

解説

小土被り近接施工

円形・矩形推進における地盤への影響分析と沈下量の実態

まつもと ふみひろ
松元 文彦
ボックス推進工法協会
事務局長



1 はじめに

推進工法の良さは、地上に与える影響を最小限に止め、交通を阻害することなく管路等を速やかに構築することにある。そのため、地表面沈下や陥没等をもたらす外ではあるが、軟弱地盤の施工や極端に土被りの小さい施工においては、そのリスクは大きく推進技術の力量が問われることとなる。推進工法は「許される範囲での想像力との戦いである」が持論であり、その一例としてテールボイドの安定のためには、テールボイド層を塑性化、固結化する必要があるが、過度な注入は締め付けを発生させ管外周面抵抗力が増加する。逆に管外周面抵抗力を軽減しようとし、液性のテールボイド層を構築した場合、地盤の物性値によってはテールボイドが不安定となり、地盤への影響が発生する。このように推進工法には、常に相反する作用と思われがちな対策と共存しながら、施工を行う必要がある。これらを解決するためには、「地山に許されながら、地山と向き合いながら、さらには掘進機と会話をしながら、管を労わりながら・・・」などの余裕もった判断基準の中でバランスさせることが推進

工法を成功へと導く秘訣となる。特に地山土粒子の活用が前提の泥濃式・泥土圧式推進工法は、厳しい地盤において施工管理の幅が狭く「熟練の度合い」が求められ、機械的や杓子定規的では解決できない現場も存在する。近年では、時代とともに地盤条件や施工環境が厳しさを増していることから、コストを極限にまで軽減しながら計画的で綿密な管理を遵守する施工が問われているのが実態としてある。

そこで本稿では、今後推進工法に要求される土被りの小さい地盤への掘進への対応として、特に円形と矩形断面に着目し、断面形状の違いによる影響変化について実証実験結果を基に調査し、矩形推進特有の管理方法や施工方法について施工現場を踏まえて実態を探る。

2 推進工法における地盤影響要素

地盤への影響を最小限に止めるためには、基本的な掘進管理を遵守することが大前提ではあるが、これら誘因による地盤影響については、本誌の2012年12月号を参考にされたい¹⁾。ここではまず、地盤条件において密閉型推進

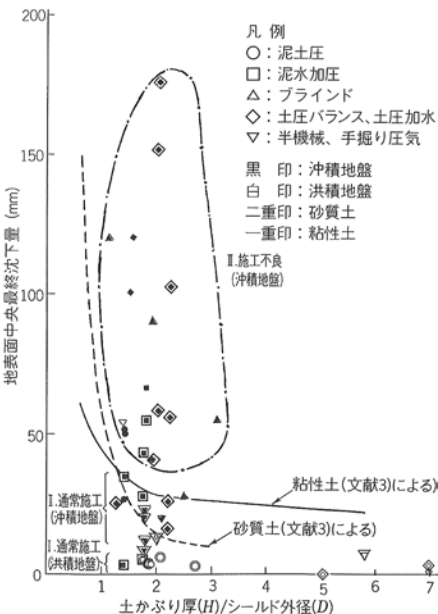
工法が成立する領域を確認する。

標準的な見解として(公社)日本推進技術協会が定める各工法別の適用土質範囲が示されている²⁾。この中で地盤への影響範囲とは別に補助工法の併用が必要な地盤領域として透水係数 $K = 1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 程度以上としているが、崩壊性地盤においては、それ以外の素因についても注意を払う必要がある。その素因については、開放型で掘削するNATM工法における地山評価と流動化指標が密閉型推進工法においても参考になる。表-1に示すように、地山の透水性以外に土粒子の構成が重要となる。密閉型推進工法は、地山に土圧+水圧以上の切羽圧を加えることで地山の安定を図る施工法であるが、地山細粒分の含有率が少なく均等係数が5以下の悪い地盤の場合は、切羽添加材のみで目詰効果が期待できず逸泥現象が生まれ、浸透領域を増加させ、地盤への影響を誘発させる原因となる。そのため、このような土質性状においては、補助工法の併用が必要となり、一般的な推進工事で見られるボーリング調査結果のみの判断だけでなく、粒度分布の構成や透水性の調査結果などに配慮する必要

がある。その他、事前調査が必要な内容としては、既存パイプライン周辺の空洞調査や近接構造物の工事記録、地形や周辺状況の観察などを綿密に調査し、施工現場に反映させる事がリスク軽減対策となる。

