

早期断面閉合における変位抑制効果と 支保部材挙動の関係

淡路 動太¹・砂金 伸治²・河田 皓介²・真下 英人²

¹正会員 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ (〒305-0031 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail:d-awaji@pwri.go.jp

²正会員 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ (〒305-0031 茨城県つくば市南原1-6)

近年、不良地山におけるトンネル構造の安定化対策として採用されている早期断面閉合について、その実施効果と支保部材挙動の関係を検討するために、施工事例分析、計測データ分析および三次元数値解析を実施した。その結果、早期断面閉合は、閉合された剛な支保構造の構築により、支保構造に均一に軸力が発生し内圧効果を発揮することで、トンネル変位および地山の塑性化を抑制する効果が認められた。また、早期断面閉合は支保部材の連結部に速やかに軸力を伝達することで、トンネル構造の保有耐力を効果的に活用できることが分かった。一方、標準断面に準じて断面閉合を行う場合、インバート部の相対的に大きな構造半径や隅角部により、インバート部は曲げ圧縮部材となるため、曲げ耐力を考慮した設計および施工を行うことが重要であることが分かった。

Key Words : Mountain tunnel, immediate ring closure, three-dimensional numerical analysis

1. はじめに

近年、不良地山においてトンネル構造の安定性を確保するために、補助ベンチ付き全断面工法によって、切羽近傍で支保工と一体となったインバートを早期に設置し、トンネル断面をリング状に閉合する早期断面閉合（以下「早期断面閉合」という）の採用事例が増加している。不良地山対策として、その有効性が広く認知されてきている一方で、早期断面閉合の作用効果や変位の抑制メカニズム、地山条件への適用性、施工方法、支保工の仕様など、いまだ不明確な点が多く残されている。とくに、早期断面閉合では1次支保工で大きな荷重を負担することになることから、早期断面閉合に関する設計、施工を合理的に行うためには、1次支保工の役割や支保部材の断面力挙動等を詳細に把握することが重要である。

本稿では、早期断面閉合の施工事例分析から実施状況について整理を行い、施工時計測データの分析から早期断面閉合の実施効果について検討を行った。さらに、大土被りの脆弱な地山条件下における早期断面閉合の特徴を理解するために、早期断面閉合の掘削過程を模擬した三次元数値解析を行い、それらの結果から早期断面閉合における変位抑制効果と支保部材挙動の関係について考察を行った。

2. 早期断面閉合の事例分析

(1) 概要

早期断面閉合が実施されたトンネルの特徴を理解するために、上半切羽からトンネル掘削径 D に対して、およそ $2D$ 以内で断面閉合が実施された道路トンネルを抽出し事例分析を行った。調査対象としたトンネル数は30である。また、早期断面閉合における変位挙動の特徴を検証するために、早期断面閉合の実施断面と未実施断面における変位データを比較し、その差異の検証を行った。変位計測データの分析対象は事例分析を行った30トンネルにおける約200断面である。早期断面閉合の未実施断面における計測データは日本道路協会「道路トンネル観察・計測指針」(1993年)¹⁾(以下、H5観察計測指針)で示されている実績値を参考とした。

(2) 早期断面閉合の実施状況

図-1(a)に事例分析を実施したトンネルの土被り区分を示す。対象トンネルのおよそ半数が、土被り $2D$ 以下となる小土被り部に相当し、残り半分が土被り $2D$ 以上の中～大土被り部（以下、土被り $2D$ 以上を中・大土被り部と称する）に相当している。森崎ら²⁾が実施した時点での早期断面閉合の施工事例分析では、小土被り部において、地表面沈下対策として実施された事例が多かった

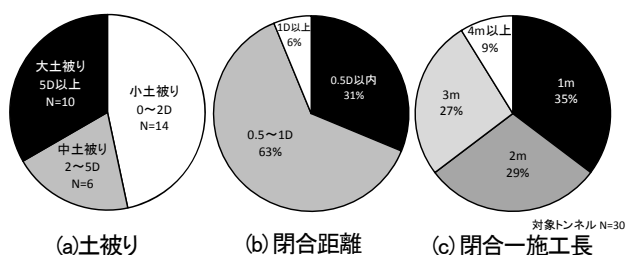


図-1 早期断面閉合の適用例

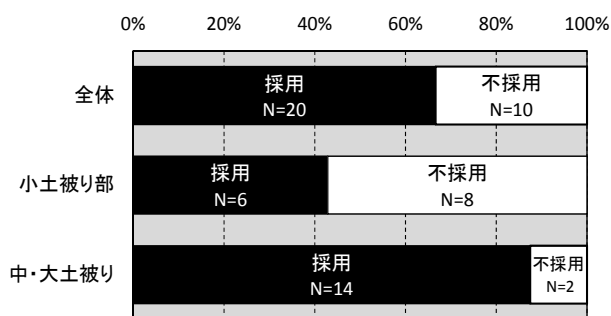


図-2 鋼インバート支保工の採用率

が、近年では、中・大土被り部の脆弱地山におけるトンネルの安定化対策として採用されている事例が増加してきていることが分かる。

図-1(b), (c)に早期断面閉合における閉合距離と閉合一施工長の傾向を示す。閉合距離とは、トンネル上半切羽から断面閉合が完了した位置までの最大の距離を示し、閉合一施工長とは、1回あたりに断面閉合を行う施工長

