

# 鉛直打継目を有する RC はりの 鋼板被覆による補強効果

辻 幸和<sup>1</sup>・杉山 隆文<sup>2</sup>・山口 光俊<sup>3</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 工博 群馬大学教授 工学部建設工学科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1)

<sup>2</sup>正会員 Ph.D. 群馬大学助教授 工学部建設工学科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1)

<sup>3</sup>正会員 修士 (株)富士ピーエス 東京支店 (〒105-0004 東京都港区新橋 4-24-8)

せん断スパン比( $a/d$ )が 2.35, 引張鉄筋比( $p_w$ )が 3.37%の小型 RC はりおよび  $a/d$  が 3.80,  $p_w$  が 1.71%の大型 RC はりを作製し, せん断スパン内にそれぞれ鉛直打継目を設けた. この打継目を鋼板被覆で補強して曲げ強度試験を行い, ひび割れ性状, 曲げひび割れ発生荷重, 斜めひび割れ発生荷重, 最大荷重, 破壊形式, スターラップおよび鋼板のひずみをそれぞれ測定した. 鋼板補強には, 斜めひび割れ発生荷重の増加や鉛直打継目によって局所的にスターラップの分担せん断力が増加するのを, 鋼板が分担して防止する効果があることを明らかにした. また, スターラップの配筋量やコンクリート強度が小さいほど, 鋼板が負担するせん断力が大きくなることも明らかにした.

*Key Words* : reinforced concrete beam, vertical construction joint, reinforcement with steel plate, shear strength

## 1. はじめに

コンクリート構造物の施工においては, 施工能力や温度ひび割れの防止等の理由から, コンクリートは時間をかけて区間ごとに打ち込まれる場合が多い. そのために, コンクリート構造物には鉛直および水平等の打継目が存在することになる. これらの打継目に関して, 土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕平成 11 年版<sup>1)</sup>では, できるだけせん断力の小さい位置に設け, 打継面の入念な施工を行うように規定されているだけで, 定量的な規定はなされていない. さらに, 構造物の検査において, 一体性が保たれていないと判定された場合の補強方法などの対策も示されていない.

著者らは, 既往の研究<sup>2)~4)</sup>より, 鉛直打継目がせん断スパン中央に位置する場合にせん断耐力が最も低下して, 一体型の RC はりに比較して, 20%程度小さくなることを報告した. また, その鉛直打継目を鋼板被覆で補強する工法を提案して, グラウト強度, 鋼板幅や鋼板厚さなどの施工方法や補強材料の材質を適切に選択することによって, せん断耐力は一体型はりよりも増加することも報告した<sup>3),5),6)</sup>. しかし, 打継目の鋼板被覆による補強のメカニズムやせん断

スパン内のスターラップの局所的なひずみの増加などの考察は十分ではなかった.

本研究は, 既往の研究(せん断スパン比: 1.76~2.35, 引張鉄筋比: 1.56%)<sup>2)~6)</sup>で得られた知見を構造諸元が異なる RC はりでも確認すること, せん断スパン内のスターラップの局所的なひずみ増加を調べることを目的とした. そして, 実験に際しては, 既往の研究と同じ断面形状寸法であるが, せん断スパン比および引張鉄筋比が異なる小型の RC はりおよび全長 3600mm の比較的大型の RC はりをそれぞれ新たに作製して<sup>7),8)</sup>, これらのせん断スパン内にある鉛直打継目の鋼板被覆による補強効果を実験的に考察した. 実験では, ひび割れ発生状況, 曲げひび割れ発生荷重, 斜めひび割れ発生荷重, 最大荷重, 破壊形式をそれぞれ測定, 観察するとともに, せん断スパン内に設けた鉛直打継目が存在する側のスターラップのひずみ増加およびコンクリート, スターラップおよび鋼板が分担するせん断力をそれぞれ求めた. さらに鋼板側面と上下面に貼付したひずみから鋼板被覆による補強のメカニズムについても考察した. 本論文では, これらの結果を報告する.

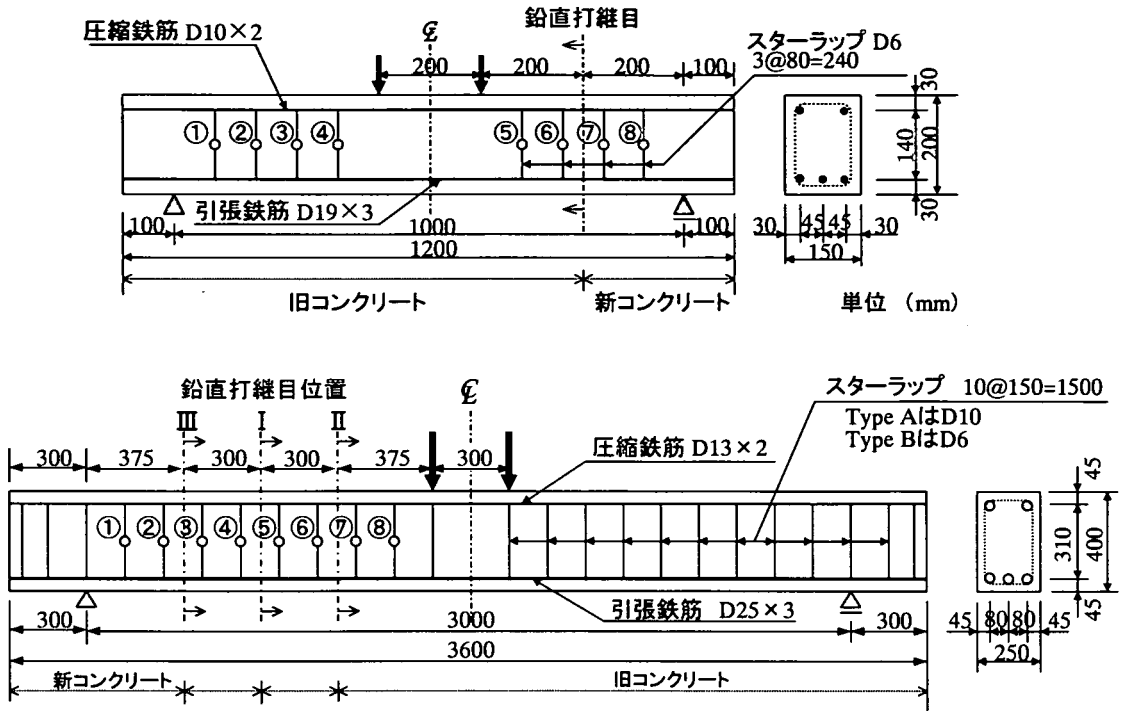


図-1 供試体の形状・寸法（上図：シリーズ1，下図：シリーズ2）

## 2. 実験概要

### (1) 供試体の形状寸法

実験に用いた供試体の形状寸法を、図-1に示す。供試体はシリーズ1とシリーズ2の2種類とした。

シリーズ1の供試体は、高さが200mmで、幅が150mmの矩形断面で、打継ぎ後には長さが1200mmとなるようにした。軸方向鉄筋は、引張鉄筋にD19を3本、圧縮鉄筋にD10を2本配置した。スターラップはD6を80mm間隔で、せん断スパン内に4本ずつ配置した。せん断スパン比( $a/d$ )は2.35で、引張鉄筋比( $p_w$ )は3.37%である。

シリーズ2の供試体は、高さが400mmで、幅が250mmの矩形断面で、打継ぎ後には長さが3600mmとなるようにした。軸方向鉄筋は、引張鉄筋にD25を3本、圧縮鉄筋にD13を2本配置した。なお、スターラップの配筋量を変えたType AとType Bの2種類とした。Type AのスターラップはD10を、Type BはD6を、それぞれ150mm間隔で、せん断スパン内に8本ずつ配置した。せん断スパン比( $a/d$ )は3.80で、引張鉄筋比( $p_w$ )は1.71%である。

### (2) 供試体の種別

供試体の種別をシリーズ1およびシリーズ2について表-1に示す。コンクリートの圧縮強度、鉛直打

継目の位置、打継目の処理方法、鋼板被覆による補強方法別に、合計27体のRCはりりを試験した。

各シリーズのRCはりりは、打継目の無い一体型の供試体、打継目を鋼板被覆で補強しない無補強な供試体もそれぞれ作製して比較した。なお、使用した鉄筋および鋼板の種類を表-2に示す。

