

供用中トンネルのインバート施工による変状対策に関する研究

鹿島建設（株）

首都大学東京

（株）高速道路総合技術研究所

（社）施工技術総合研究所

正会員 ○ 宮下 直幸

正会員 土門 剛 西村 和夫

正会員 小川 澄

正会員 安井 成豊

1. 背景・目的

近年、高速道路トンネルにおいて、塑性圧を主な要因とする舗装版隆起等の変状現象を生じることがある。この変状現象は走行性の低下やトンネルの安定性に問題を生じさせるため、道路管理上の対策として、隆起量が小さい場合には舗装の切削・オーバーレイで対応している。しかし、隆起量が大きい場合や切削・オーバーレイ対策の頻度が多くなった場合には、新たにインバートを設置せざるを得ない。インバートによる補強工は舗装面下を開削する工事となり、トンネルを全面通行止めにして施工をする例がほとんどである。

そこで、社会的影響や経済的損失の大きい全面通行止めを回避するため、片車線の交通を確保した状態でインバート施工が可能なコンクリートと鋼管の複合構造に着目した。本研究では、複合構造インバートの実現可能性を検討するために、インバート施工による既設覆工への影響や変状抑制効果について施工過程を考慮した三次元数値解析により明らかにすることを目的とした。

2. 複合構造インバートと施工手順

複合構造インバートの概略図を図-1に示す。中央のコンクリート中詰め鋼管と左右のコンクリートアバットにより構成される。鋼管は奥行き方向に連続するものではなく、離隔のある構造である。鋼管形状は半径10000mmの逆アーチとし、長さ3600mm、外径267.4mm、打管ピッチ500mm、上下2段の千鳥配置とする。鋼管の施工は、走行車線側を規制し、走行車線側を開削し作業スペースを確保後、追越車線側に向かってボーリング施工により行う。鋼管の施工が終了後、作業スペースにはコンクリートを打設し、覆工から鋼管までを接続する。ここまでの工程を繰り返すことで、走行車線側のインバートを延長する。その後、規制を追越車線側に変更し、既に施工してある鋼管の先端を掘り出し、鋼管の先端を巻き込んでコンクリートを打設することによりトンネルを閉合構造とする。

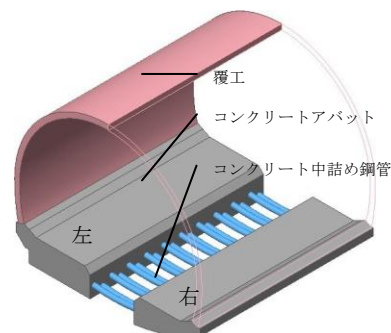


図-1 複合インバート

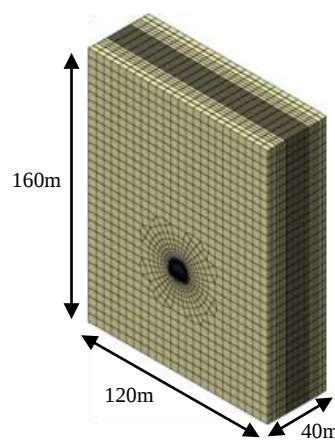


図-2 解析モデル

3. インバート施工による影響

インバート掘削を4m単位とし、インバート延長12mの解析を行った。インバート施工の影響は覆工およびインバート内に生じた主応力により検討した。解析モデルを図-2に、地山およびインバート構成部材の物性値を表-1に示す。地山はMohr-Coulombモデルによる弾完全塑性体とした。

施工終了時にインバート施工範囲の既設覆工内側脚部に生じた主応力を図-3に示す。先に施工をした走行車線側での影響が大きかったため、走行車線側の結果のみ示す。最大主応力は施工区間の中央付近で大きく

表-1 物性値

	変形係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (N/mm^3)	備考
地山	36	0.4	2.00E-05	粘着力 $c=0.319\text{N/mm}^2$, 内部摩擦角 $\phi=25^\circ$
吹付けコンクリート	360	0.2	2.30E-05	
覆工	22000	0.2	2.30E-05	許容応力度 18N/mm^2
インバートコンクリート	22000	0.2	2.30E-05	許容応力度 18N/mm^2
中詰めコンクリート	28000	0.2	2.30E-05	許容応力度 30N/mm^2
鋼管	200000	0.3	7.70E-05	厚さ $t=12.7\text{mm}$, 外形 $D=267.4\text{mm}$

キーワード トンネル変状、盤膨れ、塑性圧、インバート、補強工法

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL0426-77-2785 FAX0426-77-2772

なった。覆工がトンネル内空側に変形することにより生じた。また、最小主応力はインバート施工の継ぎ目で小さくなり、応力集中により生じたと考えられる。なお、解析結果では圧縮・引張ともにコンクリートの強度以上となった。

コンクリートアバットとの接続部で生じた上段鋼管内中詰めコンクリートの主応力を、向かって正面側と背面側に分け図-4に示す。最大主応力は、早い段階で施工された中詰めコンクリートでは正面側、遅くに施工されたものでは背面側で高くなり、最大で 35.4N/mm^2 となった。追越車線側のインバート掘削時にコンクリート中詰め鋼管が変形し、接続部で曲げによる引張が生じたと考えられる。最小主応力は最も手前のもの、およびインバート施工継ぎ目に近いもので大きくなった。継ぎ目ではねじれが生じ圧縮が大きくなったと考えられる。下段においても主応力の発生傾向は同じであったが、最小主応力においては上段を上回る -36.5N/mm^2 となり、強度以上となった。

