

プレキャストPC床版の新たな接合構造の開発

(株)ピーエス三菱 正会員 工修 ○久徳 貢大
 (株)ピーエス三菱 正会員 志道 昭郎
 (株)ピーエス三菱 正会員 諸橋 克敏

Abstract : In recent years, it is planned to adopt PCaPC slab for many of RC slab replacement works of steel girder bridge in Japan. In the slab replacement, the thickness of slab is limited in order to suppress the increase of dead load and it is difficult to use looped splice joint method looped splice joint method as conventional. Therefore new joint methods, such as headed bar joint method, possible to apply to thin slab have been developing. However, with these joint methods, a bottom formwork is needed when casting concrete at the joint part, and its durability may decrease. A new joint method which can be applied to a thin slab and does not need a bottom formwork when casting concrete will have advantages in market of the replacement of slab. This paper presents about the study of the material property test and bending load test conducted for the development of this new joint method.

Key words : PCaPC , replacement of the RC slab , jointing method, improving productivity

1. はじめに

鋼橋のRC床版の取替えの多くにプレキャストPC床版（以下、PCaPC床版）の採用が計画されている。新設工事の場合、あご付き形状の床版が用いられ、PCaPC床版相互の接合には一般にループ鉄筋を用いた継手構造が使用されている。あご付き形状の床版は、接合部施工時に狭隘な桁下空間での人力作業が前提となる底型枠が不要なため生産性に優れ、あご先端までプレストレスが導入されるため耐久性に優れた構造といえる。一方、床版取替工事では、死荷重増加を抑える目的から床版厚が制限され、新たな継手構造が開発・採用されている。しかしながら、それらの継手構造はあご付き形状の床版への適用が難しい。このような背景から、本研究では薄い床版厚への適用を前提とするとともに、あご付き形状の床版にも適用可能な継手構造の開発を行った。本稿では、PCaPC床版の接合構造である“MuSSL (Mutual Settled Secure Lap) 工法”に対して行った各種性能試験について報告する。

2. 定着構造

ループ継手の適用が難しい薄い床版における継手構造としては、鉄筋端部に何らかの定着構造を設け、継手長を短くする手法が有効であり、各種工法が提案されている。本研究では鉄筋端部の定着構造として、ねじ節鉄筋端部に円形ナットを設置した構造を選定した（写真-1）。円形ナットは铸铁製とし、コンクリート打設中に動かないように接着剤で固定した。耐久性向上が求められる場合は、エポキシ樹脂塗装鉄筋とし、同じくエポキシ樹脂塗装を施した円形ナットを床版製作後に設置する。鉄筋のエポキシ樹脂塗装には塗装表面の凹凸によりコンクリートの付着力を向上させたタイプの使用を前提とした。



写真-1 円形ナット定着

本研究では写真-1(a)に示す鉄筋端部に円形ナットを設けて継手長を短く設定した試験体（以下、直線定着タイプ）と図-1(b)に示すあご付き形状の床版に適用できるような筋を上方に曲げ上げて円形ナットを設置した継手構造（以下、曲げ定着タイプ）の検討を行った。

