

プレキャスト合成床版を用いた連続合成桁 における中間支点部の負曲げ載荷試験

Static Loading Test of Continuous Composite Girders with Pre-cast Steel Plate-concrete Composite Deck

磯 光夫
Mitsuo ISO

川田工業(株)技術研究所主幹

清水 良平
Ryouhei SHIMIZU

川田工業(株)橋梁事業部技術本部
東京技術部技術一課

北川 幸二
Kouji KITAGAWA

川田工業(株)橋梁事業部技術本部
四国技術部設計三課係長

伊藤 剛
Takeshi ITOH

川田工業(株)橋梁事業部技術本部
四国技術部設計二課

近年、既に補修・補強された床版が、再び損傷しているため、新たな施策が必要になってきている。その対策として、既存の交通を阻害しないプレキャスト合成床版を用いた床版取替え急速施工法が考えられる。本研究の目的は、添筋継手を用いたプレキャスト合成床版を連続合成桁の中間支点到適用する場合を想定し、負曲げ作用時の添筋継手の有効性を確認することである。その方法は、引張鉄筋を対象とした供試体を用いて、添筋継手の望ましい重ね継手長と鉄筋のあきを確認する予備試験と、合成床版と鋼けたを一体化した試験体を製作し、床版が主桁の一部として挙動する負曲げ載荷試験を行った。その結果は、負の曲げモーメントを受けるプレキャスト合成床版において重ね継手長15Dの添筋継手を用いても問題はないことがわかった。

キーワード：プレキャスト合成床版、負曲げ載荷試験、配力筋継手、主桁剛性、ひび割れ性状

1. はじめに

昭和30～40年代に架設された鋼I桁橋では、床版厚や配力筋の不足、交通量の増大などにより床版が損傷し、鋼板接着、縦桁増設、上面増厚などにより補修・補強されているものが多い。しかし、近年において補修・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。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、既存の交通を阻害しないように、夜間の片側交通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、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が数少ないため、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¹⁾ことに考慮して、多点移動繰り返し載荷試験や破壊試験により、断面剛性、床版コンクリートのひび割れ性状、破壊性状を比較検討し

て、添筋継手構造が正曲げを受けるプレキャスト合成床版に最も適した継手形式であることを確認している²⁾。

本研究は、この添筋継手を連続合成桁の中間支点到適用することを想定し、まず予備試験により、添筋継手の望ましい重ね継手長や鉄筋のあきについて検討し、次に主として主桁剛性やひび割れ性状に着目した負曲げ載荷試験を行ったものである。その結果、現場打ちによる一般の合成床版の試験結果³⁾とも比較して、添筋継手の有効性が確認されたことから、ここに報告する。

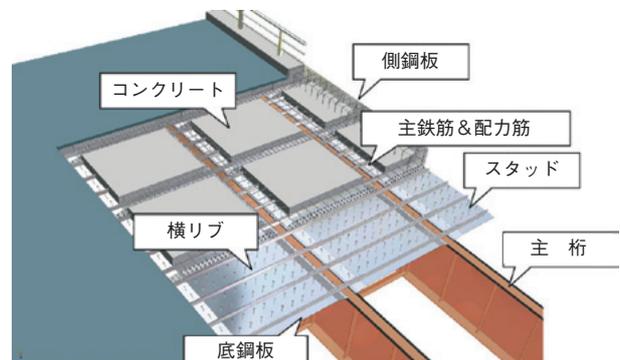


図1 プレキャスト合成床版の構造

2. 予備試験

2.1 予備試験の目的

床版取替えに用いるプレキャスト合成床版の継手部は、現場において短時間に鉄筋を連結し、間詰め部に超速硬コンクリートを打設して、硬化後早急に交通解放が要求される場合が多々ある。そのため、継手構造の単純化を図るとともに、重ね継手長を短くして図2に示す間詰めコンクリートの量を減らすことが望ましい。そこで、予備試験の目的は、引張鉄筋を対象とした図3に示す供試体を用いて、添筋継手の望ましい重ね継手長と鉄筋のあきを確認することである。

