

超音波法による塩分環境下のRC部材の劣化度評価について

九州東海大学 正会員 坂田康徳
熊本大学 正会員 大津政康

1. はじめに

海洋環境下、特に海水飛沫地帯にある鉄筋コンクリート(RC)構造物では、微小なひび割れや空隙を通じての塩分浸透に基づく鉄筋発錆や中性化に基づく表層コンクリートの劣化が懸念され、構造物の耐久性保持が大きな問題である。コンクリート中の鉄筋発錆状況を外部から把握する方法は自然電位法やX線法などがあるが、鉄筋発錆に伴う表層部の鉄筋周辺のコンクリートの劣化度を非破壊的に評価する方法については、未だ研究例が少ないようである。本研究は、塩分環境下にあるRC構造物の鉄筋発錆に伴う鉄筋周辺のコンクリートの劣化状況を評価するため、超音波スペクトロスコピー法と音速法音速法を用いて鉄筋発錆過程におけるRC部材の劣化度評価の可能性について基礎的な実験を行ったものである。

2. 実験概要

実験に使用した供試体は、図-1に示すように、幅10cm、高さ15cm、長さ約80cmの角柱供試体中に、直径13mmの異形鉄筋(SD295)1本をかぶり深さ2cmと4cmで埋設したRC部材と無筋コンクリート部材である。RC部材には、予め鉄筋埋設側の表面に幅約0.1~0.7mmの範囲の表面ひび割れを2点荷重曲げ試験により導入した。また、RC部材中の鉄筋には予め通電用のコードを取り付けおき、同一水槽中で供試体底部約2~3cmを水中に浸して5(V)、約0.4(A)の直流電流を鉄筋側からコンクリート側へ流して鉄筋の発錆を促した。その際、供試体中の水分の影響を調査するため、一部の無ひび割れ部材は水に直接浸らないように水面から上げて通電した。供試体には每周1回3%の塩水を供試体1本につき50ccずつ散布すると共に、乾燥部材を除いた他の部材には、原則的に毎日1回、水道水を散布した。供試体の端部および中央部とひび割れ付近(図中のA~F)には、標点としてガラス板をアルタイトで貼り付けた。音速は評点、A-B, C-D, E-F間を、また、応答スペクトルは標点A-B, C-D間を毎週1回測定した。さらに、鉄筋直上の中心軸に沿って、5cm間隔で自然電位を測定した。応答スペクトルの測定では、AEセンサをグリスを介して標点に圧着した後、発信電圧および受信波増幅率を一定にし、周波数領域0~20kHz間と0~400kHz間を各3回ずつ測定した。本実験における部材の製作に使用したコンクリートは、粗骨材最大寸法25mm、スランプ10cm、水セメント比65%のAEコンクリートであり、表-1はその配合条件および特性値を示している。また、表-2は本実験で使用した各部材の供試体番号とカブリ深さ、ひび割れ幅、ひび割れ本数、鉄筋の有無、設置条件(乾湿)の関係を示している。

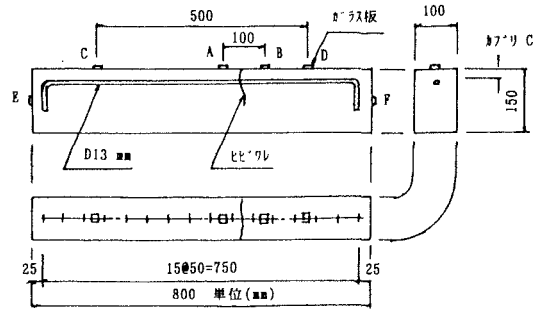


図-1 RC供試体の形状寸法と標点配置図

表-1 コンクリートの配合条件と特性値

粗骨材最大寸法(mm)	スランプSL(cm)	空気量Air(%)	水セメント比W/C(%)	細骨材率s/a(%)	単位水量W(kg/m ³)	圧縮強度f'c'(kg/cm ²)	弾性係数Ec(kg/cm ²)
25	10	4	55	40	163	314	2.8×10 ⁵

表-2 供試体番号と条件

供試体No.	かぶり(cm)	ひび割れ幅(mm)	ひび割れ本数(本)	鉄筋の有無	設置条件(乾湿)
1	2	0.7	3	有	湿
2	2	0.3	3	有	湿
3	2	0.1	3	有	湿
4	4	0.7	4	有	湿
5	4	0.4	3	有	湿
6	4	0.1	1	有	湿
7	2	無し	0	有	湿
8	4	無し	0	有	湿
9	2	無し	0	有	乾
10	4	無し	0	有	乾
11	無筋	無し	0	無	湿

