

## [96] 引張鉄筋の重ね継手におけるフックの効果に関する研究

正会員 大塚 浩司 (東北学院大学工学部)

## 1. まえがき

引張鉄筋の重ね継手において、異形鉄筋では、一般に、フックを付なくてもよいが、重要な構造物の継手はフックを付けて安全度を増すのがよいとされ、またその際、フックの効果として重ね合わせ長さを減じてもよいとされている。しかし、フックの効果は、そのまわりのコンクリートの状況、例えば、かぶりの大きさ、コンクリートの強度、横方向鉄筋の量や配置方法などによって当然異なってくると考えられるが、それらの点についての実験例が少なく不明の点が多い。

そこで、この研究は、引張異形鉄筋の重ね継手を設けた両引供試体およびはり供試体を用いて、継手強度やひびわれ性状に及ぼすフックの効果がかぶりや横方向鉄筋などによってどのように影響されるかについて実験的に検討したものである。さらに、この実験データをこれまでに行ったフックを付けない重ね継手の実験データと共に、Jirsa の付着強度式<sup>1)</sup>を用いて解析し、検討した。

## 2. 実験概要

セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。骨材は砂、砂利とも宮城県荒雄川産(粗骨材の最大寸法20mm)を使用した。コンクリートの圧縮強度は試験時に大略300kg/cmであった。主鉄筋は市販の横ふし異形鉄筋D16(SD35)を使用し、横方向鉄筋としてのスターラップはD10(SD35)を使用した。

両引供試体は表-1および図-1に示したような形状寸法のものであり、はり供試体は表-2および図-2に示したような形状寸法のものである。

両引供試体の載荷は、2組の重ね継手がそれぞれ同じ力で引張られるように工夫した鉄筋つかみ装置を用いて、油圧式万能試験機によって行った。

表-1 両引供試体の詳細

供試体番号	形状寸法 (cm)					フックの有無
	全長	全高(h)	幅	重ね合わせ長さ(l)	かぶり	
1, 2, 3	60	76	26	20	2.2	有り
4, 5, 6	"	"	"	"	"	無し
7, 8, 9	70	"	"	30	"	"
10, 11, 12	103	"	"	63	"	"
13, 14	66.7	"	"	26.7	"	有り
15, 16	88	"	"	40	"	無し
17, 18	60	96	28	20	3.2	有り
19	66	80	24	30	"	無し
20, 21	60	116	30	20	4.2	有り
22	70	100	26	30	"	無し

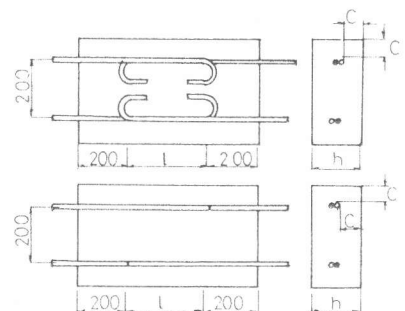


図-1 両引供試体の形状寸法

表-2 はり供試体の詳細

供試体番号	形状寸法 (cm)							フックの有無
	全長	スパン	全高	有効高さ	幅	重ね合わせ長さ(l)	かぶり	
1	330	300	20	17	16	20	2.2	有り
2	"	"	"	"	"	"	"	無し
3	"	"	"	"	"	30	"	"
4	"	"	"	"	"	63	"	"
5	"	"	"	"	"	26.7	"	有り
6	"	"	"	"	"	40	"	無し
7	"	"	21	"	18	20	3.2	有り
8	"	"	"	"	"	30	"	無し
9	"	"	22	"	20	20	4.2	有り
10	"	"	"	"	"	30	"	無し
11~21	320	"	23	20	16	20	2.2	有り
22	"	"	"	"	"	40	"	無し
23~25	"	"	"	"	"	17.8	"	有り
26	"	"	"	"	"	"	"	"

