

防衛大学校 正会員 佐藤 良一
電力中央研究所 正会員 青柳 征夫
電力中央研究所 正会員 金津 努

1. まえがき

本研究は昨年度の研究⁽¹⁾に引き続いて実施したものであって、一定の外力モーメントを常温下で受けた状態で温度勾配による拘束モーメントをさらに受けたRC部材に生じる鉄筋応力度と平均ひびわれ幅および剛性残存率（常温下全断面有効時の曲げ剛性でひびわれ発生後の曲げ剛性を割った値）について、解析結果と実験結果を比較・検討したものである。

2. 一定の外力モーメントを受けているRC部材の拘束モーメントについて

一定の外力モーメントを受けているRC部材が温度勾配を受け、これによる自由変形が完全に拘束された場合、Fig. 1にも示されているように、拘束モーメントは外力モーメントを受けた時の曲率 ϕ_{ex} に温度勾配による自由変形曲率 ϕ_T を加えた点Eから求められない。それは拘束モーメントが作用した場合、外力モーメントにより生じた曲率 ϕ_{ex} が常に一定値を保つのではなく、拘束モーメントの増加と共に大きくなると考えられるからである。この考え方に従えば、拘束モーメントは以下のように求められる。すなわち、外力モーメントと拘束モーメントを同時に受けた時のモーメントと曲率を M_0, ϕ_0 （仮想曲線上のD点）とすれば、この場合の外力モーメントによる曲率は ϕ_{ex} であって、拘束変形曲率は

$$\phi_R = (1 - M_{ex}/M_0) \phi_0$$

で与えられ、この曲率と自由変形曲率 ϕ_T が等しくなった時のモーメントが外力モーメントと拘束モーメントの和となる。

したがって、拘束モーメントはこのモーメントから外力モーメントを差し引けば求められる。

3. 諸物性値の温度依存性（Tは0℃以下の温度）

○コンクリートの引張強度（Fig. 2参照）

$$\{\sigma_{tu}\}_T = \Delta \sigma_{tu} + \{\sigma_{tu}\}_{NT} \quad NT: \text{常温}$$

$$T = -8.176 \times 10^{-4} \Delta \sigma_{tu}^3 + 0.01550 \Delta \sigma_{tu}^2 - 0.363 \Delta \sigma_{tu}$$

○コンクリートの弾性係数

$$\{E_c\}_T = \Delta E_c + \{E_c\}_{NT}$$

$$\Delta E_c \approx 8.095 T^2 - 1090.5 T$$

○付着応力-相対すべり曲線

$$\{\tau_x\}_T = \{\tau_{max}\}_T e^{\frac{\ln\{(e-1)\{\delta_{xT}\}/\{\delta_{max}\}_T + 1\}}{(e-1)\{\delta_{xT}\}/\{\delta_{max}\}_T + 1}} \quad (\text{六車・森田})$$

$$\{\tau_{max}\}_T = \Delta \tau_{max} \{1 - (1 - T/T_0) \Delta \tau_{max}\} + \{\tau_{max}\}_{NT} \quad \cdots \cdots \text{最大付着応力}$$

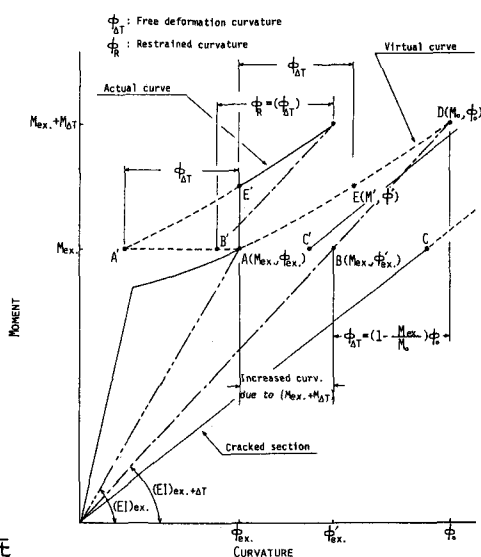


FIG.1 SCHEMATIC DIAGRAM OF RESTRAINED MOMENT OF RC MEMBER SUBJECTED TO CONSTANT EXTERNAL MOMENT

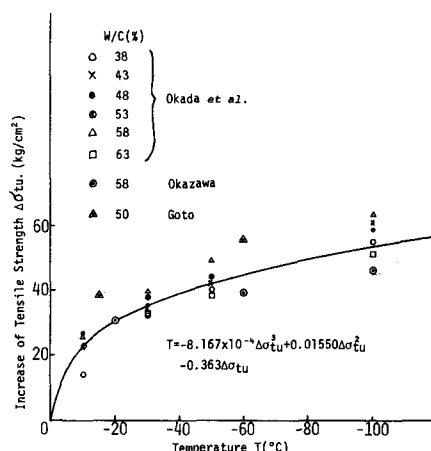


FIG.2 RELATIONSHIPS BETWEEN INCREASE OF TENSILE STRENGTH OF CONCRETE AND TEMPERATURE

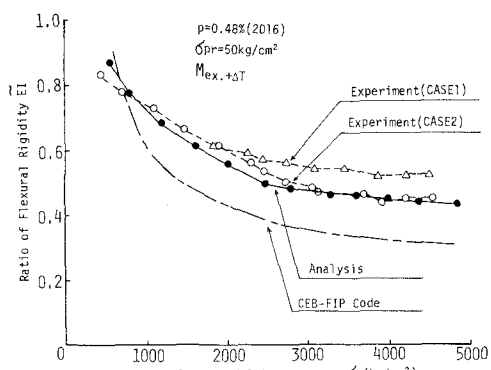


FIG.3 COMPARISON OF MEASURED, CALCULATED BY CEB-FIP CODE AND ANALYZED RELATIONSHIPS BETWEEN RATIO OF FLEXURAL RIGIDITY AND STRESS OF REINFORCEMENT

$$\{\delta_{max}\}_T = \alpha_{max} T + \{\delta_{max}\}_{NT} \quad \text{..... 最大付着応力時すべり量}$$

$$\{\delta_u\}_T = \alpha_u T + \{\delta_u\}_{NT} \quad \text{..... 付着破壊時すべり量}$$

ここで, $\alpha_{max} = 260 \text{ kg/cm}^2$, $T = 260^\circ\text{C}$, $\alpha_u = -0.0001 \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$, $\{\delta_{max}\}_{NT} = 0.006 \text{ cm}$, $\{\delta_u\}_{NT} = 0.02 \text{ cm}$ である。

