

論 文

[2045] 被覆角形鋼管でコンクリートを拘束した X 形配筋の
合成柱の耐力と靱性

正会員 ○南 宏一 (大阪工業大学工学部)
正会員 佐々木良一 (摂南大学工学部)
正会員 若林 実 (日本建築総合試験所)

1. はじめに

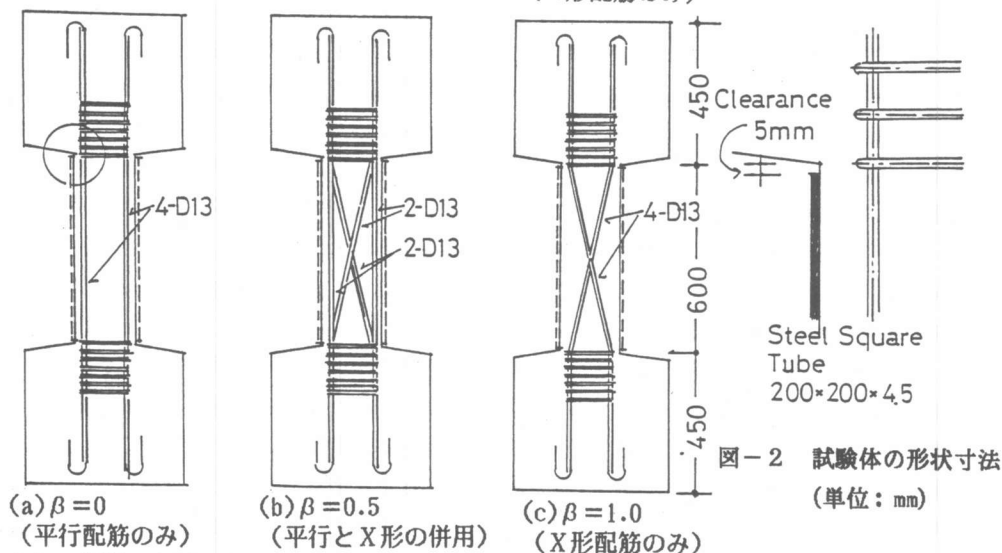
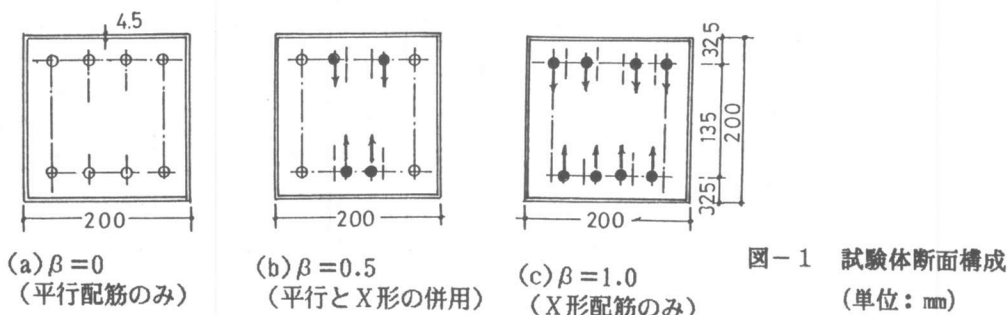
鉄筋コンクリート短柱のぜい性的な破壊を防止するために高密配筋の帯筋のかわりに、角形あるいは、円形の鋼管を外側に被覆する方法が、富井、崎野らによって提案され、そのような構造の柱は、高せん断力に対して優れた性能を持つことを指摘している(1)~(3)。この構法の特徴は、被覆鋼管は柱体のみに設け、柱端からの圧縮・曲げ・せん断が直接的に鋼管に伝達されないように、鋼管部分を絶縁しているところにある。しかしながらこの方法は、森下らの実験で見られるように、鋼管で拘束されたコンクリートに配筋された主筋はすべりを生じ、そのために柱材としては、くり返しによる耐力の劣下は小さくても、その履歴曲線を安定した紡錘形に改善することは困難であることを示している(4)。

