

[60] 鉄筋コンクリート連続ばかりのせん断抵抗機構に関する研究

正会員 ○野 口 博 (千葉大学工学部)
正会員 堀 川 孝 助 (戸 田 建 設)

1. はじめに

筆者らは、鉄筋コンクリートばかりのせん断抵抗機構の最も基礎的なものとして単純ばかりを取り上げ、斜めひびわれ発生後の主要なせん断抵抗要素を出来る限り分離して把握する実験を行ない、筋の有無による抵抗機構の変化などを検討してきた。¹⁾ 本研究では、地震時のような横力を受けるラーメンの内ばかりの状態に近い連続ばかりについて斜めひびわれ発生後の主要なせん断抵抗要素と考えられる圧縮部コンクリート(C)、圧縮鉄筋のダボ作用(D)、ひびわれ面の骨材のかみ合い(A)、筋(S)のせん断力分担率及びせん断終局強度などを実験的に把握することを目的とする。

2. 試験体

¹⁾ 断面は単純ばかり試験体と同一とし、 $b \times D = 20\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 、 $d = 25\text{ cm}$ 、 $P_t = 1.55\%$ (2-D22) とする。

連続ばかりではせん断スパン比が小さい場合、加力点を結ぶ対角線状せん断ひびわれ(斜めひびわれと呼ぶ)を生じる。この斜めひびわれが発生する連続ばかりのせん断スパン比は廣沢の研究によれば、²⁾ $M/Q \cdot D \leq 1.2$ の場合が殆んどである。実際のひびわれパターンは加力板の影響を受けるので加力板端のせん断スパンを a_e として

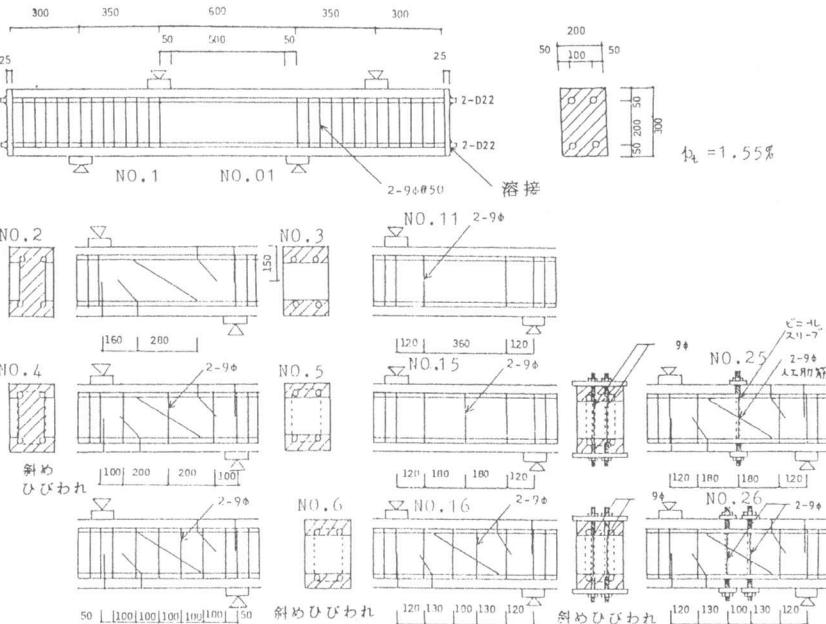


図 1. 試験体

$a_e/d = 1.0$ 、 $a/d = 1.2$ 、すなわち $a = 30\text{ cm}$ とした。ひびわれパターンは既往の研究から図 1 に示すように決め、曲げせん断ひびわれ発生位置は建設省総合プロジェクトの柱の実験データ³⁾の平均値から図 1 に示すようにした。試験体は A シリーズ、B シリーズ各 6 体からなり図 1 に示す。B シリーズの試験体番号の下 1 桁は、A シリーズの試験体番号に対応する。

