

～平成の大改修～ 「浜名大橋」 橋梁補強について

加藤達也¹・辻 英雄¹

¹中部地方整備局 浜松河川国道事務所 道路管理第二課 (〒430-0811 浜松市中区名塚町 266)

有ヒンジラーメン橋は構造設計における解析レベルの容易さから、1960年から80年代にかけて多く建設されている。しかし、有ヒンジ部が持つ特有の構造形式から、近年多くの橋梁でヒンジ沓の経年的な摩耗、橋体の垂れ下がりが生じており、メンテナンス、走行性への問題がクローズアップされている。建設当時、有ヒンジラーメン橋としては世界最大規模を誇った浜名大橋においても竣工からおよそ35年経過しており、これらの各症状が確認されてきたことから、耐震性能の向上及び走行性の改善を踏まえた大改修を行うものとし、これに関わる設計・施工に関わる取り組みを紹介するものである。

キーワード：PC有ヒンジラーメン箱桁橋、炭素繊維シート補強、高度技術提案型

1. はじめに

国道1号は、東京・大阪を結ぶ我が国有数の幹線道路であり、東西交通の大動脈として機能している重要路線で第1次緊急輸送道路に指定されている。国道1号浜名バイパスの一部を形成している「浜名大橋」は、中央径間部にヒンジ構造(左右対称の張出し構造の接続部を「ゲレンク沓」にて一体化)を有する5径間連続PCラーメン箱桁橋であり、中央径間長240mは現在も国内最大規模であるとともに、雄大な浜名湖と遠州灘を結ぶ「今切口」を跨ぐ地点に架橋され、その容姿・構造は土木遺産となるに相応しい橋梁である。



写真 1-1 「浜名大橋」空撮写真

2. 橋梁概要

橋 梁 名：浜名大橋
路 線 名：国道1号(浜名バイパス)
架 橋 地：浜松市西区舞阪町から湖西市新居町
完 成 年：1976年(昭和51年)
橋梁形式：5径間連続PC有ヒンジラーメン箱桁橋
下部構造：中空式柱橋脚
橋 長：631.8m
支 間 長：55.0+140.0+240.0+140.0+55.0(m)
有効幅員：9.0m(2車線)
※ 旧日本道路公団により建設。
2005年3月にバイパス無料化とともに国へ移管

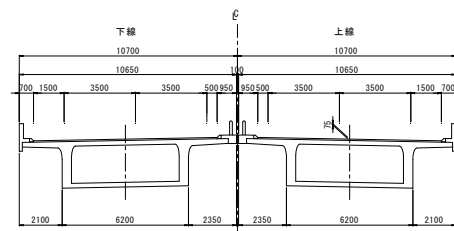


図 1-1 標準断面図

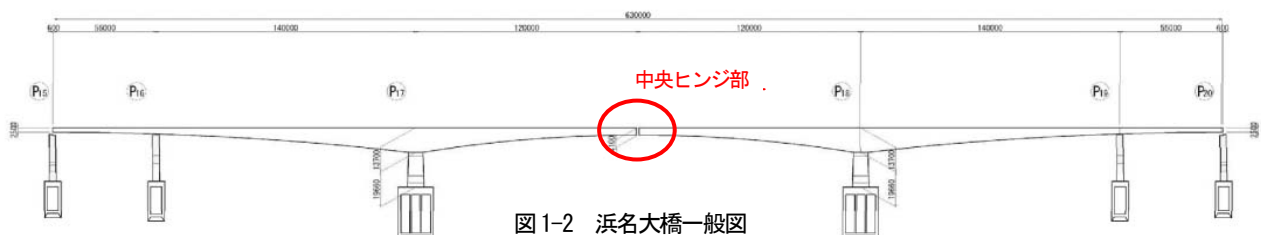


図 1-2 浜名大橋一般図

3. 浜名大橋の現状評価について

竣工からおよそ 35 年経過している浜名大橋の状況について、近年実施した点検、過年度の報告、また設計における評価について以下のとおりとりまとめた。

(1) 主な部材の損傷状況

主桁下面に剥離、鉄筋露出が多く見られる。

側面は桁端部において一部剥離はあるものの全体的に健全である。



写真3-1 主桁端部下面の鉄筋腐食による剥離・鉄筋露出

(2) 桁の調査

鉄筋の配筋かぶりについては、設計かぶり 5cm 以下の箇所が約 30%という結果で、設計値より浅い箇所が多く見られた。なお、コンクリート強度は 41~64N/mm² で設計基準強度以上は確保されている。

