

## 論文 プレキャスト床版の合成構造継手部の疲労強度に関する研究

山本博輝\*1・浜田純夫\*2・松尾栄治\*3・藤岡 靖\*4

**要旨:** 橋梁建設においては、現場作業の省力化や工期短縮などを目的として、プレキャスト床版の使用頻度が増加している。プレキャスト床版相互の継手方法には大別してPC継手とRC継手があり<sup>1)</sup>、一般的にはRC継手工法としてループ構造継手が用いられるが、継手部の主鉄筋配置の煩雑さなど施工性に問題を抱えている。そこで本研究では、鋼材により継手部分を合成構造にした新しい現場継手構造を考案し、施工の簡素化と強度の向上を期待した供試体を試作し、その継手部における疲労強度について検討を行った。

**キーワード:** プレキャスト床版, RC継手, 合成構造, 疲労強度

## 1. はじめに

現在、橋梁建設ではコスト縮減、高品質の確保等を目的としてプレキャスト床版が使用されており、その場合、床版相互の接合方法が問題点として挙げられる。現在まで大別して2種類の接合方法が採用されている。1つは、プレキャスト床版を橋軸方向に並べ、プレストレスを与えて一体化する方法であり、もう1つはプレキャスト床版端面から張り出した鉄筋を重ね合わせ、継手部を現場打ちコンクリートにより一体化する方法である。後者においては、前者のPC継手のように特殊な作業を必要とせず、取り替えも容易である。さらに、工期短縮が望め、PC継手と比べて経済的にも有利な工法であるが、わが国での実績は少ない。このRC継手の一般的な現場継手工法として、ループ鉄筋による重ね継手が用いられているが、ループ鉄筋内に挿入する主鉄筋配置の煩雑さや継手区間長が大きくなるために継手コンクリートの打設量が増大するなど、施工性、経済性において問題を残している。さらに、高強度のPC床版の間にRC継手を使用することも問題点として挙げられる。

そこで本研究では、RC継手を対象とし、継手内部の簡素化、強度の増進、継手区間長の縮小などを期待した新しい合成構造継手工法を考案した。この合成構造継手とは構造的に簡便であるラップ鉄筋による重ね継手構造において、鋼板あるいはH型鋼桁を継手部分の引張側に配置し、一体化を図る現場継手工法である。さらに、補強鋼材を捨て型枠や支保工兼用として利用できることで工期短縮にも繋がる。本研究ではこの合成構造継手部において定点繰返し載荷実験を行い、継手を設けないPC床版の疲労試験結果と比較し、継手部の存在が疲労性状に及ぼす影響や合成構造にした継手部分の補強効果について検討を行った。

## 2. 実験概要

## 2.1 供試体の諸条件

本研究ではラップ鉄筋による重ね継手を有するプレキャストPC床版をモデル化し、実験供試体とした。表-1および図-1に本研究で用いた各種の供試体条件を示す。LJ供試体は

\*1 (株)ピー・エス

\*2 山口大学教授 工学部社会建設工学科, Ph.D. (正会員)

\*3 山口大学助手 工学研社会建設工学科, 工博 (正会員)

\*4 (株)ピー・エス 広島支店

表-1 各種類の供試体概要

種類	記号	継手構造	補強材	接合長 (mm)	サイズ (mm)	床版厚 (mm)	$p_j$ (%)
PC床版	PC	-	-	-	1400×1400	130	-
ラップ継手床版	LJ	ラップ	-	200	1400×1400	130	2.2
鋼板継手床版	SP	ラップ	鋼板	200	1400×1400	130	2.2
H型鋼継手床版	H	ラップ	H型鋼	150	1400×1400	130	2.9

