

# [95] せん断区間のはく離がRC部材の挙動に及ぼす影響について

正会員 ○ 関 博 (早稲田大学理工学部)  
伊東 昇 (早稲田大学理工学部)

## 1 まえがき

鉄筋コンクリート部材に曲げひびわれが発生すると、ひびわれの幅によっては部材の耐久性を損うこととなる。これには、i)ひびわれ断面を貫通する鉄筋が担食や孔食を生じて断面積の減少をきたし、引張耐力が減ることによって部材としての曲げ耐力が低下すること、ii)ひびわれ断面の部分から腐食が鉄筋軸方向に沿って左右に進展し鉄筋とコンクリートの付着を破壊すること、iii)錆の膨張圧によってかぶりのコンクリートにリングテンションを発生させ、鉄筋軸に沿ったひびわれが生ずることによって引張剛性を低下させると共にさらに腐食を助長させてかぶりのコンクリートのはく離にまで至ること、などが含まれ、部材の安全性に影響を与えることもある。

本文では、上述の i)~iii)のうち ii)を検討の対象としている。部材表面で観察されるひびわれの幅は、鉄筋表面でのひびわれ幅と一致するものではない。後藤によるとひびわれ断面を中心として鉄筋とコンクリートにはく離が生じており、鉄筋の腐食によって付着破壊した長さはさらに拡大する<sup>2)</sup>。曲げひびわれの発生している既設部材でも同様の現象が生じているものと思われ、本報告では室内実験的にはく離を生じさせたはり供試体を製作して、はく離が部材の耐力や剛性(ないし変形)に与える影響を検討したものである。

## 2 実験方法

(1) 実験概要：鉄筋とコンクリートのはく離をせん断区間に設定し、せん断スパン中央に設けたもの(実験Ⅰ)およびせん断スパンの支点近傍に設けたもの(実験Ⅱ)、の二者について検討を行なった。せん断スパンと有効高の比  $a/d$  は、ほぼ 2.5 とした。

鉄筋コンクリートは荷重載荷時にはく離が生ずるが、この部分の腐食の進行によって経年と共にはく離長さは増加するものと考えられる。はく離長さは、経過年数、ひびわれ幅、環境条件などによって相違すると思われるが、腐食が顕著となると膨張圧による軸方向ひびわれが発生するため、極端に大きな値とならず限界値があるものと考えられる。神山のさび長さに関する推定式<sup>2)</sup>、既往の測定値<sup>3)</sup>などを参考として、本実験ではくり長さを 20 cm および 40 cm に設定した。

図-1 は、実験に供した試験体の形状および配筋を示している。試験体はいずれも T 形はりであり、実験Ⅰは、せん断スパン中央におけるはくり長さの影響やはくり中央における人工ひびわれの影響を検討の主眼とするものである。実験Ⅱは支点近傍のはくり長さ、折曲げ鉄筋、せん断スパンのゲージなどの影響を検討することを目的としている。

なお、部材の設計は RC 示方書(昭和 49 年版)による許容応力度法により行なったが、端部定着は ACI Code (318-77)により計算した。

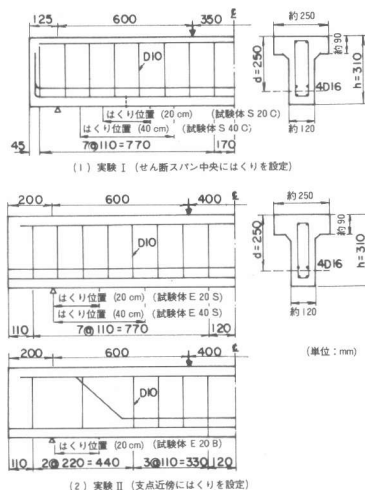


図-1 実験体の形状および配筋図

表-1 コンクリートの配合

実験名	配合番号	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
						W	C	S	G
I	①	8.5±1.0	2.0	4.4	4.6	186	419	802	950
	②	8.5±1.0	2.0	4.1	4.6	186	444	798	939
II	③	7.5±1.0	2.0	4.1	4.4	184	448	757	974