#### a) 小型RCはり（シリーズ1）の詳細

シリーズ1のRCはりでは、せん断耐力が最も低下するとされるせん断スパン中央に鉛直打継目を片側に1ヶ所設けた。また、設計基準強度が $35\text{N/mm}^2$ （通常強度）および $70\text{N/mm}^2$ （高強度）の2つの配合で作製した。各コンクリートの配合を表-3に示す。なお、表-1に示した供試体の種別との対応で、通常強度の場合がN、高強度の場合がHと供試体名の先頭記号を表記した。

はりの設計においては、本研究の目的であるせん断性状を明確にするためにせん断破壊を想定した。すなわち、せん断耐力時の作用荷重、 $P_v$ と曲げ耐力時の作用荷重、 $P_M$ との比である破壊荷重比、 $P_v/P_M$ が1.0以下に設定した。実際のコンクリート圧縮強度を用いて計算した破壊荷重比も表-1に示した。はりの設計は、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕平成8年版<sup>9)</sup>に基づいて行った。

シリーズ1のはりでは、鉛直打継目を粗骨材が見える程度まで粗く削った場合と無処理の場合の2通

表-1 供試体の種別

	供試体名	コンクリート強度 <sup>*1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	打継目 <sup>*2</sup>		補強方法 <sup>*3</sup>	P <sub>v</sub> <sup>*4</sup> P <sub>M</sub>	
			位置	処理			
シリーズ1	N	51.3(新)	せん断スパン中央	無	—	0.72	
	NA			有	無補強		
	NB			有	鋼板 50mm		
	NA-S50			有	鋼板 100mm		
	NA-S100			有			
	NB-S100			無	鋼板 200mm		
	NA-S200	有					
	H	79.3(新)	せん断スパン中央	無	—	0.73	
	HA			有	無補強		
	HB			有	鋼板 50mm		
	HA-S50			有	鋼板 100mm		
	HA-S100			有			
	HB-S100			無	鋼板 200mm		
	HA-S200			有			
シリーズ2	A0			30.4 ~ 36.1(新)	無		無
	A1	断面Ⅰ	有			無補強	
	A2	断面Ⅱ					
	A3	断面Ⅲ	無	有	無補強切断 鋼板 200mm		
	A1-cut	31.0 ~ 37.1(旧)	断面Ⅰ			有	
	A1-SS		無	—	0.98		
	B0	21.2 ~ 34.4(新)	無	無		—	
	B1			断面Ⅰ		有	無補強
	B2			断面Ⅱ			
	B3	断面Ⅲ	無	有		無補強切断 鋼板 200mm	
B1-cut	25.1 ~ 30.4(旧)	断面Ⅰ	有				
B1-SS		無	—	鋼板 400mm			
B1-SL							

- \*1: (新)新コンクリート, (旧)旧コンクリート
- \*2: 打継目処理有・ワイヤブラシで粗く削る
- \*3: 数字は鋼板幅, 無補強切断・無補強で引張鉄筋を断面Ⅲで切断
- \*4: 破壊荷重比 (せん断耐力時の作用荷重/曲げ耐力時の作用荷重)

りのはりを作製した。また、鋼板幅は、50, 100, 200mmと変化させた。

b)大型RCはり(シリーズ2)の詳細

シリーズ2のRCはりでは、スターラップの配筋量が異なるType AおよびBにおいて、鉛直打継目の位置を図-1に示したように3通りに変化させた(断面Ⅰ~Ⅲ)。せん断耐力が最も低下するせん断スパン中央に鉛直打継目(断面Ⅰ)を設けたはり(1タイプ)、断面Ⅰに打継目を設け鋼板により補強した1-Sタイプ、断面Ⅱ, Ⅲにそれぞれ打継目を設けた2タイプ、3タイプ、そして、断面Ⅰに打継目を設け、それより30mm 支点側の断面Ⅲの位置で引張鉄筋を切断したはり(1-cutタイプ)を、TypeAおよびBのRCはりですそれぞれ作製した。この引張鉄筋の切

表-2 使用鉄筋および鋼板の種類と適用

供試体種別		圧縮鉄筋	引張鉄筋	スターラップ	鋼板 <sup>*1</sup>
シリーズ1	通常強度	SD295A	SDB45	SD295A	SS400
	高強度	D10@2	D19@3	D6	1mm <sup>2</sup>
シリーズ2	Type A	SD295A	SDB45	SD295A	SS400
	Type B	D13@2	D25@3	D10 SD295A D6	1-2mm <sup>3</sup>

- \*1 降伏強度:245N/mm<sup>2</sup>, 引張強度:400~510 N/mm<sup>2</sup>,
- \*2:鋼板厚さ
- \*3 B1-SL: 鋼板厚さ1mm, A1-SS,B1-SS: 鋼板厚さ2mm

断は、打継目の近傍で途中引張定着した場合を想定したものである。

(3) 供試体の作製方法

a)コンクリートの配合および圧縮強度

普通ポルトランドセメントを結合材として使用した。コンクリートの配合を表-3に示す。表-1には各配合の圧縮強度も示したが、新または旧コンクリートは、図-1に示したように打継目を境に分類した。

b)コンクリートの打込み方法および打継目処理

コンクリートの打込みは、図-1に示したように旧コンクリートを鉛直打継目位置まで打ち込み、材齢24時間後に脱型して、引き続きその打継目を処理した。シリーズ1の供試体では、粗骨材が見える程度まで、ワイヤブラシを用いて粗く削った。シリーズ2では、予め旧コンクリートを打ち込む時に、打継目面の硬化を遅らせる目的で、これと接する型枠面に遅延剤を塗布した。そして、脱型後に水洗いしながらワイヤブラシで粗骨材が見える程度まで削った。

新コンクリートは、旧コンクリートの材齢48時間後に打ち込み、その後、材齢28日まで実験室内にて湿布養生した。

(4) 鋼板被覆方法

鋼板被覆による補強は、材齢28日目に行った。鋼板は、はり断面を一周するように折り曲げ、その両端を突合せ溶接したものである。鋼板の設置は、既往の研究<sup>3),6),7)</sup>に準じて行っているが、先ず鋼板中心線が打継目に位置するように木製の設置板をシリコン樹脂系の接着剤を用いてコンクリート表面へ固定した。シリーズ1では、供試体との間隔が、グラウト注入が可能な最も狭い間隔である5mmとした。シリーズ2の大型はりでは、鋼板と供試体面との間隔は7mmとした。母体となる部材コンクリートと鋼板の接着にグラウトを使用したのは、両材料の一体化を図るためである。

表-3 コンクリートの配合

供試体種別	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						W	C	S	G	混和剤
シリーズ 1	通常強度	15	4.0	60	49	185	309	911	982	1.85
	高強度			30	45	185	618	697	928	5.41
シリーズ 2	Type A	20	2.0	57	50	137	240	1008	1039	3.36
	Type B	25	4.5	55.5	44	154	278	817	1048	1.04

表-4 グラウトの配合および諸性状

供試体種別	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						流下時間 (sec) <sup>*5</sup>	膨張率 (%)	ブリーディング率 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
		W	C <sup>*1</sup>	混和剤 <sup>*2</sup>	膨張材 <sup>*3</sup>	膨張剤 <sup>*4</sup>					
シリーズ 1	通常強度	40	553	1396	14	-	0.112	13.5	3.2	0	41.8
	高強度	30	480	1601	8	32	-	6.7	2.1	0	59.6
シリーズ 2	Type A	40	559	1397	14	-	0.112	15.0	1.5	0.23	28.4
	Type B	44	582	1322	13	-	0.106	12.0	0.6	0.90	27.5

- \*1 : 普通ポルトランドセメント (シリーズ1の通常強度とシリーズ2), シリカフェームセメント (シリーズ1の高強度)
- \*2 : ノンブリーディングタイプの高性能セメントグラウト注入モルタル用混和剤 (シリーズ1-通常強度) 高性能 AE 減水剤 (シリーズ1-高強度), 減水剤 (シリーズ2)
- \*3 : コンクリート用膨張材
- \*4 : アルミニウム粉末
- \*5 : JP 漏斗流下時間