(注)  $p_j$ : 継手部鉄筋比

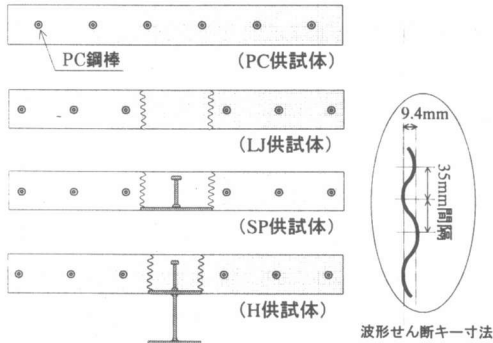


図-1 各供試体の主な相違点

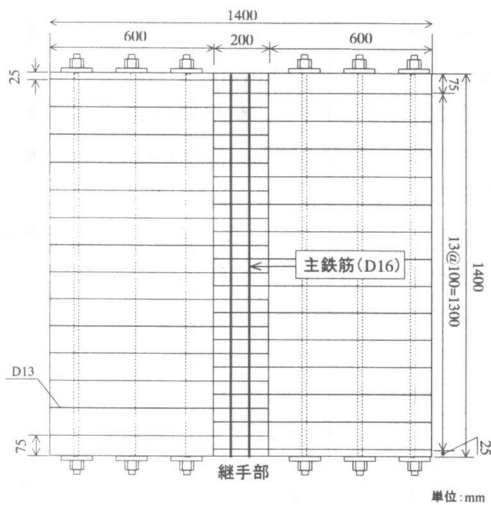


図-2 LJ 供試体配筋図

供試体の中央に鉄筋重ね継手のみを設け、継手区間長を橋軸方向に 200mm とした。図-2 にその供試体の配筋図を示す。SP 供試体は、200mm 間隔で配置したジベル付き鋼板を継手部分の引張側に合成した構造である。この継手区間長

は橋軸方向に 200mm とした。

図-3 に SP 供試体における継手部分の配筋例を示す。H 供試体も同様に、継手部分の引張り側に、150mm 間隔で配置したジベル付き H 型鋼を組み合わせた合成構造継手を設け、継手区間長を橋軸方向に 150mm とした。道路橋示方書<sup>2)</sup>において必要とする鉄筋の重ね継手定着長は 20φ 以上 (φ: 鉄筋直径) と規定されており、本実験において重ね継手長は 260mm (D13 使用) となる。しかし、H 型鋼や鋼板の鋼材を継手部に配置することで継手部分の断面二次モーメントが増大し、その補強効果を考慮して重ね継手長は LJ・SP 供試体に関しては 180mm、H 供試体に関しては 130mm とした。また、継手区間長は施工性から 200mm、150mm の継手構造を採用した。

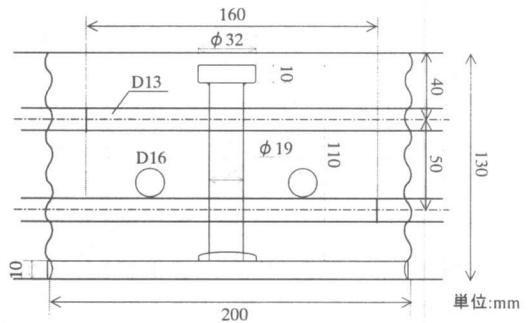


図-3 継手部分の配筋例

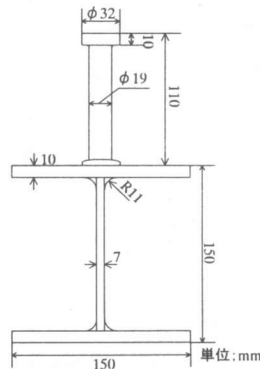


図-4 H 型鋼の寸法および形状

表-2 コンクリートの配合

	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	FA	CA	AD
プレキャスト部	42.0	39.2	178	424	650	1067	0.85*1
継手部	42.9	40	186	435	677	1008	1.31*2

