

東京港トンネルRC中床版の塩害補修

REPAIRING METHODS FOR SALT DAMAGED REINFORCED CONCRETE SLAB LOCATED INSIDE OF THE TOKYO PORT TUNNEL

吉崎 龍太郎^{1*}・蔵治 賢太郎²・和田 新³

Ryutaro YOSHIZAKI^{1*}, Kentaro KURAJI², Arata WADA³

The Tokyo Port Tunnel, opened to the public in 1976, is an arterial expressway in the Tokyo metropolitan area and connecting between parts of Tokyo's waterfront area. The tunnel is made up of 1km-long undersea tunnel and 180m-long land-based tunnel. Inside of the land-based tunnel, 6 small spaces, used for electric power cables, telephone cables and air ventilation are arranged above the expressway spaces. They are separated by a 30cm-thick reinforced concrete slab. This slab has seriously been damaged by salted water leaking from outside of the tunnel.

This report provides a brief introduction about the damage of the slab, repair methodologies (i.e. setting clear water shooters, reinforcing by carbon fiber sheets to make up for a decline of its strength, protecting steel bars by lithium nitrite and sacrificial anode, recovering the damaged parts by lightweight mortar, etc.), evaluation of the seismic capacity of the tunnel, and result of measuring the fiber sheets' strain due to the effect of repair construction.

Key Words : road tunnel, salt damage, repair and reinforcement, carbon fiber

1. はじめに

1976年に開通した首都高速湾岸線東京港トンネルは、湾岸台場地区と大井地区を結ぶ全長約1200mの海底トンネルで、1日約14万台の通行車両が利用する首都圏の大動脈である(図-1)。

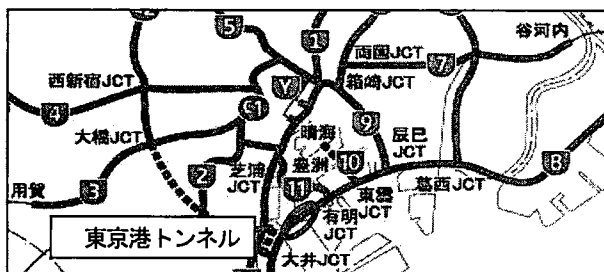


図-1 東京港トンネル位置図

トンネルは延長約1kmの沈埋トンネル部と、延長約180mの開削工法で施工された陸上トンネル部で構成され

ている。この陸上トンネル部は、幅33m×高さ11mの断面構成で、部材厚30cmの中床版で分離された下層階に高速湾岸線と避難通路、上層階に送気・排気ダクト、東電・NTT占有部が配置されている(図-2)。

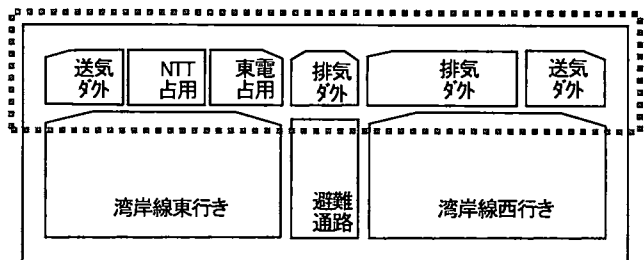


図-2 断面構成(図-3のA-A断面、破線内が上層階)

本稿では中床版の損傷状況、補修方法(腐食因子の遮断、浸透した塩化物イオンの除去、中床版補修のための補強と解析、損傷断面復旧と再劣化の予防)、中床版補修後の耐震性能照査および中床版補修時のひずみ計測について報告する。

キーワード：道路トンネル、塩害、補修補強、炭素繊維

¹非会員 首都高速道路株式会社 建設事業部 技術コンサルティング推進課

Metropolitan Expressway Company Limited Construction Department Technical Consulting Promotion Division (E-mail: r.yoshizaki1514@shutoko.jp)

²正会員 首都高速道路株式会社 東東京管理局 保全設計第一課

Metropolitan Expressway Company Limited East Tokyo Operation Bureau Maintenance Design Division 1

³正会員 首都高速道路株式会社 東東京管理局 保全設計第一課

Metropolitan Expressway Company Limited East Tokyo Operation Bureau Maintenance Design Division 1



写真-1 損壊した樋と企業洞道接続部からの漏水と滞水



写真-2 中床版上面被りコンクリート剥離と激しい鉄筋腐食

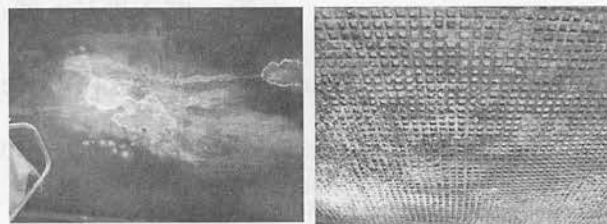
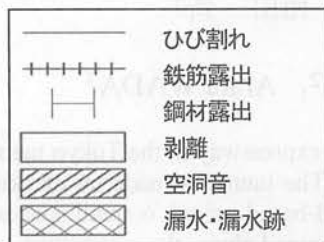


