

論文

[1141] 腐食した鉄筋とコンクリートとの付着特性に関する実験的検討

正会員○西内達雄（電力中央研究所）

正会員 石田博彰（同 上）

正会員 松村卓郎（同 上）

1. はじめに

海岸近傍に位置する鉄筋コンクリート構造物では、コンクリート中に浸透した塩分により鉄筋が腐食し、かぶりコンクリートのひびわれ発生、剝離等といった問題が生じている。このような劣化現象は、構造物の美観上の問題にとどまらず、耐荷性能（耐荷力、変形性能）の低下をも引き起こすことが考えられる。

本研究では、鉄筋の腐食に伴う鉄筋コンクリートの耐荷性能の低下状況を基礎的に把握するため、まず、鉄筋の腐食の程度を変えた試験体（ひびわれ発生以前、発生時、発生以後を想定）を用いて引き抜き試験を実施した。

引き抜き試験は、①静的に引き抜く試験、②地震を想定した動荷重（繰返し荷重）載荷後に引き抜く試験の2種類実施し、本論文では、付着応力の最大値に着目して考察を加えた。

2. 実験概要

2. 1 試験体とコンクリートの配合

本実験に使用したコンクリートは、水セメント比が55%、スランプ8~12cm、空気量 2~4%のコンクリートである（表-1 参照）。試験体は寸法が10×10×10cm, 15×15×10cmの2種類で、その中央に D19, S D35の異形鉄筋を埋設したものである。

試験体は打設後、材令28日まで標準養生（20℃水中）を行った後、試験開始時まで気中養生（20℃, 60%RH）を行った。

2. 2 試験方法

鉄筋は電食により腐食させた。容器に電解液として水道水を張り、この中に試験体のコンクリート部分を浸漬した後、鉄筋をアノード、円筒状に加工した鉄板をカソードとし、直流電源により 400mA定電流を負荷し電食させた。

引き抜き試験体で設定した鉄筋腐食の程度は、ひびわれ発生時相当、その1/3, 2/3, 2倍, 3倍の腐食量と腐食無しの6段階とした。

鉄筋の腐食程度を変えた試験体は、図-1に示すように引き抜き試験を行った。なお、鉄筋の腐食量は、試験終了後、埋め込まれた鉄筋を取り出し「コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準（案）」（JCI）に準拠し腐食量を求めた。

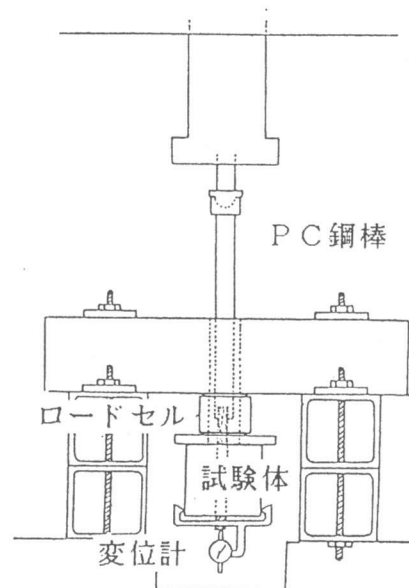


図-1 引き抜き試験装置概略図

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	G _{max} (mm)	単位量 (kg/m ³)					材令28日 (kgf/cm ²)	
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	圧縮強度	弾性係数
55	46	15	165	300	862	1031	0.75	327	3.64×10^3

3. 腐食した鉄筋とコンクリートとの付着性状

3.1 静的付着性状

(1) 最大付着応力

図-2は、水セメント比55%、鉄筋のかぶり厚さが40mm、65mmと異なる試験体の最大付着応力の鉄筋腐食による影響を調べた結果である。

両試験体とも 400mA定電流で電食を行ったため、かぶり厚さの大きい65mmの方はひびわれ発生時間が長くなっている。

これは、かぶり厚さが大きい試験体では、ひびわれを発生させるのに大きな腐食膨張圧を必要とするため、大きな腐食量を得るため通電時間が長くなるためであると考えられる。

かぶり厚さが40mmのものは、ひびわれがかぶりコンクリートへ発生するまでは、最大付着応力は健全な状態に比べて大きくなっており、ひびわれ発生以降は、最大付着応力は健全な状態のものに比べて低下している。

これは、ひびわれ発生以前では、腐食膨張圧によるプレストレス効果[1][2]により最大付着応力は増加したためであると考えられる。ただし、ひびわれ発生時において、最大付着応力が健全な状態のものに比べて低下せず、むしろ10%程度増加しているのは前述のプレストレスが完全に損失しなかったためではないかと考えられるが、原因は不明である。

