

PC 建造物のメンテナンスにおける非破壊検査

鎌田 敏郎*

1. はじめに

コンクリート建造物のメンテナンスにおいては、まず、点検によって建造物の現状をできる限り適確に把握することが大切である。現在、点検といえば目視観察が一般的であるが、目視によって得られる情報には限界があり、必ずしも十分な診断が行えない場合も生じている。したがって今後は、とくに建造物の安全性や耐久性に深く関る重要な項目については、目視検査に加えて適切な非破壊検査を併用した評価が求められるようになるものと考えられる。(なお、コンクリート建造物のメンテナンスにおける非破壊検査の役割については、著者の既往の報告¹⁾でさらに詳しく述べてあるのでご参照頂きたい。)

PC 建造物のメンテナンスにおいても、点検において評価すべき基本的項目は、一般的な RC 建造物の場合となら大きく変わるところはない。すなわち、PC 建造物への非破壊検査の適用対象としては、たとえば、①コンクリートの品質評価、②コンクリート部分におけるひび割れ・空隙・剥離などの欠陥検出、③鋼材位置や腐食状況の評価、④シース内部のグラウト充填状況の評価、⑤ PC 鋼材破断の評価などが考えられる。このうち、一般的な RC 建造物と共通の①～③に対応する非破壊検査技術については他の解説図書^{2), 3)}に譲るとして、本稿では、PC 建造物特有の検査対象(上記のうち④および⑤)に限定し、これらに適用可能な非破壊検査法の種類とその原理、研究の現状、適用の事例、および今後の展望について解説する。

2. シース内部のグラウト充填状況の評価

2.1 概 要

ポストテンション方式の PC 建造物においては、グラウトは、シース内部に配置された PC 鋼材を腐食から保護する重要な役割をもっている。しかしながら、実建造物の調査においては、シース内でのグラウトの閉塞やグラウト忘れなどが原因と考えられるグラウト未充填箇所が見つかる

例が報告されており⁴⁾、グラウトの充填状況を削孔などによらず非破壊で評価する手法の確立が望まれてきた。グラウト充填状況の評価に用いる非破壊検査法の全体像については、すでに藤井・宮川⁴⁾により広範囲にわたって解説がなされている。この解説文では、主に、弾性波による方法と X 線法の可能性について紹介されているが、近年の研究動向を見ると弾性波法の適用に関するものがほとんどであるようである。これは、X 線法では、装置が大がかりであることに加えて安全管理の面でも面倒であることなど、実用面での障害が多いのも理由の一つではないかと考えられる。したがってここでは、今後の実用化の可能性を踏まえて、とくに最近精力的に研究が進められている弾性波を用いた手法について述べる。

弾性波法をシース内部のグラウト充填評価に適用する形態としては、弾性波を PC 鋼材軸方向に伝播させる場合(図-1)および PC 鋼材軸直角方向に伝播させる場合(図-2)などが考えられる。そこで、これら2つについてそれぞれ別個に解説を行う。

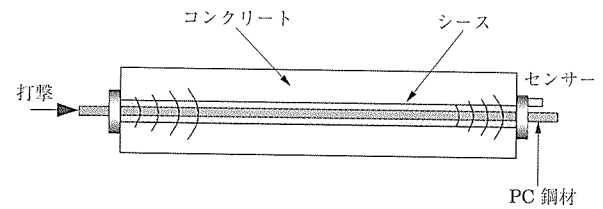


図-1 弾性波を PC 鋼材軸方向に伝播させる場合

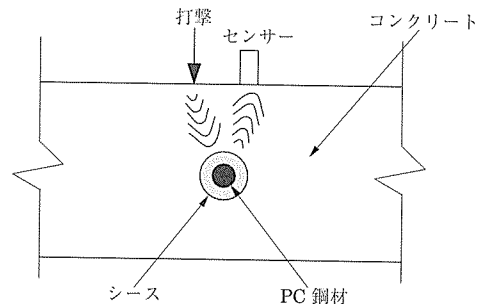
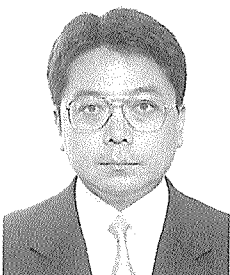


図-2 弾性波を PC 鋼材軸直角方向に伝播させる場合

2.2 弾性波を PC 鋼材軸方向に伝播させる場合

(1) 原理および測定方法

この場合(図-1)は、弾性波法の種類としては、衝撃弾性波法²⁾を適用した研究^{5)~12)}が多い。衝撃弾性波法とは、ハンマー打撃などによりコンクリート表面に機械的な衝撃を与えた後コンクリート中を伝播した弾性波を受振して、その特性からコンクリート内部の状態を把握する手法である。



* Toshiro KAMADA

岐阜大学工学部 社会基盤工学科 助教授

衝撃弾性波法では、超音波法と比較して入力する弾性波のエネルギーが大きく波長が長いいため、コンクリートで問題となる骨材等による散乱に起因する減衰の影響を受けにくい。このため弾性波の伝播距離を長くすることが可能であり、PC 鋼材軸方向、すなわち部材の長手方向に弾性波を伝播させる場合には、とくに適した方法といえる。