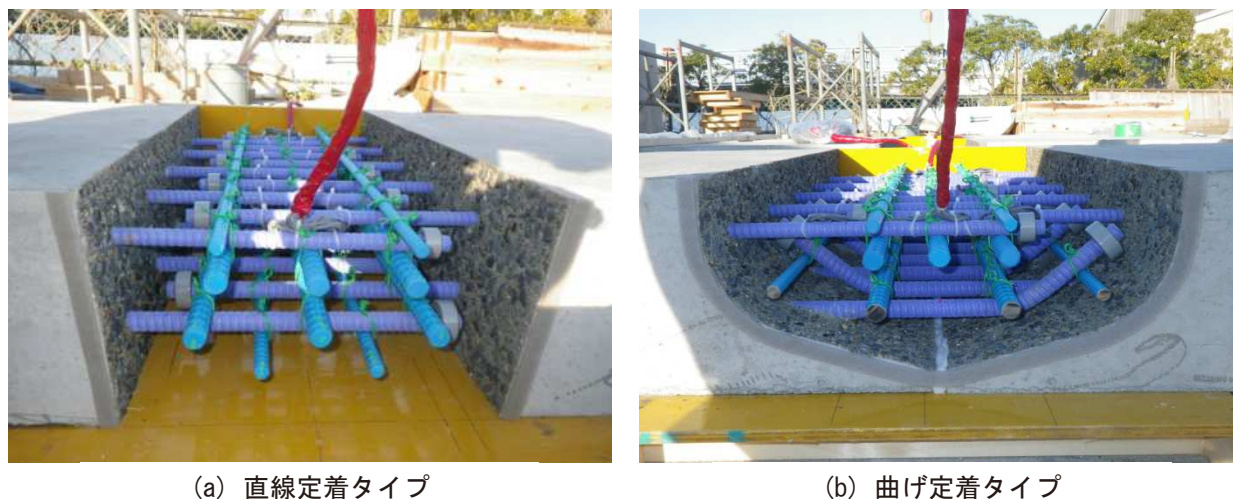


写真-2 MuSSL 工法

3. 定着構造の基本性能確認

3.1 定着構造の引抜き試験

(1) 試験方法

鉄筋と円形ナットの接合部の強度を確認するため、写真-3に示す鉄筋引張試験機を用いて引抜き試験を行った。試験は、ねじ節鉄筋を製造する代表的な2社が製造するD19鉄筋とD16鉄筋を対象にした。試験体形状を図-1に示す。

(2) 試験結果

表-1に試験結果を示す。ばらつきはあるもののメーカー2社による差は小さく、すべての試験体において引き抜き耐力は 300N/mm^2 以上確保できることを確認した。

破壊形態はすべての試験体において鉄筋側のねじ山損傷による抜け出しであり、円形ナットのねじ山に損傷はなかった。

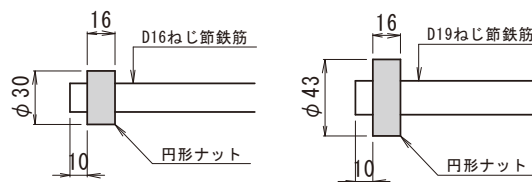


図-1 試験体形状

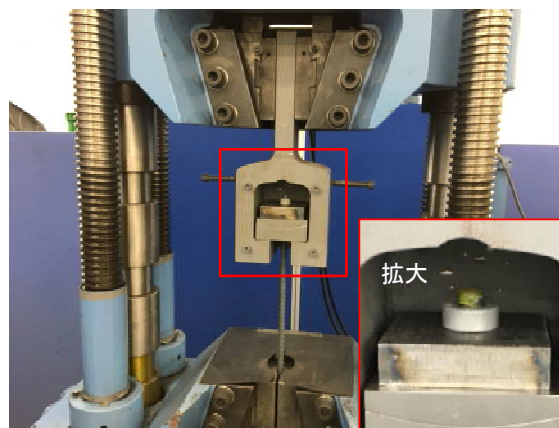


写真-3 引抜き試験状況

表-1 鉄筋引抜き試験結果

製造メーカー	A社								B社								
	D19				D16				D19				D16				
鉄筋径	D19				D16				D19				D16				
試験体No.	①	②	③	Ave.	①	②	③	Ave.	①	②	③	Ave.	①	②	③	Ave.	
最大荷重	kN	108.7	121	104.1	111.3	70.9	69.7	64.7	68.4	99.1	87.9	89.6	92.2	61.8	74.0	72.2	69.3
	N/mm^2	379.4	422.3	363.4	388.4	357.0	351.0	325.8	344.6	345.9	306.8	312.7	321.8	311.2	372.6	363.5	349.1
破壊形態	抜け出し(鉄筋ねじ山損傷)				抜け出し(鉄筋ねじ山損傷)				抜け出し(鉄筋ねじ山損傷)				抜け出し(鉄筋ねじ山損傷)				

