

Ⅲ - B 169

施工過程を考慮したシールド遠心模型実験による地盤変状予測について

西松建設技術研究所 正会員 今村眞一郎 西松建設技術研究所 正会員 萩原敏行
 西松建設技術研究所 正会員 野本 寿 東京工業大学工学部 正会員 日下部 治
 中央大学理工学部 正会員 藤井斉昭

1. はじめに

筆者らは、シールドトンネル覆工に作用する土圧と周辺地盤の変形挙動の解明を目的として、施工過程を考慮したシールドトンネルの遠心模型実験を行っている^{1)~3)}。本論文では、砂質地盤中のシールド施工に伴うシールド直上沈下量、ならびにトンネル横断方向・縦断方向の地表面変状の予測を目的として、これまで得られた一連のシールド遠心模型実験結果を統計的に整理し検討したので以下に報告する。

2. 実験概要

実験では、気乾豊浦標準砂を用いて、空中落下法により相対密度70%を目標に模型地盤を作製し、土被り比 C/D (C :土被り厚, D :シールド直径) を4種類、テールボイド量 (v) を2種類に変化させたシールド掘削実験を各3回行った。なお、詳細の実験条件、方法については、別報³⁾を参照されたい。当実験装置では、シールド管部最外管に対するテールボイドの割合 (v/D) を2% (以下, $v=1\text{mm}$ 実験)、4% ($v=2\text{mm}$ 実験) とした2種類の実験が可能である。図-1に、実験装置土槽部におけるレーザー変位計の設置位置図を示す。実験は、中央大学所有の遠心載荷装置 (有効半径3.05m、最大容量9.62MN/m²) を使用して行った。

3. 実験結果および考察

土槽中央部に設置したNo.1レーザー変位計による地表面計測結果を基に、シールド実験結果について考察する。

(1) トンネル直上地表面変位

シールド実験におけるトンネル直上地表面変位量 (絶対値) をテールボイド量で除し無次元化して C/D との関係として整理した結果を図-2に示す。この図では、シールド掘進過程でのトンネル直上地表面変位量を z_e 、テールボイド発生過程でのそれを z_t として表しているが、 $|z_t|/v$ と C/D の関係は、以下に示す一般式²⁾として表すことができた。

$$|z_t|/v = A \cdot e^{-\left(\frac{C}{D}\right)^B} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $1 \leq \frac{C}{D} \leq 4$

ここで、 A, B : 実験定数

(2) 横断方向地表面形状と沈下曲線式

シールド $v=2\text{mm}$ 実験・土被り1Dおよび4D (2回目) より得られた土槽中央部の横断方向地表面変位の結果を図-3に示す。

変位形状は、各実験ケースとも正規確率曲線を倒立させた形状に相似するため、以下に示す沈下曲線式²⁾で実験結果の整理を行うことにした。

$$\delta(x) = \overline{\delta}_0 \cdot e^{-\beta \cdot \left(\frac{C}{D}\right)^{\gamma} \cdot x^2} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\delta(x)$: x 地点での地表面沈下量

$\overline{\delta}_0$: トンネル直上の平均沈下量

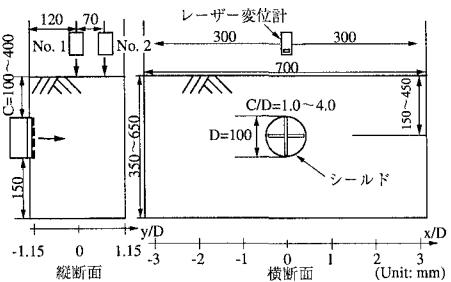


図-1 レーザー変位計設置位置図

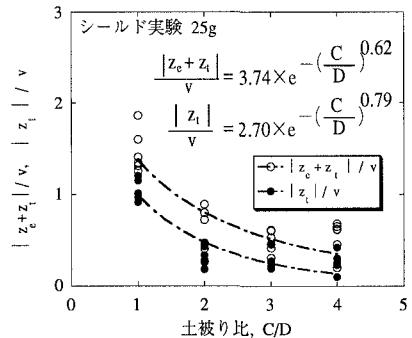


図-2 シールド直上地表面変位計測結果

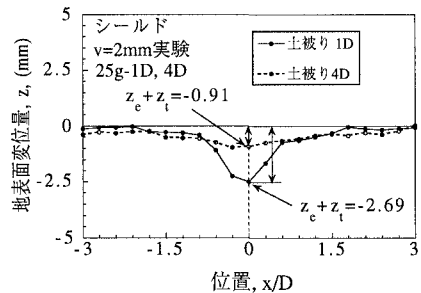


図-3 地表面横断計測結果

シールドトンネル・施工過程・地盤変状・模型実験

〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL 0462-75-1135 FAX 0462-75-6796

