

高強度筋RC柱の曲げ載荷時のクロスタイプせん断ひび割れと 帯鉄筋間隔との関係に関する研究

日本大学(院) ○伊澤 閑 日大生産工 木田哲量 日大生産工 加藤清志
浅野工専 加藤直樹 日大生産工 阿部 忠 ネットレン 神澤富章

1 ま え が き

著者らはすでに RC 柱の帯鉄筋間隔が 40mm 以下で横拘束効果が顕著になること、また、じん性は圧縮および曲げ耐力の増大とともに線形的に増加することなど、さらに、RC 柱に高強度筋 SBPD 材使用時の特性として、曲げ変形に対する復元力は PC ばりと同様にきわめて大きく、したがって、ひび割れの観点から耐久性向上に有利であること等を基本的に明らかにした^{1), 2)}。

本報は、主筋定着法が RC 柱の繰返し片振り、または両振り曲げ耐力に及ぼす影響および耐震性向上のための基本設計コンセプトを確立することを目的としている。

2 曲げ試験用柱モデルの作製

柱モデル (150×150×530mm) の鉄筋かごは、縦方向筋 (主筋) には、有効断面 (120×120mm) の $p = 10.8\%$ であり、帯鉄筋 (はりの場合はスターラップに相当) には U6.4 ($a_s = 30\text{mm}^2$) を、重拘束も考慮し、

その間隔は、10～2500mm の 9 種類とし、典型的な例として主筋 U13 の場合を Fig. 1 に示す。3 種の主筋の公称径と断面積は、U13 ($a_s = 125\text{mm}^2$)、U17 ($a_s = 215\text{mm}^2$)、U23 ($a_s = 388\text{mm}^2$) である。主筋定着の上方限界は六角ナット (M12×1.5、M16×1.5、M22×2.0) によって確保された。他方、定着の下方限界は、主筋の両定着端のねじ切りのみで確保されたものである。SBPD 材の設計降伏強度は 1275N/mm^2 である。粗骨材最大寸法を 10mm としたコンクリートの圧縮強度は 65N/mm^2 であった。

コンクリートの打ち込み方法は、第一に鉄筋かごにコンクリートを詰め、第二に曲げ型枠に充てんされたかごをセットし、第三にかぶり部分にスクリーニングモルタルを充てんし、最後にテーブル型バイブレーターを用いて、全体が一体となるように、十分に締め固めた。載荷方法はスパン 450mm の中央点載荷とした。

3 実験結果と考察

3. 1 単純RCばりの力学的特性

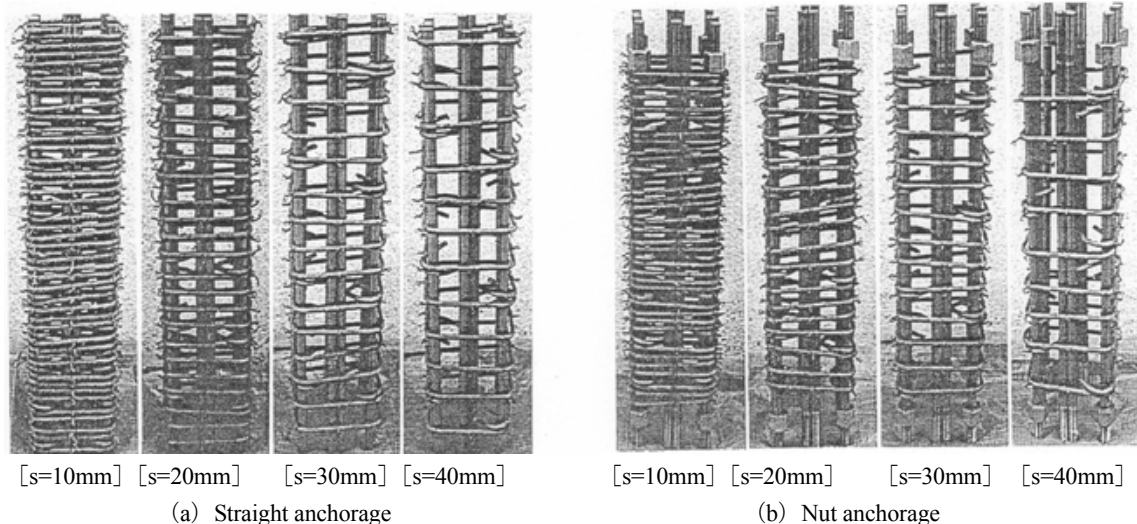


Fig. 1 An example of general view of reinforcement cages [Type U13] .

