

Ⅲ-B148

シールドトンネル急曲線用セグメントの設計に用いる荷重について

東急建設(株) 正会員 松野哲哉・岸野明夫・児玉和彦・高松伸行・伊藤久雄

1. はじめに

シールドトンネル急曲線用セグメントの設計にはトンネルを棒部材で、リング継手をばね部材でモデル化する「はりばねモデル」を用いたり、リング継手による剛性低下を考慮した等価剛性はりを用いることが多い。これらの方法は、現場計測結果と比較・検討することにより解析精度が向上してきている^{2),3)}。

本文は、これらの方法を用いて急曲線用セグメントを設計する場合の荷重について、その設定方法を考察したものである。

2. 解析モデルと荷重

図1は急曲線用セグメントの設計に用いる解析モデルである。このモデルにおける荷重はシールドのジャッキ推力である。このジャッキ推力は通常、セグメントの接線方向には作用せず、セグメントを曲線外側に押し出す方向に、セグメント接線方向から α 度傾いている。また、急曲線施工中はシールドに装備しているジャッキのうち曲線外側のジャッキを使用することが多いため、セグメントには軸力となる推力とともに曲げモーメントも作用する。

3. 施工実績から定めた荷重

筆者らは、神奈川県川崎市における電力管路築造工事において急曲線部地盤改良工の改良強度を低減(曲線外側の地盤改良工を高圧噴射注入工法から薬液注入工法に変更)し、セグメントの剛性を高めることで急曲線施工のコスト縮減を実現した³⁾。この際、セグメントの剛性は以下の事前計算により定めた。

まず、解析モデル(図1)のトンネル部材に、当初設計における高圧噴射注入工法による地盤改良土の地盤ばねを付してセグメント先端の半径方向変位(図2の■印)を求める。次に、薬液注入工法による地盤改良土の地盤ばねを付し、かつ、セグメントの曲げ剛性を種々変化させてセグメント先端の半径方向変位(図2の●印)を求める。この変位が当初設計におけるセグメント変位より小さくなるトンネル剛性を求めて主桁とリング継ぎボルトの形状を定める。

以上の方法により、セグメントの主桁厚さは10mmから16mmに、リング継ぎボルトはM20からM24に変更した。

この事前計算で用いた荷重は、施工実績から以下のように仮定した。

① ジャッキ推力(軸力)

急曲線施工で使用するシールドジャッキは、図3に示す曲線外側のジャッキとする。したがって、図1に示す解析モデルに作用する軸力(ジャッキ推力)はシールド装備推力の2分の1(240tf)とする。

② ジャッキ推力(軸力)の作用方向

ジャッキ推力の作用方向は、テーパセグメント中心角の2倍(1.718度)とする。

③ 曲げモーメント

セグメントに作用する曲げモーメントは、図3に示すジャッキ配置から、それぞれのジャッキのトンネル中心線からの偏心量とジャッキ1本あたりの装備推力とをかけ合わせてそれらを合計したもの(173.9tf・m)とする。

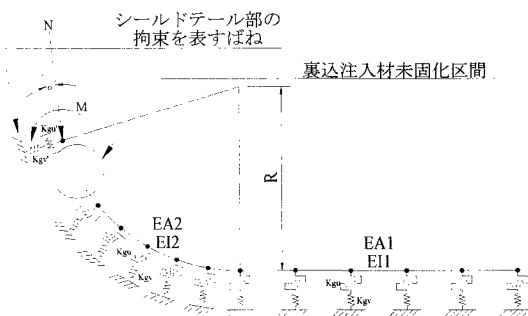


図1 解析モデル

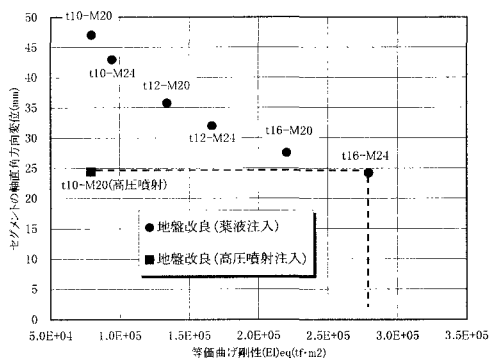
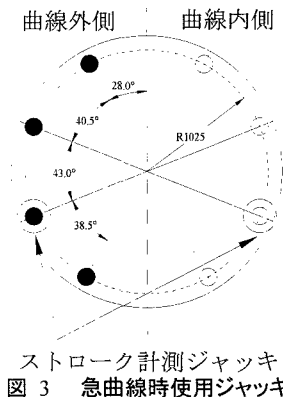


図2 等価曲げ剛性とセグメント変位との関係

ストローク計測ジャッキ
図3 急曲線時使用ジャッキ

キーワード: シールド工法、急曲線施工、セグメント、設計法、荷重

〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14 技術本部 土木技術部 TEL 03-5466-5276 Fax 03-3406-7309