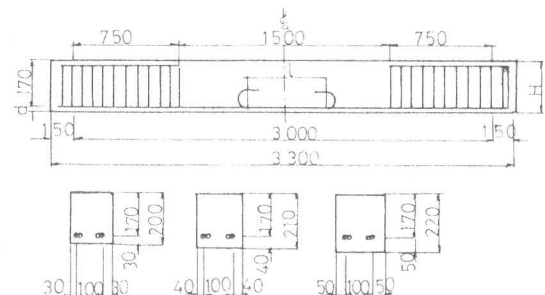


図-2 はり供試体の形状寸法 (No.1~10)

### 3. 実験結果および考察

#### (1) フックの効果に及ぼすかぶりの影響

両引供試体による実験の結果得られた継手強度を表-3に示した。かぶりが2.2cm (1.4φ, φ:鉄筋直径)とかなり小さい場合には重ね合わせ長さlが同じ20cm (12.5φ)であればフックの無いものよりもフックの付いたものの方が継手強度がやや大きいしかし、そのlが20cmでフック付のものは、lが30cm (1.9φ)でフック無しのものよりも継手強度が小さく、フックの部分直線とした全長63cm (3.9φ)のものよりも継手強度が大きく減少している。ところが、かぶりが3.2cm (2.0φ), 4.2cm (2.6φ)と大きくなると、lが20cmでフック付のものの方がlが30cmでフック無しのものよりも、前述の場合と逆に、継手強度が大きくなる傾向がみられる。

これらのことから、かぶりがかなり小さい場合にはフックが継手強度を高める効果はあまり期待できないが、かぶりが大きくなるにつれてその効果が次第に発揮されるようになると考えられる。

表-4は、はり供試体を用いて、フックの効果に及ぼすかぶりの影響を調べた結果を示したものである。この表からわかるように両引供試体で得られた結果と同様な傾向がみられる。

#### (2) フックの効果に及ぼす横方向鉄筋の影響

表-5は、フックの効果に及ぼす横方向鉄筋の影響を調べるために行った、はり供試体の載荷試験の結果を示したものである。この場合、かぶりはすべて2.2cm (1.4φ)とし、重ね合わせ長さはN0.11~N0.21まで20cm (12.5φ)とした。

この結果から、フック付の重ね継手の場合も、これまでに直線の重ね継手の場合に知られていることとほぼ同様に、横方向鉄筋を用いたものの方が用いないものに比べて破壊荷重が大きくなっていることがわかる。ただし、同じ2本の横方向鉄筋を用いた場合でも、両方のフックの曲げ始めにそれぞれを置いたものの方が継手中央部に2本を置いたものよりもやや破壊荷重が大きくなる傾向がみられた。また、フックの曲げ始めより外側に横方向鉄筋を置いてあまり効果はみられず、むしろ、継手端部付近に幅の大きい横びわれを誘発する傾向がみられた。

図-3は、載荷終了時のはり側面における重ね継手付近のひびわれ発生状況の例を示したものである。N0.11, 14, 17および17はフック付継手であり、N0.22は直線継手である。横方向鉄筋を用いない場合(N0.11)は継手部に鉄筋軸方向の縦ひびわれの発生がみられ割裂破壊をしている。このひびわれ状況はN0.22の直線継手の場合とかなり似ている。継手部分に横方向鉄筋を置くと、その付近での縦ひびわれが生じにくくなる傾向がみられた。すなわち、フックの曲げ始めにのみ横方向鉄筋を

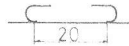
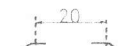

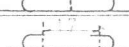
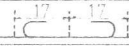
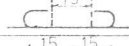
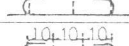
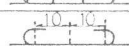
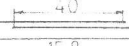

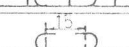



表-3 両引供試体の試験結果

供試体 番 号	かぶり (cm) (φ)	重ね合わせ 長さ (cm)	フック の有無	継手強度 (継手 破壊時の鉄筋応 力) kg/cm <sup>2</sup>		破壊形式
				試験値	平 均	
1	2. 2 (1.4φ)	2 0	有 り	2360	2370	継手部コン クリートの 割裂による 破壊
2				2470		
3				2270		
4		2 0	無 し	1970	2080	"
5				2270		
6				1990		
7		3 0	無 し	2320	2590	"
8				2770		
9				2690		
10		6 3	無 し	2650	3840	"
11				4050		
12				3830		
13		26. 7	有 り	2860	2840	"
14				2820		
15				3350		
16		4 0	無 し	3200	3280	"
17	2670					
18	3. 2 (2.0φ)	20	有 り	3170	2920	"
19		30	無 し	2800	2800	"
20	4. 2 (2.6 φ)	2 0	有 り	3800	3800	鉄筋降伏
21				3800		
22			3 0	無 し	3500	3500

