

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 8日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656100

研究課題名（和文）

電磁パルスによる鋼材加振に基づくコンクリート非接触衝撃弾性波法の開発

研究課題名（英文）

Development of non-contact impact elastic wave methods for RC members based on electromagnetic pulse input to rebar inside concrete

研究代表者

鎌田 敏郎 (KAMADA TOSHIRO)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10224651

研究成果の概要（和文）：本研究では、電磁パルスによりコンクリート内部の鉄筋を非接触で加振させることにより弾性波を励起させ、コンクリート表面で受振した弾性波の特性からコンクリート内部の品質や欠陥の状況を非破壊で評価するための手法の開発を行った。本研究では、本手法の適用対象として、セメントの凝結硬化過程の評価、PC グラウトの充填状況の評価、およびコンクリート内部の鉄筋破断の検出などを取り上げ、いずれに対しても、その有効性が確認できた。

研究成果の概要（英文）：Noncontact impact elastic wave methods based on elastic wave at inner steel bar in concrete induced by electromagnetic pulse were developed in this study. The applicability of this method as nondestructive techniques for evaluation of setting and hardening process of cement paste, evaluation of grouting condition in PC tendon duct, and detection of steel breakage inside concrete were analytically and experimentally confirmed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	0	2,300,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	270,000	3,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：鉄筋コンクリート，非破壊試験，電磁パルス法，非接触，衝撃弾性波法，凝結硬化過程，PC グラウト，鉄筋破断

## 1. 研究開始当初の背景

コンクリート中の鉄筋を電磁パルスによって振動させる技術については、高鍋・橋本（非

破壊検査 Vol.52, No.11, pp.628-632, 2003, 電磁力関連のダイナミックスシンポジウム講演論文集，日本 AEM 学会，pp.599-602,

2002)により、その可能性が報告されている。ここでは、励磁コイルにより鉄筋に十分な振動を付与できる点については、そのデータが示されているものの、受振した弾性波によるコンクリートの非破壊評価への適用に関する成果は見出されていない。一方、森ら(コンクリート工学年次論文報告集 Vol.27, No.1, pp.1783-1788, 2005)は、コンクリート中のPC鋼棒を電磁パルスにより振動させ、鋼棒周辺のグラウトの有無が鋼棒の振動特性に与える影響について検討している。こちらも、コンクリート内部の鋼棒を十分振動させることには成功しているものの、受振波形のグラウト充填状況評価への適用については課題を多く残している。いずれにしても、本手法の原理面では今後につながる有益な成果が示されてはいるものの、この方法を応用した非接触衝撃弾性波法については十分な知見が得られておらず、本研究においてこの手法の開発に着手することとした。

## 2. 研究の目的

コンクリート構造物がコンクリートと鋼材からなるRCやPC部材であることに着目し、非接触で鋼材に衝撃を与えるために電磁パルスを活用して、これによって発生する弾性波をコンクリート表面で捉えるべく鋼材を弾性波の発生源としたAE計測を行うことを考えた。さらに、鋼材から発生したAEをコンクリート表面に非接触型のセンサで捉えれば、完全な非接触計測が可能となるため、この手法を「非接触衝撃弾性波法」と呼ぶこととした。

本研究では、セメント系材料の凝結硬化過程の評価、コンクリート中の鉄筋破断箇所の評価、あるいはPCグラウト未充填箇所の検出などを適用対象として設定し、これまでにない新しい非破壊試験法としての「非接触衝撃弾性波法」の開発を目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1)非接触鋼材加振装置の改善

コンクリート内部の鋼材に衝撃を与えるための非接触鋼材加振装置の改善を行う。具体的には、動磁場解析を活用して、励磁コイルを構成する励磁鋼板の材質・厚さ・形状およびマグネットワイヤの材質・太さ・巻き数について検討し、強力な磁場を発生させることが可能な装置に改善する。

### (2)セメント系材料の凝結硬化過程の評価手法の高度化

上記(1)で改善した非接触鋼材加振装置を用いて、セメント系材料の始発時間の推定を行う。具体的には、まず、型枠内に鉄筋を埋設した状態で非接触鋼材加振装置により鉄筋に衝撃を与え、これによって発生する弾性波をレーザー振動計により受信し、得られた

弾性波の波形特性から始発時間を推定する方法を確立する。特に、ここでは、波形特性と材料の物理的/化学的な状態変化との対応関係および本手法により始発時間の推定が可能なセメント系材料の種類を明確にすることに重点をおく。加えて、型枠にセメント系材料を投入した直後において、始発時間を予測できる手法となるように高度化する。

### (3)コンクリート内部の鉄筋破断の有無を評価する手法の高度化

改善した装置を用いて、鉄筋破断を評価する手法を高度化する。具体的には、動磁場・弾性波動連成解析を援用して、計測点下の鉄筋破断の有無を得られた波形特性のみから瞬時に判定できるようにする。

