

浜名大橋耐震補強の施工

— 大規模橋梁の耐震補強技術 —

井村 尚則*1・杉山 真一*2・福井 正*3・神 実晃*4

国道1号線浜名バイパスに架かる浜名大橋は、1973（昭和48）年から1976（昭和51）年にかけて設計・施工されたわが国有数の5径間連続有ヒンジラーメン橋である。その全体像は、静岡県浜名湖付近を通過する東海道新幹線の車窓からもよく望むことができる。この構造形式の橋梁は、当時の構造設計における解析レベルから1960～1980年代にかけて数多くが設計・施工されている。しかし、有ヒンジ部がもつ特有の構造から、現在では多くの同種橋梁で、ヒンジ沓の経年的な劣化や、場合によっては当初想定されている値を超える橋体の垂下りが生じており、メンテナンス性や走行性への問題がクローズアップされている。そのため浜名大橋においては、対応策として中央ヒンジ部の連結や構造系変更に伴う耐震補強を行う必要が生じた。そこで本稿は、浜名大橋における耐震補強工事の施工報告を行うものである。

キーワード：中央ヒンジ連結化、外ケーブル補強、耐震補強、炭素繊維シート、有ヒンジラーメン橋

1. はじめに

国道1号線浜名バイパスのほぼ中央に位置する浜名大橋（写真-1）は、浜名湖と遠州灘が通じる今切口を跨ぐ地点に建設された中央径間にヒンジ構造を有する5径間連続PCラーメン箱桁橋である^{1,2)}。本橋が有する中央径間長240mは、建設当時、コンクリート箱桁橋では世界最長スパンであり、現在でも中央径間250mの江島大橋（鳥取県境港市と島根県松江市に架橋）に次いで、国内2番目の規模となっている。

本橋は、昭和51年に竣工し、建設から現在までおよそ35年が経過している。近年の調査により、中央ヒンジ部は、クリープの影響により建設時代に想定した以上の垂下りが進行していることが報告されており、今後も進行するものと予想される。また、本橋の設計は昭和48年制定の道路橋示方書に基づいて行われているため、現行のB活荷重への対応も必要となる。以上より、中央ヒンジ部の垂下りやB活荷重への対応として、中央ヒンジ部を連結し、併せて外ケーブルによる補強を実施することとなった。ま

た、中央ヒンジを連結することで同時に耐震性向上の効果も図ることができる。

本橋の耐震設計は、道路橋耐震設計指針・同解説（昭和47年）に基づいて行われている。中央ヒンジ連結後の構造に対して現行の道路橋示方書のレベル2地震動および東海地震、東南海地震、南海地震の想定波に対してそれぞれ耐震性能の照査を実施したところ、上部工および橋脚において照査を満足しない結果となった。そのため、上部工に対して炭素繊維シートによる補強、橋脚に対して鋼板またはコンクリート巻立て補強を実施することとなった。

同種の補強工事は、全国において多数実施されているが、このような大規模橋梁の補強事例が少ないことから、中央ヒンジ連結、外ケーブル補強、外ケーブル定着突起部の性能確認実験および炭素繊維シート補強による耐震補強工事について報告する。なお、橋脚の耐震補強は過年度において工事が完了している。



