にまずいのではないかと感じています。

○回答：牧 委員

おっしゃる通りでございます。ガイドラインの復旧については、図 4 には少し記述していますが、そこまで確実に評価できる訳ではありませんので、最新の情報をみて、限界の範囲を議論させて頂きたいと思っております。

◆司会：奥野 委員

今後、評価方法等も考えていくということもあります。また、これが実際にどう使われていくか、その辺に対してのご意見とか要望とかがございましたら、お願いします。

◆質問：神戸大学 大谷 先生

今回は BCP という名前から、たぶんいわゆる事業、企業というイメージを大きく持たれていると思いますが、もう少し範囲を広げますと、集合住宅、住宅建物とかも、ある意味 BCP の対象になるかと思えます。それを LCP と呼ばれている先生方もおられますが、そういうことを含めて考えた場合、今回提案頂いた方法が、住宅建物に関しても適用できるかを考えて頂けると良いかと思いました。

質問としては、現在、建物のラベリングが環境性能では言われており、環境制度を不動産価値に反映させようとする動きがあります。実は、建物の構造性能に関する不動産管理に関して、どこまで切り込んでいけるのかが気になります。先ほど保険の話がありましたが、保険は金融関係になりますが、評価指標と不動産価値との兼ね合いに関して、今後の展望などを教えて頂ければと思います。

○回答：堀江 委員

不動産価値の展望ですが、地震リスクをみるときに、当然ながらその立地を見て、地震が起きやすいところ、起きにくいところ、地盤はどうかといった情報、建物がどういった年代かも含めて、保険料を決めています。ただし、必ずしも、その不動産価値と保険との関係では、不動産価値が低いから保険料が上がる訳ではなく、例えば、地震リスクが高い所の不動産価値が落ちているかということ、そういう訳でもありません。そういう意味で、保険との繋がりで言うと、相関がそれほど高いわけではありません。

○質問：神戸大学 大西 先生

インセンティブの道具として、保険の話がされましたが、もう1つのインセンティブとして、不動産価値を上げるということがあると思います。環境の方は、環境性能を上げることが、不動産価値に繋がるような形で、インセンティブを考えようとしています。

ここでの指標は、構造性能のモチベーションとなり、その1つが保険という切り口で考えられるという話だったかと思いますが、保険以外にも不動産価値としての切り口も考えられないでしょうか？

○回答：西本 委員

趣旨と少しずれるかもしれませんが、高度化地区では、建物の構造性能を上げることによって、容積率の緩和みたいなものが始まっています。そういった意味で、直接レジエンス性能が反映されることに対するインセンティブの形ではありませんが、裏側でレジエンス性能とか構造性能とかを高めたことによって、建物の不動産価値というより不動産収入を高めることになるかもしれません。このようなアプローチが、始まりつつあるのが実状になります。

○回答：増田 委員

ここでは、オフィスビルを対象に検討していますが、ご指摘頂いたとおり、住宅の LCP (Life Continuity Plan)にも基本的な考え方は共通しています。特に、住宅の中でも大規模な超高層住宅いわゆるタワーマンションですとか、横方向に大きなケースの建物もありますが、そういう建物では、このようなレジリエンス性能をきちんと考えることが、とても大事になるかと思います。実は今、集合住宅でモニタリングシステムなどを入れながら検討している事例もあります。特に災害の場合、まずは逃げるというのが皆様の意識の中にあり、災害＝逃げるになっていますが、きちんとした性能が確保され、発災後に状況を確認して、きちんとしたエビデンスがあれば、逃げないという選択肢を共有しながら、自分達で3日間ないし1週間住み続けるというような、LCP を住民自らが検討するという動きがあります。今後この委員会を出している成果を、集合住宅向けに出していけば、例えば、建物の仕組みをきちんと知り、その上でどういう判断をすれば良いかのルール作りに繋がるので、とても重要なことと思っておりますし、そういったところに展開していける内容になっていると思います。

◆質問：神奈川大学 趙 先生

レジリエンス評価のやり方について、具体的に興味があります。例えば、レジリエンス指標の中にある積分で表される F 値について、竹脇先生が言われた 4R に、それを具体的にどのように反映するかについて質問させていただきます。

○回答：西本 委員

発表の中でも、鳥澤先生のシンポジウムの内容などについて引用していますが、例えば、設備機器、構造部材の復旧曲線など、足し合わせて評価することになっています。設備機器の復旧曲線をどのように決めるかが、ご興味のところだと思いますが、基本的には、ある機器に対して、何かしらの安定稼働率のようなものを定め、確率的に評価しようとする評価方

法があります。例えば、空調機器に関して、給湯機器に関してと、順々に積み上げてことになります。ある意味で、網羅的に実施する必要があり、実際の評価として実施するのはかなり大変になりますが、出来なくはなく、そのような形式の評価は、既に具体例として挙げられております。ただ、現実的に全ての建物でこのような評価をすることは、不可能ではないでしょうが、結構大変な手間がかかるので、大きく当たりをつける意味で、簡易法を使ってみてはどうかというのが、今回の1つの提案になります。その一方で、簡易法と実際の確率的に積み上げた評価法とでどれだけ差が生じるかについては、もう少し精査しなければならず、我々も正直掘めていないところですので、内容を確認して、お互いに近づけていくことが課題として残っているかと思えます。

◆質問：広島大学 中村 先生

大変興味深い検討を頂きまして、大変参考になりました。それで、設計との関係に関して、少しお聞かせ下さい。私の理解ですと、レジリエンスの曲線というのは、構造体でいうと、部材の集合体であり、部材の足し合わせで評価できると思っております。そうすると、構造設計では、壊れそうな箇所は、事前に概ね把握できるという話でしたので、壊れそうな箇所での復旧期間が非常に掛かりそうな箇所は、容易に交換できる部材にして復旧期間を短くすることも可能かと思えます。すなわち、設計段階でレジリエンスを考慮して評価することによって、復旧期間を短くするという方法が考えられると思えます。今後の将来の展望として、そのあたりの関係について、少しお話頂ければと思えます。

○回答：西本 委員

ご指摘の通りで、復旧し易さをどのように設計に反映させるかについては考えていかなければならないと思っております。今回、抵抗力と復旧力という、大きく2軸で建物を設計することになっていますが、この復旧のし易さが、復旧力に該当するのか、抵抗力に該当するのか、少し微妙なバランスの問題もありますので、まずは、その分析をやる必要があると思えます。また、抵抗力に対しては、部材の交換のし易さが、直接抵抗力に影響するかというと、必ずしも影響しないと思っております。おそらく、復旧力に非常に近い部分だけれども、抵抗力の要素でもあるという部分というのがあるので、第三の軸ではないですが、現在、平面図的に考えている事が、実は奥行を持ったものであり、3軸で表現できないかと考え始めております。

○コメント：広島大学 中村 先生

例えば、ブレースでも交換不可能なものを、交換可能なものにする。コストは上がるかもしれませんが、レジリエント的に考えると良い可能性もあるので、引き続き検討頂きたいと思えます。

◆質問：構造計画研究所 木村 氏

BCP 作成においては、想定地震を設定することが多いと思えますが、今回は極めて稀に発生する地震動を対象としているかと思えますが、今後、地震リスク、地震ハザードの地域性などを、この指標、評価に反映していくというのは考えられるのでしょうか？

○回答：西本 委員

先ほどの補足で説明させて頂いた際に、今後、基整促波など、新しいレベルの高い地震動が増えた場合に、抵抗力型がある意味、リスクをはらんでいる可能性があるという説明させて頂いたと思います。当然、その時々によって、地震荷重を何にするかは考えていかないといけないことだと思います。今回、例示させて頂いたペナルティの表ですが、レベル2地震動に関して、かつRLO(Resilience Level Objective)=0.9という前提に立っております。あのペナルティのパターン表を、地震動レベルに応じていくつか用意しておくという考え方があります。このような形で、地震リスクとか地震の地域性によって、変わってくることを評価するのは、考え方としては可能ではないかと思っております。

○質問：構造計画研究所 木村 氏

今後、指標として何か考え方を取り入れられる可能性がありますか？

○回答：西本 委員

私個人の意見としてですが、私自身としては何かしら、更新するための指標を策定する必要があると思っております。

○回答：牧 委員

計画の立場からすると、一般的に企業の方がBCP計画を立てられる時に、使われる地震リスクのデータは、あくまでも行政が使っているハザードマップということになると思います。それが、建物だけに対する影響ではなく、業務全体に関する影響という観点で見ることになると、その建物だけに特化するよりは、全体的なハザードマップに示されているものが、この中でカバーできていれば大丈夫かと思っております。おっしゃる通り、上町断層とか、相模トラフの地震など大きな地震動が示された時に、しっかりと考えておく必要があると思います。地域のハザードということについては、ご意見を頂きましたので、最終報告書までに、委員会の中で少し議論を深めたいと思います。

◆コメント：竹脇 主査

少し紹介だけさせていただきます。特別調査委員会は来年の3月で3年間の活動を終わりますが、この10月1日から、レジデント建築タスクフォースを企画運営委員会のところに設置します。概ね同じメンバーですが、少しメンバーを追加して、さらに進めて行きたいと思っています。最初に申し上げましたが、今回はビル建物を中心に考えていますが、先ほどからご意見を頂いている、住宅とか、都市とかにも少し広げて行きたいと考えております。それから、来年2020年秋にレジリエント建築シンポジウムを建築会館ホールで開催したいと思っておりますので、多くの参加をお願いしたいと思います。また、2021年には、技術部門の設計競技を、レジリエント建築の内容で開催したいと思っております。以前、ロバスト性の内容で開催しましたが、その際にも多くの方に参加を頂きました。それと同様に、各社、各大学から沢山ご応募頂きたいと思っております。

それから、先ほどから色々質問が出てきていますが、本日、牧先生が紹介されたのは、あくまでも目標ということになります。それと能力とは少し違いまして、このビルディングが持っている能力と、1週間で復旧できるかどうかという事実とは異なります。1週間で復旧できるというのは目標であり、条件が整わないと1週間では復旧できません。例えば、先ほどベルフォアが紹介されましたが、そのような企業にお願いすれば、一ヶ月のものが一週間で復旧できることになり、能力になります。本日、ご紹介頂きましたのは、あくまでも指標で、一週間で復旧できれば、三つ星になる。一ヶ月であれば二つ星である。とあくまでも目標になります。先ほどのリスクの話とも少し関係しますが、極稀の地震動に対して、それより大きな地震動を考える場合には、復旧日数がもっとかかるという事があるので、相対的な関係かもしれませんが、本日の内容は、あくまでも指標ということになります。例えば、このAビルが三つ星かどうかは、色々条件が整わないと評価できません。森タワーでは、自家発電になっているので、おそらく短期間で復旧することができます。それから京橋の街区では、複数のビルが共有して、発電、電気を供給しており、短期間で復旧することができます。この地区に建物があれば、BCPレベルは三つ星だけでも、違うとこにあれば一つ星であるとか、そういった色々な条件が整わないと、このビルに対して三つ星、二つ星、一つ星という評価は難しいので、その辺が将来の検討事項と思っています。

◆質問：日本大学名誉教授 新宮 先生

先ほど竹脇先生が説明された事に尽きるかもしれませんが、最初に私は質問が2つあると言いました。そのもう一つになります。今回、特別調査委員会ということで、通常2年か3年で行われます。今回は3年ということで、今年度末で終わりということになります。特別研究委員会の場合は報告書を出して終わりになるのが通例かと思います。特別調査委員会の場合には、特に報告書などは必要ないと思いますが、この特別調査委員会のまとめとして、先ほどおっしゃった、タスクフォースを設置されるということでしょうか。もしくは、シンポジウムを開催するというのでしょうか。あるいは、別途、特別調査委員会の成果物を出して、学会員の方々に、BCPの進め方を提案する方針なのか、追加コメントをお願い致します。

○回答：竹脇 主査

特別調査委員会は、3月に報告書は出して終わりになります。先ほど、シンポジウムと技術設計競技という話をしましたが、それらはタスクフォースで担当する予定ですので、あくまでも切り分けて実施致します。

◆質問：北海道大学 岩崎 先生

貴重なお話ありがとうございます。先ほど、指標に関してお話があったかと思いますが、中々厳しい条件の中で設定されているとのことで、全てのビルに対して評価することは難しいと思いますが、どのようなビルを対象に、星一つ、二つ、三つといった判断が必要になるのでしょうか？ また、判断をして、対策を進めるのは、どのような形式で進めるべきなのか？ お考えをお聞かせ下さい。

○回答：牧 委員

評価を受けてないビルに対しては、星無しとなります。その性能がいくら三つ星であろうが二つ星であろうが、チェックをしていないビルに対しては星無しになります。

それから、対象とすべき建物は、建物の持ち主が、自分のビルには、このぐらいの性能があるということを示し、そこにテナントに入って頂く。そのため、高性能なビルのオーナーがおそらく受けに来られるのではと思いますが、決して限っている訳ではなく、こういったオフィスビルであれば、こうあるべきという訳ではありません。さきほど、竹脇先生が話されましたけれども、あくまでも指標ですので、自らの建物を評価したら、こういった結果になるとお考え頂けたらと思います。

◆質問：大成建設 佐藤 氏

私は、今回の建物ヘルスマニタリング小委員会の主査をしておりまして、5月の時に、たたき台ということで、意見交換をさせて頂きました。そこで、畑田さんに質問がありますが、このパンフレットを頂いて、今日初めて最終型を見させて頂きました。裏面の復元力特性のところで、先ほど、すぐに判断するんですというような話をされていたと思うのですが、この図を見ますと、星三つのところで振動解析をするような絵が描かれています。この振動解析は必要不可欠なのでしょうか？

○回答：畑田 委員

振動解析は必要不可欠ではございません。あくまで、一例として、ここでは示しています。例えば、振動解析のやり方もあるということです。モニタリングの観点から言いますと、色々なシステムがありますし、極端な話、モニタリングがなくてもすごくシンプルに、建物の状態を確認できる場合もあると思います。ただし、建物によっては振動解析まで行わなければならない、振動解析まで行うことでより詳細な評価が可能になる場合もあることを、この図では示しております。従って、ここに書いてあるから、これがないと三ツ星が得られないという訳ではなく、少し書き方が悪かったかと思います。

○回答：西本 委員

先ほど、変形性能を明示することについて少し説明させて頂きましたが、振動解析をやれば、特に超高層建物のイメージでは、事前に変形性能が評価され、閾値の設定もそれに合わせて変更できるようなモニタリングシステムであれば、さらに上のグレードになることも考慮できるかと思いますが、モニタリング一つとっても、松竹梅と多少色を付けるのにつなげられればと思っております。

## 9. レジリエンスやBCPに関する既往の取り組みの紹介

### 9.1 鹿島建設の取り組みの紹介

鹿島建設は、超高層ビル建設のパイオニアとして、特に制震構造においては業界をリードしてきた。本稿では、地震災害等に対する建物の機能維持・回復性能に関して、鹿島建設が取り組む安全・安心・BCPに係る技術開発事例の一つとして、三井不動産株式会社とともに新宿三井ビルディングで実用化した超大型制振装置TMDについて、プレスリリース<sup>1)</sup>を元に紹介する。

