The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	弾性波の伝播特性に着目したPCグラウト充填評価手法の高度化に関する研究
Author(s)	山下, 健太郎
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/88073
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　山下　健太郎　）	
論文題名	弾性波の伝播特性に着目したPCグラウト充填評価手法の高度化に関する研究

論文内容の要旨

現在,我が国では，約77,000橋のプレストレストコンクリート（PC）橋梁（橋長15mを超えるもの）が供用されており，多くは建設後30年を経過し，それらの長寿命化のための効果的な維持管理方策が模索されている。こうした背景のもと，特に，PC鋼材の保護や鋼材とコンクリートとの一体性を高める目的でシース内部に充填されるグラウトの施工不良により，水や塩分等の劣化因子が侵入することでPC鋼材が腐食し，鋼材の破断や落橋に至る事例が国内外で顕在化している。このため，PC橋梁の点検においては，シース内部のグラウトの充填不良を適確に把握することが不可欠であり，これに適用される各種の非破壊試験手法が開発されている。しかしながら，いずれの手法も，構造物の条件によっては適用範囲に制約があり，また，測定結果の解析および評価に高度な技量を要する場合があるなど，実用面では未だ多くの課題を残しているのが現状である。

そこで本研究では，衝撃により弾性波を入力する衝撃弾性波法に着目し，従来法では適用が難しい，断面形状が板状でない部材に配置されたシースや，構造物表面から深さ方向に多段配置されたシースにおけるグラウト充填状況を評価可能な手法への高度化を目指した検討を行った。具体的には，弾性波の機械的，あるいは電磁的入力による測定方法に基づく新たな評価指標を導入することにより，グラウト充填不良を把握する手法の開発を行った。本論文は以下の7章から構成されている。

第1章は序論であり，本研究の背景や目的，論文の構成を記述した。

第2章では，我が国におけるPC橋梁の維持管理の現状や課題について，特に，非破壊試験技術に対するニーズに焦点を当てつつ整理を行った。また，衝撃弾性波法における機械的入力，および電磁的入力による測定方法の実用上の利点や問題点について分析し，課題解決のために必要なアプローチに関する考察を加えた。

第3章では，従来法におけるノイズとしての表面波の影響を除去する手段として，一定時間単一の周波数の波が継続する，いわゆる疑似的なトーンバースト波を入力することにより，受信波形の位相がグラウト充填不良のシースからの反射波によって変化することに着目した評価方法について検討した。簡易モデルでの数値解析や実大コンクリート供試体を用いた検討の結果，位相の単位時間当たりの変化に相当する指標を適用することにより，グラウト充填不良を検知することが可能であることを明らかにした。

第4章では，パルス状の弾性波を機械的に入力し，入力点から対称・等距離となる位置に設置した受信点での受信波形の差分に着目した評価方法の検討を行った。この手法では，2つの受信点における測定波形の差分を取ることにより表面波の影響が除去されるとともに，従来法と比較して，反射波の検出性能が向上することが確認できた。また，供試体実験において，シースと直交方向に掃引測定を行った場合の差分波形の振幅の変化に着目することが，グラウト充填不良の評価に有効であることが検証された。

第5章では，電磁的入力方法において励起されるPC鋼材の振動や受信される波形の特性について検討を行い，グラウト充填不良がある場合，励起される振動の周波数が低下すること，また，複数の振動系で不規則に振動が発生するため，複雑な波形が受信される可能性を明らかにした。これを基に，受信波の振幅情報を用いた従来法での評価指標に加え，初期の位相の変化から求めた瞬時周波数や，受信波形の複雑性を評価可能な赤池情報量基準（AIC）といった新たな評価指標を導入し，その有効性を明らかにした。また，実大コンクリート供試体を用いた検討により，シースが2段に配置された断面への本評価指標の適用性が確認できた。

第6章では，本研究で検討した測定手法や評価指標を含めて，PCグラウト充填評価のフローを作成した。また，掃引測定によって得られた差分波形をコンター表示することにより，桁断面における充填不良シースの有無を視覚化する手法を構築した。さらに，電磁的入力方法により得られる複数の評価指標値と，2段に配置された状態でのシース内のグラウト充填率との関係を多変量解析により求めることにより，2段配置されたシース内の充填率が判別可能であることが明らかとなった。

第7章では，本研究で得た成果を総括し，今後の課題や発展性についても記述して本研究の結論とした。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　山下　健太郎　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教授	鎌田　敏郎
	副 査　教授	乾　徹
	副 査　准教授	堤　成一郎