プレキャスト部の圧縮強度: 34.3MPa  
継手部の圧縮強度: 39.2MPa

\*1 プレキャスト部の混和剤は「使用量=Cx0.003」

\*2 継手部の混和剤は「使用量=Cx0.002」

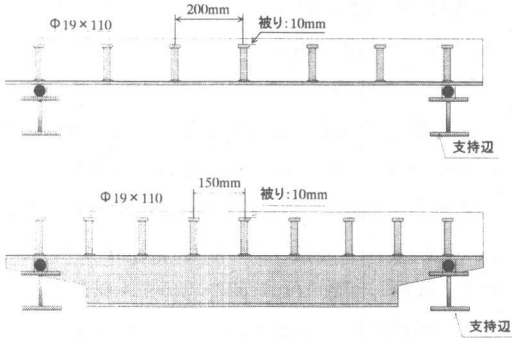


図-5 鋼板および H 型鋼継手部の断面図

各供試体のプレキャスト部分には橋軸直角方向にポストテンション方式によるプレストレスの導入を行い、有効プレストレス力は 3.4N/mm<sup>2</sup> とした。継手コンクリート部分にはプレストレスの導入は行わず、RC 構造とした。

補強鋼材として使用した H 型鋼断面は図-4 に示すように 150×150×7×10mm、鋼板断面は 200×10mm、部材長は両鋼材とも 1400mm、頭付きスタッドジベルの形状はφ19×110mm である。なお、プレキャスト端部の接合面は型枠に波板を用い、波形のせん断キーを設けた。これは継手部とプレキャスト床版の付着効果の向上を図るものとし、各種類の供試体において同じ構造とした。また、使用した鋼材は鉄筋が SD295A、PC 鋼棒が B 種 1 号 (SBPR930/1080) である。表-2 に使用したコンクリートの配合および圧縮強度試験結果を示す。

図-5 に鋼板および H 型鋼補強をした継手部の断面図を示す。鋼板、H 型鋼の上フランジは継手部に埋め込む形状にし、床版下面を平らに

仕上げることで実構造物により近いものにした。また、H 型鋼ウェブには、支持辺が H 型鋼下部の設置に対して、妨げにならないように斜めの切り込みを設け、2 つの I 型鋼支持辺をウェブ鋼材の両側から挟んで設置した。

## 2.2 実験方法

載荷条件は、図-6 に示すように、各種類の供試体いずれも支持条件を浮き上がり防止を設けない 4 辺単純支持とし、支持辺は長さ 800mm、直径 50mm の丸鋼棒を用い、スパン長は 1200×1200mm で試験を行った。載荷は供試体継手部分の中央に 100×100mm の正方形ゴム板を介し、定点繰返しによる疲労試験を行った。疲労載荷試験における上限荷重は、各供試体の静的押抜きせん断試験結果より、それぞれ平均した各々の静的強度に対して設定した。すなわち、LJ タイプ・SP タイプ供試体では 60%~80%、H タイプ供試体では 55%~70% の範囲で強度比を定めた。また、繰返し回数 100 万回を疲労の最終目標とし、未破壊の場合は疲労を打ち切り、上限荷重の増加、もしくは疲労後の静的試験を行った。なお、下限荷重は各供試体の静的強度に対して 10% と一定とした。