2.2 予備試験の方法

コンクリート標準示方書⁴⁾によると、横方向鉄筋で補強されている場合の鉄筋の重ね継手長は、配力筋直径の10倍から13倍程度と算出される。しかし、鉄筋かぶりの

少ない版構造に適用できるかを確認するために、供試体は図3に示すような要領で主鉄筋（D16、D19、D22）、配力筋（D16、D19、D22）、鉄筋の重ね継手長（配力筋直径の10倍と13倍）、配力筋と添筋のあき（配力筋直径の1倍と3倍）、合成床版を想定したコンクリート下面への短冊状の底鋼板接着の有無などを变化させた9タイプを製作した。試験方法は、主鉄筋の両側から引張力を与え、配力筋が降伏するまでコンクリート破壊が生じなければ、継手性能が確保できたものと判断した。

2.3 予備試験結果とその考察

試験結果の例を図4に示す。これらの結果より、引張鉄筋においてもコンクリート下面に底鋼板を接着し、配力筋と添筋のあきが配力筋直径の3倍の場合でさえ、鉄筋の重ね継手長が配力筋直径の13倍あれば、コンクリートが破壊する前に鉄筋が降伏し、継手性能を確保できることがわかった。

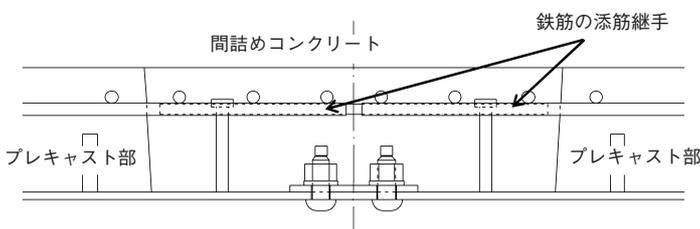


図2 プレキャスト合成床版の継手部

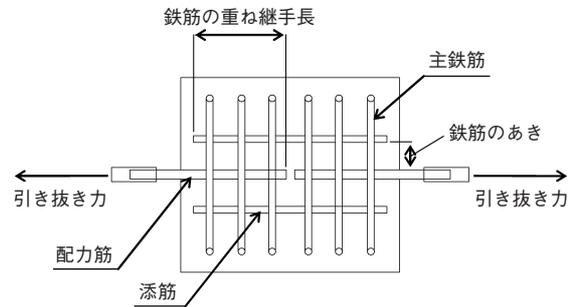
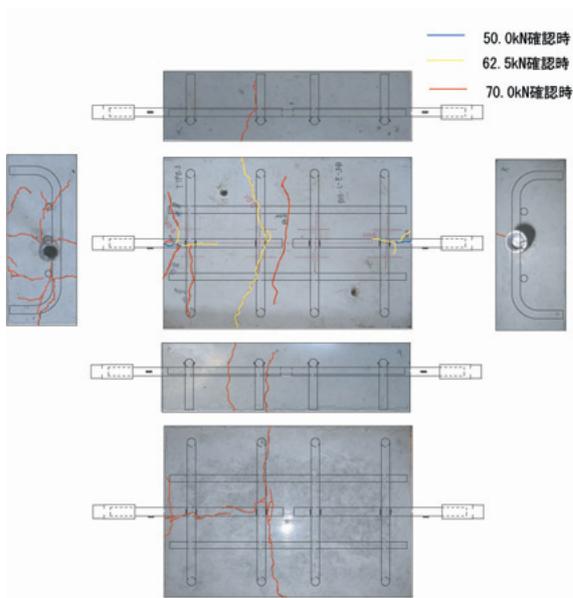
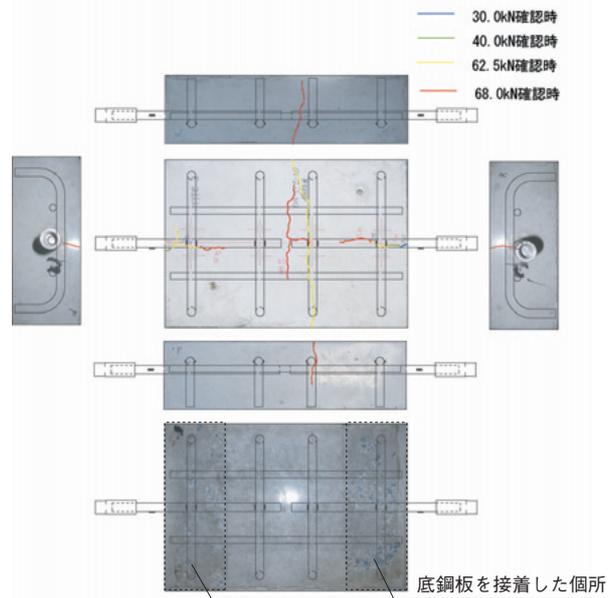


