磁場解析と衝撃応答解析の併用による電磁パルス法に基づく PC グラウト充填評価手法の妥当性の検討

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

1. はじめに

著者らの既往の研究では，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振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手法（以降，電磁パルス法とする）を提案している [1)].

本研究では，まず，供試体や計測条件を基に設定したモデルにおいて 3 次元有限要素法を用いた磁場解析および衝撃応答解析を行い，得られた解析結果と供試体実験の結果とを比較することにより，解析モデルの妥当性を検証した．さらに，供試体実験の結果に基づき提案した評価手法の妥当性の検討も併せて行った．

2. 磁場解析に基づく電磁力が作用する磁性体および電磁力分布の把握

2.1 解析概要

図 1 に解析モデル（ハーフモデル）の拡大図を示す．マグネットワイヤにパルス幅 200μs の正弦波の電流波形を入力し，コイル周辺に瞬間的な磁束を生じさせた．

2.2 解析結果および考察

放電開始時刻から 150μs 後の磁束密度は，励磁コイル側のコンクリート表面から 100mm（シースかぶり位置相当）の位置で 1.0×10^{-2} T であり，105.5mm（PC 鋼棒のかぶりに相当）の位置では 9.2×10^{-10} T であった．すなわち，鋼棒のかぶりと想定した位置での磁束密度は，シースかぶり位置でのそれと比較して極めて小さい．これは，シースによる磁気遮蔽により，シース内部の磁束密度が小さくなったと考察できる．このことから，磁界の影響によりシースが主に振動したと考えられる．

続いて，放電後 150μs の時刻におけるシース全体に作用する磁束密度のコンター図を図 2 に示す．図より，磁束密度が大きい領域は，コイル直下のシース（長さ約 200mm）であることがわかった．なお，それ以外の時刻においても，磁束密度が大きくなる主な領域は，コイル直下のシースであった．また，渦電流密度が大きくなる領域もコイル直下のシースであった．ここで，得られた磁束密度および渦電流密度から求めたシース全体に作用する電磁力の大きさの経時変化を図 3 に示す．この電磁力がコイル直下のシース（長さ約 200mm）に作用していると仮定して，次章に示す 3 次元衝撃応答解析を行った．

3. 衝撃応答解析による弾性波伝播挙動の把握およびグラウト充填評価手法の検証

3.1 解析概要

供試体を模擬した解析モデルを図 4 に示す．モデル寸法は 235mm×2000mm×235mm である．モデル内部には，

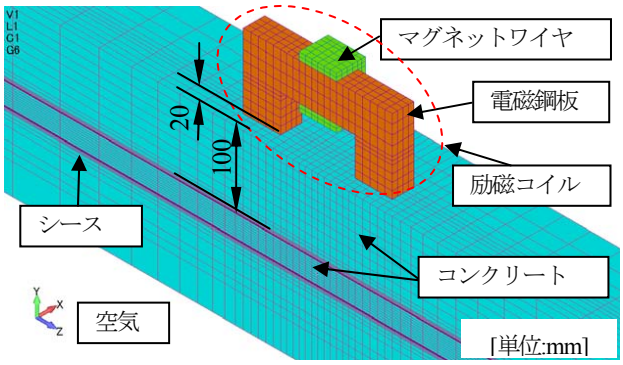


図 1　磁場解析モデル（励磁コイル周辺拡大図）

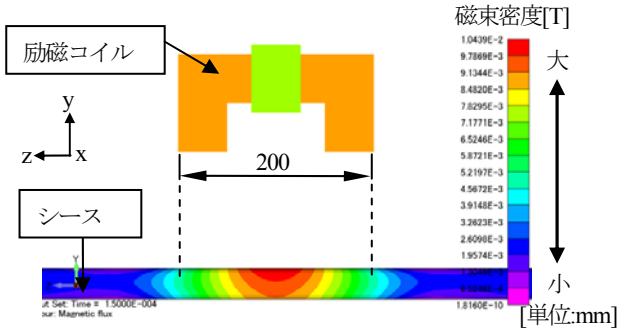


図 2　シースに作用する磁束密度

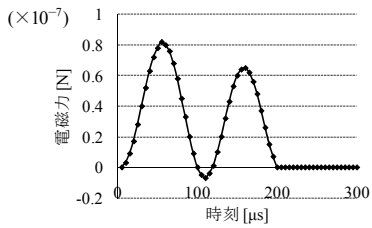


図 3　シース全体が受ける電磁力の時刻歴波形

キーワード　グラウト，非破壊試験，電磁パルス法，弾性波，磁場解析，磁気遮蔽
連絡先　〒565-0871　大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻　TEL 06-6879-7618