注：粗骨材最大寸法 20 mm、細骨材富士土産早強ポルトランドセメント使用

(2) 使用材料：コンクリートは、スランプ 8 cm、圧縮強度 400 Kg/cm<sup>2</sup>程度を目標とした。表-1 は、使用したコンクリート材料および示方配合を示している。用いた鉄筋は異形鉄筋であり、曲げ筋は SD30 D16 である。引張試験結果によると、鉄筋の降状点は実験Ⅰで 3350 Kg/cm<sup>2</sup>、実験Ⅱで 3354 Kg/cm<sup>2</sup>であった。

(3) 試験体の製作：はく離部分の作成は、異形鉄筋のフシ間にワックスを詰めその外側をさらにテープで巻く方法とした。本方法で付着が失われることは、確認した。ほぼ材令 7 日で脱型し、材令 14 日前後で載荷試験に供した。

(4) 測定項目および荷重の載荷方法：測定項目は、ひびわれ発生荷重、ひびわれ幅（鉄筋軸位置）、ひびわれ進行状況、鉄筋およびコンクリートのひずみ、たわみ、破壊荷重であり、実験Ⅱでは曲げ筋端部の引込み量も併せ測定した。支間および載荷スパンは、実験Ⅰでは 1.55 m および 0.35 m、実験Ⅱでは 1.6 m および 0.4 m に設定した。

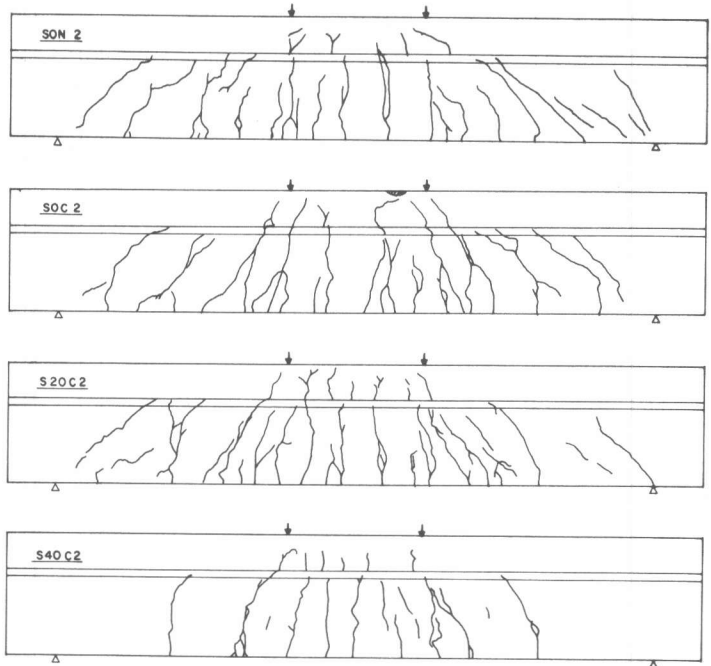


図-2 破壊時のひびわれ状況 (実験Ⅰ)

