

## 論文 セン断補強筋の節の消失が RC はりのせん断耐荷機構に与える影響

桑鶴 龍也\*1・岩波 光保\*2・中山 一秀\*3

**要旨:** 本研究では、せん断補強筋とコンクリートの間の付着劣化が RC はりのせん断耐荷機構に与える影響を評価することを目的に、付着に大きな影響を及ぼす節の機械的抵抗の消失を人工的に模擬した節消失模擬せん断補強筋を有する RC はりの静的 4 点曲げ載荷試験を実施し、せん断耐荷機構の変化をビーム機構およびアーチ機構に分離して検討した。その結果、節の消失によってせん断補強筋のひび割れの発生および進展を抑制する能力が低下し、ひび割れの局所化およびひび割れ性状の変化が生じることが確認された。ひび割れ性状が大きく変化した場合、せん断耐荷機構それぞれが受け持つせん断抵抗が変化することが確認された。

**キーワード:** RC はり, セン断補強筋, 付着劣化, 鉄筋の節の機械的抵抗, ビーム機構, アーチ機構

## 1. はじめに

多くのインフラが老朽化している中、構造物の維持管理計画が重要視されている。インフラに多く用いられている鉄筋コンクリート（以下、RC）構造物において、コンクリート内部の鉄筋が腐食すると、その構造性能が変化する。そのため、効率的な維持管理を実施するには劣化後の構造物の性能の正確な評価を行うことが必要不可欠となるが、構造性能上重要となる RC 部材のせん断耐荷機構に鉄筋腐食、特にせん断補強筋の腐食が与える影響について未だ不明瞭な点が多い。

RC 部材において鉄筋腐食が生じると、鉄筋の断面欠損、更には周囲のコンクリートに対する鉄筋の節の機械的抵抗が減少し、鉄筋とコンクリートの間の付着が低下する。また、腐食生成物の体積膨張によるひび割れ（以下、腐食ひび割れ）も発生する。多くの研究<sup>1)~6)</sup>でせん断補強筋の腐食によって、RC はりのせん断耐力が減少することが報告されている。橋本ら<sup>1)</sup>および Xin ら<sup>2)</sup>はせん断補強筋の断面欠損による作用せん断力のせん断補強筋負担分の低下の影響が大きいことを確認している。Iman ら<sup>3)</sup>は断面積の減少に加えて、腐食ひび割れによるコンクリートの損傷を考慮して、腐食した RC はりの残存せん断耐力の合理的な予測方法を提案している。また、鉄筋とコンクリートの間の付着劣化によりすべりが生じ、せん断補強筋のひび割れ抑制効果が低下し、コンクリート部分の負担せん断力が減少する可能性が示唆されている<sup>4),5)</sup>。一方で、せん断補強筋の付着劣化がせん断耐荷機構に与える影響が小さい可能性も報告されている<sup>2),7)</sup>。

以上のようにせん断補強筋が腐食した RC はり部材の構造性能に関する研究が国内外で行われているが、実際に鋼材が腐食した RC はりでは、断面欠損、付着劣化および腐食ひび割れなどが複合的にせん断耐荷機構に影響を

及ぼしている。せん断補強筋の腐食が RC はりのせん断耐荷機構に与える影響を明瞭化するためには、それぞれの影響を個別に評価し、その後に複合的な影響を検討することが効果的である。そのため、本研究では付着劣化の影響を個別に評価した。

また、RC はりのせん断耐荷機構はビーム機構とアーチ機構といった 2 つの異なる機構によって成立する。せん断補強筋はトラス理論に基づく直接的なせん断抵抗だけでなく、ひび割れ開口抑制による骨材のかみ合わせによるせん断伝達の保持および引張鉄筋の支持によるダウエル作用の向上に寄与することで、ビーム機構の保持に貢献するとともに、圧縮コンクリートの拘束によるアーチ機構の保持に貢献する<sup>8)</sup>。そのため、せん断補強筋の腐食によって RC はりのせん断耐荷機構自体が変化することが予測される。しかし、著者らの既往の研究<sup>9)</sup>を含め、せん断補強筋の腐食によるせん断耐荷機構自体の変化を定量的に検討している研究は未だない。そのため、本研究では Gunawan<sup>10)</sup>らが用いた各耐荷機構がそれぞれ受け持つせん断抵抗の定量的評価手法を参考に、せん断補強筋の節の消失によるせん断耐荷機構の変化を検討した。

