

論文 圧縮主鉄筋の腐食ひび割れがせん断圧縮破壊挙動に及ぼす影響

高橋 良輔*¹

要旨: コンクリート部材中のひび割れは、応力流れを変化させ、破壊挙動を変える可能性がある。そのため、既設構造物の性能評価において、この影響を把握する事は重要である。圧縮鉄筋の腐食においては、発生する腐食ひび割れがせん断圧縮破壊耐力を増加させ、破壊挙動に影響を与えるであろう事が実験で示されている。しかし、その原因については未だ明らかとはなっていない。そこで本研究では、圧縮鉄筋の腐食ひび割れによる不連続性に着目し、不連続面を設置した実験を行って、圧縮鉄筋腐食ひび割れによる破壊荷重増加の原因の検討を行った。また、圧縮主鉄筋位置の不連続面の性状に着目した有限要素解析を行い、その結果と合わせて、不連続面によるせん断圧縮破壊挙動への影響の検討を行った。

キーワード: 鉄筋腐食, 圧縮鉄筋, せん断圧縮, 腐食ひび割れ, せん断耐力

1. はじめに

材料劣化を伴う構造物は、引張主鉄筋の断面減少やコンクリートの強度低下など、主材料の抵抗強度の減少だけではなく、付着や定着の劣化、ひび割れ、材料性能や材料断面の空間的な変化などにより、設計時に前提となっている力学的な条件や破壊機構が変化している可能性が考えられる。従って、材料劣化を伴う既設構造物の性能評価は、劣化損傷と破壊機構の関係を把握し、必要に応じてそれらを考慮する必要がある。

はり部材の圧縮主鉄筋の腐食による断面減少は、健全部材での力学的な抵抗機構における圧縮主鉄筋の役割から、曲げ、せん断挙動に対して大きく影響しないと考えられる。一方、圧縮主鉄筋の腐食によるひび割れは、圧縮材として抵抗する周辺コンクリートの損傷や不連続化を促し、曲げ、せん断抵抗機構におけるコンクリートの、有効な圧縮断面に影響を与えることは容易に想像される。また、Pimanmasら¹⁾や田中ら²⁾は、人工亀裂を形成したはり部材のせん断破壊実験を行い、亀裂による応力流れの変化により破壊形態や耐荷性能が変化すること、亀裂の形成の仕方によっては耐荷性能が向上する場合もあることを示している。腐食ひび割れを亀裂の一種と見なせば、このことも、圧縮主鉄筋腐食ひび割れがはりの破壊挙動に影響を及ぼすことを示していると言えよう。

はり部材のせん断圧縮破壊は、荷点周辺のアーチ材の破壊により部材破壊に至ることから、圧縮主鉄筋の腐食ひび割れが大きく影響する破壊挙動の一つと考えられる。圧縮主鉄筋の腐食ひび割れがせん断破壊挙動に及ぼす影響は、宇田ら³⁾により実験的に調べられている。圧縮主鉄筋が腐食した、せん断補強筋の無い腐食 RC はりの荷重実験により、せん断耐力が腐食ひび割れにより低下すること、一方で、破壊形態の変化により増加もする

ことが示されている。しかし、この実験は健全時に斜め引張破壊となるはりが対象であり、圧縮主鉄筋と共に引張主鉄筋も腐食したはりを用いている。Toongoenthongら⁴⁾は、鉄筋軸方向の腐食ひび割れがせん断破壊挙動に及ぼす影響の検討の中で、荷点近傍の圧縮主鉄筋のみが腐食した RC はりの荷重実験を行っている。実験では、圧縮主鉄筋による軸方向腐食ひび割れが支間中央部に存在する場合、せん断耐力が8%程度低下したとしている。Toongoenthongらの実験供試体は、圧縮主鉄筋の重量減少率が1.8%と小さく、腐食ひび割れも片側表面のみに存在しており、腐食ひび割れの大きさや位置が比較的限定的であることから、圧縮主鉄筋の腐食によるひび割れがせん断圧縮破壊に及ぼす影響の解明は十分とは言えない。

