

BCP地震応答解析システム TRAIN-BCP の開発

Development of TRAIN-BCP: A Computer Aided Seismic Response Analysis System for BCP

恒川 裕史*1 藤村 勝*2

梗概

新潟県中越地震で半導体製造施設が多大な損失を被ったことから日本でも事業継続計画（BCP）が注目されており，特に製造施設ではBCPを考慮した設計が求められるようになった。こうした状況を受け，建物の証券化における資産価値評価技術である最大予想損失率（PML）算定での地震リスク評価技術を応用し，躯体の被害に加えてBCP策定で求められる非構造部材や生産設備の被害，更には復旧期間等を含めた建物の地震時リスク評価を，地震の選定，地震動の生成，地震応答解析から被害評価まで一貫して効率よく行うシステムを開発した。

キーワード：BCP，事業継続計画，復旧費用，復旧工事期間，地震リスク

Summary

As significant losses have been suffered in the semiconductor manufacturing facility at Niigata Chuetsu earthquake, business continuity plan (BCP) has attracted much attention in Japan. Under these circumstances, the earthquake risk evaluation technology in the PML calculation that was the asset value evaluation technology in the building securitization was applied to BCP. A system to efficiently evaluate the repair cost and the reconstruction period required by BCP has been developed. In the system, the damage of structural elements, non-structural elements and manufacturing facilities is evaluated consistently from the selection of the earthquake, the generation of the seismic ground motions to the seismic response analyses.

Keywords: BCP, business continuity plan, repair cost, reconstruction period, seismic risk

1 はじめに

2004年新潟県中越地震では半導体製造施設が大きな被害を受け，復旧に5か月という長期間を要したために売り上げの大幅な減少と従業員の大量解雇を招いた。従来の企業防災では人命の安全確保や建物被害低減が主目的であったが，この事例では大きな建物被害がなかったにもかかわらず生産設備が大きな被害を受け，その結果として企業の存続にも影響する大きな被害が生じてしまった。2005年に内閣府から発表された事業継続ガイドライン¹⁾では，

企業は，災害や事故で被害を受けても，取引先等の利害関係者から，重要業務が中断しないこと，中断しても可能な限り短い期間で再開することが望まれている。また，事業継続は企業自らにとって，重要業務中断に伴う顧客の他社への流出，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経営レベルの戦略的課題と位置づけられる。

とされ，この事業継続を推進するための計画をBCP（Business Continuity Plan）と定義している。2007年の新潟県中越沖地震では，自動車部品工場が大きな被害を受け，その影響で国内の主要な自動車メーカーの生産が停止するという事態が発生した。この事例

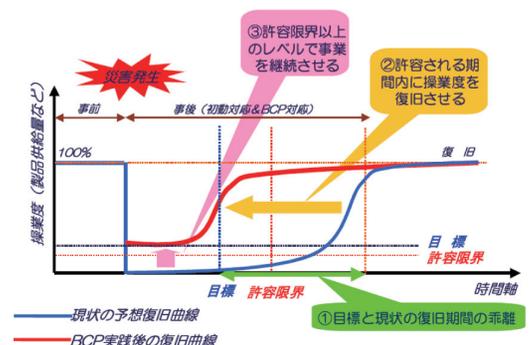


Fig.1 BCPの概念
BCP concept
(内閣府事業継続ガイドラインから引用)

*1 技術研究所 主任研究員 Chief Research Engineer, Research and Development Institute

*2 東京本店設計部 部長付 構造担当 Assistant to General Manager, Tokyo main office, Building design department

では被災した自動車部品工場を代替する技術を持った工場がなかったため取引先から多くの技術者が復旧の応援に駆けつけ、早期に復旧を果たした。しかし、この事例は、BCPにおけるサプライチェーンの影響の大きさを再認識させる大きな出来事であった。

BCPは、もともと海外で発展してきた概念であるが、こうした事例を経て国内でも広がりを見せている。内閣府の調査²⁾では、「予定がある」まで含めると大企業で3/4、中堅企業でも4割の企業がBCPに取り組もうとしている。しかし、BCP推進上の課題として「スキル・ノウハウがない」を挙げる企業が多く、BCP策定ノウハウが求められている。当社では、建物証券化の際の投資リスクの一つである地震リスクを評価するPML（地震最大予想損失率）評価技術を、阪神大震災の被災事例やその復旧工事で得たデータに基づいて構築してきた。こうした状況を受け、このPML評価技術を応用し、BCP策定のための資料となる建物の復旧費用や復旧工事期間を迅速に算定するツールを開発した。

