

異形鉄筋の付着に関する研究

東北大学工学部 正員 植田紳治
東北大学工学部 正員 馬場紘一
埼玉県立与野農工高校 正員 大塚廉太郎

1. まえがき 鉄筋コンクリート部材の引張部に生ずるひびわれ(以下引張ひびわれと呼ぶ)の問題は鉄筋コンクリートの耐久性, その他に大きな影響をおよぼす重要な問題である。近年広く使用されるようになった高強度異形鉄筋も, その高い強度を十分に活用するためには, 引張ひびわれに対する特性のよいものであることが大切である。

鉄筋の付着に関する試験方法として, 従来からいろいろな方法が用いられているが, 筆者らは両引試験によって, 各種異形鉄筋の表面形状による付着特性と比較し, またはりによる曲げ試験も行い, ニつの試験の関連性についても検討を加えた。

コンクリート正方形断面の中心に鉄筋を入れた両引試験体を用い, 鉄筋を両側に引張る場合には供試体が十分長ければ, 引張ひびわれが発生することはよく知られている。これらのひびわれ本数がこれ以上増加しない状態まで載荷した場合を考えると, ひびわれ間隔は一般に一定ではなく, ばらつきがある。しかし, これらの間には, 最大値(L_{max})と最小値(L_{min})があり, コンクリート, 鉄筋および供試体断面積等を一定とすれば, L_{max} や L_{min} は一定で, L_{max} は L_{min} のほぼ2倍になることは知られている。最大ひびわれ間隔の大きさは供試体断面, コンクリート強度, 鉄筋直径, 鉄筋の表面形状等によって影響されると考えられるこれらの事項の影響については, 十分明らかでない点も多い。

また, 両引供試体に発生するひびわれ中に影響をおよぼす事項もひびわれ間隔と同様相当多く複雑である。筆者らは両引供試体の端面の状態とひびわれ内部の状態との間に密接な関係があることに着眼し, この関係を利用して端面測定により, 間接的にひびわれ内部における側面形状や鉄筋露出量を測定した。また, ひびわれ発生の位置, 間隔を人為的に調整し, ひびわれ中の測定には $1/1000$ mmのコンタクトタイアのひずみ計を用いた。

セメントは日本セメント早強ポルトランドセメント, 細粗骨材は宮城県白石市産, 砂の比重2.56, 粗粒率303, 砂利の比重2.58, 粗粒率670であり玉石碎石(はり供試体に使用)の比重2.59粗粒率674であった。鉄筋は写真のような丸鋼および異形鉄筋を用いた。またコンクリート配合は表-1の通りである。

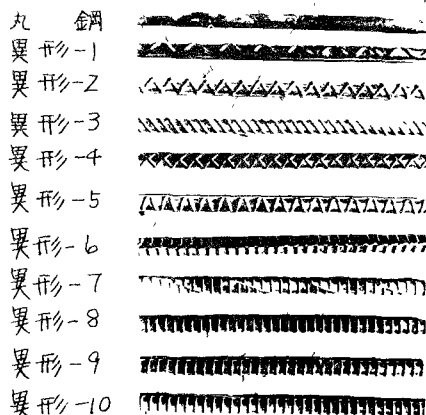


表-1 コンクリート配合表

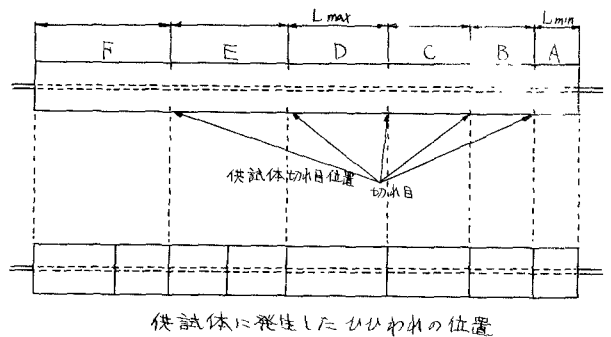
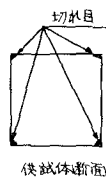
	C (kg)	W (kg)	W/C (%)	S/A (%)	S (kg)	G (kg)	σ_g (kg/cm ²)
両引供試体	330	158	48	36	666	1180	300
はり供試体	350	179	51	38	666	1185	250

