

剛塑性有限要素法による補強土構造物の冗長性解析

防衛大学校 学 シロコーン ディーチュアイ

防衛大学校 正 宮田喜壽

1. 目的

補強土構造物の設計では、補強材に作用する引張力：補強材力より長期強度あるいは引抜き強度が大きくなるように、補強材の選定と配置が決定される。不静定次数の高い構造形式なので、ある層で補強材が破断あるいは引抜けても荷重・応力の再分配によって構造物全体が直ちに崩壊することはないと考えられる。このような構造特性は冗長性と呼ばれる。本研究では、補強土構造物の設計で冗長性を適切に考慮する設計手法を確立する第1段階の研究として、数値極限解析法のひとつである剛塑性有限法¹⁾による検討を行った。

2. 解析法の概要

補強土の剛塑性有限要素法は Asaoka et al²⁾により合理的な定式化がなされている。著者ら³⁾は、補強材の引張強度の影響を考慮するために、上記の解析法と別途に式(1)に示す汎関数を仮定し、そのオイラー方程式である式(2)～(6)を連立させて解く解析法を提案している。

$$\Pi(\dot{\mathbf{u}}_s, \dot{\mathbf{u}}_R, \lambda, \mu, \kappa) = \int_{V_s} D(\dot{\mathbf{u}}_s) dv + \int_{V_R} D(\dot{\mathbf{u}}_R) dv + \lambda^T ([L]\dot{\mathbf{u}}_s - \dot{\mathbf{e}}_{v0}) - \mu(F^T \dot{\mathbf{u}}_s - 1) + \kappa^T ([M]\dot{\mathbf{u}}_s - [N]\dot{\mathbf{u}}_R) \quad (1)$$

$$\int_{V_s} [B]^T s dv + [L]^T \lambda + [M]^T \kappa = \mu F \quad (2) \quad \int_{V_R} [B_R]^T \sigma_R dv - [N]^T \kappa = 0 \quad (3)$$

$$[L]\dot{\mathbf{u}}_s = \dot{\mathbf{e}}_{v0} \quad (4) \quad [M]\dot{\mathbf{u}}_s - [N]\dot{\mathbf{u}}_R = 0 \quad (5) \quad F^T \dot{\mathbf{u}}_s = 1 \quad (6)$$

ここで、 $\dot{\mathbf{u}}_s$ と $\dot{\mathbf{u}}_R$ はそれぞれ土および補強材の変位速度ベクトル、 V_R と V_s はそれぞれ土および補強材が占める体積を表す。式(1)において、第1項と第2項は土および補強材の塑性消散エネルギー、第3項は極限時の体積ひずみ速度に関する制約条件、第4項は外力仕事一定に関する制約条件、第5項は補強材に接する土が補強材と一緒に運動することを仮定した制約条件である。

3. 結果と考察

図-1 に示す補強土壁のモデルに対し、土の内部摩擦角 ϕ : 40°, 粘着力 c : 10(kN/m²)、ダイレイタンシー角 ψ : 20°, そして単位体積重量 γ : 15(kN/m³)を仮定して、補強材の引張強度を変化させたときの安全率の変化を図-2 に示す。所定の引張強度以上で補強効果が発揮され始め、一定の強度以上になると頭打ちになる。極端な2条件に対する計算される補強材ひずみ速度分布は図-3 に示すとおり。今回は、補強効果がこの頭打ちになる補強材の引張強度条件で、図-1 に示す構造モデルの冗長性を調べた。解析では、完全系に対して計算される安全率に対する1要素の破壊を仮定した系の安全率との比を冗長性指数と定義して、補強材要素の破断を仮定する要素の位置と冗長性指数の関係を調べた。結果を図-4 に示す。各層ともり面から2つめの要素における冗長性指数が最も小さくなり、のり面からの距離が3mを超えると指数は1になった。完全系および冗長性指数が最も小さくなったケースに対して計算された塑性流れを図-5, 6 に示す。完全系ではのり面部の補強材に接していない土要素で塑性流れが卓越するが、補強材の所定の位置が破断する仮定する条件では、補強領域内部の土要素に塑性流れが生じる。このような計算は破壊を防ぐ、その影響を最小化するときには有益である。

