

RC 部材における腐食生成物の変形挙動に関する研究

中央大学理工学部土木工学科 学生会員 ○後藤 成道
 中央大学理工学研究科土木工学専攻 学生会員 足助 美岐子
 中央大学理工学部都市環境学科教授 正会員 大下 英吉

1. はじめに

RC 構造物の構造性能を低下させる要因は様々あるが、塩害や中性化による鉄筋腐食については発生するケースが多く、人的被害にも関連するため重要な位置づけにある。鉄筋の腐食膨張圧によるコンクリートのひび割れ発生や剥離、剥落などの現象がコンクリートの断面減少を引き起こし、構造物の耐荷力を著しく低下させる原因となっている。したがって、RC 構造物の構造性能や耐荷性能を評価する上で、鉄筋腐食生成物の力学的特性を明確に評価することが必要である。しかし、鉄筋の腐食によって生じる腐食生成物に関しては、現時点では未解明な点が多く、弾性係数、ポアソン比といった力学的特性を評価することが求められている。

既往の研究¹⁾では、腐食生成物の力学的特性として弾性係数およびポアソン比は拘束度によって相違はあるもののほぼ一定とされている。しかしながら、コンクリートの水セメント比や鉄筋の腐食率、腐食生成物の発生環境、ひび割れの有無などの様々な拘束条件により腐食生成物の力学的特性が変化する可能性が予測される。

本研究では、コンクリート内部の鉄筋に生じる腐

食生成物の変形挙動を評価することを目的として、水セメント比、腐食生成物ち密さといった各種環境下で発生された腐食生成物への加圧実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体は図-1 に示すように $\phi 150 \times 300\text{mm}$ の RC 円柱部材であり、断面中心位置に D19(USD685) の高張力鉄筋が配筋されている。

2.2 実験パラメータ

実験パラメータは、表-1 に示すように水セメント比 30%、60% の 2 水準、腐食発生環境の違いで 2 水準および鉄筋腐食の有無による計 5 パラメータである。なお、再現性の確認のため各パラメータに対し 2 体および 3 体ずつ作成した。コンクリートの配合は表-2 に示す通りであり、セメントは早強ポルトランドセメントを用いた。各パラメータの圧縮試験の結果を表-3 に示す。

2.3 電食試験方法

電食試験方法の概要を図-2 に示す。試験体を 5%NaCl 溶液で満たした水槽内に浸漬させ、鉄筋を陽極側、銅版を陰極側に接続した後、直流安定電流を通電し目標の腐食率になるまで腐食させた。

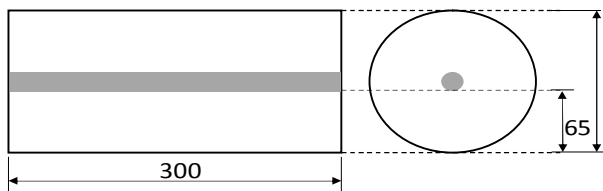


図-1 試験体概略図

表-1 実験パラメータ

試験体名	鉄筋径	目標腐食率	腐食生成物	W/C
W/C60-A	19	10%	疎	60%
W/C30-A				30%
W/C60-B			密	60%
W/C30-B				30%
W/C60-C		0%	なし	60%

表-2 コンクリートの配合

Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	W	C	S	G	混和材
25	10	5	60	165	290	798	1001	2.9

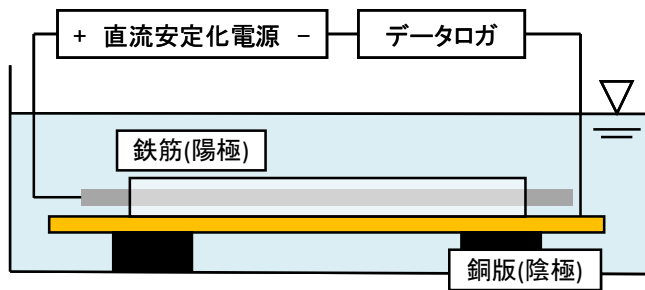
Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	W	C	S	G	混和材
25	10	5	30	157	550	617	992	5.5

