

# 論文 ASR 膨張に伴うせん断補強筋の破断が RC はり部材の耐荷特性に及ぼす影響

稲増 克行<sup>\*1</sup>・高橋 勇希<sup>\*1</sup>・三方 康弘<sup>\*2</sup>・井上 晋<sup>\*3</sup>

**要旨:** 近年, ASR 損傷コンクリート構造物中の鉄筋の曲げ加工部等での破断事例が複数報告されており, このような構造物では, 設計時における前提条件が担保されない可能性がある。そこで, ASR 進行の程度や鉄筋破断が構造物の耐荷特性に与える影響を把握することを目的として, ASR 損傷供試体を作製し, それらの付着強度ならびに RC はり部材の耐荷特性について健全供試体を比較対象として検討した。その結果, せん断補強筋が破断していても, ケミカルプレストレスの影響により, RC はり部材の耐荷力はさほど低下しないことが, 破壊形式がせん断付着破壊へと移行し, 変形性能が低下する傾向が強くなることが確認された。

**キーワード:** ASR, 鉄筋破断, 付着強度, 耐荷特性, ケミカルプレストレス

## 1. はじめに

従来, 鉄筋の健全性が確保できていれば, ASR による劣化が多少進行していてもケミカルプレストレスの効果などもあり, 構造安全性が著しく低下するような危険な状態には至らないとの認識があった。しかし, 近年 ASR 膨張によりコンクリート構造物中の鉄筋の曲げ加工部や圧接継手箇所で破断している事例が複数報告されており, 損傷の程度によっては設計時における前提条件が必ずしも担保されない可能性があることが明らかとなった<sup>1)</sup>。しかし, このような構造物に対する安全性の評価方法は未だ確立されておらず, 特に ASR 劣化を生じたコンクリート構造物中の破断鉄筋の有効性および鉄筋の破断が耐荷力に及ぼす影響を明確にしておく必要がある。

そこで, 本研究では ASR 膨張によりせん断補強筋に破断を生じた RC はりの耐荷特性を明らかにすることを目的とし, ASR 膨張が生じた RC はり供試体および付着強度試験体の載荷試験を実施し, 普通コンクリートを用いた供試体とその性状を比較・検討した。

## 2. 付着強度試験

### 2.1 試験概要

付着強度試験は, 土木学会規準「引抜き試験による鉄筋とコンクリートの付着強度試験方法 (JSCE-503)」<sup>2)</sup> に準じて行った。図-1 に示す形状・寸法の供試体を対象とし, コンクリートには屋外暴露環境下 (平均気温 15.2°C) で暴露期間を変化させた ASR コンクリート (100 × 100 × 400mm の曲げ供試体の自由膨張量で約 3100 μ (材齢 550 日), 約 4380 μ (材齢 1150 日)) と, 普通コンクリート (材齢 1150 日) を用いた。なお, 以後, 自由膨張量が 3100 μ のものを進展期, 4380 μ のものを終了期と表記する。また, 鉄筋には D10, D13 の 2 種類を使用し, 各鉄筋径 9 体ずつ計 18 体作製し, 付着長は鉄筋径によらず径の 5 倍とした。使用したコンクリートの配合を

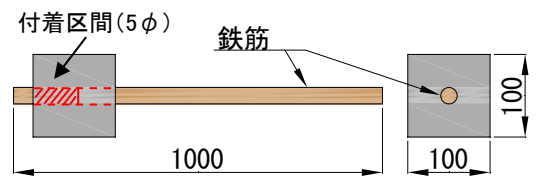


図-1 付着強度試験体 単位: mm

表-1 コンクリートの示方配合

普通コンクリート

最大骨材寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
					水 W	セメント C	細骨材		粗骨材		NaCl	AE減水剤 (cc)
							非反応性 Sn	反応性 Sr	非反応性 Gn	反応性 Gr		
25	12	63	4.5	45.8	183	290	840	0	1080	0	0	726

