

解

説

曲線推進

急曲線を通過後長く推進する



さくはら よういち
作原 陽一

コスミック工法協会
技術委員長

1 はじめに

側方荷重に対する管強度の計算手法が平成16年に改訂され、急曲線でも通常のコンクリート推進管(1種、2種管)が適応できるようになった。これに伴う施工コストの低減により多くの曲線推進が実施されるようになった。近年では、さらに難易度の高い呼び径の50倍(50D)を下回る曲線や、超急曲線を90度近く曲がった後、更に長く推進するなどの施工が多くなされている。

コスミック工法は急曲線を確実に経済的に推進する工法である。長距離急曲線推進が多い電力供給工事で、短尺(1/2~1/4管)でも施工性と耐荷力に優れた安価な推進管や、掘進機を側方の地盤反力に頼らず曲げ、がたつきのないスムーズな曲線を造形する装置、摩擦力を低減して低推進力で推進する装置等を開発した。これらの技術と蓄積した施工ノウハウを組み合わせで長距離・急曲線推進工法とした。

曲線推進では曲線半径が小さくなるほど推進管継手部の開口差が大きくなるため、推進力伝達面積が少なくなり軸方向耐荷力が低減する。そのため、

急曲線後の推進距離は推進管の耐荷力で制限される。経済性を重視して耐荷力の余裕を見込まずに曲線施工を行うと、想定外の土質や曲線部の摩擦抵抗力の上昇などによる推進力の増加で、管端部にひび割れや破損が発生して施工に支障をきたす場合がある。

コスミック工法では急曲線通過後さらに長く推進するために、摩擦抵抗力の低減に加え、不測の事態に備えて推進管の耐荷力に余裕を見込むことが重要と考え、推進力伝達材の厚みや貼付け範囲、発泡倍率等の選択による軸方向耐荷力の検証を重視してきた。

ここでは、推進管の耐荷力を超えて、急曲線を90度近く曲がった後、更に長く推進した事例を紹介する。

2 施工事例

2.1 工事概要

工事は呼び径1350の推進管を約723m推進する。線形は285.5m推進して半径 $R=35\text{m}$ (26D)の曲線を88度($CL=53.8\text{m}$)曲がり、さらに383.8m推進する。曲線は発進から $R=35\text{m}$ の間に $R=500\text{m}$ が1箇所、 $R=35\text{m}$ 通過後に $R=300\text{m}$ が2箇所、

合計4箇所の曲線がある。図-1に平面線形を示す。土質はN値5~7程度の砂質土とN値1~2程度の粘性土の互層である。

推進工法は産業廃棄物となる汚泥の排出量が少なく、施工速度が速い泥水式推進工法が他工法に比べてトータルコストが有利になるとして採用された。

施工にあたっては、当現場の線形が長距離急曲線であることや、N値が低いことなどから、泥水式推進工法の中でも、補助工法を使用せずに正確な曲線施工が可能で、曲線部での推進力上昇も低減できるコスミック工法が有利だと判断して採用された。発注者、工事場所等を以下に示す。

発注者：関西電力(株)

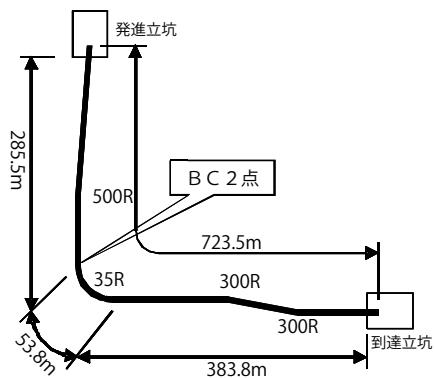
施工：(株)かんでんエンジニアリング
推進施工：奥村組土木興業(株)

工事場所：大阪府堺市堺区南島町

推進工法：コスミック工法・泥水式

2.2 コスミック工法の推進力

コスミック工法は推進力を低減するために、掘進機の後端にチェーン回転式摩擦低減装置(後述)を装着し、そこから、低減する周面抵抗力に応じて中間摩擦低減装置を配備する。摩擦低減装置を使用して滑材を注入すること



図一 平面線形

で、推進管の全周が土砂滑材混合層で覆われ、推進抵抗は土砂滑材混合層のせん断抵抗に左右されることになる。

これより、直線の推進力算定式は泥水式推進工法であっても泥濃式と同様の以下の算定式としている。

$$F = F_0 + (\tau_a \times S) \times L$$

ここで、 τ_a は管周面抵抗力、他の記号は(株)日本下水道協会の推進力式に準じている(以下の式も同様)。

管周面抵抗力はチェーン回転式摩擦低減装置から最初の間摩擦低減装置およびその後方の中摩擦低減装置までの間隔で決まる。表一に管周面抵抗力と中間摩擦低減装置の配置間隔を示す。

