

剛塑性有限要素解析を用いた補強土構造物の安定性評価のための モニタリング手法の提案

熊本大学大学院 学生会員 ○坂元 圭一
防衛大学校 正会員 宮田 喜壽

熊本大学大学院 正会員 大谷 順
九州大学大学院 岡安 崇史

1. はじめに

現在、地盤構造物の健全化評価のために、安価かつ信頼性の高いモニタリングシステムの開発が急務とされている。このシステムを補強土構造物に適用する際、計測位置の選定という課題がまず始めに挙げられる。補強土構造物の安定性を評価するためには、補強材の引張強度やひずみを定量的に評価しなければならないため、補強材の挙動に着目した効率的な計測を行う必要がある。しかし、補強材の効率的な計測を行うための計測位置選定法についてはまだ確立されていないと言える。

そこで本研究では、補強土構造物の安定性に影響を及ぼす補強材の感度評価を目的として、数値解析結果を用いた重要度という指標を定義し、補強土構造物の安定性評価を試みるものである。

2. 模型実験

写真-1 は本研究で用いた模型実験の概要である。模型地盤は幅 520mm、奥行き 309mm、高さ 240mm であり、高さ 120mm の位置に補強材長 200mm が一層敷設されている。壁面から 40mm 離れた位置で載荷を行い、図-1 に示す応力-変位曲線を得た。この結果より、本研究で用いた補強盛土の崩壊応力が 38.9 kN/m^2 であることを確認した。

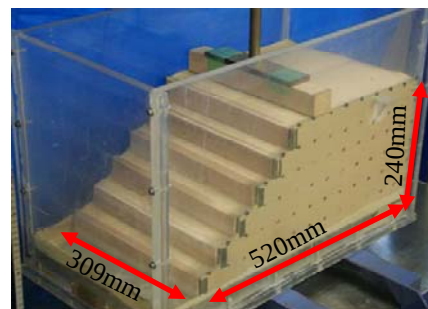


写真-1 模型実験装置概要

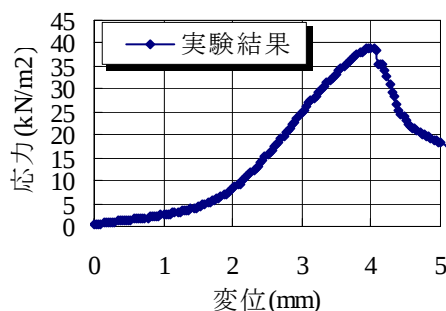


図-1 応力-変位曲線

3. 数値解析

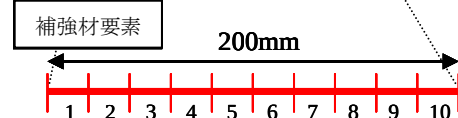
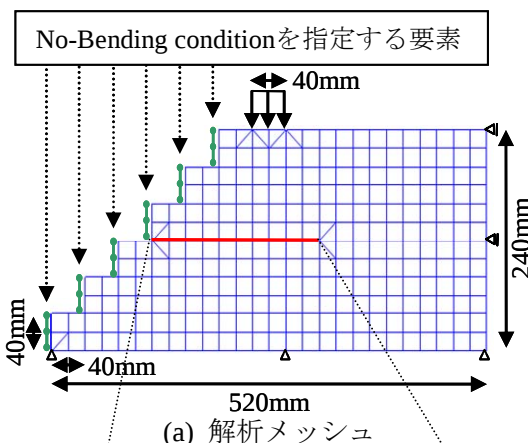
本解析では補強土効果について、宮田ら¹⁾が提案する剛塑性有限要素解析を使用した。この解析法では、土と補強材の変位速度を独立に扱い、地盤構造物が破壊する時の土と補強材が接する地点で、互いの速度場が等しいという制約条件を、土及び補強材のつりあい式と連立させることで結果を求める方法である。図-2 に今回検討する解析モデルを示す。壁面はKodaka et al.によるNo-Bending conditionでモデル化している²⁾。補強材要素の両端部や載荷位置には、解の信頼性を高めるために特異点を設けている。

次に数値解析の精度についての検討を行う。剛塑性有限要素解析は構造物の極限状態だけに着目する数値解析であるため、極限荷重とともに極限時の速度場と破壊荷重が算出されるので、設計で想定すべき破壊形態の推定やひずみ速度場を考慮した安定化対策についての検討に役立つ。本解析によって得られた破壊時の応力は 40.4 kN/m^2 であった。この結果より、対象構造物の破壊時の応力が両者ともほぼ等しいことから、数値解析から得られる補強土構造物の破壊応力の妥当性を確認することができた。

4. 補強材の安定性評価

補強土構造物の安定性に影響を及ぼす補強材の部材感度を評価するために、李ら³⁾によって提案された次式の指標を示す。

$$\text{Sensitivity Index: } S.I. = (\lambda_0 - \lambda_{\text{damage}}) / \lambda_0 \quad (1)$$



豊浦砂	
・ 内部摩擦角 ϕ (deg)	35.0
・ 粘着力 c (kN/m)	1.00
・ ダイレイタンスー角 ψ (deg)	0.00
補強材	
・ 引張強度 T_y (kN/m)	3.32

