

# 長支間床版用の鋼・コンクリート合成床版を適用した連続合成げたの 中間支点部の静的載荷試験

Static loading test of continuous composite girders with steel plate-concrete composite deck for large span slabs

街道 浩\*, 渡辺 滉\*\*, 橋 吉宏\*\*\*, 岩田幸三\*\*\*\*, 伊藤 剛\*\*\*\*\*

Hiroshi KAIDO, Hiroshi WATANABE, Yoshihiro TACHIBANA, Kozo IWATA and Takeshi ITOH

\* 工修 川田工業(株)橋梁事業部大阪技術部 (〒550-0014 大阪市西区北堀江 1-22-19)

\*\* 川田工業(株)橋梁事業部 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

\*\*\* 博士 (工学) 川田工業(株)橋梁事業部技術開発部 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

\*\*\*\* 川田工業(株)橋梁事業部大阪技術部 (〒550-0014 大阪市西区北堀江 1-22-19)

\*\*\*\*\* 工修 川田工業(株)橋梁事業部大阪技術部 (〒550-0014 大阪市西区北堀江 1-22-19)

In recent years, it has been evaluated by wheel trucking tests in our country that steel plate-concrete composite decks have high strength and fatigue durability. Therefore, steel plate-concrete composite decks are applied to large span slabs of steel two-girder bridges and U-shaped steel girder bridges. In order to study the behaviors of the steel plate-concrete composite deck acting as a part of the main girder, assuming the composite deck to be applied to continuous composite girders with large span slabs, static loading tests were conducted on its mid-supporting point area. In this paper, influences of steel plate, re-bars and shear studs upon concrete crack conditions, and the contribution of steel plate and re-bars to the main girder stiffness and strain transmission were investigated.

*Key Words: steel plate-concrete composite deck, large span slab, continuous composite girder, static loading test*

## 1. はじめに

近年、わが国において、各種の輪荷重走行試験により鋼・コンクリート合成床版（以下、合成床版と略す）の高い耐荷力および疲労耐久性が確認されたこと<sup>1)</sup>や長支間床版への適用に関する研究が行われたことにより、床版が重要な構造要素となる鋼2主げた橋、鋼少数主げた橋、開断面箱げた橋<sup>2)</sup>などに合成床版が積極的に採用されるに至っている。

本研究は、著者らがこれまでに開発したロビンソン型の合成床版<sup>3), 4), 5)</sup>を対象として、長支間床版用の合成床版を連続合成げたに適用した場合における中間支点部の挙動を明らかにすることを目的としたものである。具体的には、写真-1に示すように合成床版と鋼げたとを一体化した試験体を製作し、試験体全体に負の曲げモーメントを作用させることにより、床版部分に引張応力を発生させ、合成床版の各種性状を確認するものである。本研究における着目点は、コンクリートのひびわれ性状およびひびわれ幅の把握、主げたの剛性およびひずみの伝達への下鋼板・鉄筋の寄与の確認である。

## 2. 試験体および載荷方法

### 2.1 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5.8mとして設計した実物大の模型であり、全長11000mm・高さ1062mmの鋼げたに、コンクリート版厚251mm・下鋼板厚9mm・幅員1200mm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、設計基準強度が $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ の膨張コンクリートを適用している。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-1、表-1に示す。

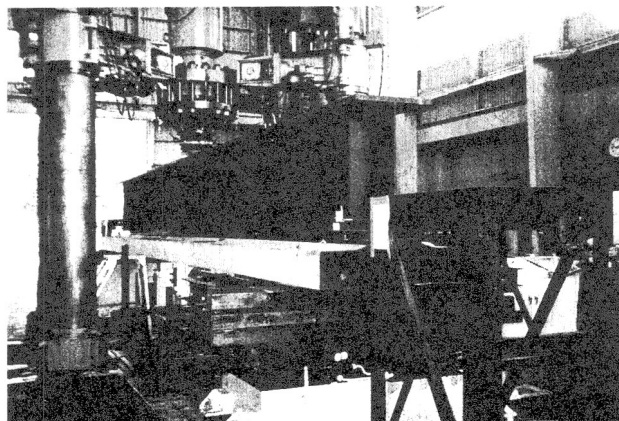


写真-1 載荷試験の状況写真

## 2.2 試験体の種類

試験体の種類は表-2に示す通りであり、配力鉄筋を一段配置した試験体（以下、一段配筋試験体と略す）と二段配置した試験体（以下、二段配筋試験体と略す）をそれぞれ一つずつ製作した。両試験体とも、コンクリートの断面積に対する配力鉄筋の断面積の比率（以下、配力鉄筋比と略す）を1.5%とした。また、両試験体とも、下鋼板には実橋の構造と同様に高力ボルト摩擦接合の継手を3.0m間隔に3箇所設けている。

