

老朽化した海底トンネル床版のリフレッシュ ～ 一般国道2号 関門トンネル ～

NEXCO 西日本 九州支社 下関管理事務所

1. はじめに

関門トンネルは、図1に示すとおり本州(山口県下関市)と九州(福岡県北九州市)に挟まれた関門海峡下に構築された、海底トンネルである。

現在、約35,000台/日の交通量があり、本州と九州を結ぶ大動脈として、昭和33年3月に開通し、供用後54年が経過している。

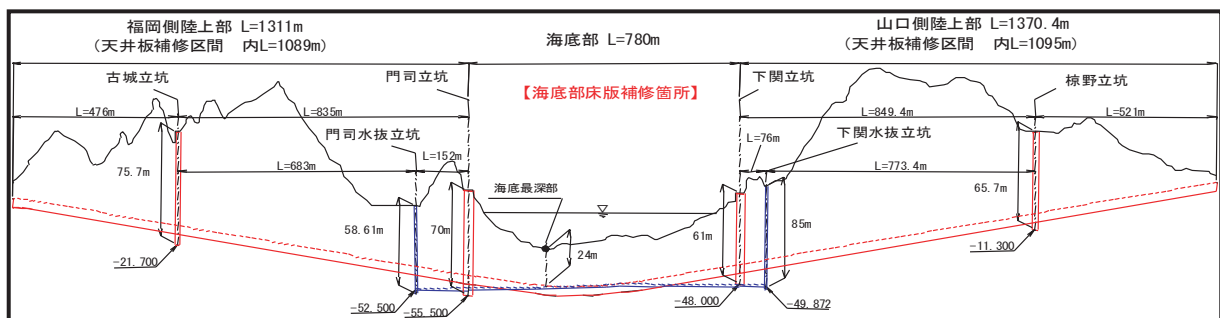
当該トンネルは、建設時、戦争のため工事中断を余儀なくされ、数々の苦難を乗り越え、建造された歴史的構築物である。

供用後50年を経過し、様々な損傷が確認されており、全面通行止を実施し、大規模な補修工事を行ってきた。

最近の大規模補修内容は、平成20年度においてトンネル内の陸上部天井板補修を行っており、今回は、平成21年及び22年度の2ヶ年を通じて実施した図2に示す海底部の車道床版補修工事の内容等について報告するものである。



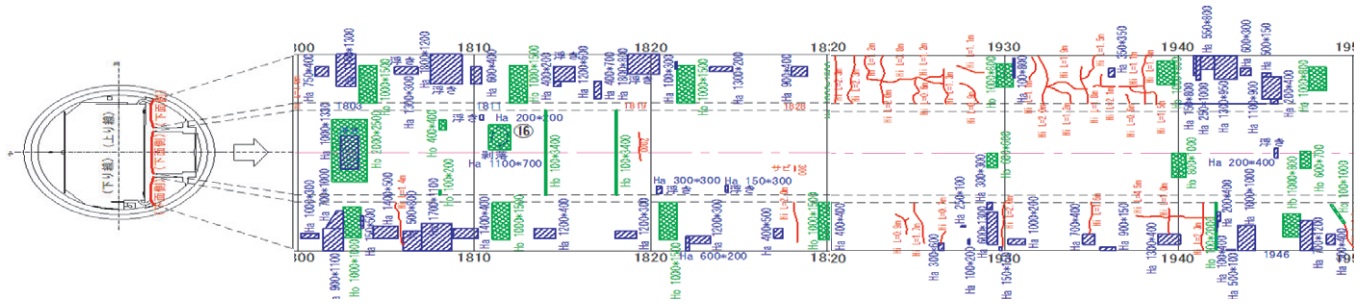
●図1-関門トンネル位置



●図2-関門トンネル縦断

2. 既設床版の損傷状況における原因及び要因

図3に示す既設床版の損傷状況は、適宜実施する定期点検の他に日常点検、設備点検、並びに維持作業時において発見された損傷データを集約し、損傷判定を実施し、原因を追及・問題点の把握を行い、同様の損傷形態を防止する観点で、今回の補修計画の立案を行った。



