

## 論文 重拘束された RC 柱の高耐力化に関する研究

加藤 清志\*1 加藤 直樹\*2 岩坂 紀夫\*3

要旨:前報[1],[2]までにRC短柱に関し、カンファインド・コンクリートの実用的応力-ひずみ曲線の開発、主筋閾値鉄筋比の存在、じん性の定量評価法等を示した。

本報ではさらにRC柱の最大耐力、帯鉄筋間隔、有効断面、スポール・オフ深さ等との相関関係を実験・解析し、帯鉄筋間隔が40mm以下で重拘束効果が顕著となること、最終的には重拘束柱の最大耐力は「帯鉄筋間隔/有効断面寸法」の関数で与えられることを示し、設計上の基本コンセプトを明らかにするものである。

キーワード:RC柱、横重拘束、帯鉄筋、カンファインド・コンクリート、耐力向上

## 1. まえがき

RC構造物の耐震性向上は世界的課題の一つである。柱の損傷は構造的観点からはりよりもむしろ命的であり、柱は地震力と大きな自重との複合作用による斜めせん断すべりにより座屈する。

前報[1-4]では、中心軸方向圧縮が支配的な横拘束RC柱の耐力の基本メカニズムを論じた。柱の耐力向上のためには、(1)構造コンクリートのせん断強度増、(2)斜めせん断補強筋法の採用、(3)横および縦方向筋ともすべの鉄筋の高強度化、といった要因の三位一体化が図られねばならない。また、重要な工学的要因としてのカンファインド・コンクリートの応力-ひずみ曲線、縦方向筋に関する閾値鉄筋比、柱の変形能等が論じられた。

本報では、横拘束のピッチと柱の耐力あるいは有効断面積との関係を明らかにし、重拘束の更用化を図るべきことの重要性を論じるものである。

## 2. 試験体の作製と载荷方法

RC柱のモデル寸法は150×150×530mm、鉄筋かごは主筋にU13(4本)、帯筋にU6を用いて組立て、材質はすべてSBPD130/145の高強度のもので、弾性係数は $2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ である。帯筋のピッチは10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100mmの14タイプとした。図-1は、ピッチ $s=100\text{mm}$ と10mmの鉄筋かごの組立て状況の例を示す。使用コンクリートは表-1に示す方配合とし、この平均圧縮強度は、水中養生された28日強度で $310 \text{ kgf/cm}^2$ であった。養生後は気乾状態とし、载荷重5tfごと変位計により変形量を検出しつつ200tf圧縮試験機により载荷した。

## 3. 実験結果

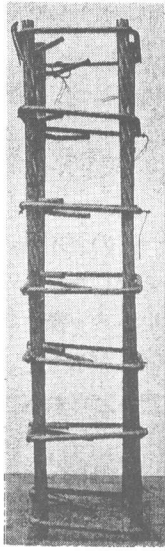
## 3.1 最大耐力と帯鉄筋間隔との関係

図-2はピッチ100mm(ぜい性型)と10mm(じん性型)の場合の典型的な破壊モードを示す。図-3は最大耐力とピッチとの関係を、また、これらの相関式を式(1)に示す。

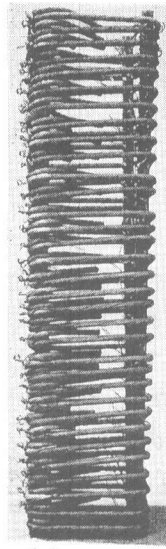
\*1 防衛大学校教授 土木工学教室、工博(正会員)

\*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) 製品事業部次長



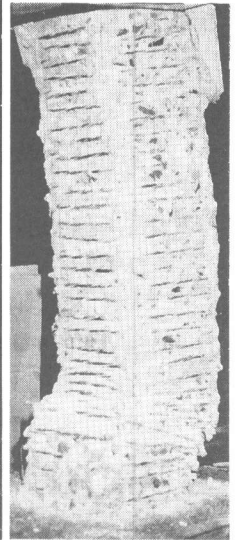
(a) s=100mm



(b) s=10mm



(a) s=100mm(ぜい性型)



(b) s=10mm(じん性型)