#### 9.1.1 開発の背景・経緯

三井不動産では、東日本大震災以降の安全・安心、BCPに対するテナント企業ニーズの高まりから、既存ビルの防災・BCPに関する機能を新築ビルと同水準に向上させる改修工事や運営管理体制の強化等ハード・ソフト両面から取り組んできた。新宿三井ビルディングは、構造評定を受け、耐震性能を十分に満たす高い安全性を有する建物であるが、三井不動産と鹿島建設は東日本大震災を機に「更なる安心感の醸成」の実現に向けて検討を行なった。

#### 9.1.2 開発した技術の特徴

従来、風揺れ対策で利用されていたTMDの技術を応用し、以下の3つの技術を新たに導入することで、超高層ビルの制震対応を可能としたTMD (D<sup>3</sup>SKY) を実用化した(図1)。これらの技術導入により、直下型地震から長周期地震まで地震の規模や特性に関わらず十分な制震効果を発揮し、既存躯体の損傷を低減して、従来の制震ブレースを設置する方式に比べ、建物の揺れ幅、揺れ時間を大幅に軽減することを実現した。

1. 錘支持方式：①巨大な錘を支えつつ、あらゆる方向へ大きな変位を許容できること、②多数回の繰返しに対する耐久性が十分高いこと、という条件を満足するために、ケーブル懸垂式支持機構を採用した。
2. 変形抑制オイルダンパー：①2m近い振幅で3次元に動く錘にスムーズに追従できること、②設計時の想定を超える大地震時にも錘をスムーズに減速させ、錘に過大な変位が生じてTMDが損傷することを回避すること、という条件を満足するために、変形制御機能を内蔵したオイルダンパーを導入した。
3. 架構工法：既存建物の屋上に重量構造物を設置する場合、最上階の既存梁には直接大きな荷重が掛かるため大幅な補強が必要となるが、新宿三井ビルディングでは、既存梁上の既存柱に近い位置に柱を新設し、その間に十分な耐力と剛性を持つ梁を新設することで、重量構造物の荷重を柱へ直接伝えることが可能となり、既存建物の屋上へのTMD設置を可能とした。

#### 9.1.3 装置・システムの概要

新宿三井ビルディングに設置した装置は、超大型制震装置TMD (D<sup>3</sup>SKY) 6基と高性能オイルダンパー (HiDAX-e) 48台である(図2)。

超大型制震装置TMD (D<sup>3</sup>SKY) は、屋上に設置した振り子式の錘(1基300t、計1,800t)が揺れることで建物の振動エネルギーを吸収し、地震の揺れを大幅に抑制する。また、高性

能オイルダンパー（HiDAX-e）は、低層階コア部に設置して、建物の揺れに応じてダンパーのオイル流量を制御することにより地震の揺れを抑制する。

超大型制震装置TMD（D<sup>3</sup>SKY）と高性能オイルダンパー（HiDAX-e）の相乗効果により、直下型から長周期まで様々な地震の揺れ幅の低減が可能である。特に長周期地震動に対する制震効果が大きく、揺れを半分以下に大幅に低減する。また、大型台風などの暴風時の揺れに対しても大きな低減効果を発揮する。

なお、TMD（D<sup>3</sup>SKY）は1台で2方向の揺れを制御でき、錘重量と設置ユニット数の増減により、様々な高さや形状の建物に適用が可能なフレキシブルなシステムである。また、電気を使用しないため、停電の影響を受けない。

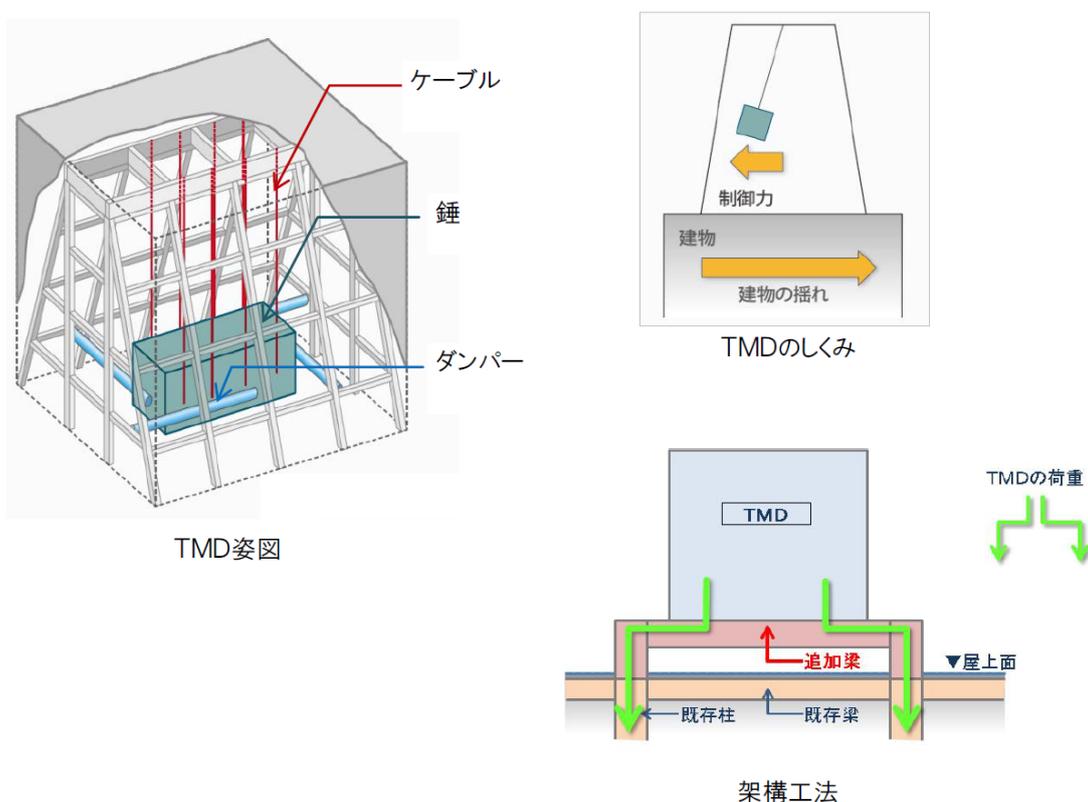


図1. 超大型制震装置TMDと新宿三井ビルディングへ導入された新しい技術<sup>1)</sup>

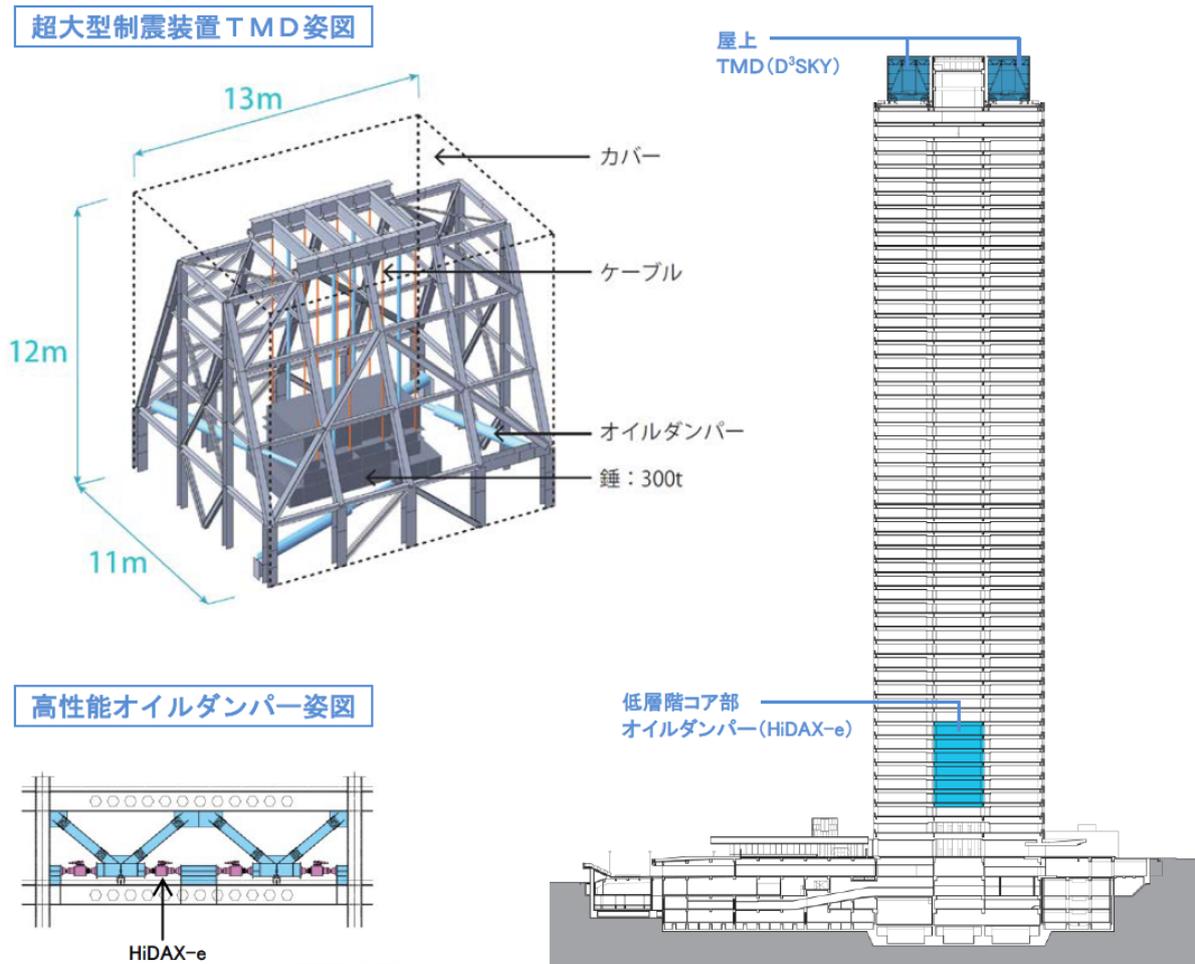


図 2. 超大型制震装置TMDおよび高性能オイルダンパーの姿図と  
新宿三井ビルディングへの設置状況<sup>1)</sup>

参考文献

- 1) 三井不動産株式会社・鹿島建設株式会社：プレスリリース『「新宿三井ビルディング」で長周期地震動の揺れを半減 日本初 屋上に超大型制震装置（約 1,800t）工事完了』、2015 年 5 月 14 日発表、  
<https://www.mitsui-fudosan.co.jp/corporate/news/2015/0514/> (三井不動産 HP),  
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201505/14a2-j.htm> (鹿島建設 HP) (2019 年 12 月 10 日アクセス)

## 9.2 大成建設の取り組みの紹介

BCPは、企業が災害の際に中核事業を継続あるいは早期復旧するための計画であり、この時に建物に求められるのは建物としての機能の維持と早期復旧である。すなわち、建物側の役割は、BCP性能としての機能の復旧曲線を評価し、必要であれば改善を試みることにある。評価例として、建物の耐震性能と復旧曲線の間隔を試算した結果を図に示す。通常の建物が「耐震建物（標準）」（黒線）であり、建物耐力を向上させた場合と免震建物とした場合とで比較している。このような評価結果に基づいて事業継続に必要な建物性能を選ぶことになるが、復旧曲線などの建物性能の評価はオーナーや管理者だけでは難しいため、評価の支援をしてきている。どのような災害にどの程度の頻度で遭遇する可能性があるのか、その災害によってどの程度の被災をする可能性があるのかといった、いわゆるリスク評価を行うことになる。ここでは、災害として最も注視されている地震と、この他に雷、洪水について、リスク評価を紹介する。

また、建物の性能評価において、現状のままでは性能不足となった場合には何らかの対策を施すことになる。例えば、地震対策には、建物全体の耐震補強や免制震化、天井や扉など2次部材の耐震性能の強化、建物内の主要部分の床免震化、主要機器の耐震固定の強化や免震化、といった多くの対策手段があり、雷災や水災についても雷バリアや止水板などの対策がある。しかしながら、これらは、BCPだけのための対策としてではなく、従来から災害対策として多くの場で紹介されてきているのでここでは紹介しない。ここでは、このような建物ハードに近い対策ではなく、よりBCPに近い対策であるモニタリングについて、いくつかのシステムを紹介する。

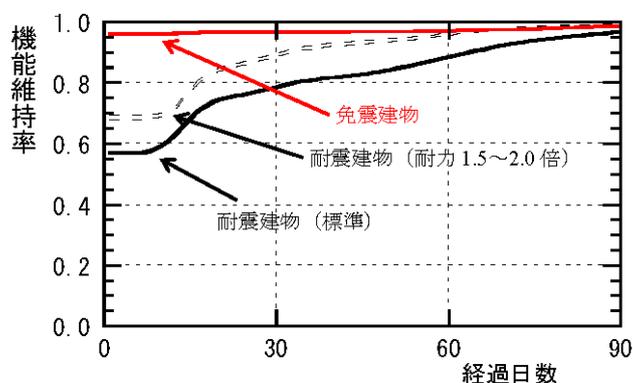


図 1. 復旧曲線の例

### 9.2.1 リスク評価

#### (1) 地震リスク

BCP策定のための地震リスク評価では、図に示す復旧曲線を算定して比較する。縦軸の機能維持の評価対象は建物全体の場合もあれば、事業継続に必要な建物の一部分、あるいは、建物群である場合もある。評価の範囲や詳細さも様々であり、詳細評価では、ライフライン途絶の可能性の検討、建物詳細モデルによる応答解析、現地調査や被災時の人の動きの検討を行なう場合もある。しかしながら、このような評価には相応の期間と費用を要するため、対象は生産施設や病院などの重要施設などに限られており、一般の事務所建物では簡易に評価する場合が多い。ここでは、簡易評価システムについて紹介する。

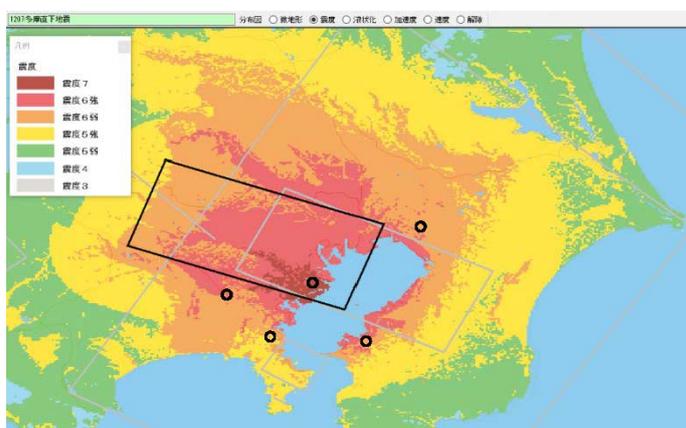
このシステムは、GIS（地理情報システム）を用いて建物位置に重ねて、想定した地震による周辺地域の震度の分布や液状化危険度の分布等を表示するシステムである。複数建物について、個々の建物の地震リスクを評価、表示する機能を備え、揺れ、液状化、地震火災、津波による損失を評価して様々な費用対効果を検討できる。対象用途を限定する必要はなく、事務所や工場のほか店舗、集合住宅の評価も可能である。

簡易に評価するため、建物位置（住所）と建築年、構造形式、用途、階数、延床面積を入力すれば（図(1)）、想定する地震による損失と費用対効果が表示されるようになっている。延床面積より上が必須項目であり、図では見えていないが「耐震構造」でリスク評価する状態（現状建物、耐震補強後、免震補強（レトロフィット免震）後、新築後など）を指定する。設置階など設備機器の構成については、用途や建物種別ごとにデフォルト値を用意しているが、変更も可能である。