●図3—損傷状況図（抜粋）

過去の補修履歴や図4の損傷状況が示すように海底部床版の損傷箇所は、車道床版の両翼送気ダクト周辺に損傷箇所が集中する傾向がある。損傷原因として考えられるのは、海水を含んだトンネル漏水である。関門トンネルの建設時に底設導坑先進工法や側壁導坑先進工法の在来工法を採用していることから、掘削中の湧水の遮断は、困難を有したものとする。また海底部の防水機能は二次覆工コンクリートで期待させると考えられるが、二次覆工は、打継目から漏水があり、海水を含む漏水の遮断は困難であった。

この漏水により、二次覆工の表面、監視員通路及び監査廊の排水溝、両翼の送気ダクトの排水溝を介して流れ、車道床版本体に漏水（海水）の影響が主要因と考えられる。



●図4—損傷状況写真（床版下面及び設備）

3. 新設床版形式の選定条件

床版の損傷要因は、海水を含むトンネルの漏水である。抜本的に漏水を遮断するトンネル本体の改良は、かなり困難を有することから、湧水の処置は、排水施設の整備や防水機能の強化を重点に置く方針とした。新設床版の選定については、塩害に対する耐久性を求めるとともに疲労に対する耐久性、施工性（急速施工）を勘案し、選定した。床版形式の選定については、表1と図5に示すとおりである。

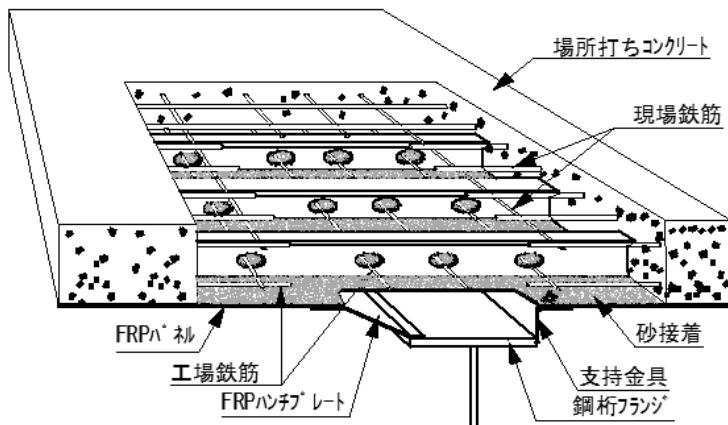
●表1—新設床版形式比較表

検討案	特徴	長所	短所	可否
案-1 RC床版系	現場打ち床版 (現況構造)	・初期コストが安価 ・LCCが高価	・施工期間が長期 ・長期の通行止が必要	△

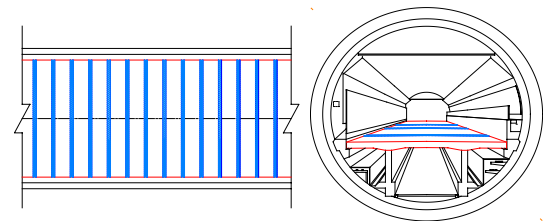
検討案	特徴	長所	短所	可否
案-2 PC床版系	プレキャスト床版 (パネル化による組合せ床版)	<ul style="list-style-type: none"> ・耐久性に優れる。 ・品質の均一性 ・LCCが安価 	<ul style="list-style-type: none"> ・特殊製品の製作 ・狭小エリアでの大型パネルは施工不可能。 ・小型パネルは、支保工が必要な期間が長期となる。(図6の分割検討案ケース1～3より難しい。) ・PC固定緊張部の施工スペースが確保できない。 	△
案-3 合成床版系	合成床版系 (非鉄系合成(FRP)の型枠併用現場打ち床版)	<ul style="list-style-type: none"> ・耐久性に優れる。 ・型枠、支保工、鉄筋組み立ての低減による工期短縮 ・非鉄系合成は、錆びない ・LCCが安価 	<ul style="list-style-type: none"> ・初期コストが高価 ※鉄系合成床版 ・鋼合成床版は、海水による耐食性確保のため、防食処理が必要。 	○

