

神戸市中央区に建つ高層集合住宅における地震観測

－(その3)2004年9月5日紀伊半島南東沖地震の観測結果とシミュレーション解析－

境 茂樹*・加藤貴司*・伊藤隆之**・木村 匡***

地盤－杭－建物系の地震時挙動を把握することを目的として、神戸市中央区に建設された地上33階建ての杭支持高層集合住宅において地震観測を2000年3月より実施している。この建物で、2004年9月5日紀伊半島南東沖地震(Mj=7.4)による地震時挙動が観測された。この観測記録は、想定される東南海・南海地震による長周期地震動の構造物に及ぼす影響を検討する上で、大変有用なデータと考えられる。そこで、この地震により得られた観測記録を分析し、設計時の解析モデルによるシミュレーション解析を行い、構造物の応答特性と設計モデルの妥当性について検討した。その結果、地盤－建物の相互作用を考慮したスウェイ・ロッキングモデル(S-Rモデル)による解析結果は、基礎固定モデルと比較して観測結果とよく対応した。

キーワード：紀伊半島南東沖地震，長周期地震動，高層集合住宅，地盤－建物連成系，S-Rモデル

1. はじめに

筆者らは、神戸市中央区において、関西地域の地盤震動特性および杭を有する高層建築物の地震時挙動を把握することを目的として2000年3月から地上33階建ての高層集合住宅で地震観測を実施している。

観測を開始して6年経過し、50イベントの観測記録が得られたが、その中に2004年9月5日紀伊半島南東沖地震(Mj=7.4)による記録が得られた。この地震は、今後予想される東南海・南海地震の想定震源域の近傍で発生し、この地震による観測地震動は、関西地域におけるやや長周期地震動の特性や構造物に及ぼす影響を検討する上で、大変有用なデータと考えられる。

本報告は、この地震による観測データの分析と設計時の解析モデルによるシミュレーション解析を行い、構造物の応答特性と設計モデルの妥当性について検討した結果をとりまとめたものである。

2. 建物の概要

2.1 建物概要

対象建物は、神戸市中央区に建つ地上33階、地下1階、塔屋3階で、軒高98.457m、最高部高さ108.557mの共同住宅である。基準階の平面形状は、北東面と南西面を1スパン切りかいた正方形に近い形状となっており、その大きさは1辺が、4.6、5.85m×4の5スパンで全長28.0mである。構造形式は、主体構造が鉄筋コンクリート造の純ラーメン構造で、地下階は鉄筋コンクリート造の耐震壁併用ラーメン構造である。基礎は根入れ深さを7.0mで

マットスラブとして剛性を確保し、杭は場所打ちコンクリート杭(ベノト併用拡底アースドリル杭工法)で支持させている。

2.2 地盤概要

本敷地の地盤構成は、図-1に示すように、ボーリング調査の結果から、GL-3.8mまで埋土層、以下GL-13.0m程度まで礫混じり砂または砂層となり、それ以深のGL-23m程度までは粘土、砂、砂礫の互層となり、GL-23m以深で礫混じり砂または砂層となっている。GL-16m以深のほとんどの層でN値は50以上となっている。PS検層結果をみると、GL-23mでせん断波速度 $V_s=380\text{m/s}$ 程度となっている。なお、杭先端はGL-29mの砂礫層に支持させている。

2.3 地震観測システムの概要

本建物における地震計設置位置を図-2に示す。この観測システムでは、建物および周辺地盤にサーボ型加速度計を配置し、建物内は1階スラブ下、17階スラブ下、および屋上スラブ下の剛心位置に、また、建物から12mほど離れた周辺地盤には、地表面(GL-1.5m)および杭先端レベル(GL-29m)に設置している。

チャンネル数は各地震計3成分の合計15chの同時観測であり、収録の起動は、GL-29mの地震計(起動レベル 1cm/sec^2)と建物最上階の地震計(起動レベル 2cm/sec^2)によって行われている。サンプリングは100Hz、トリガー前の収録時間は10秒、トリガー終了後の記録時間は60秒に設定している。なお、地震計の設置方向は建物の構面方向に合わせ、X方向が東西方向(EW)、Y方向が南北方向(NS)にほぼ一致している。

