

基礎滑りを考慮した低層 RC 造事務所建物の地震時挙動について

正会員 ○杉本浩一*1 同 護 雅史*2
同 福和伸夫*3

低層 RC 造建物 基礎滑り 非線形地震応答解析
動的相互作用効果 建物耐力 摩擦係数

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震では、設計時の想定を上回るレベルの地震動を記録したが、中低層 RC 造建物の被害は比較的少なかった。その理由の 1 つとして、設計上考慮していない諸要因により、意図した耐震性能以上の余力を有している可能性が挙げられる。また、基礎滑りや浮上り¹⁾といった接触非線形の影響の可能性も指摘されており、最近では、壁谷澤らが実大 3 層 RC 造建物の振動実験において、滑り現象による入力低減効果があり、上部構造の被害が軽減しようとしている²⁾。

そこで本論では、接触非線形問題のうちの滑り現象に着目し、弾塑性地震応答解析を行い、建物の耐力、動的相互作用効果、地盤条件、入力地震動の特性の違いが建物応答値に与える影響について検討する。

2. 数値解析対象とする建物概要

名古屋市内に立地する低層 RC 造事務所建物を解析対象とする。本建物は、RC 造 3 階建て耐震壁付きラーメン構造で、平面形状は、桁行 48m、張間は 16m の長方形である³⁾。建物概要を表 1 に示す。壁の配置は桁行、張間方向で明確な差異はなく、雑壁が多く配置されている。

3. 地震応答解析モデルの作成

3.1 上部建物のモデル化

滑りを考慮した地震応答解析は、桁行方向を対象とし

て、図 1 に示す多質点系等価せん断型モデルを用いて行う。まず、3 次元立体フレームモデルを用いた静的増分解析を行い、得られた各層の $Q-\delta$ 関係から Tri-Linear 型の骨格曲線を作成する。各階質量やコンクリート強度などは、設計図書等を参考に設定する。上部建物の減衰定数は、基礎固定時の 1 次固有周期に対して 3%の初期剛性比例型とし、履歴特性には武田モデルを適用する。

3.2 地盤ばねのモデル化

動的相互作用効果を考慮するために、基礎部に水平方向と回転方向の地盤ばねを設置したスウェイ・ロッキング(SR)モデルを用いる。水平ばね、回転ばねには、半無限一様地盤上の円形剛基礎の静的ばね剛性と波動インピーダンスから算定した減衰係数を用いる。さらに、基礎滑りを考慮するために、水平方向の地盤ばねに非線形性を考慮する。復元力特性は、図 1 に示す完全弾塑性モデルを用いる。滑り始めるせん断応力は次式で表されるせん断降伏応力 τ_y とする。

$$\tau_y = c + \sigma_n \cdot \tan \varphi \quad (1)$$

ここに、 τ_y は Mohr-Coulomb の法則に従うものとする。 c 、 σ_n 、 φ はそれぞれ粘着力、平均垂直応力及び内部摩擦角であり、本論では地盤を砂地盤と仮定して、 $c=0$ 、 $\varphi=30$ (N 値=10 に相当)とする。

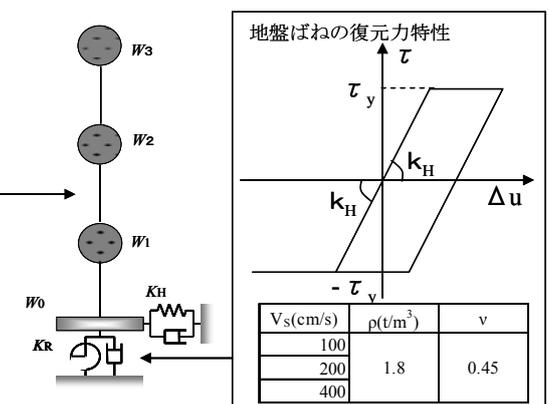
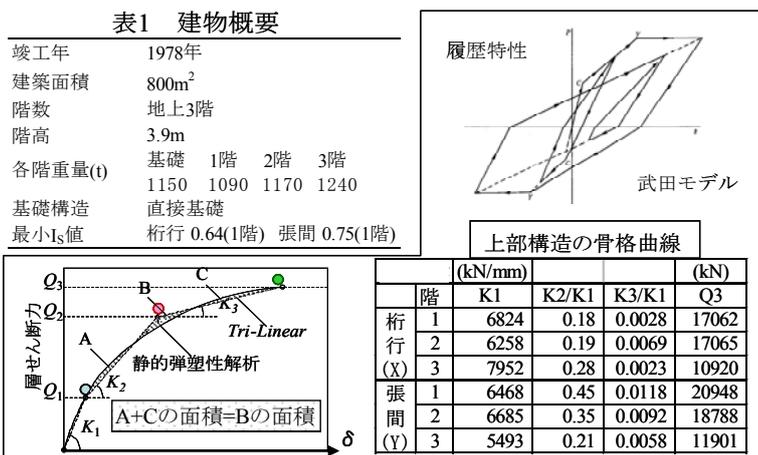


