

破砕剤充填パイプにより鉄筋腐食ひび割れを模擬したコンクリートと鉄筋の付着性状

BOND BEHAVIOR IN CRACKED CONCRETE SIMULATING REBAR CORROSION BY EXPANSION AGENT FILLED PIPE

三谷龍世 — * 1 西澤和輝 — * 2
栗原朋久 — * 1 金久保利之 — * 3

Ryusei MITANI — * 1 Kazuki NISHIZAWA — * 2
Tomohisa KURIHARA — * 1 Toshiyuki KANAKUBO — * 3

キーワード：
破砕剤充填パイプ, 腐食ひび割れ, 付着劣化, 繰返し加力, 繰返し履歴モデル, 付着解析

Keywords:
Expansion agent filled pipe, Rebar corrosion, Bond degradation, Cyclic loading, Hysteresis model, Bond analysis

This study focused on bond degradation in cracked concrete due to rebar corrosion. Monotonic and cyclic pull-out tests were conducted on concrete specimens using EAFP to simulate cracking due to rebar corrosion. The test results confirm that the maximum bond stress decreased with the increase of induced crack width. For specimens with short bond length, hysteresis models were developed, which generally well represented the bond stress-slip behavior in the test results. For specimens with long bond length, bond analysis was conducted using the proposed models and the analytical results showed good agreements with the test results.

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物で起きる経年劣化の代表例として、鉄筋腐食による付着劣化が挙げられる。鉄筋の腐食進行にともなって鉄筋の質量減少率が上昇すると、腐食生成物の膨張圧によりコンクリートにひび割れが発生する。これにより膨張圧が大幅に低下し、鉄筋とコンクリートの付着強度の低下を引き起こす¹⁾。鉄筋腐食によって部材表面まで到達したひび割れは目視での観察が可能であり、部材表面のひび割れと付着劣化の関係を明らかにすることで、実部材における劣化状況の把握につなげることができると考えられる。

本研究では、破砕剤充填パイプ (Expansion Agent Filled Pipe : 以下 EAFP) により腐食ひび割れを模擬した試験体における付着性状を検討する。EAFP は試験体に埋設されたアルミパイプに、コンクリートの解体等で使用される静的破砕剤を充填することで腐食ひび割れを模擬する方法である。代表的な腐食促進試験である電食試験と比較して短期間で試験を行うことができ、また、腐食生成物による鉄筋の体積膨張が発生する、実際の腐食ひび割れ発生に近いメカニズムにより腐食ひび割れを模擬することができる。既往の研究²⁾では EAFP を導入して腐食ひび割れを模擬し、試験体表面に発生した加力前ひび割れ幅を変動因子とした鉄筋引抜き試験が行われた。加力前ひび割れ幅の増加に伴って最大付着応力が低下することが報告されており、EAFP を用いることで付着劣化を模擬できることが確認されている。

さらに既往の研究³⁾では、EAFP によってひび割れを模擬した付着長が短い試験体を対象に、単調引抜き試験および繰返し引抜き試験が実施された。単調加力および繰返し加力の両方において、加力前ひび割れ幅の増加に伴い最大付着応力が低下する傾向が確認された。

しかし、実験された繰返し荷重の履歴は限られており、付着応力-すべり量関係のモデル化には至っていない。また、実構造物における付着長は鉄筋径の数十倍以上であり、実部材に近い条件下として付着長の長い試験体について検討を行う必要がある。

本研究では、鉄筋腐食ひび割れがコンクリートと鉄筋の付着性状に与える影響を検討することを目的とし、EAFP により鉄筋腐食ひび割れを模擬した付着長の短い試験体の単調引抜き試験および繰返し引抜き試験を実施する。実験より得られる付着応力-すべり量関係の繰返し履歴について、履歴モデルの構築を行い、実験結果との比較検討を行う。さらに、付着長の長い試験体の単調引抜き試験を実施する。提案した付着応力-すべり量関係を用いて付着解析を行い、実験結果との比較検討を行う。

2. 破砕剤充填パイプによる腐食模擬

腐食ひび割れを模擬する手法として EAFP を使用する。既往の研究⁴⁾において提案された同手法は、試験体に埋設されたアルミパイプに、コンクリートの解体等で使用される静的破砕剤を充填することで腐食ひび割れを模擬する方法である。静的破砕剤の化学反応による内部圧によってアルミパイプ周囲からコンクリートにひび割れが発生させ、破砕剤充填後の時間経過によりひび割れ幅を制御する。

本研究においても EAFP により腐食ひび割れを模擬し、試験体表面の加力前ひび割れ幅を実験の変動因子として設定し、鉄筋の単調引抜き試験および繰返し引抜き試験を実施する。

3. 付着長の短い試験体の付着試験

3.1 試験体概要

試験体形状を図 1 に、試験体一覧を表 1 に示す。試験体の断面は

*1 筑波大学大学院システム情報工学研究群 修士課程 (〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

*2 筑波大学理工学群工学システム学類

*3 筑波大学システム情報工学系 教授・博士 (工学)

*1 Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Univ. of Tsukuba

*2 Undergraduate Student, College of Eng. Systems, Univ. of Tsukuba

*3 Prof., Div. of Eng. Mechanics and Energy, Univ. of Tsukuba, Ph.D.

