

V—21 エポキシ樹脂被覆鉄筋の重ね継手性状について

北海道開発局	土木試験所	正員	太田 利隆
"	"	"	小長井宣生
"	"	"	福井 晃

1. ま え が き

近年、塩害等によるコンクリート中の鋼材の腐食が問題となり、その対策が必要となってきた。エポキシ樹脂被覆鉄筋はコンクリート中の鉄筋の防食を図る優れた工法であるが、付着強度が低下する欠点がある。さらにその継手は樹脂被覆を傷めない構造とすることが必要であり現在、樹脂固定式の機械継手か、重ね継手で十分な定着長をとることなどが行なわれている。重ね継手を使用する場合、定着長を決定するにあたり、その付着性状を十分に把握しておく必要がある。本研究は重ね継手を有するRC桁の曲げ試験を行い、その継手性状について考察を加えたものである。

2. 実 験 方 法

本研究は主鉄筋D 22 mm、コンクリート強度300 kg/cm²、重ね継手10φ、15φとしてかぶりとあきを適度に変えたRC桁の曲げ試験を行い、鉄筋のかぶり又はあきが付着強度に与える影響について検討し、更に主鉄筋径、コンクリート強度、重ね継手を変えて行なったこれまでの実験結果を加えて全体としての考察を加えたものである。図-1に桁の配筋を示す。曲げ試験は静的2点载荷として、支間の1/3点に载荷し、ひびわれ発生及び最大ひびわれ幅0.1、0.2、0.3 mmに達した時、荷重を0に戻し、各々のひびわれ幅発生荷重まで5回繰り返した後、破壊まで载荷した。

3. 実験結果および考察

重ね継手長の短いものは付着破壊を示し、長いものは鉄筋の降伏によって破壊した。付着破壊した桁について鉄筋の応力 σ_s を計算し、慣用の $u_0 = \phi \cdot \sigma_s / (4 \cdot \ell)$ を用いて付着強度を求めた。

1) ひびわれ性状

曲げひびわれは、これまでの実験の結果から、エポキシ樹脂被覆鉄筋を用いた桁の方が無処理鉄筋を使用した桁より若干、ひびわれ本数、幅共に多くなると言う傾向が得られており、今回の実験でも、ほぼ同様であった。また主鉄筋に沿う縦ひびわれは一般にかぶりの最も薄い部分に破壊直前に前兆的な現われかたをした(図-2、a、b)。一方主鉄筋が3本で鉄筋間のあきが4φ以上ある場合、曲げひびわれは桁断面を貫通せず、代って曲げひびわれ発生時に中央主鉄筋直下に縦ひびわれが発生した(図-2、c)が、中央の縦ひびわれは破壊の前兆的なものではないようである。

