

V-13 反曲点を有するRCはりのせん断破壊に及ぼす斜ひびわれの影響について

北海道大学工学部	正 員	古内 仁
北海学園大学工学部	正 員	高橋 義裕
北海道大学工学部	正 員	上田 多門
北海道大学工学部	正 員	角田 与史雄

1. はじめに

様々な形状をもつ鉄筋コンクリート構造物は、外力の作用位置や地震時における大変位等によって複雑な曲げモーメント分布となる。例えば、連続しているはりの中間支点附近やボックスラーメン構造の隅角部附近などでは反曲点が生ずる。しかし、反曲点を有したはりのせん断耐力についての研究は、最近になっていくつ報告されている程度で、それほど多くはない。

本研究は、過去に実験を主体とした研究^{1) 2) 3)}を進め、せん断耐力の評価法を検討してきた。その結果、反曲点のあるはりの支間内では正の曲げモーメント側と負の曲げモーメント側にそれぞれ斜ひびわれが生じ、両者の斜ひびわれが破壊に深く関わっていることがわかった。同一支間内において反曲点から荷点位置あるいは支点位置までを分割してせん断スパンと考えたとき、斜ひびわれの発生はこの2つのせん断スパン（あるいはせん断スパン比）の大きさが主たる要因となっているようである。通常、単純ばりの斜引張破壊におけるせん断耐力は、せん断スパン比が大きくなれば弱くなる傾向にある。反曲点のあるはりについても同様で、2つのせん断スパンのうちの大きい領域に最初に斜ひびわれが生じ、破壊間際でもう一方のせん断スパン内にも斜ひびわれが生ずるようである。ただし、いずれか一方のせん断スパンが他方に比べて極端に小さい場合や両者のせん断スパンがともに大きい場合などでは、最初の斜ひびわれ1本だけで破壊を引き起こすことも多くみられる。また、これらのひびわれの他に荷点と支点を直線的に結ぶように生ずる斜ひびわれも観察されることがある。

ここで、上記の破壊について過去の実験^{1) 2) 3)}から得られた破壊パターンを参考に分類してみた。図-1は、それらの破壊ひびわれを簡素化したもので、破壊時に大きく開口した斜ひびわれだけを示した。a) は最初に大きい方のせん断スパンに斜ひびわれが発生するが直ちに破壊せず、小さい方のせん断スパンに斜ひびわれが発生すると同時に破壊する。b) は、a) と類似しているが2本目の斜ひびわれが荷点と支点を結ぶように伸展し、その発生と同時に破壊する。c) は、a) とb) の混合型で最初の斜ひびわれは大きい方のせん断スパンに発生し、破壊直前に小さい方のせん断スパンの斜ひびわれと荷点と支点を結ぶ斜ひび

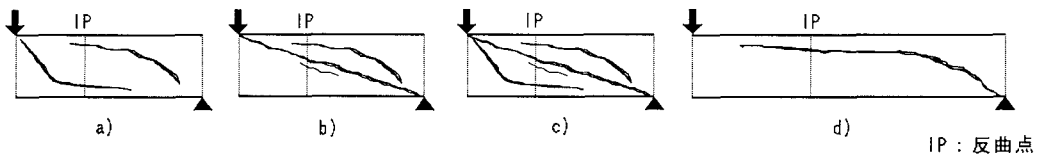


図-1 破壊ひびわれパターン

Effect of Diagonal Cracking on Shear Failure of Reinforced Concrete Beams with an Inflection Point, by Hitoshi FURUUCHI, Yoshihiro TAKAHASHI, Tamon UEDA and Yoshio KAKUTA

われが発生する。d) は、比較的せん断スパンの大きいはりに多くみられるもので最初の斜ひびわれが発生した後、そのひびわれだけで破壊する。また、図には示さなかったが、もう1つの破壊形式として両方のせん断スパンが極端に小さいときには、載荷点と支点を結ぶ斜ひびわれのみで破壊するものがある。

このように、せん断スパンの大きさと破壊に寄与する斜ひびわれの発生には深い関わりがあることから、2つのせん断スパンの大きさとせん断耐力の関係について検討を行ってみることにした。

2. 実験概要

今回行った実験では、過去の実験データ^{1) 2) 3)}で不足していると思われるはりを選定して行った。実験方法は、これまでの実験と同様に張出しを有するはりを用いて行った(図-2参照)。供試体数は表-1に示す5体で、そのうち

