

高速鉄道トンネル内の圧力変動に対する覆工の挙動把握

- 覆工の安全性評価 -

東海旅客鉄道 正会員 梶川 徹
東海旅客鉄道 正会員 山崎 幹男
東海旅客鉄道 正会員 渡瀬 久
東海旅客鉄道 正会員 宮本 雅章

1. はじめに 高速鉄道車両がトンネル内を走行する際には、列車の突入に伴う圧縮波(突入波)、通過やすれ違いに伴う圧力低下(通過波)あるいは退出に伴う圧縮波(退出波)などが生じ、これらの圧力変動は音速(突入波と退出波)もしくは列車走行速度(通過波)で伝播、坑口で反射し、トンネル内で複雑に重ね合わされる¹⁾。本報告は列車高速走行時のトンネル内圧力変動と覆工コンクリートのひずみ測定を実施し、覆工構造の力学的な挙動を考察すると共に、設計上考慮すべき最大圧力作用時¹⁾の覆工応力を有限要素法を用いた解析²⁾により推定し、その安全性に関する検討を行う。また、同時に圧力変動に対する覆工コンクリートの耐力についても考察する。

2. 測定概要 図-1に示すように、測定位置は山梨実験線のトンネル(長さ約4km、内空有効面積74m²)の甲府側出口付近であり、測定項目は圧力計3点(北壁、クラウン部、南壁)および動ひずみゲージ13点(15度ピッチ)である。測定時の列車走行条件として、1列車500km/h(北線)走行および2列車(相対速度900km/h：北線500km/h+南線400km/h)すれ違い走行を基本とし、列車の編成は、北線、南線、いずれも3両編成とする。

3. 測定結果 図-2に測定結果の一部を示す。図-2は東行き500km/h走行(北線500km/h突入および500km/h通過)によるトンネル内の圧力変動とその際の覆工ひずみの時系列を示したものである。図2より、図中(A)で示した突入波(正圧)が作用する時に覆工ひずみは引張(引張応力)となり、また、図中(B)で示す通過波(負圧)が作用する時に覆工ひずみは圧縮(圧縮応力)となることがわかる。1列車500km/h走行の場合、突入波による引張ひずみは最大で+2.5μであり、また通過波による圧縮ひずみは最大で4.3μ程度であり、わずかな値である。

4. 解析結果 列車高速走行に伴う圧力変動による覆工コンクリートの応力について検討するため、覆工コンクリートの応力解析を行った。応力解析はトンネル軸に垂直な平面での2次元平面ひずみ問題として取り扱う有限要素法による解析モデル²⁾を用いて行った。覆工コンクリートは巻厚30cm、設計基準強度18N/mm²の無筋コンクリ