表-3 各パラメータの圧縮試験結果

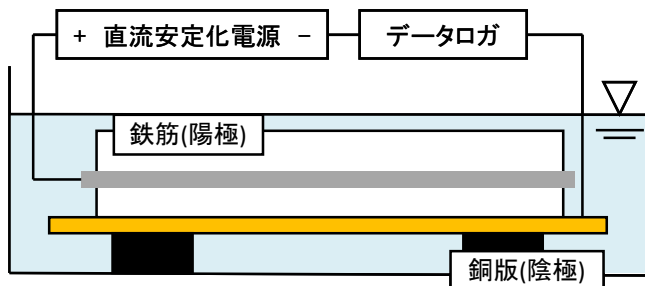
試験体名	圧縮強度	弾性係数
W/C60-A	20.9	20958
W/C30-A	35.9	29429
W/C60-B	16.6	19741
W/C30-B	31.2	28922

キーワード 腐食生成物 鉄筋腐食 電食試験 側面水圧実験

連絡先 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL 03-3817-1892



(A) 鉄筋単体腐食



(B) コンクリート内部腐食

図-2 電食試験方法

本研究では，腐食生成物の発生環境を区別するため腐食生成物がコンクリート外部で自然に発生し腐食生成物層が疎になるもの，コンクリート内部で発生し腐食生成物層が密になるもの，二通りの手法で発生させた。

腐食生成物層が疎になるもの (A) は鉄筋単体で電食試験を行った。その際，発生した腐食生成物が剥がれ落ちるのを防ぐため鉄筋に脱脂綿を巻き，布で覆った状態で電食試験を行った。そして，電食試験終了後に腐食鉄筋を乾燥させ，鉄筋を取り出した。また，密になるもの (B) はコンクリート内部の鉄筋に対して電食試験を行った。コンクリートが目標の腐食率に達するまで電食試験を行い，電食試験終了後鉄筋をはつり出した。

2.4 側面水圧試験

実験装置の外観と概略図を写真-1 および図-3 に示す。本装置は外径 290mm，内径 168mm，高さ 247mm の円筒状の鋼製容器からできており，その中央部に $\phi 150 \times 300$ mm の RC 円柱供試体を設置する。装置の下部に水の注入口があり，上部には水圧計を



写真-1 実験装置外観

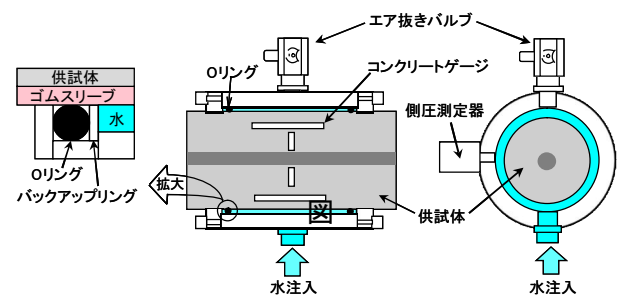


図-3 実験装置概略図

設置した。なお，試験体を設置する際漏水を防ぐため試験体の上端および下端から 75mm までの範囲にポリプロピレンテープを巻いた後，試験体全体をゴムスリーブで覆った状態で試験機に設置した。また，試験機の両端には O-Ring，バックアップリングを装着し，O-Ring の摩擦を低減するためゴムスリーブの表面にグリスを塗った。

载荷は油圧式のポンプにより水を注入することで装置内の水圧を上昇させ，試験体 200mm の範囲にかかる側面水圧を計測する。なお，側圧の载荷は 0.01MPa/sec で増加させ，試験体が破壊するまで行った。

2.5 測定項目

本研究の測定項目は，鉄筋の軸方向ひずみ，コンクリートの鉛直方向ひずみおよび水平方向ひずみである。鉄筋ひずみは鉛直方向に切断した鉄筋に溝を掘り，50mm 間隔にひずみゲージ取り付け，エポキシ樹脂接着剤で接着させた貼り合わせ鉄筋を用いて測定した。

コンクリートゲージの設置位置を図-4に示す。コンクリートひずみの測定はコンクリートゲージを用い、円柱供試体打設時に型枠上端からコンクリートゲージを供試体の鉛直方向および水平方向に糸で所定の位置に固定させた状態で打設を行った。側面水圧の測定には側圧試験機に取り付けた圧力計を用いた。