図3 予備試験の概略図



a) 底鋼板がないタイプ



b) 底鋼板を接着したタイプ

図4 予備試験結果の例
(配力筋D16、添筋のあきが配力筋直径の3倍、鉄筋の重ね継手長が配力筋直径の13倍の場合)

3. 中間支点部の負曲げ载荷試験

3.1 負曲げ载荷試験の目的

プレキャスト合成床版を連続桁に採用すると、中間支点域に引張りを受ける配筋継手が生じる。そこで、負曲げ载荷試験の目的は、添筋継手を連続合成桁の中間支点到適用する場合を想定し、合成床版と鋼げたを一体化した試験体を製作して、床版が主桁の一部として挙動する応力状態を発生させることにより、主として主桁剛性やひび割れ性状に着目し、添筋継手の有効性を確認することである。

3.2 試験体の構造諸元

試験体は支持げたの中心間隔である床版の支間長を2.0 mとして設計した実物大の模型であり、全長6 400 mm・高さ641 mmの鋼げたに、コンクリート版厚150 mm・下鋼板厚9 mm・幅員1 200 mmの床版を鋼げたの上フランジ上のスタッドを介して結合したものである。なお、試験体の床版部のコンクリートには、設計基準強度

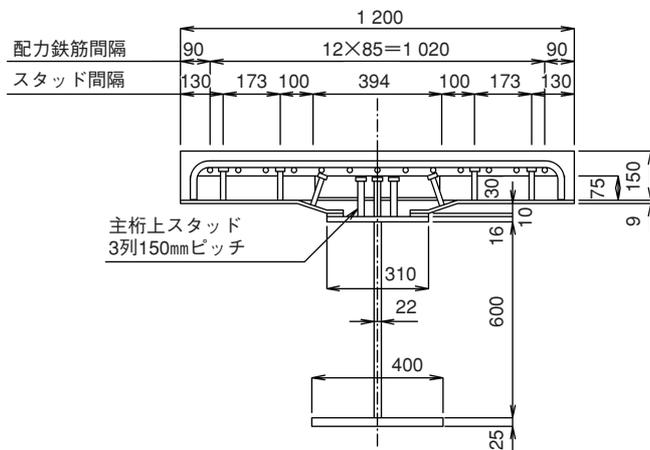


図5 プレキャスト合成床版試験体の断面図

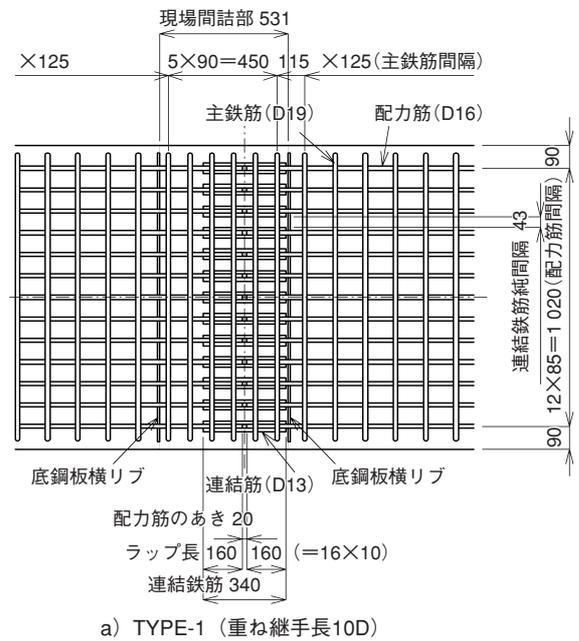
表1 プレキャスト合成床版試験体の構造諸元

		単位	構造諸元
床版	コンクリート	版厚	mm 150
		設計基準強度	N/mm ² 30
	鋼板	板厚	mm 9
		断面	mm 75×9
スタッド	寸法	mm φ16×100	
	橋軸方向間隔	φ	250
	橋軸直角方向間隔	φ	173
