

塩害対策地域へのプレキャストPC床版のエンドバンド継手の適用

Application of precast PC slab with endband splice joint in salt-affected areas

脇坂英男*, 福永靖雄**, 今村壮宏***, 原健悟****

Hideo Wakisaka, Yasuo Fukunaga, Takehiro Imamura, Kengo Hara

*工修, オリエンタル白石㈱, 福岡支店施工・技術部 (〒810-0001 福岡市中央区天神 4-2-31)

**西日本高速道路㈱, 技術部 (〒530-0003 大阪市北区堂島 1-6-20)

***西日本高速道路㈱, 九州支社保全サービス事業部 (〒810-0001 福岡市中央区天神 1-4-2)

****工修, オリエンタル白石㈱, 技術研究所 (〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘 5)

Precast PC slabs are often employed when damaged concrete deck of steel girder bridges are replaced. Generally, RC joint systems are used for joint of precast PC slab. However, there is no study on the joint systems by which epoxy coated was carried out. In this report, we investigated the use of epoxy coated endband splice joint in order to apply in salt-affected areas. The experimental investigation to establish the length of the new joint was carried out. In addition, the precast slab with this new joint has confirmed that sufficient bending strength and fatigue durability. Moreover, this report shows the design outline of slab replacement at Igei Viaduct in the Okinawa Expressway which adopted this new joint.

Key Words: precast PC slab, endband splice joint, salt-affected areas

キーワード: プレキャストPC床版, エンドバンド継手, 塩害対策地域

1. はじめに

高度成長期に建設された橋はすでに供用後 30 年以上経過しており, 経年劣化に加えて, 交通量の激増や車両の大型化, 凍結防止剤の散布などにより, 特に RC 床版の損傷が深刻な問題となっている. この RC 床版の損傷に対しては, 損傷度や橋の交通量などに応じて, 床版増厚や鋼板接着, 炭素繊維接着等の補修, または, プレキャスト PC 床版やプレキャスト合成床版等を用いた取替えが実施されている.

プレキャスト PC 床版を用いた取替えの場合, 橋軸方向の接合方法としては PC 構造と RC 構造とがある. 取替え工程の短縮や耐久性に対しては PC 構造が優れているが, 工費や将来的な部分取替えに対しては RC 構造が優れている. この RC 構造の接合方法には, 日本では一般的にループ継手を用いられているが, ループ継手の曲げ半径の制約から床版厚が決定される場合がある. そこで, プレキャスト PC 床版の床版厚をより薄くできる接合方法としてエンドバンド継手が開発され^{1)~3)}, 床版取替え工事に採用されている⁴⁾.

このようなプレキャスト PC 床版への取替えは, 腐食

性環境である海岸部や凍結防止剤の散布地域でも行われているが, RC 構造の接合方法について, エポキシ樹脂塗装などの塗装鉄筋を用いた条件での性能確認試験は行われていない. そこで, エポキシ樹脂塗料を静電粉体塗装したエンドバンド継手(写真-1)を用いた接合方法の性能確認を行った⁵⁾. 本稿では, この確認試験の結果を示す. さらに, この接合方法を採用した沖縄自動車道・伊芸高架橋における床版取替え工事の概要を示す.

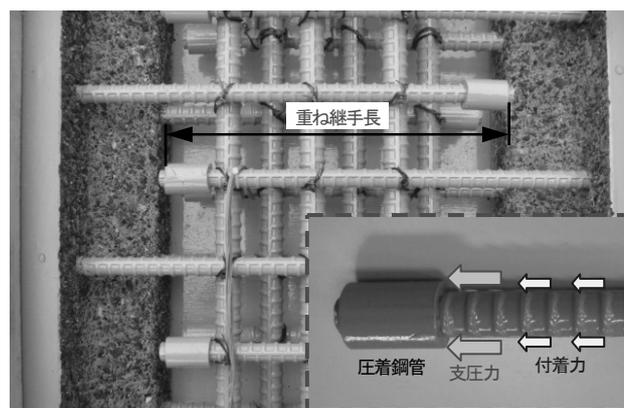


写真-1 エンドバンド継手(エポキシ樹脂塗装仕様)