ASR コンクリート

最大骨材寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
					水 W	セメント C	細骨材		粗骨材		NaCl	AE減水剤 (cc)
							非反応性 Sn	反応性 Sr	非反応性 Gn	反応性 Gr		
25	12	63	4.5	45.8	183	290	394	411	507	492	13.1	726

\*1 大阪工業大学大学院 博士前期課程都市デザイン工学専攻 (正会員)

\*2 大阪工業大学工学部 都市デザイン工学科講師 博 (工) (正会員)

\*3 大阪工業大学工学部 都市デザイン工学科教授 博 (工) (正会員)

表-1 に示す。本実験で使用した反応性骨材は安山岩系の岩種であり、そのアルカリシリカ反応性試験（化学法 JIS A 1145:2001）結果を表-2 に、コンクリートの諸強度を表-3 に、鉄筋の機械的性質を表-4 に示す。

## 2.2 試験結果と考察

### (1) 破壊形式

付着強度試験結果を表-5 に示す。本試験での破壊形式は、自由端変位が増大しながら最大荷重から荷重が徐々に低下する拔出し破壊、最大荷重到達直後にコンクリートが割裂する破壊、自由端変位はほぼ変化せずに鉄筋が降伏に至る破壊の3種類となった。普通コンクリート供試体と ASR コンクリート供試体の同鉄筋径での破壊形式を比較すると、前者は拔出し破壊のみとなり、後者は割裂破壊と鉄筋降伏の2種類の破壊形式が見られた。D10 の場合、普通コンクリート供試体では拔出し破壊に至ったが、ASR コンクリート供試体では割裂破壊が多く見られた。これは、ASR コンクリート供試体では主鉄筋に沿ったひび割れが入っていたことで、割裂に対する感受性が増加したためと考えられる。また、D13 の場合も D10 と同様の傾向を示した。

### (2) 平均付着応力度

各供試体の平均付着応力度のグラフを図-2 に示す。普通コンクリート供試体と ASR 進展期、および終了期について比較を行うと、拔出し変位 0.002D 時においては、D10、D13 共に ASR 膨張が進展すると、付着応力度が大きくなる傾向が見られた。これはケミカルプレストレスにより、ふし間のコンクリートのせん断抵抗が強まったため、付着応力度が向上したと考えられる。また、最大平均付着応力度は D10 の場合、普通コンクリート供試体より ASR 進展期では大きくなったが、終了期になると進展期より減少する傾向が見られた。一方、D13 では進展期にかけて減少の傾向が見られた。データが少なく確定的な判断は困難であるが、平均最大付着応力度とひび割れ密度とは密接な関係があり、ひび割れ密度が増加する

と、ケミカルプレストレスの影響よりも割裂に対する感受性の増加の影響が顕著となると考えられる。また、平均最大付着応力度から算出した ASR 終了期の有効定着長は D10 では 5.3φ、D13 では 5.1φ となった。

表-2 骨材のアルカリシリカ反応試験結果

骨材の種類	アルカリ濃度 減少量 Rc (mmol/L)	溶解シリカ 量 Sc (mmol/L)	判定結果
細骨材	113	572	無害でない
粗骨材	114	573	無害でない

表-3 コンクリート諸強度

コンクリートの種類	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )
普通	28.2	24.9
ASR 進展期(付着)	27.7	11.6
ASR 進展期(はり)	26.8	21.9
ASR 終了期	26.5	25.4

表-4 鉄筋の機械的性質

鉄筋の種類	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
D10	356	491	183
D13	333	488	189
D19	378	536	200

