

V—8 多点荷重を受けるRCはりのせん断耐力について

北海道大学 正員 古内 仁
 北海道大学 石塚 建一
 北海道開発局 幡本 篤
 北海道大学 正員 角田与史雄

1. まえがき

鉄筋コンクリート部材のせん断耐荷機構の解明は、コンクリート構造学における難題の一つで、過去に数多くの研究が行われているが、なお不明確な点が種々ある。しかし、部材の実用設計法の観点からは近年の研究の進展は著しいものがあり、わが国でも工学的に十分満足すべき設計法の提案がいくつか行われている。

鉄筋コンクリートはりのせん断耐力については、岡村・桧貝¹⁾の提案式があり、デュープビームについては二羽²⁾の提案式がある。それらの式の実験データとの適合性が良好なことは広く認められている。ところでこれらの式は、単純ばりの一点荷重または対称二点荷重による実験データに基づくものであるが、実際のはりには分布荷重や多点荷重を受けるのが普通である。この問題については最近わが国で、桧貝³⁾および石橋⁴⁾により研究が行われ、注目すべき成果を挙げつつある。本論文は、これらの研究に関連して2、3の検討を行ったものである。

2. 実験の概要

本研究で行った実験は、いずれも幅15cm、高さ25cm、有効高さ20cmの長方形断面をもつ鉄筋コンクリートはりで、主鉄筋は2D25である。また、せん断補強を行う場合には、D10 スターラップを使用した。これらの鉄筋はいずれも異形棒鋼SD35である。

コンクリートは目標強度 270kg/cm² で、早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を使用し、試験材令は原則として7日とし、試験日前日まで湿潤養生を行った。

3. 実験結果および考察

集中荷重を受ける鉄筋コンクリートはりのせん断耐力に対する岡村・桧貝式は次のようである。

$$S_u = 0.94 (f_c')^{1/3} \left(0.75 + \frac{1.4}{a/d} \right) (1 + \beta_p + \beta_d) b_w d \quad (1)$$

ここに f_c' はコンクリート強度 (kg/cm²)、 b_w はウェブ幅、 d は有効高さ、 $\beta_p = \sqrt{100 p_w} - 1 \leq 0.73$ 、 $\beta_d = (100/d)^{1/4} - 1$ 、 $p_w = A_s / b_w d$ 、 A_s は主鉄筋断面積、 a はせん断スパン (支点から載荷点までの距離) を表わす。

一方、デュープビームのせん断耐力に対する二羽式は、次のようである。

$$S_u = 0.53 (f_c')^{2/3} \left(1 + \sqrt{100 p_w} \right) \left(1 + 3.33 \frac{r}{d} \right) b_w d / \left\{ 1 + \left(\frac{a}{d} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

ここに r は載荷幅を表わす。

図-1は、本実験で用いた鉄筋コンクリートはりの一点集中荷重載荷実験の結果を上二本の式と比較したものである。ただし、図中で矢印の付いた点は、非破壊データ (他のせん断スパンで破壊したか、それとも曲げ破壊したデータ) を示す。この図より、本実験で用いたはりは、平均的に見て計算値を10%強上回っているが、計算値と良い対応を示していることがわかる。

ところで、上の二本の式に見られるように、せん断スパン比 a/d ははりのせん断耐力に対する主要な影響因子の一つであるが、一点または対称二点荷重の場合、載荷点の曲げモーメントを M とおくと、 a/d は $M/S d$ と等しいことから、分布荷重や多点荷重などの任意の荷重状態のせん断耐力を推定しようとする場合、最も簡単な方法として、一点または対称二点荷重に対するせん断耐力式中の a/d を単純に $M/S d$ に置きかえるという方法がある。しかし、この方法は、せん断破壊が起る位置と断面力を算定する位置との関係が不明確であること、および a/d が小さい場合のアーチ効果における幾何学的な意味での a/d の