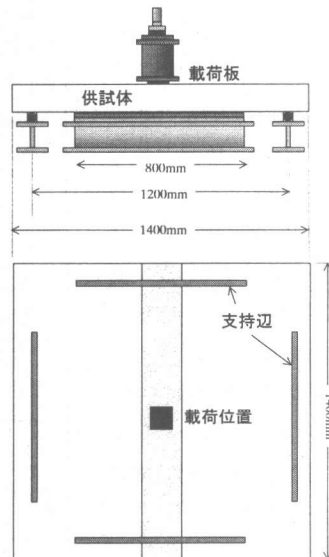


図-6 載荷方法

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 静的試験の結果

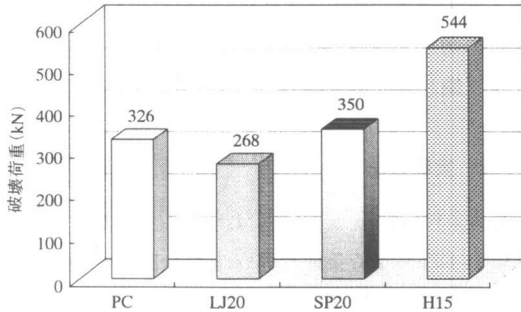


図-7 静的押抜きせん断耐力結果

図-7 に各供試体の静的押抜きせん断耐力結果を示す<sup>3), 4)</sup>。最終的な破壊形態はいずれもコンクリートの押抜きせん断破壊であり、補強鋼材として使用した H 型鋼や鋼板の破断等は観察されなかった。継手存在の影響を照査するために作製した橋軸直角方向にプレストレスを導入し、継手を設けていない PC 供試体は 326kN の耐力を呈した。また、ラップ鉄筋による重ね継手のみを設けた LJ 供試体の耐力は 266kN を示し、PC 供試体と比較して約 20% の耐力低下となる。しかし、本研究で考案した合成構造継手を設けた供試体の耐力は、SP 供試体では 350kN、H 供試体に至っては 544kN と、継手を設けていない PC 供試体と比較しても、鋼板補強では同程度の耐力、H 型鋼補強においては約 70% の耐力増加となる。すなわち、これらの合成構造継手は、継手部分を H 型鋼や鋼板により補強することで、静的強度が大きく改善される。

#### 3.2 疲労試験の結果

##### (1) 破壊回数および破壊状況

表-3 に疲労試験結果を示す。なお、「2PC」とは継手を設けていない 2 方向 PC 床版を表しており、本学での疲労載荷試験の結果である。

各供試体の最終的な破壊状況は以下のようになった。すなわち、ラップ鉄筋による重ね継手のみを設けた LJ 供試体は、一般的なコンクリートの押抜きせん断破壊を呈し、SP、および H 供試体についても同様に床版全体に広がるコンクリートの押抜きせん断破壊を呈した。また、鋼板継手の SP-3~8 供試体においては鋼板の破断等は確認されなかったが、上限荷重 210kN、228kN (強度比 60%, 65%) で疲労試験を行った SP-1, 2 供試体は、繰返し回数 100 万回においても破壊には至らず、両供試体とも図-8 のように鋼板部中央側のスタッドを溶接した位置に疲労による亀裂が確認された。H 型鋼継手床版の H-1~6 全供試体に

表-3 各供試体の破壊回数

種類	記号	①静的強度 P <sub>max</sub> (kN)	②上限荷重 S <sub>max</sub> (kN)	下限荷重 S <sub>min</sub> (kN)	強度比S <sub>1</sub> (%) ②/①	破壊回数 N(回)	残存強度 (kN)
継手なし (PC床版)	2PC-1	313	236	31	75.6	2,850,000*	350
	2PC-2		236	31	75.6	1,110,000*	367
	2PC-3		236	31	75.6	1,000,000*	375
	2PC-4		244	31	78.2	113,602	—
	2PC-5		244	31	78.2	380,000	—
	2PC-6		253	31	81	486,670	—
	2PC-7		253	31	81	802,796	—
	2PC-8		270	31	86.3	12,984	—
	2PC-9		270	31	86.3	12,704	—
	2PC-10		270	31	86.3	10,000	—
ラップ継手	LJ-1	266	161	27	60	1,000,000*	—
	LJ-2		187	27	70	1,000,000*	—
	LJ-3		201	27	75	1,000,000*	275
	LJ-4		214	27	80	12,750	—
鋼板継手	SP-1	350	210	35	60	1,000,000*	295
	SP-2		228	35	65	1,000,000*	320
	SP-3		228	35	65	230,412	—
	SP-4		245	35	70	569,148	—
	SP-5		245	35	70	103,240	—
	SP-6		263	35	75	34,871	—
	SP-7		263	35	75	497,130	—
	SP-8		281	35	80	1,961	—
H型鋼継手	H-1	544	299	54	55	152,235	—
	H-2		299	54	55	52,519	—
	H-3		327	54	60	1,964	—
	H-4		327	54	60	24,537	—
	H-5		354	54	65	16,843	—
	H-6		382	54	70	2,677	—