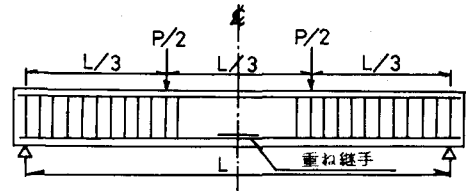


図-1 RC桁配筋図

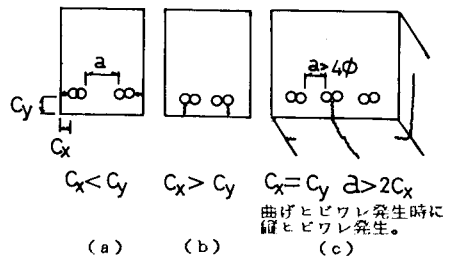


図-2 縦ひびわれ発生形式

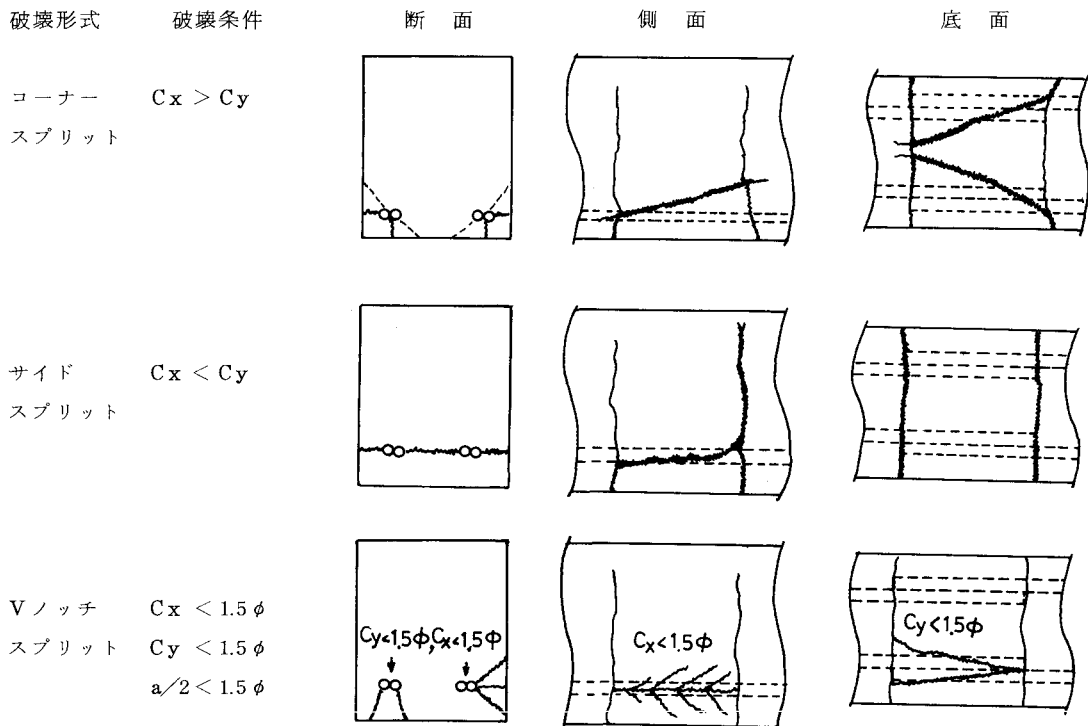


図-3 破壊形式模式図

2) 破壊形状

実験の結果、破壊形状としてコーナースプリット、サイドスプリット、Vノッチスプリットの3種類の破壊形式が観察された、図-3に各破壊形状を示す。コーナースプリットとはコンクリートの両隅角部にヒビワレが生ずるもので、非常に緩やかな破壊となった。サイドスプリットは主鉄筋に沿ってヒビワレの生ずる形式である。この時、重ね継手部で鉄筋の応力を伝えるコンクリートが全くなくなるため桁は落下する。Vノッチスプリットとは、かぶりの最小の部分にヒビワレが生じ他のかぶりの影響を受けない形式である。この形式が発生し得るのはかぶりが極度に不足する場合と、最小のかぶりに対して他のかぶりが非常に大きな場合である。この形式で破壊する時、配筋によっては上記のコーナー・サイド、両者の破壊形式と類似した割裂面を形成し得るために両者の特徴を兼ね備えることもある。

この3種がどのような条件下で発生するか比較検討した結果、重ね継手長 $\ell = 1.5\phi$ の場合、かぶり C_x 、 C_y がコーナースプリットとサイドスプリットをわける決定要素である事が判明した、即ち $C_x > C_y$ の時コーナー、 $C_x < C_y$ の時サイドスプリットが発生し、 $C_x = C_y$ の場合両者共に発生し得る。しかし、 $\ell = 10\phi$ の時、この関係は成立せず $C_x < C_y$ の時でもコーナースプリットが発生する。これは重ね継手長が破壊形式に影響を与えているためで、過去の実験でも重ね継手長が大きくなるに従いコーナースプリットからサイドスプリットへと変わるのが確認されている。 $\ell = 1.5\phi$ が重ね継手長の影響を受けなくなる点のようである。Vノッチスプリットは基本的にかぶりに支配されるので重ね継手長の影響をほとんど受けず、最小かぶり C により、 $C < 1.5\phi$ 又は $C_x/C_y > 1.5$ 、 $C_y/C_x > 1.5$ の時に発生すると考えられる。また、主鉄筋3本であきりが十分に大きい場合、両隅角部がコーナースプリットにより、中央部の鉄筋はVノッチスプリットで破壊した例もみうけられた。

次に横方向鉄筋で補強した重ね継手の場合、縦ひびわれが底面に発生し、更にサイドスプリットのようなヒビワレが生じ底面のかぶりが全て破壊された時でも、横方向鉄筋が拘束しているため、桁は非常に緩やかな破壊となり、一見しただけでは、コーナー、サイドスプリットのように区分するのは難しくなっている。

3) 付着強度

以上のような結果をもとに付着強度とそれに影響を与える主鉄筋径、重ね継手長、鉄筋のかぶり、あき、破壊形状について述べる。

横方向鉄筋の効果を実験結果から直接測定するのは困難なために、横方向鉄筋の効果は横方向鉄筋の無い場合の付着強度に加算されるものと仮定する。そのため付着強度は次のような式で表わされる。

u_0 : 付着強度, u_c : 重ね継手

$u_0 = u_c + u_s$ による付着強度, u_s : 横方向鉄筋
による付着強度の増分

図-4 に付着強度と重ね継手長の関係を示す。コンクリート強度による影響を除くため、強度の平方根に比例するとして付着強度を補正し、横軸に ϕ/l をとると両者の関係はほぼ直線で表わすことができる。また同一の C/ϕ であっても ϕ によって付着強度に差が見られ、その関係は ϕ が大きくなるほど付着強度は小さくなっている。破壊形式は $l < 15\phi$ ではコーナースプリットであり $l \geq 15\phi$ ではサイドスプリットに変わっている。