写真-3 中床版下面剥落防止シートの漏水跡とシートの浮き

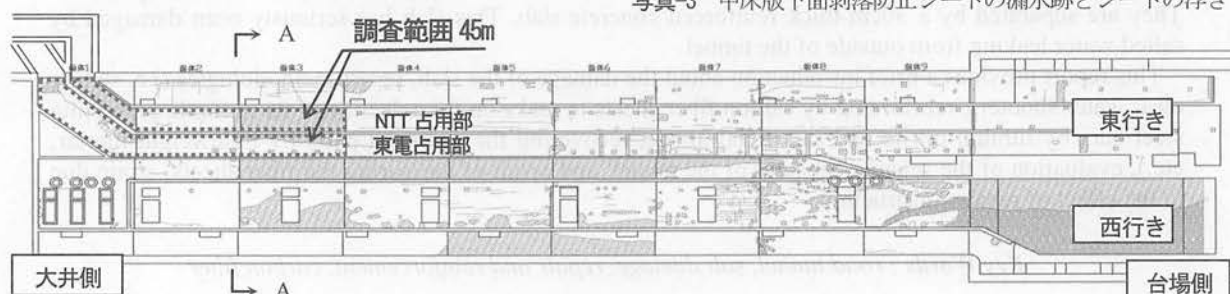


図-3 中床版上面損傷図

2. 損傷状況と原因

上層階の損傷状況を現地調査したところ、トンネル躯体の構造目地部頂版に設置されていた漏水対策用導水樋が砂やエフロレッセンスなどで飽和して損壊し、中床版上面に漏水が滞水しているのが確認された。また隣接する企業洞道との接続部から漏水が上層階に浸入していることも確認された(写真-1)。中床版上面は広範囲で被りコンクリートの剥離と激しい鉄筋腐食が確認された(写真-2、図-3)。また、中壁と頂版についても構造目地部周辺で中床版と同様の損傷が確認された。中床版下面では約9年前に施工した剥落防止シート(ビニロン繊維)に漏水跡とシートの浮きが確認された(写真-3)。

鉄筋の激しい腐食状況とトンネルの立地環境から漏水に塩分が含まれていた可能性が高かったことから、塩害損傷を前提として以下の手順で特に損傷が激しかった東電、NTT占有部の大井側から1～3番目の函体(図-3の波線で囲った延長45mの範囲)の中床版の状態を調査した。調査手順とその結果を以下に示す。

- 漏水および滞水の塩分濃度を測定したところ、塩分濃度は0.3%程度(海水の約10分の1)であった。
- 1つの面積が1m²程度になるよう区画分けし、各区

画中心部の表層1cmをドリルで削り採って蛍光X線分析装置により塩化物イオン量を測定したところ、東電・NTT占有部とも接続する1ブロック目と2ブロック目の継手部周辺およびその下流側(台場側)の広範囲で塩化物イオン量が鉄筋の発錆限界の目安(1.2kg/m³)を超過した。

- 塩化物イオン量が1.2kg/m³以上の区画を選定し、各区画中心部でコア(直径6cm×深さ16cm)を採取して深さ方向に2cmずつスライスし、スライス片からコンクリート粉を採取して塩化物イオン量を測定したところ、深さ16cmの位置でも塩化物イオン量が1.2kg/m³を超過する区画が複数確認された。
- コアを確認したところ、深さ4～8cmの位置(上筋の上面位置)に腐食した鉄筋が膨張して被りコンクリートを押し上げた事によってできた空洞層があり、塩分を含んだ漏水はこの空洞層に浸入し、そこから中床版の奥深くまで浸透していったことが判明した。
- 採取したコアの側面にフェノールフタレイン溶液を噴霧して変色状況により中性化深さを確認したところ、中性化深さはきわめて浅かったため、中性化との連動によって塩化物イオンの浸透速度が増幅された可能性は無いことが明らかになった。

以上の結果から、中床版の損傷原因は塩分を含んだ漏水が中床版内に浸透したことによる塩害と断定した。

3. 補修方法

補修方法は、①腐食因子（漏水）の遮断、②浸透した塩化物イオンの除去、③塩化物イオンを除去する補修によって中床版厚が一時的に薄くなることに対する補強と解析、④損傷断面の補修内容と目的、の5つで構成される。

(1) 腐食因子（漏水）の遮断

中床版の塩害損傷の原因となった漏水を適切に処理するために、構造目地部からの漏水は導水樋で集水して排水設備に排水し、躯体ひび割れ部からの漏水は薬剤によって止水することにした。

a) 導水

構造目地からの漏水を止水すると躯体のひび割れ部などから漏水がトンネル内に浸入してくる危険性があったため、構造目地からの漏水は止水せず、樋を使って排水設備に導水することにした。

