

Ⅲ-B100

シールド掘進に伴う負荷土圧発生機構の基礎研究 （洪積砂層を対象とした遠心載荷模型実験）

中部電力電力技術研究所 正会員○西村 均
同 上 正会員 三浦 雅彦
日本工営 中央研究所 中橋 貞雄
都市土木部 正会員 田中 弘

1. 研究の目的

これまでのシールドトンネル近接施工による影響検討では、地山応力解放による周辺地盤変状が主流であったが、今後の施工においては厳しい近接条件での泥水・泥土圧による負荷土圧、あるいはシールド機外周と周辺地盤との摩擦に起因すると考えられる負荷土圧の影響も無視できなくなることが考えられ、シールド掘進による地盤内負荷土圧の評価方法の確立が非常に重要な課題となる。筆者らは特にシールド機外周と周辺地盤の間における負荷土圧発生メカニズムについての実験検討、数値解析検討を実施している。今回は遠心載荷模型実験による実規模相当の掘進実験結果について報告する。

2. 実験装置及び試料

実験に用いた遠心載荷装置は幅1m×奥行80cmのプラットフォームを持つ新型で回転半径は2.6mである。最大搭載質量は遠心加速度62.5Gまでは1ton、最大遠心加速度である250Gでは250kgで、遠心容量は約100G・tonである。計測は4極の光スリップリングを介して30chが利用でき、その他に動力・制御用として22極が使用できる。また流体供給用として4極のロータリージョイントを備える。

図-1にシールド掘進模型装置の全体図を示す。模型の縮尺は1/70で、電力洞道に使用するシールド機として実物径5,000mm、機長7,000mmを想定した。シールド模型はシールド機外面からの周辺地盤への影響を見るため、内管にそってシールド機外面を模擬した外管（肉厚 $t=1\text{mm}$ ）が掘進する形となっている。外管は内管のスリット部を通して内部の受圧部に連結されている。掘進は土槽外部より90WのACモーター及びスクリージャッキによりロードセルを介して受圧部を押すことにより一定速度で実施される。シールド機模型は遠心載荷による地盤圧縮に追従するために、ベアリングを介して土槽外面にスライド固定されており、また模型重量は基礎地盤への影響を実物と合わせるために、実物シールド機と密度を合わせた。地盤内部には土中土圧計と近接構造物としてアルミ製の模型杭を配置した。土中土圧計は $\phi 6\text{mm}$ で、土圧計への土圧集中を避けるために、土圧計周辺には同径程度のダミー部を設けた。計測方向は掘進方向及びその直角方向で離隔は図に示す通りである。模型杭は $\phi 1500\text{mm}$ の場所打ち杭を想定し、相似則により曲げ剛性を合わせ、内部に掘進方向及びその直角方向にひずみゲージを貼付し、曲げモーメントを測定した。

実験に用いた試料は、前報^{※1}の大型一面せん断試験に使用したものと同じで、洪積の熱田層上部砂質土層 D_{S1} である。熱田砂は平均粒径 $D_{50}=0.30\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=88$ のほぼ均一な粒度を示す。不攪乱状態での D_{S1} 層は固結しており、ダイレイタンシー特性は

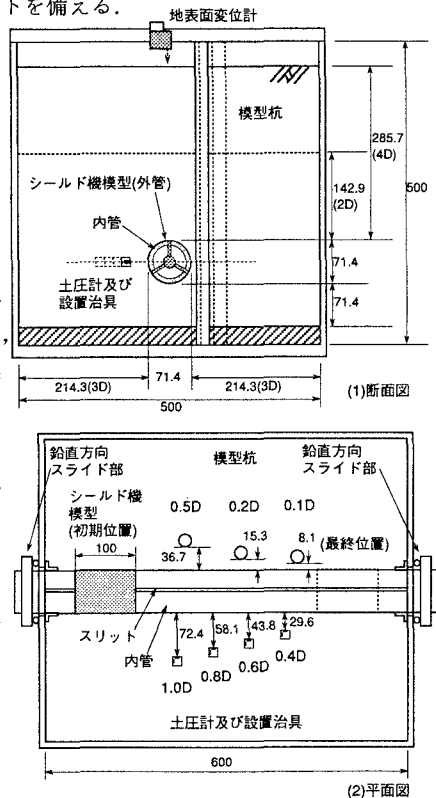


図-1 シールド遠心模型全体図（単位：mm）

〒459 名古屋市緑区大高町字北関山 20 番地の 1 中部電力電力技術研究所 TEL 052-624-9187 FAX 052-623-5117

〒300-12 茨城県稲敷郡基崎町高崎 2304 日本工営中央研究所 TEL 0298-71-2064 FAX 0298-71-2021（シールドトンネル）

やや密詰めめ挙動を示す。実験は締固めて模型地盤を作製するため、三軸試験を実施し、95%密度においてダイレイタンシー挙動、せん断強度が不攪乱とほぼ等しくなることを確認した。

3. 実験ケース

実験は表-1の様に地盤条件、土被り厚 H 、シールド機模型表面粗度、掘進速度をパラメーターとして実施した。実地盤相当のダイレイタンシー特性が得られる密詰め地盤（ D 値 95%）と緩詰め地盤を想定し、表面粗度はシールド実機に近い滑条件と、その表面に標準砂を接着剤により貼り付けた粗条件を考慮した。シールド掘進速度は一般的なせん断試験を考慮して 2mm/min. とし、実機相当の速度 (0.5mm/min.) のケースにより、速度による影響はほぼ無いことを確認している。