図-1 帯鉄筋柱の鉄筋かごの組立状況の例

図-2 ティピカルな破壊モード

表1 構造コンクリートの示方配合

Max. Size of Coarse Aggregate(mm)	Slump(cm)	Air Content(%)	W/C(%)	s/a(%)
15	17.5	5.8	48	45.2
Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )				
W	C	S	G	AEA
149	310	810	992	0.62

$$P_c = 182.1 - 3.77s + 0.056s^2 + 0.000,202s^3 \quad (\gamma = -0.839) \quad (1)$$

ここに、 $P_c$ :最大耐力(tf)、 $s$ :ピッチ(mm)、 $\gamma$ :相関係数

破壊モードの特徴としては、ピッチ100mmのような大きなピッチの場合は、柱の有効コア断面がより深く欠損するため爆裂的となる。一方、10mmのような狭いピッチの場合は高耐力かつじん性的となる。この事実は、横拘束が三軸応力状態を発生させるので、比較的多孔質的なコア・コンクリートが高密度化し、あらたな粒状岩盤状に変質していくプロセスによく対応している。

図-3の対数表示により、耐力特異点は $s=40\text{mm}$ と求まる。すなわち、横拘束ピッチは40mm以下で重拘束効果が大きく、最大耐力は急増するといえる。たとえば、ピッチ10mmと50mmの場合の耐力比は、図-3から前者が後者の1.5倍も大きくなり、40mmを超える大きなピッチではもはや有効に機能しないことがわかる。

このピッチ40mm幅は、らせん鉄筋柱の最小部材法  $d_{sp}=20\text{cm}$  の場合のピッチ条件[5]

$$s \leq d_{sp}/5 = 200/5 = 40\text{mm}$$

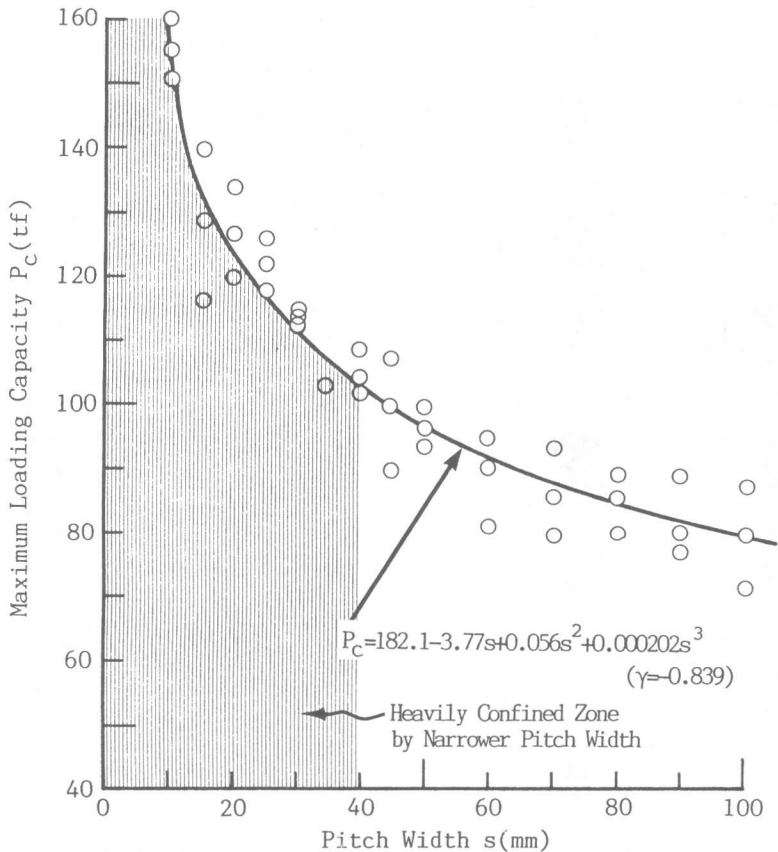


図-3 最大耐力とピッチとの関係

と一致している。

耐震構造工学的観点から、重拘束を積極的に利用すべきであろう。

### 3.2 有効コア断面積とピッチとの関係

図-5は、柱モデルのピッチs=10, 40, 100 mmの場合のかぶりのスポール・オフのティピカルな例を示す。図から、視覚的にも重拘束の有効性、軽拘束の危険性が理解できる。

