

トンネル目地部の浮き・剥離の傾向とその対応方策

長崎振興局 建設部 道路建設課 ◎山口 智之
○宮崎 真里亜

1. はじめに

我が国の社会資本の多くは高度経済成長期以降に集中的に整備されており、今後、建設から50年以上を経過する施設の割合は加速度的に増加することが確実視されている。

平成24年に発生した中央自動車道笹子トンネル天井板崩落事故を契機に、道路橋や道路トンネル等を対象として5年に1回の定期点検が法定化され、現在は3巡目点検（令和6年度～）が実施されている。長崎県においても、中長期にわたる道路網の安全性・信頼性の確保とライフサイクルコストの縮減を目的に、維持管理計画を策定し、早急に対策を講じるべき施設への集中的な対応と予防保全に基づく戦略的な維持管理を推進してきた。

本稿は、これまで得られた定期点検の結果から道路トンネルの変状で最も多く確認されている「浮き・剥離」に着目し、その発生傾向を分析するとともに、有効な対応方策について検討するものである。

2. 長崎県が管理するトンネル

長崎県が管理する国道・県道の道路トンネルは令和7年3月末時点で144本が供用されており、そのうち、約2割にあたる24本が建設後50年以上を経過している。30年後には約7割にあたる107本が建設後50年以上を経過する見込みである（図1）。

道路トンネルの老朽化に伴う覆工のコンクリート片落下は通行車両や歩行者等の第三者に被害を及ぼす恐れがある。

全国的にもトンネルのコンクリート片の落下事例は多く報告されており、長崎県においても、平成25年に対馬の国道でコンクリート片が落下し、走行中の乗用車に衝突する事故が発生した（図2）。幸いにして死傷者は生じなかったものの、落下物の規模によっては、重大な事故に至る危険性が極めて高い。このことから、道路管理者は道路トンネルの健全性を的確に把握し、適切な措置を講じることが求められる。

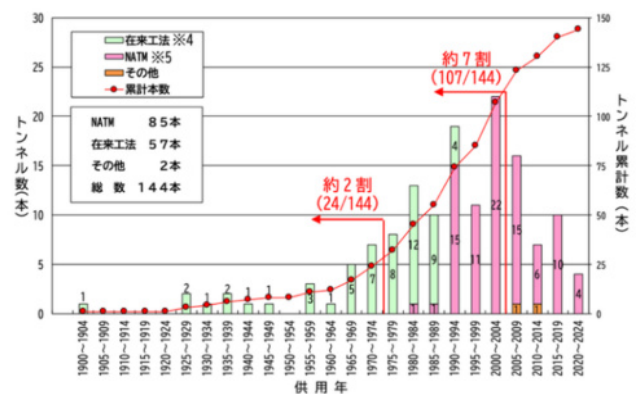


図1 供用年とトンネル建設本数の推移

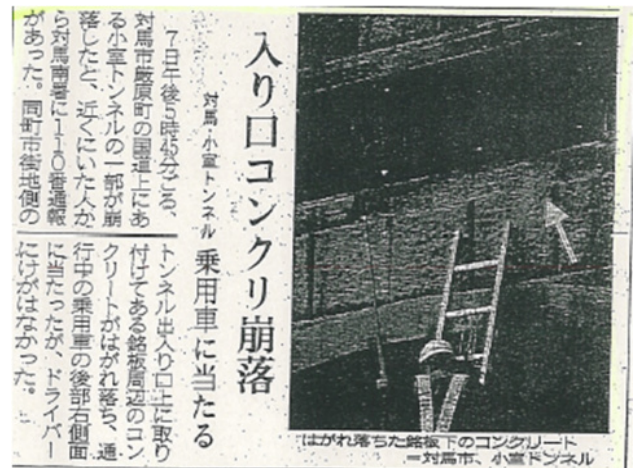


図2 長崎県における事故事例(長崎新聞)

