

## 人工地盤による免震構造（免震地盤）の地震応答低減効果に関する解析的研究

芝浦工業大学（学）綿引 泰治（現 日本交通技術株式会社）（フェロー）足立 格一郎  
（学）沼倉 貴雄（学）保田 崇 佐野 義尚

## 1. はじめに

近年、建築物の果たすべき社会的役割の変化、強地震動への理解の進展、免震装置の開発などの技術の進歩により免震構造が注目されている。免震構造とは、地震力に対し構造物の耐力を大にして安全を確保しようとするものではなく、地震動の性質を考慮しその影響を小さく抑えるという考えに基づいた構造である。こうした背景の中、地盤自体に免震効果を持たせる免震地盤という考えが出てきた。免震地盤は自然地盤上に内部減衰によって振動エネルギーを吸収する人工地盤（以下免震地盤）を敷設し、表層および建物での応答を低減させることを目的とする。その特徴は基礎全底面を均質材料で敷設するため構造的に単純である。構造物の基礎直下に免震効果の期待できる層の敷設が必要であるが、基礎構造に特別な対策は不要である。今後、免震地盤の性能が向上すれば地震防災の有力な方法の一つになりうると思われる。そこで本研究は、中層ビルや一般家屋を対象として免震地盤による地震応答低減効果を解析的に明らかにすることを目的として行なった。

## 2. 解析方法

解析は汎用の地盤・建物連成地震応答解析プログラムを用いて、有限要素法による2次元周波数応答動的解析を行う。解析では、入力地震波を高速フーリエ変換を用いて周波数領域に変換し応答解析を行い、逆フーリエ変換により時刻歴応答を求める。入力地震波の加速度応答スペクトルを図1に示す。神戸ポートアイランドの地下32mで観測された兵庫県南部地震（EW）の最大加速度462galを300galに修正し、モデル底面からX方向加振として入力する。解析モデルおよび境界条件を図2に、地盤の物性値および建物の物性値と寸法を表1に示す。地盤は、東京都新宿区戸山公園の地質を参考として、（ア） $V_s=90\text{m/sec}$ の層がGL-6m及びGL-10mまでである地盤、（イ）地表面まで硬質な地盤（ $V_s=460\text{m/sec}$ ）の3種類とする。建物は、直接基礎とし、基礎の埋め込み部分を必要としない建物（3階建）と基礎の埋め込み部分が必要な建物（7階建）の2種類とする。免震地盤は砕石とアスファルトを混ぜ合わせたアスファルトグラベルを高履歴減衰材として考え、ポアソン比0.4、密度 $2.0\text{t/m}^3$ 、 $V_s=448.4\text{m/sec}$ 、幅50m、深さ方向の層厚5mで一定として、減衰定数のみをパラメータとする。なお、解析では、減衰定数を履歴減衰として複素剛性で考慮している。

解析結果は建物の設計や建物内部の機材などの設計に重要となる応答加速度を中心とする。

## 3. 解析結果と考察

**（1） $V_s=90\text{m/sec}$ の層がGL-6mまでである地盤に対する地震応答低減効果（免震地盤は減衰定数20%、幅50m、層厚5m）:** 図3に地盤のみのモデルにおける地表面の加速度応答スペクトルと、地盤と3階建の連成モデルにおける建物の各固有周期に対する建物頂部の最大応答加速度を示す。地盤のみのモデルでは低減効果がない固有周期もあるが、地盤と3階建の連成モデルでは全固有周期で最大応答加速度が低減しており、周期0.19秒では約20%低減している。また、GL-10mまで $V_s$ の小さい層がある地盤に対しては、地盤と3階建の連成モデルの固有周期0.19秒で建物頂部の最大応答加速度が約60%低減し、低減後の最大応答値はGL-6mまで $V_s$ の小さい層がある地盤における結果と近い値であった。