本研究で使用したグラウトの配合およびフレッシュ性状、圧縮強度を表-4に示す。シリーズ1は、コンクリート強度が2種類であるために、グラウト強度も2種類用意した。また、シリーズ2においても、グラウト強度が部材コンクリートに近くなるように配合した。

グラウトは、設置板で使用したシリコン樹脂系接着剤が硬化後に注入して、その後各供試体は、さらに28日間実験室内で気中養生した。

(5) 載荷試験方法および測定項目

載荷方法は、図-1に示したように、シリーズ1では、等曲げモーメント区間が200mm、スパンが1000mm、シリーズ2ではそれぞれ300mm、3000mmとした2点集中載荷として、供試体が破壊に至るまで静的漸増載荷した。

測定項目は、引張鉄筋、圧縮鉄筋、スターラップの各ひずみ、供試体の圧縮縁および引張縁の各コンクリートのひずみ、供試体側面の引張鉄筋位置でのひび割れ幅、供試体たわみ、鋼板の上面、下面、側面のひずみである。なお、本研究では、特に各ひずみの測定結果に基づいて考察した。

3. 鉛直打継目を有する RC はりのひび割れ性状

図-2および図-3は、シリーズ1, 2の各RCはり

のひび割れ発生状況を模式的に示したものである。図には、破線で鉛直打継目を、網掛けで鋼板の位置もそれぞれ示した。また、図-4は、それぞれシリーズ1および2における曲げひび割れ発生荷重と斜めひび割れ発生荷重である。

曲げひび割れ発生荷重は、RCはりの引張縁に貼付したひずみゲージと側面に設置したパイ型変位型により計測した、それぞれのひずみとひび割れ幅が急激に増加した時の荷重とした。目視で確認した曲げひび割れは、すべて先ず等曲げモーメント区間に発生した。斜めひび割れ発生荷重は、打継目を有する側のせん断スパン内のスターラップが引張力を受け始め、急激に増加した時の荷重とした。

(1) 小型 RC はりのひび割れ性状 (シリーズ1)

a) 一体型および無補強 RC はりのひび割れ性状

コンクリート強度に関わらず、鉛直打継目の処理を施したRCはり、NAおよびHAは、一体型のはり、NおよびHとはほぼ同様な斜めひび割れの進展が見られる。これに対し、無処理であるRCはり、NBおよびHBでは、打継目位置で斜めひび割れが不連続に発生し、打継面において新コンクリートと旧コンクリートとのずれが確認された。打継面で斜めひび割れが不連続に生じることは、既往の研究<sup>2)~6)</sup>やせん断スパン比を1.76、引張鉄筋比を2.25%に小さくして行った別の実験<sup>7)</sup>においても同様に認められている。しかし、今回の実験の場合には、目視による打

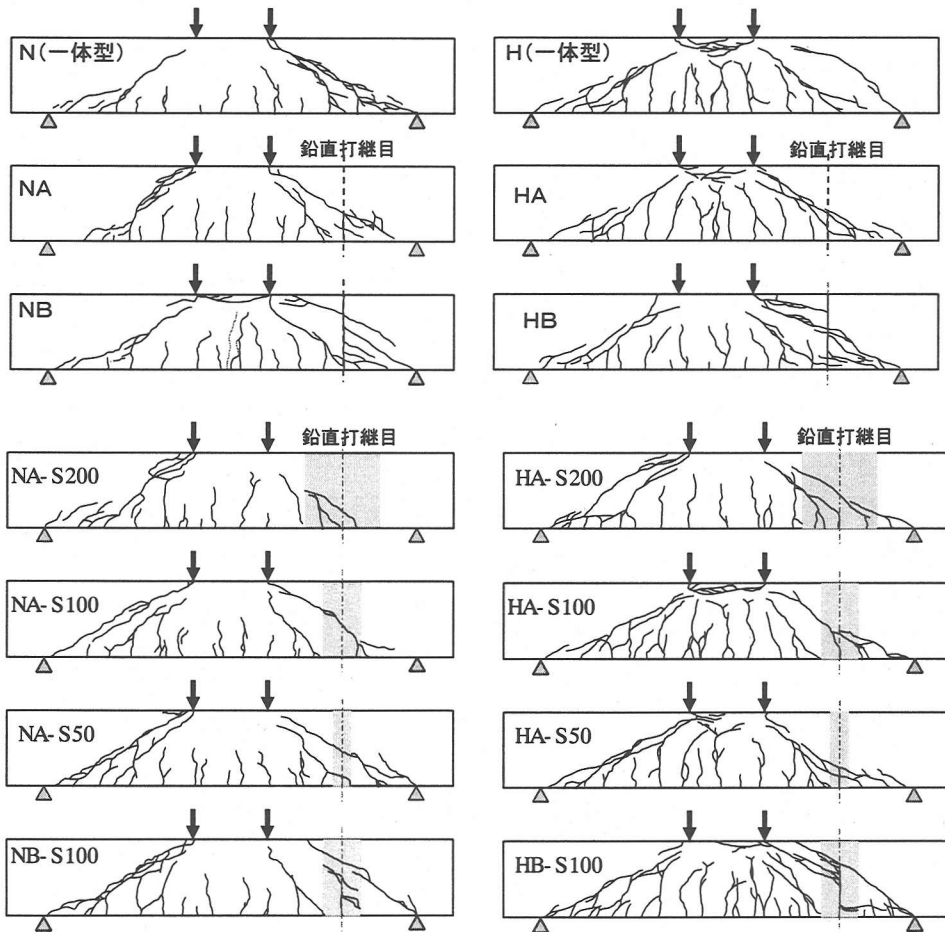


図-2 小型RCはりのひび割れ発生状況（破線は打継目位置，網掛けは鋼板被覆）

継面のずれ量は小さかった。

このように、打継面の強度が小さく平滑であると、骨材のかみ合い作用によるせん断力の伝達が生じて小さくなるため、圧縮鉄筋および引張鉄筋近くに応力が集中し、高さ方向にずれが生じる。つまり、斜めひび割れの進展状況は、打継面の粗度の度合いにより大きく変化する。本実験では打継面を良好に粗くして強度を向上させた場合と、無処理の場合との両極端な場合を想定したが、既往の研究<sup>2)~6)</sup>と同様に打継面の強度および粗度がある一定以下になると、打継面でのずれが懸念されると考えられる。

斜めひび割れ発生荷重についても、打継目を処理しなかった無処理のRCはりの場合、打継面でのずれのため一体型のRCはりおよび打継目を処理したはりよりも小さかった。この現象は、通常強度および高強度コンクリートを用いたRCはりのいずれにも認められた。

#### b) 鋼板被覆によるひび割れ性状の変化

鋼板被覆で補強したRCはりの斜めひび割れは、いずれの場合も鋼板よりも載荷点側において先ず発生した。

通常強度コンクリートを用いたRCはりは、鋼板被覆の幅が増加するに従い、斜めひび割れが支点側に進展するのを抑制している(図-2)。そして、打継目を処理した通常強度コンクリートを用いたRCはりの曲げひび割れ発生荷重および斜めひび割れ発生荷重は、一体型のRCはりと同程度であった(図-4)。しかし、打継面を無処理としたRCはり(NB-S100)では、鋼板被覆補強を施したにもかかわらず斜めひび割れが不連続に生じていた。

高強度コンクリートを用いたRCはりでは、鋼板被覆の幅を増加させても斜めひび割れは支点まで到達した。また、打継面を無処理としたRCはり(HB-S100)は、通常強度コンクリートを用いたRCはりと同様に、鋼板被覆した部分にも斜めひび割れ