3. 健全度評価とⅢ判定の変状に関する考察・課題

図3に、1巡目点検全本数（127本）および2巡目点検全本数（138本）の健全度評価の割合を示す。Ⅱ判定の割合は両点検で概ね同様の傾向を示すが、Ⅲ判定は2巡目点検で増加傾向を示した。

図4および図5は両点検における、Ⅲ判定の変状箇所を種類別に分類したグラフである。2巡目点検は1巡目点検に比べ、全体的にⅢ判定の変状数が増加し、その大半を「浮き・剥離」が占めている。

定期点検では、覆工コンクリートの打音検査の際、落下のおそれがある浮きや剥離に対し、叩き落としにより、不安定なコンクリート片を除去する緊急措置を実施している。しかし、この対応を行っても、完全に除去できなかった浮き・剥離の変状がⅢ判定として多く残存する。すなわち、叩き落としを実施する前には、図4および図5に示す変状数を上回る危険箇所が存在している状況にあると考えられる。

さらに、浮き・剥落を補修した箇所では、補修前の下地処理が不十分であったことにより、補修材と覆工コンクリートの付着力が十分に確保されず、補修材自体が剥落するおそれがある「補修跡の浮き」が2巡目点検では増加傾向を示した。

以上の結果から、道路トンネルの健全度を高い水準で維持し、道路交通の信頼性や安全性を向上させるためには、浮き・剥離の変状に対し、いかに適切な措置・対策を講じるかが課題である。

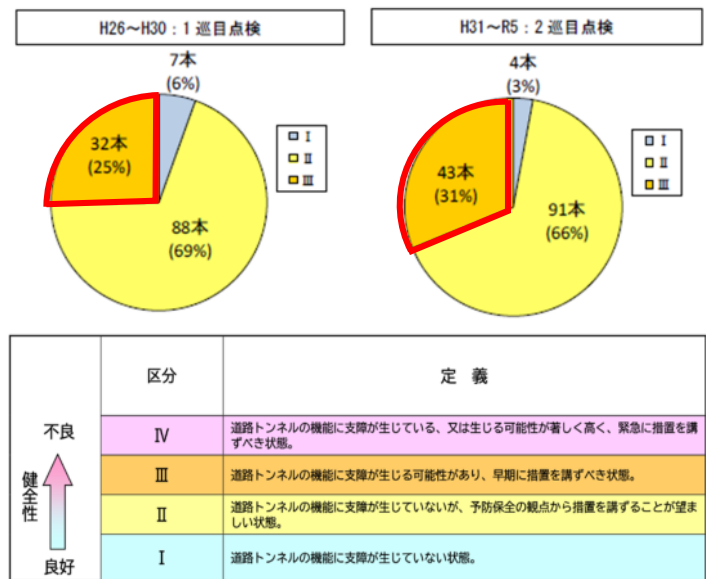
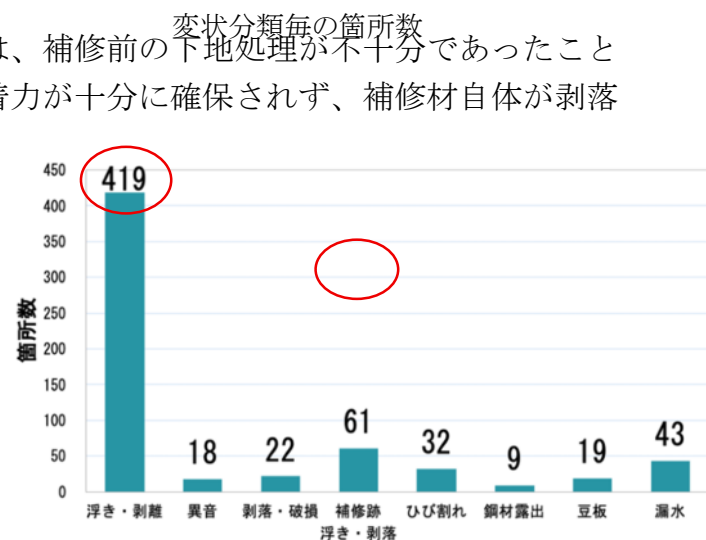