衝撃弾性波法の測定システムは、受振センサー（加速度計あるいは AE センサーなどの振動センサー）、アンプおよび波形記録・解析装置により構成される。なお、打撃は、ハンマー打撃や鋼球落下などにより行われる。グラウト充填評価の指標としては、弾性波伝播速度^{5)~7)}、周波数分布^{7)~9)}、エネルギー値^{10),11)}などが用いられる。

(2) 供試体実験での評価指標の有効性の確認事例

ここでは、供試体を用いて弾性波伝播速度および周波数分布特性によりグラウト充填評価を行った著者らの実験事例^{6),7)}を紹介する。実験で用いた供試体は写真-1 および図-3 に示す PC スラブである。PC 鋼材には PC 鋼棒 ($\phi 23$ mm) を、また、シースにはコンジットシース ($\phi 35$ mm) を用いた。グラウト充填度の設定は、0, 25, 50, 75, および 100%とした。弾性波の入力には、打撃部に鋼球を利用した装置を用い（写真-2）、図-3 に示すようにグラウト充填

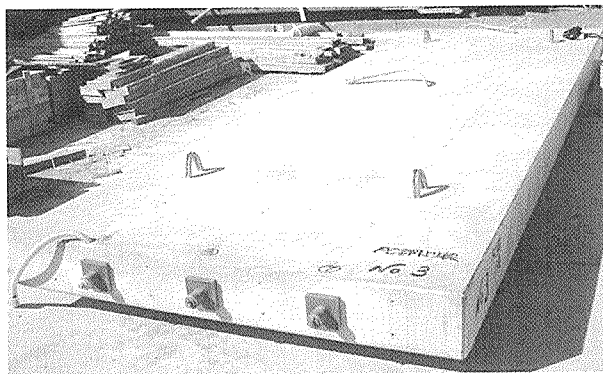


写真-1 PC スラブ供試体

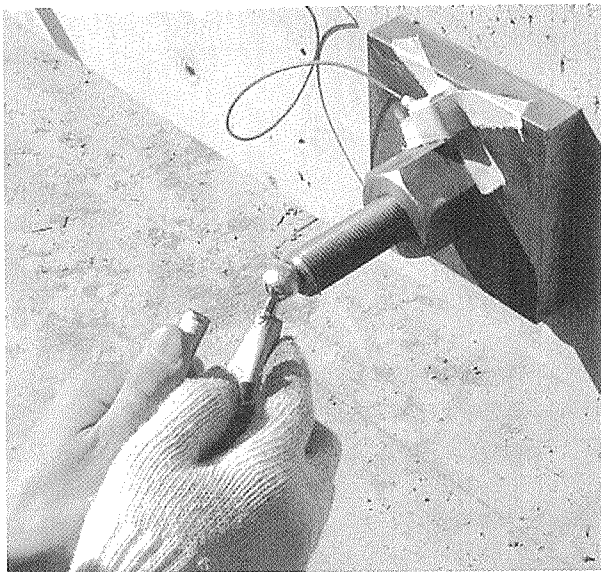


写真-2 打撃状況

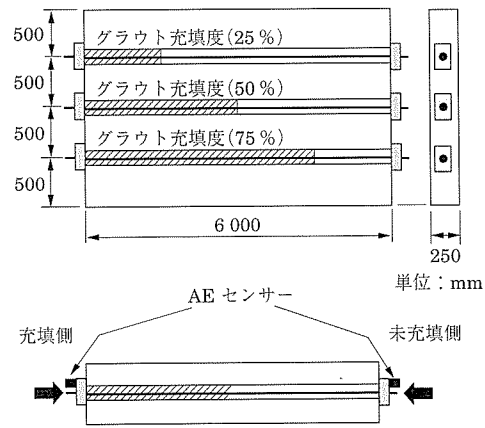


図-3 実験供試体の概要

側および未充填側の両方の PC 鋼棒端部において行った。一方、弾性波の受振は供試体端部の定着プレート上に貼付した AE センサー（150 kHz 共振型）によって行った。波形の記録にはデジタル AE 計測システムを用い、2つのセンサー間での伝播時間を計測して伝播速度を求めた。また、これとは別に、弾性波の周波数特性を検討するため、加速度計（周波数範囲：0.1~45 kHz）を用いた計測も実施した。

グラウト充填度と弾性波伝播速度の関係を図-4 に示す。これによれば、グラウト充填度が大きくなるにしたがって伝播速度が徐々に小さくなるのがわかる。これは、PC 鋼材に対するグラウトによる拘束効果が増すことによって、部材中での弾性波伝播挙動が変化する（ちなみに、「PC 鋼材単体中での伝播速度」>「グラウト、コンクリート単体中での伝播速度」）ためと考えられる。また伝播速度は、未充填側打撃あるいは充填側打撃にかかわらず、両者はほぼ同様の値となっている。したがって、この関係を利用することによってグラウト充填度を評価することが可能と考えられる。なお、グラウトの有無によって伝播速度が変化する理由については、改めて(3)において解析結果を示しつつ述べる。

