

衝撃弾性波法による実物大PC桁のグラウト充填評価

(株)安部工業所 技術部 正会員 ○若山 勉
 (株)安部工業所 東京技術部 正会員 北園 英明
 岐阜大学工学部土木工学科 鎌田 敏郎
 岐阜大学大学院工学研究科 浅野 雅則

1. はじめに

既設 PC 構造物のグラウト充填評価手法として、衝撃弾性波法が有効であると考えられる¹⁾。衝撃弾性波法は、超音波法に比べ入力する弾性波のエネルギーが大きく波長も長いことから、コンクリート中における散乱や減衰の影響を受けにくいと、部材長の長い構造物に対して適していると考えられる。著者らは既に、全長 4m のスラブ供試体において衝撃弾性波法を適用し¹⁾、評価パラメータとして弾性波伝播速度に着目した検討を行い、その有効性を明らかにしている。しかしながら、この場合は弾性波の入力位置が PC 鋼棒であるため、実構造物を想定した場合、保護コンクリートの影響を検討しておく必要がある。また、実物規模における検討も、本手法の有効性を確認する上で必要と考えられる。

そこで本研究では、実構造物における弾性波伝播速度を用いた評価手法の適用性を明らかにすることを目的として、まず保護コンクリートを打設した供試体において実験を行い、保護コンクリートの有無が弾性波伝播速度に与える影響について検討を行った。一方で、グラウト、コンクリートおよび鋼材からなる 2 次元簡易モデルを用いた有限要素解析を行い、グラウトの有無が弾性波伝播挙動に与える影響について検討した。

そして最後に、全長 35m の実物大 PCT 桁に本評価手法を適用し、その有効性および可能性について検討を行った。

2. スラブ供試体実験

2.1 実験概要

スラブ供試体の鋼材両端面の露出部分に保護コンクリートを打設して、より実構造物に近い形状とした(図-1 参照)。ここで、スラブ供試体は、グラウト充填率の違いが評価パラメータに及ぼす影響を検討するため、グラウト充填率を 0%、25%、50%、75%、および 100% と変化させてある。また、シースにはコンジットシース $\phi 35$ を、PC 鋼材には B 種 1 号 $\phi 23$ を使用した。弾性波の入力位置および受信位置を図-2 に示す。弾性波の入力には、一定の衝撃を与えることができるパネポインタを用い、入力位置は、PC 鋼材延長上の保護コンクリート側面部分(AE センサ近傍)とした。弾性波の受信には AE センサを用い、受信装置にはデジタル AE 計測システムを、AE センサには 150kHz 共振型センサを用いた。

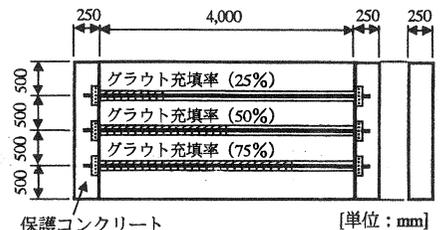


図-1 スラブ供試体

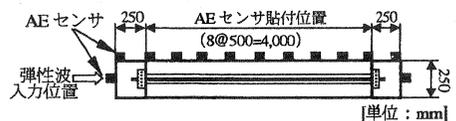


図-2 弾性波入力位置および受信位置

2.2 実験結果および考察

図-3に、保護コンクリート打設前および打設後の弾性波が伝播したみかけの距離-伝播時間の関係を示す。これによると、保護コンクリートの有無にかかわらず、グラウト充填率が高くなるに従って、伝播時間が大きくなる傾向を示した。また、みかけの伝播距離が長

くなるに従って、グラウト充填率の違いが明確になってきている。これは、入力された弾性波が、グラウトとPC鋼材が一体となった部材中をより長く伝播するほど、その影響が大きく現れることによるものと考えられる。また、保護コンクリート打設後の場合の伝播時間は、保護コンクリート打設前の場合の伝播時間よりも長くなっている。これは、保護コンクリートの有無によって、弾性波の入力箇所が異なり、これに伴って、供試体内部での弾性波の伝播形態に違いが生じたことによっているものと考えられる。また、衝撃の作用箇所の材質(鋼材およびコンクリート)が異なる場合は、衝撃の継続時間にも違いが生じ、これによって、入力波の周波数帯域が変化する影響も含まれているものと考えられる。

