

機関番号：12701
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2009 ～ 2010
課題番号：21760351
研究課題名(和文) 疲労を受けるコンクリート構造物の鋼材腐食に対する影響因子の特定
研究課題名(英文) Influencing factors affecting steel corrosion of concrete members subjected to fatigue loading
研究代表者
林 和彦 (HAYASHI KAZUHIKO)
横浜国立大学・工学研究院・特別研究教員
研究者番号：20334633

研究成果の概要(和文)：

疲労を受ける RC 部材の曲げひび割れと鋼材腐食との関係について明らかにするために、鋼材腐食に及ぼす影響因子について検討をおこなった。実構造物の荷重状態とひび割れの状態を考慮し、ひび割れ内部の幅の測定実験と腐食促進実験を行った。その結果、あるかぶりの閾値を境に鋼材近傍のひび割れ幅と付着剥離長さが増大していくこと、かぶりが多い場合でも早期に腐食が開始することがわかった。ひび割れの内部幅も鋼材腐食の要因となりうることを示した。

研究成果の概要(英文)：

To clarify the relationship between steel corrosion and cracks in RC members subjected to cyclic loading, influencing factors affecting steel corrosion were examined. Focusing on the loading condition and cracking condition in actual structures, measurement of crack width near reinforcing bars and accelerated steel corrosion tests were carried out. As results, crack width near reinforcing bars and bond degradation length increased as the cover length exceed particular threshold value. Steel corrosion may initiate earlier despite of having larger cover thickness. It was clarified that crack width near reinforcing bars may be the important factor on steel corrosion.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：コンクリート構造，耐久性，疲労，鋼材腐食，ひび割れ

1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物の中性化や塩害に影響を与える要因としては、これまでは物質移動抵抗性に大きな影響を与える「水セメント比」と様々な要因により発生する「ひび割れ」

が大きく取り上げられてきた。これら2つ以外の影響については、定性的な把握にとどまっていた。

材料的な観点における研究では、コンクリートをひび割れを含むマクロな均質材料と

捉えて平均的な透水性・透気性・塩化物の拡散係数などの物質移動抵抗性を調べる研究が多い。構造的な観点における研究では、表面ひび割れ幅を許容値以下に抑えることに主眼が置かれている。それら2つの観定の接点になっている「ひび割れ」が中性化や塩害に及ぼす影響については、研究事例が少ない。ひび割れ部分における二酸化炭素や塩化物の通り道になることは明らかであるが、既往の研究では、表面ひび割れ幅に代表させているため、その指標ではひび割れ全体を評価しておらず、腐食とひび割れ幅には相関が見られないという結論が導かれてしまっているものもある。

2. 研究の目的

本研究は、付着などの力学的観点から、コンクリートの内部ではひび割れはどのように生じていて、そのひび割れが二酸化炭素、酸素や塩化物の移動経路としてどのように働き、その結果どのように腐食が生じるか、という一連の流れについて明らかにしようとするものである。

これまでの研究により、荷重条件とひび割れの関係について表面ひび割れ幅やひび割れ長さが変化するなどの幾つかの知見を得た。その知見と研究からの知見とを総合し、「繰返し荷重を受けることにより、鉄筋とコンクリートの界面やひび割れ近傍のコンクリートの損傷が増大し、鋼材腐食に悪影響を及ぼす」との仮説を立て、実験的に検証した結果、その仮説のメカニズムを十分に解明するには至っていないものの、荷重の繰返しと鋼材腐食の発生との間には十分に関係があることが認められた。

しかしながら、腐食発生後の長期的な影響や、かぶりの大きさなどの条件が変化した場合の影響については、未解明であったため、検討をおこなった。

3. 研究の方法

供試体の形状は梁、桁高はおよそ300mmとし、本研究ではパラメーターをかぶりの大きさとした。かぶりの最小値を30mmとし、また腐食性環境下で設計されるかぶりを考慮して最大値は100mmとした。以上よりかぶりを30、50、75、100mmと設定した。ひび割れの可視化実験・腐食促進実験の結果をそれぞれ比較するため、同じ水セメント比を有し、同じ寸法・配筋・荷重方法の供試体を用いた。各かぶりに対し供試体を2体ずつ、全8体の供試体を製作した。

ひび割れ発生の際のばらつきを考慮してひび割れ導入区間の長さを決定した。かぶり100mmの場合のひび割れ間隔の計算値が約400mmであり、全ての供試体で少なくとも3本以上のひび割れの発生を期待して、ひび割