つぎに、得られた周波数分布を図-5 に示す。これらの図によれば、グラウト充填度が0~50%の間では、グラウト充填度ごとに全体的な分布形状やスペクトルの強さは多少異なるものの、いずれの場合でも 12 kHz および 16 kHz 付近にピークが存在していることがわかる。これに対して、グラウト充填度 75% および 100% の場合は、0~50% の場合に見られた 20 kHz 以上の成分が消失するとともに、より低い周波数領域にピークが出現していることがわかる。これらより、周波数分布特性によってもグラウト充填度の違いを把握できる可能性があることがわかる。しかしながら、この場合は、判断はあくまでも周波数分布形状の相対比較による必要があり、今後は、得られた周波数分布の物理的解釈をより明確にするとともに、分布特性を数値化して客観性をもたせるなどの工夫が必要となるものと考えられる。

また、本手法は、PC 鋼材 1 本についての全体的なグラウト充填状況の評価するものであり、現時点ではあくまでも概略検査への適用が限界と考えられる。したがって、鋼材の長手方向におけるどの位置にグラウト未充填箇所がある

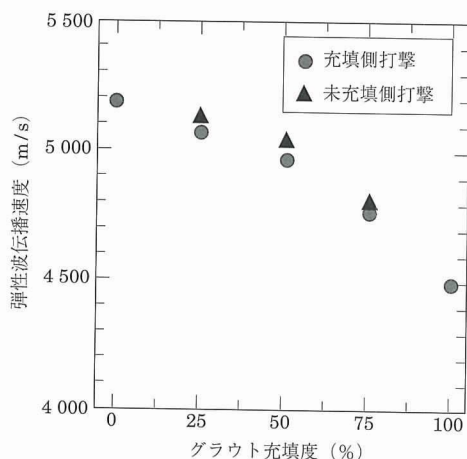


図 - 4 グラウト充填度と弾性波伝播速度

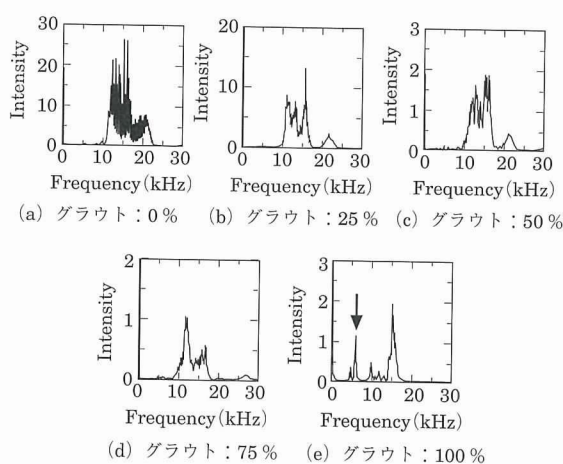


図 - 5 グラウト充填度と周波数分布

のかを特定する場合には、2.3 で述べる手法等を併用する必要がある。

(3) 解析による弾性波伝播挙動の評価

グラウトの有無によって弾性波伝播速度に違いが生じる理由を明らかにするために、部材中での弾性波伝播挙動を解析によりシミュレートした結果⁵⁾を紹介する。

解析には、図 - 6 に示すようなごく簡易的なモデルを用いている。グラウト充填度 0% および 100% の場合について、それぞれ衝撃荷重入力後 0.2, 0.4, 0.6 ms 経過後の部材内部での応答変位の状況を図 - 7 に示す。図では、変位の大きさの程度が色の違いによって表現されている。これによれば、グラウト充填度が 0% の場合 (図 - 7(a)) は、鋼材部分を直接伝播する成分と、プレートを通じてコンクリート部分に入力され、コンクリート中を伝播する成分とがそれぞれ独立して存在する様子が見える。一方、グラウト充填度 100% の場合 (図 - 7(b)) は、弾性波は鋼材、グラウトおよびコンクリートが一体となった複合体中を一様に伝播しており、0% の場合にみられた各部材間での波頭の位置の違いは見られない。グラウト充填度 0% と 100% の場合を比較すると、図中に矢印で示す弾性波先端部分の位置は、0% では 100% の場合よりも右端に近く、伝播速度が大きいことが推察できる。

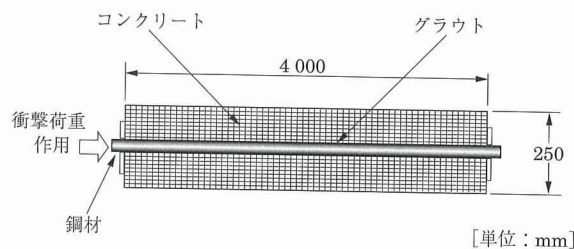


図 - 6 解析モデル

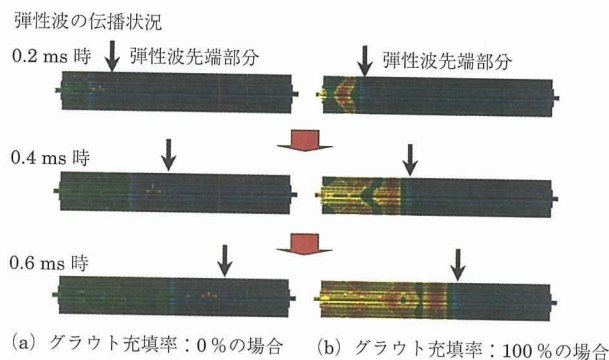


図 - 7 弾性波伝播挙動の解析結果

(4) 実構造物での適用性の検証事例

この種の手法により供用中の実構造物でグラウト充填評価を行った事例の報告は、(おそらく諸々の理由により公開が難しいためか) 少ないのが現状である。論文としては、実橋における桁の横締め PC 鋼材について受振波の振幅や周波数分布を検討し、削孔による結果と照らし合わせて手法の妥当性を示したもの¹²⁾ などがあ

