

法肩施工の RC 製マイクロパイル斜面補強の地震時挙動に関する数値解析的検討

福島工業高等専門学校 学 ○鹿又善憲 フ 緑川猛彦
 東北大学大学院工学研究科 正 加村晃良

1. はじめに

斜面の法肩や小段から補強材(RC製マイクロパイル)を縦に打設する補強土工法は、省スペース施工が可能であるため土地利用への影響が少ない、斜面の掘削に先行して補強材を打設できるため短期間での施工が期待できる、といった利点を享受でき、斜面補強や土構造物の維持・修繕工事において高い需要を見込める。この工法を対象とした既往の研究では、常時の力学挙動については検討されているが、動的挙動については未解明な部分が多い。

そこで、本研究では地震時における補強斜面の力学挙動について、3次元弾塑性有限要素解析により、補強材の打設角度が異なる2ケース(図-1)を対象に検討を実施した。

2. 解析方法

本解析には、3次元弾塑性有限要素解析コード:PLAXISを用いた。解析モデルは、図-2に示すような自然斜面を模擬し、地盤の固さは、基盤でN値30相当、斜面部でN値20相当を設定し、それに応じた土の弾塑性構成則(ひずみ硬化型の双曲線モデル、履歴挙動は Masing 則)を与えた。解析領域は x 方向 109.3m, y 方向 3.2m, z 方向 45m でモデル化した。自然斜面は高さ 5m からなる 2 段斜面(上段:1m, 下段:4m)で構成し、下段斜面の法肩から補強材の打設した後に下段斜面を急勾配で切り直す状況を想定した。補強材は前後 2 列の千鳥配置とし、補強材頭部は表面材としての機能を持つ RC 床版と剛結した。斜面の切り直し後は、最大加速度 200gal, 周波数 2Hz 一定の入力地震波(図-3)を解析モデル底面に 16 秒間与え、補強斜面および補強材の動的挙動を検討した。また、地震を受けた補強斜面背後での土地利用を想定し、地震後に補強斜面の背後へ 20kN/m²の载荷を実施した。

補強材は、実際のマイクロパイルと等価な軸剛性および曲げ剛性を与えた線形はり要素でモデル化し、補強材表面における土との付着力を表現するため、バイリニア型で周面摩擦力の塑性化を表現するインターフェース要素を設けた²⁾。RC 床版(表面材)は線形の板要素でモデル化した。

3. 考察

図-4に斜面の偏差ひずみ分布を示す。両ケースともに、地震後において背面側の補強材背後から鉛直下向きに偏差ひずみが発達していることが分かる。これは前後の補強材に囲まれた領域で土塊が一体的に応答したことで、その背後地盤との間でひずみの局所化が起こったものと解釈できる。Case2におけるひずみの局所化は、Case1に比べてより深部に達して