## 2.3 荷重要領

試験体の荷重要領は図-2に示す通りであり、試験体の上下を反転させ、試験体の両端において床版上面を支持し、試験体中央の下フランジ下面に荷重を載荷することにより、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、試験体の支持位置においては、試験体の回転変形を拘束しないように配慮している。

## 2.4 設計荷重および荷重荷重

一般に、道路橋示方書<sup>9)</sup>に示される荷重条件にしたがって連続合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 $100\text{N/mm}^2$ 程度となる。このため、配力鉄筋の応力度が $100\text{N/mm}^2$ となる状態に対応する荷重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した。

また、荷重荷重については、まずコンクリートにひびわれが発生する荷重および上記の設計荷重までの荷重をそれぞれ1回ずつ行い、次に配力鉄筋の応力度が許容応力である $140\text{N/mm}^2$ となる荷重までの荷重を3回繰り返す。その後、鋼げたの上フランジが降伏するまで荷重を増加させるものとした。

## 2.5 立体FEM解析

荷重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FEM解析を行った。解析モデルの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エ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

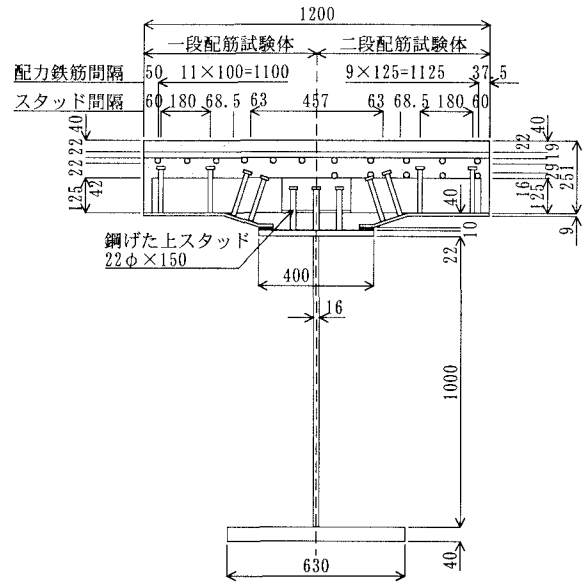


図-1 試験体の断面図

表-1 試験体の構造諸元

			単位	構造諸元
床	コンクリート	版厚	mm	251
		設計基準強度	$\text{N/mm}^2$	30
	鋼板	板厚	mm	9
		断面	mm	125×22
版	横リブ	橋軸方向間隔	"	650
		寸法	mm	$\phi 16 \times 180$
	スタッド	橋軸方向間隔	"	216.7
鋼	上フランジ	橋軸直角方向間隔	"	180
		断面	mm	400×22
	ウエブ	断面	"	1000×16
		断面	"	630×40
た	スタッド	寸法	mm	$\phi 22 \times 150$
		橋軸方向間隔	"	150
		橋軸直角方向間隔	"	80

表-2 試験体の鉄筋配置

		主鉄筋 (mm)		配力鉄筋 (mm)		配力鉄筋比 (%)	周長率 $\text{mm/mm}^2$
		呼び	間隔	呼び	間隔		
一段配筋試験体	上段	D22	125	D22	100	1.5	0.0027
	下段	D22	125	D19	125		
二段配筋試験体	上段	D22	125	D19	125	1.5	0.0035
	下段	D22	125	D16	125		