* 技術研究所 ** 設計・技術センター *** 都市再生機構

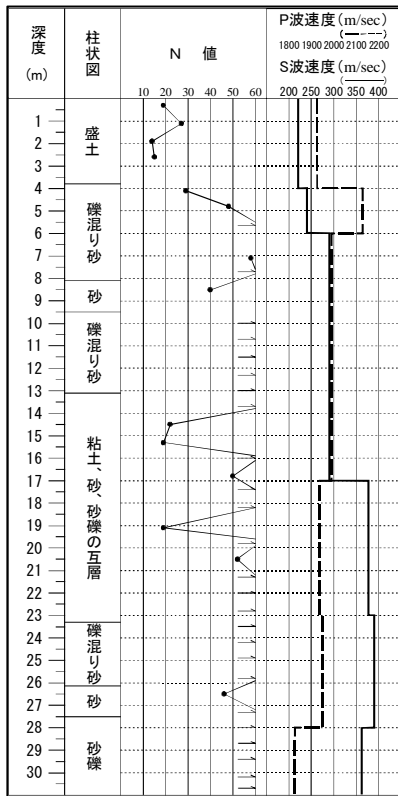


図-1 敷地の地盤構成とPS 検層結果

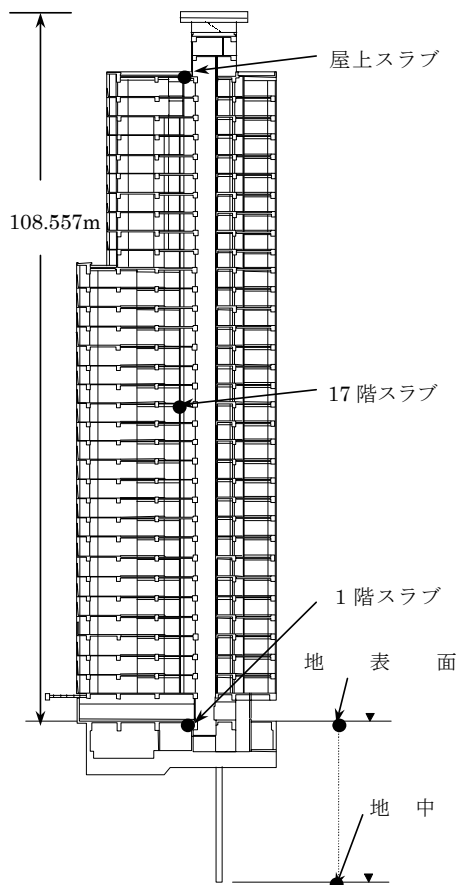


図-2 地震計設置位置図

3. 地震観測結果とシミュレーション解析

3.1 2004年9月5日紀伊半島南東沖地震の概要

2004年9月5日19時07分頃および23時57分頃に紀伊半島南東沖で相次いで地震が発生した。地震の規模は、気象庁マグニチュード (Mj) でそれぞれ Mj=7.1 と 7.4 であり、本報告では Mj=7.4 の地震による観測記録のシミュレーション解析を行なった。この地震について(独)防災科学技術研究所 K-NET による各観測点の震度を図-3に示す。また、東大地震研の瀧瀬教授による最大速度分布を図-4に示す。この図から、大阪平野、濃尾平野および関東平野の周辺地域が他の地域に比べて最大速度値が大きい。

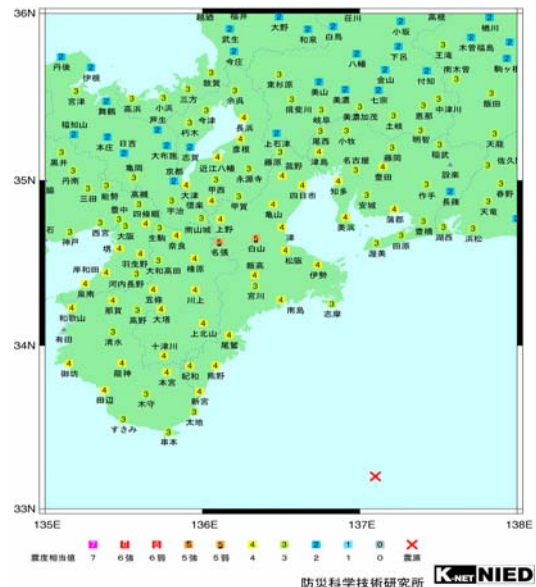


図-3 2004年9月5日紀伊半島南東沖地震 (Mj=7.4) の計測震度 (K-net のHP より)