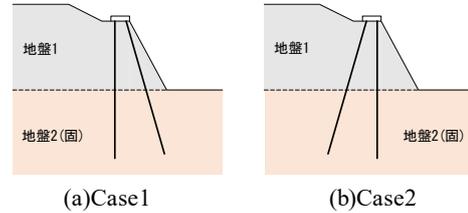


図-1 補強材の打設角度の関係

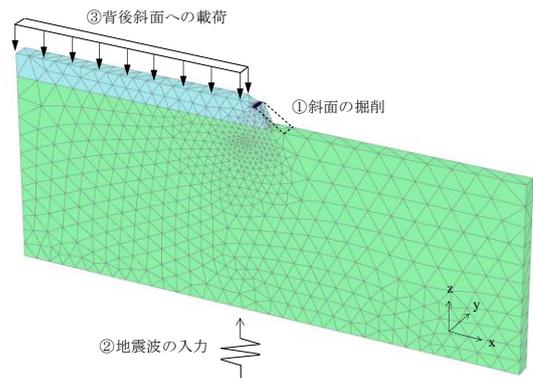


図-2 解析モデルの概要

表-1 材料パラメーター一覧

| 地盤1のパラメータ | | 値 | 単位 |
|------------------|----------------|-----------------------|----------------------|
| 変形係数 | E_{s0}^{ref} | 14×10^3 | (kN/m ²) |
| ポアソン比 | ν' | 0.3 | (-) |
| 粘着力 | c' | 30 | (kN/m ²) |
| 内部摩擦角 | ϕ' | 35 | (°) |
| ダイレイタンシー角 | ψ | 5 | (°) |
| 参照剛性 | G_0^{ref} | 100×10^3 | (kN/m ²) |
| 参照ひずみ | $\gamma_{0.7}$ | 0.15×10^{-3} | (-) |
| 単位体積重量 | γ | 18 | (kN/m ³) |
| 地盤2のパラメータ | | 値 | 単位 |
| 変形係数 | E_{s0}^{ref} | 21×10^3 | (kN/m ²) |
| ポアソン比 | ν' | 0.3 | (-) |
| 粘着力 | c' | 30 | (kN/m ²) |
| 内部摩擦角 | ϕ' | 35 | (°) |
| ダイレイタンシー角 | ψ | 5 | (°) |
| 参照剛性 | G_0^{ref} | 50×10^3 | (kN/m ²) |
| 参照ひずみ | $\gamma_{0.7}$ | 0.15×10^{-3} | (-) |
| 単位体積重量 | γ | 19 | (kN/m ³) |
| RC製マイクロパイルのパラメータ | | 値 | 単位 |
| 弾性係数 | E | 1.2×10^7 | (kN/m ²) |
| 単位体積重量 | γ | 21.0 | (kN/m ³) |
| 断面積 | A | 2.1×10^{-2} | (m ²) |
| 断面2次モーメント | I | 1.2×10^{-6} | (m ⁴) |
| 極限周面摩擦力度 | T_{skin} | 36.1 | (kN/m) |
| 先端支持力 | F_{foot} | 15.6 | (kN) |
| RC床版のパラメータ | | 値 | 単位 |
| 弾性係数 | E | 25.0×10^6 | (kN/m ²) |
| せん断剛性 | G | 10.4×10^6 | (kN/m ²) |
| ポアソン比 | ν | 0.2 | (-) |
| 単位体積重量 | γ | 24.5 | (kN/m ³) |

おり、斜面法尻部の偏差ひずみについても Case1 より大きいことから、これらの傾向は、Case2 の方がより大きい応答になることを示している。また、この影響は地震後の载荷にも現れており、両ケースで载荷後に偏差ひずみの局所化は進展しているが、Case2 ではその傾向がより顕著に出ている。これは、斜面の残存耐力が地震により低下する可能性を示唆している。

図-5 に補強材の変形モード(倍率：10 倍)を示す。両ケースともに地震後および载荷後において、補強材は全体系の水平移動のモードとなっており、前述のとおり補強土塊が一体的に挙動していることが分かる。また、常時の挙動と同様、斜面側が斜杭のケースの方が、変位を抑制できていることが分かった。一方、補強に使用した RC 製マイクロパイルは非常に低剛性であるため、常時においてはある程度の曲率を持って変形することが過去に指摘されているが⁹⁾、地震時には必ずしもそうならないことが示された。これは、常時では斜面中ではらみの変形モードが支配的であったのに対して、地震時にはその慣性力によって、斜面全体が側方へ移動するモードになっていることと対応していると考えられる。

図-6 に補強材の軸力分布を示す。Case1 を見ると、既往の研究⁹⁾と同様に、地震後から载荷後にかけて斜面側の補強材には軸圧縮力が増加しているのに対し、背面側の補強材には変化が見られなかった。これは、補強材の背後における偏差ひずみの局所化により、土が軟化して補強材の周面摩擦力が塑性化したためであると考えられる。Case2 についても同様の傾向が見られるが、Case2 の背面側の補強材は、そもそも軸圧縮力を受け持ちにくい打設角度であることもあり、背面側の補強材は引張補強よりの力学挙動を示すと考えられる。

4. まとめ

本研究では、補強材の縦打ちによる補強斜面および補強材の動的挙動について、3次元弾塑性有限要素解析により検討した。その結果、①補強材の打設角度の違いによって斜面の変位抑制効果や補強材断面力の発現傾向が異なり、既往の研究と同様、斜面側が斜杭のケースでその効果が大きい、②地震時において補強土塊は全体系の側方移動モードとなる可能性もある、等の知見が得られた。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地山補強土工法 設計施工マニュアル, pp5-37, 2011.
- 2) 加村晃良, 風間基樹, 河井正, 金鍾官, 熊田哲規, 疋田信晴, 小西成治：縦打ち補強土工法を適用した実大試験盛土の力学挙動と補強効果, 地盤工学ジャーナル Vol.13, No.4, pp.249-267, 2017.
- 3) 鹿又善憲, 加村晃良, 緑川猛彦：RC 製マイクロパイルの縦打ち補強における補強効果と破壊モードの数値解

析的検討, 平成 29 年度土木学会東北支部技術研究発表会, 2018.