を示す。これによれば、閉合距離は9割以上の事例において1D以内であり、その中でも約3割の事例では0.5D以内で断面閉合が行われている。したがって、上半切羽距離1D以内で断面閉合を行うことが早期断面閉合の標準的な施工事例であるといえる。一方、閉合一施工長については、1~3mの範囲でほぼ同程度の施工事例が認められ、施工状況に合わせた一施工長が各現場で採用されており、標準的な値の傾向は認められない。

早期断面閉合における支保部材は、すべての事例で上半アーチ部に鋼アーチ支保工が採用されていたが、インバート部では図-2に示すように、鋼インバート支保工の採用率が小土被り部で約4割、中・大土被り部で約9割と異なっている。この違いは、中・大土被り部では小土被り部より、支保工に作用する土圧が高く、より剛な構造が採用される傾向があるためと考えられる。

(3) 早期断面閉合の変位挙動の傾向

早期断面閉合を実施した断面の各施工段階の変位量と最終変位量の関係を図-3に示す。図中の実線は早期断面閉合の実施断面における計測データの回帰結果を示している。図中の破線はH5観察計測指針で示されている早期断面閉合を実施していないと考えられる計測データの回帰結果を示している。なお、H5観察計測指針で示されている計測データは通常の2車線断面規模のトンネルにおいて支保構造が標準の支保パターンと大きく異ならず、さらに初期値測定時の切羽距離が5.5m以下の場合に限定している。また、計測断面には、上半先進工

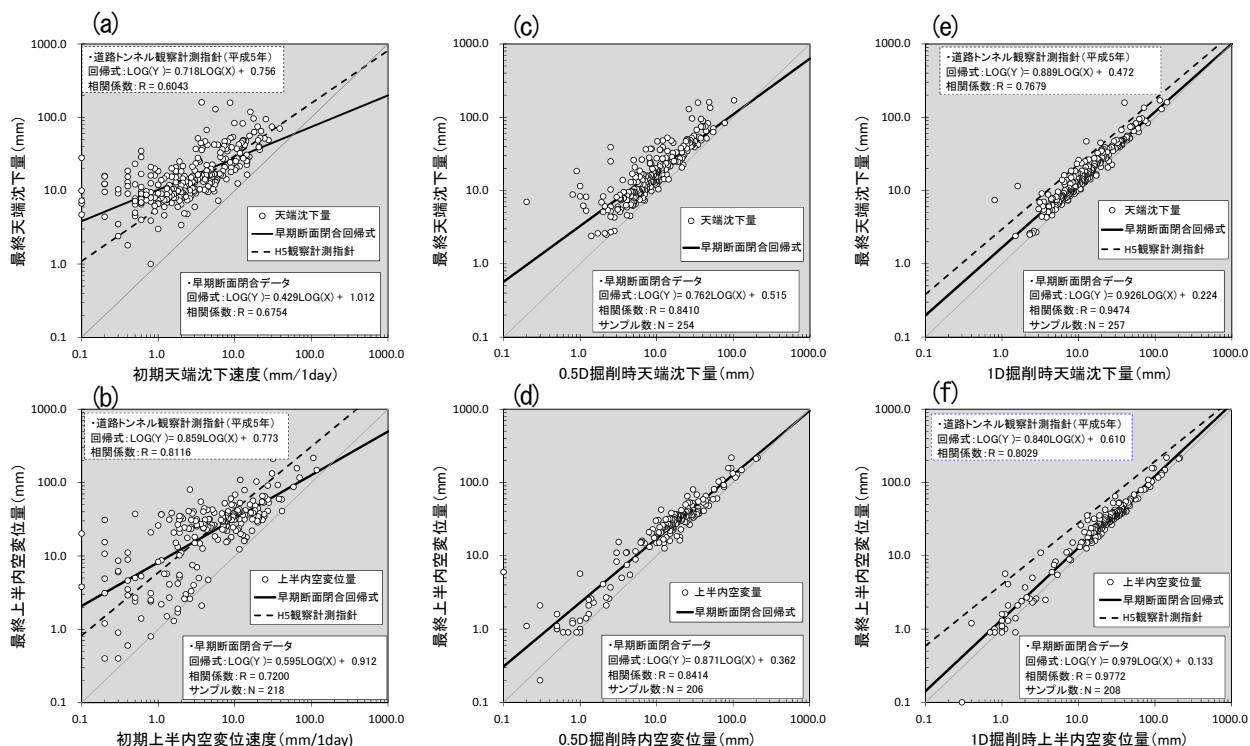


図-3 施工段階ごとの変位と最終変位の相関図

法を含み、初期変位の段階で下半掘削が実施されていないデータも含まれていることに注意を要する。

図-3(a), (b)に初期変位速度 (mm/day) と最終変位量の関係を示す。これによれば、この両者の関係は、天端沈下量と上半内空変位量で、ともにバラツキが大きい。これは早期断面閉合が実施されるような地山条件では、インバート部の掘削や補助工法の併用などにより、掘進速度が遅く、また、補助工法の併用等により掘削サイクルも一定ではないため、各計測断面間での一日後の上半切羽進行に差があり、初期変位速度 (mm/day) のバラツキが大きくなるためと考えられる。一方、図-3(c), (d)に示すように、0.5D 上半掘削時の変位量と最終変位量との関係は、初期変位速度 (mm/day) を横軸にとった時の関係 (図-3(a), (b)) より、相関係数が高くなっている。つまり、早期断面閉合を実施するような地山条件下では、初期の変位量と最終値の関係を把握する際、掘進速度が一定ではない初期変位速度 (mm/day) を用いるより、断面間の掘進量を一定にした 0.5D 上半掘削時変位量を用いる方が最終値の予測精度が高いと考えられる。

