

## 論 文

## [2045] 細径鉄筋継手の補強に関する実験的研究

木曾 茂<sup>\*1</sup>・山本 忠守<sup>\*2</sup>・飯束 義夫<sup>\*3</sup>

## 1. はじめに

近年、増大する交通量に対して高速道路の高速性および定時性等を確保するために、車線数を増す拡幅工事量も増加している。

橋梁スラブ等の拡幅工事において、D13～D22程度の細径鉄筋の継手として従来からの一般的な重ね継手を用いた場合に、鉄筋継手が一断面に集中することおよび所定の重ね合せ長さを確保するために旧コンクリートの取り壊し量が多くなること等の問題が生じている。

本報告は、これらに対処するために、重ね継手に替わる溶接継手およびCFRP補強材（CFRP：炭素繊維強化プラスチック）を用いた重ね継手等を有する供試体の載荷試験を行ない、その実験結果および考察について述べるものである。

なお、CFRPラセン筋および補強筋は、鋼製ラセン筋等と比較して次のようなメリットがある。

- ① 鑄等の問題がないので、最小かぶりの規定等を受けない。
- ② CFRP補強材は、コンクリート打込み時にはラセンピッチ方向にある程度フレキシブルであるのでコンクリートの充填性に優れ、硬化後はコンクリート中に固定され補強効果がある。

## 2. 実験概要

## 2. 1. 供試体

供試体の形状・寸法は図1に示す200×250×1800mmの矩形ばりとし、下側の主鉄筋3本に鉄筋継手を設けた。また、コンクリートの引張力を無視できるように供試体のスパン中央にスリットを設けた。供試体に使用したコンクリートは、材齢28日の設計基準強度を300kgf/cm<sup>2</sup>とした。鉄筋は軸方向主鉄筋にSD345 D13mm（降伏点3,780kgf/cm<sup>2</sup>、引張り強さ5,680kgf/cm<sup>2</sup>）を配置し、スターラップ筋としてSR235 φ6mmを10cm間隔にせん断区間に配置してせん断破壊を防いだ。

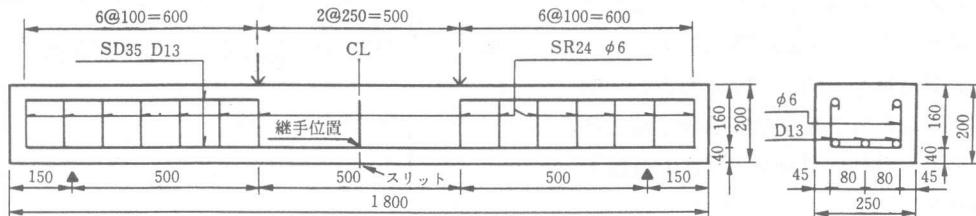


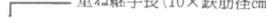
図1 供試体の形状・寸法

継手の種類として、溶接継手にはエンクローズ溶接を用いた。重ね継手の場合、重ね合せ長さは、日本道路協会・道路橋示方書に準じて鉄筋の呼び径の28倍とした。重ね継手の補強には、写

- \*1 日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室主任（前保全技術研究室） (正会員)  
 \*2 " 仙台建設局 構造技術課長（前試験研究所 保全技術研究室長） (正会員)  
 \*3 " 試験研究所 保全技術研究室主任、工修 (正会員)

表1 供試体の種類

シリーズ	供試体番号	継手（補強）の種類	備考
NB00	NB00-1	継手なし・補強なし	
	NB00-2		
NJ28	NJ28-3	重ね継手28D・補強なし	重ね合せ長：28×D D：鉄筋径（cm）
	NJ28-4		
NJ10-5	NJ10-5	重ね継手10D・補強なし	重ね合せ長：10×D
NW00	NW00-6	溶接継手・補強なし	エンクローズ溶接
	NW00-7		
NJ10-f	NJ10-8f	重ね継手 CFRPラセン補強 $\phi 6\text{ mm}$	重ね合せ長：10×D ラセンの径： $\phi 30\text{ mm}$
	NJ10-9f		
NJ10-F	NJ10-10F	重ね継手 CFRPラセン補強 $\phi 6\text{ mm}$	重ね合せ長：10×D ラセンの径： $\phi 60\text{ mm}$
	NJ10-11F		
NJ10-12H	NJ10-12H	重ね継手 CFRP補強筋	重ね合せ長：10×D 補強筋 $\phi 4.3\text{ mm} \times 6\text{ 本}$

