

大和トンネルにおける拡幅工事の設計及び施工

Design and construction of widening work of Yamato tunnel

山本 岳宗*

Takemune Yamamoto

田村 健*

Takeshi Tamura

谷川 潤*

Jun Tanigawa

大西 慶典**

Yoshinori Oonishi

土屋 光弘**

Mitsuhiro Tsuchiya

我彦 聡志***

Satoshi Wabiko

要 約

東名高速道路の大和トンネル付近は国内屈指の渋滞ポイントであり、この慢性的な渋滞を解消するため、大和トンネルを拡幅するとともに約4~5kmの付加車線を設置する工事を施工中である。大和トンネルは、片側3車線の走行を確保したままでトンネルの主な拡幅工事を完了しており、2020年開催の東京オリンピック・パラリンピックまでの完成を目指して中柱の補修やトンネル外の周辺整備等を施工中である。本文では、大和トンネルにおける拡幅工事について、設計及び施工の概要、供用中の高速道路に負担の少ないよう実施した工夫、塩化物量調査等を報告する。

目 次

1. はじめに
2. 大和トンネル拡幅工事の概要
3. トンネル拡幅の計画・設計
4. 地盤改良の計画・施工
5. 仮受支柱・ジャッキアップの設計・施工
6. 側壁撤去
7. 塩化物量調査
8. おわりに

§1. はじめに

東名高速道路の横浜町田ICから海老名JCT間は、上り線・下り線3車線ずつの計6車線となっているが、約13万台/日の交通量を有しており、全国的に見ても交通量はトップクラスであり、交通集中による慢性的な渋滞が発生しやすい状況にある。

特に、大和トンネル付近(写真一1, 写真一2)は、下り坂から上り坂に変わるサグ部であること及びトンネル入口部で速度が低下することにより、休日等に上下線で激しい渋滞が発生するため、上下線にそれぞれ約4~5kmの付加車線の設置を施工中である。

本文では、平成28年10月に工事着手し、トンネルの

主な拡幅工事が完了した大和トンネル拡幅工事について、設計及び施工の概要、供用中の高速道路に負担の少ないよう実施した工夫、塩化物量調査等を報告する。



写真一1 大和トンネル付近の渋滞状況



写真一2 大和トンネル付近の全景

* 関東土木(支)大和トンネル(出)

** 土木設計部設計一課

*** 技術研究所土木技術グループ

§2. 大和トンネル拡幅工事の概要

大和トンネル拡幅工事の工事概要および橋梁諸元を表一に示す。また、拡幅前後の標準断面図を図一に示す。

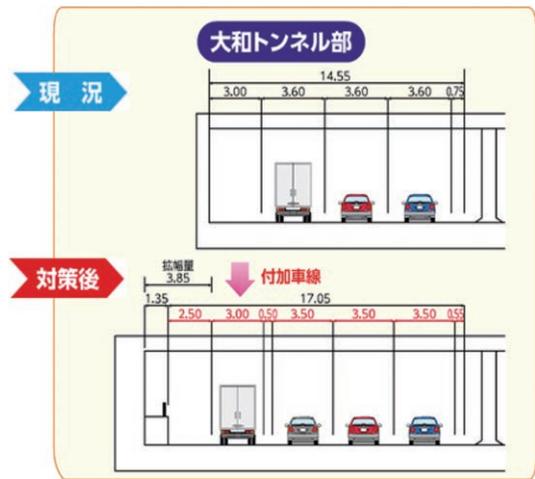
昭和42年に建設された既設の大和トンネルは、厚木航空基地の北辺に近接しており、離発着する航空機の落下物から高速道路本線を防護するため「蓋掛け構造」とし、飛行航路下の安全措置を講じている。

蓋にあたる中空床版は、両側の側壁及び中柱における3箇所メナーゼヒンジで支持されており、道路直角方向の断面は、2径間連続RC中空床版形式の橋梁構造となっている(図一2)。