る。ここでは、既設構造物での事例ではないが、筆者らが、写真 - 3 に示す建設中の PC タンクにおいてグラウト充填の前後で実施した計測結果を紹介する。このタンクは、内径 40 m、壁高さ約 10 m の円筒形であり、壁厚は 30 cm である。このうち、タンクの側壁における鉛直方向 PC 鋼材を対象として弾性波の計測を行った。弾性波の入力および受振の位置は図 - 8 に示すとおりである。写真 - 4 に、弾性波の入力と受振センサの設置状況を示す。

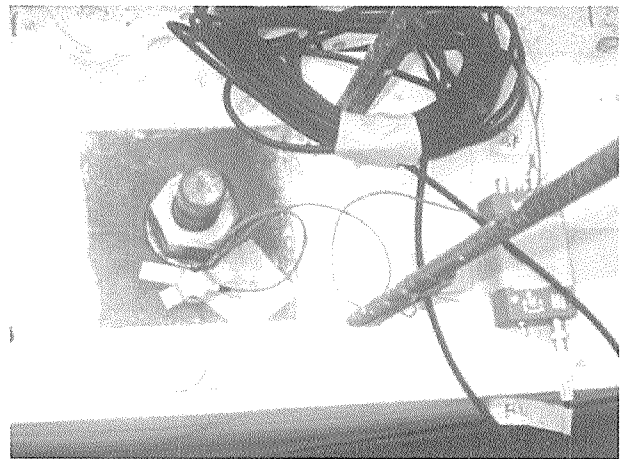
図 - 9 に、異なる 10 本の PC 鋼棒において得られた弾性波伝播速度を示す。鋼棒ごとにある範囲内でのばらつきはみられるものの、グラウト充填後の伝播速度は、グラウト充填前と比較するとほとんどのケースについて約 2 割程度減少していることがわかる。



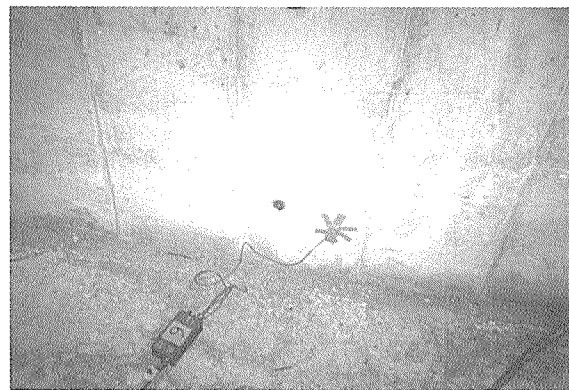
写真 - 3 建設中の PC タンク



弾性波入力状況



AE センサー貼付状況 (打撃部近傍)



AE センサー貼付状況 (壁面下部)

写真 - 4 計測状況

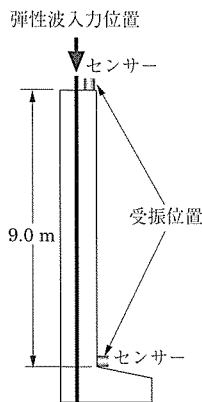


図 - 8 弾性波の入力および受振位置

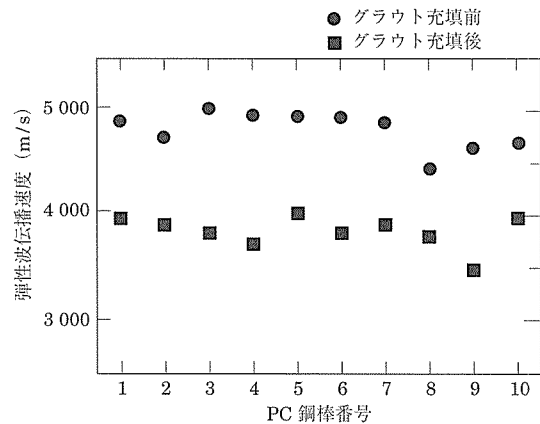


図 - 9 弾性波伝播速度 (10本の鋼材)

一方、図 - 10 に示す周波数分布においても、グラウト充填後 (図 - 10 (b)) では、グラウト充填前 (図 - 10 (a)) にみられた 15 kHz 以上の成分はほとんど含まれておらず、新たに 10 kHz 以下の領域に成分が分布しており、違いが明確に現れている。これらの結果から、衝撃弾性波法により得られる伝播速度や周波数分布特性は、実構造物でのグラウト充填評価においても有効であることが確認された。

2.3 弾性波を PC 鋼材軸直角方向に伝播させる場合

(1) 原理および測定方法

この場合 (図 - 2) は、Impact-Echo Method^{(13), (14)} あるいはそれに類似した手法を適用した研究報告^{(15) ~ (18)} が多い。Impact-Echo Method は、図 - 11 に示すように、衝撃を与えた箇所の近傍において対象物内部からの反射波を受振し、その周波数特性から部材厚さや内部状況を把握する手法である。ASTM にも手法の標準の一部⁽¹⁴⁾ が示されている。前述の弾性波法の種類²⁾ の定義に従えば、この手法も衝撃

