

鉱さい堆積場のレベル2地震動に対する耐震設計に関する研究 (その1) ～鉱さい堆積場におけるセメント改良の強度発現特性～

大成建設(株) 正会員○千野和彦 正会員 広重敬嗣 正会員 立石 章 正会員 畑 明仁
JX 日鉱日石金属(株) 山田誠之 田口裕之

1. 研究の概要

平成24年の鉱さい堆積場についての技術指針¹⁾改訂をきっかけとして、全国に存在する内盛式鉱さい堆積場について、レベル2地震動に対する安定化検討が求められることとなった。鉱さい堆積場は、立石²⁾による研究においても被害事例がシミュレーションされているように、液状化により安定性を失い大規模な崩壊を起こすことが知られている。そのため、鉱さい堆積場の安定化対策には、経済的な液状化対策工法のひとつである格子状地盤改良工法が広く採用されている。しかし、鉱さい堆積場の格子状地盤改良の設計における改良体剛性の評価方法や、沢地形に築堤された鉱さい堆積場の3次元的地震時挙動については明らかにされていない。これらの点を解明し、安定対策の設計に取り入れることができれば、さらなる対策の経済化を図ることが可能である。

本研究では、鉱さい堆積場の合理的な対策工の設計手法を開発することを目的として、解析に基づく検討を実施した。このうち本稿では、格子状地盤改良の設計手法の合理化を目的とし、鉱さい堆積場におけるセメント改良工法の発現強度特性の施工実績を調査した。次に、広重・畑ら³⁾は、本調査結果に基づき、改良体剛性分布のばらつきを有する格子状地盤改良の液状化抑制効果に関する解析を行い、改良体剛性の合理的な設定方法を検討した。

一方で、原・広重ら⁴⁾は、鉱さい堆積場の地震時3次元挙動の解明を目的とし、2次元および3次元モデルによる地震応答解析を実施し、解析結果に基づく液状化判定を行っている。

2. 格子状地盤改良の剛性の設定方法について

内盛式鉱さい堆積場の断面図の例を図1に示す。沢状の地形に鉱さい(スライム)が堆積された鉱さい堆積場の安定化対策としては、格子状地盤改良工法が多く用いられている。格子状地盤改良の設計においては改良体の剛性の設定が重要な要素となるが、従来の設計では、地盤改良体の設計基準強度 F_c に相当する剛性を設定する方法が用いられている。一方、図2に示すように、現場においては発現強度が十分高い確率で設計基準強度を上回ることが求められるため、実際の格子状地盤改良の平均的な剛性は、設計基準強度に対応する剛性よりも大きいことが予測される。したがって、格子状地盤改良の設計において、設計基準強度相当の剛性より高い実際の改良体剛性を用いることで、従来の設計手法よりも改良仕様の低減を図れる可能性がある。

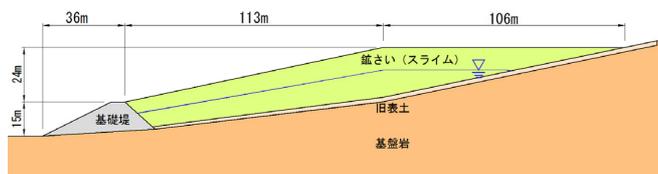


図1 鉱さい堆積場断面図の例

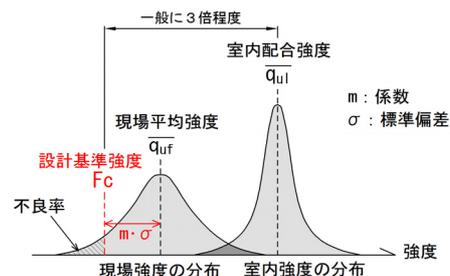


図2 セメント改良体強度分布の概念

これらのことに着目し、本稿では、鉱さい堆積場におけるセメント改良の発現強度特性を調査し、広重・畑ら³⁾の格子状地盤改良の解析モデルによるモンテカルロシミュレーションに用いる基礎的データの収集を行った。

3. 鉱さいの土質特性

鉱さいは、金属鉱山において採掘された鉱石から有用鉱物を選鉱する際に発生する泥状物質である。一般に、鉱さいは粒径0.1mm以下の微細成分を多く含有するが、粒度構成が均等で、低粘性・低塑性であることから、浸潤水位の高い鉱さい堆積場においては、液状化により堤体の安定性が著しく低下することが知られる。ここで、1978年伊豆大島近海地震により液状化流動事故が発生した持越鉱山における鉱さいの土質特性を表1に示す。(大草ら⁵⁾)

キーワード 鉱さい堆積場, 液状化, 格子状地盤改良

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 大成建設(株)土木設計部 TEL 03-5381-5418

また、Ishihara, Yasuda, et al.⁶⁾は、鉱さいの繰り返しせん断応力比 R_{L20} についての簡易推定式を示している。

このような自然堆積地盤と異なる鉱さい特有の性質についてはこれまで多くの研究が行われているが、セメント改良時の強度特性について調べた例は少ない。本稿では、鉱さいを対象としたセメント改良体の一軸圧縮強度試験データを収集した。ここで対象としたデータは、全てスラリー混合攪拌方式のセメント改良工法により造成された地盤改良体をコアサンプリングしたものである。また、室内配合強度 q_{ul} は設計基準強度 F_c の3倍とし、 $F_c=420\text{kN/m}^2$ 、 700kN/m^2 に対し、セメント添加量はそれぞれ 170kg/m^3 、 200kg/m^3 としている。

