

大深度急曲線シールド工法における施工管理用データを用いた テールブラシの性能評価に関する一考察

東京都下水道局 中村益美, 沢里能雄

日本工営（株） ○佐藤誠一, 杉山仁實

1. はじめに 近年、シールド施工技術の向上に伴い、急曲線シールド工法が多用されてきており、また、年々大深度化も進み、近年では 60m 超級の施工も実施されている。このような中、大深度急曲線シールド工事において施工時荷重により RC セグメントが損傷した事例も報告されている¹⁾。急曲線通過時のセグメントに作用する施工時荷重は、日常の施工管理データからでは定量的に把握することは困難であるが、施工管理データである総推力と掘進量の関係では、特に相関関係をもたない直線区間に比べ、急曲線通過後には正弦波のような周期性を持ち、その周期性を生じる原因がテールブラシの性能低下と関係していることがわかってきている²⁾。本稿は実際の施工管理データを用いて総推力と掘進量の周期性に着目したデータ処理を行い、その周期性を指標としたテールブラシの性能評価手法の基礎検討を行ったものである。

2. 対象工事と検討対象データ 今回は、大深度急曲線条件下を泥水式シールド工法で施工した南台幹線その3工事（東京都下水道局，平成12年10月～平成14年3月）を対象データとした。表-1に工事概要を示す。また、路線平面図を図-1に、総推力と掘進量の関係を図-2に示す。検討に適用するデータは、(a)発進直後の直線区間（区間①）、(b)急曲線区間（R=30mの区間②～⑥およびR=40mの区間⑨）、および(c)急曲線通過後の直線区間（区間⑦～⑧、⑩）の3つの施工状態毎に整理し、総推力と掘進量の関係を分析した。

3. 検討手順と分析手法 データ整理及び評価は、総推力と掘進量の周期性に着目して行うものとし、地震動等の不規則振動の周期性を分析するための手法として多く用いられているフーリエスペクトルおよび自己相関関数により行うこととした（図-3）。自己相関関数³⁾とは、離散値として記録されている不規則振動の周期性を検知するための関数であり、ある離散値 x_m と x_{m+j} の相関関係を j の関数（距離のさざみ）として整理したものである。ここでは自己相関関数として以下の式を用いた。

$$\rho_j = \frac{\sum_{m=0}^{N-1} x_m \cdot x_{m+j}}{\sum_{m=0}^{N-1} x_m^2} \quad \dots (式1)$$

表-1 工事概要

項目	諸元
施工延長	131.75m
曲線半径	R=30m, 40m, 70m, 100m
最大土被り	50.23m
地下水圧	45 kPa
掘進対象地盤	固結した砂混じりシルト層と礫混じり粗砂の互層

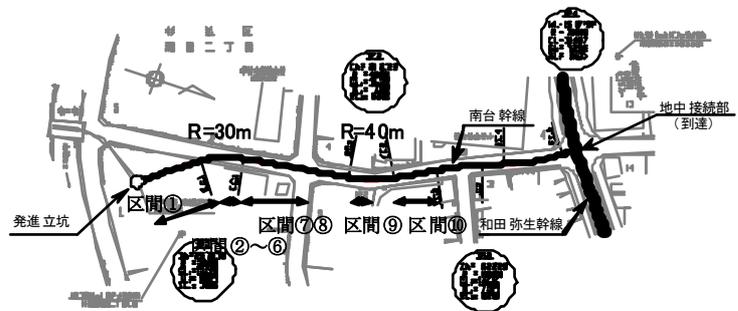


図-1 路線平面図

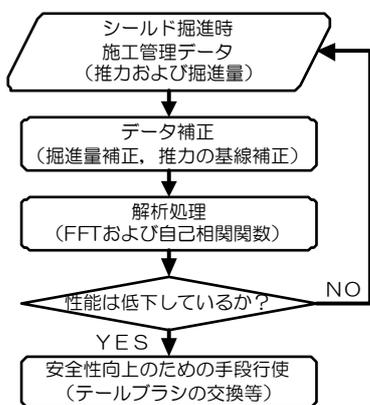


図-3 検討手順

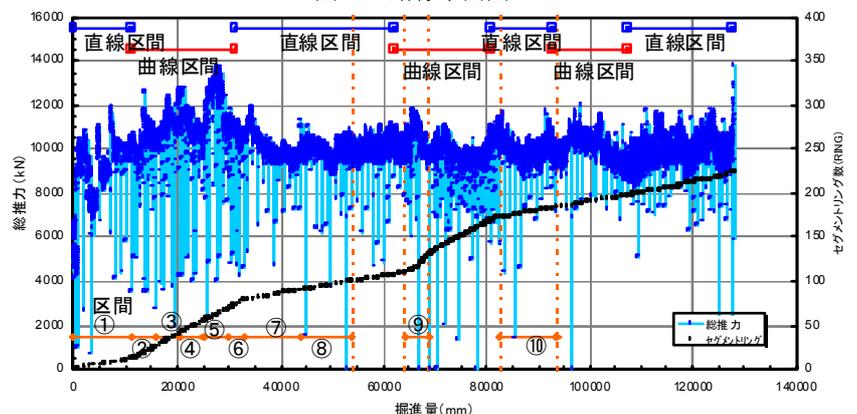


図-2 総推力と掘進量の関係

キーワード: シールドトンネル, 大深度急曲線, 施工時荷重, テールブラシ, フーリエスペクトル, 自己相関関数
 連絡先 : 〒102-8539 東京都千代田区麴町5-4, TEL 03-3238-8353, FAX 03-3238-8230