鋼げた	上ラウンジ	断面	mm 310×16
	ウェブ	φ	mm 600×22
	下フランジ	φ	mm 400×25
	スタッド	寸法	mm φ19×120
橋軸方向間隔		φ	150
	橋軸直角方向間隔	φ	50

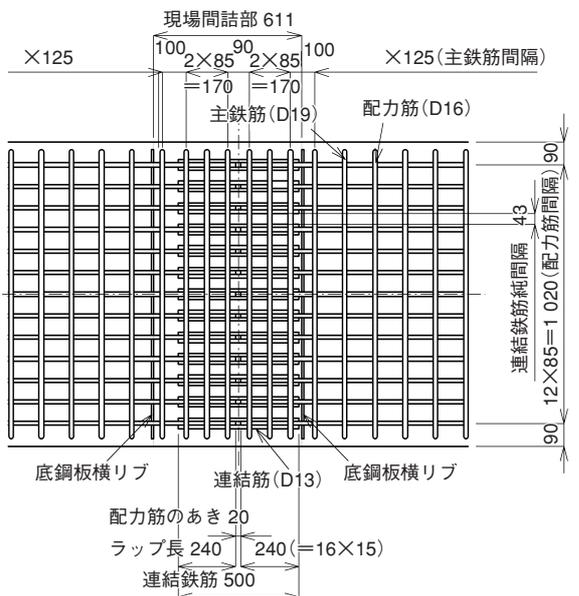
$\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートを用いている。試験体の断面図および鉄筋配置を除く構造諸元を、それぞれ図5および表1に示す。

3.3 試験体の種類

試験体は、中間支点部に図6に示す添筋継手を設けた2種類である。合成床版についてはコンクリートの面積に対する配筋鉄筋の面積の比率が1.5 %の普通コンクリートを適用した2体を製作した。なお、対象とする合成床版の場合、底鋼板が下側の主鉄筋および配筋鉄筋の役割を果たすことから鉄筋を上側にしか配置していないため、上記の配筋鉄筋比は上側の配筋鉄筋に対するものである。



a) TYPE-1 (重ね継手長10D)



b) TYPE-2 (重ね継手長15D)

図6 添筋継手の配筋図

3.4 荷重要領

試験体の荷重要領は図7に示すように試験体の中央において下フランジ下面を支持し、一方の端部において上フランジに溶接した鋼製の金具位置を支点としている。荷重は支持しないもう一方の端部に載荷し、試験体全体に負の曲げモーメントを発生させるものである。なお、支持金具は床版を貫通しているが、床版の挙動を拘束することがないように周囲に発泡スチロールを巻き付けている。また、支持架台と支持金具の間には球面座金を挿入し、試験体の回転変形を拘束しないように配慮している。