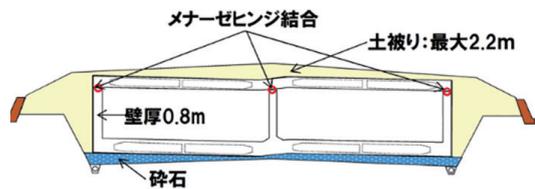
トンネル延長は280mで9ブロックに分かれており、道路横断・縦断方向に約2.0%の勾配となっている。また、基礎形式は直接基礎であり、平均N値4~8程度、厚さ約10~15mのローム層を支持地盤としている。

大和トンネル拡幅工事は、①既設中柱の補修、②拡幅部の地盤改良、③拡幅部の躯体構築、④既設頂版のジャッキアップ、⑤躯体接続(新旧接続部の一体化)、⑥側壁撤去の順に、片側3車線の走行を確保しながら施工を行った。

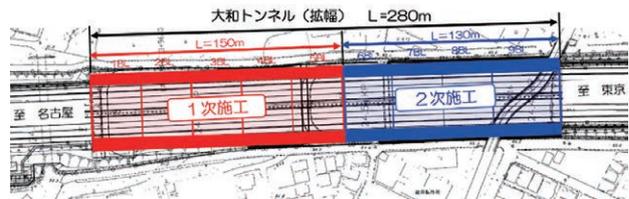
また、トンネル上で交差する2本の市道の切り替えを考慮して、名古屋方の延長150mを1期施工、東京方の残り130mを2期施工に分割して施工した(図一3)。



図一 大和トンネル 拡幅前後の標準断面図

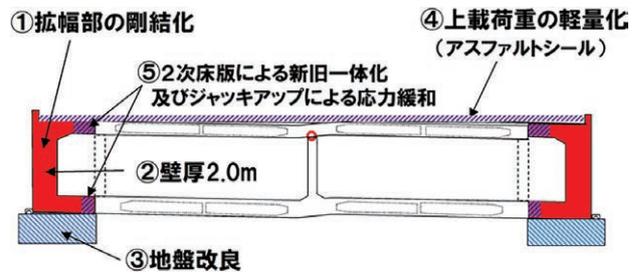


図二 大和トンネルの既設断面



図三 大和トンネルの分割施工

工事名:	東名高速道路 大和トンネル拡幅工事
工事場所:	神奈川県大和市上草柳
契約工期:	平成28年7月20日~令和2年3月30日 (令和2年2月28日時点)
発注者:	中日本高速道路株式会社 東京支社
受注者:	西松建設株式会社
構造物名:	大和トンネル
構造形式:	2径間連続RC中空床版形式
構造延長:	トンネル延長280.0m(9ブロック)
全幅員:	現状) L=33.9m → 拡幅後) 43.8m



