

格子状固化で改良された大規模な鉱さい斜面の地震応答

鹿島建設(株) 引田 智樹

鹿島建設(株) 正会員 ○山田 岳峰 富樫 昇 中島 悠介

住友金属鉱山(株) 梅寺 誠 瀬尾 隆男

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震以降、規模等の特定の条件に該当する全国の鉱さい堆積場を対象に、レベル 2 地震動に対する安定化検討が行われている。鉱さいの液状化に起因した堆積場斜面部（勾配は約 20 %）の滑動がレベル 2 地震時に懸念された内盛り式積み上げ型の堆積場を対象に、筆者らは、液状化対策として格子状固化（格子間隔 10 m、壁厚 1 m）を斜面部に施工することで地震時の安全性を確保した^{1), 2)}。液状化が懸念される大規模な斜面に格子状改良した事例が過去に少ないことから、設計の際には、数値解析や遠心模型実験を行い対策の有効性ならびに性能設計の妥当性を検証している^{3), 4)}。さらに対策後、地震観測を行い、改良地盤の地震応答を追跡調査している。本稿では、格子状固化で改良された鉱さい斜面の地震応答を紹介する。

2. 斜面の地震観測と震動性状

堆積場の斜面部では、地表面と地中（GL-19.6 m）において 3 成分加速度計（それぞれ過減衰型、サーボ型）を設置し地震観測を行っている。地震計の設置位置を図-1 に示す。設計で想定した地震観測位置における地盤の地層構成および密度、S 波速度を表-1 に示す。2017/3～2017/8 の期間に観測した 13 地震記録の震央位置を図-2 に示す。13 記録のうち地表最大加速度が最も大きかった 2017/7/11 の薩摩半島の地震(M5.3, No. 12)による観測加速度波形（NS 成分）を図-3 に示す。最大加速度応答は、地中 3.2 gal に対して、地表 6.3 gal であった。

13 記録の水平 2 成分を用いて地表／地中の観測地盤伝達関数を評価し、鉱さい堆積場斜面部の震動性状を確認した。13 記録か

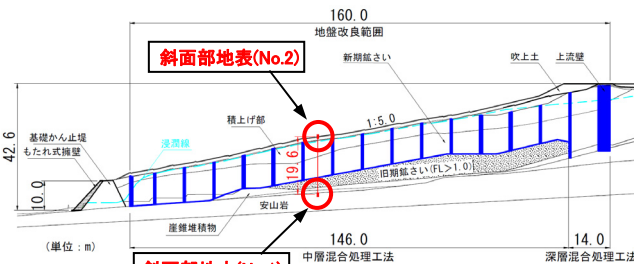


図-1 地震計設置位置

表-1 観測位置付近の地層構成および物性

No.	土質名称	上面深度 (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	初期モデル (鉱さいのみ)		最適化モデル			
					S波速度 (m/s)	減衰定数 $h=h_0f^{-\alpha}$	S波速度 (m/s)	減衰定数 $h=h_0f^{-\alpha}$		
1	覆土(表土)	0	0.3	1.63	130	0.05	0	0.436	0.666	
2	吹上土	0.3	1.5	1.76						
3	積み上げ部～新規鉱さい	1.8	6.03	1.90						
4	旧期鉱さい	7.83	6.62	1.72	140					
5	崖錐堆積物	14.45	1.55	2.00	180					
6	安山岩	16	-	2.09	920					

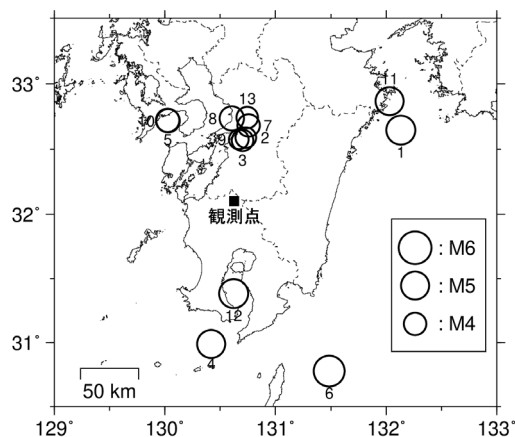


図-2 観測地震の震央分布

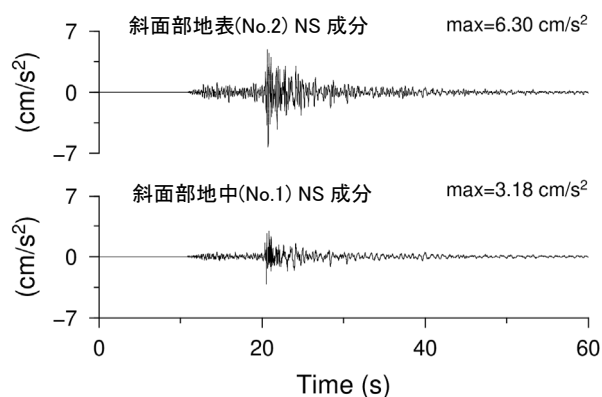


図-3 観測加速度波形の例 (No. 12)

