電磁波レーダを用いたコンクリート内部のひび割れ探査に関する基礎的検討

長岡技術科学大学　学生会員　○後藤　新
長岡技術科学大学　学生会員　武田　健太
長岡技術科学大学　正会員　下村　匠

1. はじめに

鋼材腐食が生じたコンクリート構造物の性能評価には構造物内部のひび割れパターンの把握が必要な場合がある．現在超音波法を用いたひび割れ探査が行われているが，コンクリート表面に探触子を接触させる必要があり，接触面の材質や凹凸が測定結果に与える影響が大きいという問題がある[1)]．一方，非接触で連続的な探査が可能な電磁波レーダを適用することにより，非破壊により構造物内部のひび割れパターンを把握することが期待される．しかし，現在ではコンクリート内部の水平ひび割れの存在の検出に留まっており，ひび割れ深さや角度に対する検討は行われていない[2)]．

そこで本研究では，ひび割れ内部に電磁波レーダに反応する材料（以下，造影剤）を注入することでコンクリート内部に発生するひび割れの深さ，角度の可視化手法の検討を行う（図-1 参照）．

2.　理想状態における電磁波レーダの性能確認実験

2.1　実験概要

最初に，電磁波レーダにより検知可能なひび割れ角度や深さの適用範囲について検討する．ここでは，構造物内部に発生するひび割れを，無筋コンクリート床版を模した供試体（寸法：900×900×100mm）内に厚さ0.1～2.0mmのステンレス製の板（以下，SUS板）を埋め込むことで模擬し，理想的な条件下で電磁波レーダの性能確認実験を行った．SUS板は，コンクリート表面から90度および45度の角度を保持して床版内に埋め込んだ．その後，電磁波レーダによる測定を行い，測定画像に対して画像解析を行うことで，ひび割れ形状の検知の可否について検討した．なお，電磁波レーダはGSSI社のSIR-EZ（中心周波数1.6GHz）を使用した．

2.2　実験結果

コンクリートの内部状況を輝度により評価するため画像解析を実施する．電磁波レーダの測定画像は，任意の深さにおけるスライス画像として出力される．本研究では深さごとの輝度データが正規分布に従うと仮定し，3σ法によるノイズ除去を行った．

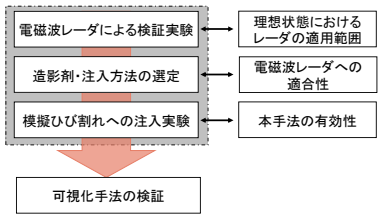
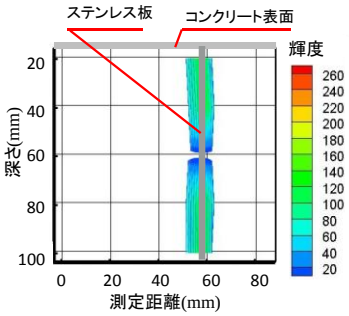
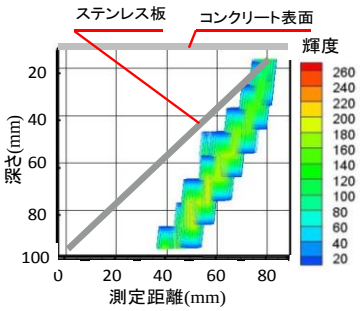


図-1　本研究のフロー図および検討項目



(a)　埋め込み角度 90 度の画像解析結果



(b)　埋め込み角度 45 度の画像解析結果

図-2　SUS 板の画像解析結果（厚さ 1.0mm, 深さ 100mm）

図-2 は，床版内に厚さ 1.0mm の SUS 板を埋め込んだ場合の画像解析結果を示している．図中には，埋め込んだ SUS 板のイメージ図も合わせて示している．図より，SUS 板のイメージ図と画像解析結果を比較すると，電磁波レーダにより SUS 板の形状を概ね計測できていることが分かる．SUS板の角度に着目すると，電磁波レーダにより，埋め込み角度を概ね捉えられているが，埋め込み角度45度の場合は，画像解析結果が実際の角度を過大に

キーワード　電磁波レーダ，模擬ひび割れ，画像解析
連絡先　〒940-2188　新潟県長岡市上富岡町 1603-1　長岡技術科学大学　TEL: 0258-47-6310