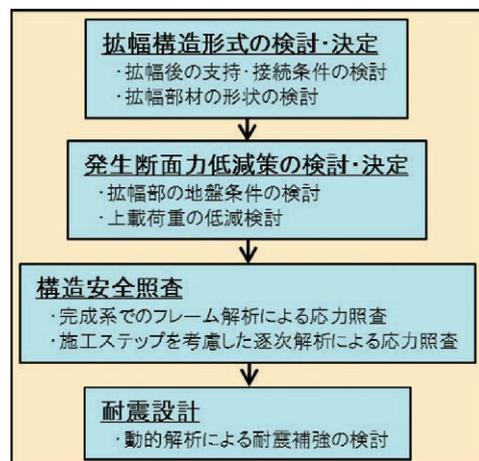
図四 大和トンネルの拡幅断面

§3. トンネル拡幅の計画・設計

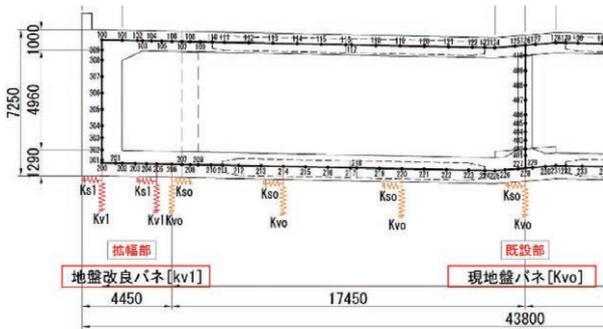
3-1 設計上の工夫

トンネル拡幅の計画における課題として、本線通行車両及び工程への影響を最小限にするため、可能な限り既設部材の補強を行わずに工事を進める必要があった。

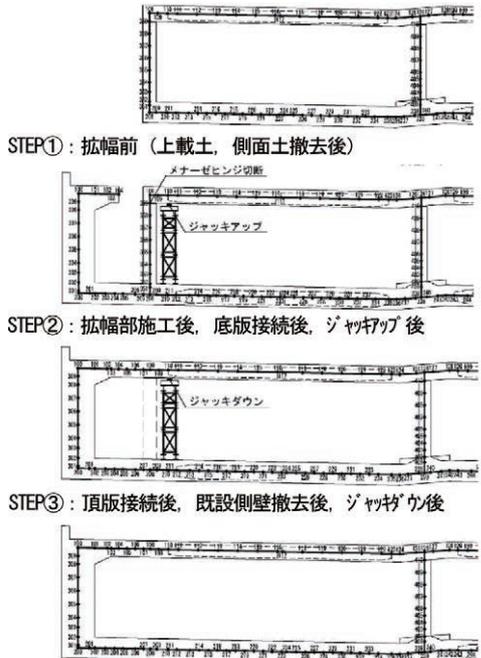
そのため、設計上の主な工夫として図一4に示すように、①拡幅部側壁と頂版の剛結構造化(側壁天端と頂版をメナーゼヒンジ結合から剛結合に変更)、②拡幅部側壁厚の増加(既設0.8mから新設2.0mに増加)、③拡幅部直下の地盤改良による沈下対策、④上載土(土被り最大2.2m)からアスファルトシールによる上載荷重の軽減、⑤拡幅部側壁構築後の2次床版による新旧一体化等を行った。また、拡幅設計における検討フローを図一5に示す。



図五 大和トンネル拡幅設計における検討フロー



図一六 フレーム解析モデル



図一七 施工ステップを考慮した逐次解析

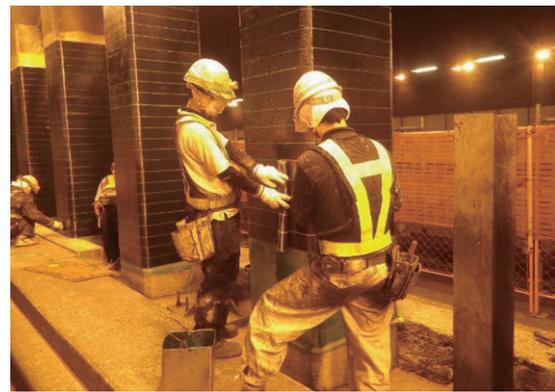
上記の工夫の結果、既設底版及び既設頂版の補強は必要なく、片側3車線通行を基本的に確保しながら大和トンネルの拡幅を可能とした。

3-2 地盤改良および構造解析

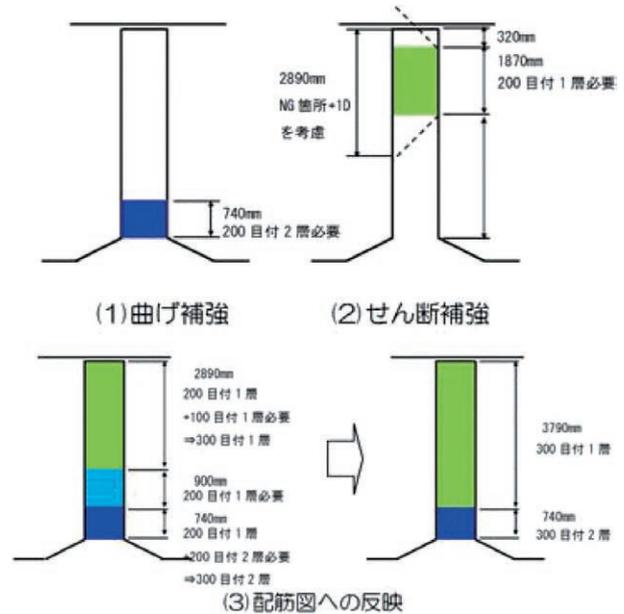
拡幅部直下の地盤改良について、未改良のままに拡幅した場合のフレーム解析を行ったところ、頂版中央支点の曲げ応力度が許容値を満足しない結果となり、既設頂版の補強が必要となることが判明した。

