

大口径シールドにおける方向制御方法

清水建設	正会員	○中谷	武彦
清水建設	正会員	原	忠
清水建設	正会員	前田	俊宏

1. はじめに

シールド施工では、シールドジャッキの選択による推力作用点の偏心と、中折れ機構の使用によって回転モーメントを発生させることで曲線部を施工する。中小口径のシールドでは、シールド機外径に対する機長の比が大きく、中折れによる偏心量が大きい。一方大口径では機長／外径が小さくなるため中折れによる偏心量は相対的に小さくなる(図-1)。このことを以下の手法で実施工データの分析により確認し、その適用性について考察した。

2. データ分析

①使用データ

分析にあたって、中小口径シールド工事例として下記事例Aの、大口径の事例として事例Bの実績データを使用した。

【事例A】中部7号幹線築造工事(福岡市)

【事例B】中央環状新宿線 SJ11 工区(首都高速道路)

②分析モデル

まずシールド機が曲線を曲がるための回転モーメント発生に関与する主要因として、ジャッキ推力と切羽圧による抵抗の2項目のみが作用する場合として図-3①のようにモデル化した。切羽圧が一樣であると仮定するとその合力 F_1 はシールド機中心点Oに作用する。この中心点O廻りの回転モーメント M は、ジャッキ推力 T_1 が中折れ角 θ およびジャッキ選択に基づく作用点の偏心により $e_1 + e_2$ 離れたところに作用することによって発生するものとする。

$$M = T_1 \times (e_1 + e_2) \quad \dots (式-1)$$

$$e_1 = L_1 \sin \theta \quad \dots (式-2)$$

実際の曲線施工では、シールド機外周面の摩擦抵抗や、曲線外側の地山からの反力、などの要因が複雑に関与している。これらをモデル化するに当たって図-3②および③のように考える。すなわち、例えば曲線外側からの反力 F_2 が作用した場合、その F_1 との合力は、0から e' 離れた O' に作用すると考え、 O' 廻りのモーメント M' を扱う。周面摩擦などその他の要因についても同様に扱うことができる。

$$M' = T_1 \times (e_1 + e_2 - e') \quad \dots (式-3)$$

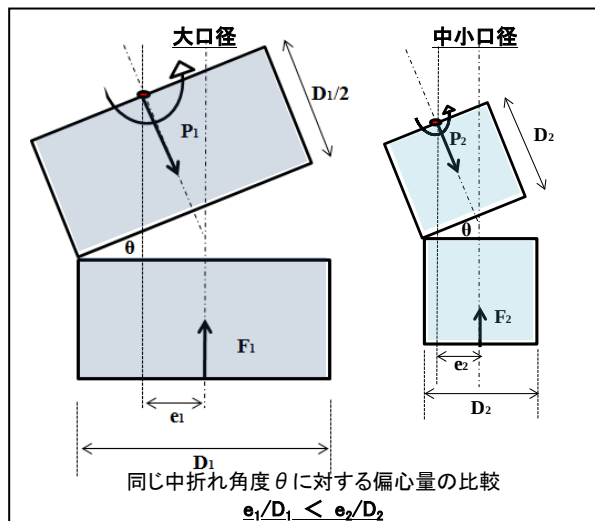
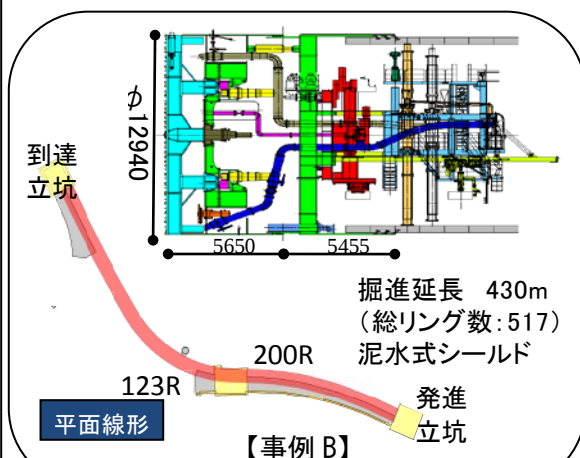


図-1 中折れによる偏心量の比較



【事例A】



【事例B】

図-2 分析対象工事概要

キーワード 曲線施工, 同時施工, 重回帰分析, F-Navi 工法,

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設(株) TEL:03-3561-3892

③分析方法

前述モデルに基づいた下記回帰式の重回帰分析によってモデルの成立性を検証した。分析データとして、上記2工事から、施工リング毎の水平面に関する a) 方向角変化量 Δ 、b) 平均中折れ角度 θ 、c) 平均推力作用点偏心量 e 、を抽出した。モデルにおける回転モーメント M, M' を代替するものとして方向角変化量 Δ を用いた。

