

プレキャスト合成床版の配力筋継手に関する性能確認試験

Confirmation Test for Distribution Bar Joint in Pre-cast Composite Slab

磯 光夫*, 鈴木幹紹**, 橋 吉宏***, 児島哲朗****, 辛嶋景二郎*****, 栗田章光*****

Mitsuo ISO, Mikitsugu SUZUKI, Yoshihiro TACHIBANA, Tetsuro KOJIMA, Keijiro KARASHIMA, Akimitsu KURITA

* 工修 川田工業株式会社技術研究所(〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

** 工修 川田工業株式会社橋梁事業部技術本部富山技術部(〒939-1593 富山県南砺市苗島 4610)

*** 工博 川田工業株式会社橋梁事業部技術本部富山技術部(〒939-1593 富山県南砺市苗島 4610)

**** 川田工業株式会社橋梁事業部営業本部大阪営業部(〒550-0014 大阪市西区北堀江 1-22-19)

***** 川田工業株式会社橋梁事業部技術本部四国技術部(〒764-8520 香川県仲多度津郡多度津町西港町 17)

***** 工博 大阪工業大学教授, 工学部都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

Significant numbers of bridge deck slabs that had been already rehabilitated/strengthened have been damaged again and require more rehabilitation work. As a measure, the replacement of the flooring system using pre-cast composite slabs is proposed. The purpose of this study is to select a desirable jointing method for such pre-cast composite slabs. The items to be examined are difference in structural performance resulting from a change in the distribution bar joints, the concrete slab's cracking properties, and the destruction behavior of the slab itself. The examination was done through multipoint transfer repeated-loading tests and a destructive test using 5 different types of joint test pieces. As the result we are able to propose the desirable jointing method for pre-cast composite slabs.

Key Words: Pre-cast composite slab, Distribution bar joint, Slab concrete crack situation, Destructiveness

キーワード: プレキャスト合成床版, 配力筋継手, ひび割れ性状, 破壊性状

1. まえがき

昭和 30~40 年代に架設された鋼 I 桁橋では, ① 床版厚の不足, ② 配力筋不足, ③ 粗骨材の砕石への移行による品質不良, ④ ポンプ車打設への移行による施工不良, ⑤ 交通量の増大, ⑥ 過積載荷重などにより床版が損傷し, 縦桁増設や鋼板接着などにより補強されているものが多い。しかし, 近年において補強された床版が, 再び損傷している例が増加しているため, 既存の交通を阻害しない床版の取替えなどの新たな施策が必要になってきている。

そこで, 著者らが開発した高い耐荷力と耐久性を有する合成床版をプレキャスト構造にした, 図-1 に示すプレキャスト合成床版を用いて, 様々な交通条件に対応できる床版取替え急速施工法の実用化を図っている。合成床版に関し

ては, 旧建設省土木研究所において実施した輪荷重走行試験により, 載荷荷重 400kN, 走行回数 52 万回まで破壊には至らなかったことを確認している¹⁾。

この合成床版に, 工場において床版の継手部を除いた大部分の個所にコンクリートを打設するプレキャスト合成床版は, 現場においてコンクリートを打設する合成床版と同等以上の高い耐荷力・耐久性が期待できる。このプレキャスト合成床版を用いることにより, 既存の交通を阻害しないように, 夜間の片側通行により部分的に床版を取り替え, 日中の交通解放をすることも可能である。しかし, 床版取替えを急速に行う場合に, プレキャスト合成床版における望ましい鉄筋の現場継手方法は数少ない。

そこで, 本試験では, 既存の合成床版が輪荷重走行試験では破壊に至らなかったことを考慮し, 設計荷重を基本にして, その 2 倍, 3 倍の荷重による多点移動繰り返し載荷試験により, プレキャスト合成床版における継手の違いによる断面剛性およびコンクリートのひび割れ性状の相違を把握した。その後, 多点移動繰り返し載荷試験を終了した試験体を 5, 000kN ジャッキを用いて破壊し, プレキャスト合成床版の継手の違いによる破壊性状の相違を確認して, 望ましい継手方法を検討した。

本文は, プレキャスト合成床版の配力筋継手の違いによる断面剛性, コンクリートのひび割れ性状および破壊性状の相違について検討し, プレキャスト合成床版における望ましい継手方法について述べるものである。

