

損傷要因分析を踏まえた鋼製高欄の構造改良

| | |
|-------------------------|-------|
| 阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 | 徳増 健 |
| 阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 | 西川 彰一 |
| 阪神高速技研(株)技術部設計課 | 諸角 治 |
| 阪神高速技研(株)技術部技術課 | 正木 健太 |
| 阪神高速技研(株)技術部設計課 | 今倉 優樹 |

要 旨

阪神高速では、橋梁の軽量化や施工の簡便化を目的に鋼製高欄を継続的に採用してきたが、設計思想や構造遍歴を取りまとめた資料は少なく、また従前より高欄内部に顕著な腐食や孔食などの損傷は報告されていたが、近年では損傷が顕在化していることから、「鋼製高欄取替検討会」を立ち上げ、既設鋼製高欄の損傷要因分析や維持管理面での課題を抽出した上、新型鋼製高欄構造の検討を進めてきた。

本稿では、既設鋼製高欄の構造遍歴や損傷要因分析結果、新型鋼製高欄構造の検討経緯を報告すると共に、鋼製高欄取替工事に従事する設計者、作業員ならびに管理者が、「設計思想」「取替工事時に必要な作業内容」「維持管理手法」等を把握できるよう新たに制定した「鋼製高欄取替マニュアル」の制定経緯を報告する。

キーワード: 鋼製高欄, 腐食, 新型鋼製高欄, 鋼製高欄取替マニュアル

はじめに

阪神高速の設計基準上は、壁高欄及び中央分離帯に対し、原則鉄筋コンクリート製を採用することを定めているが、上部工全体の死荷重軽減や施工時間の短縮を目的に、大規模交差点や鉄道交差点などでは、鋼製高欄が過年度より広く採用されてきた。一方で1973年以降、腐食・孔食など損傷事例(写真-1)が数多く報告されていたが、近年、損傷の重篤化傾向がみられることから、従前と異なる対応策が求められている。

しかしながら、既設鋼製高欄腐食に対する補修対策等に関する文献は見られるが、構造を系統分類した上、課題抽出や損傷原因を検討した文献は現時点で確認されない。そこで本稿では、構造分

類や損傷原因の分析結果、ならびに検討結果を踏まえて作成した新構造案や、既設構造を新構造に



写真-1 鋼製高欄の腐食損傷

め、定期的に全ての支柱ボルトを点検することは困難である。またタイプⅡは構造上、地際部(地覆部と舗装面との接点)は、路面清掃車のブラシによる塗装剥離や、雨水や凍結防止剤が溜りやすいことなどから、腐食・孔食が発生しやすいため管理上留意が必要である(写真-5)。

1-3 タイプⅢ：高欄中央部中梁設置

比較的新しい供用区間(湾岸線南伸部、神戸線震災再構築部など)で採用実績が多い「鋼床版設置・高欄中央部中梁設置」構造を写真-6、図-3に示す(以下「タイプⅢ」と呼ぶ)。他のタイプと比べ設計思想は明確であるが¹⁾、タイプⅡ同様、鋼製地覆構造を採用していることも多いため、点検の際留意が必要である。また内部点検の際、高欄内の横梁と干渉するため、特に天端部付近の点検が困難となる場合が多い。

1-4 その他：コンクリート床版設置

ごく少数だが11号池田線に、コンクリート床版上にタイプⅠの構造が採用された区間がある。

支柱を接合するため床版にホールインアンカーを打設後、側面板に設けたハンドホールを全周すみ肉溶接で閉塞している。このため、地覆コンクリートブロックと高欄側面部に隙間が生じやすい構造となる点、管理上留意が必要である。

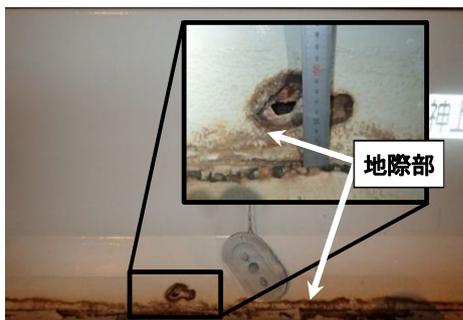


写真-5 地際部の腐食



写真-6 タイプⅢ『高欄中央部中梁設置』

2. 既設鋼製高欄の点検と損傷事例

2-1 鋼製高欄内部点検方法

鋼製高欄内部点検は、側面板に点検孔を設けた上、ビデオスコープにより損傷・腐食状況を確認(写真-7)しているが、以下の理由から、点検効率は芳しくなく、点検不可視箇所が存在する。