A シリーズ：No.1 はひびわれなし、No.2 ではひびわれ誘導用目地を入れ、ひびわれ面の骨材のかみ合いの効果を考慮する。(C+D+A) No.3 では表面が滑らかな貫通ひびわれを作成し、ひびわれ面の骨材のかみ合いを消失させる。(C+D) No.4 では $p_{w0} = 0.32\%$ の筋及び No.2 と同一のひびわれ誘導用目地を入れ、骨材のかみ合いと筋の効果を調べる。(C+D+A+S) No.5 では $p_{w0} = 0.32\%$ の筋及び No.3 と同一の貫通ひびわれを入れ、骨材のかみ合いを消失させ筋の効果を調べる。(C+D+S) No.6 では荒川原式の筋負担の項を $p_{w0} \cdot \sigma_y^4$ に置き換えて得られるせん断終局強度 ($sQ_u = 2.1.2\text{ t}$) が e 関数法による曲げ降伏耐力 ($tQ_u = 2.0.9\text{ t}$) にはほぼ一致する $p_{w0} = 0.64\%$ の筋及び No.3 と同一の貫通ひびわれを入れ筋の効果を調べる。(C+D+S)

B シリーズ：No.01 は No.1 と同一、No.11 はひびわれなしで両端部の曲げせん断ひびわれを横切る筋が破壊モードに与える影響を検討する。No.15 は No.11 のモデルに斜めひびわれを横切る筋を 1 組入れ筋の効果及び破

壞モードの変化を検討する。No.16はAシリーズNo.6で中央2組以外の両端の筋が斜めひびわれを横切らないように端部側へずらした。(C+D+A) No.25はNo.15のモデルに貫通ひびわれを入れ、斜めひびわれを横切る筋による負担せん断力を正確に把握できるように人工筋とした。(C+D+S) No.26はNo.16のモデルで、No.25と同様斜めひびわれを横切る筋を人工筋とした。(C+D+S)

各試験体とも試験部分以外はせん断破壊しないように補強し、コンクリートは図1の手前から打設した。使用したコンクリートは普通コンクリートで、圧縮強度がAシリーズ: 217 kgf/cm^2 、Bシリーズ: 275 kgf/cm^2 であった。鉄筋の引張降伏強度は、主筋D22がAシリーズ: 3824 kgf/cm^2 、Bシリーズ: 3798 kgf/cm^2 、筋9φがAシリーズ: 3422 kgf/cm^2 、Bシリーズ: 3604 kgf/cm^2 であった。

載荷方法は大野式逆対称加力法により、単調載荷とした。測定は荷重、変形、主筋、筋及びコンクリートのひずみ、各ひびわれのずれと開き、主筋のすべりについて行なった。

3. 破壊経過

Aシリーズの荷重-変形関係を図2、図3に示す。

Aシリーズ: No.1では、初め予測位置よりやや反曲点よりの曲げせん断ひびわれの進展、開口が進み、後に主筋に沿う付着ひびわれ及び曲げせん断ひびわれ部分から反曲点を越えて反対側の加力板端に向う斜めひびわれが生じ、その後開口が進みせん断圧縮機破壊した。No.2～No.6では、斜めひびわれが進展せん断圧縮破壊した。No.3ではNo.2の斜めひびわれ発生後に近い初期剛性を有した。No.2とNo.3を比較すると、斜めひびわれ進展後の骨材のかみ合いの荷重-変形曲線への影響は殆んどみられない。また、No.4とNo.5の比較でも同様であった。

Bシリーズ: No.1では曲げせん断ひびわれ及び付着ひびわれの影響はNo.1と比べて顕著には表れず、加力板を結ぶ対角線状にひびわれを生じせん断圧縮破壊した。これはコンクリート強度がBシリーズでは高めとなつたためと考えられる。No.11、No.15では予測位置に曲げせん断ひびわれを生じ加力板端に向かつた。しかし、端部に筋を入れたため、その進展、開口が抑えられ加力板端を結ぶ斜めひびわれが生じせん断圧縮破壊した。No.16、25、26の内、筋を2組入れた試験体では曲げせん断ひびわれが上下に進展した。3体とも斜めひびわれが進展せん断圧縮破壊した。