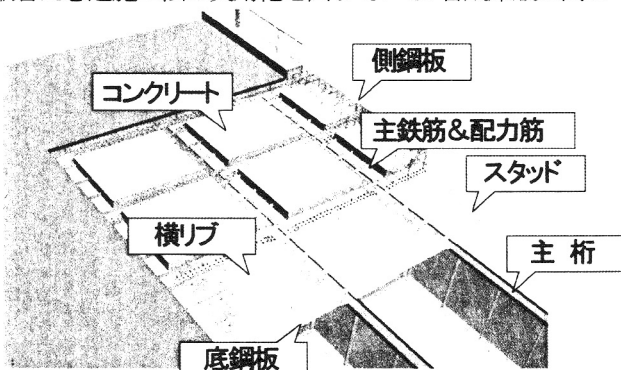


図-1 プレキャスト合成床版の構造

2. 試験概要

(1) 試験目的

試験目的は、プレキャスト合成床版を用いた床版取替え急速施工法の実用化を図るために、次の項目に着目し、主に望ましい配力筋継手方法を選定するものである。

- ① 配力筋継手の違いによる断面性能の相違
- ② 床版コンクリートひび割れおよび破壊性状

(2) 供試体

供試体は、床版支間3 mの連続版の床版取替を想定し、図-2 に示す床版厚 180 mm、主鉄筋方向長さ 2.8 m、配力筋方向長さを 2.5 m とした。供試体の支間長は、正曲げ区間や試験施設の条件などを考慮して、2.5 m の 2 辺単純支持とし、4 隅に浮上り防止を設置した。

継手形式は、図-3 に示すように 5 形式とした。継手なし形式を基本形の供試体とし、継手形式の違いによる断面剛性などの相違を把握するために、重ね継手形式、施工性を考慮した Broom 継手形式、施工の更なる省力化を図るための添筋継手形式、および、配力筋を重ね継手とし主鉄筋を機械式の Broom 継手とした主鉄筋継手追加形式とした。

使用材料は、鋼材が SS400、鉄筋が SD295、コンクリートのプレキャスト部に普通コンクリート、継手部に早強コンクリートを用いた。コンクリートなどの材料特性とコンクリートの配合を表-1、2 に示す。供試体の製作は、プレキャスト合成床版の製作を予定している工場にて行った。

(3) 試験方法

試験方法は、旧建設省土木研究所において実施した輪荷重走行試験により、載荷荷重 400 kN、走行回数 52 万回まで破壊には至らなかったことから¹⁾、破壊性状を確認することを想定して大阪工業大学の 10 000 kN フレームに、600 kN サーボ型疲労試験機を設置して、図-2 に示すように支間中央の 3 載荷点を順次 10 万回ずつ載荷を繰り返す多点移動繰返し載荷試験を行った。載荷荷重は、輪荷重走行試験を参考²⁾ に 100 kN (T 荷重のうち 1 輪分の荷重) × 1.3 倍 (床版支間に対して衝撃を考慮) × 1.2 (20% の割増し係数を考慮) = 156 kN であることから、図-4 に示すように基本とする荷重の範囲を 20 kN ~ 180 kN の 160 kN とし、さらに 160 kN の 2 倍、3 倍の荷重を載荷した。160 kN は、実橋で計測される最大の荷重値とほぼ一致している³⁾。多点移動繰返し載荷試験の状況を写真-1 に示す。

その後、写真-2 に示す 5 000 kN 載荷ジャッキを用いて、供試体が破壊に至るまで静的に荷重を載荷し破壊性状を確認した。ただし、多点移動繰返し載荷試験による損傷状況と破壊性状確認試験による破壊性状を比較するため、TYPE-5 (主鉄筋継手追加) の破壊性状確認試験は行わなかった。供試体の支点部は、速乾性の無収縮モルタルを敷いて供試体が一様に支持されるようにした。供試体のたわみは、床版下面に取り付けた 7 台の高感度変位計を用いて測定した。また、床版上面、鋼板下面および鉄筋にはひずみゲージを貼付け、ひずみの分布性状を確認した。

