

論文

[2161] 正方形鋼管で横補強されたコンクリートの中心圧縮性状に関する実験的研究

正会員 崎野健治 (九州大学建築学科)

同○孫 玉平 (九州大学大学院)

1. 序

正方形断面RC柱の脆性破壊を防ぐための抜本的な方法として、正方形鋼管で横補強する鋼管横補強法が富井らによって提案されている。著者らは鋼管横補強法をRC短柱に適用した場合の有効性を実証してきた[1], [2]。一方、正方形鋼管横補強RC柱の曲げ性状を評価するにあたっては、それに必要な正方形鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの適切な応力-ひずみ関係が提案されていないのが現状である。

松村らは、正方形鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの中心圧縮性状について、実験的研究を行い、コンファインドコンクリートの強度を求める実験式を提案している[3]。ただし、彼らの実験で用いられたコンクリートのシリンダー強度 $f_c'$ の範囲は135~260kg/cm<sup>2</sup>と狭く、応力-ひずみ関係についての提案も行われていない。そこで、本論ではシリンダー強度が210kg/cm<sup>2</sup>から690kg/cm<sup>2</sup>までのコンクリートに対する正方形鋼管の横補強効果を実証し、正方形鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係を定式化した。

2. 実験概要

2.1 試験体

幅厚比 $D/t$ が31と107の二種類の鋼管を用いて、コンクリート圧縮強度 $f_c$ を実験変数とし、実験を計画した。 $D/t=31$ の厚肉鋼管は市販の鋼管で、 $D/t=107$ の薄肉鋼管は薄板をL形に成形した後溶接して製作した。試験体は各コンクリート強度につき4体ずつ計24体を製作した。4体の試験体の内、試験体自身のばらつきを考慮して無筋のものを3体と、主筋の横補強効果への影響を調べるために主筋(計4本、主筋比=1.66%)を四隅に配置したものを1体計画した。また、鋼管内面には、鋼管とコンクリートの間の付着応力をできるだけ小さくするため、薄いグリース膜を塗布した。試験体一覧と主な実験結果を表1に示す。

試験体に用いた鋼管と主筋の実測寸法

および力学的性質を表2に示す。コンクリートの調合強度は、210kg/cm<sup>2</sup>、420kg/cm<sup>2</sup>および600kg/cm<sup>2</sup>の3種類で、その調合を表3に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。また、

表1 試験体および主な実験結果一覧

試験体	$\frac{B}{t}$	$f_c'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$N_c$ (ton)	$N_o$ (ton)	$\frac{N_c}{N_o}$
L31-01	31	257	119.2	68.9	1.73
L31-02			117.6		1.71
L31-03			123.6		1.79
L31-04			122.0		1.77
M31-01	31	437	166.0	117.2	1.42
M31-02			168.0		1.43
M31-03			169.0		1.44
M31-04			168.0		1.43
H31-01	31	694	224.0	186.0	1.20
H31-02			224.0		1.20
H31-03			220.0		1.19
H31-04			218.0		1.17
L107-01	107	213	68.4	63.1	1.08
L107-02			68.1		1.08
L107-03			67.0		1.06
L107-04			67.9		1.07
M107-01	107	415	125.4	122.3	1.03
M107-02			117.2		0.96
M107-03			130.0		1.06
M107-04			120.1		0.98
H107-01	107	521	168.0	155.5	1.08
H107-02			165.0		1.06
H107-03		610	189.0	179.8	1.05
H107-04			181.2		1.01

注:  $N_c$ : 最大荷重,  $N_o = f_c' (B-2t)^2$

細骨材には粒径5mm以下の海砂、粗骨材には粒径20mm以下の碎石を用いた。

## 2.2 裁荷および測定方法

裁荷は単調裁荷で、上端ピン下端固定の材端条件で500ton試験機で行った。また、材端に載荷板を置き、充填コンクリートのみで載荷した(図1参照)。

試験体中央部分の軸方向平均歪(検長19cm)を、鋼管表面に開けた穴を通してボルトで試験体のコンクリート表面に固定された測定フレームに取り付けた4台の変位計で測定した。また、試験体が中央部検長域以外で破壊することに備えて試験体の上下載荷板に4台の変位計を取り付けて試験体全体(検長35cm)の縮み量を測定した(図1参照)。幅厚比 $B/t=31$ の試験体は、軸方向ひずみが6.0%になるまで載荷を行ったが、 $B/t=107$ の試験体は、鋼管隅の溶接部にき裂が生じた時点で除荷した。この時の軸方向ひずみが2.0~4.0%であった。

