

[66] 繰返し引張荷重を受ける重ね継手部の性状について

正会員 大塚 浩司 (東北学院大学工学部)

1. まえがき

引張を受ける異形鉄筋の重ね継手の破壊は、一般に、継手部のかぶりコンクリートが鉄筋軸方向に割裂すること、すなわち縦ひびわれの発生によって生じることが多い。この重ね継手における縦ひびわれの発生には、継手部の鉄筋に作用する引張応力度、コンクリートの強度、重ね合わせ長さ、かぶり、横方向鉄筋など種々の因子が影響を及ぼしている。さらに、縦ひびわれの発生には継手部の鉄筋に作用する引張力の繰返しの影響も大きいのではないかと考えられるが、これまでに、そのような影響について研究された例は少なく、不明の点が多い。

そこで、この報告は、両引供試体を用いて、繰返し引張荷重を受ける重ね継手部の鉄筋応力分布、鉄筋のまわりのコンクリートの円周方向ひずみ分布、ひびわれ発生状況、疲労強度などの基礎的な性状を調べる実験を行った結果をまとめたものである。なお、実験は種々の性状を精度良く調べるための低サイクル試験と高サイクルの疲労試験とに分けて行った。

2. 実験材料

セメントは早強ポルトランドセメントを使用し、骨材は細粗とも河川産のものを使用した(粗骨材の最大寸法は20mm)。コンクリートの水セメント比は50%とした。試験時のコンクリートの圧縮応力度は大略300 kg/cm²であった。

鉄筋は直径16mmの横ふし異形鉄筋(SD35およびSD50)を使用した。また、スパイラル鉄筋には直径6mmの普通丸鋼を使用した。

3. 低サイクル試験

(1) 実験方法

供試体は図-1に示すような2組の重ね継手を平行に設けた両引供試体である。鉄筋応力度の測定には鉄筋の表面にはり防水したゲージ長2mmのコード付ストレングージを用いた。鉄筋のまわりのコンクリートの円周方向平均ひずみの測定には、写真-1に示すようなアクリル樹脂製のリングの全周にわたってストレングージをはり防水加工したリングゲージを用いた。

供試体の載荷には、2組の継手に同じ力が加わるように工夫した鉄筋つかみ装置を用い、電子式自動負荷制御装置付100t万能試験機を使用した。荷重の上限は鉄筋応力度が2500 kg/cm²になるようにし、荷重の下限は手動の場合は0 kg/cm²とし自動の場合は250 kg/cm²とした。繰返し載荷は、ひずみを測定する場合は手動とし1サイクル約10分、それ以外は自動とし2.5サイクル/分とした。

(2) 実験結果および考察

図-2は、実験結果の一例として、重ね合わせ長さ30cmかぶり4.2cmの場合の、1および10サイクルに

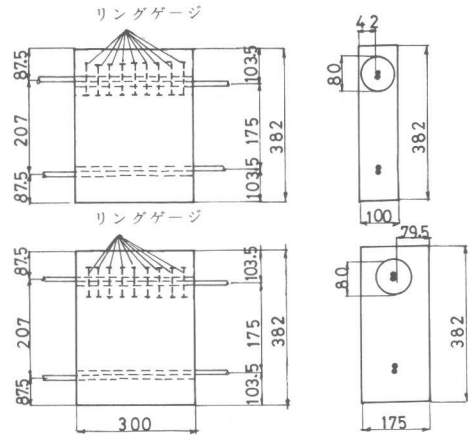


図-1 両引供試体形状寸法

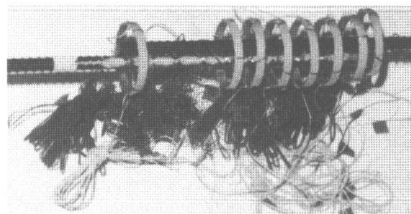


写真-1 リングゲージ取り付け状態

おける鉄筋応力分布と鉄筋のまわりのコンクリートの円周方向平均ひずみとの測定結果を示すものである。

1サイクル時の鉄筋応力分布図をみると、荷重を増加する際と減少する際とでは大きい差が生じていることがわかる。すなわち、荷重を増加する際は継手端部近くで大きい鉄筋応力度勾配が生じるのに反して、荷重を減少する際は次第に継手端部近くの鉄筋応力度勾配が小さくなり、やがて逆転し、荷重を完全に除荷しても鉄筋に引張応力が残留している。これは次のように考えることができる。写真-2は引張異形鉄筋の重ね継手の鉄筋周辺のコンクリートにおける内部ひびわれの発生状況の例を示すものである。³⁾この写真から明らかなように、重ね継手の鉄筋周辺のコンクリートには鉄筋のふし部より内部ひびわれが数多く発生するものであるが、この内部ひびわれは荷重の増加または繰り返しのよって次第に成長する。¹⁾