2 シナリオ地震による建物被害推定の概要

2.1 全体概要

BCP立案に当たっては、当該建物敷地周辺に大きな影響を及ぼす地震を設定し、その地震により引き起こされる地震動により当該建物にどのような直接および間接的被害が発生するか、また被害軽減のための対策により、設定した目標復旧時間（RTO:Recovery Time Objective）を確保することができるかを評価する必要がある。本システムは、日本国内の任意の地点において、評価対象となる建物の解析モデルを作成し、敷地周辺の地震環境を考慮しながら地震波を作成し、建物各部や生産設備などの損傷レベルを評価するための損傷クライテリアや、当該損傷レベルにおいて生じる復旧費用、復旧工事期間を設定し、地震応答解析を行うことで、復旧費用、復旧工事期間、フローレスポンス（床応答）を評価する。システムの全体フローをFig.2に示す。



Fig.2 システムの全体フロー
Flow diagram of TRAIN-BCP system

建物モデルの作成では、建物の建設年代や架構形式など概略特性を入力することで、過去の設計例などの情報に基づき建物の復元力特性を自動設定する機能を開発した。この機能により、構造計算書などの詳細情報がない場合にも概略的な評価を行うことができる。また、当社の一貫構造計算システム

BRAINで作成した解析ファイルを利用することも可能であり、建物情報の量に応じた評価を行うことが可能である。地震波作成では、周辺に地震断層や想定断層がある場合に利用する統計的グリーン関数法を用いた波形合成に加え、そうした断層がない場合に周辺に点震源を設定して地震波を作成する機能や、新築建物の設計において法で定められた強さの地震動（告示波）やエルセントロ波などの標準波を始めとした観測地震波を用意しており、更にユーザが別途作成した地震波を使うことも可能である。

以下、各項目について詳細に説明する。

2.2 建物モデルの自動生成

BCP業務では、評価対象となる建物に関して限られた情報しか得られない時点においても建物の地震被害を推定する必要に迫られる場合がある。このため、構造計算書などの詳細情報がない場合にもBCPに関わる地震被害を概略的に評価するため、本システムでは動的解析のための建物モデルを建物の概略特性から自動設定する機能を開発した。自動設定のために指定する建物の特性は、RC造、SRC造、S造の3種の構造種別、強い、普通、弱いなどの強度区分、新耐震か旧基準かを選択する設計年代、延床面積、階数などである。これらの値に基づき、Fig.3に示すTri-linear型の骨格曲線をFig.4の手順で作成する。骨格曲線作成のために必要な剛性と折れ点強度は、構造設計部材断面事例集³⁾のデータ分析結果を元に設定した。また、設定にあたっては、国内の建物が共通の耐震基準に基づき設計されていることを踏まえている。

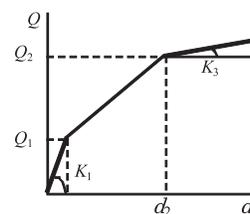


Fig.3 動的解析の骨格曲線
Skeleton curve of structural model

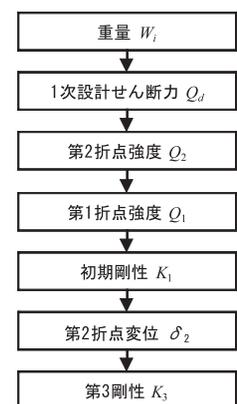


Fig.4 建物モデル設定手順
Structural model setting flow

1) 建物重量 W_i の算定

各階面積 (A_i) と階数区分に応じた単位重量 ρ から各階の重量 W_i を算定する。単位重量 ρ は構造種別 (RC造, SRC造, S造) に対して, 階数区分に応じて設定する。事例集におけるRC造の低層, 中層, 高層での建物重量と面積との比の分布と設定した ρ をFig.5に示す。

$$W_i = \rho \cdot A_i \quad (1)$$

2) 第2折点強度 Q_2 の算定

1次設計用せん断力 Q_d に係数 α_2 を乗じ, ピロティ, 設計年代等の低減係数 (ϕ_p, ϕ_d) を考慮し, Q_2 を算定する。係数 α_2 は構造種別, 強度区分に応じて設定する。事例集におけるRC造の Q_u/Q_d の分布と設定した α_2 をFig.6に示す。但し, Q_u : 保有水平耐力, C_0 : 標準せん断力係数, Z : 地域係数, A_i : 層せん断力係数の分布を示す係数, R_i : 振動特性係数である。

$$Q_d = C_0 \cdot W_i \cdot Z \cdot A_i \cdot R_i \quad (2)$$

$$Q_2 = \alpha_2 \cdot Q_d \cdot \phi_p \cdot \phi_d \quad (3)$$

3) 第1折点強度 Q_1 の算定

第2折点強度 Q_2 に構造種別に応じて決めた係数 α_1 を乗じ Q_1 を算定する。

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot Q_2 \quad (4)$$

4) 初期剛性 K_1 の算定

構造種別, 強度区分に応じた層間変形角 R_d を設定し, 1次設計用せん断力 Q_d を用いて, ピロティ, 設計年代等の低減係数 (ϕ_p, ϕ_d) を考慮し算定する。事例集におけるRC造の1次設計時の層間変形角の分布と強度区分に応じて設定した R_d をFig.7に示す。但し, h_i : 階高である。

