RC部材の単純ばり型付着割裂実験
（その1） 付着割裂破壊に対する横補強筋効果

豊橋技術科学大学　正会員　角　徹三
同　学生会員　山田　守
同　学生会員　○合楽将三

1．はじめに　付着割裂破壊に影響を与える因子としては種々のものが考えられる。ここではその中でも付着割裂破壊抑制に効果的であると言われている横補強筋に注目する。横補強筋を定量的に評価しやすい横補強筋比（p_w）、降伏強度（$_w\sigma_y$）については種々の付着割裂強度算定式に取り入れられているが、定量的に評価しにくい横補強筋の配筋方法等については算定式に取り入れるまでには至っていない。そこで本報では以下の実験を行うことによって横補強筋が付着割裂破壊に及ぼす効果を考察する。

2．実験概要　試験体は図1に示すようにせん断スパン域の横補強筋の配筋のみが異なり、横補強筋比の等しい2体である。No.1は外周部のみに閉鎖形の横補強筋を配したもので、No.2は更に内側の主筋に 135° フック余長6dの中子筋を配してある。使用鉄筋の材料特性を表1に示す。各試験体には、載荷点へ45° の方向で向かうせん断ひびわれを誘発させるため深さ 2cmのスリットを設けた。支点付近では、支点反力によって引張主筋が拘束されないように、鋼管により試験体両端から20cmの区間で主筋とコンクリートの付着を断った。これにより付着長さは、鋼管の端からスリットまでの50cmとなる。

載荷方法は単純ばり型を採用し、下方からの2点集中載荷とし、1方向単調載荷で破壊に至らせた。測定項目はせん断力、抵抗線ひずみゲージ（F.S.G.）の出力から計算した鉄筋応力、スリット位置でのすべり量である。

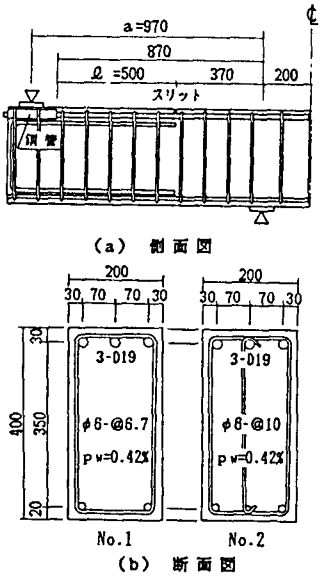

図1　試験体詳細図

表1　鉄筋の材料特性

	主筋	横補強筋
径　(mm)	D19	φ6
降伏強度(kgf/cm²)	6060	5060

3．実験結果及び考察　表2に実験結果一覧を示す。試験体はすべてSide-split型の付着割裂破壊で耐力を失った。No.1-1、No.2-1は処女載荷時を示し、No.1-2、No.2-2は片側スパンが破壊した後、鋼板と高張力鋼で締め付け補強し再度載荷したときの反対側スパンのデータである。τ_{max} は各主筋の付着応力の最大値を示し、τ_{uexp}は最大せん断耐力Q_{max}時における部材全体として平均した付着強度を示す。No.1とNo.2でコンクリート強度f_c' が異なるため、Q_{max}は直接比較することが出来ない。そこで、岡村・檜貝式[1]によればせん断耐力は、$f_c'^{1/3}$ に比例することを考慮し、No.1のQ_{max}をf_c'=200kgf/cm²の時の値に換算すると、No.1-1では12.8tf、No.1-2では12.9tfとなり、No.2の方がNo.1より平均して約7％大きな耐力が得られている。また$\tau_{max}/\sqrt{f_c'}$ を見ると、外側の主筋はNo.1の方がNo.2より平均して約6％大きな値を示すが、内側の主筋ではNo.2の方がNo.1より約17％大きく、$\tau_{uexp}/\sqrt{f_c'}$ではNo.2の方がNo.1より平均して約10％大きくなっている。

表2　実験結果一覧

type	試験体	fc' kgf/cm²	Qmax tf	付着割裂強度 $\tau_{max}/\sqrt{f_c'}$		$\tau_{uexp}/\sqrt{f_c'}$
No.1	1－1	227	13.4	①	2.49	2.04
				②	1.96	
	1－2	227	13.5	①	2.42	2.16
				②	2.00	
No.2	2－1	200	13.5	①	2.31	2.28
				②	2.27	
	2－2	200	14.0	①	2.32	2.35
				②	2.37	

図2(a)に付着応力-せん断力関係を示す。図中の一点鎖線（τ_s） は材軸に対して45° のコンクリートの一様な圧縮応力場を仮定したときに横補強筋の負担する付着応力である（図3参照）。この図よりどの試験体についてもせん断ひびわれ発生（S点）と同時に傾きが急増し、