の3体(9201, 9202, 9203)は、反曲点をささむ2つのせん断スパンが比較的小さいものである。供試体の寸法および荷重分配比 α は、表-1に示すとおりである。試験区間は、せん断スパン a_p および a_n とし、その他の区間には破壊を起こさないようスターラップによりせん断補強を行った。なお、 a_p および a_n の定義は、図-3に示すように各々反曲点から載荷点まで、反曲点から支点までの距離とした。

使用した鉄筋はすべて異形棒鋼SD345で、主鉄筋(上下)はD25、スターラップにはD10を用いた。コンクリートは、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7日で目標強度300kgf/cm²として試験前日まで湿布養生を行った。

3. 実験結果および考察

コンクリートの圧縮強度および各供試体のせん断耐力は、表-2に示すとおりである。供試体N09202は、試験中荷重が70tonfを越えたところで反力フレームおよび載荷フレームが変形したため載荷を中止した。

図-3に、破壊状況を示す(ただし、N09202は破壊していない)。N09201は、載荷点と支点を直線的に結ぶ斜ひびわれの開口によって破壊が生じた。N09202とN09203は、最初に右側のせん断スパン a_n に斜ひびわれが発生した後、載荷点と支点を結ぶ斜ひびわれも発生した。そのうち、N09203は両者のひびわれの開口によって破壊に至った。N09204は、N09203とほぼ同形態の破壊形式と思われるが斜ひびわれが複数に分かれた。また、N09205も斜ひびわれの発生は酷似しているが、破壊時に左側のせん断スパン a_p にもうっすらとしたひびわれ発見された。

ここでせん断耐力を評価するために、今回のデータに過去の供試体^{1) 2) 3)}を加えて破壊形式を調べてみた。

表-1 供試体諸元

	a' (cm)	a_p (cm)	a_n (cm)	a'' (cm)	α
N09201	15.0	15.0	15.0	15.0	0.6667
N09202	10.0	10.0	30.0	10.0	0.4000
N09203	10.0	10.0	40.0	20.0	0.5000
N09204	20.0	20.0	60.0	20.0	0.4000
N09205	30.0	40.0	65.0	30.0	0.5185

表-2 実験結果

	コンクリート圧縮強度 (kgf/cm ²)	斜ひびわれ発生 せん断力(tonf)	せん断耐力 (tonf)
N09201	365	16.3	16.3
N09202	278	7.20	—
N09203	329	6.50	12.8
N09204	405	3.20	8.48
N09205	369	3.78	5.02

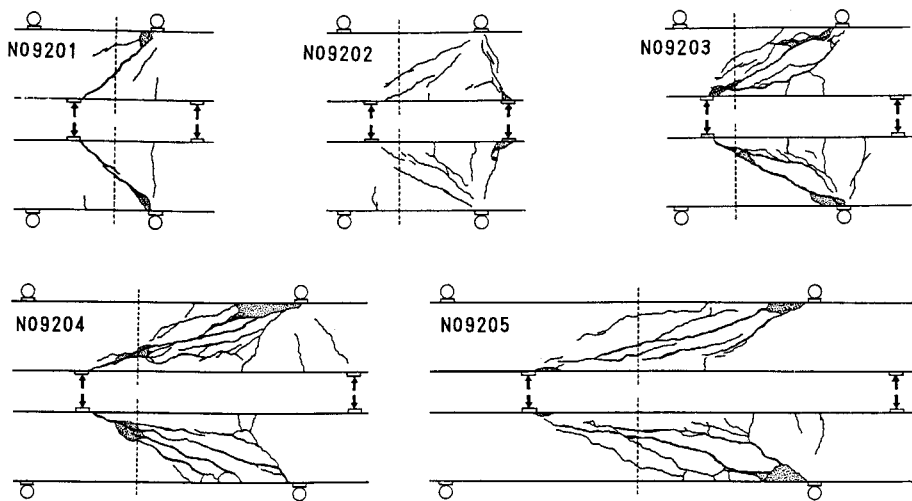


図-3 供試体の破壊状況

実験データの詳細については参考文献を参照されたい。図-4は、2つのせん断スパン比と破壊状況の関連を示したものである。ここで、せん断スパンの大きい方を a_{long} 、せん断スパンの小さい方を a_{short} と定義した。図は、横軸と縦軸にそれぞれのせん断スパンをとり破壊形式を記号で表した。図より、おおむね a_{long}/d が3.5以上のものは斜ひびわれが1本だけで破壊に至っている(dタイプ)。この形式で破壊したはりで、 a_{long}/d が3.5以下のものにア(図中)のはりがある。このはりの附近では、破壊形式がbタイプのものがいくつかあり、破壊形式がどちらかに転ぶ境界上と考えられる。斜ひびわれが両方のせん断スパンに発生して破壊するaタイプは、この境界線より左側で、かつ a_{long}/d が3.5以下のものに多い。