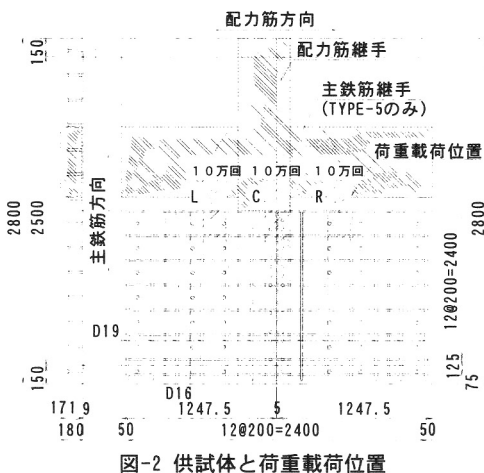


図-2 供試体と荷重載荷位置

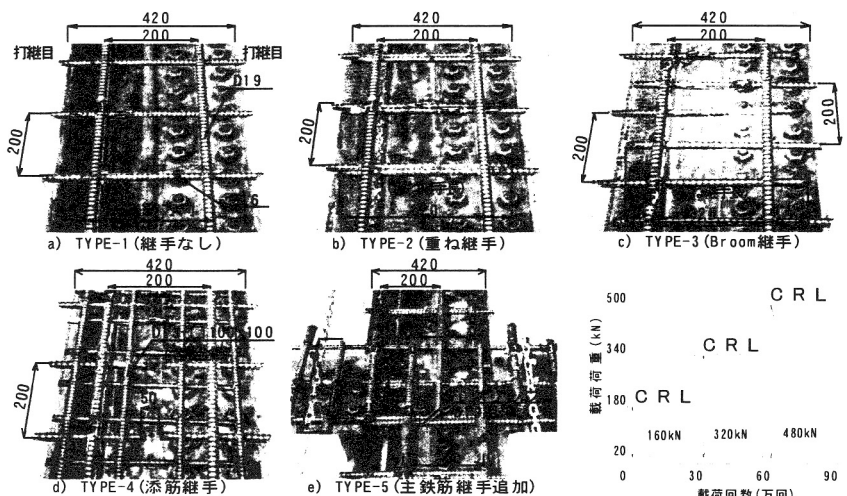


図-3 継手形式

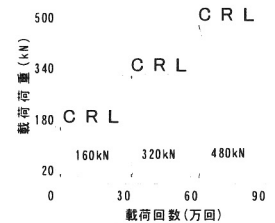


図-4 繰返し載荷状況

表-1 材料特性

	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼材	2.00×10 ⁵	0.30
プレキャスト部コンクリート	2.89×10 ⁴	0.19
継手部コンクリート	2.85×10 ⁴	0.18

表-2 コンクリートの配合

	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
		セメント	水	細骨材	粗骨材	AE減水材
プレキャスト部 普通コンクリート	55.0	288	158	805	1031	1.15
継手部 早強コンクリート	54.1	291	157	800	1034	1.16