- 点検は高速道路の規制内で実施するため、他工事と規制調整が必要な場合がある。
- 初めて点検する鋼製高欄の場合、事前に側面板へ点検孔の設置工事が必要である。
- 既設点検孔が存在していても、点検孔蓋のボルトの開閉は容易ではないため、すべての点検孔を開口して点検がなされていない。
- 既設点検孔の中には、寸法が小さいものもある。点検員の手首を点検孔に挿入できない場合は、ビデオスコープの操作が困難である。
- タイプⅢ構造では、鋼製高欄内の横梁と干渉するため、特に天端部の点検が困難である。
- 狭隘部点検のため、ビデオスコープで確認できる範囲は限られ、また見落としが生じやすい。

2-2 鋼製高欄内部点検結果

過年度に2-1に基づく鋼製高欄内部点検を実施

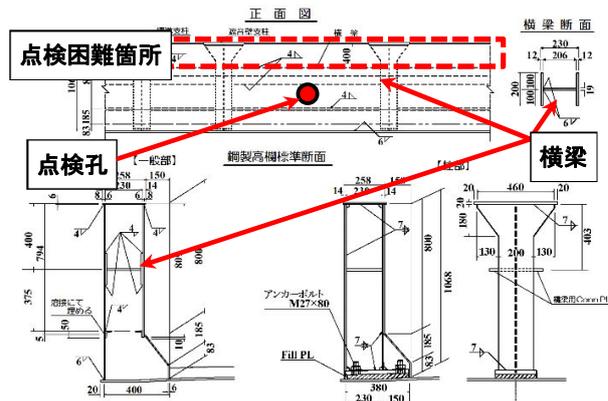


図-3 タイプⅢ『高欄中央部中梁設置』



写真-7 ビデオスコープによる点検の様子

した結果、約4割程度がAランクに判定されるなど、損傷程度が進んでいるレーンが多い結果となった。主な損傷事例を以下に示す。

(1) 支柱の腐食、孔食の発生

支柱の腐食状況の一例を写真-8に示すとおり、特に基部付近の支柱ウェブの孔食事例が数多く報告されている。また、側面板が孔食していても、支柱が孔食した事例も報告されている。これは日常点検などで側面板の外面腐食損傷は容易に損傷を把握し、塗装補修を実施できるが、高欄内部への水の浸入経路に対する止水対策ではないため、支柱の腐食損傷は進んだものと考えられる。なおタイプⅢは比較的新しい供用区間で採用されていること、またタイプⅠ・Ⅱの支柱のウェブ・フランジ厚は6mmもしくは8mmが採用されているのに対し、タイプⅢでは12mmを採用する事例が多いことなどから、現在本損傷は、タイプⅠ・Ⅱで多く確認されている。

(2) 支柱アンカーボルトの減肉

支柱アンカーボルトは支柱同様に、車両の衝突に対して鋼製高欄を支持し、車両を高速道路外に逸脱させないための構造上重要な部材である。しかしながら、既設鋼製高欄は密閉構造で設計されているため、内部浸入した際の排水導線は考慮されていない。その結果、高欄底部にある支柱アンカーボルトは腐食しやすい環境にある(写真-9)。さらにタイプⅠでは、地覆コンクリートブロック下



写真-8 鋼製高欄内部腐食の状況



写真-9 支柱アンカーボルトの腐食(高欄内部)

も滞水し易い環境のためアンカー一部が腐食している場合があるが、点検不可視箇所である点、管理上留意しておく必要がある。

(3) 鋼製高欄内部の滞水

全ての鋼製高欄タイプの高欄内部で滞水が確認されているが(写真-10)、高欄内部の点検は困難であり、水の浸入箇所が複数存在するが多いため、浸入箇所の特定は困難な場合が多い。