一方、高圧縮力を受けるコンクリート部材の性能を改善するために、円形鋼管を用いてコンクリートを拘束する試みは、佐藤らによってなされている(5)。この構法の特徴は、被覆鋼管に材軸方向の応力が生じて、鋼管の局部座屈が発生しないように、鋼管コンクリートの界面に 0.2" 厚の分離材を介在させて、アンボント状態にしていることである。一方、このような試みに対して、通常の鉄筋コンクリート短柱のせん断破壊を防止する極めて有効な方法として、主筋の配筋を X 形配筋とすることが筆者らによって提案され(6)、最近では、実用的な構法として普及する状況にある。この高せん断力に対して高性能をもつ X 形配筋柱を、高圧縮力を受ける部材に適用して、必要な性能が得られるかどうかを実験的に検討したが、高圧縮力を受ける場合には、平行配筋の鉄筋コンクリート部分を帯筋によって拘束し、圧縮力に対するじん性を高めることによって高せん断に抵抗する X 形配筋の特色が生かされることが明かにされた(7)。

そこで、筆者は、高圧縮力に対してコンクリートを被覆角形鋼管で拘束する効果と、高せん断力に対して、せん断補強筋を必要としない X 形配筋のもつ効果を組み合わせて、高圧縮力と高せん断力に対して超高性能をもつ構法として、本論文で提案する「被覆角形鋼管でコンクリートを拘束した X 形配筋の合成柱」を考案した。この合成柱が予想する高性能が得られるかどうか、9 体の試験体を用いて実験的な検討を行ったが、本論文は、その内容を報告するものである。

2. 実験計画

被覆鋼管を用いた X 形配筋柱の高軸下の基本的な性状を調べるために、X 形主筋比 β ($=d_a t/a_t$, $d_a t$: 引張 X 形主筋断面積, a_t : 全引張主筋断面積) と、作用軸力比 n ($=N/bD F_c$) を実験変数として実験計画をたてた。X 形主筋比 β は 0、0.5、および 1.0 の 3 種類、作用軸力比 n は 0.2、0.4、および 0.6 の 3 種類で、計 9 体の試験体を計画した。被覆鋼管として角形鋼管を選び、公称寸法 $\square-200 \times 200 \times 4.5$ を用いたが、これは、市販されている鋼管で、入手が比較的容易なもののうち、板厚の最も薄いものから選んだためである。この被覆鋼管はコンクリートの拘束のために機能させることを目的とするために、鋼管と試験体定着部の材端部の間には 5" のクリアランスを設け、直接的に、軸方向応力が鋼管に作用しないようにした。



また、鋼管の内側とコンクリートとの間は、自然付着の状態にし、文献 5 に示されるような、アンボンドの状態には、あえてしないことを計画の基本とした。

3. 実験

試験体の断面構成および試験体の形状寸法を図-1、図-2 に示す。全主筋量としては 8-D13 を用いており、 $\beta = 0$ の平行配筋のみのものは、 $P_t = 1.49\%$ とした。柱体部には帯筋は一切設けていないが、定着部では平行主筋、および X 形主筋の定着を確実にするために、 4.5ϕ の補強筋を 25° 間隔で配筋した。

柱体部の長さは 60° としたが、図-2 に示すように鋼管と材端部との間にクリアランスを 5° 設けるために、鋼管の長さは 590° とした。柱端部には鉄筋コンクリート製の定着ブロックを設け、そのブロック部に、鋼製の載荷用治具を取りつけて、逆対称の曲げ・せん断を加力した。

表-1 にコンクリートの実験時の圧縮強度および、作用圧縮力の大きさを示す。鋼管口 $200 \times 200 \times 4.5$ の実測寸法は外径 200.4° 板厚 4.1° で、その引張応力度 σ_y は 3600 kgf/cm^2 である。平行および X 形主筋に用いた D13 の引張降伏応力度 σ_y は 3750 kgf/cm^2 である。

