閉塞後に 内部掘削

図 1

土槽

土槽壁面

計測

新面

地表面変位量(mm)

0

-0.1

-0.2

-0.3

仮設トンネル

角形鋼管 (挿入中)

架台

诵调後

計測断面に到達

線路下横断工法の施工過程

推進ジャッキ

図2 掘進実験装置

ステップ①:計測断面に到達 ステップ②:計測断面を

図4 掘進ステップ

②計測断面

を诵過後

角形鋼管

角形鋼管掘進時のグラウンドアーチに関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員 〇板谷 創平 滝川 遼 仲山 貴司 岡野 法之

1. はじめに

現在,踏切解消のために線路下横断トンネル工事が数多く実施され,この工事では「線路下横断工法」と呼ばれる特殊トンネル工法が採用されている.この工法には,安全な列車走行を確保するため,内部掘削に先立ち,角形鋼管を挿入して軌道防護を行うという特徴がある(図1).

トンネル掘削では一般に,掘削で生じるゆるみ領域と,それより 上部の土圧を周りの地山へ伝達する「アーチ効果」と呼ばれる応力 集中域が形成されるか否かで,地表面沈下の傾向が異なるとされて いる ^D. そこで本稿では,角形鋼管の掘進実験を実施し,土中応力の 変化と地表面沈下量の関係を捉え,アーチ効果の形成と地表面沈下 量の関係を整理したので報告する.

2.実験装置および模型地盤

実施工に近い施工過程を再現し、また、同一の地盤条件で各種パラ メータの影響を把握するため、1/4 スケールの角形鋼管(高さ 200mm、幅 200mm)を実際に掘進する実験を実施した.

実験装置(図2)は3本の角形鋼管掘削機,推進ジャッキ・架台 および土槽からなる.刃口での掘削と角形鋼管の推進を繰り返しな がら,最大1.2mまで掘進できる仕様となっている.角形鋼管の掘 進に際して,鋼管発進側の土槽壁面から500mm離れた位置に計測 断面(図3)を設け,地表面変位の計測とともに,複数のベンダー エレメントを土中に設置して弾性波トモグラフィを実施した²⁾.

本実験では、厳しい小土被り条件を再現することとし、土被りは 0.2m(1D, D:角形鋼管高さ)とし、地盤材料には含水比1.0%に 調整した珪砂7号を使用し、相対密度80%を目標に締め固めた.含 水は地盤にみかけの粘着力をある程度付加させるためであり、含水 比は軟弱な地表面付近を想定して設定した.



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 TEL 042-573-7266

アーチ効果

a/2

h

R

 $\pi/4-\phi/2$

а φ a:影響幅

L: 掘削長

W:掘削幅

∅:内部摩擦角

α

れる範囲を把握

1.7

1.5

3. 実験結果

角形鋼管単独での掘進実験を行い、地表面変位と土中応力変化の関係 を調べた.図4に掘進ステップ、図5に横断方向の地表面変位分布を示 す. 掘進が進むにつれて鋼管直上が最大となる地表面沈下が見られ, 計 測断面に到達するまでよりも通過後の方が進行していることがわかる. また,図6はトモグラフィ解析により土中応力の変化率(掘削前と測定 時の応力比率)を整理したものである.この結果から、計測断面に到達 するまでは土中にアーチ状の応力集中域が形成されているのに対し、通 過後はそれが消失していることがわかる.

4. アーチ効果が形成される条件

一般に、アーチ高さは掘削断面から1~2D程度とされ、 アーチ内周高さ(ゆるみ領域の高さ)を計算する式が提案 されている³⁾. ここで提案されている式は砂地盤を想定し たものであるが、本研究では粘着力の影響も考慮するた め、図7に示すような幾何学的仮定のもと、式(1)のように 整理した.

 $h = \{a/2\} \{\sin(\pi/4 - \phi/2) - \sin \phi\} / \{\cos \phi - \cos(\pi/4 - \phi/2)\}$ (1)

(a:影響幅, φ:内部摩擦角)

粘着力の影響は内部摩擦角に換算して考慮することと した. なお, 式中の影響幅 a について, 三次元降下床実験 から降下床の対角線長となることが確認されている³⁾.本 研究ではこれに準じて、切羽通過時に対しては式(2)のよ うに掘削長と掘削幅から求めることとした.

$$a = \sqrt{L^2 + W^2}$$

(L: 掘削長, W: 掘削幅)

-0.15

-0.20

亊

0.7

図 9

式(1)はアーチの内周高さを計算するものであり、図6に示した通り、実際には発生するアーチ状の応力集 中域はある程度の幅を有する.そこで,掘削長,掘削幅をパラメータとして図8に示すような複数ケースの掘 進実験を実施し、式(1)と地表面沈下の傾向が変わる境界と比較した.

(2)

図9は、横軸に土被りHとアーチ高さAとの比(Hh)、縦軸に切羽直上の地表面沈下量を示したものであ る. この図から, Hhか小さくなるにつれて地表面沈下量は増加するが, Hhか 1.5 以上では沈下量が抑制さ れる結果となり、既往の研究において想定されていたものとも整合する結果が得られた.

5. まとめ

本研究では、1/4 スケールの掘進実験を実施し、土中応力の変化と地表面沈下量との関係を明らかにした. また、掘進に伴うアーチ効果の形成挙動を土槽実験で再現できることを確認のうえ、掘削長や掘削幅の違い による比較検討のため、様々な掘進方法で実験を実施した.今後は、実施工での計測結果と比較検証して、 地表面沈下を評価する指標として利用していくことを考えている.

参考文献: 1)村山朔郎,松岡元:砂質土中のトンネル土圧に関する基礎的研究,土質工学会論文報告集,12(2),vii,1972. 2)福王翔,桑野玲子:ベンダーエレメント法を用いた弾性波測定による模型地盤内応力の推定,生産研究, Vol.64, No.4, pp. 623-627, 2012. 3) 菊本統ら:トンネル掘削時の力学挙動に関する3次元降下床実験とその数値解析,土木学会論文集,N0.750/III-65,pp.145-158,2003.

- VI-132 -



1)掘削長の変更

1.2

土被り H/アーチ高さ hの計算値

Hhと地表面沈下量の関係