(4) 鋼製高欄添架柱による疲労損傷

鋼製高欄天端付け照明柱が転倒し高速走行中の車両に接触した事故を受け、同種箇所を全て緊急点検した結果、照明柱ベースプレート付近の「天板-側面板」溶接部にき裂が複数確認された(写真-11)。転倒した照明柱は高欄支柱の直上に設置されていたが、高欄支柱と直接アンカーボルトで接合されていなかった。このため、照明柱に起因する応力により「天板-側面板」溶接部に疲労き裂が発生したものと考えられる(図-4)。

(5) 側面板・鋼床版部の腐食・孔食

高欄外面側は、タイプⅡ・Ⅲの鋼製地覆付近



写真-10 鋼製高欄内の滞水



写真-11 照明柱添架した鋼製高欄の疲労き裂

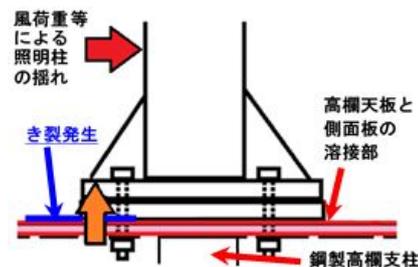


図-4 照明柱添架による疲労き裂

で側面板の腐食損傷が多数報告されている。高欄内面側でも、側面板や鋼床版部の腐食損傷が多数報告されているが、損傷が進行すると鋼床版添接部が水みちとなり、鋼床版下面側にも腐食が進行する。つまり鋼製高欄下の鋼床版下面部に腐食損傷が確認された場合、高欄内部の腐食損傷が相当進んでいる可能性が高いと言える。

側面板の内部腐食が進行すると、溶接部に腐食われを引き起こす場合がある(写真-1)。特に遮音壁が設置されている場合、遮音壁が受ける風荷重によりき裂が進展やすくなるため、第三者影響を考慮し早急に応急対応する必要がある。

(6) 高欄側面付遮音壁支柱アンカー損傷

高欄設置後に遮音壁が設置された区間では、遮音壁支柱アンカーボルトを高欄側面板に貫通させ定着している場合が多い。高欄内部が滞水・腐食が進行している場合、貫通アンカーボルトも腐食・孔食している場合がある(写真-12)、外観から高欄内部の腐食状況を判別することは困難なため、高欄内部点検の際に合わせて、健全性を確認する必要がある。

3. 既存鋼製高欄構造の損傷原因・課題

3-1 設計思想の不明確さ

タイプⅠ・Ⅱは支柱間に横梁がなく、山形鋼で補強された6mm厚の側面板を「鋼床版・側面板間・天板部」に現場すみ肉溶接で接合した構造が採用されている。これらの高欄を剛性防護柵と見なす場合、高欄支柱間で衝突する条件下では、衝突荷重を側面板部のみで耐えうる設計とする必要があるが、現構造では強度不足が懸念される(側面板の山形鋼はプラグ溶接で接合された箇所もあり、構造部材として考慮できない場合がある)。



写真-12 遮音壁貫通アンカーボルトの腐食

また道路橋示方書Ⅱ鋼橋編には、主要部材の応力を伝達する場合、すみ肉サイズを6mm以上とすることが示されているが、鋼床版接合部で4mmのすみ肉サイズが採用されている高欄もあった。さらに「鋼製高欄天端付の照明柱」では、照明柱アンカーを直接高欄支柱に接合された構造に改良しない限り、将来的に側面板と天板の溶接部に疲労き裂が発生する可能性を否定できない。しかしながら、竣工当時の設計計算書や設計資料が残っていないため、当時の設計思想が不明であり、推定も困難である。

