

推進工法の推進力算定に関する 研究

1. 研究の目的

機械式推進工法の発達や滑材の改良等により、現行式から算出される推進力は、実体に比べやや過大ではないかということが問題となり、推進力算定式の見直しが要望されている。

しかし、機械掘削式の大口径推進工法について、推進力算定式の算出推進力と実態推進力との差異が泥水式推進工法、土圧式推進工法の各工法に共通したものかどうか、また、どの程度の差異があるのかなどについては、推進工法個別の実績調査の例はあるものの、同一条件下での全体的な調査分析はなされていない。このため工法別に設定されている推進力算定式と実態推進力を対比しながら総合的に評価することが難しく、見直しの必要性を的確に判断することができない状況である。

そこで、見直しの根拠を明らかにするために、上記2工法について推進力の実態調査を行った。

なお、泥濃式推進工法については平成11年11月に(社)日本下水道管渠推進技術協会において、見直しが行われ「推進工法用設計積算要領 泥濃式推進工法編」の第二版が発刊されたこともあり、今回の検討の対象からは除外した。

調査データを分析した結果、推進力算定式の算出推進力と実態推進力との差異を定量的に把握することができ、その結果から推進力算定式を見直すことが妥当であると判断した。

また、実態推進力と整合した新たな推進力算定式は、泥水式推進工法と土圧式推進工法の、それぞれの施工方法の違いを考慮したうえで、推進力算定式の構造形式を統一することとした。

2. 研究体制および研究期間

研究体制は、(社)日本下水道管渠推進技術協会と(財)下水道新技術推進機構との共同研究であり、研究期間は、平成11年1月から平成12年3月である。

3. 主な研究の内容

3.1 データの収集・分析

現行の推進力算定式の改訂に向けて、最近行った施工事例に関して、データの収集・分析を行った。

データの収集および統計的分析を行った施工事例は、提案式の適用条件及びデータの信頼性等を考慮し、下記の条件のものとした。

- ① 内径800～3,000mm
- ② 推進延長が200m以上
(礫質土は150m以上)
- ③ 工法は、泥水式工法、土圧式工法

図-1および図-2に単位面積当たりの推進抵抗力の従来式算定値と実績値の比較を泥水式および土

圧式の2工法について示す。

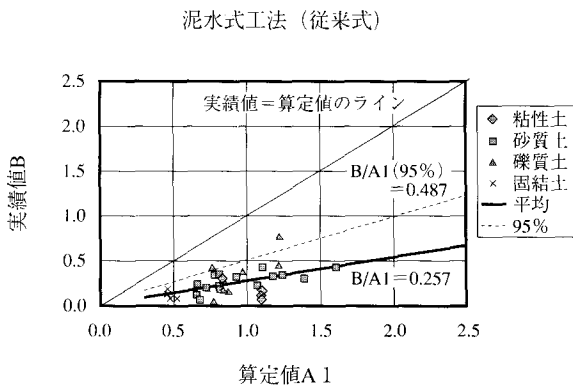


図-1 泥水式の推進抵抗力の従来式算定値と実績値の比較

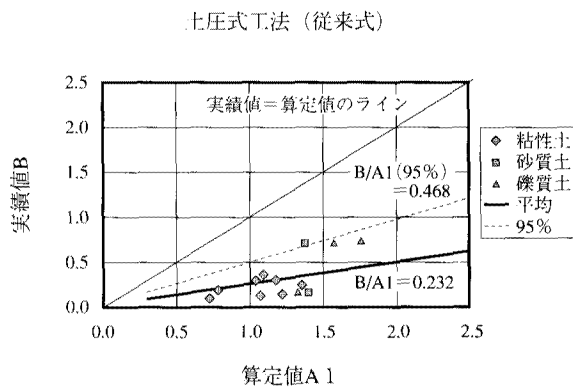


図-2 土圧式の推進抵抗力の従来式算定値と実績値の比較

3.2 改訂する推進力算定式

提案式は、下記の式の下線部に推進力低減係数 β を掛けることにより推進力の低減を行うものとした。

$$F = F_0 + \beta \cdot \{(\pi \cdot Bc \cdot q + W)\mu' + \pi \cdot Bc \cdot C'\}L$$