論文審査の結果の要旨

現在,我が国では，約 77,000 橋のプレストレストコンクリート（PC）橋梁（橋長 15mを超えるもの）が供用されており，多くは建設後 30 年を経過し，それらの長寿命化のための効果的な維持管理方策が模索されている。こうした背景のもと，特に，PC 鋼材の保護や鋼材とコンクリートとの一体性を高める目的でシース内部に充填されるグラウトの施工不良により，水や塩分等の劣化因子が侵入することで PC 鋼材が腐食し，鋼材の破断や落橋に至る事例が国内外で顕在化している。このため，PC 橋梁の点検においては，シース内部のグラウトの充填不良を適確に把握することが不可欠であり，これに適用される各種の非破壊試験手法が開発されている。しかしながら，いずれの手法も，構造物の条件によっては適用範囲に制約があり，また，測定結果の解析および評価に高度な技量を要する場合があるなど，実用面では未だ多くの課題を残しているのが現状である。

そこで本研究では，衝撃により弾性波を入力する衝撃弾性波法に着目し，従来法では適用が難しい，断面形状が板状でない部材に配置されたシースや，構造物表面から深さ方向に多段配置されたシースにおけるグラウト充填状況を評価可能な手法への高度化を目指した検討を行っている。具体的には，弾性波の機械的，あるいは電磁的入力による測定方法を提案した上で，その受信波形の評価に新たな指標を導入することにより，グラウト充填不良を把握する手法の研究を行っている。本論文は以下の 7 章から構成されている。

第 1 章は序論であり，本研究の背景や目的，論文の構成を示している。

第 2 章では，我が国における PC 橋梁の維持管理の現状や課題について，特に，非破壊試験技術に対するニーズに焦点を当てつつ整理を行っている。また，衝撃弾性波法における機械的入力，および電磁的入力による測定方法の実用上の利点や問題点について分析し，課題解決のために必要なアプローチに関する考察を加えている。

第 3 章では，従来法におけるノイズとしての表面波の影響を除去する手段として，一定時間単一の周波数の波が継続する，いわゆる疑似的なトーンバースト波を入力することにより，受信波形の位相がグラウト充填不良のシースからの反射波によって変化することに着目した評価方法について検討している。簡易モデルでの数値解析や実大コンクリート供試体を用いた検討の結果，位相の単位時間当たりの変化に相当する指標を適用することにより，グラウト充填不良を検知することが可能であることを明らかにしている。

第 4 章では，パルス状の弾性波を機械的に入力し，入力点から対称・等距離となる位置に設置した受信点での受信波形の差分に着目した評価方法の検討を行っている。この手法では，2 つの受信点における測定波形の差分を計算することにより表面波の影響が除去されるとともに，従来法と比較して，反射波の検出性能が向上することを確認している。また，供試体実験において，シースと直交方向に掃引測定を行った場合の差分波形の振幅の変化に着目することが，グラウト充填不良の評価に有効であることを検証している。

第5章では，電磁的入力方法において励起されるPC鋼材の振動や受信される波形の特性について検討を行い，グラウト充填不良がある場合，励起される振動の周波数が低下すること，また，複数の振動系で不規則に振動が発生するため，複雑な波形が受信される可能性を明らかにしている。これを基に，受信波の振幅情報を用いた従来法での評価指標に加え，初期の位相の変化から求めた瞬時周波数や，受信波形の複雑性を評価可能な赤池情報量基準（AIC）といった新たな評価指標を導入し，その有効性を明らかにしている。また，実大コンクリート供試体を用いた検討により，シースが2段に配置された断面への本評価指標の適用性を確認している。

第6章では，本研究で検討した測定手法や評価指標を含めて，PCグラウト充填評価のフローを作成している。また，掃引測定によって得られた差分波形をコンター表示することにより，桁断面における充填不良シースの有無を視覚化する手法を構築している。さらに，電磁的入力方法により得られる複数の評価指標値と，2段に配置された状態でのシース内のグラウト充填率との関係を多変量解析により求めることにより，2段配置されたシース内の充填率が判別可能であることを明らかにしている。

第7章では，本研究で得た成果を総括し，今後の課題や発展性についても記述して本研究の結論としている。

以上のように，本論文では，機械的，電磁的手段による弾性波の入力方法や受信波形の評価手法に新たな手法，指標を導入することにより，従来の方法では適用が困難であった，断面形状が板状でない部材に配置されたシースや，構造物表面から深さ方向に多段配置されたシースにおけるグラウト充填状況を評価可能とする手法の提案を行っており，PCグラウト充填評価技術の高度化に資するものと評価できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。