

## マルチ法面工法の模型実験による変形抑制性能の検討 ～3次元弾塑性 FEM による模型実験結果の検証～

ライト工業(株) 正会員 ○チッ ス ウェイ  
正会員 木村 太一  
正会員 ティン ザー リ モー  
正会員 荒木 豪

### 1. はじめに

著者らは、新しい法面保護の工法として、マルチ法面工法<sup>1)</sup>(以下、本工法)の開発を行っている。本工法の変形抑制効果について、模型実験を実施し、吹付法枠工法(以下、FF工)との比較検討を行った。その結果、本工法はFF工と比べて高い抑制性能であることが確認できた。本稿では、模型実験と同条件で事後FEM解析(以下、事後解析)を行い、模型実験の結果を検証することで、抑制性能の定量的評価を目的とする。なお、事後解析では、Mohr-Coulombモデル(以下、M-C)とHardening Soilモデル(以下、H-S)の両構成モデルを用い、両者の解析結果についても比較を行った。

### 2. 方法

事後解析では、模型実験と同寸法でモデルを作成し、载荷方法もより実験に忠実な重錘を順次载荷する手順とした。法面上の水平方向の変位量(以下、変位量)と地山補強材の軸力(以下、軸力)の着目位置は、模型実験と同様とした(図-1)。解析ケースは、FF工と本工法の解析モデル2ケースで、2構成モデルを用い、計4ケースとした。なお、解析ソフトは、GTS NXを使用した。

#### (1) FEM 解析条件

解析モデルのメッシュ図を図-1に示す。解析モデルは、盛土、法面工(FF工、本工法)、地山補強材、頭部定着材、鉄筋コンクリート(重錘)、重錘を載せる板(以下、载荷板)で構成した。盛土の構成則はM-CとH-Sの2パターンとした。H-Sは、降伏条件はM-Cと同様であるが、弾性域での非線形性、剛性の拘束圧依存性や除荷・再载荷時の剛性増加を考慮できる構成モデル<sup>2)</sup>であり、より実際の土に近い挙動となる。

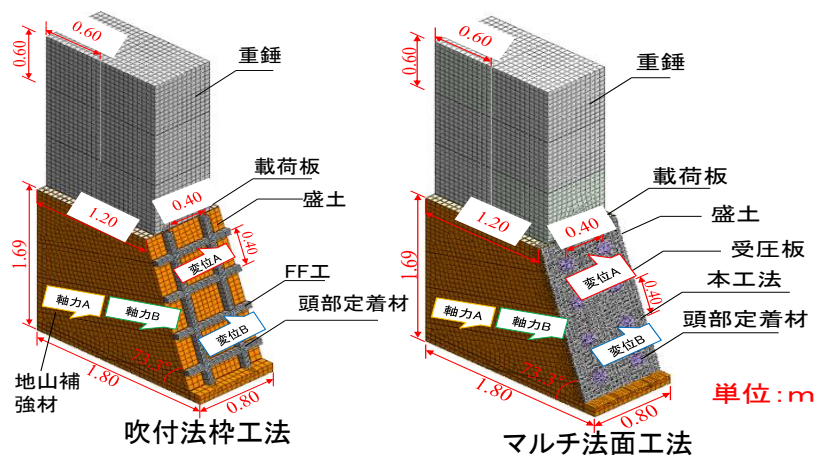


図-1 解析モデルのメッシュ図

#### (2) 入力パラメータ

FEM解析で入力した盛土のM-CとH-Sのパラメータを表-1に示す。パラメータは、模型実験後に用いた盛土材で三軸圧縮試験を実施しており、その結果を用いた。M-Cの弾性係数Eは三軸圧縮試験で得られた変形係数 $E_{50}$ から拘束圧依存性を考慮し、盛土中心部の有効応力で換算した。H-Sの接線剛性係数 $E_{50}^{ref}$ は、三軸圧縮試験の有効応力(基準圧力)下での変形係数 $E_{50}$ を用い、各応力条件の $E_{50}$ を算定するPower Law指数 $m$ は、砂の一般値である0.5を採用した(式-1)<sup>2)</sup>。盛土以外の材料パラメータは事前解析<sup>1)</sup>と同値とした。

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left( \frac{\sigma + p_x}{p^{ref} + p_x} \right)^m \quad \text{式-1}$$

$p^x$  :  $c \cot \phi$                        $p^{ref}$  : 基準圧力

キーワード 法面工, 3D弾塑性FEM, 変形抑制, 模型実験

連絡先 〒300-2658 茨城県つくば市諏訪C23街区3画地

ライト工業(株)R&Dセンター TEL029-846-6175

表-1 盛土のパラメータ (Mohr-Coulomb モデルと Hardening Soil モデル)

