

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14291

研究課題名(和文) かぶりコンクリート品質の非破壊評価への電磁パルス非接触衝撃弾性波法の適用

研究課題名(英文) Non-destructive Evaluation for Quality of Concrete Cover by Non-Contact Magnetic Impact Elastic Wave Method

研究代表者

鎌田 敏郎 (KAMADA, Toshiro)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：10224651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、鉄筋コンクリート構造物におけるかぶり部分のコンクリートが、硬化コンクリートおよびフレッシュコンクリートの状態の両方に対して、コンクリート表面に最も近い内部鉄筋を電磁パルス法により加振させ、得られた弾性波の特性から、かぶりコンクリート品質を把握する手法について検討した。その結果、硬化コンクリートにおいて、計測される弾性波の速度および周波数スペクトルの高周波成分に着目することで、粗骨材体積濃度などのコンクリートの配合の違いを評価できる可能性が示された。また、フレッシュコンクリート中を伝搬する弾性波を非接触型振動センサで計測できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to evaluate the quality of cover of reinforced concrete, magnetic impacting method was applied to two types of concrete specimen; one is hardened concrete and another is fresh concrete. As a result, a volume of coarse aggregate in hardened concrete per unit volume could be evaluated by focusing on difference of velocity and frequency spectrum of elastic wave. Furthermore, it was confirmed that elastic wave propagated in fresh concrete can be measured with non-contact sensors.

研究分野：工学

キーワード：コンクリート 非破壊試験 衝撃弾性波法 電磁パルス法

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート構造物の調査においては、かぶりコンクリート部分の品質を適確に評価することが重要である。しかもその方法は、構造物に対して極力非破壊であることが望ましい。たとえば、かぶりコンクリートの密実性、すなわち物質透過抵抗性は鉄筋の腐食抑制に極めて重要な役割を果たすことから、かぶりコンクリートの品質評価は構造物の耐久性を把握する上では非常に重要である。かぶりコンクリート品質の評価方法としては、コア採取による中性化深さおよび塩化物イオン含有量、小径ドリルの削孔粉による中性化深さ・塩化物イオン含有量調査などがあるが、これらはいずれも破壊検査である。また、非破壊による方法としてはテストハンマー法があるが、得られる情報は、ごく表層部分の硬さの程度に過ぎず、かぶり部分の品質を適確に評価しているとは言い難い。さらに、構造物表層部の超音波伝播速度を計測する方法もあるが、構造物表面で2個の探触子を併置して測る方法では、コンクリート表面からの超音波の伝播深さが明確でなく、かぶり部分全体の物性を適確に評価できる保証がない。これらの事実を示されるとおり、かぶり部分を非破壊で適確に評価する手法は未だ確立されていないのが現状である。

したがって、これを可能とする新しい非破壊試験技術が開発されれば、コンクリート構造物の長寿命化を実現する上で、大きなブレークスルーとなりえる。しかも、かぶりコンクリートの品質を、硬化コンクリートレベルでの調査のみならず施工中のフレッシュな状態でも評価できれば、コンクリートの品質確認を任意の時点で行えることとなり、性能照査型の構造物設計体系においても強力なツールとしてその役割が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、コンクリート表面に最も近い内部鉄筋を電磁パルスにより加振させ、これによって発生する弾性波を、非接触型振動センサによりコンクリート表面で捉えることにより、受振された弾性波の特性から、かぶりコンクリート品質を完全非破壊で評価することが可能となる新しい手法について検討する。この方法では、鉄筋からコンクリート表面に向けてかぶりコンクリート中を伝播してくる弾性波をダイレクトに受振できることから、得られた弾性波の特性を解析することで、かぶりコンクリート全体の品質に関わる情報を抽出できる可能性が高い。また、非接触型振動センサを用いることで、コンクリート表面と振動センサとの接触状況の影響を排除することが可能となり、これによって、コンクリートの状態が硬化後の場合のみならずフレッシュな段階においても適用できる点が本手法の特徴と言える。

