

トンネル掘削における角型鋼管試験機を用いた基礎的研究

鉄道総合技術研究所 正会員 ○中島 卓哉 正会員 板谷 創平 正会員 仲山 貴司
正会員 西岡 英俊 正会員 岡野 法之

1. はじめに

1) 研究背景

近年、都市規模の拡大に伴い、交通機関のリノベーションが進められている。例えば、鉄道や道路で分断された都市を活性化するための鉄道や道路、人道等の立体交差化事業や、慢性的な交通渋滞の緩和のためのスマートインターチェンジ事業などがこれにあたる。この際、都市景観への配慮や施工上の制約等から、既設交通機関をアンダーパスするトンネル(図1)が新設される事例が増加している。これらに伴うトンネル掘削時には、既設交通機関直下での施工となるため、事前の影響検討として、地表面沈下量のほか、地表面に上載荷重が発生した場合の地盤反力の低下程度も精度良く推定することが重要となる。そのような推定手法はこれまでも幾つか提案されてきているが¹⁾、地表面の地盤反力の低下程度を推定する有効な方法については希少である。この背景に、関連する室内実験などの基礎的研究の事例自体が少ないということが、課題の一つとして挙げられる。

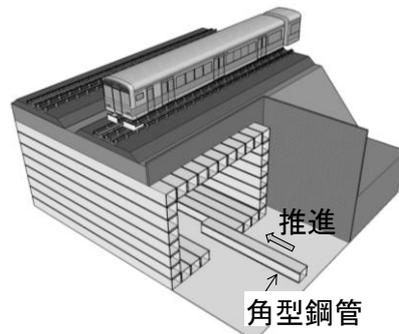


図1 概念図(鉄道の例)

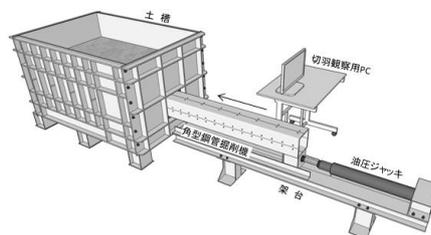


図2 角型鋼管掘進機

2) 研究目的および報告内容

本研究では、上記背景を踏まえ、トンネル掘削時における地表面の地盤反力の低下程度を推定する有効な手法の提案を目的に、模型実験および数値解析を実施している。本稿では、このうち、トンネル掘削時に地表面陥没が生じた場合について、これを模擬した室内実験で地表面の地盤反力の低下率を測定した結果とともに、極限解析法を用いた推定方法²⁾の適用性を検討した結果を報告する。

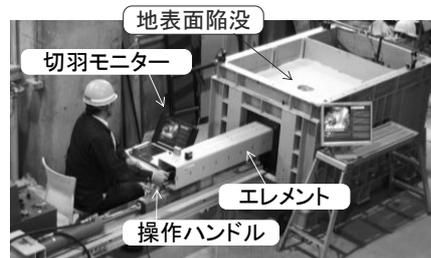


写真1 掘削状況(外観)

2. 室内実験における地表面地盤反力の測定

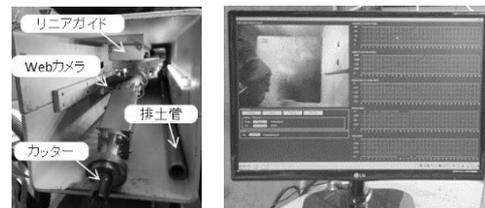
1) 実験概要

矩形の角型鋼管推進を1/5スケールで模した試験機(図2)を用いて、陥没を発生させた(写真1)。土槽は幅、奥行および高さいずれも1mであり、地盤条件は表1に示す通りである。本地盤条件は、実現場にお

表1 地盤条件

項目	内容	項目	内容
使用砂	珪砂7号	変形係数 E_{50}	41.26MN/m ²
含水比	1.0%	ポアソン比	0.317
相対密度	80%	内部摩擦角	42.4°
最小乾燥密度	1.243kN/m ³	粘着力	5.8kN/m ²
最大乾燥密度	1.593kN/m ³		

ける通常の1掘進長である0.5Dまでは切羽安定を確保でき、かつ支障物撤去等のための余掘りを想定した1掘進長1.0Dで陥没が発生するように予備実験を実施して決定した³⁾。架台上に設置した角型鋼管掘進機(□-200mm×200mm)は、刃口先端のロードヘッダータイプのカッタービットにより人力掘削を模した自由断面掘削を行うことができ、後方の油圧ジャッキで推進できる機構を有する。また、



(a) 切羽機構 (b) 切羽モニター

図3 切羽管理

トンネル掘削時の切羽管理は、Webカメラおよびレーザー距離計で行うことができる(図3)。土被りは1D(D:トンネル径=200mm)とし、地盤反力のばらつきを考慮するため、同様の実験を3ケース実施した。

キーワード 近接施工, 地下構造物, 地盤反力

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 TEL: 042-573-7261

2) 実験手順

実現場の標準的な掘進長 $0.1D \sim 0.5D$ のうち、最小の $0.1D$ を目標に土槽中央の 500mm まで掘削・推進した。続いて、設定した地盤条件において切羽安定性を失う $0.8D$ 程度まで余掘りすることで、意図的に地表面陥没を発生させた。この掘削・推進前および地表面陥没後において、地表面の平板載荷（平板直径 4cm ，陥没端から 50mm 間隔，最大荷重 38kN/m^2 ）を実施した（写真 2）。なお、エレメント掘進時における掘削量および推進量を把握するため、実現場と同様に推進量および排土量を計測した（図 4）。いずれのケースにおいても、概ね計画通りの掘削・推進ができていることがわかる。

