

レジンコンクリートの構造部材への利用に関する基礎的研究

京都大学 正員 岡田 清, 矢村 潔, 宮川 豊章
広島県 正員・徳永 博文

1. まえがき

レジンコンクリート（以下REC）は、セメントコンクリートに比べて多くの優れた特性を有するが、RECを主要構造部材に利用した時の力学的諸特性はあまり明らかではない。REC構造部材に補強材を使用した場合には、RECの自由硬化収縮を拘束することにより、初ひびわれ荷重が無補強の場合よりも低下することが従来から指摘されている。本研究ではこの問題に関して、低収縮型樹脂の利用あるいは弾性係数の小さいグラスファイバー筋（以下GF）の利用が、収縮拘束の低減にどの程度有効であるかを検討した。また、切欠き付供試体の曲げ試験およびRC角柱供試体の両引試験を行ない、REC部材としての材料特性を検討した。

2. 実験概要

(1) 使用材料・配合：樹脂は不飽和ポリエステル樹脂で収縮型と低収縮型（A成分とB成分との混合樹脂）の2種、骨材は鬼怒川産川砂と鬼怒川産玉砕石であり実用配合を表-1に示す。切欠き付供試体には早強ポルトランドセメントも使用した。補強材は高張力鋼とGF（引張強度は 5400 kg/cm^2 、弾性係数は $3.7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ）。

(2) 供試体・試験方法：供試体断面はすべて $7 \times 7 \text{ cm}$ である。自由硬化収縮ひずみの測定は長さ 40 cm の角柱供試体で長さ・断面中央に埋込みひずみゲージをセットした。切欠き付供試体は長さ 40 cm の角柱供試体で長さ中央に切欠き（深さは $0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 \text{ cm}$ ）を設け、3等分点載荷とした。収縮拘束測定および両引試験に用いたRC角柱供試体の要因を表-2に示す。収縮拘束は補強材の長さ中央位置（材長 70 cm は $1/4$ も）のひずみゲージで測定し、両引試験は同一供試体を使用して $P_{\max}$ ・ $P_{\min}$ （図-7参照）・端部すべりを測定した。

3. 実験結果および考察

(1) 自由硬化収縮ひずみおよび収縮拘束応力

収縮ひずみの経時変化を図-1に示す。最終的収縮ひずみは樹脂量 10% について、低収縮型の場合にはA成分：B成分 $=7:3$ とすれば 1100×10^{-6} 程度となり、収縮型の $1/3$ 程度に減少する。さらに、強度は $\sigma_c = 1000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_t = 100 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_b = 200 \text{ kg/cm}^2$ 、弾性係数は $2.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 程度であり、両タイプの樹脂に差はない。図-2には、両端面自由で補強材によって拘束を受けるとして拘束応力を計算した結果を示す。

表-1 レジンコンクリートの実用配合（重量比・セメント）

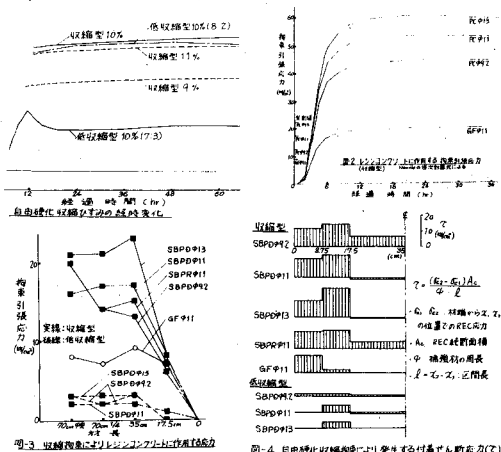
材料	原級70/20	細骨材	粗骨材	角5	角10	角15	角20
10	10	36	44	0.4	0.5	0.6	0.8
17.5	0	0	0	0	0	0	0

附注：（左端部）は樹脂量に対する重量比・セメントと角5・角10・角15・角20の低収縮型

表-2 収縮拘束および両引試験の供試体

材料	S	B	P	D	SBDP	GF	GF	GF	GF
(cm)	φ9.2	φ11	φ13	φ17	φ17	φ17	φ17	φ17	φ17
70	○	○	○	○	○	○	○	○	○
35	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○
補強材(%)	1.3	1.9	2.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

SBDPはPC骨材・鋼棒、SBDPはPC及鋼棒、GFはグラスファイバー



使用した逐次計算式は次のようになる。

$$\sigma_{i+\frac{1}{2}} = \frac{E_c E_s p}{E_s p + E_{ci}} \left[\frac{\sigma_{i-\frac{1}{2}}}{E_{ci}} + \varepsilon_{fi} - \sum_{j=1}^i (\sigma_{j+\frac{1}{2}} - \sigma_{j-\frac{1}{2}}) \frac{1}{E_{cj}} (1 + \phi_{ij}) \right]$$