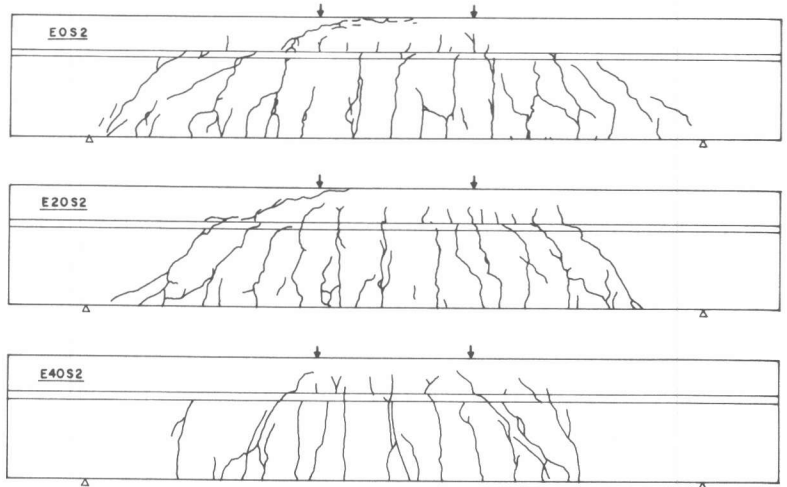


図-3 破壊時のひびわれ状況 (実験Ⅱ)

### 3 RCはりのひびわれおよび破壊

#### 3.1 ひびわれおよび破壊性状

図-2 および図-3 は、主要なひびわれ図を示したものである。人工ひびわれやはく離のない試験体では、ひびわれは純曲げ区間において最初に発生したが、人工ひびわれを有する実験Ⅰでは純曲げ区間と人工ひびわれ部分からほぼ同時にひびわれが進行した。その後のひびわれの進展状況は、はく離によって相違が認められ、特にせん断スパンではく離が 40 cm の試験体では、せん断スパンにおけるひびわれ数が極端に少ない。さらに、せん

断ひびわれの形成もはく離が40cmのものは不十分であって、通常のはり作用とは異なる力の釣合い機構が生じているものと予想される。

図-4は、鉄筋位置における純曲げ区間およびせん断スパンにおける荷重の増加に伴うひびわれ幅の変化を示したものである。純曲げ区間でのひびわれ幅はせん断スパンでははく離の影響は受けにくいようであるが、せん断スパンでははく離が大きくなるほどひびわれ幅は大きくなり、しかも純曲げ区間におけるひびわれ幅を上廻る。これは

せん断スパンでひびわれ本数が少ないことと対応するものと考えられ、せん断スパンでの部材の回転はこの部分で集中的に生ずる。

上述のひびわれのパターンは、池田・宇治の報告と類似している。池田・宇治はせん断スパンで付着のないRCはりでの載荷試験を実施し、せん断スパンで斜めひびわれが発生しないことを見出している。

ストレインゲージを貼り付けること自体が鉄筋とコンクリートの付着を阻害していることであるが、ひびわれのパターンやたわみへの影響はほとんど認められなかった。折曲げ鉄筋の使用による相違も観察されなかった。

いずれの試験体も最終的な破壊は、純曲げ区間におけるコンクリートの圧縮部の圧壊（引張破壊）であった。

### 3.2 破壊荷重

本試験の範囲内では、従来の手法によって設計されたRCはりにおいて、せん断スパンにおける40cm程度までのはく離は、部材の終局耐力に影響を及ぼさなかった。表-2は、破壊荷重の測定値および計算結果を示したもので、はく離による耐力低下は認められていない。

せん断スパンでの破壊が先行しない理由はせん断鉄筋が十分に配筋されていると共に、はく離が存在するときには強固な残存アーチ機構を形成するため<sup>4)</sup>であると考えられる。

表-2には、実験Ⅱにおけるせん断スパンでのひびわれのパターンを考慮した計算結果の例を併せ示した<sup>5)</sup>。これは、図-5(2)に示すように力の釣り合い機構をタイドアーチでモデル化して得た結果である。また、タイドラーンソンモデルを想定することも考えられる。

表-2には、実験Ⅱにおけるせん断スパンでのひびわれのパターンを考慮した計算結果の例を併せ示した<sup>5)</sup>。これは、図-5(2)に示すように力の釣り合い機構をタイドアーチでモデル化して得た結果である。また、タイドラーンソンモデルを想定することも考えられる。