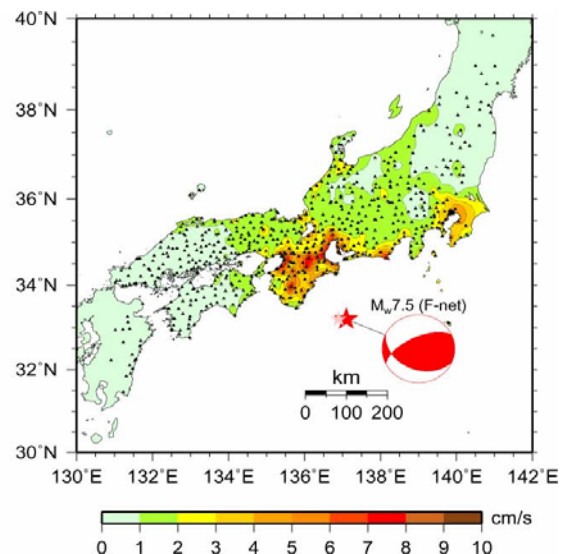


図-4 最大速度分布図(東大地震研瀧瀬教授のHP より)

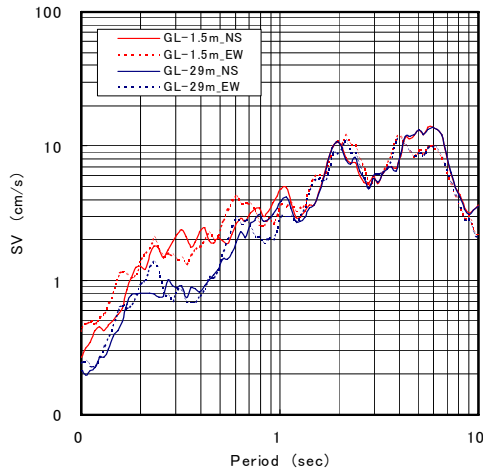


図-5 地盤系の速度応答スペクトル (減衰 5%)

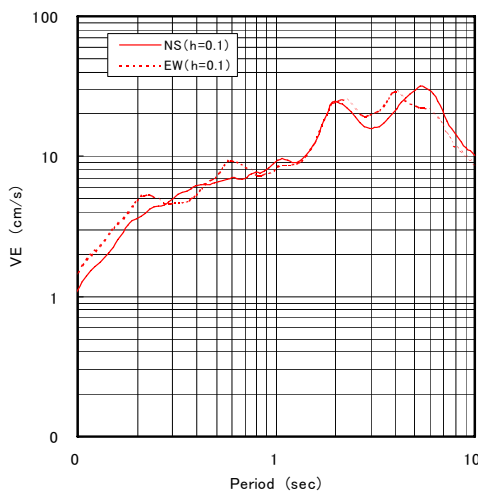


図-6 地表面観測波のエネルギースペクトル (減衰 10%)

また、本対象建物の地盤系で得られた観測記録の速度応答スペクトル (減衰 5%) およびエネルギースペクトル (減衰 10%) を図-5, 6 にそれぞれ示す。これらの図から、得られた地震動は周期 2 秒と周期 4 ~ 6 秒の成分が優勢であることがわかる。

3.2 設計時の解析モデル

設計時の解析モデルは図-7 に示すように、各層を 1 質点とした基礎固定の 33 質点等価せん断系モデルと、同様の解析モデルの基礎盤にスウェイ・ロッキングバネを付けた S-R モデルの 2 ケースで検討を行なっている。

各層の復元力特性は、静的弾塑性解析の結果を Tri-linear 型に理想化して作成し、その履歴特性は、変形量に応じて剛性低下する剛性逡減型のモデルとした。

建物の減衰は、基礎固定モデルにおいては、弾性時の 1 次固有周期に対して内部粘性系の瞬間剛性比例型とし一律 3% を与えた。S-R モデルでは上部構造は基礎固定とした時の弾性 1 次固有周期に対して 2%、基礎については

