

論文

[1114] 鉄筋腐食したコンクリート供試体の力学特性と AE 特性

村上 祐治¹・大津 政康²・平山 幸司³・山下 英俊⁴

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物の劣化が頻発しており、塩分がコンクリート中へ浸透して鉄筋が腐食・膨張してひびわれなどが発生する塩害が多発していることが報告されている〔1〕〔2〕。鉄筋腐食した鉄筋コンクリートは、さびの膨張によって鉄筋の周囲のコンクリートを損傷させて、コンクリートと鉄筋の付着特性が低下することが考えられる。このように、鉄筋腐食した鉄筋コンクリートは、定着方法にもよるが、鉄筋コンクリート部材の保有耐力、破壊形態などが変化する。定着を鉄筋の付着による場合には、保有耐力が健全な鉄筋コンクリートの85%程度になり〔3〕、フックをつけて定着をする場合には、保有耐力はあまり変化しないが、破壊時のひびわれ形態（幅、間隔）が変化すること〔4〕が報告されている。鉄筋腐食した鉄筋とコンクリートの付着特性は、まだ、不明な点が多く、定量化までは至っていない。

本研究は、鉄筋とコンクリートの付着特性を明らかにすることを目的として、促進電食実験を行って鉄筋を腐食させ、そして、2種の付着強度試験を通じて、鉄筋を腐食した場合の付着特性を荷重、変形およびAE（アコースティック・エミッション：以下、AEと略す）などで評価するものである。

2. 実験内容

2.1 実験概要

実験の要因と水準は、水セメント比を50、65、80%に、鉄筋の腐食度を腐食時間0、50、100、150、200、300時間にした。コンクリート供試体は、10×10×10cm（引き抜き実験用）、10×10×40cm（両引き実験用）にD16の鉄筋を埋め込んで製作した。実験は、材料実験、引抜き実験、両引き実験を行い、荷重、鉄筋すべり量、ひびわれ幅、AEを測定した。

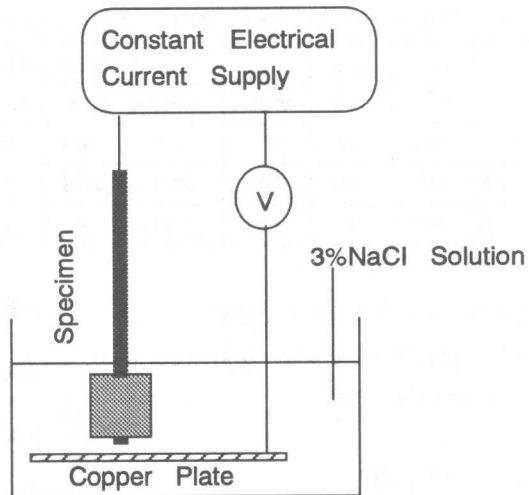


Fig.1 Accelerating Corrosion Testing

- * 1 ハザマ技術研究所 主任研究員（正会員）
- * 2 熊本大学工学部 教授、工博（正会員）
- * 3 熊本大学工学部 学生
- * 4 ハザマ技術研究所 研究員（正会員）

2. 2 電食実験

促進電食実験は、図-1に示すように材令28日を経過した供試体を3%のNaCl水溶液に浸せきし、定電流装置により 0.5 mA/cm^2 の電流を通電させて実験を行った。なお、コンクリートの練り混ぜ水は、3% NaCl水溶液を使用し、供試体を作成した。

