

[112] せん断力を受ける鉄筋コンクリート柱に対するX形配筋の有用性について

正会員 若林 實 (京都大学防災研究所)
 正会員 南 宏一 (大阪工業大学)
 正会員 ○ 久木幸雄 (川崎製鉄)
 正会員 宮内靖昌 (大阪工業大学大学院)

1. 序

筆者らは、Paulay が提案した境界ばりの主筋を筋違状に斜めに配筋する方法¹⁾(ここではX形配筋と称する)が鉄筋コンクリート造短柱のせん断破壊を防止するのに有効であることを明らかにし、前報で報告した²⁾。しかしながら、実際の構造設計では図1のように平行配筋とX形配筋が併用される場合が一般的であるので、平行配筋とX形配筋が併用されるRC柱のせん断抵抗性状について検討することが必要である。本論は、平行配筋とX形配筋の比率によって破壊モード、履歴特性およびせん断強度がどのような影響を受けるかを実験的に検討^{3),4)}し、X形配筋の有用性について述べるものである。

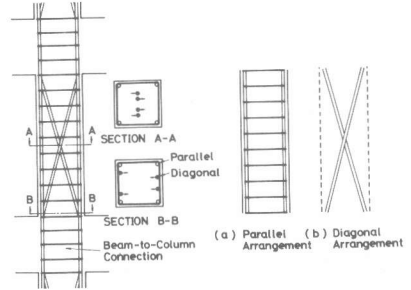


図1. X形配筋の応用

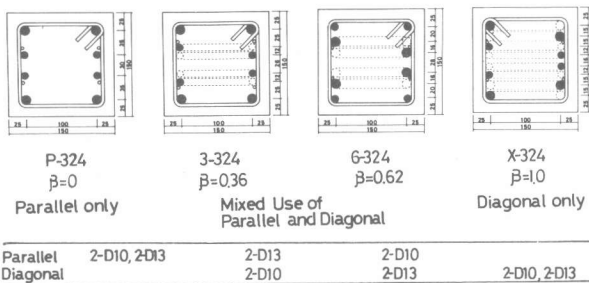
2. 実験計画

試験体は柱断面 $B \times D$ を $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 、柱長さ h を 45 cm ($h/D = 3$) とし全主筋量 ($4-D10$, $4-D13$, $P_t = 1.76\%$) および帯筋量 ($2-\phi 4.5 @ 50 \text{ mm}$, $P_w = 0.42\%$) はともに一定とした。今回の実験では、変数として全主筋の降伏引張力 T に対する斜め筋の降伏引張力 T_d の比 $\beta (= T_d/T)$ をとり、 β の値を変えた4種類計8体の試験体を計画した。図2に試験体断面を、図3に試験体の形状および配筋状況を示す。なお帯筋を固定するために、曲げ抵抗に寄与しない補助筋 ($4-\phi 4.5$) を全試験体に配筋した。

3. 実験結果

破壊モード 図4に各試験体の破壊状況を示す。 $\beta = 0$ の試験体では附着割裂ひびわれおよび斜張力ひびわれが変形の増大に伴って進展し、典型的なせん断附着割裂破壊の特性を示している。これに対して、 β の値が大きくなるに従い斜張力ひびわれは成長せず、斜め筋に沿ったひびわれが若干形成されるが、材端部での曲げ圧縮破壊が卓越し、破壊モードはせん断破壊から曲げ破壊に移行している。

履歴曲線 図5および図6に履歴曲線を示す。縦軸は作用せん断力 Q を横軸は相対部材角 R を示し、図6に



$\beta = T_d / (T_d + T_p)$
 T_d : Yield Strength of Diagonal Reinforcement
 T_p : Yield Strength of Parallel Reinforcement

図2. 試験体断面 (単位; mm)

