

## 建築物が寿命中に受ける総地震被害に注目した耐震設計に関する一考察

PERFORMANCE BASED DESIGN FOCUSING TO TOTAL DAMAGE COST  
OF BUILDING LIFE

小波 佐和子\*, 岩田 衛\*\*, 田村和夫\*\*\*, 和田 章\*\*\*\*

Sawako KONAMI, Mamoru IWATA, Kazuo TAMURA  
and Akira WADA

This paper focuses on the total earthquake damage suffered during a building lifetime and evaluates the overall building performance. The ratio of damage cost is obtainable by setting a function of the response of the building which affects damage. (1) The damage cost ratio of structural members is considered to depend on the amount of energy absorbed by the members. (2) The damage cost ratio to nonstructural members is assumed to depend on story deformation angles. (3) The damage cost ratio to the building contents is defined by the minimum response acceleration necessary to topple them and the response velocity.

**Keywords :** seismic design, risk management, damage cost, response, performance based design, non-structural members.

耐震設計, リスクマネジメント, 被害コスト, 応答, 性能設計, 非構造部材

## 1. 序論

1994年のカリフォルニアのノースリッジ地震に続き、1995年の兵庫県南部地震を受けて以来、商業ビルや工業施設のオーナー、そして一般住宅に住む人々の、地震時における建築構造性能に対する関心が高まってきている。

一般に、設計時に要求される建物の耐震レベルは、地震発生頻度等の自然的背景や、社会的または経済的背景によって定められる。多くの学校や病院をより安いコストで建設することが必要であり、数百年に一度発生する大地震時に耐えることができなくてもやむを得ないと考えている国がある一方、過密都市を有する国では、緊急時の避難所である公共施設の安全性や、世界経済に影響すると思われる銀行や大企業の建物の機能維持が要求される。これは安全性の為に投資をどの程度認めるかという各国、各都市の選択の問題である。

日本においては、1971年以前に設計された建物の耐震性の不足、そして1971年以降設計された建物についても地震後の機能障害の問題が現存することが一般に指摘されている。都市の高密度、高機能化が進む中で、地震による建物の機能障害が及ぼす地域社会や国の経済的打撃は、もはや無視できない状況である。従って、建物の地震に対する安全性、或いは地震時の被害のレベルは、社会が許容できるレベルに設定されるべきである<sup>1)</sup>。

設計時において、建物の用途、目的に応じて社会の許容するレベ

ル以上の安全性を必要とする場合、建物の経済性も含めた安全性のレベルを自由に選択できる様、より明確な形でこれを示すことが必要である。さらに、特定の地震動強さに対する耐震性だけでなく、中小振幅の地震動から最大級の地震動についてその発生頻度と被害のレベルを考慮した検討もするべきである。

本論文では、建築物が寿命中に受ける総地震被害に注目した耐震設計に対する考え方を提案する。また具体的に5層建物と20層建物の2ケースについて建物のパラメーターを変えて一定期間内の総地震被害を算出し、その特性についての考察を行う。

## 2. 地震被害の評価

## 2.1 被害の発生からみた耐震設計

図1は地震によるオフィスビルと都市災害の連鎖フローである<sup>2)</sup>。建物内の地震被害としては、(1)構造部材の被害、(2)外壁面・各種仕上材の損傷、設備機器の故障等、非構造部材の被害、(3)家具、備品の転倒等による内容物の被害がある。これらは(4)修繕期間中の業務障害による経済的損失へ派生する。

この他、人命損失、ガス・電気・上下水道等の供給停止、また都市の交通機能が麻痺した場合などにも建物内の機能障害が生じるが、これも経済的損失へ派生する。これらのうち人命損失については、現行の耐震基準を満たし、かつ(1)~(3)を制御することができれば、その危険性はほぼ消失する。また都市災害から派生する経済損

本論文は、文献(10)、(11)の内容を取りまとめ追加したものである。

\* 東京電力株式会社 工修

\*\* 新日本製鐵株式会社 部長・工博

\*\*\* 清水建設株式会社 主任研究員・工博

\*\*\*\* 東京工業大学建築物理センター 教授・工博

Tokyo Electric Power Company, M. Eng.

General Manager, Nippon Steel Corp., Dr. Eng.

Chief Research Engineer, Shimizu Corp., Dr. Eng.

Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

失は地域条件により異なる。従って本論文ではこれらを評価の対象外とし、(1)~(3)の合計を総被害として検討し、経済損失としては(4)のみを考慮する。このような観点で耐震設計を考えた場合、図2に示すように、従来は特定の地震動やその他の外力に対する構造体の強度や靱性等に関係する安全性のレベルのみが注目されていたが、地域の地震活動度を含めた地震動特性、また建物用途や社会性等の諸条件を考慮し、構造物の振動特性に基づく非構造部材や内容物の地震時応答、更には建物各部の被害に起因する経済損失についても設計上十分に考慮することが重要となる。