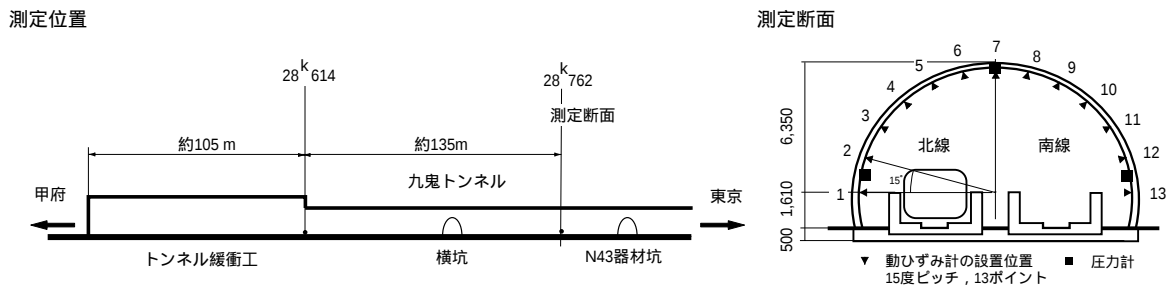


図-1 トンネル内圧力変動および覆工ひずみ測定概要

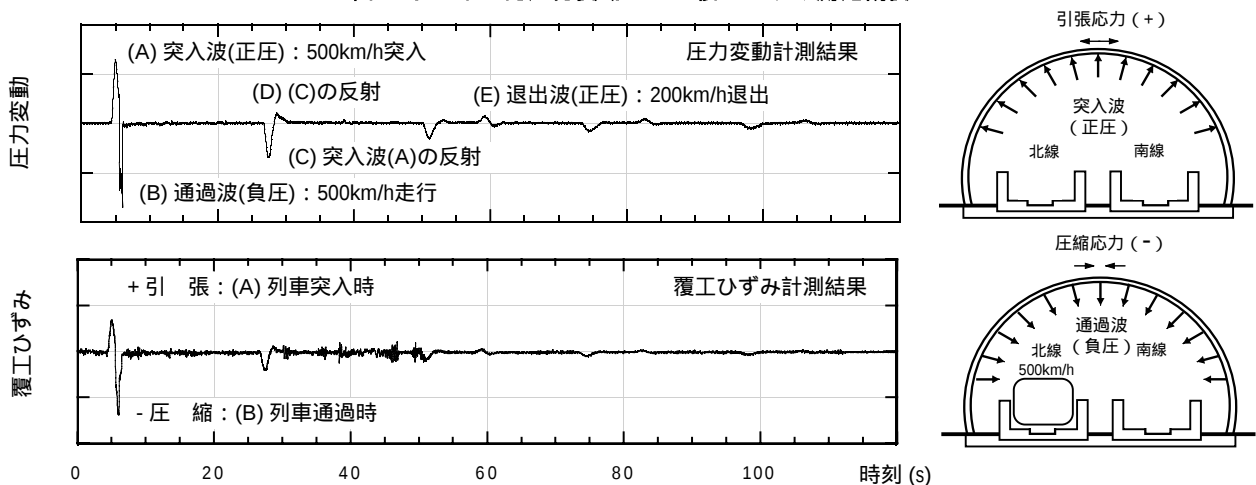


図-2 トンネル内圧力変動と覆工ひずみの関係（クラウン部）

キーワード：高速鉄道，トンネル，覆工，圧力変動，数値解析，許容応力

連絡先：〒103-8288 東京都中央区八重洲1-6-6 八重洲センタービル8F TEL：03-(3274)-9545，FAX：03-(3274)-9550

ートであり、許容引張応力は 0.29N/mm^2 、許容圧縮応力 5.4N/mm^2 である。なお、応力解析に用いた解析モデルの詳細は参考文献2)に詳しい。図-3は、図-2に示した東行き 500km/h 走行による圧力を作用させた場合の測定断面における覆工の周方向ひずみとその解析結果を示したものである²⁾。また、図-4は、その際の覆工コンクリート(自重による応力も考慮)の周方向の最大応力分布を示したものである。なお、図3および図4の解析に用いた導水材の剛性は文献2)の標準値を使用している。

図-4に示す結果より、最大正圧が作用すると、覆工クラウン部で引張応力が生じるものの、その値は概ね $+0.06\text{N/mm}^2$ 程度であり、設計基準強度 18N/mm^2 の無筋コンクリートの許容引張応力 0.29N/mm^2 以下である。

トンネル覆工は無筋コンクリート構造であるが、覆工はコンクリートの自重による軸圧縮力が作用しているため覆工には引張応力は生じない。しかし、列車突入による正圧を受けると図-4に示すようにクラウン部に引張応力が生じる。トンネル覆工の安全性を評価する場合に考慮すべきは、この正圧が作用した場合の引張応力であり、設計時に考慮すべき最大正圧が作用した場合の応力が許容応力($+0.29\text{N/mm}^2$)以下であることを確認する必要がある。

図-5は長さ 10km 程度までのトンネルの設計において考慮すべき最大の圧力(最大正圧 $\Delta P=+0.146P_0$ と最大負圧 $\Delta P=-0.188P_0$ ； P_0 はトンネル内の大気圧)¹⁾が作用した場合の覆工応力の解析結果を示している(長大編成2列車走行時)。図-5に示す結果より、最大正圧+自重が作用した場合の引張応力 $+0.15\text{N/mm}^2$ および最小負圧+自重が作用した場合の圧縮応力 -0.57N/mm^2 は、いずれも前述の許容応力 $+0.29\text{N/mm}^2$ (引張)～ -5.4N/mm^2 (圧縮)以下であり、対象とした覆工コンクリートは十分な強度を持ち、その安全性を確認することができる。