中性化深さは箱桁外側で最大 2mm と進行は遅いが、塩化物イオン量については、平均かぶり 3cm において鋼材腐食発生限界である 1.2kg/m³ に達していないものの過年度調査との比較においては増加傾向であった。

表 3-1 塩分調査結果の推移

試料			コンクリート表面 4.0cm~5.0cm の塩分量の経年変化		
			H3年	H11年	H18年
上り線 (海側)	桁側面 (南側)	塩分量(kg/m ³)	0.13	0.18	0.25
		増加率(%)	100	138	177
上り線 (湖側)	桁側面 (北側)	塩分量(kg/m ³)	0.20	0.31	0.41
		増加率(%)	100	155	205

(3) 中央ヒンジ部の垂れ下がり

竣工からおよそ 35 年経過しており、閉合時から約 80cm のたわみ量が発生しており、建設当時の設計たわみ量 60cm から更に 20cm 程度進行している状況である。

(閉合時から約 12 年で設計たわみ量を超過)

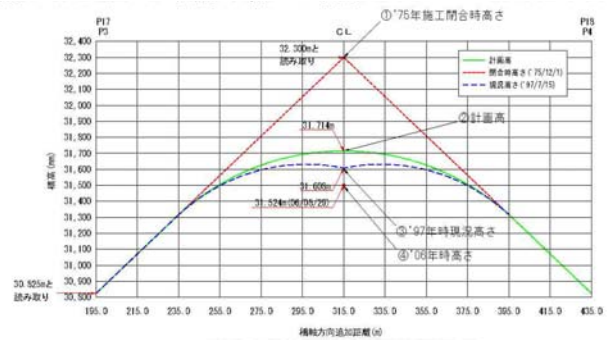


図3-1 中央軽間における現況高と計画高の比較



写真3-2 目地遊間が無くなり中央ヒンジ部壁高欄の破損
(1993年5月点検時の状況)



写真3-3 中央ヒンジ部
ゲレンク沓の状況

(4) 当初設計と現行設計の相違点

設計年次の違いにより現在の道路橋示方書にて照査すると、コンクリートが負担できるせん断力は、当初 $\sigma_a=2.0$ に対して現行 $k \cdot \tau_c=1.1$ となり、約半減することからせん断耐力が大きく不足する。

項目	当初	現行
適用示方書	道路橋耐震設計指針(S47)	現行道示コンクリート編(H13)を準拠
せん断力の計算方法	$S_c = \sigma_a \cdot b \cdot d$ σ_a : 許容斜引張応力度 2.0N/mm ² b: ウェブ厚 d: 部材有効高	$S_c = k \cdot \tau_c \cdot b \cdot d$ k: 係数 2.0 τ_c : コンクリートが負担できるせん断応力 0.55N/mm ² b: ウェブ厚 d: 部材有効高
設計地震力	静的解析 $k_h=0.28$ および 1968 十勝沖地震(M7.9) により算出	H13 年道路橋示方書レベル2により算出

4. 浜名大橋の設計にあたって

(1) 対策工の立案

浜名大橋の現状評価より、以下の対策について検討を行うものとした。

- ① 中央ヒンジ部の垂れ下がり対策
- ② 不足したせん断耐力に対する対策
- ③ 塩害対策 (予防保全)

(2) 設計のコンセプト

一般的に既存橋梁に対する補修・補強工事は外面への対策となるが、浜名大橋においては、以下の事項を考慮し、箱桁内面への施工を前提に設計を行った。

- ①PC 箱桁形式であり、桁内部に余裕があること。
- ②海面からの高さ、桁高を考慮すると外面からの施工では安全性、施工性において問題があること。
- ③桁外面より 2cm まで含有塩分量が多く、塩分除去の必要があること。
- ④海岸線に位置し、強風・塩害等の影響を受けやすい箇所であること。
- ⑤橋自体が浜名湖のモニュメント的な位置付けであり、景観を配慮する必要があること。

5. 補修工法について

(1) 中央ヒンジ部の連結化

中央ヒンジ部のひずみについてはほぼ収束したものの、直近の 15 年においては約 8cm のひずみが進行している。このため、ひずみの進行を抑制するため中央ヒンジ部を剛結し、構造系を「連続有ヒンジラーメン橋」から「連続ラーメン橋」に変更する対策を行った。