そのため、図一六に示すとおり拡幅部直下の地盤改良を想定して地盤バネを変化させながら断面照査を行ったところ、既設部直下の地盤バネと拡幅部直下の地盤バネの比率が2倍程度の場合、既設部の躯体応力度、拡幅部の圧密沈下及び支持力が許容値を満足する結果となった。

その後、施工ステップを考慮した逐次解析(図一七)及びレベル2地震動を対象とした二次元非線形動的FEM解析による耐震設計を行い、拡幅部の地盤改良による地盤バネの設定が適切であるか確認するとともに、拡幅部の配筋及び既設中柱の炭素繊維シート巻立て工の仕様を決定した。



写真一三 炭素繊維巻立て工の施工状況



図一八 既設中柱の補強

3-3 既設中柱の補強

既設中柱は、既設フープ筋の腐食が確認されたことによる当初耐力の保持のために必要な補強量と、耐震設計で必要となった補強量を合わせて、炭素繊維シート巻立て工(周方向、300~600 g/m²)を行うこととした(写真一三、図一八)。

なお、耐震設計では中柱基部で曲げ補強、上部でせん断補強が必要となった。曲げ補強においては、鉛直方向の巻立てでは基部付近の既設ケーブルにより定着長が確保できないことから、周方向に巻き立てる拘束効果により靱性を向上させることとした。

3-4 新旧接続部における一体化

新旧コンクリートの接続部の不具合を防止するため、既設コンクリートのはつりにはマイクロクラックがほとんど発生しないウォータージェットを使用した上で、頂版及び底版の接続部の2次床版には収縮補償用の膨張コンクリートを使用した。さらに、コンクリートのせん断力に相当分のアンカー筋(D32, 3本/1.0m)を配置することで、新旧コンクリートの一体化を確実にした。

§4. 地盤改良の計画・施工

地盤改良の仕様は、拡幅部直下の地盤パネが既設部直下の地盤パネの2倍程度となるよう、地盤が深さ方向に変化する場合は影響を考慮して、改良地盤の設計基準強度 $quck = 500 \text{ kN/m}^2$ 、厚さ 2.0 m と設定し、改良径 $\phi 1000$ の接円配置を基本とした。なお、実施工時の改良強度が設計基準強度よりも増加する場合の影響は、試算により問題無いことを確認している。

地盤改良工法は、航空法の適用による上空制限（トンネル頂版高さから約 12 m）、空堀部の改良の有無、周辺への改良土の流出リスク等を考慮して、小型機械によるスラリー系機械攪拌式深層混合処理工法（ウルトラコラム工法）を採用した（写真-4）。

なお、床付け後に地盤改良を施工する場合、改良時の地盤支持力の低下による既設躯体および一般車両、仮設土留工への悪影響が懸念されることから、周辺地盤とほぼ同じ高さの施工基盤高さで施工することとした。

インチにより引き込んで設置した。なお、既設トンネル内の仮受支柱の引き込みにおいては、事前に3次元CADで配置を検討（図-11）するとともに、既設トンネル上で試験施工を行い、施工性及び安全性を事前に確認した。また、チルトタンク側部に円弧状になっているガイドを進行方向に装着し、レール材の継手部への引っ掛かり解消を行った。



写真-4 地盤改良工の施工状況

§5. 仮受支柱・ジャッキアップの設計・施工

5-1 仮受支柱の設計

拡幅完了時の内空高さが現況以上となるよう、既設頂版をジャッキアップして拡幅部と接続する必要があることから、仮受支柱を計画した。仮受支柱は、レベル2地震動に対応可能な構造とし、既設頂版の中空スラブ構造や狭大な作業幅（約 2.15 m）を考慮して設計した（図-9）。

仮受支柱の設計においては、基本鉛直荷重を 1000 kN、地震荷重はレベル2地震動、許容塑性率 $\mu_a = 8.0$ と仮定し算出した設計水平震度 0.453 を考慮するとともに、地震時の許容応力度の割増を安全側に無視することとした。

