

論文

[2113] カンファインドコンクリートの挙動を考慮した RC 柱のじん性の定量評価に関する研究

加藤 清志*1・加藤 直樹*2・岩坂 紀夫*3

1. まえがき

RC構造物の耐震性向上は、耐久性向上とともに重要な課題の一つである。構造的には、はりよりもむしろ柱の被害が致命的で、大きな自重と地震力とにより、斜めせん断すべりを発生させ座屈する。圧縮応力の支配的な横拘束されたRC短柱のひずみ軟化・硬化の基本メカニズムについては前報[1][2]で示した。柱の保有耐力向上のためには、「構造体コンクリートのせん断強度増—横筋の斜めせん断補強筋法の採用—横筋・主筋の高強度化」が三位一体化されていなければならない。また、カンファインドコンクリートの応力—ひずみ曲線は重要な工学的要因で、この関数の実用化を示したが[3]、さらに、ひずみ硬化の限界を示す主筋閾値鉄筋比および変形性能の求め方を示す。

2. カンファインドコンクリートの実用的応力—ひずみ曲線

Mander[4]は横拘束筋のピッチを考慮した円管方法による応力—ひずみ曲線を求めたが、実際上は複雑な仮定に基づいているが難点である。しかし、著者らの「拘束応力—複合せん断強度」関係[1-3]によれば、式(1)で与えられ、諸元は図-1で求まるのできわめて実用的となる。

$$\sigma_c(\varepsilon) = \phi E_c \varepsilon / \{ \phi + (\varepsilon / \varepsilon_{cc})^\gamma \} \dots \dots \dots (1)$$

$$\phi \equiv \lambda / (1 - \lambda) \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $\sigma_c(\varepsilon)$:カンファインドコンクリートの応力、 ε :ひずみ、 E_c :プレーンコンクリートの初期接線係数、 ε_{cc} :カンファインドコンクリートの終局ひずみ、 $\gamma = 1/(1 - \lambda)$ 、 $\lambda = E_{sec}/E_c \leq 1$ 、 E_{sec} :カンファインドコンクリートの終局割線係数。

図-1で ξ は横拘束鉄筋比 p による拘束応力比である。

3. 閾値鉄筋比の一般式の誘導

RC短柱の耐力(P_c)は式(3)で与えられる。

$$P_c = \sigma_c(\varepsilon) \cdot A_e + \sigma_s(\varepsilon) \cdot (pA_e) \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 A_e :柱の有効断面積、 $\sigma_s(\varepsilon)$:主筋の応力で高強度筋(SBPD130/145)の塑性域 $0.61\% \leq \varepsilon \leq 4.0\%$ に対し、 $\sigma_s(\varepsilon) = (0.749, 8 + 0.131, 3\varepsilon - 0.017, 08\varepsilon^2)f'_{pu}$
 f'_{pu} :圧縮強度、 p :圧縮鉄筋比。

*1防衛大学校教授 土木工学教室、工博(正会員)

*2浅野工学専門学校助教授 建築工学科(正会員)