要素名	構成則	単位体積重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	変形係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	せん断抵抗角 $\phi$ (°)	基準圧 (kN/m <sup>2</sup> )	三軸試験時の弾性係数 $E_{50}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	※除荷/再載荷時弾性係数 $E_{ur}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Power Law指数 $m$
盛土	Mohr-Coulomb	17	1,700	0.3	1	35	-	-	-	-
盛土	Hardening Soil	17	-	0.3	1	35	40	3,000	9,000	0.5

$$\ast E_{ur}^{ref} = 3 \times E_{50}^{ref}$$

### 3. 結果

FF工と本工法の変位量と載荷重の関係を図-2, 3に, 軸力と載荷重の関係を図-4, 5に示す. FEM解析結果(以下, 解析値)は実線で, 模型実験の結果(以下, 実験値)は破線で示す. H-Sは載荷時の応力増加の影響と, ひずみレベルが小さいために, 相対的にM-Cより弾性係数 $E$ が大きくなり, 変位量が小さくなったと思われるが, M-Cとの差は小さい. よって, 本検討においては, より簡便なM-Cでも充分に実験での挙動を表現できていると言える. 両工法の解析値を比較すると, 本工法の「変位A」, 「変位B」ともにFF工と比べて30%程度小さくなり, 軸力の解析値は, FF工と比べて本工法の方が「軸力A」, 「軸力B」ともにわずかに小さくなった. それぞれの解析値と実験値を比較すると, 変位量の増加については両者が非常に近い傾向となった. 軸力については, 本工法は特に解析値と実験値の乖離が比較的大きくなったが, 本工法の方が小さくなるという関係性については同様となった.

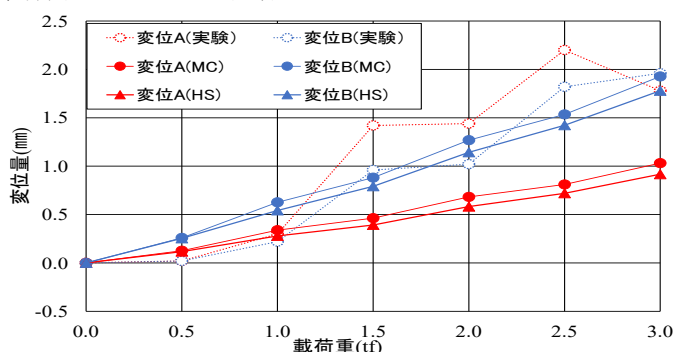


図-2 変位量と載荷重の関係 (FF工)

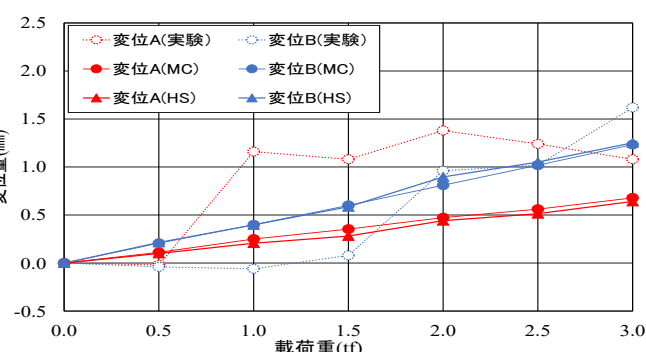


図-3 変位量と載荷重の関係 (本工法)

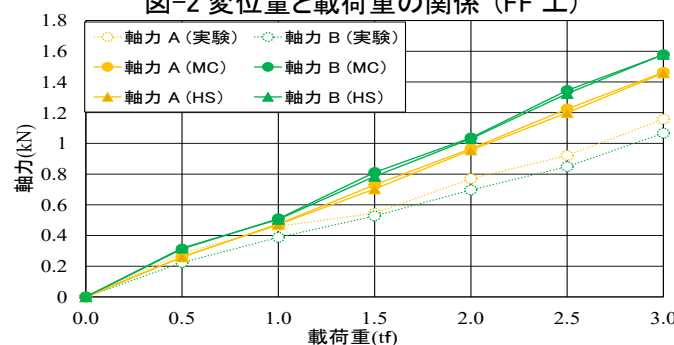


図-4 軸力と載荷重の関係 (FF工)

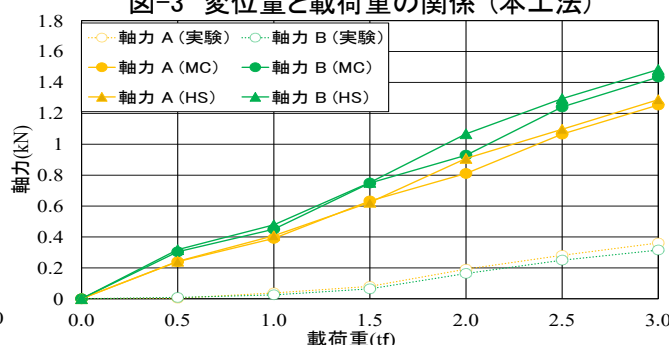


図-5 軸力と載荷重の関係 (本工法)

### 4. 考察・まとめ

荷重の載荷方法を模型実験と同様の条件で事後解析を行った結果, 水平変位に関しては, かなり精度の良いシミュレーションができた. 地山補強材の軸力については, 解析がかなり安全側ではあるものの, 工法の違いによる傾向は表現できている. 以上から適切なパラメータ設定によって, Mohr-Coulombモデルを用いた3DFEM解析が, 実大の法面保護工に関しても工学的に適用できる可能性が高い事が確認された.

#### 参考文献

- 1)モーら: マルチ法面工法の模型実験による変形抑制性能の検証, 第77回土木学会年次学術講演会, 2022, 投稿中
- 2)株式会社MIDAS IT: GTS NX ANALYSIS MANUAL