最大耐力は最大スポール・オフの深さ、ここではもっとも深い一点 $d_m$ に支配される

という破壊の基本コンセプト”最弱リンク理論”に基づき、有効コア断面のスポール・オフとピッチとの関係を図-6に示す。これらの相関関係は、式(2)で与えられるが、とくに、ピッチ40mm以下に対しては、式(3)で近似される。

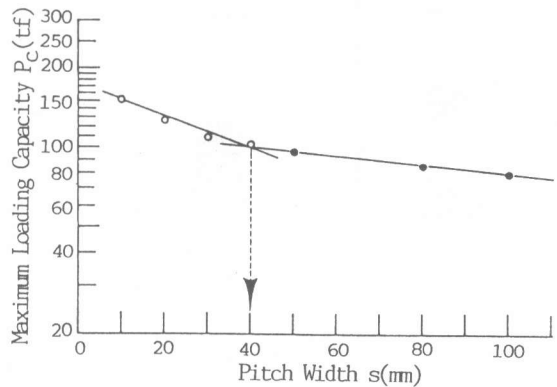


図-4 耐力特異点の決定

$$d_m = -1.121,8 + 0.475,8s - 0.002,606s^2 - 1.42 \times 10^{-6}s^3 \quad (\gamma = 0.995) \quad (2)$$