図3 1巡目点検と2巡目点検の健全度評価



図4 1巡目点検の健全度Ⅲ判定における



4. 浮き・剥離における発生位置の調査

浮き・剥離に対する効果的な対策を検討するため、変状の発生位置を調査した。なお、建設施工時の対策を考慮すると、在来工法である矢板工法は、今後の新設トンネ

ルで採用される可能性が低いと考えられるため、本分析の対象外とし、現在一般的なトンネル掘削工法であるNATM工法に限定して分析を行う。

分析の結果、前章の図5に示す2巡目点検におけるⅢ判定の浮き・剥離419箇所のうち121箇所がNATM工法で施工されたトンネルで発生しており、その発生箇所を調査した結果、約8割にあたる97箇所がトンネルの目地部に発生していた。(図6、図7)

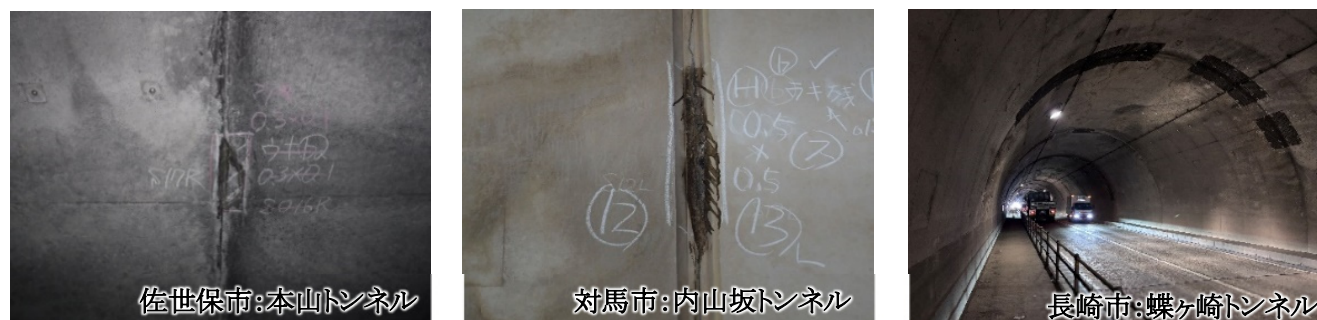


図6 トンネル目地部の浮き・剥離の状況と剥落対策の状況

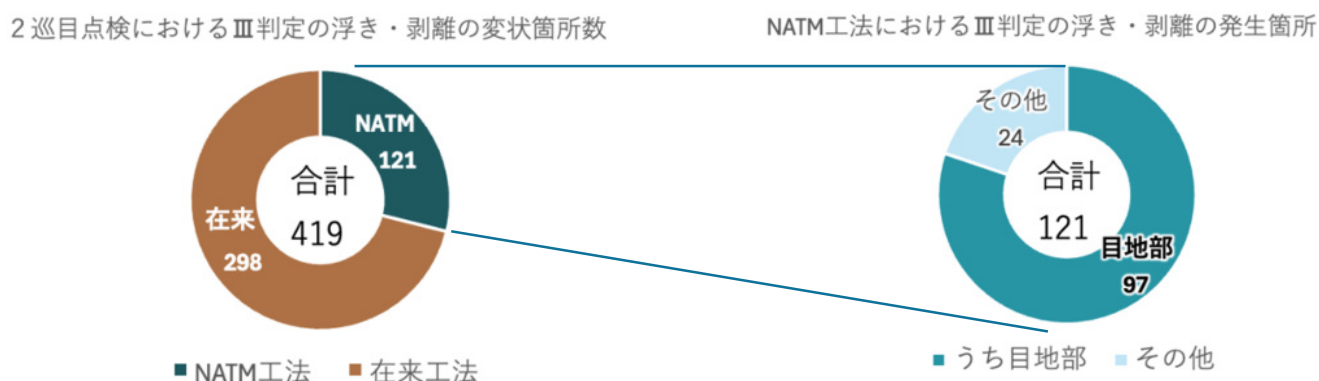


図7 2巡目点検におけるⅢ判定のトンネルのうち、目地部の浮き・剥離の発生割合(NATM工法)

