

論文

[2090] 正方形鋼管と直線型帯筋で二重に横拘束したコンクリートの圧縮性状に関する実験的研究

山川 哲雄*

1. 序

著者は正方形鋼管と直線型帯筋で二重に横補強したコンクリートの圧縮性状に関する実験を行い[1], これらの実験結果を直線型横補強材により横拘束されたコンファインドコンクリートに関する既存の圧縮強度式や, 応力-ひずみ曲線式[2-5]に基づく計算結果と比較検討した. その結果, 鋼管と帯筋で二重に横補強したコンクリートの圧縮強度に関して, 横拘束効果を考慮した鋼管と帯筋による単純累加強度がほぼ成立することを明らかにした[1]. その中で, 帯筋に含まれる中子筋が横補強材としての横拘束効果を, 最も有効に発揮していることがわかった. さらに, 同じ横補強材量であれば鋼管と帯筋で二重に横補強した方が鋼管のみより, 圧縮強度もねばりも改善されることが計算より推定された[1]. したがって, 本研究では中子筋の横拘束効果や, 計算より推定された上記の結果を, さらに実験的に検証することが主なる研究目的である.

2. 実験概要

試験体の断面形状は25cm×25cmの正方形とし, 全高さは50cmである. 本研究では, 正方形鋼管と直線型帯筋によるコンファインドコンクリートの横拘束効果を実験的に検証することが, 主な研究目的であるがゆえに主筋を配筋していない. ただし, 帯筋の間隔とその形状を一定に保つためや, モールドゲージを垂直に支持するために, 補助筋としてD6を4本ないし8本配筋している(表-1, 図-1参照). 試験体は表-1に示すように, コンクリートのみの試験体,

直線型帯筋のみで横補強した試験体, 正方形鋼管のみで横補強した試験体, これらの帯筋と鋼管で二重に横補強した試験体の4種類を計画した. 表-1では低強度コンクリートシリーズのみ表記しているが, 試験体名のLをそのまますべてHで置き換えれば, それらは高強度コンクリートシリーズを示す. 両者はコンクリート強度を除いてまったく同一であり, それぞれ17体づつあり, 合計34体である. 表-1で試験体名のT3L4, T3H4と, T6L-0, T6H-0はそれぞれ横補強鋼材量がほぼ同じ試験体である. T3L4, T3H4は3.2mm厚の鋼管($P_s=5.1\%$)と帯筋($P_s=4.2\%$)で二重に横補強された試験体($P_s=9.3\%$)であり, T6L-0, T6H-0は6mm厚の鋼管($P_s=9.4\%$)のみで横補

表-1 試験体の断面一覧表 (低強度のみ表示)

	帯筋なし	帯筋あり		
		$\rho_s = 2.2\%$ (@60mm) $\rho_s = 2.9\%$ (@25mm)	$\rho_s = 3.2\%$ (@40mm)	$\rho_s = 4.2\%$ (@30mm)
鋼管なし	RCL-0 (3)	RCL-2 (2)	RCL-3 (2)	
鋼管	T3L-0 (2)	T3L-3c	T3L-3	T3L-4(2)
	T6L-0 (2)	T6L-3c	T6L-3	
備考	RC: 鋼管なし T3: 正方形鋼管 □-250×250×3.2 T6: 正方形鋼管 □-250×250×6 L: 低強度のコンクリート $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ($\sigma_{CB}^0 = 211 \text{ kg/cm}^2$) H: 高強度のコンクリート $F_c = 390 \text{ kg/cm}^2$ ($\sigma_{CB}^0 = 438 \text{ kg/cm}^2$) 0, 2, 3, 3c, 4: 帯筋の体積比 (%) (2), (3): 同一断面で, かつ同一配筋の試験体数を表し, その他はすべて1体づつである.			

*琉球大学助教授 工学部建設工学科・工博(正会員)

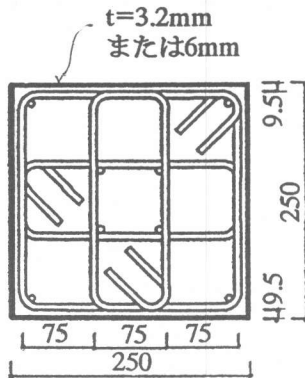


図-1 試験体の断面詳細図

表-2 鋼管及び鉄筋の力学的性質

鋼管の種類	B / t	σ_y (kg/cm ²)	σ_y (%)	σ_E (10 ⁶ kg/cm ²)
鋼管	250×250×3.2	78	2940	0.20
	250×250×6	42	3369	0.18
鉄筋 (D6)	---	4130	0.22	1.88