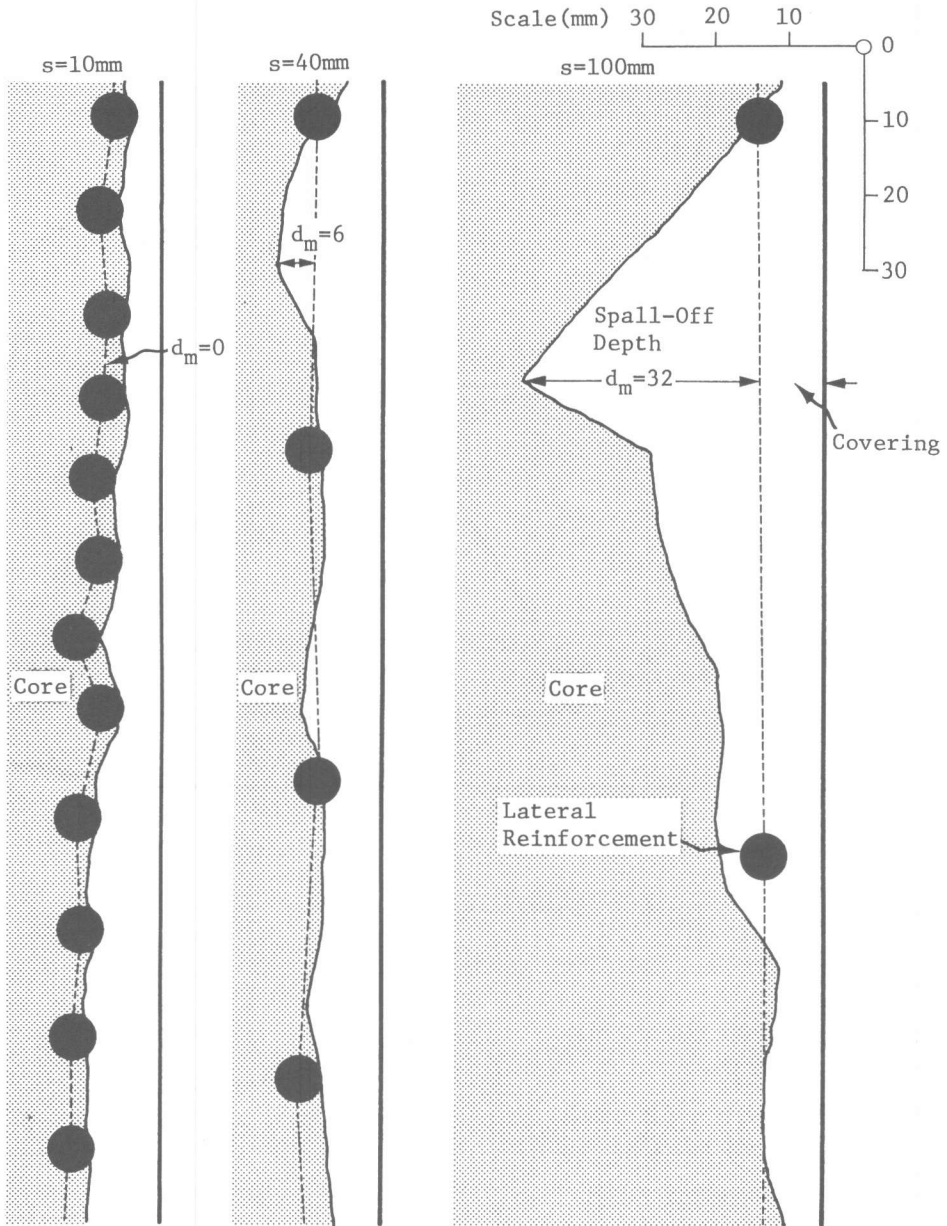


図-5 かぶりのスポール・オフの典型的な例

$$\approx 0.476s \quad (\leq s=40\text{mm}) \quad (3)$$

最大耐力比 $P_c/P_t$ および有効コア面積比 $A_e/A_{e0}$ とピッチとの関係を図-6に併記した。なお、有効コア断面積比は式(4)で与えられる。

$$A_e/A_{e0} = \{(d_e - 2d_m)/d_e\}^2 \quad (4)$$

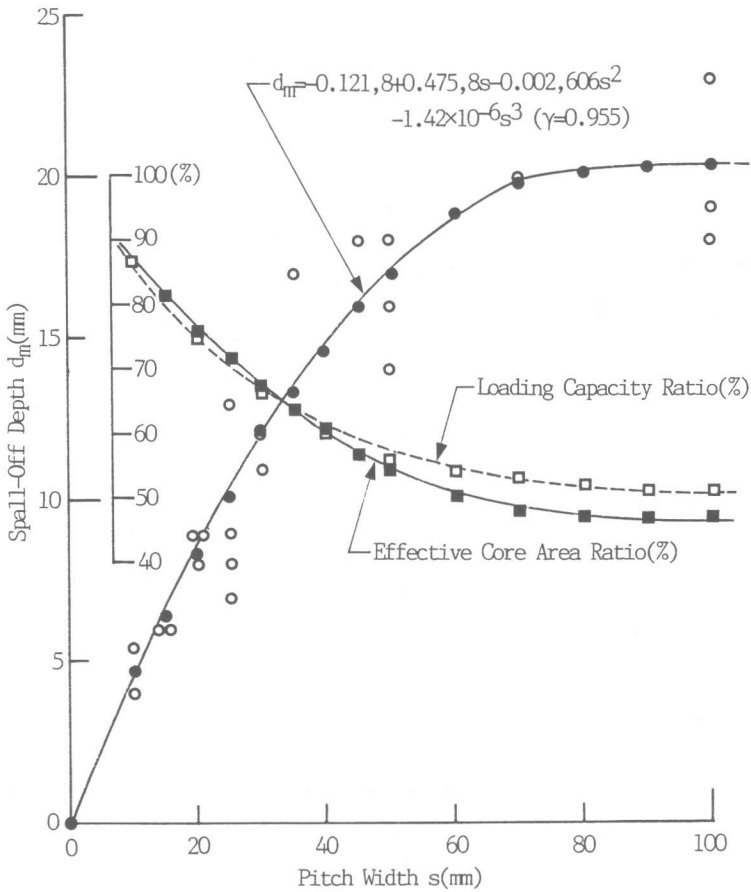


図-6 スポール・オフ深さ、最大耐力比、有効コア断面積比とピッチとの関係

ここに、 $P_c$ : 前述、 $P_{t0}$ : 理論的最大耐力(後述)、 $A_e$ : 正方形断面柱のスポール・オフ後の対称性を考慮した公称有効コア断面積 $= (d_e - 2d_m)^2$ 、 $A_{e0}$ : 初期の有効断面積 $= d_e^2$ 、 $d_e$ : 有効コア断面の一辺。

