

小土被り非開削掘削工事における長尺先受け工法の開発

ー補強耐力の三次元解析検証ー

大林組 正会員 ○粕谷 悠紀, 山本 彰, 稲川 雄宣
 鉄道総合技術研究所 正会員 牛田 貴士, 焼田 真司

1. はじめに

鉄道や道路直下を小土被りで非開削掘削する場合、地表面への変状や切羽の不安定化などの工事に伴うリスクを低減・回避するため、袋体からなる長尺先受け工法(ジオフレックス・ベーム工法)を開発した¹⁾²⁾。既報³⁾では、地盤中に造成したジオフレックス・ベーム(補強体)の支保耐力を調査するために実施した現場載荷実験結果について報告した。本報では、現場載荷実験について FEM 解析を行い、地中の応力状態や補強体に作用する力について検証した結果を報告する。

2. 解析概要

(1) 解析ケース：表-1 に示す 7 ケースについて解析を行っており、袋材の仕様(タイプ a, タイプ b)、補強体の本数、段数、ピッチは現場載荷実験時のそれと対応しており、補強体の土被り、設置延長、曲げ剛性は各実験ケースに対応している。現場載荷実験の詳細及び補強体の諸元については、既報³⁾を参照されたい。また、表-1 中に現場載荷実験時の最大載荷重も併せて示した。なお、現場載荷実験の結果、Case1 では EPS 引抜時に土塊崩落、Case2 では補強体間の中抜けによる土塊崩落、Case3~7 では補強体が曲げ破壊を生じた。

(2) 解析モデル：図-1 に地盤と補強体の解析モデルとその定数を示す。解析では、地盤はドラッカー・プラガーモデルとし、補強体はシェル要素(弾性体)でモデル化した。実験サイトの地盤は、地表面から空洞部底版まで粘土層(N=3)が堆積し、それ以深は粘土層(N=10)が分布しており、空洞上部は石灰改良した埋戻土(N=1~2)である。地盤定数は、実験サイトの地盤(関東ローム層)をブロックサンプリングし、三軸圧縮試験(CU)で得られた値を用いた。解析ステップは、自重解析後に地盤中の空洞部を掘削し、補強体を地盤中に造成した後、鉛直方向に載荷重を段階的に与えた。また、解析モデルの底部・側部境界については面外方向変位を拘束した。

今回の解析では Case2~7 を対象とし、補強体が曲げ破壊荷重に達した段階で解析終了とした。曲げ破壊荷重は曲げ試験によって得られる終局曲げ耐力値とし、タイプ a は $1.5\text{kN}\cdot\text{m}$ 、タイプ b は $9.5\text{kN}\cdot\text{m}$ であった。

表-1 解析ケース

ケース	袋材仕様	土被り	本数/m	段数, ピッチ	実験時の 最大載荷重
Case1	なし	1.5m	-	無対策	0.0kN
Case2	一部不透 水材 (タイプ a)		2	1 段@1.0m	17.0kN
Case3			4	2 段@1.0m	42.5kN
Case4			3	1 段@0.67m	52.7kN
Case5			6	2 段@0.67m	110.9kN
Case6	高強度材 (タイプ b)	1.8m	2	1 段@0.8m	63.4kN
Case7	4		2 段@0.8m	151.6kN	

【粘性土】			
ケース		Case1~3	Case4~7
変形係数 E		20,000	20,000
ポアソン比 ν		0.32	0.32
粘着力 c		68.7kN/m ²	19.4kN/m ²
内部摩擦角 ϕ		16.1°	18.5°

【埋戻土(石灰改良土)】			
ケース		Case1~3	Case4~7
変形係数 E		12,000	12,000
ポアソン比 ν		0.22	0.22
粘着力 c		68.7kN/m ²	19.4kN/m ²
内部摩擦角 ϕ		16.1°	18.5°

【補強体】 Shell要素(弾性体)			
ケース	袋材タイプ	Case2~5	Case6, 7
変形係数 E		6.05E+05kN/m ²	4.02E+06kN/m ²
ポアソン比 ν		0.2	0.2