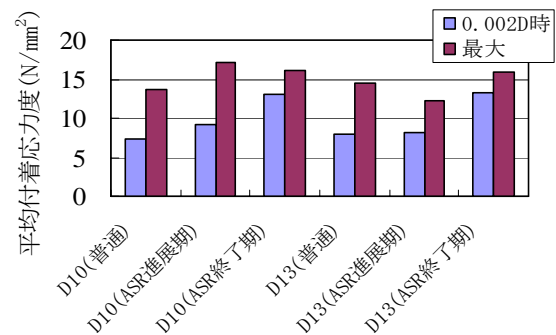


図-2 平均付着応力度

表-5 付着強度試験の詳細と試験結果

供試体名	コンクリートの種類	鉄筋径 (mm)	付着長 (mm)	幅 0.05mm 以上のひび割れ密度 (m/m <sup>2</sup> )	平均付着応力度		破壊形式
					0.002D 時 (N/mm <sup>2</sup> )	最大 (N/mm <sup>2</sup> )	
N-D10	普通	10	50	—	7.37	13.62	拔出し: 1 その他*: 2
ASR-D10-a	ASR 進展期	10	50	12.07	9.16	17.16	割裂: 2
ASR-D10-b	ASR 終了期	10	50	14.05	13.08	16.09	割裂: 2 降伏: 2
N-D13	普通	13	65	—	7.93	14.59	拔出し: 3
ASR-D13-a	ASR 進展期	13	65	15.25	8.19	12.28	割裂: 2
ASR-D13-b	ASR 終了期	13	65	10.47	13.18	16.00	割裂: 3 その他*: 1

\*試験機の不調のため、データが計測不能であった。

### 3. RC はり試験

#### 3.1 試験概要

はり試験には図-3 に示すような断面を有する、長さ2000mm の RC 単純はりを用いた。その内訳はせん断補強筋が健全な供試体 (a)、鉄筋破断を模擬した、せん断補強筋の断面引張縁側隅角部を切断した供試体 (b)、である。一方、コンクリートには付着強度試験と同様に表-1 に示した普通コンクリートと ASR コンクリートを用いた。主鉄筋には 5-D19 ( $p=1.59\%$ )、せん断補強筋には D10 を用い、せん断補強筋間隔は 120mm ( $p_w=0.4\%$ ) とした。これらの要因の組合せにより、合計 6 体の供試体を作製した。なお、用いたコンクリート、鉄筋は、付着試験用供試体と同じものとし、強度等の詳細を表-3、表-4 に示し、供試体の詳細を表-6 に示す。

表-6 には各供試体のファイバー法による曲げ耐力計算値、ならびに土木学会コンクリート標準示方書<sup>3)</sup>によるせん断耐力計算値 ( $V_c$ ,  $V_s$ ,  $V_y$ )、最大荷重実測値および破壊形式を併せて示している。なお、 $V_c$  の計算にはケミカルプレストレスの効果は考慮していない。また、供試体はいずれも、せん断破壊が先行するように設計されている。荷重試験方法は、せん断スパン 520mm とした対象 2 点集中荷重載荷方式 ( $a/d=2.00$ ) とし、破壊に至るまで単調漸増荷重を実施した。

#### 3.2 試験結果と考察

##### (1) 荷重前の供試体劣化状況

図-4 に荷重時までの各供試体の鉄筋の膨張拘束ひずみ、ならびに曲げ供試体の自由膨張量を示す。屋外暴露による鉄筋ゲージの破損のため、長期のデータが得られていないものもあるが、上側鉄筋の膨張拘束ひずみと曲げ供試体の自由膨張量はほぼ同様の傾向を示しており、材齢約 600 日前後からその増加が緩やかとなって、その後収束傾向にある。また、図-5 に幅 0.05mm 以上のひび割れ密度の経時変化を示す。同図より、材齢約 500 日程度でひび割れ密度の増加率が大きくなる傾向を示し、その後は微増していく傾向が伺える。荷重時材齢は 550 日と 1150 日であるが、以上のような傾向から前者を膨張の進展期後期、後者を終了期と判断した。

荷重前の供試体側面のひび割れ状況を図-6 に示す。なお、示しているひび割れは幅 0.2mm 以上のものを対象としており、幅 0.2mm 以下のひび割れについては今回の考察から除外している。図-5 より、せん断補強筋破断の有無により 200 日前後のひび割れ密度に差が見られ、その後の増加傾向はほぼ同様となった。これは、せん断補強筋が破断している場合には、ひび割れが主鉄筋位置に集約されることで主鉄筋位置のひび割れ幅が大きくな