## 3 実験結果

### 3.1 荷重-軸方向ひずみ関係

図2に各試験体の軸力 $N_c$ とひずみの関係を鋼管の幅厚比をパラメーターに示す。試験体の軸方向ひずみ $\epsilon$ としては測定フレームに取り付けた変位計で測定したものをを用いた。図中の実線は無筋試験体の実験結果、一点鎖線は主筋を配筋した試験体のそれを表す。また、鉄筋を配筋した試験体に対しては、主筋の軸方向ひずみがコンクリートのそれと一致すると仮定し、主筋の引張試験で得られた応力-ひずみ関係より求めた鉄筋の軸力負担分を全荷重から差し引いて $N_c$ を求めた。

図2から分かるように、各コンクリート強度の4体の試験体に関する実験結果のばらつきは小さい。また、主筋の存在が鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの中心圧縮性状に及ぼす影響はほとんどない。

### 3.2 コンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係

正方形鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートが中心圧縮を受ける場合、鋼管から受ける側圧分布が断面内で一様でないため、軸方向応力分布も断面内で一様とはならないと考えられる。しかしながら、軸方向応力分布を解析的に求めることは現時点では困難であるので、本論においては、平均的な軸方向応力とひずみの関係を考察することにする。

シリンダー強度 $f_c'$ で無次元化した平均軸方向応力とひずみの関係を図3に示す。図3に示すように、鋼管の幅厚比を小さくすることにより、コンファインドコンクリートの強度のみならず靱

表2 鋼材の実測寸法および力学的性質

名称	B (mm)	t (mm)	$\sigma_{ty}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_y$ (%)	$E_s(\times 10^6)$ (kg/cm <sup>2</sup> )
鋼管	175	5.63	3960	0.19	2.14
鋼管	175	1.63	3380	0.17	2.05
主筋	-	13.0	3340	0.17	1.89

注 ① B:鋼管の幅 ② t:管厚(主筋径)  
③  $\sigma_{ty}$ :降伏点応力 ④  $\epsilon_y$ :降伏点ひずみ

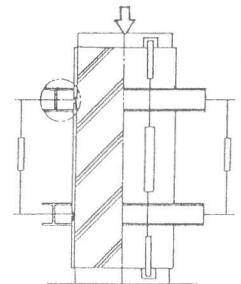


図1 裁荷および測定方法

表3 コンクリートの調合

調合強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	水セメント比(%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	重量(kg/m <sup>3</sup> )				スランプ (cm)
			セメント	細骨材	粗骨材	減水剤	
210	61.0	165	274	888	1003	-	4.0
420	41.0	167	403	736	1018	-	8.5
600	30.0	165	550	713	1080	8.25	20.0