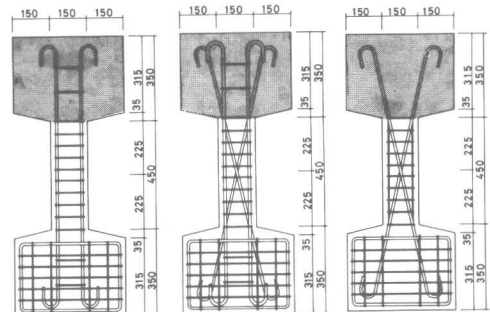


図3. 試験体の形状および配筋状況 (単位; mm)

においてハッチを施した部分は第2サイクルを、破線は単調荷重実験の履歴曲線を示す。これによると、 β の値が大きくなるに従い最大強度は増加し、さらに保有強度（最大強度の90%とする）を維持できる変形能力も増大している。また、くり返し荷重による履歴曲線においては同一変位振幅における強度低下率は小さくなり、エネルギー散逸量の大きい安定した紡錘形に近づいていることなどが観察される。

エネルギー散逸量 くり返し荷重実験の履歴曲線から得られた各試験体のエネルギー散逸量 U_k とくり返し回数 K の関係を図7に、また累積エネルギー散逸量 ΣU_k とくり返し回数の関係を図8に示す。各変位振幅におけるエネルギー散逸量は $\beta = 0$ の試験体では変位振幅のいかんにかかわらずほぼ一定値を示す傾向がみられるのに対して、 β の値が大きくなるに従い U_k は増加し、その増加量は変位振幅にほぼ比例することが認められる。最終変位振幅における累積エネルギー散逸量は $\beta = 0$ の試験体に対して、 $\beta = 0.36$ の試験体ではほぼ2倍の値を、 $\beta = 0.62$ あるいは $\beta = 1$ の斜め筋量を有するとほぼ3倍の値を示