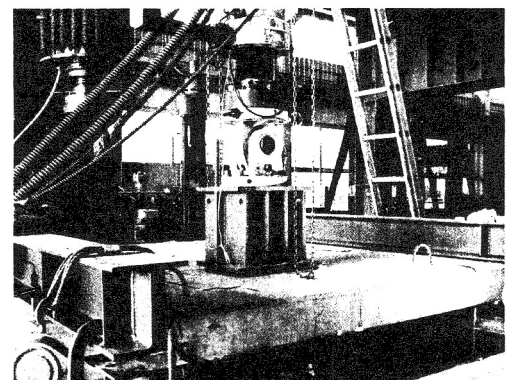


写真-1 多点移動繰返し載荷試験の状況

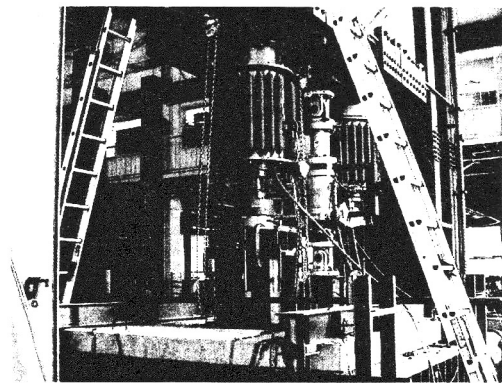


写真-2 5 000 kN ジャッキによる破壊性状確認試験の状況

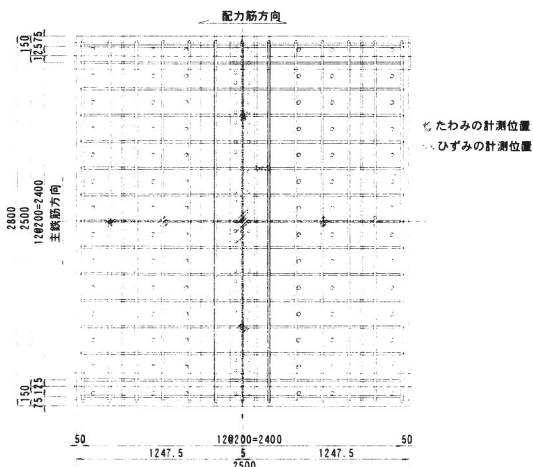


図-5 たわみとひずみの測定位置

3. 実験結果と考察

(1) 配筋継手の変化によるたわみの相違

図-5 に示すように供試体中央部に、180 kN および 340 kN の荷重を載荷した場合、配筋継手の違いによる載荷荷重とたわみの関係を図-6, 7 に示す。図-6 は、多点移動繰返し載荷試験を開始する前の静的載荷における 180 kN の荷重を載荷した場合、配筋筋方向のたわみである。図-7 は、載荷荷重の範囲を 160 kN とし 10 万回ずつ 3 載荷点に合計 30 万回載荷した後、設計荷重のおよそ 2 倍の荷重である 340 kN の荷重を載荷した場合、配筋筋方向のたわみである。180 kN および 340 kN の載荷荷重における配筋筋方向のたわみは、基本形である TYPE-1（継手なし）と比較すると、TYPE-4（添筋継手）が小さく、TYPE-3（Broom継手）が大きくなっている。TYPE-2（重ね継手）のたわみは、TYPE-1（継手なし）とほぼ同様の挙動を示している。TYPE-5（主鉄筋継手追加）のたわみは、他の 4 タイプと比較すると、主鉄筋方向に継手を有しているため、大きくなる傾向にある。

解析値⁴⁾との比較は、TYPE-1～4 の配筋継手のみの形式のたわみが、180 kN と 340 kN 載荷時のいずれにおいても、全断面有効モデルのたわみの解析値と一致している。TYPE-5（主鉄筋継手追加）のたわみは、180 kN 載荷時では、全断面有効モデルの解析値とほぼ一致するものの、

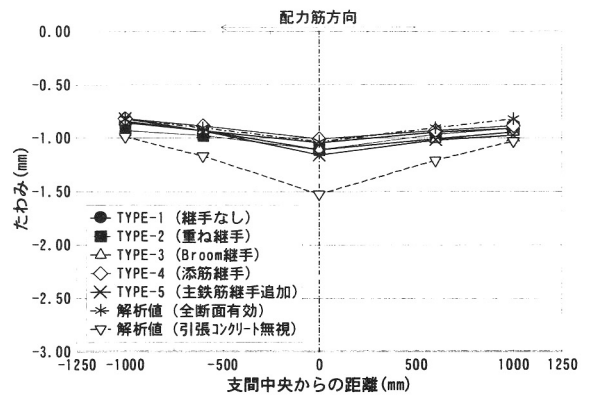


図-6 載荷荷重とたわみの関係 (180 kN 載荷時)

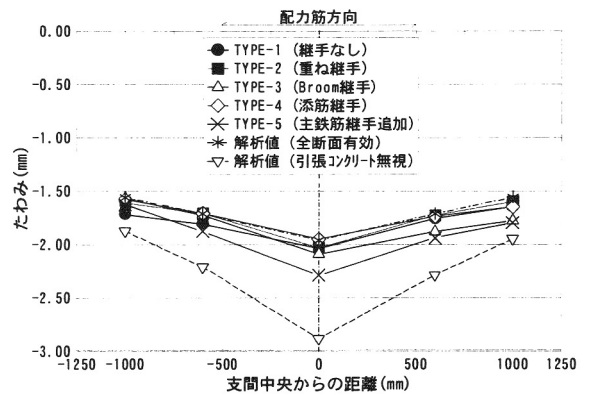


図-7 載荷荷重とたわみの関係 (340 kN 載荷時)

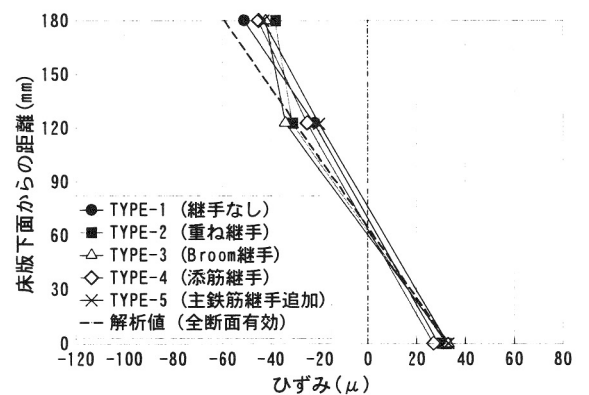


図-8 配筋筋継手の違いによる配筋筋方向ひずみの相違 (180 kN 載荷時)