以上より、本研究では、せん断補強筋とコンクリートの間の付着劣化が RC はりのせん断耐荷機構に与える影響を評価することを目的に、鉄筋とコンクリートの間の付着に大きな影響を及ぼす節の機械的抵抗の消失を人工的に模擬した節消失模擬せん断補強筋を有する RC はりの静的 4 点曲げ載荷試験を実施し、せん断耐荷機構の変化をビーム機構およびアーチ機構に分離して検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1 試験体概要

本研究では健全な試験体（以下、Ref.）を 1 体、腐食に

\*1 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 土木工学コース 修士 2 年（学生会員）

\*2 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 土木工学コース 教授 博士（工学）（正会員）

\*3 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 土木工学コース 助教 博士（工学）（正会員）

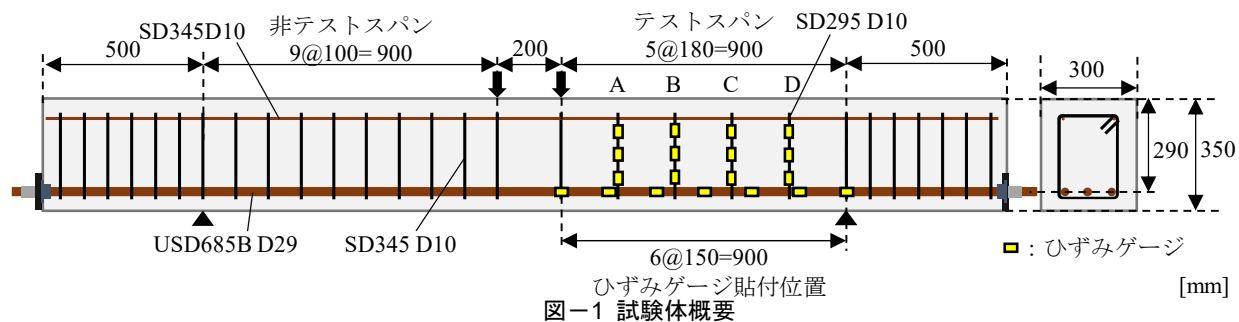


図-1 試験体概要

表-1 試験体諸元

試験体名	$a/d$	$s$ (mm)	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	$r_w$ (%)	
Ref.	3.1	180	71.3	0.264	
節消失 模擬			Cor. All	64.1	0.238
Cor. AB			64.0	0.237	
Cor. CD			64.3	0.238	

$s$  : せん断補強筋配置間隔,  $A_w$  : せん断補強筋断面積,  
 $b$  : 試験体断面幅 (= 300 mm) ,  
 $r_w$  : せん断補強筋比 (=  $2A_w / bs \times 100$ )

表-2 コンクリートの配合

$G_{max}$ (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	S	G	Ad
20	48	44.4	169	353	778	1009	3.53

Ad : AE 減水剤

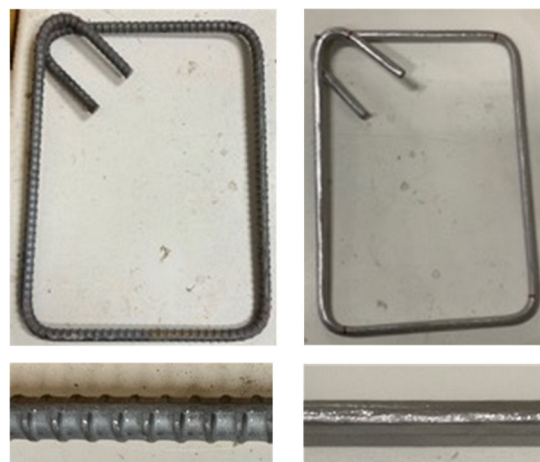
表-3 鉄筋の力学特性

種類	鋼種	呼び径	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )
引張鉄筋	USD685B	D29	719
圧縮鉄筋	SD345	D10	377
せん断補強筋			

よる鉄筋の節の消失を人工的に模擬した試験体(以下、節消失模擬試験体)を3体、合計4体の試験体を製作した。図-1に試験体の形状と配筋を、表-1に試験体諸元を示す。有効高さを290 mm、断面幅は300 mm、せん断スパン900 mmとし、せん断補強筋の役割が明確なスレンダービームとなるようせん断スパン比( $a/d$ )は3.1とした。試験せん断スパンを限定するため、テストスパンと非テストスパンを設け、せん断補強筋の配置間隔はテストスパンで180 mmとした。引張鉄筋の端部定着を確保するため、ナット、アンカープレートを設置するとともに、貫通式プレートナットをコンクリート内部に配置した。また、表-2に本実験で用いたコンクリートの配合を、表-3に使用した鉄筋の種類とその物性を示す。