図-5 に付着強度とかぶり、破壊形式の関係を示す。付着強度とかぶりは破壊形式別に直線関係にあり、コーナ形式が最も付着強度が大きく次いでVノッチ、サイドとなっている。しかしこれは主鉄筋が2本の場合であり3本になるとこの関係は逆転して、サイド形式が最も付着強度が大きく次いでVノッチ、コーナの順になっている。この場合、主鉄筋の本数や鉄筋のかぶり、あきが破壊形式及び付着強度の変動に影響を与えと考えられるが、主鉄筋が3本のデータは数が少なく、今後検討の必要がある。以上述べてきた関係を整理して付着強度を求めることにする。今、コーナースプリットを基準とすると付着強度は次式で表わされる。

$$u_c = (X_1 \cdot \phi/l + X_2 \cdot C'/\phi + X_3/\phi + X_4) \cdot \sqrt{f_c}$$

C : 鉄筋のかぶりまたはあきの半分のうちの最小値, ϕ : 主鉄筋直径, ϕ' : 横方向鉄筋直径

l : 重ね継手長, N : 主鉄筋本数, f_c : コンクリート圧縮強度, S : 横方向鉄筋間隔, C' : 補正かぶり
この式についてエポキシ樹脂被覆鉄筋の全データを使用して重回帰分析を行なうと各係数は次のようになった。

$$u_c = (7.99 \cdot \phi/l + 0.39 \cdot C'/\phi + 2.86/\phi + 0.10) \cdot \sqrt{f_c} \quad \text{..... (1) 式}$$

データ数 61 重相関係数 0.79

ただし C は破壊形式による影響を考慮して次の補正を行なう。

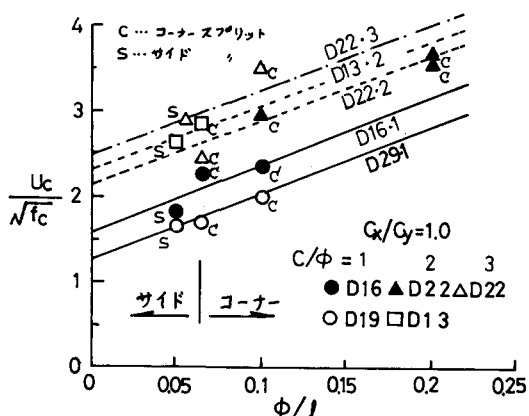


図-4

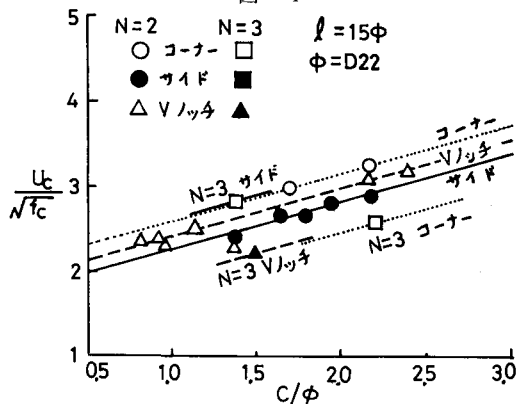


図-5

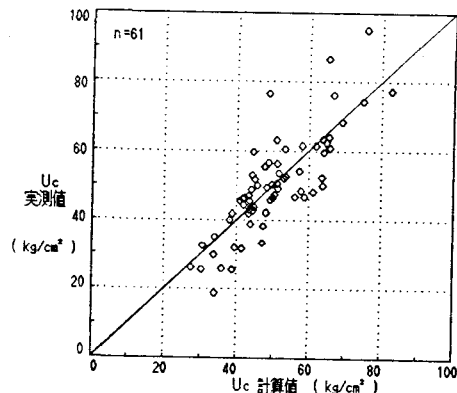


図-6

破壊形式	判別条件	主鉄筋本数 $N=2$	$N=3$
コーナー	$C_y < C_x$	$C' = C$	$C' = C - 1.2\phi$
サイド	$C_x < C_y$	$C' = C - 0.6\phi$	$C' = C$
Vノッチ	$C < 1.5\phi$	$C' = C - 0.3\phi$	$C' = C - 1.2\phi$
"	$C_x/C_y > 1.5$	$C' = "$	$C' = "$
"	$C_y/C_x > 1.5$	$C' = "$	$C' = "$

