

円筒金網とチェーンを用いた補強土壁の浸水時挙動解析

京都大学大学院 学生会員 ○関健宏, 正会員 肥後陽介, 木村亮, フェロー会員 三村衛
昭和機械商事(株) 正会員 北村明洋
日建設シビル(株) 正会員 加藤亮輔

1 はじめに

災害時における土構造物の早期復旧を目的として, 円筒金網とチェーンによる補強土壁工法が考案された¹⁾. 慣用設計法では適切な排水工の施工により補強土内への水の浸透は考慮されていないが, 新工法で実績が不十分なため本研究では排水機能の欠落を想定して, 浸透-変形連成解析^{2), 3)}による補強盛土の浸透時の挙動把握を試みた. 不飽和地盤に補強材が敷設された補強土壁モデルを作成し, 補強材はビーム, ジョイントの各要素で再現した.

2 円筒金網とチェーンを用いた補強盛土¹⁾

円筒金網とチェーンを用いた補強土壁の概念図を図1に示す. 円筒金網の内部は締め固めた土で充填されている. チェーンは両端に支圧板を有しており, 片方は円筒金網内部, もう一方は補強土壁の盛土部に固定する. チェーンはモーメントフリーで引張り力に対し大きな抵抗力を有し, またその形状ゆえ土との間には大きな摩擦力が発生する. 既往の実物大実験から, 同外径の丸鋼と比較すると約3倍強の摩擦力を発現することが確認されている. また支圧板を加えることで, その引き抜き抵抗によってチェーン単体に比べて高い補強効果が期待できる.

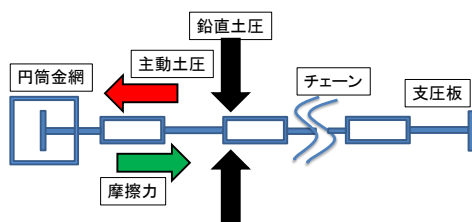


図1. 円筒金網とチェーンの補強メカニズム

3 浸透-変形連成解析^{2), 3)}

不飽和土の力学特性を適切に記述するため, 固相, 液相, 気相の相互作用を考慮した, 浸透-変形連成解析法を用いた. 支配方程式は三相各々の運動方程式と質量保存則から成る. 空気相はその高圧縮性から連続式について常時成立とする簡易三相法で定式化している. 応力変数には骨格応力, 構成式にはサクシオンを考慮した砂の繰返し弾塑性構成式を用いている. 具体的には, サクシオンの増減によって塑性せん断剛性と圧密降伏応力が変化する. 不飽和浸透特性として水分特性曲線, 透水係数の飽和度依存性を考慮している.

3.1 解析モデル及び境界条件

本研究の解析対象は円筒金網を擁壁, チェーン及び支圧板を補強材に用い, 上面には林道を想定した補強土壁である. 直径0.6m, 高さ0.6mの円筒金網を縦方向に3分勾配で10段設置し, 両端に支圧板が取り付けられたチェーンを盛土の奥行き方向に向かって敷設する. 解析モデルとして, 深さ5mの基礎地盤上に高さ6.27mの盛土を想定し, 盛土後部には山岳斜面として基礎地盤を奥行き10mで作成した. モデルの全長は26.72m, 高さは11.27mである. 境界条件は図2に示す通りである.

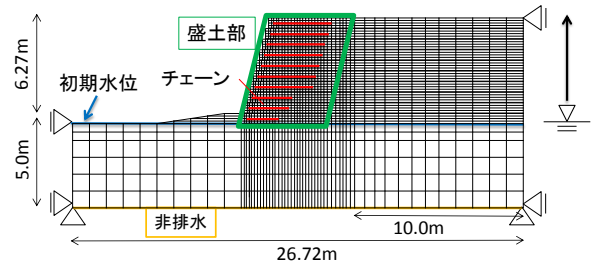


図2. 解析に用いた有限要素メッシュと境界条件

3.2 浸透条件

初期水位を5m（盛土と基礎地盤の境界）, 0.348m/hで18時間に渡り右側境界の水位を上昇させる. つまり, 盛土天端と同じ高さまで水位が到達する. その後48時間水位一定とし, 計66時間の解析を行った. なお浸透解析に先んじて, 単位体積重量に相当する自重を作用させて初期応力解析を行った.

3.3 補強材のモデル化

既往の研究¹⁾によりチェーンと支圧板の合成引き抜き抵抗力及び極限引き抜き力の値は得られているが, チェーンの補強効果と支圧板の補強効果を分けて評価するためのデータは現在実験中である. そこで本研究では, 支圧板の引き抜き抵抗とチェーンによる摩擦抵抗を一体として, 土粒子-チェーン間の摩擦として表現した. チェーンをビーム要素でモデル化し, その上下にはジョイント要素を設定する. ビーム要素は曲げ剛性を持たず, 軸方向の引張り剛性にはビームの破断試験から得られる弾性剛性を用いる. 引き抜き荷重と引き抜き量はバイリニア関係にあるため, ジョイント要素にはモール・クーロンの弾完全塑性モデルを採用した. 弾性範囲内ではチェーンと支圧板が補強効果を持つが, 塑性状態では支圧板の固定部が破壊しそれ以上の補強効果を発揮しないことを意味する. また円筒金網の剛性

キーワード 補強土 数値解析 不飽和

連絡先〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科ジオフロントシステム工学講座 TEL 075-383-3306