頂版および側壁に設置されていたゴム製の樋は、前述のとおり目詰まりが生じて破損していたため全て撤去し、目詰まりが視認できる透明なカバータイプの樋（以下「縦樋」）を新たに設置した（写真-4、図-4）。側壁に設ける集水用の水平樋は、既設は鋼管もしくは塩ビ管であったが、これも目詰まりや腐食で機能していなかったためすべて撤去し、内部が視認でき、かつ清掃が容易にできるよう開断面のもの（以下「横樋」）を採用した（写真-4、図-9）。

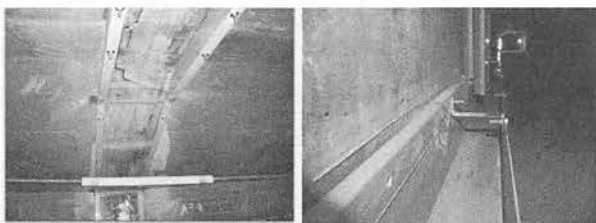


写真-4 目詰まり確認が容易な透明縦樋と開断面の横樋

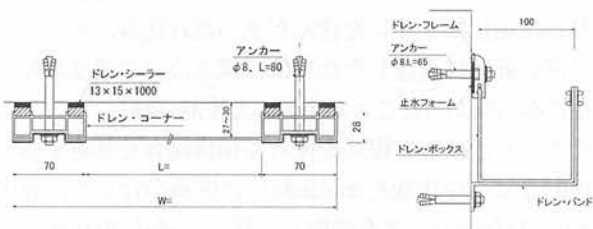


図-4 中が視認できる樋 左：縦樋 右：横樋

b) 止水

トンネル側壁などに生じたひび割れやコンクリートの打ち継ぎ目などからの漏水についてはひび割れの両側から交互に穴を削孔して止水剤を注入した。本工事で

はセラミック系とアクリル系の2種類を試験的に採用したが、どちらも注入後の経過は良好で、注入箇所から再び漏水が発生するといったことはなかった。しかし、周辺の別のひび割れから新たな漏水が発生し、注入範囲を広げながら止水するケースもあった。

(2) 浸透した塩化物イオンの除去

a) 除去方法の選定

中床版に浸透した塩化物イオンを除去する手法として電気化学的脱塩工法の適用を検討した（図-5）。

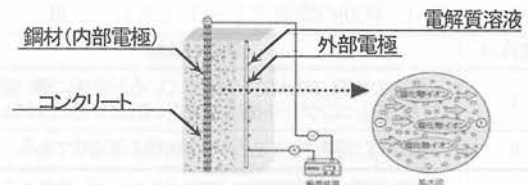


図-5 脱塩工法の模式図²⁾

しかし、同工法の場合、上筋に電気を流しても被りコンクリートの範囲しか脱塩されず、上筋と下筋の間の塩化物イオンを除去することができないこと、また、中床版を電解質溶液に長期間浸し続ける必要があり、その間に電解質溶液が中床版のひび割れや構造目地を伝わって下層階の高速湾岸線に落下する危険性があることなどから、当該現場における同工法の適用は断念し、塩化物イオンが浸透した範囲のコンクリートを手はつりで除去することにした（図-6に模式図）。

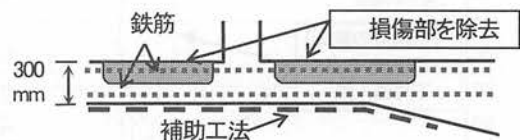


図-6 中床版の塩害損傷部除去のイメージ

b) 補修限界塩化物イオン量の設定

2007年制定のコンクリート標準示方書[設計編]³⁾では、塩化物イオンの鋼材腐食発生限界濃度は諸条件によって異なるのが実状なことから、実測結果や試験結果を参考に定めるのが望ましいとされている（なお、それらによらない場合は、安全側の値として 1.2 kg/m^3 を限界値としてもよいとされている）。そこで、損傷した中床版に合った塩化物イオンの鋼材腐食発生限界濃度を調査し、この時の塩化物イオン量を「補修限界塩化物イオン量」と呼んで補修対象とするコンクリートの範囲を決定する際の目安にすることにした。

2007年制定のコンクリート標準示方書[維持管理編]⁴⁾によると、塩害による劣化過程において、鋼材腐食が開始した後、進展期を経て部材の性能低下が開始し、その後急速に劣化が進行するとされている（図-7）。

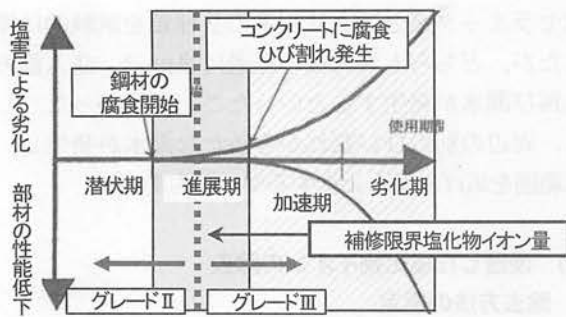


図-7 塩害による劣化進行過程の概念図

表-1 鉄筋の腐食グレードとグレードIII

腐食グレード	鉄筋の状態
I	黒皮の状態。またはさびは生じているが全体に薄い緻密なさびであり、コンクリート面にさびが付着していることはない。
II	部分的に浮きさびがあるが、小面積の斑点状である。
III	断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の全周または全長にわたって浮きさびが生じている。
IV	断面欠損を生じている。



