

衝撃弾性波法による既存コンクリート構造物の健全性調査

オリジナル設計（株） 正会員 ○山崎 一義
 オリジナル設計（株） 正会員 坂本 智
 アプライドリサーチ（株） 正会員 境 友昭
 東海大学土木工学科 正会員 極 檀 邦夫

1. はじめに

近年、高度成長期に建設された構造物の多くは、環境要因及び経年変化による劣化を生じつつあり、構造物の安全性の確保、機能性の向上から維持管理・改善が社会的な課題となっている。また、最近では、建設投資の低下といった経済面のみならず、省資源、環境負荷低減といった環境面への配慮の観点からも既存のコンクリート構造物を補修・改善するなどのリニューアルへのニーズが高まっている。

コンクリート構造物を効果的に補修・改善するためには、劣化状況を正確に判定することが重要な点であり、中でも構造体のコンクリート強度の確認は、最も重要な調査項目である。ここで、従来の強度調査の手法としては、現地採取コアの圧縮破壊試験やシュミットハンマー試験による非破壊試験が用いられているが、前者は構造物の部分的な情報しか得ることができず構造物全体の把握に問題が残る。また、後者はコンクリート表面の劣化の影響を受けることから既存構造物のコンクリートの強度を評価する方法としては問題が多いことが指摘されている。そこで、これらの問題を解決するためには、構造物全体に調査点を多くとることが必要であり、表面劣化に影響されないコンクリート内部の残存強度が測定できることが不可欠の条件となる。本文は、既存構造物の劣化診断及び耐震性検討の一環として、コンクリートの残存強度を把握するために、衝撃弾性波法（弾性波レーダシステム）を用いた調査結果の報告である。

2. 調査の方法と圧縮強度の測定結果

調査対象は、鉄筋コンクリート構造の下水道：マンホール及び浄水場：高架水槽であり、ともに築後20年以上経過している稼働中の施設である。衝撃弾性波法による測定結果の解析は、新しい手法であるMEM（最大エントロピー法）を用いている。

キーワード コンクリート，上下水道施設，非破壊検査法，弾性波レーダシステム，維持補修

連絡先 〒162-0814 東京都新宿区新小川町 1-1

（飯田橋MFビル） オリジナル設計（株）

TEL：03-5261-9612，E-mail：a1114@oec-solution.co.jp

MEM解析法は、従来のFFTと比較してスペクトルの分解能が高い特徴があり、反射波の繰り返し回数が少ない場合でも自己相関関数の振幅が大きい周波数では、鋭いスペクトルが成立する。

次表は、弾性波速度の測定結果と圧縮強度の一覧表である。なお、圧縮強度は下式（ ）の弾性波速度と圧縮強度の関係式を用いて算出した。

$$F_c = e^{-34.4 \cdot V_p^{4.57}}$$

F_c ：圧縮強度， V_p ：弾性波速度

「非破壊試験によるコンクリート品質、厚さ、鉄筋かぶり・径の計測に関する共同研究報告書 2001年3月 国土交通省土木研究所」

測定点	弾性波速度 [m/s]	圧縮強度 [N/mm ²]
E51	3990	33
E32	3890	29
kitak28	3615	21
kitak42.11	3697	23
kitaf1.2	4082	36
kitaf3.3	4198	41
kitaf11.4	4249	44
kitaf6.0	4129	38
kitaf6.6	3972	32
kitaf6.3	4030	34

測定点の添え字

E：マンホール，kou：高架水槽

ここで、対象施設は何れも、当初設計時の設計基準強度： $F_c = 21\text{N/mm}^2$ であり、上表の調査結果はこれを上回ることから、強度劣化はないものと判断された。しかし一方、従来の調査法として併行して行ったシュミットハンマー試験法では、何れの測定点でも6～10N/mm²と低い強度結果を得た。

3. 測定結果の考察

一般に、健全なコンクリート供試体の打撃による表面の速度波形は、図1のようになる。ここで、図3に示すように、鋼球衝突によりコンクリート表面が変形する時間を作用域、コンクリート表面の変形による弾性エネルギーによって鋼球が押し戻される時間を反作用域と定義すると、図2の現地調査の波形では明らかに反作用域に対して作用域が長くなっている。これは、コンクリート表面が劣化・塑性化している場合、

反作用域についてはコンクリート内の弾性エネルギーが開放される時間であり、構造物全体あるいは内部の剛性が反映されているのに対して、作用域には鋼球がコンクリート表面を塑性変形させて貫入する時間が含まれているためと考えられる。