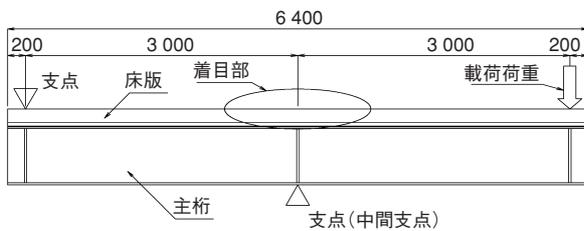


図7 荷重載荷図

3.5 測定項目

荷重試験における測定項目は、主げたの変位、鋼げたの上下フランジおよびウェブのひずみ、コンクリート上面のひび割れ幅およびひずみ、配力鉄筋のひずみ、底鋼板下面のひずみである。

鋼げたの下フランジには変位計を配置し、鋼げたの上下フランジおよびウェブには試験体中央付近に一軸ゲージを貼付している。またコンクリート上面にはひび割れ幅測定用の π ゲージおよびコンクリートゲージを、配力鉄筋および底鋼板には一軸ゲージを試験体中央付近に貼付している。なお、配力鉄筋の一軸ゲージについては、測定位置において鉄筋の2本のリブを平坦に削り両面に貼付した。コンクリート上面の π ゲージおよびコンクリートゲージの取付け状況を写真1に示す。

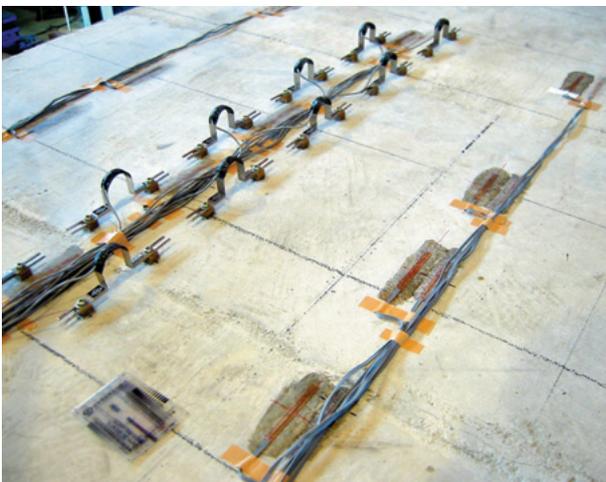


写真1 π ゲージとコンクリートゲージの貼付状況

3.6 設計荷重および載荷荷重

載荷試験を行うに際して、試験結果を評価するための応力状態の設定が必要である。特に、コンクリートのひび割れ性状は配力鉄筋に発生する応力度と密接な関係があることが知られていることから、評価の基準となる配力鉄筋の応力度を規定しなければならない。

通常、道路橋示方書⁵⁾に示される荷重条件にしたがって連続成げたの設計を行った場合、設計条件に大きな偏りがない限り、配力鉄筋の応力度は 100 N/mm^2 程度となる。したがって、ここでは配力鉄筋の応力度が 100 N/mm^2 となる状態に対応する載荷荷重を設計荷重と規定し、以下に示す試験結果の評価の基準とすることにした。さらに、配力鉄筋の許容応力度が 140 N/mm^2 であることを考慮し、載荷において基準となる応力状態を、コンクリートのひび割れ発生、配力鉄筋の応力度が許容応力度の $1/2$ である 70 N/mm^2 、設計応力度である 100 N/mm^2 、許容応力度である 140 N/mm^2 、設計応力度の3倍である 300 N/mm^2 とした。

載荷荷重については表2に示す通りであり、まず無載荷の状態から計算上床版のコンクリートにひび割れが発生する状態まで荷重を増加させ、この状態から 20 kN まで除荷する載荷を5回繰り返す。次に、 20 kN から配力鉄筋の応力度が計算上 70 N/mm^2 となる状態まで荷重を増加させ、この状態から 20 kN まで除荷する載荷を5回繰り返す。同様に、配力鉄筋の応力度が計算上 100 N/mm^2 および 140 N/mm^2 の場合の載荷を行う。最後に、 20 kN