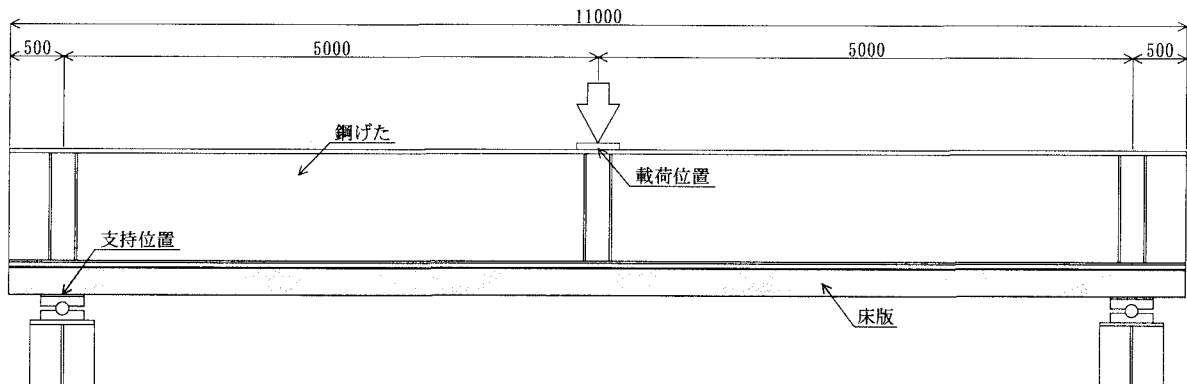


図-2 荷重要領図

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。結合部材の配置は、橋軸方向については100mm間隔、橋軸直角方向については80mm間隔に配置した。なお、換算版厚の算出にあたっては、コンクリートの材料試験結果にもとづくとともに、慣用的な値を考慮に入れて、ヤング係数比については $n=9$ とし、ポアソン比については $\nu=0.2$ に設定した。

### 3. 材料試験結果

#### 3.1 コンクリートの材料特性

試験体の床版部に用いたコンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ であり、膨張材 $30\text{kg/m}^3$ を添加した膨張コンクリートを適用している。コンクリートの配合については表-3に示す通りである。

試験体と同一の条件のもとで養生を行ったコンクリートの供試体の材料試験は、試験体の載荷日程にあわせて実施しており、圧縮強度が $36.1\text{N/mm}^2$ 、引張強度が $3.18\text{N/mm}^2$ 、静弾性係数が $22.3\text{N/mm}^2$ であった。なお、標準養生を行ったコンクリートの供試体の材齢29日における圧縮強度の

平均値は $34.5\text{N/mm}^2$ である。

#### 3.2 鋼材の材料特性

試験体の下鋼板に用いた材質SS400の鋼板および平鋼の引張強度試験結果は、それぞれ降伏点 $326\text{N/mm}^2$ ・引張強度 $449\text{N/mm}^2$ 、降伏点 $296\text{N/mm}^2$ ・引張強度 $434\text{N/mm}^2$ であり、公称降伏点応力 $245\text{N/mm}^2$ 以上、公称引張強さ $400\sim 510\text{N/mm}^2$ を満足している。

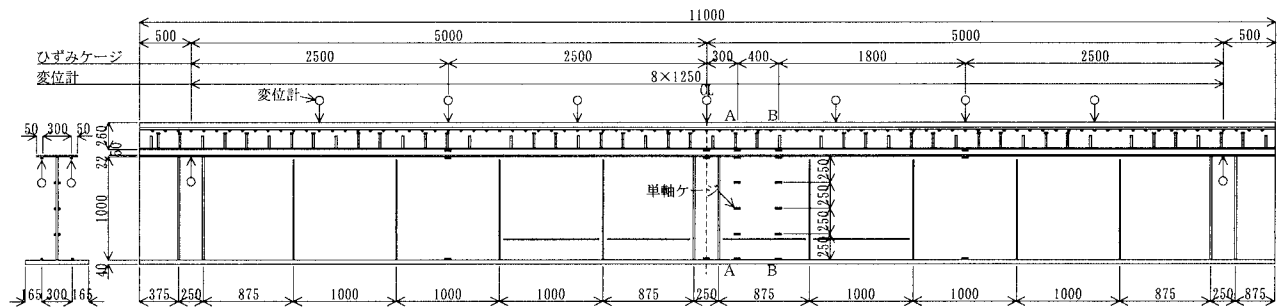
表-3 コンクリートの配合

(a)配合の設計条件

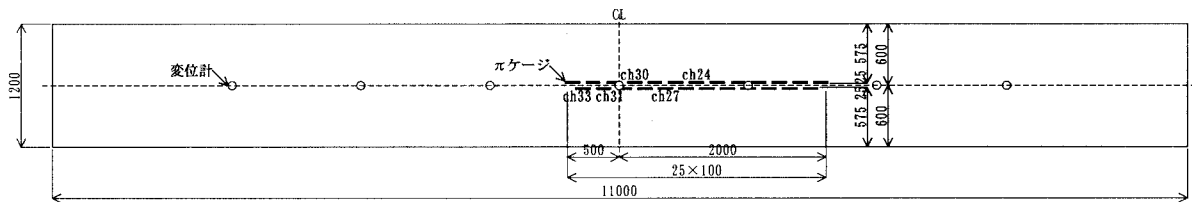
呼び強度	粗骨材の最大寸法	スランプ	水セメント比	空気量	細骨材率
30N/mm <sup>2</sup>	20mm	12cm	47.5%	4.5%	45.5%

