

鋼床版デッキ貫通亀裂の緊急補修に関する一考察

安藤 博文¹

¹ 中日本高速道路株式会社 名古屋支社 豊田保全・サービスセンター（〒470-1202 豊田市渡刈町大屋敷 57）

伊勢湾岸道路（飛島 IC～名港中央 IC）における名港トリトン（名港西大橋、名港中央大橋、名港東大橋、いずれも 3 径間連続鋼斜張橋（鋼床版多室箱桁））では、平成 28 年 10 月に発生した舗装面ポットホール¹の補修を行った際に、デッキプレート貫通疲労亀裂が発見された。この損傷形態は路面陥没に繋がるため、閉断面Ｕリブ内にグラウトを充填する緊急補修工事を行った。緊急補修工事の内容と疲労寿命に関する考察、補修時に新たに発見された鋼床版上面の孔食状況、今後の補修計画について報告する。

キーワード：鋼床版、デッキプレート、疲労亀裂、補修、緊急、グラウト、充填、孔食

1. はじめに

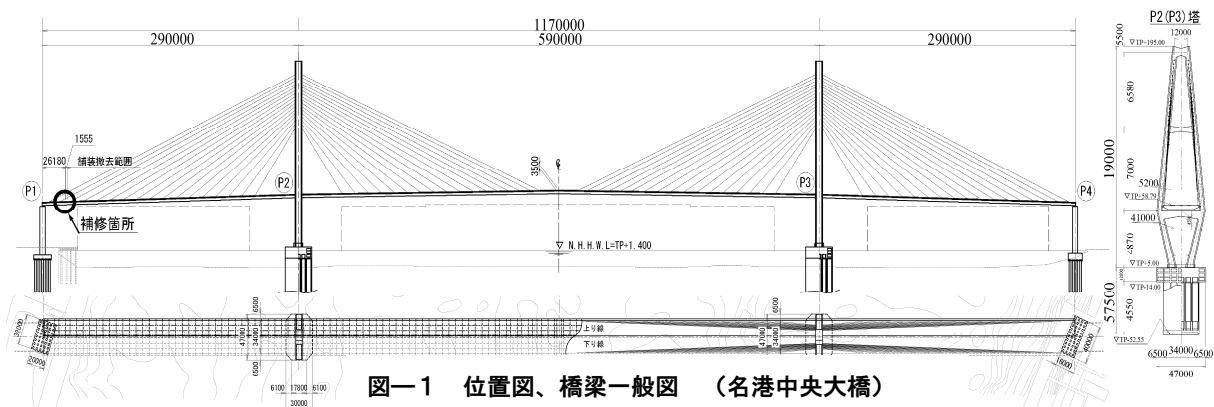
伊勢湾岸自動車道（飛島 IC～名港中央 IC）は平成 10 年 3 月 30 日に供用開始（名港西大橋（I 期線）は暫定 2 車線として昭和 60 年 3 月より供用）し、今年で 33 年目を迎える。当区間における特殊形式橋梁である名港トリトン（名港西大橋、名港中央大橋、名港東大橋）は、いずれも 3 径間連続鋼斜張橋（鋼床版多室箱桁）であるが、近年の交通量の増大に伴う鋼床版の損傷が 6、7 年前より発生し始めている。損傷は供用年次に関係なく全ての橋梁においてほぼ同じ形態で発生している。さらに平成 28 年 10 月に発生した舗装ポットホールにおいては、新たな形態の亀裂（閉断面Ｕリブ溶接ルート部からデッキプレート母材方向に進展するデッキプレート貫通亀裂。以下、デッキ貫通亀裂という。）が発見された。この損傷形態は路面陥没に繋がることから、走行車両の安全性を確保するために、橋面上から閉断面Ｕリブ内部にグラウトを充填する緊急補修工事を行った。

