

長距離・急曲線推進工事における推進管の挙動計測

東京ガス 正員 矢島英邦 藤森高輝
熊谷組 正員 高見沢滋 門弘行

1. はじめに 近年、推進技術の発展に伴い長距離・急曲線推進工事が増加しているが、推進管の挙動を計測した事例はほとんどない。設計推力の算定も土質・施工方法により複雑で、確立された検討手法ができあがっていない。そのため各推進協会が提唱する過去の実績をもとにした経験式等により推力を算定し、結果として過大な安全率を見込まざるをえないのが実状で、不要な中押しジャッキを設置したり、ヒューム管の強度を上げざるをえなくなったりと、推進工事費の上昇を招く一因となっている。そこで、今回、長距離・急曲線推進工事における合理的な設計手法を確立する上で必要なデータ収集を目的として、推進管に発生する応力を測定し、推進管の挙動、作用荷重に関する検討を行った。

2. 工事概要 東京ガス（株）の横浜湘南ラインは、横浜市南西部及び湘南地区の需要増対応のため、横浜市泉区から藤沢市までの延長約 9.6km、最高使用圧力 2Mpa、口径 600mm の高压幹線である。横浜市、藤沢市という市街地を通過する性格から、採用工法は直埋、推進、シールドと多彩なのが特徴である。

このうち、かまくらみち推進工事は、ヒューム管口径 1,800mm、延長 409m（推進管 計 330 本）の長距離を急曲線（ $R=50m^2$ ヶ所、 $R=135m^1$ ヶ所）を含む線形により施工した（図-1）。採用工法

はアルティミット工法（泥水式）であり以下の特徴をもつ。①推進管接続部毎に塑性領域の広い推力伝達部材（センプリング）を設置することにより、追従性を高め、管破損を防止する「センプラ-ブシステム」を採用している。②一定間隔毎に推進管内部の注入孔から注入箇所・注入時期を自動制御して滑材を効率的に注入する自動滑材注入方式を採用している。

推進管の土被りは 5~12m で、通過する土質は下末吉ロームである凝灰質粘土〜新期ローム層であった。トンネル切羽における地下水圧は 20~60kN/m²であった。

3. 計測概要 推進管に発生する応力を測定するため、元推しジャッキに作用する総推力の測定等と合わせて、切羽より 1 本目、5 本目、170 本目に計測用推進管を設置した。各計測用推進管内には、埋設型ひずみ計（軸方向応力度）を 8 台/本（1 列）、鉄筋ひずみゲージ（円周方向応力度）を 48 台/本（3 列）配置した（図-2）。

4. 計測結果 推進管内に発生した各応力から軸力、曲げモーメント等を算定した結果を以下に示す。

(1) 管軸方向力について（図-3、図-4）

①総推力は掘削距離に応じて増加している。増加割合は直線部

より曲線部の方が大きい。総推力は最終的に 3500kN（350t）となり、設計総推力 12600kN（1260t）の約 28% に収まった。

②管軸方向軸力は坑口に近いほど大きい（No. 170、No. 5、No. 1 の順）。

③総推力は管の先端抵抗力（初期抵抗力）と外周面摩擦による抵抗力に大別される。先端抵抗力は切羽泥水圧と貫入抵抗圧より約 330kN（33t）と想定される（No. 1 推進管の管軸力に近い）。そのため、周面摩擦抵抗力は最終到達時に 3170kN（317t）と推定できる。これを管の単位周面積当りの抵抗力として計算すると、全区間平均で 1.4kN/m²（0.14tf/m²）となる（設計値は 3.8kN/m²）。また、No. 1~170 区間平均では 0.6kN/m²（No. 1 と No. 170 の管軸力の差から算出）、No. 170~坑口区間平均では 1.5kN/m²（No. 170 管軸力と総推力の差から算出）となり、坑口側の方が周面摩擦抵抗力が大きいことがわかる。

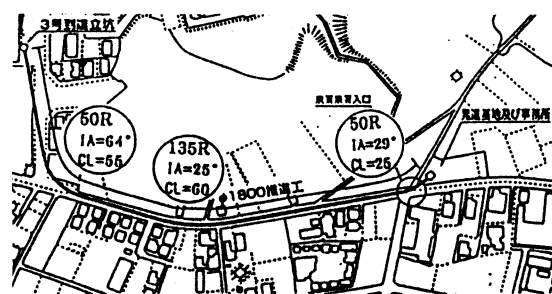


図-1 平面図

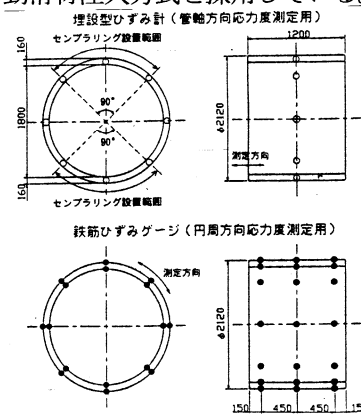


図-2 ひずみゲージ配置図

キーワード：推進工法、長距離・急曲線推進、ヒューム管、発生応力

連絡先：〒105-8527 東京都港区海岸 1-5-20 東京ガス株式会社 導管部 幹線エンジニアリングG

Tel 03-5400-7544 Fax 03-3437-0177

④発進当初、各推進管の管軸方向軸力が約 600kN(60t)減少している。これは坑口部の摩擦抵抗が大きかったため、以下の理由によるものと考えられる。

- ・坑口部という条件から周辺地盤がゆるんでいる。
- ・坑口部から湧水を防ぎ止水性を確保するため、固結性の高い滑材を注入した。

(2)管軸方向応力度について (図-5)