4. せん断抵抗要素の負担せん断力

斜めひびわれを横切る予測位置の主筋のひずみロゼット測定値より求めた主筋のダボ作用による負担せん断力を Q_h 、斜めひびわれを横切る位置に貼ったひずみゲージ測定値より求めた筋の受ける力を Q_s とし、圧縮部コンクリートの負担せん断力 Q_c は各要素の負担せん断力の和が全せん断力に一致するものと考え、 $Q_e = Q - (Q_s + Q_h)$ とした。この Q_s 、 Q_h 、 Q_c と全せん断力 Q を中央スパン部

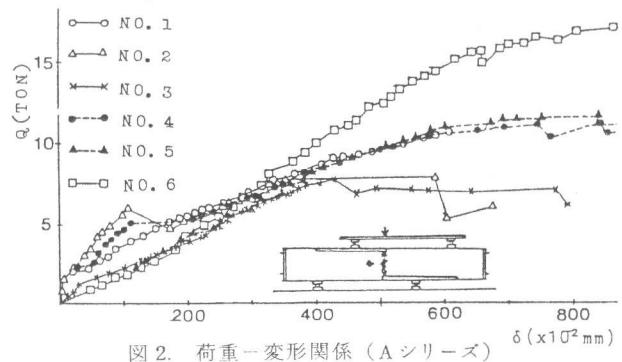


図2. 荷重-変形関係 (Aシリーズ)

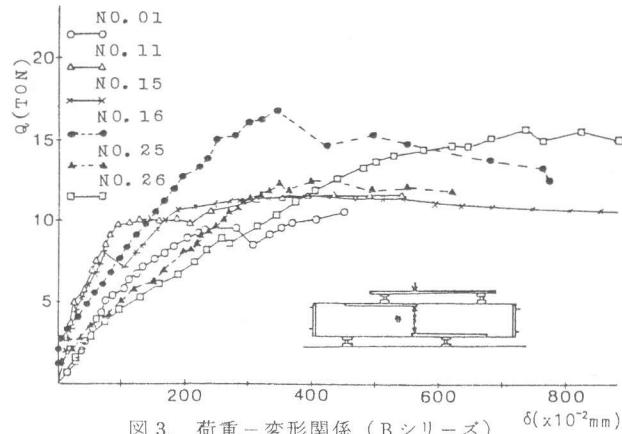


図3. 荷重-変形関係 (Bシリーズ)

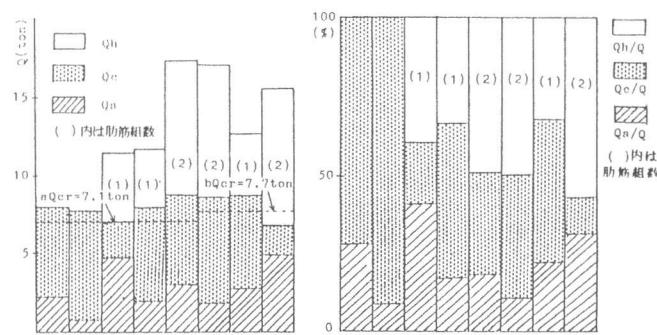


図12. 各要素のせん断負担力
(耐力付近)