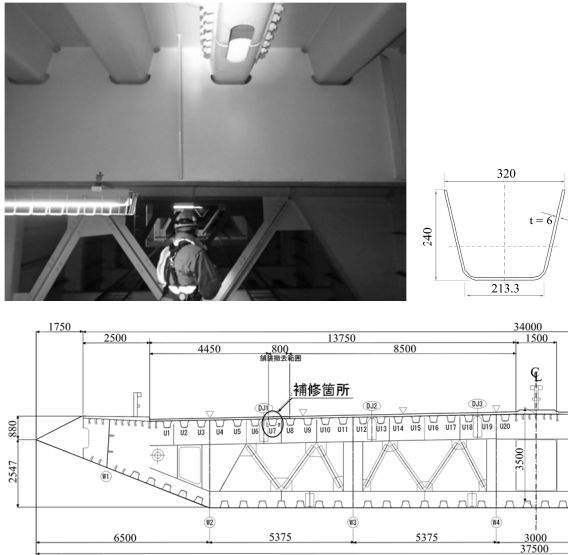
2. 名港トリトンにおける損傷概要

本橋は NEXCO 中日本保全点検要領の規定に従い、定期的に詳細点検を行ってきたところである。平成 27 年までに名港トリトンの 3 橋（名港東大橋、名港中央大橋、名港西大橋）のいずれにおいても①デッキプレートと閉断面Ｕリブ溶接部のビード貫通亀裂、②閉断面Ｕリブと横リブ交差部におけるスリット部のまわし溶接部での閉断面Ｕリブ側止端部、③垂直補剛材位置でのデッキプレート側溶接止端部亀裂及びデッキプレート貫通亀裂が発見され、当て板補強を行ってきた。

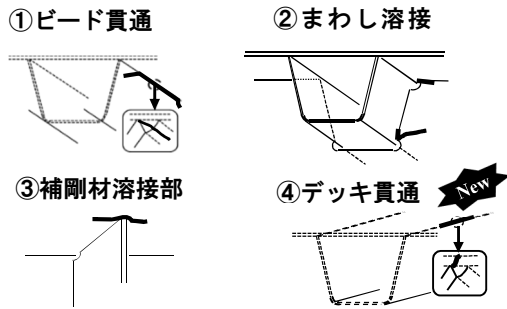
過去の損傷は通行車両の安全に即時支障をきたすような舗装陥没を伴わない亀裂形態であったことから、当て板高力ボルト接合による補修工事を行い、計画的な補修を進めてきたところである。

一方、デッキ貫通亀裂は補修サイクルが著しく早い傾向にある。今回の該当箇所についても平成 28 年 6 月に舗装ポットホールの補修を実





図一 鋼床版床組詳細図 (名港中央大橋)



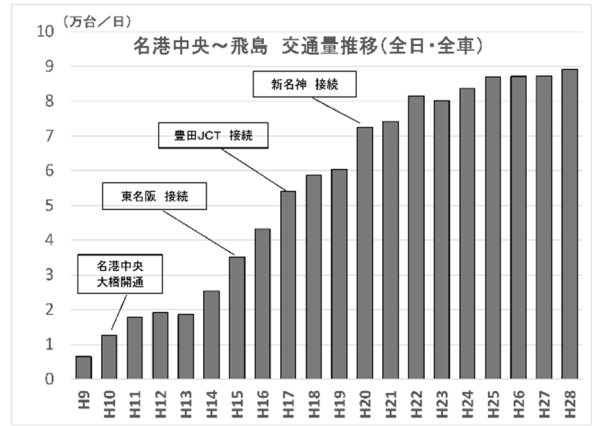
図一 名港トリトンで発見された亀裂形態

施しており（その際はデッキ貫通亀裂を発見できなかったが、おそらくすでにその時点で発生していたものと考えられる）、補修した舗装は4か月間しか健全な状態を保持できなかった。