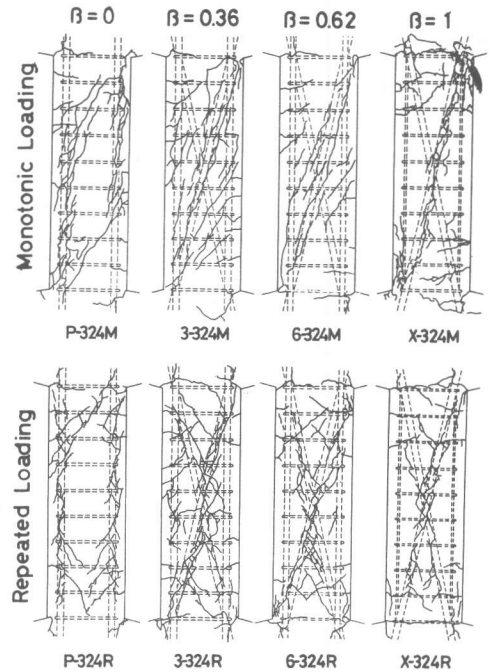


図4. 破壊状況

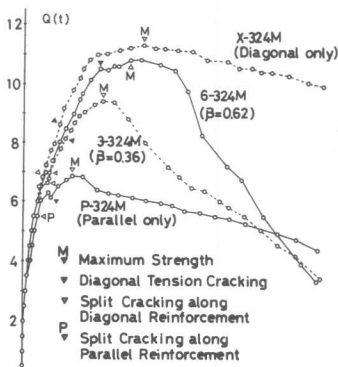


図5. 荷重-変形曲線（単調）

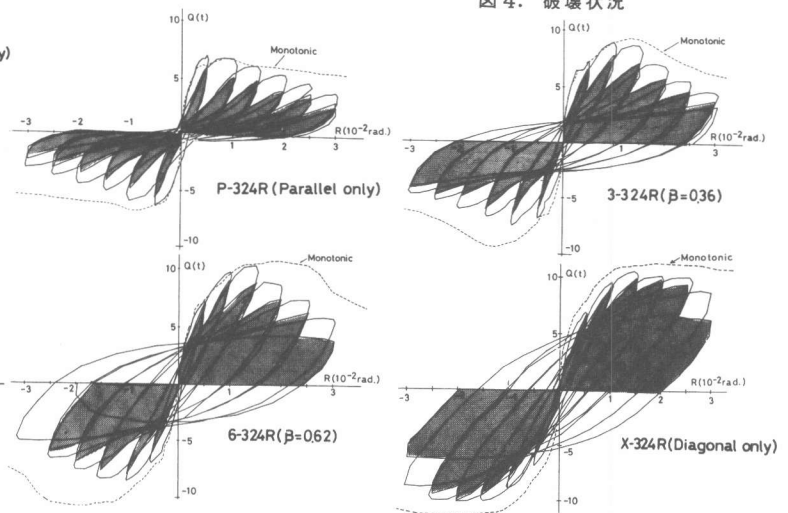


図6. 履歴曲線（くり返し）

表1. 実験計画および実験結果

Specimen	Loading	Reinforcement σ_y (kg/cm ²)			Concrete Fc(kg/cm ²)	Axial Compression		Maximum Strength		
		Main.D10	Main.D13	Web. $\phi 4.5$		N(t)	N/bDFc	Meas.	Theo.	Meas. Theo.
1. P-324M	Monotonic Loading				284	17.70	0.28	7.01	6.94	1.01
2. 3-324M					320	19.43	0.27	9.67	9.60	1.01
3. 6-324M		3482	3332	2680	311	19.01	0.27	11.2	10.0	1.08
4. X-324M					309	18.91	0.27	11.7	10.6	1.10
5. P-324R	Repeated Loading				304	18.67	0.27	7.06	6.97	1.01
6. 3-324R		3482	3332	2680	330	19.78	0.26	8.98	9.38	0.96
7. 6-324R					312	19.06	0.27	10.3	9.94	1.04
8. X-324R					278	17.57	0.28	10.4	10.2	1.02

σ_y : Yield Stress Fc : Ultimate Compressive Stress

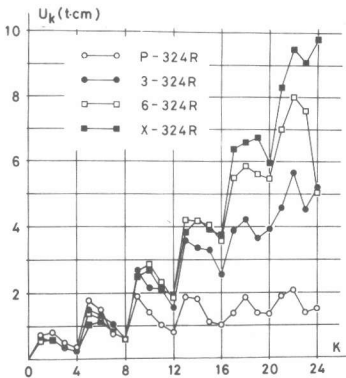


図7. エネルギー散逸量とくり返し回数との関係

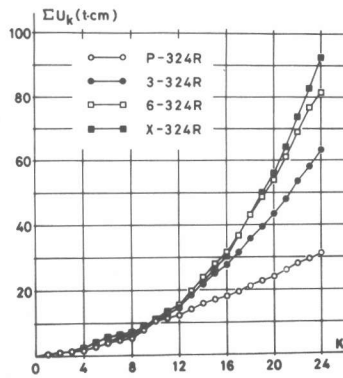


図8. 累積エネルギー散逸量とくり返し回数との関係

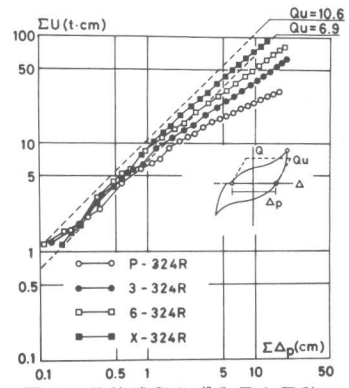


図9. 累積残留ひずみ量と累積エネルギー散逸量との関係

している。図9に各変位振幅における累積残留ひずみ量 $\Sigma \Delta_p$ と累積エネルギー散逸量 ΣU_k を対数表示したものの関係を示す。この図において、 45° の勾配を持つ直線は最大強度が Q_u でかつ完全弾塑性の履歴特性を持つ部材を示し、それ以下の勾配の場合には残留変形量の増加に対して最大強度が劣化することを意味する。図中に $\beta = 0$ および $\beta = 1$ の解析^{2) 5)}による最大強度 $Q_u = 6.9$ および 10.6 tの場合を破線で示す。 β の値が大きくなるに従い、その履歴特性はエネルギー散逸量の大きい完全弾塑性形に近づくことが認められる。