表-3 コンクリートの力学及び材料的性質

設計基準強度 F_c (kg/cm ²)	$c\sigma_B$ (kg/cm ²)	$c\epsilon_1$ (%)	cE (10 ⁶ kg/cm ²)	水セメント比 (%)	スランプ値 cm
210	211	0.28	2.20	64	12.1
390	438	0.27	2.91	35	15.5

注1) 粗骨材の最大寸法は13mm, $c\epsilon_1$ は $c\sigma_B$ 時のひずみ

注2) 混和剤としてAE減水剤(遅延形)混入

強された試験体である。ほぼ同じ横補強鋼材量からなるこれらの試験体は、鋼管と帯筋で二重に横補強した方が、鋼管単独よりも強度やじん性において効果的であることを検証するために用意された試験体である。そのほか、鋼管と帯筋で二重に横補強した試験体では、外周筋より中子筋による横補強効果がやや大きいことが前回の実験でわかっていたので[1]、ほぼ同じ帯筋量 ($\rho_s \approx 3\%$) を中子筋のみで配筋した試験体(表-1のT3L-3c, T6L-3cなど)も用意した。この実験の目的は、鋼管と帯筋で二重に横補強する場合、帯筋はすべて中子筋として配筋した方が望ましいかどうかを検証することにある。

実験変数としてコンクリート強度(コンクリートの設計基準強度 $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ と 390 kg/cm^2)、帯筋比(体積比 $\rho_s \approx 3\%$ と 4%)、正方形鋼管の幅厚比 ($B/t = 250/3.2 \approx 78$ と $B/t = 250/6 \approx 42$) を採用した。試験体に用いた鋼管、鉄筋の引張試験結果を表-2に整理して示す。コンクリート ($\phi = 10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱供試体) の圧縮試験結果(平均値)及び材料的性質を表-3に示す。

载荷は単調载荷で、一端固定、他端ピンの境界条件で500ton試験機を使用して行った。本供試体に用いられた鋼管は横補強材であるので、コンクリート部分のみ载荷した。平均軸方向圧縮ひずみが6%になるまで単調に载荷した。これらの平均軸方向圧縮ひずみは、上下端の载荷板(剛体とみなす)の約50cmの検長区間で、かつ東西南北の各面に取り付けた4台の変位計で測定し、これらの平均値を採用した。さらに比較検証のため、断面中央に配筋した対角線方向の一对の補助筋を支柱に、モールドゲージ(検長45mm)を試験体中央部に2個埋めこんだ。

3. 実験結果と各提案式の比較検討

変位計による平均圧縮ひずみと、モールドゲージによる局所圧縮ひずみに関する実験結果を図-2に示す。図-2より、初期剛性も含めて、両者のひずみはほぼ一致していることがわかる。ただし、RC試験体(帯筋横補強)のうち、高強度コンクリートを用いたRCHシリーズで、圧縮強度に達した後の下り勾配に若干の差異が生じている。

横補強形式が異なる同一横補強材量に対するコンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線の実験結果と、各提案式による計算結果を図-3に示す。提案式はプレーンコンクリートの圧縮強度に、鋼管および帯筋の横拘束効果によるコンクリートの圧縮強度上昇分を単純累加で求めた[1]。応力-ひずみ曲線はコンファインドコンクリートに対する既存の提案式[2,5]をそのまま準用した。そのためにか、図-3に示すように剛性や最大強度時のひずみに、実験と計算結果で

は差異が生じているようである。この点に関しては、今後の検討課題である。図-3より、同じ横補強鋼材量であれば鋼管と帯筋で二重に横補強した方 (T3L-4, T3H-4) が、鋼管のみ (T6L-0, T6H-0) より圧縮強度もねばりも改善されることがわかる。ただし、二重横補強法による試験体では圧縮ひずみがかかり進行したレベルで圧縮強度に達する傾向にある。この点ではひずみ進行が小さいレベルで圧縮強度に達し、その強度をひずみが進行してもそのまま維持できるようにさらに改善することが望ましい。横補強材に関しては中子筋による横拘束効果が前回の実験[1]と同様に、今回の実験においても図-4に示すように顕著にあらわれた。すなわち、コンファインドコンクリートの圧縮ひずみが小さい段階から、中子筋の引張りひずみが顕著にあらわれている。

