

## [2043] 同一断面に重ね継手を有する梁部材の性状に関する研究

関口 司<sup>1</sup>・大庭 光商<sup>2</sup>

## 1. はじめに

R C 高架橋のプレキャスト化を想定した場合に問題となる梁部材の接合方法のひとつとして一断面に継手が集中し、なおかつ打継ぎ面を有する構造が考えられる。このような試験体に関して、これまで静的曲げ試験および疲労試験を行ってきた<sup>1)~4)</sup>。その結果、本構造部材においても重ね継手長、コンクリートの圧縮強度、かぶりや鉄筋間隔が継手強度に及ぼす影響は、土木学会コンクリート標準示方書<sup>5)</sup>で示されている次式で評価できることがわかった。

$$\sigma_{ss} = 4\sqrt{\sigma'_{ck}} \left[ \frac{l_s}{\phi} \{ 0.318 + 0.795 \left( \frac{c}{\phi} + \frac{15A_t}{s\phi} \right) \} + 13.3 \right] \quad (\text{ただし } \frac{c}{\phi} \leq 2.5) \quad (1)$$

ここで  $\sigma_{ss}$  : 鉄筋の重ね継手強度(kgf/cm<sup>2</sup>)  $\sigma'_{ck}$  : コンクリートの圧縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $l_s$  : 鉄筋の重ね継手長(cm)  $\phi$  : 主鉄筋径(cm)  $s$  : 横方向補強筋ピッチ(cm)  
 $c$  : 主鉄筋のかぶり、または  $\frac{1}{2}$  最小鉄筋間隔の小さい方(cm)  
 $A_t$  : 横方向補強筋の総断面積を取り囲む主鉄筋の本数で除した面積(cm<sup>2</sup>)

本論文では、重ね継手長が短い場合の横方向補強筋の効果、曲げモーメントのみならずせん断力も同時に作用する場合の挙動など、さらに検討が必要であると考えられる項目について追加試験を行い、新たに得られた結果とこれまでに得られている試験結果について検討を加えた。

## 2. 既往の結果

## 2. 1 横方向補強筋の効果

図-1 に示した構造からなる、重ね継手長 7 φ、主鉄筋 : D16 - 3 本の試験体において、重ね継手部に横方向補強筋を配置した場合の静的曲げ試験結果<sup>2)~4)</sup>を表-1 に示す。これら 7 体はすべて、重ね継手部でコンクリートが付着割裂破壊をおこしたものである。表中の継手強度の計算値は式(1)による値である。横方向補強筋を配置していない試験体では、計算値と同程度の強度が得られているが、補強筋を配置した試験体では、すべて計算値より低い強度となっている。

表-1 静的曲げ試験結果（横方向補強筋有）

試験体種類 (補強筋配置状況)	コンクリート強度 [kgf/cm <sup>2</sup> ]	横補強筋量 [15A <sub>t</sub> /(sφ)]	継手強度[kgf/cm <sup>2</sup> ] 測定値	計算値
D13、75mmピッチ、2本	321	1.11	1462	2254
D10、75mmピッチ、2本	321	0.66	1512	2072
D10、50mmピッチ、3本	321	0.98	1766	2202
D6、75mmピッチ、2本	321	0.24	1195	1905
D6、50mmピッチ、3本	321	0.35	1651	1951
D6、75mmピッチ、1本	321	0.24	1560	1905
補強筋なし	378	0	1991	1965

\*1: 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所、工修 (正会員)

\*2: 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部 (正会員)

## 2. 2 本構造部材の疲労試験

また、重ね継手長：7φ～15φ、主鉄筋：D16～3本、横方向補強なしの試験体において、各継手長あたり何通りかの作用応力振幅で疲労試験を行った<sup>4)</sup>(表-2)。表中の応力振幅は後述の方法<sup>7)</sup>で完全片振り時の応力振幅に修正した値を示してある。ここに示した試験体は静的曲げ試験

において、重ね継手長12φ以下は継手部でコンクリートの付着割裂破壊、重ね継手長15φは鉄筋の降伏による曲げ破壊を起こしたものである。重ね継手長10φ、12φの試験体のいずれも、応力振幅が大きい場合にはコンクリートの付着割裂で、応力振幅が小さい場合には鉄筋の疲労破断でそれぞれ破壊している。重ね継手長15φの試験体は静的曲げ試験同様、鉄筋の破断で破壊した。

