

# 鉄筋コンクリート短柱のせん断耐力に関する基礎的研究

九州産業大学 正員 宮川 邦彦

## 1. まえがき

今回の示方書の改訂により、コンクリート構造物の設計法は従来の許容応力度法から限界状態設計法へと移行されることになった。後者の設計法は、前者に比べて、確かにコンクリート構造物をより適切に設計できる方法ではあるが、適用範囲の広い土木構造物全般の設計法として対応するためには、まだ多くの問題点が山積しているように思われる。周知のように、今回改訂された示方書では、棒部材のせん断耐力式として、はり部材に主眼を置いた式が規定されているが、これらの算定式が、例えば地震時に水平力を受ける柱部材のせん断耐力式として妥当であるか否かは疑問である。地震多発地帯に位置する我が国の場合、地震時の構造安全性を確保することが特に重要であり、そのためには柱部材のせん断挙動を十分検討しておくことが不可欠である。

本報告は、このような観点から、例えばラーメン橋脚等に見られるRC短柱のせん断耐力に及ぼす軸力およびコンクリートの時間依存ひずみの影響を究明するために行った基礎実験に関するものである。

## 2. 実験概要

コンクリートの配合および諸特性を表-1に、部材形状および載荷方法を図-1に示す。本実験では、養生条件(水中:W、空气中:D)、軸方向鉄筋(D13:13、D16:16)、帯鉄筋(有り:S)および軸力(有り:P)などの要因がせん断特性に及ぼす影響を検討するため、計16本の部材を作製した。その内の8本は脱型直後からせん断試験までの約15週間水中養生を継続し、残りは1週間の水中養生後、約14週間恒温室内(温度  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度  $65 \pm 5\%$ )の空气中に静置した。軸力はW部材ではせん断試験直前に、D部材では材令1週で、それぞれPC鋼棒( $\phi 28\text{ mm}$ )により中心軸力12tfを導入した。なお、コンクリートの時間依存ひずみによる軸力減退を防止するため、静置期間中に数回再緊張を行った。軸方向鉄筋には4-D13 および4-D16(いずれも  $f_{sy} = 35\text{ Kg}/\text{mm}^2$ )を、帯鉄筋には一般構造用角形鋼管( $125 \times 125 \times 6\text{ mm}$ ,  $f_{sy} = 30\text{ Kg}/\text{mm}^2$ )を6mm厚に切断して配筋した。

静置期間中の時間依存ひずみは、部材表面对称位置2箇所および軸方向鉄筋2本に貼付したひずみゲージの経時変化を実測し、それらの値からせん断試験時のコンクリートおよび軸方向鉄筋の有効応力度を求めた。

## 3. 実験結果および考察

軸力のないD部材の収縮応力は $14 \sim 19\text{ Kg}/\text{cm}^2$ 程度、軸力導入D部材ではコンクリートの圧縮応力度が導入時のその1/2程度に減少し、逆に軸方向鉄筋の応力度が3.5倍程度に増大した。

部材のひび割れ発生状況は、図-2の概略図に示すように、まず載荷点位置のコンクリート引張縁に曲げひび割れ①が、次に別の曲げひび割れから進展したほぼ $45^\circ$ 方向の斜めひび割れ②と載荷点間を結ぶ線上にも微細な斜めひび割れ③が

表-1 コンクリートの配合および諸特性 ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

| 材令  | 養生  | 圧縮強度 | 引張強度 | 曲げ強度 | 弾性係数               |
|-----|-----|------|------|------|--------------------|
| 1週  | 水中  | 202  | —    | —    | $24.1 \times 10^4$ |
| 試験時 | 水中  | 319  | 30.2 | 50.8 | 32.6               |
|     | 空气中 | 305  | 24.8 | 46.4 | 27.2               |

配合条件  $W = 180\text{ Kg}/\text{m}^3$ 、 $C = 300\text{ Kg}/\text{m}^3$ 、 $s/a = 39\%$

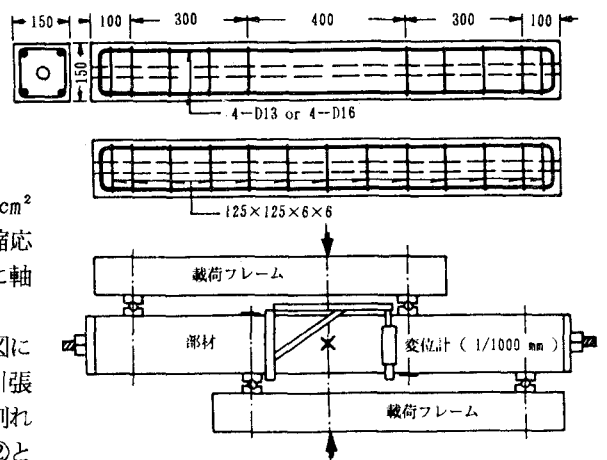


図-1 部材形状および載荷方法

発生した後、最終的には③のひび割れが急激に拡大して破壊した。また破壊後の上下面には、軸方向鉄筋に沿う縦ひび割れが発生しており、このひび割れは軸方向鉄筋の座屈に起因するものと考えられる。

表-2に曲げひび割れモーメント ( $M_{cr}$ )、せん断ひび割れ耐力 ( $V_{cr}$ ) および終局せん断耐力 ( $V_u$ ) の実測結果を、表-3には各国の規準によるせん断ひび割れ耐力 ( $V_c$ ) の算定値を示す。

