

コンクリート強度増加による山岳トンネル RC 覆工の薄肉化に関する研究

長岡技術科学大学 学生会員 ○松尾 東
 鉄道総合技術研究所 正会員 野城 一栄 平田 亮

1. はじめに

山岳トンネルの坑口部は写真-1 に示すような土被りの小さい斜面地形で、かつ崖錐や未固結地山である場合が多い。このような条件ではグランドアーチが形成されにくく、上載荷重が全て覆工に作用することもある。そのため、一般的に坑口部の覆工はインバートの設置とともに RC 構造とすることが多い¹⁾。このような坑口部の覆工およびインバートの仕様は構造計算により行うことが多くなってきたが、過去の実績に基づいて決定される部分も多い。



写真-1 不整形地盤中のトンネル坑口部

そこで本研究では、山岳トンネル坑口部を想定し、骨組解析により覆工およびインバートの断面力を算定し、巻厚や配筋仕様を検討した上で、コンクリート強度の増加による薄肉化の可能性について検討した。さらに、工事費において、経済性向上の可能性を検討した。

表-1 解析ケース

解析ケース	斜面角 $\theta(^{\circ})$	N 値	側圧係数	変形係数 (kN/m ²)	地盤反力係数 (kN/m ³)
ケース1	0	10	0.55	25,000	7,590
ケース2		20	0.48	50,000	15,170
ケース3		30	0.45	75,000	22,760
ケース4	10	10	0.55	25,000	7,590
ケース5		20	0.48	50,000	15,170
ケース6		30	0.45	75,000	22,760
ケース7	20	10	0.55	25,000	7,590
ケース8		20	0.48	50,000	15,170
ケース9		30	0.45	75,000	22,760

2. 解析条件

解析ケースは、坑口部斜面角 θ と地盤の N 値をパラメータとして、表-1 に示す 9 ケースとした。解析モデルは図-1 に示すように、覆工およびインバート部分を梁材とし、地盤をばね材とした骨組解析モデルを用いた。なお、解析ソフトは骨組解析コード“STLiDe”を用いた。地盤を模擬したばね材はノンテンションばねとした。トンネルセンターにおける土被りは $0.5D$ とし、鉛直荷重は全土被り荷重として、下部から上部への荷重は作用させていない。水平荷重は鉛直荷重に側圧係数を乗じた値とした。単位体積重量は全ケースで 18kN/m^3 、地盤反力係数は規定²⁾ に沿って定めた。トンネル断面は新幹線断面を想定し、覆工およびインバートは、強度 $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$ の複鉄筋の RC 構造とした。また、巻厚はアーチ部で $t=450\text{mm}$ 、側壁～インバート部で $t=700\text{mm}$ とした。これらを初期設定として薄肉化の可能性を探った。

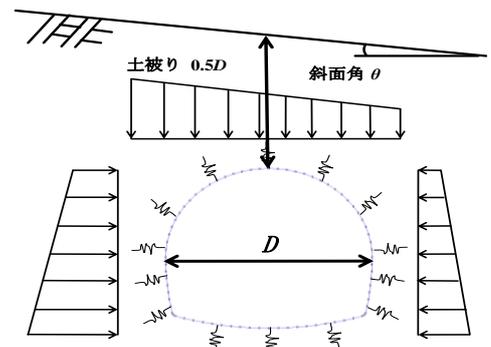


図-1 解析モデル

3. 骨組解析結果

まず、初期設定について骨組解析、および照査を行った。図-2 にケース7の骨組解析結果を示す。トンネル断面形状や斜面の傾斜方向の影響から、全ケースでケース7と同様に左下の覆工側壁とインバートの接合部(以下、隅角部と呼ぶ)に最大の断面力が発生したため、隅角部について、コンクリートの曲げ圧縮応力度、及び耐久性(曲げひび割れ幅)の照査³⁾を行った。ここで、各ケースとも曲

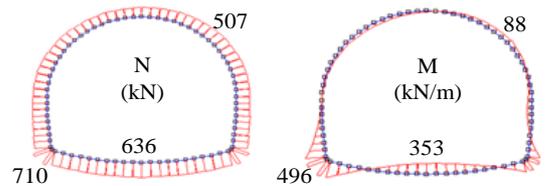


図-2 断面力図(ケース7の例)

キーワード 薄肉化, 山岳トンネル, コンクリート強度増加, 坑口部, RC 覆工

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL 0258-46-6000 (代表)

げび割れ幅については照査値を満たしたため、以下、コンクリートの曲げ圧縮応力度について照査結果を示す。なお、鉄筋径は実施工を想定し、鉄筋径をD19からD32までを用いることとした。

図-3に曲げ圧縮応力度の制限値による各ケースの照査結果を示す。また、この図は照査結果をより明確に示すために、全体の照査曲線から重要検討箇所について拡大して示している。各ケースについて、プロット点が各照査曲線の左側であれば照査値を満足することを意味する。図より、初期設定ではケース7を除き、照査値を満足する配筋があるという結果となった。この図から、多くのケースでまだ鉄筋径に余裕があり、斜面角が小さくN値が大きい程、必要鉄筋量が少なく済むことがわかった。そこで、次にインバートの巻厚tを600mmに減少させた条件について検討した。