### 4 端部定着

図-6は、実験Ⅱにおける破壊荷重近傍の荷重における軸方向のひずみ分布を示している。本図によると、はく離20cmの試験体の支

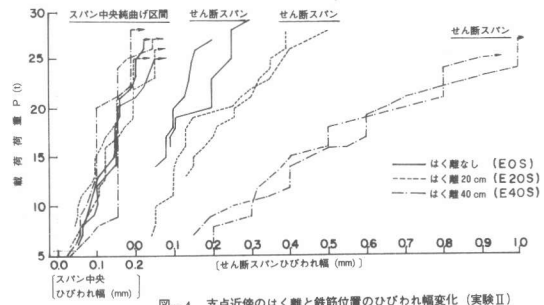


図-4 支点近傍のはく離と鉄筋位置のひびわれ幅変化 (実験Ⅱ)

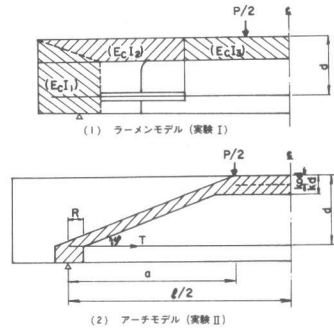


図-5 釣り合い機構のモデル

表-2 ひびわれ発生および破壊荷重

実験名	試験体番号	はく離長さ (cm)	コンクリート強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			ひびわれ発生		設計				
			圧縮	曲げ	引張	測定値 (t)	計算 (t)	測定値 (t)	測定値 (t)	土木学会	ACI	モデル
I	S0N1	0	484	468	328	6.0	1.9	106	820	1.53	1.53	-
	S0N2	0				7.0	2.2	106	800	1.48	1.48	-
	S0C1 <sup>3)</sup>	0 <sup>1)</sup>				5.0	1.5	107	280	1.88	1.88	-
	S0C2 <sup>3)</sup>	0 <sup>1)</sup>	498	582	85.2	5.0	1.5	107	270	1.28	1.28	-
	S20C1 <sup>3)</sup>	2.0 <sup>1)</sup>				4.0	1.4	88	300	1.45	1.44	-
	S20C2 <sup>3)</sup>	2.0 <sup>1)</sup>	873	480	28.6	4.0	1.4	87	290	1.40	1.40	-
	S40C1 <sup>3)</sup>	4.0 <sup>1)</sup>				1.0	0.4	88	260	1.26	1.25	-
	S40C2 <sup>3)</sup>	4.0 <sup>1)</sup>	884	454	25.5	2.0	0.8	89	270	1.80	1.80	-
E0N1 <sup>4)</sup>	0	6.0				1.6	95	812	1.51	1.50	1.16	
II	E0N2 <sup>4)</sup>	0	871	675	86.7	6.0	1.6	96	825	1.57	1.56	1.20
	E20B1 <sup>5)</sup>	2.0				7.0	1.9	94	286	1.48	1.42	1.10
	E20B2 <sup>5)</sup>	2.0				5.0	1.4	94	307	1.48	1.48	1.14
	E0S1	0	856	55.5	28.2	4.0	1.4	92	299	1.44	1.44	1.14
	E0S2	0				3.0	1.1	92	298	1.44	1.44	1.14
	E20S1	2.0				4.0	1.4	92	292	1.41	1.41	1.11
	E20S2	2.0	448	5.00	84.4	4.0	1.4	92	307	1.48	1.48	1.17
	E40S1	4.0				4.0	1.2	102	300	1.44	1.48	0.95
	E40S2	4.0				4.0	1.2	101	315	1.51	1.50	1.00

注：1) 人工ひびわれ有り  
 2) 計算値は神山式使用  
 3) 人工ひびわれを設けたもの  
 4) せん断スパンの鉄筋にストレインゲージを取り付けていないもの  
 5) 主鉄筋の半分を折曲げて圧縮側で定着