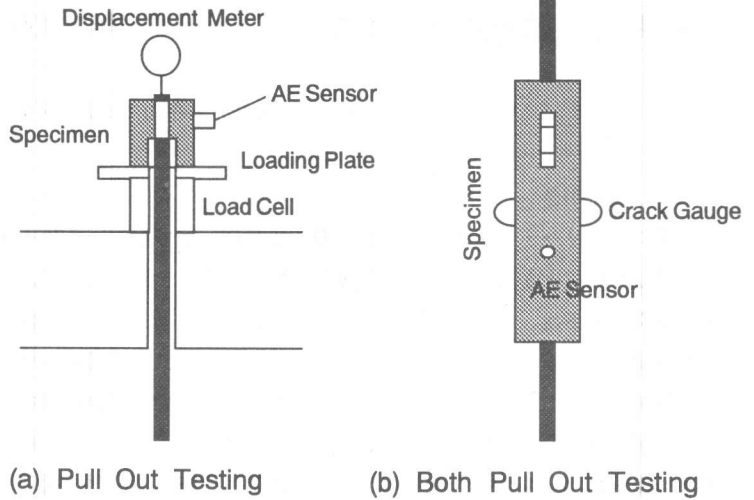


Fig.2 Bond Strength Testing

2. 3 材料実験および付着強度実験

材料実験は、コンクリートおよび鉄筋の力学特性について行った。付着強度実験は、引抜き実験と両引き実験の2種を行い、その実験方法は、図-2に示す。載荷方法は、引抜き実験に関しては単調載荷を行い、両引き実験は、2トン毎に荷重を増加する繰り返し載荷にした。また、AEセンサーは、AEセンサーとコンクリートの間

Table 1 Mix Proportion of Concrete and Mechanical Properties

	W/C (%)	s/a (%)	Unit Quantities (kg/m^3)					fc kg/cm^2	ft kg/cm^2	Ec $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$	μ
			Water	Cement	Sand	Gravel	Ad.				
NA50	50	46	175	350	804	972	0.088	405	39.5	3.23	0.22
NA65	65	46	175	269	835	1010	0.054	354	32.7	3.08	0.18
NA80	80	46	175	219	854	1033	0.066	224	21.7	2.67	0.21

にシリコングリスを塗布して設置し、150 kHz共振型AEセンサーを用いて40 dBをしきい値にした。

3. 実験結果

3. 1 材料実験結果

コンクリートの配合、材令28日におけるコンクリートの力学特性を表-1に示す。鉄筋の力学特性は、降伏点が 36.4 kg/mm^2 、引張強さが 54.3 kg/mm^2 、伸び率が27.6%である。

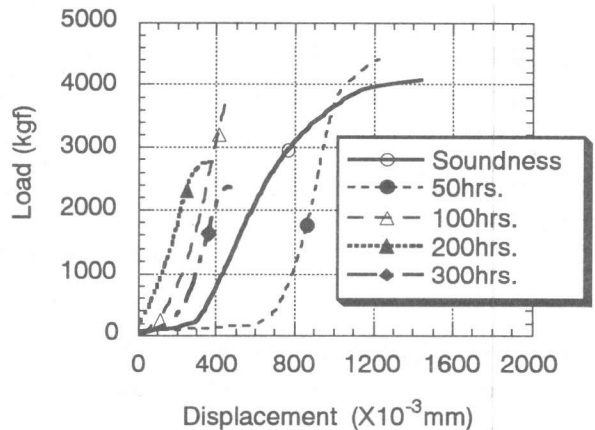


Fig.3 Load-Displacement Curve (NA80)

3. 2 引抜き実験

水セメント比80%の荷重・すべり曲線を図-3に示す。橘ら〔3〕の研究によれば、付着強度は電食時間が3日をピークにして低下することが報告されている。本実験結果によると、付着強度は、電食50時間でピークになり、その後、電食時間が経過するにしたがって付着強度は低下している。腐食した供試体の荷重・すべり曲線の傾きは、縦ひびわれが発生した電食300時間の供試体を除いて、健全な供試体に比べて急勾配になり、初期剛性が上昇している。そして、腐食100時間以上の供試体のすべり量は、約0.4mm程度で破壊し、健全なものに比較してそのすべり量は1/3程度になっている。このように本実験の範囲で、健全な供試体と腐食した供試体とは付着特性に相違があり、また、付着強度および剛性は、鉄筋の腐食度により変化する。供試体に生じるひびわれも影響することが分かる。

水セメント比80%のAEと変形の関係を図-4に示す。鉄筋のすべりが生じると、AEは頻発しており、健全および腐食50時間の供試体に比べて、腐食100時間以上の供試体の方がAEのアクティビティーは高くなっている。