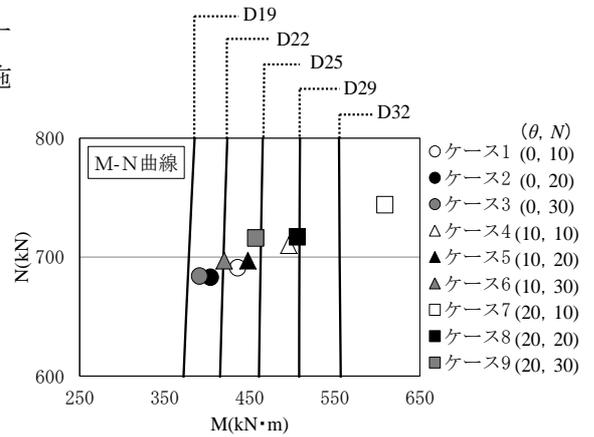


図-3 隅角部照査結果($t=700\text{mm}$, $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$)

4. 薄肉化の検討

巻厚の薄肉化は、掘削断面積が減少し、経済性の向上が期待できる。ここではケース7以外の鉄筋径に余裕のある8ケースについて、初期設定よりインバートの巻厚を減少させて照査を行った。

図-4に巻厚を初期設定より100mm減少させたパターン($t=600\text{mm}$, $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$)の照査結果を示すが、ケース2, 3, 6以外は照査値を満たさなかった。そこで、次に強度 f_{ck} を 30N/mm^2 に増加させて再度照査を行った。

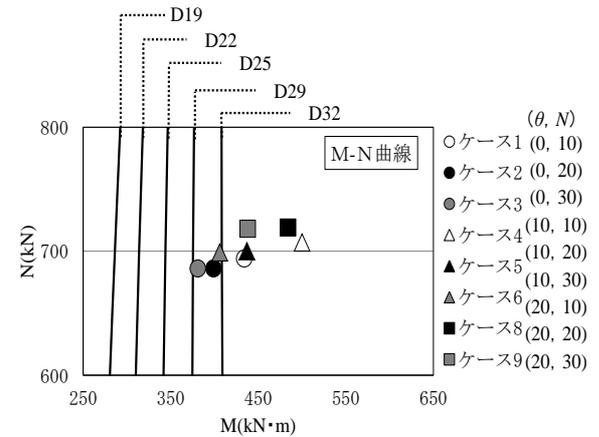


図-4 隅角部照査結果($t=600\text{mm}$, $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$)

図-5に強度 f_{ck} を 30N/mm^2 、巻厚tを600mmとした場合の照査結果を示す。9ケース中6ケースが照査値を満足しており、コンクリート強度を増加させることで薄肉化の許容範囲が広がったことが確認できた。以上のことから、コンクリート強度を増加させることで条件により薄肉化可能であることがわかった。

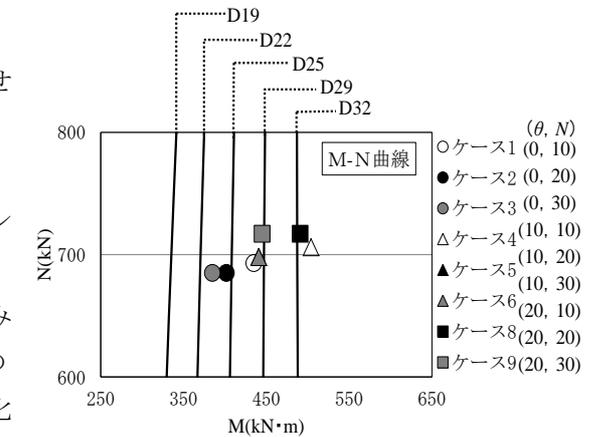


図-5 隅角部照査結果($t=600\text{mm}$, $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$)

5. 工事費についての検討

ある新幹線トンネルの工事費例をもとに、標準パターンからコンクリート強度増加による薄肉化を行ったパターンで工事費がどの程度削減できるか試算を行った。試算では掘削に関する費用のみに着目し、部分的な計算を行った。その結果、全体工事費で2%の削減が行えた。このことから、コンクリート強度増加による薄肉化は経済性の向上にも良い影響を与えることが予測できる。

6. おわりに

本研究では、坑口部における覆工およびインバートの仕様について骨組解析を用いて検討を行った。コンクリート強度を増加することで薄肉化可能な範囲が広がり、条件によってインバート部の巻厚を薄肉化できることもわかった。特に斜面角が小さくN値が大きい程必要鉄筋量が少なく済むことがわかった。また、経済性向上の可能性も推測できた。今後は開削トンネルをモデルとして検討していきたい。

7. 参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説, pp.111-112, 2006.
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書[開削工法]・同解説, p.268, 2006.
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物), 2004.