表1において、RC床版、鋼合成床版及び非鉄系合成床版を検討するとともに案2のPC床版については、3通りのケースをさらに検討し、施工性等も含めた検討を実施した。

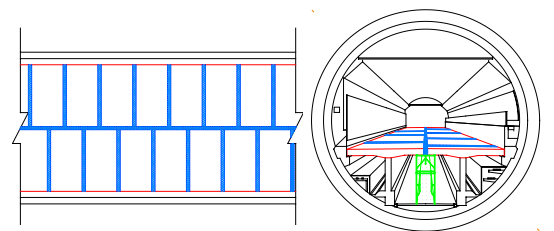
これらの検討の結果、特に非鉄系合成床版系は、耐荷力及び疲労耐久性に優れている。合成枠材を使用する事から、型枠作業及び鉄筋組立作業等が大きく低減されるため、現場工程の短縮を図ることが可能である。このような選定結果より、非鉄系の合成床版を選定した。図6に採用した非鉄系合成床版である「FRP合成床版」の概略図とトンネル断面における新設床版を含めた断面図を示す。



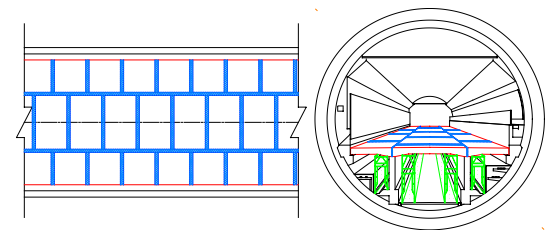
●図6 - FRP合成床版概略図
(FRP = Fiber Reinforced Plastics の略)



(ケース1) RC床版系
※内空制限があり、旋回できない

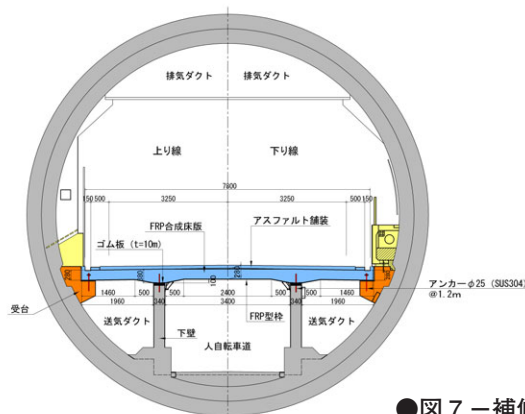


(ケース2) PC床版系
※最大曲げモーメント部分に施工目地があり、構造上の弱点となる



(ケース3) 合成床版系
※床版目地数及び支保工の増により、工程短縮効果が少ない

●図5-PC床版配置検討案(3ケース)



●図7 - 補修後の標準断面

4. 長期耐久性への取り組み

関門トンネルは、供用後の交通量の増加及び車両の大型化等の社会を取り巻く情勢の変化に対応するため、大規模な改良工事を実施してきた。

このような大規模改良工事による社会的な環境負荷の低減を図ることは、社会から求められているニーズと考え、長期耐久性を念頭に置き、設計・施工を実施した。

長期耐久性の主な取り組み内容は、次のとおりである。

- 1) FRP 合成床版の採用
- 2) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの採用
- 3) エポキシ樹脂被覆鉄筋の採用

4-1 FRP 床版の採用について

採用を決定した FRP 合成床版の実績は、十数例程度（H22 年 9 月現在）である。主に耐久性が必要となる沿岸部の橋梁や維持管理が難しい跨道橋及び跨線橋に適用されている傾向がある。FRP の材料特性値、特徴及び採用した床版構造は、表 2、3 及び図 8 のとおりである。表 2 及び 3 より、鉄筋及びコンクリートとの複合構造化に対して、一体化し、急速施工の対応が可能であると考えられる。

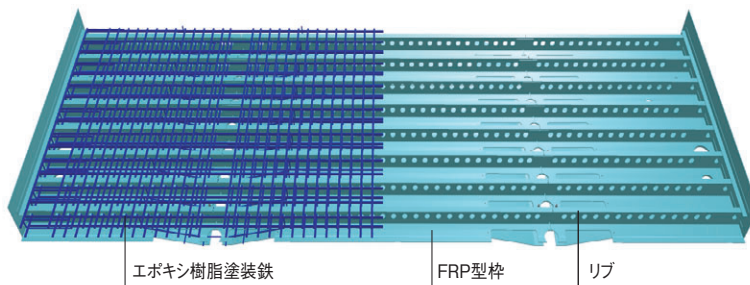
●表 2 - FRP の材料特性値

項目	単位	FRP	構造用鋼
比重	-	1.6~2.0	7.8
引張り強さ	L. W.	250~550	400~510
	C. W.	20~40	
引張り弾性率	L. W.	20~30	210
	C. W.	5~7	
曲げ強さ	L. W.	250~550	400~510
	C. W.	7~13	
曲げ弾性率	L. W.	10~25	210
	C. W.	7~10	
ガラス含有率	%	45~60	