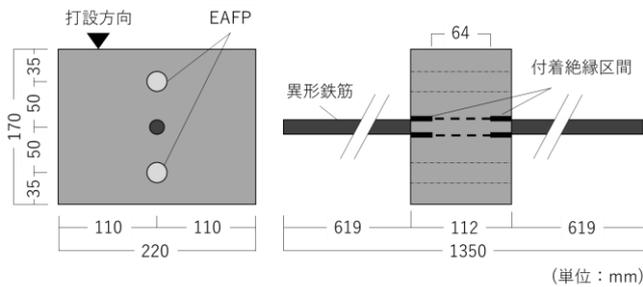


図1 試験体形状

表1 試験体一覧

試験体名	加力前ひび割れ幅 x.xx (mm)	試験体数	試験体名称 M: 単調加力 C1, C2: 繰返し加力 x.xx: 加力前ひび割れ幅
M-x.xx	0.00~1.00	6	
C1-x.xx	0.00~1.00	18	
C2-x.xx	0.00~1.00	18	

表2 コンクリートの材料特性

材齢	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	割裂強度 (MPa)
39日	18.8	18.0	1.99
66日	19.9	17.4	2.26
101日	20.3	18.0	2.03
127日	19.2	18.2	2.24
平均	19.7	17.9	2.13

表3 鉄筋の材料特性

降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)
403	191	554

170mm×220mmの長方形とし、断面中央に異形鉄筋 D16 (SD345) を配した。試験体軸方向の長さは112mmとし、鉄筋両端部に塩ビ管により付着絶縁区間を24mmずつ設け、付着区間は鉄筋径の4倍の64mmとした。鉄筋中央から50mm位置に外径22mm、厚さ1mmのアルミパイプを2本埋設し、腐食ひび割れを模擬する試験体においては、静的破砕剤を充填することで加力前にひび割れを発生させた。試験体は単調加力試験体が6体、後述する2種類の加力履歴（繰返しC1履歴、繰返しC2履歴）による繰返し加力試験体が36体の計42体である。コンクリートの目標強度は、1960~70年代に建設された建物を想定し、18MPaとした。加力方法ごとに健全試験体および5種類の加力前ひび割れ幅（0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00mm）を変動因子として単調、繰返し引抜き試験を行った。試験体に使用したコンクリートの材料特性を表2に、鉄筋の材料特性を表3に示す。

3.2 加力・計測方法

破砕剤充填後に発生した試験体表面の加力前ひび割れ幅は、クラックスケールにより計測した。加力前ひび割れ幅は試験体軸方向の中央位置と両端から10mm位置の計3か所において、打設面および打設底面それぞれ計測を行い、各面の平均値を計測値とした。打設面、打設底面のいずれかの計測値が目標値に達した段階で加力を開始した。

加力装置を図2に、加力履歴を図3に示す。試験体両端面にテフロンシートを介して112mm径の孔を設けた反力板を設置し、試験体を両側から挟み込むようにセンターホールジャッキを設置した。両側のセンターホールジャッキを個々に制御することで、正負交番の