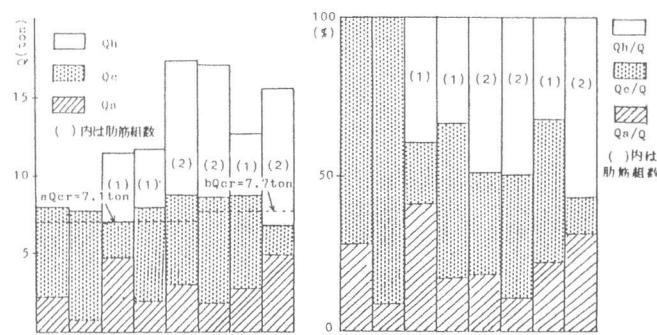


図13. 各要素のせん断力分担率
(耐力付近)

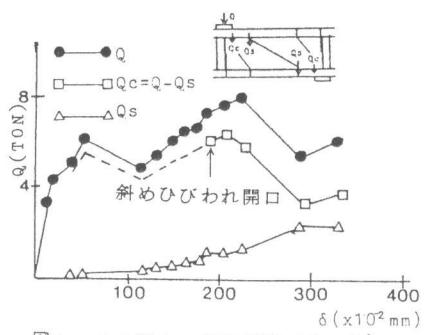


図4 せん断力-変形関係 (No. 2)

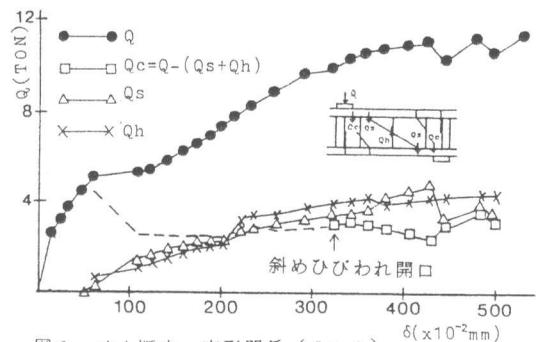


図6 せん断力-変形関係 (No. 4)

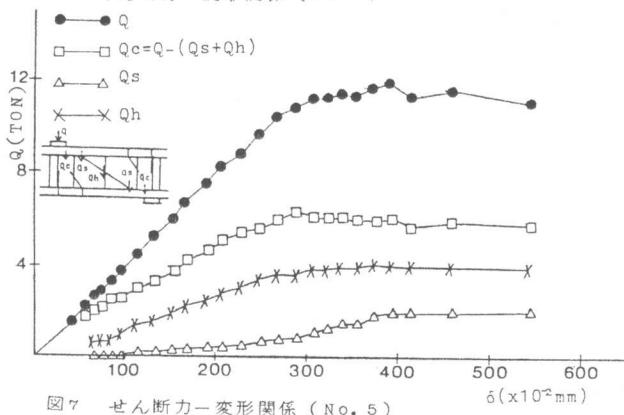


図7 せん断力-変形関係 (No. 5)

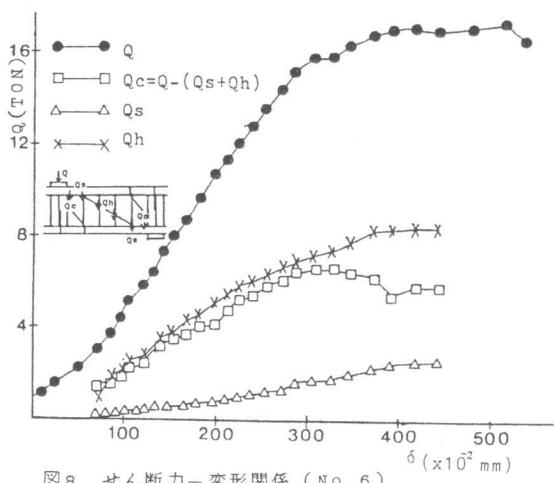


図8 せん断力-変形関係 (No. 6)

