

多層骨組の地震時挙動に及ぼす中間階床スラブの面内せん断剛性の影響

その2 動的解析による検証

正会員 ○小俣 慶太\* 正会員 鈴木 光雄\*  
正会員 坂下 義治\*

床スラブ 面内剛性 面内せん断力  
保有水平耐力 モーダルアナリシス 時刻歴応答解析

1. はじめに

本報その1では、モデル化、静的解析の結果について示した。その2では、動的解析の結果について示す。

2. 動的解析の検討

1) モーダルアナリシスによる検討

はじめに、振動解析時の地震動による応答のばらつきを補完する目的でモーダルアナリシスによる検討を行う。スラブ  $S_c$  の影響に着目するため、建物の対称性を考慮して図1のようにグループ A, B を設定し、3 質点にモデル化する。Xj (j=1~6) フレームの1, 2 層の支配質量と剛性を  $M_{1-Xj}$ ,  $M_{2-Xj}$ ,  $K_{1-Xj}$ ,  $K_{2-Xj}$  とおくと、3 質点モデルの質量、剛性は下式の通りである。

$$M_{1A} = 1/2 \sum_{j=2}^5 M_{1-Xj}, M_{1B} = M_{1-X1}, M_2 = 1/2 \sum_{j=1}^6 M_{2-Xj}$$

$$K_{1A} = 1/2 \sum_{j=2}^5 K_{1-Xj}, K_{1B} = K_{1-X1}, K_{2A} = 1/2 \sum_{j=2}^5 K_{2-Xj}, K_{2B} = K_{2-X1}$$

ここで、モーダルアナリシスの結果を規定するパラメータとして、以下のものを導入する。

$$\omega_{p1} = \sqrt{(K_{2A} + K_{2B})/M_2},$$

$$\mu = M_2 / (M_{1A} + M_{1B}), \mu_{1A} = M_{1A} / (M_{1A} + M_{1B}), \mu_{1B} = 1 - \mu_{1A},$$

$$k = (K_{2A} + K_{2B}) / (K_{1A} + K_{1B}),$$

$$k_{1A} = K_{1A} / (K_{1A} + K_{1B}), k_{2A} = K_{2A} / (K_{2A} + K_{2B}), k_c = K_c / (K_{1A} + K_{1B})$$

その1の立体モデルでは、2FL面を固定とした場合の固有円振動数は  $\omega_{p1} = 24.9$  (1/s) (固有周期 0.253 秒) であり、1 階の剛性と 2 階の剛性比は  $k = 0.083$ , 質量比は  $\mu = 1.023$ , 各階のグループ A に関する剛性比は  $k_{1A} = 0.151$ ,  $k_{2A} = 0.606$ , 質量比は  $\mu_{1A} = 0.80$ ,  $\mu_{1B} = 0.20$  である。以降、2FLを剛床とした2質点モデルと、上記モデルの比較を行う。剛床(2質点)モデルの結果は右肩にダッシュを付けて示す。モーダルアナリシスにより、2階層間変形が最大となるグループ B の変形  $\delta_{2B}$  を次式に示す二乗平均により求める。剛床の場合も同様に2階の変形  $\delta_2'$  を求める。

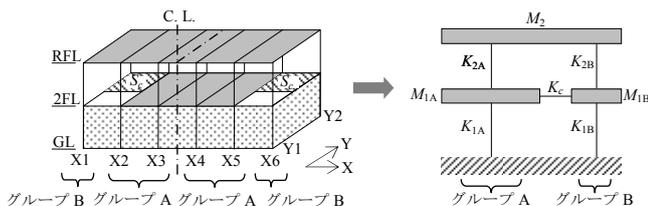


図1 3質点へのモデル化

$$\delta_{2B} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \{ \beta_i (u_{2-i} - u_{1B})_i S_A / \omega_i^2 \}^2}$$

ここで、 $\omega_i$ ,  $\beta_i$ ,  $u_i$  はそれぞれ  $i$  次の円固有振動数、刺激係数、固有モードベクトル成分であり、 $S_A$  は  $\omega$  に対応する告示 1461 号の加速度応答スペクトル値 (極稀地震) である。スラブ  $S_c$  の移行せん断力  $Q_c$  は、質点 1A と 1B の間の相対変位に剛性を乗じ、次式にて求める。

$$Q_c = K_c \sqrt{\sum_{i=1}^3 \{ \beta_i (u_{1A} - u_{1B})_i S_A / \omega_i^2 \}^2}$$

