第Ⅴ部門　　電磁パルス法による PC グラウト未充填箇所検出における評価指標の解析的検討

大阪大学大学院工学研究科　学生員　○角田　蛍　　正会員　内田　慎哉
正会員　鎌田　敏郎　　学生員　岩崎　俊樹

1. はじめに

著者らは，これまでに PC の横締めを模擬した供試体を対象として，鋼製シース上のコンクリート表面および PC 鋼棒端部にセンサを設置した状態で，コンクリート表面側から非接触でパルス状の電磁力を与えた場合にセンサで受信される弾性波の最大振幅値により，グラウト充填状況を評価する方法（以降，電磁パルス法とする）を提案している [1]．しかしながら，弾性波の発生源となる磁性体や受信波の最大振幅値が変化する物理的背景については，未解明の部分を残していたのが現状である．

そこで本研究では，まず，供試体および計測条件を基に設定したモデルにおいて動磁場解析を行い，コンクリート内部で弾性波の発生源となり得る磁性体を把握し，その磁性体に作用する電磁力分布を算出した．続いて，動磁場解析により得られた電磁力の値を衝撃応答解析における衝撃荷重として磁性体に入力することにより，供試体内部での弾性波伝搬挙動を再現し，グラウト充填評価指標としての最大振幅値の有効性について検討した．

2. 動磁場解析による PC 鋼棒および鋼製シースに作用する電磁力の範囲およびその大きさの把握

2.1 解析概要

動磁場解析では，漏れ磁束を考慮し，空気のモデル化を行った．このモデル寸法は，縦 1500mm，横 2500mm，高さ 1200mm であり，すべての面に対して固定境界条件を与えた．その中央部には，縦 235mm，横 2000mm，高さ 235mm のコンクリート供試体および励磁コイルをそれぞれモデル化した（**図 1** 参照）．供試体のモデル内部には内径 32mm，厚さ 1mm，長さ 2000mm の鋼製シース 1 本を，かぶり 100mm となるように設置し，その内部には直径 23mm，長さ 2200mm の PC 鋼棒をモデル化した．鋼棒両端部は定着プレートによりそれぞれ固定した．励磁コイルは，鉄心に導線を巻きつけたものをモデル化し，シース直上かつ供試体長手方向中央に作成した．なお，励磁コイルの先端とコンクリート表面は 20mm 離している．要素は，いずれも 8 節点 6 面体ソリッドである．コンクリート要素 1 辺の長さは約 10mm とした．一方，シースは，表皮深さ [2] を考慮して厚さ 0.016mm の表皮層を設定した．図に示す導線に，周期 200μs，電流実効値 3.96A の正弦波の電流を入力することによりコイル周辺に瞬間的な磁界を発生させた．この磁界により鋼棒表面およびシース表面の各節点に作用する x，y および z 方向それぞれの電磁力を求めた．電磁力の時間変化を把握するため，0 から 200μs となるまで 5μs ごとに電磁力をそれぞれ求めた．

2.2 解析結果および考察

放電開始時刻から 150μs 後におけるシースに作用する電磁力のコンター図を**図 2** に示す．図から明らかなように，コイル直下のシース部分に集中的に電磁力が作用していることがわかる．励磁コイル側のシース表面における電磁力を求めた結果，1.2×10^{-3}N であった．これに対して，シース内部の鋼棒表面における電磁力は

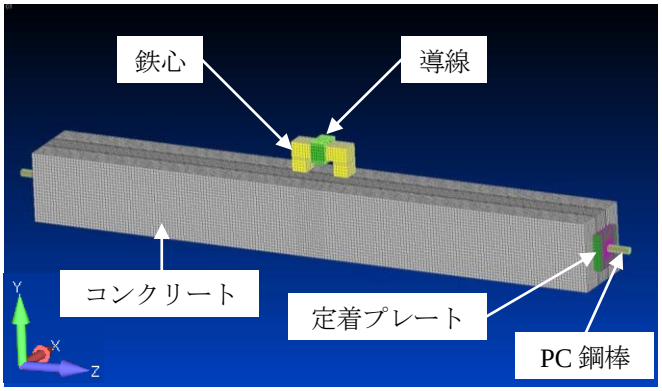


図 1　動磁場解析および衝撃応答解析のモデル概要

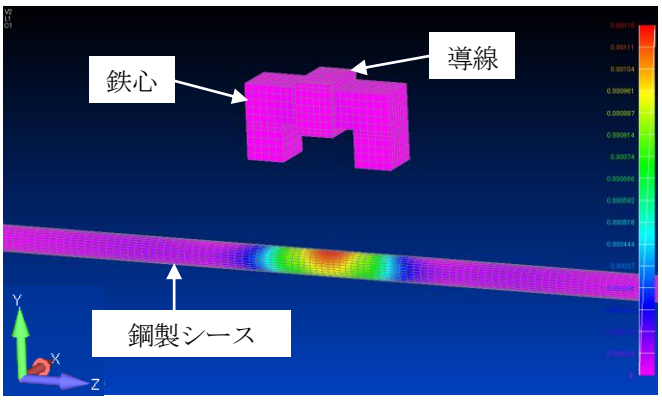


図 2　鋼製シースに作用する電磁力分布

Hotaru TSUNODA, Shinya UCHIDA, Toshiro KAMADA and Toshiki IWASAKI
h.tsunoda@civil.eng.osaka-u.ac.jp

