



Title	解析を援用した弾性波法によるコンクリートの内部欠陥の非破壊評価手法に関する研究
Author(s)	李, 興洙
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/26179">https://doi.org/10.18910/26179</a>
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

〔題名〕 解析を援用した弾性波法によるコンクリートの内部欠陥の非破壊評価手法  
に関する研究

学位申請者 李 興洙

コンクリート構造物の維持管理においては、構造物の状態を適確に把握し、現状を踏まえた上で劣化予測を行い、適切な対策を講じることが重要である。構造物の現状把握のための点検では、コンクリートの品質に加えて、コンクリート内部のひび割れの状況や、空隙、あるいは内部鉄筋の損傷の状態など、構造物表面からの目視では把握が困難なコンクリートの内部欠陥を、非破壊で評価する手法の確立が求められている。コンクリートの内部欠陥の非破壊評価手法としては、弾性波や電磁波を用いる手法が研究されているが、このうち弾性波法は、構造物の点検において人体への健康上の影響がほとんどなく、計測が比較的簡便であることから現場適用性も高く、今後の発展に期待が寄せられている。一方で、実際の現場での計測においては、構造物の形状・寸法・材質等、測定対象物の条件の違いに適した計測条件を決定するためには、ある程度の試行錯誤が不可避であり、また、コンクリートの品質が構造物ごとにそれぞれ異なることから内部欠陥の検出限界等を事前に把握することが困難なケースもあり、解決すべき課題も残されている。特に、評価の対象とする内部欠陥に対して、評価に適したパラメータが、専門家の知識と経験により選択されている実態も、コンクリート分野での弾性波法の信頼性を高める上での障害となっている。

本研究では、上述の課題を解決するため、対象構造物での計測を実施する前にモデルでの解析を行い、コンクリート中での弾性波の伝搬挙動を把握した上で、予め、対象とする構造物および内部欠陥に応じた評価パラメータを選定し、評価に適した弾性波の入力や受信の条件を決定した後に計測に移行する形の、いわゆる解析を援用した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6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た。

第2章では、弾性波によりコンクリートの内部欠陥を非破壊で評価する手法の現状と課題を概説した。

第3章では、道路橋RC床版に発生する水平ひび割れを評価の対象とし、これを非破壊で検出する手法について検討した。具体的には、まず、実際の道路橋RC床版の内部における水平ひび割れ発生深さの範囲を踏まえて、コンクリート内部に水平ひび割れが生じた部材を想定したRC床版モデルを作成し、コンクリート表面での鋼球打撃を弾性波の入力条件とした衝撃応答解析を実施し、部材内部における弾性波の伝搬挙動を把握した。その結果、打撃面と水平ひび割れとの間で多重反射する波の周波数スペクトルに着目することにより、水平ひび割れが検出できることを明らかにした。また、上記の解析において、水平ひび割れの検出性能を高める上で最適な弾性波の周波数範囲、入力と受信の位置関係、および周波数分析方法の組み合わせを選定する方法についても検討した。さらに、これらの検討結果に基づいて、解析を援用した評価手法を構築し、その有効性を検証するため、実橋から切り出した道路橋RC床版に適用した。その結果、従来の手順に基づく弾性波法と比較して、解析を援用した評価手法により、より適確に水平ひび割れの検出が可能となることを明らかにした。

第4章では、鉄道橋PC桁を対象として、シーす内部のグラウト未充填部の検出方法について検討を行なった。ここでは、第3章と同じく衝撃応答解析に基づき、シーす内部のグラウトの充填率を変化させたモデルを用いて、部材内部での弾性波の伝搬状況を把握した。この結果より、シーす表面で衝撃力を与え、これにより生じる弾性波をコンクリート表面で受信し、得られた受信波形の最大振幅値に着目することによりグラウト未充填部が検出できる可能性を見出した。これらを踏まえて、部材表面近傍で励起させた電磁力によりコンクリート内部のシーすを非接触で加振させた場合に発生する弾性波を用いる手法（以下、電磁パルス法とする。）を考案し、この方法での実構造物における適用実験を行い、シーす内部のグラウト未充填部の検出を試みた。その結果、本手法によりグラウト未充填部を適確に評価できることが明らかとなり、電磁パルス法の有効性が示された。

第5章では、道路橋RC柱内部のフープ筋曲げ加工部に生じた鉄筋破断部の検出方法について検討を行なった。解析においては、鉄筋破断部を模擬したRC柱モデルを用い、鉄筋破断部の有無が弾性波挙動に与える影響を把握した。この結果より、前述の電磁パルス法によりフープ筋を加振した場合に生じる弾性波の伝搬時間、最大振幅値および周波数スペクトルに着目することで、コンクリート表面から鉄筋破断部を非破壊で検出することが可能であり、かつ、これ

ら複数の評価指標を併用することによって欠陥検出の確からしさを向上させることも可能であることを見出した。また、供試体実験においては、アルカリシリカ反応によりコンクリートにひび割れが生じた部材においても本手法が適用できる可能性を把握しており、本手法の実構造物への適用性を明らかにした。