システムによる出力例を紹介する。図(2)には、想定地震による震度分布に建物位置（○）を示しており、図に損失評価結果（対策効果）を示している。図(1)では、左から、現状建物、耐震補強、免震補強、新築耐震、新築免震の損失を示している。図中の「営業停止による損失」は建物機能を維持できない平均日数（図における復旧曲線の左上の部分の面積）を損失に換算した額である。図(2)はライフサイクルコストの比較であり、この例では、使用する期間が50年以内では免震補強はコストが大きく（費用対効果が悪く）、40年程度以上であれば耐震補強が良いものの、40年以下であれば現状のままで良いという結果となっている。このほかに、図のように復旧曲線を直接比較することも可能であり、復旧曲線の改善の程度や費用対効果を比較することができるようになっている。



(1) 入力項目



(2) 建物位置と想定地震による揺れの大きさ

図2. 地震リスクの簡易評価システム

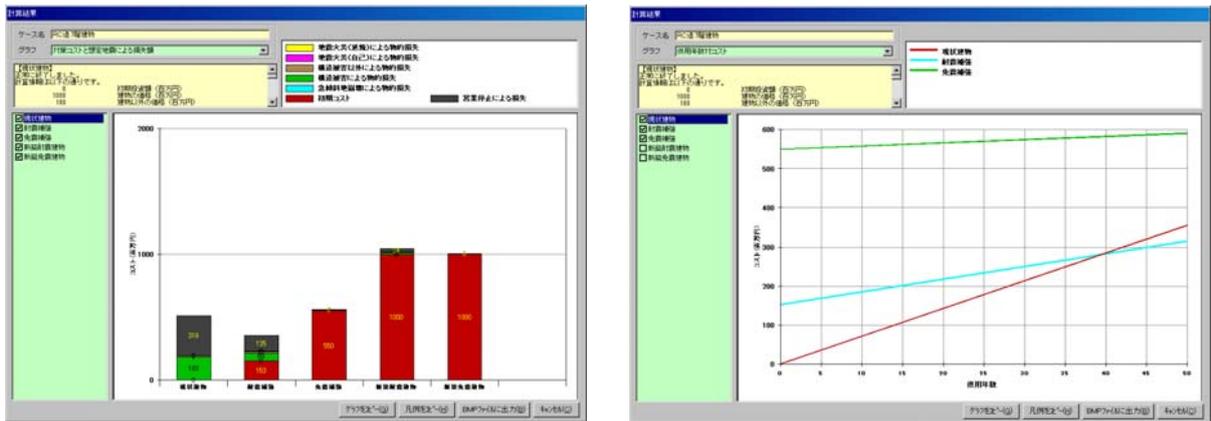
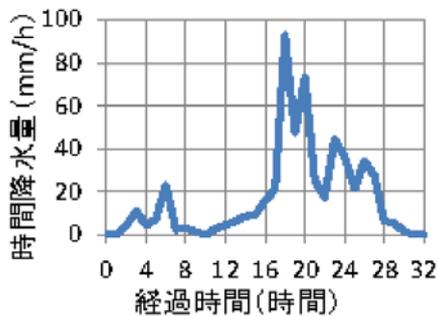


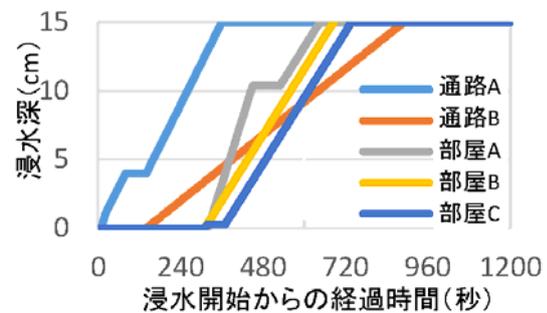
図3. 地震リスクの簡易評価システム（リスク評価結果）

## (2) 地下浸水リスク

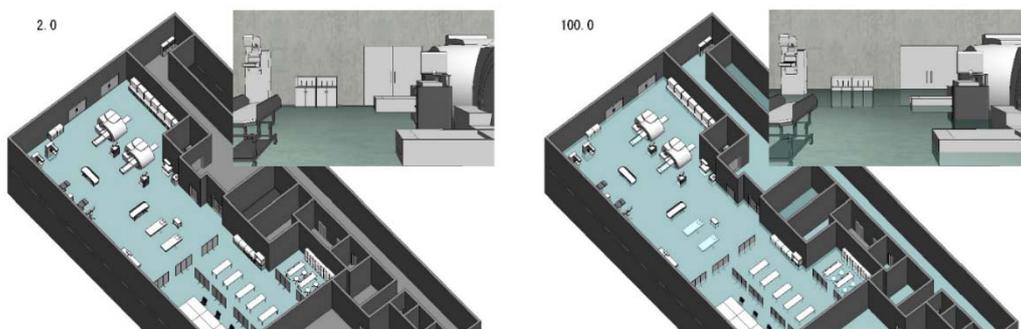
建物内部への浸水評価をするシステムであり、洪水や内水氾濫が発生した場合の建物内部の状況の評価する。扉の開閉、扉の種類変更、止水板の設置有無、設備配管、排水ポンプの有無などを設定することができ、地下階における浸水経過時間や浸水深を算出する。機器の嵩上げや配置転換、室の利用計画の検討に利用されている。また、人のマルチエージェント解析と連動させて、人の扉開閉による効果や避難行動を考慮した、浸水時のタイムラインを検証することができる。



(1) 降雨データ



(2) 浸水深の時間推移



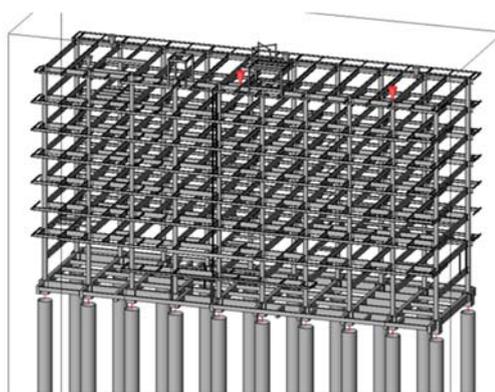
(3) 浸水解析結果の表示例

図4. 地下浸水リスク評価システム

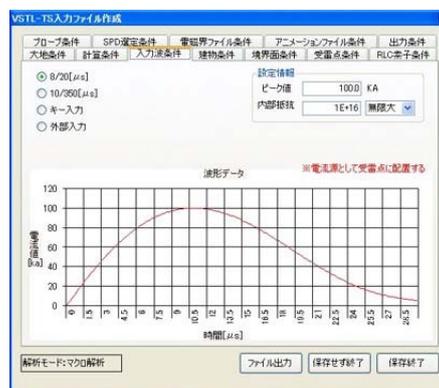
### (3) 雷リスク

落雷による建物内の被害を評価するシステムである。落雷時には、電磁波が誘導電流を発生させ、これによって建物内の機器に異常電圧がかかって被災するが、電磁波は柱や梁などの建物躯体に雷電流が流れることによって生じるため、避雷針を設置しても回避することができない。被災する可能性のある機器には、PC やサーバなどの情報機器だけでなく、中央監視室など建物の制御システムもあるため、これらを保護する必要があること、また、避雷針では回避できないものの雷バリア設置など対策方法はあることから、雷対策を施す建物が増えてきている。

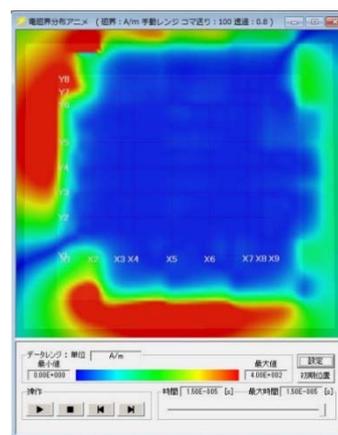
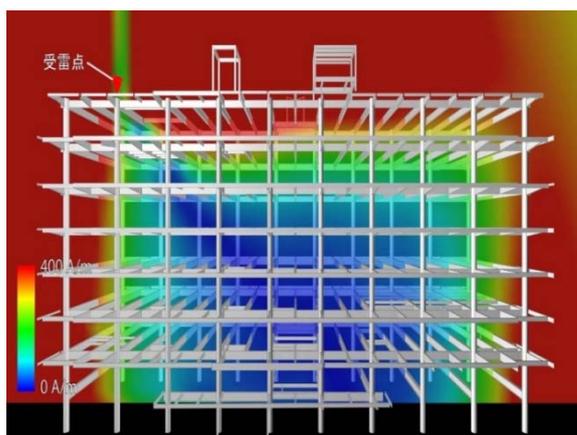
このシステムは、効果的な雷対策を策定するためのものであり、雷分流や反射等の影響を考慮した電流解析によって、建物内の雷電磁界の強度を算出する。建物内の被災危険度と雷バリアによる効果を評価することができる。また、落雷確率を考慮したリスク評価も可能であり、雷対策が必須ではない建物についても、対策の要否の検討に使用されるようになってきている。



(1) 建物モデル



(2) 雷電流



(3) 解析結果の例 (磁界分布)

図5. 雷リスク評価システム

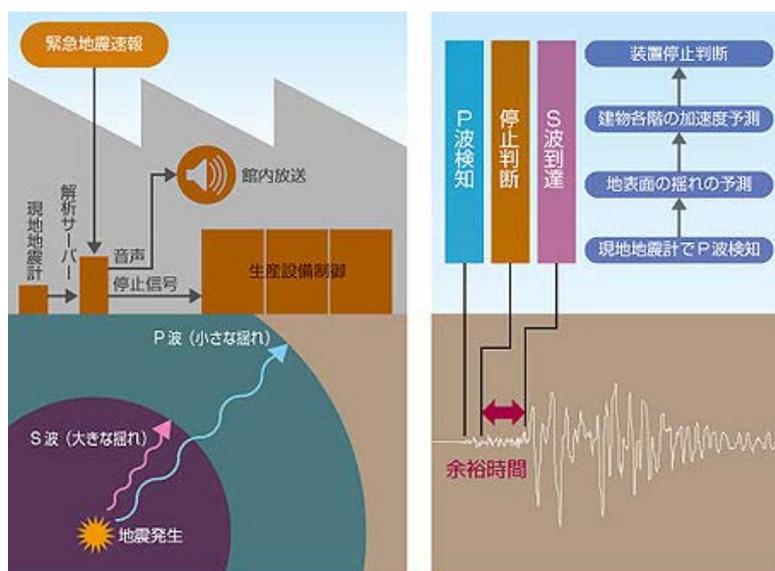
## 9.2.2 モニタリング

建物が災害に遭遇した場合に、即座に復旧作業に入ることができない要因として、構造体や設備機器などの被災程度を、外観からのみでは判断しにくいこと、専門技術者でないと判断できないこと、のふたつが挙げられる。そのためにモニタリングシステムが必要であり、このシステムでは、計測によって目に見えない部分も含めて即座に判定し、専門技術者でなくても理解できる通知をする必要がある。ここでは、地震が生じた場合の地震動到達直前の警報システム、揺れによる建物損傷のモニタリングシステム、復旧時のための設備モニタリングシステムについて紹介する。

### (1) 地震動の計測

地震が生じた場合の地震動到達前の警報として気象庁から配信される緊急地震速報がある。これを利用して、速報が配信された際に、建物各所の応答を予測して警報を発するシステムを開発し、各所に導入している。様々なレベルの地震動による地震応答解析を行った結果をデータベースとして搭載したことによる解析の即応性や、緊急地震速報からの複数回線での受信による冗長性、非常用電源を備えたシステムである。緊急地震速報は、震源までの距離が比較的離れている場合には主要動が到達する数秒から数十秒前に情報が提供されるため、警報を出すことによって人による様々な対策が可能である。

しかながら、直下型地震のように震源が近い場合には緊急地震速報では警報が間に合わない可能性がある。このため、このシステムでは、現地に地震計を設置し、検知される初期微動の大きさから直後に到達する主要動の大きさを予測し、震源が近い地震にも対応できるようにしている。これによって直下型地震の場合でも 1~3 秒程度の余裕ができるが、このような短時間では人が対応できる対策は限られるため、設備機器に信号を送って停止などの動作指示を行えるものとなっている。このような現地地震計や設備機器への指示回線を備えたシステムは生産施設への導入が多く、生産設備の緊急停止用に設置されている。



(1) システム構成 (2) 現地地震計による判定の流れ

図 6. 地震動到達前の速報システム

## (2) 建物振動の計測

従来、行ってきた地震モニタリングは、免制震建物などの性能を検証するためのもので、サーボ型加速度といった加速度センサだけでなく、歪センサや変位計なども設置して有線で収録装置に接続し、同じく現地に設置した PC で制御するというものであった。そのため、システムを設置する建物は限られており、多くはなかった。これに対して、現在では、現地 PC によってある程度の解析を行い、速報を建物ユーザや管理者、あるいは、必要に応じて設計者などの技術者に配信できるようにする場合（図）が一般的である。BCP 用の速報と対策検討用の詳細計測の双方を望む建物に設置されるようになってきており、導入数が増えている。

また、安価なシステムも望まれるようになってきていることから、クラウドとモバイル通信機能をもつ MEMS 型加速度センサによるシステムを開発している（図）。センサには電源は必要であるが、他の配線工事が不要であり、簡便に設置することができるものとなっている。安価なものとするために建物の詳細な状況はわからないが、複数建物への設置と通知が可能となっており、例えば、複数建物の管理者にとっては、各建物の被災状況と対応すべき建物を地震直後に把握することができる。

これらのシステムは図あるいは図といった定型的なものだけでなく、図のシステムにおいてセンサと PC 間を無線接続とする、あるいは、図のシステムにおいてひとつの建物に複数センサを設置する、など建物（群）の状況に応じて設置するため、様々なシステム構成がある。

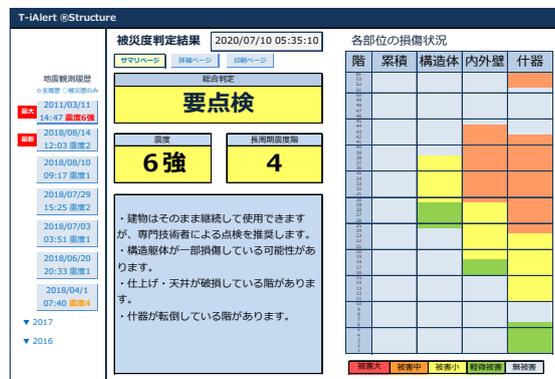


図 7. 建物モニタリングシステム（高精度版）

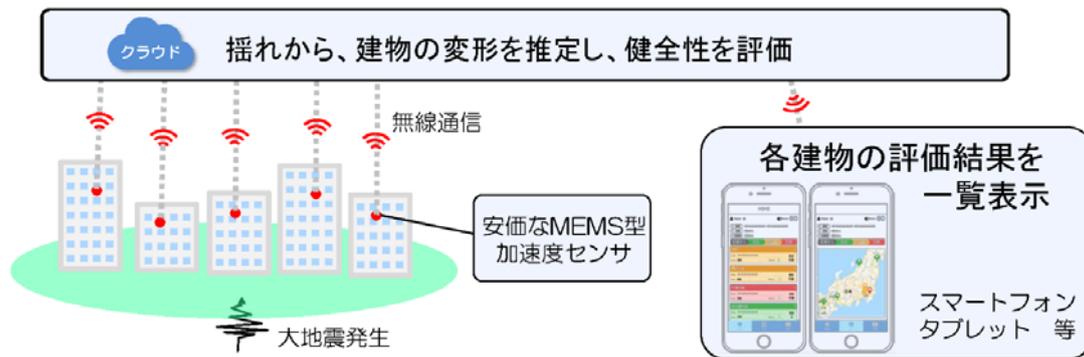
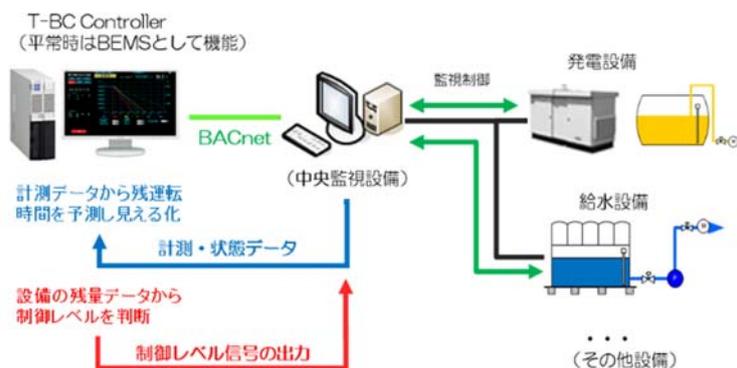