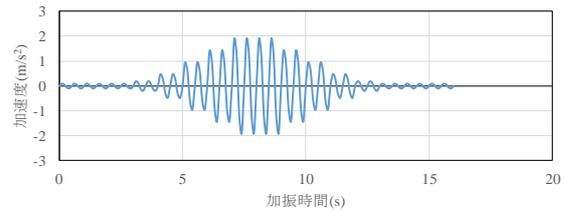


図-3 入力地震波(仮想波)

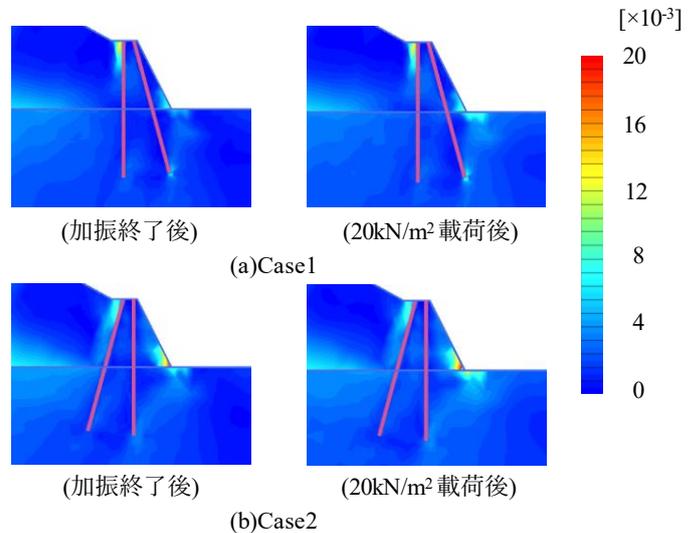


図-4 斜面の偏差ひずみ分布

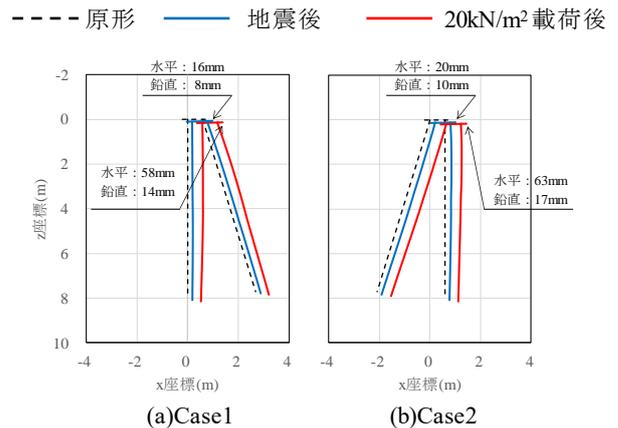


図-5 補強材の変形モード

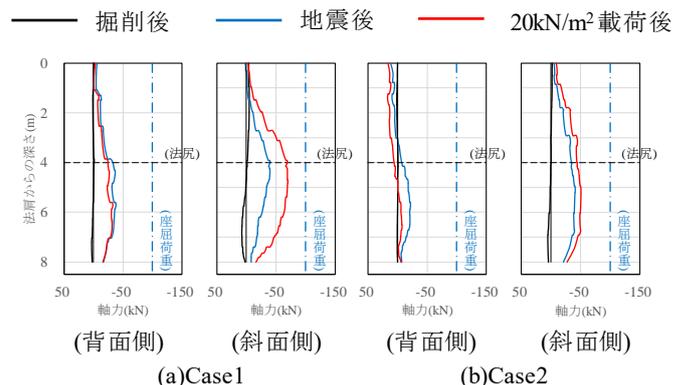


図-6 補強材の軸力分布