【粘性土】			
ケース		Case1~3	Case4~7
変形係数 E		100,000	100,000
ポアソン比 ν		0.35	0.35
粘着力 c		68.7kN/m ²	19.4kN/m ²
内部摩擦角 ϕ		16.1°	18.5°

【空洞部】			
高さ H		1.2m	
幅 W		1.0m	
奥行き B		2.0m	

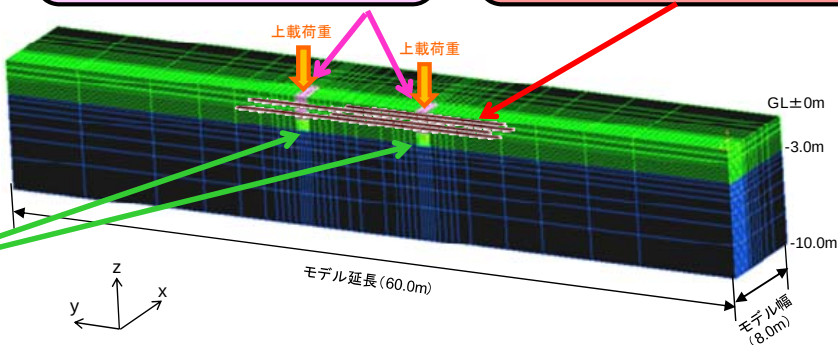


図-1 解析モデル

キーワード 長尺先受け工法, 補強土工法, 現場載荷実験, 小土被り, FEM 解析

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 地盤技術研究部 TEL 042-495-1015

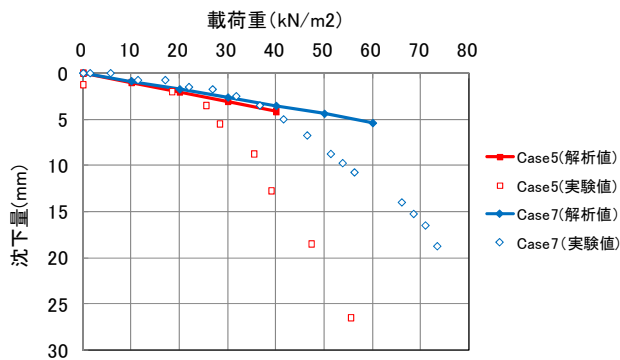


図-2 荷重沈下曲線

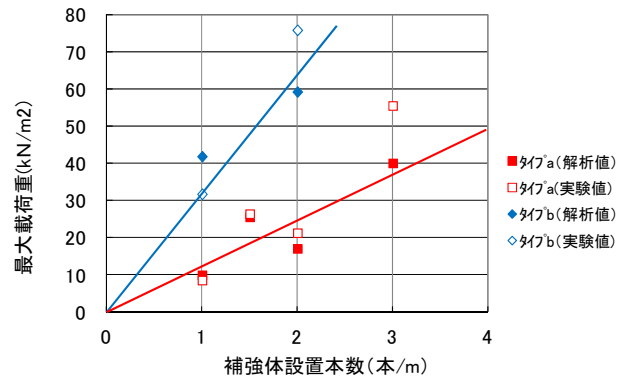


図-3 単位幅あたりの補強体本数と最大載荷重

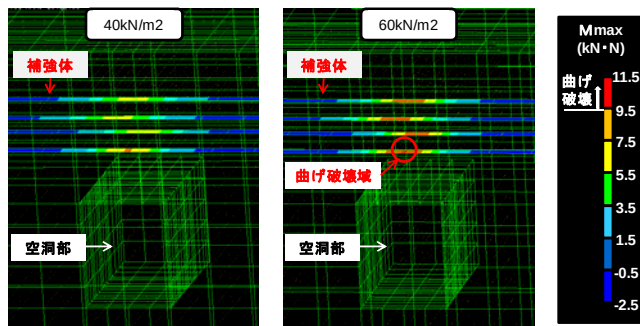


図-4 補強体に作用する力の分布図 (Case7: 4本)