図一 4 に伊勢湾岸自動車道の交通量推移を示す。新名神高速道路、新東名高速道路といった隣接ネットワーク延伸に伴い、伊勢湾岸自動車道の交通量は加速的に増加し、名港中央大橋の開通（平成10年3月）からわずか10年足らずで10倍近くになっていることがわかる。

3. 緊急補修方法の計画と施工ステップ

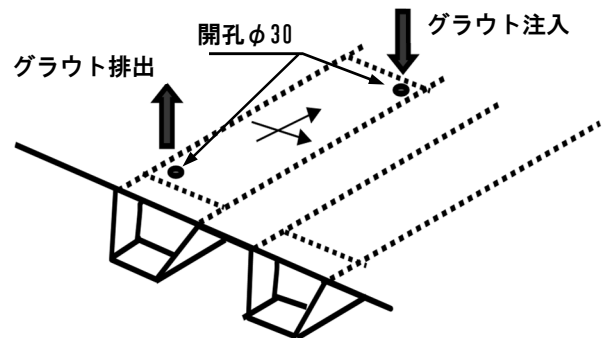
今回発生した2か所のデッキ貫通亀裂のうち、1つは垂直補剛材位置でのデッキプレート貫通亀裂に対して過去に当て板高力ボルト接合による補修工事を実施した箇所であった。当て板補修をおこなったことにより、閉断面Uリブ近傍の床版剛性が変化したためであると考えられる。閉断面Uリブや横桁の配置を十分に考慮し、部分的な床版剛性の変化や当て板配置のレイアウト、近傍のディテールも含めた疲労耐久性について十分に検討しないと半年程度



図一 4 伊勢湾岸道の交通量推移

で再発してしまうだけでなく、さらに状況を悪化させることになりかねないことが明らかとなった。

そこで、当面の路面陥没やポットホール発生を発生させないために、橋面上よりコアドリルにてデッキプレートを開孔し、閉断面Uリブ内にグラウトを充填する緊急対策を計画した。充填したグラウト材の配合を表一1に示す。グラウト充填量は閉断面Uリブの隔壁間隔から0.7~0.8 m³（重量で2 t 弱、乗用車1台分相等）となる。施工計画ステップを以下に示す。



図一 5 緊急対策の概要図

- STEP-1 亀裂箇所と閉断面Uリブ隔壁位置を確認し、開孔箇所を決定する。開孔位置は亀裂箇所を挟んでできるだけ閉断面Uリブ隔壁に近い方が望ましい。干渉する横桁との作業性等を考慮し55mmの離隔を確保した。
- STEP-2 箱桁内部より閉断面Uリブの下フランジ面に水抜き用開孔（φ12.5）を設け、閉断面Uリブ内に滞水した水を除去する。（規制前日までにSTEP-2まで完了させておいた。）
- STEP-3 走行車線規制を行い、鋼床版上のグラウト充填開孔箇所の舗装を撤去する。
- STEP-4 箱桁内部の水抜き用開孔を使ってデッキプレート側に開孔（φ10）する。

デッキプレート開孔後は水抜き用開孔をワンサイドボルトにて塞ぎ、橋面上からデッキプレート側の開孔をφ30（注入ホース径）まで拡大する。

STEP-5 縦断勾配の低い側より注入し、高い側の排出ホースからのグラウト流出を確認する。

STEP-6 注入孔、排出孔を止栓する（今回は急結モルタルを使用した）。

STEP-7 鋼床版面を清掃し、アスファルトシーンを旧舗装端部及び鋼床版全面に塗布後、密粒アスファルトにて復旧する。

今回の亀裂発生個所はいずれも第一走行車線の左轍ライン上に位置していたため、昼間の1車線規制をかけることができた。朝9時から規制を開始し、11時～18時の実作業時間9時間にて作業を完了し、20時には規制を解除することができた。