れ導入区間の長さを1200mmに設定した。

鋼材には引張鉄筋にD25 (SD345) を使用した。中央部をひび割れ導入区間とするため、区間外の両端600mmにはひび割れ防止のため剛性を高める目的でD10 (SD345) を使用して十分に巻き立てた。

コンクリートの打設後、脱型を材齢1日で行い、材齢4日まで湿布養生を行った。その後、荷重開始まで室内にて気中養生を行った。

かぶりが30と75mm、50と100mmの供試体を組み合わせ、PC鋼棒を同時緊張させることによって荷重し、モーメント均一区間1200mmに2点荷重で曲げひび割れを導入させた。実構造物は常に活荷重を受けているわけではなく、死荷重状態が通常状態と考え、一度活荷重相当の荷重を荷重した後、死荷重相当の荷重まで除荷し供試体に持続荷重した。この状態で各実験を行っている。

荷重設定については、死荷重状態では主鉄筋に100N/mm²、活荷重状態では主鉄筋に180N/mm²の応力が生じるようにPC鋼棒の緊張力を設定した。

(1) ひび割れ可視化実験

各供試体のひび割れに対して樹脂を注入し、ひび割れを可視化することによってひび割れ内部構造を把握した。この方法は低粘性のエポキシ樹脂を低圧注入器具によってひび割れ内部に注入し、樹脂硬化後にひび割れ部を切り出し計測を行うものである。本実験では計測を容易にするために樹脂を赤色に着色し注入した。樹脂硬化後、φ100mmのコアを採取しひび割れ面に垂直に切断した。ひび割れ面の研磨を行い、マイクロスコープで直接樹脂自体の幅を計測することによりひび割れ幅とみなした。コンクリート引張縁から鉄筋に至るまで2.5mm間隔で、梁の軸方向のひび割れ幅を計測した。またひび割れ部の近くにおいて鋼材の表面に樹脂が付着した箇所は荷重時に付着剥離が生じていたとみなし、樹脂の軸方向の最大長さを測定して付着剥離長さとした。

(2) 腐食促進実験

持続荷重状態の供試体を屋外環境に設置し、乾湿繰返しによる鋼材の腐食促進実験を行った。

湿潤1日、自然乾燥7日の8日間を1サイクルとし、8サイクルで終了した。自然乾燥の7日間はひび割れ内部も十分に乾燥が進む期間として設定した。湿潤期間においては供試体の引張縁に4wt%の塩水を満たした容器を取り付けた。湿潤1日の終了直後には鋼材腐食の可能性を捉えるため自然電位を測定した。測定された自然電位はASTM C 876の基準と、自然電位の全体の分布傾向から腐食の可能性を判断した。

4. 研究成果

(1) ひび割れ可視化結果

図1に計測したひび割れ内部の幅と鋼材からの距離の関係を示す。これよりかぶりの増加により表面ひび割れ幅だけでなくひび割れ内部の幅も増加していくことがわかる。かぶり 30, 50mm と比べかぶり 75, 100mm のひび割れ内部の幅は鋼材近傍（鋼材からの距離が 0mm の位置）で 2 倍以上となっている。かぶりの増加により鋼材近傍のひび割れ幅がある閾値を境に増加していた。

この現象は Husain, Ferguson らの研究や筆者らの研究でも一定の条件下で捉えられていた。その条件は Husain, Ferguson らは活荷重以上（207N/mm²）の鋼材応力で、本研究室では活荷重相当（180N/mm²）での鋼材応力であった。また、Husain, Ferguson らは鋼材の応力が低い場合（138N/mm²）でも計測を行ったが、鋼材近傍のひび割れ幅が増加する現象は見られなかった。

本実験では活荷重相当（180N/mm²）の載荷後、死荷重相当（100N/mm²）で計測し、鋼材近傍のひび割れ幅の増加傾向を観測した。つまり実構造物の状態を模擬した場合において、かぶりが大きい場合ひび割れ内部で鋼材近傍のひび割れ幅が大きくなっていることがわかった。

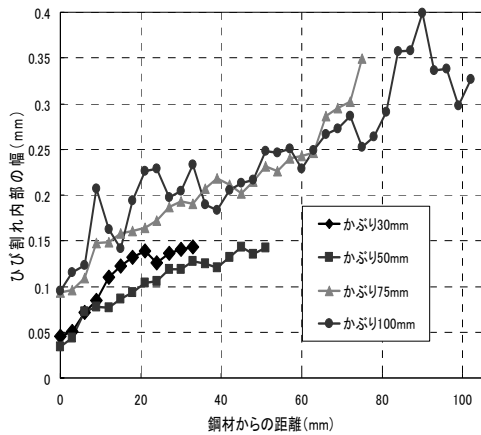


図1 ひび割れ内部幅の分布

(2) 付着剥離長さ

図2に示すようにかぶりの増加により付着剥離長さも増加した。鋼材近傍のひび割れ幅と同様に付着剥離長さにおいてもあるかぶりの閾値を境に長さが増加していくことが本実験により観測された。