*3高周波熱錬(株) 営業部次長

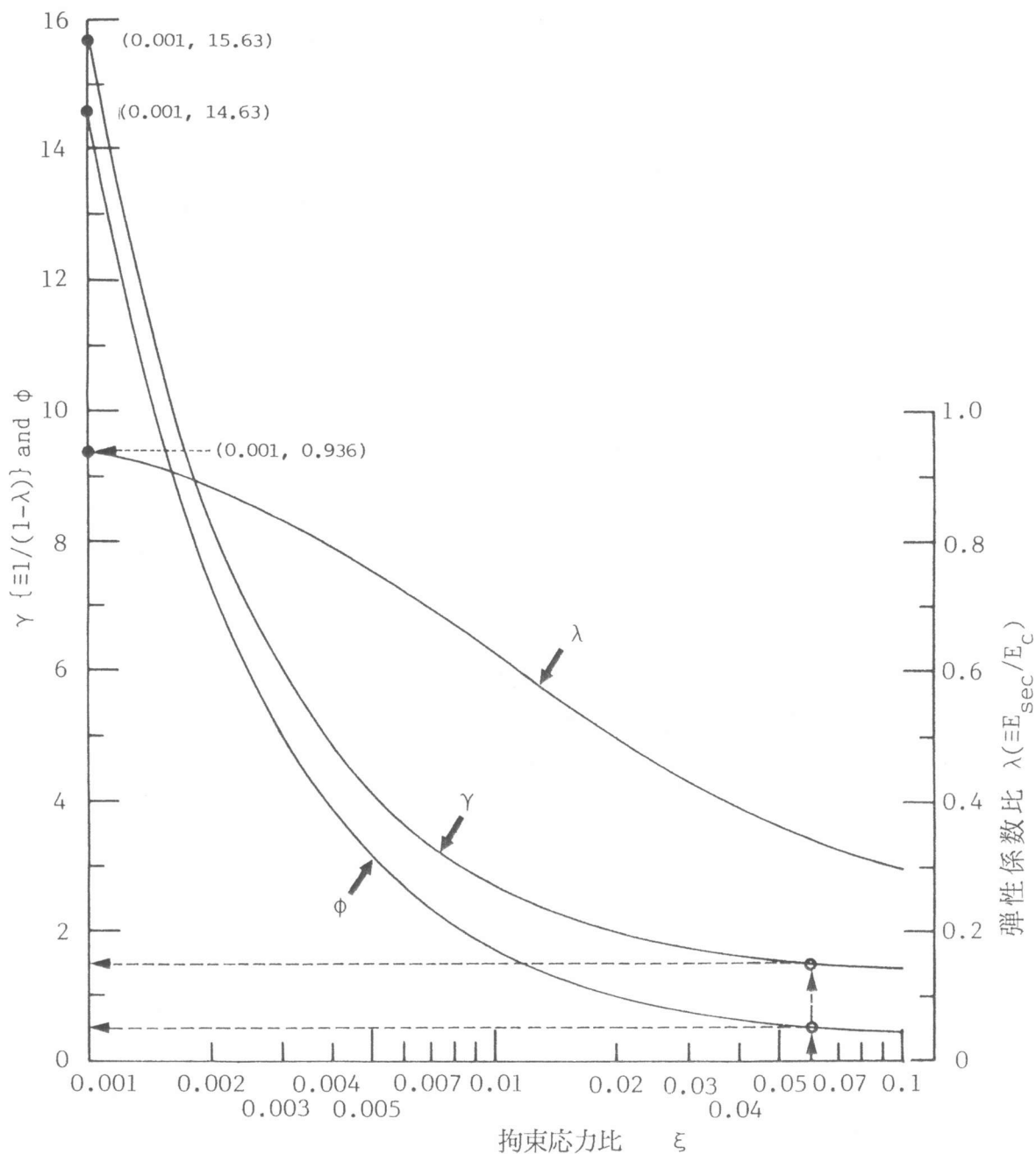


図-1 拘束応力比と $\phi \cdot \gamma \cdot \lambda$ との関係

ひずみ硬化の限界条件は

$$\partial P_c / \partial \varepsilon \equiv 0 \dots \dots \dots (4)$$

よって、式(3)・(4)とから閾値鉄筋比(p_{th})は、式(5)、図-2で示される。

$$p_{th} = [\phi E_c / f'_{pu} \{ (\gamma - 1) (\varepsilon / \varepsilon_{cc})^\gamma - \phi \}] / [\{ (\varepsilon / \varepsilon_{cc})^\gamma + \phi \}^2 (0.131, 3 - 0.034, 16 \varepsilon)] \dots \dots \dots (5)$$

一般に主筋量は施工上の観点から前述のように0.8%以上、6%以下でなければならないが[5]、

図-2はこれら上・下限の範囲を与えられている。

[EX.] ケーススタディ

① $\xi = 0.060$, $\varepsilon = 1.4\%$, $f'_{co} = 200 \text{ kgf/cm}^2$ ($E_c = 230,000 \text{ kgf/cm}^2$)