このような背景から、著者らは、圧縮主鉄筋の腐食量ならびに圧縮主鉄筋のかぶり厚さを実験要因とした荷重実験を実施し、圧縮主鉄筋の腐食がせん断圧縮破壊挙動に与える影響の検討を行った⁵⁾。その結果、圧縮主鉄筋の平均重量減少率が20%程度と大きく、平均腐食ひび割れ幅が0.5mm程度の場合には、圧縮破壊位置の移動と、せん断圧縮破壊耐力が健全時の1.17~1.18倍に増加する現象が確認された。しかし、その検討においては、圧縮鉄筋の腐食によりせん断圧縮破壊耐力が上昇する原因を明らかにすることができなかった。そこで本研究では、腐食ひび割れによる不連続面の形成に着目した新たな実験と数値解析を実施し、圧縮鉄筋の腐食がせん断圧縮破壊機構に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

腐食環境下の実験は、破壊挙動に関係する因子が多く、ばらつきも大きい。また、相互関係も複雑であることか

*1 山梨大学 大学院医学光学総合研究部准教授 工博 (正会員)

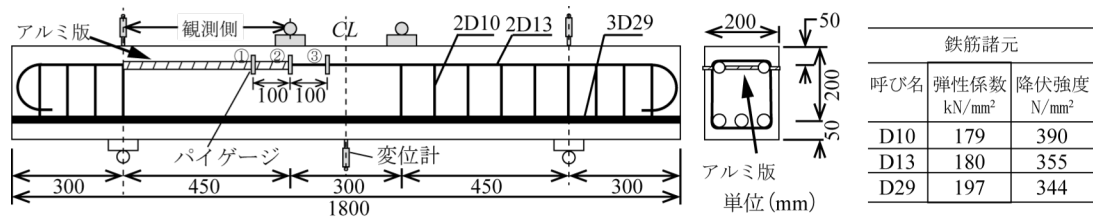


図-1 供試体形状寸法および実験条件

表-1 供試体諸元および実験結果

No.	f_c N/mm ²	平均重量 減少率 %	不連続 面	最大荷重			破壊 モード
				実験 kN	計算 kN	実験 /計算	
1300A	36.4	0	-	307	300	1.02	圧縮
1330A	33.3	22.8	あり	332	283	1.17	圧縮
1300AS	41.4	0	ひび割れ	305	327	0.93	圧縮

表-2 腐食状況

No.	重量減少率 (%)		腐食ひび割れ(mm)			
			載荷点付近のみ			
	平均	最大	最大	平均	最大	平均
1330A	22.8	29.5	0.9	0.75	0.90	0.46

ら、破壊メカニズムの主因を特定するのは難しい。著者らの実験⁵⁾における、圧縮主鉄筋の腐食によるせん断圧縮破壊耐力の増加現象は、Pimanmasらの人工亀裂による応力流れの変化¹⁾に類する機構によるものと考えられる。そこで、人工的に不連続面を付与した供試体を用い、腐食ひび割れという不連続面の存在のみがせん断圧縮破壊挙動に与える影響を調べることとした。

本研究の実験供試体(1300AS)を、図-1、表-1に示す。圧縮主鉄筋の腐食がせん断圧縮破壊挙動に及ぼす影響を調べる実験で用いた実験供試体⁵⁾に、人工不連続面を設置した。本研究では著者らの過去の実験結果のうち、圧縮主鉄筋のみの腐食によりせん断圧縮破壊荷重が増加した1体(1330A)と、その健全供試体(1300A)との比較を行う。1300Aと1330Aの諸元を表-1に示す。形状寸法は、図-1で人工不連続面が無い場合に等しい。1330Aの腐食状況を表-2に、ひび割れ図を図-3に示す。赤線は腐食、黒線は載荷によるひび割れである。1330Aの腐食ひび割れは、両側面に発生し部材軸方向で連続していた。側面の平均腐食ひび割れ幅は0.47mmである。はり上面のひび割れはわずかで、発生位置も支点到近く、破壊挙動にほとんど影響を及ぼしていないと考えられる。

実験供試体1300ASには、1330Aの腐食ひび割れ性状をもとに、せん断スパン側の上面から50mmとなる圧縮主鉄筋断面の中央位置に不連続面を設置した。健全な1300Aでは、図-3において斜めひび割れ先端と載荷板の間で圧縮破壊を示しているが、腐食した1330Aでは斜めひび割れが腐食ひび割れと合流し、圧縮破壊位置が等曲げ区間に移動している。このことから、斜めひび割れの不連続面への到達と、不連続面による載荷板までの応

