

# 非開削推進工法による地表面への影響を 検討するための小型土槽実験

板谷 創平<sup>1\*</sup>・富樫 陽太<sup>1</sup>・仲山 貴司<sup>1</sup>・岡野 法之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>鉄道総合技術研究所（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）  
\*E-mail: itaya.sohei.48@rtri.or.jp

近年、エレメントと呼ばれる矩形の鋼管を推進あるいはけん引し、線路下横断構造物を非開削で建設する工法が多く用いられている。本工法において、矩形断面掘削時の地盤の力学挙動を同条件で繰り返し実施可能とした、解放掘削と推進を再現した実験による解明は多くなされておらず、検討を進めることは、安全かつ合理的な設計・施工を行う上で重要である。本研究では、エレメント推進時における地盤の力学挙動を解明することを目的として開発した掘削機を用いて、小型土槽にて掘削・推進実験を実施した。その結果、本実験において設定した含水比の相違による影響は小さく、同様の地表面変位の傾向が得られたため実験の再現性が確認された。また、余掘りを実施することにより、沈下がより大きくなることも確認された。

**Key Words :** tunnel, underpass, excavating test, surface displacement

## 1. はじめに

近年、踏切周辺の交通渋滞や踏切事故、鉄道による都市の分断等の課題に対して、連続立体交差事業が主に都市部において進められている。しかしながら、連続立体交差事業は多くの費用と工期を要することから、より速やかに鉄道との交差部を立体化する単独立体交差事業の需要が高くなっている。単独立体交差事業は、鉄道と交差する道路を高架化もしくは地下化することで踏切を排除する事業であり、特に線路の地下を通すアンダーパスは、景観等の制約が少なく施工事例が増加している。アンダーパス建設の際には、図-1に示すように供用中の鉄道線路下をエレメントと呼ばれる矩形の鋼管を推進あるいはけん引して非開削で建設する工法を用いることが多いが、矩形断面掘削時の地盤の力学挙動を同条件で繰り返し実施可能とした、解放掘削と推進を再現した実験による解明は多くなされておらず、筆者らは新たな掘削機を開発し、検討を進めてきた。

本研究では、非開削工法によるエレメント推進時に地表面に与える影響を実験的に明らかにすることを目的に、小型土槽に模型地盤を作製し、掘削機を用いて掘削および推進実験を実施した。本稿では、小型土槽実験における含水比の差異による掘削・推進時の地表面変位の変化を測定した結果とともに、掘削時に余掘りを実施した場

合の結果について報告する。

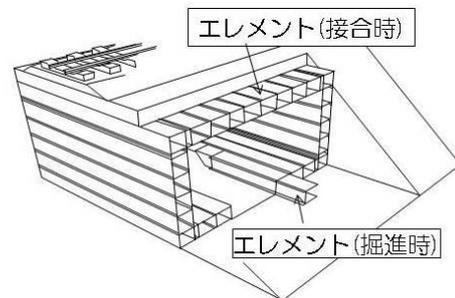


図-1 エレメント推進・けん引工法のイメージ

## 2. 掘削機の概要

開発した掘削機は実際の現場で用いられている一般的なエレメント（1m×1m）の約1/5スケールの矩形鋼管と掘削装置により構成されている（図-2）。鋼管内に操作軸が設けてあり、この操作軸とハンドルを介して鋼管の反対側のカッターで掘削可能な構造とした。ハンドルは、操作軸とナックルジョイントにより接合されており、操作軸がリニアガイド上を動くことにより前後方向に、ハンドルの回転に追従しカッターも回転し、ハンドルを傾けることによりカッターがトンネル軸からの傾きを変え