2.2 地震被害と建物の応答の関係

建築構造物の一般的な設計では、あるクライテリアを設定して、それを満足するように架構が定められる。例えば、安全性確保の為、ある外力に対して構造物が損傷あるいは崩壊しないように設計される。また信頼性設計法では、このクライテリアを超過する確率をある一定値以下におさめるように設計される。このような従来の一般的な設計法は、設計の目標が明快で目標とするべき性能レベルが明確な場合には有効である。しかし、建物の経済性も含めた安全性のレベルをより明確に示すためには、単にある特定の再現期間に対応する外力に対する応答レベルだけを考えるのではなく、建築物の寿命期間あるいは一定期間における応答に基づく経済損失を含めた総被害による評価が有効となる。

本論文ではこのような観点から、ある建築物に対する入力地震動を、その建設地点周辺で過去に発生した地震データに基づき設定す

ることで、一定期間内の経済損失を含めた総被害の期待値を算出する手法を試みるものである。

一般に、ある建設地点における地震動レベル  $I$  と発生頻度  $p(I)$  の関係は、小規模地震ほど発生頻度が高く、地震動レベルが大きくなるほど発生頻度が低くなる連続した関係として求めることができる。一方、地震動レベル  $I$  と建物の応答  $R$  の関係  $f(I)$  は、入力地震動レベルを変えて地震動解析を行うことで、図3に示す様に表すことができる。但し、ここでいう地震動レベルとは振動数特性が同一の時の地震動の振幅の大きさを表すものであり、単に地震動の最大振幅値を示すものではない。

応答のうち最大層間変形は、一般にはある地震動レベルまではほぼ一定の割合で増加していくが、あるレベルを越えると構造体が塑性化する為に急激に増加するようになる。また最大応答速度は、地震動レベルの増加に従いほぼ一定の割合で増加する。最大応答加速度は、ある地震動レベルまではほぼ一定の割合で増加していくが、あるレベルを越えると頭打ち傾向となる。

次に、図4に応答  $R$  と被害の大きさ  $D$  の関係  $h(R)$  を示す。ここでいう被害の大きさは、全ての対象部材が完全に壊れた場合に対する被害程度の比率を示したものである。Shah<sup>2)</sup>は、以下のように言っている。構造部材の被害は、構造体の塑性化に伴い発生することから、部材が吸収した履歴エネルギー量や層間変形量に依存する。外壁や窓ガラス等の非構造部材や配管設備は、構造体の変形

