

薄肉トンネル補強工の鉄道トンネルへの適用性に関する検討 ーその2：鋼製薄肉トンネル補強工の耐荷特性に関する数値解析的検討ー

長岡技術科学大学 学生会員○西岡大介 フェロー 丸山久一
長岡技術科学大学 正会員 杉本光隆, 下村匠

1.はじめに

山岳トンネルでは、覆工コンクリートの剥落防止や変状防止対策工として、薄肉の内面補強工を実施することがある。本研究では、夜間の列車間合いを利用して列車を止めることなく施工できる、1リング4～6枚の鋼製セグメントで構成される薄肉トンネル補強工の鉄道トンネルへの適用性を検討した。本報告では、実物大試験が行われる在来線トンネル断面（単線）用の補強構造体の施工時安定性・覆工剥落に対する耐荷特性を、はりバネモデルを用いて解析した結果について述べる。なお、解析に当たっては設計荷重の設定が課題となる。

2.解析モデル

解析に当たり、施工手順を考慮し、1) 施工時グラウト充填前、2) 施工時グラウト充填時、3) 完成時列車通過時を解析対象とした。

剥落防止工としての補強構造体をモデル化するに当たっては、既設コンクリート覆工を主体構造物とし、補強工は既設コンクリート覆工剥落に対抗することとし、SLより上部の補強構造体（厚さ16mm）を、鋼製セグメント間継手をヒンジ結合とした2次元弾性はりにより、また、施工時グラウト充填前にあっては、補強構造体に取り付けられたスペーサを法線方向ノンテンションバネで、一方、施工時グラウト充填時・完成時にあっては、補強構造体背面のグラウト袋・既設コンクリート覆工・周辺地盤を法線方向等分布ノンテンションバネで、モデル化した。コンクリート覆工はアーチ形状をしたはり構造と考えられるが、コンクリート覆工の剥離による断面の欠損を考慮することは困難なので、ここでは、コンクリート覆工の曲げ剛性を期待せずに、グラウト・コンクリート覆工・地盤と等価な剛性を有する法線方向等分布バネを用いることとした。等分布バネ定数は、山岳トンネル工法が適用できる最も軟らかい地盤を想定し、等分布バネ定数を 50MN/m^3 とした。これらは、設計上安全側の設定をしたことになる。また、軟らかい地盤では、等分布バネ定数は地盤バネ定数に支配される。

また、本解析では、通常的设计荷重に加え、以下の荷重を考慮した。

1)列車走行時荷重

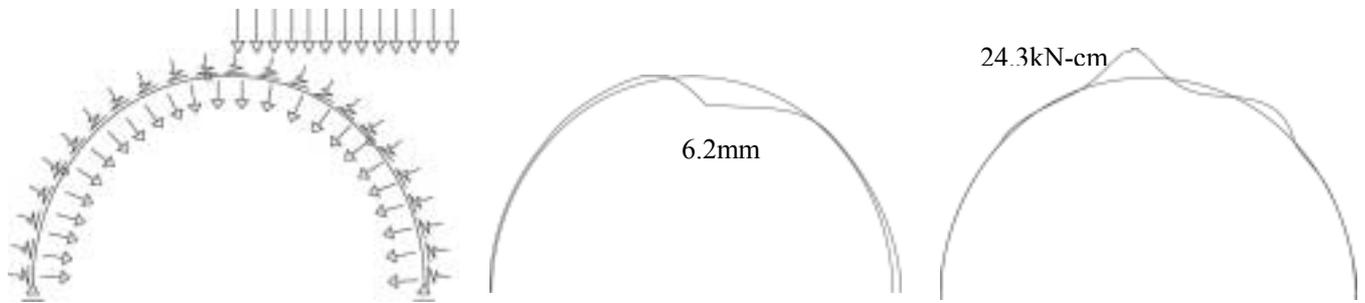
施工時グラウト充填前の状態では、スペーサーによって、鋼製セグメントが既存コンクリート覆工に支保されている状態となることから、列車走行時空気圧・振動による影響を考慮することとした。設計荷重は、既往の実測値^{1),2)}、および、風洞実験³⁾・動的数値解析⁴⁾結果を基に、等分布荷重 $\pm 5\text{kN/m}^2$ (正圧, 負圧)とし、補強構造体全体に半径方向に作用するものとした。