4 セン断抵抗機構の検討

せん断抵抗機構 通常の平行筋と帯筋およびコンクリートからなるRC部材のせん断抵抗機構としては、はり機構(a)とアーチ機構(b)が提案されている⁵⁾。しかしながらX形配筋の場合、主筋を斜めに配筋することによりトラス機構(c)としてのせん断抵抗機構が付加される。図10にそれぞれのせん断抵抗機構のモデルを示す。各試験体のせん断抵抗機構は、 $\beta = 0$ では(a)と(b)、 $\beta = 0.36$ および 0.62 では(a)と(b)と(c)、 $\beta = 1$ では(b)と(c)の組み合わせによって与えることができると考えられる。

斜め筋によるせん断力負担率 斜め筋端部のひずみからひずみ履歴を考慮して得られた斜め筋の負担せん断力 Q_d と全せん断力 Q との比(Q_d/Q)を図11に示す。横軸は相対部材角 R を表わし、実線は単調荷重実験破線はくり返し荷重実験を示す。さらに、斜め筋以外の機構により負担されるせん断力 Q_c ($Q_c = Q - Q_d$ 、 Q : 全せん断力)を無次元化抵抗せん断力 Q_c/bDF_c として図12に示す。これによると最大強度時までは β の値が大きいほど斜め筋以外の機構による抵抗せん断力は小さくなっているが、最大強度時では $\beta = 0, 0.36$ および 0.62 の3試験体ともほぼ同じ値を示している。したがって、主筋の一部を斜めに配筋しても他のせん断抵抗機構の効果を妨げず、全せん断力は斜め筋によるせん断抵抗力とそれ以外の機構による抵抗力の累加によって評価できることが示唆される。なお、 $\beta = 1$ の試験体の Q_c の値が小さいのはせん断抵抗機構の違いに起因するものである。

せん断強度 上記のようにせん断抵抗機構を3個のモデルの組み合わせと考え、それぞれの機構のせん断抵抗力を拡張累加強度理論に基づいて累加し、各試験体のせん断強度を算定する⁶⁾。その結果を表1に、また各試験体の破壊相関曲線を図13および図14に示す。縦軸、横軸はそ

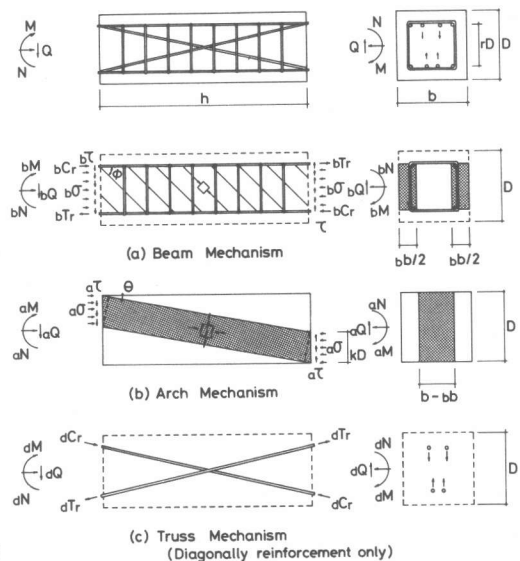


図10. セン断抵抗機構

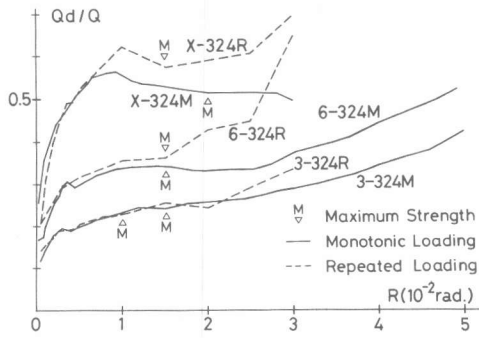


図 11. 斜め筋によるせん断力負担率

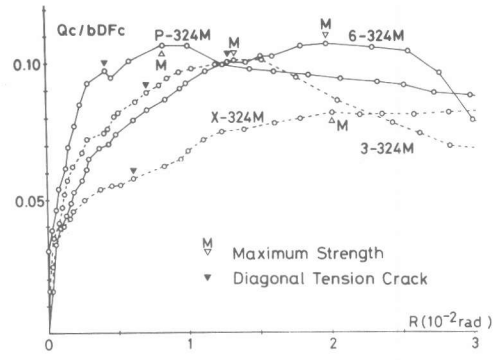


図 12. 斜め筋以外による負担せん断力(単調)