図-6から、最大耐力比と有効コア断面積とはピッチにより同様な影響を受けていることが理解できるが、これらは式(5)で与えられる。

$$P_c/P_{t0} = 0.148 + 0.852 A_e/A_{e0} \quad (\gamma = 0.985) \quad (5)$$

最大耐力は有効断面積と一次の相関関係にあることがわかる。

### 3.3 重拘束RC柱の最大耐力と「ピッチ/有効断面辺長比」との関係

式(3)、(4)とから、重拘束断面積比は「ピッチ/辺長比」の関数で式(6)の関係で与えられる。

$$A_e/A_{e0} = (1 - 0.952s/d_e)^2 \quad (6)$$

また、式(5)、(6)とにより重拘束RC柱の最大耐力は式(7)、図-7で示される。

$$P_c/P_{t0}=1.000-1.622s/d_e+0.772(s/d_e)^2 \quad (7)$$

カンファインド・コンクリート柱の理論的最大耐力 $P_{t0}$ は前報[1][3]に示したように、式(8)で与えられる。

$$P_c/P_{t0}=f'_{cc} A_e+f'_{yd} A_{st} \quad (8)$$

ここに、 $f'_{cc}$ :カンファインド・コンクリートの強度、 $f'_{yd}$ :主筋の設計圧縮降伏強度、 $A_{st}$ :主筋量

#### 4. 結論

- ①帯鉄筋柱の最大耐力は、ピッチの3次関数で与えられる。
- ②重拘束効果は、ピッチ40mm以下が顕著となる。この値はらせん鉄筋柱の最小部材寸法条件と一致する。
- ③最大耐力はスポール・オフ深さにも依存する。
- ④スポール・オフ深さはピッチの関数で、とくに、重拘束では1次関数となる。
- ⑤最大耐力は「ピッチ/有効断面辺長比」の関数で与えられる。
- ⑥重拘束筋法はその耐震構造工学の観点的有効性から、積極的利用を図るべきである。

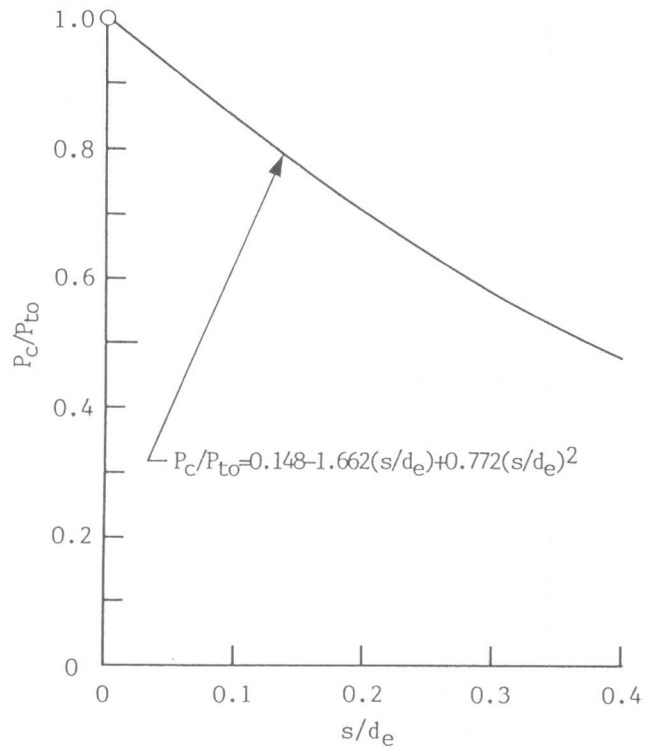


図-7 最大耐力比と「ピッチ/有効断面辺長比」との関係

[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・加藤直樹・岩坂紀夫：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、コンクリート工学年次論文報告集、V.16, NO.2, pp.683-688, 1994.6
- 2)Kato, K., Kato, N. and Iwasaka, N.: Strain-Hardening of RC Column and Devevelopment of Its Bearing Capacity, Proc. 35th JCMR, pp.125-132, 1992
- 3)Kato, K., Kato, N. and Iwasaka, N.: Practical Stress-Strain Curve of RC Column and Its Threshold Steel Ratio of Axial Reinforcement, Theoretical and Applied Mech., V.42, Univ. of Tokyo Press, pp.175-186, 1993
- 4)Kato, K., Kato, N. and Iwasaka, N.: Quantitative Evaluation of Toughness of RC Column Considering Confinement Effect and Threshold Steel Ratio, Proc. 36th JCMR, pp.152-160, 1994
- 5)土木学会:コンクリート標準示方書[設計編], p.167, 1991