2. 定着性能試験

2.1 試験概要

エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手の必要重ね継手長を確認するため、定着機構に関する引抜き試験を実施した。

供試体は、図-1 に示すように正方形断面を有する直方体のコンクリートにエポキシ樹脂塗装したエンドバンド鉄筋を埋め込んだものを用いた。供試体の諸元を、表-1 に示す。ここで、コンクリートの目標圧縮強度は、プレキャスト PC 床版の間詰め部に用いられるコンクリート強度に合わせて、 50N/mm^2 とした。鉄筋は、プレキャスト PC 床版の橋軸方向鉄筋として一般的に用いられる D19 と、非合成桁においても中間支点付近の補強で使用される可能性がある D22 を対象とし、材質は SD345 とした。また、供試体のかぶり厚は 48mm とし、埋込み長は鉄筋径の約 8 倍とした。供試体は、定着機構を把握するためのひずみゲージを貼り付けた「鉄筋付着あり」と、鋼管部の支圧耐力を把握するために鉄筋の付着を全長でなくした「鉄筋付着なし」の 2 種類とし、鉄筋径 D19 および D22 に対して各 3 体制作した。

試験は、JSCE-G 503-2010「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(案)」を参考に行った。載荷方法は、同規準に従って行い、コンクリートが破壊するか、または、鉄筋の規格引張荷重に達するまで載荷を行った。

2.2 試験結果

試験時のコンクリートの圧縮強度は 46.1N/mm^2 であり、目標値に近い値であった。図-2 は、鉄筋径 D19 の供試体における鉄筋応力度-すべり量関係である。ここで、鉄筋応力度は、載荷荷重を鉄筋の公称断面積で除した値である。「鉄筋付着あり」の供試体では、規格降伏強度である 345N/mm^2 を超えてからすべりが発生し、鉄筋の規格引張強度である 490N/mm^2 に近い耐力を示し、脆性的に破壊した。一方、「鉄筋付着なし」の供試体では、鉄筋の規格降伏強度に達する前にすべりが生じ始め、すべり量が 0.5mm を超えて破壊に至った。最大荷重は、付着のある供試体の 6 割程度であった。図-2 に示した「鉄筋付着あり」の供試体の鉄筋応力度-ひずみ関係を、図-3 に示す。ここで、測点 S1~S3 は、図-1 に示すように付着区間の 3 等分点である。定着力の分担は、鉄筋の引張端から、徐々に鋼管部の方向に進行している。

2.3 必要重ね継手長の検討

定着性能試験をもとに、エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手の必要重ね継手長を検討する。図-4 は、鉄筋の各応力段階における、定着力の分担割合を示したものである。各ひずみ測点間の付着力は式(1)で算出し、引抜き力の合計から鉄筋の付着力の合計を引いた値を鋼管

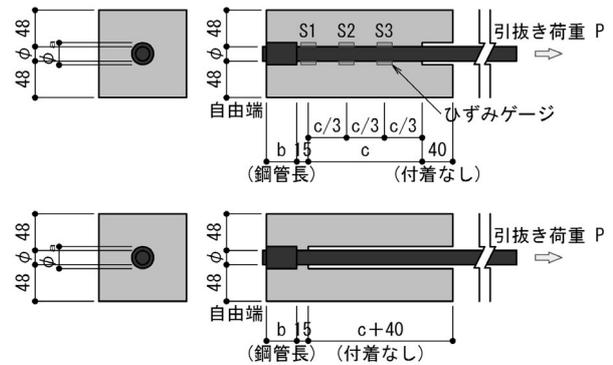


図-1 定着性能試験供試体

表-1 定着性能試験供試体の諸元

鉄筋径 ϕ	目標 強度 (N/mm^2)	試験時 強度 (N/mm^2)	断面	寸法 (mm)		
				鋼管径 ϕ_a	鋼管長 b	鉄筋長 c
D19	50.0	46.1	正方形	29.0	40.0	150.0
D22				34.5	50.0	180.0