(b)配合表

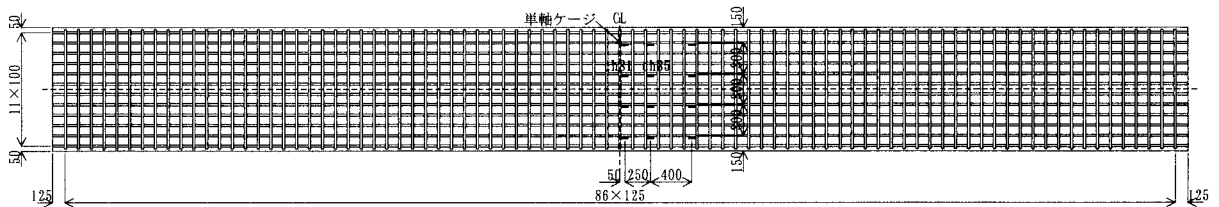
単位量 kg/m <sup>3</sup>					
水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	AE減水剤
166	320	30	813	985	0.875



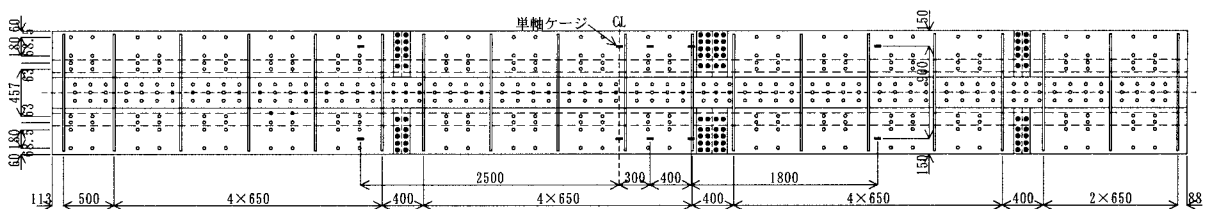
(a)試験体側面図：鋼げたひずみゲージ・変位計配置



(b)床版上面図：πゲージ・変位計配置



(c)床版配筋図：配力鉄筋ひずみゲージ配置



(d)床版下面図：下鋼板ひずみゲージ配置

図-3 試験体詳細図および測定位置図

## 4. 静的荷重試験結果

### 4.1 試験体の剛性

荷重試験における測定結果のうち、試験体の剛性を表す荷重荷重と荷重荷重位置直下のたわみとの関係を以下に示す。図中には、FEM解析により求めた全断面有効時、コンクリート断面無視時、コンクリート・下鋼板断面無視時の剛性および配力鉄筋応力度が設計応力度程度の $100\text{N/mm}^2$ となる設計荷重を同時に示す。

なお、測定結果の表現方法については、荷重初期の状態からコンクリートにひびわれが発生するまでは荷重時の傾きを記入し、ひびわれが発生した後はひびわれ幅が安定した状態における試験体の剛性を評価するために各荷重段階における除荷時の傾きを求め、それらを連続的に表したものである。

図-4 および図-5 に、それぞれ一段配筋試験体、二段配筋試験体の荷重にともなう剛性の変化を示す。両試験体とも剛性の測定結果はほぼ同じ傾向を示し、荷重初期において全断面有効時の解析値に等しく、コンクリートにひびわれが発生した以降は剛性が徐々に低下し、コンクリート断面無視時の解析値とほぼ平行となっている。

この結果から、両試験体における剛性の変化の傾向にはほとんど差異はなく、また、鋼げたの断面に加え配力鉄筋および下鋼板の断面が試験体の剛性に有効に働いていることがわかる。

### 4.2 荷重荷重と配力鉄筋ひずみの関係

ここでは、荷重荷重と配力鉄筋に発生するひずみの関係について示す。図中には、FEM解析により求めた全断面有効時、コンクリート断面無視時、コンクリート・下鋼板断面無視時の荷重荷重とひずみの関係および配力鉄筋応力度が設計応力度程度の $100\text{N/mm}^2$ となる設計荷重を同時に示す。なお、図中の凡例に示す記号は、図-3(c)に示す配力鉄筋のひずみゲージの記号に対応している。