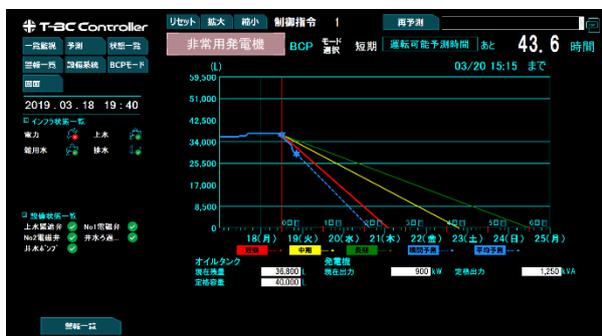
図 8. 建物モニタリングシステム（安価版）

### （3）建物管理の計測

被災直後の建物管理システムの例として、非常用発電機の運用システムを紹介する（図）。被災直後の非常時（ライフライン途絶時）において、発電機の運転状況を表示するシステムであるが、この他に備蓄燃料の残量と運転可能時間を表示し、事前に設定しておいた複数の運転シナリオからの選択や変更が可能なものとなっている。各設備の使用状況の計測や制御も想定しており、BEMS 機能と装置を共有することで、平時と非常時の切り替え運用ができる導入しやすいシステム構成となっている。



（1）構成図



（2）非常用発電機の管理システム



（3）設備全般の管理システム

図 9. 建物管理のシステム画面

## 参考文献

- 1) 坂本成弘、事業継続計画における復旧曲線の評価、No. 6、Vol. 39、大成建設技術センター報、2006.
- 2) 日本建築学会：地震リスク評価とリスクコミュニケーション、2011.
- 3) 坂本成弘、地震リスク評価、No. 15、Vol. 44、大成建設技術センター報、2011.
- 4) 伊藤一教、水災害ならびに水域環境の評価・対策技術、No. 6、Vol. 52、大成建設技術センター報、2019.
- 5) 内田元 ほか、雷電磁バリア技術の開発、p559-562、環境I、日本建築学会大会、2012.
- 6) 山本優 ほか、生産施設向け地震防災システム(T-RESQ F)の開発、No. 14、Vol. 44、大成建設技術センター報、2011.
- 7) 関山雄介 ほか、IoTを活用した次世代のBCP支援システム、pp. 1-12、クリーンテクノロジー、2019. 11.



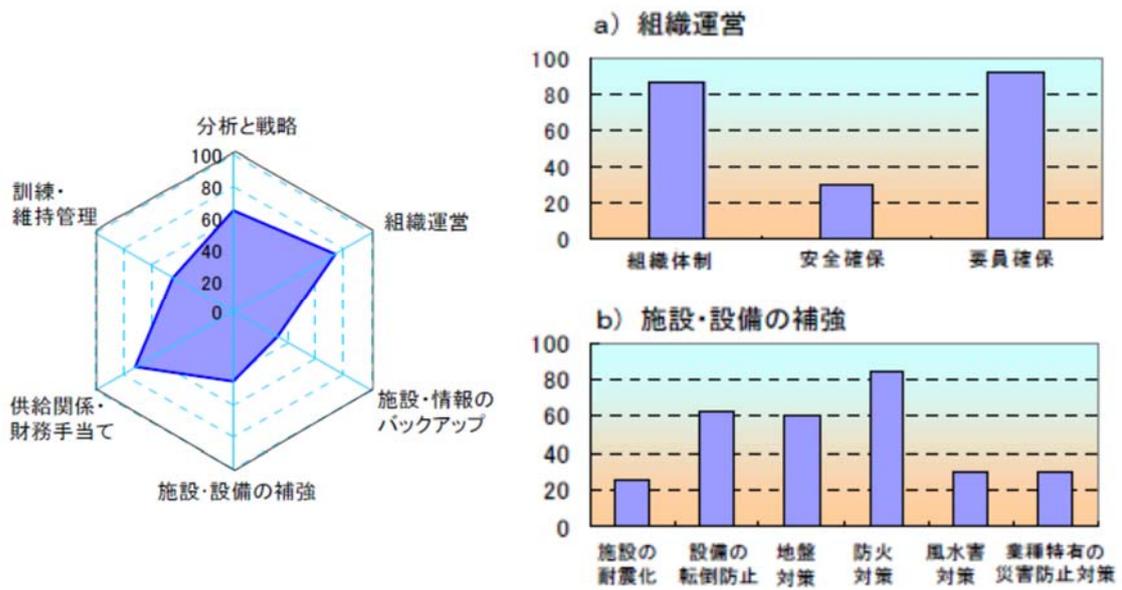


図 2. BCP 達成度診断 出力例(左：大項目レーダーチャート，右：具体的内容)<sup>3)</sup>

項目	想定災害レベル	災害リスク判定	被害影響度	コメント
地震	震度6強	D		<ul style="list-style-type: none"> <li>・死傷が発生する恐れがあります。</li> <li>・建物が大破する恐れがあります。</li> <li>・長期間営業停止の可能性がありまます。</li> <li>・主要機能が停止する恐れがあります。</li> </ul>
台風	瞬間最大風速 50~70 m/sec	B		<ul style="list-style-type: none"> <li>・外壁が落下し、けが人が発生する恐れがあります。</li> </ul>
大雨	浸水深 30cm	C		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下機械室に雨水が流入する恐れがあります。</li> <li>・主要機能が一部停止する恐れがあります</li> <li>・営業が数日停止する可能性があります。</li> </ul>

図 3. 自然災害簡易診断の評価例<sup>3)</sup>

さらに、生産施設では災害時の事業継続評価が重要であり、万一、災害で事業中断した場合、如何に復旧時間を早くするかが課題となっている。「生産施設の事業継続マネジメント評価」では、建物、天井、建築設備機器、配管、生産機器を対象に、客先へのヒアリングや簡単な目視調査を行い、地震の大きさを設定し、調査結果に基づき、復旧費用、生産を継続

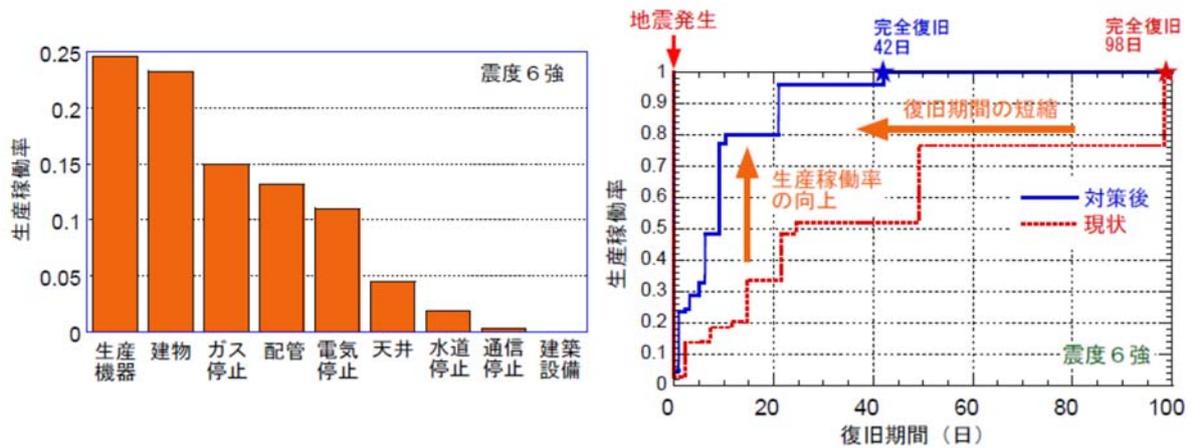


図4. 「生産施設の事業継続マネジメント評価」の例<sup>3)</sup>

させるために重要な要素（ボトルネック）、生産復旧曲線を評価する。これにより、現状、被災した場合どの程度で復旧ができるかどうかを推定でき、推定結果が目標復旧時間を超える場合は、復旧を早めるための対策を事前に講じることが可能となる。図4に某工場を対象として「生産施設の事業継続マネジメント評価」での実施事例を示す。図4左がボトルネックの順位付けで、復旧を障害する一番の要因が生産機器の損傷で2番目のボトルネックが建物の被害となっている。図4右が事前対策の有無による復旧期間の差を推定した結果であり、設備機器の損傷を防ぐ対策や建物の耐震補強をすることで約半分の復旧期間となることがわかる。事業継続計画においては、事業再開までの目標復旧時間を設定することが多く、この例のように復旧時間がどの程度になるかを推定することは重要である。またBCPの重要性が認知され始めた当初は、自然災害以外のパンデミック対策や爆破テロ対策などのリスクに関心事が多く、大林組もそれらの対策技術を検討している。

このように、大林組としては、顧客にBCPの重要性を認知してもらうよう「リスクをつかむ技術」を重点的に顧客に展開してきたが、2011年東日本大震災以降は、顧客意識が変化してきている。社会状況としては、国から公表されるハザードレベルが大きくなり、自然災害に対する被害想定の見直しが多く機関で行われてきていること、さらには震災により津波被害・原発事故の想定、またサプライチェーンを含めバックアップ体制の強化等BCP上新たに考慮すべき項目が増えてきている。またこの頃には、顧客自体もBCPへの意識が高まり、多くの企業においてBCP策定がされてきており、国の認証制度も制定されBCPへのインセンティブも社会的に浸透してきている。このような背景のもと、建設業に対するニーズも「リスクをつかむ技術」よりは、より具体的な被害低減対策や事後の対応についてもとめられることが多くなってきている。大林組のBCMソリューションとして、「リスクをつかむ・被害を減らす・復旧を早める」に関係する技術群を図5に示す。このように対応技術を多数メニュー形式で盛り込んだパンフレットを用意し、顧客の様々なニーズに対応すべく展開を図っている<sup>5)</sup>。東日本大震災で問題となった津波の危険度評価<sup>7)</sup>や対策<sup>8)</sup>、停電対策<sup>9)</sup>、配管や天井等構造部材以外の耐震対策、倉庫の転倒防止、被災後の建物損傷状況を速やかに確認するための構造ヘルスマモニタリングの提案を行っている。さらには、発災後の顧客のニーズに素早く応えるべく震災時の社内BCP体制の更なる充実「地震被害予測システムや携帯BCPを使った総合防災情報システム」<sup>6)</sup>が図られるようになってきている。また、近年の水害被害に対応するリスク評価法<sup>10)</sup>などを展開している。



図 5. 大林組の BCM ソリューション / パンフレットより

### 9.3.3 レジリエンス評価へのアプローチ

今後、災害時における建物の継続使用性の評価の要求は増加していくものと考えられる。また、単に構造躯体の損傷を考えるのではなく、建物および内部の機能が維持されることが課題となり、機能継続の指標となるレジリエンス指標の重要となってくるものと考えられる。本報告書でも記述されているように、レジリエンス指標は、抵抗力と復旧力の二つで評価される指標となっている。

抵抗力に関しては、2000年代から動き出している性能設計の考え方が参考になる。その流れで現在官公庁施設の安全評価や BCP 対応ビルに用いられる多くの評価指標が、本報告書「BCP の概念と既存の評価指標」の章で紹介されている。幾つか提案されているが、構造部材 & 非構造部材 & 設備に分けて各々等級をさだめ、その組み合わせでの被災状況を決め、

建物の性能指標とするものが多い。その際、外力の大きさを時に規定せずに「大地震」に対しての結果の状況を評価するもの、または外力を「稀に発生する地震動」「かなり稀に発生する地震動」「極めて稀に発生する地震動」「安全余裕度」等基準法ベースに評価し、性能マトリックスとして、施主と設計者の合意を形成しやすい形で提示されているもの等、内容的には概ね一致しているものその表現は様々である。ただし、いずれも設計対象部位に対して外力をあげて評価するか、クライテリアを下げて評価するかでその性能を表現している。一方、外力に関してはハザード評価を用いるという考え方もあるが、日本ではハザード評価等不確定要素を基に設計することには抵抗があり、ハザードは参考値とされて表現する場合が多い。ハザードを考慮した耐震メニューの考え方としては、建築学会から公表された「耐震メニュー2004」<sup>10)</sup>が参考になる。これは、図6に示されるように、建物や設備の抵抗力は外力のある値で固定したレベルで設計し建物が持つ本来の耐力で評価し、外力の大きさは地域（地震環境）や建築主の考えで、ハザードレベルを見て決定するという方法である。

いずれにしてもレジリエンス評価を行う場合は、設計想定を超えた場合、建物がどうなるかを評価するものであって、そのレベルをどのように設定するかは難しい面がある。また外力を想定せずに、ここが壊れた時のバックアップをどうするかという設定も評価法の一つである。