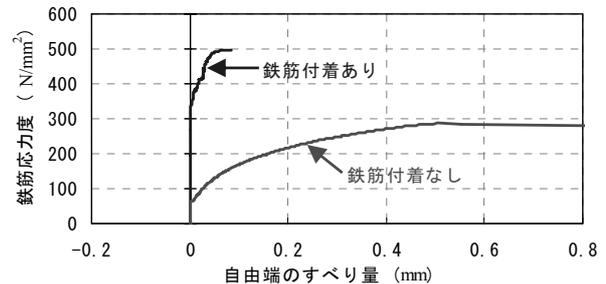


図-2 鉄筋応力度-すべり量関係(D19)

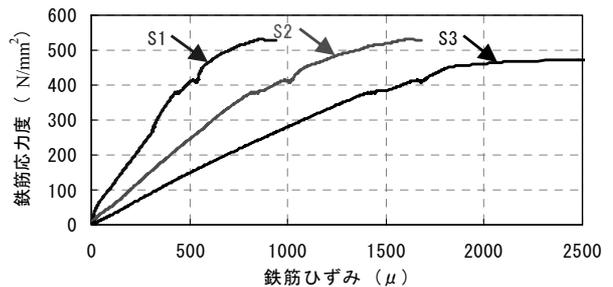


図-3 鉄筋応力度-鉄筋ひずみ関係(D19)

による支圧定着力であるとした。また、鉄筋ひずみが降伏ひずみを超えた場合は、付着力は増加しないものと仮定した。

$$\Delta P = \Delta \epsilon_s \cdot E_s \cdot A_s \quad (1)$$

ここに、 ΔP ：各ひずみ測点間の付着力(kN)、 $\Delta \epsilon_s$ ：各ひずみ測点間のひずみ差、 E_s ：鉄筋の弾性係数(kN/mm^2)、 A_s ：鉄筋の断面積(mm^2)である。この結果から荷重が小さいときは、鉄筋の付着力だけで定着されており、荷重が増加するにしたがって、徐々に鋼管の支圧定着部に荷重の一部が負担されていくことがわかる。

次に、定着性能試験の結果から、エポキシ樹脂塗装し

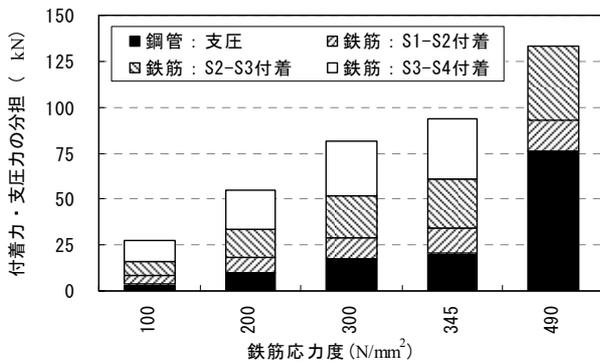


図-4 付着力および支圧力の荷重分担

表-2 必要重ね継手長

鉄筋径 φ	破壊耐力 (kN)		鉄筋規格 降伏荷重 P _y (kN)	付着力 分担荷重 P _y -P _a (kN)	必要 重ね継手長*
	付着あり P _b	付着なし P _a			
D19	137.3	81.7	98.8	17.2	5.9φ
D22	177.6	114.8	133.5	18.7	5.8φ

※鋼管部も含む長さ

たエンドバンド継手に必要な重ね継手長を検討する。各鉄筋径に対する破壊耐力と、必要重ね継手長の算定結果を、表-2に示す。ここで、破壊耐力は、3供試体の平均値である。必要重ね継手長とは、鉄筋の規格降伏荷重を満足する定着力を得るために必要となる継手長であり、ここでは鋼管部も含む長さとする。算定にあたっては、エンドバンド継手の定着力は、鉄筋の付着力と鋼管の支圧力の複合力であり、それぞれの力は、重ね合わせが成り立つと仮定した。まず、鉄筋の規格降伏荷重に対して、付着のない供試体の破壊耐力を差し引いた荷重が、鉄筋の付着力の分担であるとする。次に、この付着力分担荷重に対する鉄筋応力度を用いて、定着長 l_d を土木学会の基本定着長算定式に準拠した式(2)により算定する^(6), 7)。この定着長 l_d に鋼管長 (D19 : 40mm, D22 : 50mm) を加えたものを必要重ね継手長とする。なお、支圧力の分担は試験での平均値を用いているが、横方向鉄筋による補強のないコンクリートに対する試験結果であることから、安全係数は考慮しないこととした。