見積もることがわかった．これは，コンクリートによる電磁波の減衰の影響や，用いた電磁波レーダの分解能が測定物の断面積に対して小さかったことが主原因と考えられる．また，SUS板の埋め込み深さは，90度では60mm，45度では実際に埋め込んだ深さである100mmまで検知できることが明らかとなった．

3. 造影剤の選定とその注入方法について

次に，造影剤として用いるために電磁波レーダに最も反応する材料の選定を行った．その方法として，造影剤を入れたアクリル容器を埋め込んだコンクリート床版に対して，電磁波レーダによる測定を行う．**表-1** は各造影剤の反応率を示している．表より金属粉末の反応率が高い傾向にあるが，金属粉末では異種金属接触による鉄筋の腐食が懸念されることから，本研究では金属粉末と同等の反応率を示した黒鉛を造影剤として使用する．しかし，黒鉛単体ではひび割れ内への注入が困難であるため黒鉛と樹脂等の注入材を混合し（以下，混合材），低圧圧入工法によりひび割れ内に混合材を注入することを試みた．合わせて注入材に対して添加可能な黒鉛量の検討も行った．その結果，低圧圧入工法により混合材をひび割れ内へ注入することが可能であり，注入材に対して黒鉛を 60wt%まで添加可能であることが分かった．

4. 模擬ひび割れを有する試験体への注入実験

4.1 実験概要

最後に，模擬ひび割れを導入した無筋コンクリート床版供試体に対して，選定した造影剤を注入し，電磁波レーダによる模擬ひび割れの角度および深さの検知の可否を検討した．コンクリート表面から 90 度および 45 度の模擬ひび割れに対して造影剤を注入し，画像解析により可視化の可否を検討した．

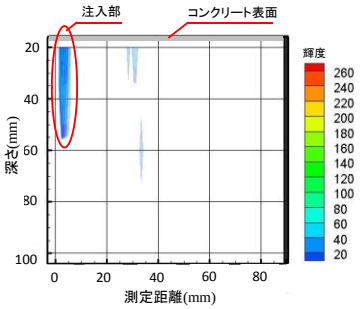
4.2 実験結果

図-3 は，深さ 60mm，幅 0.5mm の模擬ひび割れに混合材を注入した場合の画像解析結果を示している．模擬ひび割れの角度が 90 度の場合は黒鉛と水を混合したもの（添加率 50wt%），45 度の場合は黒鉛と樹脂を混合したもの（添加率 60wt%）をひび割れ内部へ注入した．図より，模擬ひび割れの角度によらず，注入部の深さおよび内部の角度を検知可能なことを確認した．**図-2** と比較すると，模擬ひび割れでは，電磁波レーダにより検出されたひび割れの輝度は大きく低下しているが，輝度分布の傾向は SUS 板を埋め込んだ場合と同様であるため，本ひび割れ検知手法は有用であると考えられる．

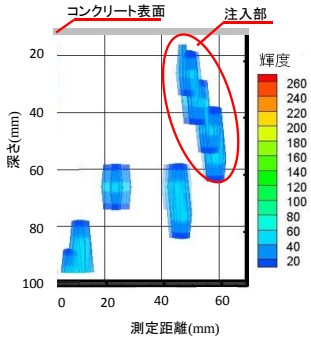
表-1 各造影剤の反応率

サンプル名	反応率(%)
黒鉛	52
銅	56
亜鉛	69
ステンレス	24

※反応率は鉄筋の輝度(100%)に対する各造影剤の輝度を示す



(a) 角度 90 度の画像解析結果（黒鉛+水を注入）



(b) 角度 45 度の画像解析結果（黒鉛+樹脂を注入）

図-3 模擬ひび割れの画像解析結果

さらなる測定精度の向上のためには，造影剤の添加率の向上のみではなく，注入材となる溶媒に対して電解質を添加することで反応材料として扱うことが必要と考えられる．また，鉄筋コンクリート構造物の探査を行う場合は，画像解析を行う際の閾値の設定方法について別途検討する必要がある．

5. まとめ

本研究では電磁波レーダを用いてコンクリート内部に生じるひび割れの角度および深さを検知する手法について検討を行った．その結果，電磁波レーダによる測定結果に対して画像解析を行うことでひび割れ形状を概ね検出可能であることが示された．

【参考文献】

1) 周藤ら：コンクリート表面の炭酸化が非破壊試験結果に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, pp. 1679-1684, 2011

2) 小林ら：電磁波レーダによる RC 床版上面の状態評価に関する実験的検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集, pp3-4, 2016