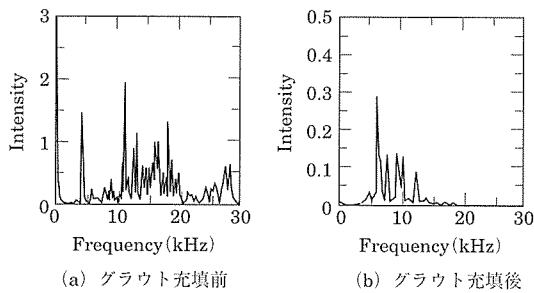


図 - 10 代表的な周波数分布

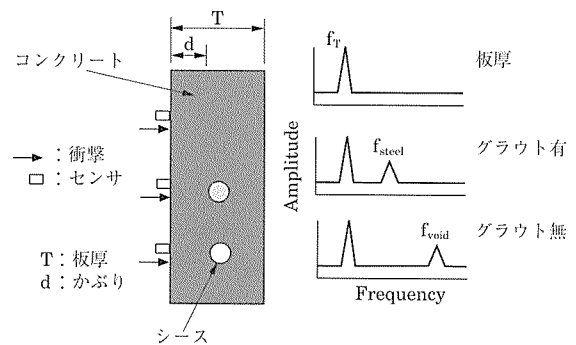


図 - 12 グラウト充填評価の原理¹⁶⁾

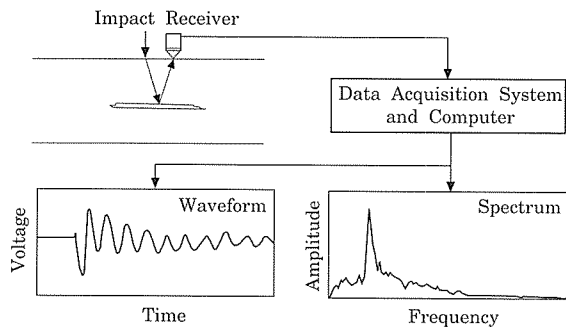


図 - 11 Impact Echo Method¹³⁾

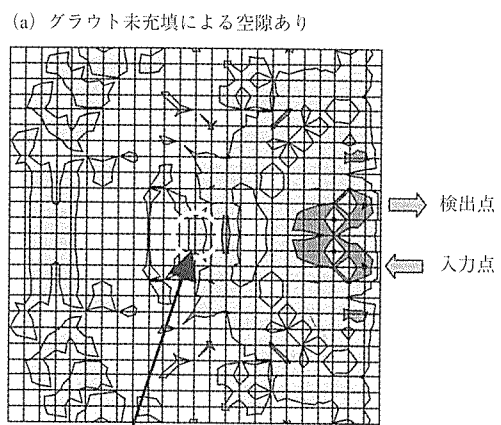
弾性波法に分類される。

この方法によるグラウト充填評価の原理を図 - 12¹⁶⁾ に示す。これによれば、受振波の周波数分布には、グラウト充填の有無にかかわらず板厚に相当するピーク f_r が存在し、加えて、シースからの反射波に起因する第 2 番目のピーク f_{steel} あるいは f_{void} が出現するものと考えられている。さらに、グラウト未充填の場合における第 2 番目のピークの値 f_{void} は、グラウト完全充填での同様のピーク値 f_{steel} の約 2 倍となるものと仮定している。したがって、得られた周波数分布の第 2 番目のピークに着目すれば、グラウト充填の有無が判断できるというのが本手法の評価原理である。

(2) 研究の現状

本手法では、部材の形状や大きさによっては内部での弾性波の反射状況が複雑になり、周波数分布にはそれらに起因したいくつものピークが出現する場合が多い。そのため、図 - 12 に示した理想的なピークをとらえることは、あまり容易ではない¹⁶⁾ のが現状である。

これらの問題点を解決するため、対象とする部材断面において要素分割を行い、計測により得られた周波数分布に基づき各要素からの反射波の強さの程度を計算によって求め、画像として示す手法¹⁷⁾ が提案されている。図 - 13 に断面画像の一例を示す。図中の色の濃い領域ほど、その部分からの反射の影響が強いことを意味している。図 - 13 (a) では、断面中央に配置されたシースの右側縁部に反射の影響の強い部分が明瞭に認められるのに対して、図 - 13 (b) の相当部分には同様の領域は確認できない。したがってこの方法では、空隙の存在に起因する反射の影響を画像上で把握することによって、グラウト充填状況を視覚的に判断することができるものと考えられる。この他にも、スペクトルの計算方法自体に工夫を施すことにより、グラウト未



