

# 掘削に伴う先受ルーフの支持機構と周辺地盤への影響に関する研究 “The study of foregoing pipe-roof protection for excavation of grounds and bearing capacity of surrounding soils”

○外木場 康将\*, 森田 修二\*, 岡島 賢治\*\*, 田中忠次\*\*  
 Sotokoba Yasumasa, Morita Syuji, Okajima Kenji, Tanaka Tadatsugu

## 1. はじめに

コスト縮減・工期短縮を考慮し、浅土被りで既設線路や道路を供用したまま直下に農業用排水路（ボックスカルバート）を構築できる施工方法の一つとして先受ルーフ工法が提案されている（図-1）。本工法を従来の設計手法で適用すると、切羽（掘削面）の安定計算には力のつり合いによる古典安定解析、ルーフ仕様決定には地盤を弾性バネ

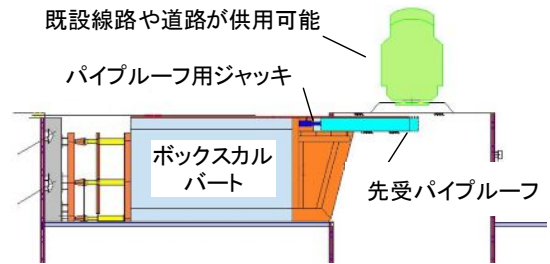


図-1 工法概要図

とした梁-バネモデルが考えられる。しかし、これら従来の設計手法では 1)地盤と構造物の相互作用、2)掘削による地盤の支持力・進行性破壊の評価、3)現場計測のフィードバック（情報化施工の適用）を表現できない。そこで、本研究では上記の課題に際し、施工を再現した模型実験と数値解析から本工法への新たな設計手法の確立を目指す。なお、数値解析は微小変形から破壊までの連続的な解析に有効である弾塑性有限要素解析を用いる。

## 2. 土質模型実験

模型実験装置を図-2(a), (b)に示す。実験は平面ひずみ条件下で実施し、実験規模は実施工の 1/10～1/15 程度想定し、掘削高さを 50cm とした。地盤材料については 5%含水比の豊浦砂を用い、平均相対密度が 50%になるように土層を作成した。先受ルーフにはたわみが生じないように中空正方形鋼 (50mm, 厚み 2.3mm)を用い、土層への先受長は 400mm とした。上載荷重は、エアバックにより 10.0 kN/m<sup>2</sup>の空気圧を载荷した。掘削に関しては、簡易型掘削機を用いて 10mm ずつ掘削した。なお、地表面に鉛直沈下計、ルーフ内部に土圧計と傾斜計を設置し（図-3）、掘削に伴う地盤の変状を計測した。

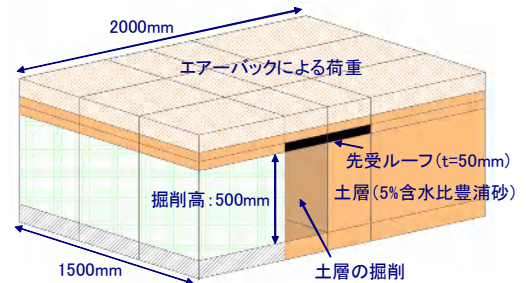


図-2(a) 模型実験概要図

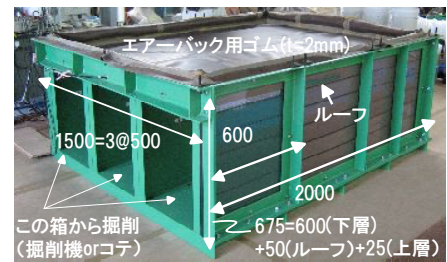


図-2(b) 模型実験全体

## 3. 数値解析の概要

数値解析手法として、有限要素解析を採用する。図-4に計算メッシュ図を示す。地盤部には、ひずみ硬化・軟化、異方性、せん断帯を考慮した弾塑性体を適用し、弾性特性は平均応力に依存させた。一方、ルーフは弾性体と設定した。有限要素は 4 節点アイソパラメトリック要素を

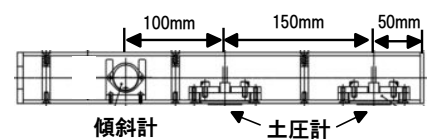


図-3 土圧計と傾斜計の設置

\*株式会社奥村組, Okumura Corporation, \*\*東京大学大学院, The University of Tokyo

用い、選択減退積分を採用する。非線形解析は、implicit-explicit 混合型の動的緩和法とリターンマッピング法を結合させたものを用いた。地盤には explicit 型の要素、ルーフには implicit 型の要素を適用した。解析に使用した各物性値を表-1 に示す。