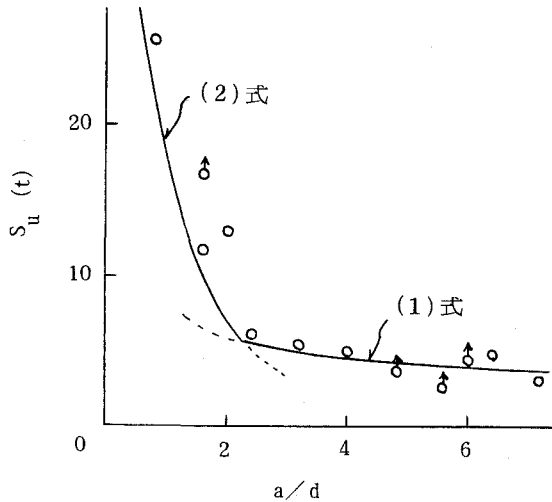


図-1 a/d比の影響

影響が不明瞭になること、などの問題点がある。そこで前述の栓貝の研究および石橋らの研究では、それぞれ具体的な内容は異なるが、ほぼ共通したものとして、次のような考え方をとっている。

1) 通常の耐力式における a/d の影響は、せん断スパン a の中で最も弱い位置で破壊するときに対応しており、より一般的には、荷重位置と破壊位置の両者の関係で耐力が定まる。

2) 組合せ荷重によるせん断破壊に対して、線形被害則が成り立つ。すなわち、荷重 $P_1, P_2, \dots$ が作用するとき、それぞれによる任意点 x のせん断力を $S_1, S_2, \dots$ とし、また、特定の荷重 P_i のみが単独で作用するときの x 点のせん断耐力を S_{ui} とするとき、累積損傷

$$D = \sum_i (S_i / S_{ui}) \quad (3)$$

が1に達したときに破壊が生ずる。Dは一般に x の関数であり、最初 $D = 1$ となる点 x で破壊が生ずる。

以上の考え方に従うとき、荷重位置 a と破壊位置 x を指定したときのせん断耐力算定式を立てる必要がある。そのための実験方法として栓貝は、予定破壊位置（領域）以外を十分にせん断補強したはりの載荷実験を行っている。図-2は、この方法にならって本研究で行った実験結果を示したもので、 $a/d = 4$ の一定とし、せん断補強範囲（図中の斜線部）を種々に変え

たときの、破壊を招いた斜ひびわれを示している。これによれば、せん断補強による破壊ひびわれ位置の制御がよく効果を示しており、栓貝による実験方法の有効性を示している。ただし a/d が大きい場合には、ひびわれ傾斜角が緩やかになる傾向があり、この実験でも無補強区間の長さが多少短かった可能性はあ

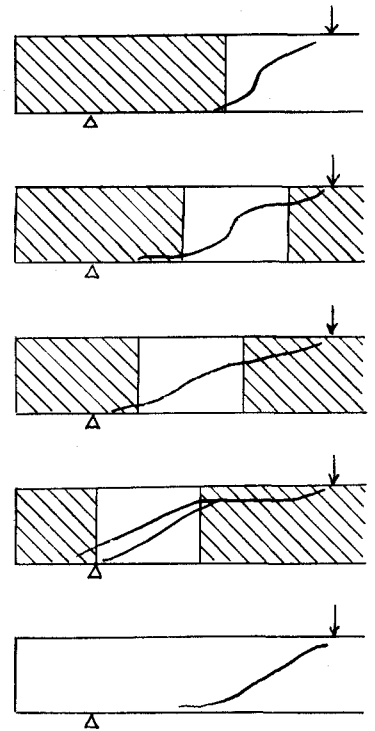


図-2 破壊位置

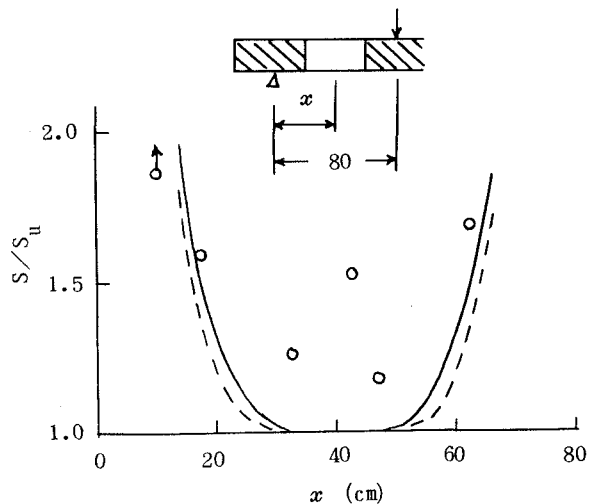


図-3 破壊位置とせん断耐力

る。この点については今後さらに検討が必要であろう。

図-3は、上記の実験において無補強区間の中心から支承までの距離を x とするときの、 x とせん断耐力の関係を示したものである。ただし、せん断耐力は補強を全くしないときのせん断耐力、(1)式の計算値との比をとって示してある。これによれば、せん断耐力は破壊位置によってかなり異なり、せん断スパン中央付近で破壊するときが最も弱いことがわかる。このような性質はすでに松貝および石橋らの研究によって指摘されており、図中の実線は石橋らの理論による関係を示す。