33質点の等価せん断系モデル

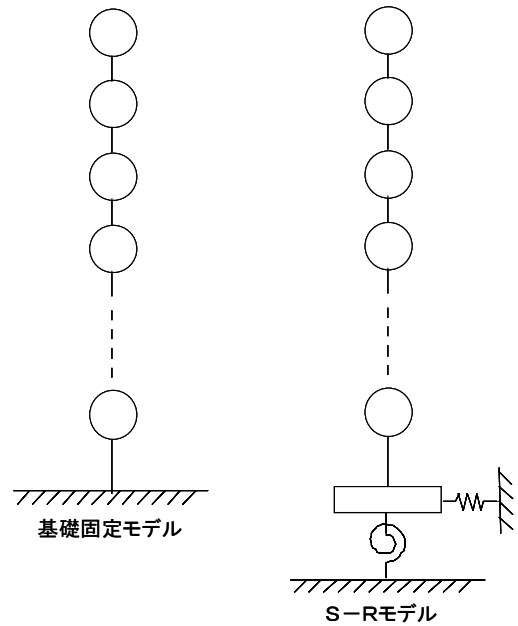


図-7 設計時の解析モデル

表-1 設計時の建物固有周期

次数	質点系モデルの固有周期 (秒)			
	基礎固定モデル		スウェイ・ロッキングモデル	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
1	1.590	1.593	1.840	1.842
2	0.657	0.653	0.667	0.668
3	0.405	0.405	0.413	0.414
4	0.291	0.291	0.296	0.297
5	0.231	0.232	0.237	0.237

全体系の弾性時の 1 次モードに対してスウェイ 10%、ロッキング 5% の減衰を仮定した。スウェイバネは線形バネとし、ロッキングバネは端部の杭が引き抜かれる点を降伏点とするバイリニアにモデル化した。

表-1 には質点系モデルによる建物固有周期を示す。1 次固有周期は両方向とも基礎固定モデルで約 1.59 秒 (0.63Hz)、S-R モデルで約 1.84 秒 (0.54Hz) となっている。

3.3 シミュレーション解析結果

(1) 最大加速度分布

最大加速度分布の結果を図-8 に示す。解析結果の最大加速度分布は、両方向とも S-R モデルによる応答値は基礎固定モデルの応答値に比べて大きくなった。また、解析結果を観測結果と比較すると、基礎固定モデルの応答値は観測結果の 1/2 程度となるのに対し、S-R モデルは EW 方向でやや過小評価ではあるが、基礎固定モデルに比べて観測結果とよく対応した。

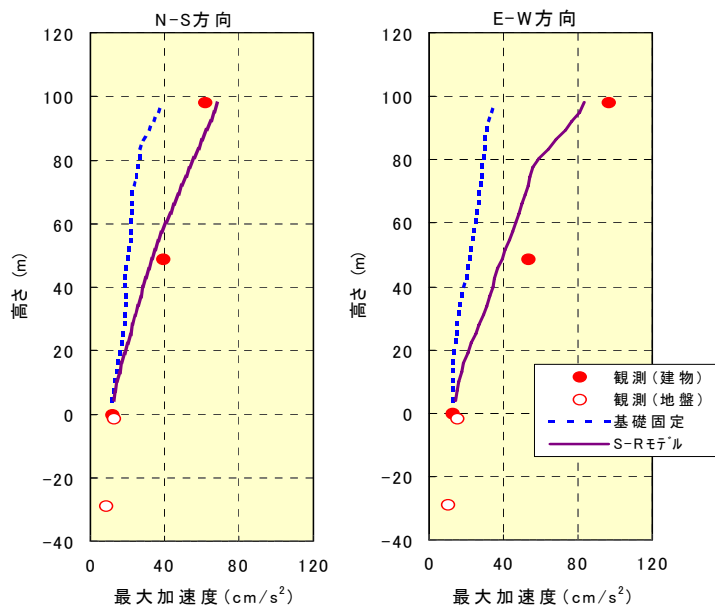


図-8 最大加速度分布 (左図: NS 方向<Y>, 右図: EW 方向<X>)