**（2）地表面まで硬質な地盤に対する地震応答低減効果（免震地盤は減衰定数20%、幅50m、層厚5m）**

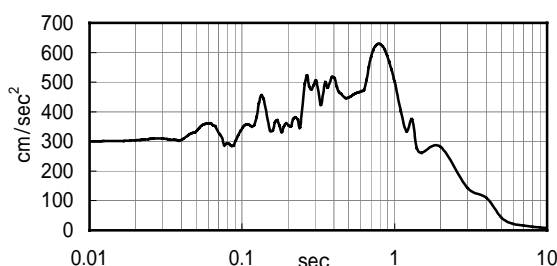


図1 入力地震波の加速度応答スペクトル

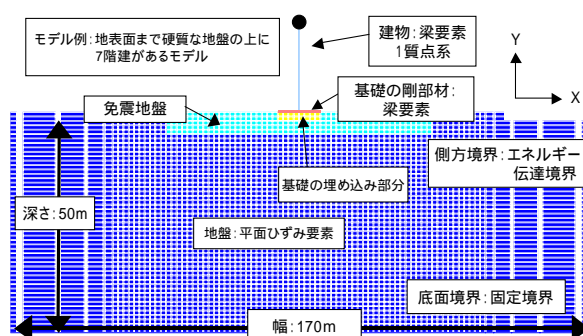


図2 解析モデルおよび境界条件

表1 地盤と建物の物性値および建物の寸法

地盤の物性値			
ポアソン比	$V_s(\text{m/sec})$	密度( $\text{t/m}^3$ )	減衰定数(%)
0.498	90	1.56	2
0.454	460	1.9	2
建物の物性値			
ポアソン比	ヤング率( $\text{kN/m}^2$ )	減衰定数(%)	
0.2	$2.5\text{E}+08$	5	
建物の寸法			
建物の種類	幅(m)	高さ(m)	基礎の埋め込み深さ(m)
3階建	8	8.1	0
7階建	8	20.2	2

キーワード：人工地盤，免震地盤，減衰定数，動的相互作用，地震応答低減，周波数応答動的解析  
連絡先：〒108-8548 東京都港区芝浦3-9-14 芝浦工業大学土木工学科地盤工学研究室

TEL03-5476-3048 FAX03-5476-3166

地盤モデルの深さ 50m（地盤モデルの固有周期約 0.43 秒）：図 4 に地盤 + 基礎の埋め込み部分ありのモデルにおける地表面の加速度応答スペクトルと、地盤と 7 階建の連成モデルにおける建物の各固有周期に対する建物頂部の最大応答加速度を示す。地盤 + 基礎の埋め込み部分ありのモデルでは、全固有周期において免震地盤の影響がない。地盤と 7 階建の連成モデルでは、全固有周期において低減し、周期約 0.47 秒では約 15% 低減する。また、この地盤モデル（地盤モデルの固有周期約 0.43 秒）の上に 3 階建を対象とした場合にも同様の傾向が得られている。しかし、3 階建を対象としたときの周期約 0.19 秒では約 4% の低減であり、7 階建を対象とした結果と比較すると、最大応答加速度の低減した割合が小さい。

このことから、地表面まで硬質な地盤を対象とするときに、免震地盤による低減効果が顕著となるのは、建物モデルの固有周期と地盤モデルの固有周期が近いときであることがわかる。現実的にこのようなケースとしては、固有周期約 0.1 秒の硬質な地盤上に一般家屋があるケースが考えられる。

地盤モデルの深さ 12m（地盤モデルの固有周期約 0.1 秒）：このことを踏まえ、地表面まで硬質な地盤モデルの物性値、幅、境界条件を変えずに、深さを 12m とした地盤モデル（地盤モデルの固有周期約 0.1 秒）を作成し、その上に一般家屋（3 階建）のある解析モデルで検討を行った結果を図 5 に示す。硬質地盤のみのモデルでは、全固有周期において免震地盤の影響がない。硬質地盤と 3 階建の連成モデルでは、全固有周期において低減し、周期約 0.19 秒では約 25% 低減する。

**(3) 免震地盤による最大応答加速度低減の理由**

図 6 に免震地盤の減衰定数を 2%, 5%, 15%, 20% と変化させたときの建物頂部における最大応答加速度の低減割合を示す。なお、モデルは地盤（地盤モデルの深さは図 6 に示す）と建物（3 階建・7 階建）の連成モデルである。Vs が小さい層を含む地盤に対しては、免震地盤を敷設することで約 20% 低減するが、免震地盤の減衰定数の変化による低減効果の違いはほとんどない。このことから Vs が小さい層を含む地盤では、免震地盤の減衰定数よりも免震地盤の剛性が周辺地盤の剛性より大きいことが応答加速度の低減に影響していると考えられる。地表面まで硬質な地盤に対しては、3 階建、7 階建ともに、免震地盤の減衰定数が大きくなるほど、低減効果も大きくなり、免震地盤の減衰定数が 15% 以上で低減効果が顕著になる。