L. W. : 長手方向 C. W. : 幅方向

●表 3 - FRP の特徴

FRP 関連	特徴等
メリット	耐食性に優れる = 錆が生じない 枠材製品により型枠不要 = 工程短縮 疲労耐久性に優れ難燃性も有する
デメリット	製作期間が長期必要 価格が高い



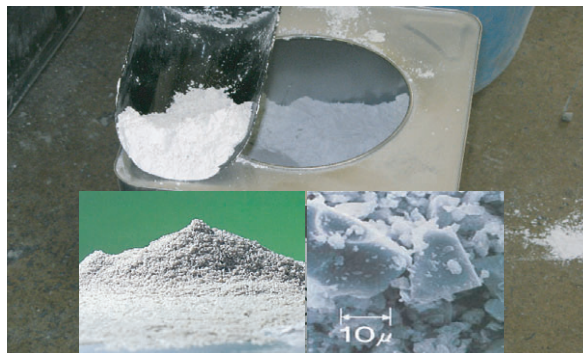
●図 8 - FRP 床版形状図

4-2 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの採用

床版を構築する各材料のうち、コンクリートに対して高炉スラグ微粉末を使用した。特徴と製品を表 4 と図 9 に示す。なお、セメントに対する置換率は類似環境下における他工事実績値を考慮し 50% とした。

●表 4 - 高炉スラグ特徴図

高炉スラグ関連	特徴等
メリット	化学抵抗性の向上(塩化物イオンの浸透防止) アルカリ骨材反応を抑制 コンクリート長期強度の増進
デメリット	炭酸化が進行し易い 自己収縮率が高くなる コンクリート初期強度発現が緩やか



●図 9 - 高炉スラグ微粉末写真

また、高炉スラグ微粉末については、比表面積が大きいため、一般的なコンクリートより自己収縮等の影響が大きいことが懸念された。そのため、粉末度は4,000を採用し、膨張材を20kg/m³混入することとした。そして、FEM解析を行い、温度応力と自己収縮の影響を確認し対策を実施した。

4-3 エポキシ樹脂被覆鉄筋の採用

過去に実施した海底部床版補修においても図10のエポキシ樹脂被覆鉄筋を使用し、良好な状況であったことから、本工事でも採用した。

●図10 - エポキシ樹脂被覆鉄筋写真

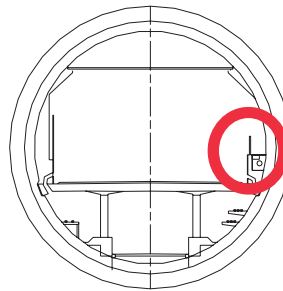


5. 現場施工について

以下に、現場施工方法等を抜粋し紹介する。

5-1 既設舗装切削～監査廊取壊

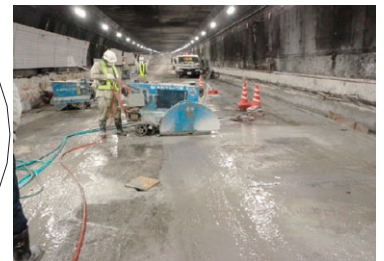
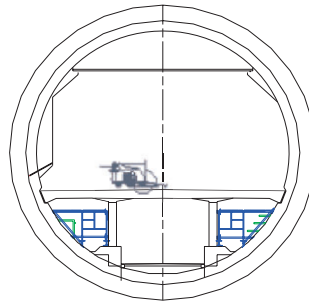
既設舗装を切削し監査廊の取壊しを行った。図11は、監査廊取壊し状況である。



●図11-監査廊取壊し状況

5-2 床版下壁接続部切断～既設床版切断

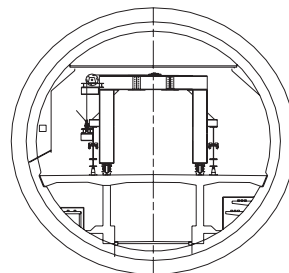
下壁と床版接続部の切断と床版上面をカッターで撤去寸法に切断する。図12は、床版切断状況である。