Relationship between X-Letter Type Shear Cracking and Tie Bar
Spacing of RC Column with High-Strength Rebars

By

Shizuka IZAWA, Tetsukazu KIDA, Kiyoshi KATO,
Naoki KATO, Tadashi ABE and Tomiaki KAMISAWA

(1) 単純曲げ破壊モードの特性

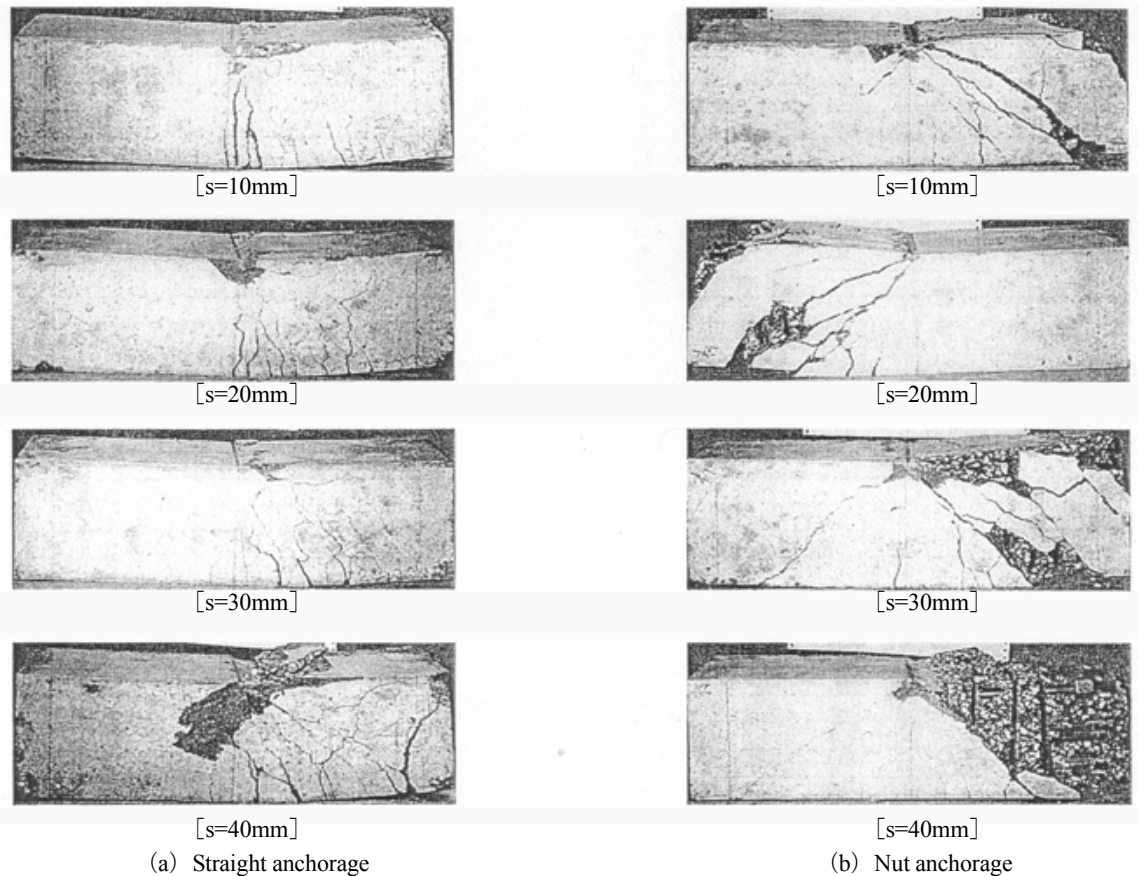


Fig. 2 Typical failure modes in case of [Type U13] .

Fig. 2 は、ストレート定着とナット定着とを比較した[U13]の場合の破壊モードを示す。両定着法とも重拘束ほど曲げひび割れは多数に分散し、かつ、ひび割れ幅は縮小するという一般的傾向を示している。これらの現象的事実、スターラップ（帯鉄筋相当）の引張応力はその間隔の逆数の比に比例して減少するという理由に依存している³⁾。したがって、ひび割れは急速に阻止される。とくに、ひび割れ分散化に伴う微細ひび割れは、耐久性向上に有利といえる。ひび割れメカニズムの観点からすれば、曲げひび割れはストレート定着の場合に顕著であり、一方、ナット定着の場合には、圧縮や斜めせん断破壊が卓越する。両ケースの差は、“自己誘発プレストレス力” (Self-induced prestressing force)³⁾ に依存することは明らかである。

