

VI-168 縦2連シールドの姿勢変化特性に関する研究（その2） —— ローリング制御の基礎的検討 ——

鹿島建設(株) 正会員 藤崎勝利 五十嵐寛昌
氷澤幸彦 嶋田共志一
川崎重工工業(株) 坂東 幸次 内山 進

1. はじめに

縦2連シールド工法（Ver-D 工法：Vertical Double）は、シールドトンネル2本を上下に同時に施工できる工法であり、狭い占有範囲内に大きな有効断面を確保できるため、安全性・信頼性が高く、工期短縮を図ることができる。しかし、縦2連シールド機は重心位置が高く、上下のカッタの回転によって発生する不釣り合い力のため、施工時の姿勢制御が非常に複雑になる。特に、姿勢変化のうちローリングの発生が懸念されており、その方策として実証実験工事で用いた縦2連シールド機には、上下のカッタの回転を個別に変えると同時に、上下のシールドにそれぞれ中折機構を設けた。本文では、ローリング制御の基礎的検討として行った中折機構を用いた強制ローリング実験結果について報告する。

2. ローリングに関する釣り合い式

シールド機が定常状態（等速度運動中）にある時にシールド機に作用する力（F）とモーメント（M）の釣り合い式については、既報¹⁾で報告したとおりである。これから、ローリング角度が小さい場合のローリングに関する釣り合い式は（1）式ようになる。また、仮定している座標軸及び主な力を図-1に示す。

$$\begin{Bmatrix} F_x \\ M_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} k_1 \\ k_5 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} dy/dt \\ dz/dt \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} k_{15} & k_{16} \\ k_{55} & 0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_y/dt \\ \theta_z/dt \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_{xi} \\ M_{yi} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_{x0} \\ M_{y0} \end{Bmatrix} = 0 \quad (1)$$

ここで、 k_1, k_5 ：面版で生じる力の係数、 dy/dt ：シールド機の掘進速度

k_{15}, k_{16}, k_{55} ：姿勢変化によって地山から受ける力の係数

F_{xi}, M_{yi} ：シールド機の姿勢によって変化する力（ex. テールシールド反力、etc.）

F_{x0}, M_{y0} ：シールド機の姿勢変化に無関係な力（ex. 自重、浮力、etc.）

k_1, k_5 については、既報²⁾で報告した切

削抵抗力の推定式を用いて算定できる。

$k_{15}, k_{16}, k_{55}(=k_{ij})$ については、（2）式

のように表すことができる。

$$k_{ij} = f(\tau_s, k_s, A_x, A_z, O_{cx}, O_{cz}) \quad (2)$$

ここで、 τ_s ：地盤のせん断強度、

k_s ：地盤反力係数、 A_x, A_z ：姿勢変

化に抵抗する土圧が生じる面積、

O_{cx}, O_{cz} ：X, Z方向の余掘量

後述する予測計算では、 A_x, A_z にX, Z方向へのシールド機の投影面積を用いた。

また、中折れによって生じる力（Fxb）及びモーメント（Myb）は（3）式のように表すことができる。

$$\begin{Bmatrix} F_{xb} = f(k_s, dy/dt, \theta_b, A_{xb}, O_{cx}) \\ M_{yb} = F_{xb} \cdot r \end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 θ_b ：中折角度（±2.5deg）、 A_{xb} ：中折れによる土圧が生じる面積、 r ：アーム長

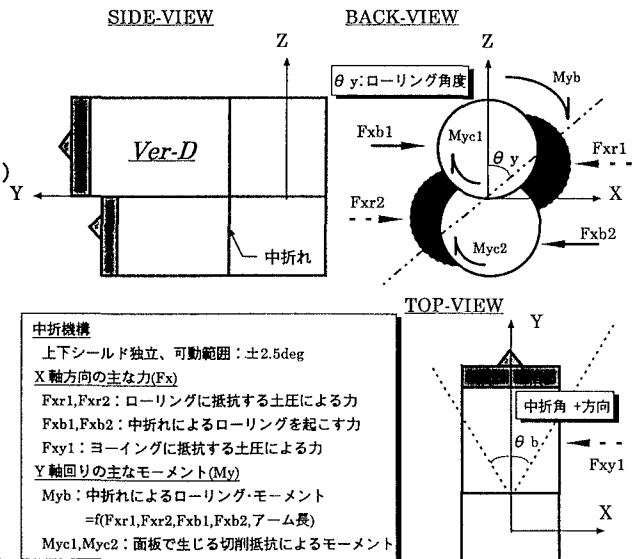


図-1 座標軸とローリングに関する主な力

3. 強制ローリング実験

（1）実験概要³⁾

中折れさせた縦2連シールド機で実地盤を掘進条件（掘進速度、回転数・回転方向、中折角度）を変化させて掘進することで、強制的にローリングを発生させた。掘進条件を表-1に示す。今回の実験では、前半の掘進でシールドを強制的にローリングさせ、後半の掘進でそのローリングを修正することを試みた。