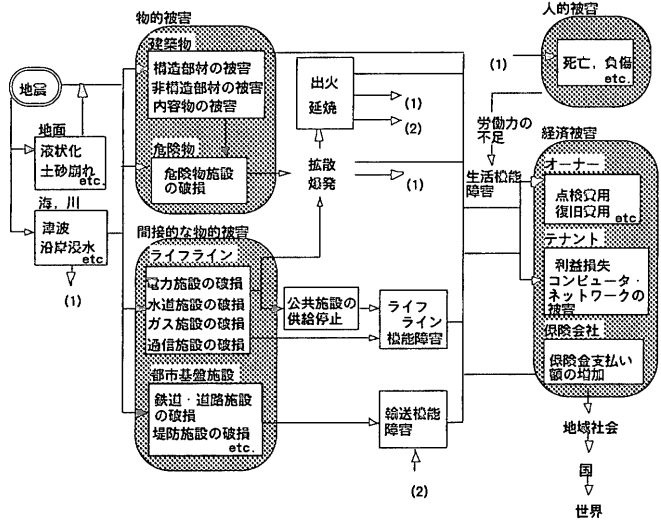


図1 オフィスビルの都市災害連鎖フローチャート

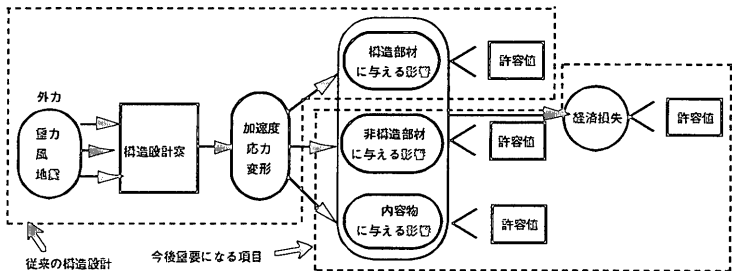


図2 実際の構造設計の流れと考えるべき項目

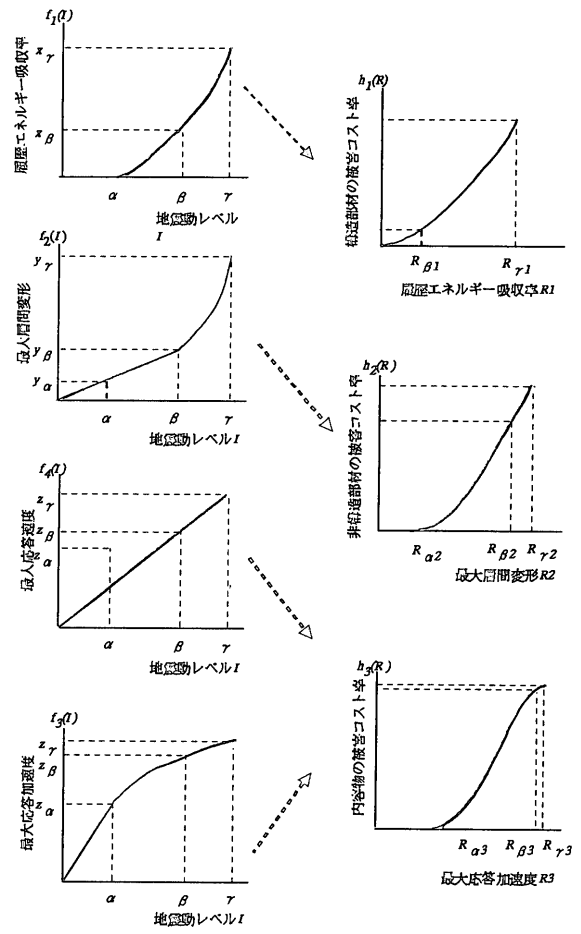


図3 地震動レベルと構造物の応答の関係

図4 構造物の応答と被害の大きさ関係

に追隨して亀裂が生じることから、最大層間変形に依存する。エレベーター、空調装置等の設備機器は、構造体の最大層間変形に伴う強制力と応答加速度に伴う慣性力によって被害が生じる。コンピュータ、家具等の内容物の被害は、地震時にこれらが転倒したり大きく振動することで生じる。これらの転倒・振動には、最大応答速度と最大応答加速度の大きさが強く影響する。

以上のように構造物の応答量  $R$  と、構造部材、非構造部材、内容物の被害の大きさ  $D$  との関数を定めることができれば、建物が耐用年数中に受ける被害コストの期待値  $D_T$  は、次式によって求めることができる。

$$\begin{aligned}
 D_T &= \Sigma D_s + \Sigma D_N + \Sigma D_c \\
 &= \Sigma \int_0^\infty h_1(f_1(I)) p(I) dI \\
 &\quad + \Sigma \int_0^\infty h_2(f_2(I)) p(I) dI \\
 &\quad + \Sigma \int_0^\infty h_3(f_3(I)) p(I) dI \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

ここで、

- $D_s$ : 構造部材の被害コスト期待値
- $D_N$ : 非構造部材の被害コスト期待値
- $D_c$ : 内容物の被害コスト期待値

$h_1(x), h_2(x), h_3(x)$ : 被害コスト関数

$f_1(x), f_2(x), f_3(x)$ : 地震応答関数

$p(x)$ : 地震発生頻度

$I$ : 地震動レベル

### 3. 歴史地震による事務所建築の応答

本節では具体例として、都市部に建設されたオフィスビルが、過去の一定期間において発生した地震と同様のレベル及び頻度の地震動を受けると仮定し、想定される各々の地震動に対し地震応答解析を行い、これを基に一定期間内の総地震被害のうち、構造部材の被害コスト、非構造部材の被害コスト、内容物の被害コストを求める。

#### 3.1 解析対象建物と解析モデル

解析対象建物は、5層、20層の鋼構造オフィスビルとする。各建物の諸元を表1に示す。各建物モデルの減衰定数  $h$ 、各階重量を一定とし、各建物毎にベースシア-耐力係数  $C_b$  (1階の降伏層せん断力をそれ以上の階の建物重量で除した値) を変化させ、これをパラメータとする。層せん断力係数は現行建築基準法の  $A_i$  分布に従うように設定している。20層建物の場合、固有周期  $T$  は  $C_b$  の値に応じて変化させる。20-C を標準モデルとし、20-E については、常に応答が弾性範囲であるとして  $C_b$  を無限大として設定する。5層建物の場合、各モデル共固有周期は一定とし、5-B を標準モデルとする。解析モデルには等価せん断力モデルを用い、各層の復元力特性はトリリニア型とする。代表として20-C の復元力特性を図5に示す。また減衰は初期剛性に基づく減衰定数を0.02とし、瞬間剛性比例型とする。

#### 3.2 入力地震動

本論文では建物の非線形応答特性を対象とするため、歴史地震データをもとにスペクトル特性を考慮した時刻歴地震動波形を個々

表1 建物諸元

モデル名称	階数(階)	各階重量(t/m2)	階高(cm)	ベースシア-耐力係数	減衰定数	固有周期(s)
5-A	5	0.98	400	0.100	0.02	0.35
5-B				0.250		0.35
5-C				0.500		0.35
20-A	20			0.050		3.22
20-B				0.075		2.20
20-C				0.100		1.93
20-D		0.300	1.50			
20-E		$\infty$	1.50			

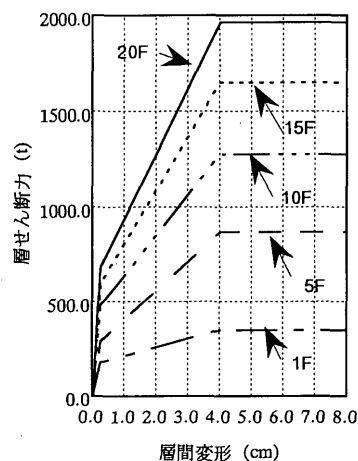


図5 20-Cモデルの復元力特性

の地震毎に作成して用いる。対象建物の建設地として東京(新橋)を設定する。用いた歴史地震カタログは、1600~1884年を宇佐見カタログ、1885~1925年を宇津カタログ、1926~1988年を気象庁によるデータとする。ここでの対象期間については、各地震動レベルの発生頻度の影響を考慮するため、通常想定される建物の耐用年数よりも長い期間であるが、約400年(389年)分の地震カタログを用いる。いずれもM6.0以上の地震について、対象地域における基盤面の最大速度振幅を金井式により求め、大きい順に100個の地震(No. 1~No. 100)を抽出し検討の対象とする。このデータの中で震源深さの不明なものは、飯田の余震体積の半径<sup>3)</sup>の1/2とする。この仮定は原子力構造物の設計用地震動評価に従来より用いられているものであり<sup>4)</sup>、エネルギー放出中心の深さとして安全側の数値を与えるものである。