鋼管における主応力の卓越箇所は中詰めコンクリートと同じであり、最大主応力は 170.7N/mm^2 、最小主応力は -247.8N/mm^2 となった。

4. 地山の中抜けの影響

鋼管は離隔のある構造であるため、膨張する地山が鋼管間を抜け出すことが考えられる。そこで、インバート構造とインバート下端から 1000mm までの地山を取り出したモデルによる部分解析を行い、 E 、 c 、 φ を低下させることで中抜けについて検討した。解析モデルを図-5に示す。

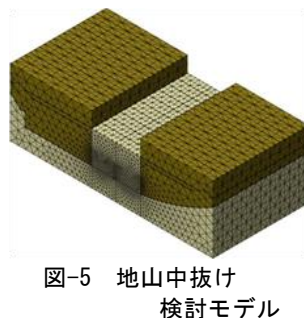


図-5 地山中抜け
検討モデル

地山の初期応力を 1N/mm^2 の等方等圧状態とし、 $E=12.9\text{N/mm}^2$ 、 $c=0.15\text{N/mm}^2$ 、 $\varphi=10^\circ$ と低下させた場合のコンクリートアバット間の地山鉛直変位を図-6に示す。また、鋼管がある場合とない場合における地山鉛直変位の比較を図-7に示す。図-6より上段と下段の間において変位の大きい領域が張り出していることが見てとれるが、 10mm 程度と変位量は大きくない。図-7より鋼管がない場合と比較すると、鋼管より下部での変位が抑制され、路盤底における変位差は 48mm となることが確認できる。

5. 結論・課題

インバート施工過程を考慮した解析により、既設覆工脚部および施工が完了した鋼管内中詰めコンクリートにおいて破壊に至るに十分な引張応力が生じることが判明した。部分解析により、間隔をあけた千鳥配置による鋼管施工であっても、地山隆起の抑制効果があることを確認できた。

なお、平行して二次元数値解析によってコンクリートアバット形状、鋼管逆アーチ曲率、覆工の応力緩和策などを検討している。また、中抜け現象の部分解析においては、地山要素に初期応力を与えそれを解放することで地山の膨張圧を表現したが、膨張がインバートから離れた地山で生じているとき膨張圧は外圧として作用するので、地山要素に初期応力を与えずに外圧を作用させた解析での検討も進めている。

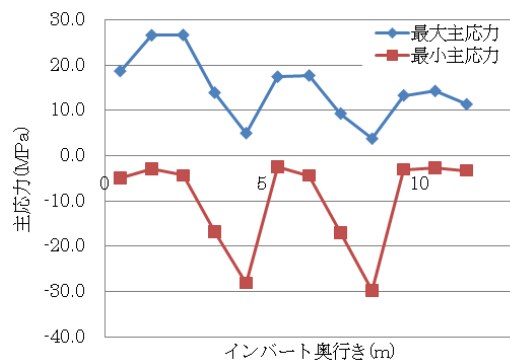


図-3 覆工主応力

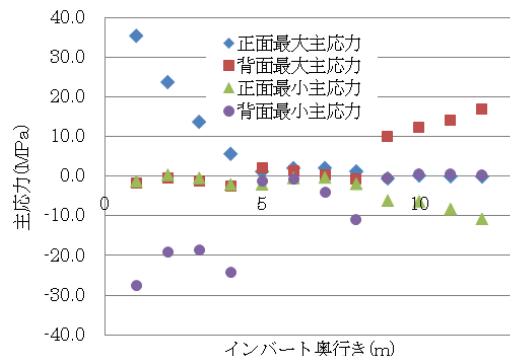


図-4 中詰めコンクリート主応力

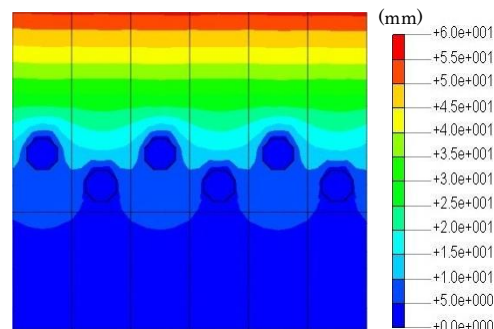


図-6 左右アバット間中央断面の鉛直変位

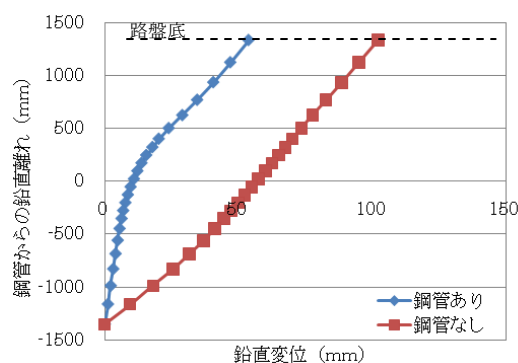


図-7 鋼管の有無による鉛直変位の比較