横軸に 1D 掘削時の変位量をとった場合の最終変位量との関係を図-3(e), (f)に示す。これによれば、H5 観察計測指針における回帰式 (図中の破線) よりも、早期断面閉合を実施した計測データの回帰式 (図中の実線) のほうが下側に位置している。早期断面閉合を実施した断面の計測データは図-1(b)に示したように、基本的に 1.0D 以内で閉合されている。つまり、早期断面閉合の実施断面では、未実施の断面に比べて、初期変位量に対する最終変位量の伸びが小さいことを示唆している。すなわち、早期断面閉合は、初期に発生する変位量に比較して、閉合後に発生する変位を抑制する効果があると考えられる。

3. 数値解析

(1) 解析条件

早期断面閉合に関する解析的な検討では、地山強度比が 1 を大きく下回るにつれて、より高い効果が発揮されることが指摘されている^{2~4)}。また、閉合距離を短くするほど、変位の抑制効果が高くなることが指摘されている^{2~5)}。ここでは、大土被り脆弱地山における早期断面閉合の実施効果を検証するために、三次元有限差分法 (FLAC3D) によって掘削過程を模擬した数値解析を行った。図-4 に解析モデルを示す。解析ではトンネル掘削径 12.8m、土被り 100m とし、地山は Mohr-Coulomb の破壊基準に従う完全弾塑性体の 1 層構造とした。解析領域は掘削の対称性を考慮した半断面とし、境界条件は、上面を自由面、側面をローラー境界、底面を固定境界とした。初期応力は側圧係数を 1.0 として、

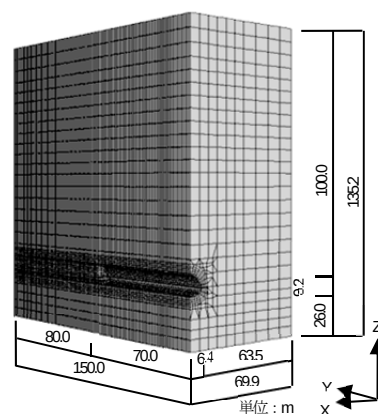


図-4 解析モデル図

表-1 地盤定数一覧

単位体積重量 γ (kN/m ³)	21.0
変形係数 E (MPa)	150
内部摩擦角 ϕ (deg)	30
粘着力 C (MPa)	0.200
ポアソン比 ν	0.35
一軸圧縮強度 q_u (MPa)	0.7

表-2 支保部材仕様一覧

	仕様	要素モデル	変形係数
吹付けコンクリート	t=250mm	Shell	強度発現考慮
鋼材支保工	NH-200	Beam	2×10^5 MPa
ロックボルト	D25, L=4m	Beam	2×10^5 MPa
長尺鏡ボルト	GFRP $\phi 76$, L=12m@9m	Cable	2.5×10^4 MPa
			付着剛性: 19.3 MPa
			付着強度: 150 MPa

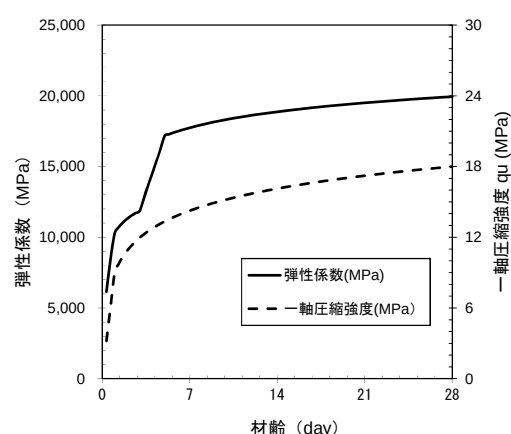


図-5 吹付けコンクリート物性値の材齢変化

各要素に土被り 100m 相当の自重を作用させた。上下半およびインバート掘削は 1m の逐次解析とし、上半、下半およびインバートの各切羽後方 1m の位置から支保工を設置した。早期断面閉合における閉合距離の影響を検証するために、閉合距離をそれぞれ 1m, 4m, 7m,

11m および上部半断面工法（閉合距離 30m）とした場合の解析を行った。

表-1 に解析に用いた地山物性値を示す。本解析では、地山物性値はトンネル数値解析マニュアル⁹⁾におけるDIIに相当する値を採用し、地山強度比は0.33に相当している。表-2 に解析に用いた支保部材仕様を示す。支保部材の断面積、断面2次モーメント等の仕様は、トンネル標準示方書⁷⁾の各支保部材仕様に相当する値を用いている。また、早期断面閉合で併用されることが多い長尺錠ボルト（L=12m）についても、ケーブル要素として9m 間隔で1 シフトあたり 8 本を設置した。一方、図-5 に示すように吹付けコンクリートは、材齢による弾性係数の変化を考慮し、インバートを含めた全断面のトンネル掘削1 サイクルを8時間として、掘削ステップごとの材齢強度に応じた弾性係数を適用した。材齢と吹付けコンクリート強度の関係は、瀬崎ら⁸⁾に示されている関係式を材齢28日で18MPaとなるように補正したものを用いた。材令強度の弾性係数への換算は鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル（トンネル編）⁹⁾に示されている以下の式(1)に従った。

$$E_e(t) = \phi(t) \times 4.7 \times 10^3 \times \sqrt{f'_c(t)} \quad (1)$$

ここに、 $E_e(t)$ は材齢 t (日)における有効ヤング係数(MPa)， $\phi(t)$ は温度上昇におけるクリープの影響が大きいことによるヤング係数の補正係数で、材齢3日までは $\phi=0.73$ 、材齢5日以降は $\phi=1.0$ 、 $f'_c(t)$ は材齢 t (日)における圧縮強度(MPa)を示している。なお、材齢3日から5日までは直線補完を行っている。

