

## (22) コンクリートとエポキシ樹脂の合成材について

秋田大学 正員 川上 洵

“ 学生員 の大塚 行雄

“ 正員 徳田 弘

### 1. まえがき

レジンコンクリートの構造材料としての使用は、世界各国で研究中であり、材料特性の解明とともに発展することが予測される。レジンコンクリートは、セメントコンクリートと比較し、速硬化性、耐薬品性、強度特性などにおいてすぐれた性質を示し、近年、補修材料としての需要が高まり、多くの施工例を見るに至っている。本報告は、エポキシレジンコンクリートの引張力に対する性状に着目し、鉄筋コンクリートはりの引張断りに、レジンコンクリートを導入した時の合成材について、セメントコンクリートだけを使用する通常の鉄筋コンクリート体系と比較し、さらに、レジンコンクリート層厚を変化させた時の力学特性、特に、曲げひび割れモーメントについて、以下に述べるセメントとレジンコンクリート合成材理論に基づき計算し検討を加える。セメントコンクリート、レジンコンクリートをそれぞれ、CC、RECと略称する。

### 2. セメントとレジンコンクリートの合成材理論

#### ①記号

$C, T_c, T_R, T_s$ ; CCの圧縮力, CCの引張力, RECの引張力, 鉄筋の引張力  
 $y_c, y_R, y_s$ ; 中立軸位置からそれぞれC,  $T_c, T_R, T_s$ までの距離

$\sigma_c, \sigma_R, \sigma_s$ ; CCの圧縮応力および引張応力, RECの引張応力, 鉄筋の引張応力  
 $\epsilon_c, \epsilon_R, \epsilon_s$ ; それぞれ $\sigma_c, \sigma_R, \sigma_s$ に対応するひずみ。

$\sigma_{ccr}, \sigma_{cer}, \sigma_{csr}$ ; CCの最大圧縮応力, CCの最大引張応力, RECの最大引張応力  
 それぞれに対応するひずみ。  $\eta_c, \eta_R$ ; CCおよびRECの引張率。

$k$ ; 桁の上端から中立軸位置までの距離 ( $k$ : 桁高)

$a_R, \eta_R$ ; 桁の下端から鉄筋位置およびCCとRECの境界位置までの距離

$A_s, I_t$ ; 桁の鉄筋量, およびCC, REC合成材の換算断面2次モーメント

#### ②ひずみ状態; ナビエの仮定に従う(図-1)

③弾性応力状態; 全断面有効とし(図-2) 中立軸位置および曲げモーメントは、それぞれ式(1), (2)から求める。

$$C = T_c + T_R + T_s \quad \text{----- (1)}$$

$$\therefore k = \left\{ (1-\eta)^2 E_c + (2\eta-\eta^2) E_R + 2p(1-\eta) E_s \right\} / \left\{ 2E_c + 2\eta(E_R - E_c) + 2pE_s \right\}$$

$$M = C \cdot y_c + T_c \cdot y_R + T_R \cdot y_R + T_s \cdot y_s \quad \text{----- (2)}$$

④応力ひずみ関係(ひび割れ発生時); CCおよびRECが引張をうける時の、応力ひずみ関係は、圧縮をうける時の応力ひずみ関係に、相似であるとし、圧縮率係数測定試験結果より、それぞれの引張率を、また、引張試験の結果を照合させ、引張極限ひずみを仮定する。

⑤曲げひび割れ応力状態; 桁の圧縮側の応力状態を弾性とし、引張側の応力状態は、CCおよびRECの引張極限ひずみの値に応じ、三つの状態が考えられる。i) RECのみにひび割れが生じる状態、ii) CCのみにひび割れが生じる状態、iii) RECに比べてCCの引張極限ひずみが小さいこ