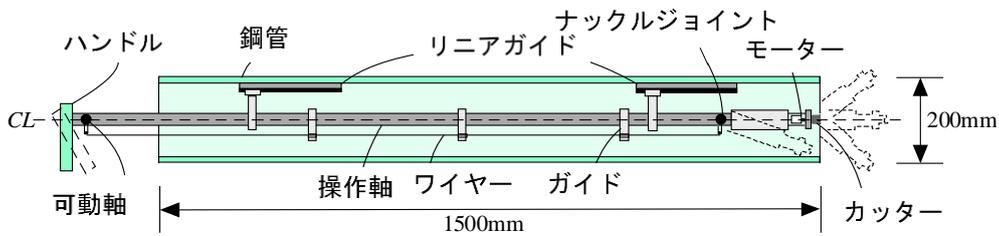


図-2 掘削装置の概要

られるように動くよう設計されている。このように前後・左右・上下方向に制御することで、切羽面を3次元に掘削することができる。

掘削機の切羽面付近の構造は図-3に示す通りになっている。切羽面付近に設置されたカッターにより掘削することが可能であり、最大掘削長は鋼管より200mm、カッターの最大傾斜角はトンネル軸から30°としており、余掘りを実施することができる。

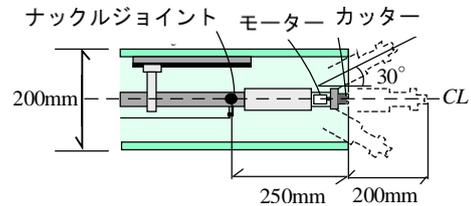


図-3 切羽面付近の構造

### 3. 小型土槽実験

#### (1) 実験条件

実際のエレメントによる推進・けん引工法にて施工する現場においては、地盤を掘削した後にエレメントをけん引装置によりけん引、あるいはジャッキにより推進する。この施工条件を模擬するため、図-4に示すように台車に乗せた小型アクリル土槽に模擬地盤を作製し、掘削・推進実験を実施した。このとき、切羽面付近を撮影・観察するための小型カメラおよび照明と、掘削土を排土するための排土用パイプを鋼管内に設置した。また、地表面の変位を計測する目的で、小型土槽の中心部にレーザー変位計を設置した。

アクリル土槽に作製した模擬地盤は豊浦砂を用いており、2ケース実施した。豊浦砂の物性値および実施ケースごとの含水比、締固め度を表-1に示す。

含水比 $W$ は、乾燥砂を水とミキサーにより混合し調整した。また、土槽に含水比を調整した豊浦砂を50mm投入する度に1.82kgの木槌を20cmの高さより全面を2回ずつ突き固めた。

