コンクリート強度増加による開削トンネル RC 覆工の薄肉化に関する基礎的研究

長岡技術科学大学　学生会員　○吉﨑　健司
(公財)鉄道総合技術研究所　正会員　野城　一栄
正会員　平田　亮

1．はじめに

近年, 開削トンネルをはじめとする各種トンネルにおける施工技術の発展は目覚ましく，安全性・経済性・施工性に優れた技術が確立され続けている．しかしながら，施工の前段階に行う構造条件の設定において, 重要な覆工厚やコンクリート強度といった断面諸元は, 過去の実績に基づいて決定されることが多く, 一般的な値を大きく変更することは少ないのが現状である．

そこで本研究では, 開削トンネルをモデルとした骨組み解析により，各部材に作用する断面力を算定し，断面諸元の一つであるコンクリート強度増加による薄肉化の可能性について検討した．

2．解析条件

開削トンネルは,「設計計算例 開削トンネル（1 層 2 径間)」[1)]と同様の地盤条件および形状を採用した（図 - 1)．構造物を図 - 2 のように剛域と部材でモデル化し，骨組構造解析により，解析を実施した．また，解析時には下床板下面に鉛直方向のバネを配置した．設計荷重は固定・付加死荷重，鉛直・水平土圧，路面交通荷重，列車荷重等を作用させ，解析コード「sap2013」を用いて断面力を算出した. また, 永久荷重と変動荷重ではバネ定数が異なるため, 別々に解析を行い, 各節点で断面力を足し合わせた値を照査に用いた．

照査方法は限界状態設計法とし, 使用性について照査するものとした．部材の照査位置は，大きな断面力が作用されると思われる上・下床版の左ハンチ端，中央スパン，右ハンチ端および側壁の上ハンチ端，中央スパン，下ハンチ端の計 9 ヵ所とした（図 - 2)．

3．解析結果（初期モデル）

初期モデルの断面諸元は，覆工厚 t=460mm，コンクリート強度 $f'ck$=24N/mm^2 であり, 図 - 3 に解析結果を示す．横軸に曲げモーメント M（kN/m)，縦軸に軸力 N（kN）をとり，照査位置 9 ヵ所をプロットした．グラフ上に引かれている曲線は照査限界を表し, この曲線より左側にプロットされている照査位置は照査値を満足していることを意味する．なお，鉄筋径は実施工を想定して，最低径 D16 から最大径 D29 とした．図 - 3 より，側壁“下ハンチ端”，下床版“左ハンチ端”に鉄筋径 D19，他の箇所に D16 を配置すれば照査値を満足する結果となった．また，照査位置全箇所においてかなり鉄筋径に余裕があるため, 次に覆工厚を 100mm 薄肉化した場合について検討を行うことした．

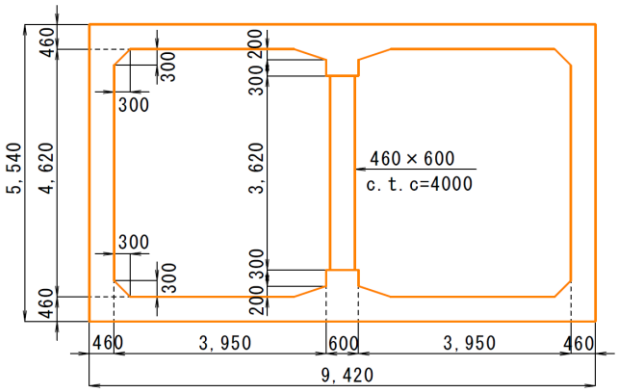

図 - 1　構造物の形状（単位：mm）

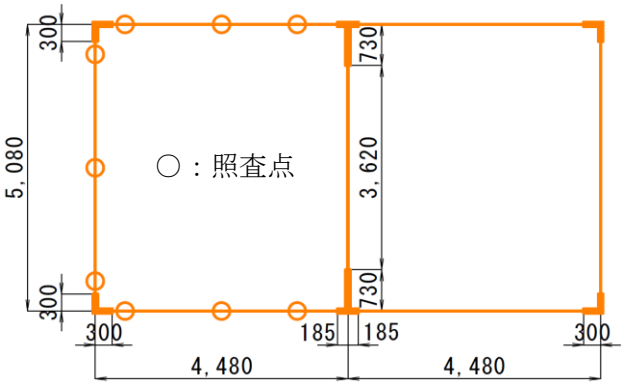

図 - 2　初期モデルと照査点（単位：mm）

4．薄肉化の検討

覆工厚 t=360mm の解析結果を図 - 4 に示す．初期モデルの解析結果で断面力が大きく作用していた側壁”上・下ハンチ端”，下床版“左ハンチ端”は，最大径 D29 を用いても照査値を満足で

キーワード　薄肉化，開削トンネル，コンクリート強度増加，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）

きない結果となった．そこで，コンクリート強度を24N/mm^{2}から30N/mm^{2}に増加させて再度検討を行うこととした．

図 - 5 に t=360mm,f'_{ck}=30N/mm^{2}での解析結果を示す．コンクリート強度を増加させることで各鉄筋径の照査限界曲線の値が増加し，全箇所の照査値が満足されることを確認できた．以上の結果から，コンクリート強度を増加させることで薄肉化が可能であることがわかった．