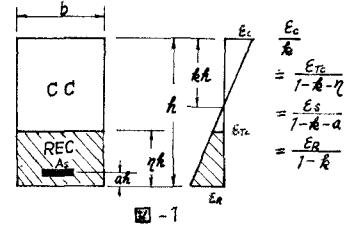


図-1

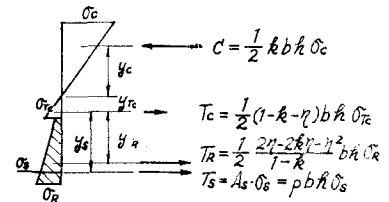


図-2

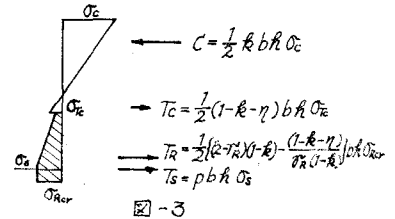


図-3

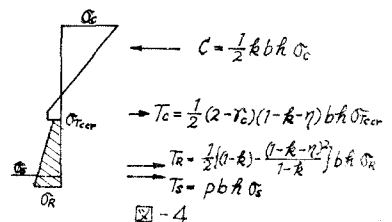


図-4

とを想定し、 $CC$  の引張応力を無視する状態の三状態、いずれの場合も圧縮曲げモーメントは、(2)式より求められる。中立軸位置計算式は、(3)の形を取り、 $A, B, C$  の係数については、各状態により決定される。

$$k = B/A + \sqrt{(B/A)^2 - C/A} \quad \text{----- (3)}$$

i)  $CC$  の引張側が弾性状態、 $REC$  が完全弾塑性状態(図-3)

$$A = (2 - \eta - 1/\eta) \cdot \sigma_{RCR}$$

$$B = (1 - \eta) \epsilon_{RCR} E_c + (2 - \eta) \sigma_{RCR} - \eta \sigma_c (1 - \eta) \sigma_{RCR} + p \epsilon_{RCR} E_s$$

$$C = (1 - \eta)^2 \epsilon_{RCR} E_c + (2 - \eta) \sigma_{RCR} - 1/\eta (1 - \eta)^2 \sigma_{RCR} + 2p(1 - \alpha) \epsilon_{RCR} E_s$$

ii)  $CC$  の引張側が完全弾塑性状態、 $REC$  が弾性状態 (図-4)

$$A = (2 - \eta) \cdot \sigma_{RCR} - \epsilon_{RCR} E_c$$

$$B = \eta \epsilon_{RCR} E_R + (2 - \eta) (1 - \eta) \sigma_{RCR} + p \epsilon_{RCR} E_s$$

$$C = (2 - \eta) (1 - \eta)^2 \sigma_{RCR} + (2\eta - \eta^2) \epsilon_{RCR} E_R + 2p(1 - \alpha) \epsilon_{RCR} E_s$$

iii)  $CC$  の引張側を無視、 $REC$  が完全弾塑性状態 (図-3の  $\eta_c$  が無い場合)

$$A = (2 - \eta - 1/\eta) \cdot \sigma_{RCR} - \epsilon_{RCR} E_c$$

$$B = \{2 - \eta - 1/\eta (1 - \eta)\} \sigma_{RCR} + p \epsilon_{RCR} E_s$$

$$C = \{2 - \eta - 1/\eta (1 - \eta)^2\} \sigma_{RCR} + 2p(1 - \alpha) \epsilon_{RCR} E_s$$

④破壊応力状態； $CC$  の圧縮側を完全弾塑性状態とし、 $CC$  と  $REC$  の引張側を無視し、鉄筋の応力比を考慮する。

$$k = \{-p \epsilon_{RCR} E_s + \sqrt{(p \epsilon_{RCR} E_s)^2 + 2(2 - \eta) \sigma_{RCR} \cdot p(1 - \alpha) \epsilon_{RCR} E_s}\} / \{\sigma_{RCR} \cdot (2 - \eta)\}$$

$$M = C \cdot y_c + T \cdot y_s$$

⑤桁のたわみ弾性状態；全断面有効とし、たわみを算定するときの換算断面2次モーメントは、次のとおりである

$$I_c = 1/3 \cdot \{k^3 + (1 - k - \eta)^3\} b R^3 + E_c/E_s \{ \eta^2/2 + (1 - k - \eta/2)^2 \eta \} b R^3 + E_s/E_c \{ (1 - k - \eta)^2 \} b R^3$$