$$K_1 = \frac{Q_d}{R_d \times h_i} \cdot \phi_p \cdot \phi_d \quad (5)$$

5) 第2折点変位 δ_2 の算定

第2折点の層間変形角 R_2 を用いて, 階高 (h_i) を乗じて算定する。事例集におけるRC造の剛性急変時の層間変形角の分布と強度区分に応じて設定した R_2 をFig.8に示す。

$$\delta_2 = R_2 \cdot h_i \quad (6)$$

6) 第3折点剛性比 K_3 の算定

初期剛性との比により, $K_3/K_1 = 0.01$ とする。以上の手順によりFig.3の骨格曲線を設定することができる。なお, 構造計算書など詳細情報が得られる場合には, それらの情報を反映した精度の高い評価も行うことができる。

なお, 解析条件は, 減衰評価法は瞬間剛性比例型, 履歴則はノーマルトリリニア型, 減衰定数は構造種別に応じて, RC造, SRC造は3%, S造は2%とした。

2.3 地震波の生成

BCPにおける地震リスクの検討を行う場合, 立地条件や目的により, 必要な地震動は様々である。例えば, 平成20年に策定した東京都の「都政のBCP (事業継続計画) <地震編>」⁴⁾では, 前提とする地震を平成18年5月に東京都防災会議が発表した「首都直下地震による東京の被害想定」⁵⁾における「東京湾北部地震M7.3」としている。これは,

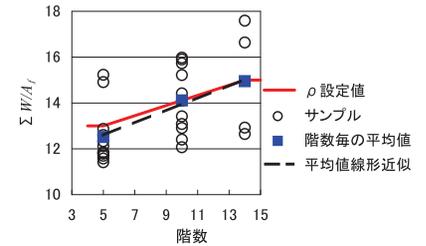


Fig.5 単位面積当たりの建物重量分布
Distribution of unit area building weight

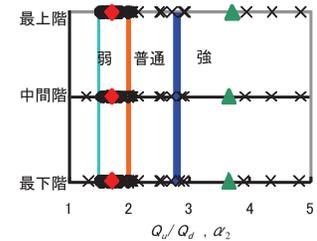


Fig.6 Q_u/Q_d の分布と α_2 設定値
Distribution of ultimate lateral strength/shear force at primary design

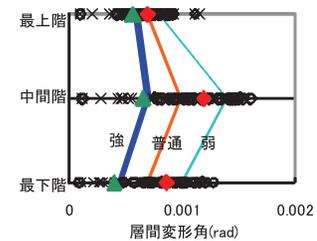


Fig.7 1次設計時の層間変形角と R_d 設定値
Distribution of story deformation angle at primary design

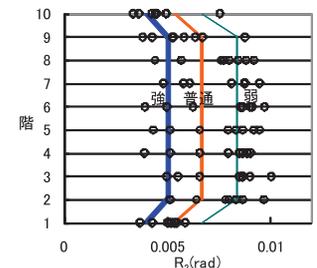
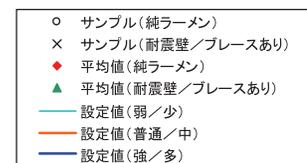


Fig.8 剛性急変時の層間変形角
Distribution of story deformation angle at yield point



平成17年に中央防災会議首都直下地震対策専門調査会が想定した複数の地震のうち発生確率が高く被害の大きい地震であり、都政のBCPを検討する上で適切な地震として選定されたものと思われる。また、比較的地震発生確率の低い福岡県の被害想定⁶⁾では、文部科学省地震調査研究推進本部による長期評価などを参考にして警固断層など複数の地震断層を想定するとともに、各市町村直下において地震が発生することも考慮している。