写真-5 鉄筋の腐食グレード (II~IV)

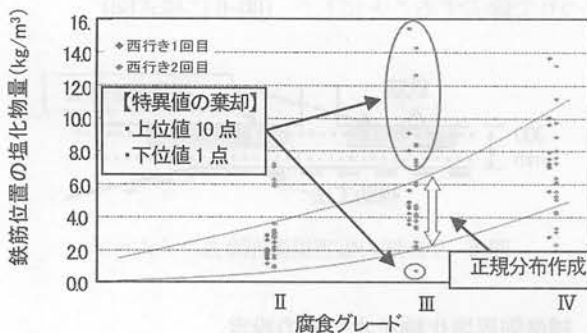


図-8 鉄筋位置塩化物イオン量と腐食グレードの相関分布

補修限界塩化物イオン量を決定するため、160箇所の上筋をはつりだして腐食グレードを確認し、その位置の塩化物イオン量を測定してその相関関係をグラフにプロットしたものを図-8に示す。同示方書で鉄筋の腐食グレードIIIは「断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の全周または全長にわたって浮き錆びが生じている状態」と定義されていることから、塩害の劣化進行過程の中では進展期後半に位置していると考えられる(図-7、表-1、写真-5)。そこで、図-8のグラフの腐食グレードIIIに着目し、母集団から逸脱しているデータを棄却した上で、標準偏差を求めて正規分布を

作成し、90%信頼度下限値を求めて、その値を補修限界塩化物イオン量とすることにした(図-9)。

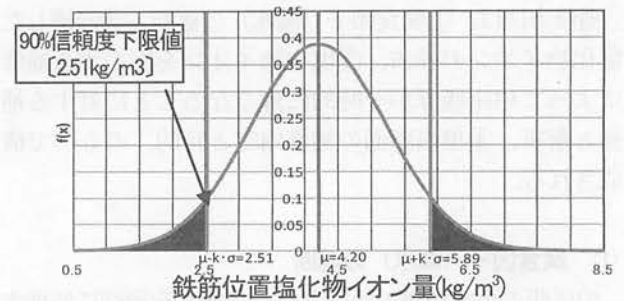


図-9 正規分布 (黒い範囲の合計が10%)

その結果、90%信頼度下限値は 2.51 kg/m^3 となったが、コンクリートの品質および鉄筋腐食のバラツキを考慮し、コンクリート標準示方書[設計編]³⁾に示されている値 $1.2 \sim 2.4 \text{ kg/m}^3$ の範囲内の中で最大値である 2.4 kg/m^3 を補修限界塩化物イオン量として採用することにした。

先に調査を実施した東行きの企業洞道に接続する大井側3函体の中床版は、長期間滞水していたことに起因すると思われる鉄筋腐食が著しく、上記の手順により算出した結果、90%信頼度下限値が 1.2 kg/m^3 となったため、同区間は一般部とは別に補修限界塩化物イオン量を 1.2 kg/m^3 に設定した。

c) 除去深さの設定

コンクリート中の塩化物イオンの拡散係数が得られれば、表層1cmのドリル粉末の塩化物イオン濃度を測定することにより塩化物イオンが補修限界塩化物イオン量に達している深さをフィックの拡散方程式を用いて推定することができる。そのため、塩化物イオンの拡散係数を得るために試験的に数十ヶ所の範囲でコアを採取し、深さごとに塩化物イオン濃度を測定して拡散係数を得た。しかし、係数の値は大きくバラつき、1つの係数を得る事はできなかった。これは、塩化物イオンがすべての範囲で表面から同一条件で浸透したのではなく、上筋の腐食に伴う被りコンクリートの浮きによりできた空隙やひび割れに塩化物イオンを含んだ水が流れ込み、そこから深い範囲に浸透したために、深さ方向の濃度勾配が一定にならなかったことが主原因と推測された。

そのため、拡散方程式を使って損傷深さを推定することは断念し、中床版を $2\text{m} \times 2\text{m}$ 程度に区画分けして、各区画から直径6cmのコアを採取し、深さ2cm毎に塩化物イオン量を測定することで、各区画の塩化物イオン濃度が補修限界塩化物イオン量に達している深さを確認することにした。測定結果をもとに作成した塩化物イオン浸透深さマップの一例を図-10に示す。同図より函体継ぎ目部周辺の区画で塩化物イオン量が多いことがわかる。

(単位: kg/m³)

測点名	深さ	塩化物量	測点名	深さ	塩化物量	測点名	深さ	塩化物量
7-1-1	0-20	15.52	7-2-1	0-20	6.54	7-3-1	0-20	2.51
	20-40	15.16		20-40	11.03		20-40	8.16
	40-60	16.52		40-60	7.24		40-60	4.96
	60-80	4.69		60-80	5.19		60-80	2.88
	80-100	3.19		80-100	3.77		80-100	2.25
	100-120	2.25		100-120	2.69		100-120	1.68
7-1-1	120-140	1.74	7-2-1	120-140	1.60	7-3-1	120-140	1.40
	140-160	1.33		140-160	1.58		140-160	1.40