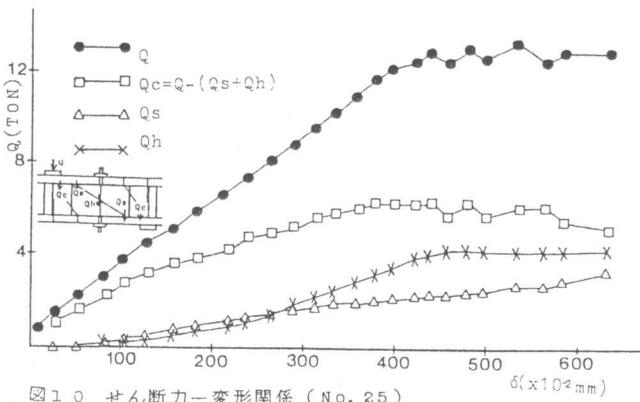


図10 せん断力-変形関係 (No. 25)

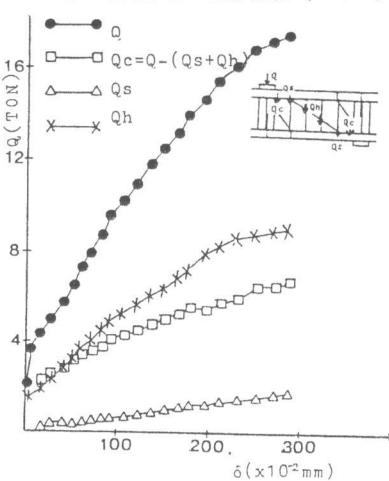


図9 せん断力-変形関係 (No. 16)

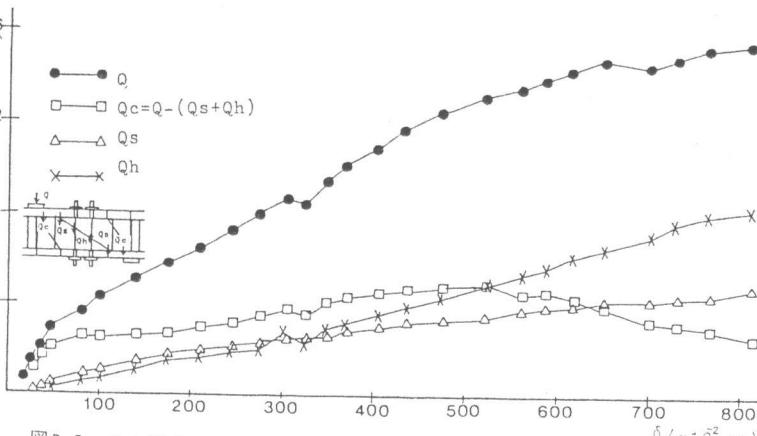


図11 せん断力-変形関係 (No. 26)

分の変形 δ との関係として、図4～図11に示す。また、耐力付近での各要素の負担せん断力及びせん断力分担率を図12、図13に示す。

図12より、 Q_c と Q_s の和はAシリーズでは7.0～8.8 t、Bシリーズでは6.6～8.7 tとなり、これは荒川原式によるせん断終局強度のコンクリートの負担せん断力 $A : A_{Q_c} = 11.6 \text{ t}, A_{\tau_c} = 26.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$ 、B : $A_{Q_c} = 13.3 \text{ t}, A_{\tau_c} = 30.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$ より低めで、荒川原式によるせん断ひびわれ強度 $A : Q_{cr} = 7.1 \text{ t}, \tau_{cr} = 16.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$ 、B : $Q_{cr} = 7.7 \text{ t}, \tau_{cr} = 17.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$ とはほぼ対応した。肋筋を入れた試験体では耐力付近で肋筋が降伏した。No26では、肋筋の降伏前に Q_c がやや減少した。