2)コンクリート覆工剥落荷重

施工時の設計荷重は、何らかの理由で局部的に劣化していた既設コンクリート覆工が、列車走行による空気圧の変動や振動等により剥離することを想定し、既往の実測値^{1),2)}を基に、集中荷重 10kN/m とし、補強構造体の任意の位置に作用するものとした。なお、ここでは、実測値の事例が少ないことから大きめの安全率を用いている。また、完成時の設計荷重は、覆工剥落として考えられる最悪の状態を想定し、既設コンクリート覆工上半部周長の半分の自重が等分布荷重として補強構造体中央、または、片側に、作用するものとした。なお、

キーワード：トンネル, 補修, 補強

連絡先：〒940-2136 新潟県長岡市上富岡1603-1 長岡技術科学大学建設系 TEL: 0258-46-6000 FAX: 0258-47-9600



(a)解析モデル

(b)変位分布

(c)モーメント分布

図1 解析結果（完成時列車走行時，列車走行時荷重：負圧，剥落荷重：片側）

S L付近では、剥落コンクリートの重量は覆工に支えられており、水平方向への変位が拘束されていれば、水平方向へのすべり出しは起きないと考えられ、この場合に必要な水平拘束力は軽微であると思われるので、コンクリート覆工剥落荷重の作用方向は、鉛直下向きとした。

解析対象と設計荷重の関係を表1に示す。

3.解析結果

補強工の状態，列車走行時荷重の正圧・負圧，コンクリート覆工剥落荷重の位置をパラメータとして，26 ケースの解析を行った結果，完成時列車走行時で，列車走行時荷重：負圧，剥落荷重：片側の場合が，クリティカルとなった。この時の，解析モデル，変位分布，モーメント分布を図1に示す。この図より，変位最大 6.2mm，曲げモーメント最大 24.3kN-cm，曲げ応力最大 7.035N/mm² となり，本補強構造体が，既設コンクリート覆工の剥落に対して十分な耐力を有すること，変形後にも列車走行に支障を与えないことを確認した。

4.まとめ

本研究では，薄肉トンネル補強工を在来線トンネル実物大試験に用いるために，補強構造体の施工時安定性・覆工剥落に対する耐荷特性を，はりバネモデルを用いて検討した。検討に当たっては，補強工の状態を考慮するとともに，設計荷重として，列車走行時荷重，コンクリート覆工剥落荷重を設定した。この結果，本補強構造体が，既設コンクリート覆工の剥落に対して十分な耐力を有すること，変形後にも列車走行に支障を与えないことを確認した。

なお，本報告は運輸施設整備事業団「運輸分野における基礎的研究推進制度」平成11-12年度研究課題（コンクリート構造物の安全性・信頼性の向上に関する技術分野）の1研究課題として筑波大学（研究代表者：西岡隆教授）、長岡技術科学大学、JR 東海、新日鐵が共同で取り組んだ。本研究にあたり、多大なご協力を頂きましたことを関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1)トンネル安全問題検討会，トンネル安全問題検討会報告書事故の原因推定と今後の保守管理のあり方，2000.2.
- 2)小島芳之・野城一栄・朝倉俊弘・小山幸則，鉄道トンネルの覆工剥落事故と原因推定，トンネルと地下，Vol.31，No.9，pp.63-70，2000.9.
- 3)薄肉トンネル補強工の鉄道トンネルへの適用性に関する検討ーその3：列車走行時の薄肉トンネル補強工の動力学的検討（風洞実験）ー，第56回年次学術講演会，2001.
- 4)薄肉トンネル補強工の鉄道トンネルへの適用性に関する検討ーその4：列車走行時の薄肉トンネル補強工の動力学的検討（数値解析）ー，第56回年次学術講演会，2001.

表1 補強工の状態と設計荷重

補強工の状態	施工時		完成時
	①ゲラ外充填前	②ゲラ外充填時	③列車走行時
①自重	○	○	○
②列車走行時荷重	○		○
③剥落荷重		○	○