打撃初期の速度波形

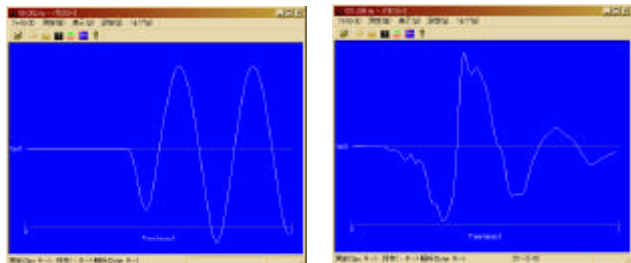


図1： 供 試 体

図2： 既存コンクリート

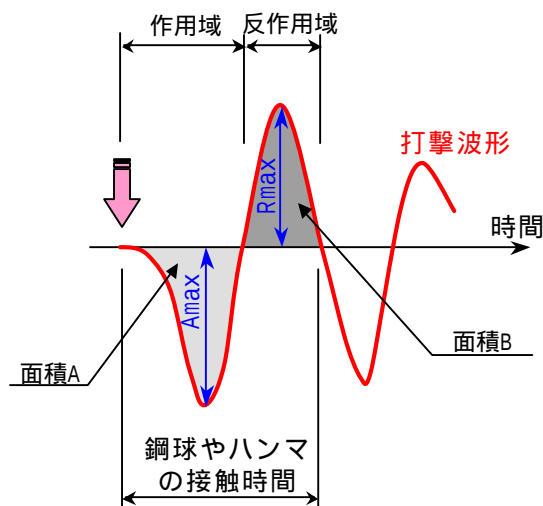


図3： 速度波形のモデル図

即ち、シュミットハンマー試験では、作用力の継続時間が長くなり、この間にハンマーの衝撃エネルギーがコンクリートの塑性変形によって吸収されたため、強度を過小評価したものといえる。

次に、打撃力がコンクリート内の弾性エネルギーとなることから、鋼球の接触時間及び打撃面の速度がコンクリートのヤング率、即ち圧縮強度と関係があるかを調べた。図3に示す A_{max}/A , R_{max}/B をコンクリートの硬さを示す尺度（反撥度）として考えた場合の圧縮強度との関係を作用域、反作用域について整理したものが図4及び図5である。

反作用域の結果：図5では、反撥度（ R_{max}/B ）と圧縮強度（ F_c ）には、

$F_c = 3.92 \times 10^{-3} \times [R_{max}/B] - 12.55$ （相関関数 0.88）の回帰直線が得られたが、作用域：図4では明確な関係を得ることができなかった。この原因としては、

図2のような打撃表面の劣化状況や打撃の方法・強さなどの要因があるものと考えられる。

言い換えれば、衝撃弾性波法では打撃直後の情報でなく、反作用域につづく多重反射の情報により解析を行うことから、従来の非破壊調査方法では過小評価となってしまう表面劣化のあるコンクリートの適切な圧縮強度の測定が可能であるといえる。さらに、表面の劣化の有無が判別できるなど多くの情報を得ることが可能であるといえる。

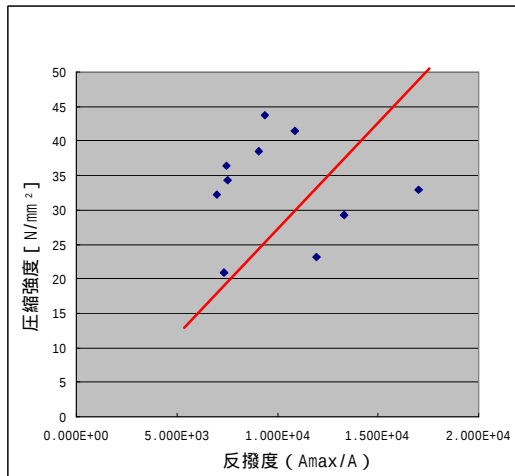


図4： 反撥度と圧縮強度の関係（作用域）

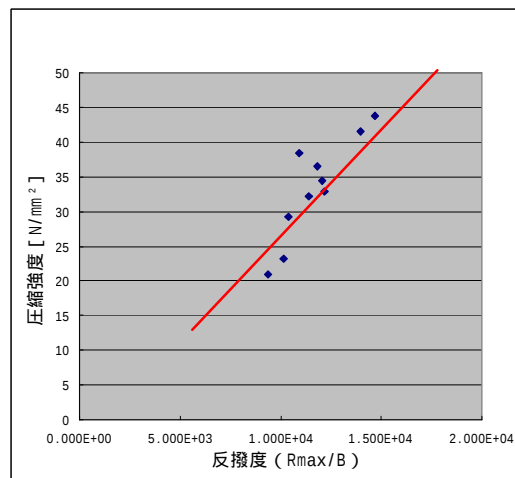


図5： 反撥度と圧縮強度の関係（反作用域）

4. まとめと課題

調査結果の解析により、衝撃弾性波法によるコンクリート調査では以下のことがわかった。

1. コンクリート表面に加えられた打撃力に対する、内部の反力を解析するために表面劣化の影響を受けずに既設構造物のコンクリート強度の測定が可能である。
2. 打撃直後の作用域の長さにより表面劣化の有無が判別可能である。
3. 表面劣化の状態は、作用域を解析することで明らかになるものと考えられる。今後研究を進めて解明してゆく所存である。