従って、このような内部ひびわれの発生後に荷重を減少しても、内部ひびわれによって形成されたくし歯状コンクリートの変形が内部ひびわれ面でのインターロッキングなどのために元にもどれず、鉄筋に引張応力が残留することになる。

2サイクル時における鉄筋応力分布図によると、荷重を増加する際と減少する際とにおける差が1サイクル時よりもかなり小さくなっている。10サイクル時における鉄筋応力分布図をみると、荷重の増減の際の差がさらに小さくなっている。また、鉄筋端部付近の鉄筋応力度の勾配がきわめて小さくなっていることからこの部分での付着が損なわれていることがわかる。

継手鉄筋のまわりのコンクリートの円周方向平均ひずみ分布図をみると、1サイクル時の上限荷重ですでに300 μ m程度のひずみが生じており、コンクリートの伸び能力からいって、継手端部付近には縦ひびわれが発生していることがわかる。そのため、荷重を減少させた際大きい残留ひずみが生じると考えられる。

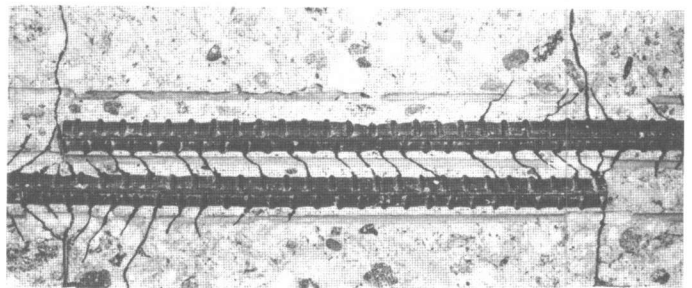


写真-2 引張異形鉄筋の重ね継手の内部ひびわれ発生状況

円周方向平均ひずみに大きい値の生じているのは継手両端部から継手内に全長の約1/4程度入ったところまでの領域のみで、その領域を除いた継手中央部はあまり大きいひずみの変化はないようである。この円周方向平均ひずみの大きくなる領域は鉄筋応力分布図においてその勾配が大きくなる領域に近いがやや小さいようである。また、この領域は、かぶりの大きい供試体によると、かぶりが小さい場合よりも小さくなる傾向がみられた。円周方向ひずみの最大値が、繰り返し回数の増加につれて、少しずつ増えていることから、縦ひびわれのゆるやかな成長があったことがわかる。

