

TOFT 工法での本体自立土留を用いた集積場の安定化工事

三菱マテリアル（株） 鳥居 雅規 沖本 展尚 水越 悠文
 （株）大林組 正会員 ○長谷川 甫 正会員 八代 真次 正会員 榊原 直樹

1. はじめに

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震により、関東と東北にある 3 つの内盛り式スライム集積場において、液状化・すべり等が発生し、集積物が下流の河川、田畑等へ流入する鉱害事故が発生した。この事故を重くみた監督官庁の経済産業省は、2012 年 11 月に集積場技術指針を改正し、レベル 2 地震動に対する安定性の規定を追加した。この改正を受けて、休止して 30 余年になる A 鉱山の 2 つの集積場（図-1）において、TOFT 工法による安定化工事を実施することとなった。

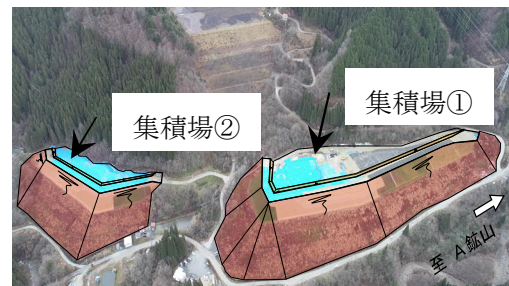


図- 1 集積場俯瞰図

A 鉱山では、採掘や選鉱により発生した捨石や鉱さい、排水処理で発生した中和澱物を同鉱山の下流にある集積場に堆積、処分している。本報文では、人工軟弱地盤における大型改良機を支える表層改良と集積場の法面側の改良部の施工で、TOFT 工法の改良体本体を自立土留めとした事前調査・解析・施工結果について報告する。

2. 現場の概要

図- 2 に集積場①および②の地質断面図を示す。A 鉱山の集積場は、堤体部の Fs1 層（粘性土質砂 SCs）、集積物である鉱さいの Fs2 層（粘性土質砂 SCs）および Fc2 層（粘性土 Cs）から構成されている。レベル 2 地震動に対する全応力動的解析（FLUSH）の結果、鉱さい層（Fs2、Fc2）の大部分が液状化層（青塗）であり、集積場の基礎堤背後から地山層まで広範囲に分布している。また、鉱さいは堤体から地山側に送泥管を用いて撒きだし堆積させているため、当該人工地盤は強度のばらつきが大きいこと及び堤体から離れるほど軟弱になることが特徴である。

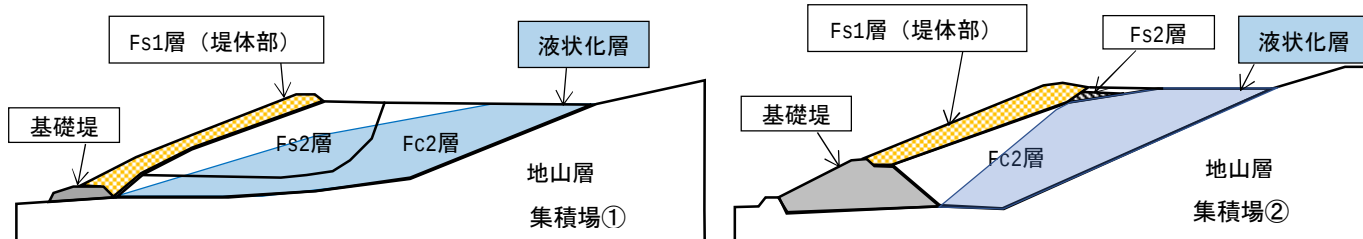


図- 2 集積場①および②地質断面図

3. 工事の特徴と課題

(1) 表層改良厚さの最小化

深層混合改良施工時には、大型機械足場の表層改良が必要であり、改良厚さの検討を最も軟弱な Fc2 層で実施した。施工機械の最大接地圧を等分布荷重と仮定した図- 3 に示す簡易算定方法を用いると必要改良厚は $t=3.2\text{m}$ となり、その最小化が課題となった。