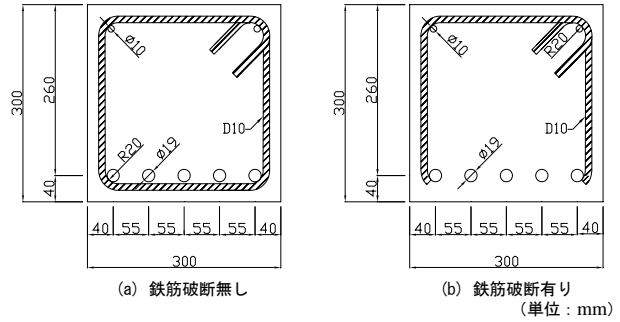


図-3 断面図

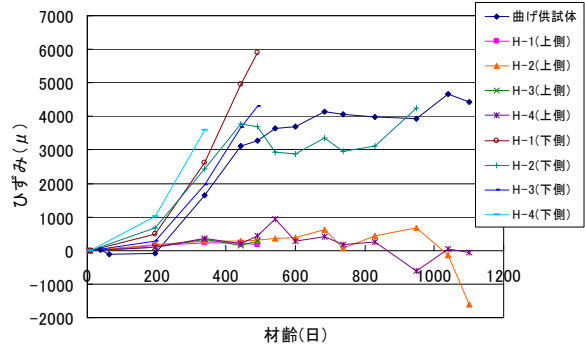


図-4 荷重前の膨張拘束ひずみと自由膨張量

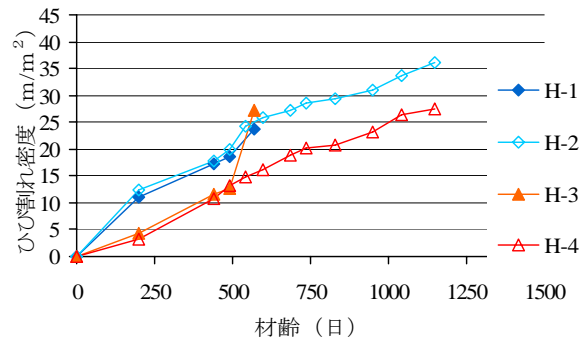


図-5 荷重前のひび割れ密度の経時変化

表-6 RC はり供試体の詳細および試験結果

供試体名	コンクリートの種類	せん断補強筋		荷重時の材齢 (日)	曲げ耐力計算値 $P_u$ (kN)	せん断耐力計算値 $2V_y$ (kN)	せん断耐力計算値 (内訳)			最大荷重実測値 (kN)	破壊形式
		鉄筋破断の有無	配置間隔 $s$ (mm)				$V_c$ (kN)	$V_s$ (kN)	$V_y$ (kN)		
N-1	普通	無	120	550	460.8	354.3	81.4	95.7	177.1	520.9	斜め引張
N-2	普通	無	120	1150	460.8	354.3	81.4	95.7	177.1	510.4	せん断圧縮
H-1	ASR進展期	無	120	550	456.5	351.5	80.1	95.7	175.8	510.6	曲げ引張
H-2	ASR終了期	無	120	1150	455.6	350.9	79.8	95.7	175.5	614.9	曲げ引張
H-3	ASR進展期	有	120	550	456.5	351.5	80.1	95.7	175.8	487.5	曲げ引張
H-4	ASR終了期	有	120	1150	455.6	350.9	79.8	95.7	175.5	576.0	せん断付着

ったために、ひび割れ密度が小さくなったと考えられる。図-6 からは全体的なひび割れの発生状況には大きな差は見られなかったが、せん断補強筋の破断を模擬している H-3 供試体と H-4 供試体では、主鉄筋付近に軸方向のひび割れが多く見られた。これは、せん断補強筋の破断により ASR 膨張における軸直角方向の拘束がないことから、主鉄筋付近における軸方向のひび割れの増加傾向が見られたと考えられる。

また、図-4 での供試体の膨張拘束ひずみはスパン中央部のものである。材齢 500 日以降は各 ASR はり供試体のひずみの値はゲージの破損により必ずしも信頼できないが、参考のため材齢 500 日時点でのケミカルプレストレス量を計算すると平均して  $3.10\text{N/mm}^2$  であった。