力流れ幅の限定が破壊挙動に影響すると考え、実験供試体1300ASでは、載荷点からせん断スパンにかけて不連続面を設置した。スリットによる不連続面の形成は鉄筋の干渉により難しかったため、薄い金属板を設置することで不連続面を形成した。金属板には、破壊挙動に出来るだけ影響しない剛性であることと、打設時の形状保持を考慮して、厚さ0.3mmのアルミ板を用いた。アルミ版は結束線により圧縮主鉄筋に固定し、表面での摩擦による力の伝達を極力抑えるため、板の両面に油を塗布した。

2.2 載荷実験結果および考察

載荷試験は図-1の境界条件のもと、単調片押し載荷で実施した。表-1に最大荷重と破壊モードを、図-2に荷重と支間中央の変位の関係を示す。表-1の計算値は、二羽らのせん断圧縮破壊耐力の実験式⁶⁾によるものである。実験式には圧縮主鉄筋の影響項は存在しないことから、当然、計算値に腐食の影響は含まれていない。各供試体間の圧縮強度には、ややばらつきが見られたため、図-2では、荷重をこの計算値で除して正規化した値を縦軸として、圧縮強度のばらつきの影響を除いた。

図-3中の黒線で示されるように、全ての供試体は、支持位置から載荷点に向けて伸びる斜めひび割れが発生し、コンクリートの圧縮破壊により荷重が低下した。

腐食した1330Aは、荷重-変位関係が健全供試体1300Aの最大荷重までほぼ一致し、最大荷重は健全供試体の1.17倍となった。斜めひび割れが腐食ひび割れに到達した後、それより上面には進展せず、最終的に圧縮破壊は等曲げスパン上縁で生じた。

不連続面を設置した1300ASは、斜めひび割れが不連続面に達した後、腐食した1330A同様にひび割れが載荷

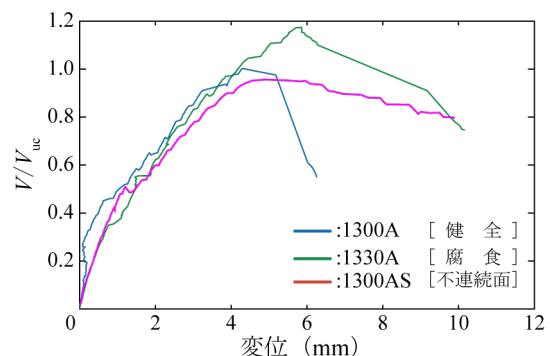


図-2 荷重-変位関係

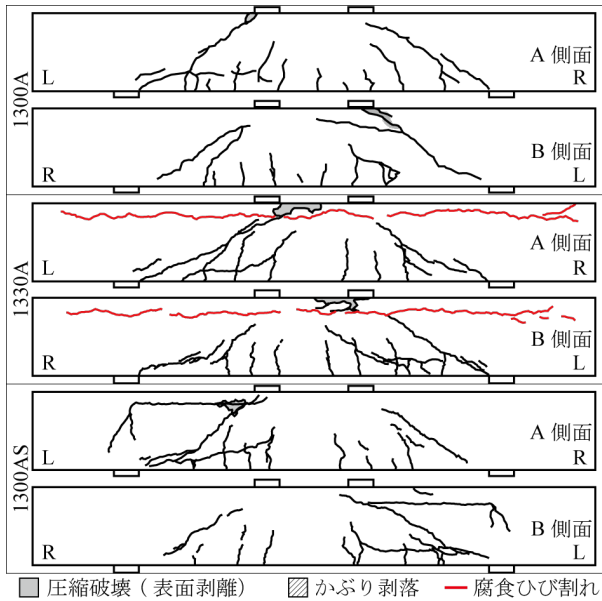


図-3 荷重ひび割れ性状

板下に誘導された。図-4 に示す荷重板付近のパイゲージによるひび割れ開口変位の観察結果からも、1300AS は1330A と同様に荷重板直下でのひび割れが開口していることがわかる。その後、荷重が低下するが、その時点の外観上の変化は、不連続面と斜めひび割れが交差した点で、わずかに圧縮破壊と見られる表面損傷が見られた程度である。最大荷重は健全の1300A よりも10%程度低下し、腐食した1330A のような最大荷重増加は示さなかった。最大荷重到達後の荷重低下は、1300A や1330A のような急激な荷重低下ではなく、非常に緩やかであった。荷重の低下とともに、図-4 に示されるように不連続面でのひび割れ幅が大きく開口し、かぶり部が浮き上がるとともに圧縮破壊領域が拡大した。