## 3. 試験概要

これらのことを考え、新たに表-3に示す7体の試験体で、静的載荷試験および疲労試験を行った。試験体の形状および載荷方法を図-1、2に示す。せん断力を作用させる試験体No.3、No.4は、図-2に示すように接合部を端部に配置した。試験体は本体部を早強コンクリートで先打ちし、本体部からあらかじめ出しておいた主鉄筋を重ね継手として、膨張コンクリートにて接合部を後打ちした。接合部の膨張コンクリートは、膨張材のセメント量に対する置換率10%で、打設後6日目に脱型した。本体部および接合部の配合を表-4に示す。打継ぎ面は凝結遅延剤と高压水処理で目荒しを施した。使用した鉄筋はSD295(主鉄筋:D16、本体部せん断補強筋:D10)で降伏強度は390kgf/cm<sup>2</sup>であった。横方向補強筋を配置する供試体は、図-1に示すように主鉄筋をコの字形に囲むように配置した。載荷方法は、接合部コンクリートの外側での2点載荷とし、試験体No.3、No.4以外の試験体では、接合部全体に一定の曲げモーメントを作用させる。これら試験体の製作方法、試験方法等は、これまでに行った試験<sup>1)～4)</sup>と同様である。鉄筋およびコンクリートのひずみ、たわみ量、打継ぎ面の開き量などの測定を行った。鉄筋のひずみゲージの取付け位置を図-3に示す。

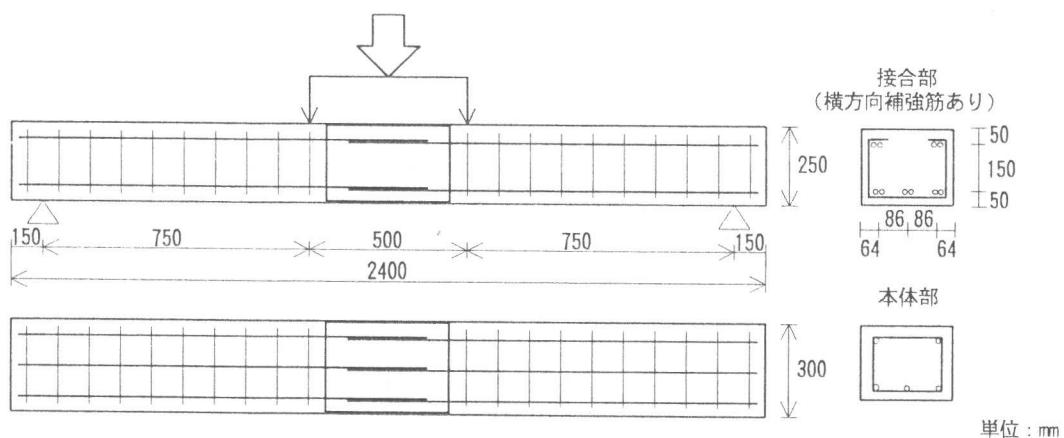


図-1 試験体形状（接合部中央）および載荷方法

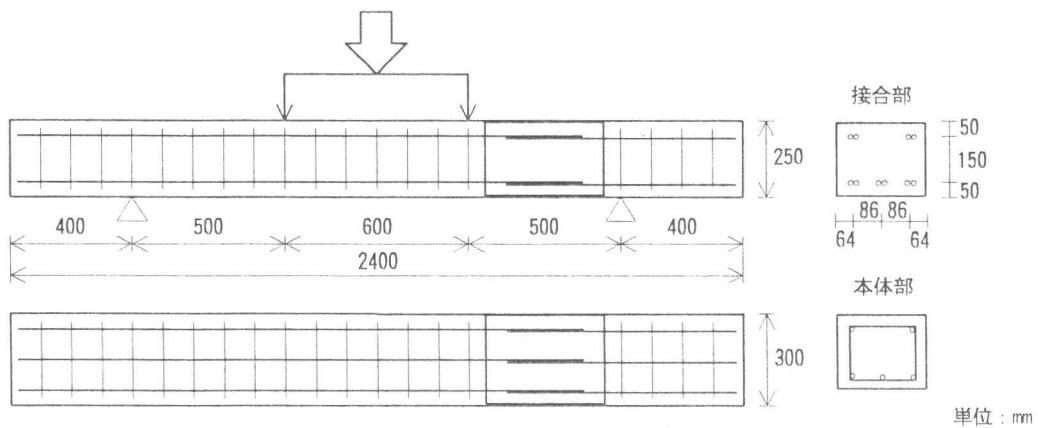


図-2 試験体形状(接合部端部)および載荷方法

表-3 試験体一覧

番号	重ね継手長	接合部位置	静的	疲労	備考
1	240mm(15φ)	中央	○		横補強筋なし。
2	240 (15φ)	中央		○	横補強筋なし。静曲げ耐力の80%の荷重を作用させる。
3	240 (15φ)	端部	○		横補強筋なし。せん断力を作用させる。
4	240 (15φ)	端部		○	横補強筋なし。せん断力を作用させる(静曲げの80%)。
5	160 (10φ)	中央	○		横補強筋: D10、50mmピッチ、3本。
6	240 (15φ)	中央	○		横補強筋: D10、50mmピッチ、5本。
7	240 (15φ)	中央	○		横補強筋: D10、100mmピッチ、3本。