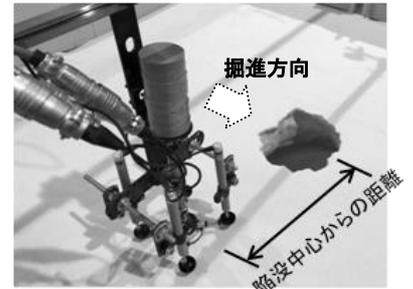


写真 2 平板載荷状況

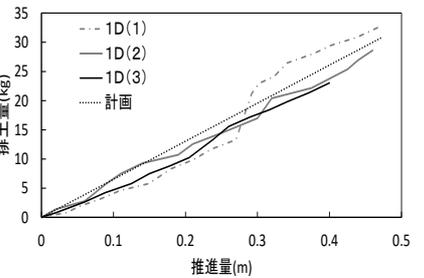


図 4 推進量と排土量 (計画と実績)

3. 地表面地盤反力の推定方法と検証

1) 推定方法の概要

既往の研究により、斜面近傍の基礎の極限支持力は、平地上では地表面に向かう基礎下方からのすべり線が斜面に向かうことにより（図 5）、平地上の極限支持力と比較して、小さくなるがわかっている。また、斜面近傍の基礎に関する既往の研究²⁾では、すべり線に沿って一様に最大せん断強度が発揮されるとした極限解析法で平地上と斜面上の支持力を算出し、これらの比を地盤反力の補正係数として用いることができるとしている。以上のことから、掘削実験で得られた地盤反力の低下程度を定量的に推定するため、トンネル上方の陥没を斜面角 β が 90° の直立とした状態と置き換え、地盤反力の補正係数（＝斜面近傍の極限支持力/平地上の極限支持力）を算定し、室内試験の実験結果と比較することとした。

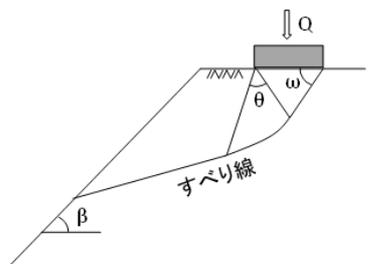


図 5 極限解析法の模式図

2) 実験結果と計算結果との比較

平板載荷で得られた荷重-沈下量の関係から地盤の変形係数を求め、陥没前後における地表面の地盤反力の補正係数を求めた。図 6 に、室内実験により得られた地表面の地盤反力の補正係数、および 1) の推定方法により算定した地盤反力の補正係数を示す。なお、陥没箇所近傍のゆるみの影響を考慮するため、1) の推定方法により算定した地盤反力の補正係数は、上載荷重（今回は列車荷重）が極限支持力を超える範囲では、ゼロとしている。いずれのケースについても、陥没端に近づくにつれて地表面の地盤反力は徐々に低下することがわかる。また、実験値と計算結果を比較すると、今回検証した推定値は、室内試験における実験結果と比較して、概ね一致していることがわかる。

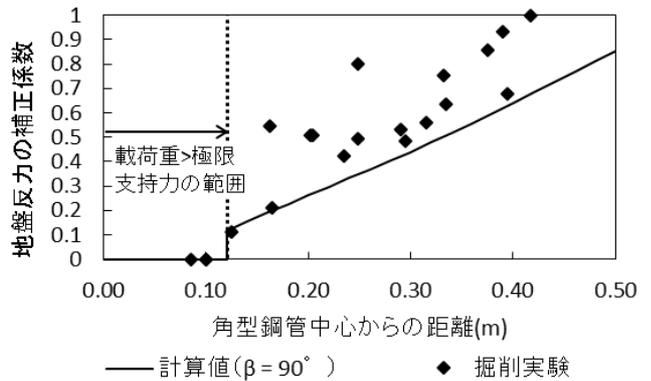


図 6 実験値と計算値の比較

4. まとめ

本研究では、角型鋼管試験機を用いた室内実験との比較を通して、文献 2) に示される極限解析法により、陥没発生後の地表面周囲の地盤反力の分布をより精度予測できる可能性を示した。今後は、エレメント推進時における陥没に至るまでの地盤内部の挙動および地盤反力変化の把握を目的とし、実験を進めていきたい。

<参考文献> 1) (公財)鉄道総合技術研究所：都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル,2007. 2) 奥村文直,村田修,梅原俊夫,海野隆哉：斜面付近の直接基礎の支持力,土質工学研究発表会発表講演集,Vol.21,p.1149-1150,1986. 3) (公財)鉄道総合技術研究所：注入の設計施工マニュアル,2016. 4) 木村孟,藤井斉昭,斎藤邦夫,日下部治：砂中の浅基礎の支持力に関する研究,土木学会論文報告集,Vol.319,pp.97-104,1982. 5) 毛戸秀幸,前田良刀,上原精治,日下部治：斜面上直接基礎の実用的な支持力評価法の提案,土木学会論文集,Vol.403,No.403,pp.147-156,1989.