### (4)PCグラウト未充填箇所の検出手法の開発

非接触弾性波法によりPCグラウト未充填箇所を検出する方法の開発を行う。手法の妥当性を検証するため、動磁場・弾性波動連成解析も実施する。

## 4. 研究成果

### (1)モルタルの凝結硬化過程の評価手法

モルタルを対象として、その内部に鉄筋を埋設した状態で電磁パルス法により非接触で鉄筋に衝撃を与え、これによって発生する弾性波を鉄筋に貼り付けたセンサで受信し、その波形特性の経時変化をモニタリングすることで、モルタルの凝結硬化過程の評価を試みた。また、電磁パルス法により得られた波形特性とプロクター貫入抵抗試験により推定した凝結時間との対応関係についても併せて検討した。その結果、電磁パルス法により測定した波形エネルギーおよび周波数スペクトルは、モルタルの硬化の状態に応じて変化するパラメータであることがわかった。しかも、時々刻々と変化する波形エネルギーの極大値および周波数スペクトルのピーク周波数に着目することにより、モルタルの始発時間を推定できる可能性があることを明らかにした。

### (2)コンクリート内部の鉄筋破断の有無を評価する手法

柱状の鉄筋コンクリート供試体と、別途作製した柱状の鉄筋コンクリートを促進試験によりアルカリ骨材反応による劣化を模擬した供試体を対象に、フープ筋曲げ加工部の鉄筋破断の評価への電磁パルス法の適用性についての検討を試みた。実験においては、フープ筋直上のコンクリート表面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入力した場合に受振される弾性波の挙動に着目し、鉄筋破断の評価を行った。その結果、劣化していない供試体およびアルカリ骨材反応による劣化を模擬した供試体のいずれの場合においても、電磁パルス法により測定した弾性波の

伝搬時間に着目することで、コンクリート中のフープ筋曲げ加工部の鉄筋破断を非破壊で評価できることが明らかとなった。

### (3)PC グラウト充填評価手法の有効性の動磁場・弾性波動連成解析による検討

鋼製シース直上のコンクリート表面側から非接触でパルス状の電磁力を入力した場合に、コンクリート表面で受信される弾性波の挙動に着目し、グラウト充填状態を評価する電磁パルス法を検討した。その結果、コンクリート表面に貼り付けたセンサで受信した弾性波の最大振幅値に着目することにより、電磁パルス法によりグラウト未充填箇所を検出できる可能性があることがわかった。ここでは、この手法の有効性を評価するために、動磁場解析と弾性波動解析を連成するための新しいプログラムを作成した。本プログラムでは、動磁場解析によりシースに作用する電磁力を接点力として理論的に算出し、この結果を弾性波動解析の荷重データとして入力できるようにした。その結果、解析からも PC グラウト充填評価手法の有効性が明らかとなった。

### (4)コンクリート内部の鉄筋破断の検出手法の有効性の弾性波動解析による検討

昨年度に提案した鉄筋破断を検出する手法の妥当性を評価するために、3次元衝撃応答解析を行った。その結果、鉄筋破断の有無により弾性波挙動は異なり、鉄筋破断がない場合の方が破断ありの場合よりも伝搬時間は小さくなった。これより、フープ筋曲げ加工部の鉄筋破断を電磁パルス法により検出する場合、伝搬時間が有効な評価パラメータとなり得ることが衝撃応答解析により明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 内田慎哉, 鎌田敏郎, 李 興洙, 新名 勉, 久利良夫 : 電磁パルス法による鉄筋コンクリート柱のフープ筋曲げ加工部における鉄筋破断の検出手法, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集, 査読無, 第 4 巻, 2012
- ② 李 興洙, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 新名 勉, 久利良夫: 電磁パルス法によるフープ筋曲げ加工部の鉄筋破断の検出方法に関する基礎研究, 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, 査読有, 第 11 巻, 2011, pp.291-298
- ③ 岩崎俊樹, 内田慎哉, 鎌田敏郎, 角田

蛭: 電磁パルス法に基づく PC グラウト充填評価手法の有効性の動磁場・弾性波動連成解析による検討, 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, 査読有, 第 11 巻, 2011, pp.321-328

- ④ 角田 蛭, 内田慎哉, 鎌田敏郎: モルタルの凝結硬化過程の評価への電磁パルス法の適用, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.33, No.1, 2011, pp.1841-1846

[学会発表] (計 4 件)

- ① 岩崎俊樹, 内田慎哉, 鎌田敏郎: 動磁場・弾性波動連成解析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有効性の検討, 第 55 回日本学術会議材料工学連合講演会講演概要集, 2011.10.20, 京都教育文化センター
- ② 李 興洙, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 新名 勉, 久利良夫, 佐々木一則, 金海 鉦: 鉄筋コンクリート柱のフープ筋曲げ加工部における鉄筋破断検出への電磁パルス法の適用, 第 55 回日本学術会議材料工学連合講演会講演概要集, 2011.10.20, 京都教育文化センター
- ③ 内田慎哉, 鎌田敏郎, 角田 蛭, 岩崎俊樹: 電磁パルス法に基づく PC グラウト充填評価手法における評価指標の有効性の解析的検討, 平成 23 年度全国大会土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011.9.8, 愛媛大学
- ④ 角田 蛭, 内田慎哉, 鎌田敏郎, 岩崎俊樹: 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, 平成 23 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, 2011.6.12, 関西大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権] (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鎌田 敏郎 (KAMADA TOSHIRO)  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 10224651

### (2) 研究分担者

内田 慎哉 (UCHIDA SHINYA)

佐賀大学・大学院工学系研究科・助教  
研究者番号：70543461