工法としては、有ヒンジラーメン橋の連結化工法として実績の多い箱桁内面における外ケーブル方式（ひずみ対策）及び PC 鋼棒（中央連結）による連結を採用した。

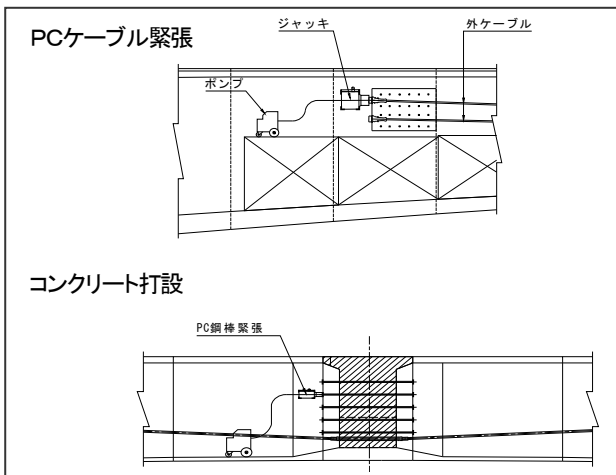


写真 5-1 箱桁内面における外ケーブル方式

(2) 上部工耐震補強

現況照査結果より、道路橋示方書レベル 2（タイプ II）地震における浜名大橋上部工においては中央ヒンジ部連結後において図 5-2 の箇所でも耐力が不足する。

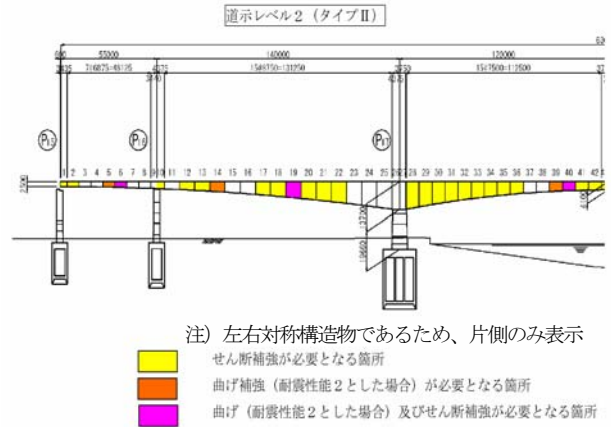


図 5-2 応力照査結果

【詳細結果】

- ①床版：直角方向地震時に上床版、下床版の 10% の部材でせん断耐力が不足する。
- ②主桁：橋軸方向地震時に 13% の部材で曲げに対して鉄筋降伏点を越える。（超過率は 1~2%）
橋軸方向地震時に 40% の部材でせん断耐力が不足する。

補強工法としては箱桁内面への施工を前提とし、また既存橋梁への荷重負担を極力抑えるべく「繊維シート接着工法」とし、使用材料については、不足せん断力が幅広く、また断面有効高さも 2.4m~11.1m と大きく変化するため、全体の施工枚数を減らすべく、引張強度の大きい「炭素繊維シート」とした。



片面貼りによる補強



図 5-3 繊維シート接着工法案 写真 5-1 炭素繊維シートによる耐震補強の例

炭素繊維シートによりせん断耐力の向上を図る工法は、強度が鋼材の約 10 倍、比重は約 1/4 と非常に軽量で、また主原料が炭素であることから耐腐食性に優れており、阪神淡路大震災以降、既設構造物の耐震補強工法として多くの実績がある。しかし、その殆どは RC 橋脚躯体への全面への巻き付け工法で、PC 箱桁断面への施工例は数例しか報告されていない。

箱桁断面に対しての補強については、その有効性や補強効果について必ずしも明らかにされていないことから浜名大橋上部工箱桁の縮小モデルを製作し、補強に使用する炭素繊維シートの補強効果について、その妥当性を確認する実証実験を行い、実際の補強工事に適用できるよう、具体的な条件を設定した。

