

## 中低層壁式鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価に関する研究 (その2)動的な手法による耐震性能の評価

正会員 ○太田 行孝\*  
同 中埜 良昭\*\*  
同 高橋 典之\*\*\*  
同 田子 茂\*\*\*\*  
同 望月 滋人\*\*\*\*\*

壁式鉄筋コンクリート造 相互作用  
地震応答解析

### 1. はじめに

(その2)では、本題(その1)で示した建物Aを対象に、地盤との相互作用効果を考慮した地震応答解析による耐震性能の評価を行った。

### 2. 解析モデル

#### 2.1 基礎固定モデル(FIXモデル)

建物Aの上部構造を多質点せん断バネモデルに置換し、各せん断バネの履歴則はTakedaモデルを用い、除荷剛性低下指数を0.4とした。骨格曲線は安全側の評価を目的に崩壊メカニズム形成までの履歴面積が小さいモデル1(本題(その1)にて既出)の静的漸増荷重解析で得られた各層の層せん断力-層間変形関係をTri-linear型の復元力特性に近似して用いることとした(図1)。

#### 2.2 スウェイモデル(SWモデル)

静岡県内の第1種、第2種(建物Aの敷地)および第3種地盤をそれぞれ想定し(以下SW1モデル、SW2モデル、SW3モデルと表記)、建築基準法で定められている極めて稀に発生する地震動(安全限界)時における地盤の非線形性を考慮して得られた地盤の特性を用い、コーンモデルによりスウェイバネの等価剛性及び等価粘性減衰を定めた<sup>1)</sup>。表1にSWモデルの固有周期およびスウェイバネの等価粘性減衰を示す。基礎部分の質量 $M_{SW}$ は、2.5に後述する方法から算出した。またSW1~SW3モデルの上部構造はFIXモデルと同一とした。

#### 2.3 基礎底面での滑動を考慮したモデル(SLモデル)

基礎底面での滑動を考慮した解析モデルを図2に示す。基礎構造部分の質量 $m_b$ および土部分の質量 $M_b$ は2.5に後述する方法から算出した。基礎底面における静止摩擦係数 $\mu_s$ は $\mu_s=0.5, 0.6, 0.7$ の3通り検討した。滑動部分以外のモデルはSWモデルと同一とし、SW1、SW2およびSW3に対して、SL1、SL2およびSL3がそれぞれ対応する。基礎底面での滑動現象は、基礎底面-地盤間の静摩擦力 $F_{SL}$ が最大静摩擦力 $\Sigma mg\mu_s$ に達するまでは上部構造と地盤が固着し、 $F_{SL}$ が $\Sigma mg\mu_s$ を超えると動摩擦力を受けながら上部構造が滑動し、 $F_{SL}$ が $\Sigma mg\mu_d$ を下回ると滑動が停止するものと仮定した。本解析では簡単のため、静止摩擦係数 $\mu_s$ と動摩擦係数 $\mu_d$ が同一であると仮定し、図2に示すバイリニア型復元力モデルを用いて、最大静摩擦力 $\Sigma mg\mu_s$ を降伏せん断力に対応させ、固着を極めて大きいバネ剛性( $K_{slip}=1.0 \times 10^{10}$  kN/m)を用いることにより模擬し、滑動中はバネ剛性をほぼゼロ( $K_{slip} \times 10^{-7}$ )とすることにより摩擦力 $F_{SL}$ を変位の関数で近似した。

#### 2.4 解析モデルの固有周期

建物Aの桁行方向を対象に実施した平面フレーム解析から得た骨格曲線の初期剛性を用いて固有周期を算出した結果、 $T_{FIX}=0.11$ (s)となった。また同様に、梁間方向の固有周期についても算出した結果、 $T_{FIX}=0.11$ (s)となり、常時微動測定の結果から推定した梁間方向の $T_{FIX}=0.13$ (s)と概ね一致した。また、建物Aの敷地内において実施された地質調査の結果を