3. 簡易モデルによる弾性波伝播挙動の把握

3.1 解析概要

本解析では、鋼材にグラウトおよびコンクリートを挟んで重ね合わせた2次元簡易モデル(図-4参照)に衝撃荷重を与えることにより生じる変位の分布より、弾性波の伝播挙動を、有限要素法を用いて解析的に検討した。表-1に、解析に使用した主な構成材料の材料定数を示す。構成材料はすべて弾性体と仮定した。また、モデルは平面応力状態である。グラウトの有無が弾性波伝播挙動に及ぼす影響を調べるため、グラウト充填率を0%,50%(図-4の中央部分から左半分がグラウト充填部分)および100%と変化させた。鋼材端部に入力する衝撃荷重は、図-5に示すような波形に基づく節点荷重として与えた。

3.2 解析結果および考察

2次元簡易モデルによる弾性波の伝播挙動の解析結果を弾性波入力時から0.25msおよび0.75ms後について図-6に示す。
 i)のグラウト充填率が0%では、鋼材部分を伝播する波と、プレートを通じてコンクリート部に入力され、コンクリート部を伝播する波とがそれぞれ独立して存在する様子が伺える。このため、同一時間において、弾性波の伝播した先端部分までの距離は、その他のケースと比較した場合、もっぱら鋼材部分を伝播する波が存在するケースにおいて、最も大きくなっていることが分かる。
 ii)のグラウト充填率が50%では、入力された弾性波は左半分(グラウト充填部分)において、鋼材およびコンクリート部にてほぼ一体となって伝播している(0.25ms後)が、中央から右半分の領域では、グラウトによる拘束の影響がなくなるため、結果として鋼材部を選択的に伝わる波が確認されている(0.75ms後)。また、iii)のグラウト充填率100%では、弾性波は、鋼材、グラウトおよびコンクリート中を一様に伝播しており、他のケースでみられた各部材間での波頭の位置の違いは見られない。これにより、グラウトが存在することによって、モデル内部での弾

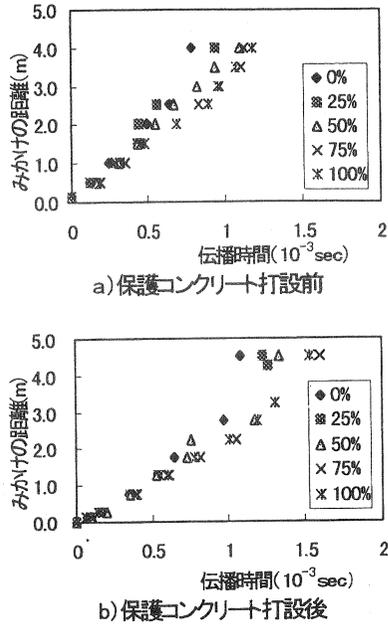


図-3 みかけの距離-伝播時間の関係

表-1 材料定数

構成材料	質量密度 (g/cm ³)	ポアソン比	ヤング率 (GPa)
コンクリート	2.329	0.2	31.0
グラウト	1.791	0.2	23.3
鋼材	7.896	0.3	203.3

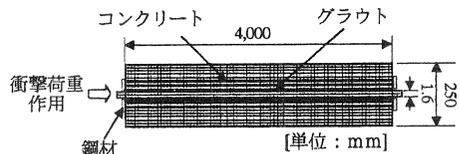


図-4 2次元簡易モデル

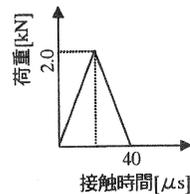


図-5 入力波

性波伝播挙動の違いが視覚的に明らかにされた。このモデルは2次元であることや、縦波伝播速度のみが仮定されていることなどから、実験対象とは異なる面があるものの、みかけの伝播速度に差異が生じるメカニズムについては、ある程度理解できたものと考えている。

4. 実物大 PCT 桁における実験

4.1 実験概要

図-7に実物大実験の供試体概要を示す。供試体は、1,500×1,950×35,000[mm]のT型断面であり、ケーブルはC1～C5の計5本(12s12.7 シース径φ 65)で、曲線状に配置されている。写真-1に、供試体の全景を示す。また、図-7において、点線はグラウト未充填部分を、また、実線はグラウト充填部分を示す。グラウト充填率の違いが弾性波伝播速度に及ぼす影響を検討するため、充填率を完全充填、部分充填(グラウト充填率 37%および 65%)および完全未充填の3つの異なるパターンを用いた。