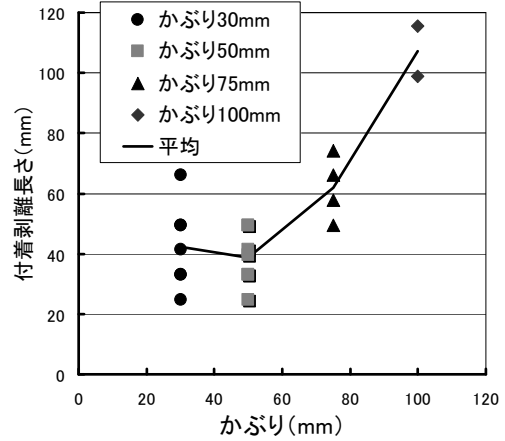


図2 付着剥離長さ

(3) 腐食促進実験結果

かぶり 30, 50mm では 3 サイクル以降において鋼材腐食が始まった。また 3 サイクル目以降からかぶり 100mm の自然電位の分布傾向がかぶり 75mm に比べ卑に推移した。腐食促進実験よりかぶりが大きい場合でも早期に腐食が開始されることが示唆された。

(4) かぶりの増加による物質移動抵抗性への影響

ひび割れの可視化実験と腐食促進実験の結果、かぶりがある値を超えると物質移動抵抗性が低下することが示唆された。かぶりが小さい段階では、表面においてはある幅の曲げひび割れが生じていても鋼材に近づくと幅は小さくなり、鋼材のごく近傍ではほとんど閉じている。

しかしかぶりがある値を超えて大きくなると、ひび割れ内部の鋼材近傍のひび割れ幅と付着剥離長さが増加する。この値は本実験の条件においては 75mm 付近である。この時点ではまだひび割れ部の物質移動抵抗性は確保されていると考えられるが、さらにかぶりが大きくなるとひび割れ内部で幅・付着剥離長さがさらに大きくなり物質移動抵抗性にも悪影響を与えるようになる。これは本実験の 100mm に相当すると考えられる。

現行のコンクリート標準示方書の照査式ではひび割れ部においては表面ひび割れ幅を許容値内に収めた上で、ひび割れの影響も含んだかぶりの平均的な見かけのコンクリートの拡散係数を用いて評価している。ひび割れ位置における局所的な腐食を防ぐためである。しかし本実験の結果よりかぶりが過度に大きい場合にはひび割れを含まないかぶり部は健全だが、ひび割れ部で物質移動抵抗性が低下し、腐食が開始・進行していき、期待する耐久性を有さないことも考えられる。

つまり、かぶりが過度に大きくなるとひび

割れ部で局所的に腐食が開始することが考えられるので、単純にかぶりを大きくすれば塩化物に対する耐久性が確保できるとは限らないということが示唆される。

研究者番号：

(4)まとめ

RC 部材のひび割れの内部形状に着目した実験結果より、ひび割れの内部形状が鋼材腐食の主要因になりうることを示した。

①かぶりがある閾値を超えると鋼材近傍のひび割れ幅が増加する。

②付着剥離長さはあるかぶりの閾値を境に増加する。

③腐食促進実験によりかぶり 100mm の供試体においてかぶり 75mm の供試体より腐食開始時期が早くなった。

④単純にかぶりを大きくすれば塩化物に対する耐久性（物質移動抵抗性）が確保できるとは限らないため、かぶりの上限値を設定することが耐久性を確保する上で有効になりうると示唆される。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

1)長沼光, 林和彦, 椿龍哉, 細田暁: かぶりの増加が RC 部材のひび割れ内部形状と鋼材腐食に及ぼす影響, 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, 査読有, 第 10 巻, 2010 年 10 月, pp. 255-260

〔学会発表〕（計 1 件）

1)長沼光: かぶりの増加が RC 部材のひび割れ内部形状と鋼材腐食に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, 2010 年 10 月 29 日, 京都教育文化センター

6. 研究組織

(1)研究代表者

林 和彦 (HAYASHI KAZUHIKO)

横浜国立大学・工学研究院・特別研究教員
研究者番号：20334633

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()