写真 - 1 浜名大橋現況

*1 Naonori IMURA：オリエンタル白石(株)名古屋支店 施工技術部

*2 Shinichi SUGIYAMA：国土交通省 中部地方整備局 浜松河川国道事務所

*3 Tadashi FUKUI：オリエンタル白石(株)名古屋支店 施工技術部

*4 Mitsuaki Jin：オリエンタル白石(株)名古屋支店 施工技術部

2. 概 要

2.1 工事概要

本工事の概要と施工内容を表 - 1 に示す。また、浜名大橋の全景を写真 - 1 に、構造図を図 - 1 に示す。

工 事 名：平成 21 年度 1 号浜名大橋耐震補強工事

発 注 者：国土交通省 中部地方整備局

工 期：平成 22 年 3 月 12 日～平成 23 年 3 月 18 日

施工場所：静岡県浜松市西区舞阪町舞阪

～静岡県湖西市新居町新居

表 - 1 施工内容

工 種	種 別	備 考
主桁連結工	中央連結工, 外ケーブル工, 復旧工, 撤去工	定着突起部 確認試験
主桁補強工	炭素繊維シート補強工, 損傷補修工, 桁端伸縮継手工, 情報管路工, 仮設工	炭素繊維シート数量 5 204 m ²
切回し工	車線切回し工, 車線復旧工	
調査工	塩害調査等	

2.2 主桁連結工

中央ヒンジ部の主桁連結工は、上床版部のローリングリーフ式伸縮装置の撤去および上床版本体のはつり出しを行った。はつり出しが完了したところで、下床版部、主桁ウェブ部を順次コンクリート打設し、最後に新たな床版を施工し主桁を連結させた。そのため上り線側を全面通行止めとした。また、外ケーブル補強は既設ウェブに定着突起を設けて緊張を行なった。この外ケーブルの定着突起部は、性能を照査するために実物大の試験体による実験を行って確認した。

2.3 主桁補強工

道路橋示方書 V 耐震設計編（平成 14 年 3 月）のレベル 2 地震動での照査において、せん断耐力不足となっている主桁ウェブ部分の耐震性能を確保するため、箱桁内側のウェブ部分に炭素繊維シートを貼り補強を行なった（写真 - 2）。通信用光ケーブルなどが格納された情報管路は、橋軸方向に約 630 m あり、主桁ウェブ側面に設置されていたが、炭素繊維シートを貼るために下床版上に移設し、養生工を行った。

2.4 切回し工

本橋は上下線分離構造であり、上り線の中央ヒンジ連結

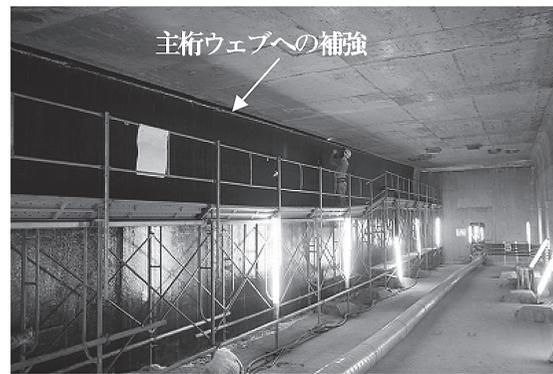


写真 - 2 主桁内の炭素繊維シート補強

工を施工するため上り線を全面通行止めとして、下り線を対面通行とした。その全面通行止めを行うために、アプローチ部分から本線の切回し工を先行させ、下り線側を対面通行の規制とした。規制方法は車線中央に置き基礎ガードレールを並べ車線分離を行った（写真 - 3）。



写真 - 3 上り線の対面通行

2.5 調査工

調査工は、耐震補強工事により施工する定着突起部と中央部に設けた吊足場、地表面から高所作業車を用いて行った（写真 - 4）。調査の対象は、浜名大橋の橋軸方向に 7 点を均等に分割し、断面方向で張出し床版下面、主桁側面と底面部分と定めた。また、調査目的として、塩化物イオン含有量、中性化深さ、鋼材の腐食度について、現状の詳細状態を把握するために行った。