(2) 解析結果と考察

a) トンネル変位の抑制効果

上半切羽到達時を初期値とする支保設置後の変位（以下、トンネル変位とよぶ）の解析結果を図-6 に示す。早期断面閉合では、上部半断面工法（閉合距離 30m）と比較して天端沈下量、脚部沈下量、内空変位量のすべてにおいて変位の低減効果が認められる。また、閉合距離が短くなるほど、変位の最終値が小さくなっている。閉合を 11m 以内で行ったケースでは、上半内空変位量の閉合前変位発生率は98%以上となっている。これは、上半内空変位の進行が断面閉合と同時に抑制され、閉合後の変位の増分は小さいことを示している。一方、天端・脚部沈下量は、断面閉合によって直ちに変位が抑制される挙動は示さず、全体的に変位速度が緩やかになることで最終変位量が抑制される挙動を示している。

b) 支保部材軸力と塑性域抑制の関係

図-7 に吹付けコンクリートと鋼アーチ支保工の合成支保部材の軸力に関する解析結果を示す。上半アーチ部では閉合距離によらず、ほぼ同程度の圧縮力が発生しているが、脚部からインバート部では、閉合距離が短いほど

高い圧縮力が発生している。一方で、表-3 に示すトンネル周辺塑性域の発生状況を見ると、最終的な塑性域の広がり、閉合距離が短くなるほど小さくなっている。また、閉合距離の変化に伴う塑性域の拡大様式は、断面閉合後には速やかに収束傾向を示しており、断面閉合後の拡大は顕著ではない。これは上半内空変位量の挙動と類似している。つまり、閉合距離が短いほど、トンネル変位と塑性域は抑制されるが、支保部材に発生する軸力

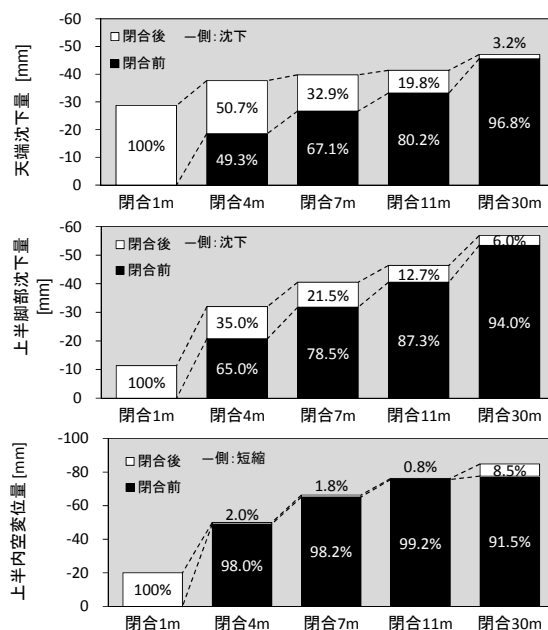


図-6 各閉合距離における変位発生率の比較

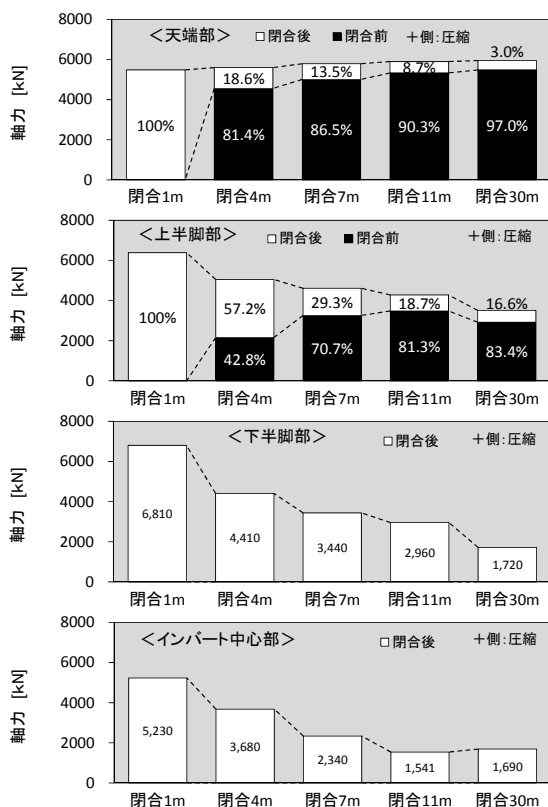


図-7 各閉合距離における軸力発生率の比較

は下半～インバート部にかけて大きくなり、トンネル全周に渡ってほぼ一様に軸力が発生していることが分かる。つまり、トンネル断面の閉合距離を短くすることで、早期に支保工のリング構造が構築され、効率的に軸力を伝達することで、地山への内圧効果が高まっていると考えられる。すなわち、塑性域の発生を伴う大土被り脆弱地山における早期断面閉合の実施は、支保の内圧効果を効率的に発揮させることで、トンネル変位と塑性域の広がりを抑制し、トンネルの安定性を高めるメカニズムが期待できると考えられる。このように、早期断面閉合では支保部材の持つ軸圧縮耐力を効率的に利用することから、設計の際には、従来より支保部材の圧縮耐力に対する配慮が必要になると考えられる。