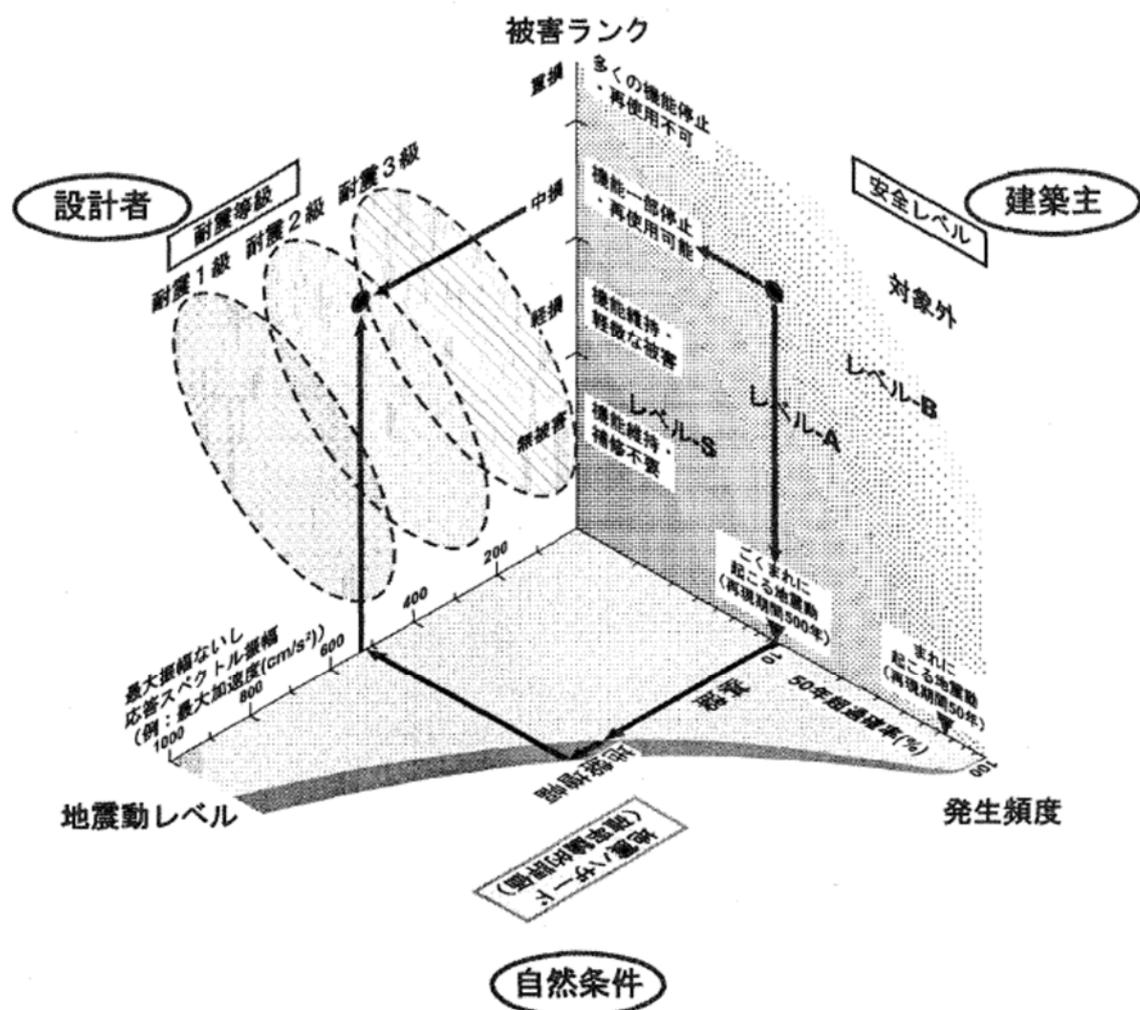


図6. 耐震メニュー2004（確率論的地震ハザードの場合）<sup>10)</sup>

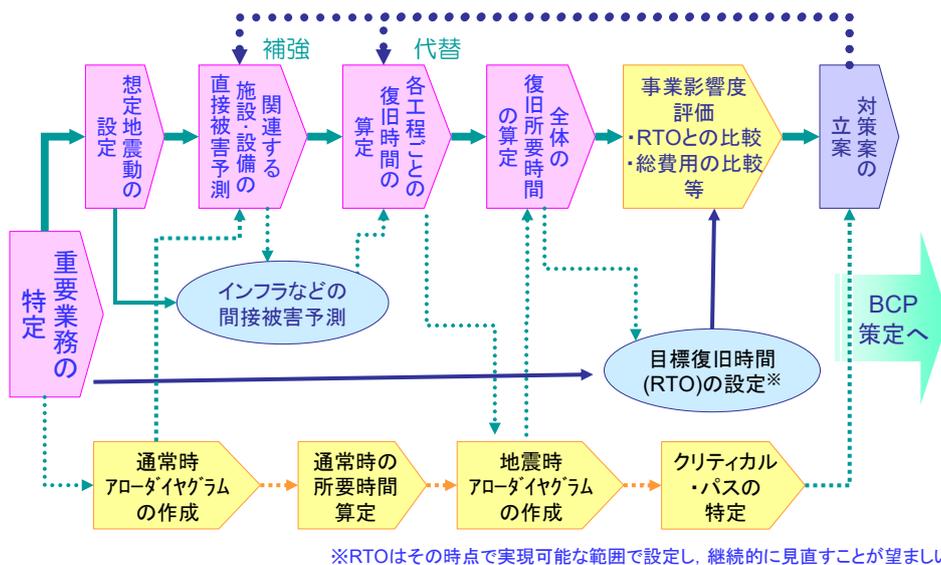


図 7. 地震時の効果的な事業継続計画策定フロー<sup>4)</sup>

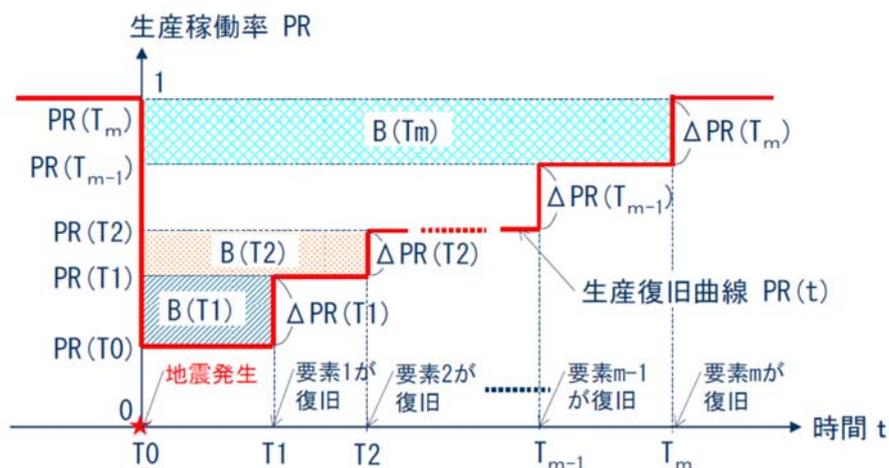


図 8. 生産施設における復旧曲線の作成例<sup>3)</sup>

一方、レジリエンス指標では、復旧力の概念が重要になってきており、そのための復旧時間の評価が課題となっている。それは今までの BCP の立案時における復旧時間の評価も同様である。BCP のガイドライン類では、まず目標復旧時間(RTO)を想定してから被害予測を行い RTO 通りに事業が再開できるかを確認することが記載されている。しかし、現実的な復旧時間を定量的に把握できていない状態で設定された目標復旧時間は、現実的な復旧時間との間に大きな差異がある可能性がある。現実的な影響度評価手法として、古典的なプロジェクト管理手法である PERT/CPM を用いて工程管理を行いながら、復旧時間を指標とした定量化手法<sup>4)</sup>における BCP 策定評価フローを図 7 に示す。ここでは、まず被害予測を行い、その結果から推定された現実的な復旧時間を認識した上で、対応可能な目標復旧時間を設定するフローとなっている。そして、BCP の見直しを行うたびに目標復旧時間についても見直し、継続的に改善(短縮)して真の目標時間に到達するように対策を行う。この評価法のように事業工程毎にアローダイアグラムを作成し、復旧期間を積み上げることで、製造ラインのクリティカルポイントも確認することができ、費用対効果の優れた対策立案が可能である。

このように、レジリエンスカーブの縦軸を生産量とした場合は、最適な復旧の工程計画を作成することも有効であると考えられる。同様に、前述した「生産施設の事業継続マネジメント評価」でも図 8 のように、生産を阻害する要因を排除することでどの程度、生産がふっきゅうできるかをイベントツリーで評価し、最終的に図 7 のように評価することで、復旧曲線を作成する。

一方、衣笠他<sup>12)</sup>は、復旧時間に影響を及ぼす要因として①損傷の量、②損傷の広がり、③損傷の質、④工事作業者の効率、⑤行程計画、⑥指定工期、⑦作業不能日、⑧周辺環境、⑨社会的環境があるとしている。当該論文では、損傷状態と復旧時間の関係を検討することを目的としているため、④～⑨の影響を仮定条件により排除し、①～③だけの時間を理想修復時間(IRT)とし、修復時間からみた損傷程度の検討を行っている。レジリエンスカーブの縦軸を損傷で

評価した場合や、環境や資源に依存する不確定要因を排除したい場合などは、理想的な状態での復旧時間を評価するのも有効な考え方であると考えられる。特に、損傷を一か所に集中させ、復旧時間を早くする建物の性能は理想修復時間の考え方で整理するとよく表現でき、「損傷制御設計」のメリットがわかり易い形でアピールできると考えられる。

復旧時間は、現実的には非常に多くの要因が複雑に絡みあって評価されるべきものであるため、実際の被害建物の統計量での確認が必要となる場合もある。また、統計量そのものを使って評価することも一つである。図 9 は阪神大震災での被災データを用いた復旧期間を評価である<sup>13)</sup>。この場合の復旧期間は着工から竣工までの時間で、機能回復と必ずしも対応はしていない。データ数の多い小破では、かなりばらつくものの百日前後の工事期間であり、面積依存は中破大破に比べて小さい傾向があることがわかる。

さらに、被災部位により継続使用の判断が異なることも考えられる。喜々津他<sup>13)</sup>は、地震後に継続使用できなかつた要因を分析しており、(I)発災直後と(II)やや混乱の落ち着いた時期、(III)恒久使用に至るまでの時期に分類し、継続使用可能(OK)か否か(NG)を整理している。このような細かい分析が建物の継続使用に関して評価にとって重要と考えられる。

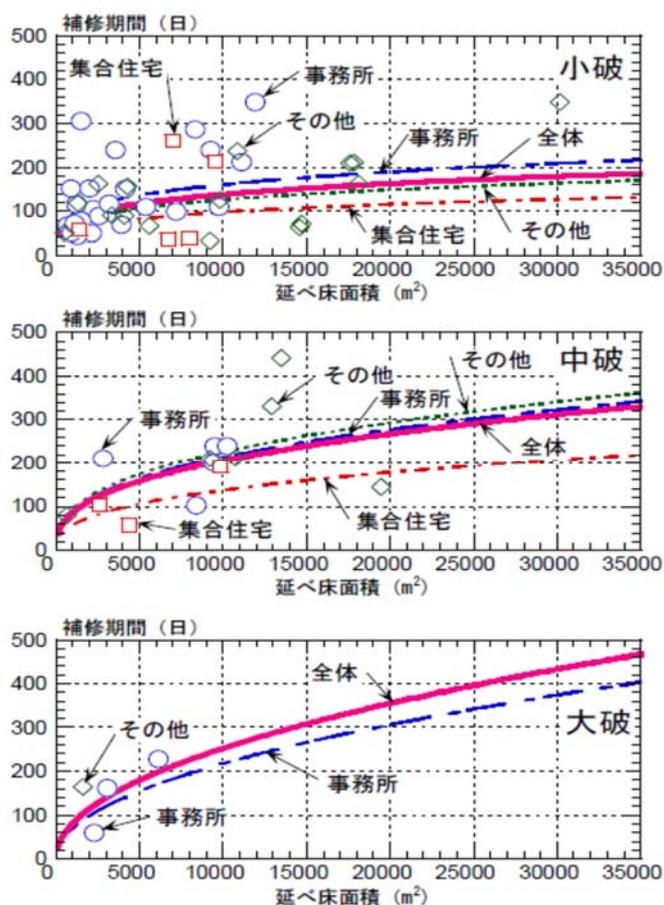


図 9. 阪神大震災での復旧期間の評価<sup>12)</sup>

表 1. 分析フローから得られた継続使用状況のパターン<sup>13)</sup>

段階 (I)	パター ーン	段階(I)から(II)に至る状況のイメージ	主な被害部位の例
OK1	(a)	<p>継続使用できる範囲 100% OK1 (I) (II) (III) 発災後の段階</p>	
OK2	(b)	<p>継続使用できる範囲 100% OK2 (I) (II) (III) 発災後の段階</p>	壁仕上材, ガラス
	(c)	<p>継続使用できる範囲 100% OK2 OK3 (I) (II) (III) 発災後の段階</p>	RC 造耐力壁(ひび割れ)
	(d)	<p>継続使用できる範囲 100% OK2 NG3~5 (I) (II) (III) 発災後の段階</p>	基礎杭, RC 造柱・壁(ひび割れ)
	(e)	<p>継続使用できる範囲 100% NG2 OK3 (I) (II) (III) 発災後の段階</p>	基礎杭(杭頭), RC 造非耐力壁, 屋根支承部
NG2	(f)	<p>継続使用できる範囲 100% NG2 NG3~5 (I) (II) (III) 発災後の段階</p>	基礎杭, RC 造柱, RC 造非耐力壁, 屋根支承部, プレース材, 吊り天井
	(g)	<p>継続使用できる範囲 100% NG1 (I) (II) (III) 発災後の段階</p>	地盤(不同沈下), 基礎杭, 非構造部材, RC 造柱, プレース材

## 参考文献

- 1) 民間と市場の力を活かした防災力向上に関する専門調査会 内閣府 防災担当：事業継続ガイドライン 第一版 ― わが国企業の減災と災害対応の向上のために ―，2005
- 2) (社)日本建設業団体連合会：建設BCPガイドライン 第2版―首都直下地震に備えた建設会社の行動指針―，2006
- 3) 富家貞男，諏訪仁，久保田孝幸，吉野攝津子，大塚清敏，若松邦夫：事業継続マネジメント(BCM)簡易評価システムの開発，大林組技術研究所報，No. 71，2007
- 4) 副島紀代：地震被害予測に基づく事業継続影響度の評価方法，大林組技術研究所報，No. 72，2008
- 5) 野畑有秀：特集「防災・減災」，大林組技術研究所報，No. 79，2015
- 6) 内閣官房国土強靱化推進室：地震発生時の事業継続への即応性向上に資する総合防災情報システムの構築，国土強靱化 民間の取り組み事例集，pp. 38-40，2015
- 7) 諏訪仁，野畑有秀：建物の津波リスク評価システム，大林組技術研究所報，No. 76，2012
- 8) 小林真，武田篤史：世界初の直立浮上式防波堤，大林組技術研究所報，No. 76，2012
- 9) 小島義包，小野島一，藤田尚志，島潔，小関由明，小山岳登：技術研究所におけるスマートエネルギーシステム，大林組技術研究所報，No. 80，2016
- 10) 副島紀代，萩原由訓，榎木康太，吉野攝津子，野畑有秀：多様化する水害リスクの評価技術，大林組技術研究所報，No. 82，2018
- 11) 日本建築学会地震防災総合研究特別調査委員会：危険度・耐震安全性評価小委員会「耐震メニュー2004」報告書，2004
- 12) 衣笠秀行，向井智久：建築物の地震後機能回復性の観点からの損傷評価，日本建築学会構造系論文集，第84巻 第757号，pp. 425-435，2019
- 13) 諏訪仁，神田順：兵庫県南部地震の被害データを用いた建物補修機関の統計的検討，構造工学論文集，Vol. 53B，pp. 311-316，2007
- 14) 喜々津仁密，向井智久，加藤博人，平出務，長谷川隆，柏尚稔，谷昌典，飯場正紀：建築物の地震後の継続使用に関する阻害要因の分析と要求性能の検討，日本建築学会技術報告集，第23巻 第53号，pp. 331-336，2017



「リスク分析・評価」段階にも様々なツールが用意されている。地震に関しては時刻歴解析から PML の手法を援用して建物の被害を金額化する「TRAIN-BCP」や実際の建物を調査し非構造部材や生産設備の固定状況などから被災の可能性を分析する「非構造部材 BCP 評価」、什器・備品の転倒を3D化して表示する「T A F T」など、建物全体を分析・評価が可能となっている。火災時の避難性能を検証する「避難シミュレーション」は津波避難時の上階避難時間の検証にも活用できる。