図-6 および図-7 に、それぞれ一段配筋試験体、二段配筋試験体の荷重荷重と試験体中央付近における配力鉄筋に発生するひずみの関係を示す。図中には、試験体中央の横リブ位置に発生したひびわれの近傍に貼付したひずみゲージ ch81 と、比較のために横リブ間の荷重初期においてひびわれが発生していない位置に貼付したひずみゲージ ch85 の測定値を併記している。

一段配筋試験体のひずみの測定値は、荷重初期において全断面有効時の解析値と等しい経路を通るが、ひびわれの発生にともなってひびわれ近傍の測定値は増加し、荷重荷重が設計荷重よりも大きい範囲では、コンクリート断面無視時の解析値に平行な経路を通る。一方、二段配筋試験体のひずみの測定値は、概ね一段配筋試験体の測定結果と同様であるが、ひびわれが発生していない位置の測定値は、荷重初期において全断面有効時の解析値よりも小さい値となる。

上記の結果から、両試験体ともに配力鉄筋の断面がひずみの伝達に有効に働いていることがわかる。

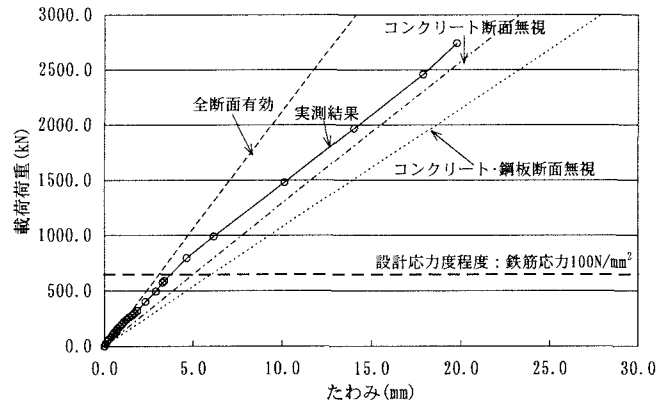


図-4 一段配筋試験体の剛性の変化

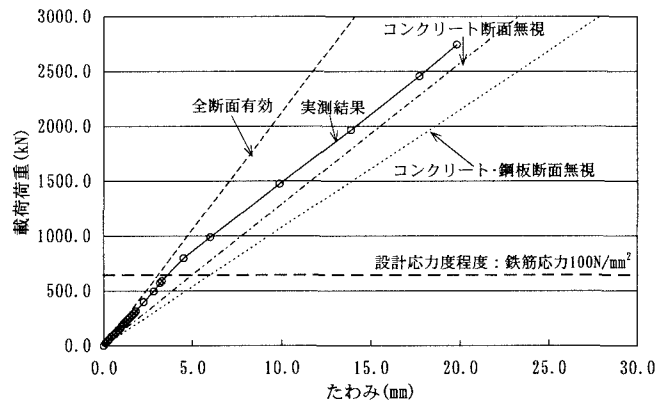


図-5 二段配筋試験体の剛性の変化

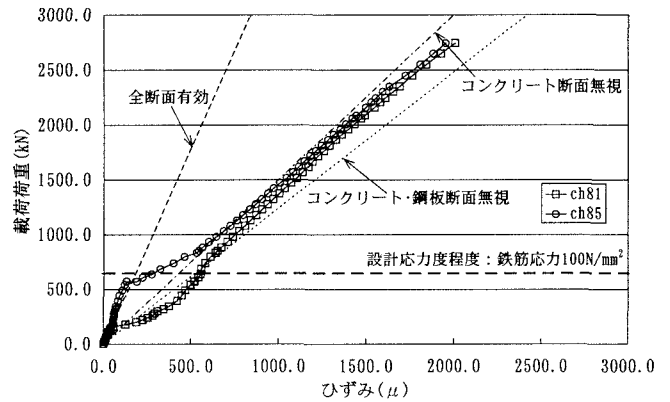


図-6 一段配筋試験体の配力鉄筋ひずみ

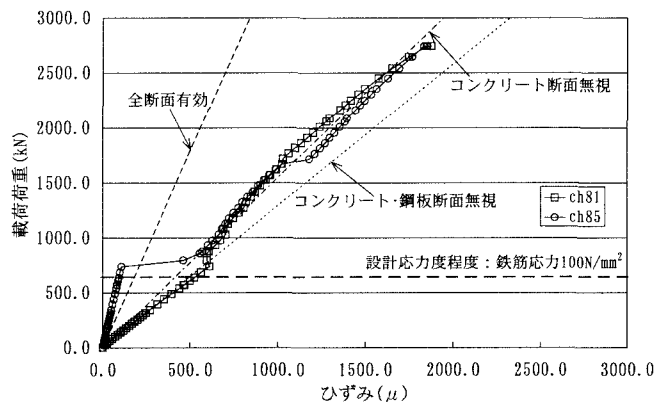


図-7 二段配筋試験体の配力鉄筋ひずみ

### 4.3 試験体断面のひずみ分布

次に、験体の断面のひずみ分布について検討を行う。図中の測定値は載荷荷重が設計荷重程度である場合におけるひずみ分布を示し、解析値はコンクリート断面無視時のFEM解析の結果を設計荷重を100kNで除した値で除すことにより設計荷重に換算した値を示している。

なお、図中の下鋼板および鋼げたの測定値は試験体断面の鉛直方向の中央線に対して対称に配置した各部位のひずみゲージの測定結果の平均値を示している。

