

四国横断自動車道 吉野川大橋（仮称） の計画・設計

山口 統央*1・今村 壮宏*2・佐々木 優介*3・諸橋 明*4

四国横断自動車道 吉野川大橋（仮称）は、徳島県を東西に流れる吉野川の河口に建設される橋長 1 696.5 m の PC 15 径間連続箱桁橋である。吉野川河口部には、多種多様な生物が生息・生育しているため、環境へ配慮した基本計画の結果、最大支間長 130 m の桁橋形式で補助桁併用の場所打ち張出し架設工法が採用された。また、維持管理性向上のため、中央 5 径間にラーメン構造が採用された。本橋の建設工事が上下部工一体で発注されたあとに、工期短縮が求められ、基本計画での場所打ち張出し架設工法がプレキャストセグメントを用いたバランスドカンチレバー工法に変更となった。プレキャストセグメント工法を採用するに伴い、桁高や PC 鋼材配置等を見直した。さらに固定支間長 650 m のラーメン構造を成立させるために、桁に水平力を与えた状態で閉合する方法（水平加力工法）を採用した。また架橋地は南海トラフ地震の影響を受けることから、当該地震に対する照査が実施され、耐震性向上のための無緊張鋼材を配置した。本稿では吉野川大橋（仮称）の橋梁計画と上部構造の設計について報告する。

キーワード：プレキャストセグメント工法、環境配慮、ラーメン構造、高強度 PC 鋼材

1. はじめに

四国横断自動車道 阿南四万十線は、徳島県阿南市を起点とし香川・愛媛・高知の各県を結び高知県四万十市に至る延長約 312 km の高速道路である。このうち、徳島東 IC（仮称）～徳島 JCT（仮称）間の約 4.7 km は、高松道・徳島道と新直轄方式で整備されている阿南～徳島東間を結ぶ事業区間である。本事業により、四国東部における広域ネットワークの構築、地域間交流の強化、沿線道路の渋滞緩和ならびに災害時の代替機能の強化が期待されている（図 - 1）。

吉野川大橋（仮称）は、四国横断自動車道 徳島 JCT の南方 3 km に位置し、徳島県を東西に流れる吉野川の河口に建設される橋長 1 696.5 m の PC 15 径間連続箱桁橋である。本橋の基本計画は、吉野川河口部の環境保全対策および橋梁形式の選定のための検討会で策定された。基本計画に盛り込まれた事項として、鳥類の飛翔と河川流況を阻害しない最大支間長 130 m の桁橋形式（環境配慮）、河川内での作業をなくすことにより環境負荷低減と出水期も工事を行い工期短縮を図るため、栈橋を使わず上部構造を施工するための補助桁併用場所打ち張出し架設工法、支承のメンテナンスを軽減するための中央 5 径間のラーメン構造（維持管理性向上）があげられる。

基本計画策定後、吉野川大橋（仮称）の建設工事は上下部工一体で発注された。発注後に明らかになったさまざまな課題から工期短縮が必要となり、場所打ち張出し架設工法からプレキャストセグメントを用いたバランスドカンチ

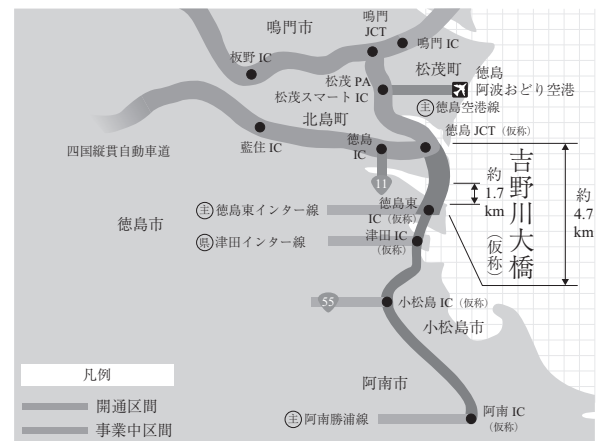


図 - 1 橋梁位置図

レバー工法へ変更された。また、維持管理性向上を目的とした基本計画、すなわち P4～P9 を剛結構造とした固定支間長 650 m のラーメン構造を成立させるために、基本計画では後ラーメン工法や仮設外ケーブル、水平加力工法を併用していたが、国内最大規模での水平加力工法に集約して工期短縮を図った。