また、既設側壁の転倒防止工、ガードレールに加えて二重の安全対策として設置する防護柵工、既設頂版の地震時水平力を仮受支柱に伝達する水平力伝達工も併せて設計し、仮受支柱と同時に設置して、供用中の高速道路への影響を未然に防ぐこととした。

さらに、施工手順を考慮したステップ解析や既設頂版のFEM解析により、ジャッキアップが既設頂版に与える影響を考慮した上で、完成後の内空高さが現況以上となるように、既設頂版のジャッキアップ量を 25 mm と設定した（図-10）。

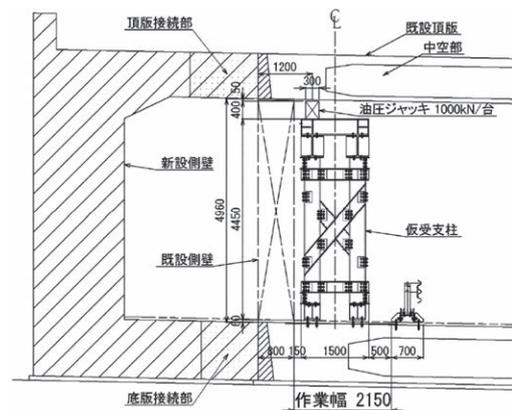


図-9 仮受支柱の断面図

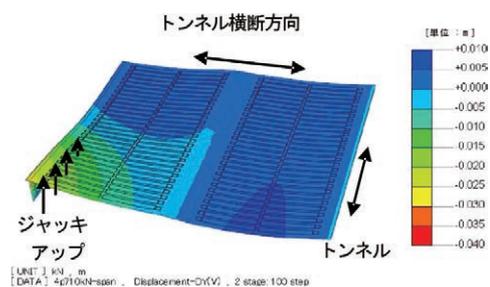


図-10 FEM解析による頂版鉛直変位コンター図

5-2 仮受支柱の施工

仮受支柱は、工程短縮、品質確保、現場ヤードの平面範囲の縮小を目的として工場組立とした。また、高速道路の影響を防止するため、車線規制を行わずに既設トンネル上から運搬・設置する計画とした。

組立完了した仮受支柱を既設トンネル上に搬入し、既設トンネル上の端部からラフタークレーンで吊り下ろした後、既設トンネル内の作業帯の中にレールを設置し、ウ

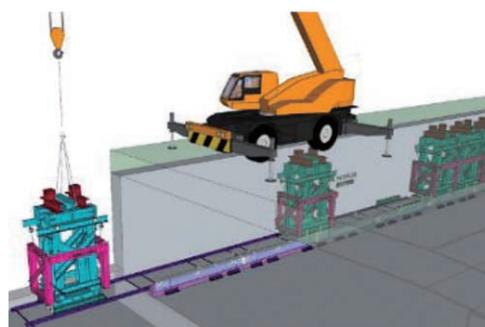


図-11 3次元CADによる事前検討

5-3 ジャッキアップの施工

ジャッキアップは、既設頂版への影響を考慮し、トンネル縦断方向に3.0 m ピッチで1ブロック (30 m) 当たり10台の油圧ジャッキ (1000 kN/台) を配置して、隣接するブロックのジャッキを含めて20台分のジャッキを集中管理装置による一括制御により行った。

まず、荷重制御により設計死荷重 (400 kN/台) を導入した後、既設側壁と既設頂版間のメナーゼヒンジを水平切断し、切断後は1ステップ2 mm 毎の変位制御により目標の25 mm までジャッキアップを行った。

なお、ブロック境で段差が生じて既設頂版や付属物等に影響が出ないように、隣接するブロックについても順次ジャッキアップし、既設頂版を縦断方向にすりつける (図-12) とともに、既設頂版への影響を最小限とするため、上り線と下り線を同時ジャッキアップすることなく片側ずつ順番に施工した。また、1BLの試験施工は夜間施工とし、それ以外は昼間作業で行った。

ジャッキ操作時は、トンネル内外で既設躯体やジャッキ等の挙動を目視監視するとともに、ジャッキの荷重値やジャッキアップ量、仮受支柱の傾斜等に関し計測管理値 (表-2) を用いて計測管理しながら施工した。