抽出した地震の諸元に対応した地震波形は、20層建物の場合、長周期領域( $T=0.6$ 秒以上)でエネルギーを一定としたエネルギースペクトル  $Ve$ <sup>5)</sup> に適合させる方法で作成する。歴史地震カタログ中の最大地震を  $Ve=200$ cm/sec とし、最大地震の基盤速度との比によって、その他の歴史地震の  $Ve$  を決定する。位相角としてはEL CENTRO 記録NS成分(ART-E)を採用した場合について検討する。図6に示すように、作成した地震動の数は、設定した  $Ve$  のレベルが増加する程、指数関数的に減少している。

5層建物の場合、短周期領域のスペクトル特性を考慮する為、原子力発電施設の設計で用いられている手法に従い、せん断波速度

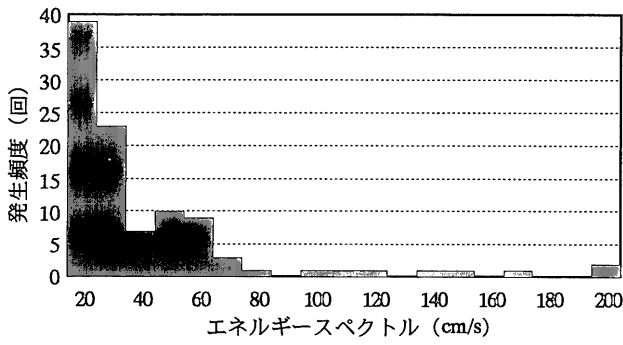


図6 歴史地震の発生頻度と地震動レベル

表2 地盤モデル

	層厚 (m)	Vs (m/s)	h	$\rho$
4層地盤	10.0	170	0.03	1.8
3層地盤	10.0	200	0.02	1.8
2層地盤	10.0	250	0.02	1.9
1層地盤	10.0	300	0.02	1.9
基盤	$\infty$	800	0.02	2.0

$V_s=700\text{m/s}$ 程度の工学的基盤面における地震動を作成し<sup>4)6)</sup>、仮定した地盤モデル(表2)によって、基盤地震動から一次元波動理論に基づき地表面の地震動を求め、これを入力地震動とする。即ち基盤面の地震動作成については、周波数特性は速度応答スペクトルとして大崎スペクトルを用い、振幅包絡線はJenningsらのものとし、継続時間はマグニチュードに基づき久田式に従うこととする。この場合位相角はランダムとする。なお、本地盤モデルの力学的性質は線形とし、一次固有周期は0.6秒と仮定する。

### 3.3 応答解析結果

代表例として、20層建物に対し、ART-Eの波形を用い、地震動レベルを $V_e=20\sim 200\text{cm/s}$ までの19段階に対して応答解析を行い、入力と応答の関係を求めた結果を図7に示す。この図では標準モデルである20-Cにおける建物の応答の大きさの関係を示している。このうち図7(a)の履歴エネルギー吸収率 $E$ とは、次式に示す通り、構造物の各層毎の履歴エネルギー吸収量 $E_i$ を、単調荷荷時における第2降伏点までのエネルギー吸収量 $E_p$ で除して求めた値である(図8)。