## 2.2 載荷方法および測定項目

容量3000 kNの油圧ジャッキを用いて、RCはり部材の静的4点曲げ載荷試験を行い、片側側面のひび割れの進展を目視で確認した。測定項目は荷重、試験体中央における鉛直変位、試験体中央およびテストスパン内部の引張鉄筋のひずみおよびテストスパン内部のせん断補強筋



(a) 健全 (b) 節消失模擬  
 図-2 せん断補強筋とその表面形状

のひずみとした。せん断補強筋のひずみは図-1に示すように、載荷点直下と支点直上を除いたテストスパン内部のせん断補強筋(試験体中央側からA, B, C, Dとする)で測定した。一つのせん断補強筋ではひび割れを確認した片側側面で、中央と中央から上下に75 mmの位置の3箇所測定し、それぞれの位置では一枚のみひずみゲージを貼付した。また、たわみを求めることを目的に鉛直変位を試験体中央と支点位置で測定した。

## 2.3 節消失模擬方法および節消失模擬試験体

本研究ではせん断補強筋のみが極端に腐食した場合を想定し、人工的に鉄筋腐食を模擬した。Ref.ではせん断補強筋に健全なD10鉄筋を用いた。節消失模擬せん断補強筋として、図-2に示すようにグラインダーで切削し、電気やすりを用いて研磨したD10鉄筋を用い、その外径は電子ノギスによって測定した。節消失模擬試験体として、図-3に示すようにCor. All, Cor. ABおよびCor. CDの3体の試験体を作製した。Cor. Allではせん断スパン内部に配置する4本のすべてのせん断補強筋に節消失模擬せん断補強筋を用いた。実際の鋼材腐食は、はり部材の内部において均一に生じないことを想定し、Cor. ABでは載荷点付近のせん断補強筋A, Bに節消失模擬せん断補強筋を用い、Cor. CDでは支点付近のせん断補強筋C, Dに節消失模擬せん断補強筋を用いた。表-1中のCor. ABとCor. CDのせん断補強筋断面積とせん断補強筋比に関して、せん断スパン内部の4本のせん断補強筋のうち、Cor. ABで

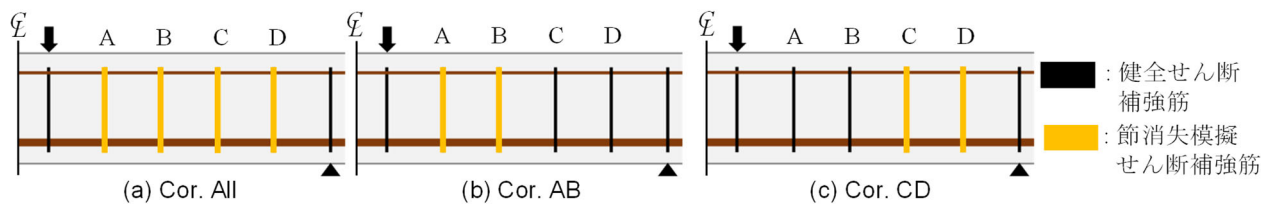


図-3 節消失模擬試験体

表-4 実験結果

試験体	Ref.	Cor. All	Cor. AB	Cor. CD
$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	39.3		45.3	
$V_{u\_cal}$ (kN)	202	194	206	206
$V_{u\_exp}$ (kN)	207	194	267	223
$V_{u\_nor}$ (kN)	193	181	238	198

は節消失模擬せん断補強筋 A, B の平均値を示し, Cor. CD では節消失模擬せん断補強筋 C, D の平均値を示している。著者らの既往の研究<sup>9)</sup>において、破壊時に支配的なひび割れ（以下、critical crack）が通過した節消失模擬せん断補強筋のひずみについて、1本のせん断補強筋の中で一様にひずみが大きくなり、その結果せん断補強筋が作用せん断力を負担する能力が低下せず十分に発揮され、せん断耐力の増加に寄与した可能性を確認している。せん断ひび割れの形状を考慮すると、critical crack はせん断補強筋 B, C を通過する可能性が高い。同一試験体において、critical crack が健全なせん断補強筋と節消失模擬せん断補強筋を同時に通過した場合に、せん断耐荷機構がどのように変化するかを確認することを目的として、Cor. AB および Cor. CD を作製した。