図-8に一段配筋試験体の図-3(a)におけるA-A断面、図-9に二段配筋試験体の図-3(a)におけるB-B断面のひずみ分布を示す。一段配筋試験体については、ひずみの測定値と解析値の全体的な分布はよく一致しており、載荷荷重が設計荷重程度である場合において、鋼げた断面と配力鉄筋および下鋼板の断面が一体として挙動していることがわかる。一方、二段配筋試験体については、ひずみの測定値が解析値に比較しやや小さい値を示している。この原因については現在のところ不明であり、今後検討を行う必要があるものと考えられる。

### 4.4 コンクリートのひびわれ状況

載荷荷重が設計荷重程度である場合における各試験体のコンクリート上面のひびわれ性状を以下に示す。

図-10に一段配筋試験体および二段配筋試験体のコンクリートのひびわれ状況を示す。コンクリートのひびわれは、横リブ位置、スタッド列位置、主鉄筋位置に発生している。ひびわれの発生順序は、まず横リブ位置に発生し、次にスタッド列位置ないし主鉄筋位置に発生している。

両試験体の試験体中央付近におけるコンクリートのひびわれ状況を比較すると、一段配筋試験体では横リブ付近に加えスタッド列付近にもひびわれが発生しており、その間隔は200mm程度である。一方、二段配筋試験体では一段配筋試験体に比較してひびわれ間隔が大きく、おもに横リブ付近にひびわれが発生しており、その間隔は200mm

ないしその2倍の400mm程度である。

両試験体のひびわれ状況を比較すると、一段配筋試験体の方が二段配筋試験体よりもひびわれ間隔が小さく、ひびわれが分散しやすい配力鉄筋配置であることがわかる。

### 4.5 コンクリートのひびわれ幅

各試験体の載荷荷重とコンクリートのひびわれ幅の関係を以下に示す。図中には、各試験体の測定結果のうちひびわれ幅の大きい3箇所の値とともに、配力鉄筋応力度が

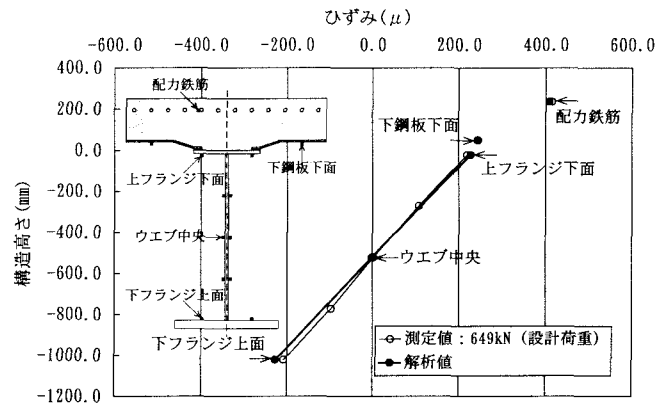


図-8 一段配筋試験体の断面のひずみ分布 (A-A断面)