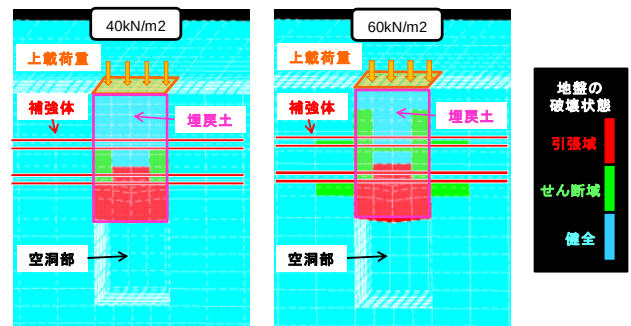


図-5 地盤の破壊状態を表した分布図 (Case7: 4本)

3. 実験値と解析値の比較

図-2 に現場載荷実験において地表面変位計測が実施できた Case5,7 の荷重沈下曲線の実験値と解析値を示す。Case5 では載荷重 20kN/m^2 付近, Case7 では載荷重 40kN/m^2 付近までは沈下量が小さいことから、地盤と補強体は概ね弾性的な挙動を示していると考えられる。また、実験値は上記の載荷重以上になると沈下勾配が急に大きくなるのに対し、解析値にはその傾向がみられない。これは、現場載荷実験では上記の載荷重を超えると補強体の支持地盤が塑性化して急激に強度低下(軟化)するのに対し、解析では軟化現象まではモデル化していないためであると考えられる。図-3 は実験及び解析で得られた単位幅あたりに換算した補強体本数と崩壊時の最大載荷重の関係を示しており、解析値と実験値は Case5~7 で多少差異が認められるものの、概ね整合する結果となっている。これらの解析結果から、補強体 1 本当たりの支保耐力はタイプ a で 12kN/m^2 (道路の活荷重 10kN/m^2 以上)程度, タイプ b で 32kN/m^2 (列車荷重 32kN/m^2 相当)程度と推定される。

図-4 に Case7(2 段配置@ 0.8m , 4 本)における沈下勾配の変化点(載荷重 40kN/m^2)と補強体の一部に曲げ破壊が発生した載荷重 60kN/m^2 での補強体に作用する力の分布図を示す。載荷重の増加とともに載荷部の補強体の最大曲げモーメント $M_{\max}$ 値も増大し、載荷重 60kN/m^2 のときに下段の補強体に曲げ破壊域(赤色領域)が出現した。Case7 の実験時の最大載荷重が 75kN/m^2 であったことから、やや小さめではあるが概ね整合している。図-5 に Case7 の地盤の破壊状態を表した分布図を示す。載荷重が 40kN/m^2 では引張域・せん断域が空洞上部のみに留まっているが、補強体の曲げ破壊発生時の 60kN/m^2 では補強体の支持地盤もせん断破壊するゾーンが両側に広がっている。以上のことから、本解析は空洞上部に造成した補強体と地盤の載荷実験を概ねシミュレーションすることができており、補強体は小土被りの地盤中において曲げ抵抗を発揮する梁部材として十分に機能する支保効果を確認することができた。

4. まとめ

長尺先受け工法(ジオフレックス工法)の開発にあたり、補強体の支保耐力を確認するために実施した現場載荷実験について FEM 三次元解析を行い、地中の応力状態や補強体に作用する力について検証した。今回の解析方法によって、空洞上部に造成した補強体と地盤の載荷実験を概ねシミュレーションすることができ、補強体の支保耐力を確認するとともに、小土被りの地盤中に造成したジオフレックス工法の補強メカニズムを明らかにすることができた。

参考文献

- 1) 山本彰ら：小土被り非開削掘削工事における長尺先受け工法の開発－試験施工による施工性の確認－第46回地盤工学研究発表会, pp.1491-1492, 2011
- 2) 三井仁哉ら：小土被り非開削掘削工事における長尺先受け工法の開発－熱可塑性材料を用いた試験施工による施工性の確認－, 第67回年次学術講演会, 2012(投稿中)
- 3) 粕谷悠紀ら：小土被り非開削掘削工事における長尺先受け工法の補強耐力の検証－, 第47回地盤工学研究発表会, 2012(投稿中)