表2 載荷荷重

載荷荷重	繰返し回数	対応する応力状態
0 kN→118 kN→20 kN	5	ひび割れ発生
20 kN→157 kN→20 kN	5	配力鉄筋応力度 70 N/mm^2
20 kN→235 kN→20 kN	5	〃 100 N/mm^2
20 kN→294 kN→20 kN	5	〃 140 N/mm^2
20 kN→608 kN→20 kN	1	〃 300 N/mm^2



写真2 試験装置および試験体

から配力鉄筋の応力度が計算上 300 N/mm^2 となる状態まで荷重を増加させ、この状態から 20 kN まで除荷する。

なお、表2の載荷荷重については、試験体ごとに各応力状態に対応する載荷荷重を算出し、そのうちの最大の値を載荷荷重として全試験体に適用したものである。また、配力鉄筋の応力度が 140 N/mm^2 になるまでの各載荷段階において、載荷を5回繰り返しているのは、発生したひび割れの幅を安定させることを目的としたものである。試験装置および試験体の状況を写真2に示す。

3.7 立体FE解析

載荷試験の測定結果と比較することを目的として、各試験体の立体FE解析を行った。解析モデルの要素構成を図8に示す。床版および鋼げたは、等方性の薄板要素でモデル化し、床版については換算版厚を、鋼げたについては上下フランジおよびウェブを構成する各鋼板の板厚を与えた。床版と鋼げたは、剛性を無限大とした骨組み要素によりモデル化した結合部材によって、両者が完全に一体化して挙動するように結合した。

解析モデルの全体構造を図9に示す。解析モデルの拘束条件は中央支持位置において鉛直方向・橋軸直角方向を、端部支持範囲において鉛直方向・橋軸方向・橋軸直角方向をそれぞれ固定とした。

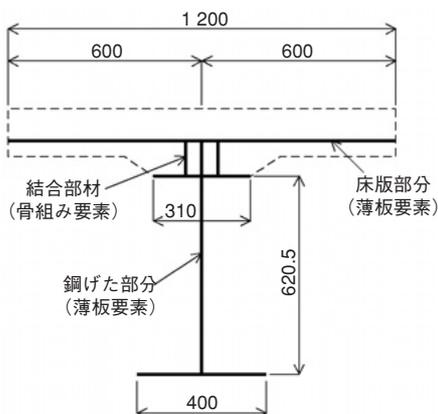


図8 解析モデルの要素構成

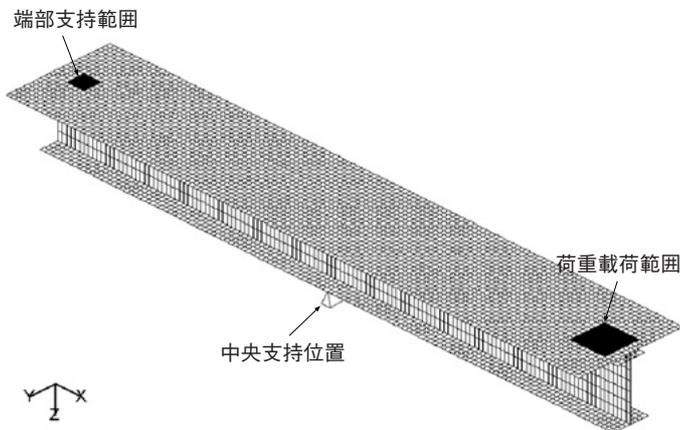


図9 解析モデルの全体構造

3.8 負曲げ載荷試験結果および考察

(1) 主桁剛性

図10に載荷荷重とたわみの関係を示す。たわみの測定位置は、荷重載荷点直下の下フランジの下面である。TYPE-1、2が添筋継手を有するものであり、TYPE-3（継手なし）が断面条件の同等な継手を有しない合成床版に関する既往の試験結果³⁾である。図10より、設計荷重レベルでの主桁剛性の測定値は、3タイプとも床版コンクリートの引張りを無視した場合の主桁剛性の傾きとほぼ並行である。これらの結果から、添筋継手を有するプレキャスト合成床版と継手なしの合成床版の主桁剛性はほぼ同等であり、継手の有無が主桁剛性に及ぼす影響は小さいことがわかった。