表 1 鉱さいの土質特性⁵⁾

持越鉱さいダム (シルト)	
単位体積重量 γ	17.7 - 1.91 kN/m^3
間隙比 e	0.6 - 1.1
自然含水比 w	26 - 51 %
平均粒径 D_{50}	0.043 - 0.065 mm
粘土分含有率	25 %
透水性係数 k	$10^{-6} - 10^{-7}$ cm/sec
塑性指数 I_p	10.0
非排水せん断強度 C_u	3 - 7 kN/m^2

4. 鉱さい地盤におけるセメント改良の発現強度分布

改良体の一軸圧縮試験結果を、材齢別に整理したものを図 3 に示す。図 3 の結果より、材齢 28 日以降では材齢と改良体発現強度の間に有意な関係性は確認できない。このことより、改良体の発現強度に及ぼす改良体材齢の影響は小さいものと考え、図 4 および表 2 のように、設計基準強度 F_c ごとに発現強度分布を正規分布により整理した。

ここで、設計基準強度 $F_c=700\text{kN/m}^2$ の試験データを採取した堆積場 A・B についての、鉱さいの粒径加積曲線を図 5 に示す。図 5 より、両堆積場における鉱さいの粒度構成はよく一致しており、鉱さいの土質特性についても類似の特性を有するものと考えられる。このことから、図 4 および表 2 においては、設計基準強度 $F_c=700\text{kN/m}^2$ は両堆積場のデータを混合して整理している。

これらの結果より、設計基準強度 $F_c=420\text{kN/m}^2$ 、 700kN/m^2 でそれぞれ、平均強度 μ_f は設計基準強度 F_c の 2.9 倍、2.2 倍の値が得られている。また、変動係数 V_i それぞれ 26%、32% 程度であり、一般的な地盤改良の変動係数 20~45%⁷⁾ の範囲内であることが確認された。

5. まとめ

鉱さい堆積場における改良体コアの強度試験結果を調査し、強度発現特性を確認した。今後、更なる施工実績データの蓄積により、鉱さい堆積場における改良体発現強度についての知見を増やしていく予定である。

参考文献

- 1) 経済産業省：鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令の技術指針，pp113-120，平成24年11月30日。
- 2) 立石：鉱さい堆積場の液状化被害の有効応力動的解析によるシミュレーション，土木学会第69回年次学術講演会，2014。
- 3) 広重・畑ら：鉱さい堆積場のレベル2地震動に対する耐震設計に関する研究（その2）～格子状地盤改良の剛性のばらつきが液状化抑制効果に及ぼす影響～，土木学会第70回年次学術講演会，2015。（投稿中）
- 4) 原・広重ら：鉱さい堆積場のレベル2地震動に対する耐震設計に関する研究（その3）～2次元・3次元地震応答解析による地震時挙動の評価～，土木学会第70回年次学術講演会，2015。（投稿中）
- 5) 大草・毎熊ら：鉱さいの微細構造と液状化，第15回土質工学研究発表会講演集，pp177-180，1980。
- 6) Ishihara, K., Yasuda, S., Yokota, K.: Cyclic strength of undisturbed mine tailings, In Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, University of Missouri-Rolla, St. Louis, Vol. 1, pp53-58, 1981.
- 7) 日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計および品質管理指針，pp38-39，平成17年2月。

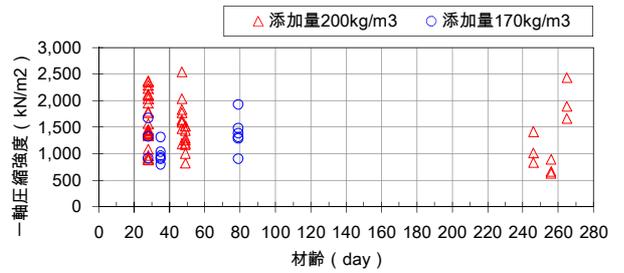


図 3 改良体の材齢と発現強度の関係

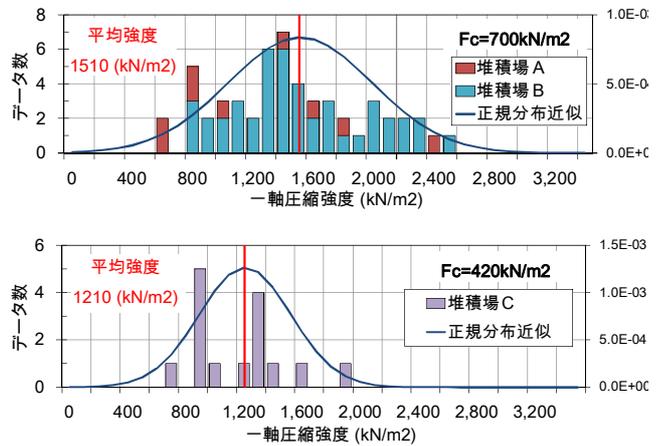


図 4 設計基準強度別の改良体発現強度分布

表 2 改良体強度分布の確率統計量

設計基準 F_c (kN/m^2)	サンプル数 n	平均強度 μ_f (kN/m^2)	強度比 μ_f/F_c	標準偏差 σ_f (kN/m^2)	変動係数 V_i (%)
700	54	1510	2.2	478	32
420	15	1210	2.9	315	26

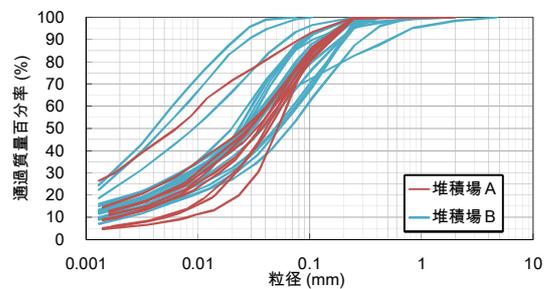


図 5 鉱さいの粒径加積曲線