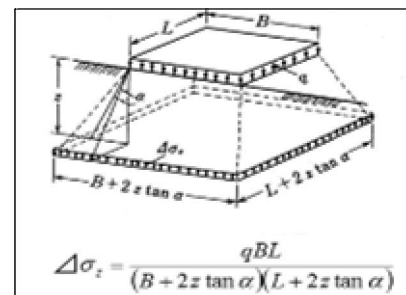


図- 3 簡易検討荷重分散モデル

(2) 自立土留めの安定性担保

対策範囲に堤体法面部も含まれるため、大型機械施工ヤード確保の土留めが必要となった。仮設費削減、工期短縮や集積物流出防止の観点から、先行施工の TOFT 改良体を土留めとし活用することを前提に検討した。その結果、自立高さ 2.8m の集積場①はレベル 2 地震動に対する安定化に必要な $1,000\text{kN/m}^2$ で許容応力度を満足したが、自立高さ 3.7m の集積場②は $1,000\text{kN/m}^2$ よりはるかに高い $3,280\text{kN/m}^2$ の設計基準強度が必要となったことに加え、強度発現しにくい鉱さいが一部存在したため、セメント添加増量以外の方策を検討することとした。

キーワード TOFT 工法, 捨石集積場安定化工事, 改良体自立土留め, 有効応力解析, 人工軟弱地盤

連絡先 〒980-0011 宮城県仙台市青葉区上杉 1-6-11 日本生命仙台勾当台ビル (株) 大林組 TEL 022-267-8551

4. 課題の解決策

(1) 表層改良厚さの最小化

重機の荷重分布および分散状況をより正確に反映できる3次元FEM解析により、表層改良厚さを検討した荷重イメージと解析結果を図-4に示す。任意の改良厚さにおける地表鉛直変位、改良層下面地盤(Fc2層)の支持力および改良体の最大曲げ引張応力度を算出し、それぞれ許容値以下となる最小厚さを求めたところ、改良厚さ $t=2.5\text{m}$ と算出された。改良体とその下部の軟弱地盤との剛性バランスが最適であり、荷重分散効果が大きいことから簡易計算結果より 0.7m 薄くすることができた。また、実施工においても改良地盤の変形は認められず、解析結果の妥当性が実証された。

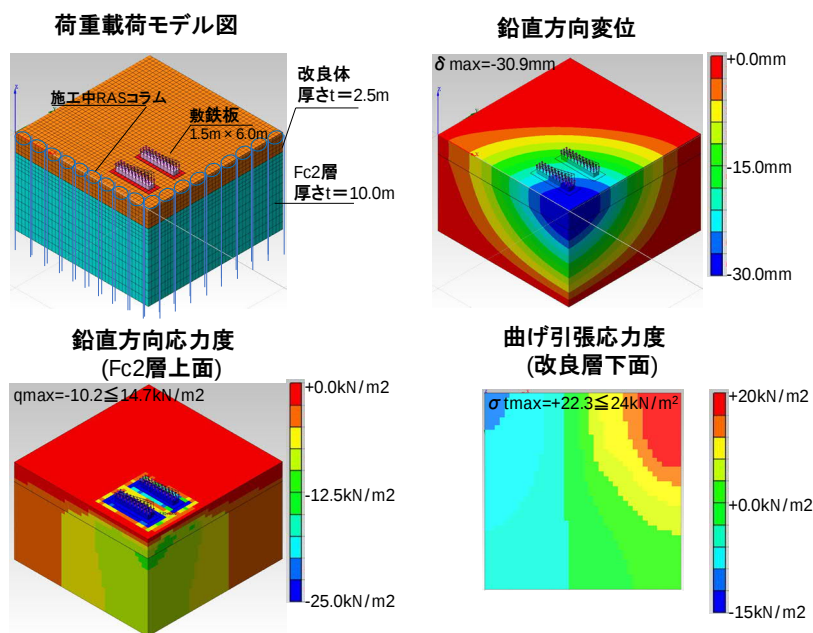


図-4 3次元FEM解析による表層改良厚さ検討結果

(2) 自立土留めの安定性担保

TOFT工法では、格子内に降雨等の水が溜りやすく最前列の改良体に水圧が作用する。また、TOFTバネ効果を安定性評価に取り入れた実績は極めて少ないため、先行施工する集積場①において自立土留め壁の変位を水位とともに計測して、図-5に示すモデルイメージでTOFTバネの有効性を解析により確認した上で、集積場②の土留め設計に反映させることとした。

