

覆工の型枠の取り外し時期の検討

西松建設株式会社 新幹線久山西出張所 正会員 ○鈴木 健
西松建設株式会社 土木設計部 正会員 諏訪 至

1. はじめに

覆工コンクリートの型枠を取り外して良い時期は、コンクリートの種類、トンネルの大きさ、形状、覆工巻厚および施工条件等によって異なるが、通常、コンクリート打設完了後 12 時間～20 時間で型枠を取り外している例が多い。また、取外し時のコンクリートの圧縮強度は、円形アーチのトンネルでは、 $2\text{N/mm}^2 \sim 3\text{N/mm}^2$ を目安としている場合が多い。しかしながら、実施工においては、施工サイクル（2 日に 1 回の打設）を考慮すると、この強度が発現する前に取り外すことが多い。この場合は、地山条件を含めた骨組構造解析等で自重を考慮した解析を行い、コンクリートに生じる応力を推定し、この応力に対して十分な安全率を確保したコンクリート強度に達する材齢を取り外し時期とする必要がある¹⁾。

覆工の型枠の取り外し検討で行われる骨組構造解析は、覆工形状を部材中心でモデル化して、自重による覆工の地山側への変形の拘束は、地山の変形係数から地盤ばねを設定する（図-1）。解析では、コンクリート強度から得られるヤング係数をパラメータに繰り返し計算を行い、解析から得られる応力度とコンクリート強度から得られる長期許容応力度との関係を確認し、型枠の取り外しに必要な強度を算定する。

この計算は、上述の解析条件の設定や繰り返し計算が必要であり、やや煩雑である。しかしながら、必要なパラメータは、トンネル断面形状（大きさ、形状、巻厚）と地山の弾性係数であり、これまでの検討実績から、今後の覆工の型枠の取り外し時期の検討について、ある程度の精度で推定できるのではないかと考えた。

本稿では、型枠の取り外し時期の検討結果の推定方法について報告する。

2. 型枠の取り外し時期推定のパラメータ検討

覆工の型枠の取り外し時期の推定のため、単心円トンネル（内空幅 $W=10.0\text{m}$ 、覆工厚 $t=300\text{mm}$ 、無筋コンクリート）を基本検討モデルとして、以下をパラメータとして検討を実施した。ここで、case2、case3 の地山の弾性係数は、 $E=1000\text{MPa}$ と固定した。また解析条件の 1 項目である覆工のコンクリートの強度は、本検討においてはコンクリート強度の大きさに関わらず発生応力度が概ね等しいことが経験から得られているため、 1.0N/mm^2 とした。

骨組構造解析から得られる断面力（軸力 N および曲げモーメント M ）から算出する。コンクリート応力の着目点は、天端に発生する内空側最大曲げモーメント位置とした。覆工に発生する応力は、全断面有効で算定し、評価する応力は、圧縮側応力に着目した。

case1：地山の弾性係数 E をパラメータとする。

case2：SL 部の大きさをパラメータとする（トンネル形状は変化させず、断面形状は比例して小さくする）。

case3：トンネル SL 幅は $W=10.0\text{m}$ で固定とし、上半高さ H をパラメータとする（偏平率を変化）。

3. 検討結果

(1) case1 検討結果

case1 の検討結果を示す。地山の弾性係数は、 $E=150\text{MPa}$ （支保パターン DII 相当）、 $E=500\text{MPa}$ （支保パターン DI 相当）、 $E=1000\text{MPa}$ （支保パターン CII 相当）、 $E=2000\text{MPa}$ （支保パターン CI 相当）の 4 ケースにて実施した。解析から得られた応力度と地山の弾性係数の相関を確認すると、対数近似で精度良く近似することができた（図-2）。

またコンクリート強度 1N/mm^2 から得られる長期許容応力度（ $\sigma_{ca}=0.25\text{N/mm}^2$ ）との関係を整理すると、地山の弾性係数が $E=300\text{MPa}$ 未満の場合は、発生応力度が長期許容応力度を超過する可能性があることがわかった。

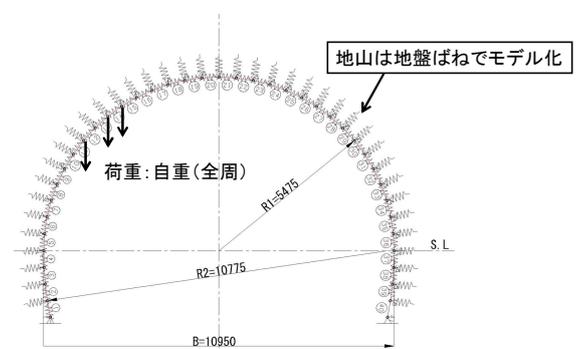


図-1 型枠の取り外し時期検討モデル例

キーワード 覆工、型枠脱型、骨組構造解析

連絡先 〒105-6301 東京都港区虎ノ門 1-17-1 西松建設株式会社 土木設計部 TEL 03-3502-7637

また、引張応力度も発生していることが確認できたよって、DIIパターン相当の地山区間は、型枠の取り外しまでに必要な時間が長くなることがわかった。

(2) case2 検討結果

case2 の検討結果を示す。検討した結果、トンネルの SL 幅と発生応力度の相関は、線形近似で精度良く近似することができた (図-3)。

(3) case3 検討結果

case3 の検討結果を示す。検討した結果、偏平率と発生応力度の相関は、累乗近似で精度良く近似することができた (図-4)。

(4) コンクリート応力度の推定式

前項まで検討した結果から、下式のコンクリート応力度の推定式を設定する。

$$\sigma' = \sigma \cdot \alpha \cdot \beta$$

ここに、 σ : 型枠の取り外し時期の推定値 (N/mm²)