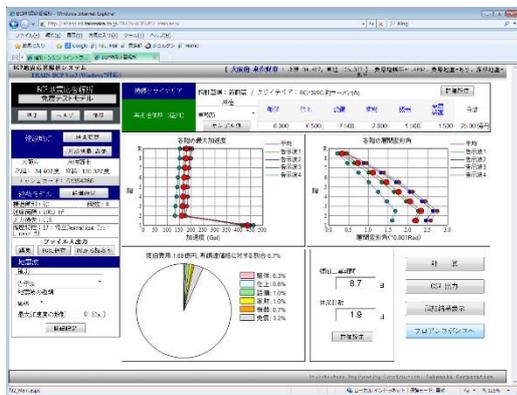


図 4. TRAIN-BCP (表示画面)

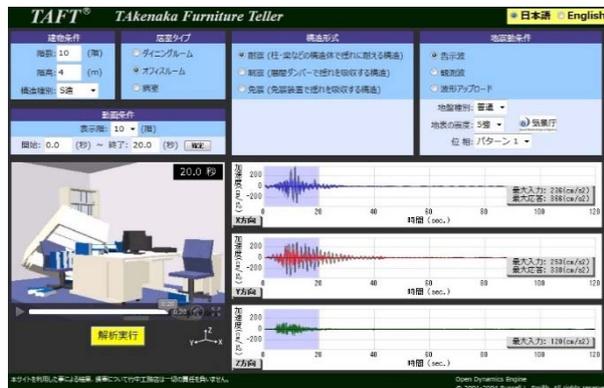


図 5. TAFT (表示画面)

BCPにおける犯罪と言えネットワーク関連の「サイバーセキュリティ」が一般的だが、テロを含めたフィジカル（物理的）な犯罪も場合によっては事業へ多大な影響を与える。物理的犯罪の代表的なものは金品の窃盗だが、最近は情報（を記録した媒体）の持ち出しや暴徒の侵入による傷害や放火など、金銭的にも社会的にも大きな問題となる事例も数多い。犯罪に対する脆弱性を建築計画段階で分析・評価するツールとして「ISSOP-C」があり、敷地周辺における犯罪の種類別の発生頻度を数値化した「立地の危険度」に、フォルトツリー解析で侵入経路の脆弱性を数値化した「建物の侵入しやすさ」をかけ、これに「資産価値」をかけたものを「予想最大損失＝犯罪 PLM」として算出する。侵入経路毎の脆弱性を数値化できるため、要求する水準に対して「どこを」「どのように」対策すればよいか明確になる。

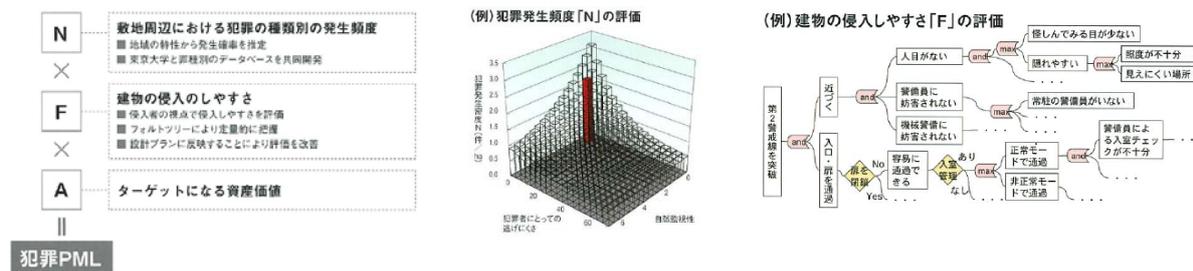


図 6. ISSOP-C

「リスク対策」段階では免・制震などの新築向け地震対策に加えて、既存建物の耐震対策に特化した、騒音や粉じんを極力出さないで耐震壁を構築する「エストンブロック」、文化財を守る屋外免震装置、自動倉庫用の制振マスダンパーなどもそろえている。防犯対策としては文化財への落書きや放火を未然に防ぐための「ISSOP-EYE（リスク検知型監視カメラ）」がある。一般的な監視カメラでは物体が仮想警戒ラインを超えた途端に発報するが、このカ

メラでは人物検知、移動速度検知、滞留時間等を勘案しながら未遂の段階で発報する仕様としているため誤報の少ない、確実な警報が可能であり離席中でもスマートフォンなどへの伝達もできる。

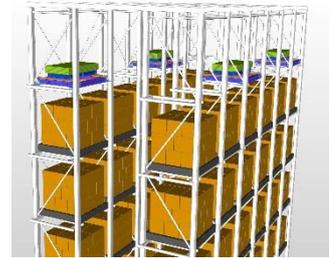


図 7. エストンブロック

図 8. 免震装置  
(西洋美術館「地獄の門」)

図 9. 自動倉庫用  
マスダンパー

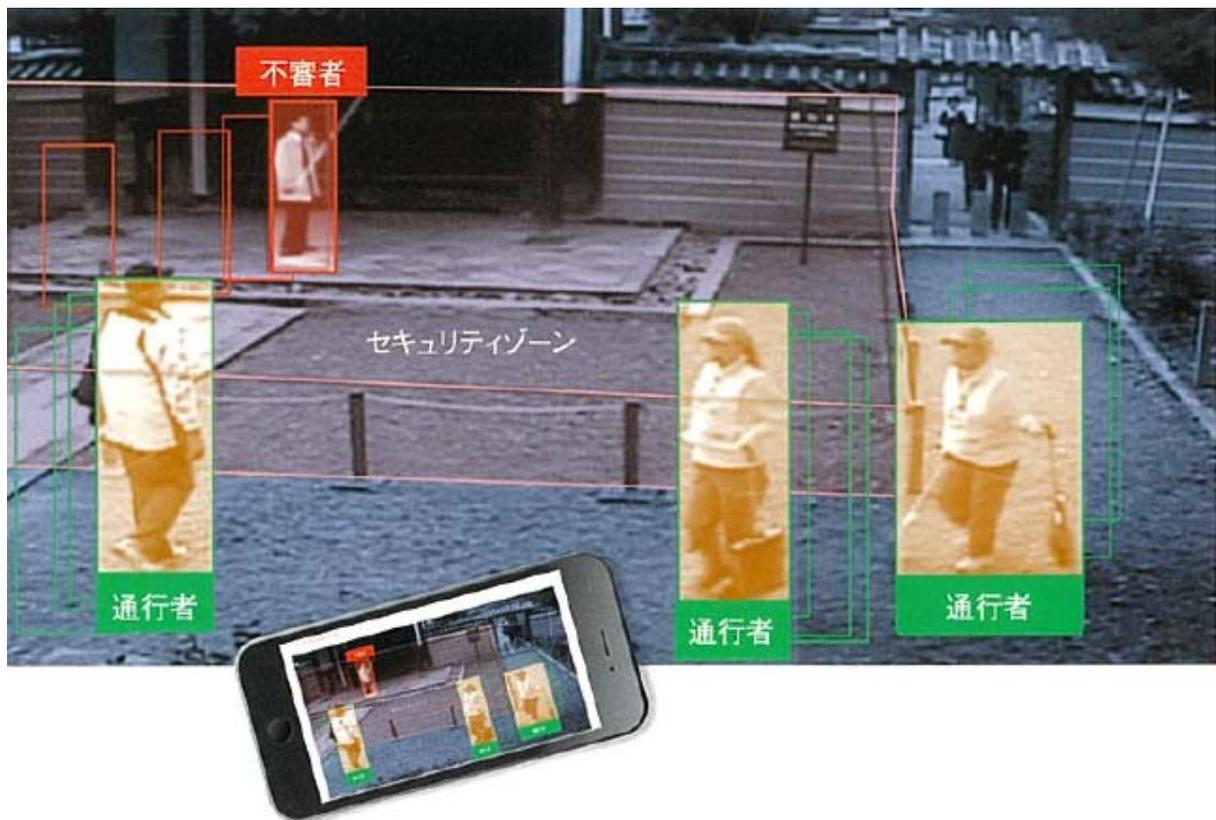


図 10. ISSOP-EYE

参考文献

- 1) 「リスクマネジメントと BCP/BCM」 竹中工務店パンフレット
- 2) 「犯罪リスクマネジメント」 竹中工務店パンフレット

## 9.5 清水建設の取り組みの紹介

清水建設では、地震発生後の事業の早期復旧を目指して、揺れの直前、揺れた直後、復旧時の3つのタイミングに対して事業継続確保をサポートする技術の他、地域防災を考えた取り組みを行っており、それらに関して紹介する。

### ① 揺れの直前 緊急地震速報活用システム<sup>1)</sup>

緊急地震速報活用システムは、気象庁が地震検知後、数秒で震源や地震の大きさに関する情報を配信する「緊急地震速報」を活用した技術である(図1)。大きな揺れが来る前に、さまざまな伝達ツールを使い警報を発報し、関係者に地震波の到達時間・震度予測を伝えることで、安全確保や二次災害防止への対応を促すことができる。

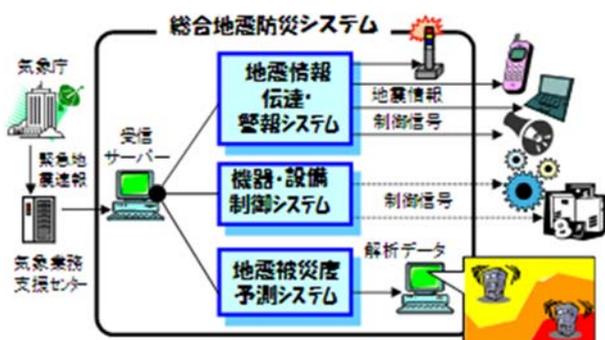


図1. 緊急地震速報システム

### ② 揺れた直後 構造ヘルスマonitoringシステム<sup>2)</sup>

地震後に速やかに建物の健全性を判定するシステムである(図2)。建物内に設置した少数の加速度センサを活用し、地震の揺れが収まった後1分ほどで、構造体の健全性と天井・仕上げ材の損傷度を判定し、階別に表示することで、損傷の大きな階の把握や、建物からの避難有無の判断を支援することができる。

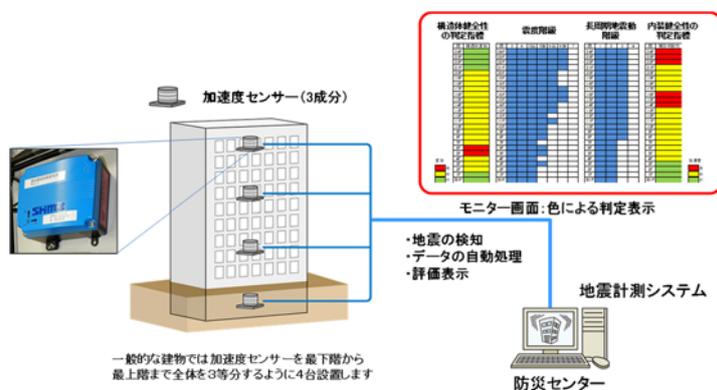


図2. 構造ヘルスマonitoringシステム(安震モニタリング)

### ③ 復旧時 ecoBCP クラウドサービス<sup>3)</sup>

クラウドサービスを活用して、事業復旧に向けた情報を効率よく整理し、表示するサービスである。また、非常時だけでなく、平常時の電気、コージェネ、水道、ガスといった主要設備の稼動状況などの施設情報の一括管理を実現し、エネルギーコストの削減や施設管理効率の向上を支援できる。

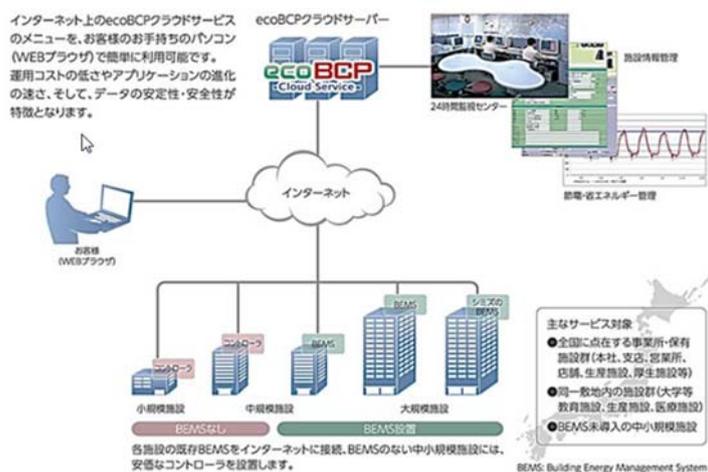


図 3. ecoBCP クラウドサービス

### ④ 京橋スマートコミュニティの地域を守る防災拠点としての機能<sup>4)</sup>

都市の競争力強化のために、I. 施設レベルでの低炭素化と防災拠点機能強化から、II. 街区レベルでの面的な熱・電力の融通、防災機能分担、III. エリアレベルでのエネルギーと事業・生活継続のマネジメントへと展開し、既存市街地を強くしなやかで（レジリエント）、人と環境にやさしい（サステナブル）まちに再生していく事を目的として取り組んでいる。京橋スマートコミュニティでは、中央区と連携して、表 1 に示すように、清水建設本社をコアとして施設レベルから街区レベル、エリアレベルへと eco と BCP 機能を強化し、まちの価値向上と競争力強化のため、帰宅困難者を支援する地域防災センターを設置するとともに、防災拠点としての機能を満足させるための BCP 数値目標を設けている。

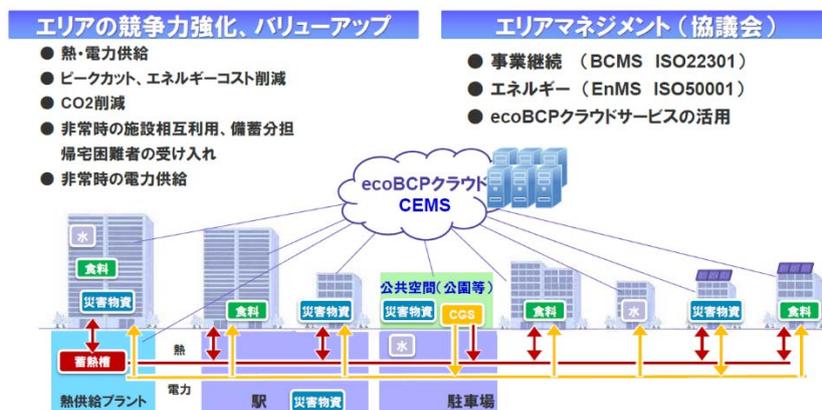


図 4. 京橋スマートコミュニティでのエリアマネジメント

表 1. 京橋スマートコミュニティにおける BCP 数値目標とその対策

対象	求められる機能	対策・対応
建物損傷の防止	巨大地震において著しい損傷がないこと	免震システムの採用（レベル2（震度6強～7程度）でも損傷しない）
本社機能継続	72時間（3日間）の本社機能の維持 地下浸水対応	備蓄・貯留・代替手段の採用 電力：発電機燃料備蓄（3日間） 上水：水槽に備蓄（3日間） 下水：地下ピットに備蓄（3日間） 通信：内線電話・デジタル無線・衛星電話
地域との連携	帰宅困難者の一時退避場所の提供	帰宅困難者の生活の場を提供 場所：滞流スペースの確保 社内外の帰宅困難者及び残留者：4,000名 飲料水・食料等の備蓄