4. 実験結果

(1) 土中土圧計測結果

土圧計測値の例として、土被り厚さ 20m、滑条件で実施した Case2 の掘進直角方向の計測例を図-2に示す。図は各測点で得られた掘進開始時点からの土圧計測値増分値をシールド機部位に応じて表した経距離変化図である。離隔が小さいほど増分値は大きく、ほぼ切羽到達時点でピークを示すのがわかる。また切羽到達以後に一旦減少するが再び増加し、テール通過直前に極大値を示す。今回の実験では肉厚 1mm の外管が内管と周辺地盤の間に貫入するような掘進方式を採っているため、切羽到達に際し、負荷応力が発生するものと考えられるが、それ以後に増加する土圧はシールド機外周と周辺地盤との間に発生するせん断に起因するダイレイタンシー現象によるものと考えられる。図-3は掘進方向の土圧増分値の経距離変化図である。掘進直角方向に比べてかなり小さく切羽到達以前にピーク値が得られ、到達時には極小値を示す。その後の通過時には若干の土圧増分が見られる。

(2) 水平方向の負荷応力分布

図-4は切羽到達時の土圧計増分値を離隔に対して各ケースを比較して示したものである。密詰め地盤で土被り厚さのみを変化させた Case-1,2 ではほぼ同様の分布を示し、またこれらの実験では掘進推力もほぼ同等であった。表面粗度を粗条件とした Case-4 ではかなりの増分値が 1D 近くまで到達している様子がわかる。緩詰め地盤の場合は負荷土圧は少ない。ハッチングで示した一定値は、同じ試料を用いて別途実施した圧密試験結果による、遠心模型と同じ応力状態から、外管貫入による地盤圧縮量 ($t=1\text{mm}$) が発生した際の土中応力増分量である。最もシールド機模型に近い 0.4D では緩詰め地盤を除いて明らかに地盤圧縮による増分量以外の負荷土圧が得られているのがわかる。

シールド機外面と周辺地盤とのせん断に伴う負荷土圧が離隔に応じて発生することが確認された。実際のシールド掘進における余掘り・蛇行等を想定した粗条件ではその発生量も多くなることが推定される。

5. あとがき

シールド機外面と周辺地盤とのせん断に伴う負荷土圧が離隔に応じて発生することが確認された。実際のシールド掘進における余掘り・蛇行等を想定した粗条件ではその発生量も多くなることが推定される。

【参考文献】西村ら (1996): シールド掘進に伴う負荷土圧発生機構の基礎研究 (洪積砂層を対象とした大型一面せん断要素実験) 第 51 回土木学会年次学術講演会概要集

表-1 遠心載荷模型実験ケース一覧

Case No.	乾燥密度 ρ_d	含水比 w	D 値 $\%$	土被り厚 H (D: 管径)	シールド機模型表面粗度	掘進速度 v
1	1.578	15.8	95.0	$H=10\text{m}$ ($H/D=2$)	滑条件	2mm/min.
2	1.578	15.8	95.0	$H=20\text{m}$ ($H/D=4$)	滑条件	2mm/min.
3	1.471	18.6	88.6	$H=20\text{m}$ ($H/D=4$)	滑条件	2mm/min.
4	1.578	15.8	95.0	$H=20\text{m}$ ($H/D=4$)	粗条件	2mm/min.
5	1.471	18.6	88.6	$H=20\text{m}$ ($H/D=4$)	粗条件	2mm/min.
6	1.578	15.8	95.0	$H=20\text{m}$ ($H/D=4$)	滑条件	0.5mm/min.

※ 1: 標準プロクター 1Ec. ※ 2: 実物換算値. ※ 3: 模型での掘進速度

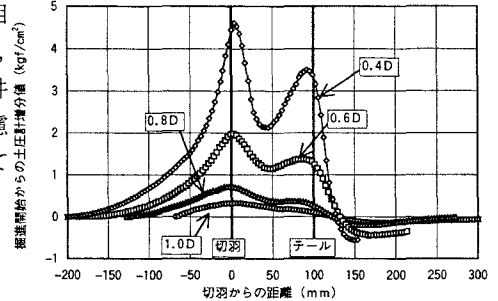


図-2 掘進開始からの土圧計増分値経距離変化図 (掘進直角方向, Case2)

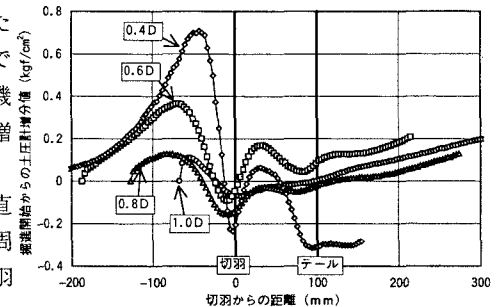


図-3 掘進開始からの土圧計増分値経距離変化図 (掘進方向, Case1)

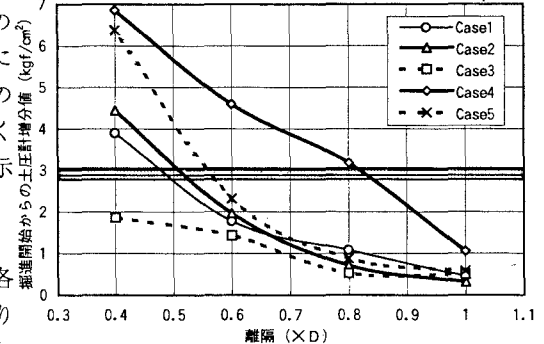


図-4 水平方向の負荷応力分布 (切羽到達時)