この手法によれば、たとえば、かぶりコンクリートの密実性が大きい場合は、密実性が

小さい場合と比較して、弾性波伝播速度は大きくなるものと考えられる。したがって、伝播速度を指標として用いれば、フレッシュおよび硬化のいずれの状態でも、かぶり部分の品質評価が可能となる。また、たとえば、フレッシュコンクリートでは、コンクリートの凝結・硬化に伴う伝播速度や周波数の変化をモニタリングすることもでき、かぶりコンクリート部分の状態管理の場面でも本手法を活用できる可能性がある。このように、コンクリート表面で受振されたそれぞれの弾性波伝播特性（伝播速度、振幅、周波数）をうまく利用、あるいは併用することによりかぶりコンクリートの品質を適切に評価できるものと考えられる。

3. 研究の方法

コンクリート中に埋められていない鉄筋を電磁パルスにより振動させた場合の鉄筋の振動挙動に関する検討

電磁パルス発生装置を用いて鉄筋に振動を与え、鉄筋に AE センサおよび加速度センサを直接貼り付けて、その振動特性を評価する。センサにより受振した弾性波は、大阪大学保有の弾性波解析システムにより記録し解析を行う。

コンクリート中に埋め込まれた鉄筋を電磁パルスにより振動させた場合の鉄筋の振動挙動に関する検討

鉄筋コンクリート部材において電磁パルスによる内部鉄筋の振動を弾性波として受信するシステムについて検討する。基本的には、コンクリート表面に AE センサあるいは加速度センサを貼り付け、内部鉄筋の振動により生じた弾性波を受振し、得られた波形の特性と内部鉄筋の振動特性との対応関係を求める。なお、鉄筋の振動特性を把握することを目的に、鉄筋の端部にも振動センサを設置する。

かぶり部分が硬化コンクリートの場合における品質評価手法の検討

図1に示す供試体を準備する。コンクリート表面から電磁パルスにより内部鉄筋を振動させ、振動によって生じた弾性波をコンクリート表面において非接触型振動センサで捉える。

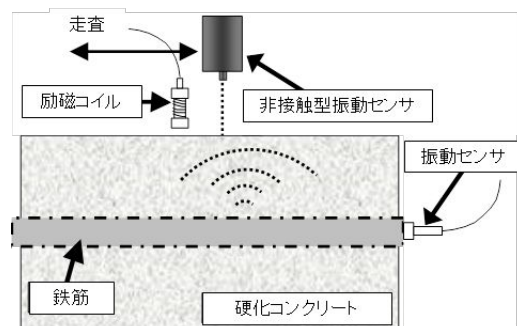


図1 硬化コンクリート試験体

ここでは、かぶりコンクリートの水セメント比や含水率あるいは劣化状況などによって振動センサで捉える波の伝播特性（伝播速度、振幅、周波数）も変化すると予測される。したがって、硬化コンクリートの品質を的確に評価する手法を構築するため、以下の項目について詳細に検討する。

- ・ 電磁パルスのパルス幅と受振する波の物理量との関係
- ・ センサの複数配置での伝播速度、振幅、周波数を併用した総合評価による品質評価

かぶり部分がフレッシュコンクリートの場合における品質評価手法の検討

図2に示す試験体を準備する。コンクリート表面から電磁パルスにより内部鉄筋を振動させ、振動によって生じた弾性波をコンクリート表面において非接触型振動センサで捉える。

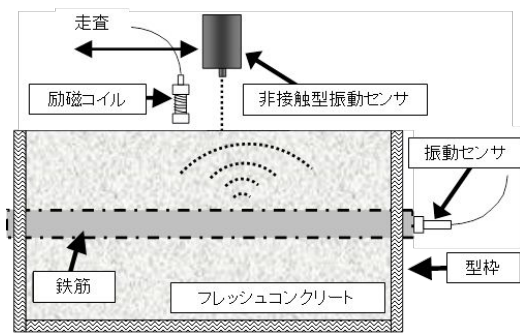


図2 フレッシュコンクリート試験体

ここでは、コンクリートの硬化が進行することにより、振動センサで捉える波の伝播特性（伝播速度、振幅、周波数）も時々刻々に変化すると予測される。したがって、フレッシュコンクリートの品質を的確に評価する手法を構築するため、以下の項目について詳細に検討する。