3-2 防食性の課題

既設鋼製高欄は、工場溶接される部位もあるが、最後は現場溶接により密閉構造に組み立てるため、亜鉛メッキ加工できない部位がある。このため高欄内部の防食は十分とは言えず、内部に水が浸入すると、内部腐食が進行しやすい防食上の課題がある。また近年、腐食損傷した高欄底部に対し、亜鉛粉末入り充填防食材(ジンクパール)を十分に散布することで犠牲防食機能を期待した補修法を採用することもあるが、この工法は粉末を接着剤等で定着させるものではないため、側面部・天板部など高欄底部付近以外での適用は困難であり、施工箇所には限りがある。さらに点検不可視箇所が存在するため、水の浸入経路の特定は困難である。密閉構造である点を考慮すると高欄内部の水の浸入・滞水は止められず、実際全ての構造タイプや、補修後の鋼製高欄において滞水事例が確認されている(写真-13)。なお前章で示すとおり、各タイプで耐防食性に弱点となる部位がある点留意が必要である。



写真-13 高欄内部補修後の滞水事例

3-3 点検困難・不可視箇所が存在

鋼製高欄内部の腐食状況は外観から判別できないため高欄内部点検を実施する必要があるが、現在内部点検で主流となっているビデオスコープを用いた方法では、2. で示すとおり、隅々まで点検するのは困難である。さらに「地覆コンクリートブロック下のアンカーボルト(1-1参照)」「支柱間の横梁より上部(1-3参照)」など、点検不可視箇所が存在している。これらの点検困難・不可視箇所は、既設鋼製高欄構造を抜本的に改良しなければ、解消は困難である。

4. 課題解決に向けた対応方針

3. で示すとおり、既設鋼製高欄には点検不可視箇所が存在しており、構造を見直さない限り、将来的に損傷を抑止することは困難である。現在高欄内部の腐食状況も芳しくない状況であることから、3. で示す既設鋼製高欄の課題を解消した新たな鋼製高欄に取り替えを進める方針であるが、円滑に取り替えるため以下の検討を行った。検討結果については次章に示す。

- 構造上の課題を解消した鋼製高欄新構造検討
- 設計方針や施工内容等を取りまとめたマニュアルの策定

5. 鋼製高欄取替推進にむけた検討

5-1 鋼製高欄新構造の検討

鋼製高欄構造を検討するにあたり「防護柵の設置基準・同解説(以下 防護柵基準と呼ぶ)」に基づき検討を行い、設計速度80km/h相当のSB種、設計速度60km/h相当のSC種の構造検討を行った。

(1) 基本構造案の策定

既設鋼製高欄と比較し重量増を抑えた以下3つの構造案(写真-14)を作成し、SC種相当の衝突実験などにより評価・検討を行った。

- a) RC 製中空壁高欄
- b) 超高強度繊維補強コンクリート製壁高欄
- c) 直壁部鋼製・地覆部RC 製壁高欄



a) RC 製中空壁高欄



b) 超高強度繊維補強コンクリート製壁高欄



c) 直壁部鋼製・地覆部RC 製壁高欄

写真-14 新型鋼製高欄検討案(供試体)



写真-15 重錘衝突実験

a)・b)は共にプレキャスト高欄であり、c)は現場打ちコンクリートで地覆部を製作した後、鋼製直壁を設置する構造である。なお形状はいずれの案も既設鋼製高欄と同じ壁高欄形式である。

(2) 衝突実験による性能確認

阪神高速が過年度実施した実験⁹⁾を踏襲し、振り子式の重錘衝突試験(写真-15)により衝突性能等、構造成立性を検証するため、防護柵基準に基づき各壁高欄にSC種相当の衝突エネルギーとなるよう65cmから重錘を落下させ実験を行った。

要求性能は、防護柵基準に示されている①車両の逸脱防止性能、②乗員の安全性能、③車両の誘導性能、④鋼製部材の飛散防止性能のうち、既設鋼製高欄と同構造を採用していることを勘案し「車両衝突時に、壁高欄が破壊し、車両が乗り越えて飛び出さない」ことを確認するものとし、①・④について車両衝突時の壁高欄の変形状況・損傷程度を評価した。