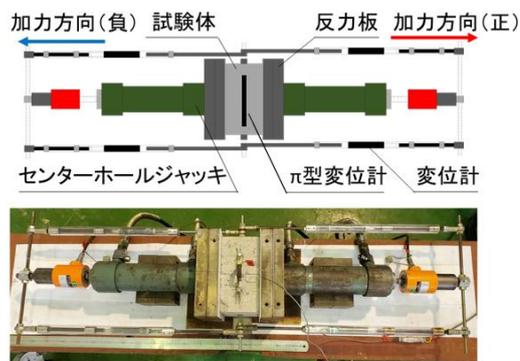


図2 加力装置

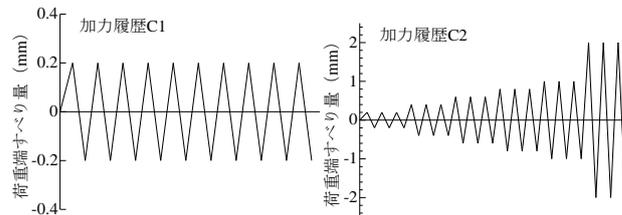


図3 加力履歴

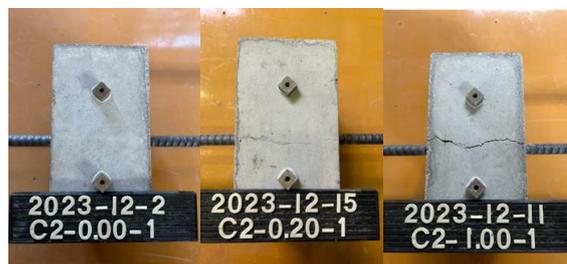


図4 加力前ひび割れ状況

繰返し加力を行った。単調加力の場合は、加力方向正側に設置したセンターホールジャッキのみを用いて加力を行った。計測項目はロードセルによる引抜き荷重、変位計による試験体側面と鉄筋端部間の相対変位およびπ型変位計による試験体表面のひび割れ幅である。加力方向と反対側に設置した変位計による相対変位を自由端すべり量とし、自由端すべり量に試験体付着区間の鉄筋の伸び（付着応力は一様に分布していると仮定）を加算した変形を荷重端すべり量とした。

繰返し加力の加力履歴は荷重端すべり量により制御し、加力方向正側で加力と除荷をした後に、加力方向負側で同様の加力と除荷を繰返す正負交番の履歴とした。加力履歴C1は荷重端すべり量0.2mmで加力方向正負各30回繰返す正負交番繰返し履歴、加力履歴C2は荷重端すべり量0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0, 4.0mmで加力方向正負各3回ずつ繰返す正負交番漸増繰返し履歴である。

3.3 実験結果

破砕剤充填後の試験体の加力前ひび割れ状況の例を図4に示す。アルミパイプに破砕剤を充填後、アルミパイプ周囲から鉄筋方向および試験体表面方向の2方向にひび割れが発生するサイドスプリット型のひび割れが発生した。その後、時間経過によりひび割れが進行することで、試験体打設上面および底面軸方向それぞれに1本の

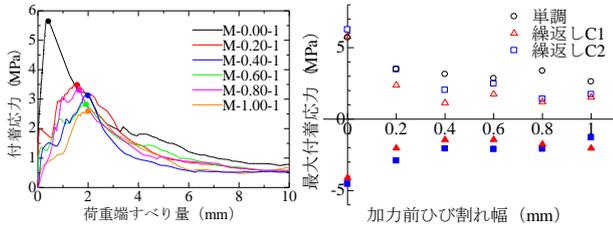


図5 τ-S関係(単調)

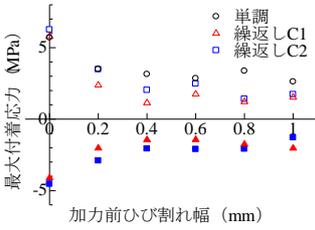


図6 τmax-Wcr関係

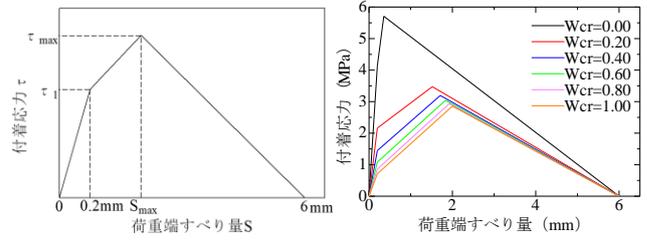


図9 トリリニアモデル

図10 包絡線モデル

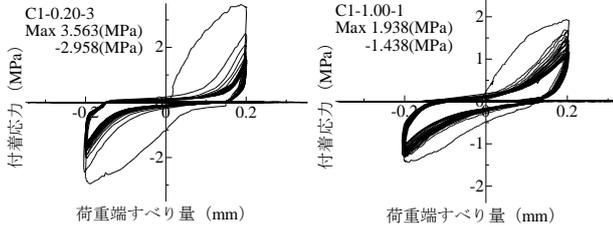


図7 τ-S関係(繰返しC1加力)

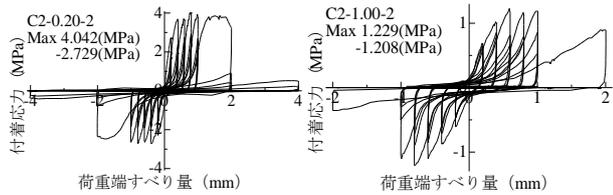


図8 τ-S関係(繰返しC2加力)

加力前ひび割れが確認された。加力前に導入したひび割れが引抜き加力によって拡大し、数体の試験体において新たに軸方向ひび割れが発生する様子が確認された。加力過程においてこれらのひび割れが拡幅して最終的な破壊に至った。