② $\kappa = 230,000 / 14,500 = 15.862$

③ 図-2から、 $p_{th} = 4.5\%$

4. 最大耐力と最大変形能

4.1 最大耐力

一般に主筋量は0.8%以上、6%以下でなければならないが、単位の最大耐力(mP_c)は $p_{th} = 6\%$ で生じ、このときの圧縮ひずみを $\varepsilon \equiv \varepsilon_{th}$ とし、式(3)から、式(6)が求まる。

$$mP_c \equiv P_c / A_e = \sigma_c(\varepsilon_{th}) + p_{th} \cdot \sigma_s(\varepsilon_{th}) \dots \dots \dots (6)$$

単位の最大耐力と拘束応力比との関係を図-3に示す。

コンクリート強度の増大とともに、また、拘束応力比の増大とともに最大耐力は増大することがわかる。

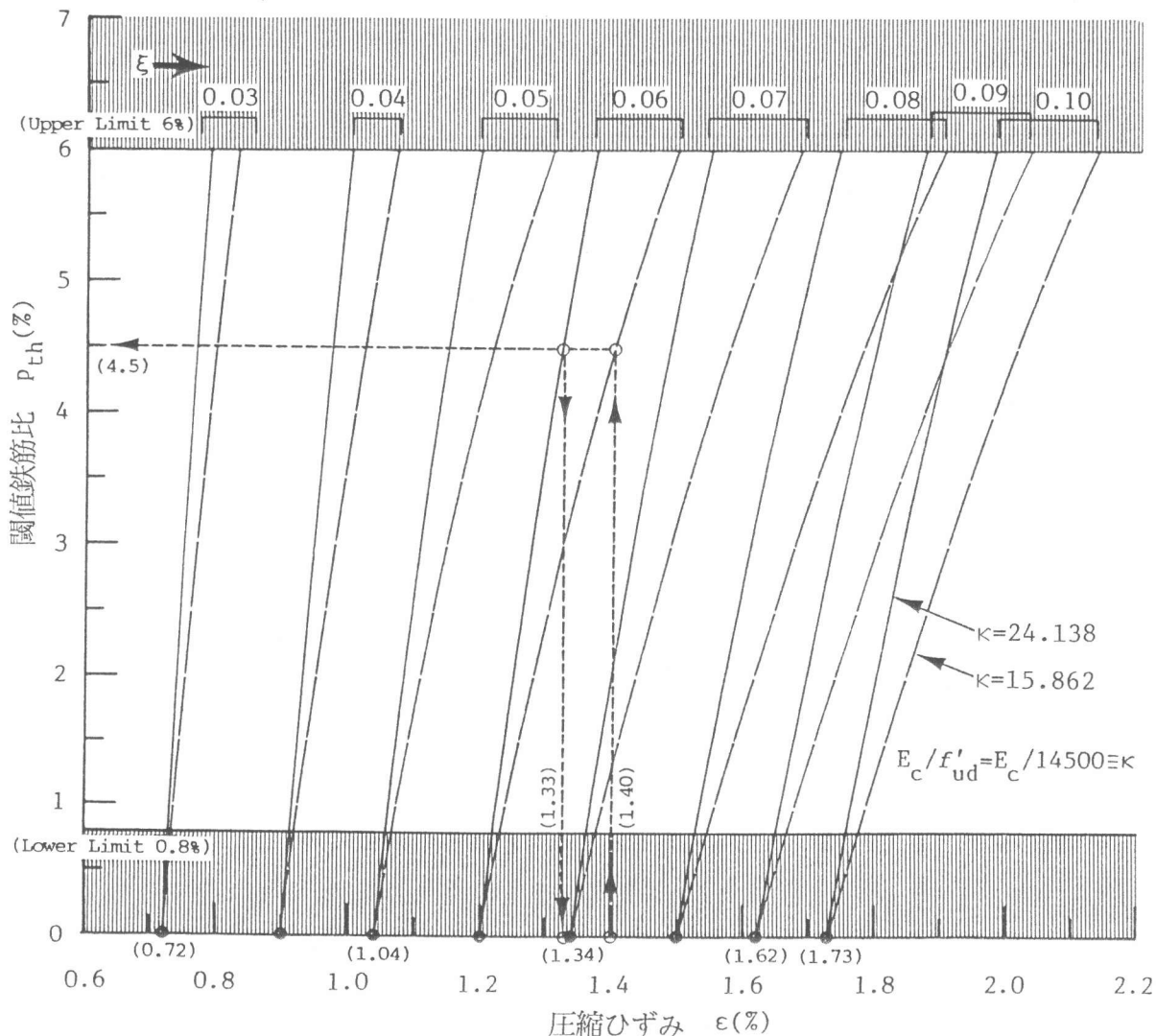