※応力度 $[\text{N/mm}^2]$ は最大荷重を鉄筋の公称断面積で除した値

3. 2 定着性能試験

(1) 試験方法

コンクリートに埋設された場合の定着性状を確認するため、鉄筋定着・継手指針¹⁾に掲載される方法を参考に定着性能試験を行った。図-2に試験体概要を示す。試験はD19鉄筋を対象とし、付着区間を $12d=228\text{mm}$ とした。試験体はエポキシ樹脂塗装のメーカー2社（以下、C社、D社）と、比較用としてコンクリートの付着を縁切りをした付着無しの種類を対象に行った。付着有り試験体では定着背面近傍の鉄筋ひずみを測定した。試験時のコンクリート圧縮強度は 54.1N/mm^2 であった。

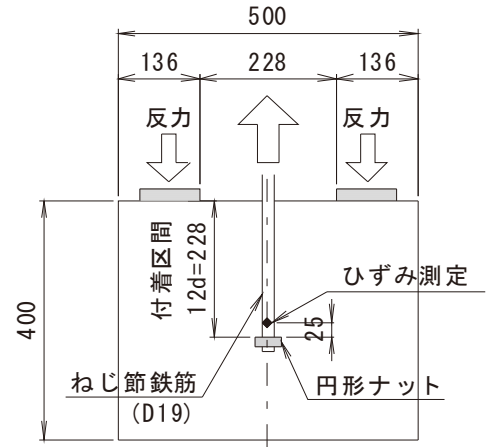


図-2 定着性能試験概要

(2) 試験結果

表-2に試験結果を示す。付着有り試験体は、引張強度の規格 490N/mm^2 (SD345)を超えたため荷重を中止したが、コンクリート上面に小さな剥離が生じた程度であった(写真-4)。メーカー2社の塗装で試験結果に大きな差異は見られず、定着背面近傍での鉄筋のひずみは最大で 430μ 程度 ($E_s=200\text{kN/mm}^2$ として $\sigma_s=86\text{N/mm}^2$)。付着無し試験体は鉄筋の抜け出しによって破壊し、コンクリートに損傷はなかった。最大荷重は前述の引抜き試験結果と同程度であった。

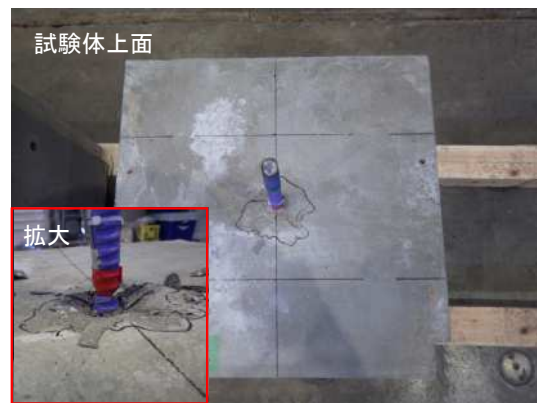


写真-4 試験後の付着有り試験体

表-2 定着性能試験結果

塗装仕様	C社				D社				付着無し				
	試験体No.	①	②	③	Ave.	①	②	③	Ave.	①	②	③	Ave.
最大荷重	kN	142.6	142.1	142.0	142.3	143.4	143.6	142.1	143.1	102.0	105.6	97.5	101.7
	N/mm ²	497.8	496.2	495.6	496.5	500.7	501.2	496.2	499.4	356.0	368.4	340.2	354.9
最大ひずみ(×μ)		364.5	415.4	425.2	401.7	366.4	306.1	302.3	324.9				

※応力度[N/mm²]は最大荷重を鉄筋の公称断面積で除した値

3. 3 鉄筋の付着強度試験

(1) 試験方法

エポキシ樹脂塗装の付着性状を確認するため、土木学会規準 (JSCE-E 516-2010) を参考に付着強度試験を行った。図-3に試験概要を示す。試験は、D19鉄筋を対象として塗装メーカー2社のエポキシ樹脂塗装鉄筋と比較用の無塗装鉄筋の3種類とし、すべり量0.04mm時および最大荷重時の付着応力度を比較した。試験時のコンクリート圧縮強度は 50.2N/mm^2 であった。