表-4 コンクリートの配合

配合強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	CA/C (%)	EX/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
								C	W	S	G	CA	EX
350 (本体部)	13	10±3	2±1	55.6	54	0.8	—	347	193	949	815	2.78	—
(接合部)	13	10±3	2±1	59.6	54	0.8	10	319	190	952	817	2.81	31.9

\*\* CA:高性能減水剤 早強セメント、岩瀬産山石碎砂、鬼怒川産玉石碎石を使用

◎ 継手長: 15φ 横補強筋100mmピッチ、3本

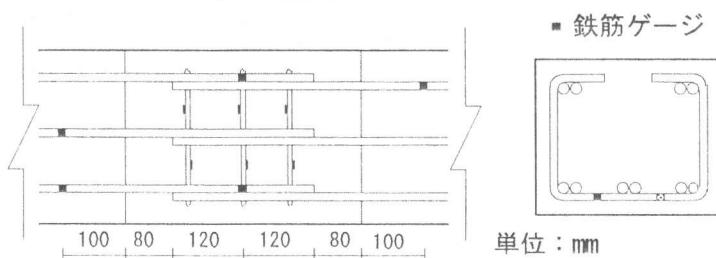


図-3 ゲージ取付位置

疲労試験は静的曲げ試験を行った同じ形状の試験体と同様な載荷点で、載荷周波数2Hzで荷重制御により行った。振幅荷重の上限値は表-3に示した荷重を目標としたが、1サイクル目の静的載荷時の鉄筋ひずみの測定値を参照し、No.2は8.4tf、No.4は14.8tfとした。

#### 4. 結果と考察

##### 4. 1 試験結果

静的載荷試験および疲労試験の結果を表-5、6に示す。鉄筋の応力度は、破壊時の鉄筋のひずみゲージのうちで最大となった値より求めた。表中のMurdは一体梁と仮定した場合の終局曲げモーメントの計算値である。この計算の中では、鉄筋の降伏強度、コンクリートの圧縮強度は実

表-5 静的載荷試験結果

番号	試験体種類	コンクリート強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	Mur (tf·m)	Murd (tf·m)	Mur Murd	鉄筋応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	継手強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	鉄筋応力度 継手強度	備考
1	15φ 横補強なし	365	5.04	4.52	1.12	(3909)	2976	(1.29)	曲げ破壊
3	15φ [せん断]	372	4.86	4.52	1.08	--	--	--	曲げ破壊
5	10φ 3@50mm	350	3.62	4.52	0.80	2911	2805	1.04	継手破壊
6	15φ 5@50mm	350	4.80	4.52	1.06	(3909)	3710	(1.05)	曲げ破壊
7	15φ 3@100mm	350	4.93	4.52	1.09	(3909)	3312	(1.18)	曲げ破壊

\* 鉄筋降伏後については鉄筋の降伏強度 (3909kgf/cm<sup>2</sup>) を鉄筋応力とした。

\*\* 継手強度は式(1)による計算値。

表-6 疲労試験結果

番号	コンクリート強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	作用応力(kgf/cm <sup>2</sup> )		応力振幅 (kgf/cm <sup>2</sup> )	繰り返し 回数(回)	破壊状況
		上限	下限			
2	354	2989	302	2880	619.000	重ね継手端部で引張鉄筋1本破断
4	402	3511	332	3432	303.000	重ね継手と反対側の本体部載荷点下で引張鉄筋2本破断

測定値を用い、圧縮側の鉄筋も有効であると考え、コンクリートの応力-ひずみ曲線は、土木学会コンクリート標準示方書<sup>5)</sup>で示されている放物線と直線からなるモデルを用いた。