(注1)  重ね継手長（10×鉄筋径cm）

NJ10-10F

継手の種類  継手補強の種類

B：継手なし f：CFRPラセン筋

J：重ね継手 F：CFRP補強筋

W：溶接継手

真1に示すCFRPラセン筋およびCFRP補強筋（引張り強さ： $30,000\text{ kgf/cm}^2$ 、弹性係数： $2.4 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ ）を用いた。CFRPで補強した継手の重ね合せ長さは、鉄筋の呼び径の10倍とした。これらの鉄筋継手を用いた供試体と継手の無い比較用の供試体を表2に示すとおり作製した。

## 2.2. 試験方法

低サイクル疲労試験は、図1に示すように曲げスパン50cm、せん断スパン50cmとした2点載荷とした。載荷々重は、鉄筋の計算応力度が鉄筋母材の引張り試験で得た降伏点となる荷重をベースとして、図2に示すように下限荷重をその2%とし、上限荷重を50%、70%、および95%とした。載荷は各荷重を30回繰り返し載荷した後、供試体が破壊するまで荷重を増加させた。

試験の計測項目については、主鉄筋ひずみおよび供試体のたわみの計測を行った。鉄筋ひずみは、主鉄筋の中央位置で各主鉄筋ごとに計測した。中央部に溶接継手がある鉄筋については、溶接箇所に近接した左右で鉄筋ひずみを計測した。供試体のたわみは、供試体のスパン中央にお

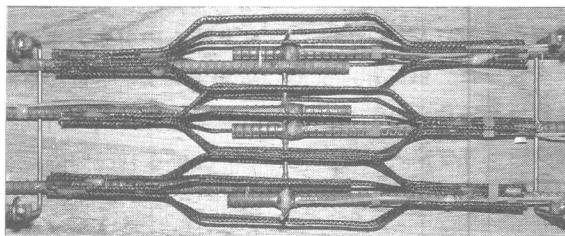
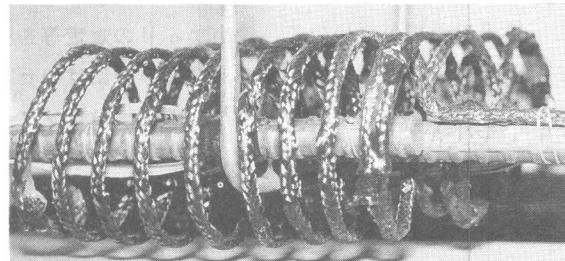


写真1 CFRPラセン筋（上）、CFRP補強筋（下）

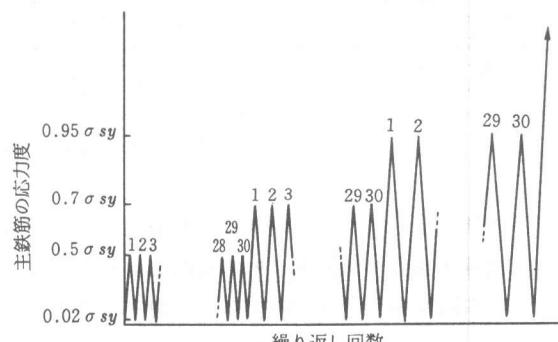


図2 載荷方法

いて計測し、各荷重段階での供試体側面のひびわれ発生状況も調査した。

### 3. 実験結果と考察

#### 3. 1. 鉄筋継手を有する供試体の曲げ破壊耐力

供試体コンクリートの

圧縮強度試験、低サイクル疲労試験および曲げ破壊試験の結果を表2に示す。

継手の無いNB00シリーズ供試体は、低サイクル疲労試験後、11.77tonfの載荷重量で曲げ破壊した。コンクリート応力を等価応力ブロックとしたり合い条件式から求め