点近辺におけるひずみははく離のないときとほぼ同様であるが、はく離が40 cmとなると、支点近傍においても鉄筋はほぼ降伏状態に達している。既往の付着試験から引抜き付着強度を推定すると、 $\tau_b = 6.64\sqrt{f_c}$ 、あるいは $\tau_b = 2.53\sqrt{f_c}$ の関係式で表わすことができる<sup>5)</sup> これらの式を用いると、支点で鉄筋が降伏点に到達する段階においても、端部の引抜き破壊が生じないことを予想することができる。試験結果によると、曲げ筋の端部のコンクリート体中への引き込み量は少なく、上記推測と一致するものである。ただし、せん断スパンが短いときには、はく離がないものに対して、はく離が発生すると定着に対する安全性は低下するものと考えられる。

## 5 部材のたわみ

図-7は、はく離の生じていない部分の断面の曲率と作用モーメントの関係を示したものである。図中の計算値は、関数法による値であり、計算値は比較的良い精度で断面の曲率を推定している。

スパン中央におけるたわみの測定値(実験Ⅱ)を示したものが図-8であり、20 cm程度までの鉄筋とコンクリートのはく離は部材の剛性にはほとんど影響を与えないものと考えられるが、40 cmにはく離長さが拡大すると、たわみは増加するようである。

## 6 結論

鉄筋の腐食によるコンクリートのはく離を想定して、せん断スパンにおける付着破壊がRC部材の挙動に及ぼす影響を検討した。本実験の範囲内で得られた結論を要約すると、以下の通りである。

- i) はく離が生じているときには、せん断スパンでのひびわれ本数が少なく斜めひびわれ発生の可能性も低くなる。はく離が40 cmに達するとこの傾向は顕著であり、せん断スパンのひびわれ幅が部材中の最大値を示す。
- ii) 支点近傍ではく離が40 cmのときには、引抜きに対する安全性は低下する。
- iii) 40 cm程度のはく離は、現行設計で配筋されたRC部材の耐力を低下させないが、変形は若干増加する。なお、本実験の実施に当っては、久保田博君(現東京電力)、片岡直也君(現大成道路)、野瀬宏志君の御助力を頂いた。謹んで感謝の意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) Goto, Y.: Cracks Formed in Concrete Around Deformed Tension Bars, ACI Jour, April 1972
- 2) 神山一: コンクリート中の鉄筋のさび、セメントコンクリート、1972年10月
- 3) 関 博他: 長期間海水作用を受けたコンクリートはりのひびわれと内部鉄筋の腐食について、港研報告、1973年9月
- 4) 池田尚治他: 鉄筋コンクリートはりのせん断耐荷挙動に及ぼす鉄筋の付着の影響に関する研究、土木学会論文報告集、1980年1月
- 5) 関博、伊東昇: 支点近傍にはく離を有する鉄筋コンクリートはりの挙動および耐力の変化について、土木学会関東支部、1981年1月

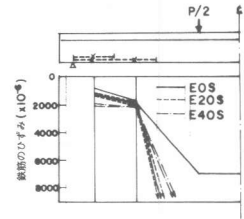


図-6 軸方向の鉄筋のひずみ分布(実験Ⅱ)

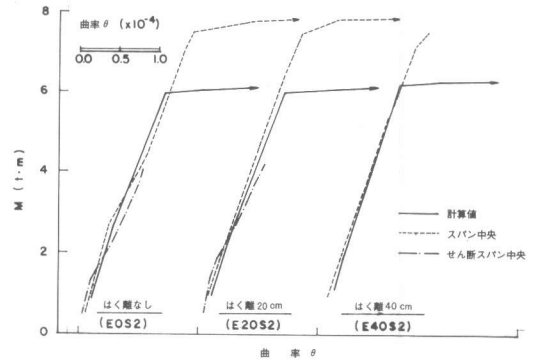


図-7 支点近傍のはく離と曲率変化

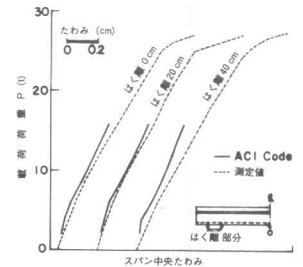


図-8 支点近傍のはく離とスパン中央のたわみ