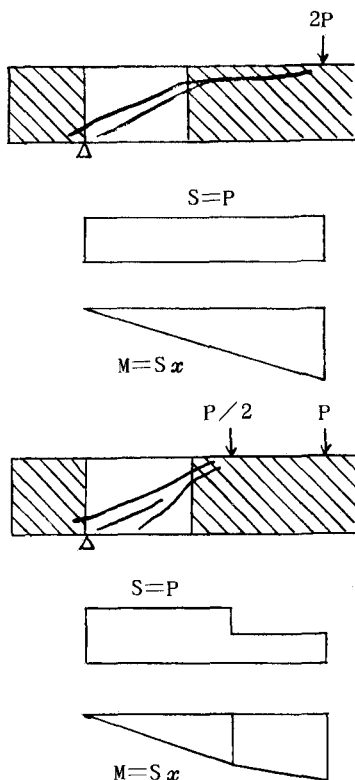


図-4 対称3点載荷(1)

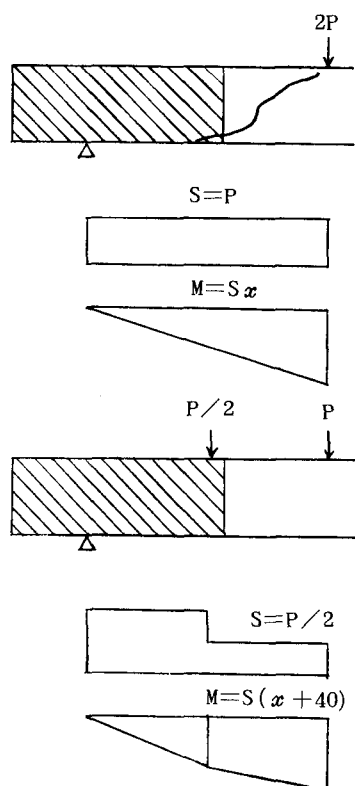


図-5 対称3点載荷(2)

それは、せん断耐力の算定式中の a/d として、 $2x/d$ を用いるときの耐力と、 $2(a-x)/d$ を用いるときの耐力の平均値をとるものである。なお、石橋らの理論では独自の耐力算定式を用いており、前述の(1)、(2)式に適用すれば点線ようになる。実験データが少ないので明確なことは言えないが、本実験のほりでは、さきに図-1において述べたように、せん断補強がない場合でも計算値を約10%上回っていることを考慮すれば、石橋らの仮定はほぼ妥当なものとみてよいと思われる。

次に、図-4および図-5は、対称3点載荷を行った場合と中央1点載荷の場合とを比較したもので、図-4では外側のせん断スパン、図-5では内側のせん断スパンを予定破壊位置に選んでいる。前者の場合、外側せん断スパン内の任意の位置 x における M/Sd は、対称3点および中央1点載荷のいずれについても x/d に等しく、従って、 a/d を単純に M/Sd に置きかえてせん断耐力を計算する場合は、両者のせん断耐力が等しくなるはずである。しかし実際の耐力は、1点載荷のときの $S = 7.55^t$ に対して、対称3点載荷では $S = S_1 + S_2 = 9.0^t$ であり、約20%大きい値となっている。それは破壊位置に近い荷重に対する耐力が、遠い荷重に対する耐力より大きいことによることは明らかである。このような性質は、累積損傷の考えによって考慮することが可能である。しかし、累積損傷として、例えば(1)式および(2)式において、 a/d として $2x/d$ と $2(a-x)/d$ を用いるときの平均耐力より評価すれば、1点載荷のほりに対しては $D = 1.10$ 、対称3点載荷のほりに対しては $D = S_1/S_{u1} + S_2/S_{u2} = 1.29$ となり、依然として両者の差は大きい。このことは、図のひびわれ形状からわかるように、破壊位置に近い方の荷重が破壊モードにも影響を及ぼす可能性があり、各荷重間の相互作用がありうることを示唆している。このことは各せん断力の影響を別々に考える線形被害則の仮定に疑問を投じるものであり、この点については今後さらに研究が必要であると考えられる。