●図12-既設床版切断時の状況

5-3 既設床版吊上撤去～端部床版ハツリ

既設床版を切断後、新規製作した床版撤去用架台にて吊上後、トレーラーに直接積込し、再資源化施設へ運搬した。床版端部は若干残るため、人力でハツリ撤去となる。図13は、撤去床版吊上状況である。

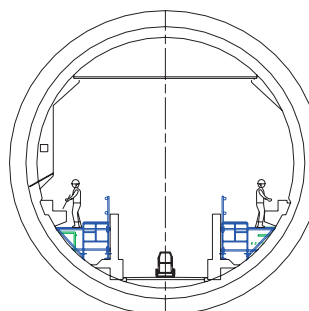


●図13-既設床版吊上撤去

5-4 受台鉄筋組立～型枠設置

～下壁ハツリ等

図14は、新たに構築した受台部の鉄筋配筋及び型枠設置状況である。当該受台構築が工程上最も厳しく、新設床版の設置高さ等に影響するため、特に注視した部分であった。同時に既設下壁天端部分を点検し、損傷箇所は速やかに補修した。

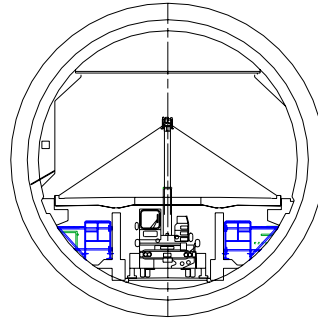


●図14-受台鉄筋・型枠構築

5-5 ピン構造部施工

～FRP床版運搬～設置等

前述にて記載したピン構造部を先行して設置し固定後に、FRP床版の架設となる。トンネル軸線方向に2.5m幅のFRP床版を片押しにて運搬設置した。図15は、FRP床版設置時の状況である。



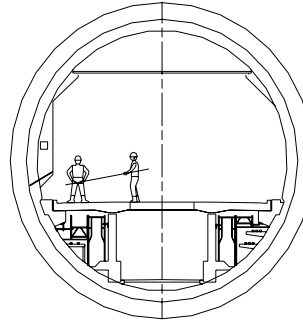
●図15-FRP床版設置時

5-6 床版鉄筋組立

～コンクリート打設～養生等

FRP床版設置完了後、床版鉄筋の組み立てを実施した。その後、コンクリート打設を行ったが、特殊コンクリートである為、限られた工程の中で最大限の養生日数を確保する必要があるため、日々の工程管理を綿密に実施した。

図16は、FRP床版上段の鉄筋組立完了時の状況である。

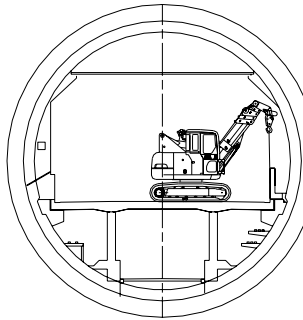


●図16-床版上鉄筋組立完了

5-7 監査廊部及び側壁部の復旧

～施設設備復旧等

床版コンクリート養生完了後、設計強度の発現を確認した後に、監査廊及び側壁部の復旧を開始した。監査廊は、プレキャスト製品を使用して、工程を確保し、側壁部は、コンクリートの現場打ちで復旧した。図17は、監査廊ブロックの設置状況である。

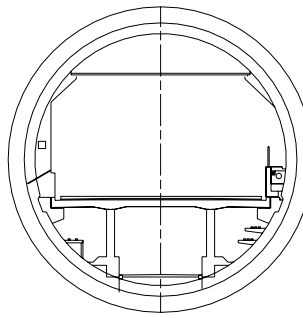


●図17-監査廊設置状況

5-8 内装板復旧～排水管復旧～舗装復旧等

主要な工種が完了後、最後に内装板、漏水対策用の排水管、車線分離標、舗装、レーンマークの復旧等を行い、全て完了した状況である。

なお、再利用可能な施設については、再利用を行い、経費節減に努めた。



●図18-舗装等復旧完了時

6. おわりに

平成21年度と平成22年度に110日間程度の全面通行止を実施し、関門トンネルリフレッシュ工事の中で過去最長の昼夜作業を完了し、全面通行止解除を行った。

本工事での施工方法や様々な取り組みが、今後のRC床版補修工事の参考になることを期待するものである。