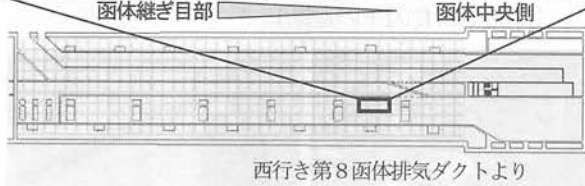


図-10 塩化物イオン浸透深さマップの一例

d) 最大除去深さの設定

厚さ30cmの中床版を極端に薄くなるまではつと、ブレーカーの衝撃で残存部にひび割れが生じる危険性があるため、許容はつり深さを中床版厚の半分の15cmと定め、それより深い位置に残存する塩化物イオンについては亜硝酸リチウム水溶液をはつり面に塗布し、さらに上面からの腐食因子の浸入を遮断することで対応することにした。最大はつり深さを15cmとしたため、塩化物イオン量調査用コアの深さは15cm+1cmの計16cmまで採取した。

なお、その後の補修工事で、はつり作業の際に2~3cmの施工誤差が生じたことから、3cmの余裕代を確保するために最大はつり深さを12cmに低減することで床版厚が半分以下になる事態を回避した。

(3) 補修のための補強と解析

a) 下側引張範囲の補強

補修限界塩化物イオン量が残存する中床版上面を最大深さ15cmまではつる時に発生する下筋の増加応力は、中床版中央部（下側引張）で138N/mm²となることが想定された（図-11）。増加応力を既設鉄筋に極力負担させないようにするため、中床版下面に炭素繊維シートを貼り付けて応力負担させることとした。中床版下面に貼られていた剥落防止シート（ビニロン繊維）はすべて撤去し、炭素繊維シートに貼り換えることにした。

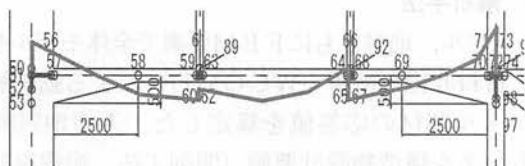


図-11 中床版の曲げモーメント図（東行き）

炭素繊維シートの仕様は、鉄筋のヤング率以上で、かつできる限りヤング率が大きい高弾性型（ $E_s=6.4 \times$

10^5N/mm^2 ）を選定した。補強量は、補修作業時の増加応力を全て負担するのに必要な枚数を主鉄筋方向に貼り付け、さらに配力筋方向にも応力の分散を期待して1層貼ることとした。炭素繊維シートの仕様比較を表-2、炭素繊維シートの断面構成図を図-12、炭素繊維シートの貼付状況を写真-6に示す。

表-2 炭素繊維シートの仕様比較表

	炭素繊維シート			アラミド繊維シート	備考
	高弾性型	中弾性型	高強度型		
ヤング係数(N/mm ²)	640,000	390,000	245,000	120,000	
引張強度(N/mm ²)	1,900	2,900	3,400	2,060	
降伏強度(N/mm ²)	1,200	1,900	2,200	1,300	
繊維目付量(g/m ²)	300	300	600	280	
シート断面積(N/mm ²)	143	165	333	193	
必要シート量(枚)	1.00枚	1.42枚	1.12枚	3.95枚	許容応力度比
	91.5	91.5	91.5	91.5	による換算量
延焼試験	○	○	○	—	
ガス毒性試験	○	○	○	—	

採用

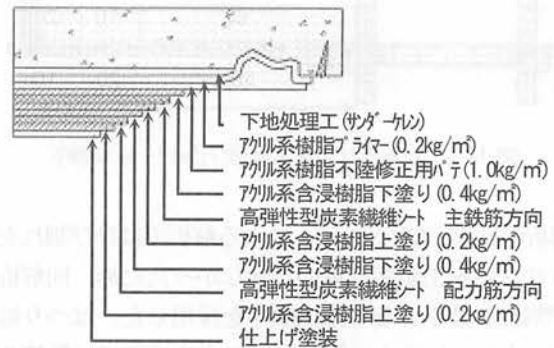


図-12 炭素繊維シートの断面構成図

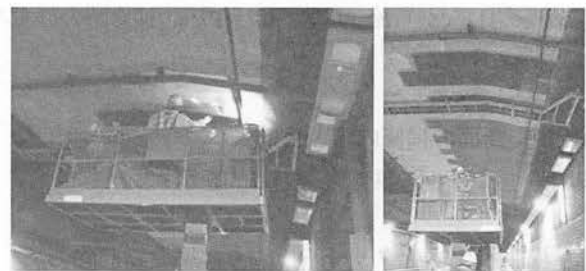


写真-6 中床版裏面炭素繊維シート貼付状況

b) 上側引張範囲の影響解析

中床版下面は炭素繊維シートで補強しているが、上面は補修のためにはつるので補強はできない。中床版が半分近い厚さまではつられると部材の耐力や剛性は大きく低下し、上筋は露出して応力を伝達しなくなることから、上側引張が生じる範囲では中床版上面にひび割れが発生する懸念があった。そこで、2次元の材料非線形解析（WCOMD）により、はつり時のひび割れ発生の有無、増加応力および増加ひずみを確認した。西行き排気ダクトにおいて壁側5.0mを深さ15cmはつった際のひび割れ発生状況の計算結果を図-13に示す。さらに、最も上側引張が小