E_s : 補強材の弾性係数 p : 補強材比

E_{ci} : 時刻 i での REC の弾性係数

ε_{fi} : 時刻 i での REC の自由収縮係数

ϕ_{ij} は時刻 j における応力が持続する時の時刻 i までのクリープ係数であり、 E_{ci} 、 ε_{fi} とともに実測値を使用した。計算値は実測値と一致せず、拘束が実際に始まる時間と拘束程度の経時変化の取扱いが問題となる。図-3に示す REC に作用する拘束引張応力は低収縮型ではわずかであり、また GF を使用すれば収縮型でも拘束応力を低減できることがわかる。とくに、収縮型では図-4に示すように材端付近にかなりの拘束付着せん断応力が見られる。

(2) 切欠き敏感性および破壊じん性

図-5より、高強度セメントコンクリート ($C=74.2\%$) では曲げ強度の低下がみられないが、REC では両樹脂とも 30% 程度の低下がみられ REC は切欠き敏感性を有するといえる。図-6に破壊じん性を示す。 J_{IC} (J/積分) は、荷重-たわみ曲線の最大荷重までの面積から求める。 K_{IC} (応力拡大係数) は、REC はセメントコンクリートの 2 倍程度で約 200 $kg/cm^{3/2}$ となるが、切欠き深さによる差は明確でない。 G_{IC} (破壊じん性) についても K_{IC} と同様の傾向となる。一方、 J_{IC} は切欠き深さによる差が明確となり、とくに切欠き深さが 0.5cm の場合の低下が著しく、REC 完全供試体ではひびわれ抵抗性が悪くなり、破壊がよりぜい性的になるものと考えられる。

(3) 付着特性

平均付着応力 (τ_{av}) と平均補強材ひずみ (ε_{av}) の関係を材長 35cm、径 11mm の例で図-9, 10に示す。

$$\tau_{av} = (P_{max} - P_{min}) / L \cdot \phi$$

ϕ : 補強材の周長

$$\varepsilon_{av} = S_L / L$$

S_L : 端部すべり測定より得られる相対すべり量

また、 τ_{av} の最大値 ($\tau_{av,max}$) を図-8に示す。図-8, 9, 10より、(a) 第1荷重段階で 4t まで荷重をかけると付着破壊が起こり、除荷後に残留ひずみと負の付着応力が発生する。また、 τ_{av} も第2荷重段階では、最初の最大荷重 (4t) 時の値近くまで増加するが、それ以後は τ_{av} はほぼ一定値を保ち S_L のみ増加する付着の定常状態がみられる。(PC 異形鋼棒の場合)

(b) GF は、2t までの載荷では残留ひずみは発生するが負の付着応力は発生していない。PC 鋼棒と比べて、REC との付着が良好と思われる。一方、PC 鋼棒は τ_{av} の低下が著しい。

(c) 低収縮型の方が収縮型に比べて同一すべり量に対する τ_{av} が大きく、また $\tau_{av,max}$ も大きいので付着性に優れる。この理由として、先に述べた拘束付着せん断応力の存在が考えられる。

参考文献: 1) A.M. Neville; Creep of concrete: plain, reinforced and prestressed, north-holland, pp 453-455, 1970.

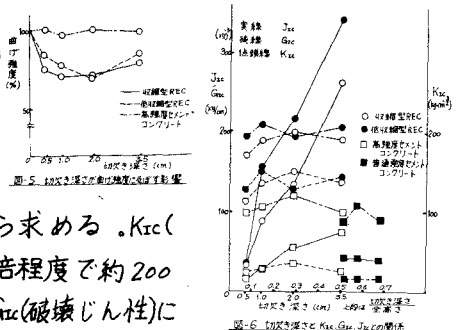


図-5 切欠き深さと K_{IC} , G_{IC} , J_{IC} の関係

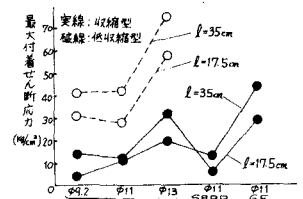


図-6 切欠き深さによる最大付着せん断応力 ($\tau_{av,max}$)

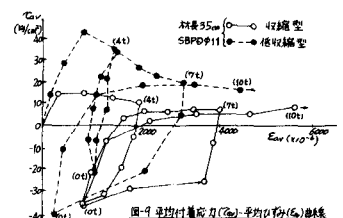


図-7 平均付着応力 (τ_{av}) - 平均ひずみ (ε_{av}) 関係

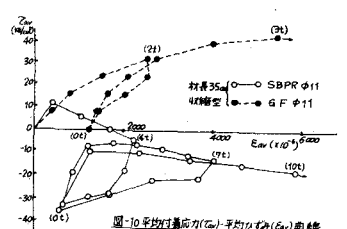


図-8 平均付着応力 (τ_{av}) - 平均ひずみ (ε_{av}) 関係