TRAIN-BCPでは、こうした様々な状況に対応できるように、種々の地震動生成手法を整備している。まず、調査の結果、地震を起こす活断層であると判明している断層による地震や上記の東京湾北部地震などの想定地震など場所や断層パラメータの特定された地震に対しては、統計的グリーン関数法を用いて地震動を生成する。統計的グリーン関数法は断層面を小断層に分割し、小断層ごとにBooreの統計的震源モデル⁷⁾を分布させ、Irikuraの方法⁸⁾により、地震波変位波形のフーリエ変換が低周波数では一定値を示し、地震の規模に依存するある特徴的な周波数よりも高周波数では周波数の-2乗に比例して小さくなる ω^{-2} モデルに従うように重ね合わせる地震動合成方法である。断層モデルについては、中央防災会議の各専門調査会⁹⁾で検討公表されているもの、地震調査研究推進本部の長期評価¹⁰⁾、防災科学技術研究所の地震ハザードステーションJ-SHIS¹¹⁾などの情報を基にして整備を進めている。また、深部地盤構造については、中央防災会議のデータを使用している。また、地震リスク・マネジメント研究会の成果¹²⁾に基づき、断層のアスペリティと破壊開始地点をランダムにばらつかせた地震波を生成することで様々なケースを総合的に評価している。次に、直下地震など震源や断層を特定できない地震に対しては、ユーザが点震源として震源位置、マグニチュード、震源深さを設定し距離減衰式により工学的基盤での最大速度を計算し、告示スペクトル適合波(告示波)をスケールアップする。工学的基盤の最大速度は、以下に示す翠川・大竹¹³⁾の式で算出する。

$$\log V = b - \log(X + C) - kX \quad (7)$$

$$b = 0.65M_w + 0.0024D - 1.77$$

$$C = 0.0028 \times 10^{0.5M_w}$$

$$M_w = 0.78M + 1.08$$

$$k = 0.002$$

なお、 V : 最大速度 (kine), M : 気象庁マグニチュード, X : 震源距離 (km), D : 震源深さ (km)である。

TRAIN-BCPでは、この他に告示波、観測地震波、ユーザが別途用意した地震波を利用することができる。観測地震波を除く地震波

は工学的基盤で定義されているため、地震応答解析で使用するためには表層地盤による増幅を考慮する必要がある。表層地盤の増幅評価に関しては、告示に規定された地盤種別に基づき簡易にGsを評価する方法における工学的基盤と表層地盤との応答スペクトルの増幅率を利用する方法、中央防災会議が各専門調査会で使用した地盤増幅率を利用する方法および地震応答解析プログラムSHAKEを用いる方法の3種類の方法を用意している。Fig.9に示すように各地震波生成手法はそれぞれ異なる深さの工学的基盤で定義されている。また表層増幅の評価手法についても同様である。このため、それらの調整には、中央防災会議の表層増幅評価で用いられている松岡・翠川の方法¹⁴⁾を用いた。なお、SHAKEで用いる表層地盤の情報については、中央防災会議の東南海・南海地震等に関する専門調査会で作成された表層地盤モデルを標準で用意しているが、建物の立地地点のボーリングデータが利用できる場合には、そのデータを利用し精度の高い評価ができるようにしている。

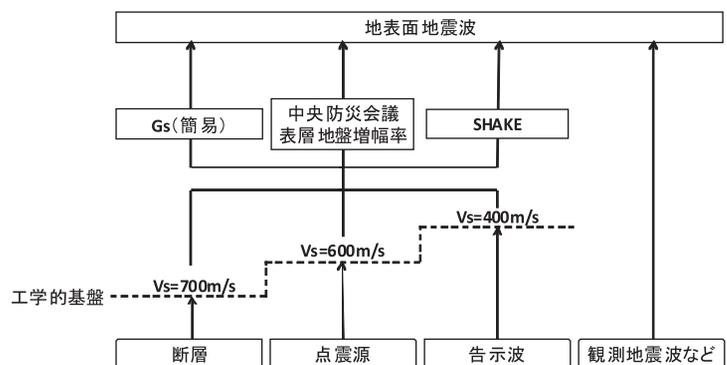


Fig.9 地震波の生成と地盤増幅の評価方法
Flow diagram of wave generation methods

2.4 復旧費用と復旧工事期間の推定

復旧費用の推定は、躯体、仕上げ、設備、家財、機器（生産機器）に分けて以下の手順で行う。

- (1) 地震応答解析の結果から損傷を推定するための指標を算定する
- (2) 算定された指標から小破、中破、大破、倒壊の損傷ランクごとに損傷確率を算定する
- (3) 算定された損傷確率と損傷ランクごとに決めた復旧費用（被害関数）から平均復旧費用を算出する

損傷を推定するための指標は、躯体、仕上げについては最大層間変形角を、設備、家財、機器については最大応

答加速度とした。また、損傷ランクごとの復旧費用については、兵庫県南部地震での当社の復旧工事データに基づいて決定した。なお、このデータは建物全体の損傷程度と復旧費用の情報をまとめたもので、各階の損傷程度に関する情報は含まれていないため被害関数は建物単位である。すなわち、被害関数が示す復旧費用は、例えば大破となった建物の復旧費用であり、階ごとの損傷ランクに対応する復旧費用ではない。したがって、躯体、仕上げについては階ごとの最大層間変形角から建物全体の最大値を求め、損傷確率算定用の指標とした。また、設備については建築設備耐震設計・施工指針¹⁵⁾などで示されているように上層階と一般階では設計用の基準が異なる。このため、損傷確率算定用の指標も上層階と一般階とで分け、もっとも損傷確率が高くなる部位で建物全体の損傷確率を算定した。損傷度関数は、式(8)に示す対数正規分布を仮定した。

$$f_x(x, x_m, \zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \ln x_m}{\zeta}\right)^2\right] \quad (8)$$