(2) 帯鉄筋間隔が単純曲げ耐力におよぼす影響

Fig. 3 は、重拘束帯鉄筋間隔と曲げ耐力 F との間隔を示す。ナット定着の場合、帯鉄筋間隔の大小にかかわらず、曲げ耐力はストレート定着の約2倍も大きいことを示している。さらに、同一鉄筋量でも曲げ耐力は主筋径の減少とともに低下した。この実験的事実、引張側の最外縁鉄筋量が細い鉄筋を使用して縦方向筋を分散配置するため減少するという理由に依存している。すなわち、断面抵抗曲げモー

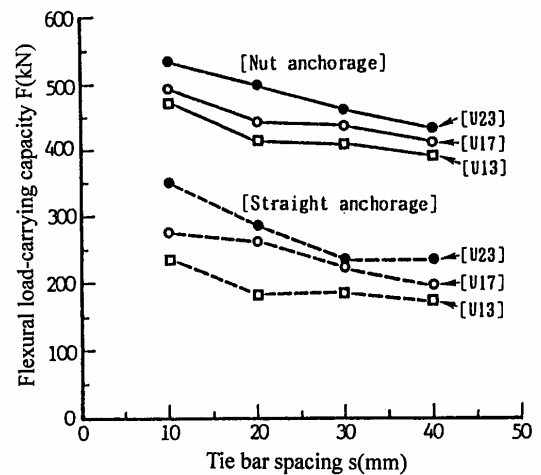


Fig. 3 Relation between tie bar spacing and single flexural load-carrying capacity.

メントの減少による³⁾。

(3) 単純曲げの変形とじん性特性

ナット定着時の耐力もじん性も、曲げ荷重-たわみ線図に関し、ストレート定着時のそれらよりもはるかに大きい。特記すべきは、荷重-変形曲線で下降部は拡大し、かつ、その挙動は延性的であるということである。最大曲げ耐力とじん性との関係は、式(1)で表される。

$$A_t = 4 \times 10^{-6} F^2 + 0.0014 F \quad (\gamma = 0.89) \quad (1)$$

ここに、 A_t : 曲げじん性 ($\text{kN} \cdot \text{cm}$) で、曲げ荷重-変形曲線の積分値

F : 曲げ耐力 (kN)

γ : 相関関係

ナットおよびストレート定着は、それぞれ、上方および下方限界に相当し、標準半円形または直角フックは両者間の中央部に相当することになる。いずれにしても、耐震性向上のためには、できるだけ高耐力が望まれる。なぜならば、式(1)に示すように F の自乗で高じん性化するからである。近年、強度鉄筋利用の重要性および重拘束の実用化が強調されている。

3. 2 片振り繰返し RC ばりの力学的特性

(1) 片振り繰返し曲げ载荷と復元たわみとの関係

タイプ [U17] の場合の一定载荷レベルごとの“曲げ荷重-たわみ線図”、すなわち、一種の分離ヒステリシス・ループを求めた。これらの初期接線勾配は終局に荷重レベルまで、ほぼ一定値を示しており、Fig. 4 に示す回復変形率と残留変形率は、全変形に対する回復たわみまたは残留たわみとの比をそれぞれ示す。载荷レベル 160 kN までは、帯鉄筋間隔に差があるにもかかわらず、全たわみ間にほとんど差がない。しかし、このレベル以上では曲げ耐力は帯鉄筋間隔の拡大とともに減少するが、終局荷重レベルからの弾性回復変形率は、すべて約 80% を示す。鉄筋が高強度かつ高弾性限度をもつため、ひび割れの呼吸作用というコンクリートの挙動の観点から、RC 構造の耐久性向上にとって、当然自己誘発プレストレスはきわめて重要である。

(2) 片振り繰返し曲げ载荷レベルと変形率との関係

曲げ荷重-たわみ曲線に関し、曲げ変形に対する応力こう配を意味する。タイプ [U17] に関し、帯鉄筋間隔 40 mm 以下の重拘束の場合の変形係数は、終局段階まで実用上同一の変形特性を示す。これらの相関関係は式(2)で与えられる。

$$D \equiv dF/d\delta = 20.19 - 0.0626 F \quad (\gamma = 0.68) \quad (2)$$

ここに、 D : 変形係数 (kN/mm)

F : 曲げ耐力 (kN)