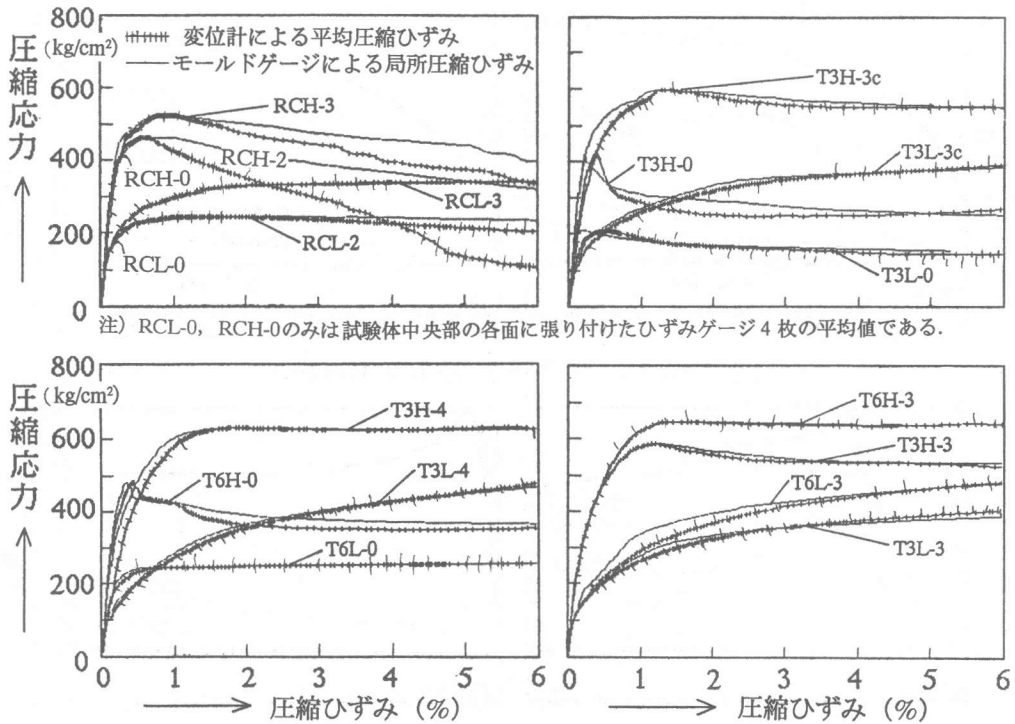


図-2 変位計による平均圧縮ひずみとモールドゲージによる局所圧縮ひずみの比較

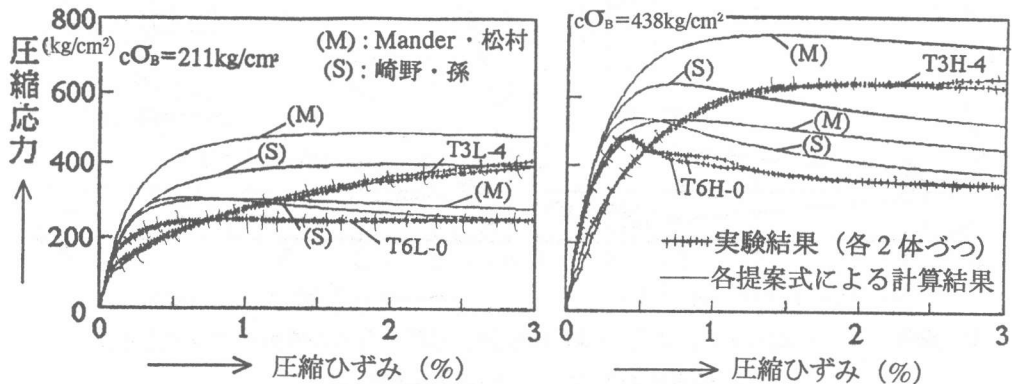
