



Title	衝撃による弾性波の特性に着目したPCグラウト充填状況の非破壊評価手法に関する研究
Author(s)	服部, 晋一
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/55946
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名(服部晋一)	
論文題名	衝撃による弾性波の特性に着目したPCグラウト充填状況の非破壊評価手法に関する研究
論文内容の要旨	
<p>プレストレストコンクリート(PC)構造は、長期耐久性が求められる橋梁などで多く適用され、現在、5万橋を超えるPC橋梁(橋長15m以上)が供用中である。PC構造では、PC鋼材により予めコンクリート部分にプレストレスを与え、PC鋼材を腐食から保護するためシース内部にグラウトを注入して一体化することで、コンクリート部材としての耐久性を高めている。しかし、近年、こうしたポストテンション方式のPC構造において、グラウトの充填不足箇所への浸水等によりPC鋼材が腐食し、PC鋼材の破断による突出等の事例が顕在化している。シース内部のグラウト充填不良は、いわゆる橋梁の目視調査では把握が困難であり、これを非破壊で効率的に評価する手法の確立が求められている。これに対して、弾性波に基づく評価法として衝撃弾性波法があるが、打撃に起因する表面波がグラウト未充填部からの反射波に重畠することが原因で、埋設深さの大きな小口径のシースにおいてはグラウト未充填部の検出が困難となることが大きな課題となっていた。</p> <p>本研究では上述の課題を解決するため、弾性波の特性を制御可能な機械的、磁気的手段により弾性波を適確に入力するとともに、評価に必要な信号を雑音から分離する信号処理を新たに導入することによって、埋設深さの大きな小口径のシースでのグラウト充填不良を検出できる非破壊評価手法を提案することを目的とした。本論文は以下の8章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景、目的、論文の構成を述べるとともに、本研究の位置付けを示した。</p> <p>第2章では、PCグラウト充填評価研究の経緯と現状における課題を明確にした。また、コンクリート表面において衝撃を機械的に入力する方法(機械的入力方法)と、磁場の作用を利用してシースに衝撃を入力する方法(磁気的入力方法)の、それぞれの長所・短所および課題について明らかにした。</p> <p>第3章では、機械的入力方法において、衝撃により生じる表面波がノイズとして及ぼす影響を低減させることを目的として、適応型音響信号処理を適用し、その有効性を確認するための解析的検討を行った。具体的には、グラウト充填、および未充填状況のシースが埋設されたPC部材を音響伝達系としてモデル化し、衝撃により発生する弾性波の伝播挙動を音響伝達関数により定式化した。特に本研究では、グラウト未充填シース表面で反射する弾性波を効率的に検出するため、グラウト充填のモデルで得られる表面波を参照信号として、グラウト未充填モデルにおける表面波を適応的に相殺するノイズキャンセル処理を新たに導入した。また、コンクリート表面における複数のセンサで受信した反射波の波形エネルギーを定義して、この大きさを量化した評価指標として反射強さRを導入し、シース直径およびシース埋設深さやセンサ設置位置の違いが反射強さRに与える影響を明らかにした。</p> <p>第4章では、第3章で得られた検討結果を実験的に検証した。まず、一定の速度で鋼球をコンクリート表面に衝突させることができ電気的に制御可能な衝撃入力装置を試作した。これを用いて、グラウト未充填部を模擬した供試体において実験を行い、反射強さRによりグラウト未充填部が適確に検出できることを確認した。また、鋼球径の違い、シース埋設深さの違いが反射強さRに与える影響を評価し、衝撃入力条件と検出可能なシース直径およびシース埋設深さの範囲との関係を明確にした。一方、供用中の橋梁を対象に測定を行い、本研究における提案手法の現場適用性を明らかにした。</p> <p>第5章では、磁気的入力方法において励起された磁場とシースに作用する衝撃力との関係を明らかにすることを目的として理論的、解析的検討を行った。まず、励磁コイルの磁化特性から決まるインダクタンスが励磁電流の波形に及ぼす影響を明らかにした。次に、励磁コイルにより励起される動磁場の過渡応答解析を行い、コイルにおける導線の巻き付け位置、シース軸方向に対する励磁コイルの向きなどの違いがシースの振動特性に及ぼす影響について述べた。</p> <p>第6章では、第5章で得られた成果に基づき、磁気的入力方法に関する実験的検証を行った。ここでは、励磁コイル磁化時のヒステリシス特性の違いにより励磁電流の波形の立ち上がりが変化することで、シースに作用する衝撃力の振幅値に大きな影響が生じることを明らかにした。さらに、これらの結果に基いて励磁コイルを試作し、これを用いて供試体実験を行い、グラウト未充填部が精度良く検出可能であることを確認した。</p>	