但し、 x_m : X の中央値、 $\zeta: \ln(X)$ の標準偏差(対数標準偏差)であり、 X は損傷の指標となる層間変形角、加速度などである。各損傷ランクの損傷確率は損傷度関数を用いて式(9)により算出する。

$$P_i(a) = \int_0^a f_x(x, x_{mi}, \zeta) dx - \int_0^a f_x(x, x_{mi+1}, \zeta) dx \quad (9)$$

但し、 $P_i(a)$: 算定指標が a の時の損傷ランク i の損傷確率、 x_{mi}, x_{mi+1} : 損傷ランク i および $i+1$ の損傷度関数の中央値(例えば、 i が小破の場合、 $i+1$ は中破となる。 i が崩壊の場合は第1項のみ)である。平均復旧費用は、被害関数 g_i を用いて式(10)により算出する。

$$R(a) = C \sum_i P_i(a) g_i \quad (10)$$

但し、 $R(a)$: 平均復旧費用、 C : 再調達価格、 g_i : 損傷ランク i の復旧費用の再調達価格に対する割合である。

復旧工事期間の推定も基本的な算出方法は復旧費用と同様とし、ステップ3で使用される復旧工事期間の被害関数は、同じく兵庫県南部地震における復旧工事のデータに基づいて設定した。被害関数は新築時の標準的な工期との比率で整理し、損傷ランクごとに決定した。兵庫県南部地震では電気、水道などライフラインの被害や、多くの建物が被害を受けたため復旧工事が集中した影響で通常よりも工期が長くなった。エンジニアリング・レポートでは、地域全体の被災による復旧能力の低下は通常考慮しないこととなっており¹⁶⁾、本システムで算出する復旧工事期間は、データの中で比較的短い復旧工事期間に合うように被害関数を決定した。また、損傷確率は建物全体の被害を代表すると考えられる、躯体の損傷確率を使用した。工場の場合、BCPの検討で必要となる営業中断期間を推定する上では建物の復旧工事期間とともに生産設備の復旧期間も重要な要素となる。このため、こうした指標の推定は今後の課題である。

Table 1 検討対象建物の仕様
Specification of the building to be evaluated

階数	地上14階		
建物用途	事務所	延床面積	9,525m ²
階高	1階:4.6m, 基準階:4.0m	最高高さ	60.32m
スパン	6.4m × 12.8m		
構造種別	■鉄骨造(地上階)		

3 システムの特徴と評価例

滋賀県栗東市に位置する架空の14階建て鉄骨造事務所ビルに対するBCP検討用の地震被害評価を行った。BCPにおけるRTOは1か月と設定した。

建物は構造設計・部材断面事例集を参考に、Table 1およびFig.10に示すように設定した。建物モデルは、これらの概略情報に基づき、建物モデル自動生成機能を用いて作成した。作成した骨格曲線をFig.11に示す。