4. 緊急補修の実施状況と施工上の課題

デッキ貫通亀裂が発生した場合、舗装面の損傷も相応に進んでいるため、亀裂部から路面排水が閉断面Uリブ内に浸入し滞水する。あらかじめ箱桁内部より閉断面Uリブの打音点検を行ったところ、閉断面Uリブ内に水が充満していることが確認できた。隔壁間で水が充満すると、デッキ貫通亀裂付近では走行車両によるたわみ変形から損傷した舗装との間でポンピング現象のような水の動きが発生し、Uリブ内に泥土堆積や腐食を引き起こすとともに、急速に舗装が劣化してポットホールを発生させるものと推察できる。劣化した舗装材料等による泥砂も閉断面Uリブ内に浸入するため、内部には大量の泥が堆積していた。本橋では、STEP-2での水抜きの際、排水開始直後は清水であったが、排水終了間近になると泥水へ変化した。表一2に実測した排水量、充填量を示す。

表一1 充填モルタルの仕様（名港中央大橋）

配合	C 12.5 kg	W 4.7 kg	S 12.5kg
コンシステンシー	8.61 sec	(J14 ポート流下試験)	
圧縮強度	σ 5 54.7 N/mm	σ 28	60.3 N/mm

表一2 施工数量（単位：リットル）

	設計	排水	充填
名港中央大橋	769	506	756
名港西大橋	679	484	702

※充填量は流量計の表示値



図一6 開孔部、グラウトの注入の様子

グラウトの注入・排出孔は当初計画では3箇所（閉塞Uリブ1箇所当たり）設ける計画であったが、規制時間上の制約と、後述する孔食への影響から舗装撤去箇所を最小限とすることを考慮し、2カ所に減らしている。グラウト充填においては、排出初期にはグラウトではなく堆積していた泥水が押し出されてきた。50～60ℓほど泥水を排出した後、グラウト成分のみ排出されるようになったことを確認して止栓を行った。なお、縦断勾配と隔壁、排出孔の位置関係から閉断面Uリブ内への充填量は流量計表示と設計値の差がある結果となった。閉断面Uリブ内の泥抜きは今回行わなかったが、今後は行った方が良いと思われる。また、縦横断勾配と開孔位置の関係から若干の空隙が発生しているものと思われる。閉断面Uリブ内は一度清掃し防錆を行うことが望ましいが、閉断面Uリブの下フランジを大きく開口する必要があり、供用下での作業としては合理的ではないと判断した。本工事の目的は亀裂発生個所の変形防止であり、亀裂箇所は縦断勾配の低い側に位置していたことから、緊急補修としての機能は十分に果たすと思われる。

なお、桁内での水抜きや開孔作業の環境は非常に悪く、発電機（今回は橋面上に設置し桁内まで配線）や排水手段（排水方法により開孔径も異なる）、資材搬入、作業姿勢、一般通行車両への防護など、計画段階で詳細な調査を行い、作業方法、作業量、作業手順を正確に把握しておく必要がある。

5. 鋼床版の応力状態と疲労寿命の考察

名港中央大橋の設計は平成2年道路橋示方書及び設計要領第二集（日本道路公団）、名港大橋調査特別委員会（平成5年3月）などに依っている。鋼床版の床組設計は有限帯板法（Finite Strip Method）によっており、疲労照査における載荷荷重はT-20である。主桁ウェブ間縦リブ支間中央部において、閉断面Uリブ連

続すみ肉溶接部にて発生する最大応力度（圧縮
応力度）が許容応力度内であることのみ照査し
ている。

$$M_f = 3.830 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned}\sigma_f &= (M_f / I) \times y_n \\ &= (3.830 \times 10^5) \times 6.91 / 8455 \cdots \text{式(1)} \\ &= 313 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{fa} = 1100 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