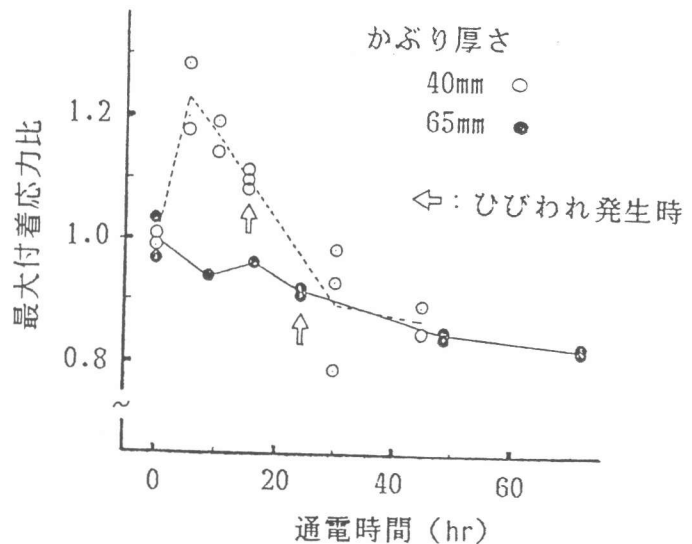


図-2 静的最大付着応力の低下性状
(W/C=55%, 400mA定電流)

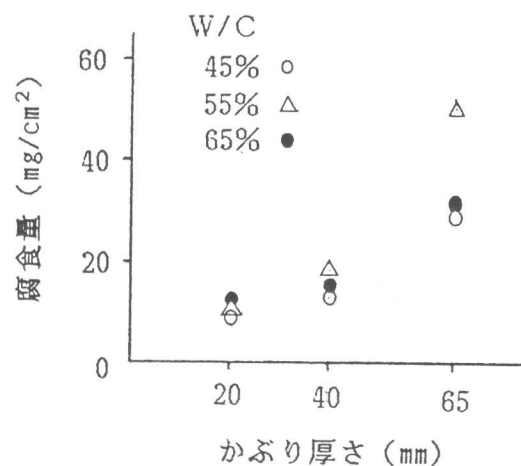


図-3 水セメント比、かぶり厚さの影響とひびわれ発生時の鉄筋の腐食量
(400mA定電流)

かぶり厚さ65mmのものは、ひびわれ発生以前、以降とも、腐食の進行に伴い最大付着応力は徐々に低下している。

ひびわれ発生以前の挙動は、前述の腐食膨張圧によるプレストレス効果により、最大付着応力は増大すると考えるのが自然であるが、今回の結果では、その傾向は見られなかった。

ひびわれ発生時の最大付着応力は、健全な状態のものに比べて10%程度低下した。この原因は、かぶり厚さが大きい試験体では、ひびわれ発生時の鉄筋の腐食量はより大きくなるため（図-3参照 [3]）であり、この影響であると考えられる。

このことから、かぶり厚さが大きい構造体では、ひびわれ発生時点において、すでに大きな鉄筋腐食を生じている可能性があることを示している。

（2）初期付着応力

図-4は、鉄筋のかぶり厚さが40mm、65mmと異なる試験体で、初期付着応力（鉄筋の抜け出し量が0.002D (cm)の時の付着応力）の鉄筋腐食による影響を調べた結果である。

この図から、鉄筋のかぶり厚さの相違、ひびわれの発生如何に関わらず、鉄筋腐食の程度が進行しても初期付着応力は健全な状態のものより低下しないことがわかる。

このことは、鉄筋が腐食してもコンクリートとの付着性能は、初期のある荷重レベルまでは低下しないことを示している。

3.2 動的付着性状

水セメント比55%、鉄筋のかぶり厚さ40mmで、400mA定電流で電食させた試験体の動的引き抜き試験を実施した。

動的に載荷した荷重レベルは、静的引き抜き試験で初期付着応力（鉄筋の抜け出し量が0.002D (cm)）相当と鉄筋応力が2000kgf/cm²相当の2段階であり、それぞれ5Hz30回×3インテグス載荷した。

ただし、ひびわれ発生時とそれ以降の腐食程度の試験体では、鉄筋応力が2000kgf/cm²相当の動的載荷は行っていない。

図-5に載荷手順を示す。

図-6は、静的・動的引き抜き試験で得られた、最大付着応力の鉄筋

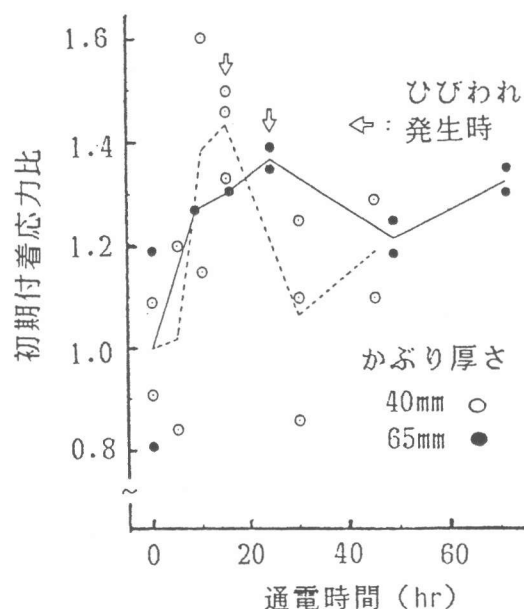


図-4 静的初期付着応力の性状
(W/C=55%, 400mA定電流)