表-4 はり供試体の試験結果-1

供試体 番号	かぶり cm (φ)	重ね合わせ 長さ (cm)	フック の有無	継手強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	破壊形式
1	2.2 (1.4φ)	20	有り	2580	継手部コン クリートの割 裂による破壊
2		"	無し	1870	
3		30	"	3040	
4		63	"	4230	鉄筋降伏
5		26.7	有り	4300	
6		40	無し	4300	
7		3.2	20 有り	3500	
8		2.0φ 30	無し	3500	継手部コン クリートの割 裂による破壊
9		4.2 20	有り	3840	
10		2.6φ 30	無し	4100	

表-5 はり供試体の試験結果-2

供試体 番号	横方向鉄筋の配置状態 (cm)	破壊荷重 (t)	破壊形式
11		6.2	コンクリートの 割裂による破壊
12		6.5	
13		7.6	鉄筋降伏
14		8.6	
15		7.8	
16		8.5	
17		8.0	
18		8.8	
19		7.5	
20		8.3	
21		9.7	
22		7.5	コンクリートの 割裂による破壊
23		6.5	
24		8.7	鉄筋降伏
25		9.2	
26		8.0	

置いた N O.1 4 では継手中央部に縦ひびわれの発生がみられ、逆に継手中央部にのみ横方向鉄筋を置いた N O.1 7 では継手端部付近に縦ひびわれの発生がみられた。また、フックの曲げ始めと継手中央とに横方向鉄筋を置いた N O.2 1 では明瞭な縦ひびわれは認められなかった。

これらの結果から、重ね継手部に横方向鉄筋を用いる場合にはその量とともにその位置にも配慮することが大切であると考えられる。

また、フックを付けると重ね合わせ長さを直線の場合の  $2/3$  としてよいことが土木学会コンクリート標準示方書にも規定されているが、これらの実験結果からわかるように、フックの効果にはかぶりや横方向鉄筋などが大きい影響を及ぼすので、現規定では十分ではないように思われる。

#### 4. J I R S A の式による検討

##### (1) 解析方法

J I R S A らは定着や重ね継手の鉄筋の付着強度を計算するために、それに影響を及ぼすと考えられる種々の因子の関数として表わした式-1を提案している。そこで、この式を用いて以下のような解析を行った。まず実験データの継手強度から式-2を用いて直接求まる平均付着強度  $U_{test}$  を得る。次に式-1から計算によって平均付着強度  $U_{cal}$  を求め、 $U_{test}/U_{cal}$  のヒストグラムを作成し、比較検討した。

解析に用いたデータは表-6に示したように、両引供試体については116体、はり供試体については84体から得られたものを用いた。そのうち、フック無しのはり供試体15体は文献(2)に発表されているデータであり、その他はすべて筆者らがこれまでに行った実験より得られたデータである。

フック付の重ね継手の重ね合わせ長さとしては  $3/2$  の直線継手と仮定して計算した。このことは、フック付の重ね継手の付着強度が  $3/2$  の直線の継手に期待される付着強度とどういう関係にあるかを知ることになり、土木学会の現規定の検討にもなると考えられる。

##### (2) 解析結果

図-4は、両引供試体で、フック無し、横方向鉄筋なしの場合の109体による重ね継手の実験データから求めた  $U_{test}/U_{cal}$  のヒストグラムである。この図からわかるように、この場合はピークが約0.9と計算値よりも実験値がやや小さくなった。

図-5は、両引供試体で、フック付、横方向鉄筋無しの場合の  $U_{test}/U_{cal}$  のヒストグラムである。この場合は供試体数が少なく明らかではないが、図-4と比べて、ピークの値がほぼ同じであった。