た曲げ破壊荷重の理論値は8.70tonfであり、実験値は理論値より大きな値となっている。これは、理論値の応力度－ひずみモデルが理想弾塑性モデルを用いており、鉄筋の降伏以後の応力増加がなく、ひずみが急激に増大するモデルとなっていることによるものと考えられる。

鉄筋の呼び径の28倍を重ね継手（以下、28Dの重ね継手という。）としたNJ28シリーズ供試体は、継手の無いNB00シリーズとほぼ同程度の曲げ破壊荷重となっており、曲げ耐力に及ぼす低サイクル疲労試験の影響は少なかったものと考えられる。

鉄筋の呼び径の10倍を重ね継手（以下、10Dの重ね継手という。）としたNJ10-5供試体は、鉄筋母材の降伏点荷重の95%荷重（以下、降伏点の95%荷重という。）を載荷中の7.70tonfで破壊した。これは、鉄筋母材が降伏する前に主鉄筋とコンクリートの付着切れを起こし、継手破壊したものである。重ね継手の場合には鉄筋周囲のコンクリートを押し広げる円周方向の引張力（リングテンション）が生じ、コンクリートの割裂破壊にともなう鉄筋のすべり等による破壊が多いが<sup>2)</sup>、NJ10-5供試体の破壊形状においても供試体側面に主鉄筋に添った割裂の跡が見られた。

溶接継手のNW00シリーズ供試体では、曲げ破壊荷重の平均値が11.62tonfであり、継手の無いNB00シリーズとほぼ同じ破壊荷重となっている。供試体の破壊位置は供試体中心から約20cm離れた鉄筋母材位置であった。

重ね継手をCFRPラセン筋で補強したNJ10-8f、NJ10-9f、NJ10-10F およびNJ10-11F 供試体については、低サイクル疲労試験中（降伏点の95%荷重）に破壊した。ラセン筋の径が重ね継手の径と同程度であるΦ30mmのNJ10-f シリーズは、降伏点の95%荷重を1回目載荷した時点で破壊した。ラセン筋の径がΦ60mmのNJ10-10F およびNJ10-11F は、降伏点の95%荷重をそれぞれ11回および5回載荷した時点で曲げ破壊した。これは、ラセン径の大きいNJ10-F シリーズが、鉄筋周囲に発生するリングテンションに対して有効に働いたものと考えられる。重ね継手をCFRPラセン筋で補強することにより 6%程度曲げ破壊荷重が大きくなっている。

主鉄筋周囲にCFRP補強筋を配置したNJ10-12H 供試体は、降伏点の95%荷重を30回載荷後、荷重を9.0tonfに増加した時点で継手破壊した。他の10Dを重ね継手したNJ10-5、NJ10-f およ

表2 載荷試験結果

供試体の種類	試験時のコンクリート 圧縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	破壊荷重ケース	破壊荷重(t)	
			実験値	平均
NB00-1	353	Pσ0.95-30回載荷後	11.80	11.77
NB00-2	351	Pσ0.95-30回載荷後	11.75	
NJ28-3	362	Pσ0.95-30回載荷後	12.20	12.05
NJ28-4	356	Pσ0.95-30回載荷後	11.90	
NJ10-5	321	Pσ0.95-1回目	7.70	7.70
NW00-6	341	Pσ0.95-30回載荷後	11.60	11.62
NW00-7	343	Pσ0.95-30回載荷後	11.65	
NJ10-8f	352	Pσ0.95-1回目	8.21	8.20
NJ10-9f	348	Pσ0.95-1回目	8.20	
NJ10-10F	344	Pσ0.95-11回目	8.20	8.18
NJ10-11F	329	Pσ0.95-5回目	8.17	
NJ10-12H	349	Pσ0.95-30回載荷後	9.00	9.00