参考に、国土交通省告示第387号で規定された算定式による表層地盤の1次卓越周期は、0.5秒程度となり、H/Vスペクトルから推定した周期0.6秒と概ね一致した。

#### 2.5 SWモデルおよびSLモデルの基礎質量の算出

まず、常時微動測定から推定された $T_{FIX+S+R}$ および $T_{FIX+R}$ を(1)式に代入し $T_S$ を算出する。次に、平面フレーム解析から得た骨格曲線の初期剛性を用いて算出した $T_{FIX}$ および、(1)式で算出した $T_S$ を(2)式に代入して $T_{FIX+S}$ を算出し、 $T_{FIX+S}$ に適合する基礎質量を固有値解析から求める。この際、スウェイバネは第2種地盤の弾性時の地盤特性から算出したものを用いる。このとき、建物Aの基礎質量 $M_{SW}$ は上部構造の総質量の約0.4倍となり、この値をSW1、SW2およびSW3の基礎質量とした。さらに、基礎構造部分の質量 $m_b$ を上部構造1階の質量と同等と考え、 $m_b$ および土部分の質量 $M_b$ は、上部構造の総質量のそれぞれ約0.27倍および0.13倍とした。

$$T_S = \sqrt{T_{FIX+S+R}^2 - T_{FIX+R}^2} \quad (1) \quad T_{FIX+S} = \sqrt{T_{FIX}^2 + T_S^2} \quad (2)$$

### 3 模擬地震動の作成

静岡県内の第1種、第2種及び第3種地盤による地震動の増幅を想定し、地震動を以下の手順により作成した。

- (1)告示で規定された設計用応答スペクトルに適合するように模擬地震動を10波作成する。作成する模擬地震動の入力レベルは極めて稀に生じる地震動とし、地域係数は(4)で考慮する。また、位相特性は一様乱数とし、包絡関数はJennings<sup>2)</sup>とする。
- (2)静岡県内の第1種、第2種(建物Aの敷地内)および第3種地盤を対象に実施した地質調査の結果を基に表層地盤のモデル化を行なう。
- (3)(2)で作成した各表層地盤モデルに(1)で作成した模擬地震動10波をそれぞれ入力し、次元波動伝播解析プログラムSHAKEにより地表面における模擬地震動を作成する。
- (4)(3)で作成した地表面における模擬地震動10波のうち、最大加速度が10波の平均値に最も近い地震波に、文献3)に基づき地域係数1.2を乗じ、各表層地盤の地表面における入力地震動とする。

以上の手順で作成した第1種、第2種および第3種地盤の地表面における模擬地震動(以下Art1、Art2、Art3)と、日本建築センター設計用人工地震波<sup>4)</sup>に係数1.2を乗じたもの(以下BCJ-L2')の応答スペクトル(減衰5%)を図3に示す。

#### 4 解析方法

入力地震波Art1、Art2、Art3およびBCJ-L2'に倍率 $\alpha$ を乗じて(0.8~1.3まで、0.01刻み)非線形地震応答解析( $\alpha$ をパラメータとする動的増分応答解析)を行った。数値積分法はNewmark- $\beta$ 法( $\beta=1/4$ )とし、積分時間刻みを0.001秒とした。減衰は瞬間剛性比例型( $h=3\%$ )とした。本解析では部材のせん断破壊および繰り返し加力による耐力低下を考慮していないため、安全側に評価することを主眼に、静的漸増荷重解析で