3 密閉型推進工法における最小土被り

密閉型推進工法は切羽安定が前提の施工法であるため、切羽圧の安定した保持が難しい土被りの小さい領域では制限を受けることになる。地盤性状が同一の場合、土被りが小さい施工環境ほど必然的に地盤への影響も大きくなる。そのため、ゆるみ土圧的な解釈では一般的には1.0～1.5D程度（D：掘削外径）⁴⁾の土被りを確保する必要があるとされているが、開削や埋め戻し地山および軟弱粘性土では直土圧と考えられるため影響は避けられない。また、シールド工法の実績においても同様な結果となっており、1.5D以下になると顕著に隆起や沈下が増加する。図－1にシールド工法における土被り比と地表面沈下量を示す⁵⁾。



図－1 シールド工法における土被り比と地表面沈下量

表－1 地山の流動化の指標（開放型）³⁾

主体（年度）	指標	備考
矢田ほか（1969）	$G_s \leq 2.65$ 、 $\gamma_d \leq 1.7$ 、 $U_c \leq 4.0$ 、 $D_{50} \leq 1.5$ 、 $D_{10} \leq 0.15$	加木トンネル
森藤（1973）	細粒分含有率（ 74μ 以下） $\leq 10\%$	生田トンネル
日本国有鉄道構造物設計事務所（1977）	①均等粒径の砂・細粒分含有率 $\leq 10\%$ 、 $U_c \leq 5$ ・飽和砂 ②地下水位の高い砂および砂礫層 ③不等水層中に介在する帯水砂層	—
土木学会（1977）	細粒分含有率 $\leq 10\%$ ・ $U_c \leq 5$	—
大島ほか（1979）	細粒分含有率 $\leq 15\%$	—
奥園ほか（1982）	細粒分含有率 $\leq 8\%$ 、 $U_c \leq 6$ 、透水係数 $\geq 10^{-3}$ cm/s	—

ただし、掘削カッタ構造や切羽添加材の配合およびテールボイド注入材（固結型充填材など）を用いて掘進管理手法を工夫することにより、小さい土被りで施工することは可能となり、実際にそのような施工事例も多く存在する。逆に安全とされる土被りであっても、施工法によってはどの工法を採用しても地盤への影響が避けられない場合も多い。そのため、次項に土被りの小さい地盤における実証実験について、特に円形と矩形断面の違いに着目しながら実態を採った。

4 円形・矩形断面における影響解析

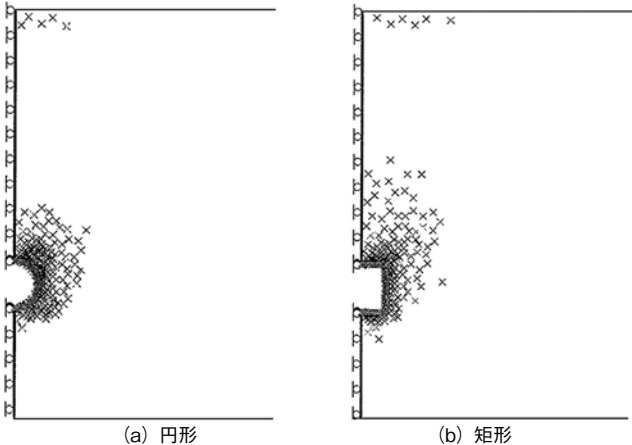
4.1 破壊領域の解析

一般的に円形の場合は断面に対し、等分布の圧力が作用しアーチアクションの形成が可能なため、矩形断面と比

較して安定性は高いとされている。そこで円形と矩形における断面形状の違いによる影響解析を行った。まず断面形状が異なる場合のせん断破壊領域について調査した。図－2に円形・矩形断面における空洞周辺の破壊領域を示す。この解析に使用したパラメータを表－2に示す。破壊基準には、Mohr-

表－2 解析に用いたパラメータ

	均一粒径砂～粗砂
乾燥密度（ $\times 10^3$ kg/m ³ ）	1.6
湿潤密度（ $\times 10^3$ kg/m ³ ）	2.3
間隙比	0.69
せん断弾性係数（Pa）	9.8×10^3
体積弾性係数（Pa）	4.57×10^4
粘着力（Pa）	0.00
内部摩擦角（°）	34
ボアソン比	0.4
ヤング率（Pa）	2.74×10^4
引張強度（Pa）	0.0
ダイラタンシー角（°）	8



図－2 空洞周辺の破壊領域