

鉱さい集積場における高強度セメント改良体の強度発現特性について

JX 金属(株) 田口裕之 須本祥太

大成建設(株) 正会員○吉田龍平 正会員 広重敬嗣 正会員 千野和彦

正会員 松井秀岳 正会員 立石 章

1. 研究の概要

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、安定性が懸念される内盛式鉱さい集積場(以下、集積場)に対して、安定化対策工事が進められている。傾斜地盤に対する種々の安定化対策工法のうち、集積場ではセメント改良による対策工法が多く採用されている。

本研究は、千野・広重ら¹⁾の研究に引き続き、集積場におけるセメント改良体の強度発現特性について調査するものである。今回、新たにセメント改良工法による安定化対策工事を実施した集積場において、従来の施工事例よりも高強度改良による実績データを収集・分析したため、これについて結果を報告する。

2. 安定化対策工事概要

本集積場(以下、集積場D)の断面図を図1に示す。築堤方式は内盛式となっており、鉱さい集積物のすべり安定化対策工事として中圧噴射機械攪拌工法(MITS工法)による地盤改良を行った。セメント改良体の設計基準強度 F_c は $1,100 \text{ kN/m}^2$ であり、同工法における施工実績 $100\sim 900 \text{ kN/m}^2$ 程度²⁾に比べて高強度の改良仕様となっている。

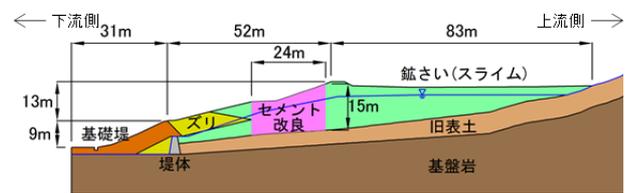


図1 集積場断面図

集積場Dにおける地下水位面は、図1に示す深度に存在しており、後述のように、鉱さいの自然含水比に応じて、地下水位以浅と以深でセメント添加量をそれぞれ 240 kg/m^3 、 290 kg/m^3 とした。セメント種別は高炉B種である。

3. 鉱さいの土質特性

集積場Dにおける鉱さい(スライム)の土質試験結果を表1に、粒径加積曲線を図2に示す。鉱さいの自然含水比 w の深度分布を図3に示す。自然含水比の値に外れ値はあるものの、地下水位以浅と比べて以深の方が自然含水比 w が大きくなっていることが分かる。自然含水比 w 以外の地盤物性値については、深度方向での値のバラつきは見られなかった。

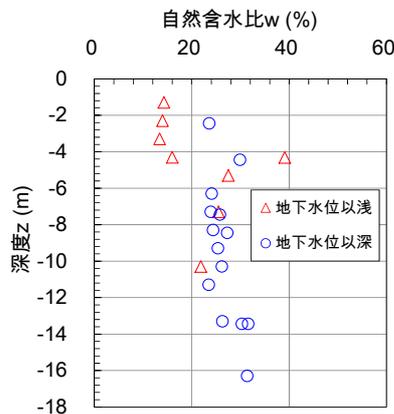


図3 鉱さいの自然含水比分布

表1 集積場Dの鉱さい土質試験結果

項目	単位	平均値	分布範囲
土粒子密度 ρ_s	g/cm^3	2.77	2.71 - 2.85
湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.91	1.81 - 1.99
間隙比 e	-	0.86	0.77 - 0.91
自然含水比 w	%	25	13 - 39
平均粒径 D_{50}	mm	0.095	0.029 - 0.145
細粒分含有率 F_c	%	43.4	23.9 - 80.1
塑性指数 I_p	-	-	NP - 19.3
粘着力 c'	kN/m^2	12.8	1.8 - 24.9
内部摩擦角 ϕ'	deg	36.5	34.2 - 38.6
液状化強度 RL_{20}	-	0.189	0.175 - 0.202

なお、一般的に鉱さいは細粒分含有率 F_c が大きいものの、塑性指数 I_p が小さいことから、地震時に液状化しやすい性質がある。表1および図2より、集積場Dにおける鉱さいについても、細粒分含有率 F_c と塑性指数 I_p に同様の傾向が見られ、液状化強度 $RL_{20} = 0.189$ であることから、地震時に液状化の発生が懸念される。

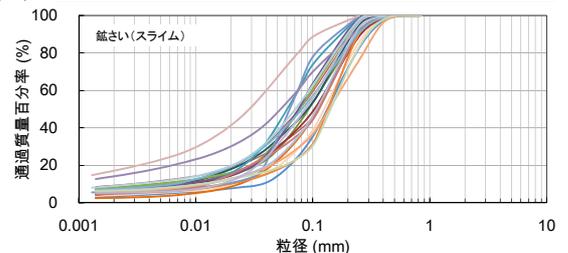


図2 鉱さいの粒径加積曲線

キーワード 鉱さい集積場, セメント改良

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

4. 室内配合試験結果

母材の自然含水比 w が改良土の強度に与える影響を考慮するため、室内配合試験には地下水位以浅と以深の2か所から母材試料(スライム)を採取した。地下水位以浅と以深で自然含水比 w はそれぞれ 20.3%、25.8%である。なお、室内配合強度 q_{ui} は設計基準強度 F_c の3倍(3,300 kN/m^2)とした。母材の水分を含む改良土のセメント全水量比 C/W_t と一軸圧縮強さ q_u (材齢 28 日) の関係を図4に示す。セメント全水量比 C/W_t と一軸圧縮強さ q_u には相関がみられ、砂質土を母材とする改良土の $q_u \sim C/W_t$ 関係³⁾と同等の強度水準・類似の傾向を確認した。室内配合試験の結果、セメント添加量は地下水位以浅と以深でそれぞれ 240 kg/m^3 、290 kg/m^3 とした。