$$l_d = \alpha \frac{f_s}{4f_{bod}} \phi \quad (2)$$

$$k_c = \frac{c}{\phi} + \frac{15A_t}{s\phi} \quad (3)$$

$$f_{bod} = 0.23f_{ck}^{2/3} / \gamma_c \quad (4)$$

ここに、 ϕ : 鉄筋径 (mm), f_s : 付着力分担荷重に対する鉄筋応力度 (N/mm²), f_{bod} : エポキシ樹脂塗装鉄筋とコンクリートとの付着強度 (≤ 3.5 N/mm²), $\alpha=1.0$ ($k_c \leq 1.0$) = 0.9 ($1.0 < k_c \leq 1.5$) = 0.8 ($1.5 < k_c \leq 2.0$) = 0.7 ($2.0 < k_c \leq 2.5$) = 0.6 ($2.5 < k_c$) であり、 c : 鉄筋の下側のかぶりの値と定着

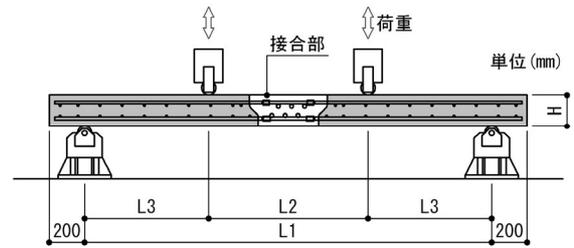


図-5 曲げ試験供試体および荷重概要

表-3 曲げ試験供試体の諸元

鉄筋径 φ	目標 強度 (N/mm ²)	試験時 強度* (N/mm ²)	寸法 (mm)				
			床版厚 H	床版幅 B	支間長 L1	L2	L3
D19	50.0	54.8	180	900	2300	900	700
D22			190	900	2590	990	800

※接合部コンクリートの試験時圧縮強度

する鉄筋のあきの半分のうち小さい方 (mm), A_t : 仮定される割裂破断面に垂直な横方向鉄筋の断面積 (mm²), s : 横方向鉄筋の中心間隔 (mm), f'_{ck} : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²), γ_c : 材料係数 (=1.3) である。

非塗装鉄筋を用いたエンドバンド継手の必要重ね継手長は、鉄筋径 D19 で 2.1φ, D22 で 4.5φ であったが^(1), 2), エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手の必要重ね継手長は、エポキシ樹脂塗装により付着力が低下することから、鉄筋径 D19 で 5.9φ, D22 で 5.8φ となった。

一方、エンドバンド継手をプレキャスト PC 床版の RC 接合に用いる場合には、引張荷重に対する必要継手長を満足していても、曲げモーメントに対しては鉄筋が床版の曲げ変形に追従しきれずに割裂破壊が生じることから、重ね継手長は割裂破壊が生じない 15φ としている⁽¹⁾。そこで、エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手に対しても、必要継手長は 15φ とし床版の曲げモーメントに対する性能を確認することとした。

3. 曲げモーメントに対する性能試験

3.1 試験概要

エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手を有する供試体と非塗装鉄筋の重ね継手を有する供試体の高サイクル繰返し性能および静的曲げ性能試験を実施し、疲労耐久性および静的耐力を検証した。

供試体の概要および荷重方法を図-5に、諸元を表-3に示す。ここで、試験は、床版の橋軸方向の正曲げモーメントを対象としている。供試体は、D19 および D22 についてそれぞれ製作し、コンクリートの目標圧縮強度は 50 N/mm² とした。接合部の詳細を、図-6に示す。橋軸方向の配筋は、D19 (上縁側鉄筋は D16) および D22 の軸方向筋を 150mm 間隔で配置した。接合部の継手長は、非塗装鉄筋の重ね継手は 30φ とし、エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手は、15φ とした。