シース配置位置

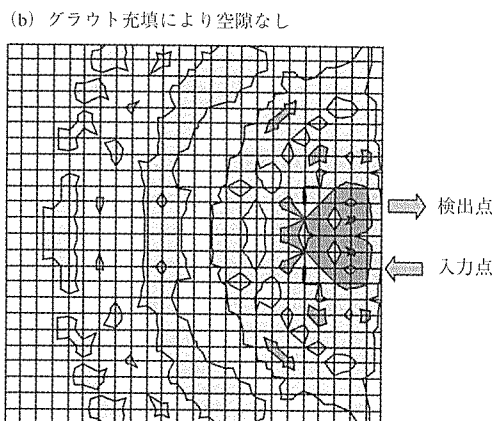


図 - 13 周波数分布に基づく断面画像¹⁷⁾

充填の特徴をより明確に引き出すことを試みた研究¹⁸⁾ 等がある。

今後は、現場における実証データを集積し、実構造物への適用性を高める検討が必要と考えられる。

3. PC 鋼材破断の評価

3.1 概要

英国におけるポストテンション方式の PC 橋の落橋事故¹⁹⁾ にみられるように、PC 鋼材の破断は、構造物全体の崩壊を招く事態につながる可能性がある。したがって、破断の有無を含めた PC 鋼材の健全性を評価しておくことはきわめて重

要な事項である。

これに関連して、局部的に損傷を有する PC 箱桁橋の調査において、PC 鋼材の破断の有無を確認する目的で衝撃弾性波法を適用した報告²⁰⁾がある。ここでは、鋼材端部で打撃を行い、部材軸方向に伝播した後一方の端部で反射してきた弾性波を打撃箇所の近傍でとらえている。得られた結果から、損傷発生部と健全部とで波形の比較を行うことにより鋼材の健全度を定性的に評価し、鋼材の破断はなかったと判断している。このように、衝撃弾性波法は、PC 構造物の非破壊検査法としては、前述のグラウト充填評価に限らず適用範囲は広いといえる。しかしながら、波形の形状自体を観察するこの方法では、知識や経験を必要とするだけでなく、波形によっては判断の難しいパターンも生じる可能性があり、今後、手法の改善が望まれるところである。

一方、(社)プレストレストコンクリート技術協会では、日本道路公団からの委託を受けて、平成 13 年度より「PC 橋のモニタリングに関する研究委員会 (委員長：魚本健人 東京大学教授)」を設置し PC 鋼材の破断の評価を含めた健全性モニタリングの技術について検討している。ここでいうモニタリングとは、常時あるいは断続的に計測を実施し、鋼材破断等の変状の発生をいち早くキャッチすることを目的としたものであり、2 章で紹介した非破壊試験法とは適用の観点が異なる。この委員会では、主に弾性波の原理を活用したモニタリング手法の実用化を目指して、各種実験、あるいはモニタリングシステムの構築に関する研究活動を実施している。PC 橋のメンテナンスにおけるモニタリング技術の導入を視野に入れた先駆的な取り組みであり、今後の成果に期待したい。

つぎに、弾性波の原理を活用したモニタリング手法について、そのベースとなる AE 法の概要と海外での実施例について簡単に紹介する。

3.2 AE 法による鋼材破断等のモニタリング

(1) 原理および測定方法

AE (アコースティック・エミッション) とは、固体内部の微小な破壊あるいはそれと同様なエネルギー解放過程によって発生する弾性波動現象のことである²¹⁾。

AE 法は、固体内部で生じる微小破壊等に対応した AE を、固体の表面等に設置した AE センサーにより受振し、AE の発生頻度や AE 波形の特性などを用いてひび割れの発生状況などを評価するものである (図 - 14)。また、AE 法は、まったく受動的な手法であるという点で超音波法、衝撃弾性波法および打音法等の他の弾性波法とは異なるものの、時々刻々と変化する破壊の進行状況をつぶさに把握できる利点を有する。したがって、PC 構造物に AE 法を適用し、PC 鋼材の破断に起因する AE を監視 (図 - 15)すれば、鋼材破断のモニタリングが可能となるのである。

なお、AE による破壊源探査の手法²¹⁾を活用すれば、多チャンネルで計測された AE 波の到達時間差を用いて鋼材破断箇所のおおよその位置標定を行うことが可能である。

(2) 海外での実施例

わが国では、PC 鋼材の健全性モニタリングを目的とした実構造物における AE 計測事例の報告はない。そこで、こ

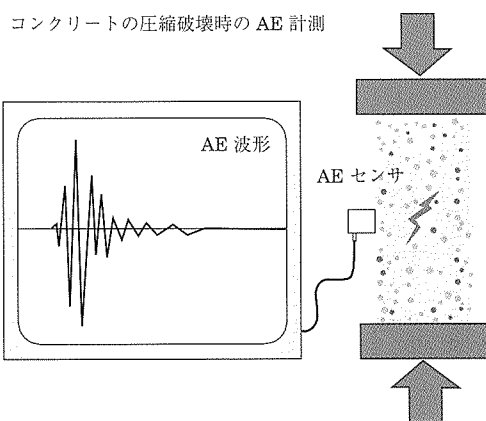


図 - 14 AE 法

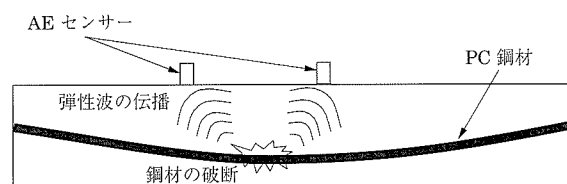


図 - 15 AE 法による鋼材破断のモニタリング

こでは英国における PC 桁の AE モニタリングプロジェクト²²⁾について簡単に紹介する。このプロジェクトは、英国の Highways Agency によるものであり、対象構造物は Huntingdon 鉄道高架橋および Mossband 高架橋である。このうち Huntingdon 鉄道高架橋では、図 - 16 に示すように構造物表面に全部で 36 個の AE センサーを取り付けている。計測された AE 信号は、フィルタリングにより車両交通や建設作業などによるノイズと識別され、コンクリートクラックの発生や鋼材破断などの判定を行う。また、検知された AE 波形やその発生位置については、構造物管理者がインターネット上で随時閲覧できる仕組みになっている。このシステムによって鋼材破断の発生などをリアルタイムで把握することができるため、より早期における対策の実施と鋼材の健全性の現状確認が可能となり、構造物の安全性の確保に役立つものと考えられる。

