

# 耐震診断結果に基づく低層 RC 造校舎の地震被害率の予測に関する研究

## - (その1) 地震応答解析モデルの作成 -

耐震診断結果

低層 RC 造校舎

正会員 平松 悠<sup>\*1</sup>

白瀬陽一<sup>\*2</sup>

地震応答解析

建物の耐震余力

同 福和伸夫<sup>\*3</sup>

宮腰淳一<sup>\*4</sup>

### 1.はじめに

耐震改修促進法の施行後、全国で耐震診断が精力的に実施され、その診断結果がデータベース化されている。耐震診断は建物の耐震性能を評価する有効な手法の一つである。一方で、兵庫県南部地震において、設計での想定を上回るレベルの地震動が観測されたにも関わらず、特に低層RC建造物の被害が少なかったことが指摘され、実建物の耐震性能を十分に評価できていないのが現状である。このような状況を踏まえ、筆者らは耐震診断結果を利用し、被害と整合する低層RC造校舎の地震応答解析モデルを作成する。その上で、兵庫県南部地震における被害と比較し、本モデルの妥当性を検証してきた<sup>1)</sup>。この内、(その1)では、愛知県の耐震診断データベースを用いて、典型的な低層RC造校舎の地震応答解析モデルを作成する。なお、以前の方法<sup>1)</sup>との大きな違いは、復元力特性に耐力低下を考慮した点、地震応答解析モデルを作成する上で、建物の余力を見直した点である。

### 2.地震応答解析モデル

愛知県の耐震診断データベースおよびその図面調査により抽出した典型的な低層RC造校舎の概要<sup>1)</sup>を、図1に示す。地震応答解析モデルを作成する上で、ここでは腰壁・垂壁・スラブの耐力に加え、安全側の評価として通常設計では考慮していない事項を考慮し、静的弾塑性解析を行う。

#### 2.1 建物の余力

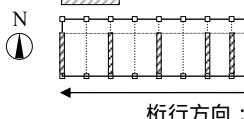
安全側の評価として通常設計では考慮していない事項とは、設計に用いるコンクリート強度と建設された建物のコンクリート強度との違い、設計に用いるRC部材のせん断強度とその平均的なせん断強度との違い、設計に用いられる積載荷重と実際の積載荷重との違い、である。また後述するように、上記の3点以外にも、荷重速度による影響、入力損失効果についても考慮している。ここでは、～の建物の余力を考慮したモデルを、余力考慮モデルと呼ぶこととする。

まず、コンクリート強度については、既往の研究<sup>2)</sup>による

表1 積載荷重の比較(N/m<sup>2</sup>)

室の用途	指針	本研究
屋根	300	0
教室	1100	500
廊下	2100	500
階段	2100	500

■：耐震壁



(a)平面図

桁行方向 : 63.1m

図1 モデル概要

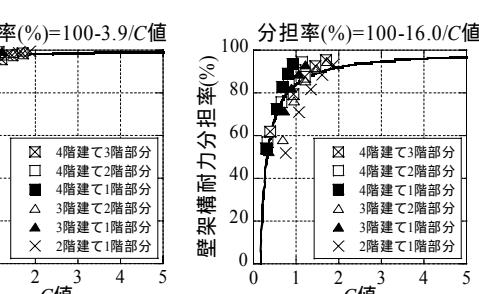
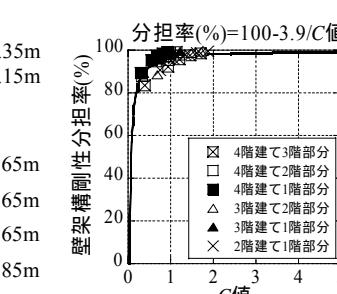
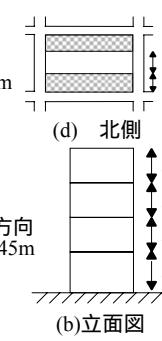