本稿では、吉野川大橋（仮称）の橋梁計画・設計について報告する。

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

工事名：四国横断自動車道 吉野川大橋工事

*1 Tsunehisa YAMAGUCHI：鹿島・三井住友・東洋 JV（鹿島建設（株）四国支店）

*2 Takehiro IMAMURA：西日本高速道路（株）四国支社 徳島工事事務所

*3 Yusuke SASAKI：鹿島建設（株）土木設計本部 構造設計部

*4 Akira MOROHASHI：三井住友建設（株）土木本部 土木設計部

○ 設計報告 ○

発注者：西日本高速道路(株) 四国支社
 施工者：鹿島建設・三井住友建設・東洋建設共同企業体

工事場所：徳島県徳島市川内町旭野～東沖洲
 工期：2016年2月3日～2020年1月12日

2.2 構造概要

本橋の橋梁諸元を以下に示す。また、橋梁一般図を図-2に、主桁断面図を図-3に示す。

構造形式：PC 15 径間連続箱桁橋

橋長：1 696.5 m

支間長：95.5+11@130.0+78.0+2@45.0 m

有効幅員： $W=9.52$ m

桁高： $h=3.0$ m～8.0 m

横断勾配：2.5～3.0 %

平面線形： $R=2 000\sim A=700\sim R=\infty\sim R=7 000$

設計荷重：B 活荷重

架設工法：プレキャストセグメント工法による張出し架設、固定式支保工

下部工：柱式橋脚、逆T式およびラーメン橋台

基礎工：鋼管矢板井筒基礎、鋼管杭

3. 周辺環境に配慮した基本計画・構造

3.1 渡河部の環境保全に配慮した構造

本橋が横過する吉野川河口部には多種多様な希少生物が生息・生育し、渡り鳥のシギ・チドリ類が飛来する希少な湿地が存在することから、専門家から必要な指導を得るための「四国横断自動車道 吉野川渡河部の環境保全に関する検討会」が設置され、環境保全対策が検討されるとともに、橋梁形式が選定された。

形式選定において、基礎工および下部工による橋脚周辺の地形改変を極力少なくするため、橋脚数の削減が求められた。鋼橋を採用すれば橋脚数を減らせるが、上部構造を台船で架設することになり、結果として浚渫規模が大きくなる。また、主塔や斜材で構成される斜張橋やエクストラドーズド橋は渡り鳥の飛翔を阻害する。よって、上部構造の施工時に大規模な浚渫が不要で主塔や斜材のないPC箱桁形式が採用された。鳥類に与える飛翔阻害のイメージ

を図-4に、各橋梁形式の吉野川河口部の周辺環境に与える影響度を図-5に示す。

3.2 塩害環境に対する高い耐久性を確保した構造

架橋位置の塩害対策区分がS¹であるため、必要なかぶりを確保したうえで塩分が付着しにくい断面形状（サークルハンチ、下床版端部のR面取りおよび斜めウェブ）が採用された（図-3）。これにより、主桁表面積が3%削減され、塩害に対する耐久性の向上が図られた。また、エポキシ樹脂被覆PC鋼材およびエポキシ樹脂塗装鉄筋が採用され、鋼材自体の腐食が直接的に抑制された。

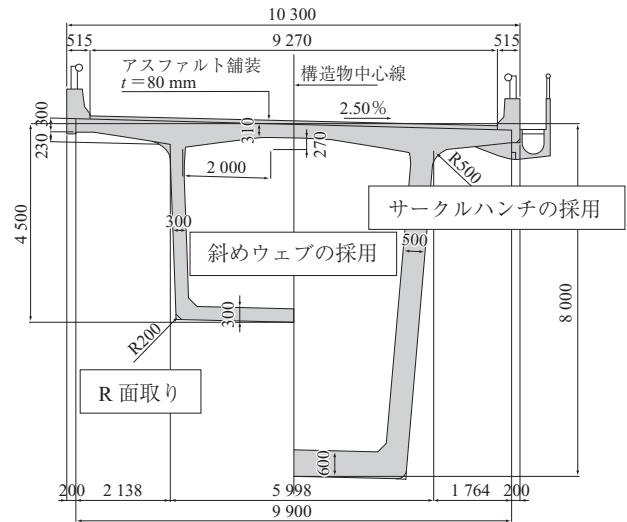


図-3 主桁断面図 (単位; mm)