また1300AS では、不連続面の端部から、荷重点、支点に向かうひび割れが観察された。荷重点に向かうひび割れは、不連続面上側のかぶり部の浮き上がりによる曲げで発生したと考えられるが、支点に向かうひび割れの原因は不明である。圧縮破壊した位置は荷重板下ではないが、アーチ上で生じており、一見アーチ機構が保たれているようにも見える。しかし、不連続面位置のかぶりの浮き上がりから、不連続面より上部は抵抗機構に寄与しておらず、圧縮主鉄筋のダウエル作用により局所的な支圧を生じて圧縮破壊が起きた可能性も考えられる。

以上の実験結果より、せん断圧縮破壊において圧縮応力流れを遮るように配置された不連続面により、圧縮鉄筋が腐食した場合に見られる破壊位置の変化やせん断耐力の上昇は発生しなかった。従って、圧縮主鉄筋の腐食によるせん断圧縮破機構の変化は、圧縮主鉄筋位置のひび割れによる不連続性が単純に影響したものではないと言える。不連続面の設置により最大荷重は10%程度低下

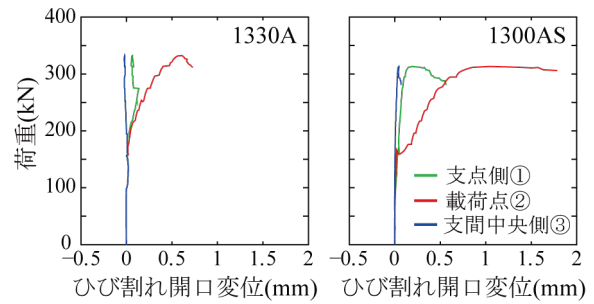


図-4 ひび割れ開口変位

したことから、圧縮主鉄筋位置の不連続面は、むしろせん断圧縮破壊荷重を低下させると考えられる。

3. 数値解析による不連続面の影響の検討

3.1 解析概要

本研究の実験では、圧縮主鉄筋が腐食した1330A 供試体で見られたせん断圧縮耐力の増加は再現されず、不連続面の存在が単純にせん断圧縮破壊荷重を増加させるのではないことが明らかとなった。しかし、実験での不連続面の破壊挙動への影響メカニズムは不明であり、人工不連続面と腐食ひび割れがせん断圧縮破壊挙動に及ぼす影響メカニズムの違いについて明らかにできれば、圧縮主鉄筋の腐食がせん断圧縮破壊荷重を増加させる原因を明らかにする端緒を掴むことができると考えられる。

腐食した1330A では、B 側面においてアーチ機構を形成する荷重点から支点へ至る圧縮ストラットを腐食ひび割れが横断している。しかし、圧縮破壊が等曲げスパンの腐食ひび割れ上側のみに発生していることから、斜めひび割れと腐食ひび割れにより定められたアーチ材によるアーチ機構が形成されているのではないかと考えられる。図-4 に見られるように横断位置であるせん断スパン側で腐食ひび割れ開口がほとんど見られないことから、腐食ひび割れ面での骨材の噛み合わせ等により腐食ひび割れ上側のかぶり部にも応力が導入されていると考えられる。一方、人工不連続面では、噛み合わせが無いため、せん断応力の伝達はほとんど無いと考えられ、この違いが腐食した1330A と単に不連続面を有する1300AS の破壊挙動の違いに影響しているのではないかと考えられる。

そこで、実験の健全供試体に腐食ひび割れ同様の初期ひび割れを導入した場合と、人工不連続面を導入した場合について数値解析を行い、腐食ひび割れと人工不連続面の違いから圧縮鉄筋腐食のせん断圧縮破壊挙動への影響メカニズムを検討した。

3.2 解析ケース

数値解析には自作の3次元非線形有限要素解析プログラム⁷⁾を用いた。解析ケースは、実験における健全供試

表-3 解析ケースおよび解析結果

No.	解析要因	f_c N/mm ²	最大荷重	
			kN	S1300 との比
A	健全	36.4	306	1.00
B	初期ひび割れ		186	0.61
C1	不連続面ずれ剛性: 10^{-1} N/mm ³		212	0.69
C2	不連続面ずれ剛性: 10^{-2} N/mm ³		247	0.81
C3	不連続面ずれ剛性: 10^{-5} N/mm ²		300	0.98