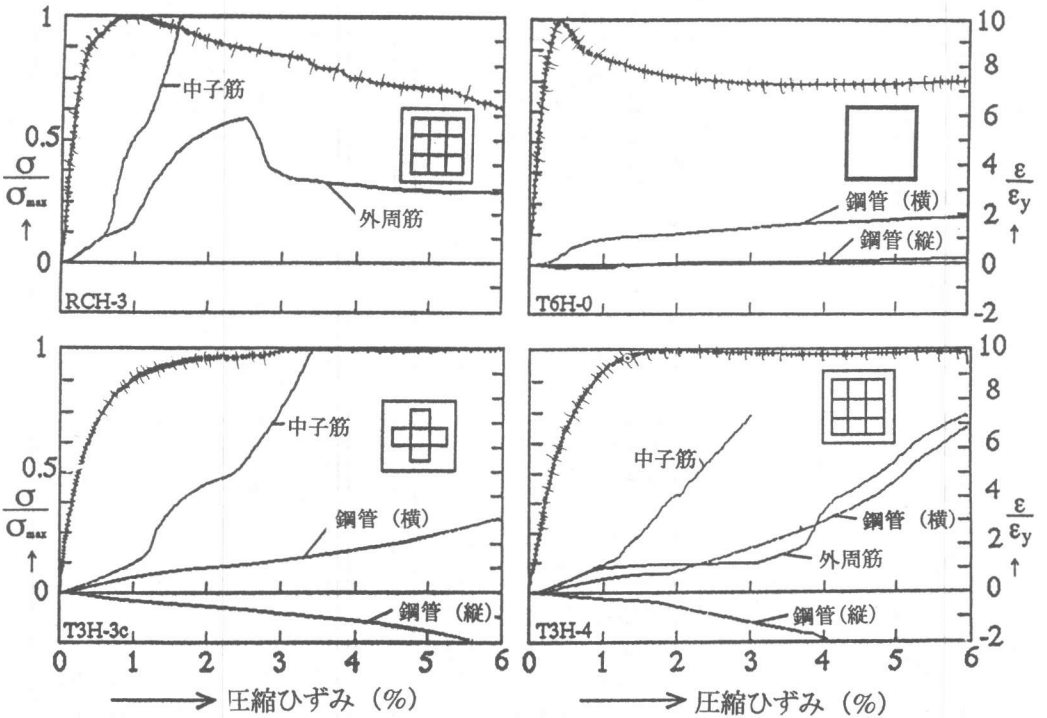
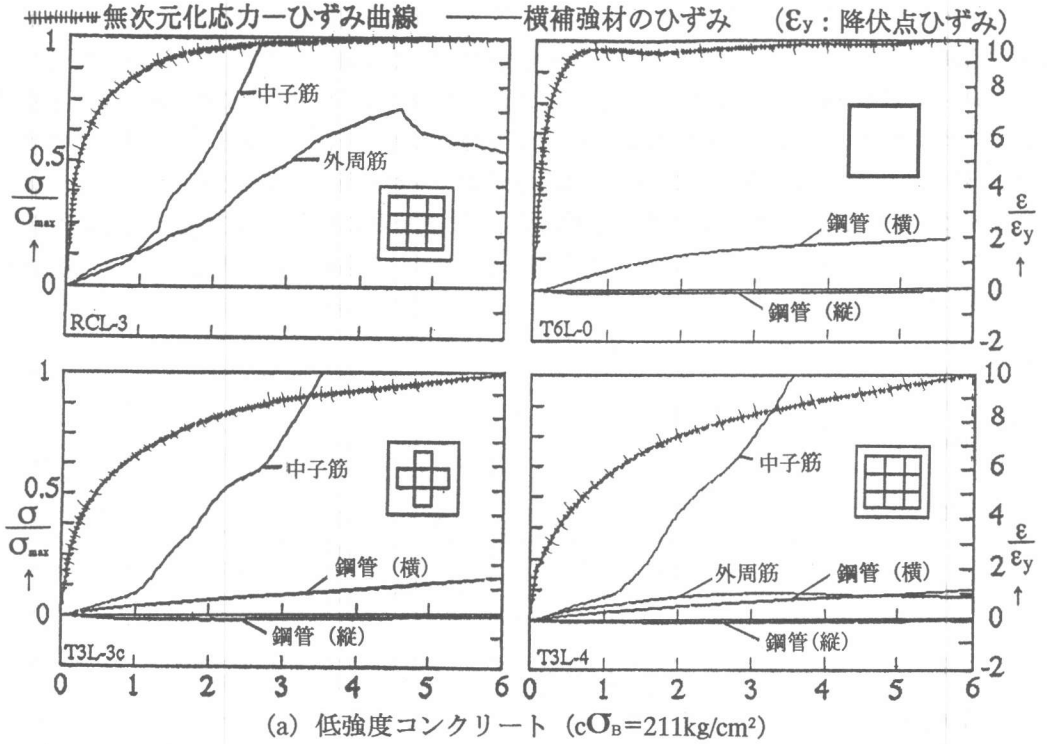