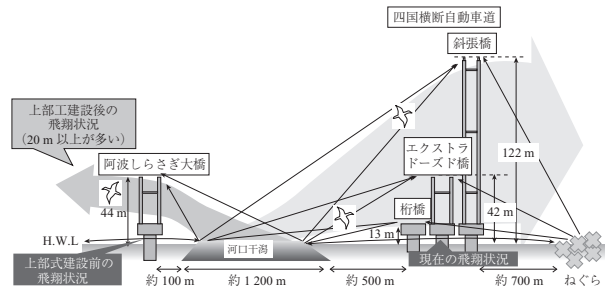


図-4 鳥類に与える飛翔阻害のイメージ

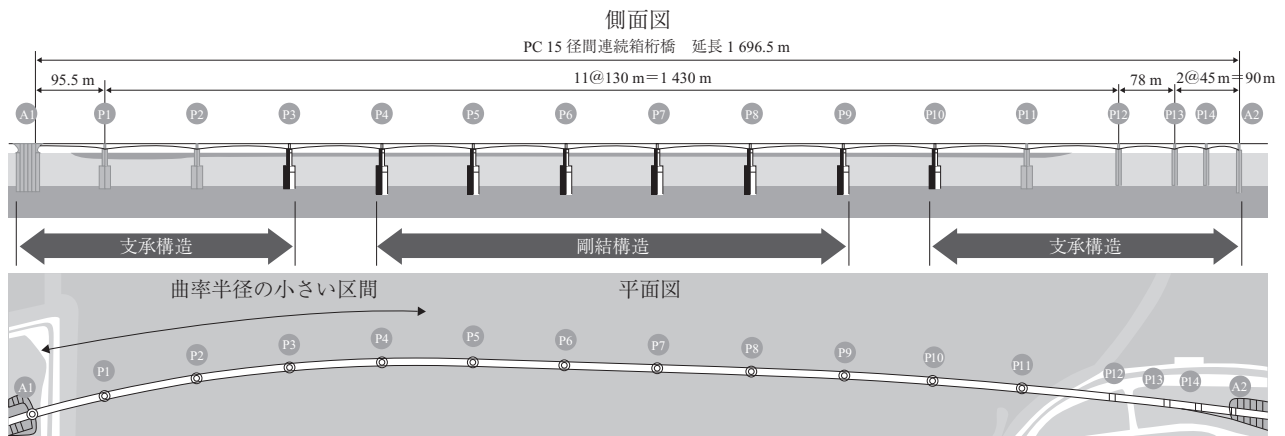


図-2 橋梁一般図

	形式 (事業費の比率)	略 図	地形改変		鳥類への影響	吉野川河口部の周辺環境に与える影響度
			施工時の浚渫	流況		
↑ 橋脚数 ↑	桁橋 コンクリート	(1.03 ~ 1.05)		大	小	大
	鋼製桁橋	(1.00 ~ 1.06)		下部工施工時の浚渫: 小 上部工施工時の浚渫: 大	大	小
	ドームストラ ード橋	(1.34)		大	大	大
	斜張橋	(2.67)		小	小	大

図 - 5 各橋梁形式の吉野川河口部の周辺環境に与える影響度

4. プレキャストセグメントの採用

本工事の基本計画では、出水期にも上部構造を施工するため、橋脚間に鋼製の補助桁を架設して栈橋として利用する補助桁併用場所打ち張出し架設工法が採用された。しかしながら、先行する河川内作業の稼働率が想定よりも低く下部工に遅延が生じたことやA1側の用地買収が遅れたことから、発注工期内の工事完了が困難と予想された。そこで、工期短縮を主目的として上部構造にプレキャストセグメントを採用した。

4.1 プレキャストセグメントの製作・架設計画

実施計画においては、架設桁によるバランスドカンチレバー架設(写真-1)を基本とし、平面の曲率半径が小さく架設桁の移動が煩雑なP1からP4ではエレクションノーズと台船による架設(写真-2)を採用した。この結果、場所打ち張出し工法から1年半の工期短縮が可能となった。

プレキャストセグメントは、A2背面本線盛土横(第1製作ヤード(架設桁架設用))と近隣の港湾岸壁横(第2製作ヤード(エレクションノーズ架設用))の2箇所で作成される。両製作ヤードとも地盤が軟弱なため、ロングラインマッチキャスト方式の製作設備では、広範囲に沈下対策が必要となる。そこで、本工事では沈下対策範囲の最小化が可能なショートラインマッチキャスト方式を採用した。第1製作ヤードから架設桁までは、架設済みの橋面上に軌道を設け、運搬台車でプレキャストセグメントを運搬する。一方、第2製作ヤードから架橋地点までは、プレキャストセグメントを台船にて海上運搬する。