図1 地震応答解析モデル

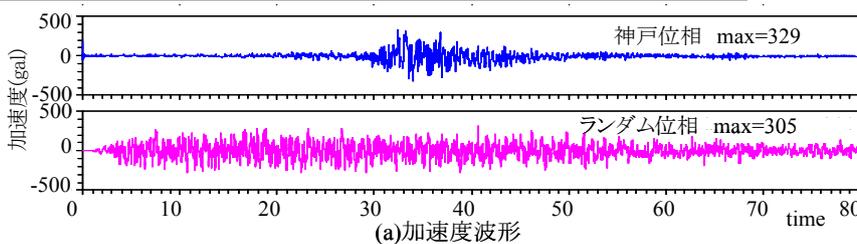
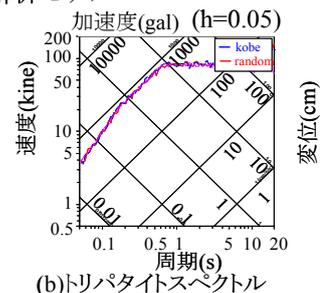


図2 入力地震動の加速度波形とトリパタイトスペクトル



(b)トリパタイトスペクトル

3.3 解析概要

解析モデルは基礎固定モデル、SR モデル、基礎滑り考慮モデルの 3 つを使用する。また、図 1 に示すように、地盤のせん断波速度 V_s は 100m/s, 200m/s, 400m/s の 3 ケースとする。さらに、対象建物の降伏耐力を 1.2 倍した場合についても併せて検討する。

入力地震動としては、レベル 2 の告示スペクトルをターゲットとして、1995 年兵庫県南部地震の JMA 神戸における観測記録(EW 成分)の位相特性、ランダム位相特性 + 日本建築センターによる経時特性をそれぞれ与えて作成した入力波を用いる。上記の 2 つの加速度波形とトリパタイトスペクトルを図 2 に示す。それぞれの地震波の加速度を、滑りの影響を確認するために 2 倍として用いる。入力方向は桁行方向とし、基礎レベルで入力する。

4. 解析結果

表 2 に桁行方向の基礎固定モデルと SR モデルの 1 次固有周期を V_s 毎に示す。図 3 には、 $V_s=200\text{m/s}$ の場合の各入力地震動に対する最大応答せん断力と最大応答層間変形角を、各モデルで比較して示す。図では、SR モデルと滑り考慮モデルの応答値は、ほぼ重なっている。これらの図より、全てのモデルで 1 層、2 層が降伏していることが分かる。なお、層間変形角については、1 層で 1/50 近くまで達しているが、これはレベル 2 の入力加速度を 2 倍としたことに対応している。

図 4 では、基礎固定モデルに対する SR モデルと基礎滑り考慮モデルの 1 層における塑性率の比を V_s 毎に示している。図中、白抜きの記号は、建物の降伏耐力を 1.2 倍した場合の結果である。また、図 5 に神戸位相入力時の、基礎滑り考慮モデルにおける水平地盤ばねの $Q-\delta$ 関係を、図 6 には、同ケースの水平地盤ばね反力と 1 層せん断力の時刻歴応答波形をそれぞれ示している。まず図 4 より、地盤が柔らかくなるほど、建物応答値が低減しているこ