$$E = E_i / E_p \dots\dots\dots(2)$$

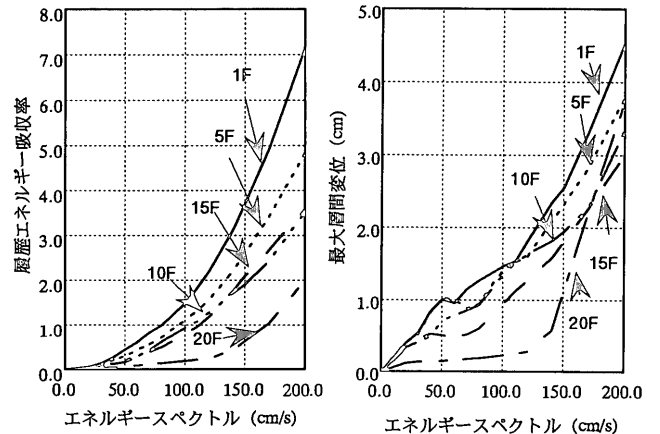
ここで、

$E$ : 履歴エネルギー吸収率

$E_i$ :  $i$ 層における履歴エネルギー吸収量

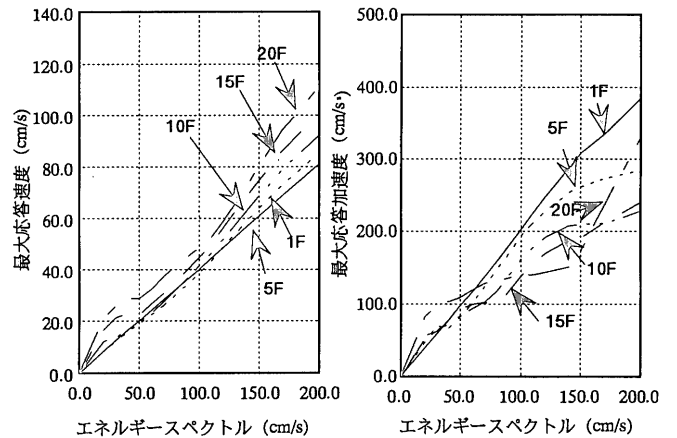
$E_p$ : 第2降伏点までのエネルギー吸収量

図7(a), (b)に示すように、 $E$ と最大層間変位は、 $V_e$ レベルが大きくなるほど急激に増加する傾向がみられる。図7(c)の最大応答速度は、 $V_e$ レベルに関わらず一定の増加率である。また図7(d)の最大応答加速度は、 $V_e=150\text{cm/s}$ 以下の範囲では $V_e$ が大きくなるとあまり増加しなくなる。これは建物の応答が弾性範囲から塑性域へと移行したことを示している。



(a) 地震動レベルとエネルギー吸収率の関係

(b) 地震動レベルと最大層間変位の関係



(c) 地震動レベルと最大応答速度の関係

(d) 地震動レベルと最大応答加速度の関係

図7 エネルギースペクトルと各応答値の関係

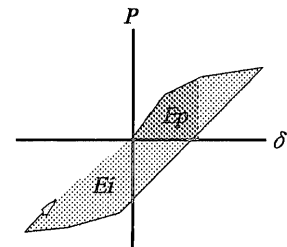


図8 履歴エネルギー吸収率

## 4. 被害コスト

### 4.1 被害コストの計算

建物が寿命中に受ける地震の総被害について考察するため、先にも述べたように、都市部に建設されたオフィスビルを例として具体的に被害コストを算出する。前章の応答計算結果を基に構造部材、非構造部材、内容物の被害コスト率を算出する。被害コスト率は、初期建設費を1.0とした時の修繕費の割合とする。

算出に関しては、対象期間内における物価の変動は考慮しないものとし、地震時の損傷部を修復した後の構造体は、修復前と同じ特性を保持するものと仮定する。また被害コスト率は、設計のディテール

ルによって建物毎に異なるが、今回の各建物モデルは、非構造部材と内容物は全て同じものであり、構造体の耐力のみが異なるものとし、具体的数値は標準的と思われる値を設定する。

本解析では、柱、梁等の構造部材の被害は、部材の耐力劣化を伴いながら吸収したエネルギー量に依存するものとみなす。構造部材の被害コスト率は、(2)式に示した履歴エネルギー吸収率  $E=1.0$  以上で生じ、 $E=3.0$  のとき  $0.2$ 、 $E=7.0$  のとき  $1.0$  となる図9に示すような値と仮定する。

建築部材、配管等の非構造部材の被害コスト率は、本来層間変形角、応答速度及び応答加速度に依存すると考えられるが、ここでは層間変形角にのみ影響されると仮定する。図10に示すように、非構造部材の被害コスト率は層間変形角が  $0.0025$  以降に生じ、層間変形角  $0.020$  で  $1.0$  とする。

内容物の被害は、被害の大きさが転倒に対して敏感に影響するコンピューター等の内容物 (Cs) と、被害の大きさが転倒に対しそれほど影響しない机、本棚等の内容物 (Cns) の二種類に分類する。内容物の転倒に必要な最小の加速度  $a_0$  と、速度  $v_0$  は、文献7)に基づき、次式によって定義する。

$$a_0 = Bg/H \quad (\text{cm/s}^2) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$v_0 = 10B/\sqrt{H} \quad (\text{cm/s}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで、

$a_0$  : 内容物の転倒に必要な最小加速度 (cm/s<sup>2</sup>)

$v_0$  : 内容物の転倒に必要な最小速度 (cm/s)

$B$  : 内容物の幅 (cm)

$H$  : 内容物の高さ (cm)