さい施工順序について検討した。その結果を図-14 (1)⇒(2)⇒(3)の順番) に示す。

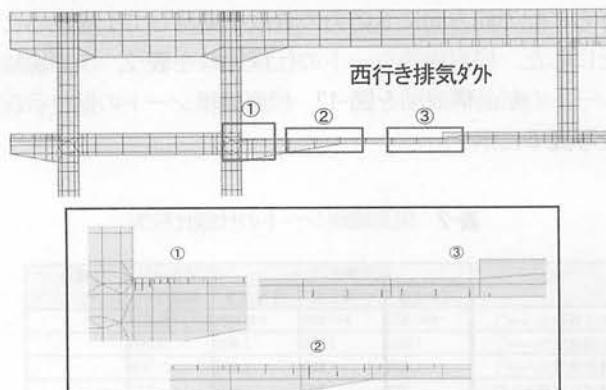


図-13 WCOMDによるひび割れ発生状況

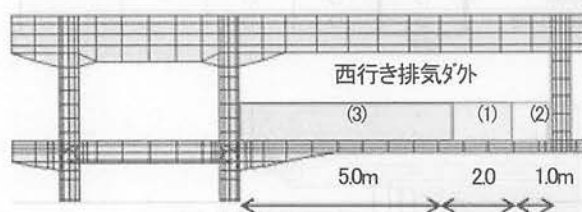


図-14 1回あたりの施工量(奥行2m)と 施行順序

解析の結果、2次元モデルによる解析ではひび割れを発生させない施工順序は見いだせなかったため、同解析でひび割れが最小となる施工順序を採用した。はつり幅の奥行きを2.0mと定め、最初に施工する範囲では鉄筋や炭素繊維シートのひずみ量を計測すると同時に、中床版上面のはつり面およびその周辺にひび割れが発生していないか確認しながら施工した(5. 中床版補修時のひずみ計測参照)。

(4) 損傷断面の補修内容と目的

以下に損傷断面の補修内容と目的を示す。

- 塩害損傷コンクリートはつり、腐食鉄筋除去
(目的：塩害損傷部位の除去)
- 残存コンクリート面に亜硝酸リチウム 40%水溶液を塗布・含浸
(目的：残存部の塩化物イオン拡散抑制)
- 鉄筋復旧、残存鉄筋素地調整
(目的：断面復旧、既設鉄筋の錆落とし)
- 上筋に犠牲陽極設置、抵抗値測定
(目的：マクロセル腐食対策)
- 既設・新設鉄筋に亜硝酸リチウム 25%水溶液をセメントペーストにして塗布
(目的：鉄筋の防錆)
- ステンレスアンカー打設、ステンレス網筋配置
(目的：補修部剥離・ひび割れ防止)

- コテ塗り用軽量ポリマーセメントモルタル
(目的：断面復旧)
- 補修範囲以外にひび割れ補修材含浸
(目的：ひび割れからの腐食因子滲入防止)
- 防水性に優れ、衝撃や摩耗に強く、ひび割れに追従する塗り床材(エポキシ系塗床防水材)を塗布
(目的：腐食因子の遮断)



写真-5 左上：塩害損傷部はつり 右上：犠牲陽極
左中：鉄筋の防錆 右中：ステンレス網筋配置
左下：モルタルコテ塗り 右下：塗床防水材塗布

4. 中床版補修後の耐震性能照査

中床版端部と側壁および中壁との結合部が地震で破損した場合、両端はピン構造となり、下側引張の範囲と最大値は大きくなる。そうすると炭素繊維シートの補強範囲および補強量を増やす必要が生じる可能性があることから、補修工事後の耐震性能を照査した。

(1) 解析手法

トンネル、地盤ともにFEM要素で全体モデルを作成し、材料非線形解析(WCOMD)による動的解析でトンネル部材の応答値を算定した。入力地震動は、「トンネル構造物設計要領(開削工法 耐震設計編)」⁵⁾に示されているレベル2地震動のタイプI、タイプIIそれぞれのうち、平均的な1波形を選択して用いることにした。

(2) 解析結果

図-15 に地震応答解析によるトンネル部材の損傷結果(最大)を示す。また、図-15 に示した東行き中床版の損傷部について、最大損傷時の RC 要素のひずみレベルを表-2。部材の損傷程度分類と破壊基準を表-3 に示す。解析結果から、地震により中床版の損傷部は、引張側要素のひび割れおよび鉄筋の降伏が生じる。しかし、同時刻において圧縮域の縁端要素が圧壊に至らないため、中床版を含めたトンネル構造が、崩落することはないことが明らかになった。そのため、常時で決まった炭素繊維補強範囲および補強量の炭素繊維シートを中床版裏面に貼り付けることとした。