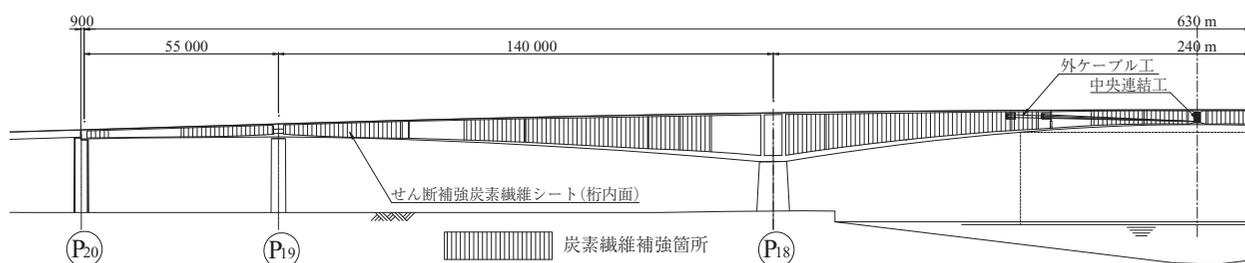


図 - 1 浜名大橋構造図

○ 工事報告 ○

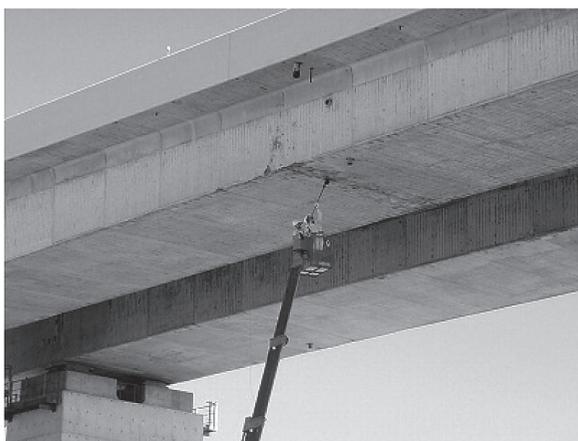


写真 - 4 調査状況

3. 耐震補強工事

耐震補強工事の工種には、主桁連結工（外ケーブル工・中央連結工）と主桁補強工（炭素繊維シート補強工）があり、以下にそれら工種を詳述する。

3.1 外ケーブル工

3.1.1 外ケーブル定着突起の製作

(1) 緊結用 PC 鋼棒配置孔の削孔

既設桁ウェブに定着突起を緊結するための PC 鋼棒配置孔を、コアボーリングマシンにより削孔した。削孔位置については、RC レーダおよび X 線により鋼材探査を行い、既設桁の鋼材に損傷を与えない位置とした。既設鋼材のために設計位置での削孔ができない場合は、配置間隔、縁端距離およびあと施工する外ケーブル定着突起の鋼材配置などを勘案して、適切な場所に削孔位置を変更した（写真 - 5）。



写真 - 5 主桁ウェブの削孔位置

(2) 補強鋼板の取付け

補強鋼板は、外ケーブルの緊張力に伴う主桁へ作用する引張応力の補強として配置している。この補強鋼板を桁内に搬入後、ケレン清掃した既設ウェブの所定位置に 5 mm のエポキシ樹脂注入空間を設けてアンカーボルトで固定した。その後、既設ウェブとの空間にエポキシ樹脂を充てんして補強鋼板を既設ウェブに接着した。定着突起の補強鋼

板取付け状態を写真 - 6 に示す。定着突起部の補強鋼板には、あと施工する定着突起コンクリートと補強鋼板の接合性能の向上を図るため、異形スタッドジベルを設けた。

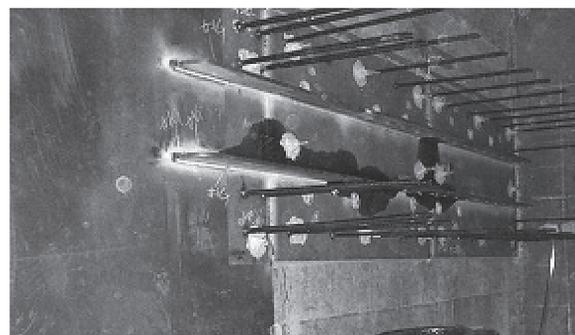


写真 - 6 エポキシ樹脂充てん

(3) 緊結用 PC 鋼棒の組立て

定着突起の配筋状態を写真 - 7 に示す。緊結用 PC 鋼棒 $\phi 32$ mm は、片側をデッドアンカーとして、コンクリート突起内に埋設し、シースを配置して主桁外側から緊張する。この PC 鋼棒による緊張力で、定着突起と主桁ウェブを圧着する構造である。



