

建設省土木研究所
東大生産技術研究所

正員○小林 保
正員 小林一輔

1. まえがき

ポリエステルレジンコンクリートは硬化するときに大きな収縮を生じるため、鉄筋などを用いて補強すると収縮が補強材によって拘束され、コンクリートに引張応力を生じるので、部材としてのひびわれ荷重が低下する。このため、レジンコンクリートと補強材を組み合わせたものの強度計算方法は確立されていない。

本文では、レジンコンクリートの補強における拘束応力に関する考察と実験を通じてその補強方法についての考え方を明らかにした。

2. 拘束応力発生に対する考察

材令初期のレジンコンクリートの硬化収縮と圧縮強度の経時変化を図-1に示す。大きな硬化収縮が生じる時期（特に材令6時間以前）には、コンクリートは未だ硬化しきっておらずかなり粘性的な挙動を示す。従って拘束応力を考える場合、これを考慮する必要がある。簡単のために図-2の場合について考える。図-2(a)は打込直後の状態である。補強材がなければ長さADのコンクリートが長さAQ

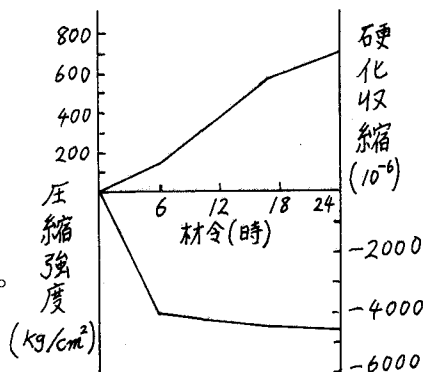


図-1 硬化収縮と圧縮強度の経時変化

だけ硬化収縮するものとする。硬化収縮がかなり進んだ状態を図-2(b)に示した。粘性流動の影響を長さBCとして図示している。ここで、仮にコンクリートと補強材の付着を切ったと考える。そのような仮想の状態は図-2(c)のようになると考えられる。ここで粘性流動の影響の程度をあらわす量として、図-2(c)で長さの比 $W=AP/AQ$ を考え、「捕捉係数」とよぶことにする。この捕捉係数を用いてコンクリートに発生している引張応力 σ_c を表わすと式(1)(2)のようになる。

$$\kappa = \frac{E_s \cdot A_s}{E_c \cdot A_c} \quad (1) \quad \sigma_c = - \frac{E_c \cdot \kappa \cdot w \cdot e}{1 + \kappa + \kappa \cdot w \cdot e} \quad (2)$$

$$\sigma_{ci} = - \frac{E_c \cdot \kappa \cdot e}{1 + \kappa + \kappa \cdot e} \quad (3) \quad \sigma_c = w \cdot \sigma_{ci} \quad (4)$$

ただし、 E_c E_s はそれぞれコンクリート、補強材の弾性係数。 A_c A_s は断面積。 e はコンクリートの自由収縮（ $e=AQ/AD$ ）

今、粘性の影響を考慮しない場合の拘束応力を σ_{ci} とすれば、 $w=1$ とおくことにより、式(3)のようになり、図-3の σ_{ci} 曲線で示される。しかし、 w は κ と無関係ではあり得ず、定性的に図-3の w 曲線の如くなると予想される。式(2)(3)より式(4)が得られ、 σ_c は図-3の σ_c 曲線で示される。拘束応力 σ_c は或る値 κ_0 に対して極大となる。従って、補強材の弾性係数が大きくかつ補強材量が多ければ、 $\kappa > \kappa_0$ となって拘束応力は小さくなると予想される。