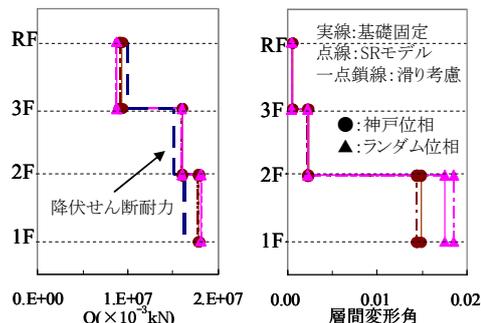


図3 建物の最大応答値の比較

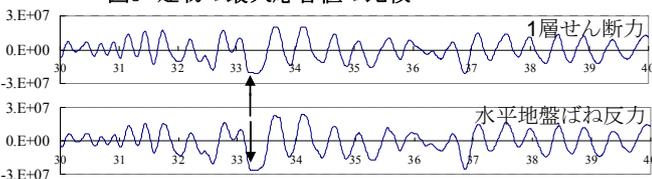


図6 各部の時刻歴応答波形

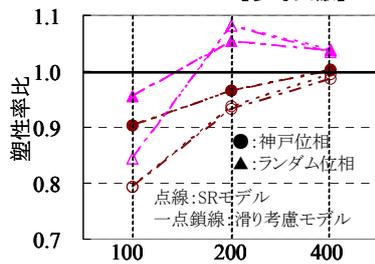


図4 SRモデル、基礎滑り考慮モデルの基礎固定モデルに対する塑性率比

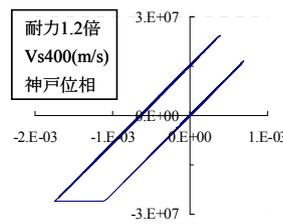


図5 地盤ばねの $Q-\delta$ 関係

とが分かる。これは、地盤と建物の動的相互作用効果によるものと考えられる。この傾向は建物の降伏耐力が大きい方が顕著である。さらに、図 5 より、滑りが生じているものの、建物最大応答値は SR モデルとほとんど差が見られない。これは図 6 中の矢印が示すように、建物耐力が小さい場合、建物の塑性化が進展すると同時に基礎が滑り出してしまったためと考えられる。

ここで、基礎が滑ることにより、上部構造が大きな被害を免れる可能性があると考えられるが、本建物の降伏ベースシア係数は 0.5 であり、地盤の摩擦係数を 0.57($\phi=30$)としたため、全てのケースで基礎は滑らなかった。また、建物耐力を 1.2 倍してベースシア係数を 0.6 としても、 $V_s=400\text{m/s}$ 時に微小な滑りが生じるのみで、それによる明瞭な応答低減は認められなかった。つまり、基礎が滑ることにより建物応答値が低減するためには、建物耐力が十分大きくなければならないと考えられる⁴⁾。

5. まとめ

本論では、地盤と建物の接触非線形の 1 つである、滑り現象に着目した弾塑性地震応答解析を行い、建物の耐力、動的相互作用効果、地盤条件、入力地震動の特性が建物応答値に与える影響を検討した。その結果、降伏耐力を滑りに関するせん断降伏応力よりやや大きくした場合でも、滑りによる建物の応答低減効果は認められなかったこと、大きな滑りが発生しなかったこともあり、入力地震動の位相特性の違いが滑りを伴う建物応答に与える影響を考察するには至らなかったことが挙げられる。

今後は、基礎浮上り、さらに滑りと浮上り連成の影響について検討を行う予定である。

【謝辞】

本論の地震応答解析を実施するにあたり、清水建設(株)所有の、3 次元非線形地震応答解析システム idac を利用させていただいた。ここに記して感謝の意を表する。

【参考文献】

- 林康裕：直接基礎構造物の基礎浮上りによる地震被害低減効果, 日本建築学会構造系論文集, No.485, pp.53-62, 1996
- 壁谷澤寿一, 壁谷澤寿海: 実大3層鉄筋コンクリート建物の振動実験, 日本建築学会構造系論文集, No.632, pp.1833-1840, 2008
- 杉本浩一: 低層 RC 造事務所建物の地震被害予測に関する研究(その 2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.707-708, 2008.9
- 護雅史: 大地震時において直接基礎の滑り現象が上部建物応答に与える影響, 建築学会東海支部報告集, No.47, pp.209-212, 2009.2.

表2 各解析モデルの 1 次固有周期の比較

固有周期(桁行方向)		SR		
fix		Vs400	Vs200	Vs100
-	周期(s)	0.19	0.21	0.25
	周期(s)	0.21	0.25	0.41

*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生
*2 名古屋大学大学院環境学研究科准教授・博士 (工学)
*3 名古屋大学大学院環境学研究科教授・工博

*1 Graduate Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.
*2 Assoc.Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.
*3 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.