図-3 横補強形式が異なる同一横補強材量に対するコンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線実験結果と各提案式による計算結果



注) 鋼管 (縦) は荷重方向, 鋼管 (横) は帯筋と平行方向の鋼管のひずみである。

(b) 高強度コンクリート ($c\sigma_B=438\text{kg/cm}^2$)

図-4 コンファインドコンクリートの無次元化応力-ひずみ曲線に対する横補強材のひずみに関する実験結果

また、荷重方向の鋼管のひずみである鋼管（縦）が負のひずみ（圧縮）になっていることは、鋼管と圧縮応力下にあるコンクリートとの付着に起因している。

帯筋形式が異なる同一横補強材量に対するコンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線

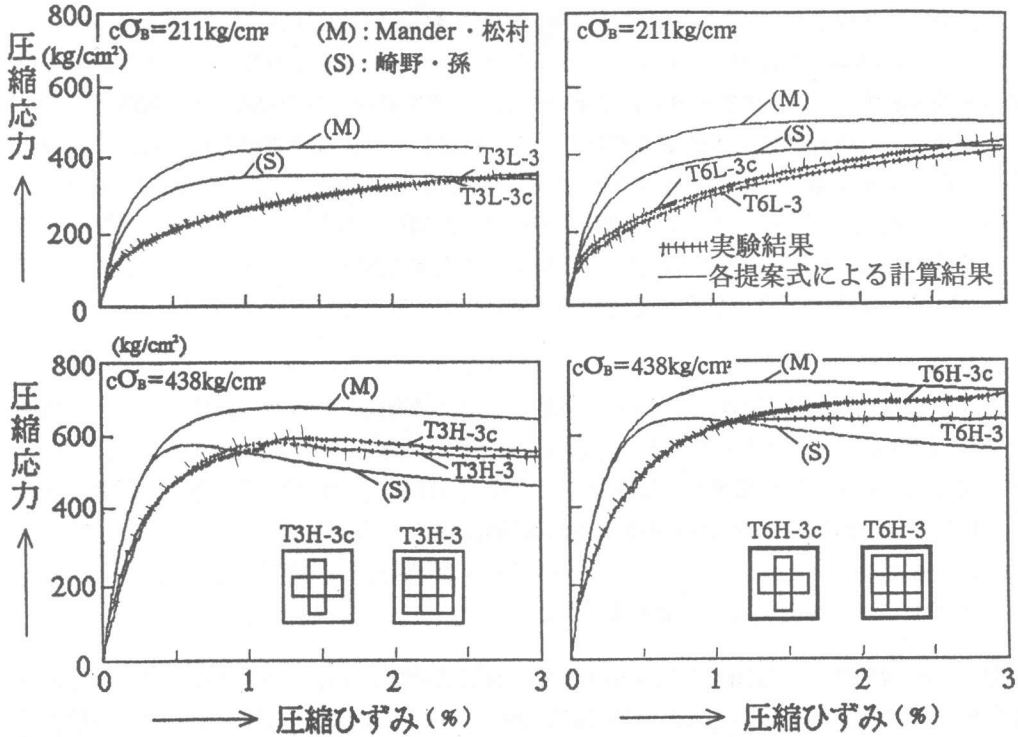
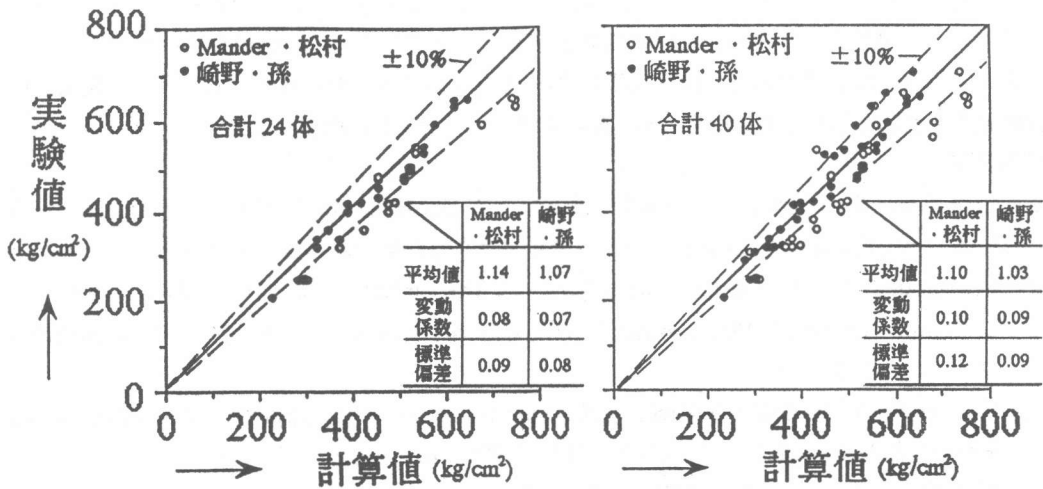