表-3 塑性域分布における閉合距離の影響

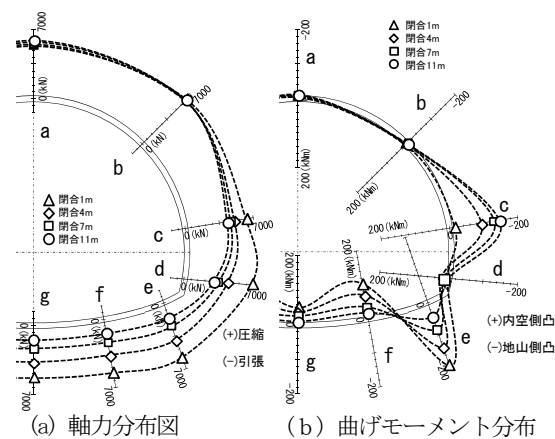
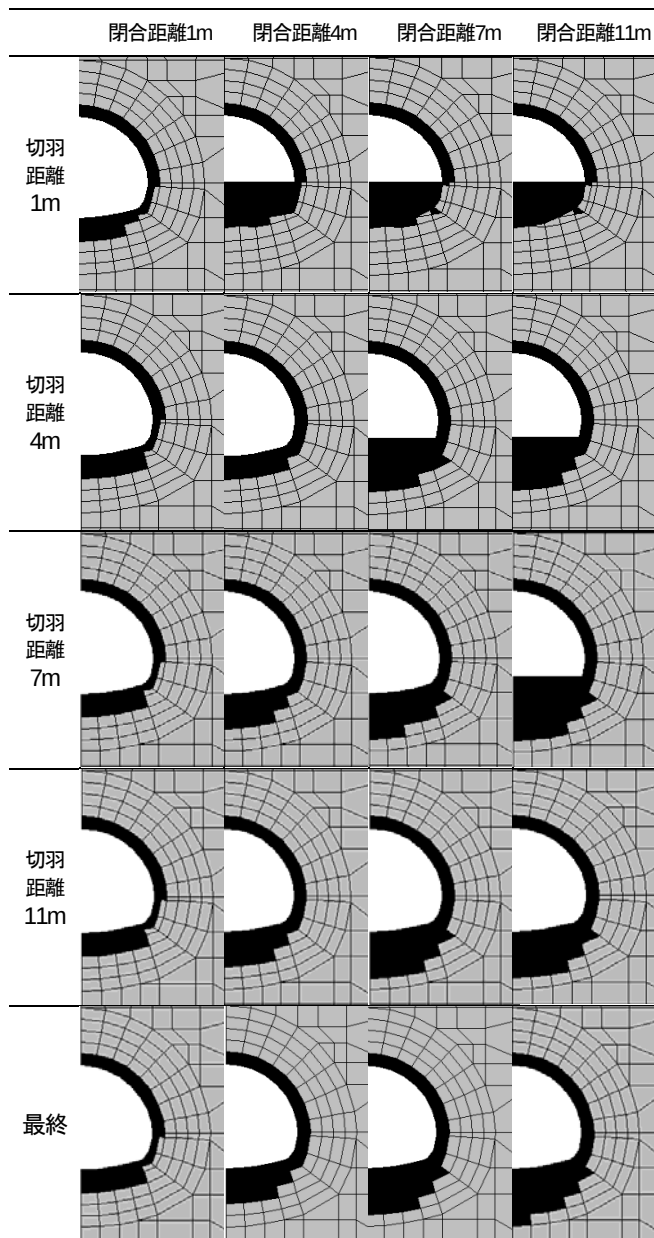


図-8 支保部材断面力分布図

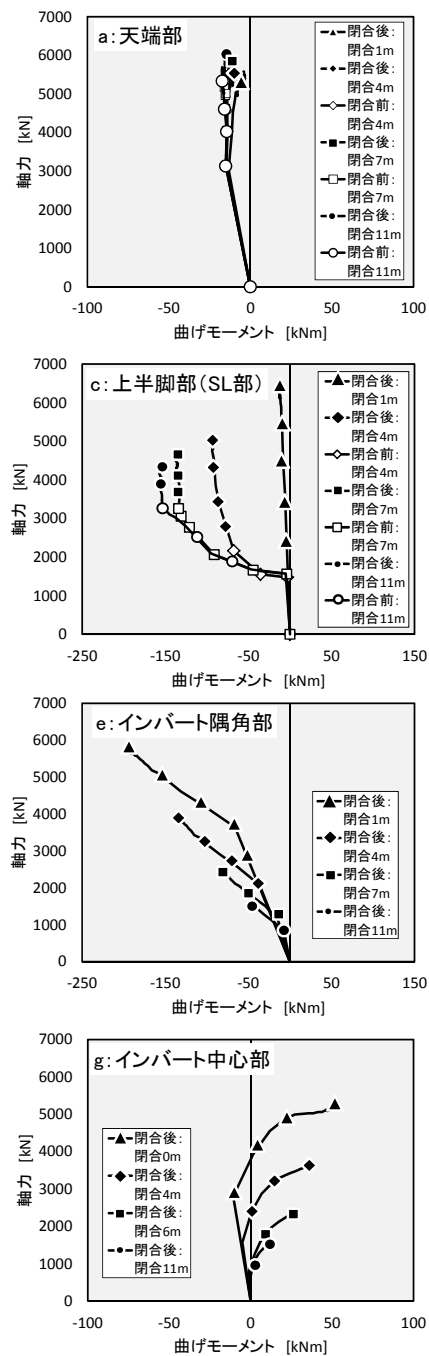


図-9 各閉合距離における断面力挙動の比較

c) トンネル構造全体の耐力向上効果

図-8 に吹付けコンクリートと鋼アーチ支保工の合成支保部材に発生する軸力と曲げモーメントの分布図を示す。上半アーチ部では曲げモーメントの発生は軽微で、圧縮力が卓越する圧縮部材としての挙動が特徴的であるが、上半脚部（測点 c）は、支保構造が閉合されるまでは曲げが卓越し、断面閉合後に軸力増加が主体となる挙動を示す。したがって、閉合距離が長いほど軸力は小さく、曲げモーメントが大きくなる傾向を示している。