(注) \*は未破壊

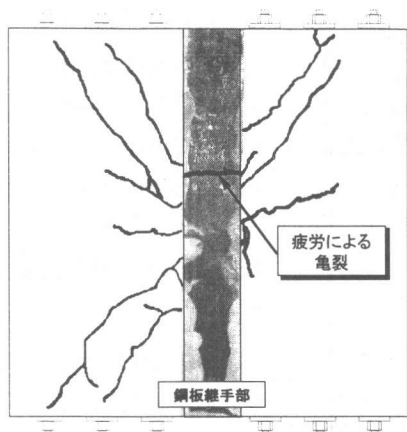


図-8 100万回における鋼板部分の亀裂

おいては、図-9のようにH型鋼のウェブに斜めの切り込みを入れ加工した部分からウェブ鋼材の破断が確認された。このことから、繰返し载荷を行うことで加工した切り込み部分に応力集中が起こり、疲労破断が生じたと考えられ、実構造物のように加工しないH型鋼では、さらなる耐久性の向上が考えられる。なお、LJ、SP、およびH供試体は、継手部を設けているにも関わらず、典型的な押抜きせん断破壊に至り、プレキャスト部と継手部の界面に大きな剥離が見られないため、波形せん断キーが疲労押抜きせん断に対しても有効に作用したことを示している。波形に仕上げた接合面がせん断力に対して抵抗するせん断キーとしての役割を果たし、床版の一体化が良好であったことを示している。

LJ-3、およびSP-1、2については100万回に至っても未破壊のため、疲労試験後、静的試験を行った。その結果、LJ-3は静的強度と同程度の強度を維持しているが、SP-1、2では残存強度が明らかに低下している。これは100万回で確認された鋼板の亀裂によるものと考えられる。

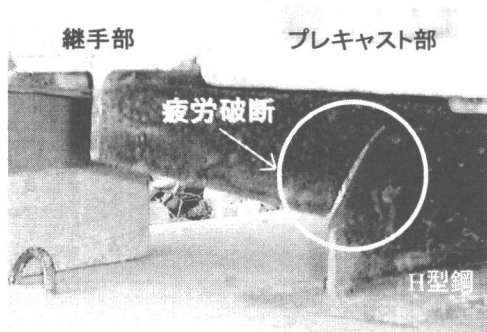


図-9 疲労によるH型鋼ウェブの破断

## (2) S-N 曲線

継手のない床版に対して、継手の存在する床版の継手部分をH型鋼や鋼板によって補強する効果を照査するため、縦軸の表記方法を上限荷重  $S_{max}$  (kN) としたS-N曲線を図-10に示す。通常のS-N曲線では、図-11のように強度比  $S$  (%) との関係について表すのが一般的であるが、本研究の場合は、図-7からもわかるように、継手構造の違いによって、静的耐力が大きく異なる。この場合、実構造物に作用する荷重レベルに対して合致しなくなるため、縦軸を上限荷重で表すほうが実用的であると思われる。

図-10において、ラップ継手床版のプロットは、2PCのS-N曲線よりも下側に表れているのに対して、H型鋼継手床版では、大幅に上側に移動して

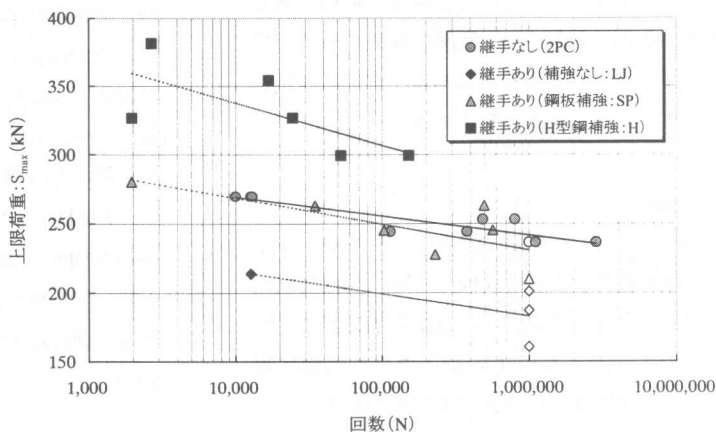


図-10 S-N 曲線(その1)