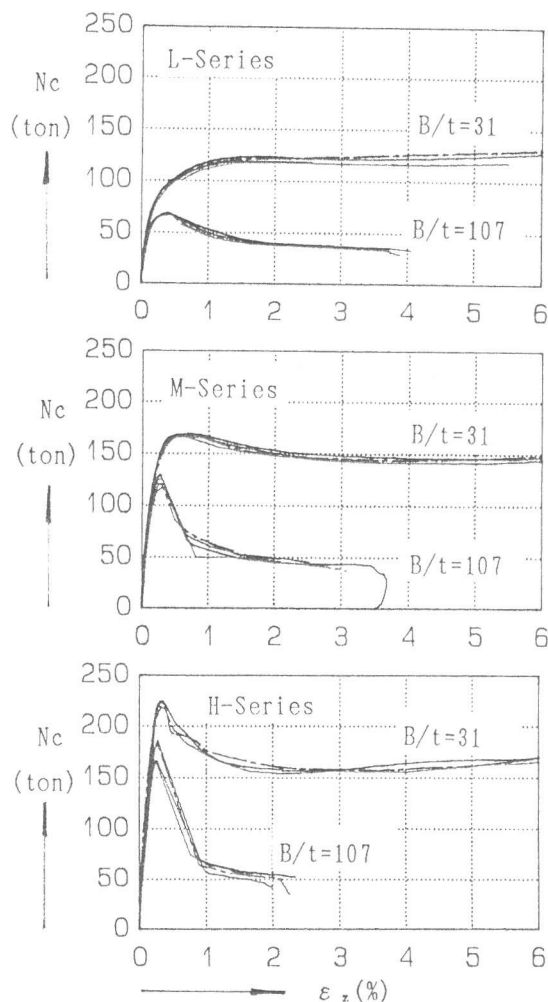


図2 荷重 $N_c$ -ひずみ $\varepsilon_z$ 関係

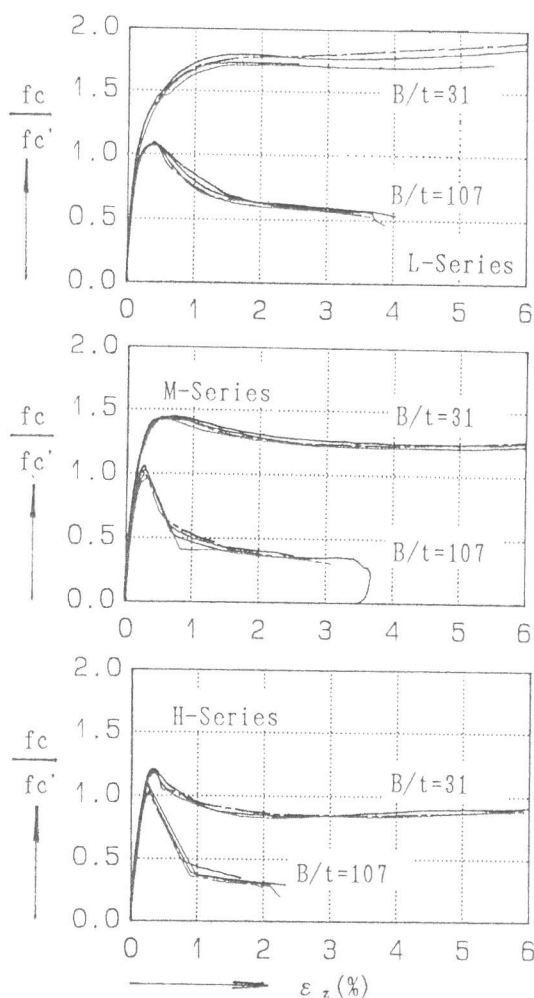


図3 応力-ひずみ $\varepsilon_z$ 関係

性も改善される。また、コンクリートのシリンダ強度が高くなるにつれてピーク点後の下り勾配が顕著となるが、ある一定値以上の強度低下は大変形時においても生じないという優れた特性を有している。これは大変形時には正方形鋼管がふくらみ円形に近くなるためと考えられる。

#### 4. 正方形鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係

##### 4.1 応力-ひずみ関係式

著者らは正方形鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの軸方向応力-ひずみ関係として、Manderらの提案式を用いることができることを報告しているが[4]、Manderらの提案式は高強度コンクリートを用いた試験体の実験結果との対応が良くないことが著者らの実験的研究によって分かってきた[5]。そこで、本論においては、正方形鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの軸方向応力-ひずみ関係として、(1)式を提案する。

$$\frac{f_c}{f_{cc'}} = \frac{AX + (D-1)X^2}{1 + (A-2)X + DX^2} \quad (1)$$

ここで、 $f_{cc}$ :コンファインドコンクリートの強度、 $A = E_c / E_{sec}$ 、 $E_c = 210000 \cdot \sqrt{f_c' / 200}$ 、 $E_{sec} =$