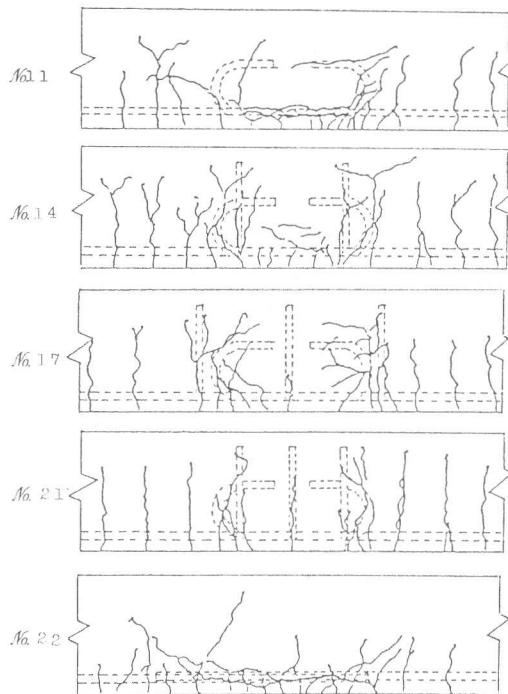


図-3 重ね継手部のひびわれ発生状況

J I R S A の提案した平均付着強度式

$$U_{cal} = \left( 0.318 + 0.795 \frac{C}{\phi} + \frac{13.3\phi}{l} + \frac{A_t \cdot f_{yt}}{133S\phi} \right) \sqrt{f'_c} \quad \text{式-1}$$

ただし

$$\frac{C}{\phi} \leq 2.5, \quad \frac{A_t \cdot f_{yt}}{133S\phi} \leq 0.8$$

ここで

$f'_c$  : コンクリートの円柱供試体強度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$\phi$  : 主鉄筋の直径 (cm)

$C$  : 主鉄筋の下側のかぶり  $C_b$  と定着する鉄筋の純間隔の半分  $C_s$  のうちの小さい方 (cm)

$f_{yt}$  : 横方向鉄筋の降伏強度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$A_t$  : 付着破壊面に垂直の横方向鉄筋の断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$l$  : 重ね合わせ長さ (cm)

$S$  : 横方向鉄筋の中心間隔 (cm)

実験データの継手強度 ( $f_u$ ) から求まる平均付着強度

$$U_{test} = \frac{f_u \phi}{4 l} \quad \text{式-2}$$

表-6 解析に用いた重ね継手実験データ

	フック無し, 横方向鉄筋無し		フック有り, 横方向鉄筋無し	
	109 体		7 体	
はり供試体 合計 84	フック無し		フック有り	
	横方向鉄筋無し 22 体	横方向鉄筋有り 44 体	横方向鉄筋無し 7 体	横方向鉄筋有り 11 体

図-6は、はり供試体で、フック無し、横方向鉄筋は66体中44体に有る場合の  $U_{test}/U_{cal}$  のヒストグラムである。この場合は、横方向鉄筋の存在のためもあり、ばらつきが両引供試体の場合よりも大きい、ほぼピークが1の分布を示した。図-4に示した両引供試体の場合よりもピークがややこの場合の方が大きくなったのは、一般に、はり供試体の場合の方が両引供試体の場合よりも条件（かぶり、重ね合わせ長さ、コンクリートの強度など）が同じでも実験結果の継手強度が少し大きくなる傾向があることを示していると考えられる。

図-7は、はり供試体で、フック付、横方向鉄筋は18体中11体に有る場合の  $U_{test}/U_{cal}$  のヒストグラムである。この場合は、供試体数が多くないので、はっきりいえないが、図-6の場合に比べてピークの値が1.2と大きくなっていることから、フック付の重ね継手の継手強度が計算で予想される値よりもやや大きくなる傾向があることが考えられる。