領域 A :  $a_0 < Bg/H$

領域 B :  $a_0 \geq Bg/H, v_0 < 10B/\sqrt{H}$

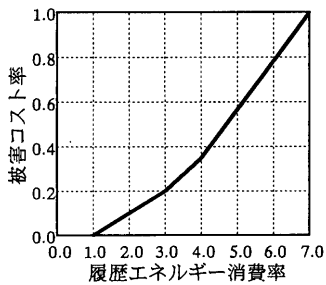


図9 履歴エネルギー吸収率と構造部材の被害コスト率の関係

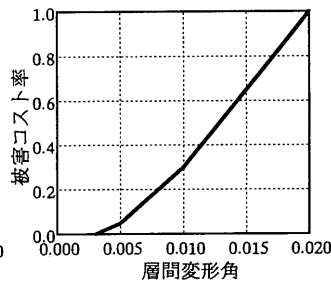


図10 層間変形角と非構造部材の被害コスト率の関係

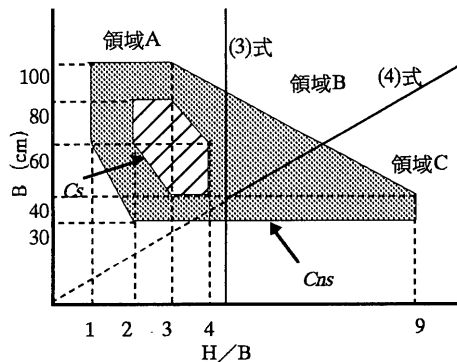


図11 地震動による内容物の転倒条件

領域 C :  $a_0 \geq Bg/H, v_0 < 10B/\sqrt{H}$

(3), (4)式を境界として、図11に示す領域Cを転倒、領域Bをロッキングとする。ここでは、オフィスビル内にある内容物Cs, Cnsの形状は、高さ/幅比と、幅により図11に示す範囲内に偏りなく一様に分布していると仮定する。内容物Cs, Cnsの被害コスト率  $D_c$  は、式(5)に示すとおり、オフィス内にある全ての内容物の形状を示す分布面積  $a_1$  に対する転倒領域に入る面積  $a_2$  とロッキング領域に入る面積  $a_3$  の1/2との和の比率で表す。

$$D_c = (a_2 + a_3/2) / a_1 \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここで、

$a_1$  : 内容物の形状を示す分布面積

$a_2$  : 内容物の形状を示す分布面積の内、転倒領域Cに入る面積

$a_3$  : 内容物の形状を示す分布面積の内、ロッキング領域Bに入る面積

#### 4.2 被害コストの計算結果

図12~15に対象期間 (1600年~1988年) に20層建物が受けた構造部材、非構造部材、内容物の累積被害コスト率をそれぞれ示す。横軸は地震動を最大基盤速度の大きな順に No. 1から順に列べた番号を表し、番号が小さいほど最大基盤速度の大きな地震動となる。構造部材と非構造部材の被害コスト率は、それぞれ No. 10, 15以降の地震においてはほぼ増加しなくなるのに対し、内容物の被害コスト率については比較的規模の小さい地震に対しても増加している。

#### 4.3 総被害コスト

建物が対象期間内に受けた構造部材の被害、非構造部材の被害、内容物の被害の合計を総被害コストとする。初期建設費、建物内の設備・機械類が初期建設費に占める割合、構造部材と非構造部材の占める割合は図16に示す通りとする。また内容物については、Csは