ジャッキの荷重値は上載荷重等の影響により局所的に1次管理値を超過する箇所があったものの、ジャッキアップ量は1 mm 程度以下の精度で、支柱傾斜は2次管理値 (工事中断値) に達することなく施工を終えることができた。

§6. 側壁撤去

既設側壁の撤去は、拡幅部と既設部との接続完了後に行った。既設側壁の撤去にあたっては、本線への影響が

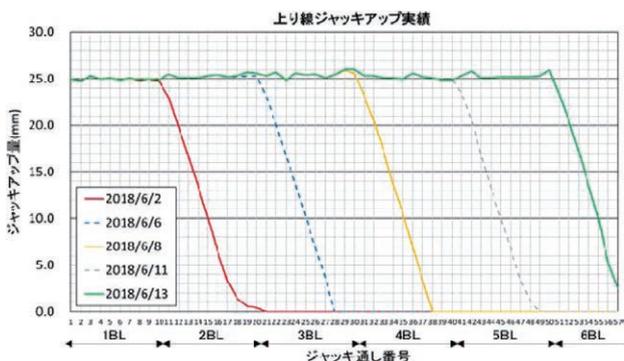


図-12 ジャッキアップ量の実績

少ない乾式ワイヤーソー (ダイヤモンド工法, 写真-5) を選定し、以下の施工手順にて実施した。

①乾式ワイヤーソーにより垂直・水平切断を行い、切断したブロック (約4t/個) を6tフォークリフトにて既設トンネル内の作業帯の中で坑口に運搬する (写真-6)。

②運搬したブロックをトンネル坑口上部に配置した25tラフタークレーンにて、トンネル上部に揚重する。

③揚重したブロックは10tダンプトラックに積み込み、再資源化処理施設で小割・処分する。

最上段ブロック切断時は重心が高く、フォークリフトが不安定になるため、フォークリフトに装着するブロック専用架台に未切断側壁を挟み込むガイドを設けることで、フォークリフトの転倒防止措置を講じた。また、ワイヤーソーの水平切断においてはテーパ部を設けて、ブロックの引出しを容易にした。



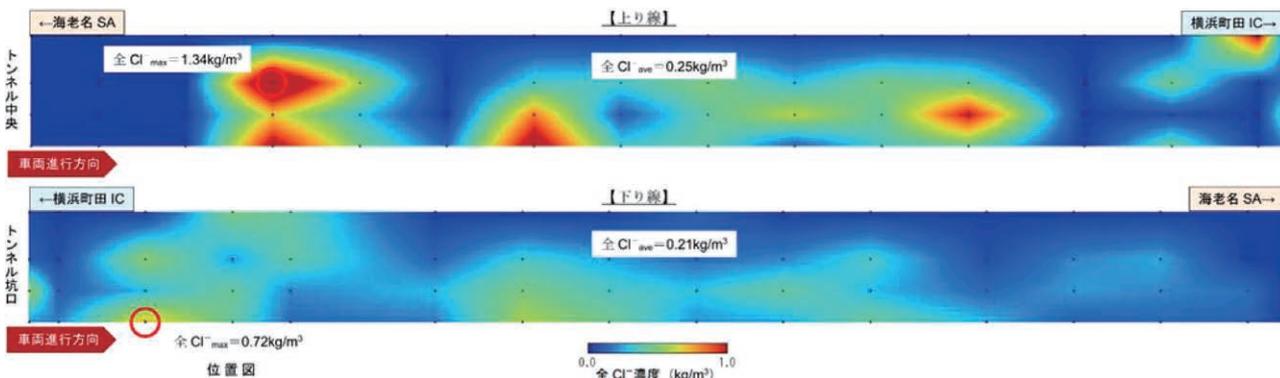
写真-5 乾式ワイヤーソー



写真-6 ブロック取出し状況

表-2 計測管理値

工程	適用範囲	計測項目	警戒値 1次管理値	工事中断値 2次管理値	工事中止値 3次管理値
ジャッキ工	ジャッキ制御区間のみ 人力対応	荷重	500kN/台	800kN/台	1000kN/台
		ジャッキ アップ量	±10mm ±5mm/基 (隣り合う差)	±20mm -	±25mm -
計測工	計測全区間 自動計測・警報	支柱傾斜	±1/1000	±2/1000	±3/1000
		頂版天端沈下	±10mm	±20mm	±25mm
対応		構造物や計測器の状況を確認する。	工事を中断し、原因究明、 工事継続の是非、追加対策 の必要性を検討する。	工事を中止し、追加対策や 通行止め準備をする。	