ここに、

M_f ：発生最大断面力（tf・m）

σ_f ：発生最大応力度（kgf/cm²）

σ_{fa} ：許容応力度（kgf/cm²）

名港中央大橋において疲労亀裂が発見され
た平成 26 年（新東名（豊田東 JCT～新城 IC）の
開通前）、名港中央 IC～名港潮見 IC 下り線での
年平均大型・大特車交通量は約 18000 台／日
である。同 IC 区間大型車交通における第一走
行車線走行比率実績 53.5%、同一車線内で同一
線上を走行する割合を 50%^{文献 3）}と仮定し、繰
り返し回数を想定すると以下ようになる。

$$\begin{aligned}18000 \times 0.535 \times 0.5 \times 3 \text{ 軸} \\ = 14445 \text{ 回／日} \cdots \text{式(2)}\end{aligned}$$

得られた値を繰り返し回数として損傷発生
年数を逆算できる。

$$\begin{aligned}\text{損傷発生年数（年）} &= N / (n \times 365 \text{ 日}) \\ &\cdots \text{式(3)}\end{aligned}$$

ここに、

N：疲労寿命

200 万回許容応力比(m=3)／直応力範囲³

衝撃係数 = 0.4 安全係数 = 1.0

平均応力補正係数 = 1.0

n：繰り返し回数（式(2)で算出された値）

現行の疲労設計指針において鋼床版の疲労
設計については適用外であり、亀裂発生メカニ
ズムも亀裂形状も全く異なるため現状に合致
した溶接等級を選定することはできないが、交
通量実績から耐久年数を逆試算すると、式(2)
より疲労等級 D (100) の場合で 12.5 年、E (80)
の場合で 6.4 年となる。実際の発生応力は、有
限帯板法により設計上想定した最大応力が常
に発生しているとは考えられない。実際の疲労
損傷発生年数が 15 年程度であることを考えると、
維持補修の中・長期計画を立案するうえでの
参考程度にはなると考えられる。

6. 補修時に発見された鋼床版の孔食損傷

閉断面Uリブ内へのグラウト充填を行うに
あたり、観察された鋼床版上面の様子を図一 7、
8に示す。舗装面を撤去した後、一面に孔食が
発見された。孔食されている範囲は過去に舗装
を打換えた範囲であり、隣接している舗装（建
設当初に敷設されたグースアスファルトが残
っている）部分では一切見られなかった。また、
鋼床版を現場溶接したビード上に孔食はほと
んど見られなかった。これまでの鋼床版上で舗
装が損傷した際の部分的な補修では、アスファ
ルトシールを鋼床版面および切削端面に塗布
したのち、密粒アスファルト敷設という舗装打
換方法で行ってきた。しかし、交通荷重の繰り
返しにより新旧舗装境界部はたちまち劣化し、
路面排水が浸入するものと考えられる。伊勢湾
岸道名港トリトンは海上にあり、かつ冬季は凍
結防止剤を散布する。塩化物イオンを含んだ路
面排水が打換えた舗装と鋼床版の界面に浸入
し、広範囲に孔食を発生させたものと思われる。
閉断面Uリブ内へのグラウト充填にあたり開
孔させた個所で鋼床版の残厚を測定したところ、
8mm 程度（孔食孔の最も深い 1 点で測定）
となっていた。名港トリトンの鋼床版設計厚は
12mm であり、舗装の打換えが行われ始めて 6～
7 年程度しか経過していないことを考えると、



図一 7 発見された孔食の様子



図一 8 健全な鋼床版の様子

かなりの進行速度で孔食が進むものと考えられる。このような広範囲での面的な孔食例は今後調査を行っていく。あわせて、グースアルフアルトと同等の性能・性状を有する材料と、合理的部分補修方法の確立が急務である。

7. 今後の補修計画

平成 28 年 12 月に緊急工事にて閉断面Ｕリブ内グラウト充填を行った結果、補修した舗装の劣化はこれまでに確認されていない。これまでに部分補修を実施した場合では、概ね 4 カ月程度でポットホールが再発したとことと比較すると経過は良好であると言える。

これについてはもう少し経過観察を行う必要があるが、グラウトの充填により閉断面Ｕリブの剛性も若干改善されており、輪荷重直下における舗装への影響も少なくなっているものと期待できる。