6.せん断補強実験

実証実験は、日本大学理工学部の施設により以下のとおり実施した。

(1) 実験の目的

箱桁断面モデルのRC試験体の静的載荷試験を行い、炭素繊維シートによるせん断補強効果について確認することを目的とする。

- ①内面補強の有効性および破壊形態の確認
- ②必要補強量および補強量評価式の確認
- ③CFアンカー工法による定着方式の確認

(2) 定着方式の選定

炭素繊維シートによりせん断補強を行う場合、補強面を巻き付ける場合の実験については多くの文献があるものの、桁のウェブのみに貼り付けた実施例は少なく、ウェブに炭素繊維シートを貼り付けた実験結果は「炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針(案)」(平成11年12月 建設省土木研究所他)の「共同研究報告書」に記載されている。

報告書によると、シートの端部に機械式定着を用いることで、最大荷重による補強効果を得ることが可能となるとの結果が示されている。

以上のことから、浜名大橋の炭素繊維補強でもシート端部の定着は必要と考え、浜名大橋においてはウェブ上端がサークルハンチであることからフレキシブルに対応可能な「CFアンカー」定着方式を選定した。

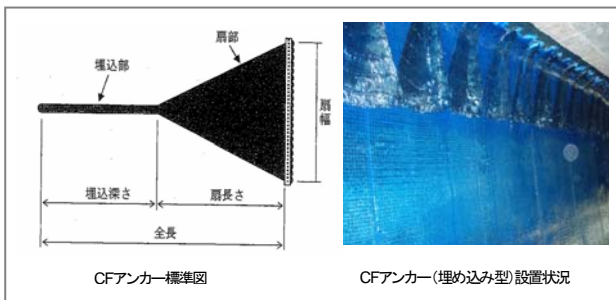


図6-1 CFアンカー

(3) 供試体断面

供試体サイズは、実験施設の規模およびシート貼り付け作業から、最もせん断耐力が不足する実橋断面の1/5スケールとし、無補強及び内部補強シートによる2ケースのものを作成した。

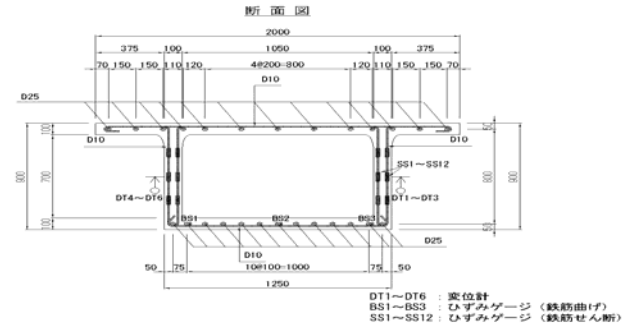


図6-2 供試体断面



写真6-1 試験体設置状況

写真6-2 載荷前状況

(4) 試験結果

○炭素繊維シートによる補強結果

- 炭素繊維補強により斜めひび割れ発生荷重が向上。(2%)
- 炭素繊維補強により帯鉄筋降伏荷重が向上。(56%)
- 斜めひび割れ幅は無補強時で2.0mm、補強時で1.2mmとなり、ひび割れ幅抑制効果を確認。
- 補強試験体の載荷試験で、炭素繊維は帯鉄筋と同時にひずみが発生することを確認。
- 最大荷重時の炭素繊維ひずみの最大値は5400μまで確認。(保証ひずみの約40%)
- 終局時に繊維シートの剥離、アンカー定着部の損傷は無し。

今回の実証実験から、浜名大橋における補修・補強工法(桁内部に連続繊維シートを接着し、せん断耐力を増加させる工法)として十分有効性があることを実験により確認ができた。

また、定着方式として選定した「CFアンカー」においても引き抜き、せん断等の問題が無かったことから、今回の浜名大橋における補強工法としては有効に補強効果が機能する適切な工法であると判断した。

7. 民間技術との調和

(1) 高度技術提案型の適用

国土交通省では、公平さを確保しつつ民間技術を活用して良質な工事目的物を調達するため、技術と価格の両面からみて最も優れた案を提示したものを落札者とする、総合評価落札方式による入札契約としている。

浜名大橋の補強工事は、長大橋（最大支間長＝240m）であり、施工にあたっては既設PC桁の一部取壊し・削孔を行う等の特殊性を考慮し、民間技術力の一層の活用を図るため、高度な施工技術や特殊な施工方法等の技術提案を受け付け、ヒアリングを通してその改善を求め、より良い品質と施工の合理化、社会的便益が向上することを期待し、高度技術提案型を採用した。