単調引抜き試験によって得られた付着応力-荷重端すべり量関係(τ-S関係)を図5に示す。付着応力は、引抜き荷重を鉄筋付着区間の表面積で除することで求めた。同図中に、最大付着応力点を示す。また、最大付着応力(繰返し加力では同一の加力前ひび割れ幅試験体の平均値)と加力前ひび割れ幅の関係(τmax-Wcr関係)を図6に示す。加力前ひび割れのない健全試験体では、ひび割れの発生とともに荷重が最大に達し、以降荷重が急激に低下した。加力前にひび割れを導入した試験体では、加力前ひび割れが拡幅しながら荷重が増加し、最大付着応力点以降は荷重が緩やかに低下する様子が確認された。

繰返し履歴C1の引抜き試験によって得られた付着応力-荷重端すべり量関係(τ-S関係)の一部を図7に、繰返し履歴C2の引抜き試験によって得られた付着応力-荷重端すべり量関係(τ-S関係)の一部を図8に示す。繰返し履歴C1の引抜き試験の全ての試験体において、同一の荷重端すべり量で加力と除荷を繰返すことで付着応力が徐々に低下した。加力履歴と比較すると単調加力、繰返し加力正側、繰返し加力負側の順に最大付着応力は大きくなった。繰返し加力正側よりも負側の最大付着応力が小さくなった要因として、1サイクル目の正側の加力で鉄筋周囲のひび割れが拡幅してコンクリートの拘束力が低下したためであると考えられる。

表4 包絡線モデルの特性値一覧

加力前ひび割れ幅 W_{cr} (mm)	$\tau_{1, Wcr} / \tau_{1, 0.00}$	$\tau_{max, Wcr} / \tau_{max, 0.00}$	$S_{max, Wcr} / S_{max, 0.00}$
0.00	1.00	1.00	1.00
0.20	0.52	0.61	4.28
0.40	0.35	0.56	4.82
0.60	0.26	0.53	5.16
0.80	0.21	0.51	5.42
1.00	0.17	0.50	5.63

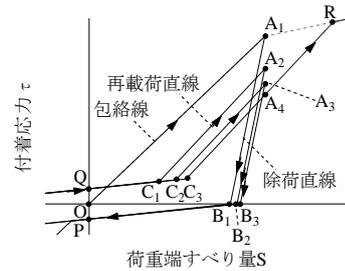


図11 繰返し履歴モデル

A₁~A₄: 除荷開始点 (C2履歴の場合、 $S_A = \pm 0.2, \pm 0.4, \pm 0.6, \pm 0.8, \pm 1.0, \pm 2.0$ mm)
 B₁~B₃: 除荷終了点 ($\tau_B = 0$)
 C₁~C₃: 加力方向移行直線と再載荷直線の交点
 P, Q: $S_p = 0, S_q = 0$
 R: 再載荷直線と包絡線の交点

3.4 履歴モデル

単調、繰返し引抜き試験の結果より、付着応力-荷重端すべり量関係の履歴モデルを構築する。

包絡線モデルは単調加力試験結果の付着応力-荷重端すべり量関係を用い、図9に示す3種類の特性値により決定される3直線のトリリニアモデルとする。いずれの加力前ひび割れ幅の試験体においても荷重端すべり量0.2mmまでには剛性の低下がみられるため、 τ_1 は同0.2mm時における付着応力とした。 τ_{max} は最大付着応力、 S_{max} は最大付着応力時の荷重端すべり量である。最大付着応力以降は、単調加力試験体における軟化域を大略に捉え、荷重端すべり量6mmで付着応力が0MPaになるように軟化直線を決定した。各特性値は加力前ひび割れ幅ごとに決定し、それぞれ健全試験体における実験値で基準化し、回帰計算した値を使用した。回帰計算の結果得られた特性値の一覧を表4に、包絡線モデル形状を図10に示す。

繰返し履歴モデルを図11に示す。図10に示す包絡線モデル、除荷直線、加力方向移行直線、再載荷直線によって構成される。1サイクル目の加力時は加力開始後0→A₁→B₁→Pと移行し、加力方向負