5. 他自治体・他団体の対応

5.1 九州管内の地方自治体(県・政令市)の状況

トンネル有識者と九州各県・政令市の道路管理者が集い、トンネル施工に係る課題や取組みについて議論する「令和7年度九州トンネル研究会」の場で道路トンネルの2巡目点検における健全度評価の状況および建設施工段階の目地部に対する取組みについて聞き取りを行った。表1は、その結果を取りまとめたものである。

一部の自治体において、健全度Ⅲ判定のトンネルの多くが目地部における浮き・剥離を原因としていることが確認された。また、建設施工段階の対策として覆工コンクリートの品質向上を図る取組みを実施している自治体が存在したが、特別に目地部を限定して対策を実施している自治体は存在しなかった。

表1 九州管内の地方自治体における健全度評価と目地部の浮き・剥離の発生状況

自治体	管理トンネル数 (NATM工法)	① 2 巡目点検における健全度Ⅲ判定のトンネル数 (NATM工法)	② うち目地部が 原因	割合 (②/①)
長崎県	83本	19本	13本	約7割
佐賀県	10本	3本	2本	約7割
大分県	104本	24本	5本	約2割
宮崎県	76本	14本	3本	約2割
鹿児島	74本	29本	24本	約8割
沖縄県	23本	4本	1本	約3割

5. 2 NEXCO 西日本 長崎高速道路事務所の状況

NEXCO 西日本 長崎高速道路事務所における2巡目点検の健全度評価結果を図8に示す。驚くべきことに、Ⅲ判定となったトンネルは0本であった。同事務所では、図9に示す技術を建設施工段階から採用し、目地部における浮き・剥離に対して予防的な措置を講じていた。

以上より、トンネル目地部の浮き・剥離の対策が健全性の向上に大きく貢献することが確認された。

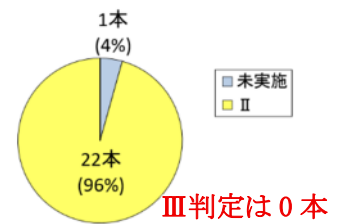


図8 2巡目点検における健全度評価
(NEXCO 西日本長崎高速道路事務所)

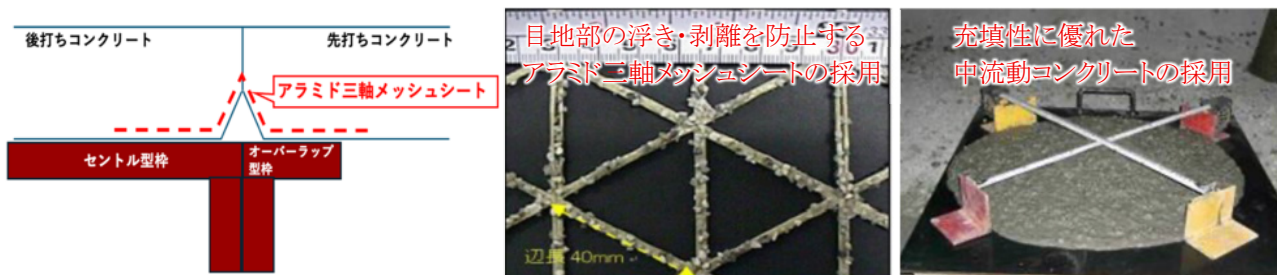


図9 トンネル目地部における浮き・剥離に対する対策 (NEXCO 西日本長崎高速道路事務所)

6. トンネル目地部における浮き・剥離の発生要因

対応方策を検討するため、トンネル目地部において浮き・剥離が発生する主な要因を調査したところ、以下の2点が一般的である。

6. 1 不具合が生じやすいトンネル特有の打設方法

施工目地部の天端部は、ブリージング水が集まりやすく、かつ、締固めが困難な箇所となるため、他の箇所と比較して脆弱なコンクリートになりやすい傾向がある。

したがって、均質かつ密実で一体性のある覆工コンクリートを構築するためには打設の時間間隔やワーカビリティの確保、充填状況の確認方法に関し、施工計画段階から十分に検討する必要がある。