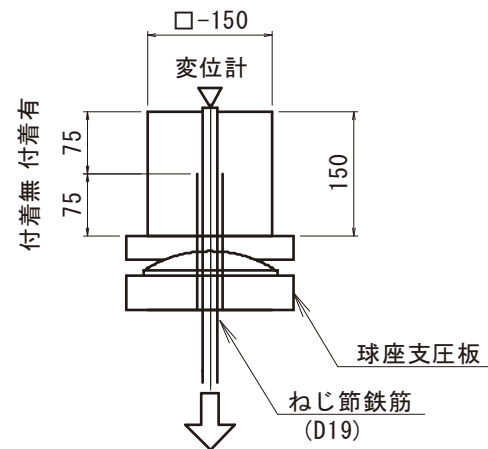


図-3 付着強度試験概要

(2) 試験結果

表-3に滑り量0.04mm時および最大荷重時の付着応力度を示す。ばらつきはあるが無塗装鉄筋と比較して、C社製とB社製ともにすべり量0.04mm時および最大荷重時の付着応力度比は同等以上であった。

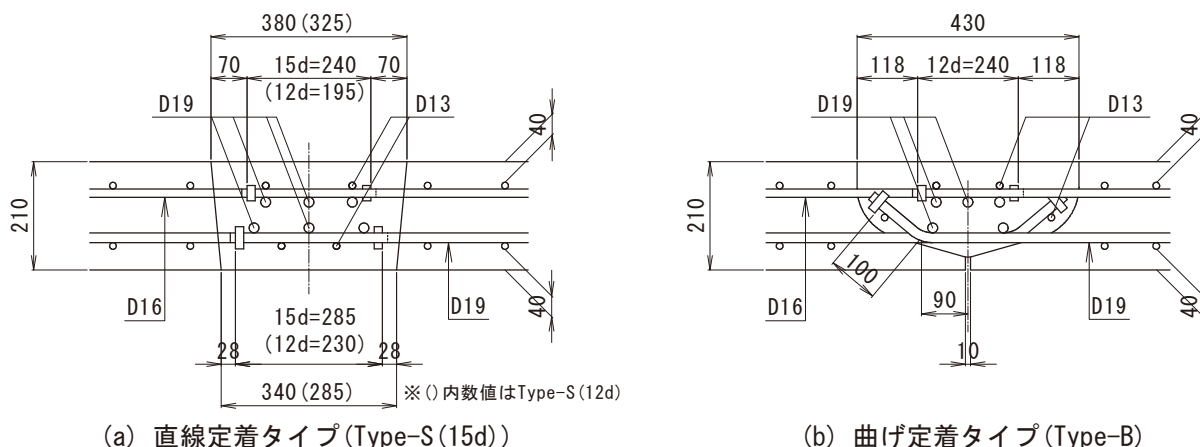
表-3 鉄筋の付着強度試験結果

塗装仕様		無塗装					C社					D社				
試験体No.		①	②	③	Ave.	無塗装比	①	②	③	Ave.	無塗装比	①	②	③	Ave.	無塗装比
滑り量 0.04mm時	$P_{0.04}$ [kN]	67.9	69.7	52.2	63.3	↙	52.7	69.6	69.7	64.0	↙	67.8	72.6	64.2	68.2	↙
	$\tau_{0.04}$ [N/mm ²]	9.0	9.2	6.9	8.4	100.0%	7.0	9.2	9.2	8.5	101.1%	9.0	9.6	8.5	9.0	107.8%
最大 荷重時	P_{max} [kN]	72.4	92.6	81.6	82.2	↙	99.6	102.7	86.8	96.4	↙	102.5	109.5	102.0	104.7	↙
	τ_{max} [N/mm ²]	9.6	12.3	10.8	10.9	100.0%	13.2	13.6	11.5	12.8	117.2%	13.6	14.5	13.5	13.9	127.3%