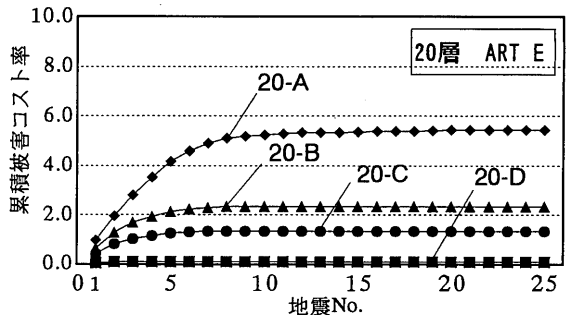


図12 構造部材の累積被害コスト率

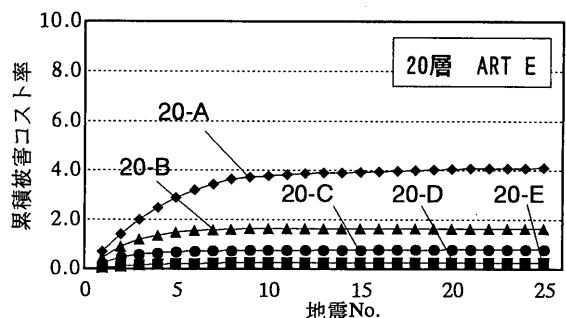


図13 非構造部材の累積被害コスト率

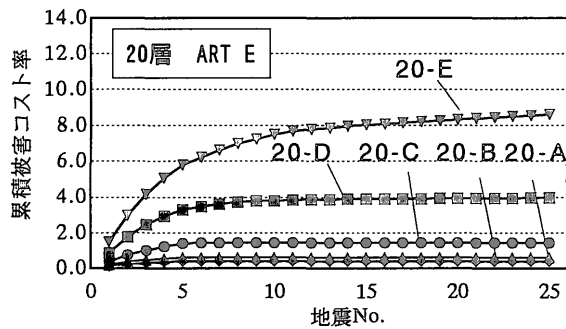


図14 内容物 (Cs) の累積被害コスト率

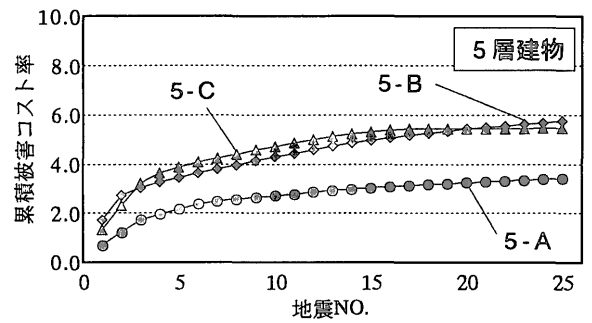


図17 5層建物の総被害コスト率

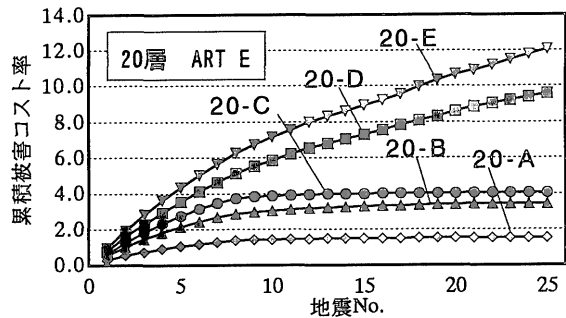


図15 内容物 (Cns) の累積被害コスト率

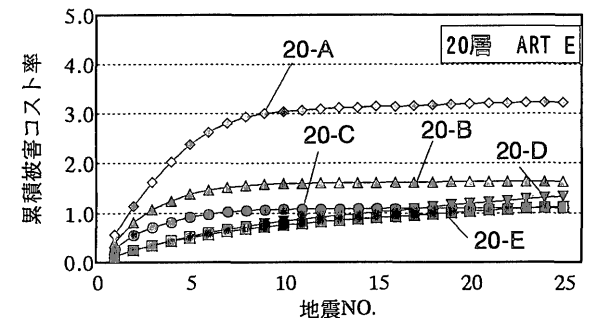
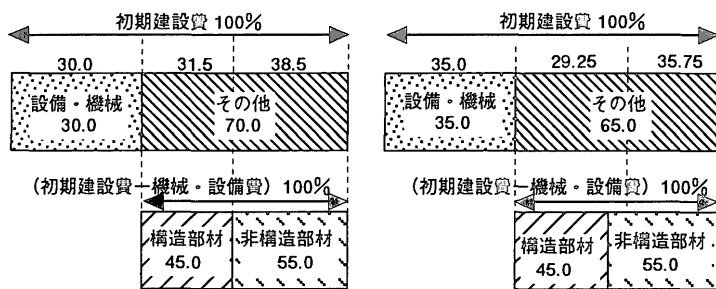


図18 20層建物の総被害コスト率



(A) 5層建物の場合 (B) 20層建物の場合  
図16 初期建設費の内訳

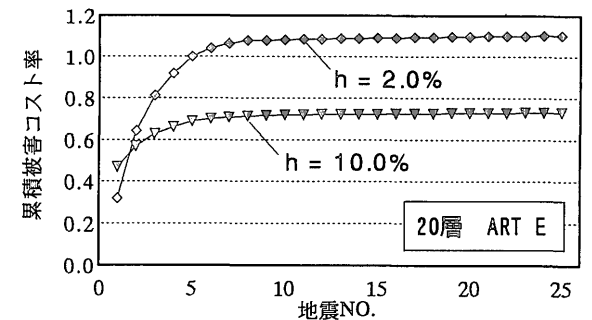


図19 減衰定数の違いによる累積被害コスト率

初期建設費に対し10.0%、Cnsは1.0%とする。5層、20層建物における地震No. 1からNo. 25までの総被害コストの累積値を、初期建設費で除した累積被害コスト率として図17, 18にそれぞれ示す。

20層建物の場合、耐力が低い建物20-A, 20-Bでは、総被害コストは大きな値となる。従って対象期間内における被害の総被害コストが最小となるのは、耐力、剛性それぞれが中程度である標準モデル20-C、また常に弾性の性質をもつ20-Eタイプである。また5層建物の場合、耐力の低い建物5-Aに比べて、耐力の高い建物5-B, 5-Cでは内容物の被害コストが増大したことにより、総被害コストは大きな値となる。

#### 4.4 減衰定数による影響

建物の減衰力による被害の影響を調べるため、20-Cモデルにおいて、減衰定数  $h=2.0\%$ 、 $10.0\%$ とした場合の総被害コストの比較を図19に示す。各被害コスト率において、 $h$ による影響は大きく、特に非構造部材の被害コスト率は  $h=10.0\%$ は、 $2.0\%$ の場合に対し半分近くに抑えられている。総被害コストにおいても、 $h$ が増加するほ

ど減少し、 $h=2.0\%$ と  $h=10.0\%$ では、約1.5倍の差が生じている。このことから、建物の減衰を高める構法を採用することで、被害コストが大きく低減されることが期待される。

#### 4.5 経済損失コストの影響

地震によりオフィスビルに被害が生じた場合の業務上の経済的損失は、建物の利用者側の損失として、点検・復旧期間における業務不能による(1)利益損失、(2)従業員へ支払わなければならない賃金、(3)代替オフィスの賃貸料、(4)通信設備確保等のための業務継続費用、(5)業務が一時的に停止したことによる再始動費用、等がある。しかし(2)は失業保険等で補える場合もあり、定量的な評価は困難である。本解析では、(1)利益損失のみを評価する。

構造部材、非構造部材、内容物の各被害コスト率に対して復旧にかかる日数を図20に示す。復旧期間は、被害コスト率0.2以降発生し、被害コスト率1.0で最大値となるような一次関数として設定する。