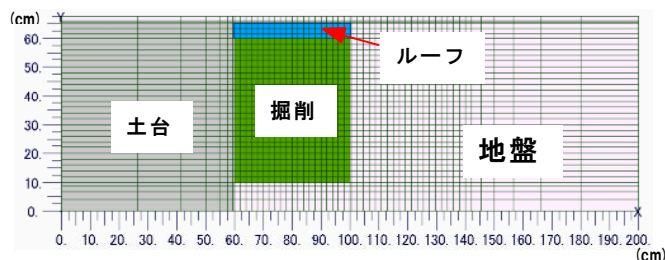


図-4 計算メッシュ図 (節点数 1980 要素数 1890)

#### 4. 実験結果と解析結果

解析での最大せん断ひずみ分布と実験でのせん断帯の発生機構について比較する。図-5(a)は実験での260mm 地盤掘削時の地盤状態である。同図から、260mm 掘削時に地盤が崩壊し、崩壊モードとして、せん断帯はルーフの先端から土層境界面に沿って発生しているのが伺える。一方、図-5(b)より解析結果の最大せん断ひずみの集中領域は、ルーフ先端と土層境界面上端と下端であることがわかり、実験と同様の傾向がみられる。これより、解析結果は、せん断帯の発生機構をある程度模擬できており、地盤状態の判定に本数値モデルが有効であることが判断できる。

表-1 各物性値

		地盤(豊浦砂)	ルーフ
初期弾性係数	(kN/m <sup>2</sup> )	1.68E+04	4.65E+07
初期せん断弾性係数	(kN/m <sup>2</sup> )	6.46E+03	1.94E+07
ポアソン比		0.3	0.2
単位体積重量	(kN/m <sup>3</sup> )	15	9.5
平均相対密度	(%)	50	-
粘着力	(kN/m <sup>2</sup> )	100	-
残留内部摩擦角	(deg)	34	-
せん断帯幅	(mm)	3	-

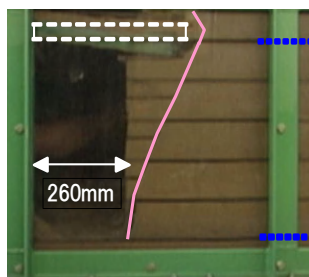


図-5(a)せん断帯の発生機構

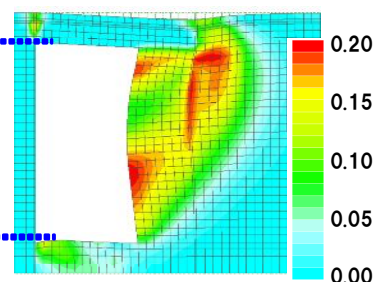


図-5(b)最大せん断ひずみ分布

次に、実験においてルーフの先端に設置した土圧計に作用する土圧と同箇所における解析での鉛直方向土圧について、掘削距離との関係を図-6 に示す。なお、同図では掘削開始時を 0 とし、掘削開始時からの土圧の増分を示している。同図より、掘削が進むにつれ、実験・解析とも土圧が増加している。さらに、掘削が進み崩壊直前において、実験では土圧が減少するのに対し、解析では土圧は一定値に収束する傾向は見られるが、減少までは到っていない。しかし、多少の差異はあるが実験・解析ともに地盤の崩壊直前にルーフ先端の土圧に変化が生じており、本工法において、ルーフ先端に作用する土圧変化を測定することは地盤の状態を把握するパラメータの一つといえる。本事項に関しては更なる議論を進め明確にしていきたい。

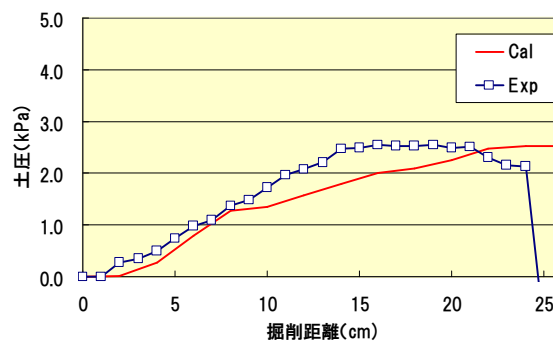


図-6 ルーフ先端に作用する土圧変化

#### 5. まとめ

本研究では、先受ルーフ工法に適した設計手法の確立を目的に、有限要素解析と土質模型実験を行った。弾塑性有限要素解析は本工法に有効な手法であるとともにルーフ先端の土圧変化が地盤状態を把握する上で必要なパラメータであることが示唆できた。今後は 3次元解析や実験を通じて更なる議論を進めていく必要がある。