それぞれ無次元化した圧縮力 $n = N / b D F_c$ およびせん断力 $q = Q / b D F_c$ を表わし、白印は解析値を黒印は実験値を示す。実験値はこのモデルによる解析値に対して、0.96 から 1.10 の範囲にあり、X 形配筋と平行配筋を併用した R C 柱材のせん断強度は、上記の手法によって評価できるものと考えられる。

5. 結 語

主筋量および帯筋量はともに同一とし、全主筋量に対する斜め筋の比率のみを変化させて計画された実験より次のような知見を得た。

- (1) 従来の平行配筋ではせん断破壊のモードを示す部材でもその主筋の一部を斜めに配筋することにより曲げ破壊モードに移行が可能である。
- (2) 斜め筋量を多くするに従い、部材の履歴曲線をエネルギー散逸量および変形能力の大きい紡錘形に改善することが可能である。
- (3) X 形配筋を用いることにより、通常の平行配筋におけるせん断抵抗機構に斜め筋による抵抗機構が付加され、かつそのせん断強度は拡張累加強度理論によって算定することができる。

したがって、R C 柱材において帯筋量を増加させることなく主筋の一部を斜めに配筋することにより、従来の平行配筋が保有するせん断強度および変形能力を増大させることが可能であり、せん断強度およびエネルギー散逸量の検討より全主筋量の約 60% を X 形配筋とすれば耐震的にすぐれた性能が得られることが指摘される。

6. 参考文献

- 1) Paulay, T., "Simulated Seismic Loading of Spandrel Beams", Journal of the Structural Division, Vol.97, No.ST9, Sept., 1971, pp.2407-2419.
- 2) Minami, K. and Wakabayashi, M., "Earthquake Resistant Properties of Diagonally Reinforced Concrete Columns," Transactions of the Japan Concrete Institute, Vol.2, 1980, pp.431-438.
- 3) 若林實、南宏一、久木幸雄、宮内靖昌, "X 形配筋を施した R C 構造の弾塑性性状に関する基礎的研究(その 3)," 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1980年6月, pp. 25 - 28.
- 4) 若林實、南宏一、久木幸雄、宮内靖昌, "X 形配筋を施した R C 構造の弾塑性性状に関する基礎的研究(その 4)(その 5)(その 6)," 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), 1980年9月, pp. 1715 - 1720.
- 5) Minami, K. and Wakabayashi, M., "Rational Analysis of Shear in Reinforced Concrete Columns," Transactions of the Japan Concrete Institute, Vol.2 1980, pp.225-232
- 6) 若林實、南宏一、久木幸雄、宮内靖昌, "X 形配筋と平行配筋が併用される R C 柱のせん断強度," 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1981年6月、投稿予定

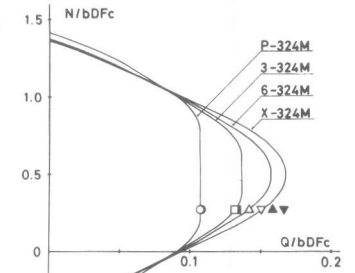


図 13. 破壊相関曲線(単調)

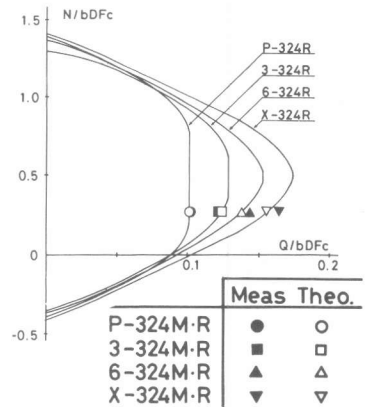


図 14. 破壊相関曲線(くり返し)