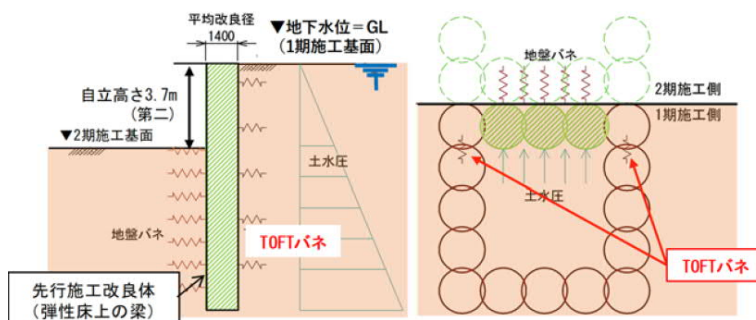


図-5 自立土留め安定性検討モデル断面

集積場①における実測変位とTOFTバネ効果を考慮および非考慮とした場合の解析変位を図-6に示す。これによると、TOFTバネ効果を考慮したケースが実測変位とよく一致することが明らかとなった。また、TOFT全体の頭部変位が生じていないことを測量により確認できた。

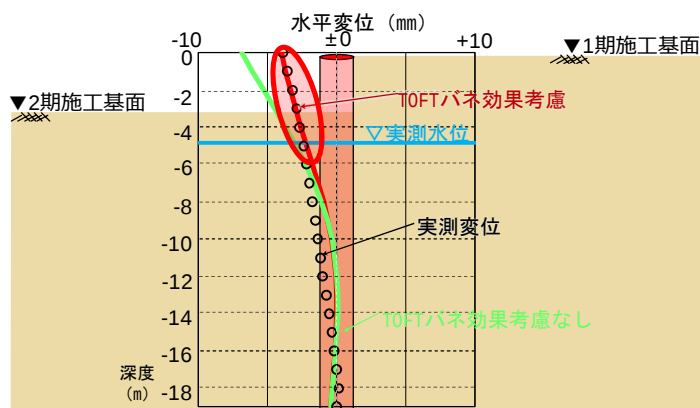


図-6 実測値と解析値の変位比較

以上から、TOFTバネ効果を期待できると判断して、集積場②における自立土留め設計に反映したところ、設計強度は集積場①と同じ $1,000\text{kN/m}^2$ で問題ないとの判断に至った。

写真-1に集積場②の自立土留め施工完了状況を示す。法面部における作業ヤード造成およびTOFT改良体造成中に実施した測量結果によれば、TOFT全体の頭部変位は観測されなかった。また、改良体土留め壁の有害なクラックや変状も確認されず、施工の安全性が確保された。

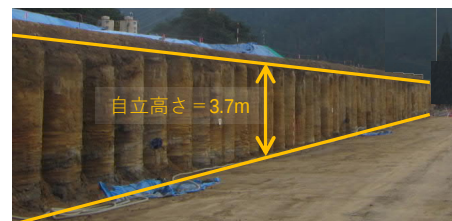


写真-1 自立土留め施工完了状況

5. おわりに

人工軟弱地盤における表層改良厚の詳細検討および自立土留高の大きな集積場②へのTOFT改良体バネ効果の適用を見据えた集積場①の土留め変位計測と逆解析による検証により、土留め壁の安全性の確保やコスト削減が可能となった。今後、同種工事において、これらの検討手法や工夫が参考となれば幸いである。