## 2.4 デジタル画像相関法

载荷中のひずみ分布を確認することを目的に、テストスパン側のせん断スパンにおいてデジタル画像相関法（以下、DIC）に基づく画像解析を実施した。図-4 に示すように、ひび割れの進展を確認した面と逆側の側面を白色のスプレーで塗装した後、黒色のスプレーを用いてスペckルパターンを描き、デジタルカメラ（5616×3744 画素）を用いてスパン全体を荷重 10 kN または 5 kN 毎に撮影した。

## 3. 実験結果と考察

実験結果の差異について、構造実験の結果の不安定性の影響も考えられるが、本研究では節の消失の影響に焦点を当てた。

### 3.1 せん断耐力と剛性

各試験体のコンクリートの圧縮強度 ( $f'_c$ )、設計せん断耐力 ( $V_{u\_cal}$ ) およびせん断耐力の実験値 ( $V_{u\_exp}$ ) を表-4 に、作用せん断力 ( $V$ ) と試験体中央のたわみの関係を

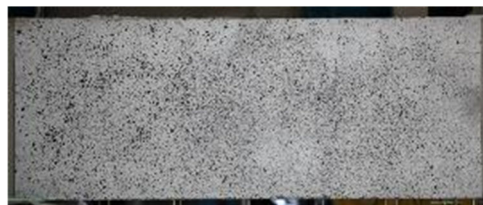


図-4 スペckルパターン

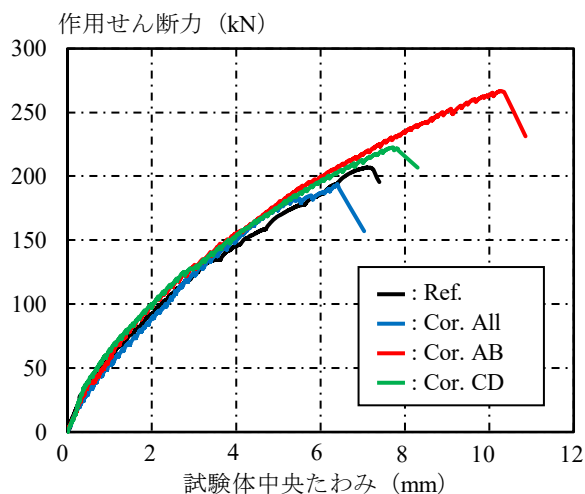


図-5 作用せん断力と試験体中央たわみの関係

図-5 に示す。  $V_{u\_cal}$  はコンクリート部分の負担分を二羽ら<sup>11)</sup>の提案した式に、せん断補強筋の負担分をコンクリート標準示方書<sup>12)</sup>に従って算出した。また、 $f'_c$  の影響を取り除くため、著者らの既往の研究<sup>9)</sup>における方法と同様に式(1)によって規準化し、規準化せん断耐力 ( $V_{u\_nor}$ ) を求め、表-4 に示す。

$$V_{u\_nor} = V_{u\_exp} \sqrt{32 \text{ N/mm}^2 / f'_c} \quad (1)$$

すべての試験体の破壊モードはせん断圧縮破壊であり、斜めひび割れ発生後も作用せん断力が減少せず、载荷点直下のせん断スパン内部のコンクリートの圧壊により破壊に至った。実験結果を比較すると、Cor. All の  $V_{u\_exp}$  は Ref. に比べて 6.24 % 減少した。その減少の程度は節消失模擬に伴う断面積の減少による  $V_{u\_cal}$  の減少 (3.95 %) より大きいため、節消失模擬によるせん断補強筋の付着劣化の影響があることが考えられる。一方で、Cor. AB および Cor. CD の  $V_{u\_exp}$  は Ref. に比べて増加した。  $f'_c$  の影響を取り除くために規準化した  $V_{u\_nor}$  について、Cor. CD の  $V_{u\_nor}$  は Ref. と同程度であるが、Cor. AB の  $V_{u\_nor}$  は Ref. に比べて 23.3% 大きな値となった。また、剛性について、本研究では『はり全体の変形のしにくさ』と定義した。図

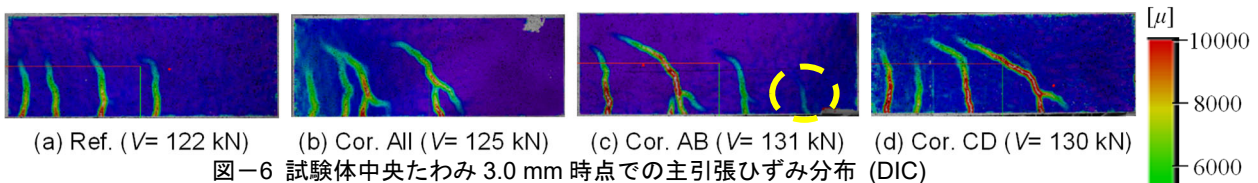


図-6 試験体中央たわみ 3.0 mm 時点での主引張ひずみ分布 (DIC)