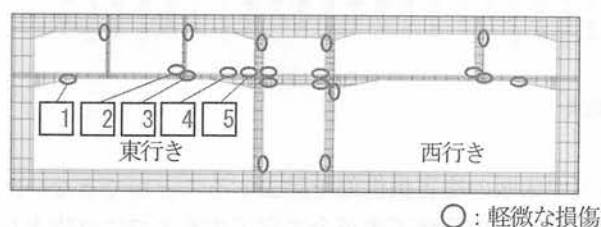


図-15 地震応答解析による損傷結果(最大)

表-2 最大損傷時の RC 要素のひずみレベル

(+) : 引張 (-) : 圧縮

損傷部材番号	損傷部材	最大引張歪み発生時	
		最大引張歪み $\varepsilon_t(\%)$	逆側要素(部材圧縮縁)の最大圧縮方向歪み $\varepsilon_c(\%)$
1	中床版(下側ハチ)	0.160	0.014
2	中床版(上側)	0.200	-0.009
3	中床版(下側)	0.272	-0.067
4	中床版(上側)	0.122	-0.037
5	中床版(上側)	0.294	-0.034

表-3 部材の損傷程度分類と破壊基準

損傷基準		破壊基準
軽微な損傷	$\varepsilon_t > 0.100 (\%)$	$\varepsilon_t > 3.00 (\%)$
(鉄筋の降伏歪み $\varepsilon_t = 0.175 (\%)$ 程度)		
重度の損傷	$\varepsilon_c < -0.328 (\%)$ ※)	$\varepsilon_c < -1.00 (\%)$

※) $\alpha \times \varepsilon_{peak} = -0.328\%$ ($\alpha = 1.5$, WOOD 推奨値) ②

の程度、炭素繊維シートの効果、季節変動等について確認した。

- 施工ステップ毎のひずみ変動を確認するため、中床版裏面の炭素繊維シートの静ひずみを計測。上側引張発生部は、近傍ではつり出した上筋の静ひずみと炭素繊維シートの圧縮ひずみを計測。
- はつり機の衝撃による影響を確認するため、はつり時に正曲げが大きい箇所の裏面の炭素繊維シートの動ひずみを計測。
- トンネルの軸方向(配力筋方向)への応力伝達を確認するため、主筋方向に加えて配力筋方向の炭素繊維シートも静ひずみを計測。
- 配力筋方向炭素繊維シートが各トンネル函体端部で不連続となるため、主筋方向に増し張り補強している。その効果を確認するため、函体中央と端部の両方で計測。
- 気温やコンクリート温度の変化によるひずみ変動を確認するため、工事期間中の昼夜間および事前・事後についてもひずみを計測。

西行き排気ダクト(函体8)の計測位置を図-16に示す。

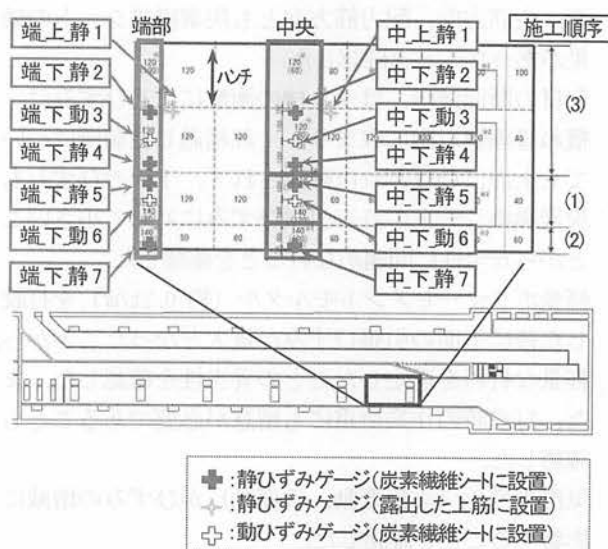


図-16 計測位置図

5. 中床版補修時のひずみ計測

(1) 計測計画

中床版の上筋や炭素繊維シートのひずみを計測し、補修の施工ステップごとのひずみ量の変動(中床版減厚の影響および修復材による死荷重増の影響)、はつり機の衝撃による影響、トンネルの軸方向への応力伝達

(2) 許容ひずみの設定

コンクリートが引張強度に達する時の引張ひずみは約0.01%(100 μ)であり、ひび割れの発生基準とされている引張ひずみは0.01~0.03%^⑥である。また、下面の炭素繊維シートの許容引張ひずみは約0.1%、降伏時の引張ひずみは約0.2%である。そこで、ひび割れを発生させないために引張ひずみ0.01%(100 μ)を管理値とし、上面のひび割れ発生を注視しながら施工した。