γ : 相関係数

δ : はりのたわみ

ゆえに、たわみまたは耐力は次のように求められる。

$$\delta = 20.85 \{1 - \log(20.19 - 0.626F)\}^{0.766} \quad (3)$$

$$\approx 20.85 (1 - \log D)^{3/4} \quad (3')$$

$$F \approx 323 [1 - 0.050 \exp \{3(1 - 0.048\delta)\}] \quad (4)$$

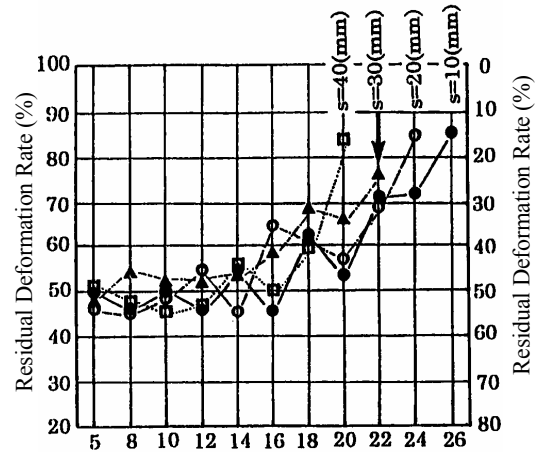


Fig. 4 Constitution diagram between recovery deformation or residual deformation and loading levels.

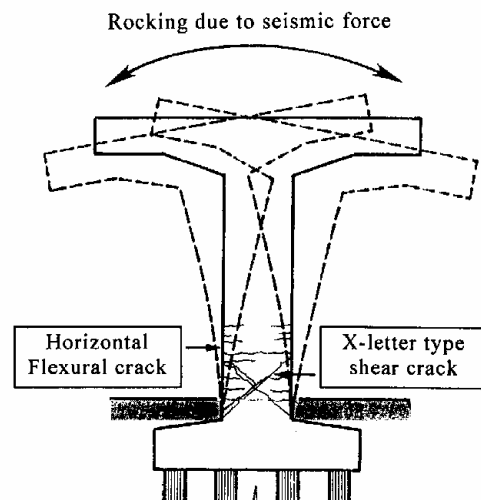


Fig. 5 Cracking types on highway bridge pier due to rocking action.

よって、RC はりのたわみは曲げ荷重または変形率からなる関数となる。なお、式(3')は安全側にある近似式である。

3. 3 両振り繰返し曲げ RC ばりの力学的特性

(1) 柱モデルによる両振り繰返し曲げ試験の必要性

近年、わが国においても地震震度法に代わり共振増幅を考慮した動的解析法が採用されている。ここでは、Fig. 5 に示すように左右に曲げを受ける高架橋脚をモデル化して、その力学的特性を基礎的に実験研究するものである⁴⁾。

(2) 両振り繰返し曲げ载荷方法と柱モデル

両振り繰返し曲げ载荷は、はりの上縁と下縁の両側の天地を交互に置き換え、片振り曲げの繰返しにより行われた。

柱モデル [Type U13] に関しては、両振りの場合、帯鉄筋間隔を 25、50、75、100、150、200、250 mm の 7 種類とし、2. と同様に作製した。

(3) 帯鉄筋間隔が両振り曲げ耐力に及ぼす影響

Fig. 6 は、帯鉄筋間隔と両振り曲げ耐力との関係を示す。なお、単純曲げおよび片振りの場合について

ても併記した。特記すべきは、いずれの曲げ
 載荷の場合の耐力も、帯鉄筋間隔 50~60mm
 以下の重拘束で耐力は顕著に増大するこ
 とであり、加えて、両振りと単純曲げの耐力
 とは大差ないが、それらに比し片振りの場合
 は約 1.3 倍も大きいことである。

(4) 両振り曲げ破壊モードの特性

Fig. 7 は、帯鉄筋間隔 250mm、75mm の RC
 ばりのひび割れモードを示す。Fig. 7(b)は、
 帯鉄筋間隔 $s=250\text{mm}$ の場合で、せん断補
 強効果がほとんど期待できないが、主筋のみ
 効果によっているので、曲げとせん断複合型
 破壊タイプを示している。Fig. 7(d,e)は、
 曲げせん断内力に対し有効な補強筋によっ
 て、ティピカルな曲げ-せん断ひび割れを示
 している⁴⁾。

上述の現象的ひび割れ状態から判断して、実橋脚
 上の耐 X 字型損傷には十分大きな横拘束筋をとくに
 必要とすることを示唆している。

4 ま と め

(1) 単純曲げ載荷の場合：

- ① ナットおよびストレート定着とも、重拘束ほど
 曲げひび割れを分散化させ、ひび割れ幅は縮小し、
 かつ、曲げ耐力は漸増する。
- ② ナット定着はコア・コンクリートを 3 軸応力状
 態に拘束するので、耐力はストレート定着の約 2
 倍も大きい。
- ③ 細めの柱主筋の使用は、同一鉄筋量に対し抵抗
 曲げモーメントは小さくなる。
- ④ ナット定着はストレート定着の場合より延性的
 で、高耐力・高じん性で耐震性に有利である。
- ⑤ 高強度筋の使用は、たわみの高い復元特性を示
 し、高機能化に係る。