剛床の場合は1層目の床面に生じる慣性力が質量比  $\mu_{1A}$ ,  $\mu_{1B}$  に応じて生じることを考慮し、次式にて求める。

$$Q_c' = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \{ \beta_i \{ a_i u_i - b_i (u_2 - u_1) \}_i S_A / \omega_i^2 \}^2}$$

$$a = \mu_{1B} k_{1A} - \mu_{1A} k_{1B}, b = \mu_{1B} k_{2A} - \mu_{1A} k_{2B}$$

図2に、1次固有周期  $T_1/T_1'$ , 2階の層間変形  $\delta_{2B}/\delta_2'$ , スラブ  $S_c$  のせん断力移行量  $Q_c/Q_c'$  を、横軸をパラメータ ( $k_c$ ) として示す。図中には  $\mu = 0.5, 10.0$  とした時の結果も示す。縦軸の値は 1.0 に近づくほど剛床の場合に近いと言えるが、 $k_c < 2.0$  の範囲では  $k_c$  の減少に伴い縦軸の値が 1.0 から大きく乖離していく傾向が見られる。解析上剛床と見做すには、 $k_c = 2.0$  程度以上が確保される必要があり、それ以下の場合には解析モデルにて何らかの補正が必要となる。また、各指標とも  $k_c \leq 0.3$  で急激な変化を生じている。

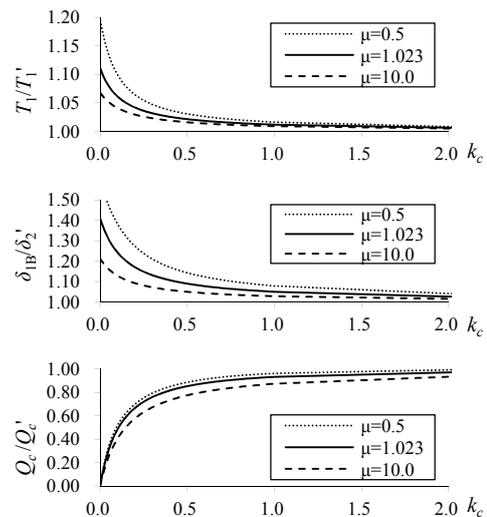


図2 3質点モデルと剛床モデルとの比較

## 2) 動的解析結果

その 1 で使用した立体モデルを用いて、弾塑性時刻歴応答解析を行う。解析には、立体骨組の弾塑性地震応答解析プログラム「STERA 3D」<sup>1)</sup>を使用した。質量は各節点に集中質量として配置し、減衰は剛性比例型、減衰定数は 3%とする。梁部材は、両材端に弾塑性曲げばね及び部材中央に弾塑性せん断ばねを有するモデルであり、曲げばねの復元力特性は武田スリップモデルである。柱は軸力と曲げの非線形相互作用が考慮できる MS モデル、壁は MS モデルを壁に拡張したモデルである。MS モデルの軸ばねは、コンクリートと鉄筋の非線形ばねから成る。

入力地震動は告示 1461 号の解放工学的基盤のスペクトルにより作成された地震動とし、八戸 (1963) 位相 (Kokuji-Hachinohe)、神戸 (1995) 位相 (Kokuji-Kobe)、ランダム位相 (Kokuji-Random) の 3 種類の位相を用いた。

図 3, 4, 5 に、1 次固有周期、2 階 X1 フレームの層間変形、スラブ  $S_c$  移行せん断力について剛床仮定による解析結果との比を示す。モーダルアナリシスでは、各フレームの剛性は剛床仮定のもとで算出しているが、立体モデルでは 1 階の変形状態により 2 階のフレーム剛性が比較的大きく変動する。立体解析の固有周期の延びに対してはこの効果が影響している。時刻歴応答解析は弾塑性解析であるため、モーダルアナリシスとの結果比較は正確さを欠くことになるが、2 階層間変形角、スラブ移行せん断力については、モーダルアナリシスの結果は、 $k_c \geq 0.3$  の範囲では時刻歴応答解析の平均的な値となっており、 $k_c < 0.3$  では下限に近い値となっている。