- ・ 鉄筋での振動挙動とコンクリート表面での波動特性の経時変化の比較
- ・ 弾性波伝播速度計測手法の検討
- ・ フレッシュコンクリートが硬化する過程における伝播特性値である速度、振幅および周波数それぞれの感度の確認

4. 研究成果

コンクリート中に埋められていない鉄筋の振動特性の把握

長さ 1500mm の鉄筋を木製の台で固定したものを試験体とし、励磁コイルと鉄筋間の距離（かぶり）および鉄筋径が振動特性に及ぼす影響について検討した。励磁コイルはリング型および凹字型の2種類を使用し、弾性波の受信方法については AE センサおよび加速度センサを鉄筋に直接貼り付けての計測と、レーザードップラー振動計での非接触計測を行った。その結果、かぶりを 30、50、70mm と変化させた場合および鉄筋径を D16、D19、D29 と変化させた場合の鉄筋の振動の最大振

幅値および波形エネルギーの値の目安を得た。

次に、同試験体に対し、電磁パルス装置の入力条件を変化させた場合の鉄筋の振動挙動を計測した。パラメータは電磁パルス装置のコイルの巻き数、電源電圧、コンデンサ容量とした。その結果、コンデンサ容量およびコイルの巻き数を変化させることで、電磁的作用による鉄筋の吸引力の大きさおよびパルス幅を制御できることが明らかとなった。

コンクリート中に埋め込まれた鉄筋を電磁パルスにより振動させた場合の鉄筋の振動挙動に関する検討

D16の鉄筋をかぶり 30mm の位置に埋設したコンクリート（幅 400mm × 長さ 400mm × 高さ 150mm）の試験体に対し、電磁パルス法の入力条件の設定によりコントロールした鉄筋の振動がコンクリートに入力される弾性波の特性に与える影響について検討した。その結果、入力するパルスの幅を大きくすることで、コンクリート表面に伝播する弾性波の周波数は 0 ~ 2kHz の成分が大きくなることを確認した。

かぶり部分が硬化コンクリートの場合における品質評価手法の検討

図3に示すように、D16 の鉄筋をかぶり 30mm の位置に埋設したコンクリート（幅 400mm × 長さ 400mm × 高さ 100mm）の試験体を作製し、電磁パルス法により得られるコンクリート表面での振動特性について検討した。励磁コイルはリング型および凹字型の2種類を使用し、弾性波の受信方法には、鉄筋直上から 50mm 間隔で AE センサを 4 つ配置し、コンクリート表面での弾性波計測を行った。その結果、計測された弾性波の速度および周波数スペクトルの高周波成分（図4参照）に着目することで、粗骨材体積濃度などのコンクリートの配合の違いを評価できる可能性が示唆された。