体の 1300A をモデル化したケース A, それに腐食ひび割れ相当の初期ひび割れを導入したケース B, 人工不連続面を導入したケース C とした (表-3)。

図-5 に用いた有限要素メッシュを示す。メッシュは部材幅方向の対称性を考慮して実験供試体の 1/2 モデルとし、要素には 8 積分点 20 節点アイソパラメトリック 6 面体要素を用いた。検討対象をコンクリートの応力伝達に限定するため、不連続面が鉄筋付着へ影響しないよう鉄筋は分散鉄筋とした。分散鉄筋を用いた際に引張主鉄筋が中立軸付近に分散されるのを防ぐため、要素寸法は 1 辺 25mm 程度とした。一般的には 100mm 程度であるが、今回の供試体の破壊挙動に対しては寸法を小さくする影響がほとんどないことを事前解析で確認した。載荷板と部材間には、2 つの 8 節点平面よりなる接合要素を挿入し、ずれ方向剛性を極めて低くして載荷板による拘束の影響を低減した。接合面の法線方向剛性は極めて大きくし、剛結と等価にした。不連続面とひび割れ端部による載荷点付近での複雑な応力状態が破壊挙動に影響するのを避けるため、初期ひび割れと不連続面は、はり中央から観測側支点位置に導入した。

ケース B の初期ひび割れは、圧縮主鉄筋位置を中心とする上下 50mm, はり側面より深さ 25mm の区間に、0.05mm の鉛直変位を載荷前に与えて導入した。0.05mm は腐食ひび割れとしては非常に小さい。実験での平均腐食ひび割れ幅である 0.5mm でひび割れ解析を実施したところ、表面ひずみが 10000 μ と非常に大きくなるため、初期ひび割れ解析終了時のかぶり部分のひび割れや変形が著しく、実供試体とは異なる性状となった。そこで、解析上のひずみでは 1000 μ と十分大きく、かつせん断伝達も期待できる値である 0.05mm とした。このようにして導入した初期ひび割れ性状が図-6 (a) であるが、腐食ひび割れ上方のかぶり部にも多く初期ひび割れが発生している。これは実験供試体 S1330A の腐食ひび割れ性状とは大きく異なっており、かぶりでの応力伝達が期待できないのも明らかである。よって、腐食ひび割れ上方のかぶり部では、圧縮主鉄筋位置に一番近い Gauss 積分点を除く、はり上縁より 37.5mm (1.5 要素分) まではひび割れを発生させない事とした。図-6 (b) に、その場合のひび割れ性状を示す。この部分は載荷でもひび割れ発生を許容しないが、実験でも載荷による新たな引張ひび

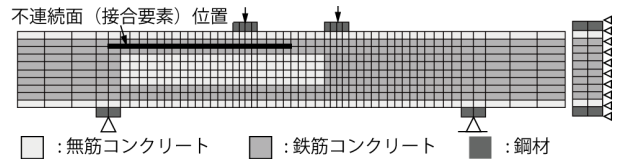


図-5 有限要素メッシュ

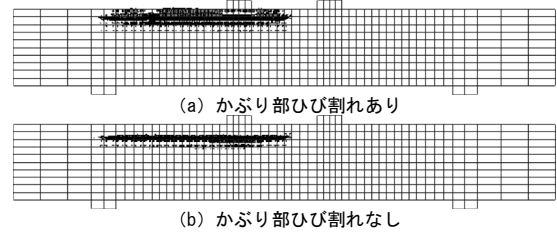


図-6 初期ひび割れ性状 (ケース B)

割れはかぶり部に発生していないため、破壊挙動を評価できると考えた。今回の初期ひび割れ導入では、部材表面上に腐食ひび割れ幅と同等の変位を与えても、実際の深さ方向ひび割れ幅分布を再現できず、かぶり部分にもひび割れが導入されるなどの問題点があり、ひび割れ導入方法については、今後さらに検討が必要である。

ケース C の不連続面は、平面接合要素で表現した。不連続面でのひび割れ開口が実験で見られたが、それを考慮するために平面接合要素の鉛直方向の引張剛性をほぼ 0 とすると、圧縮と引張の剛性差が大きく、本解析の数値解法である修正 Newton-Raphson 法では収束しなかった。そこで今回は、不連続面でのせん断伝達特性による影響のみを検討対象とし、鉛直方向を剛結とした。せん断応力-ずれ関係のずれ剛性は、剛性無 (10^{-1} N/mm³), 剛性中 (10^2 N/mm³), 剛性大 (10^5 N/mm³) の 3 種類とした。