図2 C値と壁架構分担率の関係

ここで、ロッキング振動の影響が少ない平行方向については、最小 $I_s$ 値と実測1次固有周期の回帰式（図3左）を用いて固有周期を算定する。一方、ロッキング振動の影響が大きい張間方向については、余力考慮モデルにスウェイ・ロッキングばねを付けた地震応答解析モデルを作成し、耐震壁の枚数と建物階数を変化させた解析を行い、最小 $I_s$ 値と建物の1次固有周期の関係を求めた（図3右）。ここで、 $\alpha$ は固有周期係数 $=T/h$ （ $T$ ：建物の1次固有周期（sec）、 $h$ ：建物高さ（m））である。

#### 2.4 地震応答解析モデルの作成手順

地震応答解析モデルは等価せん断型のスウェイ・ロッキングモデルを用いる。スウェイ・ロッキングばねには、半無限一様地盤上の円形剛基礎の静的ばねと波動インピーダンスから算定した減衰係数を用いる<sup>1)</sup>。

本研究の対象となる校舎は1981年以前に設計されており、大変形時には耐力低下を起こす柱崩壊型の建物が主である。そこで、既往の実験結果<sup>3)4)</sup>を基に耐力低下を考慮した復元力特性を設定する。具体的には、図4に示すように、せん断柱<sup>3)</sup>の崩壊点（終点）を層間変形角1/29、層せん断力0の点とし、第2折点（終局耐力時）と崩壊点を結ぶように第3勾配を決定する。壁架構<sup>4)</sup>についても崩壊点を層間変形角1/60、層せん断力 $0.3Q_u$ とし、第2折点と崩壊点を結んで第3勾配を決定する。また、荷重速度による影響<sup>5)</sup>を考慮し、ここでは終局耐力を1.1倍とする。

表2に、地震応答解析モデルを作成するために設定した主たる仮定条件を一覧にして示す。表に示したものの中、耐震診断データベースより各建物個別に値を設定したのは、 $A$ ：延床面積、 $n$ ：建物の階数、 $I_{Si}$ ：各階 $I_s$ 値である。また、表3に余力考慮モデルの復元力特性を示す。表3は、静的弾塑性解析結果を高さ方向に平均したものである。

地震応答解析モデルの具体的な作成手順は次の通りである。

まず、耐震診断データベースの延床面積を用いて各階等面積とし、各階の重量を算定する。次に最小 $I_s$ 値から、図3の関係を用いて1次固有周期を算定する。各階 $I_s$ 値から(2)式および荷重速度による影響を考慮し、各階終局耐力を算定する。また、耐力低下を考慮した復元力特性を用いるため、算定した終局耐力を第2折点の耐力（最大耐力）とする。

$$C_i = \text{各階}I_s\text{値} \cdot (n+i)/(n+1) \cdot \{1/(F\text{値} \cdot S_D\text{値} \cdot T\text{値})\} \quad (2)$$

$C_i$ ： $i$ 階の終局せん断力係数、 $i$ ：当該階、 $n$ ：建物階数

各階重量と1次固有周期から各階の初期剛性を算定する。剛性の高さ方向分布は、各階の終局耐力分布と相似にする。

次に静的弾塑性解析結果（表3）に基づき、復元力特性を作成する。この際に、終局耐力以降の耐力低下を考慮する。

張間方向については、図2に示した $C$ 値と壁架構の剛性・耐力分担率の関係を用いて、ラーメン架構と壁架構の復元力

特性を別々に作成する。履歴特性は、平行方向は武田モデル、張間方向のラーメン架構は武田モデル、同・壁架構は原点指向モデルとする。なお、 $C$ 値は(2)式に各階 $I_s$ 値と仮定 $F$ 値（1.0、極脆性柱が存在する場合は0.8）を用いて算定する。地震応答解析に用いる上部構造の減衰は、上部構造の剛性が負の領域を含むため、減衰が負にならないように初期剛性比例型減衰（基礎固定時の1次固有振動数に対して3%）とする<sup>3)</sup>。また、建物の大破までの大きな変形を扱うので、本来は $P$ -

効果を考慮した解析が必要だが、 $P$ -効果を含む実験結果<sup>3)</sup>を基に復元力を設定したため、これを考慮しない。

以上の仮定に基づき、愛知県の耐震診断データベースに含まれる2~4階建て校舎1,039棟を対象として、1,039棟×2方向=2,078種類の地震応答解析モデルを作成し、地震応答解析を行う。