2. 実験方法

a) 両引試験 両引供試体の鉄筋を両側に引張った場合、引張力は、供試体内ではコンクリートと鉄筋とによって分担され、その後の引張荷重の増加によって、コンクリートの引張強度を越えるとき、はじめて、ひびわれが発生するものと考えられる。この場合ひびわれ発生位置について考えてみると、供試体表面における引張応力度がほぼ一定である範囲がかなり長ければ、コンクリートが完全に均等質のものではないために、その範囲内で特に引張強度の小さい箇所、すなわち弱点のあるところにまずひびわれが発生するはずである。そこで人為的にあらかじめ何らかの弱点を造ってあげず、その弱点のある断面にまずひびわれが発生するものと考え、供試体を製作する際に正方形断面の四隅に油を塗った薄い鉄板の小片を用いて切れ目をつけておいて、両引試験を行ったところ、切れ目が弱点となり、この断面に容易にひびわれを発生させることができ、また、切れ目をつけに断面の間隔が前に述べた最大ひびわれ間隔(L_{max})より小さく、最小ひびわれ間隔(L_{min})より大きいようにしておけば、切れ目以外の断面にはひびわれは発生せず、切れ目の断面にはかろうひびわれが発生することがわかった。

図-1

(1)は、図-1のような十分に長い両引供試体に最大ひびわれ間隔をはさんで、これより小さい間隔から順次に少しずつ大きくなるように間隔をおいて供試体断面の四隅にあらかじめ小さい切れ目をつけておいて、両引試験を行うと、



供試体に発生したひびわれの位置

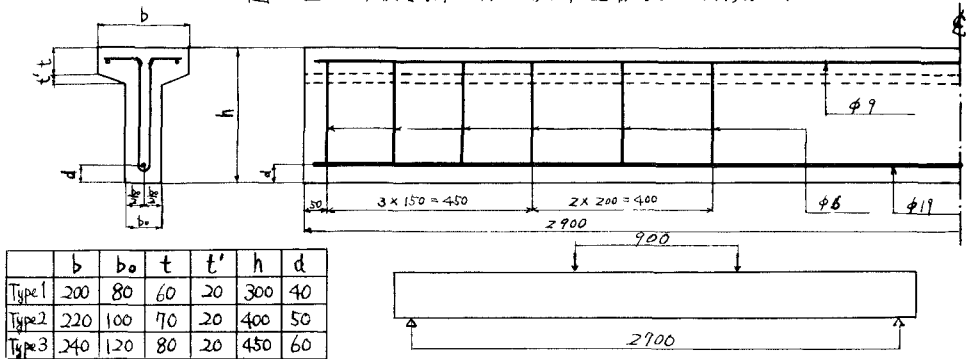
切れ目をつけた断面（すなわち、切れ目と切れ目とにはさまれた中間部分）におけるひびわれは、最大ひびわれ間隔Dの右側E, Fには発生するが、A, B, CおよびDには発生しない。そして最大ひびわれ間隔よりわずかに大きい間隔Eの部分では、切れ目と切れ目とのほぼ中央にひびわれが発生する（すなわち、このときのひびわれ間隔が最小ひびわれ間隔となる）。以上のことを利用して最大ひびわれ間隔を求めた。

ひびわれ中の測定は、前に述べた弱点をはさんで標点を打っておき、 $1/1000$ mmのコンタクトタイプのひずみ計を用いた。

供試体端面の状態の測定は $1/100$ mmダイヤルゲージで供試体端面と鉄筋との相対変位を測定した。端面における測点は、端面の縁辺の中心点、鉄筋表面より3mm離れた点および鉄筋と縁辺との中間の1〜2点とし、それぞれ鉄筋を中心として対称の2点における測定値の平均値より鉄筋の弾性伸び（ダイヤルゲージ取り付け時を鉄筋に固定した点と供試体端面との間の鉄筋の伸び）を差し引いて、それぞれの点の変位とした。

b) はり試験 供試体断面は図-2に示す3種類について行い、鉄筋は異形-10を使用した。荷重方法は図-2のとうりである。最大ひびわれ間隔の決定およびひびわれ中の測定は、両引試験とほぼ同様な方法で行なった。