写真-2に弾性波の入力位置を示す。弾性波の入力には、一定の衝撃を与えることができるパネポイントを用い(写真-3参照)、入力位置は、主桁端部の保護コンクリート中央部、PC鋼材端部、定着部近傍およびウェブ部分のコンクリート表面とした。受信装置には、PAC社製のAE計測システムを、AEセンサには150kHz共振型センサを用いた。センサの貼付けは、対象とするケーブル(C1～C5)ごとに行い、いずれの場合も、桁両端部(写真-2参照)にそれぞれ2ch、ウェブ部分のコンクリート表面(以下、「側面」とする:写真-4参照)において各ケーブルの配置に沿うように4chを設置した(図-8参照)。

4.2 実験結果および考察

グラウト充填率と弾性波伝播速度の関係を、保護コンクリート入力およびPC鋼材端部入力のそれぞれについて図-9に示す。なお、この伝播速度は桁の両端面に配置した受信センサにより求めた全長平均伝播速度である。これによると、保護コンクリート中央部およびPC鋼材端部を打撃した場合、グラウト充填率が増加するに従って、伝播速度が徐々に減少する傾向がみられた。これは、グラウト未充填の場合、入力された弾性波がPC鋼材中をダイレクトに伝播するのに対し、グラウトが充填されている場合は、グラウトとPC鋼材が一体となった部材中を伝播することにより伝播速度が遅くなるものと考えられる。この傾向は、スラブ供試体における結果¹⁾と一致している。次に、受信センサを桁両端部近傍の側面にそれぞれ配置した(図-8中の□)場合の全長平均伝播速度を図-10に示す。この図より、側面上で受信した場合でも、完全未充填と完全充填との違いは明確であった。しかしながら、側面で受信した場合の全長平均伝

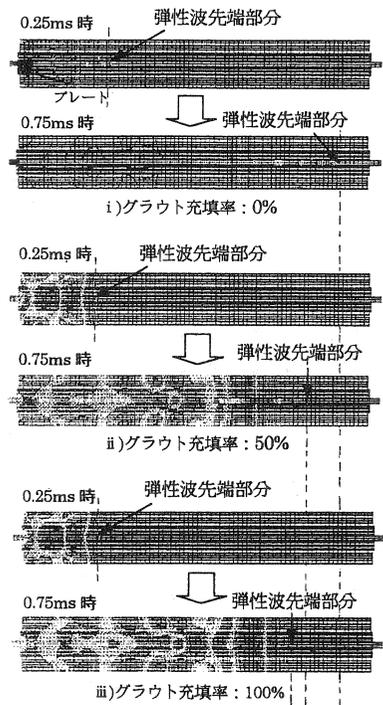


図-6 弾性波伝播挙動

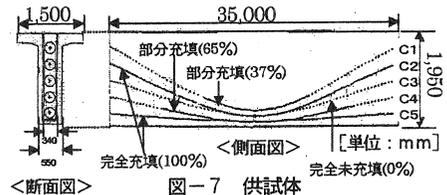


図-7 供試体

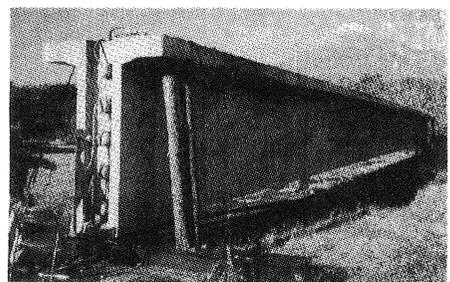
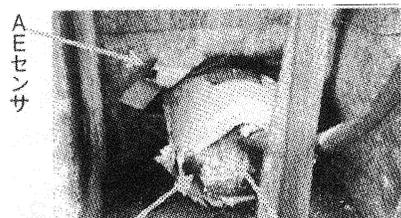