プレキャストセグメントの採用にあたっては、製作効率の向上を目的に、構造を次のように変更した。

- 1) 河川内の桁高変化を統一(8.0m~4.5m)
- 2) 柱頭部長を統一(8m)
- 3) 各セグメント長を統一(張出ブロック数; 20BL = 2.25m × 7BL + 3.0m × 4BL + 3.5m × 9BL)

4.2 プレキャストセグメント採用のメリット

プレキャストセグメント採用による工期短縮以外のメリットを以下に示す。



写真 - 1 架設桁によるバランスドカンチレバー架設例³⁾



写真 - 2 エレクションノーズによる張出し架設例²⁾

(1) コンクリートの品質向上

塩害環境下に建設される本橋には、高い耐久性が求められる。補助桁による場所打ち張出し架設では、コンクリートの水平圧送距離が最大で580mとなるため大きなスランプロスが生じること、圧送性を改善するため単位水量・単位セメント量の増加に起因する温度応力や乾燥収縮によるひび割れ発生が懸念された。これらは、プレキャストセグメントの採用により、上部構造の大部分が陸上の安定した

施工環境で製作されるため、上記リスクが低減される。

(2) 汚濁水漏出リスクの低減

場所打ち張出し架設では、河川上でコンクリートの打込み・養生を行うため、それに伴う汚濁水が発生する。吉野川河口では環境保全のため、この汚濁水を確実に回収する必要があった。これらは、プレキャストセグメントの採用により、河川に汚濁水が漏出するリスクが低減される。

(3) エレクションノーズによる架設の簡素化

図 - 2 の平面図に示すとおり、補助桁による張出し架設を行うには A1 - P4 径間は曲率半径 ($R=2000\text{ m}$) が小さい。基本計画に従った A1 側からの補助桁の送出しでは、縦送り、横取り、回転を 1 回の送出しで複数回実施することとなり、送出し作業が煩雑となる。一方で、A1 - P4 径間の水深では、浚渫なしに台船を使用できる。よって、実施計画では、エレクションノーズと台船によるセグメントの架設とし、架設作業が簡素化された。

5. ラーメン構造成立のための水平加力工法の採用

5.1 固定支間長と橋脚高さの国内実績

本橋の中央 5 径間は、前述のとおりラーメン構造（固定支間長 650 m）となっている。過去の橋梁の固定支間長と橋脚高さの関係を図 - 6 に示す。過去の実績と本橋を比較すると、固定支間長 (LF) / 橋脚高さ (H) が大きいことが分かる。

LF/H が大きいラーメン構造では、クリープ・乾燥収縮の影響により橋脚に大きな断面力が発生するため、構造の成立には、この断面力の低減が必要となる。

5.2 水平加力工法の採用

クリープ・乾燥収縮による橋脚への影響を低減するため、基本計画では、水平加力工法、後ラーメン工法および仮設外ケーブルが採用されていた。一方実施計画では、プレキ

ャストセグメントの採用により、主桁のクリープ・乾燥収縮の影響が小さくなっていることから、水平加力工法のみでラーメン構造が成立した。持続荷重載荷までのコンクリート材齢を進行させるため、すべてのプレキャストセグメントに 3 か月以上の仮置き期間を設けている。

水平加力はラーメン構造区間の閉合部 4 箇所を与えられる。位置および水平加力の大きさを図 - 7 に示す。水平加力は、P8 - P9 径間で最大 (17 000 kN) となり、過去の実績と比較して国内最大級である。

水平加力が与えられる閉合部の施工は、閉合後のクリープ変形を小さくするため、上部構造架設工程の最終段階となるが、プレキャストセグメントを採用する本工事では、当該閉合部上もセグメントが運搬される。このため、せん断力のみが伝達されるような仮支持方法で閉合することとした。閉合部セグメントの仮支持方法を図 - 8 に示す。