$M_{cr}$ は、全てのW部材および軸力導入D部材の場合、コンクリートの有効応力度に曲げ強度を加算して求めた弾性値と一致するが、軸力のないD部材の場合、引張強度から収縮応力を差し引いて求めた弾性値に近似する。これは、後者の場合、既に引張応力を長期間受けていたことに起因するものと考えられる。

次に  $V_{cr}$  は、主ひずみあるいは部材角が急変するときの値から推定したものであるが、軸力のないW部材では 3.8 tf 前後であるのに対して、同じD部材では 2.4 tf 前後と、 $M_{cr}$  の場合と同様に収縮応力の影響で、後者は前者の6割程度である。またP部材の場合、PSW-16 および PD-16 を除外すれば、養生条件や軸力持続期間に関係なく、5.6 tf 前後であり、明らかに軸力導入による効果が見られる。

$V_u$  に関しては、本実験の場合、斜めひび割れ面における粗骨材のインターロッキング効果により、それらの値にはばらつきが見られる。このばらつきを除外すれば、PW/W、PD/D は 1.0、PSW/SW、PSD/SD は 1.2 程度であり、特に帯鉄筋のない部材では、軸力の効果は見られない。次に SW/W、SD/D は 1.6、PSW/PW、PSD/PD は 1.4 程度であり、帯鉄筋の配筋による効果が顕著である。これは、帯鉄筋が斜めひび割れ発生以後にせん断力の一部を分担することと、軸方向鉄筋の座屈防止に寄与することによるためであろう。

本実験の主目的である軸力持続期間の違いに関しては、 $V_{cr}$  値や  $V_u$  値に明確な差異は認められないが、これは、持続期間が短かったことや、実部材に比較して実験に用いた鉄筋径が大きかったため、軸方向鉄筋が座屈しにくかったことなどに起因するものと考えられる。

図-3はせん断力と部材角との関係の一例である。部材角は、斜めひび割れ発生以前は微量ではば弾性曲げたわみから求めた値と一致し、斜めひび割れ発生以後は急激に増大する。ただし、帯鉄筋のない部材では部材角の増大があまり見られず、急激な破壊を生じた。

最後に、表-3に示した  $V_c$  値は、各設計基準の考え方が多少異なるため、この値だけでは判断できないが、実測値と比較して特に乾燥を受けない部材に関しては安全すぎるようである。ただし、今後は前述のような実部材との寸法効果の問題や交番載荷などについて検討すべきであろう。

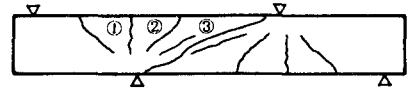


図-2 ひび割れ発生状況の概略図

表-2 部材の試験結果

| 部材記号   | $M_{cr}(Kgfm)$ | $V_{cr}(Kgf)$ | $V_u(Kgf)$ |
|--------|----------------|---------------|------------|
| W-13   | 321 ~ 429      | 2680 ~ 3210   | 5890       |
| PW-13  | 643 ~ 750      | 5360 ~ 5790   | 5790       |
| SW-13  | 321 ~ 429      | 3210 ~ 3750   | 6430       |
| PSW-13 | 643 ~ 750      | 5360 ~ 5890   | 7590       |
| W-16   | 321 ~ 429      | 3750 ~ 4290   | 5360       |
| PW-16  | 643 ~ 750      | 5360 ~ 5670   | 5760       |
| SW-16  | 321 ~ 429      | 3750 ~ 4290   | 8080       |
| PSW-16 | 643 ~ 750      | 6430 ~ 6960   | 8290       |
| D-13   | 64 ~ 86        | 2140 ~ 2680   | 3490       |
| PD-13  | 429 ~ 536      | 5360 ~ 5890   | 6540       |
| SD-13  | 86 ~ 107       | 2140 ~ 2680   | 6390       |
| PSD-13 | 429 ~ 536      | 5360 ~ 5890   | 8060       |
| D-16   | 64 ~ 86        | 2140 ~ 2680   | 4630       |
| PD-16  | 321 ~ 429      | 3750 ~ 4290   | 4310       |
| SD-16  | 86 ~ 107       | 2140 ~ 2680   | 7540       |
| PSD-16 | 429 ~ 536      | 5369 ~ 5890   | 8250       |

表-3 各規準の  $V_c$  値 (Kgf)

| 規 準     | 軸力無し          | 軸力有り          |
|---------|---------------|---------------|
| JSCE 86 | 1460 ( 1680 ) | 2400 ( 2420 ) |
| ACI 318 | 1760 ( 1730 ) | 2340 ( 2360 ) |
| CEB-FIP | 1650 ( 2020 ) | 2720 ( 2920 ) |

注) ( ) は D16 の場合

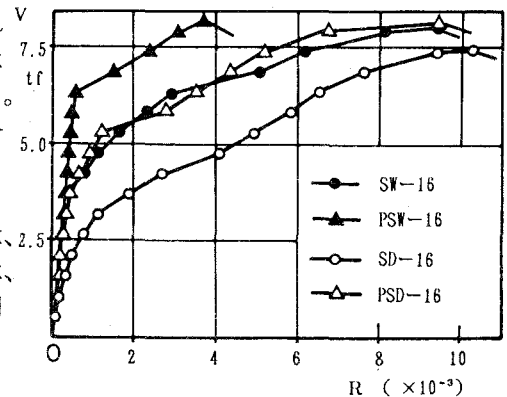


図-3 せん断力(V)と部材角(R)との関係