4. 破壊状況

本試験体の柱体部の大部分は鋼管で被覆されているので、内部のコンクリートの破壊状況は、外観からは観察できなかった。そこで、実験終了後、被覆鋼管をガス切断によって取り除いた後、内部のコンクリートの程度を観察した。主筋の配筋状況、および作用軸力の大きさのいかんにかかわらず、内部コンクリートには、図-3 に示すように、材端部の曲げと平行あるいは、X 形主筋に沿う付着割裂による微細なひび割れ幅をもつひび割れが生じているだけで、高圧縮力を受け

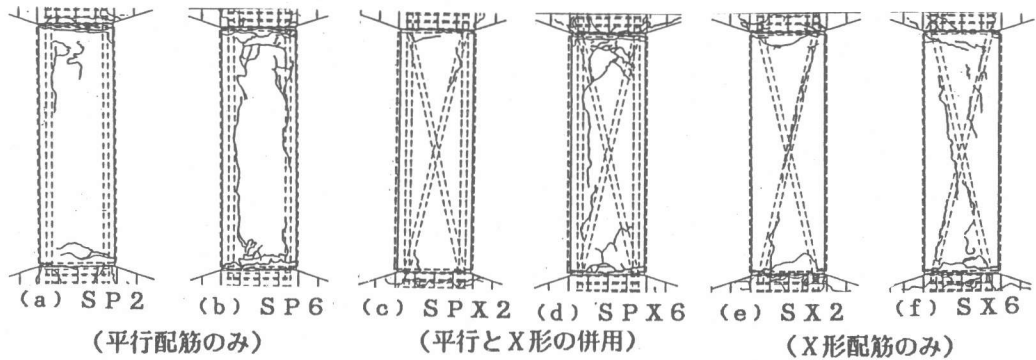


図-3 実験終了後の内部コンクリートの損傷

る $n=0.6$ の試験体でもコンクリートの圧壊は認められなかった。

なお、作用軸力比が $n=0.4$ と 0.6 の試験体では、柱部材角が $R=3\% \text{ rad.} \sim 4\% \text{ rad.}$ になると、材端部の鋼管に局部座屈が生じているが、これは、材端部にクリアランスを設けた鋼管がコンクリート定着部に接触したためである。

5. 履歴曲線

各試験体の履歴曲線を図-4に示す。縦軸はせん断力 Q (単位 tf)、横軸は柱部材角 R (単位、 10^{-2} rad.) を表す。図中の点線は転倒モーメントの影響をあらわし、 Q_{u1} 、 Q_{u2} は後述の理論耐力を示す。

履歴曲線の全般的な傾向として認められるのは、このような被覆鋼管を用いた鉄筋コンクリート柱は、主筋の配筋状況、および作用軸力の大きさのいかんにかかわらず本実験の最終変位振幅である $R=5\% \text{ rad.}$ に達しても、その耐力低下が見られないことである。被覆鋼管を帯筋の代わりに使用した柱がじん性に優れていることは、富井、崎野らによって指摘されているところであり、このような補強法は、高じん性を必要とする柱に用いることは有効である。

この柱に対する作用軸力の影響は、 $n=0.6$ までの範囲であれば、主筋の配筋状況のいかんにかかわらず作用軸力が増加するにしたがって耐力は増加する傾向を示している。それに対して主筋の配筋状態を変数とした場合、その履歴曲線の形状に著しい差違を示すことがわかる。すなわち、平行配筋のみ ($\beta=0$) の試験体では、作用軸力の大きさのいかんにかかわらず、逆S字形の履歴曲線を示し、平行配筋法では、いかに高密度にコンクリートの拘束を行っても、その履歴曲線の形状を紡錘形に改善することは、極めて難しいことを示している。これは、図-3に示したように内部コンクリートが主筋に沿って、ひび割れを持ち、そのために主筋がすべりやすくなることに原因がある。一方、全主筋をX形配筋とした ($\beta=1.0$) 場合には、文献(6)などに示したように、X形主筋そのものには、付着力を必要としないので、作用軸力の大きさのいかんにかかわらずその履歴曲線は、紡錘形の安定した形状を示しており、今回の実験では作用軸力が最も大きい $n=0.6$ の試験体の履歴性状が9体の試験体のなかで最も秀れており、この高圧縮力を受ける被覆鋼管を用いたX形配筋柱の特色がみられる。