もちろん、捕捉係数 w は κ （従って E_s と A_s ）ばかりでなく、周長、配筋位置、スターラップの有無などにも影響されて変動するであろう。それらをも

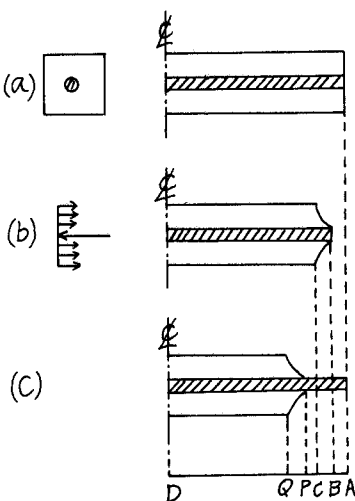


図-2 拘束応力の考え方

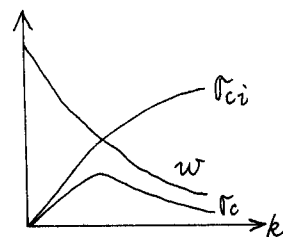


図-3 κ と σ_{ci} , w , σ_c

考慮に入れて、捕捉係数を定量的に測定し把握すれば、式(2)などから拘束応力を推定することができる。

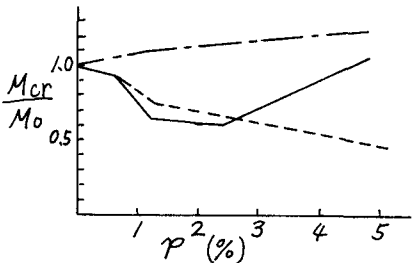
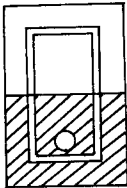
3. 補強に関する梁試験

(1) 実験概要

表-1 梁供試体の曲げ試験結果

補強材は表-1に示すように異形鉄筋、グラスファイバーロッドの2種、補強材比は $p=0\sim5\%$ の範囲とした。コンクリートはポリエステルレジンコンクリートのほか、硬化収縮のほとんどないエポキシコンクリートを用いて比較した。断面は巾10cm、高さ15cmで、深さ12cmに補強材を配置した。なお、スターラップ	コンクリート	補強材		補強材比(%)	スターラップ間隔(cm)	ひびわれモーメント($10^4 \cdot \text{Kg} \cdot \text{cm}$)	終局モーメント($10^4 \cdot \text{Kg} \cdot \text{cm}$)
の2種、補強材比は $p=0\sim5\%$ の範囲とした。コンクリートはポリエステルレジンコンクリートのほか、硬化収縮のほとんどないエポキシコンクリートを用いて比較した。断面は巾10cm、高さ15cmで、深さ12cmに補強材を配置した。なお、スターラップ	ポリエス	異形鉄筋	なし	0	なし	5.00	—
			D10×1	0.60	25	4.63	3.61
			D10×2	1.19	10	3.23	7.33
			D19×1	2.39	5	2.99	15.5
	エポキシ	異形鉄筋	D19×2	4.78	5	5.31	26.0
			グラスファイバーロッド	φ10×1	0.66	4.66	3.49
			φ10×2	1.31	10	3.76	6.41
			φ20×1	2.62	5	3.13	5.63
を	エポキシ	異形鉄筋	φ20×2	5.24	5	2.25	7.38
			なし	0	なし	6.76	—
			D10×2	1.19	10	7.38	7.78
な			D19×2	4.78	5	8.50	29.6

を用いて十分なせん断補強を行なった。また硬化収縮による反りを防ぐために図-4の斜線部を先に打ち、硬化がってから残りを打ち続けた。載荷試験は支間120cmの2点載荷によって行なった。



(2) 実験結果

図-5は補強梁のひびわれモーメント M_{cr} 図-4

と無筋梁の破壊モーメント M_o の比 M_{cr}/M_o と補強材比 p の関係を示している。異形鉄筋で補強したポリエステルレジンコンクリート梁では極小値が認められ、上述の考察を裏付けていると思われる。図-6は補強梁の終局モーメント M_u と無筋梁の破壊モーメント M_o の比 M_u/M_o と補強材比 p の関係を示している。補強材比が小さい場合($p=2\%$ 程度以下)、レジンコンクリートの引張強度が高いことにより補強効果がほとんど認められない。グラスファイバーロッドは弾性係数が小さいために、ひびわれ発生時に梁としての剛度が急激に低下し、ひびわれが1本生じて破壊してしまい、補強材の高強度が生かされていない。

図-5 M_{cr}/M_o と p の関係

— エポキシ、異形鉄筋
— ポリエステル、異形鉄筋
- - - ポリエステル、グラスファイバー

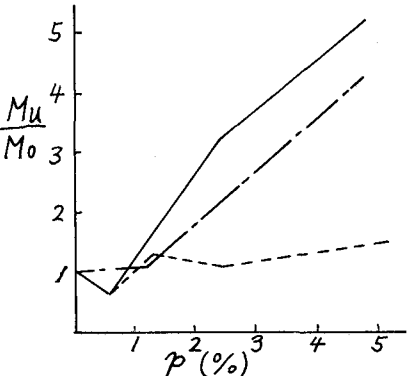


図-6 M_u/M_o と p の関係

4. むすび

拘束応力を小さくするためには弾性係数の大きな補強材を、また、終局荷重を大きくするためには引張強度の大きな補強材を、或る限度量以上に用いる必要がある。異形鉄筋で単鉄筋レジンコンクリート梁を補強する場合、鉄筋比4%程度以上用いるのが良いと思われる。