(3) 衝突実験結果分析に基づく基本構造案選定

各案とも重錘が供試体を貫通する事象は発生していないが、a)・b)案は以下に示す課題が大きく、また既設高欄内部の鋼床版部の腐食が進行している場合、プレキャスト高欄では不陸が生じ、期待どおりの性能が得られない可能性があることから、新型鋼製高欄はc)案を基本構造とし、構造詳細を検討することとした。なおc)案はSB種相当でも衝突実験により性能を確認している。

a) 案：中央部衝突時に基部に幅30mmのひび割れが生じ、壁高欄本体より20kg程度のコンクリート片が落下するなど致命的な損傷が発生。

b) 案：中央部衝突実験時の壁高欄の外的損傷は少なかったが、接合部から間詰材であるモルタル片が1kg程度飛散。

c) 案：中央部衝突実験時に側面パネルの変形が見られるが、側面パネルは容易に取替が可能。

(4) 点検性向上にむけた改良検討

既設の点検孔蓋は複数の小径ボルトにより閉塞されているため限られた規制時間内で複数の点検孔蓋ボルトを開閉することは容易ではない。また側面板下側に寸法の小さい点検孔が設置されている場合、ビデオスコープの操作が困難である。そこで点検作業性を考慮し、側面板中央にスリット入りのゴム製蓋を設置し、蓋を取り外すことなく点検が可能となる構造を採用した。さらに直径30mmのビデオスコープのクリアランスを考慮し、点検不可視箇所が発生しないようにスカーラップサイズの拡大や横梁の添接部に長孔を設けた。なお、段ボールによる実寸模型を作成したものをを用いて模擬点検を行い、点検性や点検不可視箇所がないことを確認している。

(5) 新型鋼製高欄構造案

c)案を基に作成された鋼製高欄新構造案を図-5に示す。滞水が生じやすい底部は、コンクリートで地覆と一体構造とし、その上に鋼製の高欄構造を構築している。また側面板下部に隙間を設け高欄内部の水抜きが可能な構造となっている。なおSC種・SB種の違いによる外形寸法に差は無いが、想定される衝突エネルギーの違いから、ベースブ

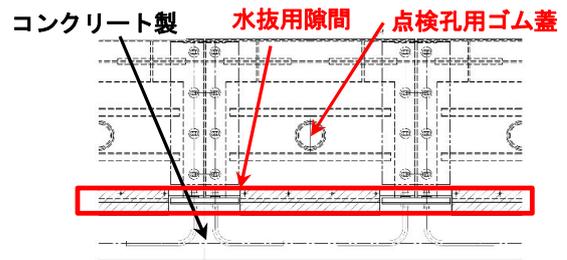


図-5 新型鋼製高欄構造

表-1 新型鋼製高欄種別による材質・寸法の違い

| 支柱間隔 1m 当たりの各部材 | | SC 種 | SB 種 |
|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| ベースプレート部 | ベースプレート | 250×25×320(SM400A) | 250×28×530(SM400A) |
| | 支柱L型 アンカーボルト | M24(SD345) | M30(SD345) |
| 地覆部 (鋼床版) | 床版定着ボルト (貫通ボルト) | M20(SS400) | M20(SS400) |
| | 床版定着ボルト (スタッドボルト) | M20(SS400) | M20(SS400) |
| 地覆部 | 軸方向鉄筋 | D16(SD345) | D16(SD345) |
| | 横方向鉄筋 | D16(SD345) | D16(SD345) |

| 地覆部条件 | SC 種 | SB 種 |
|-----------|-------------------|-------------------|
| ベースプレート幅 | 320mm (t=25mm) | 530mm (t=28mm) |
| 地覆部の有効幅 | 880mm | 1000mm |
| 床版定着ボルト間隔 | 200mm | 143mm |
| 横方向鉄筋間隔 | 200mm | 143mm |

レート寸法、アンカー径や地覆部鉄筋などに違いが生じている(表-1)。なお、SC種・SB種共に防護柵基準に基づく衝突エネルギーに対し5-1(2)に示した要求性能を満たしていることを重錘衝突実験により確認している。

5-2 鋼製高欄取替マニュアルの策定

鋼製高欄取替工事は、夜間規制など限られた時間内で施工する必要がある。阪神高速で過年度実施した取替工事では、試行錯誤の上効率的に施工するための工夫がなされてきたが、鋼製高欄取替事例が少ない中、継続的に工事を進めるためには、これらの知見を口承ではなく明文化する必要がある。また、4. に示す課題を克服した構造であることを条件に、現場施工効率化を目指し一層の構造改良を進めるためには、設計思想や知見を取りまとめることが有益である。そこで取替工事に資することを目的に『鋼製高欄取替マニュアル(以下「マニュアル」と呼ぶ)』を2021年に制定した。マニュアル作成にあたり、過年度に実施した鋼製高欄取替工事で採用した効率化に資する知見を取り込めるよう、事前に過年度工事従事者にヒヤリングを行った。