写真 - 7 定着突起の配筋

(4) コンクリートの施工

外ケーブルの定着突起は、定着具、定着具補強筋および定着突起と主桁ウェブを緊結する PC 鋼棒に加えて、外ケーブル緊張による主桁ウェブの変形を抑制するためのストラットの鉄筋が配置されており、写真 - 7 に示すような過密配筋となっている。よって、通常のスランプ管理のコンクリートでは密実な充てんは困難であると判断し、スランプフロー 50 cm のコンクリートを用いた。写真 - 8 に、使用したコンクリートのスランプフロー状態を示す。

(5) 緊結用 PC 鋼棒の緊張

緊結用 PC 鋼棒長は 800 mm 程度と非常に短い。一般に、長さの短い PC 鋼棒の場合、定着時（油圧ジャッキ解放時）に PC 鋼棒張力が低下する場合がある。これは、伸び量の小さい短い PC 鋼棒の場合、PC 鋼棒伸び量に対して、定



写真 - 8 スランプフロア 50 cm のコンクリート

着時における定着具の馴染みの影響が顕著になるためである。よって本工事では、試験体による試験緊張を行い、定着時における PC 鋼棒張力の低下量を事前に確認して本緊張に反映した。

(6) グラウトの施工

本工事では、プレミックスタイプの超低粘性型のグラウトを用いたことから、良好で確実なグラウトの充てんに加えて、練混ぜ作業の省力化を図ることができた。

3.1.2 外ケーブルの挿入

外ケーブル 19S15.2 の配置は、ターンテーブルを用いて挿入作業を行った。ケーブル支保工には、繊維混入フェルトやローラーコンベアを装着して外ケーブルを防護した。外ケーブルの箱桁内への挿入状況を写真 - 9 に示す。

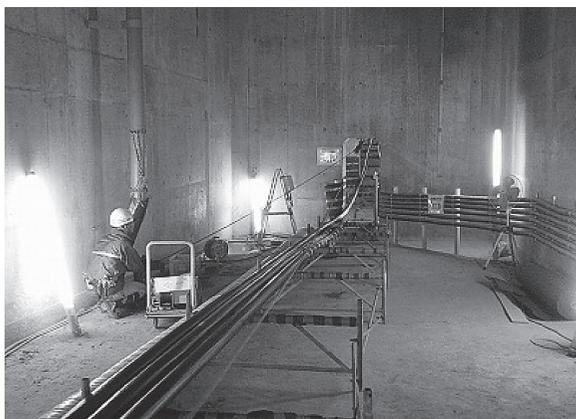


写真 - 9 外ケーブルの桁内搬入

3.1.3 外ケーブルの緊張

外ケーブル 19S15.2 の緊張は両引きで行った。1 パーティの構成は、油圧ジャッキ・油圧ポンプ・緊張従事者によるケーブルの緊張であったが、狭小空間での作業となったため、通常の緊張作業に比べ時間を要する結果となった。緊張作業の状況を写真 - 10 に示す。

