

R.C部材のせん断破壊機構に関するZ-3の考察

神戸大学工学部 正員 藤井 学
 神戸大学工学部 正員 梶村 雄佑
 日本道路公団 正員 O和佐 勇次郎

1. まえがき

腹鉄筋のないR.Cはりのせん断強度に影響をおよぼすと考えられている因子のうち、研究不十分な因子である ①鉄筋の付着性 ②荷重の非対称性 について実験研究を行ない、せん断破壊機構について考察した。

2. 実験概要

目標コンクリート強度 $f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$ 、主鉄筋比 $\rho = 2.24\%$ ($2\phi D22$ または $2\phi R22$)を用いた腹鉄筋のない長方形断面はり ($15 \text{ cm} \times 28 \text{ cm}$ 、有効高 23 cm)で、2点集中荷重を載荷し、実験を行った。変動要因として、図1に示すように左右のせん断スパンを変化させ、左右の支点反力が等しくなるように載荷した (載荷点距離は $3d = 69 \text{ cm}$ で一定)。

換言すれば、左右のせん断スパンではせん断力は同じで、曲げモーメントが変化する。せん断スパン・有効高比 $\%d$ は、せん断破壊が典型的に生じると考

表1 $\%d$ の組み合わせ

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\%d$ 左	1.0	1.8	2.5	3.5	1.0	1.0	1.0	1.8	1.8	2.5	3.0
$\%d$ 右	1.0	1.8	2.5	3.5	1.8	2.5	3.5	2.5	3.5	3.5	3.5

えられる1.0, 1.8, 2.5, 3.5の4種類を用い、表1のように組み合わせた。オZに鉄筋の付着性の相違として、異形鉄筋(神鋼製SD35)と丸鋼(神鋼製SK24)を用いた。またセメントは早強ポルトランドセメント、骨材は天然骨材を用い、最大粗骨材寸法は 20 mm である。全供試体数は22本である。せん断ひびわれで区切られるコンクリート体の応力状態を知るため主鉄筋、せん断スパンのコンクリート上縁、ウェブコンクリート面上

支点と載荷点を結ぶ方向のひずみ発生状況を電気抵抗線ひずみ計によって測定した。実験により得られたせん断破壊モ

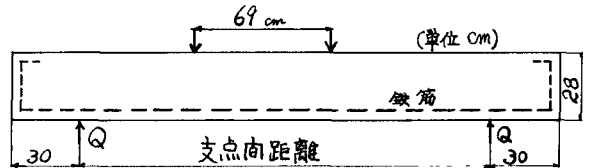


図1. 供試体の載荷方法

ーメント $M_{su}(Q_u \cdot a)$ と破壊 $\%d$ の関係を図2に示す。

図2よりわかるように、せん断破壊モーメント M_u は従来の研究者によって指摘されているように $\%d$ によって変化している。他方破壊 $\%d$ が同一のはりであっても、そのせん断強度は大きく変化している。