### (2) 最大荷重と破壊形式

最大荷重では、せん断補強筋破断の有無に関わらず、ASR 膨張が進展期にある場合、普通コンクリート供試体と同等の最大荷重を有する傾向が見られた。ASR 膨張が終了期にある場合では耐力の向上が見られ、これはケミカルプレストレスの影響と考えられる。

次に本実験における破壊形式は斜め引張破壊、せん断圧縮破壊、曲げ引張破壊、せん断付着破壊の 4 種類となった。普通コンクリート供試体はせん断系の破壊に至ったのに対して、ASR 供試体でせん断補強筋が健全な場合、膨張の時期によらずいずれも曲げ破壊に至った。これは、ケミカルプレストレスの影響からせん断に対する抵抗力が向上したためであると考えられる。一方、せん断補強筋が破断している場合、進展期であれば曲げ破壊に至り、終了期になるとせん断付着破壊に至った。これは、ケミカルプレストレスの影響によりせん断耐力は向上するものの、終了期においては荷重前から主鉄筋に沿ったひび割れが発生していることから、せん断付着ひび割れが発生・進展しやすくなったためであると考えられる。

以上のように、本実験では ASR 損傷が生じていても、せん断補強筋の破断がない場合、せん断耐力がケミカルプレストレスにより向上し、曲げ破壊に至ることが確認された。しかしながら、せん断補強筋が破断している場合、ケミカルプレストレス効果は認められるものの、終了期のように主鉄筋に沿ったひび割れが進展していると、せん断付着破壊に至る可能性があることが確認された。

### (3) 荷重によるひび割れ

各供試体の荷重後のひび割れ状況を図-7 に示す。

ASR 膨張の有無による比較を行うと、N-1 供試体ではせん断ひび割れが顕著に見られたことに対して、H-1 供試体ではせん断ひび割れの進展よりも、荷重前からの ASR 膨張によるひび割れに沿って荷重によるひび割れが進展していく傾向が見られた。これは、H-1 供試体では、ASR 膨張によるケミカルプレストレスにより、コン