4. 静的曲げ载荷試験による曲げ耐力確認

4. 1 試験概要

接合部の曲げ耐力を確認するため、静的曲げ载荷試験を行った。図-4(a), (b)に接合部の配筋図を示す。試験体種類は直線定着タイプで上筋および下筋の継手長を 15d とした Type-S(15d)と、継手長を 12d とした Type-S(12d)、曲げ定着タイプ Type-B の 3 種類とした。継手主筋にはねじ節鉄筋を用い、上側は D16、下側は D19 とした。配力筋は上下面ともに D13 の異形鉄筋を主筋外側に配置し、かぶりは上下面ともに 40mm とした。継手主筋は前述の C 社エポキシ樹脂塗装鉄筋とし、接合部の配力筋は標準タイプのエポキシ樹脂塗装鉄筋とした。床版部の配力筋は無塗装鉄筋とした。図-5 に試験体の配筋図を示す (Type-S(15d))。主筋と配力筋は上下面ともに 150mm 間隔を基本とした。



(a) 直線定着タイプ (Type-S(15d))

(b) 曲げ定着タイプ (Type-B)

図-4 接合部の配筋図

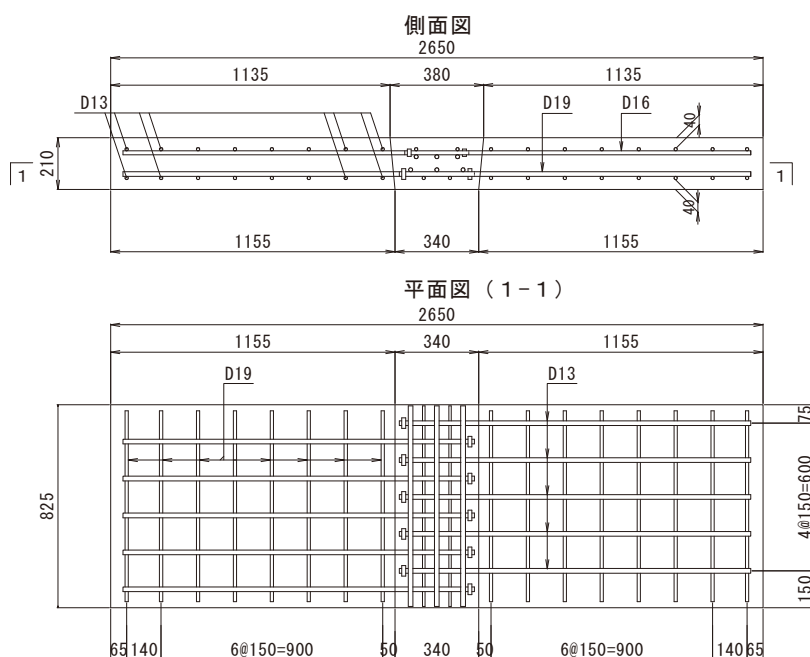


図-5 床版部配筋図 Type-S(15d)

接合部との打継面は、型枠に遅延剤を塗布して脱枠後に高圧水による洗い出しを行った。接合部には膨張コンクリート（収縮補償用）を使用した。

荷重方法は、接合部が等曲げ区間となるように 850mm 間隔の 2 線荷重とし、ひび割れ荷重まで荷重制御で 3 回繰り返し、その後変位制御で破壊まで単純荷重とした（図-6）。写真-5 に荷重状況を示す。