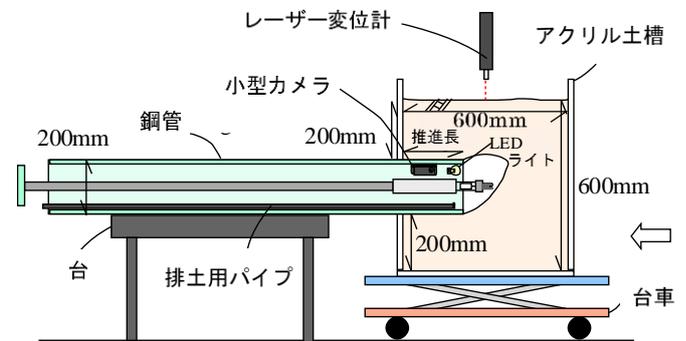


図-4 掘削・推進実験の概要

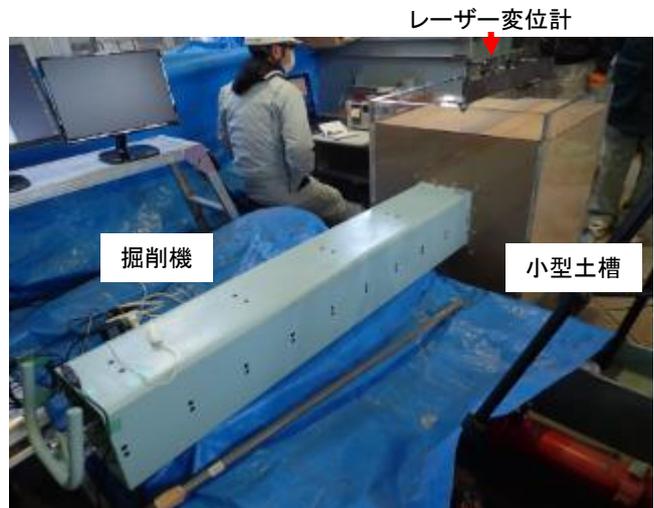


図-5 掘削・推進実験実施状況

表-1 実施ケースごとの豊浦砂の物性値

	含水比 $W(\%)$	締固め度 $D_c(\%)$	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	最少乾燥密度 $\rho_{dmin}(\text{g/cm}^3)$	最適含水比 $W_{opt}(\%)$
ケース1	10	90	1.65	1.337	14.3
ケース2	3	88			

## (2) 実験結果

ケース1, ケース2ともに1ステップごとに20mmずつ掘削・推進を実施した。なお, ケース1では全10ステップ計200mm掘削・推進させ, ケース2では地表面沈下量を大きくする目的で全15ステップ計300mm掘削・推進させた。なお, ケース2では, 鋼管より前方に余掘りを行うことによる地表面変位への影響を確認する目的で, ステップ8以降にエレメントより100mm程度前方まで余掘りを実施した。

ケース1の掘削前および10ステップ完了後の切羽状況と, 10ステップ完了後のエレメント側部および地表面状況を図-6にそれぞれ示す。掘削前および実験中においても切羽面が明瞭に撮影されていることが分かる。また, 全ステップにわたり, 地表面の観察による変化は確認されなかった。

続いて, ケース2の掘削前および15ステップ完了後の切羽状況と, 15ステップ完了後のエレメント側部および地表面状況を図-7にそれぞれ示す。ケース1と同様に, 切羽面が明瞭に撮影されており, ステップ8以降は余掘りを実施したため, 15ステップ完了後の切羽状況を観察すると, 深く掘削されている様子が確認できる。また全ステップにわたり, 地表面の変化は観察されなかった。

両ケースにおいて, 掘削時や推進時に含水比の差異による観察可能な変化は見られなかった。

## (3) 考察

図-8にケース1および2のステップごとの排土量および地表面変位の関係を示す。

排土量について, ケース1では実際の排土量が計画排土量とほぼ同じ値となっている。ケース2においては, ステップ7までは計画排土量とほぼ同じ排土量であるが, ステップ8より余掘りを実施したことから排土量が大きくなっている。これらのことから, 実験計画通りに掘削が行われ, 排土量も正確に測定されていることが確認された。

地表面変位について, ケース1ではステップ5までは沈下が観測され, その後は隆起が観測された。これは, 初期の施工ステップにおいては, 地盤の緩みにより地表面の中心部において沈下するのに対し, 鋼管が変位計の直下より概ね20cm以内に接近する施工ステップにおいては, 鋼管が推進することによって上部の地盤が押し上げられ, 地表面が隆起したと考えられる。

ケース2は, ステップ6まで計画とほぼ等しい排土量で掘削(1施工ステップで20mm)を進め, ケース1と同様の地表面変位の傾向を得ている。ステップ6までの掘削・推進では, 本実験で設定した含水比の相違による影響は小さいと言え, また, ここからは, 実験の再現性



切羽状況(掘削前)

切羽状況(ステップ10)



エレメント側部



地表面状況

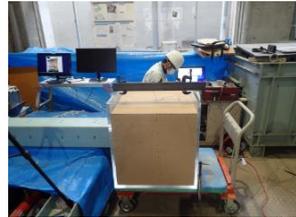
図-6 ケース1の状況写真



切羽状況(掘削前)



切羽状況(ステップ15)