しかしながら、本工法は緊急対応として採用したものである。疲労亀裂が発生した場合にこれまで行ってきた当て板による補強工法では新たな疲労亀裂の発生につながる場合もあることが確認できたため、輪荷重の分散が期待できる繊維補強コンクリート（SFRC、HFRC など）による上面増厚を検討中である。同工法については、東日本高速道路㈱等で行われてきた実績をさらに検証し、前述の孔食を発生させない繊維補強コンクリートの端部処理方法や部分的な剥離対策を確立しなければならない。現在、建設中の新名神高速道路（四日市 JCT～亀山 JCT）で様々な仕様を試験施工中である。

名港トリトンにおいては将来、75mm の S F R C により鋼床版を増厚することを計画しているが、試験施工結果や今後の技術動向を注視しながら計画を進めていく。伊勢湾岸自動車道は今後の新名神高速道路の全線開通によりその重要性が益々増大し、長期間の交通規制が困難となることが予想される。広大な面積のグースアスファルト撤去・復旧、特殊構造を持つ大

遊間鋼製伸縮装置の嵩上げ、床版開口部ダブリング補強（すみ肉溶接部の疲労亀裂によりダブリング鋼板が変形・変位して舗装損傷を発生させている）の撤去、吊ピース撤去跡の除去（こちらも疲労亀裂発生原因となっている）、S F R C の施工、スタッドジベルの溶殖、といった膨大な工種を限られた規制時間内で確実に完了させなくてはならない。リニューアル工事などの画策により、今後の伊勢湾岸自動車道全体の工事スタイルも確立する必要がある。

8. まとめ

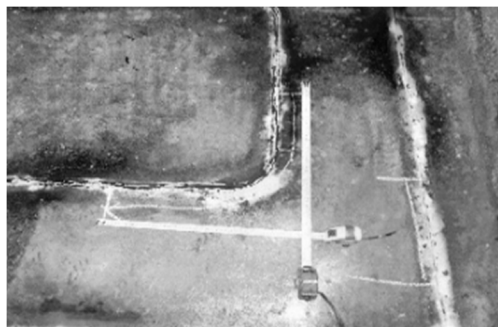
名港トリトンにおいて昨年新たに発見された鋼床版デッキ貫通亀裂に対する緊急補修を行い、以下の結果が得られた。

- （１）閉断面Ｕリブ内へのグラウト充填は、短時間で通行車両の安全を確保する手段として非常に有効である。今後も補修個所の経過観察を行い、耐久性を評価する必要がある。
- （２）損傷した箇所の閉断面Ｕリブ内は帯水することから、桁内からの打音点検によってデッキ貫通亀裂の発生をある程度予測することができる。
- （３）補修の内容如何によっては新たな疲労亀裂を発生させることにもなるため、疲労亀裂の発生形態、鋼床版の構造ディテールをよく検討して補修工法を選択し設計を行う必要がある。
- （４）舗装の部分的な補修を行った個所の復旧は新旧舗装の一体化によく留意して施工する必要がある。また、経過観察を行うことで進行の早い鋼床版上面の孔食に対する手当を行う必要がある。

今後は繊維補強コンクリートによる増厚工法をはじめとする合理的な補修方法、鋼床版・旧舗装面との密着性や追従性に優れ、かつ少量の舗装打ち換え補修に対応できる材料の開発・検証が望まれる。

【参考文献】

- １） 鋼構造シリーズ 19「鋼床版の疲労 2010 年改訂」
（社）土木学会鋼構造委員会, 2010 年 12 月
- ２） 「名港大橋の設計施工に関する調査研究報告書」
（社）日本道路協会名港大橋調査特別委員会, 1993 年 3 月
- ３） 「アスファルト舗装のわだち掘れ予測方法に関する研究」牛尾俊介, 土木学会論文報告集第 323 号, 1982 年 7 月



図－10 鋼床版ダブリング部すみ肉溶接の亀裂