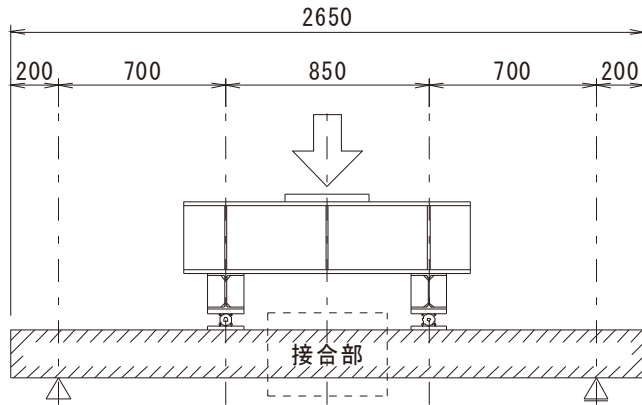


図-6 荷重方法



写真-5 静的曲げ荷重試験の状況

4. 2 試験結果

表-4 に試験時の材料諸数値を示す。図-7 および図-8 に荷重荷重と支間中央の変位の関係を示す。直線定着タイプの Type-S(15d) は、鉄筋の実強度から算出した降伏耐力を上回ったが、両継目部位置で目地割れが進展した後、終局耐力に至る前に定着部近傍のコンクリートが破壊した。Type-S(12d)は、鉄筋の実強度から算出した降伏耐力前後で同様に定着部近傍のコンクリートが破壊した。曲げ定着タイプの Type-B は、Type-S(15d)と同様に、鉄筋の実強度から算出した降伏耐力を上回ったが、中央付合わせ部から発生したひび割れが進展した後、終局耐力に至る前に定着部近傍のコンクリートが破壊した。

表-4 材料諸数値

試験体名	床版部コンクリート		接合部コンクリート		鉄筋(ミルシート) 降伏強度 σ_y [N/mm ²]
	圧縮強度 σ_c [N/mm ²]	ヤング係数 E_c [kN/mm ²]	圧縮強度 σ_c [N/mm ²]	ヤング係数 E_c [kN/mm ²]	
Type-S(15d)	51.1	32.8	51.8	34.3	401
Type-S(12d)					
Type-B					

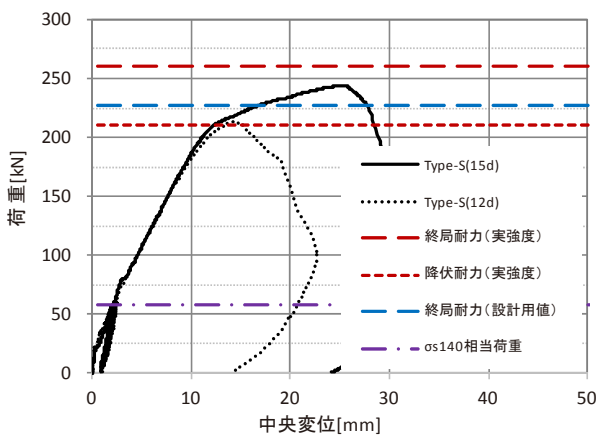


図-7 荷重-変位(直線定着タイプ)

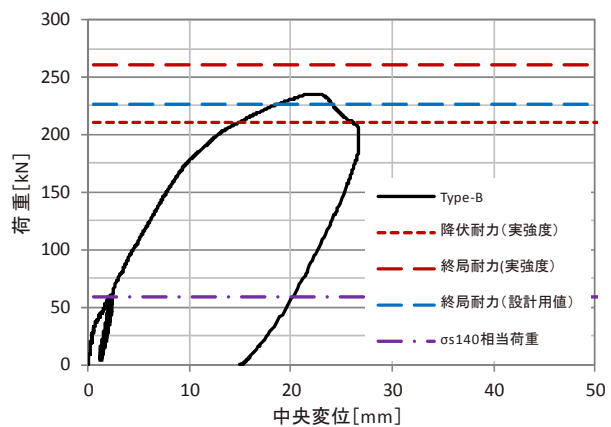


図-8 荷重-変位(曲げ定着タイプ)