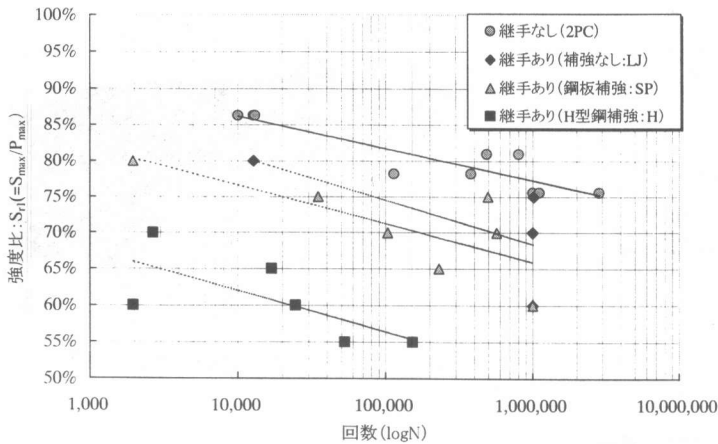


図-11 S-N 曲線(その 2)

いることから、H 型鋼による補強効果が最も顕著に現れ、疲労強度の向上が図れた。継手を設けていない 2 方向 PC 床版と各継手構造別に比較検討を行うと、ラップ鉄筋による重ね継手のみを設けた床版においては約 20%の疲労強度の低下を示し、継手存在の影響がでている。しかし、鋼板継手床版においては同程度の疲労強度を示し、H 型鋼継手床版に関しては疲労強度が約 20%増加しており、これは静的強度の大小関係と極めて類似している。また、100 万回疲労強度について PC 供試体の静的強度と比較すると、2PC 供試体においては 74.1%、LJ 供試体においては 56.3%、SP 供試体においては 68.0%、H 供試体においては 85.0%が得られる。以上のことから、構造上弱点である継手部に鋼板や H 型鋼を補強することで疲労強度の向上が望めるとともに、継手区間長を大幅に縮小することが可能である。

#### 4. 結論

(1) 継手部分を H 型鋼や鋼板により補強することで、継手のない床版と比較しても、同程度以上の静的押抜き強度を満足し、道路橋示方書における重ね継手に対する所定の長さよりも大幅に短縮することができ、経済性向上にも繋がる。

(2) 定点繰返し載荷試験において、H 型鋼によ

り補強を行った継手部の 100 万回疲労強度は、継手のない床版の静的強度の 85%と最も高い疲労強度が得られ、十分な疲労耐久性がある。

また疲労強度の大きさは、静的強度の大小関係とほぼ一致する。

(3) 疲労に対しても、波形のせん断キーを用いることで付着は向上し、継手部とプレキャスト部の一体化は良好になる。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、山口大学大学院の金光雄二氏に多大な御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 橋 吉宏, 牛島祥貴, 大澤浩二, 梶川靖治, 越後滋: ループ継手を有するプレキャスト床版接合部の耐久性試験, 川田技報, Vol.15, pp56-61, 1996
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書コンクリート橋編, 1994
- 3) 松尾栄治, 浜田純夫, 山本 孝, 阿部宗人: PC 床版の継手部分の押抜きせん断耐力に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp457-462, 1998
- 4) 浜田純夫, 松尾栄治, 山本博輝: プレキャスト床版の合成構造継手部の開発に関する研究, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp177-182, 1998
- 5) 大岩 昇: RC および PC 床版の押抜きせん断疲労強度に関する研究, 山口大学修士論文, 1994