は十分に大きく、頂点間に等変位境界を設定した。

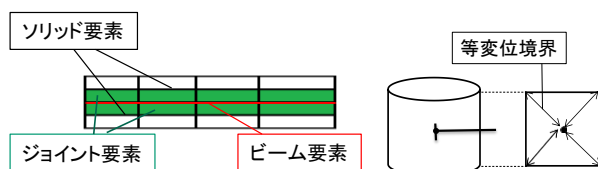


図3. 補強材のモデル化

3.4 材料定数

盛土材・基礎地盤ともに淀川堤防砂の材料定数⁴⁾を使用した。一般に基礎地盤は十分に硬質であるためダイレイタンスーが生じず、液状化が発生しない設定とした。補強材パラメータは表1の通りである。

表1. 解析に用いた補強材パラメータ

	ビーム要素
ヤング率E (kN/m ²)	6.28
密度ρ (g/cm ³)	7.8
断面積A (m ²)	3.12×10 ⁻⁵
断面2次モーメントI (m ⁴)	1.00×10 ⁻⁵
	ジョイント要素
せん断方向バネ定数k _s (kN/m ²)	1.57×10 ⁶
垂直方向バネ定数k _n (kN/m ²)	1.0×10 ¹¹
粘着力c (kN/m ²)	200
摩擦係数tanφ	6
引張強度 (kN/m ²)	-1000

3.5 浸透-変形連成解析結果

解析境界右側からの水の流入で間隙水圧が上昇し(図4)、40時間経過後にはほぼ定常状態となった。図5を見ると、盛土内の骨格応力が減少している事がわかる。これは、浸透に伴うサクシオンの低下が骨格応力の減少を引き起こし、土の剛性が低下して補強土壁の盛土部に变形が生じたと考えられる。変形モードとしては、盛土と基礎地盤の間で円弧滑りに似たモードが生じている事がわかる(図6)。

次に2段目の補強材の応力変化に着目すると、水位が到達する時刻付近でビーム要素の引張り軸力が増加し、ジョイント要素の垂直応力、せん断強度の低下が見られた(図7, 図8)。なお、骨格応力の減少も同時刻付近で始まっている。しかし、せん断力がせん断強度を超えることはなく、弾性変形の範囲内であった。つまり、支圧板が引き抜けるほどの変形は生じなかった。平均骨格応力の減少に伴うジョイント要素の垂直応力・せん断強度の減少は、浸透によって地盤の強度・剛性が低下するのに加え、補強効果も弱まるという不飽和盛土材による補強土の浸透時挙動と一致する。

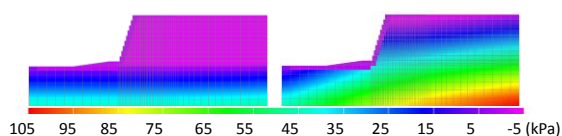


図4. 間隙水圧分布 (左: 初期, 右: 40h)

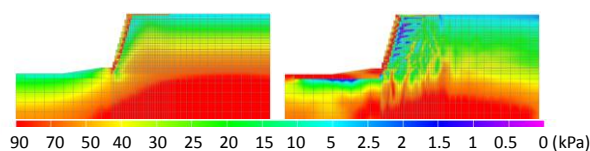


図5. 骨格応力分布 (左: 初期, 右: 40h)

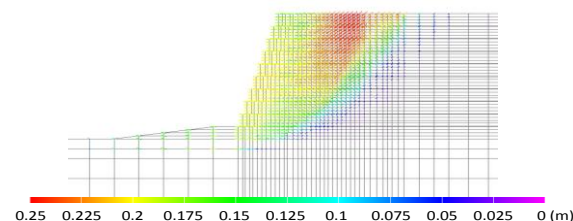


図6. 変位ベクトル図 (66h)

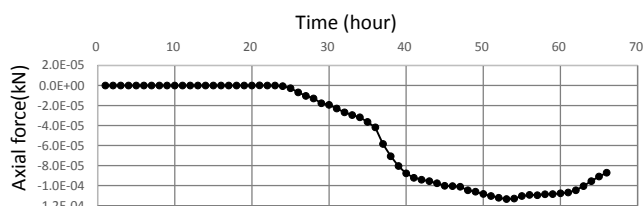


図7. ビーム要素:軸力

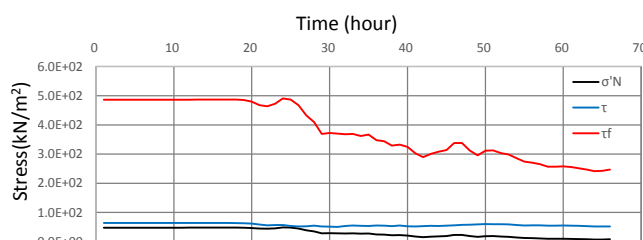


図8. ジョイント要素:垂直応力, せん断応力, せん断強度

4. まとめ

水の流入は地盤の強度・剛性の低下を誘発し、補強効果の減少に直結するという解析結果を得た。これは不飽和盛土材による補強土壁の定性的な浸透時挙動である。今後は、定量的な検討のもと補強土壁の安全性を議論するため、補強材のモデル化においてチェーンと支圧板を区別してモデル化する、施工過程を考慮した初期応力解析、実盛土材のパラメータを使用する等の改良が求められる。

参考文献

- 1) 北村 明洋, 福田 光治, 木村 亮: チェーンを補強材とする補強土壁の開発, 地盤工学ジャーナル Vol. 3, No. 3, 273-285, 2007
- 2) 加藤亮輔, 岡二三生, 木元小百合, 小高猛司, 角南進: 不飽和浸透-変形連成解析手法と河川堤防への応用, 土木学会論文集C, Vol65 No.1, 226-240, 2009
- 3) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所: LIQCA-SF(2013)マニュアル, 2013
- 4) Chung-Won LEE: A study on dynamic stability of unsaturated road embankments using dynamic centrifugal model tests, 京都大学博士論文, 2012