のメカニズム形成時程度の変形角 1/250 を終局限界のクライテリアとした。

### 5 解析結果

各モデルの最大層間変形角が 1/250 を初めて上回った時の  $\alpha$  を表 2 に、 $\alpha$  を 1.0 倍とした場合の FIX モデルおよび SW モデルの解析結果を図 4 に、 $\alpha$  を 1.0 倍および 1.3 倍とした場合の SL モデルの解析結果を図 5 にそれぞれ示す。FIX モデルは BCJ-L2' の 0.93 倍で最大層間変形角が 1/250 を上回ったものの、Art1~Art3 の 1.1 倍程度までは 1/250 を下回った。また SW1~SW3 モデルにそれぞれ Art1~Art3 を入力した場合、スウェイパネのエネルギー吸収による応答の低減効果よりも、周期が伸びることによる応答の増幅効果の方が大きいため、終局限界時の  $\alpha$  は FIX モデルより小さくなったが、SW1~

SW3 のいずれの場合も、 $\alpha=1.0$  の入力地震波と同等程度までは、各層の最大層間変形角が 1/250 を下回った。SL モデルは、全てのモデルで応答値の大幅な低減が見られ、 $\alpha=1.3$  とした入力地震動においても、各モデルの各層の最大層間変形角は 1/500 を下回る結果となった。

### まとめ

本報では静岡県に実在する壁式RC造共同住宅のうち、代表的なプランを有する建物Aを対象に、地盤との相互作用を考慮した地震応答解析を実施した。FIXモデルでは、BCJ-L2'に対して $\alpha=0.93$ の入力地震動で最大層間変形角が1/250を上回ったものの、Art1~Art3に対しては $\alpha=1.0$ の入力地震動でも各層の最大層間変形角が1/250を超えることはなかった。また、SWモデルおよびSLモデルについては、 $\alpha=1.0$ の入力地震動と同程度の地震動までは、各層の最大層間変形角が1/250を下回った。本題(その1)および以上の結果から判断し、建物Aをただちに要補強対象に分類する必要は少ないと考えられる。

【参考文献】1)国土交通省住宅局建築指導課ほか：2001年版 限界耐力計算法の計算例とその解説、pp.227-247 2) Jennings,P.C.Housner,G.W.and Tsai,N.C.:”Simulated Earthquake Motions for Design Purpose”Proc.of 4<sup>th</sup> WCEE, Vol.1, A-1, pp.145-160, Jan. 1969 3)静岡県都市住宅部建築確認検査室：建築構造設計指針・同解説 2002年版, 2002.9 4)北川良和ほか：設計用入力地震動作成手法, 建築研究資料, 建設省建築研究所, No.83, 1994.11

表 1 SW モデルの周期とスウェイパネの減衰定数

	$T_{FIX+S}$ (s) ( $K_{sw}$ =弾性)	$T_{FIX+S}$ (s)** ( $K_{sw}$ =安全限界)	$h_{sw}$ (安全限界)
SW1	0.16	0.30	0.21
SW2	0.19	0.36	0.19
SW3	0.19	0.28	0.15

表中※は SW モデルの弾性時の周期

表 2 終局限界時の入力地震波の倍率  $\alpha$

	BCJL2'	Art1	Art2	Art3
FIX	0.93	1.12	1.30 以上	1.30 以上
SW1	1.10	0.97	—	—
SW2	1.04	—	1.06	—
SW3	0.97	—	—	1.30 以上
SL1	1.30 以上	1.30 以上	—	—
SL2	1.30 以上	—	1.30 以上	—
SL3	1.30 以上	—	—	1.30 以上