3.2 中央連結工

中央ヒンジ部は 100 mm の遊間を有し、せん断力を伝達

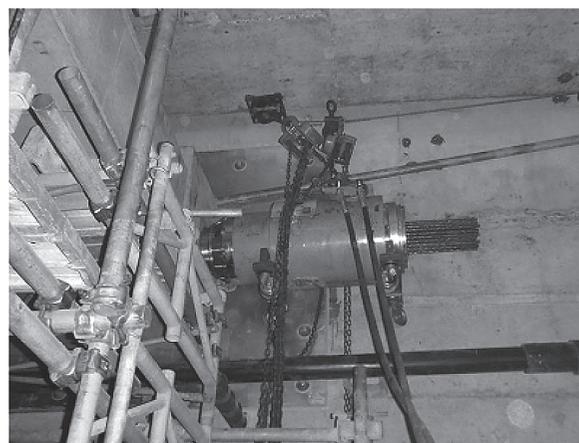


写真 - 10 狭小での緊張作業状況

するゲレンク沓 (写真 - 11) とローリングリーフ式伸縮継手 (図 - 2) により構成されている。中央連結工では、全面通行止めを行い、伸縮継手を撤去したのちコンクリートを施工し、外ケーブルによりプレストレスを導入してヒンジ部を剛結した。



写真 - 11 ゲレンク沓

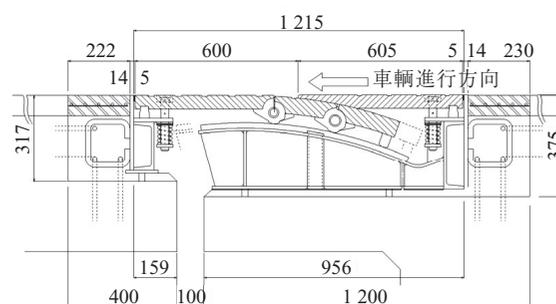


図 - 2 ローリングリーフ式伸縮継手

3.2.1 伸縮継手の撤去

伸縮継手の撤去は、橋軸直角方向の撤去部外縁に沿ってコンクリートカッターを入れたのち、コンクリートワイヤソー 2 台を用いて、伸縮継手を橋軸方向に 1 m 程度に切断してクレーンで撤去した。

○ 工事報告 ○

3.2.2 中央連結部のコンクリート施工

中央連結部のコンクリートは、橋面上にポンプ車を配置し、上床版側から打設した。

3.3 炭素繊維シート補強工

炭素繊維シート補強は、既設箱桁のウェブ内側に行った。炭素繊維シートの箱桁内への施工は、車線通行規制を要する吊足場が不要となるとともに、炭素繊維シートを構成するエポキシ樹脂の、紫外線劣化に対する保護塗装が不要となる。また、施工場所は風の強い海岸部に位置し、施工期間は冬期におよんだが、気象条件に影響をうけることなく作業を進めることができた。炭素繊維シートは、炭素繊維量が 200 g/m^2 (保証引張荷重 = 377 kN/m)、 300 g/m^2 (保証引張荷重 = 566 kN/m) および 400 g/m^2 (保証引張荷重 = 755 kN/m) の 3 種類であり、それぞれの炭素繊維シートの 1 層貼りと 2 層貼りの計 6 種類の炭素繊維シート補強を行った。施工手順は、①サンダーケレンによる下地処理工、②エポキシ樹脂によるプライマー工、③エポキシ樹脂パテによる不陸修正工、④含浸樹脂下塗り、⑤炭素繊維シート貼付け工、⑥含浸樹脂上塗り、の 6 工程であるが、2 層貼りの場合は④～⑥の工程を繰り返す。炭素繊維シート端部の既設構造物への定着には、埋込型 CF アンカーを用いた。埋込型 CF アンカーは、対象とする炭素繊維シートによって、炭素繊維ストランドを 40～130 本の範囲で束ねたもので、一方をコンクリート中に埋設定着し、他方を扇型に広げて炭素繊維シート上に接着するものである。炭素繊維シート補強の状況および CF アンカー状況を写真 - 12 に示す。



写真 - 12 CF アンカーの施工

4. 外ケーブル定着突起の性能確認実験

外ケーブル定着突起は、主桁ウェブに取り付けた補強鋼板にコンクリートを後打ち打設することにより製作される。外ケーブルの定着部はプレストレスの伝達にもっとも重要な部分であることから、施工に先立ち、定着部の構造安全性を確認するための実験を実施した。本章では、その概要について報告する。