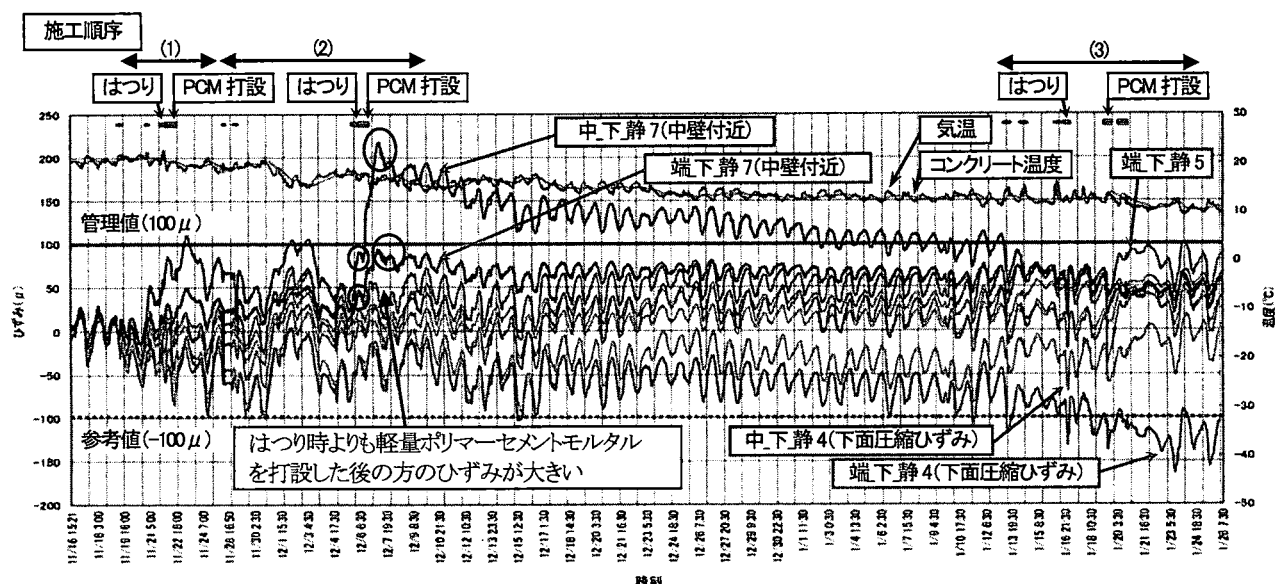


図-17 計測結果

(3) 計測結果

西行き排気ダクトで実施した試験施工時の中床版の静ひずみの計測結果を図-17 に、確認できたことおよびその後の補修について方針決定したことを以下に示す。

- 補修時の増加応力が炭素繊維シートに伝達されており、主筋方向、配力筋方向とも炭素繊維シートの効果があったことを確認した。
- 部材の断面減少、はつり機の衝撃によるひずみは、概ね管理値以内に収まり、一部超過した箇所についても上面にひび割れは確認されず、下面のひずみも炭素繊維シートの許容引張ひずみに対して小さいことから安全性に問題がないことを確認した。
- 軽量ポリマーセメントモルタル（約 0.2t/㎡）を打設した後に下面の引張ひずみが最大となったことから、軽量の材料を選定したことの妥当性を確認した。また、打設時の作業荷重にも留意が必要であることも確認した。
- 気温の変化（季節変動、日変動）がひずみの増減に影響することを確認した。
- 函体中央と端部の計測結果に明確な違いを確認できなかった。これは、函体端部の主筋方向に炭素繊維シートを増し張りした効果があったと推測している。

6. 最後に

同トンネルの補修は、塩化物イオン量調査、炭素繊維シート補強が完了した。現在塩害損傷部の除去および補修工事の進捗に努めているところであるが、階下を走行する通行車両の安全確保のため、大型重機によ

って中床版の塩害損傷部を除去することができないため、中床版の補修工事が全て完了するまでには膨大な費用と時間を要することが予想されている。損傷が重症化し、補修に手間と時間を要することとなった原因は、同トンネルの中床版上面の空間の一部が構造物の定期点検ルートから長期間漏れていたこと、損傷を発見した初期段階で損傷原因と劣化過程が評価されなかったこと、腐食因子の遮断、損傷部位の適切な補修がなされなかったことにある。首都高速では、今回の反省を踏まえ、未点検箇所の洗い出しと東京港トンネルの点検マニュアルを更新している。

本稿が、トンネルを維持管理する方たちが、漏水の処理方法、塩害損傷部の補修方法や調査・解析手法の参考になるだけでなく、トンネル構造物の定期点検と損傷が深刻になる前に適切に補修することの重要性についても理解を深めていただける要因になるのであれば幸いである。

参考文献

- 1) 蔵治賢太郎, 吉崎龍太郎他: 塩害で損傷したトンネル中床版等の補修, 土木学会年次講演会, V-008, 2011.9
- 2) 日本コンクリート工学協会: コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針2009
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書【設計編】2007
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書【維持管理編】2007
- 5) 首都高速道路(株): トンネル構造物設計要領(開削工法 耐震設計編 平成15年5月)
- 6) 技報堂出版: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則