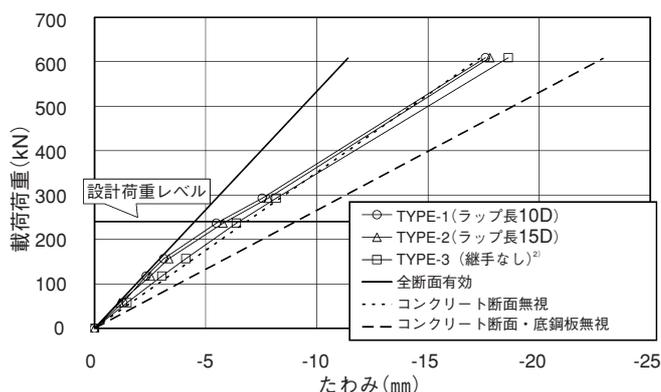


図10 載荷荷重とたわみの関係

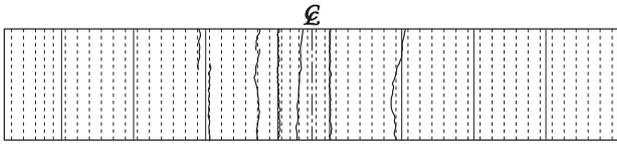
(2) コンクリートのひび割れ性状

設計荷重レベルに相当する 240 kN 載荷時の床版上面ひび割れ性状を図11に、また、載荷荷重とひび割れ幅の関係を図12にそれぞれ示す。

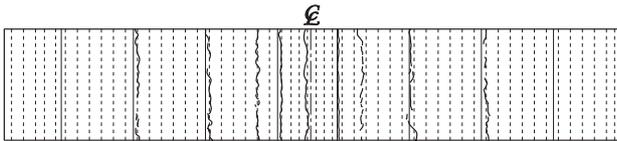
ひび割れ過程は、TYPE-1（重ね継手長 $10D$ ）、TYPE-2（重ね継手長 $15D$ ）とも、荷重載荷直後に継手部のコンクリート打継目に最初のひび割れを生じ、その後、横リブ位置から主鉄筋上へと進展する結果となった。これらの床版上面ひび割れ性状をTYPE-3（継手なし）と比較すると、TYPE-1（重ね継手長 $10D$ ）がひび割れ本数が少なく、TYPE-2（重ね継手長 $15D$ ）がTYPE-3（継手なし）と類似のひび割れ性状を示す結果となった。

一方、ひび割れ幅を観察すると、TYPE-1（重ね継手長 $10D$ ）では設計荷重レベルに相当する 240 kN 載荷時の土木学会のひび割れ算定式⁴⁾による値を超えているのに対して、TYPE-2（重ね継手長 $15D$ ）では超えていない。以上の結果から、重ね継手長 $15D$ の添筋継手は、継手なしとほぼ同様のひび割れ性状を示すとともに、土木学会のひび割れ幅算定値以下であることがわかった。それに対して、ラップ長 $10D$ の添筋継手は、負の曲げモーメントを受ける場合には、別途検討が必要であるといえる。

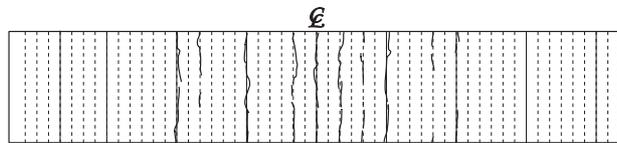
-----主鉄筋位置 ——横リブ位置



a) TYPE-1 (重ね継手長10D)