(注1) Pσ0.95は主鉄筋応力が降伏点となる荷重の95%荷重

びNJ10-F シリーズは、降伏点の95%荷重を30回載荷前に破壊しているが、NJ10-12H は主鉄筋とコンクリートの付着が切れた後もCFRP補強筋が引張力を受け持っているために、破壊荷重が補強筋の無いNJ10-5 より約17%程度大きくなっている。これについては、鉄筋ひずみの項で詳しく説明する。

### 3. 2. 鉄筋ひずみ

#### 低サイクル疲労試験の各荷重段階ごとの30回目の鉄筋ひずみを図3に示す。また、図4は各荷重段階ごとの1回目と30回目の鉄筋ひずみ差を示したものである。鉄筋ひずみは、供試体中央位置での各主鉄筋ひずみの平均値であり、さらに、NJ10-5およびNJ10-12H以外はシリーズごとの平均値を示した。

図3によれば、鉄筋端手のないNB00シリーズと溶接端手のNW00シリーズは、各荷重段階での鉄筋ひずみ量およびひずみの増加量がほぼ同じであり、低サイクル疲労試験での溶接部への応力集中等の影響はなかったものと考えられる。

28Dおよび10Dの重ね端手を有する供試体については、降伏点の70%荷重まではNJ10-12H を除いて、同じような鉄筋ひずみ量になっている。NJ28シリーズは降伏点の95%荷重30回載荷まで、降伏点の95%荷重載荷中に曲げ破壊したNJ10-5、NJ10-f およびNJ10-F シリーズは前段階の降伏点の70%荷重まで、NB00シリーズやNW00シリーズの1/2 程度のひずみ量となっている。

#### ラセン筋を用いたNJ10-F シリーズ

については、降伏点の95%荷重1回目載荷時にNJ28シリーズとの鉄筋ひずみ差が、それまで50  $\mu$  程度の差であったものが、170  $\mu$  程度と大きくなっている。これは、端手端部での鉄筋の付着切れにより中央部の応力が増加したものと考えられ、NJ10-F シリーズ（2体の供試体）は降伏点の95%荷重を5回目および11回目載荷時に破壊した。

NJ10-12H は、NJ28シリーズやNJ10シリーズより各荷重段階での鉄筋ひずみ量が小さいが、これはCFRP補強筋が引張力の一部を負担しているためである。図4によれば、NJ10-12H の降伏点の95%荷重の1回目から30回目載荷までに200  $\mu$  程度の圧縮ひずみが生じている。これは、重ね

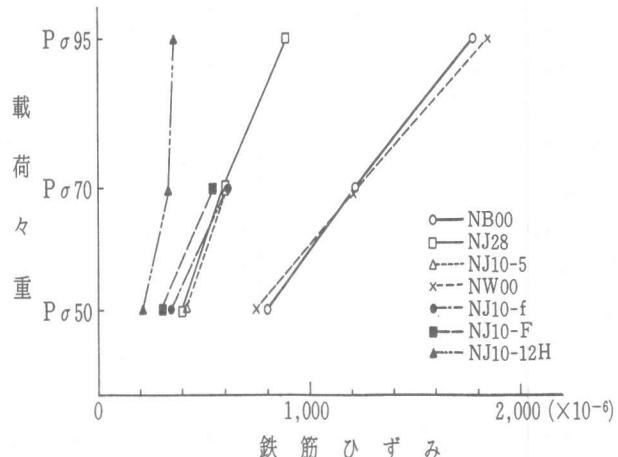


図3 主鉄筋ひずみ

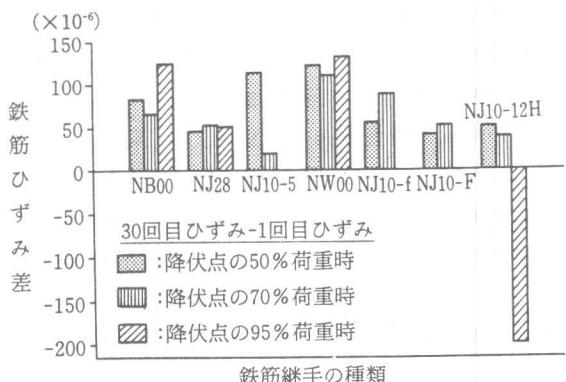


図4 各荷重段階の鉄筋ひずみ差

継手部の割裂破壊によって鉄筋の付着が切れ、鉄筋が受け持っていた引張力の一部が解放されたものである。この解放された応力は、解放と同時に CFRP 補強筋が負担したものと考えられる。