ただし、

F：推進力， F_0 ：初期抵抗力，Bc：管外径，

q：等分布荷重，W：管の重量，

μ' ：管と土の摩擦係数，

C' ：管と土の付着力，L：推進延長，

β ：推進力低減係数

である。

3.3 推進力低減係数 β 値の設定

① 検討フロー

提案式における推進力低減係数 β 値を設定する検討フローを図-3に示す。

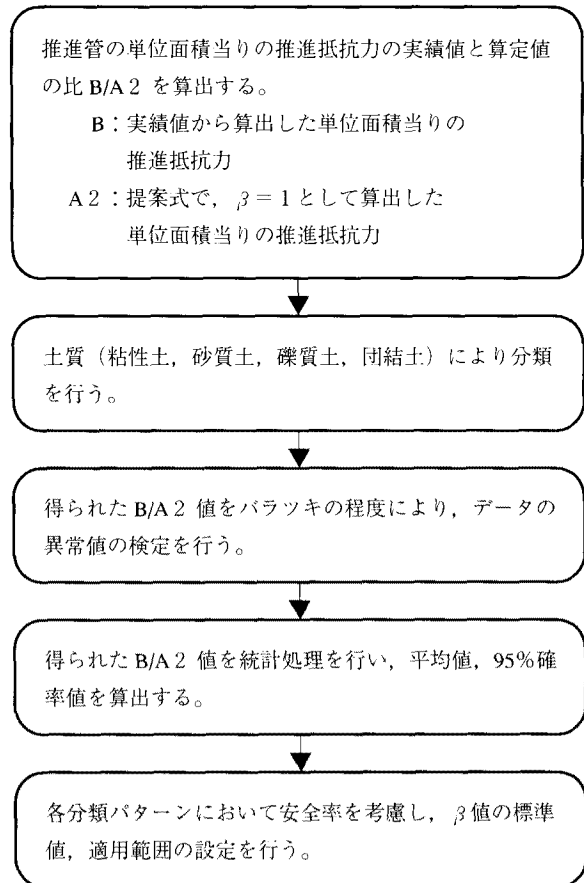


図-3 検討フロー

② データの分析

図-4から図-7にデータを分析した結果である泥水式と土圧式に関する単位面積当たりの推進抵抗力の実績値と提案式算定値の比較を各土質区分毎に示す。

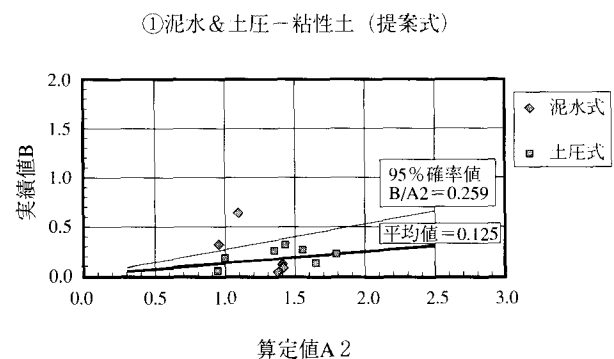


図-4 推進抵抗力の実績値と提案式算定値の比較（粘性土）

②泥水&土圧-砂質土 (提案式)

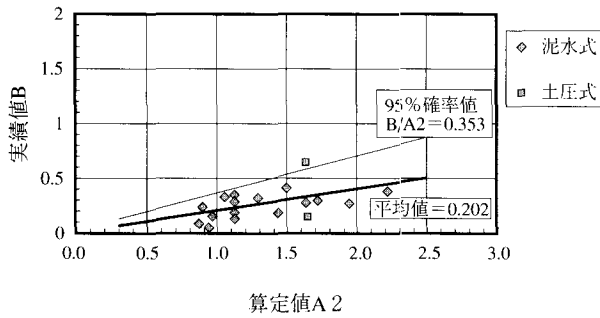


図-5 推進抵抗力の実績値と提案式算定値の比較 (砂質土)

③泥水&土圧-礫質土 (提案式)

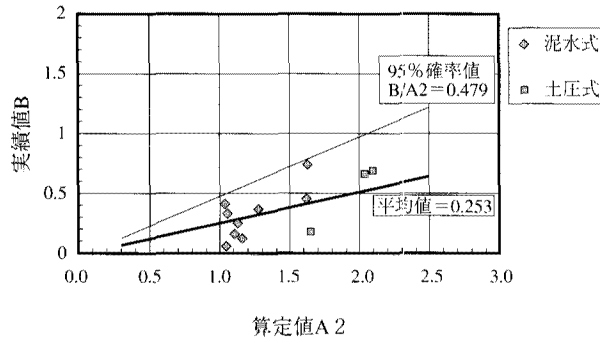


図-6 推進抵抗力の実績値と提案式算定値の比較 (砂礫土)

④泥水&土圧-団結土 (提案式)