図-9 に、Type-S(15d)および Type-B における定着背面(円形ナットから 25mm 位置)の鉄筋ひずみを示す。破壊時の鉄筋のひずみは 800 μ 程度 ($E_s=200\text{kN/mm}^2$ として $\sigma_s=160\text{N/mm}^2$) であり、前述した表-1 に示す最大荷重の半分程度であった。荷重後に継手部のコンクリートをはつり取って定着部を確認

したが、円形ナットや鉄筋に変状は確認されなかった (写真-6, 写真-7)。

鉄筋の降伏強度が設計用値 (SD345) に比較して高い強度の鉄筋を使用した試験結果ではあるが、Type-S(15d)および Type-B 試験体の破壊荷重は、設計用値 (SD345) から算出した終局耐力を満足し、道路橋床版における鉄筋の許容応力度 (140N/mm^2) 相当の耐力に対して十分安全である。また、降伏強度がより設計用値 (SD345) に近い場合、設計用値から算出した終局耐力を満足するかは明確ではないが、ひび割れ位置から定着体に伝達される引張力も低減されるため、定着体近傍のコンクリートに対しては安全側となる。これらのことから、Type-S(15d)および Type-B の継手構造は、PCaPC 床版相互の接合部に適用するにあたって十分な安全性を有していると考えられる。

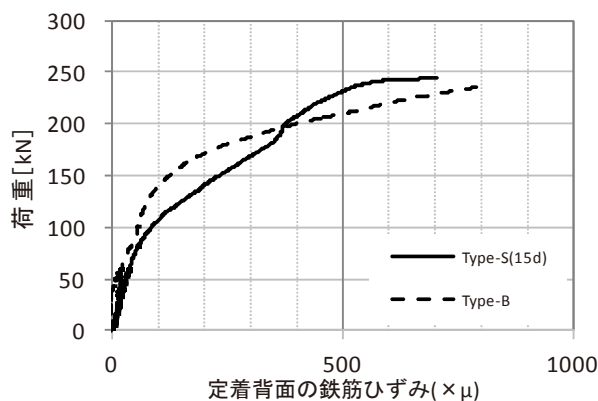


図-9 荷重-鉄筋ひずみ



写真-6 定着部の状況 (直線定着タイプ)

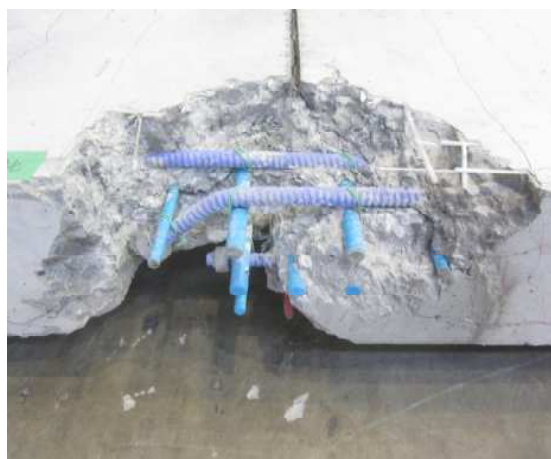


写真-7 定着部の状況 (曲げ定着タイプ)

5. まとめ

各試験により以下のことが確認できた。

- ・定着構造の引抜き試験により代表的なメーカー2社のねじ節鉄筋に対して円形ナットは鉄筋応力度で 300N/mm^2 以上の接合耐力を有していることを確認した。
- ・コンクリート定着性能試験より2社の塗装仕様の定着性能は同等であることを確認した。
- ・付着性能試より2社の塗装仕様の鉄筋は裸鉄筋と同等以上の付着性能を有していた。
- ・静的曲げ載荷試験より直線タイプ (継手長15d) および曲げ定着タイプの継手構造は道路橋PCaPC床版相互の接合部への適用において十分な耐荷性能を有していることを確認した。

今後は曲げ耐力に対する安全性を確認した上記の継手構造について輪荷重走行試験による疲労耐久性の確認試験を実施し今後の大規模更新事業における床版取換工事の有効な一工法の確立を目指す所存である。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリートライブラリー 鉄筋定着・継手指針[2007年度版] 4章