### 3.3. 供試体のたわみおよびひびわれ性状

#### (1) 供試体のたわみ

低サイクル疲労試験における各荷重段階での30回載荷時の供試体中央のたわみを図5に示す。図6には各荷重段階の載荷1回目と30回目のたわみ差を示す。NJ10-5およびNJ10-12H以外は、シリーズ内の2体の供試体の平均たわみである。

図5によれば、鉄筋応力度がNB00シリーズの1/2程度であったNJ28シリーズのたわみが最も小さいことがわかる。図6から降伏点の50%荷重では、NJ10-5を除いてたわみにほとんど差はないが、降伏点の70%荷重ではラセン筋を用いたNJ10-fおよびNJ10-Fのたわみが大きくなっている。これらの供試体は降伏点の95%荷重載荷中に破壊した。

#### (2) 供試体のひびわれ性状

低サイクル疲労試験（降伏点の50%～95%荷重載荷時）において、供試体下縁に生じたひびわれの本数は、全供試体の平均が10.5本／1供試体、標準偏差1.8本であり、供試体ごとのひびわれ本数のばらつきは少ない。2箇所の載荷点間の純曲げ区間（A区間と呼ぶ。）とそれ以外の区間（B区間と呼ぶ。）に発生したひびわれ本数を比較すると、10Dの重ね継手を有する供試体とそれ以外のもので明らかな差がみとめられた。10Dの重ね継手を有する供試体は、NJ10-12Hを除いて、B区間に発生したひびわれ本数は2～3本／（1供試体）であり、ひびわれ形状を見ても継手部に応力集中していることがわかる。残りの供試体はB区間に発生したひびわれ本数が5～7本／（1供試体）であり、ひびわれが分散していた。また、10Dの重ね継手を有する供試体の中でもCFRPラセン筋で補強したものが、補強のないものと比較して継手部への集中度が大きかった。NJ10-12H供試体は、CFRP補強筋で重ね継手長さの2倍の区間を補強しており、他の10Dの重ね継手を有する供試体と比較して、ひびわれが分散している。等間隔にひびわれが分散することが応力集中がなく望ましいとすれば、ラセン筋についてもラセン筋の補強区間を長くすれば応力集中が緩和され、破壊耐力も大きくなるとも考えることができる。