6. プレキャスト化に伴う PC 鋼材配置の見直し

6.1 内ケーブル

大型移動作業車による場所打ち張出し架設が採用された基本計画時では、片側張出しブロック数が 14 から 16 であった。張出し鋼材は、最大配置の箇所の上床版内ケーブル 38 本（高強度 PC 鋼材 12S15.7）と張出し架設外ケーブル 16 本（19S15.2）、ウェブケーブル 8 本（プレグラウトタイプ 1S28.6）であった。これに対し、実施計画では、プレキャストセグメントを採用したことで、大型移動作業車が不要となったこと、片側張出しブロック数が 20 となり上床版内ケーブルの定着箇所が増加したことから、上床版内ケーブル（高強度 PC 鋼材 12S15.7）のみの配置とすることができた（最大配置 48 本）。

6.2 外ケーブル

連結外ケーブルの本数は、主に完成後の支間中央の下縁

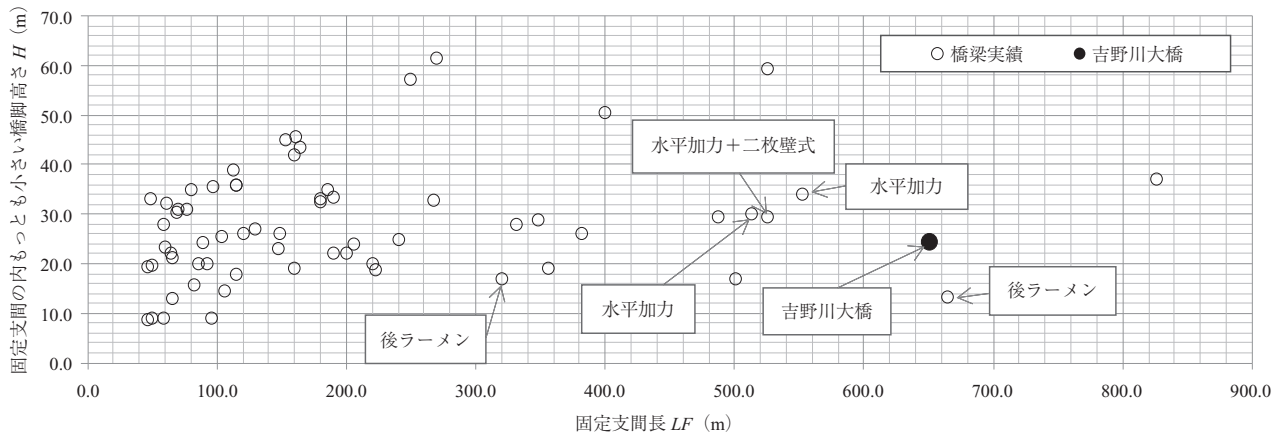


図 - 6 固定支間長と橋脚高さの国内実績⁴⁾ (2000 年以降竣工の実績を加筆)