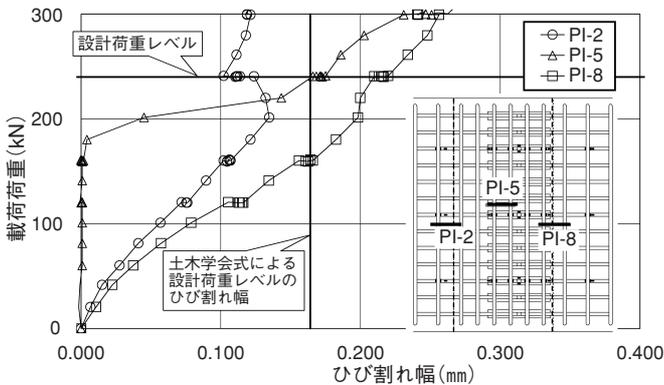


b) TYPE-2 (重ね継手長15D)

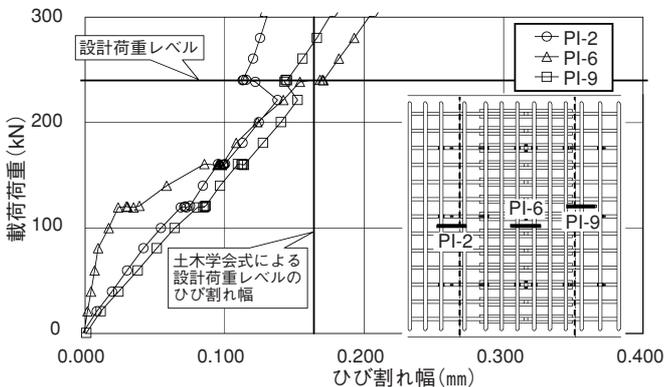


c) TYPE-3 (継手なし)

図11 コンクリート上面のひび割れ状況



a) TYPE-1 (重ね継手長10D)



b) TYPE-2 (重ね継手長15D)

図12 載荷荷重とひび割れ幅の関係

4. まとめ

本研究では、引張鉄筋を対象とした供試体を用いて、添筋継手の望ましい重ね継手長と鉄筋のあきを確認する予備試験とともに、添筋継手を連続合成桁の中間支点部に適用した試験体を製作し、主として主桁剛性やひび割れ性状に着目し、添筋継手の有効性を確認する、中間支点部の負曲げ試験を行った。

本研究において得られた結果は、次のとおりである。

- ① 予備試験によると、引張鉄筋においてもコンクリート下面に鋼板を接着し、配力筋と添筋のあきが配力筋直径の3倍以下で、かつ鉄筋の重ね継手長が配力筋直径の13倍以上あれば、継手性能を確保できる。
- ② 添筋継手などの配力筋の継手部が、主桁剛性に与える影響は小さい。
- ③ 負の曲げモーメントを受けるプレキャスト合成床版の継手においては、重ね継手長15Dの添筋継手を用いることで、継手なしの床版と同等の性能が得られる。

なお、プレキャスト合成床版自体の添筋継手に関しては、これまでに正、負曲げ試験を実施して、継手性能を確認した。今後は、輪荷重走行試験により継手性能を最終的に確認する予定である。

最後に、本研究にあたり大阪工業大学の栗田章光教授には、多大なご指導をいただきました。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

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) 磯, 鈴木, 橋, 児島, 辛嶋, 栗田: 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, 構造工学論文集 Vol.52A, 土木学会, pp.1017-1025, 2006.3.
- 3) 街道, 渡辺, 橋, 松井, 栗田: 鋼・コンクリート合成床版を適用したプレストレスしない連続合成げたの中間支点部の静的載荷試験, 構造工学論文集 Vol.1.49A, 土木学会, pp.1115-1126, 2003.3.
- 4) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 土木学会, 2002.5.
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 丸善, 2002.