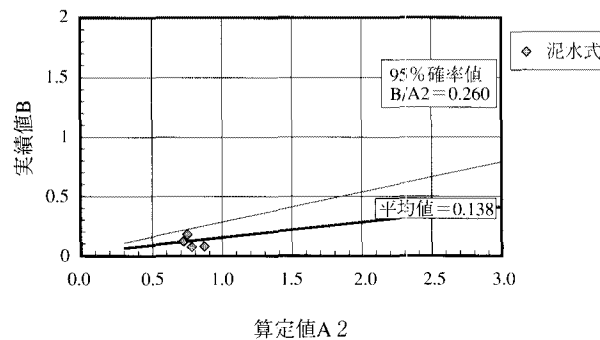


図-7 推進抵抗力の実績値と提案式算定値の比較 (団結土)

③ 土質分類によるβ値の設定

上述のフローで得られたB/A2値の統計的分析をもとに、土質分類によるβ値の設定を行った。ここで、β値設定には、求められた95%確率値に

安全率1.2をかけたものを用い、この値を0.05単位で切り上げた値を、β値の標準値として採用する。さらに、標準値の±0.05の範囲を適用範囲と設定した。

なお、ここでの安全率とは「コンクリート標準示方書(設計編)」における安全係数の考え方に述べられているように、統計的データの不足、偏り、設計耐用期間中の荷重の変化、荷重の算定方法の不確実性等による統計的データから判断できない部分に配慮するものである。

表-1に統計的分析結果及び土質毎のβ値を示す。

表-1 B/A2の統計的分析結果及び土質毎のβ値

工法	土質	データ数	平均値	最大値	95%確率値	安全率を考慮×1.2	β値
泥水式 土圧式	粘性土	14	0.125	0.299	0.259	0.311	0.35
泥水式 土圧式	砂質土	20	0.202	0.406	0.353	0.423	0.45
泥水式 土圧式	礫質土	12	0.253	0.464	0.479	0.575	0.60
泥水式 土圧式	団結土	4	0.138	0.208	0.260	0.312	0.35

4. 新たな推進力算定式

以上の検討から、大中口径推進工法の泥水式工法と土圧式工法に適用する推進力算定式を以下のように提案する。

提案推進力算定式

$$F = F_0 + f_0 \cdot L$$

ここで、L：推進延長 (m)

F₀：先端抵抗力(kN)

$$F_0 = (P_w + P_e) \pi \cdot (B_s/2)^2$$

P_w：チャンバー内圧力(kN/m²)

P_e：切削抵抗(kN/m³)

B_s：掘削機の外径(m)

(1) P_w：チャンバー内圧力

泥水式

$$P_w = \text{地下水圧} + 20.0 (\text{kN/m}^2)$$

土圧式 (砂質土の場合)

$$P_w = \text{主働土圧} + \text{地下水圧} + 20 \sim 50 (\text{kN/m}^2)$$

土圧式 (粘性土の場合)

$$P_w = \text{静止土圧を用いる。}$$

(2) P_e ：切削抵抗

N値により、次の通りとする。

$$P_e = N \text{値} \times 10 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ただし、 $N < 15$ の場合は $P_e = 150 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

$N > 50$ の場合は $P_e = 500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

f_0 ：推進管の抵抗力(kN/m)

$$f_0 = \beta \{ (\pi \cdot B_c \cdot q + W) \mu' + \pi \cdot B_c \cdot C' \}$$

β ：推進力低減係数 (表-2 参照)

表-2 各土質毎の推進力低減係数

土質種類	推進力低減係数
粘性土	0.35
砂質土	0.45
砂礫土	0.60
固結土	0.35

B_c ：管外径 (m)

q ：管にかかる等分布荷重(kN/m²)

W ：管の単位長さ重量(kN/m)

μ' ：管と土との摩擦係数

$$\mu' = \tan(\phi/2)$$

ϕ ：内部摩擦角

C' ：管と土との付着力

粘性土 ($N < 10$) : $C' = 8.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

粘性土 ($N \geq 10$) : $C' = 5.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

5. まとめ

推進工法の推進力算定に当たり、本提案式が採用されることで、実態推進力と整合する推進力を設計値として扱える。このことで、より合理的な設計が可能になると考える。

なお、本提案式は、下水道協会の「下水道推進工法の指針と解説 (2000年版)」にも採用された。

●この研究に関する問い合わせは

研究第二部長	篠田	康弘
技術部事業課長	松本	征
研究第二部研究員	中西	康博
研究第二部研究員	久保	善央