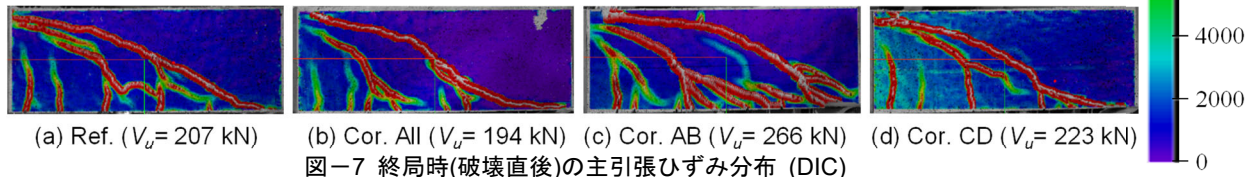


図-7 終局時(破壊直後)の主引張ひずみ分布 (DIC)

—5に示すように、Ref.では斜めひび割れが目視で確認された時点(約 $V=120$  kN)で剛性が明らかに低下している。一方で、他の節消失模擬試験体において、同じ荷重レベルで斜めひび割れ発生が目視で確認されたが、Ref.のような曲げ剛性の低下が確認されず、ひび割れの進展が進むにつれて次第に剛性が低下していく形になっている。そのため、斜めひび割れが十分に進展している荷重レベルではRef.に比べて、他の節消失模擬試験体の剛性が大きくなったことが考えられる。これはせん断補強筋の節消失模擬によって、引張鉄筋の拘束の程度が低下し、せん断変形が十分に伝達せず、斜めひび割れ発生による剛性の低下の程度が小さくなり、結果として剛性が大きくなったと考えられる。

以上より、せん断補強筋の節の消失によって、健全な場合と比べて、せん断耐力および剛性が変化することが確認された。

### 3.2 ひび割れ性状 (デジタル画像相関法結果)

DICによって主引張ひずみ分布を得ることにより、ひび割れ性状を確認できる。図-6に試験体中央たわみが約3.0 mm時点での各試験体の主引張ひずみ分布を示す。試験体中央たわみが約3.0 mm時点において、Ref.では斜めひび割れが発生していないが、節消失模擬試験体において、明瞭な斜めひび割れが確認できる。また、Cor. ABとCor. CDではともに節消失模擬せん断補強筋が配置されている領域付近で斜めひび割れが発生、進展していることから、節の消失によりせん断補強筋の斜めひび割れの発生および進展を抑制する能力が低下したことが推察される。

図-7に終局時(破壊直後)における各試験体の主引張ひずみ分布を示す。節消失模擬試験体のうち、Cor. AllおよびCor. CDのひび割れ性状はRef.に近いものであった。また、10000  $\mu$ 以上のひずみが発生している領域を考えると、Cor. Allではせん断スパン全体でひび割れの局所化が確認でき、Cor. CDでは節消失模擬せん断補強筋を配置している支点付近の領域でひび割れの局所化が確認できる。以上の現象から、節の消失によるせん断補強筋とコンクリートの間の付着劣化が原因となっており、せん断補強筋のひび割れ抑制効果が低下し、発生したひび割れの開

口を効果的に抑制できず、局部的にひび割れ開口が進み、ひび割れ分散性が低下したことが考えられる。一方で、Cor. ABでは図-6(c)に示すように、健全なせん断補強筋を配置している支点付近の領域でひび割れが発生している。これは節消失模擬せん断補強筋を配置している領域で斜めひび割れが早期に発生、進展したため、その部分で負担できなくなった応力が支点付近の領域に流れたことが要因であると推察される。そして、支点付近の領域で発生したひび割れがcritical crackとなり、圧縮縁にまで進展する形で破壊に至り、他の試験体に比べて、そのひび割れ性状が異なるものであった。以上のような現象により、他の試験体に比べて支点付近の領域のコンクリートがせん断に対して十分に抵抗するようになり、ひび割れがせん断スパン全域に渡って分散したことが推察される。

以上より、節の消失によってせん断補強筋のひび割れの発生および進展を抑制する能力が低下し、ひび割れの局所化およびひび割れ性状の変化が生じることが確認された。また、Cor. ABの結果より、節が消失したせん断補強筋の位置がRCはりのせん断耐荷機構に影響を及ぼす可能性も確認された。