(2) 片振り・両振り繰返し曲げ載荷の場合：

- ① 両振り曲げ耐力はコア・コンクリート全体の圧
 密化により、単純曲げと類似の大きさとなった。
- ② 単純曲げ、片振り・両振り繰返し曲げ耐力は、
 とともに重拘束域帯鉄筋間隔に組織敏感である。
- ③ 橋脚の X 字型ひび割れ防止上、重拘束筋を必要
 とする。

参 考 文 献：

- 1) S. Izawa *et al.* : Estimation Method of Load-Carrying Capacity of Heavily Confined RC Column Considering Core Concrete Strength under Triaxial Compression, Rep. of Res. Inst. of Ind. Tech., Nihon Univ., 72, pp. 1-13 (2004).
- 2) M. Sudo *et al.* : High-Performance of Reinforced Concrete Members by Using High-Strength Reinforcement, Proc. of 1st fib Cong., Sess. 13, pp. 456-466 (2002).
- 3) K. Kato *et al.* : Effect of Anchorage Type on Flexural Load-Carrying Capacity and Self-Induced Prestressing Force of Heavily Confined RC Column, Theor. and Appl. Mech., 47, pp. 115-124 (1998).
- 4) M. Takano *et al.* : Determination of Flexure-shear Failure Transition Steel Ratio of RC Beam, Proc. of 1st Conf. of Asian Concrete Federation (ACF), 10pp. (2004)

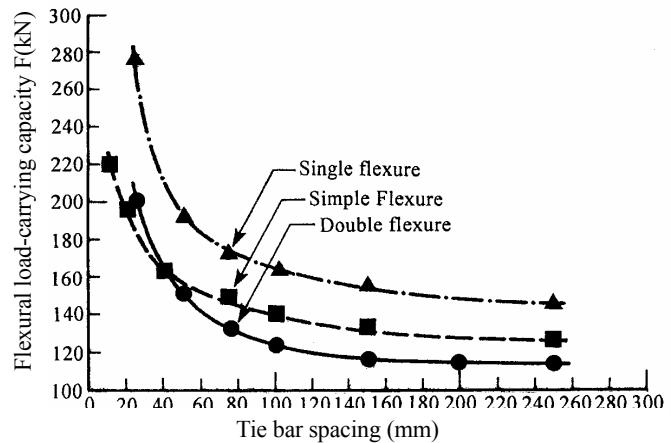


Fig. 6 Relationship between load-carrying capacity under simple, single and double-flexures and tie bar spacing.

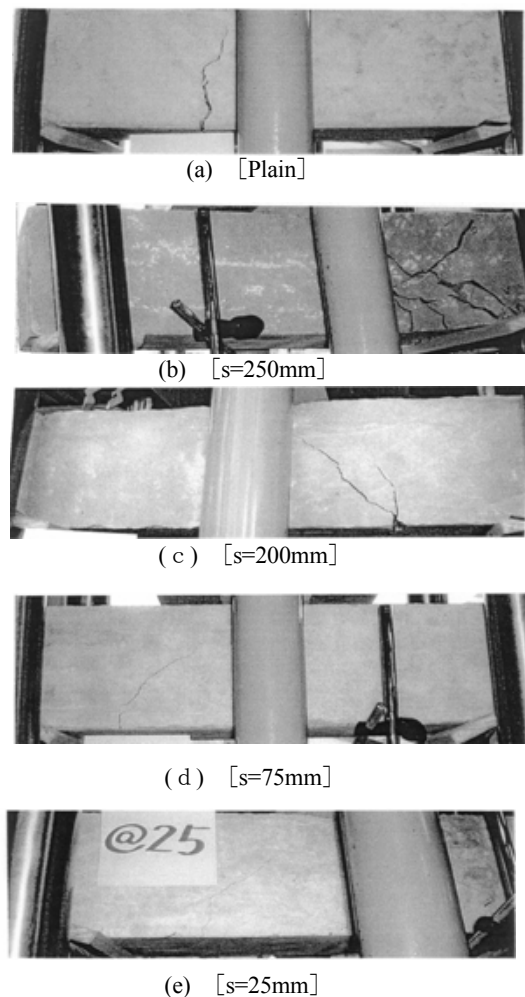


Fig. 7 Failure modes due to double flexure.