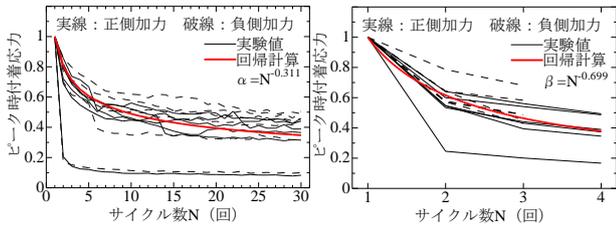


図 12 ピーク時付着応力低減率

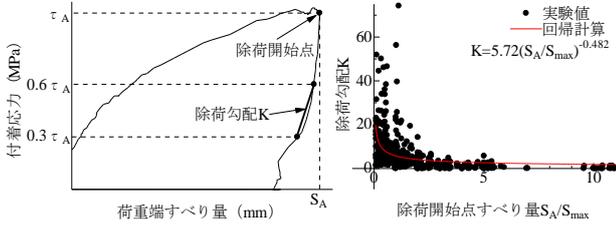


図 13 除荷勾配

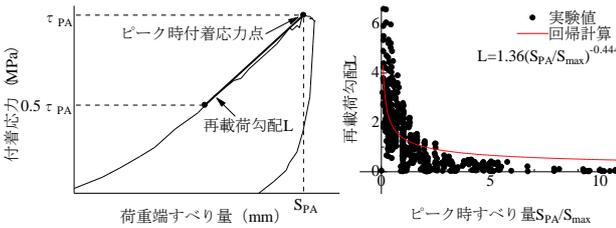


図 14 再載荷勾配

側での加力も同様の過程を経て点 Q を通る。2 サイクル目以降は $Q \rightarrow C_1 \rightarrow A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow P \rightarrow \dots \rightarrow Q \rightarrow C_2 \rightarrow \dots \rightarrow A_4 \rightarrow R$ と移行する。各直線のモデル化方法を以下に示す。

同一すべり量 2 サイクル目以降のピーク点 (A) の付着応力をピーク時付着応力低減率 α および β により評価する。低減率 α は包絡線上の最大付着応力点までの低減率で、繰返し C1 加力の実験結果から回帰計算をすることで算出した。低減率 β は包絡線上の最大付着応力点以降の低減率で、繰返し C2 加力の実験結果から回帰計算をすることで算出した。ピーク時付着応力低減率の実験値と回帰計算の結果を図 12 に、得られた算定式を式 (1) および (2) に示す。

$$\text{包絡線最大付着応力以前: } \tau_{p,N} = \alpha \tau_{p,1} \quad \alpha = N^{-0.311} \quad (1)$$

$$\text{包絡線最大付着応力以降: } \tau_{p,N} = \beta \tau_{p,1} \quad \beta = N^{-0.699} \quad (2)$$

ここで、 N : 同一すべり量における繰返しサイクル数

$\tau_{p,1}$: 1 サイクル目のピーク時付着応力 (MPa)

$\tau_{p,N}$: N サイクル目のピーク時付着応力 (MPa)

除荷直線に関して、すべり量が減少に転じる点を除荷開始点 A (S_A, τ_A) とし、図 13 左図に示すように除荷開始点における付着応力の 0.6 倍、0.3 倍の点を結ぶ直線の勾配から除荷勾配 K を算出する。除荷時の荷重端すべり量 S_A は実験結果における最大付着応力時の荷重端すべり量 S_{max} で基準化する。繰返し C2 加力の実験結果から除荷勾配を算出し、回帰計算をすることで、次式によって除荷勾配 K を決定した。除荷勾配の実験値と回帰計算の結果を図 13 右図に示す。

$$K = 5.72 (S_A / S_{max})^{-0.482} \quad (3)$$

ここで、 S_A : 除荷開始時の荷重端すべり量 (mm)

S_{max} : 最大付着応力時の荷重端すべり量 (mm)

除荷終了点 B と点 P または点 Q を結ぶ直線により加力方向移行直

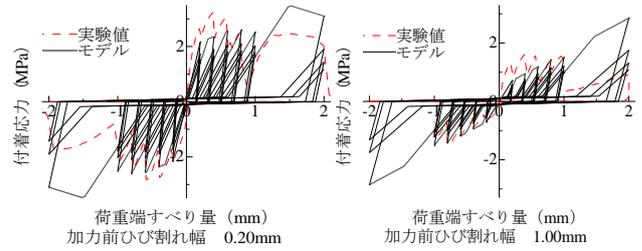


図 15 繰返し履歴モデルと実験結果の比較

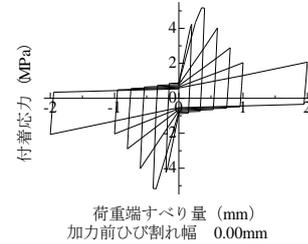


図 16 履歴モデル (健全試験体)

線をモデル化する。点 P、点 Q は荷重端すべり量が 0mm における付着応力点とし、繰返し C1 加力の実験結果から平均値を求め、 $\tau_f = -0.098 \text{ MPa}$ 、 $\tau_f = 0.098 \text{ MPa}$ と決定した。

再載荷直線に関して、各サイクルにおいて付着応力が最大となった点をピーク時付着応力点 A (S_{PA}, τ_{PA}) とし、図 14 左図に示すようにピーク時付着応力点とその 0.5 倍の点を結ぶ直線の勾配から再載荷勾配 L を算出する。ピーク時荷重端すべり量 S_{PA} は実験結果における最大付着応力時の荷重端すべり量 S_{max} で基準化する。繰返し C2 加力の実験結果から再載荷勾配を算出し、回帰計算をすることで、次式によって再載荷勾配 L を決定した。再載荷勾配の実験値と回帰計算の結果を図 14 右図に示す。

$$L = 1.36 (S_{PA} / S_{max})^{-0.444} \quad (4)$$

ここで、 S_{PA} : ピーク時荷重端すべり量 (mm)