3. 実験結果及び考察

図-2は、通電約10週間後にひび割れ幅0.7 mmを有するRC部材を解体して鉄筋を取り出した後、供試体の2ヶ所に生じているひび割れ位置の鉄筋表面に生じていた錆をコピーしたものである。これより、比較的大きなひび割れを有する部材には、錆が明瞭に発生していることが判る。また、図-3は、その部材の鉄筋直上における材齢に伴う部材軸方向の自然電位の変化状況を示している。これより、自然電位法による鉄筋発錆状況の推定は、かなり信頼性が高いことが判る。

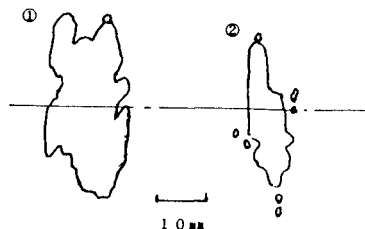


図-2 鉄筋表面の赤錆発生状況の一例

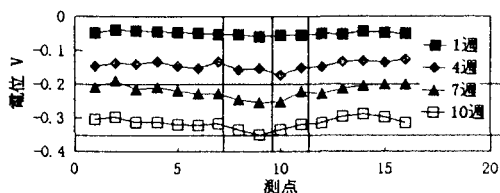


図-3 材齢に伴う自然電位変化状況の一例

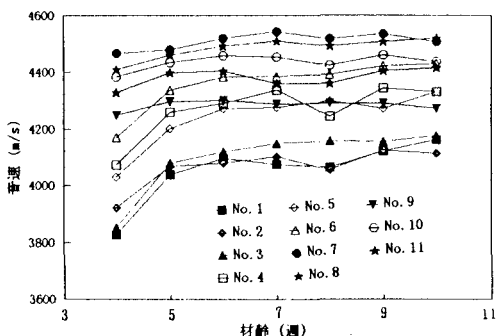


図-4 材齢に伴う部材軸方向の音速の変化状況

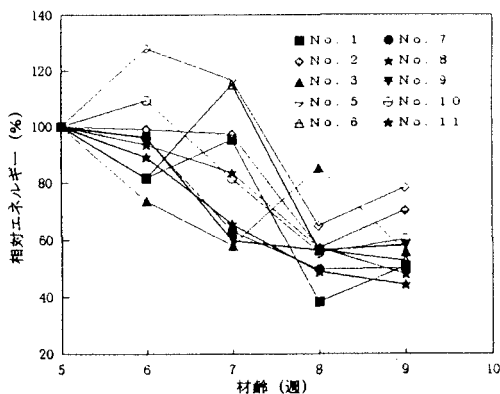


図-5 材齢に伴う周波数領域0-400kHz間の相対エネルギーの変化状況

図-4は、部材端面E-F間で得られた各部材の材齢に伴う超音波速度の変化状況を示している。若干のばらつきはあるが、超音波速度は材齢の増加に伴って漸次増加していることが判る。この図において、1週目から2週目にかけて全体的に急激な音速の増加が認められるが、これは通電前に供試体を2週間ほど気中乾燥させたため、通電時の浸漬に伴う吸水による密度の増加の影響と考えられる。その後は全体的に材齢の増加に伴って漸次増加しているが、これは、その後のセメントの水和反応の進行によるものと考えられる。この内、無筋コンクリートと無ひび割れ部材は比較的に音速が大きく、ひび割れを有する部材は音速が相対的に小さくなっている。これは、超音波がひび割れを迂回するためと考えられる。しかしながら、いずれの供試体においても、鉄筋発錆に伴う超音波速度の顕著な変化は未だ認められないようである。これは、この段階では鉄筋表面に錆が薄く生じたばかりであり、未だ体積膨張に伴うコンクリートの劣化が起っていないためではないかと考えられる。それ故、この程度の錆の進行では音速によるコンクリートの劣化度評価は困難と考えられる。

図-5は、標点C-D間で得られた材齢に伴う周波数領域1~20 kHz間の応答スペクトルから得られた相対エネルギーの材齢に伴う変化状況を示している。ここでは、1回目の測定値が乾燥の影響を受けているため、2回目の測定値を基に相対値で表している。相対エネルギーは材齢と共に漸次低下する傾向があることが判る。これより、錆の進行につれて超音波エネルギーは漸次低下するものと考えられるか、測定値にバラツキが大きく、また、錆の進行程度も浅いことから、さらに詳細な調査が必要と考えられる。

4. 結論

- 1) 自然電位法を用いればRC部材中の鉄筋の錆の発生過程をかなり精度良く評価出来ることが判った。
- 2) RC部材中の鉄筋に錆が発生する初期の段階においては、超音波の音速によるRC部材中の鉄筋発錆に伴う鉄筋周辺のコンクリートの劣化度評価は、錆がコンクリートの劣化へ与える影響が少ないため困難である。
- 3) 超音波エネルギーは鉄筋の発錆に伴うコンクリートの劣化度をある程度評価出来るものと考えられる。

〔謝辞〕本研究の推進に当たって、実験遂行に終始努力して頂いた森本将義氏と新田満徳氏に感謝致します。