6. 終局耐力の評価

曲げ・せん断を受ける被覆鋼管を用いた平行あるいはX形配筋柱の終局耐力を検討するために、逆対称加力を受けるコンクリートの耐力の評価に対して、文献(8)による図-5に示すようなモデルを考えた。すなわち、このような構造のコンクリート部分のせん断伝達機構の大部分は、ア

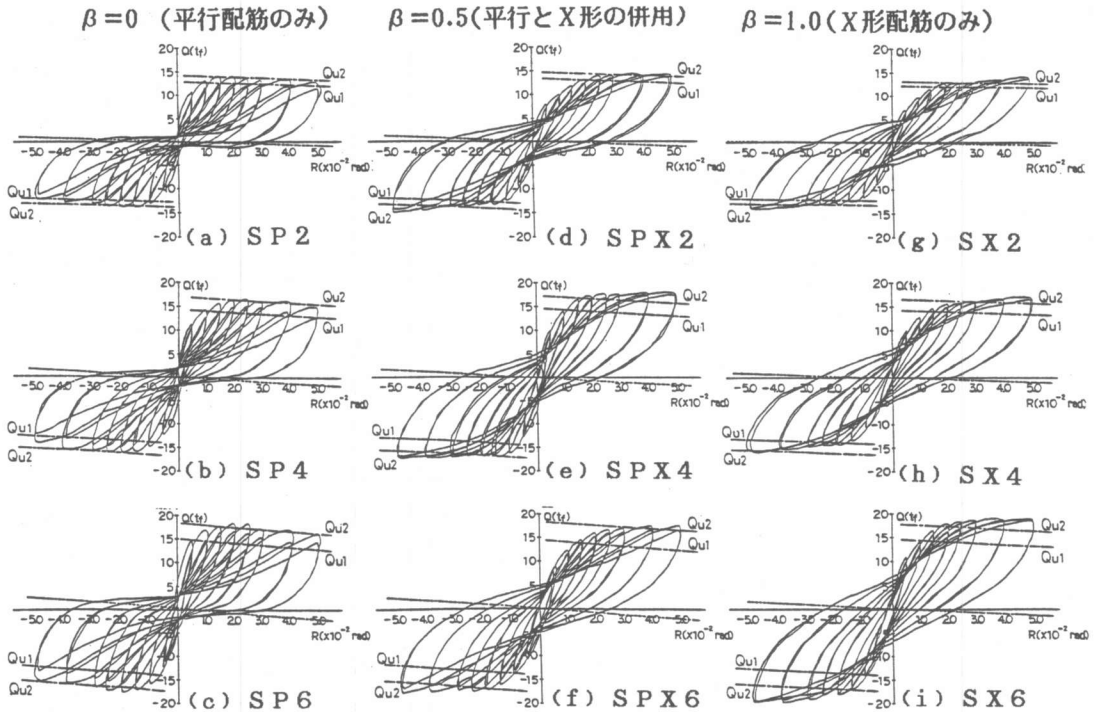


図-4 履歴曲線

一チ機構によると考えて良いが、そのアーチ機構による耐力の評価に対して、対角線状にコンクリートが直接的圧縮される場合に、局部支圧としての効果を発揮できるように、その被覆鋼管は機能するものとする。従来のアーチ機構に用いられる一様な圧縮場に対するモデル1におけるコンクリート部分のアーチ機構による耐力は

$$\sigma_q = \frac{1}{2} [\sqrt{(\eta^2 + 4cn - 4cn^2)} - \eta] \quad (1)$$

として表される。ここに、 $\sigma_q = Q/bDF_c$ 、 $cn = N/bDF_c$ 、 $\eta = L/D$ である。一方、モデル2のように、柱中央部では、柱全断面が一様に、コンクリート圧縮強度 F_c で圧縮されているときに、柱端部では、部分的な圧縮域のコンクリートの圧縮応力度 σ が

$$\sigma = \frac{F_c}{\sqrt{k \cdot \cos \theta}} = \frac{F_c}{\sqrt{k}} \cdot \frac{\eta}{\sqrt{\eta^2 + (1-R)^2}} \leq 2F_c \quad (2)$$