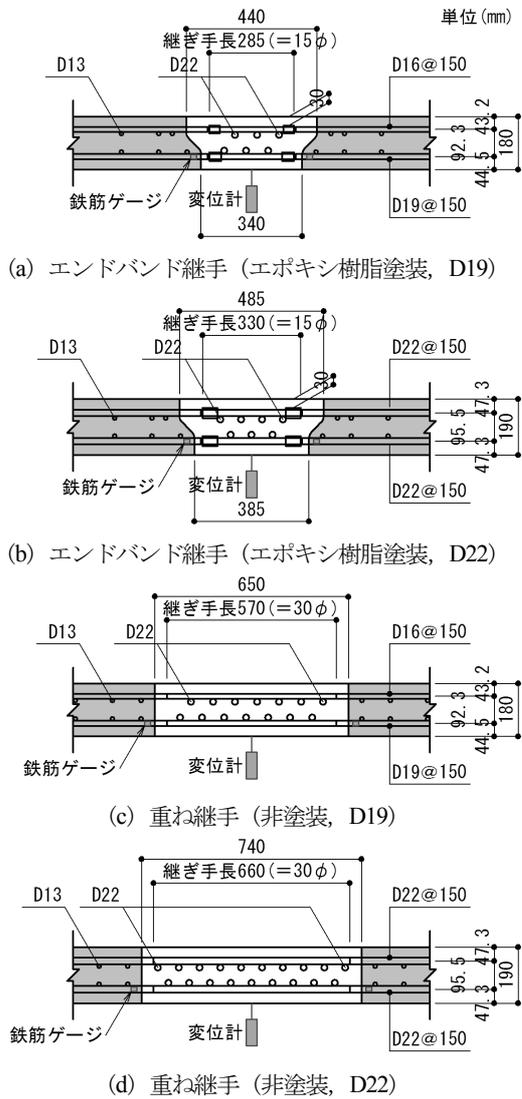


図-6 曲げ試験供試体の接合部詳細図

3.2 高サイクル繰返し性能試験

疲労性能の確認のため、定点の繰返し载荷試験（5Hz、200万回）を実施した。疲労荷重の上限は、引張縁の鉄筋応力度が許容応力度である 140N/mm^2 となる荷重とした⁸⁾。また、応力振幅は 100N/mm^2 とし、鉄筋応力度が 40N/mm^2 となる荷重を下限荷重とした。

図-7は、高サイクル繰返し载荷における供試体の鉄筋ひずみ-繰返し回数関係なのである。エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手を有する供試体の鉄筋ひずみは、非塗装鉄筋の重ね継手を有する供試体と同様な傾向であった。また、繰返し载荷に伴う鉄筋ひずみの極端な増加もほとんど見られず安定している。したがって、エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手は、床版の高サイクル繰返し曲げに対しても、十分な疲労性能を有していると考えられる^{1), 2)}。

