

鉄筋腐食によるコンクリート内部劣化の評価への弾性波トモグラフィ法の適用性

京都大学 学生会員

○村上 陸

京都大学 正会員

西田孝弘

服部篤史

塩谷智基

河野広隆

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 中の鉄筋腐食の検査手法には、ひび割れの観察や電気化学的手法など種々提案がなされているが、本研究では、鉄筋腐食に伴うコンクリート内部の劣化を、非破壊検査手法である弾性波速度トモグラフィ法¹⁾を用いて評価することを試みた。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

鉄筋腐食による RC 梁の劣化を実験的に再現するために、図 1 に示すような供試体を作製した。供試体の寸法は長さ 1600×高さ 200×幅 100mm で、主鉄筋として D10 を 2 本 (かぶり 20mm)、スターラップとして D6 を ctc100mm で 17 本含んでいる。供試体は塩害による鉄筋腐食を想定し、図 2 に示すような塩水噴霧および乾湿繰返しによる腐食促進試験を実施した。

2.2 弾性波計測および鉄筋腐食評価試験

弾性波計測は腐食促進試験の 0, 51 および 125 サイクル終了時に行った。打撃点およびセンサ配置は図 3 に示すとおりである。供試体の全体を計測対象とし、受信センサとして AE センサ (富士セラミックス社製 50kHz 共振型) を 30 個配置し、後述する打撃により励起された弾性波の到達時刻を計測した。サンプリングレートは 1MHz とした。

打撃点はセンサ配置側面の反対の側面の 30 点とした。相対する打撃側面とセンサ配置側面は互いに入れ替えて計測を行った。打撃点近傍に設置したセンサを発信センサとすることで入力時刻を取得し、各センサへの到達時間を算出した。弾性波の励起はペンシルブレイク、 $\phi 10\text{mm}$ および $\phi 25\text{mm}$ の鋼球ハンマの 3 種類とした。打撃点近傍で観測された波形の周波数スペクトルでは、それぞれの卓越周波数は 94kHz, 37kHz, 14kHz であった。

弾性波計測の実施に合わせて、目視によるひび割れの観察と自然電位法での鉄筋腐食評価を行った。自然電位の測定は、供試体の下面にて長手方向で等間隔と

なる 5 点で行った。

3. 実験結果および考察

3.1 自然電位法による腐食評価

自然電位 (vs CSE) の推移を図 4 に示す。図中の破線は ASTM による鉄筋腐食判定基準であり、腐食促進試験 79 サイクル経過時には大部分で「90%以上の確率で腐食あり」の判定となった。

3.2 弾性波速度トモグラフィ解析

供試体を $17 \times 4 \times 4$ 個の要素に分割し、弾性波速度トモグラフィ解析²⁾を実施して速度構造を求めた。

主鉄筋近傍の解析対象要素において、 $\phi 25\text{mm}$ の鋼

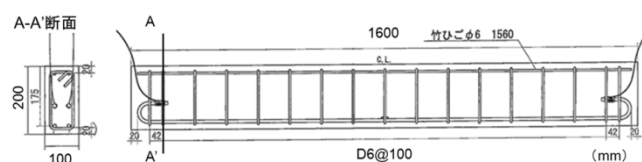


図 1 供試体概要

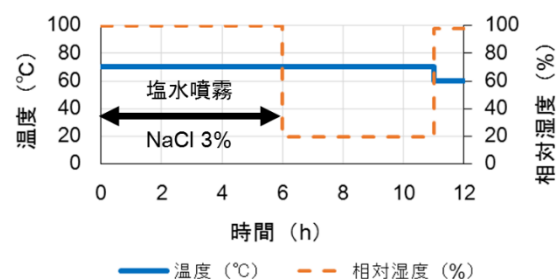


図 2 腐食促進試験 (1 サイクル)

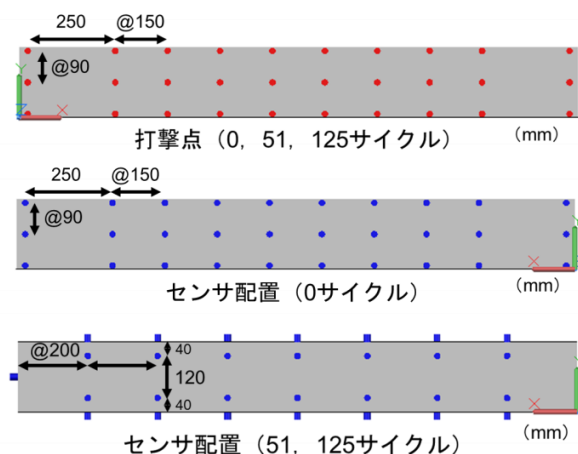


図 3 打撃点およびセンサ配置 (側面図)

キーワード 弾性波, トモグラフィ法, 非破壊検査, 鉄筋腐食, 鉄筋コンクリート

連絡先

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスタ C1-227 室 構造物マネジメント工学講座 TEL 075-383-3321

球ハンマの解析結果から図5のヒストグラムを作成した。腐食促進サイクルの進行に伴って低速度側に推移しているといえる。一方で、51サイクル終了時には外観の変化はなく、自然電位法の判定も図4から「不確定」であったと推定される。以上から、速度構造の変化に着目することで、腐食の初期段階において、コンクリート内部の変状を評価できた可能性がある。

