

矩形推進工法における機械学習を用いた 推進力予測モデルの構築

ユボソン
于渤松いりぐちりか
入口梨佳しまだひでき
島田英樹ささおかたかし
笹岡孝司はまなかあきひろ
濱中晃弘まつもとふみひこ
松元文彦もりたとも
森田智

ワヒュディ・スゲン

1 はじめに

我が国は国土が狭い上に都市に人口や経済拠点が集中し、過密な都市構造となっている。一方、上下水道、ガス、電力、通信ケーブル等のライフラインの管理設は、この過密化した都市部の地下浅部空間に施工せざるを得ない。このような都市部の管きょ構築現場への適用を目指したものが、発展著しい推進工法である。非開削工法のひとつである推進工法は、発進・到達立坑間において工場で製造された推進管の先端に掘進機・先導体または刃口を取付け、ジャッキ等の推進力によって管を地中に圧入して管きょを埋設する工法であると定義され、交通量の多い道路または地下埋設物の輻湊した道路や、軌道または河川を横断するため地上からの掘削が困難な場合、管きょの埋設位置が深いため地上からの掘削となると工事費が嵩む場合、さらに市街地等の周辺環境や道路占用条件から地上からの開削が適さない場合等に採用される。このような採用条件から、既設都市ライフライン構築物周辺での施工が多い推進工法は、これらの既設周辺構築物に対して、できる限り施工の影響を抑制する必要がある。

我が国の都市部では、アンダーパスやバリアフリー地下通路等といった地下空間の有効活用が進められている。管きょを地下に埋設する工法として、開削工法やシールド工法といった矩形函渠構築工法が挙げられるが、こ

れらの既存の工法は広範囲の施工領域の占有が必要であることや、工期が長く高コストであるといったデメリットがある。そこで都市部における有効な施工方法として、非開削技術である密閉型矩形掘進機を用いた推進工法、通称矩形推進工法が開発され、近年管きょの推進施工が実施されてきている¹⁾。推進工法による管きょの施工は、工事公害が少なく低コストであるため脚光を浴びており、今後、大断面の管きょの推進施工も見込まれている²⁾。さらに、近接構築物による制約や地形条件による制約などから、多様な断面を構築する推進工法の需要が増大している。

施工計画の段階において必要となる推進力予測に関しては、円形推進工法では多数の予測式が提案されているものの、矩形推進工法で推進力の予測式を検討した例は限られている。本研究では、推進力を自動的に予測するためにコンピュータアルゴリズムを現場の実績データから構築する機械学習を適用することで、矩形推進を対象とした新たな推進力の予測に関する種々の検討を行った。

2 矩形推進施工における推進力の予測

矩形推進施工における推進力を正確に予測することは、施工計画の段階において重要である。推進力の正確な予測により、ボックスカルバートや発進立坑の損傷

の抑制や長距離推進・曲線施工における効率的な施工が可能となる³⁾。現在、施工計画の段階において必要となる推進力予測式に関しては、現場データに基づく統計的評価と理論的導出による関係を組み合わせることで推進力を予測している^{4), 5)}。そのため、推進力の予測値と実測値に大きな誤差が生じており、地質と施工条件など現場の経験に基づいた修正が必要とされている。このような理由から、矩形推進施工において、正確な推進力予測モデルの構築は依然として大きな課題となっている。

推進施工において推進力を正確に予測することは、長距離推進・曲線施工における効率的な施工に重要である。例えば、施工効率低下に対応する主要な対策のひとつである中押装置の設置は、一般的に高コストとなるため使用されないことが多いが⁶⁾、推進力を事前に精度よく予測することができれば設置の検討も可能になる。そこで、矩形推進工法において機械学習を用いた推進力の予測手法としてベイズ統計法を用いた矩形推進の新たな推進力予測モデルを構築し、現場から得られたデータを用いてその適用性に関する検討を行った。

3 矩形推進工法における推進力の算出

矩形推進工法における総推進力 F_t は、前面抵抗力 F_{face} と管周面抵抗力 F_{fric} の和で(1)式により算出される。

$$F_t = F_{face} + F_{fric} \quad \dots\dots\dots (1)$$

矩形推進工法の施工計画の段階においては、推進力の算出には、①理論的導出によるモデル、②現場データに基づく統計的評価によるモデル、の両方が適用される。前面抵抗力に関しては、(公社)日本推進技術協会(以下、JMA)が現場データに基づく統計的評価によるモデルを提案しており⁷⁾、後にShouらは実測値をより正確に算出するためにJMAのモデルを経験的なデータに基づいて調整しており、次の(2)式によって算出される⁸⁾。

$$F_{face} = 13.2 \cdot C_s \cdot N' \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 C_s ：掘進機の外周、 N' ：前面抵抗力係数であり、粘性土の場合は1、砂質土は2.5、砂礫土は3.5の値をとる。

管周面抵抗力に関しては、既存の文献⁴⁾において、矩形推進工法に特有の経験的な算出方法が不足していることを明らかにしている。図-1に滑材のオーバカットへの充填状況を考慮した場合の管と地山の接触状態を示す。管と地山との接触に関して、管上面と側面は滑材を介して地山と接触しているが、管底面では滑材が充填されている。また、通常、ボックスカルバートの構造は、滑材が注入されたテールボイド内で浮力を保持するように設計されているため、掘進中に滑材を継続して注入することで、不安定なテールボイド内でも浮力が確保できる⁹⁾。これにより、管の底部と地山の接触はある程度抑制され、それらの間の摩擦が無視できるほど小さくなると考えられる¹⁰⁾。したがって、周面抵抗力は(3)式によって算出することができる。

$$F_{fric} = B \cdot L \cdot \tan \delta_v \cdot \sigma_v + 2 \cdot H \cdot L \cdot \tan \delta_h \cdot \sigma_h \quad \dots\dots\dots (3)$$

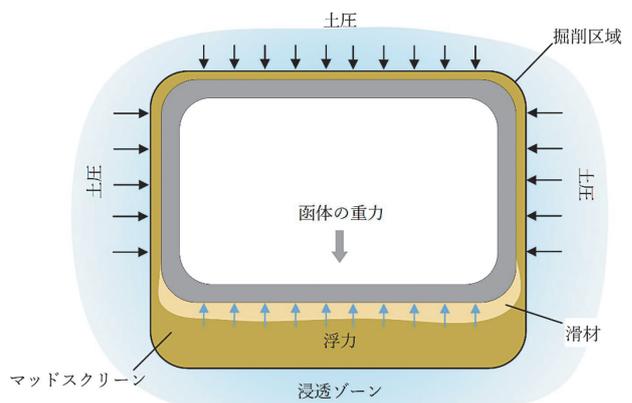


図-1 管と地山の接触状態

ここで、 B ：管の幅、 L ：推進距離、 H ：管の高さである。 $\tan \delta_v$ および $\tan \delta_h$ はそれぞれ管上面、管側壁面の界面摩擦係数である。 σ_v および σ_h はそれぞれ鉛直方向、水平方向の土圧である。さらに、施工深度が大きくなると、管の上には直土圧ではなく、アーチング効果に伴う土圧が作用することになり、上面に作用する