図-2 ハリ供試体の断面形状、配筋および載荷方法



3. 実験結果

a) 両引試験 丸鋼および異形鉄筋を用いて得られた最大ひびわれ間隔およびひびわれ中の結果の一例を表-2に示す。

最大ひびわれ間隔 丸鋼および異形-10を用いた場合について最大ひびわれ間隔(L_{max})と供試体断面積(A_c)との関係を図-3に示す。鉄筋の表面形状および鉄筋直径が一定ならば L_{max} と A_c とは直線的比例関係にある。

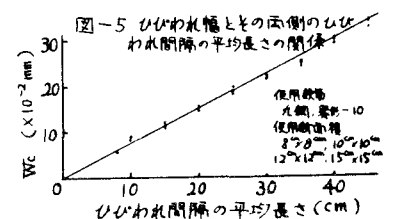
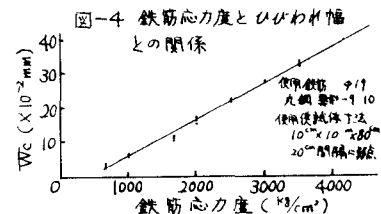
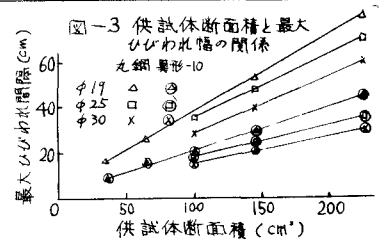
ひびわれ中 鉄筋応力度(σ_s)とひびわれ中(W_c)との関係は図-4のようである。図-4より W_c は σ_s -500にほぼ比例していることがわかる。この場合、もしコンクリートが引張力を全く分担しないものと仮定すれば、 W_c と σ_s との関係は原点を通る直線で表わされるはずであるが、コンクリートは最初のうちは引張力を分担しており、その後、付着の破壊は σ_s の増加に対して規則的であり、 σ_s が極めて大きくなると付着は完全に破壊され、鉄筋の伸びがそのまま W_c の値になるものと思われるので $\sigma_s \sim W_c$ の関係は図-4のようになるものと思う。

ひびわれ中とその両側のひびわれ間隔の平均値(L_m)との関係は図-5の通りである。図-5に示すように W_c は L_m に直線的に比例している。すなわち、鉄筋の直径、表面形状、供試体断面積が変わっても W_c と L_m の関係は一定である。このことから、発生しうる最大ひびわれ中は隣りあった二つの最大ひびわれ間隔にはさまれたひびわれ中である。

端面の形状 端面の形状とひびわれ中との関係を調べるために、すべてのひびわれ間隔が等しくなるように、ひびわれを発生

表-2 実験結果

鉄筋の種類	鉄筋のひび	供試体断面 cm x cm	鉄筋比 $\times 10^{-2}$	最大ひびわれ間隔 cm	鉄筋応力度 2000 kg/cm^2 における 最大ひびわれ幅 $\times 10^{-3}$ cm
丸鋼	19	8x8	4.10	25	18.4
丸鋼	19	10x10	2.81	38	27.0
丸鋼	19	12x12	1.75	52	36.8
異形-2	D19	10x10	2.87	25	18.6
異形-5	D19	10x10	2.87	23	8.6
異形-10	D19	8x8	4.48	15	12.0
異形-10	D19	10x10	2.28	20	15.0
異形-10	D19	12x12	1.99	30	21.8



させに供試体について実験した供試体端面の縁辺の測定値 ($S_0 + C_0$) と実際にひびわれ巾 (W_c) との関係を図-6に示す。図-6より $S_0 + C_0$ と $W_c/2$ とはほぼ等しい。従って、端面の状態を調べれば、内部の状態がある程度推定できる。図-7は同じ長さの供試体について、端面の状態を実験した結果を図示したものである。

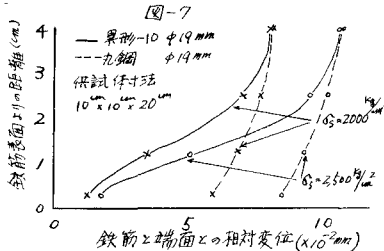
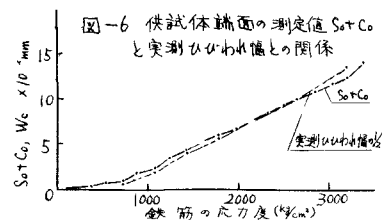