図-2 閾値鉄筋比とRC柱の任意圧縮ひずみとの関係

4.2 最大変形能

閾値鉄筋比6%に対する最大変形能と拘束応力比との関係を図-3に併記した。

コンクリート強度の増大とともに変形能は小さくなるが、コンクリート強度増の効果ははりの抵抗モーメントと同様、顕著な効果を示さない。

4.3 最大耐力と最大変形能との関係

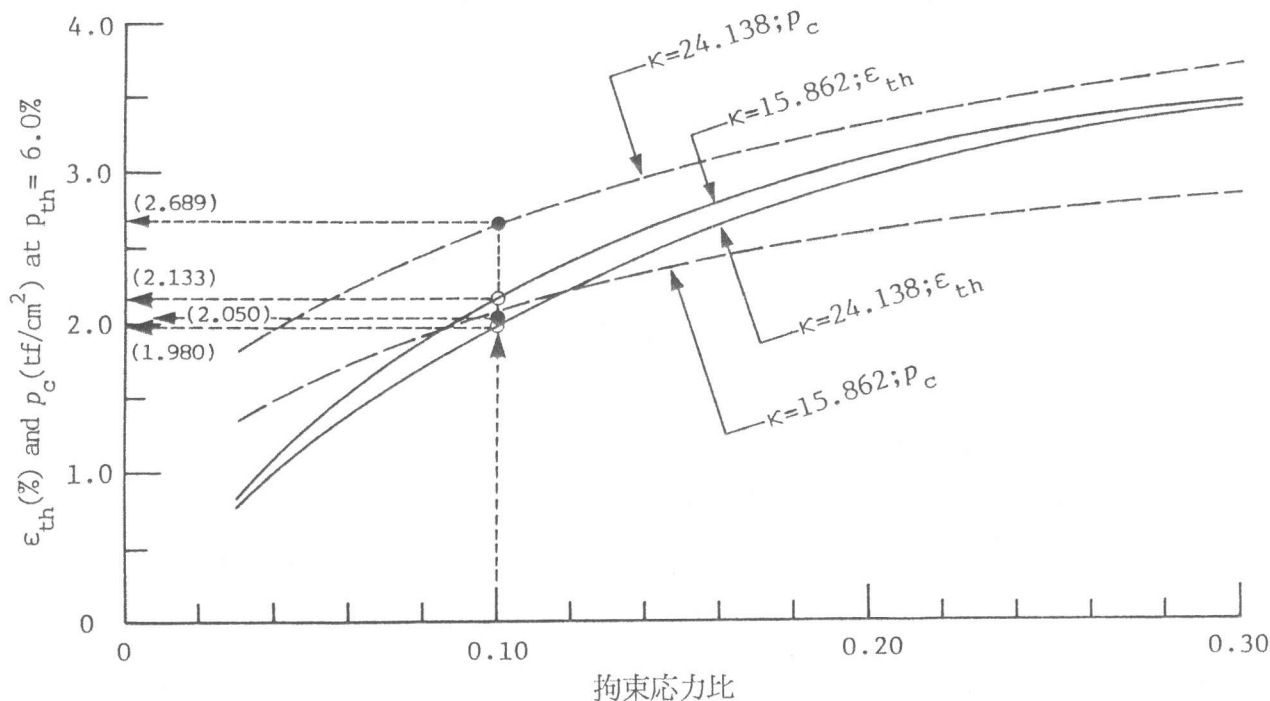


図-3 最大耐力および最大変形能と拘束応力比との関係

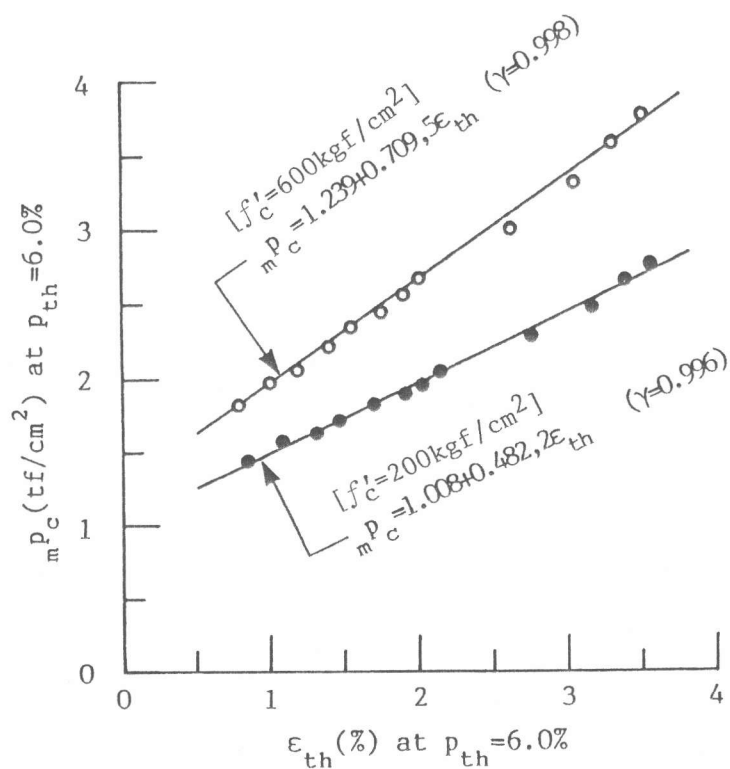


図-4 最大耐力と最大変形能との関係

コンクリート強度 200kgf/cm^2 ($\kappa=15.862$)と 600kgf/cm^2 ($\kappa=24.138$)に対する最大耐力と最大変形能との関係を図-4に示す。

両者はともに、正の線形関係があることがわかる。

5. カンファインドコンクリート柱のじん性

5.1 応力-ひずみ曲線により定義されるじん性

式(6)により定義される「単位の応力-ひずみ曲線」は、SBPD130/145について式(7)、図-5に、また、この曲線群の積分で与えられる「単位のじん性値」は式(8)で与えられ、拘束応力比とこの特性値との関係を図-6に示す。

$$p_c = \phi E_c \varepsilon / \{ \phi + (\varepsilon / \varepsilon_{cc})^\gamma \} + p(0.749, 8 + 0.131, 3\varepsilon - 0.017, 08\varepsilon^2) f'_{pu} \dots \dots \dots (7)$$

$$A_u = \int_0^{\varepsilon_{th}} p_c d\varepsilon \dots \dots \dots (8)$$

図-6から、拘束応力比の増大とともにじん性はほぼ直線的に増大し、コンクリート強度には比較的鈍感であって、 200kgf/cm^2 (1.0)から 600kgf/cm^2 (3.0)に増大しても単位のじん性値はわず