## 4. せん断耐荷機構の評価

### 4.1 ビーム機構とアーチ機構が受け持つせん断抵抗の評価方法

RCはりのせん断耐荷機構は式(2)によって表現される<sup>8)</sup>。第1項 $jd(dT/dx)$ はビーム機構によるせん断抵抗( $V_{beam}$ )を表し、式(3)に示すように、せん断補強筋による負担分( $V_{sbeam}$ )とコンクリート部分による負担分( $V_{cbeam}$ )の和である。第2項 $T(djd/dx)$ はアーチ機構によるせん断抵抗( $V_{arch}$ )を表す。それぞれの機構の貢献分をGunawanら<sup>10)</sup>が用いた手法を参考に、定量的に評価した。引張鉄筋の引張力( $T$ )は図-1に示すように載荷点直下から支点直下にかけて引張鉄筋に貼付したひずみゲージによって測定された引張ひずみから算定し、式(4)より、各ひずみ測定位置におけるモーメントアーム長( $jd$ )を算出した。モーメントの釣合いの式である式(4)ではコンクリートに作用する引張力を無視しているため、 $jd$ が過大評価される場合がある。そのため、設計式において用いられるモー

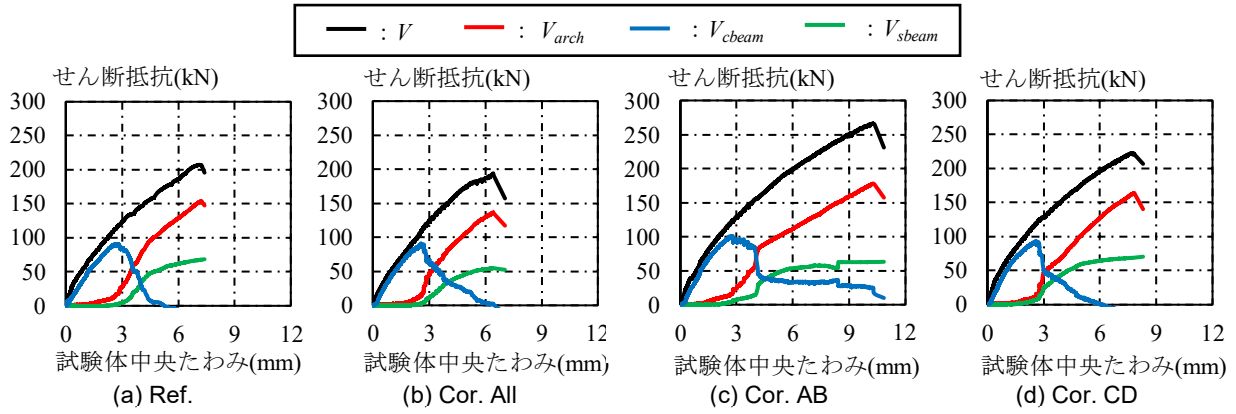


図-8 セン断耐荷機構の変化

ントアーム長  $7d/8$  ( $= 254 \text{ mm}$ ) を最大の閾値とし、載荷点から支点にかけて、 $jd$  が小さくなることを条件とした。また、隣り合ったひずみ測定位置間での  $T, jd$  の平均値および  $T, jd$  の平均変化率を算出し、式(5)および式(6)より各区間の  $V_{beam}$  と  $V_{arch}$  を算出した。各区間の値をせん断スパン全体で平均した値を  $V_{beam}$  および  $V_{arch}$  として用いた。 $V_{sbeam}$  について、せん断補強筋に貼付しているひずみゲージのうち、critical crack 付近のひずみゲージの値を用いて引張応力を算出し、その平均値をせん断補強筋の引張応力 ( $\sigma_w$ ) とした。トラス機構に基づき、斜めひび割れ角度が  $45^\circ$  と仮定して、式(7)より  $V_{sbeam}$  を算出し、式(8)より  $V_{cbeam}$  を算出した。

$$V = \frac{dM}{dx} = \frac{d(Tjd)}{dx} = jd \frac{dT}{dx} + T \frac{d(jd)}{dx} \quad (2)$$

$$V = V_{beam} + V_{arch} = (V_{sbeam} + V_{cbeam}) + V_{arch} \quad (3)$$

$$jd = \frac{M}{T} = \frac{Vx}{T} \quad (4)$$

$$V_{beam} = jd \frac{dT}{dx} = \left( \frac{jd_2 + jd_1}{2} \cdot \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \right)_{ave} \quad (5)$$