当該地域に影響を与える地震としては、花折断層や琵琶湖西岸断層、

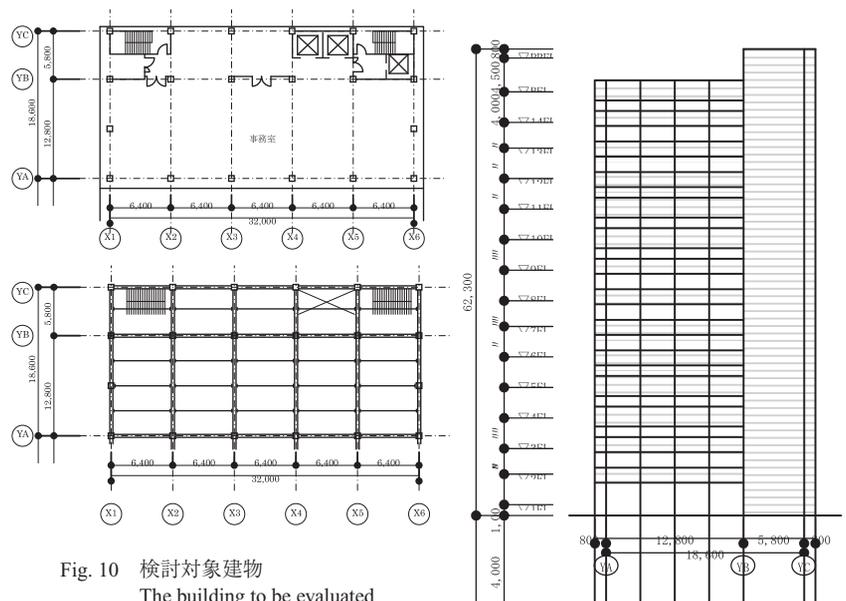


Fig. 10 検討対象建物
The building to be evaluated

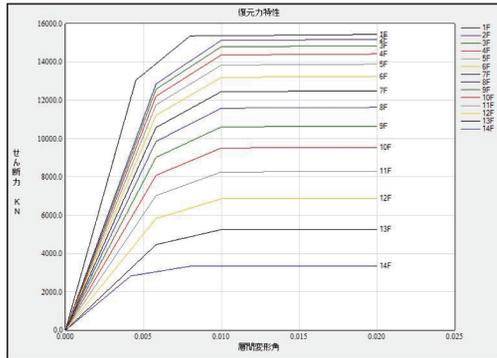


Fig.11 自動設定された建物モデルの骨格曲線
Skelton curve of the building

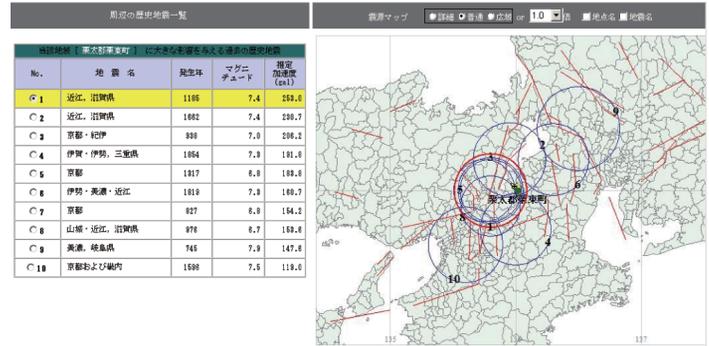


Fig.12 周辺の歴史地震一覧
List of historical earthquakes around the site



Fig.13 対象断層の選択
Selection of the fault to be evaluated

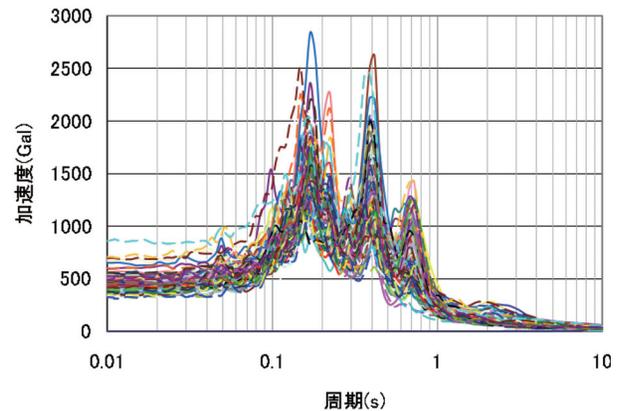


Fig.14 生成した地震波の応答スペクトル
Response spectrum of generated waves

木津川断層などがある。ここでは発生した場合に当該建物に最も大きい影響を与える断層として花折断層を選択した。TRAIN-BCPでは、Fig.12に示すように建物周辺の歴史地震を参照することができ、検討する地震を選択する上での参考とすることができる。検討対象とする断層の選択は、Fig.13に示すように、周辺にどのような地震断層および想定断層があるかを確認し、それら断層のマグニチュード、深さ、平均活動間隔、50年発生確率を参照しながら行うことができる。統計的グリーン関数法を用いて生成した地震波の応答スペクトルをFig.14に示す。ここではアスペリティや破壊開始点の位置を様々に変えて合計100波の地震波を生成した。

地震波100波を使った地震応答解析から求めた復旧費用と復旧工事期間をTable 2に示す。再調達価格は(財)建設物価調査会のJBCI2008¹⁷⁾によった。復旧費用は約2.5億円で再調達価格に占める比率(損失率)は7.7%となった。また、復旧工事期間は60.8日となった。Fig.15に地震応答解析の結果得られた各階の最大応答加速度と層間変形角の分布を示す。

RTOを1か月と設定したのに対して復旧工事期間は約2か月となり設定したRTOを満たしていない。そこで、RTOを満たすように建物に制振部材を追加し、再度評価を行う。