一方、図-5のような場合には、外側の荷重は内側のせん断スパンに対して曲げモーメントのみをもたら

し、せん断力は生じさせない。この場合、個々の荷重を別々に考える累積損傷では外側の荷重の影響は評価されないことになるが、現実には曲げモーメントによる影響が加わるであろう。この図の1点および対称3点荷重のはりの破壊時の内側せん断スパンのせん断力は、それぞれ8.0tおよび5.5tであり、後者がかなり小さくなったが、これは残

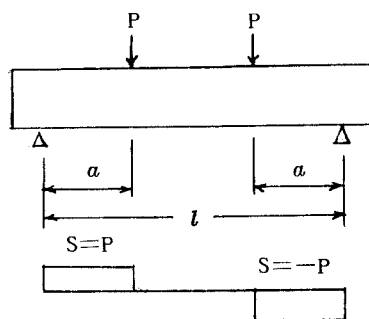


図-6 対称2点荷重

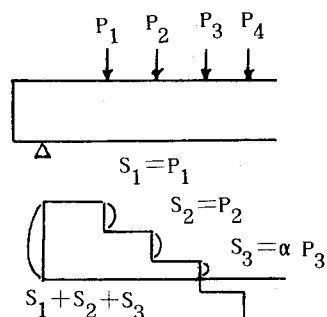


図-7 せん断力成分

念ながら曲げ破壊によるものであり、上記の点を確認することができなかった。このような問題も線形被害則の適否を調べる上で有効と考えられ、今後さらに検討を行う価値がある。

ところで、累積損傷を計算する場合、従来の研究では前述のように各荷重毎に損傷を求め、累積をとっている。この方法によれば、例えば図-6に示すように対称2点荷重が作用する場合、せん断スパン a をもつせん断力

$S_1 = P(l-a)$ と、せん断スパン $(l-a)$ をもつせん断力 $S_2 = Pa/l$ とに分けて考えることになるが、実際の力の流れから見れば、せん断スパン a をもつせん断力 $S = P$ を考えれば十分であることは明らかである。従って累積損傷をとる場合は各荷重ではなく、各せん断力成分毎に累積をとる方が合理的であろう。例えば図-7のような場合、支点反力は P_1, P_2 および P_3 の一部 αP_3 とつり合うことから、これらを $S_1 \sim S_3$ として(3)式による累積をとればよい。

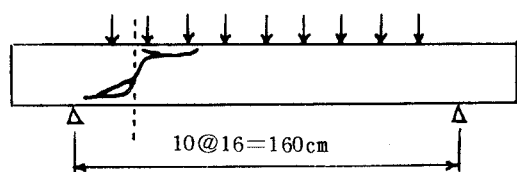


図-8 9点荷重

図-8は、本実験で行った9点荷重における破壊びわれを示したものである。(1) および(2)式を用いた累積損傷によれば、破壊位置は図中の点線で示した位置となり、そのときの耐力は計算値の1.24倍となっている。同様の方法を岩崎ら⁵⁾の対称4点または対称6点荷重の実験に当てはめれば、せん断耐力の実測値/計算値の比は 1.18 ± 0.20 である。また、Leonhardt⁶⁾の等分布荷重による実験に対して、これをスパンの $1/40$ ずつに分けて累積をとった結果では 1.11 ± 0.15 である。これらの数値はあまり良好とはいえないが、本研究では破壊位置を影響因子に導入するに当たっての耐力算定式の改良を全く行っていないことに起因すると考えられる。

4. まとめ

本研究は、分布荷重や多点荷重を受ける鉄筋コンクリートはりのせん断耐力に対する最近の研究について考察したもので、累積損傷に基づく考え方は合理的であるが、線形被害則については、曲げモーメントの影響などを含め、なお検討を要すること、累積は各荷重ではなく、各せん断力成分に対して行うべきこと、破壊位置を変数に導入する最近の研究は妥当なものであることなどを示した。

文献 1) Okamura and Higai, 土木学会論文集第300号, 1980 2) 二羽, 第2回せん断コロキウム, JCI, 1983 3) 松貝, 第39回土木学会年講, 1984 4) 石橋・斉藤・丸山, 第7回コンクリート年講, JCI, 1985 5) 岩崎, 丸山, 吉田, 石橋, 第7回コンクリート年講, JCI, 1985 6) Leonhardt und Walther, B.u.St, 1962.2