$$V_{arch} = T \frac{d(jd)}{dx} = \left( \frac{T_2 + T_1}{2} \cdot \frac{jd_2 - jd_1}{x_2 - x_1} \right)_{ave} \quad (6)$$

$$V_{sbeam} = A_w \sigma_w \frac{d/1.15}{s} \quad (7)$$

$$V_{cbeam} = V_{beam} - V_{sbeam} \quad (8)$$

- ただし、 $M$  : 作用曲げモーメント (kN・mm)  
 $T$  : 引張鉄筋の引張力 (kN)  
 $jd$  : モーメントアーム長 (mm)  
 $x$  : 支点からの鉄筋軸方向距離 (mm)  
 $A_w$  : セン断補強筋 1 組の断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_w$  : セン断スパン内部のせん断補強筋の平均引張応力 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $d$  : 引張鉄筋の有効高さ (mm)  
 $s$  : セン断補強筋の配置間隔 (mm)

#### 4.2 セン断補強筋の節消失模擬によるせん断耐荷機構の変化

4.1 において述べた手法により算出した各機構のせん断抵抗への貢献分と試験体中央のたわみの関係を図-8に示す。すべての試験体において、載荷初期では  $V_{cbeam}$  が

支配的であり、斜めひび割れの発生および進展に伴って、その貢献分が減少し、終局時においては、 $V_{arch}$  と  $V_{sbeam}$  が支配的になっている。以上のようなせん断耐荷機構の移行は RC はりの一般的なせん断挙動として既往の研究<sup>10),13)</sup>でも確認されている。Ref.と比較すると、せん断スパン中央部での斜めひび割れの進展が早期に進んだ Cor. All と Cor. CD では、 $V_{cbeam}$  が急に減少していることが確認できる。一方で、図-7に示すように Cor. AB では支点付近のひび割れが進展し、せん断スパン中央部でのひび割れの進展が抑制されたことによりひび割れでのかみ合わせによるせん断伝達が持続され、 $V_{cbeam}$  は試験体中央たわみが約 3.0 mm 時点から停滞し、終局時にも 25.2 kN 残存している。他の試験体は終局時において、 $V_{cbeam}$  は残存しておらず、 $V_{cbeam}$  がせん断抵抗に寄与していないと考えられるため、 $V_{cbeam}$  の残存が Cor. AB のせん断耐力増加の一因となっていることが推察される。

終局時における各機構のせん断抵抗への貢献分を図-9に示す。圧縮ストラットの強度が重要なパラメータとなる  $V_{arch}$  は  $f'_c$  の影響を受けやすい。その影響を取り除くため、せん断耐力と同様に式(9)において、終局時の  $V_{arch}$  ( $V_{arch\_peak}$ ) を規準化した。

$$V_{arch\_peak\_nor} = V_{arch\_peak} \sqrt[3]{32 \text{ N/mm}^2 / f'_c} \quad (9)$$

Cor. All について、図-8においても確認できるように、せん断補強筋の節消失模擬に伴う断面欠損の影響で終局時の  $V_{sbeam}$  ( $V_{sbeam\_peak}$ ) の値が比較的小さい。加えて、 $V_{arch\_peak\_nor}$  についても比較的小さく、Ref.と比較すると 9.90% 小さい値を示している。せん断スパン内部全体に節消失模擬せん断補強筋が配置されているため、斜めひび割れの開口抑制能力が低下し、圧縮ストラットの強度が低下したことが要因として考えられる。Cor. AB について、 $V_{arch\_peak\_nor}$  が他の試験体に比べ、大きな値を示している。これは図-7に示したように critical crack が支点から載荷点に回り込む形状であるため、圧縮ストラットが他の試験体に比べて弱体化しなかったことが要因として考えられる。以上より、終局時における  $V_{cbeam}$  の残存および

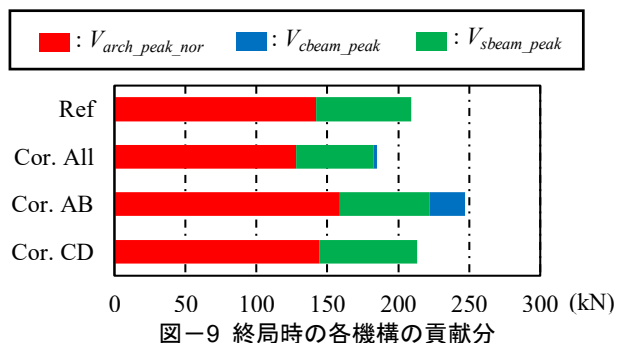


図-9 終局時の各機構の貢献分

$V_{arch}$ の貢献分の増加というようにせん断耐力機構自体が変化したが、Cor. ABのせん断耐力増加の要因となったと推察される。一方で、Cor. CDにおいてはRef.と同じような傾向を示し、 $V_{arch\_peak\_nor}$ は同程度であった。これは、荷重点側の健全なせん断補強筋の斜めひび割れの進展を抑制する能力によって、圧縮縁へのひび割れの進展が適度に抑制されたためであると考えられる。

