

急曲線施工時のリング間せん断力とRCセグメントの適用性

ニュージェック 正会員 竹澤請一郎, 藤井 悟
 関西電力中央送変電建設事務所 正会員 大道 武治, 松本 卓也, 尾崎 章仁

1. まえがき 急曲線部でもコンクリート製のRCセグメントを使用する機運があるが、ひび割れや欠けが懸念されている。シールドトンネルは曲線半径が小さくなると、掘進荷重によりトンネル軸方向に曲げやせん断が発生し、これが不具合の原因のひとつになると考えられる。本稿は、急曲線部にRCセグメントを適用する場合の見落としがちな補強対策について解析的に検討し、適切な設計を行うべきことを提案するものである。

2. 検討内容 著しい急曲線施工については、図-1 のように、軸方向梁ばねモデルで軸方向の構造計算を行うことが一般的である。そして、トンネルの軸直角方向変位が許容変位内、たとえばテールクリアランス以内であることを条件として、計算された断面力でセグメント本体の応力度、継手ボルトの応力度、定着筋の引抜き抵抗等々を照査する。しかし、急曲線部を扱った多くの設計報告書は、このような軸方向梁ばねモデルによる計算の結果から継手の補強が論じられているものの、リング間のせん断力に対する十分な照査は行われていないことが多く、あっても継手ボルトのせん断応力度までしか照査されていない。

そこで、まず急曲線部ではどの程度のせん断力が発生するかをみたものが図-2 および図-3 である。計算条件は次の通り。セグメント外径 $D=5.6\text{m}$ 、厚さ $t=0.3\text{m}$ 、弾性係数 $E_s=34.3\text{MN/m}^2$ 、地盤ばね $k=4.9 \sim 39.2\text{kN/cm}^3$ 、せん断地盤ばね $k_s=k/3$ 、集中ばね $K_p=k D L$ ($L=7\text{m}$ マシン長相当)、想定シールド掘進荷重：垂直力 $P_o=19.6\text{MN}$ (2000tf)相当、偏心モーメント $M_o=P_o \cdot e$ 、偏心量 $e=D/6=1.0\text{m}$ 、横方向分力 Q_o は2リング分(2.4m)のテーパを考慮すれば $Q_o=(2.4/R)P_o$ となる。なお、 R は曲線半径を表す。

