

鉄筋の腐食が RC 部材の引張挙動に与える影響

(株) IHI 正会員 ○塩永 亮介
(株) IHI 正会員 西土 隆幸
清華大学 正会員 安 雪暉

1. はじめに

鉄筋コンクリート床版の劣化損傷の主な要因として、通行車両による走行疲労が大きな問題に挙げられている。そのため近年では、輪荷重試験機等により走行疲労に対する実証的な挙動を再現し、床版の疲労耐久性を検証するケースが主流となりつつある。このような疲労試験では、試験期間の制約もあり、鉄筋はほぼ健全なまま試験、評価される。しかし、実際の劣化過程を考えれば、疲労回数の増加とともにひび割れが発生し、そのひび割れから劣化因子が侵入することで内部鉄筋の腐食が進行する、という複合的な劣化損傷が想定される。そこで本研究では、腐食した鉄筋を有する鉄筋コンクリート部材において静的および繰返し（疲労）の一軸引張試験を実施し、鉄筋の腐食程度が部材の引張挙動に与える影響を把握した。さらに FEM 解析シミュレーションにより、腐食した鉄筋とコンクリートとの付着-すべりモデルの妥当性についても検討した。

2. 実験概要

一軸引張試験に使用した試験体は、図-1 に示すように、断面 100×100 mm、長さ 1.0 m の角柱試験体で、中心に径 20 mm の異形鉄筋（降伏点 335N/mm²）が埋め込まれている。コンクリートは材齢28日の圧縮強度が約 40 N/mm²となる普通コンクリートを用いた。鉄筋は両端で固定され、上端には油圧ジャッキを設置して、静的および疲労载荷を実施した。実験パラメータは、表-1 に示すように疲労履歴の有無と鉄筋の腐食程度であり、計 8 体の試験を実施した。試験前に内部鉄筋を腐食させる方法として、強制的な電食を行った。試験体を 3 % NaCl 溶液に浸し、鉄筋に電流を流し、その通電時間によって腐食程度を変化させた。結果として、鉄筋の腐食程度（=鉄筋の重量損失量）は 0～8%の範囲であった。また疲労履歴を与える試験体（F シリーズ）では、振幅荷重 1.5 kN で 20000 回疲労载荷した後、疲労履歴なしの試験体（S シリーズ）と同様に静的な引張载荷とした。試験体の変形は、コンクリート側面 4 箇所に設置した変位計から相対変位として計測し、引張荷重は下端に設置したロードセルで計測した。

3. 実験結果

S シリーズおよび F シリーズの一軸引張载荷における荷重－変位関係を図-2 および図-3 に示す。図-2 より、腐食のない鉄筋を有する試験体（S-01）では、岡村らの提案式¹で示される理論値とほぼ近い挙動を示したのに対し、腐食した鉄筋を有する試験体では、鉄筋の腐食程度の増加に伴い、同荷重を受けたときの変位が減少する傾向となった。これは、腐食により鉄筋とコンクリートの付着力が低下し、被測体のコンクリートが鉄筋の変形に追随

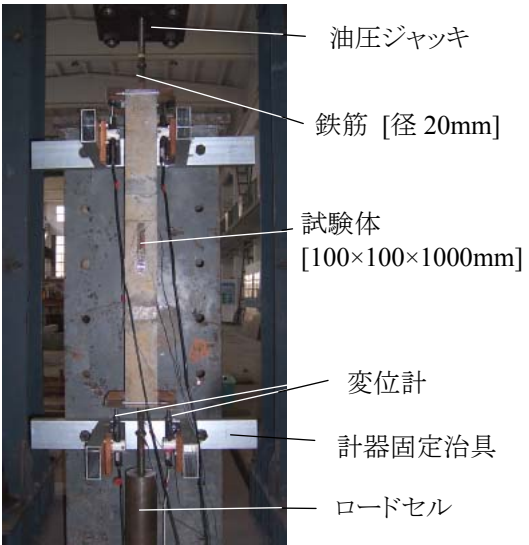


図-1 一軸引張試験体図

表-1 試験体ケース

疲労履歴	試験体 No.	腐食程度 ^注
「S シリーズ」 疲労履歴なし	S-01	0.00 %
	S-02	2.54 %
	S-03	3.86 %
	S-04	7.34 %
「F シリーズ」 20,000 回 疲労履歴あり	F-01	0.00 %
	F-02	2.76 %
	F-03	3.01 %
	F-04	6.71 %

注)：腐食による断面減少率。試験後、内部鉄筋をエッチング処理して損失量を測定。

キーワード 鉄筋腐食，鉄筋コンクリート，一軸引張，疲労

連絡先 〒235-8501 横浜市磯子区新中原町 1 番地 TEL:045-759-2864, FAX:045-759-2208

しづらくなつたためと考えられる。一方、図-3 より、20000 回疲労履歴を受けた影響が顕著にあらわれているのは部材の剛性の低下であった。疲労履歴を受けないケース（図-2）に対して、鉄筋腐食のない試験体（F-01）でもやや剛性は低下したが、腐食程度が増加するに伴いさらに剛性が低下する傾向となった。腐食程度 6.71% の試験体（F-04）では、鉄筋単体の引張挙動に近く、コンクリートが引張力をほぼ受っていないと考えられる。