4. おわりに

本稿では、シース内部のグラウト充填状況の評価および PC 鋼材破断の評価に適用する非破壊検査法を絞って述べた。ここで紹介した技術は、いずれも現時点では必ずしも完成段階にあるわけではないが、今後の研究の進展や測定機器の性能の向上などによって実用化の可能性は高まるものと考えられる。また、実用化にあたっては、測定方法の規格や規準を整備するとともに、判定における基準などを明確にしていく必要がある。

点検技術の高度化は、PC 構造物のメンテナンスの合理化にとって不可欠と考えられ、非破壊検査の役割はますます大きくなることが予想される。これからの技術者には、点検の目的に応じた非破壊検査法を選定し、得られた結果から適確な診断を行う能力が求められる。そのために本稿が少しでもお役に立てれば幸いである。

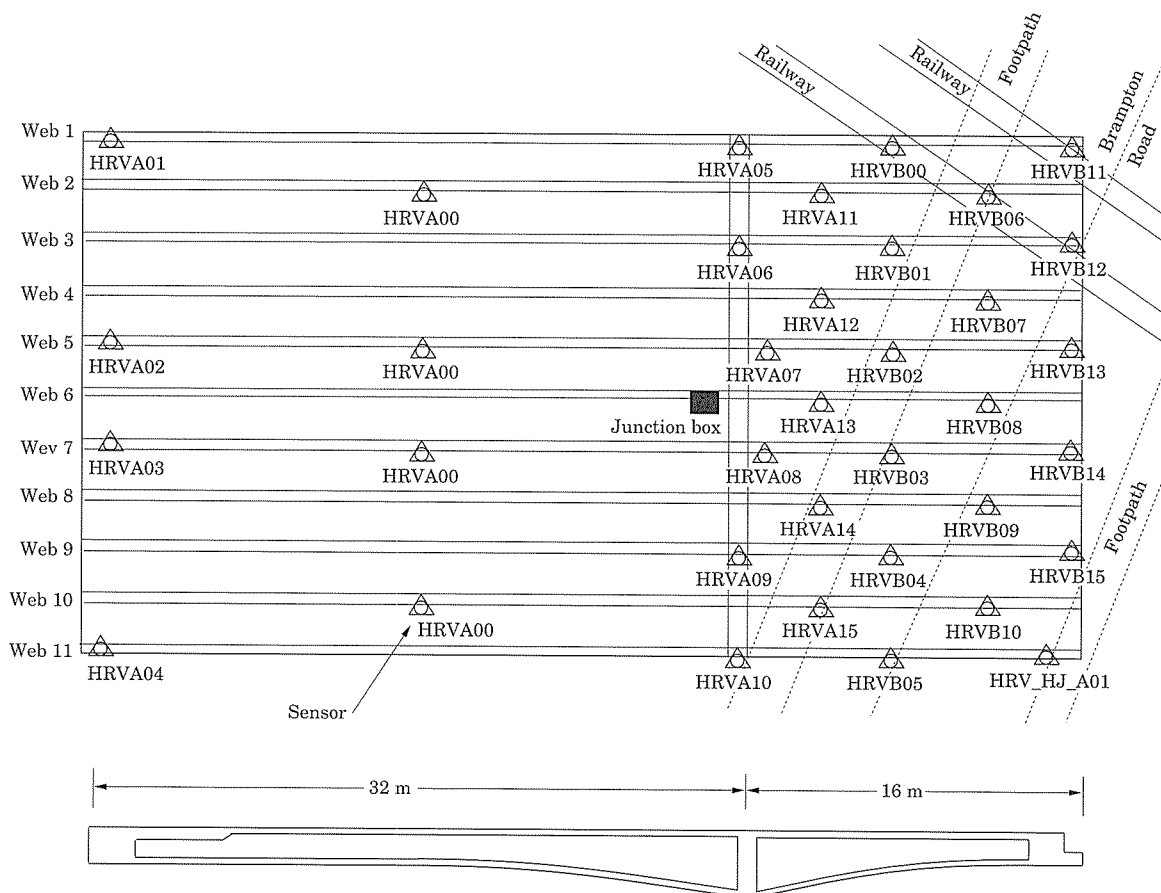


図 - 16 高架橋における AE センサーの配置²²⁾

参考文献

- 1) 鎌田敏郎：コンクリート構造物のメンテナンスにおける非破壊検査の役割，土木学会誌，Vol.86/December 2001，pp.34-36，2001.12
- 2) コンクリート構造物の診断のための非破壊試験方法研究委員会報告書，(社)日本コンクリート工学協会，2001.3
- 3) コンクリート診断技術'02 [基礎編]，(社)日本コンクリート工学協会，2002
- 4) 藤井学，宮川豊章：PCグラウト充填状況の非破壊探査法，土木学会論文集，No.402/V-10，pp.15-26，1989.2
- 5) 国枝泰祐，鎌田敏郎，浅野雅則，六郷恵哲：弾性波の伝播速度に着目したPCグラウトの充填評価手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1551-1556，2002
- 6) 国枝泰祐，浅野雅則，鎌田敏郎，六郷恵哲，若山勉，横山博司：弾性波の伝播速度に着目したPCグラウト充填評価手法に関する研究，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，V-201，2002
- 7) 浅野雅則，国枝泰祐，鎌田敏郎，六郷恵哲，今尾勝治，高野茂晴：PCグラウト充填評価のための弾性波パラメータに関する基礎的検討，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，V-202，2002
- 8) 黒野幸弘，山田和夫，中井裕司：衝撃弾性波法を適用したPC床板のグラウト充填評価に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.1，pp.1175-1180，1995
- 9) 中野将士，尼崎省二：衝撃弾性波法によるPCグラウトの充填評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.1，pp.287-292，1998
- 10) 魚本健人，首藤芳久：AE計測によるプレストレストコンクリートのシース内グラウト充填度判定方法，生産研究，Vol.39，No.4，pp.141-144，1987.4
- 11) 永田智宏，山田和夫，松元香保里：検出弾性波のエネルギー変化に着目したグラウト充填性評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.1，pp.281-286，1998
- 12) Kazuo Kobayashi, Toyoaki Miyagawa, Yoshihiro Hatta and Kazuhiro Kuzume：NDT of Grouting in Transverse Prestressing Steel in T-Beam Bridge, The 6th International Conference on Structural Faults and Repair, Vol.1, p.73-80, 1995.7
- 13) Sansalone, M. and Streett, W.B.：Impact-Echo: Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry, Bullbrier Press, Ithaca, NY and Jersey Shore, PA, 1997