5. せん断終局強度

荒川原式により求めたせん断終局強度 A_{Qu} と実験値 eQu 等を表1に示す。Aシリーズでは、曲げせん断型での試験体と破壊モードに差異のあるNo.1は、 A_{Qu} 、 eQu がほぼ一致している。No.2とNo.3では A_{Qu} が高めであり、むしろ荒川原式によるせん断ひびわれ強度 Q_{cr} が eQu に一致している。No.4～No.6では肋筋の負担せん断力を $Q_w = a_w \cdot s_y$ と考えると、 $eQu - Q_w$ が主筋のダボ作用も含めた圧縮部コンクリートの負担せん断力となり、これらも Q_{cr} にはほぼ一致している。No.6だけがやや高めとなっているのは中央肋筋2組以外に、端部の肋筋が斜めひびわれを微妙に横切り幾つかせん断力を負担しているためと思われる。Bシリーズでは、斜めひびわれ進展型となったNo.01は、 A_{Qu} より低めとなり、また Q_{cr} より高めとなつた。その他の5体については、中央肋筋以外の端部の肋筋による負担せん断力を最大せん断力から除いた数値を eQu' として示す。ここで、No.11、15では曲げせん断ひびわれ位置にゲージがあるため、端部の肋筋の負担せん断力が高めとなっている。No.11はNo.01と eQu' がほぼ一致した。No.15、16、25、26はAシリーズと同じように $eQu' - Q_w$ を圧縮部コンクリートの負担せん断力と考えると、ややばらつきがあるが Q_{cr} と一致する。このばらつきは斜めひびわれを端部の肋筋が横切ったかどうか微妙なため生じたと考えられる。以上より、荒川原式によるせん断終局強度は斜めひびわれの進展が卓越する場合、高めとなり、No.1のように曲げせん断破壊型の場合に対応している。斜めひびわれ型の場合、荒川原式の圧縮部コンクリートの負担せん断力（ダボ作用による負担せん断力を含む）は高めで、肋筋に対する評価は小さいものとなっている。ひびわれパターンを設定せず肋筋のない試験体を除くと、本実験結果は次式とはほぼ対応する。

$$pQu = Q_{cr} + a_w \cdot s_y \quad \text{但し、コンクリートの負担分として } Q_{cr} \quad (\text{荒川原式によるせん断ひびわれ強度}) \quad \text{肋筋の負担分として } a_w \cdot s_y \quad (\text{トラス機構より})$$

6. むすび

斜めひびわれが発生する連続ばかりのせん断抵抗要素として、圧縮部コンクリート、斜めひびわれを横切る肋筋と圧縮鉄筋のダボ作用のせん断力分担率を把握し、ひびわれ面の骨材のかみ合いの荷重-変形曲線への影響は小さいことが観察された。また、圧縮部コンクリートと圧縮鉄筋のダボ作用による負担せん断力の和は、荒川原式によるせん断ひびわれ強度にはほぼ対応した。本実験では、ひびわれパターンを設定せず肋筋のない試験体の強度は、荒川原式による終局せん断強度とせん断ひびわれ強度の中間にあるが、その他の全試験体では、コンクリートの負担分として荒川原式によるせん断ひびわれ強度、肋筋の負担分として $p_w \cdot s_y$ をとることによって本実験結果との対応がほぼ得られた。

謝辞 東京大学青山博之教授、室蘭工業大学荒川卓教授の御指導に深謝致します。

参考文献

- 1) 野口 博、「鉄筋コンクリートばかりのせん断抵抗機構に関する研究」(第1～第6報) 日本建築学会大会 昭和53年、54年、55年9月。
- 2) 広沢雅也、「鉄筋コンクリート部材の強度と塑性」建築研究報告 No.76、March 1977、pp. 45～75。
- 3) 建設省建築研究所、「逆対称加力によるR.C. 矩柱の多回繰返し加力実験」担当竹中工務店技術研究所、明大工学部狩野研究室、昭和47年度総合技術開発プロジェクト新耐震設計法の開発資料、昭和48年3月。
- 4) 荒川 卓、「鉄筋コンクリートばかりの許容せん断応力度とせん断補強について—実験結果による再検討—」、コンクリート・ジャーナル、Vol. 1, No. 7, July 1970, pp. 11～20。