図3 硬化コンクリート試験体計測概要

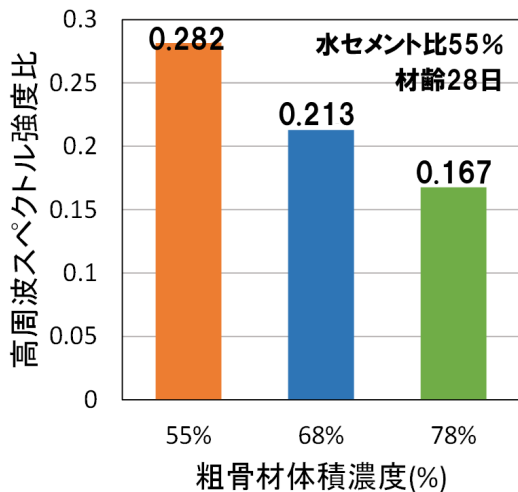


図4 粗骨材体積濃度と高周波スペクトル強度比の関係

かぶり部分がフレッシュコンクリートの場合における品質評価手法の検討

図5に示すように、D16の鉄筋をかぶり30mmの位置に埋設したコンクリート(幅500mm×長さ400mm×高さ150mm)の試験体を打設し、電磁パルス法により入力した弾性波をフレッシュコンクリート表面(非接触型振動センサ:LDV)および鉄筋の端部(振動センサ)で計測した。セメントは早強セメントを使用し、計測は打設後1時間後から24時間後まで30分間隔で行った。

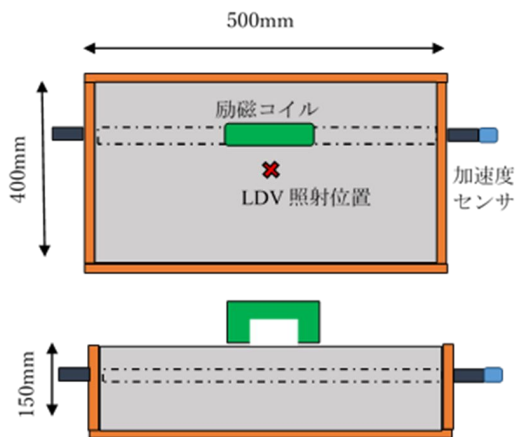


図1 供試体概要

図5 フレッシュコンクリート試験体計測概要

その結果、どちらの振動センサでも時間経過とともに振動の波形エネルギーが小さくなることが確認された。また、コンクリート硬化初期における測定結果のばらつきは見られるものの、フレッシュコンクリート中を伝播する弾性波を非接触型振動センサで計測できることを確認した。

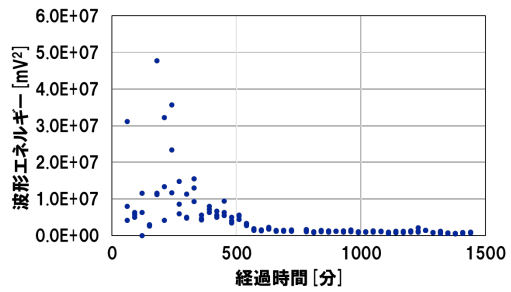


図6 加速度センサ計測結果

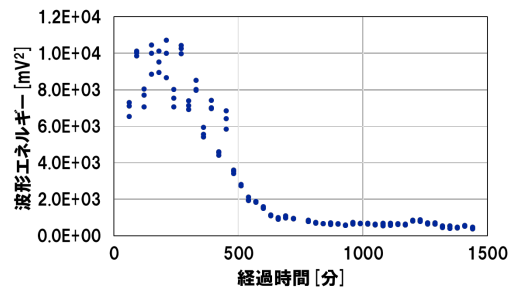


図7 LDV センサ計測結果

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 1 件)

野崎峻, 内田慎哉, 伊藤始: 電磁パルス法による多重反射の周波数特性を利用した弾性波伝搬速度の測定とコンクリートの圧縮強度評価への適用, 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18巻, 2018 (投稿中)

〔学会発表〕(計 2 件)

東賢明, 鎌田敏郎, 寺澤広基, 服部晋一: 電磁パルス法を用いたかぶりコンクリートの品質評価における粗骨材体積濃度の影響, 平成29年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2017年, 大阪工業大学大宮キャンパス

東賢明, 鎌田敏郎, 寺澤広基, 服部晋一: 電磁パルス法によるかぶりコンクリートの品質評価における粗骨材体積濃度の影響, 平成29年度全国大会土木学会第72回年次学術講演会, 2017年, 九州大学伊都キャンパス

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

寺澤 広基 (TERASAWA, Koki)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 50750246

内田 慎哉 (UCHIDA, Shinya)
立命館大学・理工学部・任期制講師
研究者番号: 70543461