- 14) ASTM C 1383-98：Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plate Using the Impact-Echo Method, American Society for Testing and Materials, 1998
- 15) Barbara J. Jaeger, Mary J. Sansalone and Randall W. Poston：Detecting Voids in Grouted Tendon Ducts of Post-Tensioned Concrete Structures Using the Impact-Echo Methods, ACI Structural Journal, Vol.93, No.4, pp.462-473, 1996
- 16) 渡辺健，大津政康，友田祐一：インパクトエコー法によるPCグラウト充填度評価に関する考察，材料，Vol.48，No.8，pp.870-875，1999
- 17) 渡辺健，渡海雅信，小坂浩二，大津政康：インパクトエコー法の画像処理に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22，No.1，pp.391-396，2000
- 18) 極壇邦夫，境友昭：衝撃弾性波法によるPC橋梁シース管グラウトの充填度合の測定，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1557-1562，2002
- 19) Woodward, R. J.：Collapse of a Segmental Post-Tensioned Concrete Bridge, Transportation Research Record, V.1211, Transportation Research Board, National Research Council, pp.38-59, 1989
- 20) 横山好幸，宮川豊章，野村勝義，枚本正信：局部的損傷を有するPC箱桁橋の健全度評価と考察，コンクリート工学論文集，第12巻，第3号，pp.39-49，2001.9
- 21) 大津政康：アコースティック・エミッションの特性と理論，森北

出版, 1988

22) Austin Adkins, Frank Carlyle, David Youdan: The Use of Acoustic Monitoring to Extend the Life of Post-Tensioned Overbridges at

Huntingdon and Mossband, UK, The 9th International Conference on Structural Faults and Repair, 別刷, 2001.7

【2002年11月14日受付】



刊行物案内

フレッシュマンのためのPC講座 プレストレストコンクリートの世界

頒布価格：会員特価 3 000 円（送料400 円）
：非会員特価 3 600 円（送料400 円）

体 裁：A4判, 140頁

内容紹介

＝基礎編＝

- 基礎 編1 PCとは何か
- 基礎 編2 PCはどんなものに利用できるか
- 基礎 編3 プレストレスの与え方について考えてみよう
- 基礎 編4 プレストレスは変化する
- 基礎 編5 荷重と断面力について考えてみよう
- 基礎 編6 部材に生じる応力度について考えてみよう
- 基礎 編7 プレストレス量の決め方について考えてみよう
- 基礎 編8 PCに命を与えるには(プレストレスシグとその管理)
- 基礎 編9 PCを長生きさせよう

○申込み先：

(社)プレストレストコンクリート技術協会 事務局
〒162-0821 東京都新宿区津久戸町4番6号 第3都ビル5F
TEL：03-3260-2521 FAX：03-3235-3370

＝PC橋編＝

- PC 橋 編1 PC橋にはどんなものがあるか
- PC 橋 編2 PC橋を計画してみよう
- PC 橋 編3 PC橋を設計してみよう
- PC 橋 編4 現場を見てみよう

＝PC建築編＝

- PC 建築 編1 PC建築とは
- PC 建築 編2 PC建築にはどんなものがあるか
- PC 建築 編3 プレキャストPC建築の設計について考えてみよう
- PC 建築 編4 PC建築でオフィスを設計してみよう

資 料 PCを勉強するときの参考図書
索 引