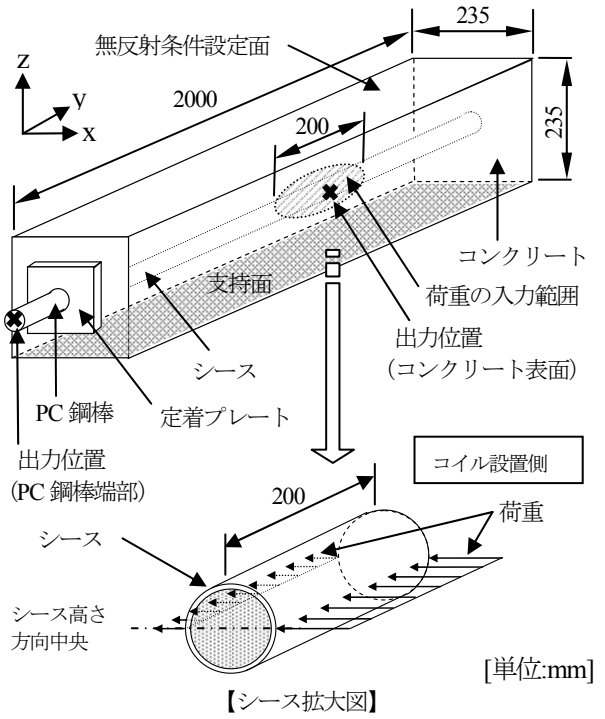


図 4　衝撃応答解析モデル概要

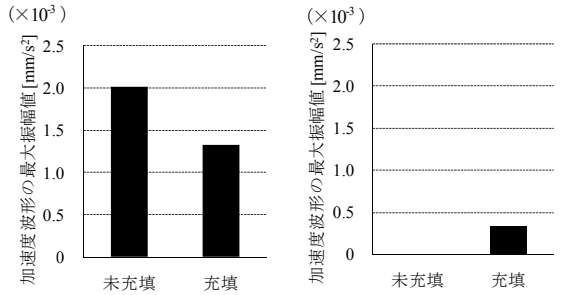
コンクリート表面から深さ 100mm の位置に内径 32mm のシースを設け，シース内部には直径 23mm の PC 鋼棒を設置した．本解析では，「グラウト充填モデル」と「グラウト未充填モデル」の 2 ケースのモデルを作成した．各構成材料の要素は，いずれも 8 節点ソリッドとし，コンクリート要素一辺の長さは約 4mm に設定した．境界条件は，**図 4** に示すとおり，モデル下面（x-y 平面，z＝0mm）における節点の変位を全方向固定とした．

電磁力の作用位置は，コイル直下のシース（200mm）とした．具体的には，コイル設置側シース表面の各節点およびその反対側のシース表面の各節点とした（**図 4** 中のシース拡大図参照）．荷重の入力値には，**図 3** に示す電磁力の時刻歴波形を用いた．

図 4 に弾性波受振位置（出力位置）を示す．供試体実験の場合と同様に，シース長手方向中央かつシース上のコンクリート表面および鋼棒片端部の 1 節点とした．

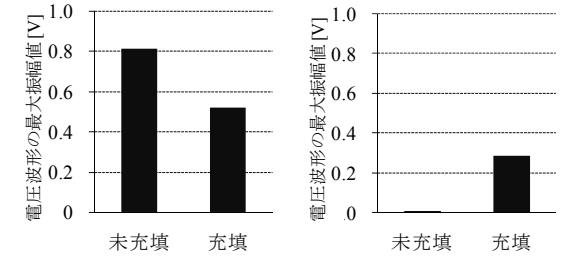
3.2 解析結果および考察

グラウト充填および未充填モデルにおける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 5** 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 1.5 倍大きい．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，振幅値が小さくなったと考えられる．一方，PC 鋼棒における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



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 鋼棒端部における加速度波形の最大振幅値（解析結果）



a) コンクリート表面　　b) PC 鋼棒端部

図 6　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）

ため，シースの振動が鋼棒に伝達されないと考えられる．いずれのモデルにおいても，既往の実験 [1)]で得られた最大振幅値の大小関係の傾向とほぼ一致した（**図 6** 参照）．

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す．

(1) 本研究では，電磁パルス法を適用した場合の供試体内部での電磁力分布や弾性波挙動を，3 次元磁場解析および衝撃応答解析により再現する上で必要となる解析モデルについての検討を行い，これに適した条件を見出した．

(2) 磁場解析および衝撃応答解析を併用した結果，グラウト未充填および充填の有無を電磁パルス法により評価する場合は，最大振幅値が有効な評価パラメータであることが明らかとなった．

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

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．