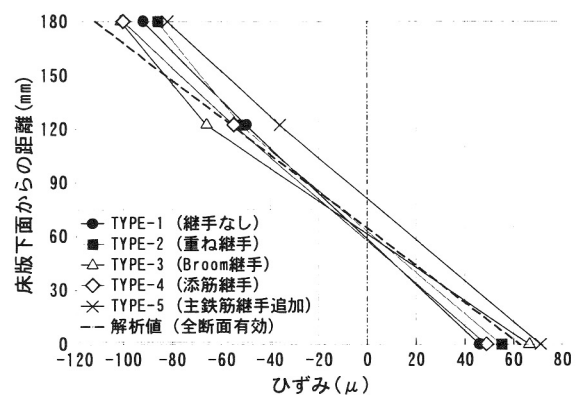


図-9 配筋筋継手の違いによる配筋筋方向ひずみの相違 (340 kN 載荷時)

設計荷重 160kN のおよそ 2 倍である 340 kN の荷重載荷時において、全断面有効と引張コンクリート無視モデルのたわみ解析値の中間である。

以上の結果から、TYPE-1~4 の配筋継手のみの形式は、180 kN および 340 kN の載荷荷重時において、ほぼ同様の挙動を示し、全断面有効モデルの解析値とほぼ一致することがわかった。特に、TYPE-4 (添筋継手) は、他の形式と比較すると、たわみを低減できる有効な継手形式であると考えられる。主鉄筋継手を有する TYPE-5 (主鉄筋継手追加) は、設計荷重レベルでの使用において特に問題ない。

(2) 配筋継手の違いによるひずみの相違

図-5 に示すように供試体の中央に 180 kN と 340 kN の荷重を載荷した場合の、配筋継手の違いによるひずみの相違を図-8, 9 に示す。図-8 は、多点移動繰返し載荷試験を開始する前の静的載荷における 180 kN の荷重を載荷した場合の配筋方向のコンクリート、鉄筋および底鋼板のひずみである。図-9 は、載荷荷重の範囲を 160kN とし 10 万回ずつ 3 載荷点に合計 30 万回載荷した後、設計荷重のおよそ 2 倍である 340 kN の荷重を載荷した場合の配筋方向のコンクリート、鉄筋および底鋼板のひずみである。

図-8 の 180 kN の載荷荷重における配筋方向のひずみは、すべての継手形式がほぼ同様の挙動を示している。たわみと同様に基本形とする TYPE-1 (継手なし) と比較すると、TYPE-4 (添筋継手) が小さく、TYPE-3 (Broom 継手)

が大きくなっている。また、主鉄筋方向と配筋方向の継手に関するひずみの関係は、配筋方向のひずみが、主鉄筋方向のひずみのおよそ 25 % であった。図-9 の 340 kN の荷重載荷時におけるひずみは、荷重が大きくなったため TYPE-5 (主鉄筋継手追加) のみ性状が変化したものと考えられる。解析値との比較は、180 kN と 340 kN 載荷時では中立軸が全断面有効モデルと概ね一致している。

以上の結果から、TYPE-1~4 においては、中立軸に大きな移動がないため、340 kN の載荷荷重まで各部材の合成が保持されていることがわかった。TYPE-1~5 の継手形式の違いによるひずみは、大きさに多少の相違はあるものの、ほぼ同様の挙動を示す。

(3) 配筋継手の違いによるコンクリートひび割れ性状の相違

多点移動繰返し載荷試験の終了時における床版のひび割れ性状を図-10 に示す。TYPE-1~4 の配筋継手形式のみの床版ひび割れは、60 万回の多点移動繰返し載荷が終了し、最大荷重が設計荷重のおよそ 3 倍である 500 kN の多点移動繰返し載荷試験の開始直後に発生した。床版コンクリート上面のひび割れの発生個所は、TYPE-1 (継手なし) と TYPE-2 (重ね継手) が、プレキャスト部と継手部との境界部、および、継手部のリップ部において発生している。TYPE-3 (Broom 継手) は、500 kN の偏心載荷時に載荷点直下のプレキャスト部においてひび割れが発生している。TYPE-4 (添筋継手) は、プレキャスト部と継手部と