S_{max} : 最大付着応力時の荷重端すべり量 (mm)

繰返し履歴モデルと実験結果の比較の例を図 15 に示す。実験結果は同一の加力前ひび割れ幅試験体 3 体分の平均化曲線である。

繰返し履歴モデルにおける各サイクルの付着応力のピーク値は、荷重端すべり量 0.2mm から 1mm までのサイクルではおおよそ一定、もしくは徐々に増加する傾向が見られる。一方で、荷重端すべり量 2mm のサイクルにおける付着応力のピーク値は、それ以前のサイクルにおける付着応力のピーク値を大きく超えた。加力前ひび割れ幅 1.00mm 試験体における荷重端すべり量 2mm のサイクルで実験結果と差が見られるが、実験結果における挙動を概ねよく表現できている。また、加力前ひび割れ幅の増加に伴い、付着応力が低下する傾向も履歴モデルにより表現できている。

加力前ひび割れのない健全試験体において、既往の研究^{5) 6)} のモデル化方法に基づいて繰返し履歴をモデル化した結果を図 16 に示す。荷重端すべり量 0.4mm のサイクルで付着応力は最大となり、以降、各サイクルの付着応力のピーク値は減少した。図 15 の履歴モデルと比較すると、加力前ひび割れの有無により挙動に大きな違いが見られた。健全試験体はひび割れの発生に伴う鉄筋周囲のコンクリ

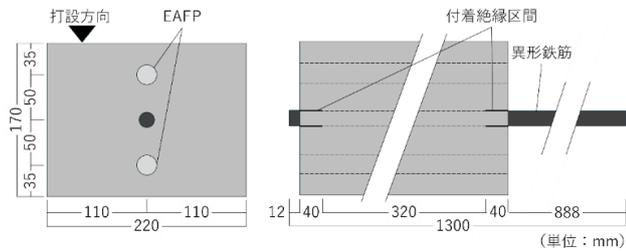


図 17 試験体形状

表 5 試験体一覧

試験体名	加力前ひび割れ幅 x.xx (mm)	試験体数
M-x.xx	0.00~1.00	6

表 6 コンクリートの材料特性

材齢	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	割裂強度 (MPa)
29 日	15.5	17.1	1.98

表 7 鉄筋の材料特性

降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)
514	189	694

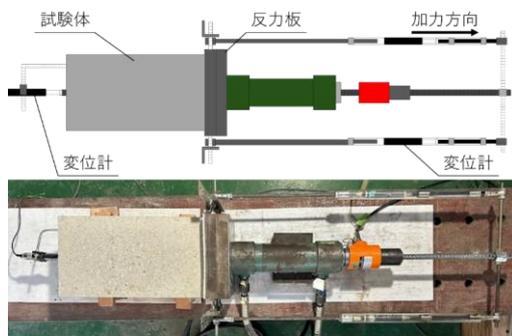


図 18 加力装置

ートの拘束力の顕著な低下により、鉄筋とコンクリートの新たな噛み合いが起こらず付着応力が低下すると考えられる。一方で、加力前にひび割れを導入した試験体は加力開始時から拘束力が小さい状態であるため、荷重端すべり量が小さい領域内の加力では各除荷開始すべり量における 1 サイクル目の付着応力のピーク値は大きな変化がない。しかし、鉄筋のすべりが大きくなることで鉄筋とコンクリートの間に新たな噛み合いが生じて付着応力が増加したと考えられる。

4. 付着長の長い試験体の付着試験

4.1 試験体概要

試験体形状を図 17 に、試験体一覧を表 5 に示す。試験体の断面は付着長の短い試験体と同一の 170mm×220mm の長方形とし、断面中央に異形鉄筋 D16 (SD490) を配した。試験体軸方向の長さは 400mm とし、鉄筋両端部に付着絶縁区間を 40mm ずつ設け、付着区間は鉄筋径の 20 倍の 320mm とした。アルミパイプの埋設、加力前ひび割れの発生方法も付着長の短い試験体と同一である。試験体は付着劣化のない健全試験体が 1 体、破砕剤の充填により加力前に 5 種類のひび割れ幅 (0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00mm) を発生させる試験体が 5