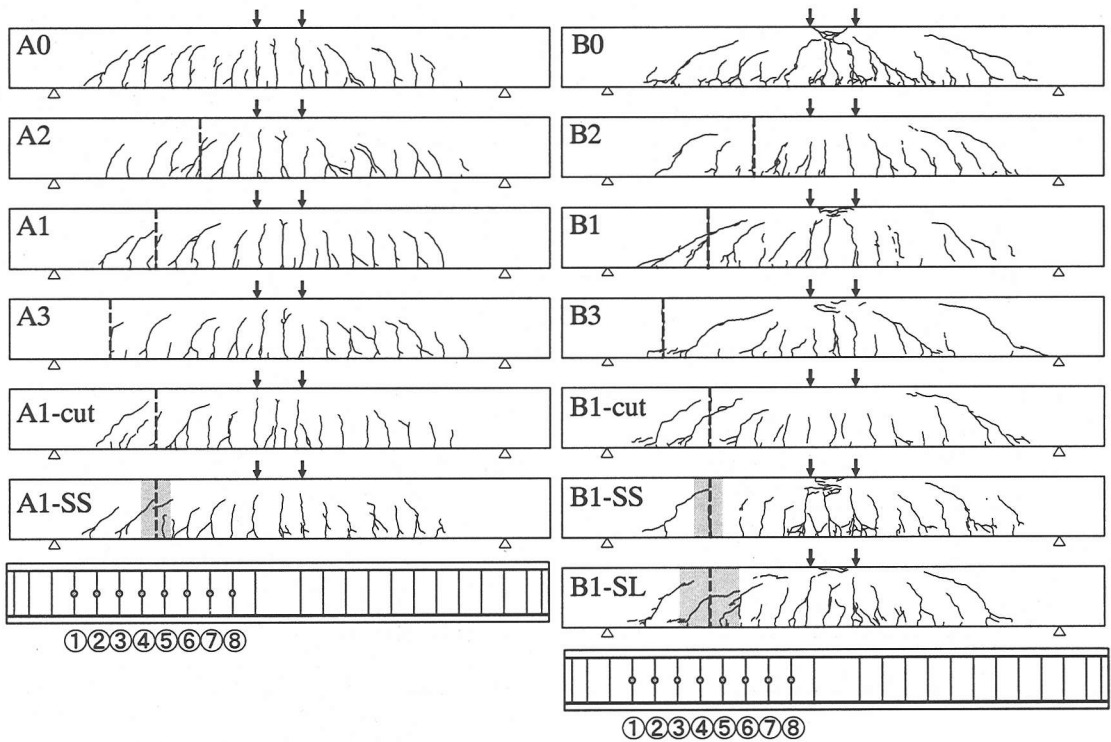


図-3 大型RCはりのひび割れ発生状況（破線は打継目位置，網掛けは鋼板被覆）

が不連続に生じていた。さらに斜めひび割れ発生荷重も無補強のRCはりとはほぼ同じであった（図-4）。

高強度コンクリートを用いたRCはりで、斜めひび割れの進展を効果的に抑制できなかった原因は、鋼板と躯体との一体化に用いたグラウト強度が躯体のコンクリート強度に比べ、通常強度グラウトは $10\text{N/mm}^2$ 程度であるのに対して、高強度グラウトは $20\text{N/mm}^2$ 程度それぞれ小さい強度であったことが関係していると考えられる。つまり、高強度コンクリートを用いたRCはりにおいては、グラウトとの強度差が大きいために、斜めひび割れを抑制できなかった原因のひとつであると考えられる。グラウトの高強度化を図ることが重要であると考えられる。

## (2) 大型RCはりのひび割れ性状（シリーズ2）

### a) スターラップ配筋量の影響

図-3には、スターラップの配置図も示した。スターラップとしてD10を用いたType AのRCはりでは、鉛直打継目部分に生じたひび割れが、圧縮縁にまで達することはなかった（図-3）。これは打継目の処理が良好であったことを示している。Type Aは、粗骨材の最大寸法が $20\text{mm}$ であるため、打継目の処理を適切に施せば打継面がかみ合い、高さ方向のずれに

大きく抵抗すると思われる。Type Aにおいて鋼板補強を施したRCはり（A1-SS）では、鉛直打継目部分にひび割れが発生するのを抑制していた。

スターラップとしてD6を用いたType BのRCはりは、鉛直打継目部分に生じたひび割れが圧縮縁まで達している（図-3）。しかし、鋼板による補強を施すことにより、打継目部分のひび割れが圧縮縁まで達するのを抑制していた。

打継目を除くせん断スパン内のひび割れ性状においても、Type AとType Bによる差が顕著に表れた。すなわち、Type Aのせん断スパンに発生した曲げひび割れは、ひび割れが進展するにつれて載荷点に向かい軸方向に傾いていくが、Type Bに見られる支点から載荷点を結ぶような斜めひび割れの進展は見られない。したがって、スターラップの配筋量を多くすることは斜めひび割れの進展に対する抑制効果を高めることが確かめられた。

### b) 曲げひび割れ発生荷重と斜めひび割れ発生荷重

図-4に示したように、曲げひび割れ発生荷重は、鋼板被覆で補強したB1-SSにおいて若干高い値を示したが、Type A、Type Bともに、ほぼ等しい値を示した。曲げモーメント一定区間の曲げひび割れ発生荷重においては、せん断スパンにおける鉛直打継目の存在

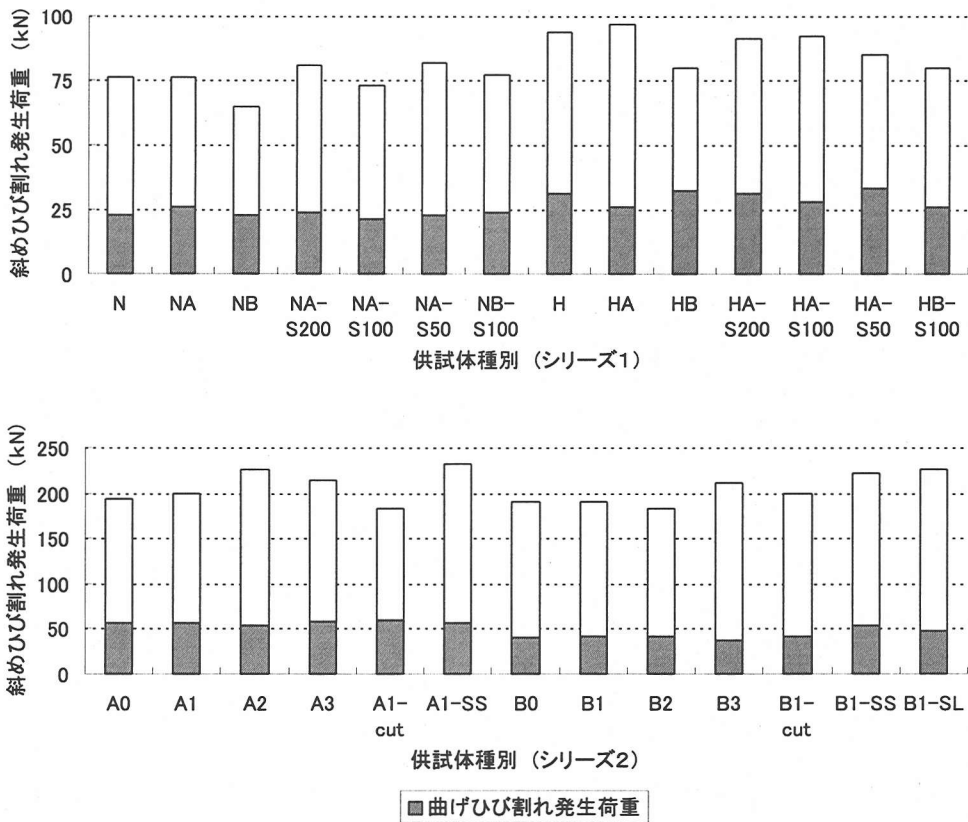


図-4 斜めひび割れ発生荷重および曲げひび割れ発生荷重

および鋼板被覆による補強が及ぼす影響は小さいことが分かる。

斜めひび割れの発生荷重は、鋼板被覆による補強を施すことによって、約15%増加しており、せん断性状に対して高い補強効果を有していることが分かる。これは、グラウトとコンクリートとの強度がほぼ同程度であり、鋼板との一体性が確保されていたためと考えられる。また、打継目の処理を十分に行ったために、鉛直打継目を有する無補強のRCはりにおいても、一体型のはりとはほぼ同等の斜めひび割れ発生荷重を示した。

