

マイクロパイルの縦打ち補強における補強効果の数値解析的検討

福島工業高等専門学校 学 〇鹿又善憲 正 加村晃良 フェロー 緑川猛彦

1. はじめに

国土の約 7 割を山地や丘陵地が占める我が国では、効率よい用地確保のため、斜面を急勾配で造成する必要があり、斜面安定問題に直面する。また、既設構造物近傍で斜面補強を実施する場面では、施工ヤードや工期の制約を受ける。

斜面安定に用いられる補強土工法のうち一般的に普及しているのは、補強材を最小主応力方向へ打設する方法であり、補強材の引張抵抗力により地盤側方へのゆるみを抑えるものりである。しかし、この工法には①斜面前面からの施工になるため、狭あいな場所での施工が制限される、②急勾配で斜面を切り直す際に、掘削に合わせて補強材を段階的に施工するため工期を要する、といった課題が挙げられる。

そこで、斜面法肩や小段から補強材(マイクロパイル)を縦に打設する補強土工法を適用できれば、狭あいな場所での施工が可能となり、上記の課題を克服できる。

本研究では、このように補強材を縦に打設する補強土工法を対象として、斜面全体系や補強材の力学挙動を把握するとともに、補強効果に関する考察や破壊モードの推定を数値解析的に実施した。

2. 解析方法

解析モデルの概要を図-1 および表-1 に示す。解析コードには PLAXIS を用い、解析方法は全応力解析とした。本研究では、斜面前面の切り直し後における荷重状態を対象とし、Case1(載荷前)、Case2(背後斜面上に 40kN/m² 載荷後)の 2 ケースについて解析を実施した。

解析モデルは kamura et.al の条件²⁾と同様、高さ 10m となる自然斜面を構成した。斜面下段 6m 部を急勾配(1:0.5)で切り直す状況を想定し、斜面法肩から補強材を縦に打設した。また、自然斜面の N 値を 10 と設定し、そこから推定される変形係数を土の物性として与えた。補強材は、斜面内をケーシング削孔した後にモルタル(造成径 115mm、設計基準強度 24N/mm²)を注入し、鋼製芯材(D29)を挿入するルートパイル工法を想定している。補強材は 2 列構成の千鳥配置とし、その長さは前列、後列ともに 12m とした。また、補強材頭部は板厚 30cm 相当の剛性を有する RC 床版と剛結し、斜面前面の切り直しに伴い前面壁(RC 構造)を逆巻き施工で設けた。

土のモデルには、拘束圧による土の剛性変化を表現できるひずみ硬化型の双曲線モデルを用いた。補強材のモデルは線形はり要素でモデル化し、はり要素には補強材表面における土との付着力を表現するインターフェース要素を設けた³⁾。