3. 実験結果

3.1 電食試験結果

鉄筋腐食率の測定は載荷試験終了後に鉄筋をはつり出し、10%濃度のクエン酸二アンモニウムに24時間浸漬させ腐食生成物を取り除いた状態で50mm間隔に切断し、質量を測定する。電食試験終了後に測定した鉄筋の質量 W_a と電食試験前の健全な状態で計測した鉄筋の質量 W_b との差から50mm間隔の局所腐食率の測定を行った。

鉄筋腐食率 α は式(1)で表される腐食率すなわち電食試験前後の鉄筋の質量減少率を用いた。

$$\alpha = (W_b - W_a) / W_b \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

各鉄筋50mmの平均腐食率を表-4に示す。目標腐食率10%に対しW/C30%-Aは目標の腐食率を得ることができなかったが、その他の試験体は目標に近い腐食率を示した。また、鉄筋の腐食は軸方向にほぼ一様であった。

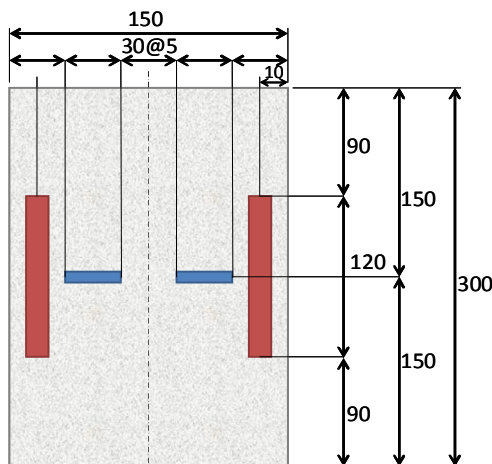


図-4 コンクリートゲージ設置位置

3.2 荷重とひずみの関係

側面水圧試験で得られたコンクリートおよび鉄筋のひずみ分布を図-5に示す。水セメント比60%での健全鉄筋、コンクリート内部で腐食させた鉄筋、鉄筋単体で腐食させた鉄筋それぞれの鉄筋ひずみの傾きを比較すると鉄筋単体腐食、健全鉄筋、コンクリート内部での腐食の順に大きくなった。これは、コンクリート内部で電食された腐食生成物の性状がち密であったため、腐食生成物層の剛性が大きくなり、鉄筋への荷重伝達が十分に行われたためであると考えられる。

一方、鉄筋単体で発生した腐食生成物は比較的疎であるため、鉄筋への荷重の伝達を妨げ、ひずみの傾きが他と比較し小さくなったものと考えられる。

平均腐食率が最も高いW/C60-Aに関してはち密さと鉄筋ひずみの関係が顕著に現れ、鉄筋ひずみが非常に低い値を示した。

したがって、腐食生成物のち密さによる凹凸は鉄筋への荷重の伝達に関連性を持っている。また、ち密さによって腐食生成物自体の剛性が変化することも予測される。

しかしながら、水セメント比30%の試験体のひずみを比較すると、腐食生成物のち密さによる鉄筋ひずみの傾きの変化は見られなかった。今後の研究では一定の腐食率の下で再度検討する必要がある。

表-4 各試験体の平均腐食率

試験体名	平均腐食率	腐食生成物
W/C60-A	13.3	疎
W/C30-A-1	3.1	
W/C30-A-2	3.9	
W/C60-B-1	7.2	密
W/C60-B-2	7.6	
W/C30-B-1	10.1	
W/C30-B-2	9.2	
W/C30-B-3	6.7	