3.3 解析手法

解析プログラムについて、本稿では概略を記す。詳細は文献 7 を参照されたい。ひび割れ発生前のコンクリートには、3 次元効果を考慮した Maekawa らの弾塑性破壊モデル⁸⁾を適用し、ひび割れ判定は実験に基づく圧縮-引張、引張-引張応力場の破壊基準⁹⁾を 3 次元に拡張した式¹⁰⁾により行った。ひび割れは多方向固定分散モデルとし、ひび割れ平面内の直交座標軸とひび割れ面法線方向の座標軸からなる局所座標系において、コンクリートの 1 軸応力ひずみ関係とせん断応力ひずみ関係を適用した。1 軸応力ひずみ関係は、引張側を、引張破壊エネルギーを考慮した 3 乗モデル¹¹⁾, 圧縮側を、軸直交方向のひび割れ開口による応力低減と圧縮破壊エネルギーを考慮した 2 次放物線モデルを適用した¹¹⁾。分散鉄筋を導入するコンクリートのひび割れ直交方向には岡村・前川の Tension Stiffening モデル⁹⁾を適用した。Tension Stiffening

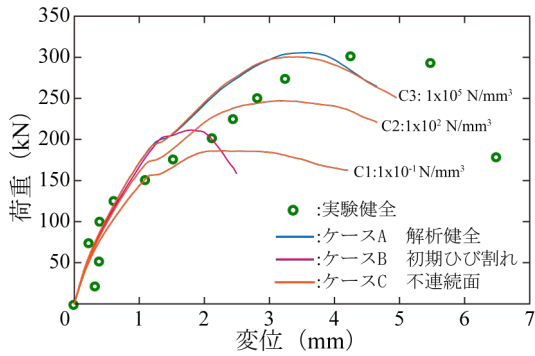


図-7 荷重変位関係

モデルは、鉄筋軸とひび割れ面法線のなす角の余弦を乗じて低減した。せん断応力-ひずみ関係は、ひび割れ面のせん断伝達とひび割れ間のコンクリートせん断剛性を考慮した、平均せん断応力ひずみ関係¹²⁾を適用した。せん断応力-ひずみ関係は、せん断軟化を考慮し¹²⁾、せん断軟化開始ひずみは事前解析により 800 μ とした。

3.4 不連続面の性状による影響

図-7に荷重-変位関係を、図-8、図-9に変位 0.15mm および最大荷重時の最小主応力コンター図と最小主応力ベクトル図を示す。ベクトル図のベクトルは線で表し、ベクトル長さと応力値の対応は各ケースで基準が異なる。

健全供試体 1300A をモデル化したケース A は、概ね実験の荷重変位関係を評価できている。初期ひび割れを導入したケース B は、初期の荷重変位関係はケース A にほぼ等しいが、最大荷重はケース A の 0.69 倍程度で、圧縮主鉄筋が腐食した実験供試体 1330A のように最大荷重は増加しなかった。不連続面を有するケース C は、ずれ剛性無の場合は荷重 75kN 程度からケース A、B に比べ剛性が低下した。最大荷重はケース A の 0.61 倍と、実験で不連続面を設置した 1300AS よりも大きく減少した。不連続面のずれ剛性の増加につれ、剛性が低下する荷重と最大荷重は上昇し、ずれ剛性大では荷重変位関係がほぼケース A に一致した。ずれ剛性無と剛性中は、不連続面を設置した 1300AS 同様の緩やかな荷重低下を示した。

最小主応力コンター図と最小主応力ベクトル図を見ると、健全のケース A と、それにほぼ等しい荷重変位関係を示すケース C3 は、変位 0.15mm では応力レベルが小さくコンター図、ベクトル図のいずれにおいても圧縮ストラットの幅が広く境界が明確でないが、最大荷重時には載荷板から支点に至る明確な圧縮ストラットを確認でき、アーチ機構が卓越したせん断破壊だとわかる。

不連続面のずれ剛性無のケース C1 と剛性中の C2 は、変位 0.15mm において、不連続面を境にした重ねはりのような状態となっていることが、コンター図からわかる。等曲げスパンでは、不連続面より上、下の各はり上縁で