本研究はこの点に注目し、せん断破壊機構を実験によって得られた主鉄筋のひずみ分布、支点と載荷点を結ぶ方向のコンクリートひずみ分布、ひびわれ

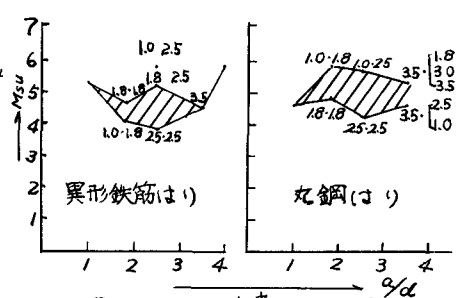


図2. せん断破壊モーメント ~ $\%d$

図およびせん断強度により考察し、さざにせん断ひびわれで区切られるコンクリート体を短柱モデル化することにより、これらの相関々係を理論的定性的に研究した。

3. 実験結果および考察

実験より得られた結果は次の諸点である。①同一%のはりではせん断ひびわれの始点と支点の間の距離の大きい方がせん断強度は高い。②せん断ひびわれ発生により、載荷点とせん断ひびわれ始点の間の鉄筋ひずみはほぼ一定となる。そしてはりの破壊せん断スパンにおける鉄筋ひずみ分布が破壊寸前に、ほぼ一定となり、その後はりは破壊する。この一定となる段階が、せん断ひびわれ発生位置によって異なり、せん断強度に相違が生じると考えられる。例として図3に示す。③せん断ひびわれ発生後、支点と載荷点を結ぶ方向のコンクリートひずみは、その圧縮線付近で最大である幅をもって測定された。また $\% \leq 25$ のはりでは破壊直前に支点付近のコンクリート上縁に引張ひびわれがみられ、下縁では圧縮ひずみが測定された。図4に示すように、この上縁の引張ひずみの発生によって、支点と載荷点を結ぶ方向のコンクリートの大きい圧縮ひずみをうける幅が減少した。(図4参照) この引張ひずみの発生が破壊の直接の原因であると考えられる。④せん断ひびわれより下側のコンクリートにも支点と載荷点を結ぶ方向の圧縮ひずみが測定された。これはせん断力がせん断ひびわれより下のコンクリートを通じて主鉄筋に伝達されていることになる。いいかえれば主鉄筋のダウエル作用の存在を意味している。またひびわれ図においてもこのせん断力が原因と考えられる主鉄筋に沿う水平ひびわれが観察された。この主鉄筋のダウエル力はせん断破壊機構において重要な働きをすると考えられる。

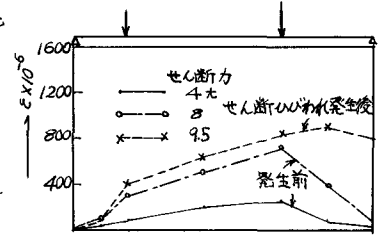
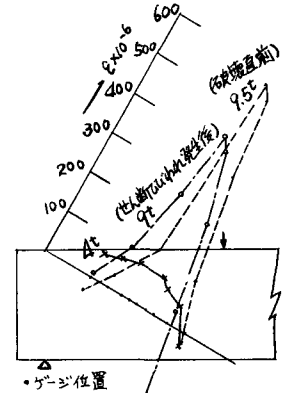


図3 D-18-10 鉄筋ひずみ分布



・ゲージ位置

3.1 セン断破壊機構

図5にせん断ひびわれが載荷点から Δ の距離内に発生した場合のはりの破壊にいたる過程を示した。まずせん断ひびわれが発生すると図5(a)のように、その位置の主鉄筋にはダウエルせん断力 S_1 が作用し、また主鉄筋の引張力 T はせん断ひびわれ始点までほぼ一定となる。この段階で主鉄筋に沿う水平ひびわれが生じるかどうかは S_1 とはりのダウエルせん断力に抵抗する強度 Q_s との大小に左右される。荷重の増加によって(b)に示すように、 S による主鉄筋の水平ひびわれの支点方向への伝播にしたがい、主鉄筋引張力の一定化も支点方向に移動する。破壊寸前には(c)に示すように、主鉄筋に沿う水平ひびわれは支点に達し(したがってダウエル力 $S=0$)、主鉄筋引張力はせん断スパンで一定となる。これ以後の荷重増加によって③に述べた状態にいたり、最終的には支点と載荷点を結ぶ方向のウェッジコンクリートの圧壊、または載荷板とせん断ひびわれで区切られる断面のコンクリートの圧壊によって、はり破壊する。