$$\Delta = a_1 \cdot \tan \theta + a_2 \cdot e + k \quad \cdots \text{(式-4)}$$

k はダミー定数項で、図-3③での偏心量 e' に対応する。

④分析結果と考察

分析結果(表-1、図-4)では、 a_1 、 a_2 の推定値に対する t 検定値は十分に高く、またモデルと実データ値との重相関係数も十分に高い値となりモデルの有効性が確認された。定数項 k の推定値はゼロと推定され、本事例では曲線施工時に切羽圧以外に働く摩擦抵抗や地山の反力は、十分に小さかったと推定される。

a_1 、 a_2 の相関係数(被説明変数 Δ への寄与率)を両事例について比較すると、事例Aでは、 a_2 の相関係数が小さく、中折れ角度が曲線施工の主要因であることがうかがえる。一方事例Bでは、 a_1 、 a_2 共に相応の相関係数を示しており、大口径においては、中折れ角度と推力作用点の偏心量の両要因が曲線施工に寄与している、ととらえることができる。

一般に中折れ角度は、“余掘り量最小化”という幾何学的条件によって設定されるが、これは必ずしも“シールド機の回転”という物理的な必要条件を満たさず、その過不足を推力偏心量で調整することとなる。本モデルで得られる両変数の関係は、特に大口径での線形管理に有効と考えられる。

4. おわりに

弊社では、中折れ等の首振り機構を活用した方向制御技術(F-Navi 工法)により中小口径での掘進組立同時施工の実績を蓄積してきた。本技術の大口径への展開、また曲線施工時への適用においては、上述の通り中折れ機構と推力作用点の偏心を併用する方法が有効である。その制御に当たっては、施工履歴データを活用して中折れ角度と偏心量の関係を把握することにより、掘進管理上の操作判断支援につなげることが可能であると考えられる。

大口径での掘進組立同時施工に対するニーズの高まりに備え、直線部から曲線部まで幅広く適用できるような同時施工時の姿勢制御技術へ役立てていきたい。

参考文献：1) 伊藤透ほか：シールド方向制御学習システムの構築と現場適用事例, 第68回年次学術講演会講演概要集, VI-137, 土木学会, 2013.

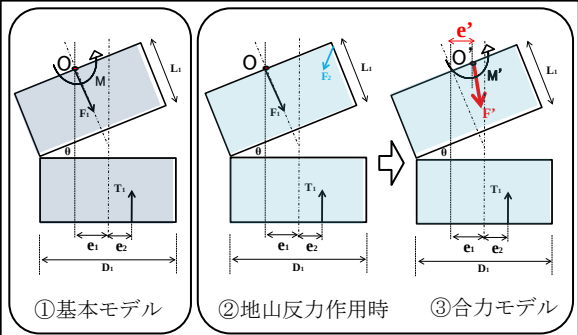


図-3 データ分析のためのモデル

表-1 分析結果

事例	偏回帰係数	標準化係数	t検定値	自由度	相関係数
A					
a_1	0.08	0.86	62.95	1397	0.86
a_2	-0.33	-0.10	-7.00	1397	-0.07
k	-0.01	0.00	-2.31	1397	-

データ数: 1400、重相関係数: 0.861

事例	偏回帰係数	標準化係数	t検定値	自由度	相関係数
B					
a_1	7.88	0.83	45.20	513	0.92
a_2	-0.49	-0.17	-9.29	513	-0.59
k	0.01	0.00	2.43	513	-

データ数: 516、重相関係数: 0.869

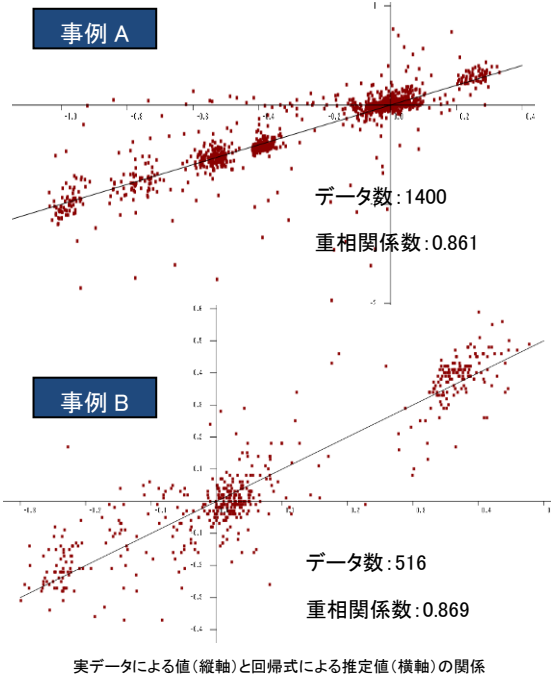


図-4 回帰式による推定値分布

	中小口径	大口径
直線	○ 実績有	
曲線		★ 目指すところ

掘進組立同時施工への適用性

図-5 F-Navi 工法の適用性