表-3 最大ひびわれ間隔にほぼ等しい長さの供試体を用いた場合の鉄筋表面形状と $G_s = 2000 \text{ kg/cm}^2$ における S_0 , $S_0 + C_0$ との関係

鉄筋種別			供試体寸法		端面測定値			
記号	名称	表面形状	公称直径 (mm)	断面(cm)(cm)	長さ (cm)	S_0 ($\times 10^{-3}$ mm)	$S_0 + C_0$ ($\times 10^{-3}$ mm)	$S_0 + C_0$ ($\times 10^{-3}$ mm)
丸鋼	SK 30		19.0	10×10	38	115	135	85
異形-1	SD 40		19.1	10×10	30	78	118	66
異形-2	SD 35		19.1	10×10	25	40	93	43
異形-5	SD 35		19.1	10×10	23	21	83	25
異形-10	SD 40		19.1	10×10	20	14	7.8	18

b) はり供試体 最大ひびわれ間隔および最大ひびわれ巾 ($G_s = 2000 \text{ kg/cm}^2$) は表-4に示す通りである。また、はり供試体におけるひびわれ巾、両引供試体におけるひびわれ巾と鉄筋応力度の関係を図-8に示す。表-4および図-8より、T形はりの腹部の中および鉄筋のかぶり、両引供試体の断面および鉄筋のかぶりに等しいれば、はり供試体の最大ひびわれ間隔および供試体側面鉄筋位置の最大ひびわれ巾と両引供試体の最大ひびわれ間隔および最大ひびわれ巾とはほぼ等しい。

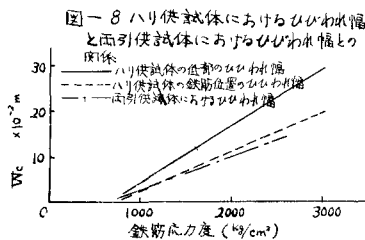


表-4 はり供試体のひびわれ間隔とひびわれ幅

鉄筋の 種類	鉄筋の 呼び	ハ リ 供 試 体				両 引 供 試 体			
		供試体の最大ひびわれ断面 2)	供試体側面の最大ひびわれ巾 cm	供試体断面の最大ひびわれ巾 ($\times 10^{-2}$ cm)	供試体断面の最大ひびわれ巾 ($\times 10^{-2}$ cm)	ハリ供試体の最大ひびわれ間隔と同一長さの断面のひびわれ幅 1)	最大ひびわれ間隔 cm	最大ひびわれ巾 ($\times 10^{-2}$ cm)	
異形-10	D 19 Type-1	14	10.8	17.2	8×8	10.6	15	12.0	
異形-10	D 19 Type-2	18	13.1	19.4	10×10	13.6	20	15.0	
異形-10	D 19 Type-3	28	20.0	24.8	12×12	20.5	30	21.8	

注

1) 鉄筋応力度 2000 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

2) 図-2 参照

注 1) 鉄筋応力度 2000 kg/cm^2 2) 図-2 参照

4 もすび 各種異形鉄筋および丸鋼を用い、両引供試体およびはり供試体によって、鉄筋とコンクリートとの付着に関するいくつかの基礎的な実験を行なった結果次のことが言えると思われる。

まず、はり供試体と両引供試体との関連性を検討した結果、両引供試体を用いることにより鉄筋コンクリート部材の引張部とこれとよく似た状態で再現できることが実験的に確かめられた。

次に、両引供試体を用いて、丸鋼と異形鉄筋とを比較した場合、最大ひびわれ間隔には大きな差があり、特に付着性のよい異形鉄筋は丸鋼のほぼ $1/2$ となっている。また、最大ひびわれ巾についても、最大ひびわれ間隔と同様に、特に付着性のよい異形鉄筋は丸鋼のほぼ $1/2$ となっている。また、鉄筋露出中については、コンクリート表面のひびわれ巾が同じとき、特に付着性のよい異形鉄筋は丸鋼の $1/4$ であるから、最大鉄筋露出中では、丸鋼は特に付着性のよい異形鉄筋の 8 倍となる。

各種異形鉄筋について、ひびわれ間隔、ひびわれ巾、鉄筋露出中などを比較してみると、最大ひびわれ間隔、最大ひびわれ巾には大きな差があるが、鉄筋露出中には大きな差がある。従って、異形鉄筋の付着の問題は鉄筋露出中について検討すべきである。