一般的な山岳トンネルの施工では、上半、下半、インバートの分割掘削を行っている。このため、上半、下半、インバートの接合部は、連結がなされるまで開放された形状となる。図-9 の上半脚部の断面力挙動（測点 c）で認められるように、初期掘削による軸力の導入後は、リング閉合がなされるまで上半脚部付近の支保部材の軸力増加は認められず、曲げが卓越することになる。したがって、吹付けコンクリートのように圧縮部材として効果が発揮される支保部材では、断面閉合がなされないで解放された支保工連結部で曲げが卓越し、トンネル構造が不安定化する懸念がある。これに対し早期断面閉合は、閉合距離が短くなるにつれて、支保部材に速やかに軸力を導入し、圧縮部材としての断面力挙動に変化させることが可能となり、トンネル構造全体が保有する耐力を効率的に活用することができると考えられる。

d) インバート部の断面力挙動と支保部材としての役割

脚部からインバート部では、閉合距離が短いほど高い圧縮力が発生している（図-7）。一方で、図-8 に示す断面力分布図では、インバート部の隅角部側とトンネル

中心側で曲げモーメントの正負が反転し、閉合距離が短くなるほど圧縮力の増大とともに、大きな曲げモーメントが発生し、曲げ圧縮部材としての挙動が顕著となっている。図-9 で認められるように、掘削に伴う断面力の挙動は、インバート隅角部（測点 e）では、軸力と曲げモーメントの増加勾配が閉合距離によらず一定で、閉合距離が短いほど軸力と曲げモーメントの両者の発生量が高くなる傾向を示している。

本解析に用いた標準的なトンネル形状のインバート部は、上半アーチに対して構造半径が大きく、また、接合部は隅角部をなしている。そのため、インバート部では、隅角部周辺に応力集中が生じやすく、曲げ圧縮部材としての特徴が顕著になっている。したがって、インバート部の支保部材には、軸圧縮力に対する耐力だけでなく、曲げ圧縮に対する耐力に配慮する必要がある。

4. 施工時計測データの分析

(1) 概要

実現場における早期断面閉合の変位抑制効果と支保部材の挙動を確認するために、施工時計測データの分析を行った。対象としたトンネルは、中・大土被り部に相当する泥岩地山（土被り 2～5D 程度）において、内空変位と脚部沈下の増大によるトンネル構造の不安定化を防止する目的で早期断面閉合が採用された 3つの 2車線道路トンネルである。早期断面閉合は、閉合距離 0.5～1.0D の範囲で実施され、上半アーチ部に対するインバ