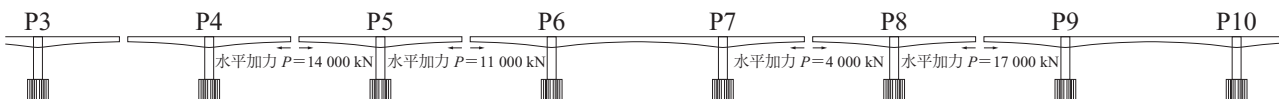


図 - 7 水平加力位置と水平加力量

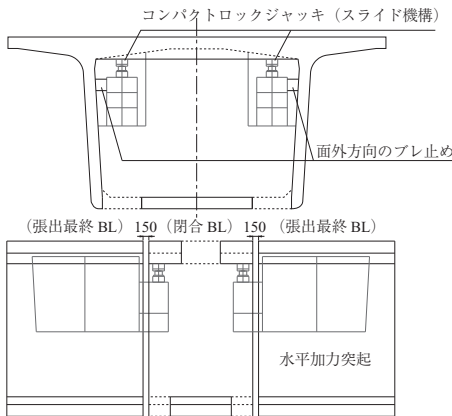


図 - 8 閉合部の仮支持方法

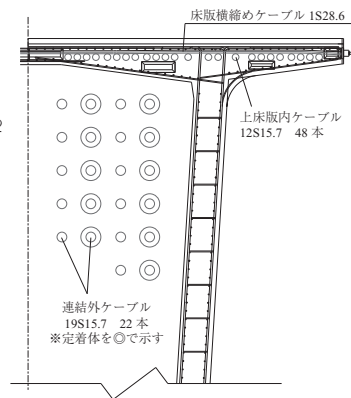


図 - 9 PC 鋼材の配置断面図

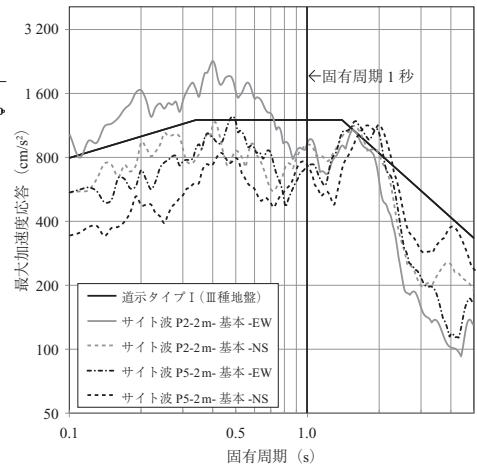


図 - 10 加速度応答スペクトル (減衰 5%)

引張応力から決定される。場所打ち工法での主桁下縁の応力度の制限値は設計荷重時で -1.8 N/mm^2 であるが、プレキャストセグメント工法では、 0.0 N/mm^2 である。よって、引張応力の発生が許容されなくなり外ケーブルの追加配置が必要となる。基本計画では1径間最大18本配置とされていた外ケーブル(高強度PC鋼材19S15.7)が、実施計画で22本配置になり、外ケーブルの全体重量は基本設計から22%増加した。PC鋼材の配置断面図を図-9に示す。

7. 南海トラフ地震を考慮した耐震対策

7.1 南海トラフ地震の検討

本橋が位置する徳島県は、南海トラフ地震の影響を受ける。「南海トラフの巨大地震モデル検討会」(2011年8月~)⁵⁾において東日本大震災を踏まえて、従来の震源域を沖合・陸側および日向灘まで拡張したM9.0レベルの巨大ケースが検討され、内閣府より2012年8月に震度分布や基盤地震動の波形データが公表されている。基本計画時点から、道路橋示方書・同解説⁶⁾に示される地震波(以降、道示波)と、内閣府公表の波形データから作成した地震波(以降、サイト波)に対する耐震性を照査した。

図-10に加速度応答スペクトル(減衰5%)を示す。道示波(タイプI, Ⅲ種地盤)と比較すると、サイト波P2(基本, EW), P2(基本, NS), P5(基本, EW), P5(基本, NS)の4波は、短周期や周期2秒付近で最大加速度応答が道示波を上回る部分も見られたが、本橋の固有周期