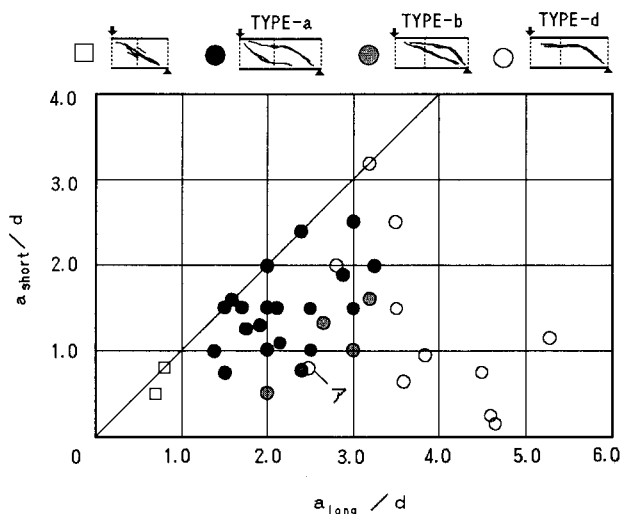


図-4 せん断スパン比と破壊形式の関係

これらのことを考慮して、反曲点のあるはりのせん断破壊の過程を次のように考えてみた。図-5は、せん断スパン a_{long} に斜ひびわれが発生したときの力の釣合を示したものである。斜ひびわれによって分割されたはりは、ひびわれを跨ぐ鉄筋がタイの役割をし、ひびわれに沿って圧縮斜材が形成されると考えられる。このとき、ひびわれのスロープが緩やかであれば、斜材は形成されず最初のひびわれで斜引張破壊が起こる。もし、圧縮斜材が形成され、耐力が増加するとするならば、その後の過程では次の2つのことが考えられる。1つは、形成された圧縮斜材の崩壊によって耐力を失う。もう1つは、せん断スパン a_{short} に斜ひびわれが発生することによって均衡が崩れてしまうことである。せん断耐力の評価を考えたとき、最初の斜ひびわれが生じてから圧縮斜材の崩壊にいたるまでは、はり全体の均衡を保つ補助的な役割をしていることから、圧縮斜材の耐力は増加分と考えられる。一方、 a_{short} における斜ひびわれで破壊が起きたときには、そのせん

断スパンでの斜ひびわれ発生せん断力あるいは斜引張耐力がはりの耐力となることが考えられる。この仮定に基づき、せん断耐力について以下に示すような試算を行ってみた。① a_{long}/d が3.5以上のはりの耐力は、せん断スパン a_{long} における斜引張耐力とする。② a_{long}/d が3.5以下のはりに耐力は、 a_{long} における斜引張耐力に圧縮斜材の耐力を加算したものとせん断スパン a_{short} の斜引張耐力のうち小さいほうを適用する。

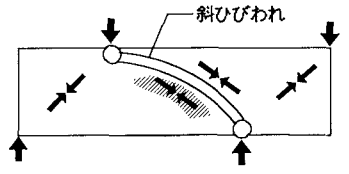


図-5

なお、斜引張耐力の算定には棒部材のせん断耐力式⁴⁾、圧縮斜材の耐力の算定にはディープビームのせん断耐力式⁵⁾を用いた。表-3は、その計算結果（網掛け部分が上記の条件を満たした値）を示したもので、少数の供試体を除いてほぼ妥当な結果が得られた。実験値を大きく上回った供試体（8615、8617、9205）は、むしろ $V_{c, long}$ の計算値と一致している。複雑な応力のもとでは、上述のタイドアーチ機構が不安定であり、偶発的に最初のひびわれによって破壊が生ずるのかもしれない。

4. まとめ

- 1) 反曲点を有するはりのせん断破壊形式は、反曲点を挟む2つのせん断スパンの大きさによってある程度判定ができる。
- 2) 大きい方のせん断スパン比が、3.5以上であるときにはそのせん断スパンの斜ひびわれで破壊が起こり、斜引張耐力式で算定できる。
- 3) 大きい方のせん断スパン比が、3.5以下であるときは耐力が増加する。
- 4) その場合、小さい方のせん断スパンにおける斜引張耐力か、大きい方のせん断スパンにおける斜引張耐力と載荷点と支点を結んで形成される圧縮斜材のせん断耐力の和の小さいほうを適用できる。