β, γ : 実験定数

x : シールド中心からの水平距離

(3) 縦断方向地表面形状と沈下曲線式

縦断方向の地表面変位計測のうち、シールド $v=2\text{mm}$ 実験・土被り 1D で代表した結果を図-4 に示す。

沈下曲線は、施工過程に伴い不連続性を示すことから、縦断方向の沈下データを各土被り毎にテールボイド量(v)を用いて、以下に示す3次式で最小自乗法により近似することにした。

$$S(y)/v = a \cdot y^3 + b \cdot y^2 + c \cdot y \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 $S(y)$: y 地点におけるトンネル直上地表面沈下量

a, b, c : 係数

y : トンネル軌線上の発進地点からの距離

ここで、土被り 1D の条件で、シールド $v=1\text{mm}, 2\text{mm}$ 実験から得られた全ての沈下データをテールボイド量で除し無次元化して、切羽からの距離との関係を整理し、(3)式で近似した結果の一例を図-5 に示す。

(4) 砂質地盤における地表面変状領域

図-6 は、施工過程を考慮した遠心実験結果に基づき、横断方向 (式(2)) と縦断方向の沈下トラフ (式(3)) を組み合わせて求めたシールド掘進時の地表面沈下のコンターを示している。なお、施工過程 (掘進過程からテールボイド発生過程まで) の横断方向の地表面沈下形状は、縦断方向の地表面計測結果 (図-4) に基づき、式(2)、(3)の組み合わせで示される沈下形状と仮定し、シールド直上の最終沈下量式(1)をもとに切羽からの距離毎に地表面沈下量を算定した。

図-6 から、トンネル軸方向における最大沈下の発生は、切羽通過後、約3D後方の地点において生じていることが判る。また、横断方向についても、沈下の影響範囲は約3Dであることが判る。このコンター図は、過去の一般的な施工経験⁴⁾ によって示されている結果と定性的な一致を示していることが判る。

さらに、図-6 から得られた結果に基づき、シールド掘進に伴う地表面沈下形状について3次元Viewを描いたものを図-7 に示す。今後、現実のシールド直上の地盤変状を忠実に予測するため、裏込め注入過程を模擬できるシールド機の開発を行っていく予定である。

4. おわりに

施工過程を考慮したシールド遠心模型実験より、砂質地盤におけるトンネル施工に伴う地表面沈下影響領域を定量的に明らかにすることができた。また、シールド施工に伴うトンネル直上の地表面変状の3次元 View を表現することができた。

【参考文献】1) 野本ら：施工過程を考慮したシールドトンネルの遠心模型実験，土木学会論文集，第529号/Ⅲ-33，pp.47～56，1995. 2) 野本ら：遠心実験による砂地盤中のシールドトンネルの覆土工圧と沈下性状について，土木学会論文集，第561号/Ⅲ-38，pp.283～293，1997. 3) 野本ら：施工過程を考慮したシールド遠心模型実験 (その1～4)，土木学会第51回年次学術講演会，Ⅲ，pp.316～323，1996. 4) 間片ら：シールド掘削に伴う地盤沈下測定結果，第15回土質工学研究発表会講演集，pp.1541～1544，1980.

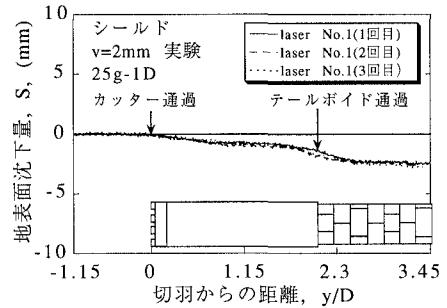


図-4 地表面縦断計測結果

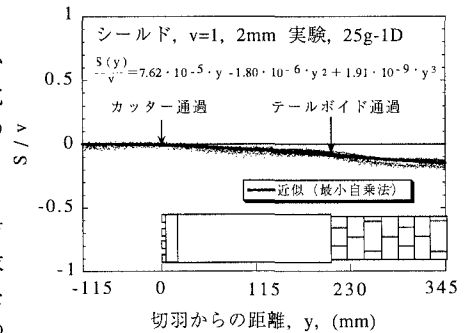


図-5 無次元化された地表面縦断沈下形状

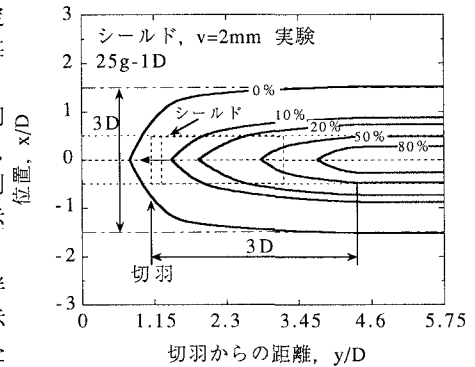


図-6 地表面変位コンター

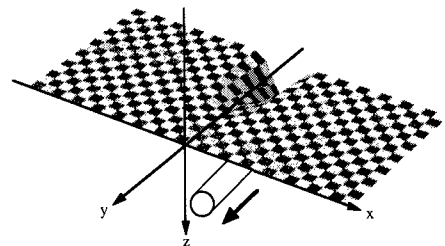


図-7 地表面沈下形状の3次元 View