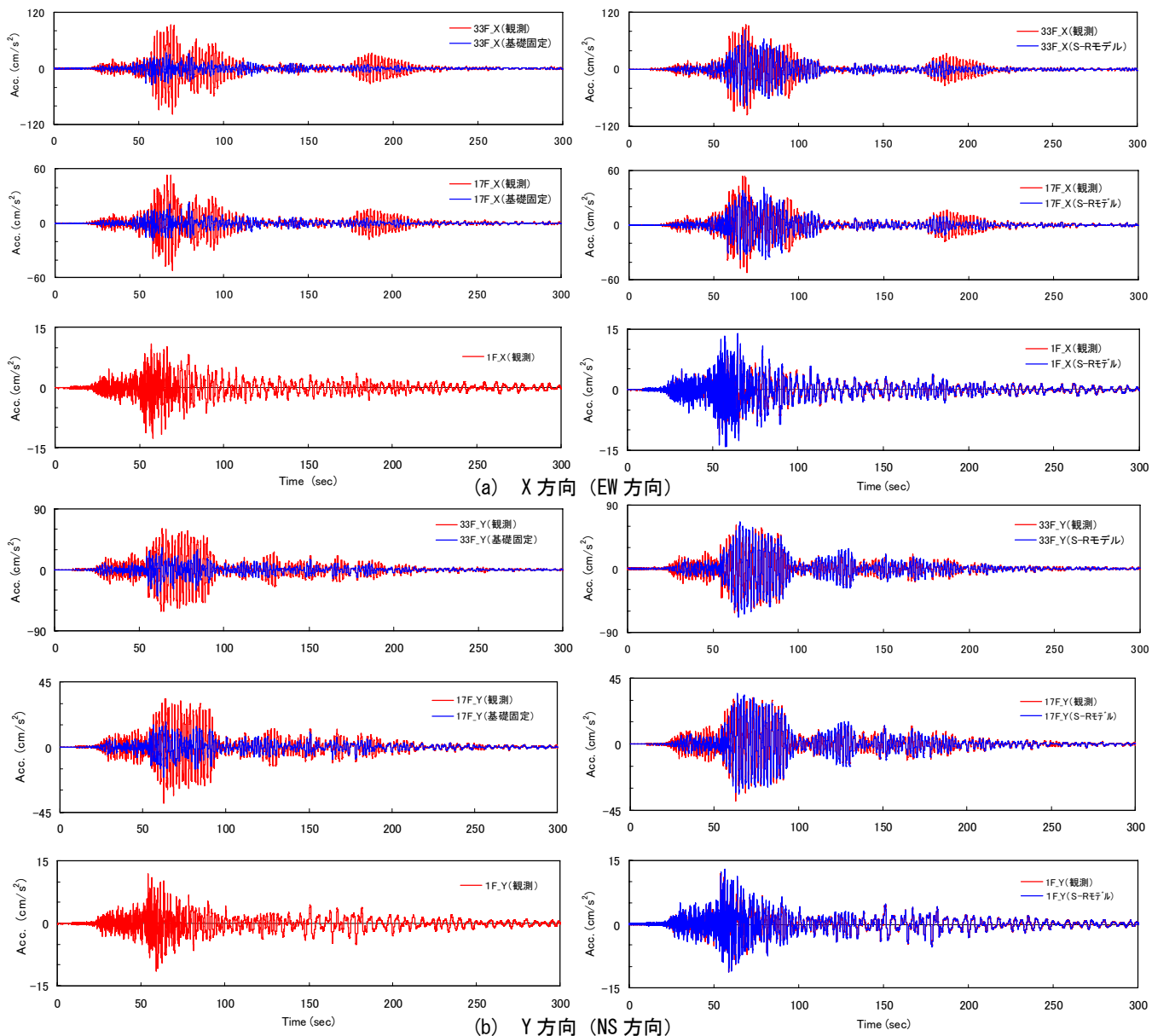


図-9 加速度波形 (左図: 基礎固定モデル, 右図: S-R モデル)