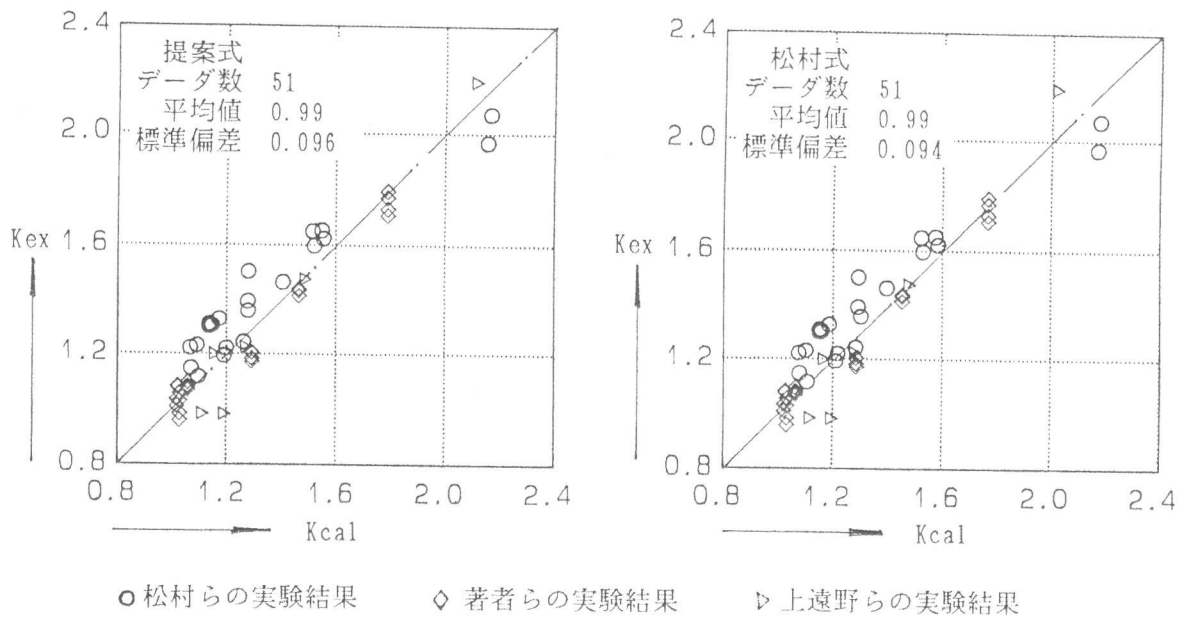


図4 コンファインドコンクリートの強度に関する実験値と計算値の比較

$=fcc' / \epsilon_{co}$ ,  $K=fcc' / fc'$ ,  $\epsilon_{co}=0.002(1+5(K-1))$ ,  $D$ =応力-ひずみ曲線の下り勾配をコントロールするパラメーター(下り勾配係数と書く),  $X=\epsilon_c / \epsilon_{co}$ 。また, (1) 式中のコンファインドコンクリートの強度  $fcc'$  および下り勾配係数  $D$  の求め方を以下に述べる。

#### 4.2 コンファインドコンクリートの強度 $fcc'$

正方形鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの強度に関する主な要因としては, 鋼材量(ここで, 鋼管の体積比  $\rho_n$  で表す), 鋼管の材質および幅厚比と考えられる。そこで, コンファインドコンクリートの強度  $fcc'$  の算定式として, (2) 式の実験式を提案する。

$$fcc' = fc' \left( 1 + \kappa \frac{\rho_n f_{ty}}{2fc'} \left( \frac{t}{B} \right) \right) \quad (2)$$

ここで,  $fc'$ : コンクリートのシリンダー強度,  $\rho_n$ : 鋼管の体積比 ( $= (B/(B-2t))^2 - 1$ ),  $f_{ty}$ : 鋼管の降伏点応力,  $\kappa$ : 本論で述べた実験結果より定めた定数 ( $=21.0$ )。