(c) 解析パラメータ

図-2 解析モデル図

本研究では、この”Sensitivity Index”を「重要度」と呼ぶ。この式では、補強材の元の状態における破壊応力 λ_0 に対し、ある補強材が破断した状態の破壊応力 λ_{damage} を評価し、その低下率を部材感度として定義している。この部材感度が大きければ、補強材が破断した際に構造物の安定性が損なわれるため、構造物の安定性に影響を与えていると考える。

図-2 に示す解析モデルを対象に、算出された補強材の重要度分布を図-3 に示す。この図より、今回検討した解析モデルの安定性に重要な役割を果たしている補強材は 7 番の補強材であることが分かる。この理由として、補強材内部を通るすべり面が 7 番の補強材部分を通過していることが考えられる。補強土構造物の内的安定を考える際、補強材がすべり面を横断することで補強土効果を得ることができる。そのため 7 番の補強材が破断した時、補強土効果が十分に得られなくなるため、式(1)より算出される重要度の値が大きくなるといえる。また、この重要度は図-4 に示す補強材のひずみ分布と類似した挙動を示していることが分かる。

図-2 の解析モデルを使用し、異なる補強材を対象として、引張強度を $Ty=0.001, 0.01, 0.1, 1, 10\text{kN/m}$ と変化した補強材の重要度分布を図-5 に示す。図-5 より、 $Ty \leq 0.001\text{kN/m}$ の範囲では、補強材が構造物の安定に重要な役割を果たしていないため、全体的に低い値をとることが推測できる。同様に引張強度が $Ty=0.01\text{kN/m}$ の時、補強材が構造物の安定性に重要な役割を果たしていると考えられることが出来るため、得られた直線が今回の解析の中で最も高い重要度を示している。 $Ty \geq 0.1\text{kN/m}$ の範囲では、重要度は $Ty=0.01\text{kN/m}$ の曲線よりも低い値をとり、 $Ty=1$ および 10kN/m に示す重要度の値に収束すると推測される。これは補強材の引張強度が高いため、補強材を敷設している位置を底面とした無補強地盤として扱うことと同じとなる。そのため、載荷位置から補強材上面に向かいすべり面が形成され、補強土効果が十分に発揮されないと考えられる。このことから $Ty \geq 0.1\text{kN/m}$ の範囲では、補強材が構造物の安定性にあまり影響しないといえる。

5. 結論

構造物の安定性を評価するために、補強材の破断位置によって変化する重要度という指標を提案した。この重要度が高い位置とは局所的なひずみが進展する場所であり、構造物の安定性に大きな影響を及ぼす位置であるといえる。そのため、この重要度の高い位置において計測を行うことが提案できる。今後はその計測方法について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 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、2003.6
- 2) Kodaka, T., Asaoka, A., and Pokharel, G.: Model test and theoretical analysis of reinforced soil slopes with facing panels, Soils and Foundations, Vol. 35, No. 1, pp. 133-145, 1995.
- 3) 李 正林、大井謙一、伊藤拓海：部材消失による骨組構造物の鉛直荷重支持能力の感度解析、鋼構造年次論文報告集、No.11、pp.325-332、2003.11

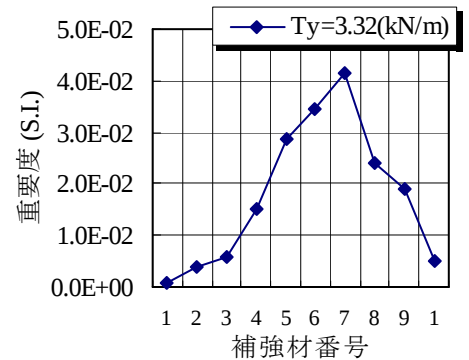


図-3 補強材要素の重要度変化

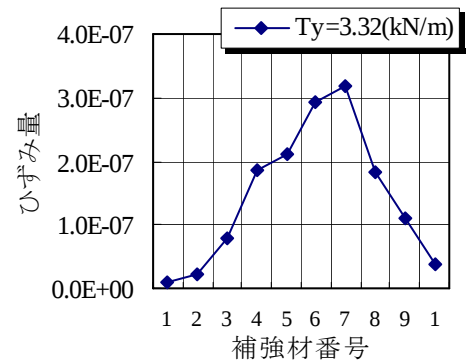


図-4 補強材のひずみ分布

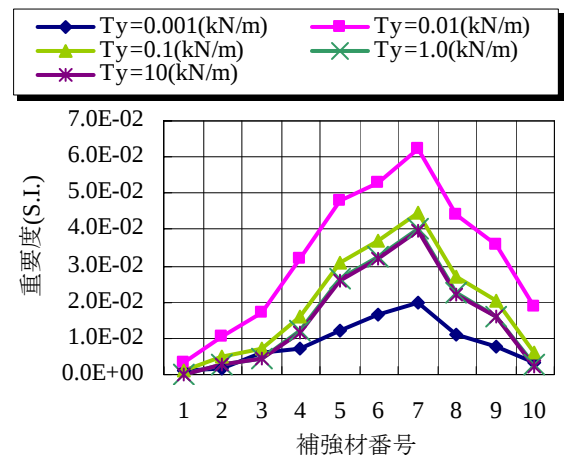


図-5 各引張強度の補強材の重要度変化