第6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 ( 李 興 洙 )			
	(職)	氏	名
論文審査担当者	主 査	教 授	鎌田 敏郎
	副 査	教 授	常田 賢一
	副 査	教 授	奈良 敬
<b>論文審査の結果の要旨</b>			
<p>コンクリート構造物の維持管理においては、構造物の状態を適確に把握し、現状を踏まえた上で劣化予測を行い、適切な対策を講じることが重要である。構造物の現状把握のための点検では、コンクリートの品質に加えて、コンクリート内部のひび割れの状況や、空隙、あるいは内部鉄筋の損傷の状態など、構造物表面からの目視では把握が困難なコンクリートの内部欠陥を、非破壊で評価する手法の確立が求められている。コンクリートの内部欠陥の非破壊評価手法としては、弾性波や電磁波を用いる手法が研究されているが、このうち弾性波法は、構造物の点検において人体への健康上の影響がほとんどなく、計測が比較的簡便であることから現場適用性も高く、今後の発展に期待が寄せられている。一方で、実際の現場での計測においては、構造物の形状・寸法・材質等、測定対象物の条件の違いに適した計測条件を決定するためには、ある程度の試行錯誤が不可避であり、また、コンクリートの品質が構造物ごとにそれぞれ異なることから内部欠陥の検出限界等を事前に把握することが困難なケースもあり、解決すべき課題も残されている。特に、評価の対象とする内部欠陥に対して、評価に適したパラメータが、専門家の知識と経験により選択されている実態も、コンクリート分野での弾性波法の信頼性を高める上での障害となっている。</p> <p>本研究では、上述の課題を解決するため、対象構造物での計測を実施する前にモデルでの解析を行い、コンクリート中での弾性波の伝搬挙動を把握した上で、予め、対象とする構造物および内部欠陥に応じた評価パラメータを選定し、評価に適した弾性波の入力や受信の条件を決定した後に計測に移行する形の、いわゆる解析を援用した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6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ている。</p> <p>第2章では、弾性波によりコンクリートの内部欠陥を非破壊で評価する手法の現状と課題を概説している。</p> <p>第3章では、道路橋RC床版に発生する水平ひび割れを評価の対象とし、これを非破壊で検出する手法について検討している。具体的には、まず、実際の道路橋RC床版の内部における水平ひび割れ発生深さの範囲を踏まえて、コンクリート内部に水平ひび割れが生じた部材を想定したRC床版モデルを作成し、コンクリート表面での鋼球打撃を弾性波の入力条件とした衝撃応答解析を実施し、部材内部における弾性波の伝搬挙動を把握している。その結果、打撃面と水平ひび割れとの間で多重反射する波の周波数スペクトルに着目することにより、水平ひび割れが検出できることを明らかにしている。また、上記の解析において、水平ひび割れの検出性能を高める上で最適な弾性波の周波数範囲、入力と受信の位置関係、および周波数分析方法の組み合わせを選定する方法についても検討している。さらに、これらの検討結果に基づいて、解析を援用した評価手法を構築し、その有効性を検証するため、実橋から切り出した道路橋RC床版に適用している。その結果、従来の手順に基づく弾性波法と比較して、解析を援用した評価手法により、より適確に水平ひび割れの検出が可能となることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、鉄道橋PC桁を対象として、シーす内部のグラウト未充填部の検出方法について検討を行なっている。こ</p>			

ここでは、第3章と同じく衝撃応答解析に基づき、シース内部のグラウトの充填率を変化させたモデルを用いて、部材内部での弾性波の伝搬状況を把握している。この結果より、シース表面で衝撃力を与え、これにより生じる弾性波をコンクリート表面で受信し、得られた受信波形の最大振幅値に着目することによりグラウト未充填部が検出できる可能性を見出している。これらを踏まえて、部材表面近傍で励起させた電磁力によりコンクリート内部のシースを非接触で加振させた場合に発生する弾性波を用いる手法（以下、電磁パルス法とする。）を考案し、この方法での実構造物における適用実験を行い、シース内部のグラウト未充填部の検出を試みている。その結果、本手法によりグラウト未充填部を適確に評価できることが明らかとなり、電磁パルス法の有効性が示されている。

第5章では、道路橋RC柱内部のフープ筋曲げ加工部に生じた鉄筋破断部の検出方法について検討を行っている。解析においては、鉄筋破断部を模擬したRC柱モデルを用い、鉄筋破断部の有無が弾性波挙動に与える影響を把握している。この結果より、前述の電磁パルス法によりフープ筋を加振した場合に生じる弾性波の伝搬時間、最大振幅値および周波数スペクトルに着目することで、コンクリート表面から鉄筋破断部を非破壊で検出することが可能であり、かつ、これら複数の評価指標を併用することによって欠陥検出の確からしさを向上させることも可能であることを見出している。また、供試体実験においては、アルカリシリカ反応によりコンクリートにひび割れが生じた部材においても本手法が適用できる可能性を把握しており、本手法の実構造物への適用性を明らかにしている。

第6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、解析を援用することで、検出対象とする内部欠陥に応じた評価パラメータや計測に用いる弾性波の入力あるいは受信の条件を予め決定した上で非破壊評価を行う方法論を提案することにより従来からの弾性波法の課題を解決したものであり、今後のコンクリート構造物の点検技術の高度化に資するものであると評価される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。