水セメント比50、65、80%のそれぞれの健全な供試体の付着強度を基準化して、鉄筋腐食した

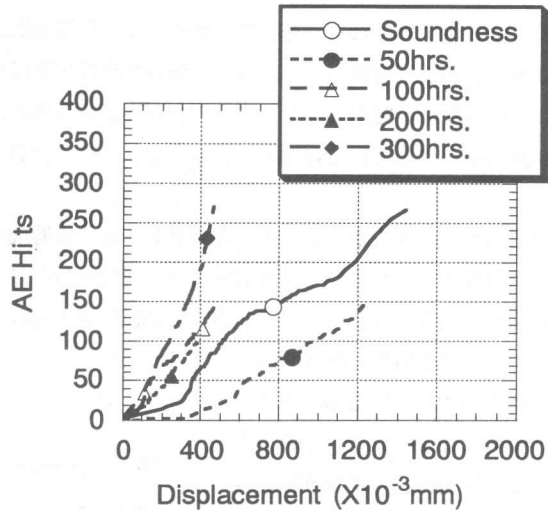


Fig.4 Relationships between AE and Displacement (NA80)

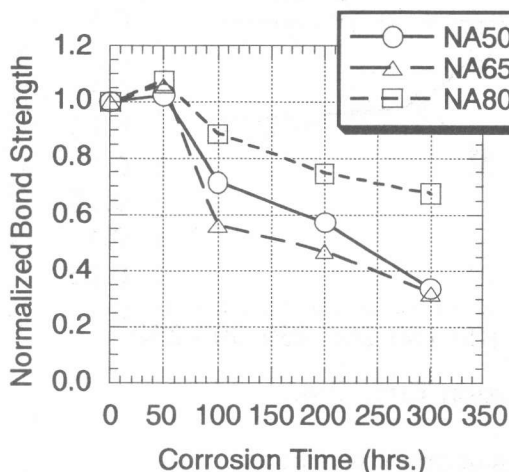


Fig.5 Relationships between Normalized Bond Strength and Corrosion Time

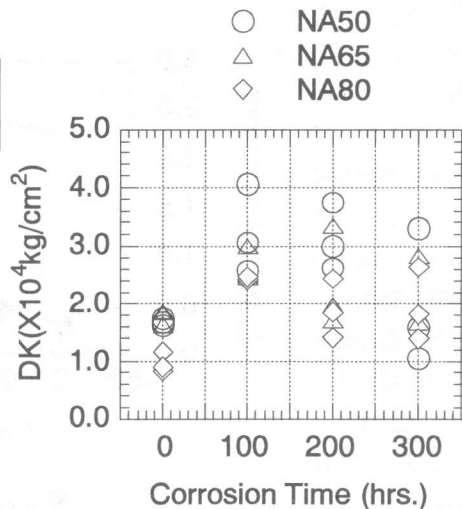


Fig.6 Relationships between DK (Bond Stiffness) and Corrosion Time

付着強度の比を表したものを、図-5に示す。付着強度比は、水セメント比に関係なく、電食50時間で5~10%程度増加し、それ以降、腐食が進行するにしたがって、付着強度が低下する。腐食300時間の腐食度は、総合プロジェクトのさび評点の基準による腐食度〔5〕では、さび評点5~6（鉄筋に断面欠損が生じている状態）になっており、この付着強度の低下率は30~60%であることが分かる。

付着応力-ひずみから求めた付着剛性DKと電食時間の関係を図-6に示す。なお、付着剛性DKは、荷重を付着面積で除して付着応力と、変位を付着長で除してひずみに変換して、その付着応力-ひずみ曲線の傾きを求めたものである。各供試体とも電食が100時間をピークにして付着剛性が高くなり、また、電食時間が増加するにしたがって付着剛性のバラツキが大きくなっている。これは、鉄筋腐食によって鉄筋周辺のコンクリートに損傷を与えるまでは、コンクリートにプレストレスが作用して付着強度並びに付着剛性が高くなり、それに対して、コンクリートに損傷が発生すると（例えば、ひびわれ）、腐食度合によって鉄筋とコンクリート間の空隙が局所的に生じて付着強度および剛性が低下し、ばらついたものと考えられる。