図一13 塩化物表面分布調査結果

§7. 塩化物量調査

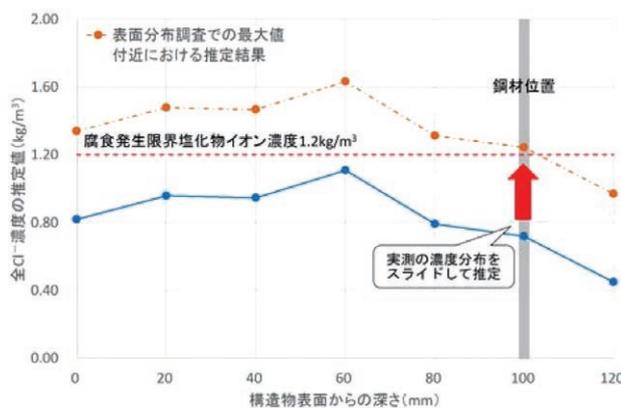
大和トンネルは、上下線ともにトンネル区間外に凍結防止剤が散布されており、自動車走行によるトンネル内への凍結防止剤（塩化物）の引き込み、およびコンクリートの耐久性への悪影響が懸念された。

そこで、新設コンクリート壁の耐久性確保のための対策の要否等を検討するため、既設コンクリート壁面への凍結防止剤由来の塩化物の影響程度を把握することを目的として、塩化物量調査（近赤外分光法による分析方法）を実施した。

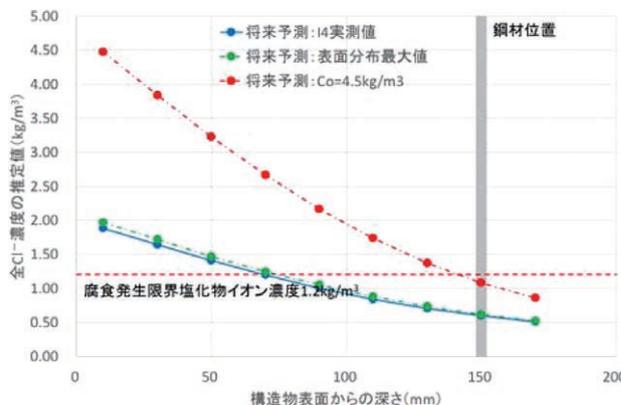
具体的には、既設コンクリート壁面全体の塩化物表面分布状況を把握したのち、壁表面の塩化物量の特徴的な箇所について塩分浸透深さおよび量を鉄筋位置まで計測するとともに、竣工100年後の塩害劣化予測を実施した。調査・予測結果は、以下のとおりである。

①壁表面の塩化物量は 1.34 kg/m^3 であり、鉄筋位置では腐食発生限界の 1.20 kg/m^3 を若干超える結果となった。また、中性化によると思われる塩分濃縮を確認した（図一13、図一14）。ただし、鋼材腐食は確認できていない。

②新設コンクリートの鉄筋純かぶりが 140 mm であるため、100年後劣化予測においても主筋位置での塩分濃度が腐食発生限界を下回る結果となった（図一15）。



図一14 塩化物深さ分布調査結果（現状）



図一15 塩化物深さ分布予測結果（竣工100年後）

§8. おわりに

大和トンネル拡幅工事は現在、トンネルの主な拡幅工事が完了（写真一7）し、既設中柱の補修やトンネル外の周辺整備等を行っている。引き続き、早期完成を目指して、高速道路利用者の安全を確保することを最優先に、工事を進める所存である。

最後に、発注者、支社、土木設計部、技術研究所の関係各位に改めて謝意を表すとともに、本事例で得た貴重な経験を今後に役立てたいと考える。



写真一7 拡幅後全景