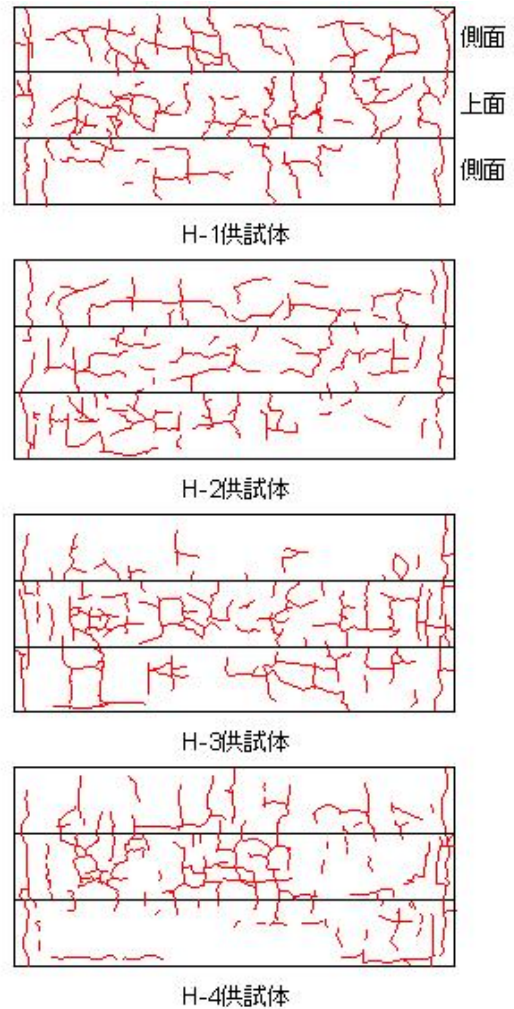


図-6 荷重前の供試体劣化状況

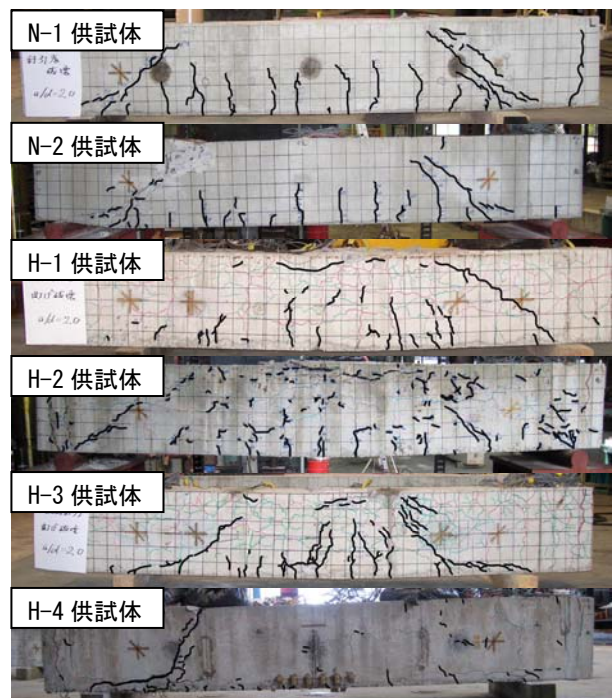


図-7 荷重後のひび割れ状況

クリートのせん断耐力が向上していることから、せん断ひび割れが入りづらくなったためであると考えられる。

劣化度の違いによる比較を行うと、せん断補強筋が健全な場合、H-1 供試体よりも H-2 供試体の方が荷重によるひび割れが増加する傾向が見られた。これは、ASR 膨張の劣化によるひび割れが進展していることから、荷重によりひび割れが開口しやすくなったためであると考えられる。また、せん断補強筋が破断している H-3 供試体と H-4 供試体においては、H-4 供試体のひび割れの方が荷重によるひび割れの進展が見られなかった。これは、荷重によりひび割れが ASR 劣化によるひび割れ位置に集約され、開口することから進展しなかったと思われる。

せん断補強筋破断の有無による比較を行うと、H-3 供試体は荷重によるせん断ひび割れが H-1 供試体よりも多く見られた。これは、H-1 供試体と H-3 供試体ともにケミカルプレストレスによりコンクリートのせん断耐力が向上していることから、せん断ひび割れが入り難くなっていると考えられるが、H-3 供試体ではせん断補強筋が破断していることから主鉄筋のダウエル力に抵抗する力が弱くなり、H-1 供試体と比べて付着せん断ひび割れが入りやすくなったと考えられる。H-2 供試体と H-4 供試体においても同様の傾向が見られ、H-4 供試体がせん断補強筋の破断を模擬していることに加えてせん断付着破壊を起こしたことから、その傾向が強く見られたと考えられる。以上のことから、荷重によるひび割れではケミカルプレストレスによるせん断に対する補強効果よりも、せん断補強筋の破断の影響が強いと考えられる。

#### (4) 荷重－載荷点変位関係

荷重－載荷点変位関係を図-8 に示す。

ASR 膨張の有無による比較を行うと、N-1 供試体では最大荷重後変位が増加せずにせん断破壊に至ったことに対し、H-1 供試体は最大荷重後に変位が増大しながら荷重が緩やかに低下する挙動を示した。これは、H-1 供試体がケミカルプレストレスによりせん断耐力が向上したことで、破壊形式が曲げ破壊に移行したことに起因するものである。最大荷重に至るまでの挙動では、両者には大きな差は見られなかった。以上のことから、ASR の膨張過程が進展期にあってもせん断補強筋が健全であれば、普通コンクリート供試体と同等以上の変形性能を有し、初期剛性に関しても影響はほとんどないと考えられる。

劣化度の違いによる比較を行うと、せん断補強筋が健全な場合、終了期にある H-2 供試体の方が最大荷重は大きいものの、挙動は両者とも最大荷重到達後、変位の増加とともに荷重が緩やかに低下する挙動を示した。これは、H-2 供試体の方が H-1 供試体より ASR 劣化が進行しているが、ケミカルプレストレスにより最大荷重が増加したためと考えられる。せん断補強筋が破断している場