一方, 松村らは, 正方形鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの中心圧縮強度を求める式として (3) 式を提案している [3]。

$$fcc' = fc' \left( 1 + k \frac{4f_{ty}(t/B)^2}{fc'} \right) \quad (3)$$

ここで,  $k$ : 松村らの行った実験結果により定めた定数で 12.2。

(2) 式と (3) 式を用いて求めたコンファインドコンクリートの強度と既往および今回の実験結果との比較を図4に示す。図4から分かるように, (2) 式と (3) 式はほぼ同じ精度で実験結果を評価している。(2) 式は鋼管横補強を帯筋横補強の極限状態(間隔が0に近い)と見

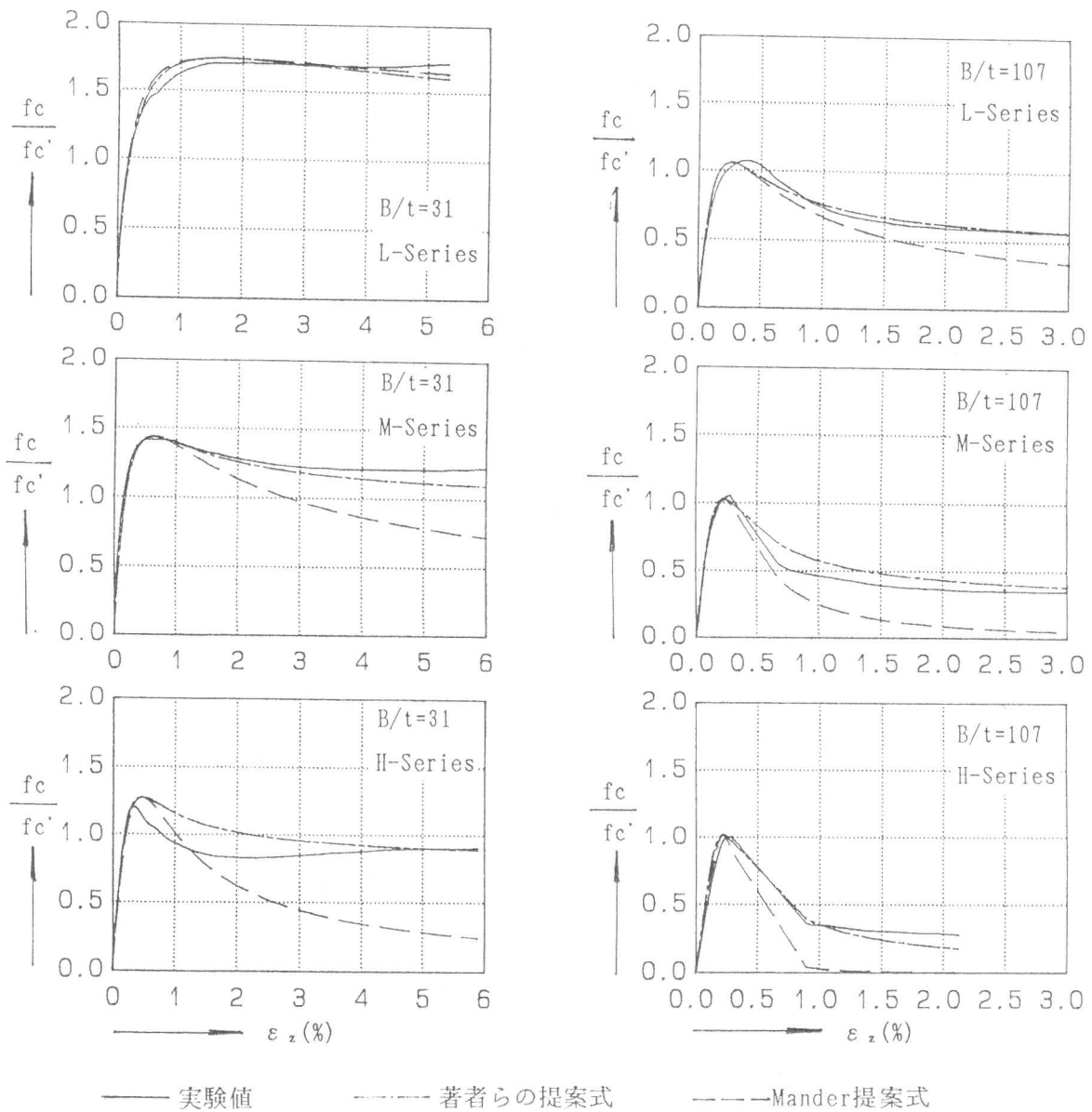


図5 応力-ひずみ関係の実験値と提案式の比較

なして構成した式で、鋼管で横補強されたコンファインドコンクリートの強度のみならず、式中の  $t$  と  $B$  をそれぞれ帯筋の直径と有効横支持長さ [6] に置き換えるだけで、帯筋で横補強されたコンファインドコンクリートの強度を評価することもできる。

#### 4.3 下り勾配係数 $D$

応力-ひずみ関係曲線の下り勾配係数  $D$  として、(4) 式の実験式を提案する。

$$D = \alpha + \beta f_c' + \gamma \frac{\rho_n f_{ty}}{2} \left( \frac{t}{B} \right) \quad (4)$$

ここで、 $\alpha$  ( $=2.00$ )、 $\beta$  ( $=-1.81 \times 10^{-3}$ )、 $\gamma$  ( $=0.225$ ) は実験結果に基づいて定められた係数である。(4) 式右辺の第1、2番目の項と第3番目の項はそれぞれコンクリートの材質による

影響と鋼管の横補強による影響を表す。

#### 4. 4 実験結果との比較

(1), (2) および (4) 式を用いて求めた応力-ひずみ関係と実験結果との比較を図5に示す。図中の実線は実験結果を, 一点鎖線は解析結果を表す。また, 参考のためにManderらの提案式で求めた応力-ひずみ関係を図中に破線で表す。なお, 各コンクリート強度の4体の試験体に関する実験結果のばらつきが小さいことから, 比較にあたっては, 代表的な1体を選んで比較を行っている。