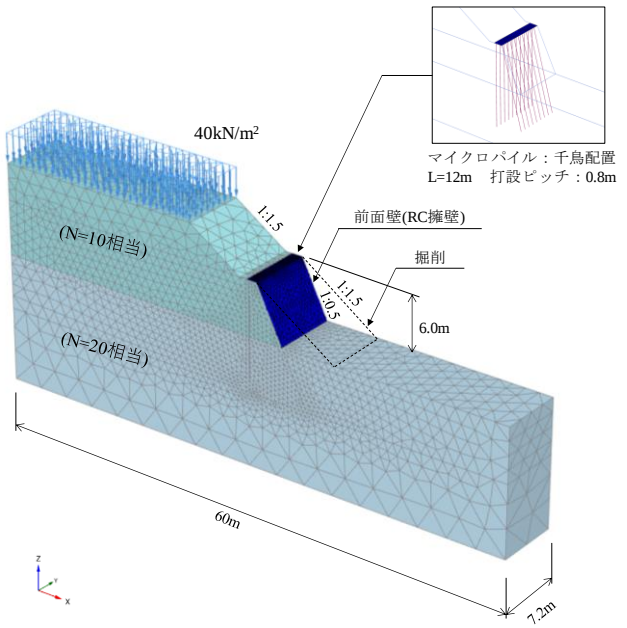


図-1 3次元解析モデルの概要

表-1 材料パラメーター一覧

自然斜面のパラメータ			値
変形係数	E_{50}	(kN/m ²)	7.0×10^3
ポアソン比	ν	(-)	0.33
粘着力	c	(kN/m ²)	10.0
内部摩擦角	ϕ	(°)	30.0
単位体積重量	γ	(kN/m ³)	18.0
基礎地盤のパラメータ			値
変形計数	E_{50}	(kN/m ²)	1.4×10^4
ポアソン比	ν	(-)	0.2
粘着力	c	(kN/m ²)	15.0
内部摩擦角	ϕ	(°)	30.0
単位体積重量	γ	(kN/m ³)	19.0
はり要素のパラメータ			値
弾性係数	E	(kN/m ²)	1.2×10^7
断面積	A	(m ²)	2.1×10^{-2}
断面2次モーメント	I_2, I_3	(m ⁴)	9.1×10^{-6}
極限周面摩擦強度	T_{skin}	(kN/m)	36.1
先端支持力	F_{foot}	(kN)	15.6
単位体積重量	γ	(kN/m ³)	21.0
板要素のパラメータ			値
板厚	d	(m)	0.2
弾性係数	E	(kN/m ²)	25.0×10^6
せん断弾性係数	G	(kN/m ²)	10.4×10^6
ポアソン比	ν	(-)	0.2
単位体積重量	γ	(kN/m ³)	24.5

RC 床版と前面壁は線形の板要素でモデル化した。なお、圧密挙動については、本研究では考慮していない。

3. 考察

図-2 に背面側および斜面側の補強材について、深さ方向

の軸力分布を示す。背面側の補強材に対し、斜面側の補強材の軸力値は、深さ方向の分布および最大値ともに大きくなっていることが分かる。また、斜面側の補強材は、載荷(40kN/m²)後の軸力の最大値が載荷前の1.5倍相当になっている。既往の研究による座屈照査式によれば、この載荷後の軸力値は座屈荷重に達しており、本ケースのような補強形態では、座屈による破壊モードが現れることを示唆している。一方、背面側では、杭頭から2m付近の深さで軸力が反転していることから、載荷に伴い全体系の転倒モードに対応するような引抜き力が発生したものと考えられる。

図-3に背面側および斜面側の補強材の曲げモーメント分布を示す。曲げモーメントについては、背面側、斜面側ともに載荷前後で軸力ほど大きな差が見られないことが分かる。

図-4に水平土圧分布を示す。水平土圧分布をみると、載荷前および載荷後における分布は三角形の形状を示していることがわかる。載荷前における鉛直土圧に対する水平土圧の比をとると、土圧係数は0.5程度となり、一般的な主働土圧の値よりも大きいことが分かる。これは、本ケースのような補強形態の設計における設計外力は、一般的な擁壁の設計で用いられているように主働土圧を用いた場合、安全側の設定とはならないことを示唆している。

図-5に背面側および斜面側の補強材1本あたりの鉛直反力分担率を示す。補強材が受け持つ鉛直反力の割合を補強材1本あたりの鉛直反力分担率として評価すると、背面側では7.3%から6.4%、斜面側では26.6%から38.0%の分担率を示すことが分かった。

4. まとめ

本研究では、マイクロパイルの縦打ちによる補強効果を検討するため、有限要素解析によって補強材の断面力、斜面の土圧分布を確認した。その結果、以下の知見を得た。①載荷重の増加に伴い、補強材が受け持つ鉛直反力の割合が変わる(特に、斜面側の補強材の分担率が大きくなる)、②載荷重の増加に伴い、補強材は軸力で補強効果を発揮し、その結果として斜面側の補強材は座屈破壊に至る、③載荷前における鉛直土圧に対する水平土圧の比は0.5程度となり、主働土圧よりも大きい。

参考文献

- 1)地盤工学会：補強土入門，pp2-5，1999.
- 2) A.kamura et.al：Numerical Study on the Design of Reinforced Soil by Vertical Micropiles, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, Vol.48(No.4), pp10-18, 2017.
- 3) Schanz,T., Vermeer, P.A., Bonnier, P.G.(1999).The Hardening Soil Model：Formulation and Verification, Beyond 2000 in Computational Geotechnics. Balkema, Rotterdam, pp281-296.