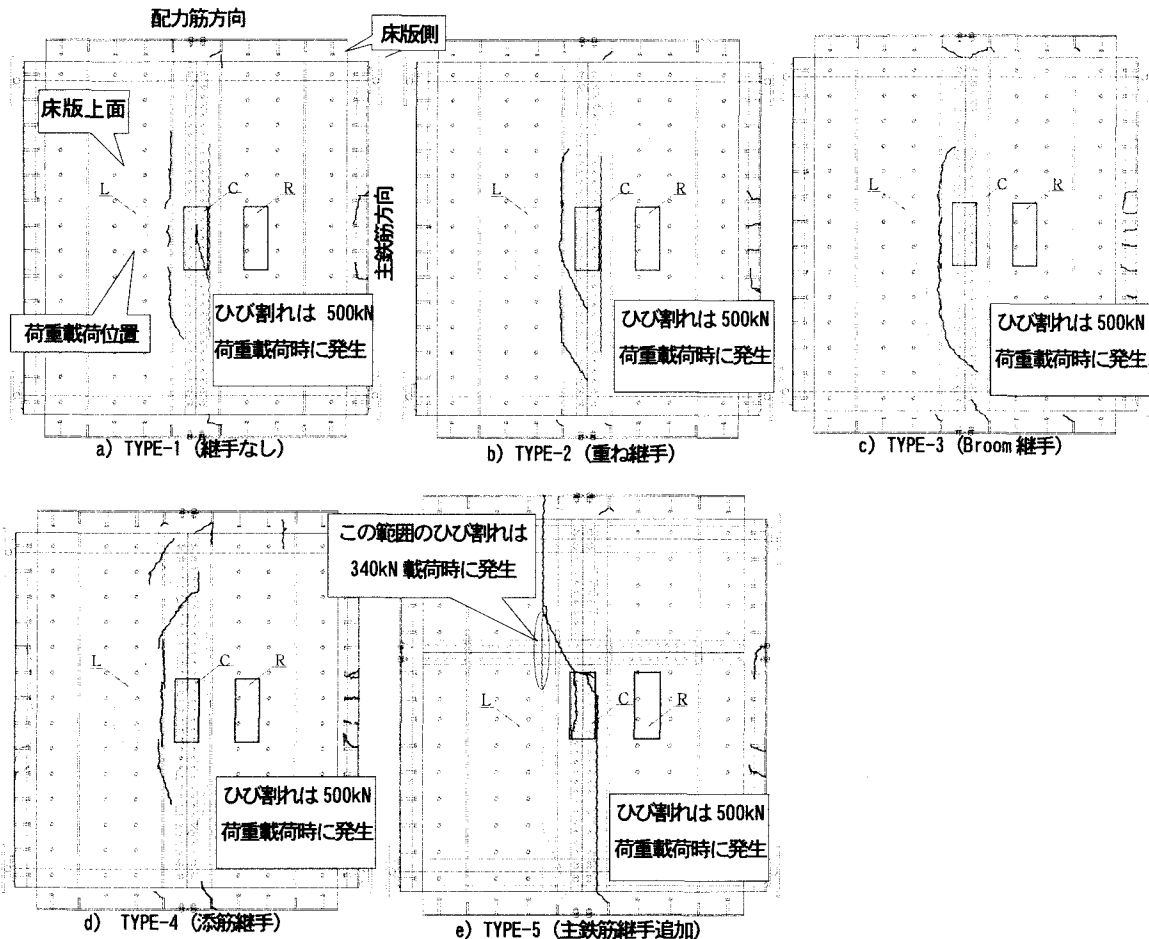


図-10 配筋の違いによる床版のコンクリートひび割れ性状の相違

の境界部にひび割れが発生していない。

TYPE-5（主鉄筋継手追加）のひび割れは、主鉄筋継手と配力筋継手の交差部に設計荷重のおよそ2倍の荷重荷重である340 kNの荷重荷重時にひび割れが発生しているとともに、500 kNの荷重荷重時にプレキャスト部と継手部のコンクリート境界部にひび割れが発生している。床版コンクリート側面のひび割れの発生箇所は、TYPE-1～4ともほぼ同様に、主鉄筋方向が支間中央部におけるスタッドが設置されている位置で、配力筋方向が、底鋼板の添接部におけるリブ頂部を起点にひび割れが発生している。TYPE-5（主鉄筋継手追加）は、橋軸方向に主鉄筋継手を有していることから、底鋼板添接部のボルト頂部からひび割れが発生している。

以上の結果から、TYPE-1～5の継手形式の床版コンクリートのひび割れは、偏心荷重において荷重直下のプレキャスト部にひび割れが発生している継手形式もあるが、設計荷重のおよそ2～3倍の荷重荷重時に床版上面と側面において発生していないことから、設計荷重レベルでの使用において十分な耐久性を有していることがわかった。TYPE-4（添筋継手）は、プレキャスト合成床版の弱点であると考えられるプレキャスト部との境界部に、ひび割れが発生していないことから、床版コンクリートのひび割れに対して