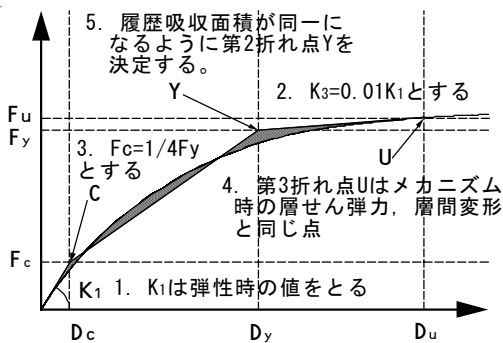


図 1 復元力特性の決定方法

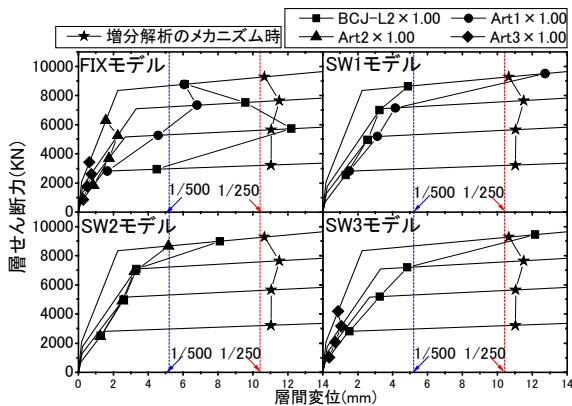


図 4 FIX モデルおよび SW モデルの最大応答値

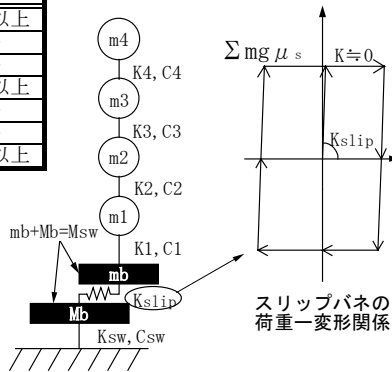


図 2 SL モデル概念図

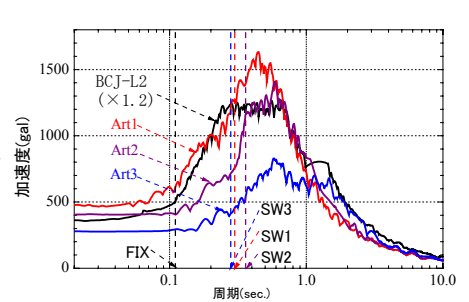


図 3 入力地震波の応答スペクトル

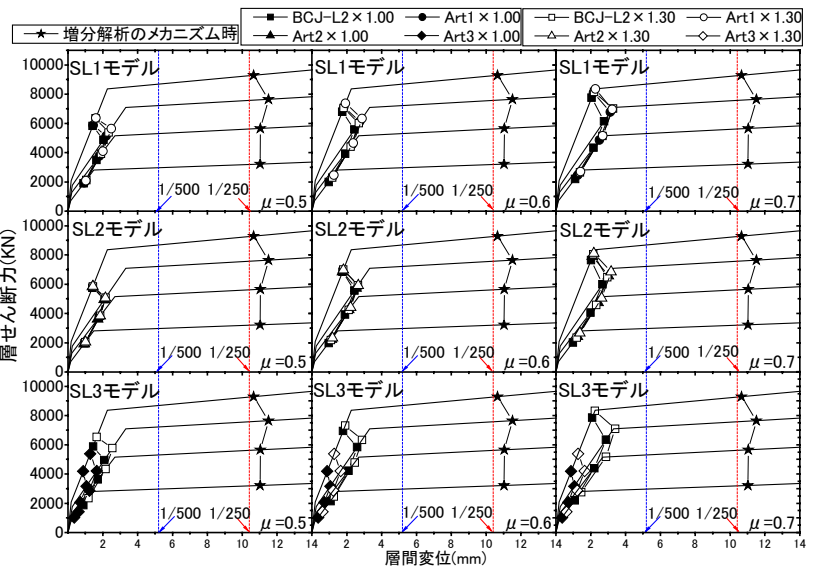


図 5 SL モデルの最大応答値

\* 戸田建設(株)  
 \*\* 東京大学生産技術研究所 教授・工博  
 \*\*\* 東京大学生産技術研究所 助手・博(工)  
 \*\*\*\* (株)堀江建築工務研究所  
 \*\*\*\*\* (株)望月建築設計事務所

TODA Corp.  
 Prof., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.  
 Research Assoc., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.  
 Horie Engineering and Architectural Reserch Institute Co., Ltd.  
 Mochiduki Architectural Firm