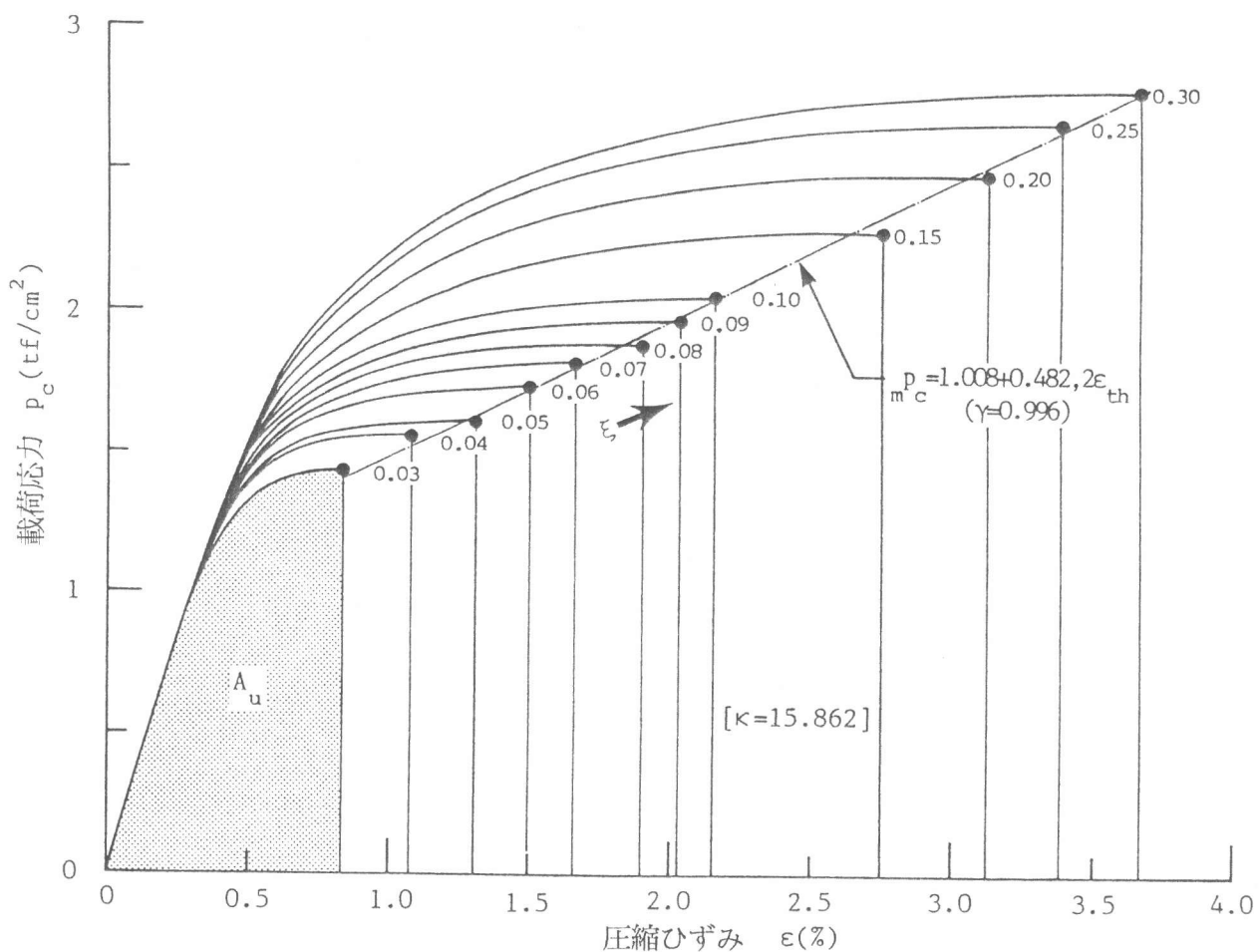


図-5 単位の応力-ひずみ曲線群 ($\kappa \equiv E_c / f'_{pu} = 15.862$ の場合)