経済損失/日は、従業員へ支払う賃金/日の2倍として算出する。オフィスビルの標準的な値として、延べ床面積、単位面積当たりの

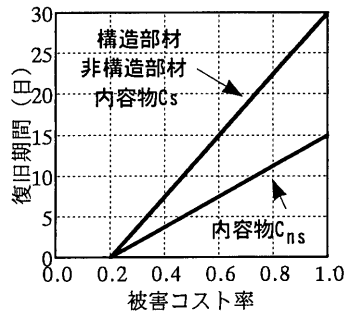


図20 各被害コスト率と復旧期間の関係

表3 事務所規模と従業員に対する賃金

階数 (階)	延床面積 (m <sup>2</sup> )	従業員数 (人/m <sup>2</sup> )	賃金 (円/人・月)
5	2000.0	0.1	450000
20	20000.0		

表4 経済損失コスト (億円)

モデル名称	5-A	5-B	5-C	20-A	20-B	20-C	20-D	20-E
経済損失 (億円)	15	21	24	85	65	50	95	235

人数, また一人当たり平均賃金を表3に示す様に設定する。表4に5層, 20層建物における経済損失の累積コストを示す。20-Aでは, 履歴エネルギー消費量が他の応答量に比べ大きく, 構造部材の被害が卓越したことにより, No.1~No.10の大規模地震において経済損失コストが生じる。これに対し, 20-D, Eでは, 応答加速度が卓越し内容物の被害が大きいため, 大規模地震における経済損失コストだけでなく, 比較的小規模の地震においても経済損失コストが生じ, 結果として膨大な経済損失コストとなる。また5層建物については, 構造部材, 非構造部材の被害に対し, 内容物の被害が卓越したため, 5-B, Cで大きな経済損失コストが生じている。

5. 結論

建物の一定期間における総地震被害を評価する設計の考え方を提案した。また具体的建物モデルと地震データ及び被害コスト率を設定し, 総地震被害を評価することで, 地震に対する建物の挙動や性能と被害の大きさの関係について考察した。

その結果, 以下のことが分かった。

- (1) ここで述べた建物モデルの場合, 構造部材の主な被害は大規模地震で生じるが, 内容物の被害は比較的小規模地震でも発生する。よって内容物の被害の場合, 対象期間内での最大地震による被害の大きさに対し, それ以外の地震による被害を累積した値のほう

がはるかに大きな被害となる。

- (2) 構造体が耐震基準を満たし, 耐力が高いだけの建物が必ずしも安全であり被害が小さい訳ではない。水平剛性, 耐力の上昇により建物床応答が増大し内容物の被害が増え, 経済損失を含めた総合的な被害コストは上昇してしまう場合もある。
- (3) 被害コストの大きさは, 被害コスト関数の影響を強く受ける。従って設計の際ディテールに工夫して被害コスト関数を低減すれば, 非構造部材や内容物の被害は比較的抑え易い。
- (4) 被害コストの大きさは, 建物の減衰定数の影響を受けやすい。従って建物に減衰ダンパー等を設置することにより, 有効に地震エネルギーを吸収させることができれば, 変位, 速度, 加速度等全ての応答値が抑えられ, 被害コストの低減へと結びつく。

本論文で示した個々の具体的な数値設定には, まだ多くの検討課題が残されている。また対象期間も一例を示したに過ぎない。しかし, ここで提案した設計の考え方及び手法は, 建物の経済性も含めた安全性のレベルを明確に示すために有効である。今後本論文で示した考え方に基づき, 具体的な設計検討を行いつつ被害コスト率設定の精度向上やより簡便な手法の研究等を進めることが必要と考える。

参考文献

- 1) 後藤多美子, 和田 章, 岩田 衛, 小波佐和子: 被害レベル制御設計法の研究 (その7) 高層ビルに関するリスク・マネジメントの検討手法, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造II pp.1271 1994年9月
- 2) S.K.V. Gunturi & H. Shah: Building specific estimation, Earthquake Engineering. Tenth World Conference 1992
- 3) Iida, K.: Earthquake Magnitude, Earthquake Fault, and Source Dimensions, Journal of Earth Science, Nagoya University, Vol. 13, Oct., 1965
- 4) Hisada, T., Ohsaki, Y., Watabe, M. & Ohta, T.: Design Spectra for Stiff Structures on Rock, Proc. 2nd Int. Conf. on Microzonation, Vol. III, San Francisco, Nov., 1978
- 5) 秋山 宏: 建築物の耐震極限設計, 日本建築学会
- 6) 大崎順彦: 設計用入力地震動, コンクリート工学 Vol. 19, No. 7, pp. 11~16, 1981年
- 7) 日本建築学会: 非構造物の耐震設計指針・同解説および耐震設計・施工指針
- 8) Hisada, T. & Ando, H.: Relation between Duration of Earthquake Motion and the Magnitude, Kajima Institute of Construction Technology, June 1976
- 9) Jennings, P.C., Housener, G.W. & Tsai, N.C.: Simulated Earthquake Motions, Earthq. Eng. Res. Lab., California Institute of Technology, Pasadena, 1968
- 10) 岩田 衛, 和田 章, 田村和夫, 小波佐和子: 建築物が寿命中に受ける総地震被害に注目した耐震設計 (その1 事務所建築の地震被害), 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造II pp.47 1995年8月
- 11) 小波佐和子, 和田 章, 岩田 衛, 田村和夫: 建築物が寿命中に受ける総地震被害に注目した耐震設計 (その2 事務所建築の被害コストの計算), 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造II pp.49 1995年8月

(1997年3月10日原稿受理, 1997年7月16日採用決定)