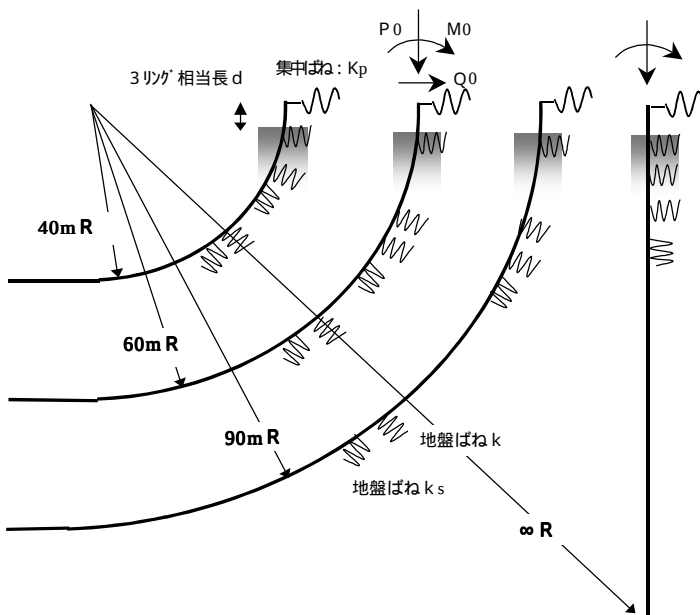


図-1 軸方向梁ばねモデル

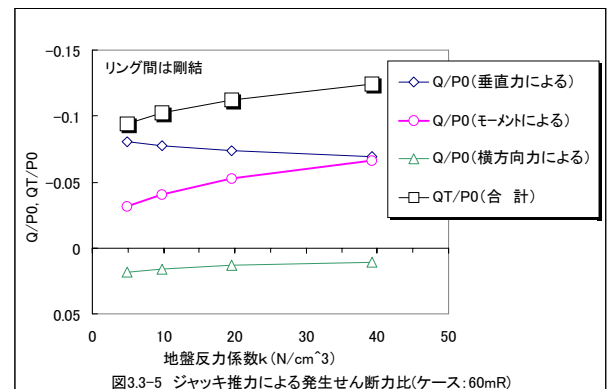


図3.3-5 ジャッキ推力による発生せん断力比(ケース:60mR)

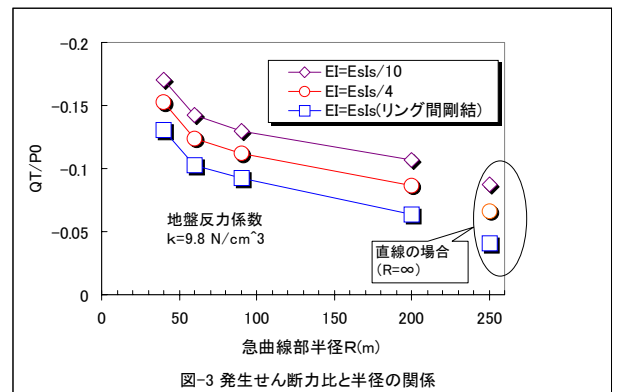


図-3 発生せん断力比と半径の関係

図-2 と図-3 は、曲線部の最大発生せん断力をジャッキ推力 P_o との比で示している。曲線半径 R が小さくなるにつれてせん断力は急増する。せん断力は、掘進推力の垂直力 P_o と偏心モーメント M_o によるものが支配的で、横方向力 Q_o の影響は小さい。片押し状態でなくとも($M_o=0$)、推力 P_o 自体でも大きなせん断力が生じる。地盤ばねが大きいほど、また、軸方向の曲げ剛性が小さいほどせん断力は増加する。いま、60m R の急曲線部を想定すると、RCセグメントの改良のために考慮すべきせん断力は、掘進力 P_o の13%程度(図-2) シールド、セグメント、急曲線施工、せん断力、リング間継手、シールド掘進

連絡先：〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19 ニュージェック Tel 06-6245-4901, Fax 06-6251-2565

となる。このようなせん断力に対して既往の代表的なリング間継手金物をみれば、図-4 のようであり、定着筋の配置方向および長さにはせん断抵抗性および引抜き安定性において疑問がある。

図-5 は、リング間継手（1箇所）で接合された幅（実セグメントでは円周方向）0.5m、長さ（幅方向）2.4m の供試体のせん断試験の3次元 FEM 解析モデル（1/2 縦断モデル）である。材料特性は弾性とし、継手金物はプレートと線材で表した。ボルト部は剛結の点接触として表した。荷重は、中央で曲げモーメントがなくせん断力のみが作用するような支点を設け、中央で50kN（1/2 モデルに対して）のせん断力が作用する解析を行った。

図-6 は、継手定着筋近傍の応力状態を示したものであり、最大主応力（引張側）のコンター図である。せん断応力が作用することから、当然ながら斜め方向に引張応力が広がっている。継手近傍には、1500～2000kN/m² の引張応力領域が見られ、コンクリートの引張強度を超えている可能性がある。図-4 に示したような既往の継手では、定着筋が有効に配置されておらず、また定着長や折曲げ定着等による引抜き安定性の確保にも問題があることが示唆される。

3. 考察 急曲線施工では、曲線半径に応じたせん断力が発生する。RCセグメントでは、このせん断力に対して、リング間継手の定着筋の適切な補強が必要であり、特に、継手の定着筋の引抜き安定性に対する補強対策が重要である。

4. むすび RCセグメントを用いるシールドトンネル曲線部は、曲線部で発生するせん断力を考慮した有効な定着・補強筋をリング間継手に設けるとともに、安全のためにセグメント端部の欠けに対する補強対策を講じれば、60m Rクラスの曲線部にも対応できるRCセグメントが開発できるものと考えられる。