3.3 高サイクル繰返し後の静的曲げ性能試験

静的曲げ性能試験は、繰返し载荷が降伏耐力や曲げ耐力に与える影響は小さいとし、高サイクル繰返し試験後

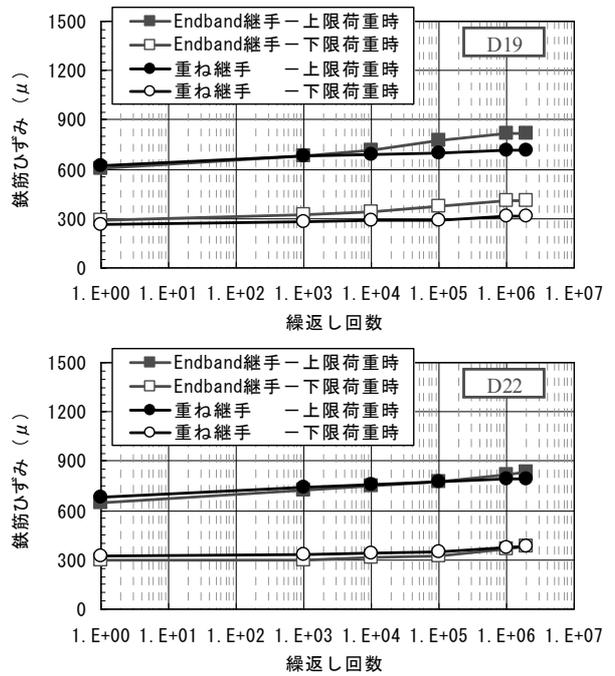


図-7 鉄筋ひずみ-繰返し回数

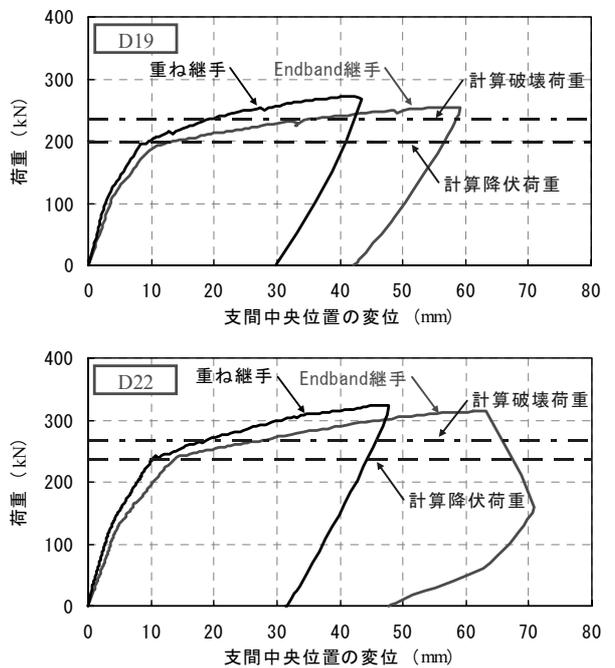
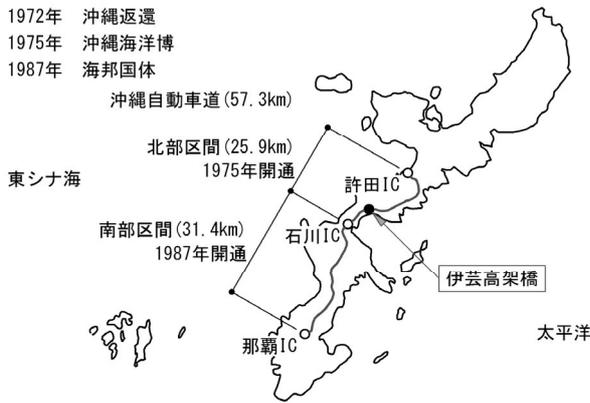


図-8 高サイクル繰返し载荷後の荷重-変位関係

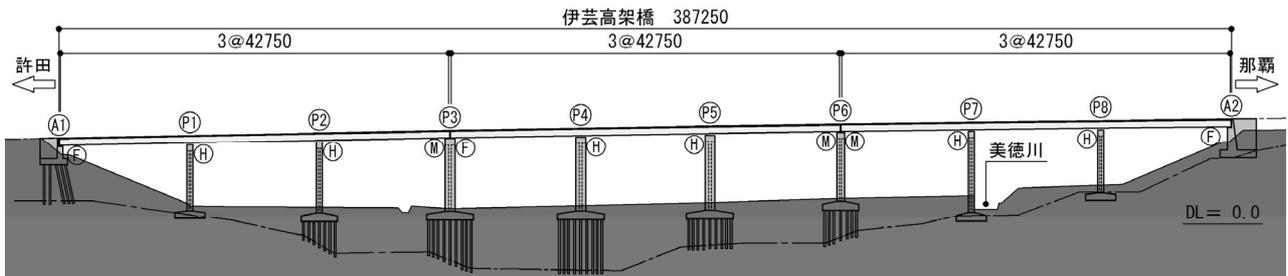
の供試体に対して行った。図-8は、静的载荷に対する供試体の荷重-支間中央の変位関係である。ここで、初期剛性の違いは、重ね継手の長さが異なるため、配置される鉄筋量が影響したものと考えられる。エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手を有する供試体および非塗装鉄筋の重ね継手を有する供試体の最大荷重は、鉄筋径D19の供試体でそれぞれ 254.5kN および 271.9kN 、鉄筋径D22の供試体でそれぞれ 315.5kN および 324.6kN であり、ほぼ同等の曲げ破壊耐力を有し、かつ、計算破壊荷重を超過している。したがって、エポキシ樹脂塗装した