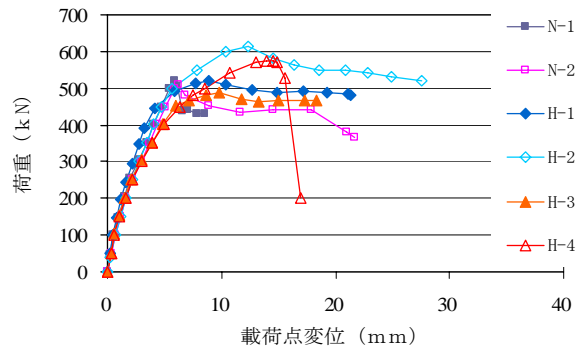


図-8 荷重－載荷点変位関係

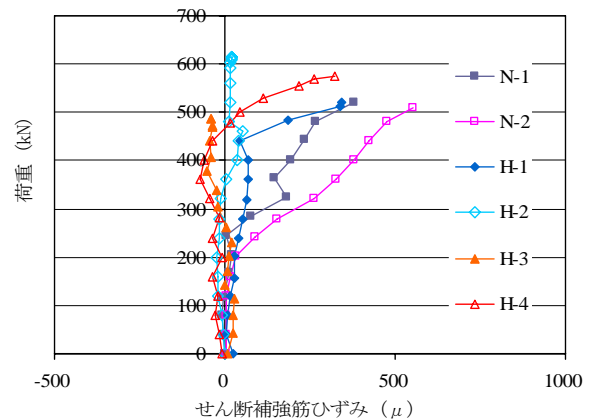


図-9 荷重－せん断補強筋ひずみ

合、H-3 供試体は H-4 供試体より最大荷重は低いものの、最大荷重到達後変位が増大しながら荷重が緩やかに低下する挙動を示した。H-4 供試体は最大荷重到達後、急激に荷重が低下しせん断付着破壊に至った。これは、終了期にある H-4 供試体が荷重試験前の主鉄筋に沿ったひび割れが進展していたことから、せん断付着ひび割れが発生・進展し易くなり、急激な荷重低下が生じたと考えられる。よって、ケミカルプレストレスの効果はあるものの ASR 劣化の方が強い影響を受けたと考えられる。

せん断補強筋破断の有無による比較を行うと、H-1 供試体と H-3 供試体では、両者とも最大荷重到達後変位の増加とともに荷重が緩やかに低下する挙動を示したが、最大荷重に至るまでの挙動に差が見られた。H-3 供試体の傾きの方が緩やかとなり、曲げ剛性の低下が見られた。これは、せん断補強筋が破断していることで主鉄筋のダウエル作用が働かず、荷重に対する抵抗力が弱まったためであると考えられる。同様に、H-2 供試体と H-4 供試体の比較でも、最大荷重に至るまでの挙動では H-4 供試体の方が傾きが緩やかとなり、曲げ剛性の低下が見られた。これは、ASR 膨張の進行による荷重前からの主鉄筋に沿ったひび割れが発生していることで、荷重により事前に入っていたひび割れが開口しやすくなったことで曲

げ剛性が低下したと考えられる。また、最大荷重後の挙動においても H-2 供試体では変位の増加とともに荷重が緩やかに低下する挙動を示したのに対し、H-4 供試体では急激に荷重が低下した。これは、H-4 供試体がせん断補強筋の破断を模擬したことにより、せん断付着破壊に至ったためであると考えられる。

#### (5) 荷重-せん断補強筋ひずみ

各供試体の荷重とせん断補強筋におけるひずみの最大値との関係を図-9 に示す。

ASR 膨張の有無による比較を行うと、H-1 供試体は N-1 供試体と比べてせん断補強筋のひずみが急増する荷重が高くなる傾向を示した。これは、H-1 供試体はケミカルプレストレスによりコンクリートが負担するせん断耐力が向上し、斜めひび割れ発生荷重が増加したためである。