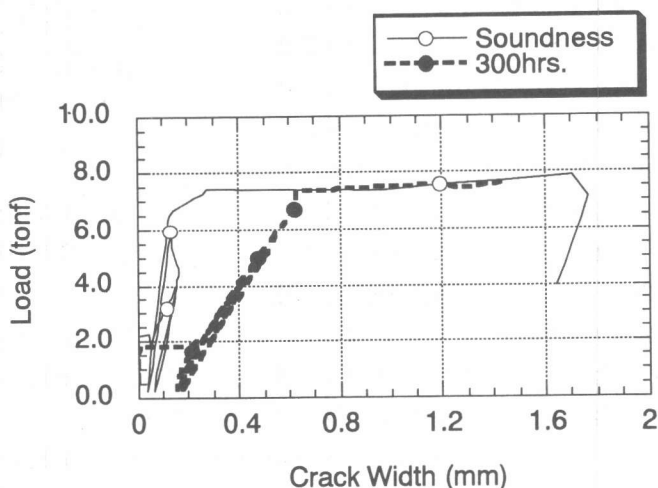


Fig.7 Relationships between Load and Crack Width (NA50)

3.3 両引き実験

水セメント比50%の健全および腐食300時間における両引き実験の荷重と供試体の中央部に発生したひびわれ幅の関係を図-7に示す。健全な供試体は、2.26トンでひびわれが生じており、そのひびわれ幅は0.04mm

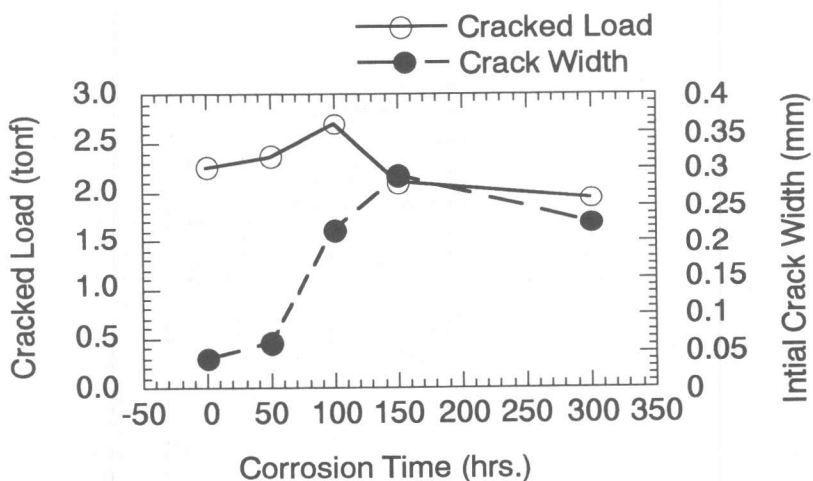


Fig.8 Relationships among Cracked Load and Initial Crack Width and Corrosion Time

であった。一方、腐食300時間の供試体は、ひびわれ発生荷重は1.94トンで健全な供試体よりも低下したが、そのひびわれ発生時のひびわれ幅は、0.23mmと大きくなっている。そして、破壊時のひびわれ本数は健全なもの6本に対して、腐食300時間では3本と少なくなっている。また、健全な供試体よりも腐食した供試体の剛性の方が低くなっている。このように、腐食した供試体の変形性能は、一旦、コンクリートと鉄筋の付着が破壊されると、健全な供試体に比べて1本のひびわれに集中して大きく変形することが分かる。これは、コンクリートと鉄筋の間に腐食生成物が存在し、このさびが付着特性に影響していることが考えられる。筆者らの実験によれば〔4〕、腐食したコンクリートはり（さび評点6程度）の破壊時の構造ひびわれは、健全なはりに比べてひびわれ間隔が大きく、ひびわれ量も少ないことを報告しており、本実験と同様な結果となった。