図10 天端部の打込み終盤時

6. 2 若材齢時の脱型による緻密性の不足

通常のコンクリート構造物では、セメントの種類や環境温度に応じ、最低3日程度の養生を行うが、覆工コンクリートは、打設から12～20時間程度経過後、所定の強度に達した時点で脱型し、その後は特に養生を行わないことが発注標準である。このため、次スパン打設までに先打ちコンクリートの緻密性が十分に確保されない場合がある。こうした箇所に、コンクリートの伸縮や、セントルセット時の負荷等が作用し、目地部に浮き・剥離が発生すると考えられている。

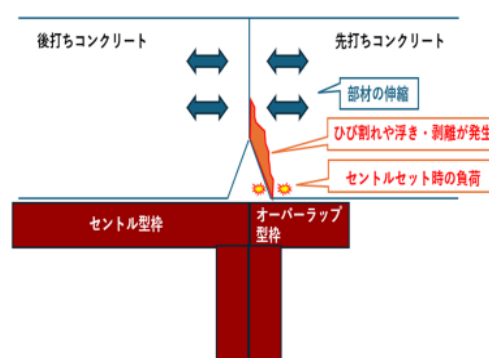


図11 目地部の浮き・剥離発生機構

近年では先打ちコンクリートとオーバーラップ型枠の干渉部に圧力計を設置し、過度な負荷を防止する技術を採用する事例も報告されている。

7. トンネル目地部における「浮き・剥離」の発生傾向

7. 1 トンネル延長と供用年数による分析

1994年に供用され建設から30年以上が経過した下表の4本のトンネルを対象として、トンネル延長と供用年数の観点から浮き・剥離の発生傾向を分析する。

一般に、トンネル延長が長くなるほどスパン数が増え、目地部の箇所が多くなる。そのため、延長が長いほど浮き・剥離の発生確率が高まり、変状も増加すると想定した。しかし、トンネル延長が最も短い志越トンネルで、目地部におけるⅢ判定の浮き・剥離の変状箇所が最も多い結果となった。

次に供用年数の影響を分析する。3章で述べたように、1巡目点検と2巡目点検では、Ⅲ判定の浮き・剥離の変状箇所数は増加傾向にある。一方、下表の4本のトンネルでは同じ供用年数でも目地部の浮き・剥離の箇所数に差が生じており、供用年数が長くなれば、全てのトンネルで一律に変状箇所数が増加するとは限らないことが確認された。

表2 建設後30年を経過したトンネルの諸元と健全度評価

トンネル名	所在地	トンネル延長(m)	トンネルスパン数	供用年数(R7.3時点)	Ⅲ判定となるトンネル目地部の浮き・剥離の箇所数	2巡目点検における健全度判定	2巡目点検時における補修履歴
本山トンネル	佐世保市	325m	31	30	4	Ⅲ	無し
子産坂トンネル	佐世保市	603m	58	30	0	Ⅱ	無し
遠命寺トンネル	五島市	770m	74	30	1	Ⅲ	無し
志越トンネル	対馬市	183m	18	30	15	Ⅲ	有り

7. 2 設計パターン（覆工厚、支保工構造が異なる）による分析

一般に部材や構造が異なる接合箇所において、温度伸縮による挙動が異なるという観点から、覆工コンクリート厚さや支保工構造が異なる設計パターンの変化点に着目し、分析する。図12は本山トンネルの地質縦断図を例に「設計パターンの変化点」と「目地部におけるⅢ判定の浮き・剥離箇所」を旗揚げしたものである。複数のトンネルでこれらの一致状況を検証したが、一致率は極めて低く、現時点では相関性がないものと考察した。

以上、財源が限られている中、優先的に対策すべき箇所の抽出を試みたが、残念ながら規則性は確認できず、全区間を通して目地部における浮き・剥離の発生要因に対する施工時の工夫が必要と考えられる。