曲線区間の摩擦抵抗力は曲線半径が小さいほど、曲線長が長いほど、曲線より前の推進力が大きいほど大きくなる。曲線数が複数になると、累計されて増加した推進力により摩擦抵抗力はさらに大きくなる。

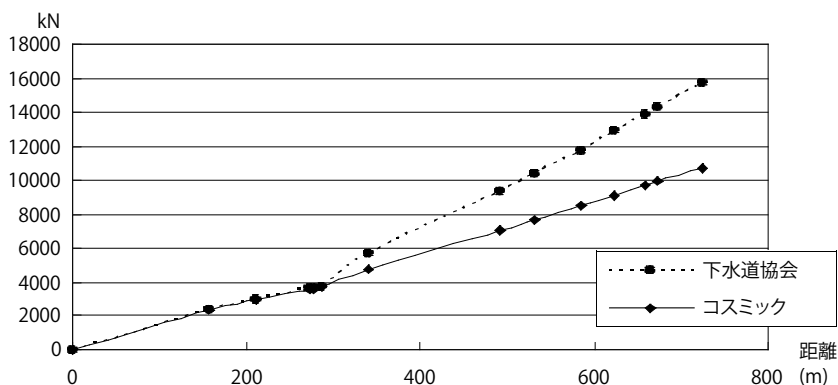
コスミック工法は曲線造成装置(後述)を用いて、側方の地盤反力に頼らず掘進機を曲げることから軌跡はなめらかになる。加えて、推進管が外側に膨らまないように開口長を調整するため、曲線区間でも管と孔壁間にテールボイドが保たれ滑材が有効に働く。これにより、孔壁と管外壁面との摩擦抵抗力が少なくなり、曲線通過後も推進

表一 管周面抵抗力 (単位: kN/m²)

τ_a (kN/m ²)	一ヶ所目 (m)	二ヶ所目以降 (m)
3.0	250	150
2.0	200	100
1.5	土質を考慮して間隔を設定	

表二 摩擦低減係数

土質	摩擦低減係数
粘性土	0.35
砂質土	0.45
砂礫土	0.60
玉石混り土	0.70
硬質土 (1) (2)	0.35



図二 推進力算定結果

力の増加割合が少ない。

これより、コスミック工法の曲線の推進力算定式は、曲線の管と地山の摩擦抵抗を、摩擦抵抗値(k)に滑材による摩擦低減係数(β)を乗じたものとして以下の式としている。 β の値はこれまでの施工データを基に導いた。

$$F = (F_0 + f \cdot L_1) K^n + \lambda \cdot f \cdot CL + f \cdot L_2$$

$$K = 1 / (\cos \alpha - k \cdot \beta \cdot \sin \alpha)$$

表二に摩擦低減係数(β)を示す。

2.3 推進力の算定

中間摩擦低減装置の配置は、1箇所目をチェーン回転式摩擦低減装置の後方200mに、そこから100m間隔に4箇所、合計5箇所に配備した。この配置で周面抵抗力(τ_a)は2.0kN/m²となる。摩擦低減係数(β)は主な土質が砂質土であることから0.45とした。これに基づき推進力を算定したところ、総推進力が約10,700kN、曲線半径が一番小さいR=35mのBC2点の推進力は約7,600kNとなった。比

較のために、周面抵抗力はコスミック工法と同様の値として、曲線の摩擦抵抗で β を考慮しない下水道協会式でも算定したところ、総推進力が約15,650kN、BC2点の推進力は約12,000kNとなり、コスミック工法の推進力は下水道協会式の2/3程度になった。図二にコスミック工法式と下水道協会式による推進力を示す。

2.4 推進管の選択

曲線半径の一番小さいR=35mを通過する推進管の開口差は1/2管(1210mm)で約56mm、1/3管(810mm)では38mmとなる。

1/2管を用いると、継手性能を満足する推進力伝達材の厚みが20~30mmとなる。その時、R=35m部での軸方向耐荷力は50N管で約1,800kN、70N管で約3,000kNと小さく使用できない。

高い軸方向耐荷力を確保するには、推進力伝達材厚を30~40mmにする必要がある。そのため、継手性能が満足する管長は1/3管(810mm)となる。