

石炭灰を用いた深層混合処理工法を併用した土留め工におけるヒーピング解析

開発設計コンサルタント
電源開発株式会社
独立行政法人港湾空港技術研究所
日建設計ビル

(正) ○李 立亜 吉元 義隆
(正) 東 健一 竹内 剛
(正) 高橋 邦夫
(正) 石井 武司

1. はじめに

石炭灰（フライアッシュ(F)）と石膏(G)及びセメント(C)の三種材料(FGC)のスラリーを利用する FGC 深層混合処理工法（FGC-DM）では、従来の深層混合処理法に比べて、低強度の改良地盤をより均一に造成できる特徴がある¹⁾。この特徴を利用して、軟弱地盤における土留め構造物の掘削側抵抗の増加、底部安定の確保を主な目的として横浜市磯子区の現場にて掘削底部を FGC-DM により改良を行った。結果、当該現場ではヒーピング現象は認められなかった。本報告では、FGC-DM による地盤改良を用いた土留め構造物のヒーピングに対する検討方法と数値解析方法による計算実例として、磯子地点とヒーピング現象が確認された羽田地点について比較検討を行った。

2. ヒーピングの検討方法

FGC-DM 地盤改良を用いた矢板土留め工の設計フローを図 - 1 に示す。

設計フローにおけるヒーピング検討は、ペックの安定数の考え方をういて CDM により底盤改良した羽田沖合展開工事の計測結果を元に提案された安定数²⁾と極限平衡法の考え方に基づく建築学会修正式を数値計算手法として用いて照査し、所定の基準を満足しない場合は数値解析³⁾により照査するものとしている。ただし、安定数と建築学会修正式は未改良地盤を対象とし、数値解析は改良地盤を対象としている。

3. 安定数と建築学会修正式の適用

安定数と建築学会修正式を用いて羽田地点⁴⁾の土留めの 2 断面(B、D 断面、CDM 接円タイプ処理)と磯子地点⁵⁾についてヒーピング安定性の検討を行った。検討に用いた各断面の計算諸元および計算物性値を表 - 1 と表 - 2 に、検討結果を表 - 3 に示す。これにより、未改良地盤を対象とした場合は羽田地点 B、D 断面ともに安全率が 1.0 を下回っているが、改良地盤を対象とした場合ともに 1.0 を上回る結果となっている。しかし、実際には羽田地点 D 断面でヒーピングが生じていることから、評価方法としては、未改良地盤において安定数 $N_b \leq 4$ の場合は照査終了、 $4 < N_b \leq 5$ の場合は建築学会修正式(未改良地盤)による照査で十分であるが、安定数 $N_b > 5$ の場合は、建築学会修正式(未

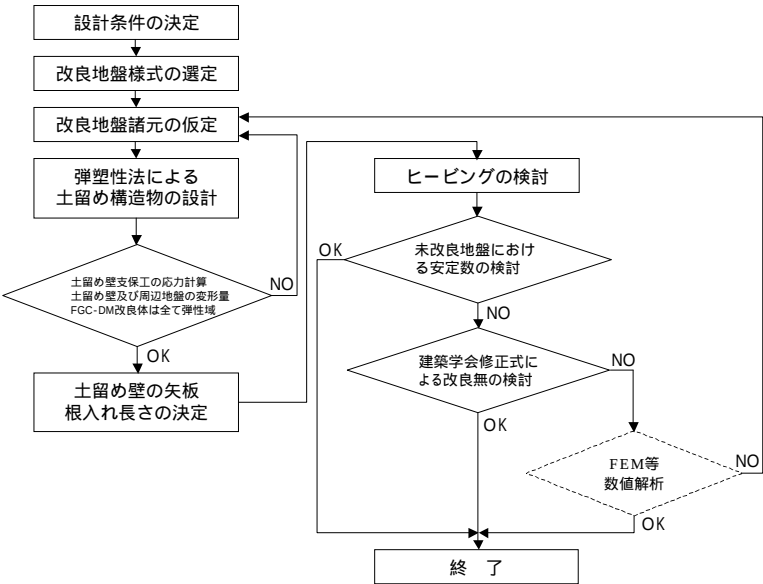


図 - 1 設計フロー

表 - 1 計算諸元

項目	羽田 B 断面	羽田 D 断面	磯子
掘削高さ(m)	14.9	15.1	15.8
掘削幅(m)	25.3	30.9	24.8
最下段切梁～掘削面距離(m)	2.4	5.3	2.7
処理層厚(m)	7.6	6.4	5.2
根入れ深さ	処理層底面	処理層底面	処理層底面
処理方法	CDM 接円式	FC 接円ラップ式	
背面処理幅(m)	なし	1.0	
施工実績	対策なし	対策	対策なし

表 - 2 計算物性値

項目	単位	羽田 B 断面*	羽田 D 断面*	磯子
背面 γ	(kN/m ³)	17.00	17.00	16.00**
土荷重 γH	(kN/m ²)	253.3	256.7	252.8
上載荷重 q	(kN/m ²)	0	0	10
$\gamma H + q$	(kN/m ²)	263.3	267.7	262.8
未処理土 S_u	(kN/m ²)	6.6+1.8h	6.6+1.8h	***
処理土 S_u	(kN/m ²)	75	75	200

* 物性値は文献⁴⁾より定めた。ただし、B 断面は D 断面の物性値を流用する。
** 土質調査よりの荷重平均値
*** GL.-13.1m ~ -14.0m 30 kN/m²、-14.0m ~ -15.8m 71.6 kN/m²、-15.8m ~ -21.00m 78.6 kN/m²、-21.00m 以深 18+2.0h kN/m²