図一 沖繩自動車道と伊芸高架橋の位置



写真一 I 形鋼格子合成床版下面の劣化状況



図一〇 伊芸高架橋一般図

エンドバンド継手を有する床版は、曲げモーメントに対する静的耐力に対して、十分な性能を有していると考えられる。

4. 伊芸高架橋における床版取替え概要

4.1 伊芸高架橋の概要

沖縄自動車道の北部区間(図一)は、沖縄海洋博覧会の関連事業として1975年に供用開始するために約2年間での急速施工が求められたことから、鋼橋の床版にはI形鋼格子合成床版が採用されている。一方、当時の沖縄は慢性的な水不足であったことから、十分な脱塩処理がされていない海砂がコンクリートの細骨材として使用されている。このI形鋼格子合成床版は、型枠となる床鋼板により床版内部に水が滞留し、I形鋼や床鋼板の腐食やコンクリートの疲労を進展させたため、1988年から順次床鋼板を撤去し、I形鋼の表面防食処理を行っている(写真一)⁸⁾。

伊芸高架橋は、この北部区間の屋嘉IC～金武IC間に位置し、3径間連続鋼桁橋×3連から構成された橋長387.25mの橋である(図一〇)。本橋の下り線は、床版コンクリートの塩化物イオン濃度が最大 3.7kg/m^3 に達しており、また、舗装補修率も32%と高いことから、抜本的な補修対策として、プレキャストPC床版を用いた全面取替え工事を実施することとした⁹⁾。本工事は、1工事での床版取替え延長としては、国内最長となる。

4.2 プレキャストPC床版の構造

本橋のI形鋼格子床版の床版厚は210mmであり、下部構造の耐震性能や鋼桁の耐力などから、取替え後の床版厚はできるだけ増加しないことが望ましい。一方、本橋は海岸からの距離が500mであり、塩害対策区分としてはII区分に該当するため⁸⁾、標準よりかぶり厚を大きくする必要がある。

プレキャストPC床版を用いる場合、床版支間から定まる最小床版厚は170mmである。一方、プレキャストPC床版の橋軸方向の接合方法をRC構造とし、一般的なループ継手を用いた場合は、ループ継手の曲げ内半径の制約や塩害対策としての必要かぶり(施工誤差に対する余裕を含む)から床版厚は240mmとなり、既設床版に比べて約15%の増加となる。これに対して、エンドバンド継手を用いた場合の床版厚は220mmとなり、約5%の増加となった。

また、ループ継手を用いる場合には、継手内横方向鉄筋を挿入する際のエポキシ樹脂塗装の損傷リスクが高く、挿入には側方の民地上空も利用しなければならない。一方、エンドバンド継手を用いる場合には、写真一に示すように事前に継手内横方向鉄筋を挿入してプレキャストPC床版を設置するので、エポキシ樹脂塗装の損傷リスクが低く、側方の民地上空を利用する必要も無い⁴⁾。

以上の長所から、プレキャストPC床版の接合方法には、エンドバンド継手を採用した。伊芸高架橋での条件で比較したプレキャストPC床版のRC構造の接合方法を、図一〇に示す。なお、エンドバンド継手は、ループ

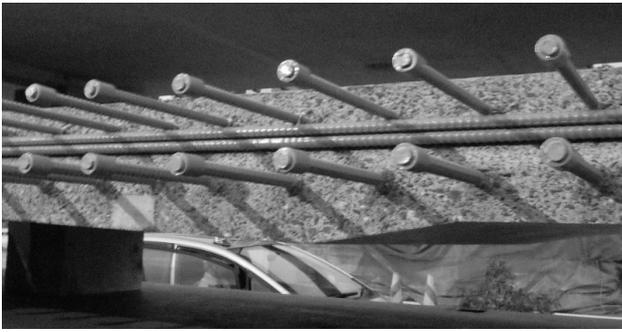
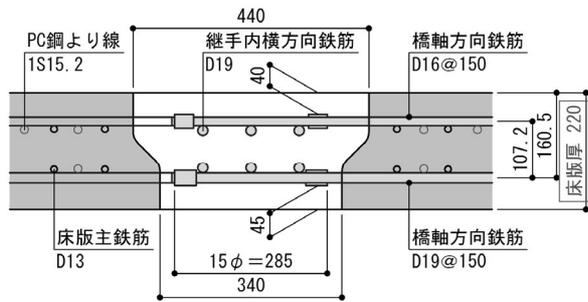