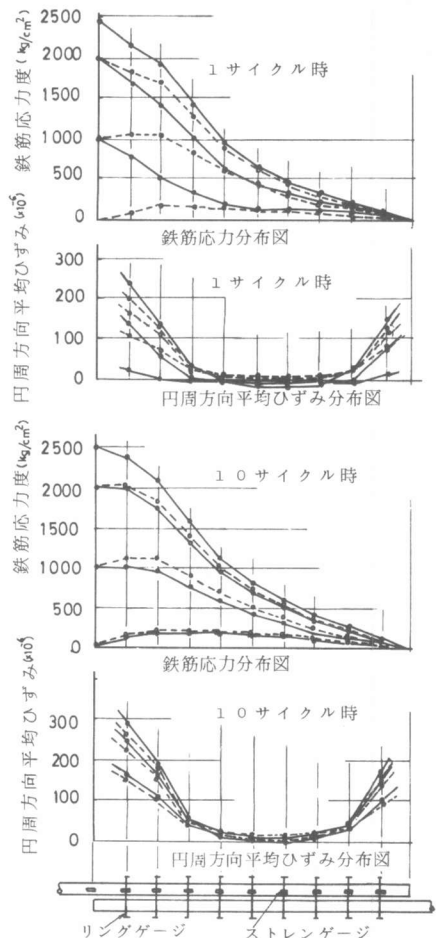


図-2 鉄筋応力分布図および円周方向平均ひずみ分布図

4. 疲労試験

(1) 実験方法

供試体は図-3に示すような形状寸法の両引供試である。重ね合わせ長さは30cmとし、かぶりは2.2cmと4.2cmとの2種類とした。供試体の種類は表-1に示すようなI, I, IおよびIの4種類である。IおよびIは重ね継手の疲労強度に及ぼす横方向鉄筋の影響を調べるために、横方向鉄筋の一例として、スパイラル鉄筋φ6を継手部に6巻および継手端から外側に3巻ずつ用いたものである。このスパイラル鉄筋の所要量は、重ね継手の構造を、両鉄筋とこれらの間の内部びわれによって分割されたコンクリート・ストラットと、鉄筋と直角方向の引張力を受けるかぶりコンクリートとからなるトラスと考え、この構造モデルを用いて計算²⁾(式-1)した値を目安として定めた。

$$N = k \cdot \frac{A_s \sigma_{sy}}{2 A_{sp} \sigma_{spy}} \quad \text{----- (1)}$$

ここで

N : スパイラル鉄筋の巻数

k : 定数 (ここでは k = 1 とした)

A_s : 継手鉄筋1本の断面積 (cm²)

σ_{sy} : 継手鉄筋の降伏点応力度 (kg/cm²)

A_{sp} : スパイラル鉄筋1本の継面積 (cm²)

σ_{spy} : スパイラル鉄筋の降伏点応力度 (kg/cm²)

繰り返し载荷には油圧式疲労試験機を用い、上限荷重は鉄筋応力度が2000kg/cm² (一部2500kg/cm²)となるようにし、下限荷重は鉄筋応力度が250kg/cm²となるようにした。繰り返しは毎分600サイクルである。

(2) 実験結果および考察

表-2は疲労試験に先だち行った比較のための静的引張試験の結果を示すものである。この表からわかるように、重ね合わせ長さが同じでもかぶりが2.2cmから4.2cmと大きくなると継手強度がかなり大きくなること、継手部を所要量のスパイラル鉄筋で補強すればかぶりが2.2cmと小さくても継手強度をその鉄筋の降伏点応力度 (SD35の場合) 程度まで発揮させることができること、などがわかる。

表-3は疲労試験の結果を示すものである。この結果から、かぶりが2.2cmと小さい場合は、無補強のも

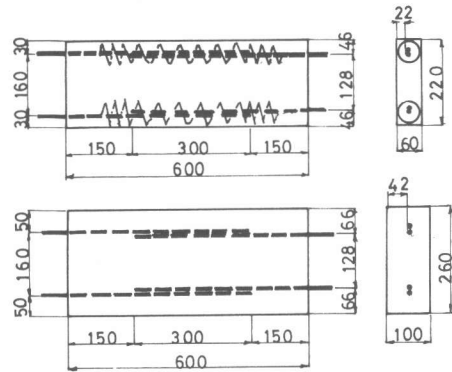


図-3 疲労試験用供試体形状寸法

表-1 供試体の種類

種類	かぶり (cm)	重ね合わせ長さ (cm)	スパイラル鉄筋
I	2.2	30	なし
I _{sp}	2.2	30	φ6 × 6巻
II	4.2	30	なし
II _{sp}	4.2	30	φ6 × 6巻

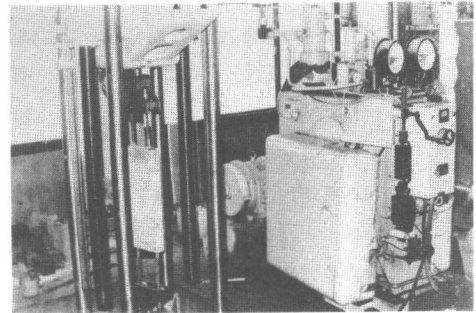


写真-3 疲労試験装置

表-2 静的引張試験結果

供試体番号	供試体の種類	継手強度 (kg/cm ²)		破壊状況
		試験値	平均	
1	I	2070	2120	継手部コンクリートの割裂による破壊
2		2170		
3		2130		
4	I _{sp}	3370	3540	継手部コンクリートの割裂による破壊
5		3700		
6	II	3680	3550	継手部コンクリートの割裂による破壊
7		3490		
8		3470		
9	II _{sp}	5000	5000	鉄筋降伏まで破壊せず
10		5000		
11		5000		