劣化度の違いによる比較を行うと、せん断補強筋が健全な場合、終了期にある H-2 供試体の方が、H-1 供試体と比べひずみの増加が顕著でなかったことから、せん断補強筋負担せん断力が小さいことがわかる。これは、H-2 供試体の方が ASR 膨張によるケミカルプレストレスが大きいと考えられることから、コンクリートのせん断に対する抵抗力が向上したためと考えられる。一方、せん断補強筋が破断している場合、H-3 供試体と比べ H-4 供試体の方がひずみが大きく増加する傾向を示した。これは、H-3 供試体ではせん断補強筋が破断していることと、破壊形式が曲げ破壊であったことからせん断補強筋ひずみが増加しなかったと考えられる。それに対し、H-4 供試体では破壊形式がせん断付着破壊となったことから、ひずみが大きく増加したと考えられる。このことと前章の付着試験の有効定着長より、せん断補強筋が破断している場合においても、有効定着長が確保された箇所であれば、せん断補強筋は有効に働くと考えられる。

せん断補強筋破断の有無による比較を行うと、進展期にある H-1 供試体と H-3 供試体では、H-3 供試体のひずみが増加しなかったのに対し、H-1 供試体ではひずみの増加が見られた。これは、H-3 供試体がせん断補強筋の破断を模擬していたことから、ひずみ測定位置のせん断補強筋が有効に働かなかったことに加え、最大荷重の違いも若干影響していると思われる。終了期にある H-2 供試体と H-4 供試体では、H-4 供試体のひずみの方が大きく増加した。これは、H-2 供試体が曲げ破壊に至ったのに対し、H-4 供試体のせん断補強筋が破断していたことによりせん断破壊に至ったことから、ひずみが増加したと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、 $100 \times 100 \times 400 \text{mm}$  の曲げ供試体の自由膨張が ASR 膨張過程における進展期 (約  $3100 \mu$ )、終了期

(約  $4380 \mu$ ) 時点の ASR 損傷コンクリート 2 種類を用いて、鉄筋とコンクリートの付着特性、およびせん断補強筋の破断が生じた RC はり部材のせん断耐荷性状について検討を行った。本研究から得られた主な結果を以下にまとめる。

- (1) 拔出し変位  $0.002D$  時では鉄筋径に関わらず、ASR 膨張が進展することによるケミカルプレストレスの増加に伴い、付着応力度が大きくなる傾向が見られた。
- (2) 平均最大付着応力度では鉄筋径が  $D10$  の場合、ASR 進展期は健全な供試体に比べ増加したが、終了期になると減少した。一方、 $D13$  の場合は逆の結果となった。これらの結果はひび割れ密度と密接な関係があり、ひび割れ密度が増加すると、割裂に対する感受性が増加することで、割裂破壊に至りやすく、結果として平均最大付着応力度が低下することが確認された。
- (3) せん断補強筋が破断している場合、ASR 膨張によるひび割れは主鉄筋位置に集約し、主鉄筋位置のひび割れ幅が大きくなることが確認された。また、そのことに伴い供試体全体のひび割れ密度が小さくなることも明らかになった。
- (4) ASR 損傷が生じてても、せん断補強筋の破断がない場合は、ケミカルプレストレスの効果によりはり供試体の耐力が向上し、普通コンクリート供試体と同等以上の最大耐力を示すことが確認された。また、ASR 膨張が進展期にある場合は、せん断補強筋破断の有無によらず、普通コンクリート供試体と同等以上の変形性能を有するものの、破断がある場合は若干初期剛性が低下する傾向が見られた。終了期のように ASR 膨張によって主鉄筋に沿ったひび割れが顕著に見られる場合には、ケミカルプレストレスによる耐力の補強効果は有するものの、主鉄筋に沿ったひび割れ等のコンクリートの劣化により変形性能は大きく低下する傾向が伺えた。
- (5) せん断補強筋が破断している場合でも降伏に必要な定着長が確保されている区間においてはせん断補強筋は有効に機能するものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書（鉄筋破断と新たな対応）、コンクリートライブラリー124, pp. II-85-II-89, 2005.8
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書（規準編）、2007.5
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編）、2008.3