５．経済性についての検討

覆工の薄肉化は掘削断面積の減少につながるため，経済性の向上が期待できる．ここでは，**図 - 3**（t=460mm,f'_{ck}=24N/mm^2）と**図 - 5**（t=360mm，f'_{ck}=30N/mm^2）を比較するため，両者の掘削断面積を算出した．その結果，100mmの薄肉化によっておよそ5.7%の断面積が減少することがわかった．また，各ケースの使用鉄筋体積量とコンクリート体積を算出し，それぞれ標準価格を乗じてコストを算出したところ，薄肉化によって約2.6%減少していることが確認できた．以上より，薄肉化は掘削量・土捨量の減少のみならず，鉄筋とコンクリートから見たコストの削減にもつながり，経済性の向上が期待できるといえる．

６．既往研究との比較

松尾らによる研究[2)]で山岳トンネルによるRC覆工はコンクリート強度を増加させることでインバート巻圧の薄肉化が可能であることを証明した．そこで，初期モデルから100mmの薄肉化およびコンクリート強度f'_{ck}を24から30N/mm^{2}への増加という条件を統一し，両者の初期モデルからの掘削断面積の減少率を計算し，比較を行った．その結果，開削トンネルの減少率は5.7%に対し，山岳トンネルは1.6%となり，開削トンネルの方が薄肉化による影響が大きく，感度が高いことが確認でき，掘削量の減少によるコスト削減が効率的であることがいえる．

７．おわりに

本研究では，開削トンネルRC覆工の薄肉化について，骨組み解析を用いて検討を行った．その結果，コンクリート強度を増加させることで，薄肉化が可能であることを確認できた．また，薄肉化に伴って掘削断面積は約5.7%の減少となり，また，鉄筋，コンクリートの使用体積から計算したコストは約2.6%の減少を確認でき，経済性の向上が期待されることがわかった．また，山岳トンネルより開削トンネルの方が，薄肉化による掘削量の減少が効率的に

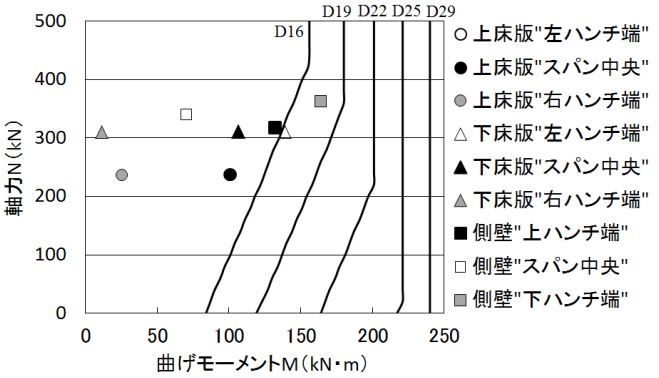

図 - 3　照査結果（t=460mm,f'_{ck}=24N/mm^2）

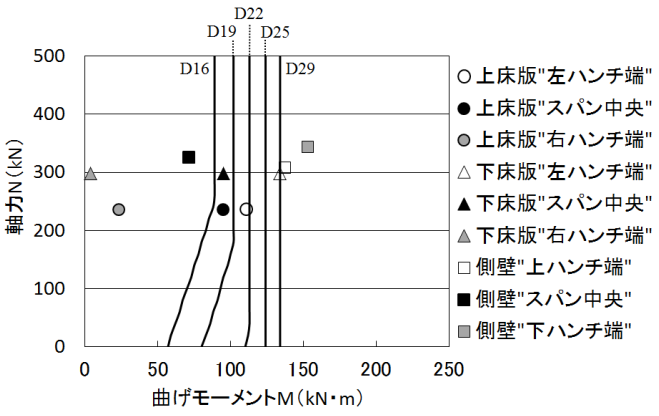

図 - 4　照査結果（t=360mm,f'_{ck}=24N/mm^2）

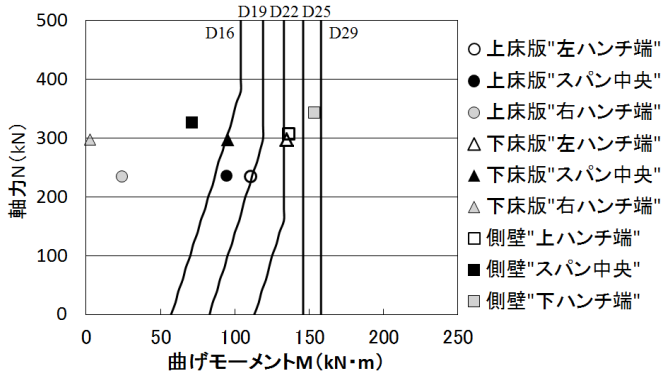

図 - 5　照査結果（t=360mm,f'_{ck}=30N/mm^2）

図られることも確認できた．今後は他のモデルでも解析を行い，また，コスト計算の際は，掘削量，土捨量の変化も考慮することで，現実的で詳細な解析に努め，RC覆工の薄肉化が及ぼす影響を解明していきたい．

参考文献

1) (公財)鉄道総合技術研究所：設計計算例　開削トンネル（1層2径間）

2) 松尾東，野城一栄，平田亮：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，土木学会第68回年次学術講演会，Ⅲ-248，pp.495-496，2013