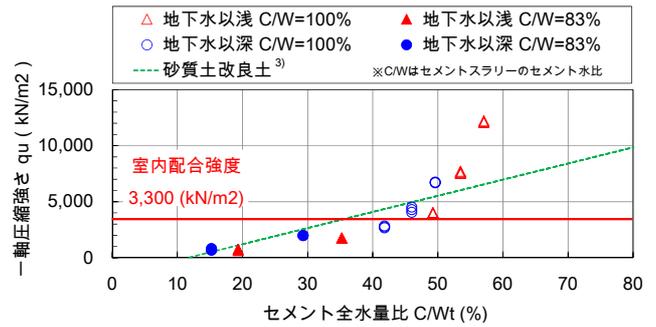


図4 セメント全水量比と一軸圧縮強さの関係

5. 現場発現強度特性

セメント改良工事を実施したのち、現場発現強度 q_{uf} を確認するため、地下水位以浅と以深の地盤改良体に対してチェックボーリングを行った。今回得られた改良体の発現強度分布を、正規分布として整理した結果を図5に示す。地下水位以浅・以深で強度の頻度分布に差がないことが確認でき、地下水位を境に配合を変えたことで同等の強度が発現されたものと思われる。表2には、今回得られたデータとともに既往の集積場における改良体強度の統計量を、設計基準強度 F_c ごとに整理した。表2より、今回の集積場では平均強度 μ_f は設計基準強度 F_c の2.4倍の値が得られている。また、変動係数 V_i は28%であり、既往の集積場における変動係数 V_i と同等であることが確認された。

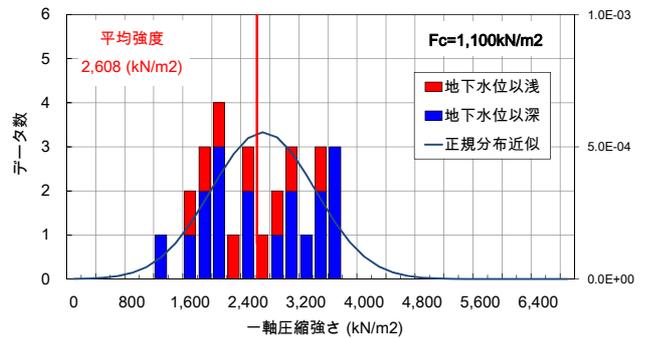


図5 改良体現場発現強度分布

表2 改良体強度の統計量

設計基準強度 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 (%)	備考
1,100	27	2,608	2.4	719	28	集積場D(今回)
700	54	1,510	2.2	478	32	集積場B・C(既往)
420	15	1,210	2.9	315	26	集積場A(既往)

集積場A~Dにおける設計基準強度 F_c と現場発現強度 q_{uf} の関係を図6に示す。鈷さい改良土の $q_{uf} \sim F_c$ 関係は、一般的な地盤(粘性土・砂質土・有機質土)の $q_{uf} \sim F_c$ 関係²⁾の平均的な位置にプロットされており、類似の傾向が見られることを確認した。

6. まとめ

集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。この結果、設計基準強度 $F_c = 1,100 \text{ kN/m}^2$ の高強度のセメント改良体に対しても、既往集積場と同様の現場発現強度特性が見られることが分かった。今後、更なる施工実績データの蓄積により、集積場における改良体発現強度についての知見を蓄積していく予定である。

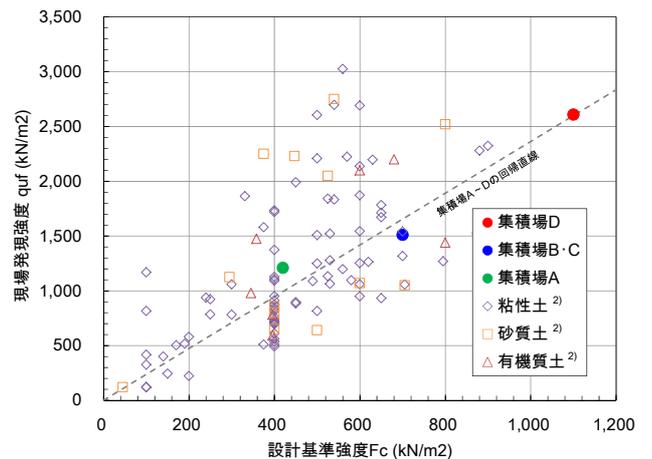


図6 設計基準強度と現場発現強度の関係

参考文献

- 1) 千野・広重ら：鈷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)~鈷さい堆積場におけるセメント改良の強度発現特性~, 土木学会第70回年次学術講演会, 2015.
- 2) MITS工法協会：MITS工法技術資料, pp23-26, 2012年5月.
- 3) 日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針, pp313-314, 平成14年11月.