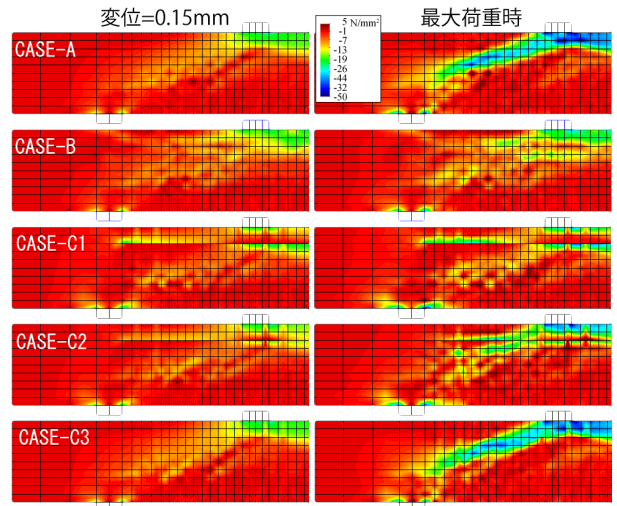


図-8 最小主応力コンター図

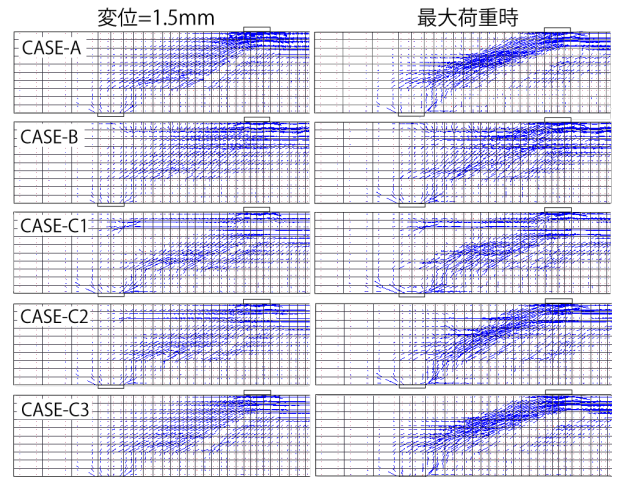


図-9 最小主応力ベクトル図

圧縮応力が卓越し、そこから不連続面と載荷点に圧縮主応力が斜め流れている。この圧縮主応力流れは、不連続面下側はりでは比較的明確だが、不連続面上側はりでは不明瞭である。この現象は他のケースでは見られないことから、不連続面のずれ剛性が小さい場合に変位 0.15mm までに剛性が低下するのは、不連続面に起因する重ねはりの挙動によると考えられる。ずれ剛性無の場合は、最大荷重時でも不連続面上側はりの主圧縮応力流れが不明瞭なままであるため、重ねはりとして破壊したと言える。ずれ剛性中の場合は、最大荷重時に不連続面上側はりにも明確な圧縮ストラットが形成されている。コンター図とベクトル図からは、上下の圧縮ストラットが載荷板から支点に至る 1 本の圧縮ストラットに連結しているように見えることから、アーチ機構による破壊と考えられる。この載荷板から支点に至る圧縮ストラットの形成は、不連続面でのせん断応力の伝達によるものと考えられる。よって、圧縮主鉄筋位置の不連続面により、はり重ねはりの破壊挙動となるが、不連続面でのせん断抵抗の増加に伴い、圧縮ストラットが形成されアーチ機構による

破壊に移行すると言える。

初期ひび割れを導入したケース B は、変位 0.15mm では不連続面の影響の無いケース A やケース C3 に近いベクトル図を示す。しかし、コンター図では、せん断スパン側の圧縮主鉄筋位置に、ひび割れに沿った主圧縮応力が小さい領域が見られる。最大荷重時には、この領域が等曲げスパンにまで進展し、載荷板付近の圧縮ストラットを分断して圧縮断面を健全のケース A よりも減少させている。変位 0.15mm 付近では斜めひび割れの進展によりいずれのケースも剛性が低下していることから、ケース B では荷重 200kN、変位 0.2mm 程度でせん断ひび割れの進展により初期ひび割れ開口が大きくなり、せん断応力の伝達が小さくなったことで、圧縮ストラットが分断され破壊に至ったと考えられる。実験においても荷重 200kN で斜めひび割れが進展し始め、腐食ひび割れが開口（図-4）しており、この挙動は定性的に正しいと考えられる。最大荷重時のコンター図ではせん断スパン中央でも圧縮ストラットを分断する領域が確認できるが、この原因については本研究では明らかにできなかった。