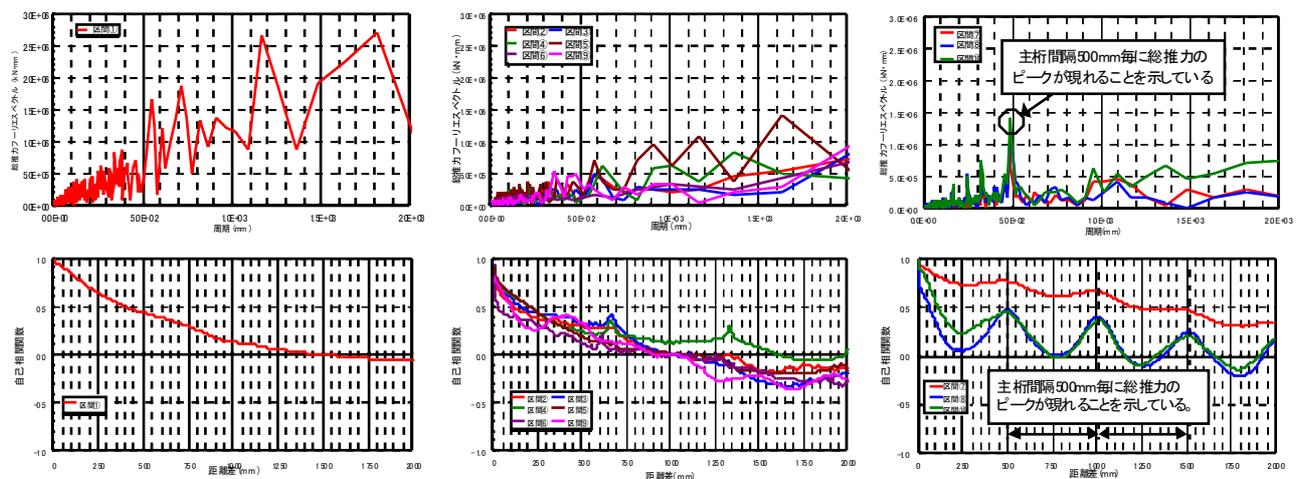
式1では相関値を正規化しているため、あるjにおいてデータの相関性が大きいほど ρ_j は1.0に近づき、逆に相関性が小さいほど0.0に近づいていく傾向が現れる性質を持つ。また、データ処理に際しては図-2に示した総推力データに対して基線補正を施し、フーリエスペクトルおよび自己相関関数を算出した。

4.データ分析結果と考察 図-4（上段）に総推力のフーリエスペクトルを示す。ここで縦軸は総推力フーリエスペクトル、横軸は距離（mm）である。図-4（下段）に総推力の自己相関関数を示す。縦軸は自己相関関数、横軸は距離（mm）である。まず、総推力フーリエスペクトルに着目すると、急曲線（R=30m, 40m）通過後の直線区間（図-4上(c)）では、発進直後の直線区間（図-4上(a)）および急曲線部区間（図-4上(b)）では生じていない周期500mmの位置でピークが生じている。これよりピークが生じる間隔は、急曲線通過後の直線部は三本桁の標準スチールセグメント（セグメント幅1000mm）の主桁間隔500mmと一致していることがわかり、主桁間隔毎に総推力の極大値・極小値が現れているものと推察できる。

自己相関関数の傾向に着目すると、曲線半径R=30mの急曲線通過時まで（図-4下(a)および(b)）は、距離差が大きくなるに従って自己相関関数も0に近づいていること、および明瞭なピークが現われていないことから、距離差に対して相関性が小さいものと考えられる。これに対して急曲線通過後の直線区間（図-4下(c)）では、距離差が500mm生じる毎に明瞭なピーク値を持つことがわかる。これは、総推力が主桁間隔およびスキンプレート中間部毎の間隔、つまり500mmで周期性を持つことを示している。また、急曲線通過後の直線では相関性が顕著になっているが、再度急曲線区間を通過する際（区間⑨）では、この相関性は失われる。これは急曲線区間の総推力がそもそもばらついていることからデータに相関性が現われにくいこと、さらに急曲線部であるため縮径セグメントを用いていることなどが要因であるものと考えられる。

5.まとめ 施工管理で計測する総推力と掘進量のデータが急曲線通過後の直線部分において主桁部の間隔（500mm）で周期性を持っていることが明らかになった。この周期は半径方向の剛性の高い主桁部と柔軟性のあるスキンプレート部をテールブラシが通過した際に総推力の差異が明確に現れることにより顕著になっており、テールブラシの弾力性の低下を示唆しているものと考えられる。

以上のように、主桁部とスキンプレート部で剛性の違いが明らかなスチールセグメントの場合、テールブラシの性能管理の一手法として、フーリエスペクトル及び自己相関関数を利用した総推力の周期性の把握が効果的であり、今後は種々の施工管理データとテールブラシの摩耗度などを関係付けてその性能評価の定量的な評価を提案していきたいと考えている。



(a) 発進直後の直線区間（区間①） (b)急曲線区間（区間②～⑥、⑨） (c)急曲線後の直線区間（区間⑦、⑧、⑩）
図-4 総推力フーリエスペクトル（上段）、総推力の自己相関関数（下段）

参考文献:1)大迫賢一、前田正博、中坊政義、黒住光浩:大深度シールドの施工時荷重によるセグメント損傷事例と解析的検証、下水道協会誌、Vol.38、No.461、2001年3月、2)中村益美、足立一郎、大迫健一、松浦将行:大深度急曲線における施工時荷重の実態と分析、下水道協会誌、Vol.41、No.495、2004年1月、3)大崎順彦:新・地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会、1994