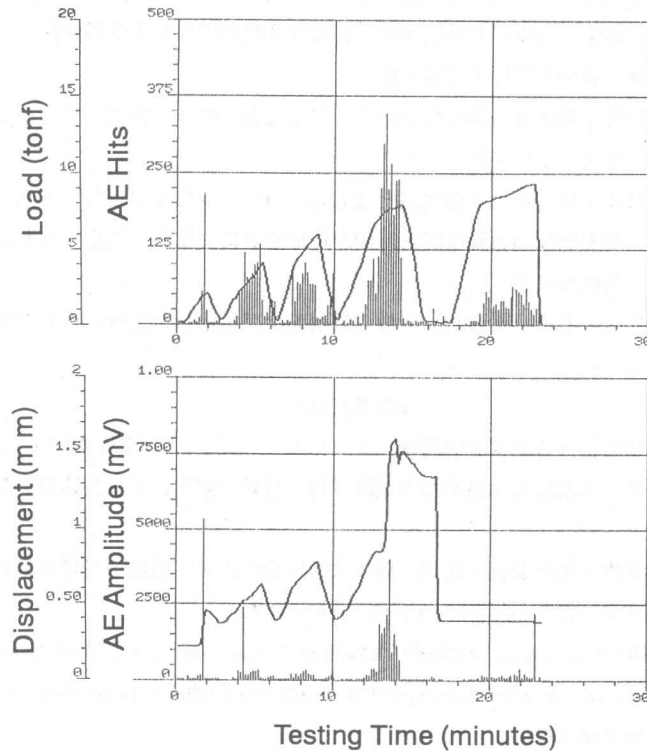


Fig.9 Relationships among Load, Displacement, AE Hits, AE Amplitude, and Testing Time

荷重・ひびわれ幅図により算出した水セメント比50%のひびわれ発生荷重とそのひびわれ幅と腐食時間の関係を図-8に示す。ひびわれ発生荷重は2トン程度で発生しているが、その直後のひびわれ幅は、腐食時間が増加するにしたがって広くなり、腐食150時間以上になると、ひびわれ幅が0.2mm程度になっている。このように、腐食した鉄筋コンクリートの変形性能は腐食時間が多くなるにしたがって増大し、その変形性能は腐食時間、すなわち、腐食生成物量に影響されることが分かる。

水セメント比50%の腐食300時間のAEヒット数、AE振幅値と荷重、ひびわれ幅の関係を図-9に示す。荷重の増加によってAEヒット数は頻発しており、除荷時には、ほとんどAEは発生していない。1.94トンにAEヒット数の急増および振幅値が大きいAEが発生しており、これはひびわれ発生により顕著なAEが生じたものと考えられる。

4. 結論

今回の実験結果より次の結論を得た。

- (1) 付着強度は、電食50時間でピークとなり、電食時間がそれ以降の付着強度は低下した。また、付着の剛性は、健全なものに比べて腐食したものが高くなっている。
- (2) 健全なもので基準化した付着強度比は、腐食50時間で5~10%増加し、それ以降低下し、腐食300時間で30~60%の低下になった。
- (3) 鉄筋腐食した付着剛性は、健全なものに比べて大きくなり、また、そのバラツキは、電食時間が増加するにしたがって大きくなった。
- (4) 両引き実験によるひびわれ本数は健全なものに対して少なくなった。また、ひびわれ発生荷重は同程度であったが、そのひびわれ幅は腐食時間が増加するにしたがって広くなり、100時間以上になると、0.2mm程度になった。
- (5) ひびわれが発生すると、AEヒット数の急増および振幅値が大きいAEが発生した。

【参考文献】

- 1) 小林茂敏：道路橋における被害実態調査、コンクリート工学、Vol.25、No.11、pp53~56、1987.11
- 2) 藤原 稔・箕作光一：沿岸土木構造物の設計・施工指針(案)、土木技術資料30-1 pp8~13、1988.12
- 3) 橋 吉弘・梶川康男・川村満紀・角本 周：鉄筋腐食によって損傷を受けたRCばりの挙動に関する考察、土木学会論文集、第404号/V-10、pp105~114、1989
- 4) Yuji Murakami, Masayasu Ohtsu, Hidetoshi Yamashita, Atsushi Suzuki: AE Measurement of Concrete with Corroded Reinforcement, 4th International Symposium on Acoustic Emission From Composite Materials Proceedings, pp157~164, July 1992
- 5) 建設大臣官房技術調査室：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術、技報堂出版、pp42~43、1986.6