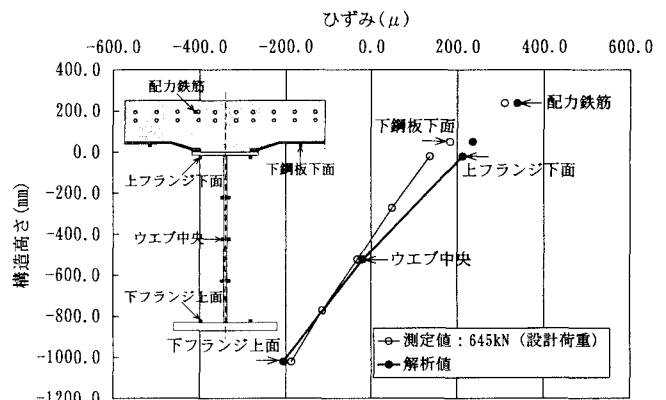


図-9 二段配筋試験体の断面のひずみ分布 (B-B断面)

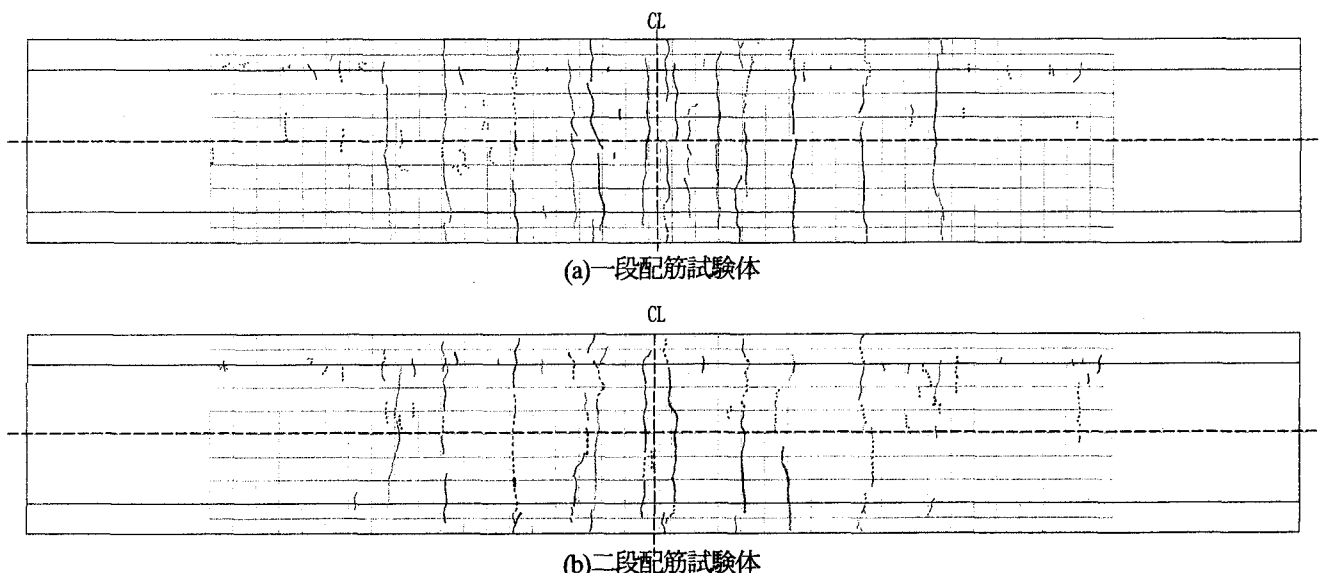


図-10 各試験体のコンクリートのひびわれ状況

設計応力度程度の $100\text{N}/\text{mm}^2$ となる設計荷重を同時に示している。なお、図中の凡例に示す記号は、図-3(b)に示すπゲージの記号に対応している。

図-11 および図-12 に、それぞれ一段配筋試験体、二段配筋試験体の載荷荷重とコンクリートのひびわれ幅の関係を示す。一段配筋試験体については、載荷荷重が設計荷重程度である場合において、最大のひびわれ幅は試験体のほぼ中央に発生しており、その値は $0.16\text{mm}$ である。表-4 に示すコンクリート標準示方書<sup>7)</sup>に示されるコンクリートの許容ひびわれ幅と比較すると、特に厳しい腐食環境の許容ひびわれ幅を満足することがわかる。

一方、二段配筋試験体については、載荷初期のひびわれ幅の増加率が比較的大きく、載荷荷重が設計荷重程度である場合における最大のひびわれ幅は $0.17\text{mm}$ である。また、一段配置試験体とは異なり、設計荷重程度よりもやや大きい載荷荷重において ch30 のひびわれ幅が大きく増加する傾向を示している。