写真-1 実物大 PC 桁



PC鋼材 保護コンクリート

写真-2 弾性波入力位置

播速度では、部分充填の判別は難しい可能性が考えられる。

図-11に、桁端部および桁端部近傍の側面を打撃した後側面において受信した場合の、図-8における[区間1+区間2]および[区間4+区間5]での伝播速度の平均値(以下、「区間伝播速度」とする)を示す。なお、これらの区間においては、C1およびC3は完全未充填部分(0%),C2およびC5は完全充填部分(100%)とみなすことができる。これによると、(a)の定着部近傍および(b)の側面を打撃した場合共に、C1およびC3の伝播速度がC2およびC5の伝播速度より大きくなる傾向を示した。これより、側面受信の場合には、区間別伝播速度を用いることにより、区間別に完全充填あるいは完全未充填の判別を行うことが可能と考えられる。(a)および(b)のいずれの伝播速度においても、C3とC2およびC5との差は、C1とそれらの差よりも小さくなっている。これは、各ケーブルの間隔が供試体下端部にいくにつれて狭くなっている構造のため、近接するケーブルの影響を相互に受けている可能性が考えられる。したがって、本手法によるグラウト充填評価においては、ケーブル間隔の影響も考慮する必要があると考えられる。

5. まとめ

実験結果より、保護コンクリート打設後のスラブ供試体においても、弾性波伝播時間を用いることにより、グラウト充填率の違いが伝播時間の差となって現れることが明らかになった。また、解析において、グラウトの有無が、弾性波の伝播挙動に与える影響を視覚的に明らかにした。

桁長35mの実橋においても弾性波の受信が可能であることが確認できた。桁の両端部で受信が可能であれば、端部で弾性波を入力することにより、全長平均伝播速度を用いて、グラウト充填率が評価できる可能性が示された。また、桁側面部で受信を行う場合は、区間別伝播速度を用いることが有効であることが分かった。

謝辞: 今回の実験は(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会により「PC桁の非破壊検査の公開実験」用に製作され、(社)建設機械化研究所敷地内に保管してある試験体を用いて実施した。本実験実施に当たっては両団体関係者の協力を得たことをここに記すと共に謝辞を表すものである。

参考文献 1)北園英明,鎌田敏郎,横山博司,六郷恵哲:弾性波の伝播特性に基づいたPCグラウト充填評価手法に関する基礎的研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.22, No.1, pp367-372,2000

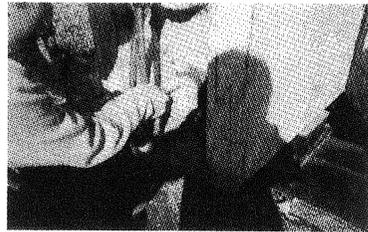


写真-3 打撃入力状況

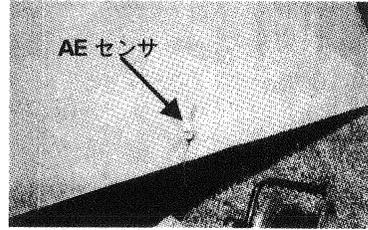


写真-4 AEセンサ貼付状況

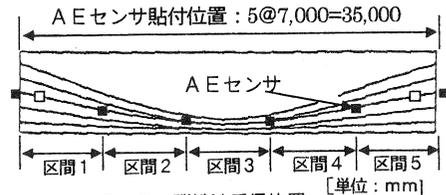


図-8 弾性波受信位置

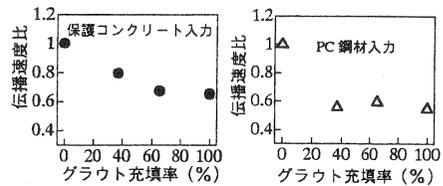


図-9 全長平均伝播速度(入力端部(受信端部))

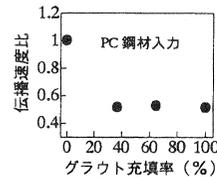


図-10 全長平均伝播速度(入力端部(受信側面))

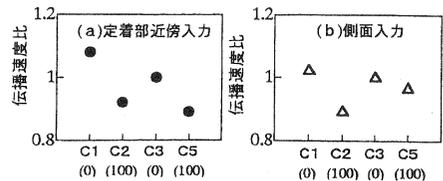


図-11 区間別伝播速度 (入力端部および側面受信側面)