ケース B の挙動からは、圧縮主鉄筋位置の初期ひび割れがせん断圧縮破壊の最大荷重向上に寄与するメカニズムを解明できなかったが、圧縮主鉄筋位置の初期ひび割れは、斜めひび割れの進展によりひび割れ面のせん断伝達応力が小さくなり、主圧縮応力流れを阻害するため、むしろせん断圧縮破壊荷重を減少させるメカニズムに寄与することがわかった。ケース C の挙動と合わせて考えると、圧縮主鉄筋位置の不連続面は圧縮材断面が増加する方向には寄与しないことから、圧縮主鉄筋が腐食した場合のせん断圧縮破壊挙動の変化と最大荷重増加には、ひび割れによる不連続面の形成ではなく、圧縮主鉄筋腐食により生じる他の要因が影響している可能性が高いと言える。よって解析結果は、実験での結論も裏付けている。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- ・せん断圧縮破壊を起こすはりで圧縮主鉄筋位置にひび割れおよび人工的な不連続面が存在する場合、最大荷重が低下することが実験と解析からわかった。よって、圧縮主鉄筋の腐食によるせん断圧縮破壊荷重の増加は、腐食ひび割れによる不連続面の形成の影響ではない。
- ・圧縮主鉄筋位置の不連続面で、せん断ずれ剛性が小さいと重ねはりの挙動を呈して破壊に至る。ずれ剛性が大きくなるに従い、載荷板から支点に至る圧縮ストラットが形成され、アーチ機構が卓越する破壊となる。
- ・圧縮主鉄筋位置の水平ひび割れは、斜めひび割れの進展により開口し、伝達せん断力を失う。これにより圧縮ストラットが分断され、せん断圧縮破壊荷重が低下する。

参考文献

- 1) Pimanmas, A. and Maekawa, K.: Control of crack localization and formation of failure path in RC members containing artificial crack device, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, JSCE, No.683/V-52, pp.173-186, Aug. 2001.
- 2) 田中 泰司, 岸 利治, 前川 宏一: 曲げせん断力を受ける RC 部材の人工亀裂装置とせん断補強筋の併用効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.349-354, 2005.6
- 3) 宇田好一郎, 川本卓人, 出路康夫, 佐藤良一: 圧縮鉄筋の腐食がせん断補強筋のない RC はりのせん断強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.28 No.2, pp. 751-756, 2006. 7
- 4) Kukrit Toongoenthong and Koichi Maekawa: Multi-Mechanical Approach to Structural Performance Assessment of Corroded RC Members in Shear, journal of Advanced Concrete Technology Vol.3, No.1, pp.107-122, Feb. 2005
- 5) 高橋良輔, 石丸善久: 圧縮主鉄筋の腐食がせん断圧縮破壊挙動に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 13 巻, pp.279-284, 2013.11
- 6) 二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和夫, 岡村甫: せん断補強筋を用いない 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. 8
- 7) 高橋良輔, 檜貝勇, 斉藤成彦: RC はりのせん断挙動解析におけるひび割れモデルに関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.55 - 60, 2008.7
- 8) K.MAEKAWA, J.TAKEMURA, P.IRAWAN and M.IRIE: Triaxial Elasto-Plastic and Fracture Model for Concrete, JSCE Journal of materials, concrete structures and pavements, No.460/V-18, pp.131-138, 1993.2
- 9) 岡村 甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技法堂出版 1991
- 10) あべ松隆太, 上田多門, 佐藤靖彦, 中井裕司: 横方向の緊張力を導入した角柱供試体の終局耐力に関する解析的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.271 - 276, 2004.7
- 11) 山谷敦, 中村光, 飯塚敬一, 檜貝勇: 回転ひび割れモデルによる RC 梁のせん断挙動解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.18, No.2, pp.359 -364, 1996
- 12) 前川宏一, 福浦尚之: 疑似直交 2 方向ひび割れを有する平面 RC 要素の空間平均化構成モデルの再構築, 土木学会論文集, No.634, pp.157-176, 1999.11 土木学会論文集, No.634, pp.157-176, 1999.11