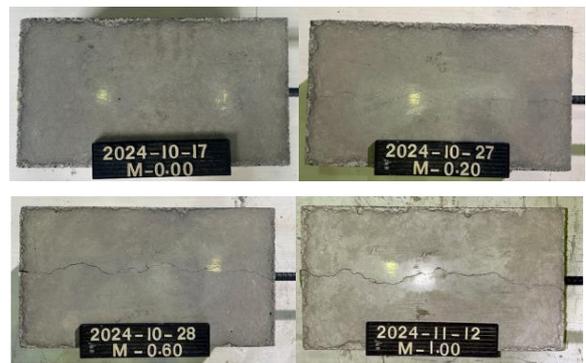


図 19 加力前ひび割れ状況

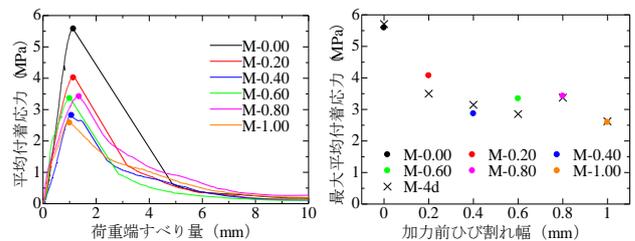


図 20 $\tau - S$ 関係

図 21 $\tau_{max} - W_{cr}$ 関係

体の計 6 体である。試験体に使用したコンクリートの材料特性を表 5 に、鉄筋の材料特性を表 7 に示す。

4.2 加力・計測方法

加力前ひび割れ幅は、試験体軸方向の自由端側から 50mm 間隔の計 7 か所において打設面および打設底面それぞれ計測を行い、各面の平均値を計測値とした。打設面、打設底面のいずれかの計測値が目標値に達した段階で加力を開始した。

加力装置を図 18 に示す。単調引抜き試験とし、荷重端側に設置した変位計による計測値から試験体付着区間外の鉄筋の伸びを差し引いた変形を荷重端すべり量とした。

4.3 実験結果

破砕剤充填後の試験体の加力前ひび割れ状況の例を図 19 に示す。アルミパイプ周囲から鉄筋方向および試験体表面方向の 2 方向にひび割れが発生するサイドスプリット型のひび割れが発生した。その後、時間経過によりひび割れが進行することで、試験体打設上面および底面軸方向にそれぞれ 1 本の加力前ひび割れが確認された。加力前に導入したひび割れが引抜き加力によって拡大し、数体の試験体において新たに軸方向ひび割れが発生する様子が確認された。加力過程においてこれらのひび割れが拡幅して最終的な破壊に至った。

単調引抜き試験によって得られた平均付着応力-荷重端すべり量関係 ($\tau - S$ 関係) を図 20 に示す。平均付着応力は、引抜き荷重を鉄筋付着区間の表面積で除することで求めた。同図中に、最大平均付着応力点を示す。加力前ひび割れのない健全試験体において、ひび割れの発生とともに荷重が最大に達し、以降荷重が急激に低下した。加力前にひび割れを導入した試験体では、全ての試験体において荷重が最大に達した時点で加力前ひび割れが急激に拡幅し、以降荷重が低下する様子が確認された。

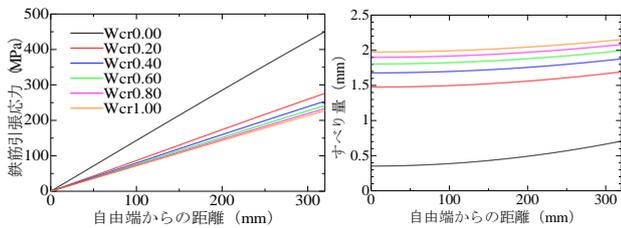


図 2 2 鉄筋引張応力分布

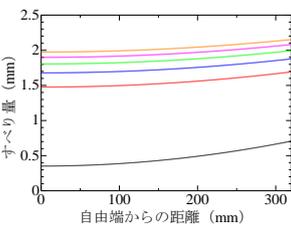


図 2 3 すべり量分布

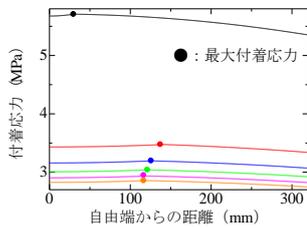


図 2 4 付着応力分布

最大平均付着応力ー加力前ひび割れ幅関係 ($\tau_{max} - W_{cr}$ 関係) を図 21 に示す。同図中において、付着長の短い試験体の単調引抜き試験の最大付着応力の結果を M-4d (×マーク) として示す。付着長の短い試験体の引抜き試験の結果と同様に、加力前ひび割れ幅の増加に伴い最大平均付着応力は減少する傾向が見られた。付着長の短い試験体の最大付着応力の結果 (M-4d) と比較すると、同一加力前ひび割れ幅における最大付着応力に大きな差は見られなかった。