第7章では、機械的入力、および磁気的入力の特性の差異を明確にする目的で、観察孔によりシースの振動を直接観測できる供試体を用い、入力方法の違いがシースに作用する衝撃力の範囲、シースの振動特性に及ぼす影響について明らかにした。また、グラウト未充填を検出するためにSN比を高める観点からは、磁気的入力方法が機械的入力方法に対して優位性を示すことを述べた。次に、これらの知見が、対象部材の条件に応じた入力位置と受信位置の組み合わせを選定する上で、極めて有効であることを明らかにした。さらに、実構造物への適用を考慮し、本手法によるPCグラウト充填評価のフローを提案した。

第8章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の課題を提示し、本研究の結論とした。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (服 部 晋 一)										
	(職) 氏 名									
論文審査担当者	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">主 査</td><td style="width: 15%;">教授</td><td>鎌田 敏郎</td></tr> <tr> <td>副 査</td><td>教授</td><td>奈良 敬</td></tr> <tr> <td>副 査</td><td>教授</td><td>常田 賢一</td></tr> </table>	主 査	教授	鎌田 敏郎	副 査	教授	奈良 敬	副 査	教授	常田 賢一
主 査	教授	鎌田 敏郎								
副 査	教授	奈良 敬								
副 査	教授	常田 賢一								

論文審査の結果の要旨

プレストレストコンクリート(PC)構造は、長期耐久性が求められる橋梁などで多く適用され、現在、5万橋を超えるPC橋梁(橋長15m以上)が供用中である。PC構造では、PC鋼材により予めコンクリート部分にプレストレスを与え、PC鋼材を腐食から保護するためシース内部にグラウトを注入して一体化することで、コンクリート部材としての耐久性を高めている。しかし、近年、こうしたポストテンション方式のPC構造において、グラウトの充填不足箇所への浸水等によりPC鋼材が腐食し、PC鋼材の破断による突出等の事例が顕在化している。シース内部のグラウト充填不良は、いわゆる橋梁の目視調査では把握が困難であり、これを非破壊で効率的に評価する手法の確立が求められている。これに対して、弾性波に基づく評価法として衝撃弾性波法があるが、打撃に起因する表面波がグラウト未充填部からの反射波に重畠することが原因で、埋設深さの大きな小口径のシースにおいてはグラウト未充填部の検出が困難となることが大きな課題となっていた。

本研究では上述の課題を解決するため、弾性波の特性を制御可能な機械的、磁気的手段により弾性波を適確に入力するとともに、評価に必要な信号を雑音から分離する信号処理を新たに導入することによって、埋設深さの大きな小口径のシースでのグラウト充填不良を検出できる非破壊評価手法を提案することを目的としている。本論文は以下の8章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的、論文の構成を述べるとともに、本研究の位置付けを示している。

第2章では、PCグラウト充填評価研究の経緯と現状における課題を明確にしている。また、コンクリート表面において衝撃を機械的に入力する方法(機械的入力方法)と、磁場の作用を利用してシースに衝撃を入力する方法(磁気的入力方法)の、それぞれの長所・短所および課題について明らかにしている。