として表されるものとする、そのときの終局耐力は

$$\sigma_q = \frac{1}{2} \sqrt{4 + \left(\frac{n}{cn}\right)^2 - 4cn^2} - \left(\frac{\eta}{cn}\right) \quad (3)$$

ただし

$$\sigma_q \leq \sqrt{(\eta^2 + 2cn - cn^2)} - \eta \quad (4)$$

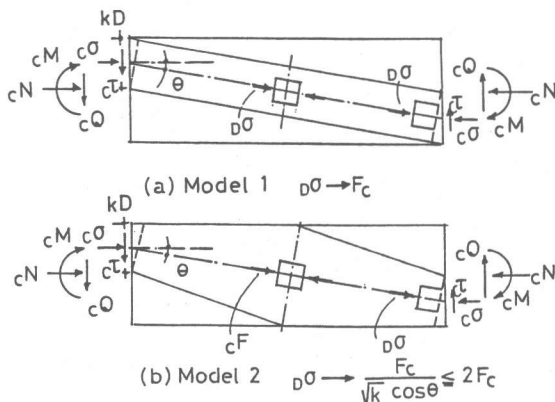


図-5 局部支圧を考慮した内部コンクリートの抵抗モデル

としてあたえられる。モデル1 (式(1)) およびモデル2 (式(3)、(4)) によるコンクリート部分の耐力のみを表した一例を図-6に示すが、このような局部支圧効果を導入すると、 $n=0.5$ の値のときのその耐力が、一様な圧縮場のものに比して最も大きくなることを示している。

一般化累加強度理論を適用して、このコンクリート部分の耐力に、主筋部分の耐力を累加して、その耐力を求めたが、その際の終局耐力時の軸力相互結果—せん断力の図の一例を図-7に示す。

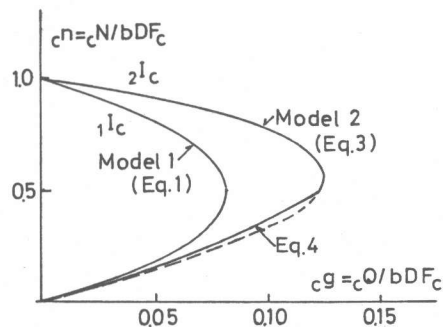


図-6 局部支圧による内部コンクリートの耐力増加状況

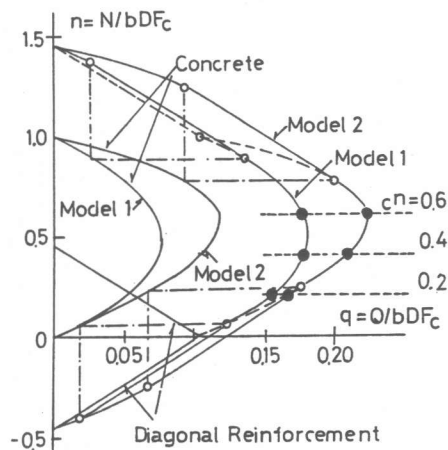


図-7 軸力—せん断相互作用図

表-1 終局耐力に関する実験値と計算値

試験体	コンクリート 強度	作用 軸力	実験値		計算値		$\frac{Q_{max}}{Q_{u1}}$		$\frac{Q_{max}}{Q_{u2}}$	
			$Q_{max}(tf)$		$Qu1(tf)$	$Qu2(tf)$	正荷重	負荷重	正荷重	負荷重
			$F_c(kgf/cm^2)$	$N(tf)$						
SP2	233	17.2	14.26	14.07	12.80	13.83	1.11	1.09	1.03	1.02
SP4	203	34.0	17.47	16.95	14.30	17.02	1.22	1.18	1.02	0.99
SP6	224	49.9	19.46	18.61	14.75	18.05	1.39	1.26	1.07	1.03
SPX2	240	19.6	15.33	15.88	13.36	14.50	1.14	1.18	1.05	1.09
SPX4	223	32.9	19.38	18.78	14.73	17.20	1.31	1.27	1.12	1.09
SPX6	211	46.7	19.87	20.31	14.40	17.90	1.37	1.41	1.11	1.13
SX2	211	15.6	14.85	14.65	12.40	13.34	1.19	1.18	1.11	1.09
SX4	212	31.3	18.34	17.19	14.40	16.80	1.27	1.19	1.09	1.02
SX6	205	45.8	21.03	22.14	14.20	17.60	1.48	1.55	1.09	1.25