（2）実験結果及び考察

掘進によって発生したローリング角度測定結果を図-2に示す。図を見ると、カッターの回転方向が異なる8及び9リングではローリング角度が正の方向にほぼ一定の割合で増加しており、ローリングに及ぼす影響がカッターの回転よりも中折れによるものの方が大きいことがわかる。また、11リングから中折方向をそれまでと逆向きにしたが、その効果は11リング掘進時では見られず、13リング掘進時の後半になってローリングが変化することがわかる。これは、中折れの方角をシールド機停止時に変化させたため、シールド機周辺の地盤が緩んだことによって、ローリングを起こす力が発生しなかったことによるものと考えられる。

4. 予測値との比較

前述したローリングに関する釣り合い式を使って、表-2に示す計算条件の場合に発生するローリング角度変化を算出した。ここで、ローリング角度変化とは、1リング当たりで変化するローリング角度を示している。図-3に中折角度差と計算結果及び実測値の関係を示す。なお、図に示した実測値は、図-2に示した測定データのうち、シールド機の挙動が定常と思われるものだけをプロットした。図から、今回提案したローリング予測式は、case3の場合を除いて、中折れによるローリング角度の変化傾向をほぼ表現できることがわかる。case3において実測値が予測値を大きく上回ったのは、中折れによって発生するローリングを起こす力並びにローリングに抵抗する土圧が生じる面積、そしてテールシール反力等の様々な仮定に起因しているものと考えられる。

5. まとめ

縦2連シールド機に採用した中折機構を用いることによって、シールド機を強制的にローリングさせることが可能であることが確認できた。このことから、中折機構を使ってシールド機に発生したローリングを制御できる可能性が見出せた。今後は、シールドのローリングに抵抗する土圧分布等について詳細な検討を行い、ローリング予測精度を更に向上させる予定である。

（参考文献）1) 上木、吉村他「縦2連シールド工法の実用化（その1）」第31回地盤工学研究発表会 1996年7月

2) 五十嵐、氷澤他「縦2連シールド工法の実用化（その2）」第31回地盤工学研究発表会 1996年7月

3) 上木、吉村他「縦2連シールドの姿勢変化特性に関する研究（その1）」土木学会第51回年次学術講演会（投稿中）

表-1 掘進条件一覧

Ring-No.	8	9	10	11	12	13	14	15
掘進速度 (mm/min)	20	20	20	20	20	30	40	40
カッター回転数 (rpm)	上部 右 2.0	左 2.0	左 2.0	左 2.0	左 2.0	右 2.0	右 1.0	右 1.0
	下部 右 1.0	右 1.0	右 1.0	右 1.0	右 1.0	右 1.0	右 1.0	右 1.0
中折角度 (deg)	上部 右 1.0	右 1.0	右 1.0	左 1.0 + 2.0	左 2.0	左 2.5	左 2.5	左 2.5 + 0.0
	下部 左 1.0	左 1.0	0.0	0.0	右 1.0	右 2.0	右 2.5	右 2.5 + 0.0

・カッター回転方向：右 ... 坑口から見て時計回り、左 ... 坑口から見て反時計回り
・中折れの方角：シールド機上方から見て右側 or 左側

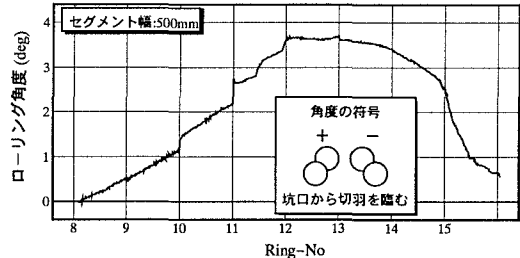


図-2 ローリング角度測定結果

表-2 ローリング予測計算条件

計算条件	掘進速度 (mm/min)	カッター回転数 (rpm)		図-3 凡例
		上部	下部	
case1	20	左 2.0	右 1.0	— — — — —
case2	30	右 2.0	右 1.0	— — — — —
case3	40	右 1.0	右 1.0	— — — — —

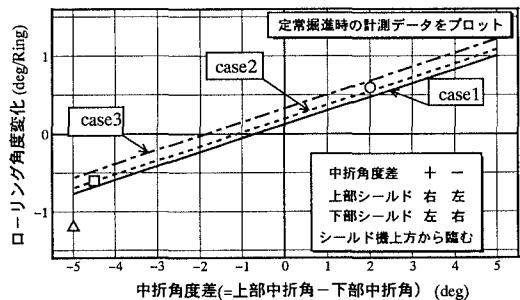


図-3 中折角度差とローリング角度変化の関係