マニュアルの構成は次のとおりである。

章構成：「1章 総則」「2章 調査」「3章 設計」
「4章 施工」「5章 維持管理」

「1章 総則」では、適用範囲や用語の定義、一般的な設計・施工フローを示している。

「2章 調査」では、設計・施工にあたって事前
に実施する調査内容と調査方法を示している。

「3章 設計」では、設計思想・設計条件・使用
材料等について、設計作業を時系列に合わせ明記
している。なおヒヤリングにより得られた現場施
工の効率化に資する知見を、細かな点も含め反映
している。

「4章 施工」では、施工計画策定時に参考する
ことができるよう、工事作業内容を時系列に合わ
せて明記している。「3章 設計」同様、ヒヤリン
グより得られた知見を取り込んでいる。

「5章 維持管理」では、新型鋼製高欄の補修に
ついて一般論を明記している。また点検について
は「道路構造物の点検要領」に基づくものとし、

マニュアルにはその旨を明記している。

なお、SC種・SB種の中央分離帯部を含めた標
準構造図と設計計算書を参考資料として合わせて
作成している。

参考文献

- 1) 都市高速道路付属構造物の設計, (財)阪神高速道路管
理技術センター, 1998
- 2) 徳増 他：既設鋼製高欄の課題と対応状況, 阪神高速道
路第53回技術研究発表会, 2021
- 3) 防護柵の設置基準・同解説, (公社) 日本道路協会
- 4) 新構造高欄性能評価実験業務(27-大管), 阪神高速道路
株式会社, 2016.12
- 5) 例えば コンクリート高欄破壊実験 報告書, 阪神高速
道路公団, 1971.12
- 6) 安積 他：既設鋼製壁高欄に代わる取替用新構造高欄
における実験的検討, 阪神高速道路第49回技術研究発
表会, 2017
- 7) 儀賀 他：設計速度80km/h(SB種相当)取替用鋼製高欄
の実験的検討, 阪神高速道路第53回技術研究発表会,
2021
- 8) 今倉 他：維持管理性を考慮した鋼製高欄の構造改
良, 阪神高速道路第53回技術研究発表会, 2021

STEEL PARAPET IMPROVEMENT BASED ON DAMAGE FACTOR ANALYSIS

Ken TOKUMASU, Ayataka NISHIKAWA, Osamu SHOKAKU, Kenta MASAKI and
Yuki IMAKURA

Hanshin Expressway Company Limited has conventionally adopted steel parapets for the purposes of reducing the weight of bridges and simplifying construction work. However, there are few documents that summarize the design philosophy and structural history of steel parapets. In addition, there have been reports of significant corrosion and pitting inside the parapets, and such damage has become increasingly obvious in recent years. In response to these issues, the Steel Parapet Replacement Study Group was formed, and the members have been studying a new structure of steel parapets, with the causes of damage to existing steel parapets analyzed and the issues in maintenance and management identified.

This paper reports the structural history and damage factor analysis of existing steel parapets, as well as the study to improve them. Moreover, this paper describes the outline of the Steel Parapet Replacement Manual which was newly established to help the designers, workers and supervisors involved in such work understand the design philosophy, work required during the replacement work, and maintenance and management practices.

徳増 健



阪神高速道路株式会社
管理本部管理企画部
保全技術課
Ken TOKUMASU

西川 彰一



阪神高速道路株式会社
管理本部管理企画部
保全技術課
Ayataka NISHIKAWA

諸角 治



阪神高速技研株式会社
技術部
設計課
Osamu SHOKAKU

正木 健太



阪神高速技研株式会社
技術部
技術課
Kenta MASAKI

今倉 優樹



阪神高速技研株式会社
技術部
設計課
Yuki IMAKURA