#### 3.まとめ

本報告では愛知県の耐震診断データベースを利用して、実被害と整合することを目的とした、典型的な低層RC造校舎の地震応答解析モデルを作成した。なお参考文献は、まとめて(その2)で示す。

表3 地震応答解析に用いる復元力特性

余力考慮モデル	$K_2/K_1$	$Q_3/Q_1$
平行方向 ラーメン架構	0.255	3.672
張間方向 壁架構	0.378	2.743

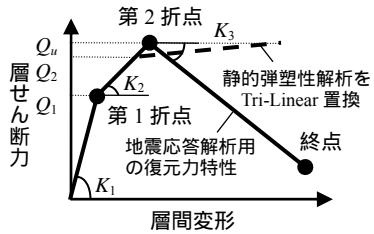


図4 耐力低下を考慮した復元力特性

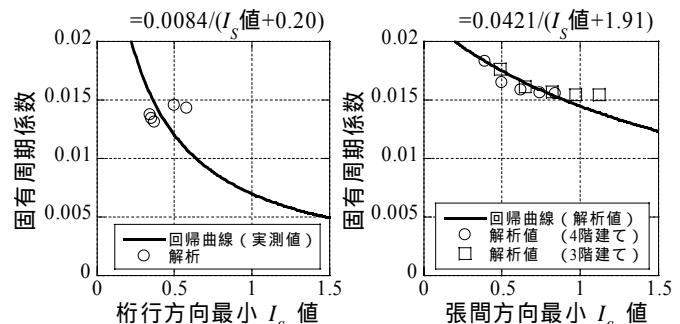


図3 最小 $I_s$ 値と固有周期係数の関係

表2 本研究で用いた仮定値

算定するもの	用いる仮定・算定式	必要な仮定値	本論で用いた値
各階の階高( $h_i$ )		その他の階の階高( $h_i$ )	3.65 m
		1階階高( $h_0$ )	3.85 m
各階床面積( $A_i$ )	$A_i = A/n$	延床面積(A)、階数(n)	各建物別に設定
建物の長辺の長さ( $B_L$ )	$B_L = A_i/C_L$	建物の短辺の長さ( $C_L$ )	9.545 m
各階重量( $W_i$ )	$W_i = A_i \cdot W_R$	屋上階の平均重量( $W_R$ )	9.5 kN/m <sup>2</sup>
	$W_i = A_i \cdot W_C$	その他の階の平均重量( $W_C$ )	10.8 kN/m <sup>2</sup>
各階の終局耐力( $Q_{ui}$ ) (第2折点耐力)	$Q_{ui} = \Sigma W_i \cdot I_{Si} \cdot (n+i)/(n+1) / (F_i \cdot S_D \cdot TT)$	$S_D$ 値( $S_D$ ) $TT$ 値( $TT$ ) 各階 $F$ 値( $F_i$ ) 各階 $I_s$ 値( $I_{Si}$ )	0.93 0.99 1.0または0.8 各建物別に設定
各階の第1折点耐力( $Q_{1i}$ )	$Q_{1i} = Q_{ui} \cdot Q_1/Q_3$	$Q_1/Q_3$	表3
建物の1次固有周期( $T_1$ )	$T_1 = a \cdot h$	固有周期係数 $a$	図3
各階の初期剛性( $K_{1i}$ )	初期剛性的高さ方向分布は各階の終局耐力分布に相似	建物の1次固有周期( $T_1$ ) 各階重量( $W_i$ )	
各階の第2剛性( $K_{2i}$ )	$K_{2i} = K_{1i} \cdot K_2/K_1$	$K_2/K_1$	表3

\*1 清水建設㈱（元名古屋大学大学院生）修士（工学）

\*2 株式会社日建設計 構造設計部門 修士（工学）

\*3 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

\*4 清水建設㈱ 技術研究所 博士（工学）

Shimizu Corp., M.Eng. (Graduated from Nagoya Univ.)

Dept. of Structural Eng., Nikkensekki Ltd., M.Eng.

Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.

Institute of Technology, Shimizu Corp., Dr.Eng.