も有効な継手形式であると考えられる。

(4) 床版の破壊性状確認試験

多点移動繰返し荷重試験後、写真-2に示す5000 kNジャッキを用いて、TYPE-1～4の供試体の中央部に静的荷重による破壊性状確認試験を実施した。供試体を図-11に示すように切断したものを写真-3、荷重荷重とたわみの関係

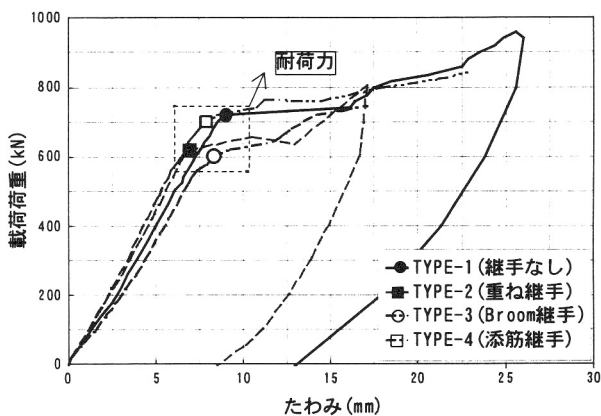


図-12 配力筋継手の違いによる耐力力の相違
(変位計の都合で途中で計測を中止したものを含む)

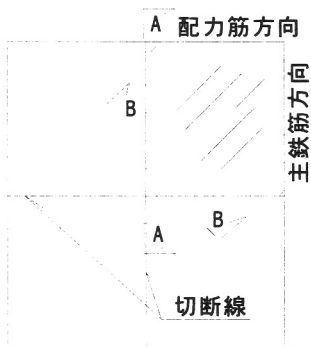


図-11 供試体切断位置

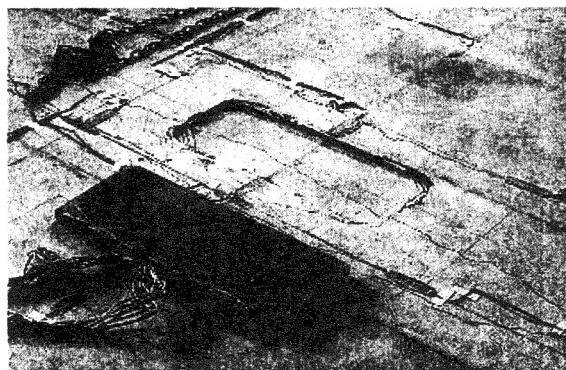


写真-4 床版上面の押し抜きせん断破壊状況

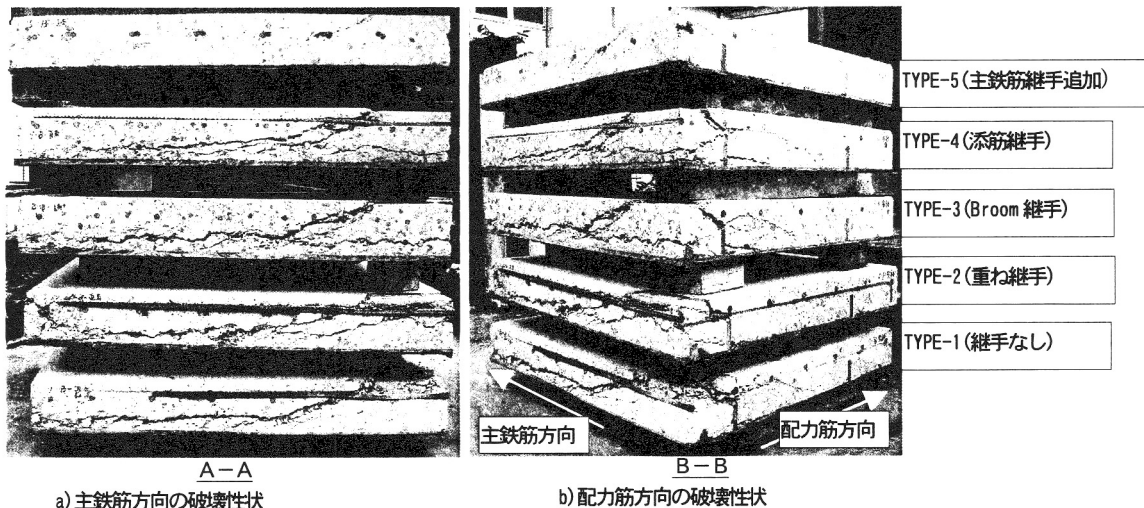


写真-3 配力筋継手の違いによる破壊性状の相違

を図-12に示す。図-12に示すように耐荷力は、TYPE-1（継手なし）とTYPE-4（添筋継手）がおおよそ700 kN、TYPE-2（重ね継手）とTYPE-3（Broom継手）がおおよそ600 kNであった。

