

解説

きほんのき

方向制御・曲線施工の基本

やすだ たかし
安田 卓司

機動建設工業(株)
土木本部次長



1 はじめに

推進計画ラインに対する方向修正も曲線造成のための方向制御も、掘進機に装備されている方向制御ジャッキのストローク差によって直線、あるいは計画曲線上に掘進機をのせるということに変わりありません。

計画ラインに対する方向修正は、基本的にジャッキストローク差が0の状態では直線を維持することが理想的ですが、

地山の特性や様々な要因によって掘進機が計画ラインを外れようとするのを防止しながら直線を維持するのが現実の状況です。

これに対して曲線施工は、計画曲線上に掘進機を乗せるためにジャッキストローク差を事前に計算で求め、算定値をもとに掘進機を操作することになります。施工に当たっては、これに直線施工時と同様に方向修正の操作を加えて計画曲線を維持することが必要になる

ため、より高度な技術が求められます。

方向制御で重要なのは、できるだけ早期に地山や掘進機の特性を把握して、ジャッキストローク差の量と操作開始の時期およびその後の掘進機の挙動を予測しておくことです。

以下に方向修正を含めた曲線施工について述べることにします。

2 曲線の造成

2.1 曲線造成方法

曲線の造成方法は前述したとおり、掘進機に装備されている方向制御ジャッキにストローク差を設けることによって行いますが、一般的に掘進機を所定の曲線軌道に乗せるためには、方向制御ジャッキのストローク差を計算値より若干大きくします。そしてこの操作によってストローク差と測量結果を対比して掘進機の曲線造成能力や地山の特性等を把握します。

また、ジャイロコンパスを使用している場合は、施工延長に対するジャイロ角の変化量を事前に計算していた数値と対比してリアルタイムに掘進機の挙動を確認します。曲線造成の開始時点ではできるだけ測量頻度を多くして、計画



写真-1 曲線推進施工例

時に設定した制御量を見直して、地山に応じた最適な制御量を把握することが重要です

2.2 掘進機の最大折れ角の検討

掘進機の曲線造成能力は、曲線半径、掘進機の長さおよび掘進機の外径により算定された設計折れ角と、掘進機の方

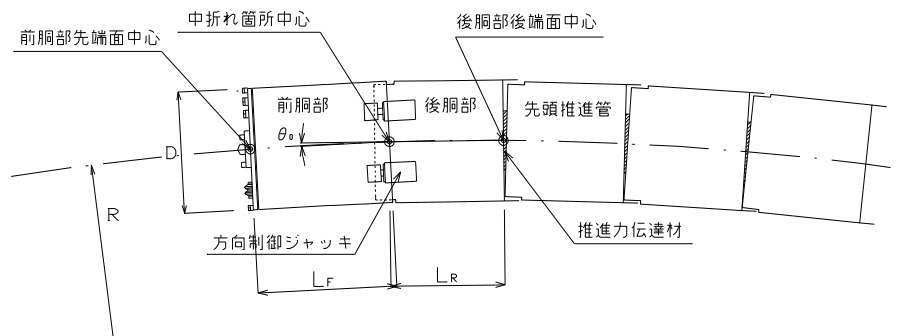


図-1 掘進機の設計折れ角

$$\theta_0 = \sin^{-1} \left\{ \frac{L_F/2}{R} \right\} + \sin^{-1} \left\{ \frac{L_R/2}{R} \right\} \quad \dots\dots (式-1)$$

ここに、

θ_0 ：掘進機の設計折れ角（度）

L_F ：掘進機前胴部先端面中心から中折れ箇所中心までの長さ（m）（算定上の中折れ箇所は掘進機前胴部後端面中心とする）

L_R ：中折れ箇所中心から掘進機後胴部後端面中心までの長さ（m）

R ：曲線半径（m）

2.3 掘進機の最大折れ角の算定

掘進機を最大限に曲げることできる最大折れ角（ θ_{max} ）は、方向制御ジャッキのストロークと方向制御ジャッキの取付け間隔により規定され、次式により求めます。

$$\theta_{max} = \sin^{-1} \left(\frac{S}{d} \right) \quad \dots\dots (式-2)$$

ここに、

θ_{max} ：掘進機の設計折れ角（度）

S ：方向制御ジャッキのストローク差（m）

d ：方向制御ジャッキの取付け間隔（m）

実際の曲線施工においては、計画ラインに対する方向制御および掘進機外側の地山反力の状況により、掘進機前

胴部・後胴部間の折れ曲げ量の増減が必要となるため、経験的に、掘進機の折れ曲げ能力（最大折れ角）は、設計折れ角の1.5倍以上の余裕を持たせるべきです。

$$\theta_{max} \geq 1.5 \cdot \theta_0$$

また、曲線施工条件が厳しい場合は掘進機の中折れ箇所を2箇所以上設けることや曲線造成補助筒の採用を検討する必要があります。

以上の通り、曲線推進は掘進機を折り曲げ、外側地盤の反力により曲線を造成しようとするものですが、地盤の反力が期待できない軟弱層においては、地盤反力を確保するために地盤改良やガイド杭の打設が必要となる場合もあります。

3 後続管列の追従と推進力伝達材

曲線施工において、掘進機は正確に曲線ラインを造成したにもかかわらず、後続の推進管が計画ラインを正確にトレースできなかったり、管の折れ曲がり量が集中したりすることにより、目地の抜け出しや管端面接触による推進管の破損が生じることがあります。

これらを防止するには次に述べる対策を講じて、管列の最終的な出来形が設計ラインに乗るように注意する必要があります。

3.1 推進管目地の開口長

曲線部では図-2に示すように推進管継手部の目地が開きます。鋼製カラーに覆われている継手には許容開口長（抜け出し長）が定められており、開口長さが許容値を超えると継手の止水性能が損なわれます。したがって、開口長の制約により曲線の最小半径が定まります。開口長、開口差および曲線半径との関係は次式のとおりです。

$$S_1 = S_d + S_4$$

ここに、

S_1 ：曲線部外側目地の開口長

S_d ：曲線部外側、内側目地の開口差

S_4 ：曲線部内側目地の開口長

$$S_d = \frac{\ell \cdot D_0}{\{R - \frac{D_0}{2}\}} \quad \dots\dots (式-3)$$

ℓ ：管長

D_0 ：管外径

R ：曲線半径

なお、 S_4 は管端部が直接接触して応力が集中することを防止するため推進力伝達材を挿入しますが、施工時の安全性を考慮して計画当初から推進力が最大になっても5mm以上となるように設定する必要があります。

R ：曲線半径（m）

D ：管 外 径（m）

ℓ ：管 長（m）

T ：管 厚（m）

α ：折れ角（度）