#### 4. 2 横方向補強筋を有する試験体

横方向補強筋を有する試験体No. 5～No. 7および横方向補強筋のない試験体No. 1の主鉄筋応力度は、いずれも継手強度の計算値より大きな値となっている。重ね継手長10φの試験体No. 5では、ラップした主鉄筋のそれぞれの先端部にあたる部分に、下面からひび割れがはいると同時に荷重が上がらなくなり、試験を終了した。重ね継手長15φの試験体No. 1、No. 6、No. 7では、曲げ破壊が継手破壊に先行したため、横方向補強筋量による破壊耐力に差はないが、破壊性状は全く異なるものであった。いずれも引張側鉄筋が降伏した後、コンクリートが圧壊はじめ、そのち継手部でも破壊が起きた。試験体No. 6では、コンクリート側面のはらみだしは見られなかったが、試験体No. 7では、コンクリートの側面に引張鉄筋に沿ったひび割れを生じ、若干のはらみしがあった。横方向補強筋がない試験体No. 1では脆性破壊となり、下側のかぶりコンクリートが剥落した。

図-4に測定位置と載荷時の横方向補強筋のひずみを示す。載荷荷重が増加しても、ひずみはほとんど生じないが、破壊時になって急に増大している。これは、重ね継手部でコンクリートが付着割裂破壊を起こし主鉄筋が滑り始めたため、横方向補強筋のひずみの増加が生じたと考えられる。

重ね継手長7φの場合<sup>6)</sup>には、式(1)により計算される継手強度を下まわったが、今回の追加試験の結果では、重ね継手長10φ以上の場合には、式(1)により計算される継手強度は得られていることが確認できた。横方向補強筋により、コンクリートが付着割裂破壊を起こした後、かぶりコンクリートの剥離が防止でき、脆性的な破壊になるのが避けられる。しかし図-4で示したよ

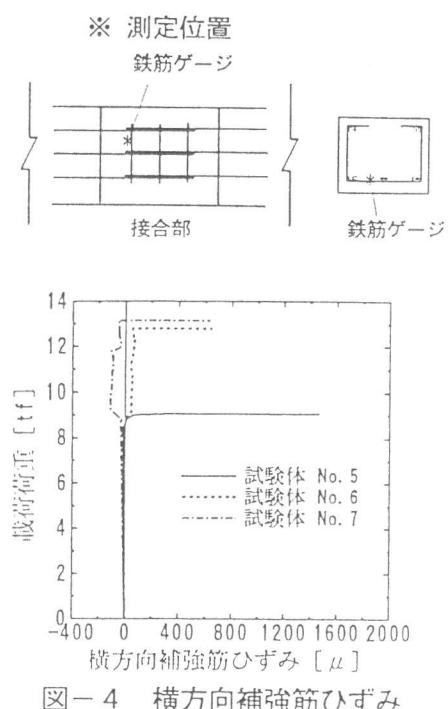


図-4 横方向補強筋ひずみ

うに、横方向補強筋には破壊直前までは大きなひずみは生じなかった。

#### 4. 3せん断力も作用する試験体

静的試験においても疲労試験においても重ね継手部は健全で、本体部で引張側鉄筋降伏後にコンクリートが圧壊した。重ね継手中央部での終局曲げモーメントとせん断耐力の計算値および本部材破壊時の作用曲げモーメントとせん断力を表-7に示す。せん断耐力の計算には、次式<sup>5)</sup>を用いた。

$$f_v = 0.94 f_c'^{1/3} \beta_p \cdot \beta_d \left( 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \right) \quad (2)$$

ここで  $f_v$  : せん断応力度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )  $f_c'$  : コンクリート強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_w} \quad \text{ただし } p_w = A_s / (b_w d) \quad \beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d : \text{m})$$

$A_s$  : 引張鉄筋の断面積 ( $\text{cm}^2$ )  $b_w$  : 腹部の幅 ( $\text{cm}$ )  $d$  : 有効高さ ( $\text{cm}$ )

次に、静的載荷を行った試験体No. 3のひび割れ発生状況を図-5に示す。接合部を有する側では、打継ぎ面での開きが卓越したため、接合部コンクリートにはひび割れは生じなかった。曲げモーメントのみならず、せん断力も同時に作用する場合であっても、重ね継手長15φの本構造部材では重ね継手部が致命的な弱点とはならず、一体梁と同程度の耐力が得られた。

表-7 重ね継手部での作用力

	曲げモーメント	せん断力
終局耐力	4.52 [tf·m]	9.73 [tf]
作用力	2.43 [tf·m]	7.89 [tf]