第3章では、機械的入力方法において、衝撃により生じる表面波がノイズとして及ぼす影響を低減させることを目的として、適応型音響信号処理を適用し、その有効性を確認するための解析的検討を行っている。具体的には、グラウト充填、および未充填状況のシースが埋設されたPC部材を音響伝達系としてモデル化し、衝撃により発生する弾性波の伝播挙動を音響伝達関数により定式化している。特に本研究では、グラウト未充填シース表面で反射する弾性波を効率的に検出するため、グラウト充填のモデルで得られる表面波を参照信号として、グラウト未充填モデルにおける表面波を適応的に相殺するノイズキャンセル処理を新たに導入している。また、コンクリート表面における複数のセンサで受信した反射波の波形エネルギーを定義して、この大きさを量化した評価指標として反射強さ R を導入し、シース直径およびシース埋設深さやセンサ設置位置の違いが反射強さ R に与える影響を明らかにしている。

第4章では、第3章で得られた検討結果を実験的に検証している。まず、一定の速度で鋼球をコンクリート表面に衝突させることが電気的に制御可能な衝撃入力装置を試作している。これを用いて、グラウト未充填部を模擬した供試体において実験を行い、反射強さ R によりグラウト未充填部が適確に検出できることを確認している。また、鋼球径の違い、シース埋設深さの違いが反射強さ R に与える影響を評価し、衝撃入力条件と検出可能なシース直径およびシース埋設深さの範囲との関係を明確にしている。一方、供用中の橋梁を対象に測定を行い、本研究における提案手

法の現場適用性を明らかにしている。

第 5 章では、磁気的入力方法において、励起された磁場とシースに作用する衝撃力との関係を明らかにすることを目的として理論的、解析的検討を行っている。まず、励磁コイルの磁化特性から決まるインダクタンスが励磁電流の波形に及ぼす影響を明らかにしている。次に、励磁コイルにより励起される動磁場の過渡応答解析を行い、コイルにおける導線の巻き付け位置、シース軸方向に対する励磁コイルの向きなどの違いがシースの振動特性に及ぼす影響について述べている。

第 6 章では、第 5 章で得られた成果に基づき、磁気的入力方法に関する実験的検証を行っている。ここでは、励磁コイル磁化時のヒステリシス特性の違いにより励磁電流の波形の立ち上がりが変化することで、シースに作用する衝撃力の振幅値に大きな影響が生じることを明らかにしている。さらに、これらの結果に基いて励磁コイルを試作し、これを用いて供試体実験を行い、グラウト未充填部が精度良く検出可能であることを確認している。

第 7 章では、機械的入力、および磁気的入力の特性の差異を明確にする目的で、観察孔によりシースの振動を直接観測できる供試体を用い、入力方法の違いがシースに作用する衝撃力の範囲、シースの振動特性に及ぼす影響について明らかにしている。また、グラウト未充填を検出するために SN 比を高める観点からは、磁気的入力方法が機械的入力方法に対して優位性を示すことを述べている。次に、これらの知見が、対象部材の条件に応じた入力位置と受信位置の組み合わせを選定する上で、極めて有効であることを明らかにしている。さらに、実構造物への適用を考慮し、本手法による PC グラウト充填評価のフローを提案している。

第 8 章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の課題を提示し、本研究の結論としている。

以上のように、本論文は、弾性波の特性を制御可能な機械的、磁気的手段により衝撃を入力し、効率的に弾性波を発生させるとともに、発生した弾性波の特性によりグラウトの未充填部を精度高く検出するための方法論を明確にし、埋設深さの大きな小口径のシースにおいてグラウト充填不良を検出できる非破壊評価手法を提案しており、橋梁等 PC 構造物の評価技術の高度化に資するものであると評価できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。

最終試験の結果の要旨及び担当者

氏名 (服部晋一)	
	職名 氏名
最終試験担当者	主査 教授 鎌田 敏郎
	副査 教授 奈良 敬
	副査 教授 常田 賢一
最終試験の結果の要旨	
<p>本学学位規程第10条の規定により、学位申請者に対して学位論文を中心とし、論文内容及びこれに関連のある科目について試問を行い、審査委員全員の協議の結果、平成28年2月2日合格と判定した。</p>	