4.1 接合面の摩擦係数に関する実験

定着突起は PC 鋼棒で主桁ウェブに緊結する摩擦接合として設計しており、一般的に用いられるコンクリートと鋼

板の摩擦係数 0.5 として PC 鋼棒の緊結力や本数を決定している。しかしながら、従来のコンクリートの打継ぎによる接合と異なり、定着突起と主桁ウェブの接合面には補強鋼板が取り付けられていることから、定着部を模した試験体を用いて摩擦係数の妥当性を確認した。試験体形状を図 - 3 に示す。試験体は、主桁ウェブを模擬したコンクリート部と定着突起部で構成し、実施工と同じ手順で製作した。荷重は、PC 鋼棒で定着突起部を主桁コンクリート部に緊結した後、定着突起部に水平荷重を与えた。摩擦係数は水平荷重と緊結力の関係から算出した。その結果、摩擦係数 0.5 以上の値が得られ、定着突起の設計における摩擦係数の妥当性を確認した。

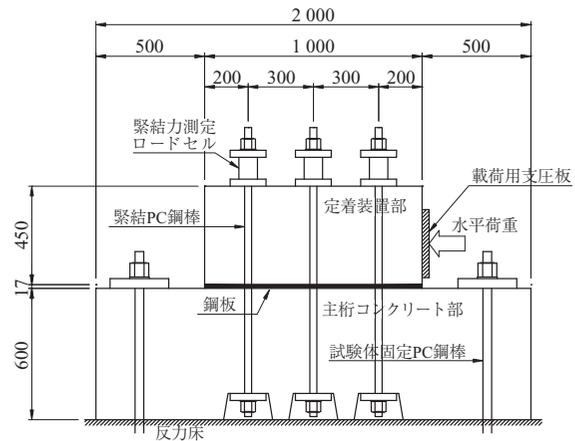


図 - 3 摩擦試験体の形状

4.2 補強鋼板のはく離に関する実験

定着部の主桁ウェブは、外ケーブルの張力により面外に曲げ変形することから、定着部に取り付けた補強鋼板の端部がはく離することが懸念された。そこで、主桁ウェブの応力分布を曲げ試験体に置き換え、曲げ荷重することによって補強鋼板のはく離の有無を確認した。試験体形状を図 - 4 に示す。荷重は実施工の外ケーブル緊張直後相当における応力分布となるまで行った。その結果、残留ひずみや残留変位など見られず弾性的な挙動を示し、ひび割れや補強鋼板のはく離も認められなかった。

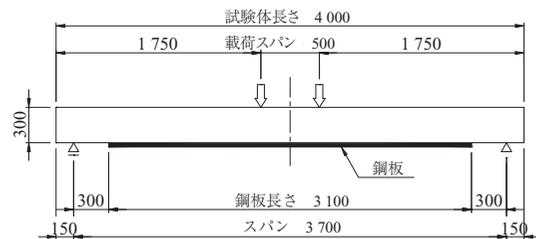


図 - 4 曲げ試験体の形状

4.3 実物大実験

以上の実験結果をふまえ、定着部の実物大試験体による確認実験を行った。実物大試験体を写真 - 13 に示す。実物の外ケーブルを配置し、緊張ジャッキによって実施工と



写真 - 13 実物大試験体

同じ設計緊張力 2 700 kN 程度を与えることで試験体に载荷した。その結果、定着突起の PC 鋼棒の緊結力の増加はなく、浮きやずれなどの変状も認められなかった。また、補強鋼板のはく離も認められなかった。定着部におけるひずみ分布や変位分布は、試験体の FEM 解析値に対しおおむね一致しており、解析の再現性も確認できた。