##### 5. まとめ

引張鉄筋の重ね継手におけるフックの効果に関する実験およびその結果についての検討を行ったが、その範囲内で次のことがいえる。

(1) かぶりがかなり小さい場合には、フックが継手強度を高める効果はあまり期待できず、場合によってはフックの部分をもそのまま直線にした方がよいことがある。

(2) かぶりが大きくなるにつれて、フックが継手強度を高める効果が次第に発揮されるようになる。

(3) フック付の重ね継手に横方向鉄筋を用いる場合には、その配置場所としてはフックの曲げ始め付近がよく、あまり端部に近いとその効果が期待できない。

(4) かぶりが大きいあるいは横方向鉄筋で十分補強されていれば、フック付の重ね継手の強度はJIRSAの付着強度式で予想される値よりもやや大きくなる傾向があると考えられる。

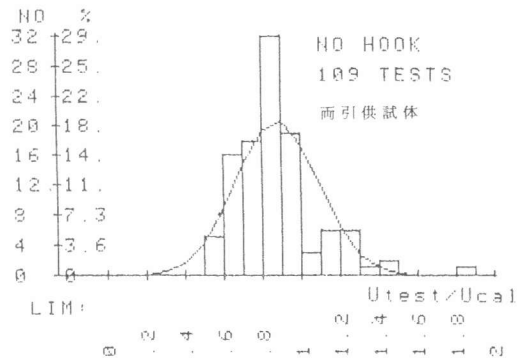


図-4  $U_{test}/U_{cal}$  のヒストグラム-1

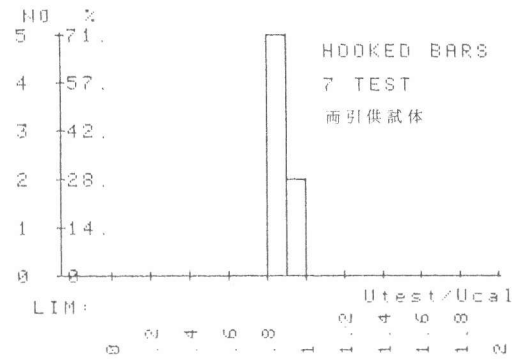


図-5  $U_{test}/U_{cal}$  のヒストグラム-2

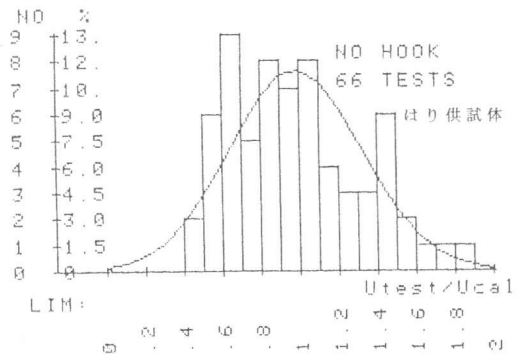


図-6  $U_{test}/U_{cal}$  のヒストグラム-3

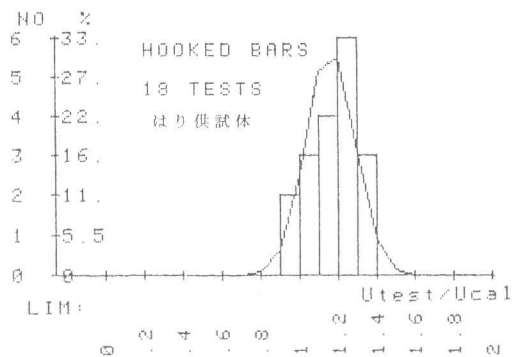


図-7  $U_{test}/U_{cal}$  のヒストグラム-4

##### 参考文献

- (1) G. O. Orangun, J. O. Jirsa and J. E. Breen, : A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal, March 1977
- (2) G. O. Reynolds, : Bond Strength of deformed brs in tension, Cement and Concrete Association Technical Report 548 May 1982
- (3) 大塚, 森 : 引張鉄筋の重ね継手におけるフックの効果に関する研究, 土木学会第36回年次学術講演会要集 1981年10月
- (4) 大塚, 森 : 引張鉄筋の重ね継手におけるフックの効果に及ぼす横方向鉄筋の影響, 土木学会第37回年次学術講演会要集 1982年10月