破壊性状は、写真-3に示すように破壊性状確認試験を実施しなかったTYPE-5（主鉄筋継手追加）において多点移動繰返し載荷試験後に、押し抜きせん断破壊が発生していた。TYPE-1～4についても押し抜きせん断破壊が発生していたものと考えられる。このひび割れ状態から破壊性状確認試験を実施したところ600～700 kNの載荷荷重により、写真-4に示すように床版上面が沈下するとともに、主鉄筋方向が添接ボルトの頭部に沿って層状のひび割れが発生している。それに対して配力筋方向は、荷重載荷点とリブの間にひび割れが発生し、そのひび割れがリブを伝って底鋼板まで到達している。破壊性状の相違は、TYPE-3（Broom継手）とTYPE-4（添筋継手）を、TYPE-1（継手なし）とTYPE-2（重ね継手）と比較とすると、TYPE-3（Broom継手）とTYPE-4（添筋継手）が、載荷荷重の直下において主鉄筋方向の添接ボルトの頭部に沿って、層状のひび割れが発生していることである。

以上の結果から、本試験の供試体と同様の床版支間3.0mのプレキャスト合成床版は、少なくとも600 kN程度の荷重に対する最終耐荷力を有することがわかった。また、破壊性状において多少の相違があるものの、配力筋継手の違いによる破壊性状はほぼ同様であることがわかった。

4. まとめ

今回の多点移動繰返し載荷試験と破壊性状確認試験により、次のことが得られた。

- ① 今回の試験により、配力筋継手の継手なし形式、重ね継手形式、Broom継手形式、添筋継手形式の違いによる断面剛性、床版コンクリートのひび割れ、および、破壊性状はほぼ同様の挙動を示すことから、いずれの継手形状を採用してもよいものと考えられる。しかし、施工性や既往の研究³⁾などを考慮すると、現状ではプレキャスト合成床版の配力筋、主鉄筋ともにBroom継手が望ましいものと考えられる。
- ② 添筋継手形式は、たわみ、床版のひび割れ性状、最終耐荷力、および、施工性を考慮すると、プレキャスト合成床版に最も望ましい継手形式である。しかし、実用化を図るためには、輪荷重走行試験により耐久性などを検討することが望ましいものと考えられる。
- ③ 今回の試験を行ったすべての継手形式は、設計荷重のおおよそ2～3倍の荷重載荷時に床版上面と側面にひび割れが発生していることから、設計荷重レベルでの使用において、十分な耐久性を有しているものと考えられる。
- ④ 今回の供試体と同様の床版支間3.0mのプレキャスト合成床版は、少なくとも600 kN程度の荷重に対する耐荷力を有している。
- ⑤ 主鉄筋継手追加タイプの継手形状は、設計荷重レベルでの使用においては特に問題がない。ただし、より一

層の耐久性の向上を図るためには、主鉄筋継手に今回の試験により優れた機能性を有していることがわかった添筋継手に用いた溶接金網などを、用心鉄筋として配置しておくこともひとつの方法である。

5. あとがき

本研究では、プレキャスト合成床版における配力筋継手の違いによる断面性能の相違、床版コンクリートのひび割れ状況および破壊性状を把握し、望ましい継手方法を選定した。既存の鋼I橋を点検すると、床版が損傷しているものの、主桁などの鋼部材が損傷していないものが多くみられることから、既に補修し再度損傷した床版を取り替えることにより、橋梁の長寿命化を図ることができるものと考えられる。そのためには、今回の研究においてプレキャスト合成床版に望ましいと考えられる添筋継手のより詳細な検討を行って、耐荷性、耐久性、経済性、施工性に優れたプレキャスト床版を実用化することが重要である。

参考文献

- 1) 渡辺、街道、水口、村松、松井、堀川：鋼・コンクリート合成床版の開発と実橋への適用について、第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、1998. 11.
- 2) 庄中、大西、横山、関口、堀川：道路橋RC床版の疲労耐久性を評価するための試験方法について、第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集、2003. 6.
- 3) 直野、戸川、藤井、谷口、堀川：プレキャスト床版のBroom継手構造の輪荷重走行による疲労耐久性（その1）、第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集、2003. 6.
- 4) 街道、渡辺、橋、松井、堀川：鋼・コンクリート合成床版の輪荷重走行試験および3次元有限要素解析における疲労耐久性の評価、構造工学会論文集、2004. 3.