4. 基礎方程式

$$\frac{d^2 \delta_x}{dx^2} = \frac{U_s}{A_s E_s} \{1 - P(\eta)\} \zeta_x = \frac{U_s \zeta_{max}}{A_s E_s} e^{\{1 - P(\eta)\}} \frac{\ln\{(e-1)\delta_x/\delta_{max} + 1\}}{(e-1)\delta_x/\delta_{max} + 1}$$

$$\frac{d\delta_x}{dx} = f(\eta)$$

ここで, $P(\eta)$, $f(\eta)$ は中立軸高さ η の関数であることを示す。なお, 仮定, 基礎方程式の誘導および境界条件については文献(1),(2)を参照されたい。

5. 実験結果⁽³⁾との比較

Fig.3は剛性残存率と鉄筋応力度の関係について実験値, 本解析値およびCEB-FIPコード式による値をそれぞれ比較したものである。ここで, 実験値のCASE1は各温度勾配で拘束するたひごに生じた残留曲率をすべて無視した場合の値で, CASE2はすべて考慮した場合の値である。この図によれば, 本解析値は, 剛性残存率が一定値を示す傾向だけでなく, 定量的にも実験値とかなり良く一致しているのがわかる。これに対し, CEB-FIPコード式は過小評価する傾向があるが, これは温度低下と共に逐次変化する物性値を考慮できないことも主な理由のひとつと思われる。このほか, 本解析値は, 温度勾配の増加に伴う鉄筋応力度や平均ひびわれ幅についても, Fig.4~Fig.6に示すように, 現象をかなり良く表わしているといえよう。

参考文献 (3)佐藤・青柳・金津: RC部材の温度勾配による変形拘束モーメントの解析法に関する研究, 第35回土木学会年次講演報告集, (2)佐藤・青柳・内田: 付着に基いたRC曲げ部材の変形解析理論の定式化について, 第34回土木学会年次講演報告集, (2) 佐藤・青柳・佐藤: 極低温鉄筋コンクリート部材の力学的特性, セメントコンクリート

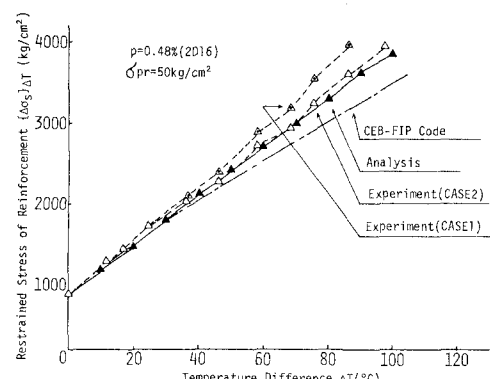


FIG.4 COMPARISON OF MEASURED, CALCULATED BY CEB-FIP CODE AND ANALYZED RELATIONSHIPS BETWEEN RESTRAINED STRESS OF REINFORCEMENT AND TEMPERATURE DIFFERENCE

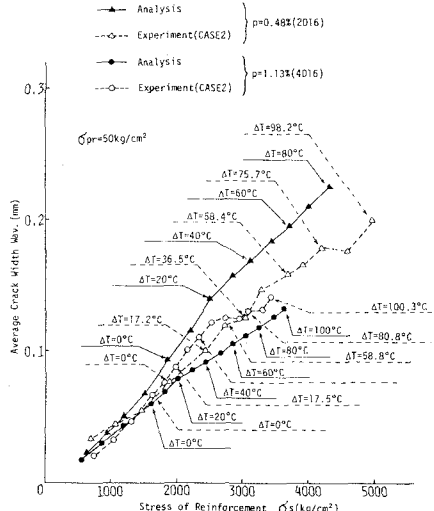


FIG.5 COMPARISON OF MEASURED AND ANALYZED RELATIONSHIPS BETWEEN AVERAGE CRACK WIDTH AND STRESS OF REINFORCEMENT

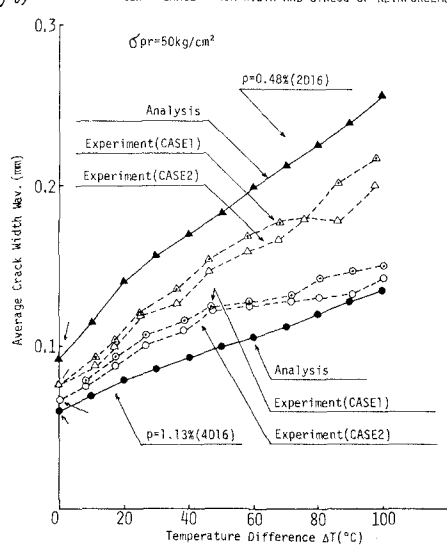


FIG.6 COMPARISON OF MEASURED AND ANALYZED RELATIONSHIPS BETWEEN AVERAGE CRACK WIDTH AND TEMPERATURE DIFFERENCE