

I - B108 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

芝浦工業大学大学院（現 建設省）（正）○ 岩崎 等
芝浦工業大学（正） 足立 格一郎（正） 紺野 克昭
（学） 鈴木 絵理子（学） 菅沼 洋介

1. はじめに

近年、建築物の果たすべき社会的役割の変化，そして強地震動への理解，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ようという考えに基づいた構造である。こうした背景の中で，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，免震層）を敷設し，表層での地震時応答を低減させることを目的とし，その特徴は以下の通りである。①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。②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得ると思われる。そこで本研究では，免震地盤の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いる。

2. 解析方法

①自然地盤は東京都の晴海と戸山のものをそれぞれ表-1 および表-2 のようにモデル化し，用いる。なお，減衰定数は 5% を一定値として設定し，表示してある最下層を基盤層として解析上用いた。また，せん断波速度と減衰定数のひずみ依存性は考慮していない。

②免震層を自然地盤上に敷設した地盤を想定する。免震層モデルは 1 層，2 層の 2 種類とし，それぞれでパラメータを変化させる。地盤の材料減衰に関係する，減衰定数に注目し解析を行うこととし，せん断波速度を $V_s=200\text{m/sec}$ ，密度を $\rho=1.8\text{t/m}^3$ の一定値とした。1 層の場合の層厚および 2 層の場合の合計層厚は $D=1, 3, 5, 10\text{m}$ を，1 層の減衰定数は $h=5,$

10, 15, 20% を，そして 2 層の他の各パラメータは表-3 に示した値を用いた。なお，1 層の場合のみ免震層を敷設する方法を，自然地盤上に想定した免震層を乗せるとしたものの (Case-1) と，自然地盤を想定する免震層の層厚分掘削してから免震層を乗せるとしたものの (Case-2) の 2 種類とした。③入力地震波は兵庫県南部地震 ($M: 7.2$ ，震源：淡路島北部) の時に，ポートアイランドの地下 83m で観測された，加速度波形の NS-EW 各成分を用いる。解析では入力地震波を，高速フーリエ変換を用い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ている。地震波

表-1 晴海の地盤モデル

層番号	せん断波速度： $V_s(\text{m/s})$	密度： ρ (t/m^3)	層厚： D (m)
1	100	1.5	1.5
2	100	1.5	3.3
3	100	1.72	5.0
4	110	1.58	11.2
5	110	1.75	3.8
6	370	1.67	4.7
7	240	1.67	2.4
8	440	2.02	1.1
9	410	2.02	1.5
10	500	1.87	30.5
11	500	1.82	∞

表-2 戸山の地盤モデル

層番号	せん断波速度： $V_s(\text{m/s})$	密度： ρ (t/m^3)	層厚： D (m)
1	90	1.56	6.0
2	460	1.92	5.5
3	460	1.68	1.5
4	460	2.08	6.5
5	460	1.92	4.0
6	390	1.88	13.5
7	570	1.98	2.5
8	430	1.90	21.7
9	480	1.92	15.4
10	540	1.94	13.9
11	510	1.83	∞

表-3 2層の免震層モデル
のパラメータ

層数	2層
減衰定数の配置： $h(\%)$	(上)5-(下)15 (上)15-(下)5
各層の層厚比 (上：下)	1：1 3：1 1：3

キーワード：人工地盤，免震構造，減衰定数，材料減衰

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
TEL 03-5476-3048 FAX 03-5476-3166

の入力方法は、基盤層の上面での揺れとして捉えている。④地盤を1次元として捉え、実体波の重複反射理論に基づいたプログラムを用い、線形解析を行い、地表面での応答を算出する。

3. 解析結果と考察

(1)1層の免震層：最大応答加速度(絶対値)をまとめた一例を図-1に示す。なお、図中の「無」は免震層を敷設しない場合を示している。

図より、層厚および減衰定数が増加するほど低減効果は大きくなることわかる。しかし、層厚が薄い場合(ここでは1m)には増加するものもある。

ここで、免震層のみの減衰定数に着目してみる(図-2)。図より、免震層の層厚によりピークが存在する振動数が大きく変化していることがわかる。そして、そのピークにおいては減衰定数が増加することによる低減の効果が大きく現れている様子が見て取れる。よって、入力地震と地盤条件の特性に依存した地震動の卓越振動数に対し、免震層の層厚に依存する応答倍率のピークがどこに存在するかということが、免震地盤の地震応答低減効果に大きく関係していると考えられる。

(2)2層の免震層：最大応答加速度(絶対値)をまとめたものの一例を図-3に示す。厚い方の層の影響が大きく出ていること、つまり、 $h=5\%$ の層が厚い場合には低減効果が比較的小さく、 $h=15\%$ の層が厚い場合には低減効果の大きいことがわかる。また、下部に減衰定数の大きい層(ここでは $h=15\%$)が存在する方が低減効果は大きいことがわかる。

(3)1層と2層の免震層の比較：1層と2層の結果を比較すると、減衰定数の大きな層を分割するよりもまとめた方が低減効果は大きいという傾向が現れている。

なお、入力地震波がEW成分の場合および自然地盤が晴海の場合も、(1)～(3)に示した結果とほぼ同様の傾向の結果が得られた。

4. まとめ

免震地盤の地震応答低減効果を解析的に検討した結果、以下のことがわかった。

- ①免震層はある程度の層厚を設ければ、減衰定数および層厚に比例して低減効果は大きくなる。しかし、層厚が薄い層が存在する場合には増幅する可能性もある。
- ② $h=15\%$ の免震層を $D=5m$ 敷設した場合、最大で約40%、平均して20%前後の低減効果が現れる。
- ③免震層の層厚を、地震波の卓越振動数付近での減衰が顕著になるよう設定すると、減衰定数による低減効果は大きくなる。
- ④免震層を多層構造とする場合、下層に減衰定数の大きい層をまとめて配置した方が低減効果は大きくなる。

謝辞：本研究に使用した地震記録については関西地震観測研究協議会により提供されたものであります。

ここに記して、謝意を表します。

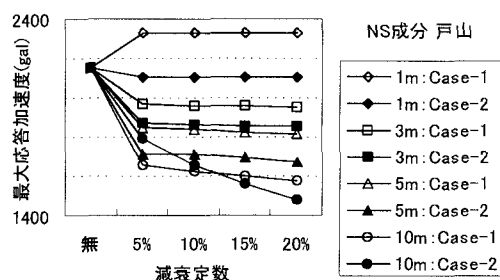


図-1 1層の免震層の最大応答加速

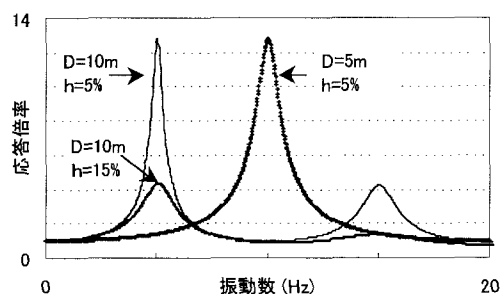


図-2 免震層のみの応答倍率

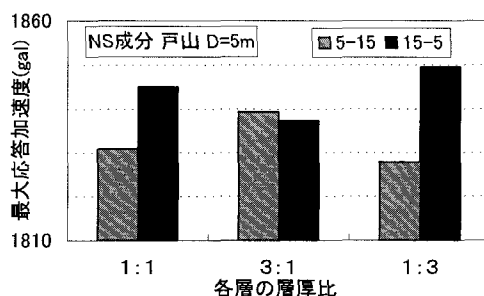


図-3 2層の免震層の最大応答加速度