8.5×10^{-16}N であり，シースのそれと比較して極めて小さい値となった．これは，PC 鋼棒がシースによる磁気遮蔽の影響を受けためである．このことから，励磁コイルから発生した磁界によりシースが主に振動することが明らかとなった．なお，上記の傾向は，これ以外の時刻においてもほぼ同様の傾向であった．

3. 衝撃応答解析による最大振幅値の有効性の検証

3.1 解析概要

衝撃応答解析における供試体モデルは，動磁場解析におけるコンクリート供試体のモデル（**図 1** 参照）と同じである．なお，ここでは，「グラウト充填」と「グラウト未充填」の 2 ケースのモデルを作成している．境界条件は，コンクリート供試体モデルの 1 側面（y-z 平面，x = 0mm）にある全節点の変位を全方向固定した．もう一方の側面（y-z 平面，x = 235mm）は無反射条件とした．動磁場解析により得られたシース表面における各節点の x，y および z 方向に作用する電磁力の経時変化を，衝撃応答解析における衝撃荷重として入力した．弾性波の出力は，シース長手方向中央かつシース上のコンクリート表面（**図 1** における励磁コイルの直下）および PC 鋼棒片端部のそれぞれ 1 節点とした．

3.2 解析結果および考察

グラウト未充填のモデルにおけるコンクリート表面で出力した変位波形を**図 3** に示す．図から振幅の最大値を読み取り，これを最大振幅値（図中の矢印）として定義した．コンクリート表面および PC 鋼棒端部で出力した波形の最大振幅値を**図 4** にそれぞれ示す．コンクリート表面におけるグラウト未充填モデルの最大振幅値は，充填モデルよりも約 2.3 倍大きい．これは，グラウト充填の場合，シースの振動がグラウトにより拘束されるためであると考えられる．一方，鋼棒端部におけるグラウト未充填モデルの最大振幅値は，充填モデルよりも著しく小さい．グラウトが存在しないために，シースの振動が鋼棒に伝達されなかったと考えられる．いずれのモデルにおいても，著者らの既往の実験 [1] で得られた最大振幅値の傾向と概ね一致した（**図 5** 参照）．

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す．

(1) 動磁場解析の結果，コンクリート内部で弾性波の発生源となり得る磁性体は，主に鋼製シースであることが明らかとなった．

(2) 動磁場解析で得られた電磁力を衝撃応答解析における衝撃荷重としてシースに与えた結果，電磁パルス法により得られる弾性波の最大振幅値は，PC グラウト充填評価指標として有効であることを把握した．

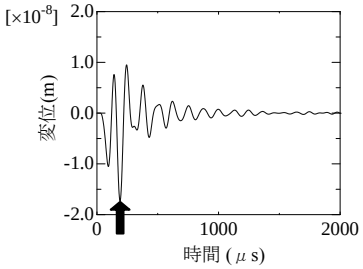
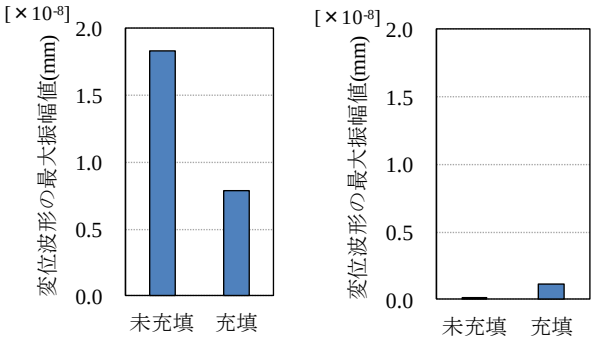
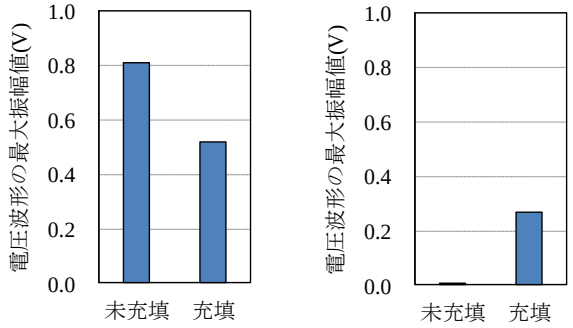


図 3 コンクリート表面における変位の時刻歴波形



a）コンクリート表面　　b）PC 鋼棒端部

図 4 コンクリート表面および PC 鋼棒端部における変位波形の最大振幅値（解析結果）



a）コンクリート表面　　b）PC 鋼棒端部

図 5 コンクリート表面および PC 鋼棒端部における電圧波形の最大振幅値（実験結果）

参考文献

1） 角田蛍，鎌田敏郎，内田慎哉，宗像晃太郎，稲熊唯史：弾性波による PC グラウト充填評価手法への電磁パルス法の適用に関する基礎研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 9 巻，pp.39-44，2009

2） 高橋則雄：三次元有限要素法 磁界解析技術の基礎，電気学会，pp.63-69，2006

謝辞

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金（若手スタートアップ 21860055）の援助を受けて行ったものである．ここに記して謝意を表する．