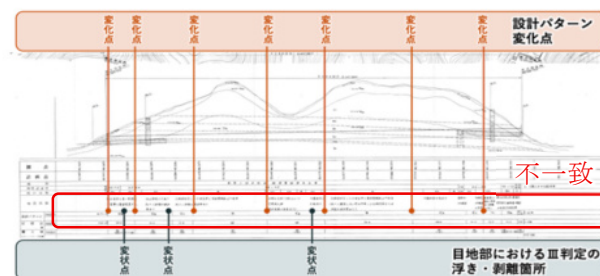


図 12 設計パターンの変化点における変状分析

8. 対応方策

以上の分析結果から、対応方策として以下の事項に取り組むことを提案する。

① 施工目地部の変状を抑制する技術の採用

新設トンネルの施工は、トンネル目地部の浮き・剥離の変状を抑制する技術を採用する。なお、採用技術の選定は、施工性、経済性、維持管理性等の観点からトータルコストを考慮し、評価を行う。図 13 は長崎県における供用トンネルへの剥落防止対策に係る実績と聞き取りで得られた建設施工時における剥落対策の工法比較である。経済性と維持管理性に優れており、有効な対策であると考えられる。

② 総合評価落札方式におけるトンネル目地部の浮き・剥離に対する技術提案の明文化

新設トンネルの発注に際し、総合評価落札方式（技術提案評価型）において、施工目地部の変状に対する、施工技術、施工上の工夫等に関し、評価することを明文化する。

③ 定期点検における変状の確実な検知と緊急措置・剥落対策の実施

供用トンネルにおいて、当該変状に対し、特に留意して定期点検を実施し、点検時に変状が確認された場合は、叩き落としによる緊急措置や剥落対策を確実に実施する。

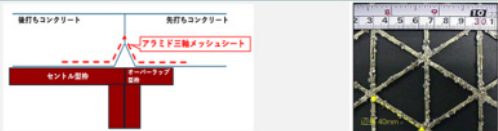
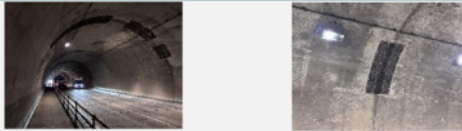
	SAMMシート（建設時の剥落対策）				剥落防止シート（供用後の剥落対策）				
剥落防止工法									
経済性	概算工事費 （1箇所/15m2あたり） （直接工事費）	施工費 材料費 諸雑費 合計	83,000円 80,000円 5,000円 168,000円	○	概算工事費 （1箇所/15m2あたり） （直接工事費）	施工費 材料費 諸経費 合計	150,000円 352,500円 105,000円 607,500円	△	
施工性	通常の覆工コンクリート打設時に比べ、シート設置に要する 手間が発生し、建設時の施工性は劣る				△	高所作業車で施工が可能。交通規制を必要とするが、材料が軽量 であり施工性に優れている			
維持管理性	覆工コンクリートと一体化し、シートが剥がれ落ちることなく 維持管理が容易になる				○	シートはアンカーにより覆工コンクリートに固定されるため ゆるみの確認等の追加の点検作業が必要となる			
総合評価	建設時の施工性が劣り、初期投資額の増大が懸念されるが 予防保全型の維持管理を可能とし、トータルコストの縮減が期待 される				○	供用後のトンネルにおいて、予防保全の観点から、全ての目地部 に本工法を採用した場合、経済性、維持管理性ともにSAMM シートに劣る			

図 13 トンネル目地部における浮き・剥離対策の工法比較

9. おわりに

インフラは国民共有の財産であり、必要なインフラを健全な状態で後世に引き継ぐことは、今を生きる行政技術者の責務であると認識している。予防保全の観点から効果的な維持管理を実現するためには、定期点検で得られた損傷事例を基に原因を調査し、構造物の設計・施工段階から維持管理の確実性および容易さに配慮した対策を講じることが重要である。今後も幅広い知見と経験を培い、将来にわたり安全・安心なインフラを支えられる技術者になることを目指し、継続して研鑽を重ねていきたい。