4. まとめ

補強土構造物の冗長性を剛塑性有限要素法で解析する方法を示した。この方法は、どの位置の補強材が安定上最も重要になるかについての検討や、必要な安全余裕度についての検討に有益な情報を与えると思われる。

キーワード 補強土, 有限要素法, 冗長性

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 TEL. 046-841-3810 E-mail : miyamiya@nda.ac.jp

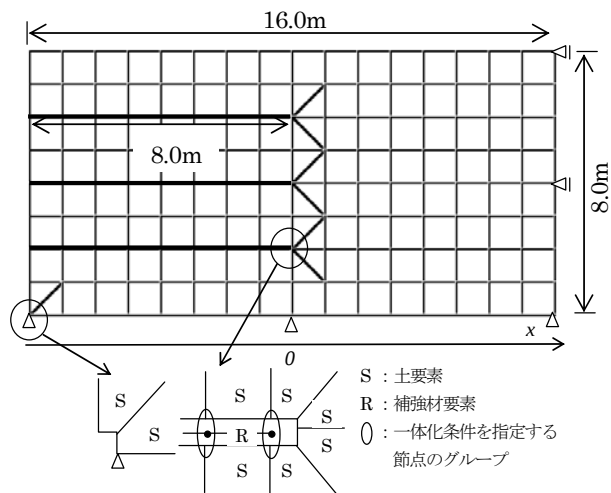


図-1 解析モデル

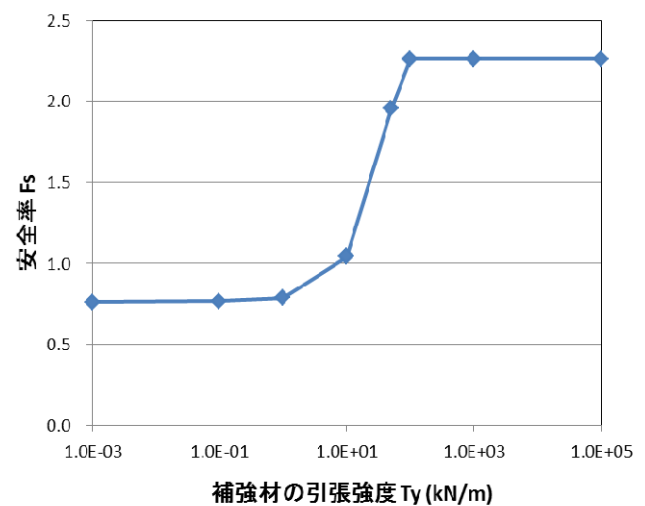


図-2 補強材強度の影響

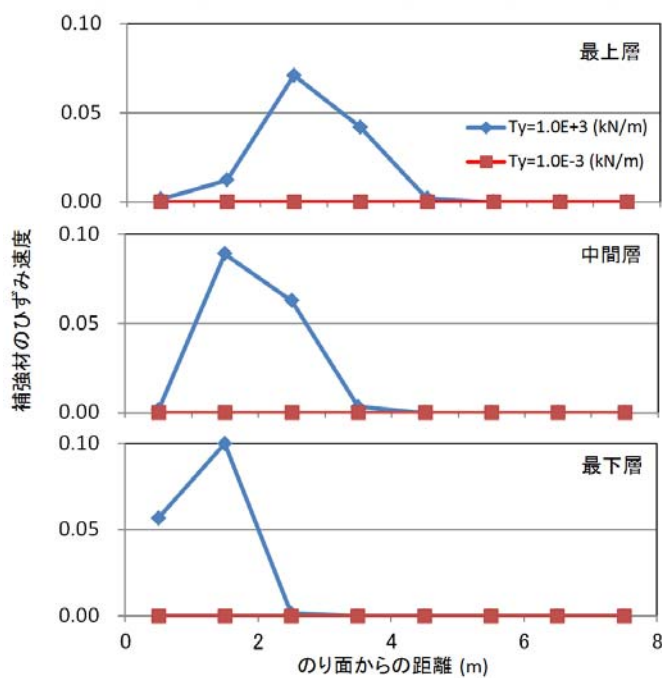


図-3 完全系における補強材力分布

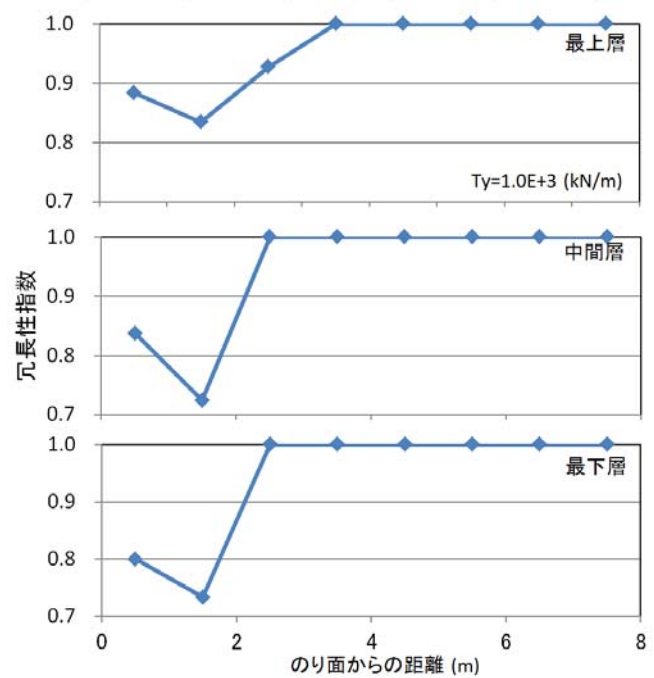
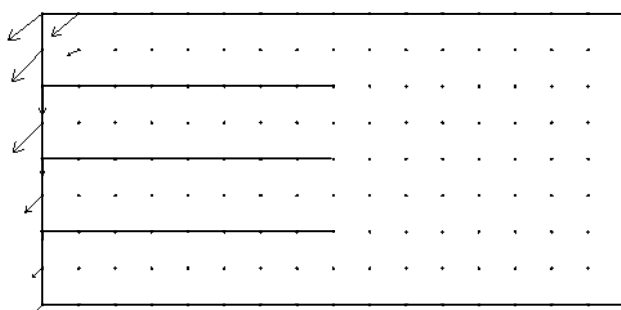
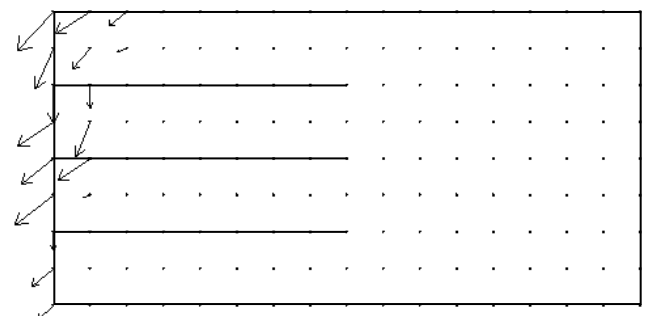


図-4 冗長性指数の分布

図-5 土の塑性流れ
(完全系: 安全率 $F=2.3$)図-6 土の塑性流れ
(中間層 $x=1.0-2.0\text{m}$ 間で補強材が破断: 安全率 $F=1.6$)

本研究は文部科学省科研費補助金基盤研究(B) 24360195 (研究代表者 宮田喜壽) の助成を受けた。

参考文献 1) Tamura, T., Kobayashi, S. and Sumi, T. : Rigid plastic finite element method for frictional material, Soils and Foundations, 27-3, pp.1-12, 1987. 2) Asaoka, A., Kodaka, T. and Pokharel, G. : Stability analysis of reinforced structure using rigid plastic finite element method, Soils and Foundations, Vol. 34, No. 1, pp. 107-118, 1994. 3) 宮田喜壽, 重久伸一: 補強材の引張り強度の影響を考慮した補強土構造物の剛塑性有限要素解析, 土木学会論文集, No.736/III-63, pp.83-92, 2003.