一方、断面Ⅲで鉄筋を切断したRCはり (A1-cut) については、斜めひび割れ発生荷重が低下した。鉛直打継目の付近において軸方向鉄筋を切断することは、避ける必要がある。

#### 4. 鋼板被覆による補強がスターラップのひずみ減少に及ぼす効果

斜めひび割れ発生後においては、作用するせん断

力に対してスターラップのひずみの増加割合が顕著になる。そこで、大型はりを用いたシリーズ2の試験において、せん断スパン内に配置した各位置におけるスターラップのひずみの測定結果を報告する。

図-5は、各荷重レベルにおけるスターラップひずみの分布を示している。これは、図-1に示したスターラップの各番号に対応している。

スターラップとしてD10を用いたType AのRCはり一体型 (A0) は、全体的にひずみが増大しているが、スターラップ番号④と⑤の間の断面Ⅰに鉛直打継目を有するRCはりA1は、打継目の存在が斜めひび割れ発生やその発達に影響を及ぼし、スターラップのひずみが局所的に集中している。本研究では、配筋量が多いためにスターラップが降伏して破壊することはなかったが、鉛直打継目を有するRCはりでは、一体型と比較して、比較的大きな斜めひび割れが発生し、その結果スターラップが降伏して破壊に至る可能性があることを示唆している。

鋼板被覆により補強されているRCはり (A1-SS) は、断面Ⅰに鉛直打継目を有するRCはり (A1) よりもスターラップのひずみが低減されていることから、

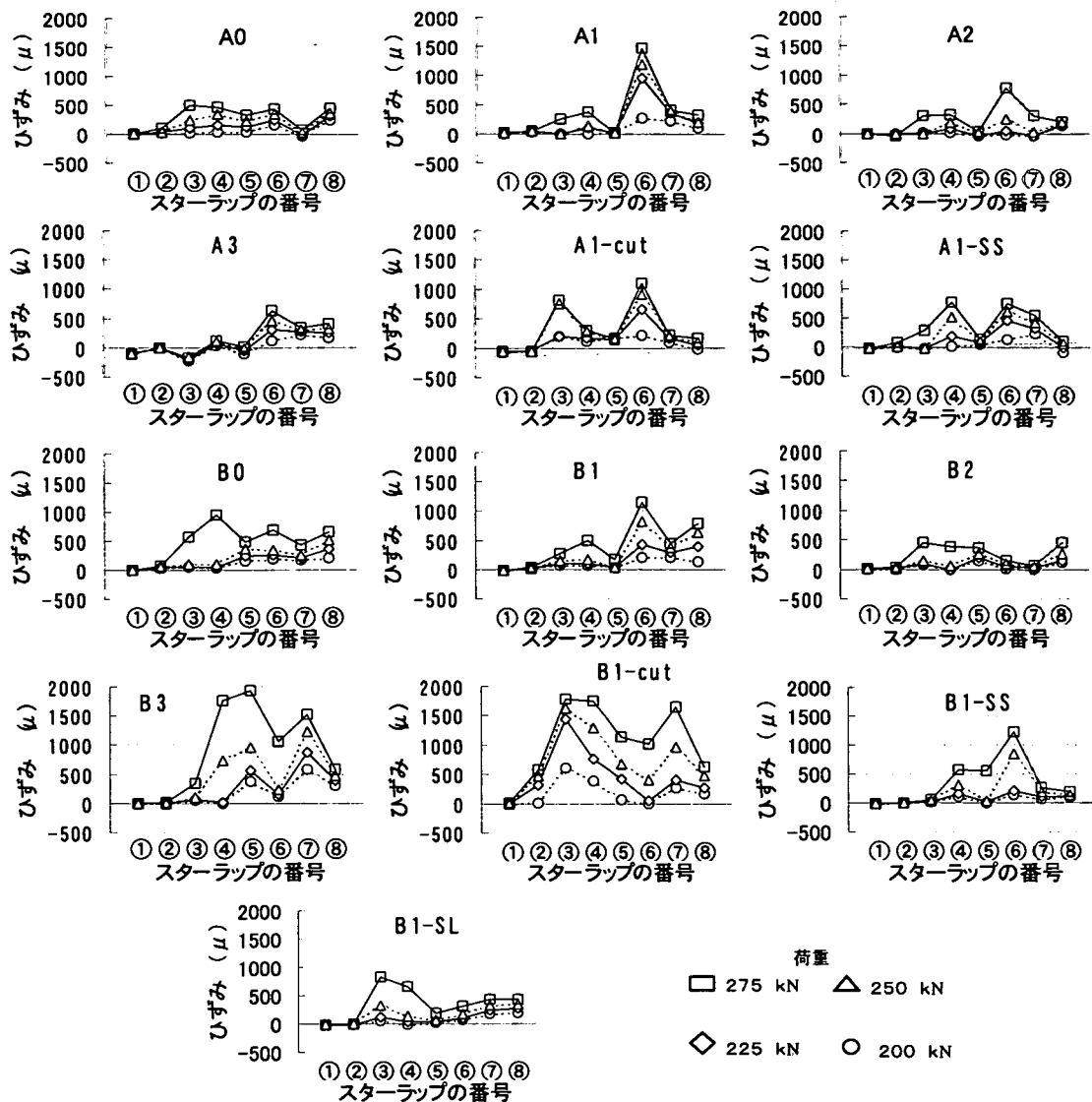


図-5 荷重の増加によるスターラップのひずみの変化 (シリーズ2 大型RCはり)

鋼板被覆の補強効果が認められる。また、断面Ⅰに鉛直打継目を有し、引張鉄筋をスターラップ番号②と③の間の断面Ⅲにおいて切断した供試体 (A1-cut) のスターラップのひずみは、2箇所においてひずみが増大している。これは、鉛直打継目の存在により⑥番のスターラップが、また引張鉄筋が不連続のために③番のスターラップが、それぞれせん断力を多く受け持ったためである。

スターラップとしてD 6を用いたType BのRCはり一体型 (B0) は、同じ一体型ではあるがスターラップ配筋量が多いA0と同様に、全体的にひずみが増大しているが、等しい荷重レベルにおいてひずみが多い。断面Ⅰに鉛直打継目を有するRCはり (B

1) は、A1と同様に打継目の存在により、スターラップ⑥のひずみが局所的に集中している。

断面Ⅲに鉛直打継目を有するRCはりB3は、スターラップ番号③から載荷点方向のスターラップのひずみが全体的に大きくなった。鉛直打継目の存在によって、打継目近傍のスターラップ②、③よりもむしろ載荷点側のスターラップが大きなせん断力を受け持ったためと考えられる。引張鉄筋を断面Ⅲにおいて切断した供試体B1-cutのスターラップのひずみもB3と同じ傾向を示した。引張鉄筋切断位置において、大きなせん断力をスターラップが分担したためである。

幅が200mmの鋼板により補強されている供試体



表-5 破壊形式および最大荷重

供試体名		破壊形式	最大荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	
シリーズ1	N	せん断	208	—	
	NA		214	—	
	NB		177	—	
	NA-S50		247	—	
	NA-S100		256	246	
	NB-S100		257	—	
	NA-S200		241	—	
	H	曲げ引張	310	286	
	HA	曲げ引張	301	274	
	HB	せん断	272	—	
	HA-S50	曲げ引張	319	281	
	HA-S100		314	306	
	HB-S100		308	274	
	HA-S200	せん断	278	264	
シリーズ2	タイプA	曲げ引張	A0	291	277
			A1	294	285
			A2	289	279
			A3	287	279
			A1-cut	296	289
			A1-SS	290	277
	タイプB		B0	302	291
			B1	302	291
			B2	308	284
			B3	294	285
			B1-cut	290	272
			B1-SS	300	283
			B1-SL	294	279

\*1：引張鉄筋降伏前の破壊

(B1-SS)のスターラップのひずみは、幅が400mmの鋼板により補強されたB1-SLよりも荷重が小さい段階から局所的に大きくなった。B1-SLのスターラップのひずみの増加分布は、B0とほぼ同様な傾向を示しており、鋼板幅を増加させることで、スターラップの分担せん断力の分布が改善されている。