キーワード 鉱さい, 斜面, 液状化対策, 格子状改良, 地震観測

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL 03-5544-0628

ら評価した水平 2 成分の平均伝達関数の振幅と位相を図-4 に示す。比較のため、表-1 に基づいて仮定した初期モデル（鉱さいのみ、即ち格子状改良なし）の水平成層地盤モデルに対して、一次元重複反射によって求めた理論伝達関数を図-4 に重ね書きして示している。理論伝達関数の一次卓越振動数が約 2 Hz であるのに対して、観測地盤伝達関数の一次卓越振動数は 5 Hz 付近に認められる。これは格子状改良の効果により、改良地盤のせん断剛性が鉱さいの物性のみから予想される値よりも高いためと考えられる。

3. 改良地盤の等価物性の評価

観測地盤伝達関数と水平成層地盤モデルによる理論伝達関数のフィッティングにより、観測結果を再現するための等価な物性として各層の S 波速度および全体の減衰定数を推定した。伝達関数のフィッティング結果を図-5 に、推定した S 波速度と減衰定数を表-1（最適化モデル）に示す。S 波速度については、基盤岩の速度は初期モデルのまま固定し、それよりも浅部層の速度を推定した。なお層厚が薄い層（表 1 で 1, 2, 5 の各層）の速度の感度が低いことから、1~3 層目および 4~5 層目のそれぞれについて、各層の速度比を拘束して推定を行った。S 波速度推定結果は、初期モデルよりも 1.7~2.4 倍大きい値を示した。せん断剛性は S 波速度の 2 乗に比例することから、改良地盤のせん断剛性は、改良前と比べ概ね 3~5 倍増大していると評価できる。

4. まとめ

観測地盤伝達関数から格子状固化を施工した鉱さい斜面の 1 次卓越振動数が約 5 Hz であり、鉱さいの物性から予想される値（約 2 Hz）よりも高いことがわかった。この差異は、斜面を格子状改良することで地盤のせん断剛性が増加したためと考えられる。観測地盤伝達関数と水平成層地盤を仮定した一次元重複反射で等価地盤物性を推定した結果、鉱さいの物性のみから考えられるせん断剛性（改良前）と比較して、改良後の地盤のせん断剛性は 3~5 倍程度高くなっていると考えられる。

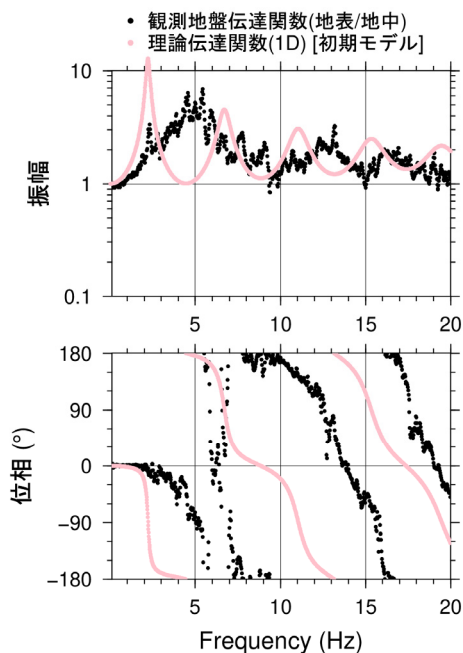


図-4 観測地盤伝達関数と初期モデルによる理論伝達関数の比較

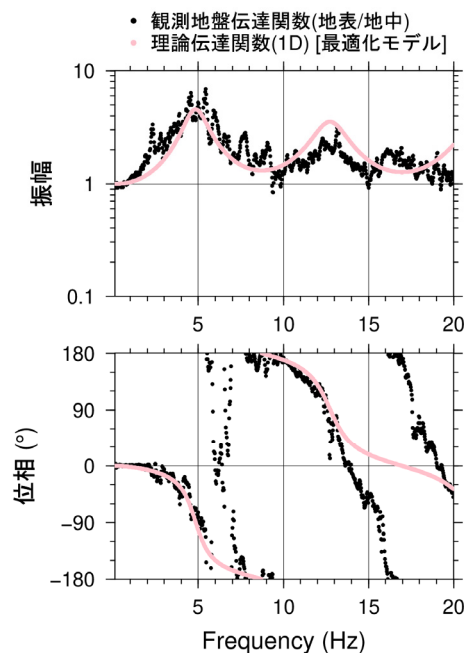


図-5 観測地盤伝達関数と最適化モデルによる理論伝達関数の比較

参考文献

- 1) 梅寺ら：住友金属鉱山における鉱さい堆積場安定化対策の取り組みについて，平成 28 年度全国鉱山・製錬所現場担当者会議，資源・素材学会誌，2016.
- 2) 中島ら：鉱さいのセメント改良による配合検討，土木学会第 70 回年次学術講演会，pp. 715-716，2015.
- 3) 大石ら：鉱さい堆積場におけるレベル 2 地震時の液状化対策工の設計，木学会第 70 回年次学術講演会，pp. 713-714，2015.
- 4) 中島ら：格子状地盤改良による鉱さい堆積場の液状化対策に関する遠心模型実験，第 51 回地盤工学研究発表会，pp. 1719-1720，2016.