4.4 付着解析

付着長の長い試験体の付着性状の検討として、逐次積分による引抜き試験の付着解析を行った。本研究では、局所付着性状を表す付着構成則として、図 10 に示す包絡線モデルを使用した。引抜き試験における境界条件として、試験体の自由端における鉄筋引張力は 0 である。試験体の微小区間に対して任意のすべり量を自由端側に与え、付着構成則から付着応力を求める。微小区間における付着応力分布を一定とみなし、荷重端側におけるすべり量と鉄筋引張力を算出し、これを順次繰り返すことで荷重端における鉄筋引張力、すべり量、付着応力の計算を行う。

最大平均付着応力時の鉄筋引張応力分布、すべり量分布、付着応力分布を図 22~図 24 に示す。鉄筋引張応力、すべり量は自由端から荷重端にかけて単調に増加し、荷重端において最大となる。付着応力は自由端から最大付着応力点まで増加し、その後荷重端まで減少した。最大付着応力は実験結果と同様に、加力前ひび割れ幅の増加に伴って減少する。付着解析により得られた平均付着応力ー荷重端すべり量関係と実験結果の比較の例を図 25 に、最大平均付着応力の解析値と実験値の比較を図 26 に示す。全ての試験体において最大平均付着応力の実験値に対する解析値の比は 0.85~1.11 の範囲にあり、解析結果は実験結果と良く適合していると考えられる。

5. まとめ

本研究では、腐食ひび割れがコンクリートと鉄筋の付着性状に与える影響を検討することを目的とし、EAFP により鉄筋腐食ひび割れを模擬した試験体の単調引抜き試験および繰返し引抜き試験を実施

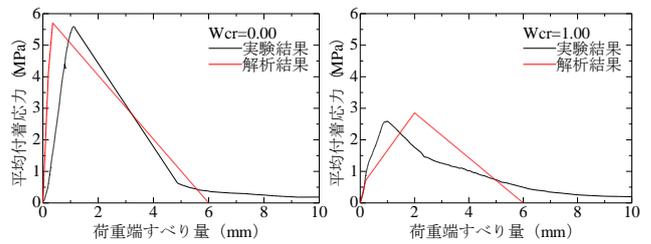


図 2 5 平均付着応力ー荷重端すべり量関係の比較

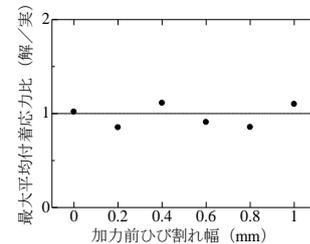


図 2 6 最大平均付着応力比ー加力前ひび割れ幅関係

した。

付着長の短い試験体の単調、繰返し引抜き試験では、付着応力ー荷重端すべり量関係について検討を行った。加力前ひび割れ幅の増加に伴い、最大平均付着応力は減少する傾向が見られた。また、繰返し履歴モデルを構築し、実験結果との比較検討を行った。実験結果における付着応力ーすべり量関係の挙動、加力前ひび割れ幅の増加に伴う付着応力の低下を概ねよく表現できた。

付着長の長い試験体の単調引抜き試験では、平均付着応力ー荷重端すべり量関係について検討を行った。加力前ひび割れ幅の増加に伴い最大平均付着応力は減少する傾向が見られ、同一加力前ひび割れ幅における付着長の短い試験体と、付着長の長い試験体の付着応力の最大値は近い値となった。提案した付着応力ーすべり量関係を用いて付着解析を行い、実験結果との比較検討を行った。付着解析より得られた平均付着応力ー荷重端すべり量関係は、実験結果の平均付着応力ー荷重端すべり量関係と良い適合が見られた。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書，1998
- 2) Syll, A.S., Aburano, T., Kanakubo, T. : Bond strength degradation in concrete cracked by expansion agent filled pipes, Structural Concrete, 22(5), pp.3156-3172, 2021
- 3) 三谷龍世, Syll Amadou Sakhir, 金久保利之：破砕剤充填パイプ導入による腐食ひび割れ模擬 RC 部材の繰返し局所付着挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol. 45, No. 2, pp. 853-858, 2023
- 4) 川村佳弘, 金久保利之：破砕剤充填パイプにより鉄筋腐食時ひび割れを模擬した RC 梁部材の曲げ性状, 土木学会関東支部技術研究発表会, V-22, 2018
- 5) 金久保利之, 麻生高行, 大和伸行：繰返し荷重下における鉄筋コンクリートの付着性状に関する研究 (その 1 実験概要と実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), C-2 構造IV, pp. 599-600, 2009
- 6) 麻生高行, 金久保利之, 大和伸行：繰返し荷重下における鉄筋コンクリートの付着性状に関する研究 (その 2 履歴モデル構築), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), C-2 構造IV, pp. 601-602, 2009

[2025 年 1 月 23 日原稿受理 2025 年 4 月 7 日採用決定]