キーワード： FGC、フライアッシュ、深層混合処理工法、ヒーピング、土留め、せん断強度低減法

連絡先：東京都中野区弥生町 1 - 58 - 4 開発設計コンサルタント、TEL：03 - 5371 - 2806

改良地盤)の適用では安定性の照査はできない。また、改良地盤を考慮した建築学会修正式を用いた場合は、安全率の基準を現行の 1.2 とすれば照査できる可能性を示しているが、安全率の基準値やすべり面等の設定に検討の余地を残している。

4．数値解析手法の改良地盤への適用

数値解析を用いた方法としては、改良地盤を考慮したせん断強度低減法採用することとした。この方法は、地盤を弾完全塑性体と仮定し破壊基準としてモールクーロン式を用いて、当初のせん断強度を低減させ、弾塑性解析の反復計算が発散した段階を地盤の破壊と見なし、斜面や地盤～構造物系の最小全体安全率を求める手法である。

解析手法は、有限要素法(FEM)と有限差分法(FDM)を用いて比較検討を行った。モデルは、最下段切梁以下の部分をモデル化し、切梁より上の背面地盤を上載荷重に置換え、掘削面については掘削前の土被り相当荷重を与えてから、荷重を除荷することによって掘削後の応力状態を再現することにした。これは建築学会修正式に基づくモデルである。計算対象断面は前述した羽田地点 B、D 断面および磯子地点である。

解析結果の一例として羽田地点 D 断面の破壊時における降伏域と最大せん断ひずみの分布(FDM 解析結果)を図 - 2 に示す。図中の記号×は降伏域、記号○は引張破壊領域を表す。コンター線で示す最大せん断ひずみが集中するゾーンはすべり面に相当し、この形状は建築学会修正式のすべり面とほぼ一致しており、改良体の破壊モードはせん断破壊であることがわかった。

上記の 3 断面における最小全体安全率の解析結果を表 - 3 に示す。この結果、解析により求めた安全率は、建築学会修正式で改良体を考慮しない場合より大きく、考慮した場合より小さい結果となっている。また、改良体と未改良土のせん断強度の差が大きいほど後者の安全率より小さくなっている。

数値解析の結果、実際ヒービングが発生した羽田地点 D 断面において FEM 解析で求められた安全率は 0.98 となり 1.0 を下回っており、一方、ヒービングが発生していない羽田地点 B 断面で 1.04 と 1.0 を僅かであるが上回っている。よって、数値解析手法は FEM および FDM 解析で微妙な差異があるものの、建築学会修正式に比べヒービング現象をより正確に評価していると考ええる。

4．まとめ

FGC-DM 改良地盤を用いた土留め工のヒービングの検討では、特に安定数 $N_b > 5$ のような、安定数や建築学会修正式(未改良)を用いて照査し切れない領域において、せん断強度低減法を用いて改良地盤を考慮した数値解析を行った。その結果、建築学会修正式(改良地盤)に比べより正確に現象を捉えることができた。したがって、改良体と未改良土の応力・ひずみの差異を考慮したせん断強度低減法はより有効な手法であると考ええる。

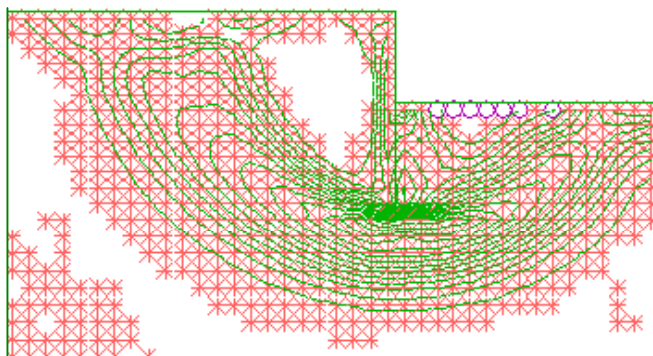


図 - 2 破壊時における降伏域(×)と最大せん断ひずみの分布

表 - 3 安定性解析結果

計算断面	安定数 Nb	建築学会修正式		数値解析	
		(未改良)	(地盤改良)	FEM	FDM
磯子	3.34 or 4.38	1.513	1.943	>1.20	1.71
羽田 B 断面	5.59	0.946	1.224	1.04	1.04
羽田 D 断面	5.89	0.815	1.052	0.98	
磯子：FGC ブロックタイプ処理，ヒービングなし					
羽田 B 断面：CDM 接円タイプ処理，ヒービングなし					
羽田 D 断面：CDM 接円タイプ処理，ヒービング発生					

- Asano, Ban, Takahashi and Azuma: Deep Mixing Method of soil stabilization using coal ash, International Symposium on Grouting and Deep Mixing (IS-TOKYOU '96), pp393-398
- 田中洋行: 軟弱地盤における山留め工の挙動に関する研究, No.734 港湾技研資料 運輸省港湾技研研究所, pp34~47, 1992.6
- 山田耕三他: 掘削底面を低強度改良した山留め工の安定性解析の安定性評価, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp1571~1572, 1999.7
- 田中幹彦他: 各種構造物の実例にみる地盤改良工法の選定と設計, 土と基礎, Vol.46, No.7, pp51~56, 1998.7
- 東健一他: フライアッシュを用いた地盤改良工法による山留め工法の設計・施工について, 第 3 回地盤改良シンポジウム発表論文集, pp217~224, 1998.11