1秒付近では、下回っている。加速度波形を図-11に示す。

実施計画における橋軸方向のサイト波に対する非線形応答解析結果を図-12に示す。サイト波の応答は、道示波

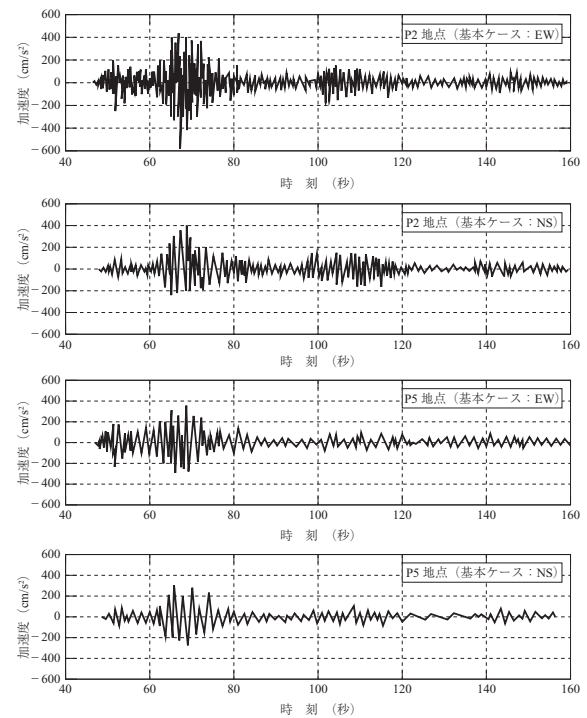


図 - 11 加速度波形

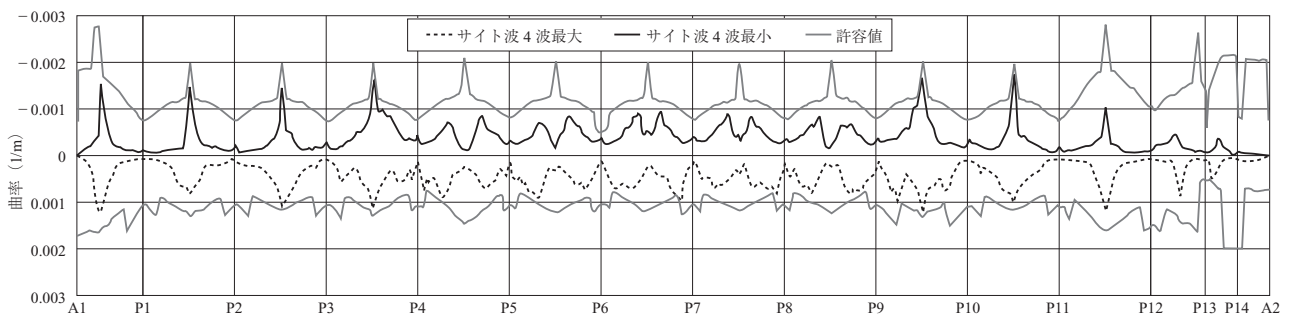


図 - 12 非線形応答解析結果

○ 設計報告 ○

で決定された許容値よりも小さくなったため、ウェブ厚や下床版厚、PC 鋼材量、橋脚の鉄筋量がサイト波によって決定することはなかった。

7.2 無緊張鋼材の配置

張出し架設される PC 橋では、一般にスパン中央の下床版と、柱頭部近傍の上床版に内ケーブルが配置される。しかし、ラーメン構造では橋に地震力が作用すると、設計荷重時と逆の曲げモーメントが作用する。場所打ちされる PC 橋では、スパン中央の上床版と、柱頭部近傍の下床版に引張応力が発生する場合、補強鉄筋にて対処できるが、本橋ではプレキャストセグメントを使用するため、セグメント間に連続した鉄筋が配置されない。このため、設計荷重時と逆の曲げモーメントに対して、スパン中央の上縁側と、柱頭部近傍の下縁側にプレストレスを導入せず、地震時の引張抵抗材となる無緊張鋼材を配置した。スパン中央付近の上床版には定着突起を設けて 12S15.2 の鋼材を 2 本または 4 本貫通させ、柱頭部近傍の下床版には、下床版に定着突起を設けずに、下床版厚内で定着体を配置できる 4S15.2 の鋼材を 4 本配置した。

8. おわりに

本稿では、基本計画で策定された事項を踏襲し、新たに顕在化された課題を解決するために行った実施計画について述べた。今後の長大ラーメン橋でのプレキャストセグメント工法の設計の一助になれば幸いである。

本工事は、平成 30 年 1 月現在、河川内の P1～P11 の橋脚工が始まり、セグメント製作が始まろうとしている。現況を写真 - 3 に、完成イメージを図 - 13 に示す。

本稿を投稿するにあたり、ご指導、ご協力をいただいた方々、とくに株式会社エイト日本技術開発の皆様に深く御礼申し上げます。

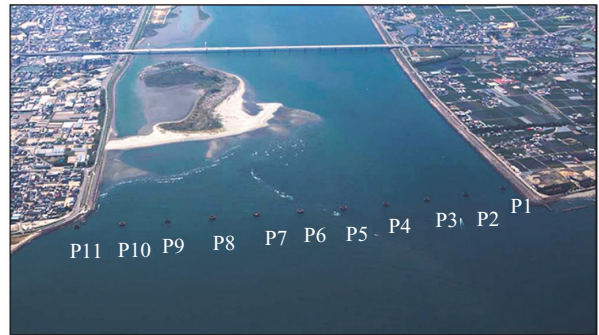


写真 - 3 施工状況 (平成 29 年 10 月)



図 - 13 完成イメージ

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV コンクリート橋編，pp.174-179，2012.3
- 2) 川口ほか：中部国際空港連絡鉄道橋の設計・施工，プレストレストコンクリート，Vol.46，No.2，pp.47-55，2004
- 3) 井上ほか：日本海沿岸東北自動車道阿賀のかけはしの計画と設計，橋梁と基礎，Vol.36，No.4，pp.2-6，2002.4
- 4) 社団法人 プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 多径間連続ラーメン橋に関する研究報告書，p.48，1988.5
- 5) 内閣府 H.P.：http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，pp.19-22，2012.3

【2017 年 11 月 1 日受付】



図書案内

PC 技術規準シリーズ

外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準

定 価 4,860 円／送料 300 円

会員特価 4,000 円／送料 300 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編

技報堂出版