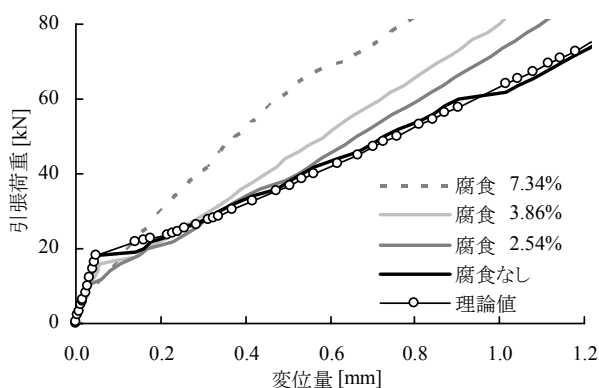


図-2 一軸引張試験結果<疲労履歴なし>

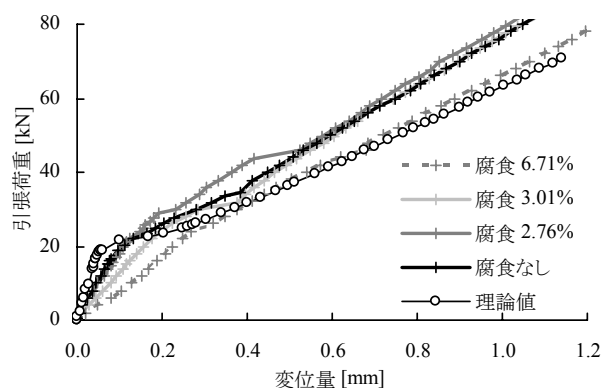


図-3 一軸引張試験結果<疲労履歴あり>

4. 解析評価

鉄筋の腐食程度が、コンクリートとの付着特性に与える影響を定量的に評価するため、FEM（2D）により鉄筋とコンクリートの「付着応力-すべりモデル」の妥当性を検証した。図-4 は与えた付着モデルであり、図-5 は各モデルを用いた解析値と実験値の比較である。Bond-1 は CEB-FIP MC1990 で提案される付着良好の異形鉄筋のモデルだが、腐食程度 3.86% および 7.34% にほぼ整合する解析値を与えた Bond-2 および Bond-3 では、同 MC1990 で丸鋼の条件として提案されるモデルにほぼ近い付着性状であった。具体的には腐食率 3.86% の場合は最大付着応力が健全時の 15% に低下、腐食率 7.34% では健全時の 7.5% まで低下していることがわかった。

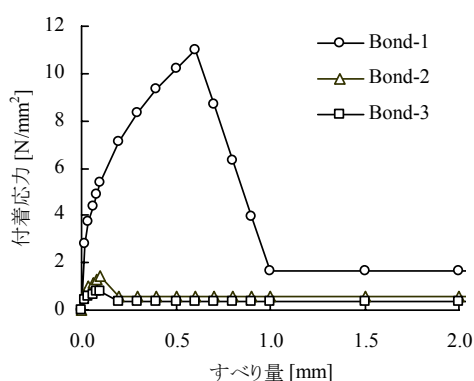


図-4 付着応力-ひずみ関係のモデル化

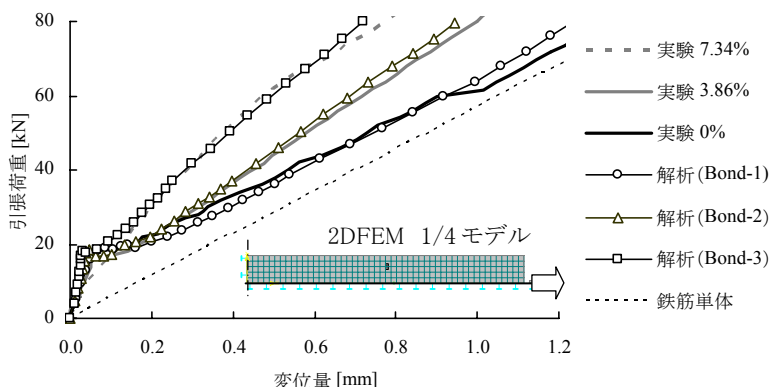


図-5 実験値と解析値の比較<S シリーズ>

5. おわりに

本研究では、腐食した鉄筋を有するコンクリート部材の一軸引張試験より、1) 鉄筋腐食程度の増加に伴い鉄筋とコンクリートの付着応力が低減し両者間の相対ずれ量が大きくなること、また、2) 疲労荷重を受けることによって部材の初期剛性が大きく低下すること、を把握した。また、鉄筋の腐食程度と付着応力については、実験結果に基づく FEM 解析評価より、3) 鉄筋の腐食程度の違いによる鉄筋とコンクリート間の付着応力-すべり量関係を明らかにした。今後は疲労回数の影響等についても検討するとともに、実構造に近い梁や版部材とした場合の耐荷挙動についても検討を進めていく。

参考文献

- [1] 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートにおける非線形有限要素法, 土木学会論文集, Vol.360/V-3, pp1-10, 1985.8