3 数値計算および検討

図5-8は、 $p=0.0176$ 、 $\alpha=0.167$ ； $\sigma_{RCR}$ 、 $\sigma_{RCR}$ 、 $\sigma_{RCR}=240, 80, 30 \text{ kg/cm}^2$ ； $\epsilon_{RCR}$ 、 $\epsilon_{RCR}$ 、 $\epsilon_{RCR}=2.5, 1, 0.2 \times 10^{-3}$ ； $G_c=0.6$ 、 $G_c=0.7$  とした数値計算結果で、図5-6は、 $REC$  層厚を変化させた時の弾性および曲げひび割れ応力状態の中立軸位置を表わし、同じく図-7は、発生曲げモーメントを表わす。同様に図-8は全断面有効とした時の換算断面2次モーメントを示す。図-6,7について状態i)は本数値計算においては、 $\eta$  が0.5に近い場合のみ存在し、状態ii)での中立軸位置、発生モーメントの値は、状態iii)に近いことより、状態i)は状態iii)の特別な場合とみなせる。また図-7で、状態ii)の  $\eta=0$  の時が  $CC$  一体桁で、これはいかなる  $CC$ 、 $REC$  合成桁よりも小さなモーメントを示し、 $CC$ 、 $REC$  合成桁の有利さを示す。曲げひび割れモーメントは、 $\eta$  の増加に伴い増しているが、状態iii)と状態ii)の交点までは、状態ii)が小さく、その点以上では、状態iii)が小さいことより、図-7の実線が、曲げひび割れ応力状態で発生曲げモーメントの下限を表わしている。また、同時に、全断面有効状態の弾性曲げモーメント(図の斜線域)、破壊応力状態の曲げモーメントも、曲げひび割れモーメントとの比較のため描いている。次に図-8は、その逆数がたわみを示す資料であり、 $REC$  層が大きい程増加し、 $\eta=0.5$  の時、 $CC$  一体桁の35%増しなり( $E_c=30 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ )  $E_c$  の増加につれてこの割合が大きくなることわかれる。

4 あとがき

$CC$ 、 $REC$  合成桁の特徴は、桁の耐久性に關連する曲げひび割れモーメントの増加である。実際のひび割れを考慮する時、 $REC$  層が薄い時は、 $CC$  のひび割れが顕著になり、ii)の状態に近くなり、 $REC$  層が厚い時は  $REC$  のひび割れが顕著になり、iii)の状態に近くなることわかれる。本解析の今後の課題としては、4次応力、クリープ、すべりおよびせん断応力の影響を考慮することである。本報告作製に当りジョーボンド建設KKの御協力に對し感謝する。

図-5 中立軸位置(弾性状態)

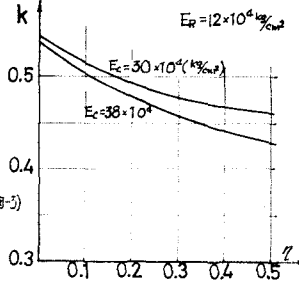


図-6 中立軸位置(曲げひび割れ状態)

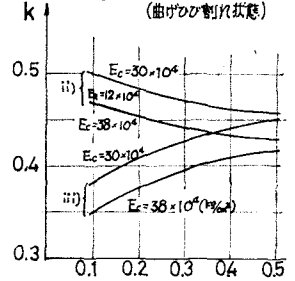


図-7 CC, REC 合成桁の曲げひび割れモーメント ( $E_c=12 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ )

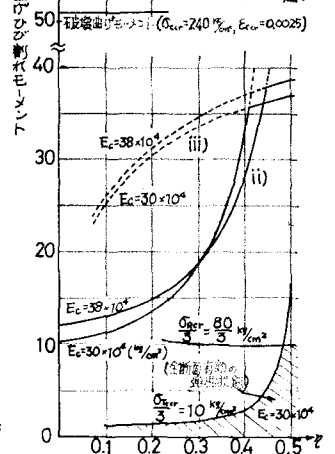


図-8 換算断面2次モーメント(弾性状態)