## 5. 鉛直打継目を有するRCはりの破壊

表-5は、各RCはりの破壊形式、最大荷重、引張鉄筋降伏荷重を示している。引張鉄筋降伏荷重は、引張鉄筋のひずみが2000 $\mu$ を超えて急激に上昇したときの荷重とした。

### (1) 小型RCはりの破壊(シリーズ1)

シリーズ1のRCはりの破壊形式は、設計におい

てせん断破壊を想定したが、曲げ引張破壊を示すものが見られた。また、引張鉄筋が降伏後にせん断破壊に至るものが見られた。

通常強度コンクリートのはりでは、打継目が無い一体型はり(N)および打継目を処理したはり(NA)であってもせん断破壊した。

一方、高強度コンクリートのRCはりでは、一体型はり(H)、および鉛直打継目を処理したRCはり(HA)は曲げ引張破壊であった。そして、打継面が無処理のはり(HB)はせん断破壊であり、その結果、HBの最大荷重は、10%程度小さくなった。

鋼板被覆で補強したRCはりについては、通常強度のりは鋼板幅に関わらずせん断破壊であり、高強度のりでは、曲げ引張破壊する傾向であった。せん断破壊を生じたRCはりは、いずれも鋼板被覆を施した側と反対側でせん断破壊に至った。そして、通常強度コンクリートを用いた場合、被覆した鋼板幅および打継目の処理の有無によらずほぼ同程度の最大荷重を示した。高強度コンクリートでは、鋼板被覆で補強した場合には、HA-S200ではせん断破壊であったため最大荷重が若干低いが、他のRCはりについてはほぼ同程度であった。つまり、今回の実験では、打継面が無処理であっても、鋼板被覆による補強効果で、最終的なせん断破壊荷重の低下を抑制できることを示唆している。

### (2) 大型RCはりの破壊(シリーズ2)

すべてのRCはりにおいて、引張鉄筋の降伏後にコンクリートの圧縮縁が圧壊する曲げ引張破壊であった。鉛直打継目を有するRCはりは、鉛直打継目の存在によるせん断耐力の低下に伴い、せん断破壊を想定していたが、スターラップは降伏に至らず曲げ引張破壊となった。その結果、スターラップの配筋量が異なるType AとType Bでは、鋼板補強による影響は見られず、引張鉄筋降伏荷重および最大荷重はほぼ同程度になった。

## 6. 鋼板被覆による打継目の補強メカニズム

### (1) 鋼板に作用する応力度

#### a) 鋼板側面における主応力度

鋼板側面位置での各荷重時における最大主応力度とその方向を図-6に示す。これは、大型RCはりの鉛直打継目を鋼板で補強したときの結果である。各実験において鋼板の5箇所に貼付した三軸ひずみゲージより測定したひずみから、各位置における荷重が225kNと275kN時の最大主応力度およびその方向

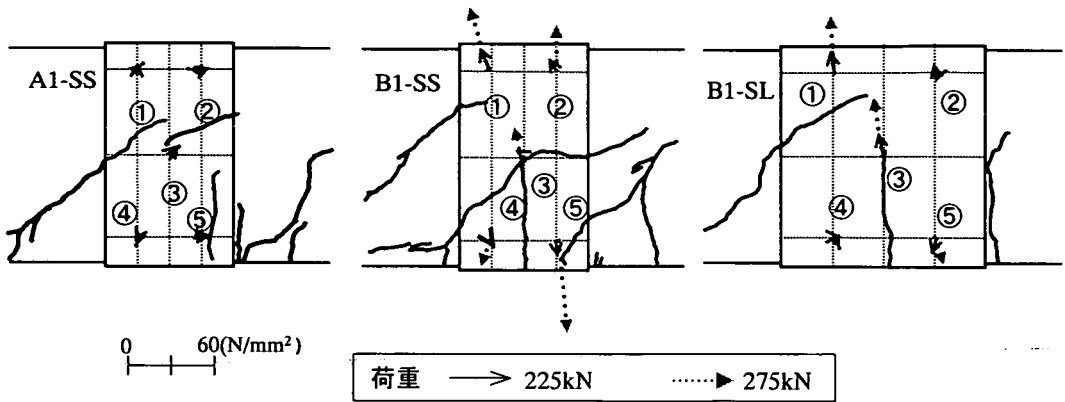


図-6 鋼板側面の主応力度とその方向

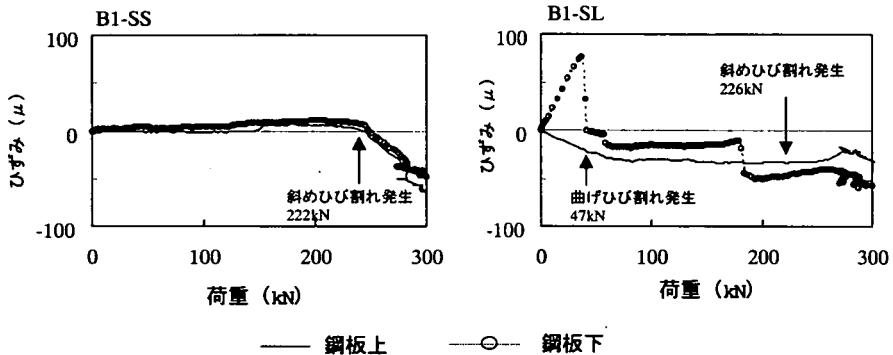


図-7 鋼板上面・下面の軸方向ひずみの変化

を算出したものである。各荷重は、それぞれ斜めひび割れ発生荷重に近い荷重および最大荷重の約90%の荷重である。矢印の出発点は、鋼板側面に貼付した各三軸ひずみゲージの位置であり、線の長さが最大主応力度の大きさを、傾きが最大主応力度の方向を示している。鋼板の最も重要な役割である供試体の高さ方向に対してのずれの抑制を、鋼板側面に作用する最大主応力度から検討する。

スターラップとしてD10を用いたType Aの鋼板補強を施した供試体A1-SSは、B1-SSと比較して、鋼板に作用している応力度が小さい。これは、Type Aのスターラップの配筋量が多かったことと対応している。一方、スターラップとしてD6を用いたType Bにおいて、幅200mm、厚さ2mmの鋼板により補強したB1-SSの鋼板には大きな最大主応力度が生じている。特に、①番と⑤番の主応力度が大きい値を示している。これは、斜めひび割れの発生により、ひび割れが広がる力に抵抗しているためである。つまり、斜めひび割れ発生後において鋼板がせん断力の一部を負担したためであり、スターラップのひずみを低減する効果と対応している。