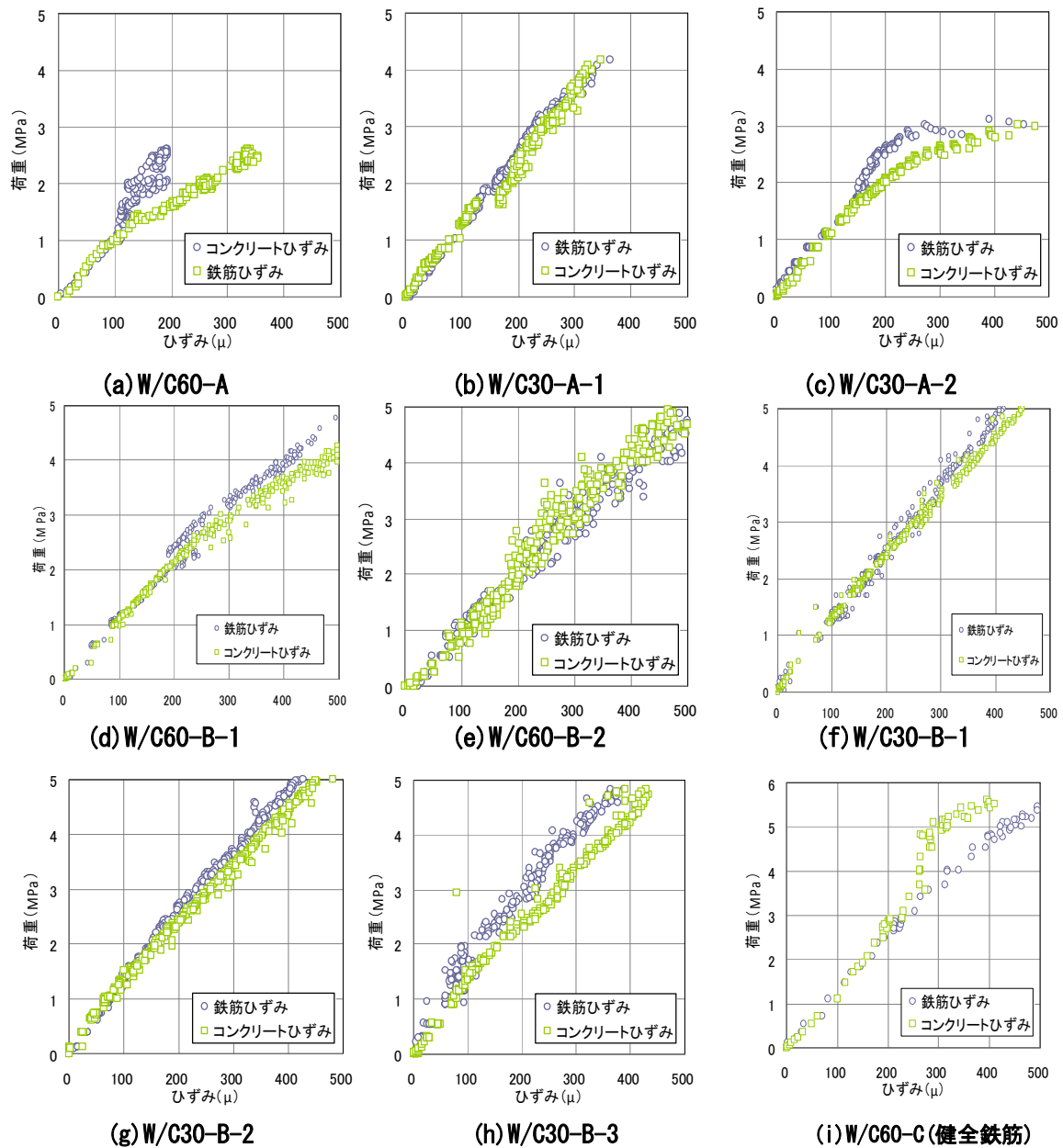


図-4 荷重ひずみ関係

4. まとめ

本研究では腐食環境の異なる RC 円柱部材の加圧実験によって腐食生成物の変形挙動の評価を行った。本研究により得られた結果を以下に示す。

- 1) 腐食生成物の性状がち密なほど剛性が増加し、荷重が伝達しやすいため、鉄筋ひずみが大きくなる。
- 2) ち密でない性状の腐食生成物は鉄筋へ

の荷重の伝達を妨げ、鉄筋ひずみが小さくなる。

- 3) 腐食生成物のち密さが、それ自体の力学的特性に関連することが予測される。

参考文献

- 1) 吉岡保彦，米沢敏夫：鉄筋の腐食生成物の力学的特性に関する基礎的な検討，土木学会第 39 回年次学術講演会第 5 部，pp.271-272，1984.11