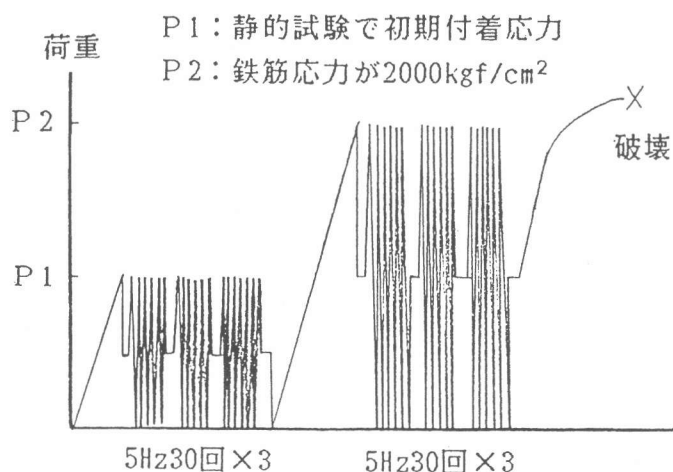


図-5 動的引き抜き試験載荷ステップ

腐食による影響を示したものである。

この図から、動的付着応力に関しては、鉄筋腐食の進行に伴い、直線的に低下していることがわかる。しかし、以下の点を考慮すると動的付着応力はさらに低下し（理由①）、しかも、ひびわれ発生以降の低下はより大きくなる（理由①②）と考えられる。

①健全な状態でも動的付着応力は静的付着応力よりも低下すると推測される。
②ひびわれ発生以降の状態の試験体はP2ステップの载荷を行っていないこと。

以上のことから、本実験のような動荷重作用下では、動的付着応力は健全な状態の静的付着応力よりも、ひびわれ発生時で5~25%程度以上低下すると考えられる。

動的付着応力が鉄筋腐食の進行と共に低下したのは、コンクリートと鉄筋との間に形成された腐食生成物が、繰返し荷重により損傷するためであると考えられる。

4. まとめ

本研究では、かぶりコンクリートへのひびわれ発生時の鉄筋の腐食程度を基準とし、その前後での腐食した鉄筋とコンクリートとの付着性状を調べた。その結果、本研究の範囲内において明らかとなったことをまとめると以下の通りである。

- ①静荷重下では鉄筋腐食の進行に伴う腐食膨張圧により、ひびわれが発生するまでは付着性能は低下しない。しかし、動荷重は腐食生成物に対して損傷を与えると推測されるため、腐食の進行と共に付着性能は低下する。
- ②鉄筋のかぶり厚さが大きくなれば、ひびわれ発生以降の付着性能の低下は大きくなる。これは、ひびわれを発生させるのに大きな腐食膨張圧が必要となり、鉄筋の腐食量は大きくなることに起因するものと考えられる。
- ③初期付着応力は、ひびわれ発生の有無に関わらず、鉄筋の腐食が進行しても健全な状態のものより低下しない。

【参考文献】

- [1] 佐々木、丸山、清水、米田：鉄筋の発錆が付着性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，1991
- [2] 武若、松本：コンクリート中の鉄筋腐食がRC部材の力学的性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，1984
- [3] 電力中央研究所未発表資料

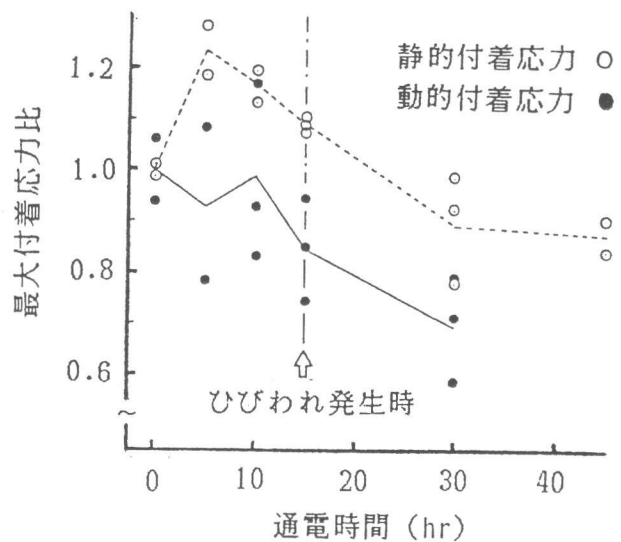


図-6 静的・動的最大付着応力の低下性状
(W/C=55%, 400mA定電流, かぶり40mm)