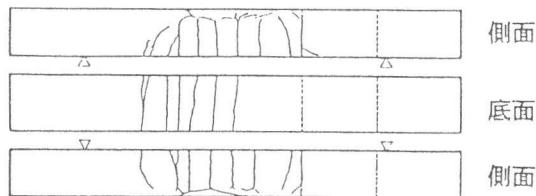


図-5 ひび割れ図

#### 4. 4 継手長15φにおける疲労試験

試験体No. 2は静的曲げ試験同様、鉄筋の破断で破壊した。疲労試験時の応力振幅をGoodman線図を用いて完全片振り時に修正し<sup>7)</sup>、繰り返し回数Nを鉄道構造物等設計標準・同解説、コンクリート構造物<sup>8)</sup>で示されている式

$$f_{r0N} = \frac{10^\alpha}{N^k} \quad \text{ただし} \quad \begin{cases} \alpha = 4.10 - 0.003\phi & (\phi = 16\text{mm}) \\ k = 0.12 \end{cases} \quad (3)$$

ここで  $f_{r0N}$  : 鋼材の完全片振り時の引張疲労強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )  $N$  : 繰り返し回数 (回)

により計算すると85,800回となり、試験体No. 2に埋め込まれていた鉄筋は鉄筋それ自体の疲労強度は有していることがわかる。

次に、疲労試験時の応力振幅をコンクリート強度の平方根で除した値を縦軸に、重ね継手長を横軸にとったものを図-6に示す。これは、疲労試験における付着割裂破壊の可能性を確認する目的で、付着強度がコンクリート強度の平方根に比例するとして、

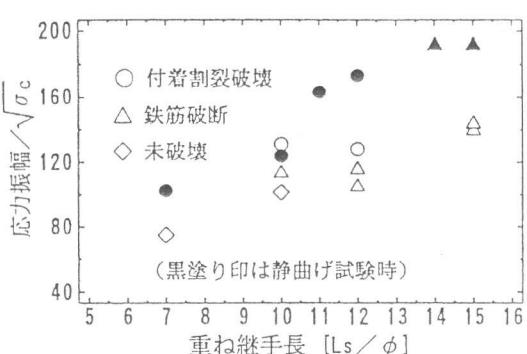


図-6 応力振幅と破壊モード

各試験体におけるコンクリート強度のばらつきの影響を補正し、無次元化したものである。これまでに得られている疲労試験の結果<sup>4)</sup>および、各試験体の静的曲げ破壊時の鉄筋応力度を同様な処理をして縦軸にとったものも図中に示す。各重ね継手長ごとにみると、応力振幅が大きい場合はコンクリートの付着割裂で、応力振幅が小さい場合は鉄筋の疲労破断でそれぞれ破壊していることがわかる。静的曲げ試験での結果も含めて考えると、本構造部材では、15φ程度の重ね継手長をとり、静的に継手部での付着割裂破壊を生じないようにすれば、疲労試験時におけるコンクリートの付着割裂破壊に対する特別な検討は必要ないことが予想される。

## 5. まとめ

本試験で明らかになったことを以下に示す。

- 1) 横方向補強筋を有する重ね継手長10φ以上の試験体においては、土木学会コンクリート標準示方書に示されている式により計算される継手強度が得られた。
- 2) 横方向補強筋により、コンクリートが付着割裂破壊を起こした後もかぶりコンクリートの剥離が防止でき、脆性的な破壊になるのが避けられる。
- 3) 曲げモーメントのみならずせん断力も作用する場合であっても、重ね継手長が15φ程度ある本構造部材では、継手部が致命的な弱点とはならず一体梁と同程度の耐力が得られた。
- 4) 静的曲げ試験において継手破壊を起こした試験体は、疲労試験において応力振幅が大きい場合はコンクリートの付着割裂で、応力振幅が小さい場合は鉄筋の疲労破断でそれぞれ破壊した。

## 参考文献

- (1) 高木淳、石橋忠良、古谷時春、海野隆哉：一断面に重ね継手を集中した場合の継手強度に関する実験的研究、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、pp738, 739、1991. 9
- (2) 高木淳、古谷時春、石橋忠良：一断面に重ね継手を集中させた梁の破壊性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol14、No. 2、pp101～106、1992. 6
- (3) 古谷時春、鎌田則夫：一断面集中重ね継ぎ手を持つ梁の実験的研究、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、pp822, 823、1992. 9
- (4) 関口司、飯塚英之、石橋忠良：重ね継手を有する梁部材の破壊性状、構造工学論文集Vol. 40 A、1994. 4.
- (5) 平成3年制定コンクリート標準示方書（設計編）、土木学会、1991年
- (6) 二羽淳一郎、山田一宇、横沢和夫、岡村甫：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価、土木学会論文集、第372号、pp167～176、1986. 8
- (7) 石橋忠良、大坪正行、青木桂一：コンクリート構造物の疲労設計（1）、構造物設計資料No. 70、日本鉄道施設協会、pp3～8、1982. 6
- (8) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物、丸善株式会社、1992. 10