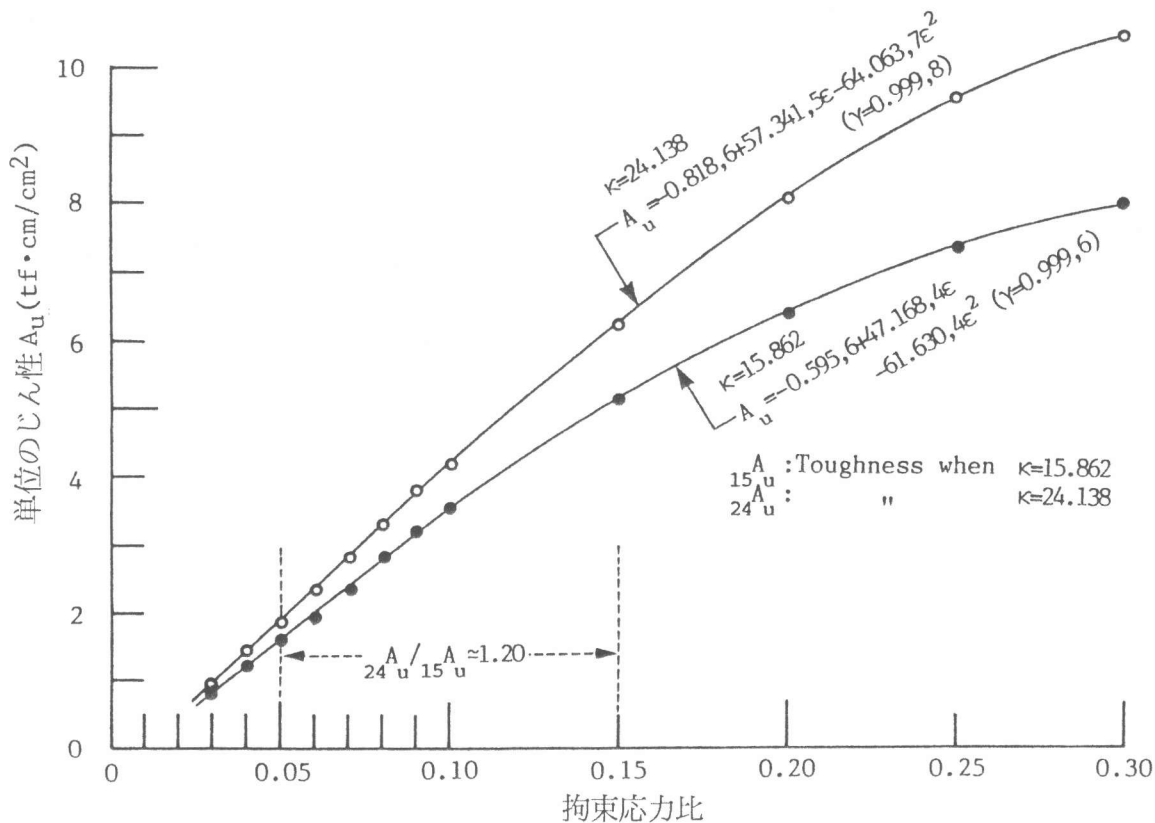


図-6 単位のじん性値と拘束応力比との関係

か1.2倍しか向上しない。しかし、いずれにしても、コンクリートの高度化・拘束応力比の増大はRC柱の耐力の向上、じん性の増大に寄与することがわかる。

6. まとめ

- ①カンファインドコンクリートの実用的応力-ひずみ曲線の求め方を示した。
- ②主筋閾値鉄筋比の一般式と相関図を示した。
- ③閾値鉄筋比6%に対する最大耐力と最大変形能との関係を定量化した。
- ④単位の応力-ひずみ曲線から求まるじん性と拘束応力比との関係を定量化した。

[謝辞]

ワープロは、防大 治郎丸 良英事務官の尽力によった。付記して謝意を表する。

[参考文献]

- 1) 加藤 清志ほか: RC柱のひずみ硬化による保有耐力向上法に関する研究、第6回破壊力学シンポジウム講演論文集、pp.262-271, 1992.9
- 2) Kato, K. et al: Development of Toughness Considering Confinement Effect and Threshold Steel Ratio of RC Column, Proc.36th Jpn. Cong. Mat. Res., pp.173-183, 1993
- 3) 加藤 清志: カンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線の実用化とその応用、コンクリート工学年次論文集、15-1, pp.483-488, 1993.6
- 4) Mander, J.B. et al.: Theoretical Stress-Strain Curve for Confined Concrete, Jour. Struct. Engrg., vol.114, No.8, pp.1804-1826, 1988
- 5) 土木学会: コンクリート標準示方書・設計編、p.54, 1992.9