表-3 せん断耐力の計算結果

	① $V_{c, long}$	② $V_{a, web}$	①+②	$V_{c, short}$	V_{test}
9101	6.03(0.72)	5.30(0.63)	11.3(1.34)	8.95(1.06)	8.41
9105	5.67(0.65)	4.04(0.47)	9.71(1.12)	8.27(0.95)	8.68
9102	5.15(1.09)	2.86(0.61)	8.01(1.70)	7.41(1.57)	4.71
9103	4.61(0.87)	1.71(0.32)	6.32(1.19)	6.47(1.22)	5.29
9104	4.15(1.01)	1.06(0.26)	5.18(1.26)	5.71(1.39)	4.11
8605	6.28(0.89)	3.19(0.45)	9.47(1.35)	6.33(0.90)	7.04
8611	4.73(0.65)	2.57(0.35)	7.30(1.00)	9.07(1.24)	7.31
8612	4.93(1.00)	1.99(0.40)	6.92(1.40)	5.30(1.07)	4.94
8614	6.22(0.53)	5.12(0.044)	11.3(0.97)	9.67(0.83)	11.7
8615	5.12(0.96)	2.83(0.53)	7.95(1.49)	7.59(1.42)	5.33
8617	4.63(0.88)	2.44(0.46)	7.07(1.34)	9.10(1.72)	5.28
8618	4.64(0.77)	1.67(0.27)	6.31(1.04)	5.91(0.97)	6.06
8620	4.29(1.24)	1.69(0.49)	5.98(1.73)	10.9(3.15)	3.45
8621	4.35(1.30)	1.25(0.37)	5.60(1.68)	6.37(1.91)	3.34
8623	3.83(1.19)	1.04(0.32)	4.87(1.51)	9.46(2.93)	3.23
8507	6.82(0.83)	3.25(0.39)	10.1(1.22)	6.86(0.83)	8.24
8514	6.38(0.77)	3.04(0.37)	9.42(1.13)	6.88(0.83)	8.32
8505	4.79(0.89)	1.79(0.33)	6.58(1.22)	49.1(9.15)	5.36
8511	4.72(0.79)	1.54(0.26)	6.26(1.05)	9.45(1.59)	5.96
8512	4.47(0.95)	1.54(0.33)	6.01(1.27)	28.9(6.13)	4.72
8508	4.47(0.97)	0.95(0.21)	5.42(1.18)	8.82(1.93)	4.58
504F	6.56(0.72)	2.99(0.33)	9.55(1.06)	6.56(0.72)	9.05
504G	5.68(0.60)	2.99(0.32)	8.67(0.92)	8.30(0.88)	9.40
504I	6.04(0.76)	3.07(0.39)	9.11(1.15)	7.53(0.95)	7.95
504A	6.03(0.98)	2.10(0.34)	8.13(1.33)	6.03(0.98)	6.13
504B	5.30(0.72)	2.10(0.29)	7.40(1.00)	7.50(1.02)	7.37
504D	5.33(1.09)	1.37(0.28)	6.70(1.36)	5.35(1.09)	4.91
504E	4.75(0.83)	1.37(0.24)	6.12(1.07)	6.50(1.13)	5.74
504H	5.05(0.80)	1.43(0.23)	6.48(1.02)	6.04(0.95)	6.34
9203	6.33(0.49)	5.44(0.42)	11.8(0.92)	15.5(1.21)	12.8
9204	5.70(0.67)	2.66(0.31)	8.36(0.99)	10.1(1.19)	8.48
9205	5.36(1.07)	1.49(0.30)	6.85(1.36)	6.58(1.31)	5.02

参考文献

1) 古内仁他：反曲点を有する鉄筋コンクリートはりのせん断耐荷機構について、JCI年次論文報告集、Vol. 14
2) 古内仁他：反曲点を有するRCはりのせん断耐力について、JCI年次論文報告集、Vol. 13、1991
3) 古内仁他：張出しを有するRCはりのせん断強度に関する研究、JCI年次論文報告集、Vol. 9、1987
4) 二羽淳一郎他：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の評価、土木学会論文集、Vol. 372、1986
5) 二羽淳一郎：FEM解析に基づくディープビームのせん断耐荷力算定式、第2回せん断コンクリート論文集、1983

$V_{c, long}$ ：せん断スパン a_{long} における斜引張耐力 (tonf)
 $V_{a, web}$ ：載荷点と支点を結ぶ圧縮斜材のせん断耐力 (tonf)
 $V_{c, short}$ ：せん断スパン a_{short} における斜引張耐力 (tonf)
 V_{test} ：実験で得られた終局せん断力 (tonf)