4. 現場計測データとの比較

(1) ジャッキ推力

図4は掘進リング番号と総推力との関係を示したものである。

急曲線区間のデータ（373R～473R）を見ると総推力の平均値は120.2tf、最大値は220.9tfであった。

急曲線用セグメントは、掘進区間の最大推力を荷重として設計するのが安全であると考えられるので、事前検討の仮定（軸力240tf）は妥当であったことを表している。

(2) ジャッキ推力作用方向

図5は掘進リング番号とジャッキ推力作用方向との関係を示したものである。

ジャッキ推力作用方向は図3の二重丸で示す左右2本のジャッキのストロークを計測して求めた。

図中、5度程度から20度程度の大きな角度を計測しているが、これは曲線内側の、通常は使用しないジャッキがセグメントに追従していなかったためである。

急曲線部のシールドとセグメントとの位置関係を図に表してみると、3度より大きな角度差がつくと次のセグメントが組み立てられない。実施工ではこのようなことはなかったため、ジャッキ推力作用方向の平均値を求めるにあたっては、3度以下のデータだけを使用した。その結果、平均値は1.40度となった。

事前検討では、ジャッキ推力の作用方向は1.718度と仮定したので、この仮定は妥当であったと考えられる。

(3) 曲げモーメント

図6は掘進リング番号とセグメントに作用する曲げモーメントとの関係を示したものである。

図中、負の曲げモーメントはジャッキ推力の合力の作用位置が急曲線内側にある場合を示している。

急曲線区間のデータ（373R～473R）を見ると曲げモーメントの平均値は37.5tf・m、最大値は124.4tf・mであった。事前検討で用いた曲げモーメントの値は173.9tf・mであったので、推定した曲げモーメントは妥当であったといえる。

(4) まとめ

表1は施工実績から定めた事前検討における荷重の仮定値と、現場計測データとをまとめたものである。表中、計測値のかっこ内の値は仮定値に対する計測値の百分率を示したものである。

この表から、事前検討仮定値はおおむね妥当な値を示していることがわかる。また、仮定値は計測値よりもやや大きな値を示しているため、仮定値は安全側であったことを示している。

5. おわりに

急曲線用セグメントの設計を行う際の荷重は本文で示した仮定を基に種々のケースで適用できると考えている。本文では、トンネル周辺地盤の地盤ばね定数の設定方法と裏込注入材未固化区間については考察を行っていないが、これらは急曲線用セグメントの設計には重要となるので、今後検討を行っていきたいと考えている。

《参考文献》

- 1) 小泉 淳・村上博智・石田智朗・高松伸行：急曲線施工用セグメントの設計法について、土木学会論文集、No.448、Ⅲ-19、pp.111～120、1992年6月。
- 2) 木村 稔・塩谷清司・児玉守広：急曲線シールドトンネルの軸方向設計、電力土木、No.242、pp.33～40、1992年11月。
- 3) 高松 岸野・松野・児玉・外裏：シールドトンネル急曲線用セグメントの解析と現場計測、土木学会第53回年次学術講演会講演概要集（予定）。

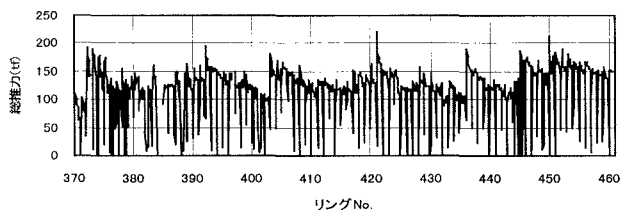


図4 掘進リングと総推力との関係

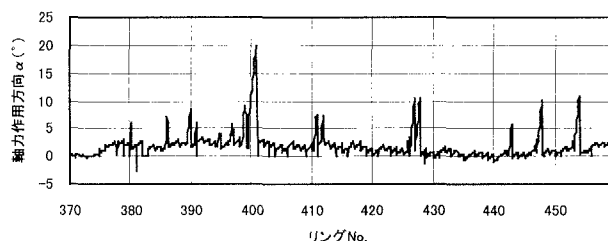


図5 掘進リングとジャッキ推力作用方向との関係

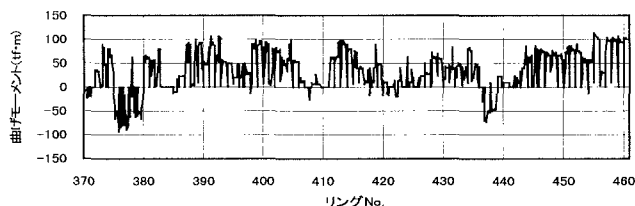


図6 掘進リングと曲げモーメントとの関係

表1 まとめ

荷重項目	事前検討仮定値	計測値
ジャッキ推力（軸力）	240tf	220.9tf（92%）
ジャッキ推力作用方向	1.718度	1.40度（81%）
曲げモーメント	173.9tf・m	124.4tf・m（72%）