①曲線部と直線部で応力伝達位置が変化するため、直線部から曲線部に変化する時点(あるいは曲線部から直線部)で管軸応力度が変化している。そして、90°(右)、270°(左)では推力伝達材(センブラリング)が存在しないため、軸力がほとんど発生せず一定となっている。

②管軸方向力が大きいため、No. 170 推進管の変動幅は No. 1, No. 5 より大きい。

(3)管軸方向モーメントについて

①曲線内側の軸力が卓越するため、左右モーメントが曲線時に対応して生じている。

②上下モーメントは正の向き(上側圧縮、下側引張)に生じている。原因の1つとして、推進管が滑材中に浮かび地山天端に接触することにより上方からの土圧が卓越していることが考えられる。

(4)円周方向モーメントについて (図-6) 曲線部において、推進管は掘削機の軌跡より余掘り分(25mm)外側の軌跡をたどり、外側地山と接触していることが測量結果から確認された。しかし、直線部と曲線部でモーメント分布形状に明確な差が認められない。No. 5 推進管においてのみ「左上-右下」方向から僅かな地盤反力を受ける形状となっているだけである。そのため、曲線部に明確な地盤反力が生じていないことがわかる。したがって、周辺地山の自立が保たれ推進管の外側へのせり出しが少なかったことが推測できる。

(5)円周方向力について (図-7) 推進するにつれ軸力が増加しているのは、No. 10 推進管から固結性の高い滑材が定量注入されたためと考えられる。掘進に伴い管の周囲に付着・圧密されていき、軸力が漸増したと推測できる。No. 170 推進管は滑材注入位置から離れているため、上記現象は生じなかったと考えられる。

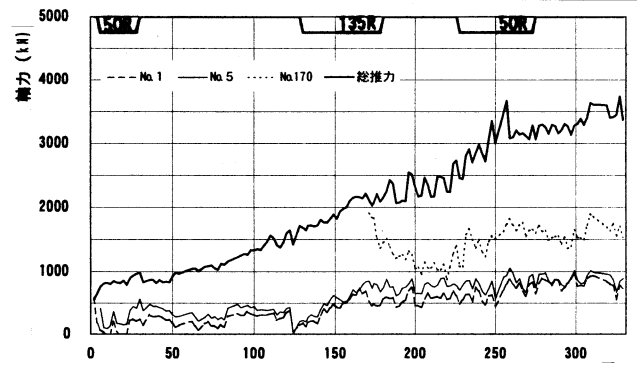


図-3 総推力・管軸方向力推移図 推進管本数

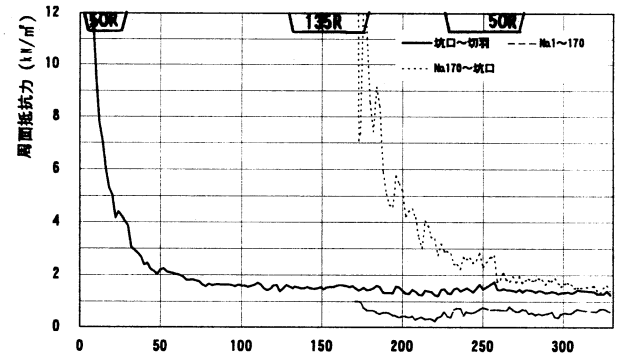


図-4 周面摩擦抵抗推力推移図 推進管本数

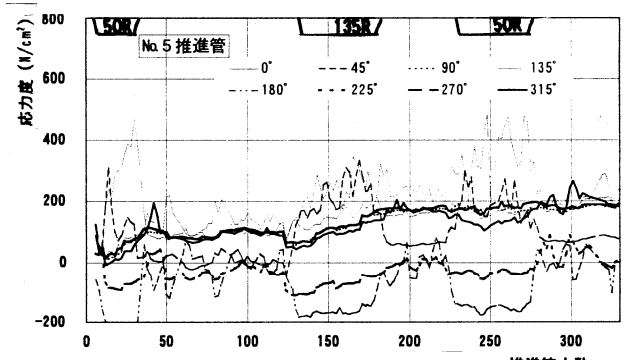


図-5 管軸方向応力度推移図 推進管本数

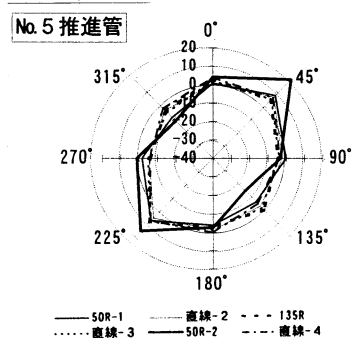


図-6 円周方向モーメント

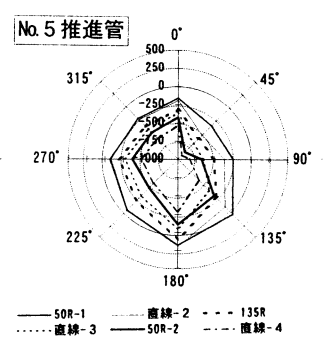


図-7 円周方向力図

5. 考察 本施工では、長距離・急曲線を設計推力の約 28%で推進ができ、曲線部においても明確な地盤反力を受けずに施工できた。その理由は以下によると推察でき、今後は算定推進力を低減する検討が必要であると考え。今回の計測から得られた周面摩擦抵抗を用いると、残り区間がすべて直線と仮定して $L=890\text{m}$ ($\sigma_c=49.1\text{N/mm}^2$ 管)まで推進が可能であると推定される。

- ①滑材の効率的な注入 (自動滑材注入システム)
- ②的確な方向制御 (自動追尾測量システム)
- ③推進管のせり出し防止 (センブラカーブシステム)
- ④比較的自立性の高い地山