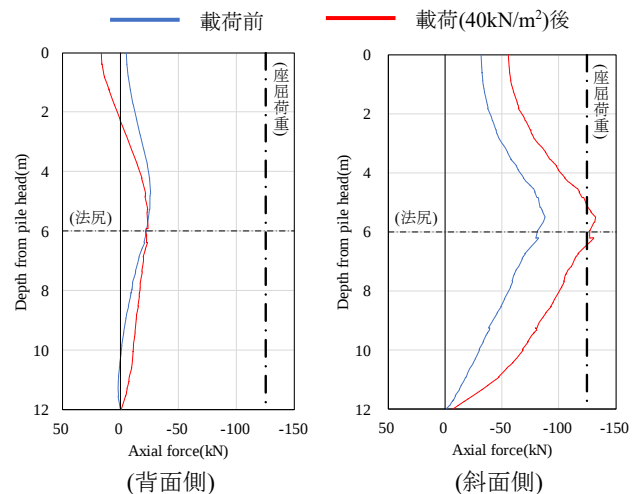


図-2 補強材の軸力分布 ※マイナス側が圧縮

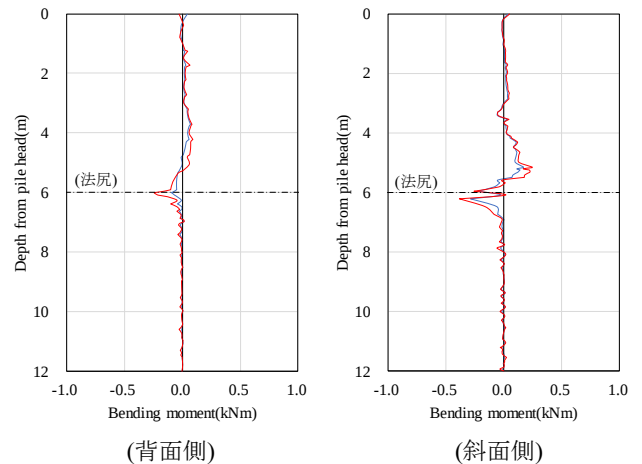


図-3 補強材の曲げモーメント分布

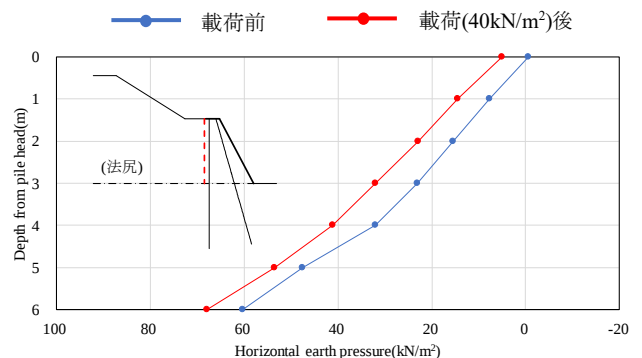


図-4 水平土圧分布

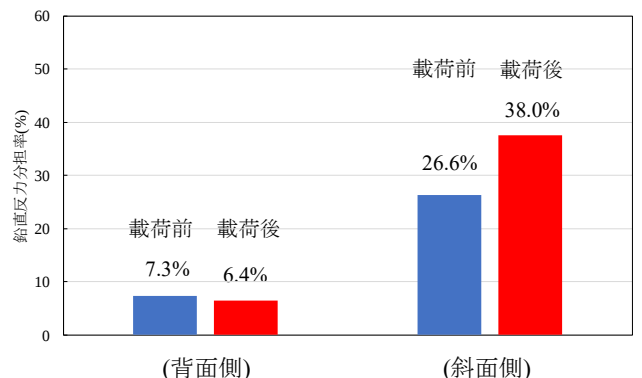


図-5 補強材1本あたりの鉛直反力分担率