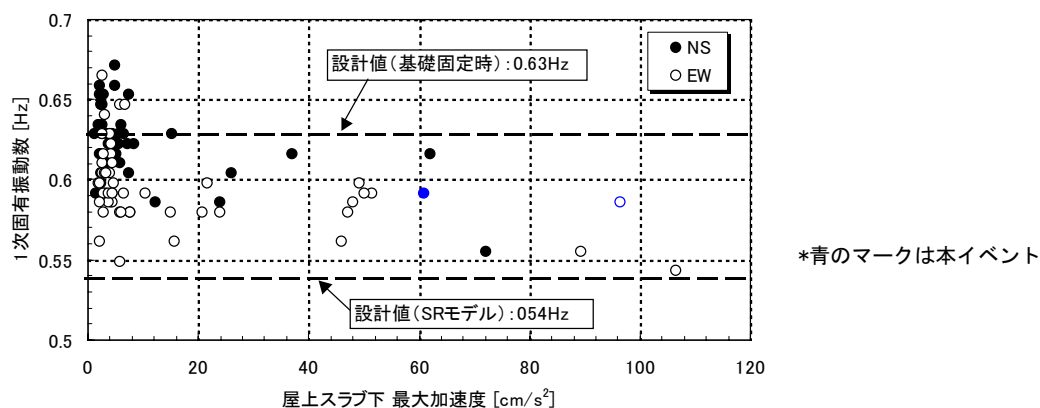


図-10 1次固有振動数の振幅依存性

(2) 加速度波形

図-9に観測結果と解析結果の加速度波形を示す。

図-8の最大加速度分布の傾向と同様に、基礎固定モデルによる応答波形は、観測波形の1/2程度と小さくなるのに対し、S-Rモデルの応答波形は、観測結果とよく対応した。これはS-Rモデルの1Fの加速度波形が位相も含めて観測結果とよく対応していることから判断できる。

3.4 固有振動数の振幅依存性

観測結果の1次固有振動数の振幅依存性について検討するため、本建物において2006年3月までに観測した50イベントの地震について、33F/1Fのフーリエスペクトル比から算出した1次固有振動数の33Fの最大加速度値による変化をプロットし、その結果を図-10に示す。

この図から、1次固有振動数は振幅に依存し低下する傾向が認められ、加速度が小さいレベルでは基礎固定時の固有振動数に近く、振幅が大きくなるとS-Rモデル時の固有振動数に近づく傾向が見られた。この1次固有

周期の振幅依存性については、地盤-建物の相互作用の影響や、2次部材の影響等が考えられ、今後検討の余地がある。

4. まとめ

神戸市に建つRC高層集合住宅(物件E)について、2004年9月5日の紀伊半島南東沖の地震(Mj=7.4)による建物の応答を、設計時のモデルを用いてシミュレーション解析を実施した。その結果、設計時のS-Rモデルによる応答値は基礎固定モデルの応答値に比べて、観測結果と良く対応する傾向を示した。

参考文献

- 1) (財)日本建築センター：ビルディングレター(’98.3)
- 2) 境，加藤，伊藤，今津：神戸市中央区に建つ高層集合住宅における地震観測，ハザマ研究年報，pp.29-34，2000.
- 3) 境，加藤，伊藤，小田：神戸市中央区に建設された杭支持高層建物の地震観測，日本建築学会大会梗概集，pp.309-310，B-2，2002.

Earthquake Motion Observation of High-Rise Residential Building in Kobe
- PART3 Observed Records of Offshore Southeast of Kii Peninsula Earthquake (Mj=7.4)
on September 5th in 2004 and a Simulation Analysis by Analytical Model in Design -

Shigeki SAKAI, Takashi KATO, Takayuki ITO and Tadashi KIMURA

In order to study the dynamic behavior of the soil-structure interaction during a strong ground motion, earthquake motion observation has been carried out in a 33 story pile-supported high-rise residential building in Kobe City from March 2000. At this building, the offshore southeast of Kii peninsula earthquake (Mj=7.4) on September 5th in 2004 was observed. This earthquake occurred in the neighborhood of the assumed source region of the Nankai and Tonankai earthquake and it is considered that the observation record of this earthquake is extremely valuable data in Kansai area to know the characteristics of the long-period ground motion and their influence to buildings. The observation records were analyzed, simulation analyses by the analytical model in design were carried out, and the response characteristics of the building and the validity of the design model were reviewed. As a result, the analysis result by the sway rocking model that considered the soil-interaction corresponded to the observation result better than that by the basic fixation model.