5. 耐久性調査

本橋は、浜名湖と太平洋が接続する「今切口」を跨ぐ位置にあり、道路橋示方書に規定される塩害対策区分 S の構造物である。そこで、今回の耐震補強工事に併せて、今後の維持管理対策の方針決定に資することを目的とし、橋梁の耐久性に関する調査を行った。以下に、主な調査内容と結果の概要を述べる。

5.1 中性化

中性化深さの調査は、海側と山側のウェブおよび下床版の 28 箇所から採取したコンクリートコアを用い、JIS A 1152 の方法に準じて行った。コアの円周方向の 8 測点で中性化深さの測定を行い、その平均値をもって中性化深さとした。

図 - 5 は、中性化深さの測定結果を深さごとの 5 段階の相対度数 (%) で示したものである。全測点の中性化深さの平均値は 0.5 mm であり、中性化がまったく進行していない測点も多数見られた。また、最大値でも 2.0 mm であり、中性化はほとんど進んでいなかった。これは、使用されているコンクリートの水セメント比が小さく密実であったことを反映している。なお、中性化深さの平均値から、岸谷式³⁾によってコンクリートの水セメント比を試算したところ、39%であった。

5.2 塩化物イオン含有量

コンクリートに含まれる塩化物イオン量は、コアを用いた JCI-SC5 の方法 (主橋の 28 測点) およびドリル削孔粉を用いた迅速法⁴⁾ (主橋およびアプローチの全 60 測点) により分析を行った。

図 - 6 は、主橋の主桁断面における測定結果の例である。橋梁全体の状況を判断するため、全測点の塩化物イオン量分布について、土木学会の拡散方程式⁵⁾を適用して

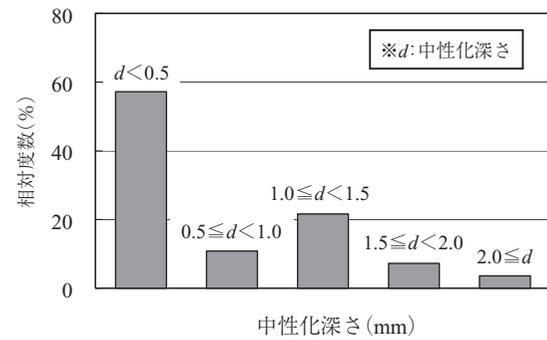


図 - 5 中性化深さの調査結果

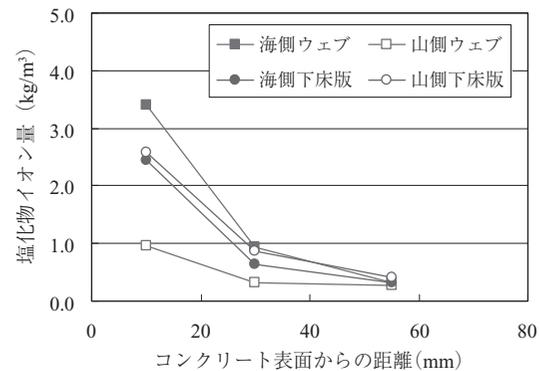


図 - 6 主橋断面における塩化物イオン量分布の測定例

近似させることにより、表面塩化物イオン量や拡散係数の推定を行った。主橋およびアプローチ別の平均値を表 - 2 に示す。なお、鉄筋表面は、別途行ったかぶりの調査結果から、コンクリート表面から 30 mm の位置と仮定した。主橋およびアプローチのコンクリート表面の塩化物イオン量は、それぞれ 4.52 kg/m³ および 2.27 kg/m³ であった。主橋は「今切口」の海上を跨いでおり、アプローチは海岸線から 100 ~ 200 m 程度の砂浜に位置するため、環境条件の差異が表面塩化物イオン量の差に現れたと考えられる。

表 - 2 拡散方程式による推定結果

		主橋	アプローチ
塩化物イオン量 (kg/m ³)	コンクリート表面	4.52	2.27
	鉄筋表面	0.35	0.51
	初期量	0.13	0.18
塩化物イオンの拡散係数 (cm ² /year)		0.028	0.074