相互作用図中の●印が、モデル1およびモデル2によるそれぞれの軸力に対する理論耐力値を表しているが、図-6のコンクリート部分のみの場合と同様に、局部支圧の効果による耐力増加量は作用軸力が大きくなるほど大きくなることを、このようなモデルを用いて説明することができる。また、計算値と実験値の比較を表-1に示す。

Qu1、Qu2は、コンクリートのモデル1、モデル2にそれぞれ対応する終局耐力を表している。なお、同表の実験値 Q_{max} は、作用軸力による付加モーメントを考慮して求められた耐力である。X形主筋比および作用軸力比のいかんにかかわらず、全試験体に計算耐力の平均値はモデル1は、正荷重に対して、1.26、負荷重に対して1.25となり、モデル2では、正荷重に対して1.09、負荷重に対して1.07である。したがって、従来より提案されているようなアーチ機構に対して一様な圧縮場を考慮した機構よりも、ここで、提案するような局部圧縮の効果を考慮に入れたアーチ機構による圧縮場を用いて、この被覆鋼管を用いた、平行およびX形配筋柱の終局耐力をより適切に評価できることを示している。

7. むすび

高圧縮力と高せん断力を受ける鉄筋コンクリート柱に超高性能をあたえる構法として、角形被覆鋼管とX形配筋を組み合わせることを考案したが、このような構造をもつ柱では、作用軸力比が $n=0.6$ という高軸力に対して、柱部材角が $R=5\%$ rad. の大変形振幅においても、極めて、安定した紡錘形の履歴曲線を得ることが可能である。また、角形鋼管で被覆された曲げ・せん断を受ける平行配筋あるいはX形配筋柱の終局耐力は、アーチ機構を形成するコンクリートの局部支圧効果による耐力増加を考察することにおいてほぼ評価できることが示された。

8. 参考文献

- [1] 富井政英、崎野健治、渡辺宏一、肖 岩：鉄筋コンクリート短柱のせん断破壊を鋼管補強により防止する設計法に関する実験的な研究（その1-その4）、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和60年10月、pp. 413-420
- [2] 肖 岩、富井政英、崎野健治：円形断面鉄筋コンクリート短柱のせん断破壊を鋼管補強により防止する設計法に関する実験的研究、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、1986年6月、pp. 517-520
- [3] 肖 岩、崎野健治、富井政英：円形断面鋼管補強鉄筋コンクリート短柱の曲げ耐力および変形性状に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、9-2、1987年6月、pp. 549-534
- [4] 森下陽一、富井政英、崎野健治：鋼管で被覆補強されたコンクリートと異形鉄筋の間の付着性状、コンクリート工学年次論文報告集、9-2、1987年6月、pp. 365-370
- [5] 佐藤孝典、下戸芳寛、渡辺泰志：アンボンド型充 鋼管コンクリート構造のせん断伝達機構、コンクリート工学年次論文報告集、9-2、1987年6月、pp. 555-560
- [6] 若林 実、南 宏一：X形配筋を用いた鉄筋コンクリート柱の耐震性能について、コンクリート工学年次論文報告集、pp. 433-436
- [7] 倉本 洋、宮井清志、南 宏一、若林 実：高圧縮力を受けるX形配筋柱の耐力とじん性、第8回コンクリート工学年次論文報告集、1986年6月、pp. 821-824
- [8] 若林 実、南 宏一：鉄筋コンクリート柱のせん断破壊防止法に関する実験的研究、京都大学防災研究所年報第22号B-1、1979年4月、pp. 295-316