σ : 地山の弾性係数 E をパラメータにした際に得られた相関から求まる応力度 (N/mm²)

α : トンネルの大きさによって変化する応力度の割合

β : トンネルの偏平程度によって変化する応力度の割合

4. 実検討結果と推定式から得られる結果との比較

これまで実際に検討された型枠の取り外し時期の検討結果 (Aトンネル～Mトンネル, 13トンネル) と、前章で得られた推定式から算出される応力度値を比較した (表-1)。

この結果を確認すると、両者の値は概ね一致したことがわかった。ただし、偏平率が大きいトンネルは、値に乖離が生じた。今回の推定式は、あくまでも予測式であり、実際は骨組構造解析によって型枠の取り外し可能時期を算定する必要がある。しかしながら、今回の検討結果で、概ね取り外しに必要な強度を予測することが可能となった。

表-1 実検討結果と推定式との比較 (コンクリート強度 : 1.0N/mm²)

トンネル	地山の弾性係数 E (MPa)	SL幅 D (m)	上半高さ H (m)	偏平率 H/D	σ	α	β	σ' (N/mm ²)	実際の計算 (N/mm ²)	差 (N/mm ²)
A	155	11.2	5.6	0.5	0.259	1.011	0.963	0.252	0.244	0.008
B	658	12.9	5.72	0.443	0.231	1.148	1.000	0.265	0.250	0.015
C	1450	14.1	6.79	0.482	0.216	1.245	1.000	0.269	0.270	-0.001
D	202	14.1	6.79	0.482	0.254	1.245	1.000	0.316	0.310	0.006
E	913	14.1	6.45	0.457	0.225	1.245	1.000	0.28	0.280	0.000
F	455	14.1	6.45	0.457	0.238	1.245	1.000	0.296	0.290	0.006
G	1132	12.7	5.43	0.428	0.221	1.132	1.000	0.25	0.250	0.000
H	712	13.2	5.57	0.422	0.23	1.172	1.000	0.27	0.341	-0.071
I	3610	10.3	5.08	0.493	0.199	0.938	0.979	0.183	0.180	0.003
J	1130	10.3	5.08	0.493	0.221	0.938	0.979	0.203	0.190	0.013
K	502	10.1	4.96	0.491	0.236	0.922	0.984	0.214	0.210	0.004
L	281	10.6	4.55	0.429	0.247	0.962	1.000	0.238	0.270	-0.032
M	250	9.9	4.95	0.5	0.249	0.906	0.963	0.217	0.210	0.007

※黄色着色部 : 推定式と実際の計算結果の乖離が 0.015N/mm² 以上

参考文献 1) : 公益社団法人 土木学会, 2016 年制定 トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説, 平成 28 年 8 月

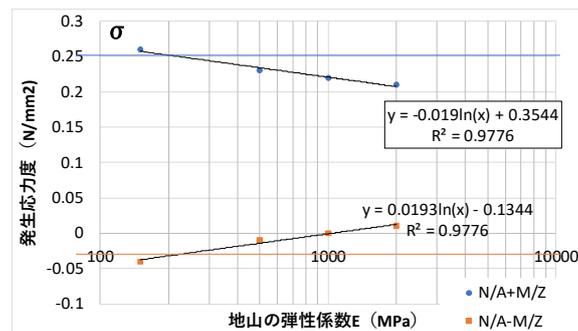


図-2 case1 検討結果

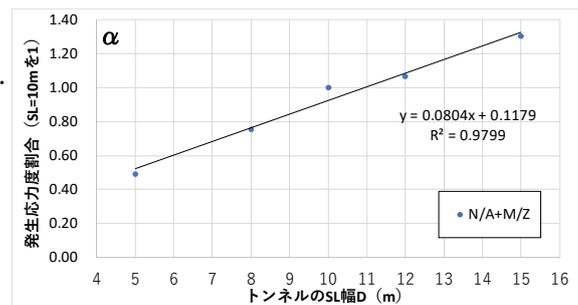


図-3 case2 検討結果

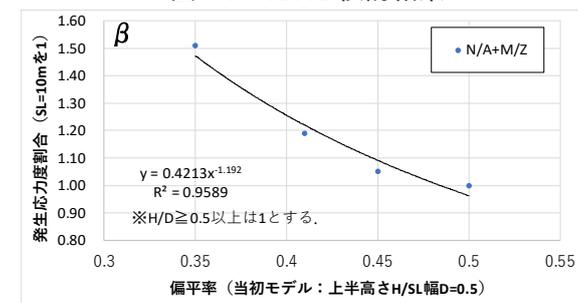


図-4 case3 検討結果