のは50回程度の繰り返し載荷で継手が割裂破壊するが、スパイラル鉄筋で補強したものは、ばらつきが大きい、1万回以上の繰り返しに耐えることがわかる。しかし、同種の供試体で約43万回において鉄筋破断するまで耐えたものも図-4(a)にみられるように、継手のコンクリート表面には縦ひびわれが大きく成長しており、鉄筋軸に斜め方向のひびわれも数多く発生している。また、継手端部に発生した横ひびわれの幅は0.5~1mm程度となっている。これらのことから、この場合には継手の機能が損なわれていると考えられる。

かぶりが4.2cmの場合には、無補強のものでもかぶりが2.2cmの場合に比べて著しく耐疲労性が増大している。しかし、29万回程度の繰り返しで継手のコンクリートが割裂して破壊したものもあり、十分とはいえない。継手を所要量のスパイラル鉄筋で補強したものは、全て鉄筋破断によって試験が終了している。また、この場合の供試体コンクリート表面のひびわれ状況を図-4(b)からみてもわかるように、継手両端部と継手中央とに横ひびわれが発生しているのみで、継手端部の横ひびわれの幅もかぶりが2.2cmの場合よりかなり小さく、繰り返し載荷によってその幅が増大する傾向はみられなかった。

5. まとめ

繰り返し引張荷重を受ける異形鉄筋の重ね継手の性状について、両引供試体を用いて以上のような実験を行った結果、実験の範囲内で次のことがいえる。

(1) 引張荷重を増加する場合と減少する場合とでは、重ね継手の鉄筋応力分布図の形状にかなりの差異が生じるが、両者の差は繰り返し回数の増加につれて減少する傾向がある。また、引張荷重を完全に除荷しても重ね継手の端部から少し内側の鉄筋にはかなりの引張応力が残留する。これは異形鉄筋周辺の内部ひびわれ発生によって形成されたくし歯状コンクリートの変形が、内部ひびわれ面におけるインターロッキング等によって、もとかえらないためと考えられる。

(2) 重ね継手の鉄筋のまわりのコンクリートの円周方向平均ひずみは、継手両端部から全長の約1/4程度入った所までの領域で主として大きくなり、継手中央部ではほとんど大きくなりません。このひずみの大きくなる領域は、かぶりが大きくなれば小さくなり、また、繰り返し回数の増加につれて大きくなる傾向がみられた。

(3) 静的な引張荷重に対して継手強度が十分ある場合でもその鉄筋の許容引張応力度における繰り返し載荷によって継手が割裂破壊することがある。

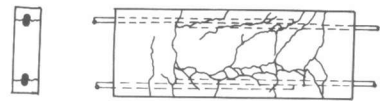
(4) 重ね継手をスパイラル鉄筋で十分補強した供試体で、かぶりが4.2cm(鉄筋直径の約2.6倍)のもの高い耐疲労性を示したが、かぶりが2.2cm(鉄筋直径の約1.4倍)と小さいものは疲労破壊した。

参考文献

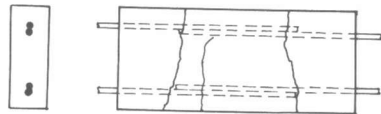
- 1) Y. Goto: Cracks formed in concrete around deformed tension bars, Jour. of ACI, Vol. 68, April 1971
- 2) 後藤幸正、大塚浩司: 太径異形鉄筋の重ね継手に関する研究, 日本コンクリート工学協会, 鉄筋の継手および定着の設計施工に関するシンポジウム発表報告集, 1976年3月
- 3) 後藤幸正、大塚浩司: 引張を受ける異形鉄筋周辺のコンクリートに発生するひびわれに関する研究, 土木学会論文報告集第294号, 1980年2月

表-3 疲労試験結果

供試体番号	供試体の種類	上限および下限の鉄筋応力度(kg/cm ²)	破壊回数	破壊状況
12	I	2000~250	67	継手部コンクリートの割裂による破壊
13			48	
14			50	
15	I _{sp}	2000~250	24000	継手部コンクリートの割裂による破壊
16			11900	
17			48400	
18			432000	鉄筋破断
19			365900	
20	II	2000~250	292000	継手部割裂破壊
21			470300	鉄筋破断
22	II _{sp}	2000~250	558700	鉄筋破断
23			2500~250	



(a) かぶり2.2cmの場合(供試体番号18)



(b) かぶり4.2cmの場合(供試体番号22)

図-4 疲労試験後の供試体表面のひびわれ発生状況