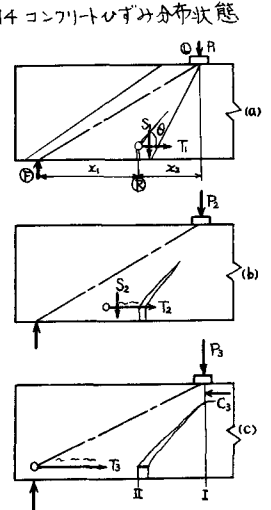


図5 セン断破壊機構

3.2 短柱モデル

3.1の現象を短柱モデルを用いて解析する。図6に示すように、せん断破壊寸前ののはりのせん断ひびわれで区切られるコンクリート体を取り出す。仮定としてコンクリート体は鉄筋引張力 T を偏心荷重として支点断面で受け、Ⅲ-Ⅲ断面で支持される短柱と考える。2) コンクリート体のⅢ-Ⅲ断面では塑性となり、ひびの応力が生じている。その他は弾性である。3) せん断ひびわれは載荷点を過ぎて曲げ領域に達している。4) せん断応力は弾性分布する。このコンクリート体の応力状態は偏心荷重をうける短柱公式を用いてえられる。例としてコンクリート上縁応力分布を図7に示す。また支点断面付近の応力分布を図8に示す。両図には実験値もあわせ記した。その分布の傾向はよく一致している。すなわち図7では載荷点付近で急激に圧縮が増加し、支点付近では引張が生じている。図8では上縁で引張が下縁では圧縮が生じている。またせん断ひびわれ発生前後のひずみ分布を実験値でみると、全く異なっていることがわかる。以上の比較から、短柱モデルはかなりの妥当性を有すると考えられる。

3.3 せん断破壊機構と短柱モデルの関係

3.1で述べた破壊機構は、コンクリート上縁に引張ひずみが発生する時期が問題となる。この引張ひずみの発生は T の分布と大きな関係があり、短柱モデルによって関連づけられる。図5(a)の状態では、上縁応力の分布は図6の破線になり、引張ひずみは発生しない。荷重増加(したがって T の一定化の進行)によって、上縁に引張ひずみが発生するようになる。以上より支点とせん断ひびわれ始点の距離が大きい場合、上縁引張ひずみが発生するのは、せん断ひびわれ後、ある荷重増加を経た後であることから、せん断強度は高い。他方せん断ひびわれが支点付近で生じた場合、その直後に、上縁引張ひずみが発生するため、せん断強度は低い。

4. 結論

1) 同一%のせん断強度は、せん断ひびわれ発生位置に左右された。この現象は短柱モデルを用いることにより説明された。また短柱モデルによって、コンクリート体の応力分布が予測される。

2) せん断強度と荷重の非対称性はかなりの関係を示した。せん断ひびわれ発生後の力の再分配が可能な%では、一般に非対称なほど高い強度を示し、力の再分配が可能などうかの境界付近の% (本実験では%35) では、悪い影響を与えた。(図2を参照)

3) せん断強度と鉄筋の付着性の関係では、丸鋼はりは、異形鉄筋はりより、その確実性は保証されないが、良好なせん断挙動を示した。図8 載付近断面の計算応力および実験ひずみ

最悪の場合でも、異形鉄筋はりと同等であった。したがって、本研究の範囲では、せん断問題においては異形鉄筋と丸鋼を同等にとりあつてよいと思われる。

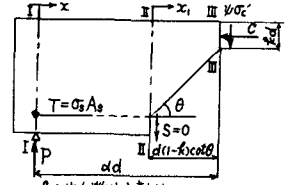


図6 短柱モデル
 R : せん断中立軸比
 γ : コンクリート圧縮強度減少係数

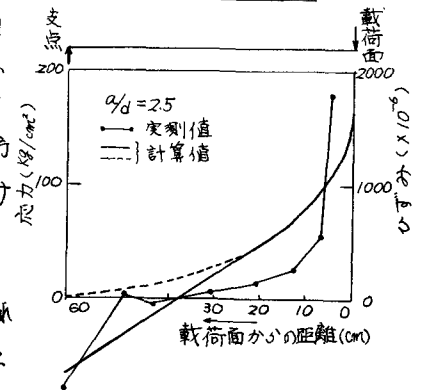


図7 コンクリート上縁の実験ひずみと計算応力

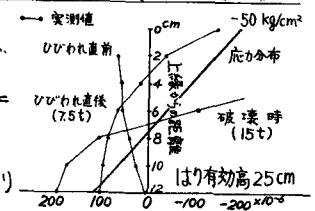


図8 載付近断面の計算応力および実験ひずみ