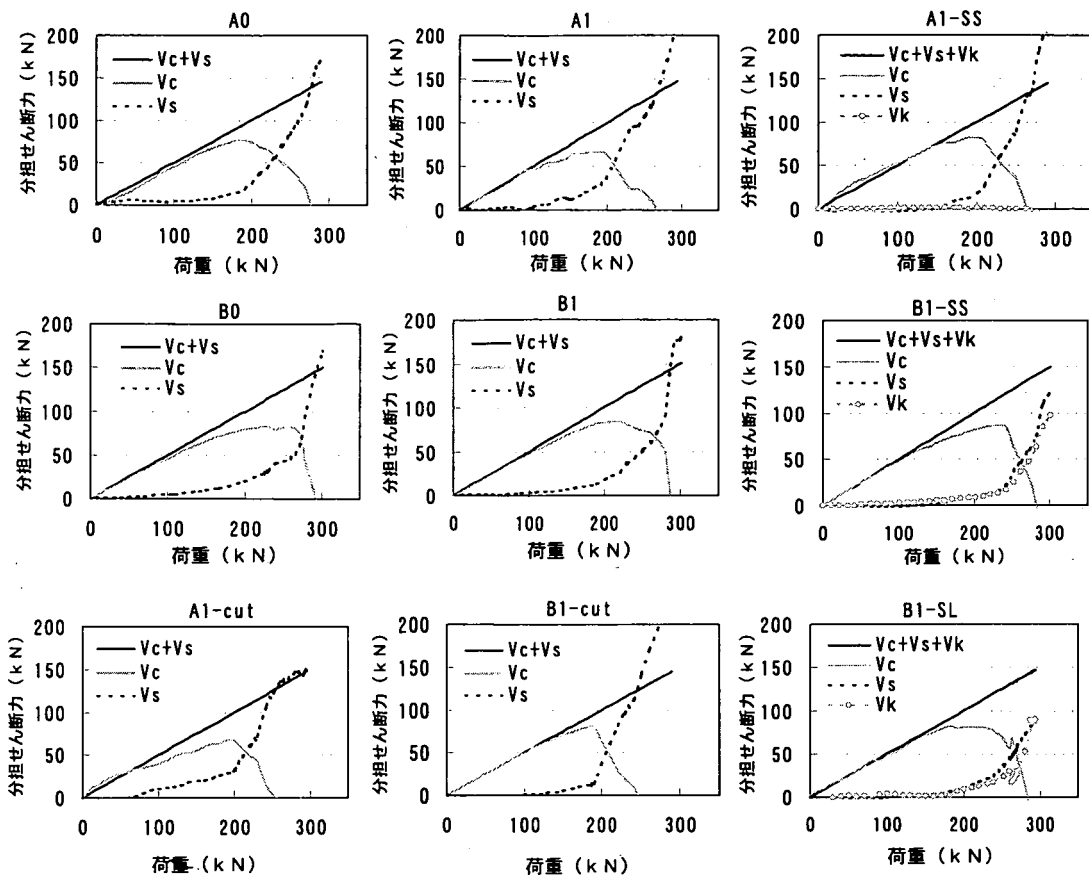
幅400mm、厚さ1mmの鋼板で補強した供試体B1-SLは、B1-SSと鋼板量は同じだが、ひずみを抑制する効果はB1-SSより大きい。これは、両はりともに、グラウトとコンクリートとの強度はほぼ同等でありグラウトによる影響は除外できることを考え合わせると、鋼板幅が大きいB1-SLでは、スターラップを比較的多く被覆していることが一因と思われる。つまり、鋼板量が同じならば、幅を大きく設定したほうがせん断力を分担するには有効である。

#### b) 鋼板の軸方向のひずみ

スターラップとしてD6を用いた大型RCはりであるType Bについて、荷重と鋼板上面および下面のひずみの関係を図-7に示す。鋼板上面および下面に貼付した軸方向の一軸ひずみゲージによる値である。

鋼板幅が200mmのB1-SSは、載荷荷重が初期の段階では、鋼板の下面には引張ひずみが生じている。しかし、斜めひび割れの発生以降は、圧縮ひずみが生じている。なお、鋼板の上面、下面ともひずみは小さく、軸方向の挙動に対しての拘束力は小さいと思われる。

鋼板幅が400mmのB1-SLでは鋼板の上面、下面



$V_c$  : コンクリートが分担したせん断力,  $V_s$  : スターラップが分担したせん断力,  $V_k$  : 鋼板が分担したせん断力

図-8 大型RCはりにおける荷重と分担せん断力との関係

とも軸方向ひずみの発生が著しくなっている。B1-SLの下面に早い段階から引張ひずみが発生して、その後転じて圧縮ひずみが生じているのは、曲げひび割れが発生したことによる影響と思われる。

## (2) 鋼板被覆による補強効果

作用しているせん断力のうち、それぞれの材料が分担しているせん断力を把握し、鋼板の分担するせん断力から鋼板の補強効果を検討する。一体型のRCはりでは、部材に生じるせん断力に対して、コンクリートとスターラップで抵抗する。鋼板被覆補強を施したRCはりでは、そこに鋼板が抵抗要素として加わる。

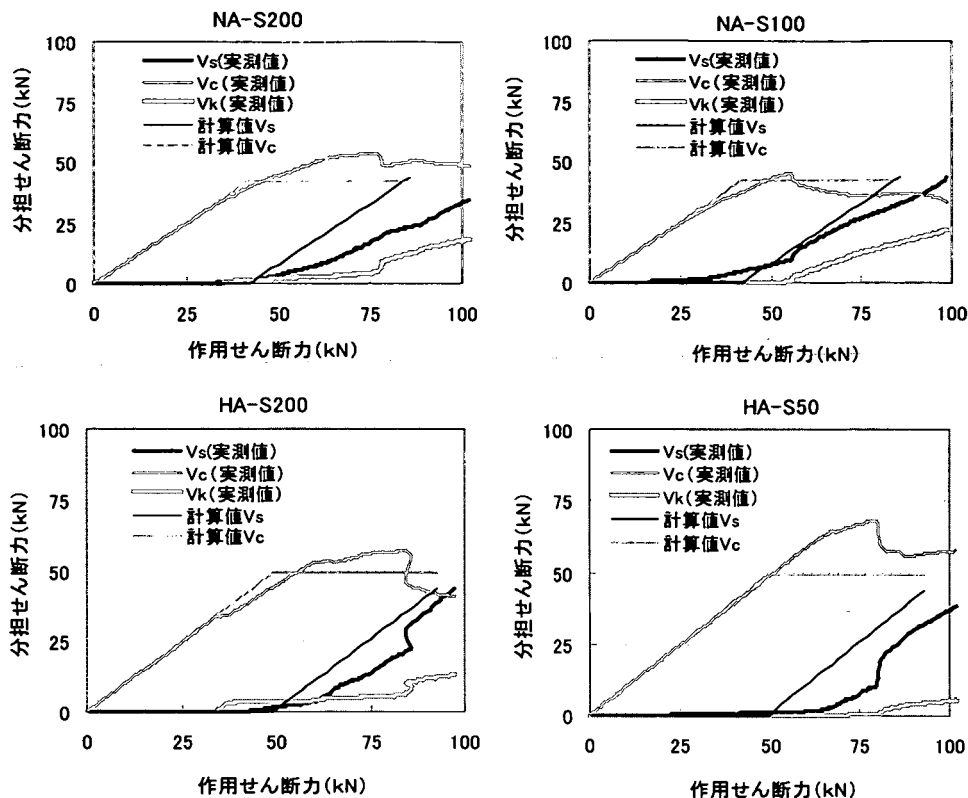
### a) コンクリート、スターラップ、鋼板が分担する各せん断力の考え方

RCはりのせん断力に対する断面内部における抵抗機構として、作用するせん断力は、曲げひび割れの発生や斜めひび割れの発生前後で、圧縮区間コン

クリート、ひび割れに沿っての粗骨材のかみ合い、引張鉄筋のダウエル作用、せん断補強鉄筋によってそれぞれ分担される。

打継目の存在は、粗骨材のかみ合い作用の減少、斜めひび割れが引張鉄筋付近に生じることによる鉄筋のダウエル作用の低下などの原因となりうる。そして、4.で述べたように、せん断補強鉄筋のスターラップのひずみが局部的に増加することで、スターラップの降伏から破壊に至る可能性が懸念される。

本研究では、打継目を有する側のせん断スパン内に配置した各スターラップの中で、中央高さの位置に添付したひずみが最大値を示したスターラップのその最大ひずみを用いて、先ず、スターラップが分担するせん断力、 $V_s$ を計算した。これは、スターラップの分担せん断力を過大に評価することになるが、鉛直打継目を有するRCはりでは、4.で述べたように、局部的なひずみの増大から破壊に至る可能性もあるからである。次に、鋼板側面の鉛直方向成分の



$V_c$  : コンクリートが分担したせん断力,  $V_s$  : スターラップが分担したせん断力,  $V_k$  : 鋼板が分担したせん断力

図-9 小型RCはりにおける作用せん断力と分担せん断力との関係

ひずみの平均値から鋼板が分担するせん断力,  $V_k$  を計算した。したがって、コンクリートが分担するせん断力,  $V_c$  は、作用せん断力から  $V_s$  および  $V_k$  を減じた値である。ただし、圧縮区間コンクリート、鉄筋のダウエル作用、粗骨材によるかみ合い作用による分担せん断力を明確に評価することは困難なために、これらの各機構で分担するせん断力をまとめてコンクリートの分担せん断力とした。

b) 鋼板が分担するせん断力

図-8は、大型のRCはりにおける荷重と各材料が分担するせん断力との関係を示している。

荷重が小さい初期の段階においては、コンクリートがせん断力のすべてを受け持っており、そこから徐々にスターラップもせん断力を分担する様子がわかる。そして、RCはりに作用しているせん断力とコンクリートの分担するせん断力はほぼ比例の関係のまま進み、斜めひび割れが発生したと思われる時点で、コンクリートの分担するせん断力が低下する分、代わりにスターラップがせん断力を負担することに