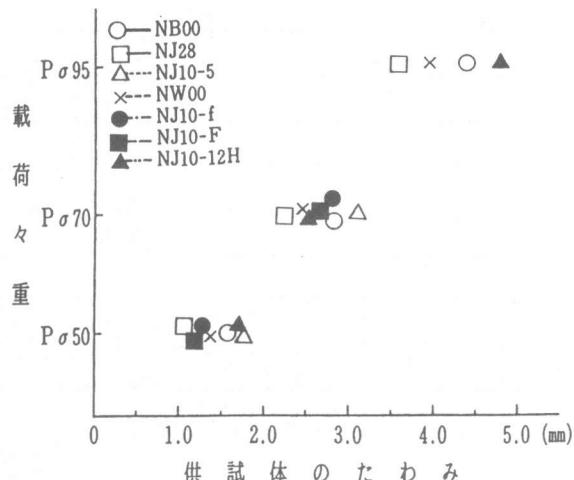


図5 供試体中央のたわみ

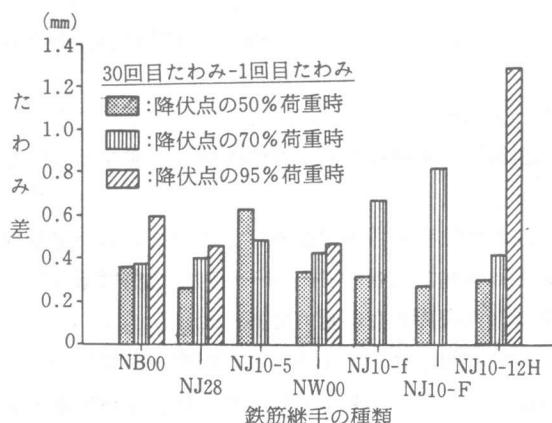


図6 各荷重段階のたわみ差

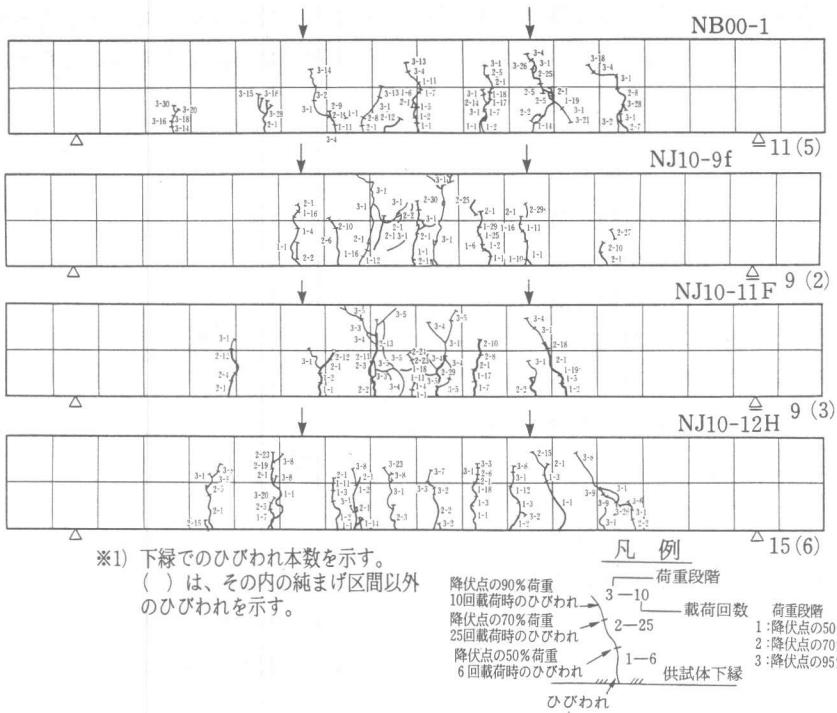


図7 供試体側面のひびわれ発生状況

#### 4.まとめ

細径鉄筋継手の低サイクル疲労試験に関する実験を行った結果、本実験の範囲内で次のことが言える。

- ①. 鉄筋の継手長さを鉄筋呼び径の10倍とした重ね継手（10Dの重ね継手）をCFRPラセン筋およびCFRP補強筋で補強すると 6~17%程度曲げ耐力が大きくなるが、継手の無い供試体と比較した場合は70%程度の曲げ耐力であった。
- ②. 10Dの重ね継手ではひびわれが継手部に集中し、応力集中する傾向があるが、継手長さと同じ区間をラセン筋で補強した場合には、さらに集中度が大きくなる傾向にある。
- ③. 10Dの重ね継手をCFRP補強筋で補強（補強区間は継手の2倍）した場合には、ひびわれが分散され、継手部への応力集中が緩和される。
- ④. 10Dの重ね継手が割裂破壊等によって付着切れを起こした場合、CFRP補強筋が鉄筋応力を一部負担する。

鉄筋継手が一断面に集中する場合の補強方法としてCFRPラセン筋およびCFRP補強筋を使用することができるが、補強範囲が短い場合には応力集中度が大きくなるので、今後、補強範囲等を試験等により定める必要がある。

- [参考文献] 1) 前田ほか：鉄筋コンクリート梁の付着破壊強度. 第12回コンクリート工学年次講演会論文集. Vol. 12. No. 2. pp485-490. 1990. 2) 大塚：繰り返し引張荷重を受ける重ね継手部の性状について. 第3回コンクリート工学年次講演会論文集. pp261-264. 1981.
- 3) 辻ほか：重ね継手の補強方法に関する実験的研究. 第3回コンクリート工学年次講演会論文集. pp265-268. 1981.