追加する制振部材は制震壁とした。制震壁の抵抗力は、式(11)で表される¹⁸⁾。

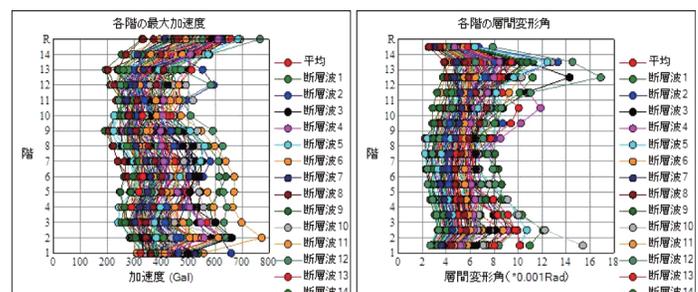


Fig.15 地震応答解析結果
Result of response analyses

Table 2 再調達価格と復旧費用
Replacement cost and repair cost

区分	再調達価格		復旧費用		復旧費用		復旧工事期間(日)
	価格(億円)	構成比(%)	費用(億円)	構成比(%)	合計(億円)	損失率(%)	
躯体	12.330	38.1	0.958	38.4	2.496	7.7	60.8
仕上	8.700	26.9	0.676	27.1			
設備	11.36	35.1	0.862	34.5			

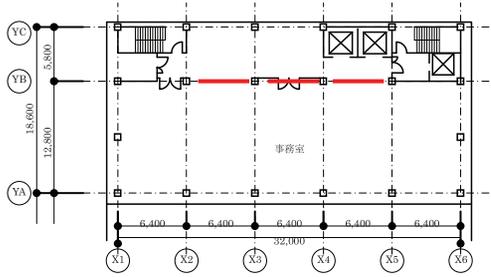


Fig.16 制震壁設置位置
Location of wall dampers

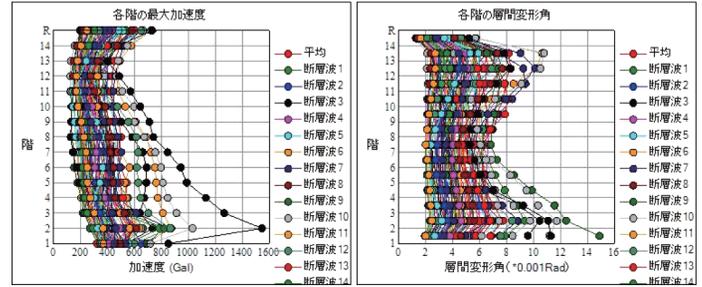


Fig.17 改良後の地震応答解析結果
Result of response analyses of the revised building

$$F = 6.37 \times \exp(-0.043 \times t) \times S \times \left(\frac{V}{d}\right)^{0.4} \quad (11)$$

但し、F: 抵抗力 (N), t: 粘性体温度 (C), S: せん断面積 (cm²), V: 相対速度 (cm/s), d: せん断隙間 (cm) である。抵抗板は250cm×300cm, せん断隙間0.4cm, 環境温度20℃とし, 抵抗板を2枚収納したダブルタイプの制震壁を各階3台設置するものとした。制震壁の設置位置をFig.16に示す。

制震壁を設置した建物モデルを用いた地震応答解析の結果をFig.17に, 再調達価格と復旧費用をTable 3に示す。復旧費用は約2億円, 損失率は5.4%となった。また, 復旧工事期間は29日となり, RTOである1か月を満足することができた。

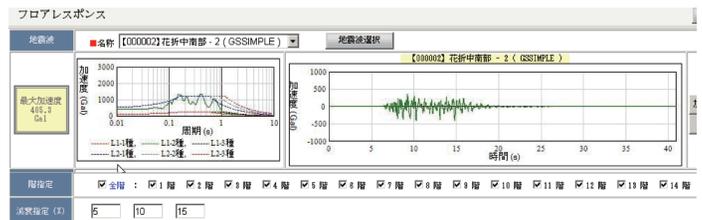
TRAIN-BCPでは, とくに重要な機器が設置されている階について機器の損傷可能性を検討するためにフロアレスポンスを解析することが可能である。Fig.18にその実施例を示す。事務所ビルやデータセンターでは基幹システムであるコンピュータ群が設置されている階, 半導体工場であればステッパーなどを対象として, それらの機器の固有周期と減衰定数に基づいて, 機器の損傷可能性を検討することができる。まずFig.18(a)に示すように計算した100波の中から検討に使用する地震波を選択する。ここでは100波の中の平均的な波を選択した。次にフロアレスポンスを解析する階と, 対象となる機器の減衰定数を指定する。すると各階の応答加速度から指定された減衰定数での応答スペクトルを計算し, Fig.18(b)に示すように表示する。計算された応答スペクトルから機器の固有周期の応答を読み取り, 機器の損傷可能性を判断する。例題では0.7秒付近に応答の大きな部分がある。7階および8階の応答スペクトルではこの周期での減衰5%での最大応答は3000Gal近くあることがわかる。