## 5. まとめ

本研究は、長支間床版用の合成床版を連続合成げたに適用した場合における中間支点部の挙動を明らかにすることを目的としたものである。合成床版と鋼げたとを一体化した試験体を製作し、試験体全体に負の曲げモーメントを作用させることにより、床版部分に引張応力を発生させて、合成床版の各種性状を確認した。

本研究において、得られた結果は以下の通りである。

- 1) 一段配筋試験体、二段配筋試験体ともに、配力鉄筋および下鋼板の断面が主げたの剛性に有効に寄与する。
- 2) 一段配筋試験体では、配力鉄筋および下鋼板の断面がひずみの伝達に有効に寄与する。
- 3) コンクリートのひびわれは、まず横リブ位置に発生し、次にスタッド列位置ないし主鉄筋位置に発生する。
- 4) 一段配筋試験体は二段配筋試験体に比較しひびわれ幅が小さく、特に厳しい腐食環境の許容ひびわれ幅を満足する。

以上の結果から、ロビンソン型合成床版の長支間床版への適用に際して、一段配筋試験体の配力鉄筋配置を採用するものとした。

なお、本研究における載荷試験は、福岡北九州高速道路公社と(社)日本橋梁建設協会の共同研究の一環として、(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所において実施したものである。共同研究に関与された方々の多大のご助力を得たことをここに記し、感謝を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省土木研究所、(財)土木研究センター、民間企業 21 社 17 グループ：道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その5)－評価編－，pp.79-284，2001。
- 2) 西川和廣，村山隆之，吉崎信之，古賀淳典，田中巖頼，

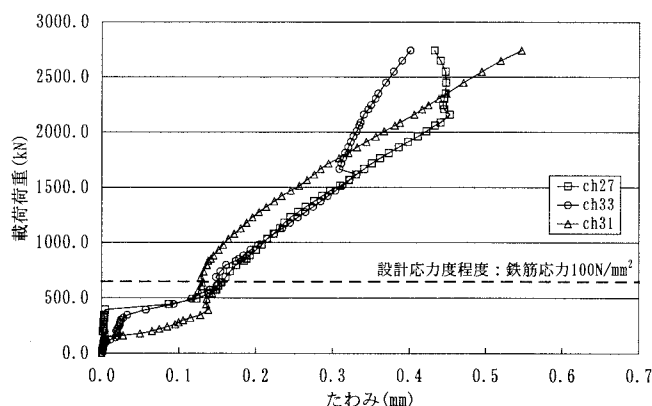


図-11 一段配筋試験体のひびわれ幅

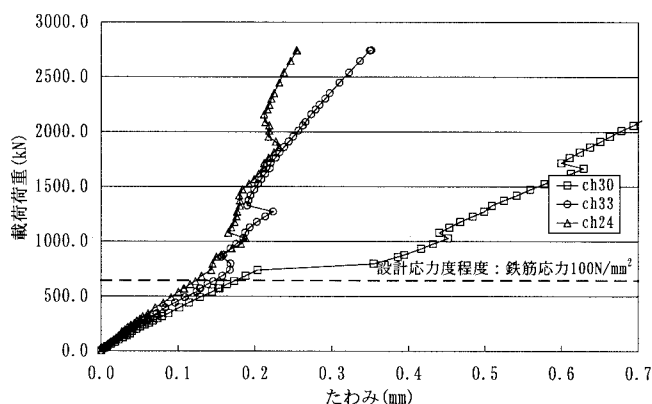


図-12 二段配筋試験体のひびわれ幅

表-4 許容ひびわれ幅

	単位	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境
適用式	-	0.005c	0.004c	0.0035c
かぶり c	mm	62.2	62.2	62.2
許容ひびわれ幅	mm	0.31	0.25	0.22

八部順一：鋼連続開断面箱桁における鋼・コンクリート合成床版の適用について，第二回道路橋床版シンポジウム論文集，pp.203-206，2000。

- 3) 渡辺 滉，街道 浩，水口和之，村松竹司，松井繁之，堀川都志雄：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論文集，pp.213-218，1998。
- 4) 街道 浩，渡辺 滉，橋 吉宏，松井繁之，堀川都志雄：床版張出し部の輪荷重走行試験および曲げモーメント性状について，構造工学論文集 Vol.48A，土木学会，pp.1429-1439，2002。
- 5) 街道 浩，渡辺 滉，橋 吉宏，松井繁之，栗田章光：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.49A，土木学会，pp.1115-1126，2003。
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，丸善，2002。
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書，構造性能照査編，2002年制定，丸善，2002。