#### 参考文献

- 1) 清水建設株式会社：緊急地震速報活用システム, <https://www.shimz.co.jp/solution/tech001/index.html>. (2019年7月6日確認)
- 2) 岡田敬一, 森井雄史, 佐々木仁志：ベイズ更新と時刻歴応答解析を併用した地震直後の建物健全性判定支援システム－安震モニタリング SP システム－, 清水建設研究報告, 第94号, pp.51-63, 2017.1.
- 3) 清水建設株式会社：ecoBCP クラウドサービス, <https://www.shimz.co.jp/ecobcp/management.html>. (2019年6月17日確認)
- 4) 清水建設株式会社：京橋スマートコミュニティ, <https://www.shimz.co.jp/ecobcp/cityplanning.html>. (2019年6月17日確認)

## 9.6 日建設計の取り組みの紹介

### 9.6.1 はじめに

建物レジリエンス性能を向上させるには、①発災前、②発災直後、③発災後～復旧の各状態においてどのように性能を設定するかが重要な課題である。日建設計では各状態に対して、大きく以下のような提案を行い、建物供与期間にわたる総合的な観点から設計を行ってきた。

- (1) 総合耐震クライテリアによる建物構成要素全体の性能設計(①,③)
- (2) モニタリングシステム NSmos による建物応答即時判定(②,③)
- (3) NS Wave による簡易なサイト波の作成・提案(①)

これらを総合的に活用することにより、建物の総合的なレジリエンス性能向上に貢献している。本稿では特に(2)の NSmos について重点を置き、具体的な取り組みを紹介する。

### 9.6.2 取り組みと世の中の動向・法整備の流れ

日建設計では法整備に先駆けて、様々な総合的な提案を行ってきた。本稿で建物レジリエンス性能を向上させるには、①発災前、②発災直後、③発災後～復旧の各状態においてどのように性能を設定するかが重要な課題である。日建設計で取り組んできた建物レジリエンス性能に絡む具体的な提案は以下に挙げる3つである。

- 1). 総合耐震クライテリアによる建物構成要素全体の性能設計：
- 2). モニタリングシステム NSmos による建物応答即時判定：
- 3). NS Wave による簡易なサイト波の作成・提案

それぞれ、1)は①,③に、2)は②,③に、3)は①のフェイズに絡む内容であるが、本稿では発災後～復旧に絡む1), 2)に主眼を置いて紹介する。

### 9.6.3 建物応答即時判定・モニタリングシステム NSmos

#### 9.6.3.1 システム概要・加速度計の配置例

地震発生直後に被災した建物の安全性を把握できれば、人命を守るための避難指示や、建物の継続使用の判断に役立ち、その後の事業継続に向けた有効な情報となり得る。

日建設計は、2014年に地震後に即時に被災度を判定する NSmos「日建設計 地震時建物被災度判定システム (Nikken Sekkei Structural Monitoring System)」を開発した。2019年3月時点、新築建物・既存建物を問わず、オフィスを中心に約40棟の建物に導入されており、今後も増加していく予定である。

日建設計で提案するモニタリングシステム NSmos<sup>1)</sup>は、独自の判定手法に基づき、即時に判定レポートまで出力するシステムである。図1に示す様に、建物内に設置した地震計(加速度センサ)により地震時の建物の揺れを計測し、リアルタイムに建物の状況を把握・即時に被災度を判定(揺れの収束後2~3分以内)する。センサによる計測値と予め設定した判定値(閾値)を比較することで被災状況の判定を行う。判定結果はレポート形式で提供する。レポートでは、被災度をAからEの5ランクで判定し、各ランクにおいて被災状況・避難の必要性・継続使用の可否などを文章で解説している。発災直後に出力する簡易レポートに加え、専門家でなくても建物の被災状況がわかりやすい詳細判定レポートの出力も可能である。



図 1. 加速度計配置例と結果表示例

### 9.6.3.2 既往システムに対する差異・NSmos の特色

既往システムとの差異・特色としては以下の4つが挙げられる。

① 設計者による適切な判定：

正確な判定を実現するためには適切な判定値を設定することが非常に重要である。同じ建物が2つとないように、判定値も建物によって、また同じ建物であっても、階・方向によって異なる。NSmosでは日建設計の構造設計者が各建物の特性を的確に捉え、適切な判定値を設定することで、精度の高い判定を実現している。

② 非構造部材の判定：

安全性の確認には構造体の被災状況の把握が重要であるが、事業継続性の判断には構造体のみならず、非構造部材の被災状況の把握も必要である。NSmosは、外装材・天井材・設備機器(取付け部)・家具の非構造部材×4項目についても被災度を判定しており、使い方の観点からも判定することで、実際を反映している。

③ 判定精度の検証確認：

10階建て建物の実大振動実験にて、被災状況をNSmosが適切に判定できていることを確認しており、十分な精度があることを確認している<sup>24)</sup>。

④ クラウドサービス：

パソコンやスマートフォンで、建物に居なくても判定レポートを閲覧可能としている。帰宅時や出張時など、建物に居なくとも建物の状況を確認できることに加え、多くの建物を管理している会社の場合、情報を集約して処理することなども可能としている。

### 9.6.3.3 システムの活用例

#### [NSmos + 構造解析による詳細な被災状況の把握]

NSmos の判定結果は被災度の大きな階は特定できるが、各部材の被災状況までは把握できない。しかしながら、NSmos と設計時の構造解析を組み合わせることにより、建物の構造体の各部材のより詳細な被災状況の把握が可能である。

#### [最適な補修計画の立案]

地震により被害が生じた場合、調査・補修範囲を決定するのは困難である。しかしながら、NSmos があれば被災度の大きな階が特定可能であり、範囲を限定してコストを抑えることが可能である。また、上述の構造解析と組み合わせにより、さらに詳細な被害箇所の特特定が可能である。これにより、被災度の大きい箇所に絞った最適な被害調査、および補修計画の立案が可能となる。

## 9.6.4 その他の取り組み

### 9.6.4.1 総合耐震クライテリア

近年、JSCA から性能設計に関する建物トータルの耐震性能について、説明書が作成・提案された<sup>5)</sup>。各社同様の取り組みを行ってきただが、日建設計ではそれらに先んじて構造・建築・設備などトータルでの耐震クライテリアを定め、**図2・図3**に示す様に各変形状態に対して各要素の耐震性や使用性が確保されるよう配慮を行った設計を提案・実践してきた<sup>6)</sup>。建物をどう壊れないように設計するかのみならず、大地震等に対してどう壊すか、壊れたとして損傷をどのレベルに抑えて復旧性能を上げるか、ということに配慮したものとなっている。ここでは詳細を割愛するが、JSCA の性能設計説明書にもその知見とノウハウは大きく反映されており、社会に対して建築の総合的なクライテリアを提示することの大切さの提案と実践を行ってきた。

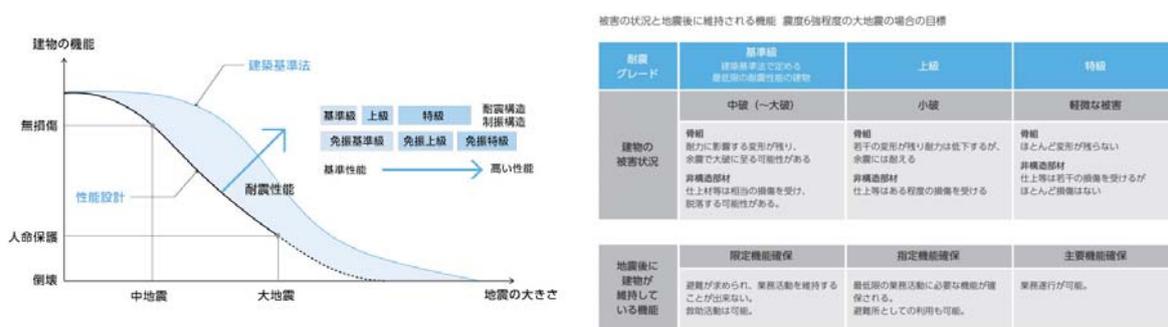


図2. 総合耐震クライテリアの取り組み

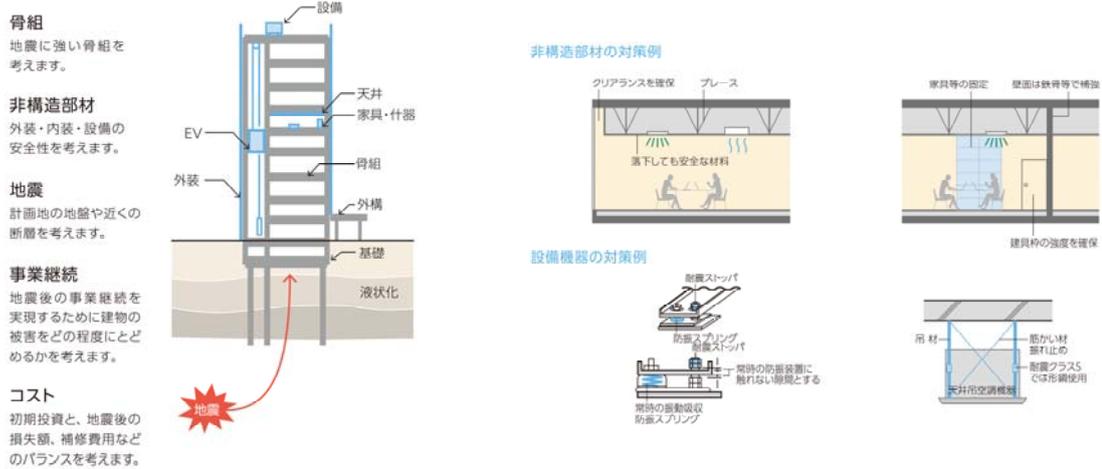
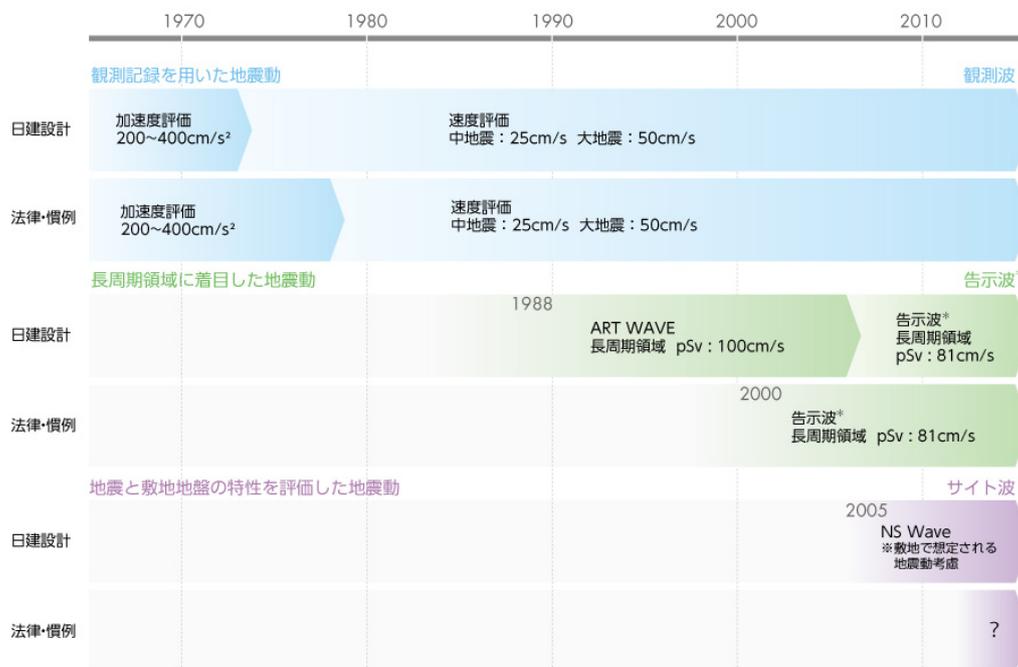


図 3. 総合耐震クライテリアの考え方

### 9.6.4.2 地震と敷地地盤の特性を評価した設計用模擬地震動 NS Wave

観測記録を用いた地震動に対して、70年代前半までは加速度により評価する手法が一般的であり、現行の速度評価となったのは80年代に入ってからのことである。また、長周期領域に着目した地震波としては告示波が2,000年に法整備がなされた。日建設計ではこれらに先駆けて、70年代前半に観測波の速度評価を、1988年には長周期領域に着目した人工模擬地震動 ART-WAVE の採用を開始して設計を行っている。これに加え、1995年の兵庫県南部地震を受けて2005年には地震と敷地地盤の特性を評価した地震動 NS Wave を用いた設計を開始した<sup>7)</sup>。



\*: H12年建設省告示第1461号

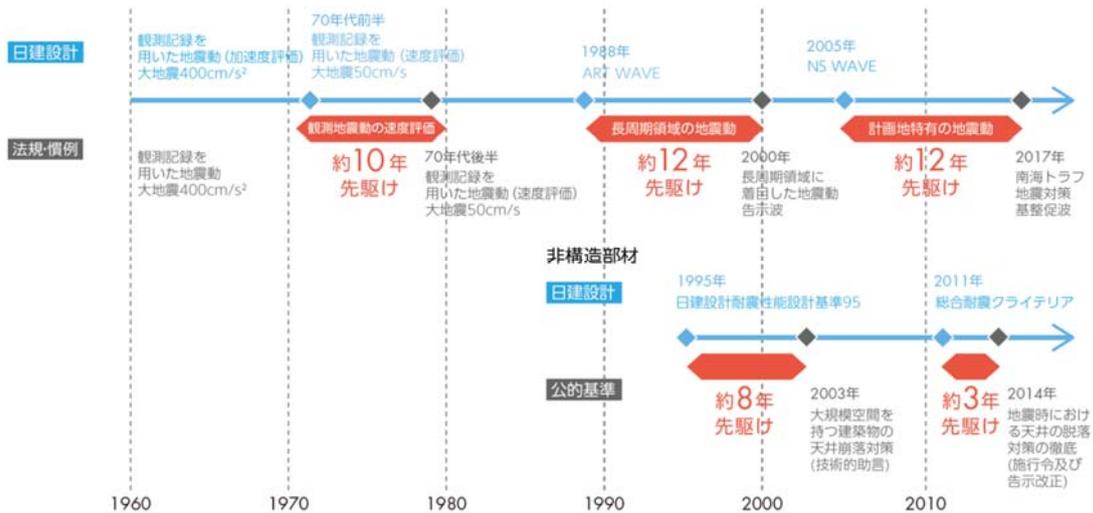


図 4. 設計用入力地震動の歴史と日建設計の取り組み

超高層建築物で告示に規定されている設計用模擬地震動には敷地の場所や地震の条件に関わらず、全国一律のものが使用されている。一方で、NS Wave は計画敷地で実際に起こり得る地震動を想定したものである。NS Wave は地震学の分野で広く知られている理論と独自に開発した波形に関する理論を組み合わせることで構築したもので、その考え方は地震学や地震工学の知見に基づいている<sup>8-11)</sup>。①震源からの距離、②仮定する位相差分布、③サイトの浅層・深部地盤情報特性という3つの情報から、工学的に十分な精度で簡易的にサイト波を作成する手法であり、それぞれの計画敷地での設計用模擬地震動の作成に必要なパラメータは、公的機関の公表値および敷地ごとの調査により得られる数値を根拠としている。このパラメータは地震と敷地固有の条件を踏まえた限られた数個のみから構成され、地震動作成手法そのものが構造設計者の直感的理解がしやすいように設計されている。性能評価を含めた設計での実績も十分に備えており、各種観測記録とも非常に良い整合を確認している。基整促波についても技術的助言<sup>12)</sup>に沿った独自の手法を組み合わせることにより、提示されているスペクトルの境界線領域でも、境界をまたぐ敷地で不連続にならない波が作成可能など、独自の取り組みを行っている。