なお、別途、リング間継手の改良を行い、図-5 のような供試体を用いたせん断試験を実施し、所要のせん断耐力が確保できることを確認している。

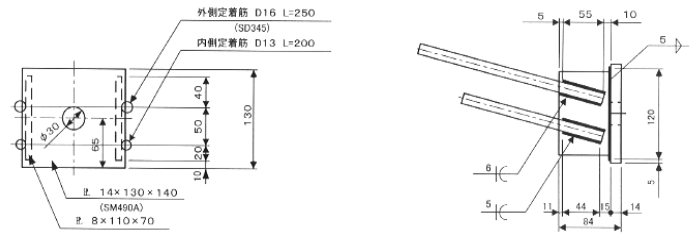


図-4 既往のリング間継手金物

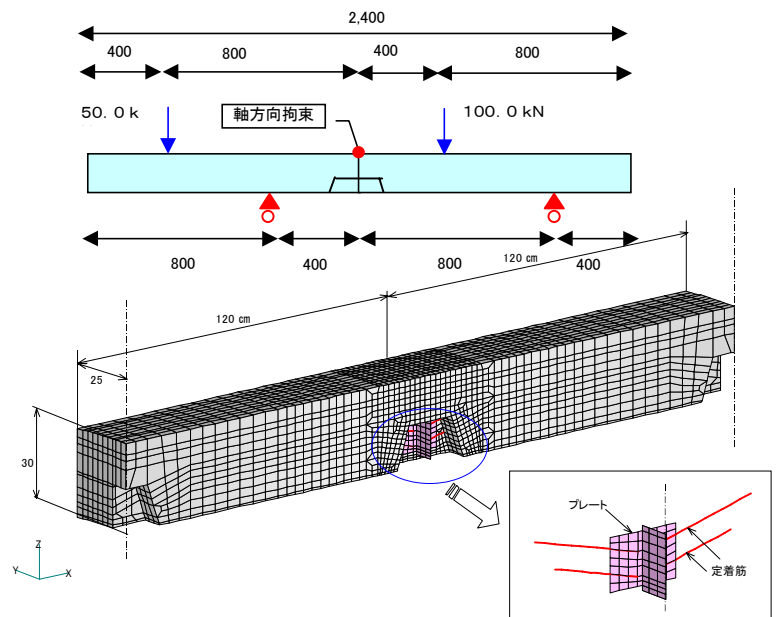


図-5 せん断試験の解析モデル

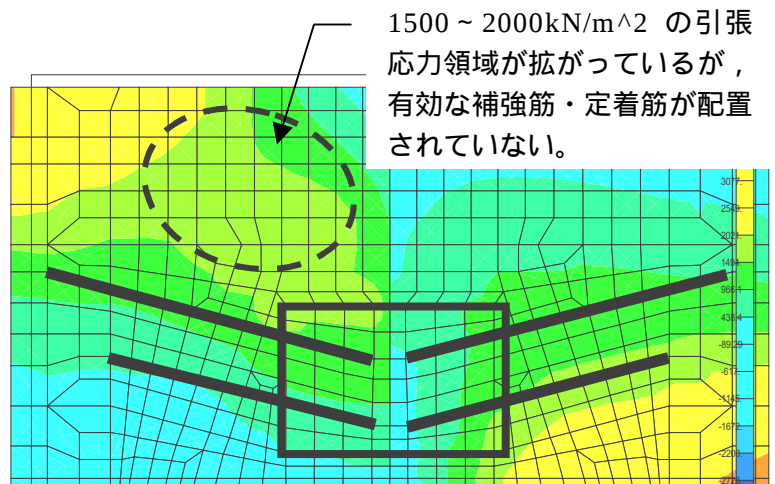


図-6 せん断によるリング間継手近傍の引張応力分布と定着筋の配置状況（既往の継手）