なる。

スターラップとしてD10を用いたType Aにおいて、一体型のRCはり (A0) よりも、せん断スパン中央に鉛直打継目を有するA1には、せん断力が小さい段階からスターラップが分担するせん断力が大きくなっている。鋼板被覆により補強を施したA1-SS1は、スターラップがせん断力に抵抗し始める段階は、比較的大きな荷重からであり、A0と同等に斜めひび割れの発生を抑制し、改善されている。しかし、鋼板のひずみは、先述したように常に小さい値を示していることから、A1-SS1にとってこの鋼板量は多いと考えられる。

スターラップとしてD6を用いたType BのRCはりにおいて、幅400mm、厚さ1mmの鋼板で補強した供試体、B1-SLは、幅200mm、厚さ2mmの鋼板で補強したB1-SSよりも、斜めひび割れ発生荷重が若干大きいいためか、比較的小さい荷重段階からスターラップが分担するせん断力が大きくなっている。これは、B1-SLにおける鋼板側面でのひずみが小さく、B1-

SSよりもひずみを抑制する効果が大きいためである。

鋼板被覆によって補強したType AおよびType BのいずれのRCはりにおいても、コンクリートが分担するせん断力は、一体型のRCはりとはほぼ同等である。つまり、せん断スパン内に存在する鉛直打継目を鋼板被覆により補強することで、一体型とほぼ同様に改善されている。

A1-cutは、3. で述べたように、斜めひび割れの発生荷重が小さく、ひび割れが発生してからコンクリートが分担できるせん断力が急激に低下している。断面Ⅲにおいて引張鉄筋が切断されているため、斜めひび割れの発生後、せん断力に対する抵抗は、スターラップに大きく依存することになる。また、スターラップの配筋量を増加させても、引張鉄筋を切断して引張定着をしたRCはりには効果が少なく、他の供試体よりも局所的なひずみの増加が著しい。

#### c) 小型RCはりにおける鋼板が分担するせん断力

小型RCはりにおいても同様な検討を行い、図-9に、各材料が分担するせん断力を求めた結果を示した。横軸は作用せん断力を、縦軸は分担せん断力としてコンクリート、スターラップ、鋼板がそれぞれ分担するせん断力を表わしている。なお、スターラップは降伏後において、それ以上のせん断力を分担しないため、スターラップが降伏するまでを検討の主対象とした。また、図中の計算値とは、コンクリート標準示方書[設計編]<sup>9)</sup>を用いて計算したコンクリートのせん断耐力を超えると斜めひび割れが発生し、その後の作用せん断力の増加分はスターラップの分担せん断力が比例的に増加すると仮定して、求めたものである<sup>7)</sup>。

鋼板幅による差異はほとんど認められないが、通常強度コンクリートを用いたRCはりでは、比較的大きいせん断力を鋼板が分担している。そのため、スターラップが分担するせん断力は小さくなり、いずれのRCはりにおいても、スターラップが分担するせん断力は計算値よりも小さく、鋼板被覆による補強効果が顕著であると推察される。したがって、大型RCはりの実験と同様に、小型RCはりの実験においても鋼板被覆による補強効果が、鋼板が分担するせん断力の増加によって確認できた。

高強度コンクリートを用いたRCはりにおいても、鋼板被覆による補強効果の傾向は認められるが、通常強度コンクリートRCはりに比べて、鋼板の分担するせん断力は小さくなっている。

## 7. まとめ

せん断スパン比および引張鉄筋比が異なる小型RCはりとは大型RCはりのせん断スパン内に鉛直打継目を設けて、この打継目を鋼板で被覆した場合の補強効果について各種実験を行った結果を報告した。本研究の範囲内では、以下の結論が得られた。

(1) せん断スパン内の鉛直打継目を無処理で作った場合、せん断スパン比および引張鉄筋比が本研究と異なる既往の研究と同様に、打継目において斜めひび割れが不連続に発生して、新旧コンクリートが高さ方向にずれを生じることを確認した。しかし、打継目を粗く処理することによって、引張鉄筋降伏荷重、最大荷重および破壊形式は一体型のRCはりとはほぼ同等に改善できることを、大型RCはりを用いた実験でも確認した。

(2) 鉛直打継目がせん断スパン内に存在することで、斜めひび割れ発生後においてスターラップのひずみが局所的に増加した。そして、鋼板被覆による打継目の補強は、スターラップのひずみが局所的に増加することを防止して、作用するせん断力を分担して抵抗することを明らかにした。そして、鋼板が分担するせん断力の大きさは、スターラップの配筋量が小さい場合やコンクリート強度が小さい場合に顕著であることを示した。また、グラウトによる鋼板とコンクリートとの一体化によって、鋼板被覆による補強は、斜めひび割れ発生荷重も増加させる効果があることを明らかにした。

(3) スターラップの配筋量が大きいくほど、鋼板に作用する応力度が小さくなるが、その配筋量が小さく鋼板幅も小さい場合には、鋼板は打継目で生じる新旧コンクリートの高さ方向のずれに抵抗するように挙動していることを明らかにした。また、鋼板量が同一であれば、鋼板幅を大きく設定したほうがせん断力を多く分担できることを示した。

(4) 鉛直打継目の近傍で引張鉄筋を切断した場合には、斜めひび割れ発生荷重が小さいために、荷重が小さい段階で、スターラップのひずみが局所的に増加して、より大きなせん断力を負担する結果になった。したがって、引張定着の位置は打継目の近傍を避ける必要がある。

謝辞：本研究は、平成9年度～平成10年度科学研究費補助金（基盤研究（C）（2））、課題番号09650502、代表者：辻 幸和）および平成11年度～平成13年度科学研究費補助金（基盤研究（A）（1））、課題番号11355020、代表者：町田篤彦）の交付により行ったものである。

## 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕（平成11年度版）。
- 2) 森脇貴志，辻 幸和，木暮 健，松下 朗：せん断スパン内に鉛直打継目を有する RC はりのせん断性状，コンクリート工学年次論文集，Vol. 15，No. 2，pp.323～328，1993.6.
- 3) 辻 幸和，杉山隆文，橋本親典，松浪康行：鉛直打継目を有するRCはりの鋼板補強に関する基礎研究，土木学会論文集，No.571/V-36，pp.169～183，1997.8.
- 4) 辻 幸和，杉山隆文，橋本親典：高流動コンクリートを用いた鉄筋コンクリートはりの力学的性状に及ぼす鉛直打継目の影響，材料，Vol.49，No.10，pp.1127～1132，2000.10.
- 5) 辻 幸和，松浪康行，橋本親典，杉山隆文：打継目の鋼板補強におけるグラウトの品質，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp.373～376，1996.1.
- 6) 太田知則，横田隆雄，辻 幸和，杉山隆文：鉛直打継目を有するコンクリート強度が異なるRCはりのせん断性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.1，pp.479～484，1998.6.
- 7) 山口光俊：鉛直打継目を有するPRC はりのせん断特性，修士論文，群馬大学，2000.2.
- 8) 山口光俊，辻 幸和，杉山隆文，池田正志：鉛直打継目を有する RC はりのスターラップの補強効果，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.3，pp.469～474，1999.7.
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕（平成8年度版）。

(2001.6.11 受付)

## STRENGTHENING EFFECTS USING STEEL PLATE ON THE STRUCTURAL PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE BEAM WITH VERTICAL CONSTRUCTION JOINT

Yukikazu TSUJI, Takafumi SUGIYAMA and Mitsutoshi YAMAGUCHI

The strengthening effect using steel plate on the structural performance of reinforced concrete beam with vertical construction joint was studied. Vertical joint was located within the shear span of the beam and steel plate was used to cover the joint so that the beam could perform structurally as normal beam without construction joint. The tensile strain of the stirrup increased noticeably at the position near the vertical joint. However, the steel plate could reduce local increase in the strain of the stirrup. In addition, it was found that the steel plate contributed to resist the part of the shear force on the beam with the stirrup resulting in the prevention from the stirrup failure.