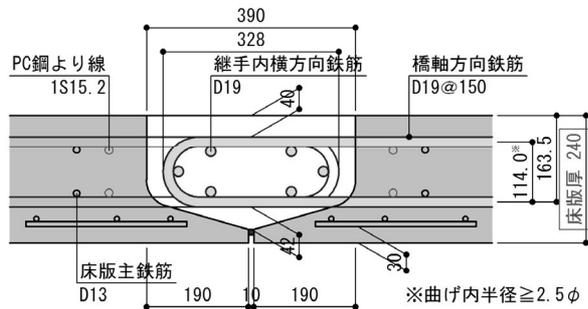
写真-3 継手内横方向鉄筋の事前挿入



写真-4 伊芸高架橋用のプレキャスト PC 床版



(a) 採用したエポキシ樹脂塗装エンドバンド継手



(b) 一般的なループ継手

図-11 プレキャスト PC 床版の RC 継手構造

継手のように上縁側と下縁側の鉄筋径が同一である必要はなく、合理的な鉄筋配置も可能である。

5. まとめ

塩害対策地域へのプレキャスト PC 床版の適用にあたり、エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手の定着性能試験および曲げ性能試験を実施した。本実験により得られた結果は以下である。

- (1) 定着性能試験から、エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手の必要重ね継手長は、 15ϕ で満足する。
- (2) 高サイクル繰返し性能試験から、エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手を用いたプレキャスト PC 床版は、十分な疲労耐久性を有している。
- (3) 静的曲げ性能試験から、エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手を用いたプレキャスト PC 床版は、十分な静的曲げ耐力を有している。

以上の実験結果を受けて、沖縄自動車道・伊芸高架橋

(下り線)の床版取替え工事において、エポキシ樹脂塗装したエンドバンド継手を用いたプレキャスト PC 床版を採用した(写真-4)。その床版厚は、一般的なループ継手とした場合の床版厚 240mm に対して、同等のかぶり厚さを確保した上で 220mm まで低減している。

参考文献

- 1) 阿部浩幸, 原健悟, 澤田浩昭, 中村雅之: プレキャスト PC 床版の新しい RC 接合構造に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.493-498, 2007.7
- 2) 阿部浩幸, 澤田浩昭, 大谷悟司, 原健悟: 新しい RC 接合構造を用いたプレキャスト PC 床版に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol.50, No.1, pp.45-53, 2008.1
- 3) 原健悟, 福永靖雄, 今村壮宏, 三浦泰博: エンドバンド継手を有するプレキャスト PC 床版の輪荷重走行疲労試験, 第 19 回プレレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.61-64, 2010.10
- 4) 山本敏彦, 今村壮宏, 三浦泰博, 藤木慶博: 重交通区間における RC 床版取替え工事—九州自動車道・向佐野橋—, 土木施工, Vol.52, No.9, pp.38-42, 2011.9
- 5) 原健吾, 二井谷教治, 照井満, 脇坂英男: エポキシ樹脂塗装鉄筋による機械式定着を併用したプレキャスト床版の重ね継手, 第 20 回プレレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.165-170, 2011.11
- 6) (社)土木学会: コンクリート標準示方書, 設計編, pp.195-197, 2007.12
- 7) (社)土木学会: エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針, コンクリートライブラリー, 112, pp.7, 2003.11
- 8) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, III コンクリート橋編, pp.171-175, 2002.3
- 9) 小川篤生, 松田哲夫, 江口光昭, 福永靖雄: 腐食性環境下におけるコンクリート構造物長寿命化への実践的研究, 土木構造・材料論文集, 第 25 号, pp.37-46, 2009.12