鉄筋表面の塩化物イオン量は、0.5 kg/m³ 程度以下で鋼材腐食発生限界⁵⁾とされる 1.2 kg/m³ に比べて十分小さい結果であった。しかしながら、調査を行った 88 測点のうち、すでに鉄筋表面の塩化物イオン量が 1.2 kg/m³ を超えている測点が 2 箇所あった。また、浜名大橋は、国道 1 号のバイパスに架かる重要な橋梁であることから、今後の維持管理方針の検討に資するため、土木学会の拡散方程式による全測点の将来予測を行った。主橋の鉄筋表面における塩化物イオン量予測値の平均値を、測定部位ごとに図 - 7

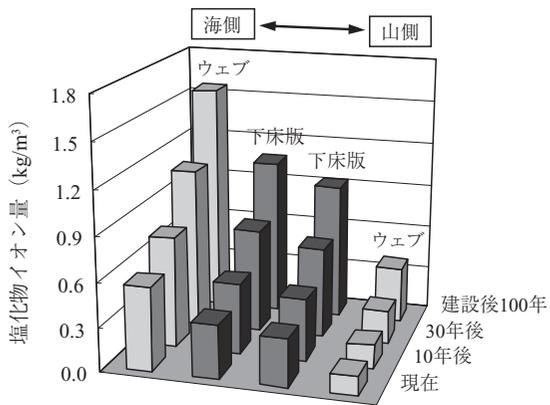


図 - 7 鉄筋表面の塩化物イオン量の将来予測

に示す。非常にゆっくりした速度ではあるが、鉄筋表面の塩化物イオン量が経過年数とともに増加していくことがうかがえる。平均値であっても、建設後100年（現在から66年後）には、海側のウェブでは、鋼材腐食発生限界量の 1.2 kg/m^3 を超えることが予測される。今現在、構造物の鉄筋腐食が開始していないとしても、かぶりや塩化物イオンの浸透にはばらつきがあることから、近い将来腐食し始める可能性がある。構造物の重要度からも、早期の塩害劣化に対する予防保全の実施が望まれる。

6. おわりに

本工事では、劣化損傷の要因となりやすいヒンジ部について、連結化によりメンテナンスコストの低減を図った。また、想定される東海地震に対して、炭素繊維補強による安全性の確保を図った。予防的な保全工事や、適切な維持管理による社会資本ストックの長寿命化対策は、これからの社会資本整備事業において必要不可欠である。本報告が、今後同種工事を行ううえで、わずかでも参考になれば幸いである。

最後になりましたが、本工事にあたり、多大なご協力をいただきました。国土交通省中部地方整備局浜松国道事務所浜松維持出張所立川所長をはじめ、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木慎治, 石丸征男: 浜名大橋の設計について, プレストレストコンクリート Vol.17, No.02, pp.20-29, 1975.4
- 2) 鈴木慎治, 石丸征男, 根本文夫, 鷹尾武: 浜名大橋上部工の施工について, プレストレストコンクリート Vol.18, No.06, pp.1-12, 1976.12
- 3) 岸谷幸一, 西澤紀昭 他編: コンクリート構造物の耐久性シリーズ 中性化, 技報堂出版, pp.36-37, 1979. クリート橋編, pp.171-175, 2002.3
- 4) 後藤年芳, 近藤英彦, 野島昭二: 硬化コンクリート中の全塩化物イオン濃度迅速測定法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.785-790, 2010
- 5) 土木学会: 2007年制定 コンクリート標準示方書 設計編, pp.110-122, 2007.3

【2011年2月24日受付】



図書案内

National Report

The Third fib Congress 2010

Washington D.C. USA (英・和文併記)

2010年5月

頒布価格: 定 価 6,000 円 / 送料 500 円
: 会員特価 5,000 円 / 送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会