

京都大学大学院 工学研究科 学生会員 ○関健宏, 正会員 肥後陽介, 三村衛, 木村亮
 昭和機械商事(株) 正会員 北村明洋
 日建設計シビル(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用として、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⁾。従来の慣用設計法では補強土内への透水は仮定されていないが、新工法で実績に欠けるため本研究では排水設備の機能不全を想定して浸透-変形連成解析での挙動把握を試みた。不飽和地盤に補強材が打設された盛土モデルを作成し、補強効果はビーム、ジョイントの各要素で再現した。解析の結果、水位上昇時のサクシオン低下による骨格応力の低下を確認した。また、それに伴うビーム要素の軸力変化からチェーンが盛土の変位に対し抵抗するのが確認された。

2 補強材としてのチェーン及び支圧板¹⁾

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チェーン単体に比べて高い補強効果が期待できる。補強メカニズムを以下に示す。

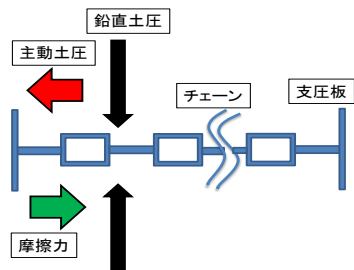


図1. 補強メカニズム

3 浸透-変形連成解析^{2),3)}

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系で定式化している。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使い、上面には林道を想定した補強盛土である。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打設する。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。境界条件は次の通り。

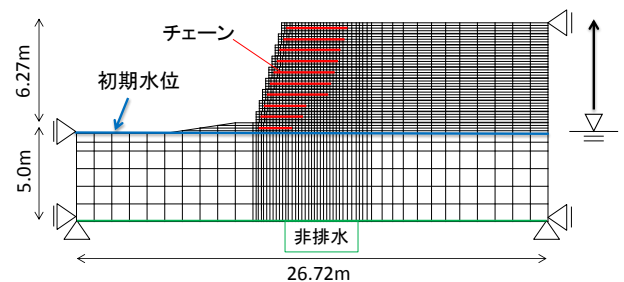


図2. 解析に用いた有限要素メッシュと境界条件

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時間に渡り水位を上昇させる。排水がなければ盛土天端に到達する計算である。その後48時間水位一定とし、計66時間の解析を行う。なお、水位の基準点はモデル右端部とした。

3.3 補強材のモデル化

チェーンは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ことで、土粒子-チェーン間の摩擦を表現する。既往の研究¹⁾により合成引き抜き抵抗力及び極限引き抜き力の値を得ているため、支圧板はモデル化せずチェーンに代表させる。なお、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の連結部が破断していないことを意味する。また円筒金網の剛性は十分に大きく、頂点間に等変位境界を設定した。

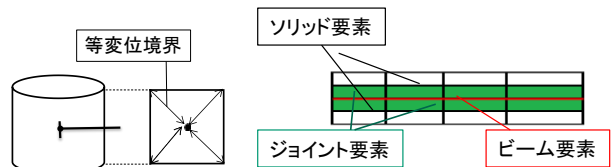


図3. 補強材のモデル化

3.4 材料定数

盛土材, 基礎地盤ともに淀川堤防砂の物性値⁴⁾を使用した, 基礎地盤はダイレイタンシーが生じない設定とした. 補強材パラメータは以下の通りである.

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_h (kN/m ²)	1.0×10^{11}
粘着力 c (kN/m ²)	200
摩擦係数 $\tan \phi$	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 時間経過後にほぼ定常状態となった. サクシオン低下に伴う骨格応力の減少で土の剛性が低下し盛土の変形が生じた(図 5). 変形モードとして盛土と基礎地盤の間で若干の円弧滑りが生じ, 補強領域外に一方のひずみが集中した(図 6, 図 7). 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 8, 図 9). 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卓越することはなく, 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いえる.

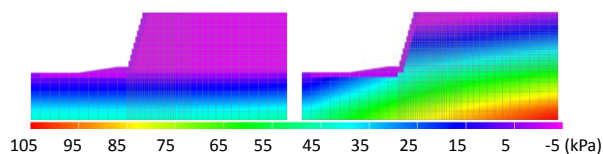


図 4 間隙水圧分布 (左: 初期値, 右: 収束値)

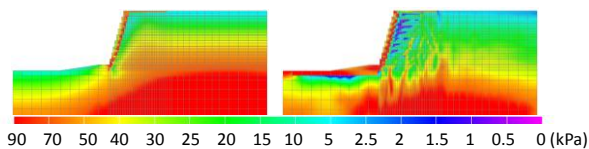


図 5 骨格応力分布 (左: 初期値, 右: 収束値)

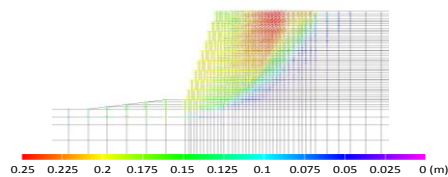


図 6 変位ベクトル図 (66h)

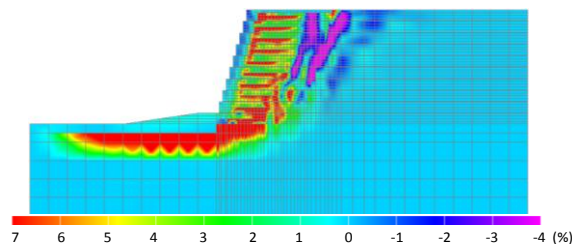


図 7 せん断ひずみ分布 (66h)

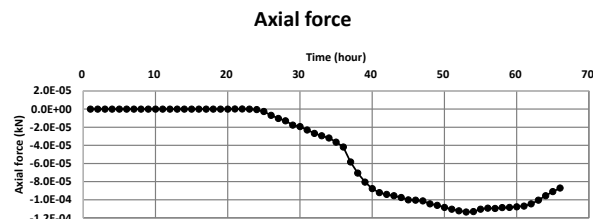


図 8 ビーム要素: 軸力

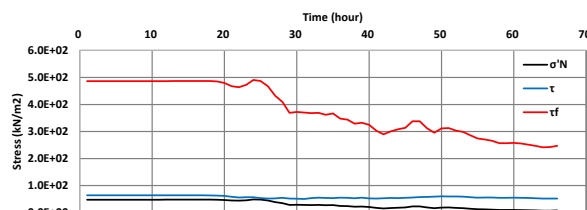


図 9 ジョイント要素: 垂直応力, せん断応力, せん断強度

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. これは不飽和補強盛土の定性的な浸透時挙動である. しかし定量的な検討のもと安全性を議論するには, 補強材のモデル化においてチェーンと支圧板を区別する, 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: 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