エレメント側部



地表面状況

図-7 ケース2の状況写真

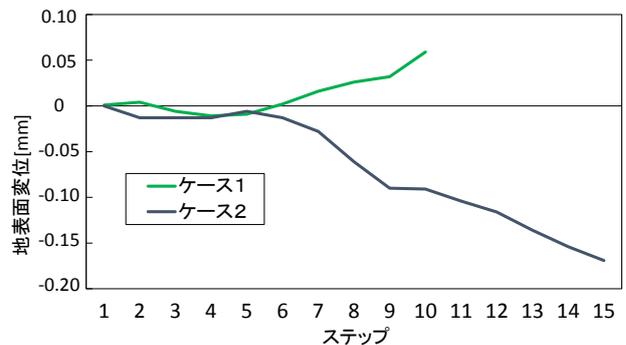
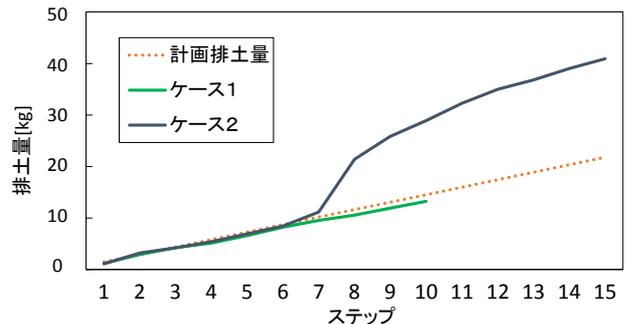


図-8 ステップごとの排土量および地表面変位

を確認することができた。ステップ5では100mmの掘削・推進を行っており、地表面変位の計測点と掘削機先端の距離が200mmの時点で地表面が隆起する傾向に転じている。なお、ステップ8以降は余掘りを実施しているため、より大きな沈下量が見られた。

#### 4. 結論

アンダーパス建設時に、供用中の鉄道線路下に矩形断面を掘削するエレメント推進・けん引工法が多数施工されているが、実際に地盤がどのような挙動を示すかについて、繰り返し同条件下で解放掘削および推進を再現可能とした実験的検討は、これまで十分になされていなかった。

本研究では、矩形断面掘削時の地盤の力学挙動を解明するために開発した新たな掘削機を用い、小型土槽に含水比条件の異なる豊浦砂による模型地盤を2ケース作製し、掘削・推進実験を実施した。その結果、両ケースとも実験での排土量が計画値と一致したため、所要の矩形

断面を掘削できていることが確認されたとともに、含水比条件を変化させたケースで地表面変位を測定した結果においても、実験の再現性を確認することができた。また、余掘りの条件を追加することにより、余掘りによる地表面沈下の傾向も捉えることができた。

今後は、線路下横断構造物施工時の地表面変位推定の精度を高め、緩み範囲を適切に捉えるための大型土槽による実験や有限要素法による解析を実施して、さらに研究を深度化していく予定である。

**謝辞：**実験の実施にご協力頂いた(株)ジェイアール総研エンジニアリングの川上義輝氏には感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 板谷創平, 富樫陽太, 仲山貴司, 岡野法之: エレメント推進を模した矩形断面の土槽掘削実験, トンネル工学研究報告集, No.27, 2017.

## SMALL-SCALE SOILTANK EXPERIMENT FOR EVALUATING THE INFLUENCE OF THE GROUND SURFACE BY A NON-OPEN CUT METHOD

Sohei ITAYA, Yota TOGASHI, Takashi NAKAYAMA and Noriyuki OKANO

In recent years, a method of constructing a transverse underpass structure using a rectangular steel pipe called an element has been often used instead of the cut-and-cover method. Grasping the mechanical behavior of the ground during the rectangular cross section excavation is important for the safety, rational design and construction. In this study, excavation and propulsion experiments were carried out in a small-scale soiltank. As a result, the influence of the water content ratio set in this experiment was small, and similar tendency of ground surface displacement was obtained, so the reproducibility of the experiment was confirmed. It was also confirmed that sinking became larger by carrying out the extra digging.