(1)式を使用して付着強度の実測値と計算値を比較したのが図-6である。実測値/計算値の平均値および標準偏差は、 1.0 ± 0.13 である。以上、エポキシ樹脂被覆鉄筋に対して述べてきたが、無処理鉄筋でも同様な傾向があると考えられる。そこで破壊形式の判別式、その影響が無処理鉄筋でも同一であると仮定して同様な式を求めると次のようになる。

$$u_c = (16.13 \cdot \phi / \ell + 0.30 \cdot C' / \phi + 4.41 / \phi - 1.29) \cdot \sqrt{f_c} \dots (2) \text{式}$$

データ数 21 重相関係数 0.88

(2)式を使用して付着強度の実測値と計算値を比較したのが図-7である。実測値/計算値の平均値および標準偏差は、 1.0 ± 0.17 である。

次に横方向鉄筋を持つ重ね継手であるが、横方向鉄筋の効果を現わす因子として $\phi' / (S \cdot \phi)$ をとり、図-8に u_s と $\phi' / (S \cdot \phi)$ の関係を示す。これを破壊形式の主要素である鉄筋のかぶりとの関係で見ると $C_x \leq C_y$ では両者それぞれ直線関係にある。しかし、 $C_x > C_y$ では、ばらつきが大きく一本の直線関係とはならず、その判別も不明な点が多い。

また u_s には上限があると考えられるため、実験の結果から、 $u_s \leq 2.0 \cdot \sqrt{f_c}$ とする。

$C_x \leq C_y$ の時の関係を定式化すると次のようになった。

判別条件

$$C_x < C_y \quad u_s = 25 \cdot \phi' \cdot \sqrt{f_c} / (S \cdot \phi) \leq 2.0 \sqrt{f_c} \dots (3) \text{式}$$

$$C_x = C_y \quad u_s = 12.5 \cdot \phi' \cdot \sqrt{f_c} / (S \cdot \phi) \leq " \dots (4) \text{式}$$

以上述べてきた式を使用して、エポキシ樹脂被覆鉄筋、無処理鉄筋また横方向鉄筋を持つものなど全データを使用して付着強度の実測値と計算値の関係を比較したのが図-9である。実測値/計算値の平均値および標準偏差は 1.03 ± 0.21 となった。

参考文献

- 1) 藤井, 森田; 異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究、日本建築学会論文報告書、第324号、昭和58年2月
- 2) Tepfers, R; Lapped Tensile Reinforcement Splices, ASCE, VOL.108, No. ST1 January, 1982

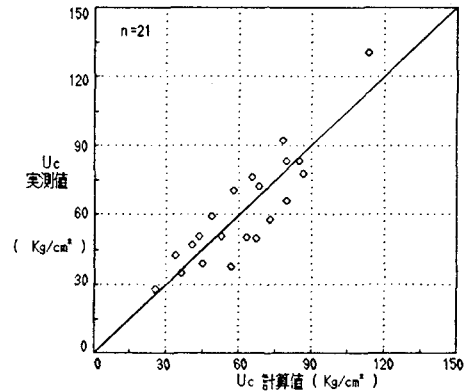


図-7

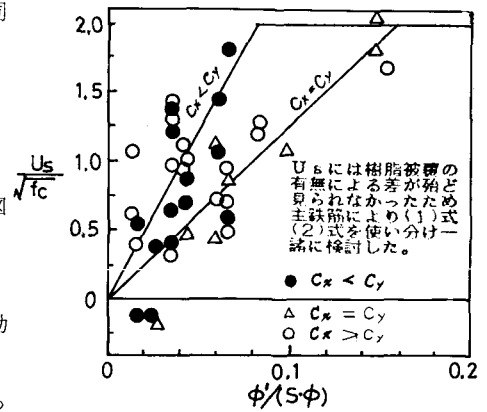


図-8

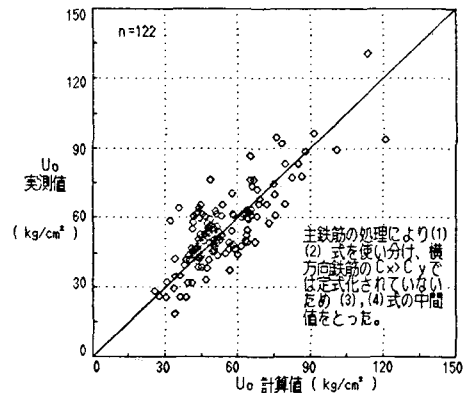


図-9