高度技術提案型の特徴としては

- ① 提案を受けた技術提案内容を、対話によってより効果的な提案に改善することが可能な点。
- ② 提出された技術提案内容を、中立な立場で公正な判断をする事が出来る学識経験者に意見を聞いた上で、最も優れた技術提案をもとに予定価格を算定することが可能である点。

があげられる。

高度技術型にはⅠ～Ⅲ型のタイプがあり、すべてのタイプにおいて施工方法や仮設方法の提案を求めるものである。今回は構造物本体の検討について標準案に対する提案としていることからⅢ型とした。

表7-1 高度技術提案型の形式及び形式選定の考え方について

形式	構造物本体の検討	仮設・施工方法	技術的難易度	検討期間
Ⅰ型	当該工事で設計	技術提案で民間技術のノウハウを活用	難	約3ヶ月
Ⅱ型	デザインビルド		やや難	約2ヶ月
Ⅲ型	標準構造 (発注者の標準案)		易	約1ヶ月

(2) 技術提案について

浜名大橋上部工の補修・補強工事については、前項までに整理した設計（標準案）に対し、工法自体特殊な施工であることから、標準技術による標準案に対し、高度な施工技術や特殊な施工方法の活用により、社会的便益が相当程度向上することを期待し、

- ・ 主桁連結工に伴う主桁の品質構造対策
- ・ 主桁連結工に伴う本線通行止め日数の短縮

の2点についての技術提案を受け付け、学識経験者にて構成する「浜名大橋専門部会」を通じて技術提案・対話を行った。

(3) 評価等

入札公告時と比較し

コスト 1.11

規制日数 0.50 ※標準案を1.0とした場合

という結果となった。

日当り交通量が44千台と、終日の交通規制が社会的に影響が大きい路線での規制日数が半減していることは大きな成果であった。一方コストについては1.11となったが、工事契約後において想定される設計・施工に関わる照査内容を事前に把握・修正することで契約後の照査が大きく省けるとともに、専門部会での対話において工法が確立されたことで、事前に問題解決に努めることができたため、技術提案にて求めた基本方針及び品質向上、社会的影響に関わる内容については満足できるものであった。また、今回の評価内容については、同一橋種である浜名大橋の下り線についての標準案が確立されたことでもあり、今後の発注において参考にしていきたいと考えている。

工事については、平成21年度に着手し、平成23年度に完了予定であり、今後浜名大橋と同様な補修・補強工事を行う際の標準案としての設計を確立できたと考える。

なお、設計の段階において対策事項としていた塩害については、工事段階において更なる塩化物イオン含有量調査、中性化調査、自然電位法調査を実施したところ、現状評価で整理しているH18度調査からの進行は見られなかったことから断面修復のみ実施し今回の補修・補強工事においては抜本的な対策は見送っている。

8. 今後の課題について

民間技術に関わる提案書の評価にあたっては、その特殊性から有識者による委員会（専門部会）を立ち上げている。このため、審査・評価に至るまで今回のケースでは約半年を費やしている。

今後、橋梁を含む道路構造物の修繕等においても同様に優れた民間技術を取り入れ、評価していくことは双方の技術力向上、またコスト縮減につながる事が想定されるため、評価機関の選定や手続き日数の短縮等、契約にかかるまでの手続きの緩和、これに関わる制度の確立が望まれる。

9. おわりに

今後 10 年から 20 年にかけて高度経済成長期（1955 年～73 年）に建設された橋梁が建設後 50 年以上となり、高齢化した橋梁が飛躍的に増大することが予想される。あわせて浜名大橋と同様の橋梁形式である有ヒンジラーメン橋も 1960 年から 80 年代にかけて多く建設されていることから、今回の報告が今後の補修・補強の検討について参考になれば幸いである。

謝辞：最後になりますが、今回の立証実験にあたりご協力をいただいた実験計画等に首都大学東京 都市環境学部 宇治 公隆 教授、載荷試験等に日本大学 理工学部 梅村 靖弘 教授をはじめ、設計検討においてご助言をいただいた土木研究所・国土技術政策総合研究所、ならびに「浜名大橋専門部会」の各委員の方々、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室 炭素繊維補修・補強工法技術研究会：コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ）－炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針（案）－，平成 11 年 12 月
- 2) 財団法人土木研究センター：建設技術審査照明報告書（建技審証 第 0603 号） 炭素繊維シート端部の定着材料「CF アンカー」，平成 18 年 11 月