3.3 表面ひび割れとの整合性（目視観察の結果）

152サイクル終了時の表面ひび割れ状況を図6に、比較する解析結果を図7に示す。入力弾性波の周波数が最も高かったペンシルブレイクの結果では、速度が顕著に低下している領域が見られず、腐食ひび割れの進展は評価できていなかった。一方で、図6で確認できるひび割れは、 $\phi 10\text{mm}$ の結果では51サイクル時、 $\phi 25\text{mm}$ の結果では125サイクル時の解析結果で、速度が低下している領域と一致しており、鉄筋腐食の初期段階で、腐食に伴って生じる内部の微細なひび割れおよび表面でのひび割れ発生位置を検出できていた可能性がある。また、この結果から、劣化程度に応じて、入力弾性波の周波数を適切に設定することで、腐食ひび割れを早期に検出できる可能性が示唆される。

4. 結論

弾性波速度トモグラフィによる速度構造の変化に着目することで、腐食ひび割れが表面に現れる前の段階から、鋼材周辺のコンクリートの劣化を評価できること、また、腐食に伴うコンクリート内部の微細なひび割れおよび表面でのひび割れ発生位置を検出できる可能性があることが明らかになった。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究」（管理法人：国立研究開発法人科学技術振興機構）の支援を受けて行った。

参考文献

- 1) 塩谷智基, Dimitrios G. Aggelis, 桃木昌平：弾性波トモグラフィによるコンクリート構造物の健全性評価技術、とびしま技報, 第56号, pp.111-116, 2007.
- 2) Kobayashi, Y., Shiotani, T.: Computerized AE Tomography, Innovative AE and NDT Techniques for On-Site Measurement of Concrete and Masonry Structures, State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 239-MCM, Springer, pp.47-68, 2016.

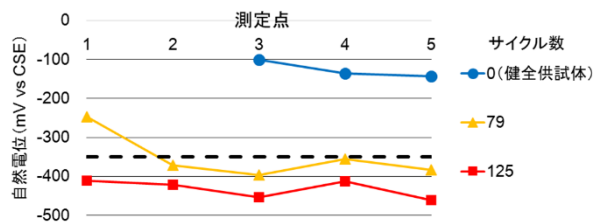


図4 自然電位の推移 (vs CSE)

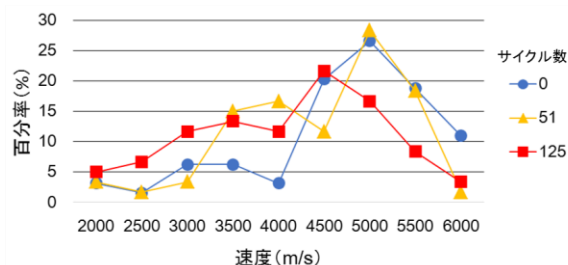


図5 $\phi 25\text{mm}$ ヒストグラム

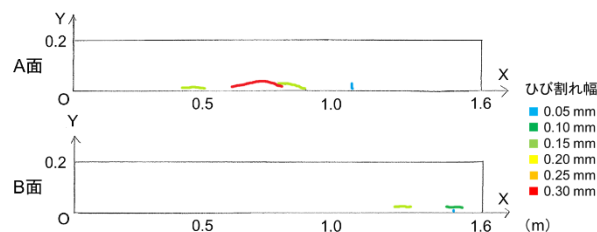


図6 表面ひび割れ状況（152サイクル終了時）

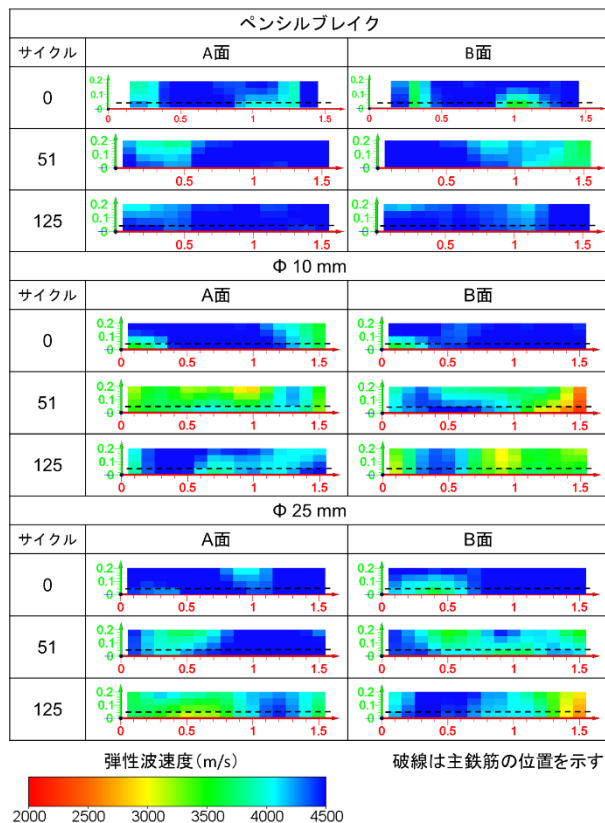


図7 弾性波速度トモグラフィ解析結果