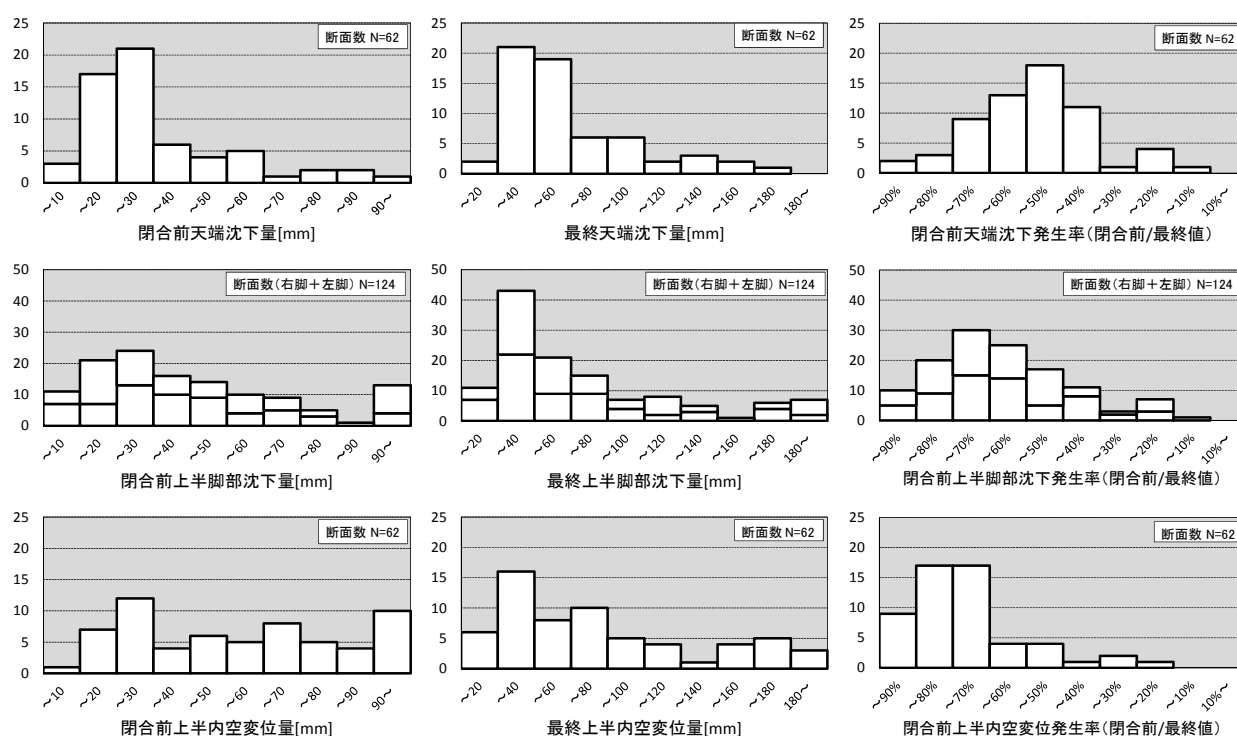


図-10 早期閉合を実施した泥質岩における各施工段階の変位量と閉合前変位発生率の関係

ート部の構造半径比は2車線道路トンネルで標準的な約2.7である。これらのうち、早期断面閉合実施断面における計測工 A (62 断面) および計測工 B (1 断面) を対象として分析を行った。

(2) 閉合前変位量と最終変位量の関係

図-10 に各施工段階における変位量と閉合前変位発生率のヒストグラムを示す。天端沈下量については、閉合前変位は 10~30mm、最終値は 20~60mm をピークとした山なりの分布を示し、閉合前変位発生率は、およそ 50% をピークとした分布となっている。上半脚部沈下量の初期変位および最終変位の分布形態は天端沈下量と類似するが、閉合前変位発生率のピークは 70~80% となり、天端沈下量よりも比較的高い収束性を示す。上半内空変位量については、閉合前変位、最終変位ともにバラツキが見られるが、閉合前変位発生率は 70~90% がピークとなり、天端沈下量、脚部沈下量よりも高い収束性を示している。以上のことから、上半内空変位量は断面閉合後、比較的速やかに変位が収束に向かう挙動となるが、天端沈下、脚部沈下については断面閉合後も即座に収束傾向は示さず、ある程度変位の伸びが生じる挙動が認められた。このように、計測データにおいても数値解析で認められたように、早期断面閉合によって、閉合後速やかに内空変位が抑制される効果が認められる。

(3) 早期断面閉合に伴う支保部材断面力の挙動

早期断面閉合に伴う支保部材断面力の挙動を検討するために、ここでは計測工 B のうち、鋼アーチ（インバート）支保工応力計測結果に着目し、軸力と曲げモーメントの発生状況の照査を行った。

図-11 に、掘削に伴う鋼アーチ（インバート）支保工の曲げモーメントと軸力の計測結果を示す。上半アーチ部の天端から肩部（図-11(a)：測点 C, D, E）では、閉合前から曲げモーメントに対して軸力が卓越し、閉合の前後で一次曲げが卓越する挙動が認められるが、基本的に圧縮部材としての特徴が顕著となっている。一方、上半脚部（図-11(a)：測点 B, F）では閉合前には断面力の挙動がバラついて軸力の導入はなされず、閉合後に軸力が卓越する挙動を示している。つまり、数値解析で示されていたように、脆弱な地山条件では支保工連結部（上半脚部）は断面閉合がなされるまで開放された状態になり、軸力の伝達が行われにくい状態にあるが、断面閉合後は、スムーズに軸力が伝達されるようになり、構造的に有利な状態になっていることを示している。下半からインバート部（図-11(b)：測点 A, G）でも、上半アーチ部と同程度の軸力が発生しており、トンネル構造全体で軸力が卓越して、トンネル構造全体の安定性が高く、地山への内圧も効果的に発揮されていると考えられる。