## 5. 結論

本研究では、せん断補強筋とコンクリートの間の付着劣化がRCはりのせん断耐力機構に与える影響を評価することを目的に、付着に大きな影響を及ぼす節の機械的抵抗の消失を人工的に模擬した節消失模擬せん断補強筋を有するRCはりの静的4点曲げ荷重試験を実施し、せん断耐力機構の変化をビーム機構およびアーチ機構に分離して検討した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 節の機械的抵抗の消失によって、せん断補強筋のひび割れの発生および進展を抑制する能力が低下したことが推察された。それにより、ひび割れの局所化が生じ、せん断スパン内部のすべてのせん断補強筋の節を消失させた場合、RCはりのせん断耐力機構においてアーチ機構の貢献分が低下した。
- (2) 節の消失したせん断補強筋が配置された荷重点付近の領域で早期に斜めひび割れが発生、進展することで、健全なせん断補強筋を配置している支点付近のコンクリートが荷重を負担し、その領域でひび割れが発生し、ひび割れ性状が健全時とは大きく異なる形となった。ひび割れ性状の変化により、終局時におけるコンクリート部分のビーム機構の貢献分の残存およびアーチ機構の貢献分の増加など、RCはりのせん断耐力機構自体の変化が生じ、せん断耐力が増加した。
- (3) 節の消失したせん断補強筋を支点付近に配置し、健全なせん断補強筋を荷重点付近に配置した場合、支点付近の領域でひび割れの局所化が確認されたが、荷重点付近の圧縮縁への斜めひび割れの進展が適度に抑制された。そのため、アーチ機構の貢献分を始め、それぞれの耐力機構ごとに検討したせん断耐力機構

は健全な試験体と同様の傾向を示した。

## 参考文献

- 1) 橋本航, 森川英典, 小林秀恵: 鉄筋腐食を考慮したRCはり部材のせん断耐力性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 2, pp. 1009-1014, 2003
- 2) Xin Xue, 関博, 広森紳太郎: 鉄筋が腐食したRCはりのせん断耐力挙動に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol. 65, No. 2, pp. 161-177, 2009.4
- 3) Imam, A., Azad, AK.: Prediction of residual shear strength of corroded reinforced concrete beams, International Journal of Advanced Structural Engineering, Vol. 8, No. 3, pp. 307-318, 2016
- 4) 佐藤吉孝, 山本貴士, 服部篤史, 宮川豊章: せん断補強筋および主筋の腐食がRC部材のせん断耐力特性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, pp. 821-826, 2003
- 5) Ye, Z., Zhang, W. and Gu, X.: Deterioration of shear behavior of corroded reinforced concrete beams, Engineering Structures, Vol. 168, pp. 708-720, 2018
- 6) Xu, S., Zhang, Z., Li, R., Qiu, B.: Experimental study on the shear behavior of RC beams with corroded stirrups, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 15, pp. 178-189, 2017
- 7) 佐藤貴幸, 山本貴士, 高谷哲, 高橋良和: スターラップの腐食がRCはりの斜めひび割れ挙動に与える影響, 平成29年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集, V-16, 2017
- 8) Park, P., Pauly, T.: Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, New York, 1975
- 9) 桑鶴龍也, 岩波光保, 中山一秀: せん断補強筋の腐食がRCはり部材のせん断耐力機構に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 44, No. 2, pp. 877-882, 2022
- 10) Gunawan, D., Okubo, K., Nakamura, T., Niwa, J.: Shear capacity of RC Beams Based on Beam and Arch Actions, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 19, pp. 241-255, May 2020
- 11) 土木学会: コンクリート標準示方書—設計編—, 2017
- 12) 二羽淳一郎, 山田一宇, 横沢和夫, 岡村甫: せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, No. 372/V-5, pp. 167-176, 1986
- 13) Nakamura, H., Iwamoto, T., Yamamoto, Y., Miura, T., Gedik, YH.: Shear Resistance Mechanism Evaluation of RC Beams Based on Arch and Beam Actions, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 16, pp. 563-576, November 2018