4 おわりに

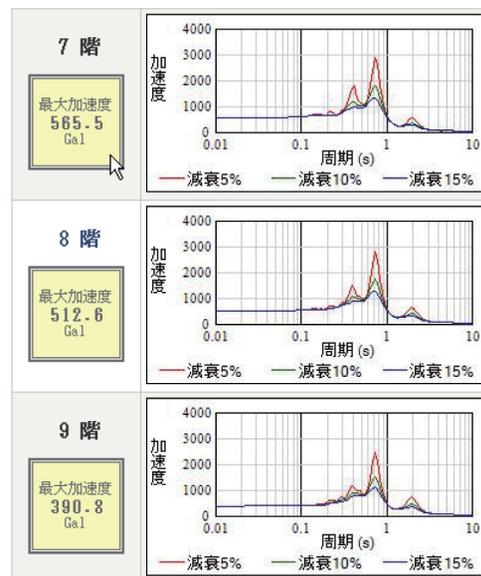
地震PML評価技術の開発で培った地震リスク評価技術を応用し, 近年注目を集めている

Table 3 改良後の再調達価格と復旧費用
Replacement cost and repair cost of the revised building

区分	再調達価格		復旧費用		復旧費用		復旧工事期間(日)
	価格(億円)	構成比(%)	費用(億円)	構成比(%)	合計(億円)	損失率(%)	
躯体	16.360	44.9	0.602	30.9	1.949	5.4	29.0
仕上	8.700	23.9	0.320	16.4			
設備	11.36	31.1	1.027	52.7			



(a) 地震波の選択と計算する階および機器減衰の指定



(b) 解析結果

Fig.18 フロアレスポンス解析結果
Result of response analyses of floors

BCP策定のための、シナリオ地震が発生した場合の復旧費用や復旧工事期間を迅速に評価するシステムを開発した。また、滋賀県栗東市に建つ鉄骨造事務所ビルを例に、開発したシステムによりBCPのための地震リスク評価作業が効率的に実施できることを示した。

現在では製造業をはじめとした日本の企業はグローバルなサプライチェーンを構成する一員として海外の企業からBCPの策定を要請されている。また、長期にわたる事業停止は顧客の離反を招き、事業の回復を難しくさせるなど企業の存続にとって重要な課題となっている。開発したシステムを活用し、建設を担う企業として地震リスクマネージメントに対するニーズに応えていきたい。

謝辞

技術研究所の瀬谷均氏、藤井中氏、エンジニアリング本部の辰巳安良氏、宮本三千夫氏、東京本店設計部の以頭秀司氏、大阪本店営業部の山田知彦氏ほかTRAIN-BCP開発メンバーにはシステム開発にあたり様々なご協力をいただきました。また、百瀬靖子氏にはシステム開発に加え論文執筆に当たりご助力をいただきました。記してここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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 一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, 2005年8月
- 2) 企業の事業継続及び防災の取組に関する実態調査, 内閣府, 2008年6月
- 3) 構造設計・部材断面事例集, (財)日本建築防災協会, 2007年
- 4) 都政のBCP (事業継続計画) <地震編>, <http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/bcp.html>, 東京都, 平成20年11月
- 5) 首都直下地震による東京の被害想定報告書, http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/knowledge/material_h.html, 東京都, 平成18年5月
- 6) 福岡県地震に関する防災アセスメント調査報告書, <http://www.bousai.pref.fukuoka.jp/kikaku/ases/ases.htm>, 福岡県, 平成18年12月
- 7) BOORE, D. M., 1983, Stochastic Simulation of High-frequency Ground Motions Based on Seismological Models of the Radiation Spectra, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1865-1894.
- 8) IRIKURA, K., 1986, Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, 7th Jpn. Earthq. Eng. Symp., 151-156.
- 9) 中央防災会議専門調査会, <http://www.bousai.go.jp/linfo/cyousa.html>, 内閣府
- 10) 長期評価, http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02.htm, 文部科学省地震調査研究推進本部
- 11) 地震ハザードステーションJ-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 防災科学技術研究所
- 12) 地震対策の普及を目的とした地震リスク・マネジメント手法の実用化, 建築研究資料, No.103, 2005年7月
- 13) 翠川三郎, 大竹雄: 震源深さによる距離減衰特性の違いを考慮した地震動最大加速度・最大速度の距離減衰式, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集, 2002年
- 14) 松岡昌志, 翠川三郎: 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング, 第22回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 1994年
- 15) 建築設備耐震設計・施工指針2005年版, 日本建築センター, 2005年
- 16) 不動産投資・取引におけるエンジニアリング・レポート作成に係るガイドライン, 建築・設備維持保全推進協会, 日本ビルディング協会連合会
- 17) ジャパン・ビルディング・コスト・インフォメーションJBCI2008, 財団法人建設物価調査会, 2008年
- 18) オイレス工業(株)制震壁技術資料