おおむねBi-linear で表せる。τs は付着割裂ひびわれの発生により現れ、ひびわれ幅が広がると急激に増大した。これについては（その2）で詳しく考察する。外側のみに横補強筋を配したNo.1では、内側の主筋の付着応力はせん断力がピークに達する前に最大となり、最大せん断力時には既に低下している。これに対して内側の主筋にも横補強筋を配したNo.2では各主筋が同時に付着強度を発揮しており、このためQ_{max}、τ_{uexp}はNo.1より大きくなったと考えられる。

図２ (b)に付着応力－すべり量関係を示す。主筋のすべり量は、付着割裂ひびわれの幅が広がるとともに大きくなった。No.2の試験体では内側、外側の主筋が同時に付着応力を発揮するためNo.1に比べ最終的なすべり量が小さくなっている。

付着割裂によって破壊した部分の横補強筋は、写真１のように、主筋の引張力を受ける方向へ折れ曲がる現象がみられる。そこで図４に示すように主筋近傍にF.S.G.を貼付してその応力状態を詳しく調べた。図５はNo.2-1における主筋近傍の横補強筋応力－せん断力関係を示したものである。この図より破壊の直前までは反力支点側（A）、載荷点側（B）ともにほぼ等しい値を示しており、破壊と同時にA側は引張降伏し、B側は圧縮域に達している。これから、主筋近傍の横補強筋は付着劣化面を固定端とするカンチレバーとなっており、破壊直前までは横補強筋軸方向の力T_w のみが作用し、破壊と同時に主筋軸方向の力Pが作用すると考えられる(図６参照)。横補強筋のA側が降伏するときのPは式(2) で求まる。また式(3) で付着応力に換算できる。

$$P=\frac{2I}{h\cdot d_w}\left\{{}_w\sigma_y-\frac{4T_w}{\pi d_w^2}\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\tau=\frac{P}{\phi\cdot s} \quad \cdots\cdots(3)$$

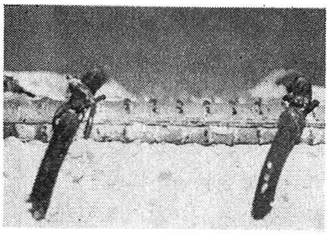
写真１　破壊時の横補強筋

T_wを横補強筋のA側が降伏するときの横補強筋中央部のF.S.G.から求まる値（0.5tf）とすると、式(2)、(3) よりτは 0.32kgf/cm^2 となりτ_{uexp}の約１％にすぎないことが分かる。

<u>４．まとめ</u>　以上のような単純ばり型の付着実験より次のことが考えられる。

（1）　p_wおよび${}_w\sigma_y$は等しく横補強筋の配筋のみ異なるRC部材では、中子筋を内側の主筋にも直接かけることによりせん断耐力、付着強度とも改善された。

（2）　付着割裂破壊時にみられる横補強筋の主筋軸方向への曲げは、付着強度に影響を与えない。

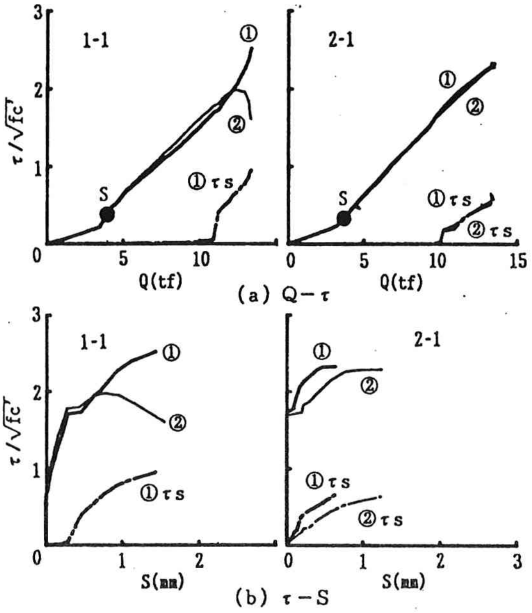

図２　付着性状

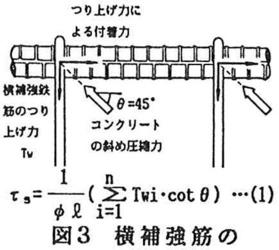

図３　横補強筋のつり上げ効果

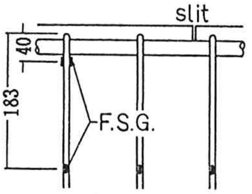

図４　横補強筋ひずみ測定位置

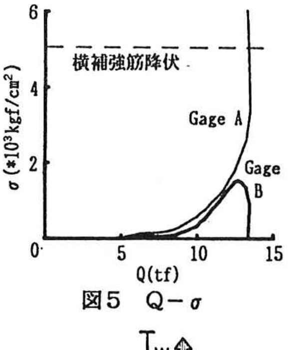

図５　Q－σ

図６　横補強筋の曲げによる抵抗