シールド急曲線部の推進方向の周辺土中土圧に関する遠心模型実験

1. はじめに

シールドの急曲線施工では、余掘りによる緩み防 止や地盤反力増強のために薬液注入などの地盤改良 工法が採用されることが多い.その設計手法には、 シールド掘進の観点から推進方向の曲線外側の地盤 反力を考慮する方法¹⁾、ジャッキ推力の反力として のセグメント設計の観点から曲線外側の地盤反力を 考慮する方法²⁾などがあるが、合理的な評価法は確 立されていない.

本研究では、地盤反力や土中応力の大きさや分布 の把握を目的に、遠心場の砂地盤中でシールド急曲 線部の水平載荷実験を行った.中折れを模擬したシ ールド本体に、片押しと全押しでジャッキ推力を与 えた時の掘進方向のそれぞれの土中土圧について報 告する.

2. 実験方法

図1は模型土槽および砂地盤の平面図と断面図で ある.砂地盤は、剛体土槽内に空中落下法により豊 浦砂を相対密度約80%で撒きだし作成した.シール ド本体を模擬したアルミ部材は、直径10cm、長さ約 10cm(前胴6.4cm、後胴4.5cm)の中折れ円筒形(実 機スケールで各3m)であり、部材密度も実機と同等 になるように中空構造とした.中折れ角度は約5°で ある.土被りは頂部から10cm(=1D)とした.

実験は約30Gの遠心加速度下で水平ジャッキによる水平載荷を行った. 図2は水平載荷の模式図である. ジャッキとシールド部材は荷重計を介して点で接している. 片押しでは、シールド部材がその場で回転 しないように反力部材を設置した. 比較のための全 押しでは載荷点を2点にして回転を防いだ.

図3は計測機器の詳細配置である.計測項目は, シールド中央高さで水平距離 2.0cm に配置した土中 土圧計による水平応力(シールド面の垂直方向)の ほか,ロードセルによるジャッキ荷重,ジャッキス トロークによる水平変位である.なお,土中土圧計

清水建設(株)	正会員	〇内山	伸	
同	正会員	吉田	順	杉山博一

は,径 6mm の土圧センサーをアルミ部材(縦 2cm,横 2cm,厚さ 1.5cm)に埋め込んだものである.なお,約 30G における各土圧計の水平応力の初期値はおお むね 15~25kPa となり,鉛直応力の計算値(約 65kPa) に対する側圧係数は 0.20~0.33 であった.

3. 実験結果

図4はジャッキ荷重とシールド前面の初期状態からの応力増加の関係である.推力を受けたシールドは前面地盤に押しつけられる.中折れにより前胴が傾いているものの,全押しでは均等に押して応力増加は位置に関らずほぼ等しい.片押しでは回転的挙動により外側ほど変位が大きいため,土中に発生する応力も大きい.その増加量は変位量に概ね比例し



キーワード シールドトンネル,急曲線施工,遠心模型実験,土中水平応力,地盤反力 連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-8482 ている.

図5はジャッキ荷重とシールド外側の応力増加の 関係である.片押しでは,前胴の後部から後胴にか けて応力が発生し,後端部(外-1)が最大となる分 布を示した.前胴の先端部(外-4)は初期応力より 減少した.全押しではすべての点で応力は増加した が,その値は片押しに比べて小さい.

図6はジャッキ荷重とシールド内側の応力増加の 関係である.片押しでは前胴の先端部(内-4)のみ に集中して応力が発生し,それ以外の位置では初期 応力より減少している.全押しも同様な傾向である が,先端部(内-4)の増加はわずかであった.

実際の施工ではシールド全周に配置されたジャ ッキを部分的に稼働させて進行方向を調整するので, シールドの挙動と応力の分布はこれら2つの実験ケ ースの中間に存在すると考えられる.

側面の地盤反力の最大値に関しては,シールド形 状と掘進曲率,ジャッキ推力の分力からなる簡易算 定式(1)がある¹⁾.これはシールドの切羽前面も地 盤反力を受ける状態で,側面の最大地盤反力とジャ ッキ荷重との関係を表すと考えられてきた.

$$P_{r} = \frac{\pi D}{4} W_{\max} \times \frac{1}{2} \times \frac{L_{1}}{3}$$
(1)
ここで、
$$Pr: シールドが地盤を押しつける力 (=F\sin\theta) F: ジャッキ荷重\theta: 推力方向と曲率円周方向との角度(10°)D: シールド半径、L1: 前胴長さW_{max}: 最大地盤反力$$

図7は(a) 片押しケースについて, ジャッキ荷重 Fを用いて式(1)から求めた W_{max}計算値に対する, 外 側の最大値(外-1) と内側の最大値(内-4)のそれ ぞれの比である.ここで, θは実機を想定して 10° とし,計測した土中応力を地盤反力相当と仮定した. 計算値に対する比は, ジャッキ荷重が 1kN を超える と一定または漸減し,最大でも 0.15 程度となった.

4. まとめ

- (1) 中折れ形状を有する急曲線シールド部材の推進 方向の地盤では切羽前面の他に、内側では前胴 の先端を、外側では後胴の後端をそれぞれ最大 とする地盤反力が発生する.
- (2) 本実験より得られた地盤反力相当値は,最大で も従来の簡易算定式による計算値の0.15倍程度 であった.