図5から, 著者らの提案式は, いずれの試験体に対しても, 実験結果を大変位まで良く表していることが分かる。一方, Manderらの提案式の方が, 低強度コンクリートを用いた試験体の実験結果を良く表しているものの, 高強度コンクリートを用いた試験体の実験結果との対応はあまり良くない。

#### 5. 結論

正方形鋼管で横補強されたコンクリート短柱の中心圧縮実験を行い, 次の結論を得た。

1) コンファインドコンクリートの強度に関して(2)式で与えられる実験式を得た。(2)式により既往の実験結果も精度よく評価できる。なお, (2)式は帯筋で横補強されたコンクリートの強度も統一的に評価することを考慮に入れて構成した式である。

2) コンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係を表す実験式として(1), (2)および(4)式を得た。

<謝辞> 本実験を行うにあたって, 九州大学助手光山裕朗, 文部技官藤原文夫, 青木治, 津賀山健治, 久島昭久諸氏のご協力を得た。ここに深く感謝します。

#### 参考文献

- 1) Tomii, M., et al: Ultimate Moment of Reinforced Concrete Short Columns Confined in Steel Tube, Proceedings of Pacific Conference on Earthquake Engineering, Vol. 2, New Zealand, August 1987, pp.11-22.
- 2) 富井政英・崎野健治・孫玉平ほか: 薄肉鋼管で横補強された鉄筋コンクリート短柱の繰返し曲げせん断性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.2, 1989, pp.513-518.
- 3) 松村, 伊藤: 角形鋼管に充填されたコンクリートの圧縮強度, 日本建築学会大会梗概集, 平成元年10月
- 4) 崎野, 孫: 正方形鋼管横補強RC短柱の曲げ耐力に関する研究, 日本建築学会大会梗概集, 平成2年10月
- 5) 崎野, 孫: 正方形鋼管で横補強されたコンクリートの中心圧縮性状に関する実験的研究, 日本建築学会九州支部研究報告第9号, 平成3年3月
- 6) Sheikh, S.M., et al: Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.108, No.ST12, Dec.1982, pp.2703-2722.