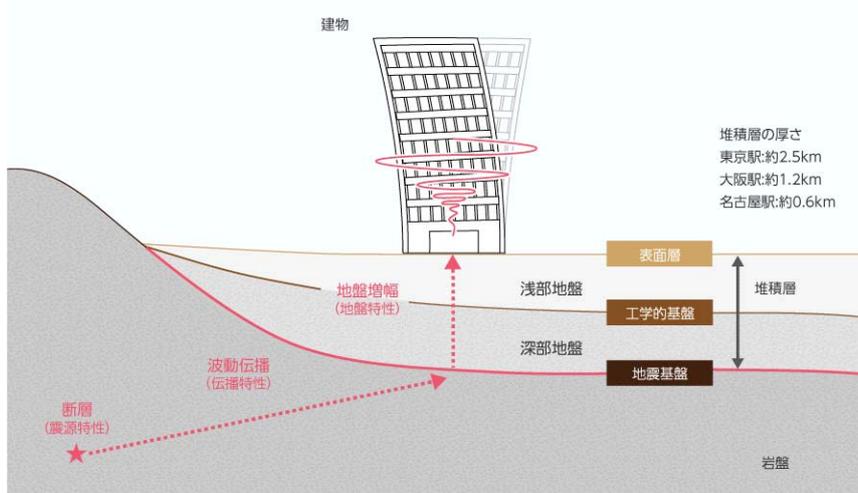


図 5. サイト波の考え方

## 9.6.5 まとめ

本稿では、レジリエンス向上のための日建設計の取り組みとして、(1)モニタリングシステム NSmos による建物応答即時判定、(2)総合耐震クライテリアによる建物構成要素全体の性能設計、NS Wave による簡易なサイト波の作成・提案の3つについて紹介した。発災前から発災後まで含めた、建物供与期間トータルでの提案を総合的に活用することにより、建物の総合的なレジリエンス性能向上に貢献している。今後も総合設計事務所としての観点から、更なる提案を行い、社会的なレジリエンス性能向上に貢献していく所存である。

### 参考文献

- 1). 地震発生！あなたのいるその建物は安全ですか？即時に建物の被災度を判定する NSmos 「日建設計 地震時建物被災度判定システム」  
[https://www.nikken.co.jp/ja/expertise/structural\\_engineering/nikken\\_sekkei\\_structural\\_monitoring\\_system.html](https://www.nikken.co.jp/ja/expertise/structural_engineering/nikken_sekkei_structural_monitoring_system.html)
- 2). 工藤嵐, 三田彰, 原田公明, 石井正人, 篠原辰巳, 風間宏樹: 中小地震観測に基づく制振建物の固有振動数の経時変化に関する研究日本建築学会学術講演梗概集 B-2, pp.71-72, 2007.
- 3). 近藤智佳子, 中村優香, 三田彰, 原田公明, 石井正人, 篠原辰巳, 風間宏樹: 中小地震観測に基づく制振建物の性能把握に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 B-2, pp.73-74, 2007.
- 4). 石川美沙希, 三田彰, 原田公明, 石井正人: 地震応答に基づく建築構造物の ARX モデル推定に関する誤差評価日本建築学会学術講演梗概集 B-2, pp.687-688, 2009.
- 5). 一般社団法人 日本建築構造技術者協会: JSCA 性能設計説明書 2017 年版【耐震性能編】およびパンフレット, 2018 年 3 月.
- 6). 建築的視点から見た地震対策～耐震構造・制振構造・免震構造・耐震グレード～  
[https://www.nikken.co.jp/ja/expertise/structural\\_engineering/seismic\\_resilience\\_of\\_buildings.html](https://www.nikken.co.jp/ja/expertise/structural_engineering/seismic_resilience_of_buildings.html)
- 7). 構造安全検証のためのオーダーメイドの設計用模擬地震動「NS Wave」  
[https://www.nikken.co.jp/ja/expertise/structural\\_engineering/nswave.html](https://www.nikken.co.jp/ja/expertise/structural_engineering/nswave.html)
- 8). 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その 1 位相差分分布と地震動経時特性の関係に関する理論的背景, 日本建築学会構造系論文集, 第 553 号, pp.49-56, 2002.3
- 9). 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その 2 位相差分分布と震源・伝播・地盤特性の関係に関する考察, 日本建築学会構造系論文集, 第 559 号, pp.55-62, 2002.9
- 10). 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その 3 モデルに基づいた地震動評価手法, 日本建築学会構造系論文集, 第 572 号, pp.55-64, 2003.10
- 11). 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その 4 モデルで規定したフーリエ振幅と位相差分の標準偏差を基準として選択したフーリエ位相を用いた模擬地震動作成手法, 日本建築学会構造系論文集, 第 590 号, pp.45-53, 2005.4
- 12). 国土交通省住宅局建築指導課長: 超高層棟建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について(技術的助言), 平成 28 年 6 月 24 日, 国住指第 1111 号,  
<http://www.mlit.go.jp/common/001136168.pdf>

## 9.7 災害復旧サービス・ベルフォアジャパンの取り組みの紹介

### 9.7.1 はじめに

オフィスや生産施設が、火災・爆発や地震、津波、洪水などの災害により被災した際に、企業は早期の事業復旧のために設備の早期復旧を目指すこととなる。このような企業の災害早期復旧を支援する事業者が存在する。本節では、災害復旧事業者の最大手であるベルフォア社の日本法人の取り組みを紹介する。

### 9.7.2 ベルフォアについて

ベルフォアの事業は保険事業と密接に結びついており、その事業の礎は 1979 年に遡る。当初、ドイツにおいて火災被害の修復や防火予防など火災保険に近い分野で活動を開始したが、その後、水害や暴風雨、地震災害など、様々な災害に対して活躍の場を広げた。近年、企業の災害時事業継続の必要性が世界的に高まり、ヨーロッパ全域から、日本、北米、南米、中国に市場を広げ、サービスをグローバルワイドに展開している。現在、約 30 カ国の約 300 の拠点で、約 8,500 人の専門スタッフのネットワークが構築され、年中無休 24 時間体制で災害発生に備えている。これまでに、1991 年ピナツボ火山噴火（フィリピン）、2001 年 NY 同時多発テロ（米国）、2005 年ハリケーンカトリーナ（米国）、2011 年タイ洪水などの世界的な大災害においても活躍の実績があり、全世界で年間約 250,000 件の災害復旧を行っている。

日本でのベルフォアによる災害復旧プロジェクトは、2002 年に初めて実施された。日本で建造中の大型クルーズ客船が船体の約 4 割を焼損する火災事故が発生した際に、船の復旧をベルフォアが支援したものである。その後、東京海上日動火災保険株式会社の支援を受けて、2004 年にベルフォアジャパン（以下、ベルフォアと記す）を設立し、日本でのサービスを本格的に開始した。近年、毎年発生する台風災害や 2011 年の東日本大震災、2006 年熊本地震においても多くの日本企業の早期復旧を実現した。

### 9.7.3 ベルフォアの災害復旧サービス

ベルフォアのこれまでの復旧実績は、製造業・非製造業共に多岐に渡っており、巨大な工場プラントの大規模災害から、飲食店等の一店舗の罹災に至るまで、様々な業種に対応している。また、事故種別についても、火災、爆発、地震、台風、暴風雨、洪水、浸水、化学薬品漏えい等、自然災害や人的災害に対応している。これらの内、最も多いのは火災事故であるが、近年では、台風、豪雨、高潮などの水害被害での復旧事例も多くなっている。例えば、2018 年西日本豪雨や 2019 年台風 19 号における水害で被災した機械設備や建屋を多数復旧支援している。その他、2011 年東北地方太平洋沖地震における津波被害や 2016 年熊本地震における薬液漏洩被害での復旧実績もある。

被災企業がベルフォアを活用するメリットは何といても早期の復旧である。企業の生産施設等で、オーダーメイド性が特に高い設備が被災した場合には、交換にかかる納期が数カ月～年単位になる場合がある。このような設備が、煤、煙、消火放水等により化学的に汚染された被害や水害時の泥による汚損が発生しているケースでは、ベルフォアの汚染除去技術で修復が可能な場合、大幅な復旧期間の短縮が期待できる。建屋の汚染除去を、水を使用せずに実施することで、生産活動をある程度継続したまま復旧作業をすることも可能となっている。しかし、物理的に破損した設備は、ベルフォアによる修復ができない。破損した場合

はメーカーによる修理や新品の調達を行う必要がある。よって、全ての災害でベルフォアのサービスが有効な訳ではない点について留意することが必要である。

表 1. ベルフォアの主な復旧実績

業種別	事故種類別
<b>■製造業</b> -食品・飲料 -化学・製薬 -繊維 -金属加工・プラスチック加工 -半導体 -電気・通信 -自動車部品 -造船（含む船舶） -製紙 など	<b>■火災爆発</b> <b>■台風</b> -2014年8月 台風11・12号 -2015年9月 台風18号 -2018年9,10月 台風21,24号 -2019年9,10月 台風15,19号 など <b>■洪水・高潮</b> -2011年のタイ洪水 など <b>■集中豪雨、ゲリラ豪雨</b> -2015年9月 鬼怒川氾濫（栃木・茨城） -2016年9月 東北水災（宮古） など <b>■大雪</b> -2014年2月 首都圏大雪災害 など <b>■地震・津波</b> -2011年3月 東日本大震災 -2016年4月 熊本地震 など <b>■その他災害</b> -化学物質の漏えい（配管、タンクなど） -漏水（配管からの水漏れ、スプリンクラーの誤作動など） -消火剤による汚染（ABC消火剤、泡消火設備など）
<b>■非製造業</b> -サーバールーム -商業ビル -ホテル・旅館 -病院 -クリーニング -レストラン など	

#### 9.7.4 ベルフォアの災害復旧技術

ベルフォアの災害復旧技術について、火災を例として記載する。火災が発生した現場は建物や設備が様々な化学物質で汚染される。最も多いのは塩化物イオンによる汚染である。ケーブル類や塩ビ管のようなポリ塩化ビニル系材質が燃焼した場合、塩化物イオンを含んだすすが発生する。その塩化物イオンが空気中の水分と結合して塩酸となり、罹災現場で広範囲にわたって付着してしまう。塩酸は強酸であるため、設備などの金属を時間と共に腐敗させる。火災現場は、消火放水されるため、多くの場合、高湿度になっており、数日で腐食が進行してしまう。よって、火災鎮火後も、そのままの状態では、時間と共に被害が拡大することとなる。

ベルフォアによる火災災害復旧の作業は、大きく3つのフェーズに分かれる。第一段階では、被災現場にてベルフォアが復旧可能な被災物を特定する作業が実施される。この結果を受けて、直に第三段階の本格修復が実施されるのが理想的であるが、復旧方針の判断において、被災した設備のメーカー見解、保険の査定や復旧コスト費用に関する判断など、意思決定に時間を要する場合がある。その期間に汚染により被災設備の腐食が進むと修復が困難になることも想定される。そこで、第2段階の緊急安定化処置により、腐食の進行を抑制する作業を実施する場合がある。

以下では、第3段階の本格修復で用いる復旧技術として、3事例を紹介する。

表 2. ベルフォアの復旧作業フェーズ

作業フェーズ	作業概要
① 災害汚染確認 (焼損・汚染)	災害汚染調査により、罹災した機械設備の修復可否と汚染の範囲を特定する。
② 緊急安定化処置	機械設備が汚染されている場合、腐食の進行を抑制するための緊急安定化処置を実施する。
③ 本格修復 (汚染除去)	精密洗浄等により汚染を除去、被災前の状態に復旧する。

### (1) 精密洗浄

精密洗浄は、ベルフォアのコア技術である。これは電子機器等を可能な限り分解し、ベルフォアが独自に開発した洗浄剤と脱イオン水で洗浄して乾燥させ、再組立して修復するというものである。この一つ一つの作業も、様々な技術に支えられている。例えば、機器を分解する際には、再組立てを間違わないように、分解記録を取る技術を要する。また、洗浄後の乾燥過程では、真空チャンバーにより減圧した環境により水の沸点をさげ、低温度で水分を蒸発させる技術を用いている。洗浄後は、洗浄後は状況に応じてマイクロスコープや拡大鏡で品質チェックをし、万一汚損等が残っていた場合は再度同じ工程を繰り返すということを徹底している。

### (2) 錆の除去

ベルフォアは、被災した設備の錆除去用に独自開発の様々なケミカルを有している。錆の除去作業では、基本的にケミカルで錆を浮かせながら拭き取りもしくは研磨して除去する。しかし、金型や治具等の複雑な形状をしたものはその方法では完全に除去することは困難である場合などには、超音波洗浄を用いる。ベルフォアが独自に開発した錆除去剤を満たした超音波洗浄槽に錆びた罹災品を入れて超音波をかける事で錆を浮かして除去することができる。手作業が届かない小さい隙間や穴の中も、錆除去剤に浸ってしまえば一様に超音波が作用するため、錆の除去を確実に実施することができる。複雑な形状の設備も、極めて短時間で錆除去することができる。

### (3) 建物の汚染除去

ベルフォアは建物の汚染除去も得意としている。ここでは、一例として、すす除去フィルム (SRF : Soot Removal Film) による除去技術を紹介する。これは天然ゴム主成分の粘度の高い SRF を汚染した天井や壁面に塗布した後に、一昼夜乾燥させてフィルム化させ、これを剥がして汚染除去する技術である。滑らかな材質の壁面がすす汚染された場合は、拭き上げによりすすを除去することが有効であるが、コンクリートや石膏ボード、レンガ造り等、の微細にみると凹凸がある壁面で拭き上げを行うと、すすの粒子が壁面の凸凹に入り込んでしまい色ムラや臭いの元になってしまう。SRF はこのような素材に対して、液体状の時に凸凹の細部まで入り込み、乾燥時にフィルムの中にすすを取り込むことで、効果的にすすを除去できる。また、水を使用しないことも大きなメリットである。ビルの上層階の火災現場で高圧洗浄等を行うと廃液の処理に多大なコストとロードがかかる上に、階下に漏水するリス

クもある。しかし、SRFによるすす除去はそのような問題がなく、SRFの塗布、乾燥、フィルム剥がしの工程は2~3日で完了するため、復旧工期の短縮も期待できる。

他にも様々な復旧技術があり、それらを用いて、企業の建物・設備の早期復旧を実現することとなる。

#### (超音波洗浄による錆除去)

除去前



超音波洗浄



除去後



#### (SRFによるすす除去)

除去前



除去後



図1. ベルフォアの復旧技術例 (写真はベルフォアジャパン社提供)

### 9.7.5 おわりに

被災した企業が、汚染などの被害が進まないような処置を設備に対して即時に行い、洗浄などの高度な復旧技術を用いて復旧するオプションは、どのような災害でも常に有効な訳ではない。しかし、このような災害復旧サービスが有効な場面では、事業中断が大幅に圧縮されることから、企業は被災後、直に本サービスの適用可能性を検討することが期待される。

このような災害復旧事業者のサービスは、災害が激甚化・頻発化する現代において、企業がレジリエンスを高めるためにより需要が増加すると考えられる。

#### 参考文献

- 1) BELFOR JAPAN : ホームページ, <https://www.belfor.com/ja/jp> (2019年12月1日確認)