次に、静的解析と動的解析の関係から動的な応答の増幅率を簡易的に評価する。検討に際しては、入力レベルを合わせるために 1 階の層せん断力  $Q_1$  により基準化を行う。2 階の層間変形角と床の移行せん断力について、次式により動的な応答と静的な応答の比をとることで求めた  $\alpha_{s2}$  を動的増幅率とする。下式で、添字 st は、静的解析の結果であることを示す。

$$\alpha_{s2} = (\delta_2 / Q_1) / (st \delta_2 / st Q_1)$$

図 6 に、X1, X3 フレームの動的増幅率  $\alpha_{s2}$  を示す。これらのフレームの結果は、増幅率  $\alpha_{s2} = 1.0$  を境に対称の関係となる傾向が見受けられる。この理由として、同一層で一質点とみなせないようなケースに対しては、静的解析時における荷重設定 ( $A_i$  分布による地震荷重) が対応していないこと ( $k_c > 0.3$ )、スラブ剛性が低下すると各フレームの挙動に位相差が生じること ( $k_c < 0.2$ ) などが考えられる。前者については、図 4 に示した傾向から、モーダルアナリシスにて対応できるものと考えられるが、後者については特別な配慮が求められる。

## 3. まとめ

中間階の床スラブの面内剛性が架構全体の耐震性に与える影響について、静的解析 (本報その 1)、モーダルアナリシス、時刻歴応答解析 (その 2) により検討を行った。床スラブの面内剛性が大きく低下した場合には、剛床仮定のもと解析を行った場合との応答の差異が大きく、静的解析やモーダルアナリシスでは捉えきれない複雑な挙動を示すことを確認した。

### 参考文献

- 1) Taiki Saito : STERA\_3D Technical Manual Version 4.2 ([http://www.rc.ace.tut.ac.jp/saito/Software/STERA\\_3D](http://www.rc.ace.tut.ac.jp/saito/Software/STERA_3D))

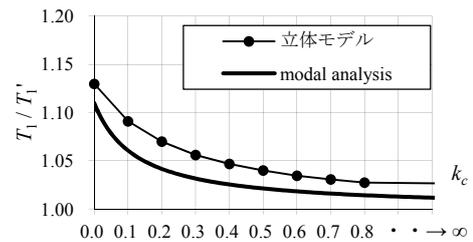


図 3 剛床モデルとの比較 (1 次固有周期)

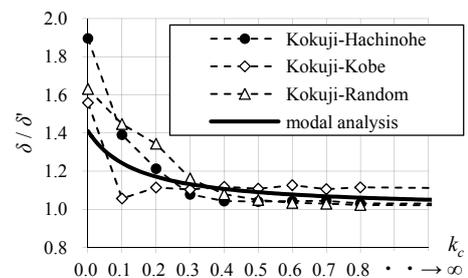


図 4 剛床モデルとの比較 (2 階 X1 フレーム層間変形)

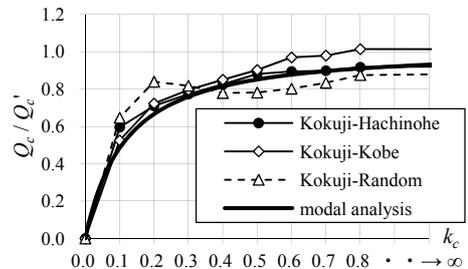
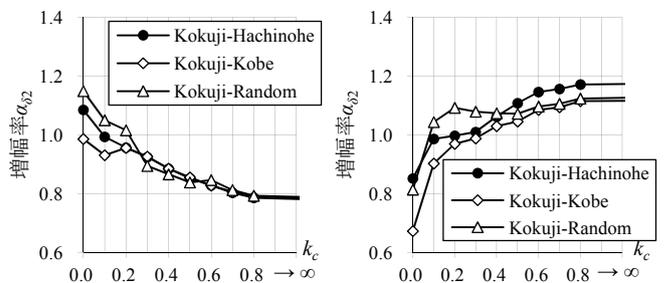


図 5 剛床モデルとの比較 (スラブ  $S_c$  移行せん断力)



(a) X1 フレーム

(b) X3 フレーム

図 6 2 階層間変形角の動的増幅率  $\alpha_{s2}$