**4. まとめ**

免震地盤を設計するためには、建物と地盤の動的相互関係を考慮したモデルで考えなければならない。

Vs が小さい層を含む地盤に対しては、免震地盤の高履歴減衰よりも、免震地盤の剛性が周辺地盤の剛性より大きいことが加速度応答を低減する。地表面まで硬質な地盤に対しては、免震地盤の高履歴減衰が加速度応答を低減する。特に建物と地盤の固有周期が近い場合には、低減効果が大きくなる。

免震地盤の改良範囲による影響は、改良範囲が大きくなることで低減効果も大きくなる。

**< 参考文献 >**

- 1) 岩崎等ほか：人工地盤による免震構造の地震応答低減効果に関する研究，土木学会第 54 回年次学術講演会，1999.
- 2) 鈴木康嗣ほか：地震応答を低減させるための人工地盤，土と基礎，Vol.44，No.5，pp.9-12.1996.

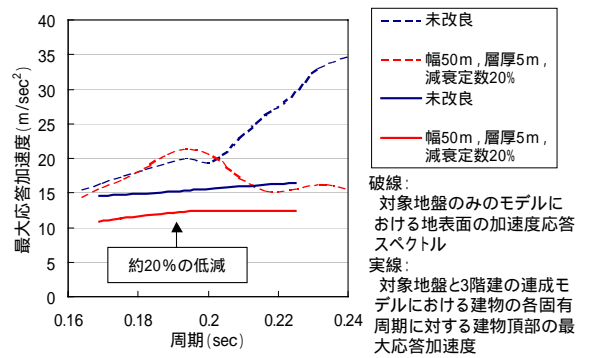


図3 地盤のみのモデルと建物-地盤連成モデルによる比較 (Vs=90m/secの層がGL-6mまでである地盤 建物3階建)

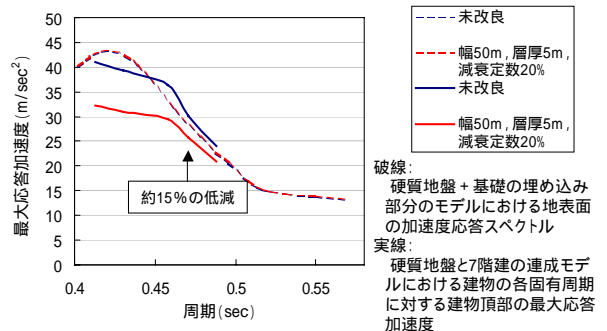


図4 地盤のみのモデルと建物-地盤連成モデルの比較 (地表面まで硬質な地盤 建物7階建 地盤モデルの深さ50m)

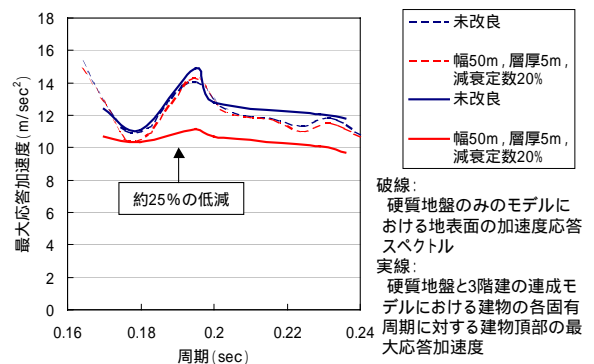


図5 地盤のみのモデルと建物-地盤連成モデルの比較 (地表面まで硬質な地盤 建物3階建 地盤モデルの深さ12m)

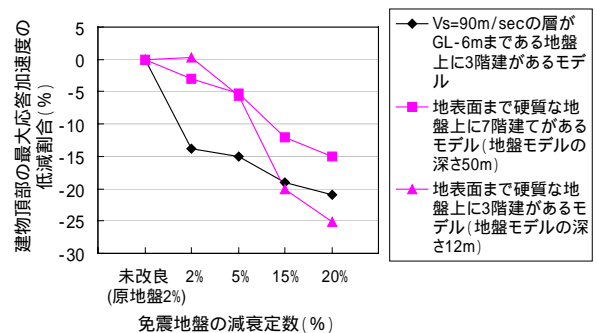


図6 免震地盤による建物頂部の最大応答加速度の低減割合