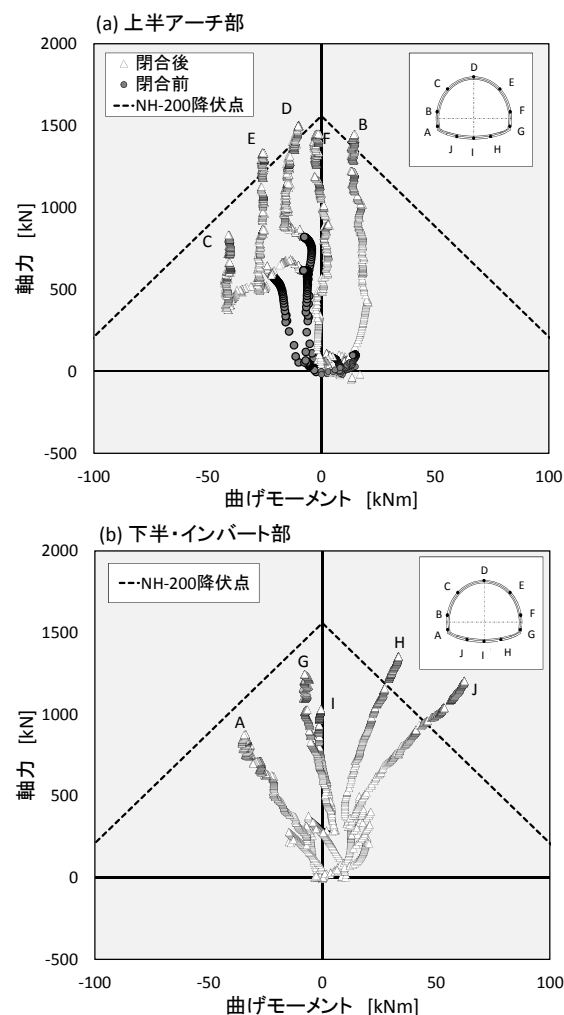


図-11 鋼アーチ支保工の断面力挙動の計測事例

一方、インバート中心部（図-11(b)：測点 I）では比較的軸力が卓越した挙動を示すが、インバート部の隅角側（図-11(b)：測点 H, J）および下半脚部（測点 A）では数値解析と同様に、圧縮力の増加とともに曲げモーメントも増加する曲げ圧縮部材としての挙動を示している。また、インバート部に発生する軸力の大きさは上半部とほぼ同程度である一方で、隅角部側では曲げモーメントが卓越するために、鋼アーチ（インバート）支保工（NH-200）において縁応力が降伏点（245MPa）に達する線と交差する結果となっている。数値解析結果からも示されているように、インバート部の構造半径が上半アーチ部に対して大きく、下半との連結部が隅角部となる標準的なトンネル形状では、インバート部は曲げ圧縮部材として挙動していることが確認できる。このため、インバート部は上半アーチ部と同程度の軸耐力を有していても、曲げ耐力を有する部材を採用していないと、構造的な安全性を確保できない可能性があると考えられる。

以上のことから、早期断面閉合における支保部材の設計および施工では、インバート部に曲げ耐力が期待できる支保部材を採用することや、インバート部の構造半

径を小径化して軸力が卓越するようなトンネル形状の検討等により、標準的なトンネル形状におけるインバート部の曲げ圧縮部材としての特徴に配慮することが重要であると考えられる。

5. まとめ

早期断面閉合に関する施工事例分析、計測データ分析および数値解析結果から、以下の知見が得られた。

- (1) 早期断面閉合は、断面閉合された剛な支保構造の構築により、閉合後、速やかに内空変位を抑制し、変位の収束性を高める効果がある。また、閉合距離を短くするほど、変位の抑制効果は高くなる。
- (2) 早期断面閉合は、断面閉合された剛な支保構造に均一に軸力が発生し内圧効果を発揮することで、地山の塑性化を抑制する効果が認められる。また、閉合距離を短くするほど、下半～インバート部の支保工に発生する軸力が高まり、より高い内圧効果を発揮できる。
- (3) 早期断面閉合は、断面閉合がなされるまで開放部となる支保部材連結部を、軸力が卓越する構造に速やかに近づけることで、トンネル構造全体が保有する耐力を効率的に活用できる。
- (4) 早期断面閉合における支保構造は標準断面に準じて閉合を行う場合、支保部材の曲げ圧縮部材としての挙動が顕著となるため、曲げ耐力を考慮して支保工の設計および施工を行うことが重要となる。

謝辞： 検討を行うにあたり、対象トンネルの施工条件、計測データ等をご提供頂いた東日本高速道路㈱、中日本高速道路㈱、西日本高速道路㈱および国土交通省の関係各位に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針，1993.
- 2) 森崎泰隆，御手洗良夫，蔣宇静：一次インバートの閉合距離が地表面沈下に与える影響に関する解析的検討と適用事例，土木学会論文集 F，Vol.64，No.3，pp.227-236，2008.
- 3) 中野清人，小川澄，楠本太，樽井稔：早期閉合トンネルの現状と挙動分析，トンネル工学報告集，Vol.20，pp.151-162，2010.
- 4) 林久資，青木一男，吉岡尚也，柳川麻彦，鬼頭夏樹：押し出し性山での数値解析および計測事例に基づいた変位抑制対策，土木学会論文集 F1，Vol.67，No.3，pp.9-24，2011.
- 5) 真下英人，水川雅之，日下敦：トンネル早期閉合効果に関する解析的検討，トンネル工学報告集，Vol.17，pp.35-41，2007年.
- 6) 日本道路公団：トンネル数値解析マニュアル，1998.
- 7) 土木学会：トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説，2006.
- 8) 瀬崎満弘，岐部哲郎，市川康明，川本朧万：吹付コンクリートの強度と変形特性に関する研究，材料，Vol.38，No.434，pp.1336-1340，1989.
- 9) (社)日本鉄鋼連盟：鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル（トンネル編），2002.

(2013. 9. 2 受付)

RELATIONSHIP BETWEEN SUPPRESSING EFFECT OF TUNNEL DISPLACEMENT AND MECHANICAL BEHAVIOR OF TUNNEL SUPPORTS ON IMMEDIATE RING CLOSURE OF TUNNEL SECTION

Dohta AWAJI, Nobuharu ISAGO, Kosuke KAWATA and Hideto MASHIMO

Immediate ring closure of tunnel section, based on full face excavation with auxiliary bench and installation of invert at the short length from excavation surface, has been adopted for the purpose of stabilization of the tunnel structure in poor geological condition. We conducted three-dimensional numerical analysis and the analysis of measurement data in order to examine the relationship between suppressing effect of tunnel displacement and mechanical behavior of tunnel supports on immediate ring closure of tunnel section. As a result, immediate ring closure has effects of the constraint of the convergence of tunnel cross section and the reduction of the ground loosening by inner pressure of ring closed supports as rigid structure. Further, immediate ring closure makes it possible to utilize effectively the load-bearing capacity of whole tunnel structure by transmitting an axial force promptly to whole supports. On the other hand, when tunnel section closing is performed by standard cross section, which has bigger radius of invert than of upper arch, it is important to design and construct with consideration of the property such as the compression bending element of invert structure.