5. おわりに 長さ 10km 程度の高速鉄道用トンネルの覆工コンクリートに作用する最大圧力は、最大正圧 $\Delta P=+0.146P_0$ および最大負圧 $\Delta P=-0.188P_0$ であり、これらの圧力変動によって生じる応力は、最大引張応力 $+0.15\text{N/mm}^2$ と最大圧縮応力 -0.57N/mm^2 となり、いずれも計基準強度 18N/mm^2 の無筋コンクリートの許容値 $+0.29\text{N/mm}^2$ (引張)～ -5.4N/mm^2 (圧縮)内にあり、その安全性を確認することができた。

謝 辞 本研究を行うにあたり、(財)鉄道総合技術研究所の上野 眞氏、(株)大崎総合研究所の若原 敏裕氏に多くのご指導とご協力を頂きました。ここに、深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡瀬，山崎，梶川，前田，梶山，上野；高速鉄道のトンネル内圧力変動に対する覆工の挙動把握 - 圧力変動解析 -，土木学会第55回年次学術講演会，平成12年9月。
- 2) 新美，若原，野澤，梶川，渡瀬，宮本；高速鉄道のトンネル内圧力変動に対する覆工の挙動把握 - 応力解析モデルの構築 -，土木学会第55回年次学術講演会，平成12年9月。

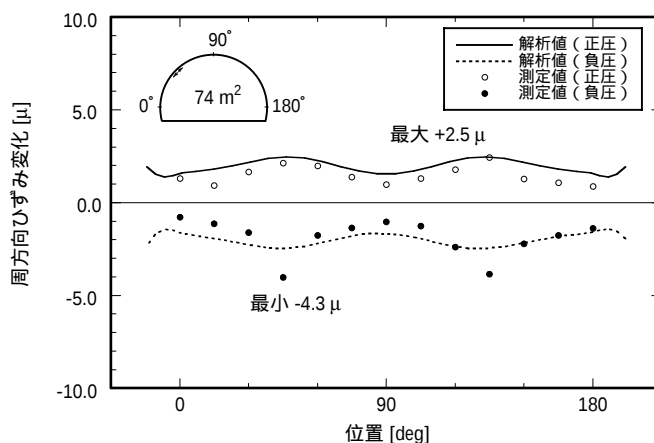


図-3 測定断面における覆工ひずみ
(3両編成 500km/h 走行時)

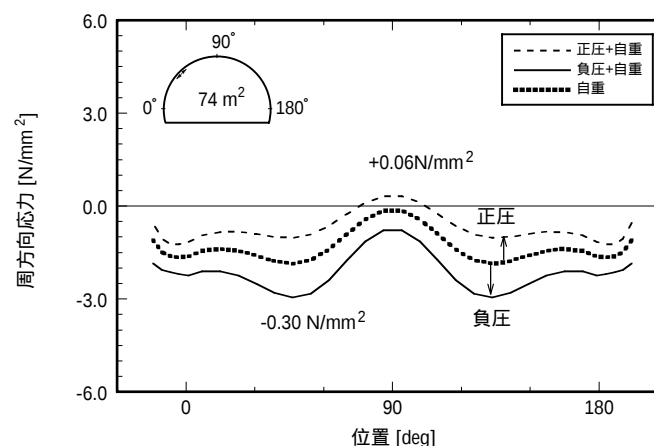


図-4 測定断面における覆工の最大応力
(3両編成 500km/h 走行時)

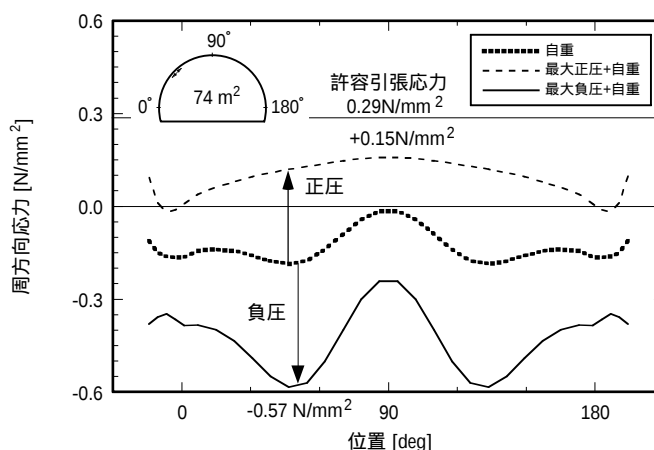


図-5 最大圧力作用時の覆工コンクリート応力
(長大編成時：16両)