図-5 帯筋形式が異なる同一横補強材量に対するコンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線の実験結果と各提案式による計算結果



(a)1992年度の試験体

(b)1991年度+1992年度の試験体

図-6 横補強材を用いたコンファインドコンクリートの圧縮強度に関する実験値と計算値の比較

の実験結果と各提案式による計算結果を図-5に示す。図-5に示した試験体は表-1において、帯筋量が $P_s \approx 2.9\%$ の試験体 T3L-3c, T3H-3c と、 $P_s \approx 3.2\%$ の試験体 T3L-3, T3H-3 である。これらの試験体の帯筋量はほぼ同じであるが、前者は中子筋のみ（帯筋間隔25mm）で、後者は中子筋と外周筋からなる通常の帯筋（帯筋間隔40mm）で構成されている。図-5より、両者の間には顕著な差異は認められないが、中子筋のみが圧縮強度もじん性もやや有利な傾向にある。

図-6には横補強材を用いたコンファインドコンクリートの圧縮強度に関する実験値と計算値の比較を示す。これらのデータには横補強材として帯筋のみ、鋼管のみ、及び鋼管と帯筋で二重に横補強した3種類の試験体が含まれている。ただし、二重に横補強した試験体のうち、中子筋のみの実験結果（T3L-3c, T6L-3cなど表-1参照）は既存の提案式を適用できないので、除かれている。1992年度、すなわち本実験データ（24個）のみならず、これらの実験データに1991年度の実験データ（16個）[1]を加えた結果も合わせて図-6に示す。図-6より、崎野・孫式がMander・松村式より実験値をややよく表現しているようである。

4. 結論

- 1) 同じ横補強鋼材量であれば、鋼管と帯筋で二重に横補強した方が、鋼管のみより圧縮強度もねばりも、ともにより向上することが、実験及び計算より明らかになった。
- 2) 鋼管と帯筋で二重に横補強する場合、同じ横補強鋼材量であれば帯筋を中子筋のみで配筋した方が、強度とじん性がやや改善される傾向にあるようである。
- 3) 横補強材を用いたコンファインドコンクリートの圧縮強度を推定するには、崎野・孫式の方がMander・松村式よりやや精度がよい。

謝辞：本研究は旭硝子財団の平成4年度奨励研究助成金で取り行ったものである。さらに、本研究の一部は平成4年度の琉球大学特定研究費によった。本実験は九州大学の500ton構造実験室で行い、数々の便宜と相談にのっていただいた九州大学教授・崎野健治博士、また本実験に多大なご協力をいただいた九州大学文部技官・藤原文夫、川口晃の皆様心から感謝の意を表します。試験体製作に多くのご支援とご協力をいただいた金秀建設（株）、沖縄県生コンクリート工業組合、大城物産の関係各位に厚くお礼を申し上げます。また、本研究を1992年度の卒業研究として、真剣に取り組んでくれた琉球大学4年生・佐藤旅人、豊原幹の両君、及び実験及び解析に協力をお願いした玉城康哉君（現・琉球大学大学院学生）に感謝します。

引用文献：

- 1) 山川 哲雄, 崎野 健治: "正方形鋼管と帯筋で二重に横拘束したコンクリートの中心圧縮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, 第14巻, pp.345-350, 1992. 6
- 2) J.B.Mander, M.J.N. Priestley and R.Park: "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete" ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.114, No8, pp.1804-1826, Aug.1988
- 3) 松村 弘道, 伊藤 茂樹: "角鋼管に充填されたコンクリートの圧縮強度", 日本建築学会大会学術講演梗概集C(熊本), pp.1627-1628, 1989. 10
- 4) 崎野 健治, 孫 玉平: "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", コンクリート工学年次論文報告集, 第13巻, pp.945-950, 1991. 6
- 5) 崎野 健治, 孫 玉平: "高軸力を受ける正方形鋼管横補強RC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, 第14巻, pp.319-324, 1992. 6