

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  
— 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) —

筑波大学	正会員	亀田敏弘	西岡 隆
東海旅客鉄道(株)	正会員	大竹敏雄	安原真人 伊藤昭一郎
新日本製鐵(株)	正会員	寺田昌弘	

はじめに

1999年に発生した一連の鉄道トンネル事故に鑑み、トンネルに対して老朽劣化対策を行うことが必要である。現在、補強構造体をトンネル壁面内部に設置して軌道と列車を保護する方法が提案されている。この方法には、リング単位で作業行程が終了するため、列車の運行を休止することなく、夜間間合いでの設置が可能となり、分割したセグメントをトンネル壁面に沿わせながら施工するため、施工中に既存の架線を取り外す必要がない、といった特長がある。本研究では、昼間の列車通過に対して、裏込め注入がなされていない施工中の補強構造体の安全性について検討を行うために、在来線での空気圧変動と振動加速度を実測するとともに、列車通過時の風が補強構造体端部に及ぼす影響を考慮するために風洞実験を行って、数値解析の際の外力となるデータを取得する。さらに、これらの実測データに基づいて動的有限要素解析を行うこととする。

提案されているトンネル補強構造体

列車の運行を休止することなく夜間の間合いを利用して施工できることを目標として、図1に示すようなトンネル補強構造体が提案されている。トンネル軸方向については、長さ1mごとに独立した構造となっており、短時間の作業時間においても工事が進められるように工夫されている。また、各リングは4つのセグメントに分割されており、これらを壁面に沿わせながら組上げていくことにより、架線を取り外すことなく施工が可能である。

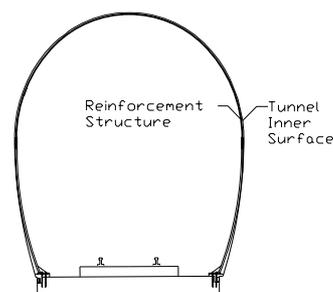


図1. 鋼製薄肉トンネル補強工

空気圧変動と列車風の測定

圧力計と風速計を高さの異なるトンネル壁面の3箇所に設置して、列車通過に伴う圧力変動と列車風を測定した。測定の結果、高さによる相違はなく、それぞれほぼ同様のデータとなった。図2, 3に単線トンネルを列車が時速55.5km/hで通過した際の圧力、風速のデータの一例をそれぞれ示す。本研究で用いた風速計は絶対値のみを計測可能であるが、過去の列車風に関する研究から、風向については、区間A-Bでは列車進行逆方向、区間B-Cでは列車進行方向と推定して、次に述べる列車風の影響の検討に用いた。

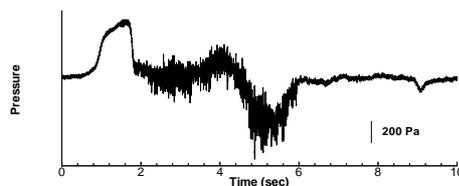


図2. 在来線トンネル内空気圧変動

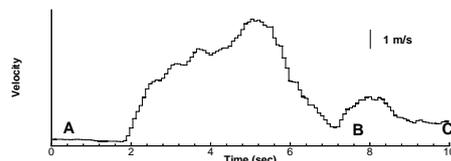


図3. 在来線トンネル内列車風

キーワード：鉄道トンネル, 補強工, 薄肉, 動的解析

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学機能工学系

TEL 0298-53-5114

FAX 0298-53-5207

e-mail: kameda@kz.tsukuba.ac.jp

### 補強構造体端部に列車風が及ぼす影響

補強構造体端部には列車風に起因する力が作用すると考えられるため、風洞実験を行った結果、端部から0.4mまでの区間においては、風圧係数が4から2の直線分布、0.4mより風下側では、風圧係数はほぼ2であったため、数値解析においては、風圧係数に応じて空気圧変動に補正を加えた。補正圧力  $P_{cr}$  は

$$P_{cr} = \frac{1}{2} \rho C v^2 \quad (1)$$

と表される。ここで、 $\rho$  は空気密度、 $C$  は風圧係数、 $v$  は風速である。補正は、作用する圧力を増加させる場合にのみ行うこととし、安全を見込むこととした。補正の最大値は、66 MPa となった。

### 列車通過時の振動

軌道直下とトンネル壁面下部に加速度計を設置して、列車通過時の振動による加速度を測定した。両者を比較すると壁面下部ではピークにおいて1/10程度の減衰があった。図4に、トンネル壁面基部において得られた加速度波形を示す。列車の通過速度は55.5km/hである。

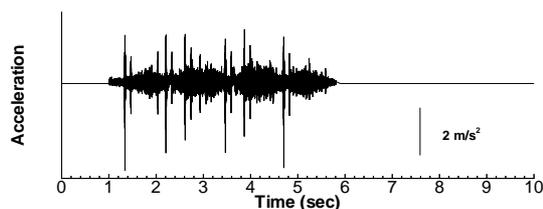


図4. 在来線トンネル壁面基部振動加速度

### 数値解析手法と結果

裏込め注入が行われていない鋼製補強構造体を想定して、列車通過中の補強構造体の挙動の動的有限要素解析を行った。解析にはLS-DYNAを使用し、1要素あたり8積分点の6面体弾性要素を用いた。各セグメント間は噛み合いの状況により挙動が大きく変化することが予想されるが、本研究では、母材の1/10の弾性定数を用いることとした。夜間に施工可能な長さを考慮して、解析モデルのトンネル軸方向長さを3m(3リング)とした。提案されている補強構造体では、トンネルとの間にスペーサーを設けることにより、裏込め注入が不十分な場合においても可能な限りトンネルとの一体化を図るようになっているため、スペーサーの位置には壁面方向にのみ補強構造体の変位を拘束する剛体要素を配置して、提案されている補強構造体に忠実な解析モデルとなるように配慮した。解析に用いたモデルは要素数703、節点数1520である。外力として、端部に列車風の影響を補正した空気圧変動計測結果と加速度計測結果を用いた。最大の応力を生じた瞬間の解析結果を図5に示す。応力は補強構造体全体において弾性域内(有効応力17MPa)であった。最大値は図中A点に発生した。また、振幅0.05mm程度の振動が確認された。

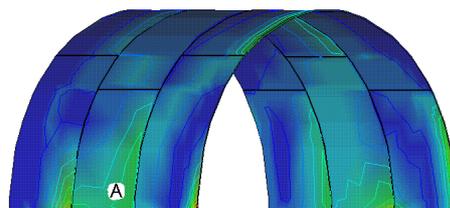


図5. 動的有限要素解析結果例

### おわりに

提案されている補強構造体について、裏込め注入が不十分である場合においても昼間の列車通行時の安定性は確保されているという結果となった。また、スペーサーにより、構造体の振動が抑制される結果が得られ、その重要性が確認された。

### 謝辞

本研究については、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」の助成を受けました。ここに感謝します。