

衝撃弾性波法（iTECS法）による新設コンクリート構造物の圧縮強度の推定

ESTIMATION OF COMPRESSION STRENGTH OF CONCRETE STRUCTURES

BY THE IMPACT ELASTIC WAVE METHOD

リック(株) 岩野 聡史

独立行政法人土木研究所 森濱 和正

概 要

衝撃弾性波法を用いたコンクリート構造物の圧縮強度試験について、筆者らが提案している試験方法について紹介する。本法による新設構造物での推定精度は概ね $\pm 15\%$ であり、新設構造物の施工管理、品質検査、また、構造物の供用後に新設時と同一箇所再度測定することによる経年変化の確認に利用できるものと期待される。今後の課題としては、測定精度を安定させるために、現場適用時の条件を把握していくことである。

1. まえがき

非破壊による圧縮強度試験は、新設構造物の施工管理、品質検査や、既設構造物の維持管理での構造物評価や各種破壊試験などの実施時期・箇所の判断に利用できるものと期待される。これらには、新設構造物で推定精度が期待でき、さらには、既設構造物での維持管理に適用できる試験方法を確立することが必要であると考えられる。筆者らは、衝撃弾性波法を用いたコンクリート構造物の圧縮強度試験について、これまで数多くの実構造物での実験成果に基づき、新設構造物での推定精度と既設構造物での維持管理への適用を考慮した試験方法を提案してきた¹⁾。本書では、その試験方法についての紹介と、今後の課題等について記述する。

2. 本法での強度測定原理

2. 1 一般的な強度測定手順

本法については、国土交通省での「微破壊・非破壊試験を用いた品質管理について」において、「衝撃弾性波試験（iTECS法）による新設の構造体コンクリート強度測定要領（案）」が提案されている²⁾。一

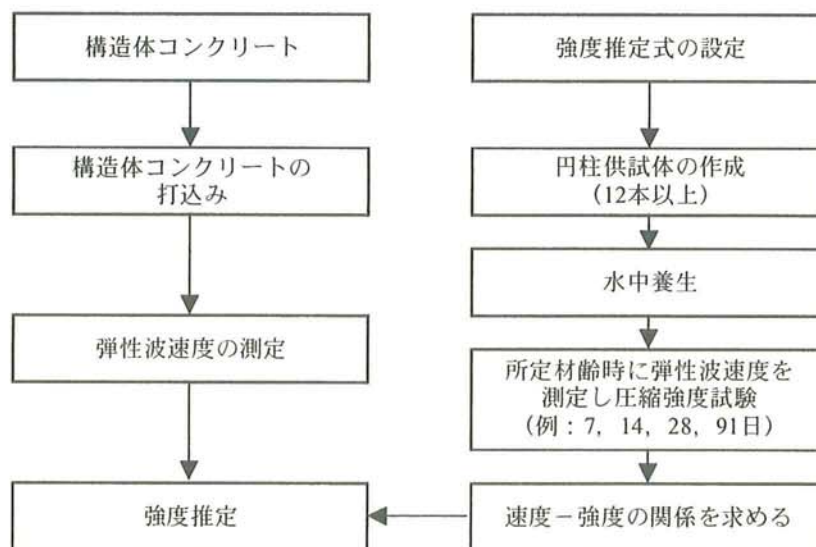


図1 衝撃弾性波試験（iTECS法）による強度推定手順

一般的な強度推定手順の例として、この要領での強度推定までの手順を図1に示す。

本法は、①コンクリート中を伝搬する弾性波の速度 V_p は、周知のとおり、弾性係数 E と密度 ρ とポアソン比 ν により式(1)の関係に示されること、②コンクリートの圧縮強度 f_c 、動的試験法により求めた動弾性係数 E_D には式(2)の関係があるとされていること³⁾、①、②による弾性波速度と圧縮強度の相関関係を利用するものである。調査対象構造物で弾性波速度を測定して、その結果と弾性波速度と圧縮強度の関係式（以下、強度推定式という）から圧縮強度を推定する。

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

$$E_D = A \cdot f_c^B \quad (2)$$

ここで、 A 、 B はコンクリートの使用材料などによる定数である。

2. 2 弾性波速度と強度の関係について

本法の測定原理は、前述のとおり測定した弾性波速度から弾性係数を介して圧縮強度を推定するものであるが、式(2.2)に示されるとおり、弾性係数と圧縮強度の関係式はコンクリートの配合（使用材料）によって変化する。これらから、強度推定式も配合によって変化することとなる。本法において、全てのコンクリートに適用できる強度推定式を設定することは困難であるといえる。

この例として、円柱供試体で弾性波速度を測定し、その後、圧縮試験を行った結果から弾性波速度と圧縮強度の関係を調べた結果を図2に示す。4種類の配合を混合させた場合には（図2上図）、両者の相関係数は0.77程度であり、さらに、弾性波速度3800m/sとなる円柱供試体での圧縮強度は約25N/mm²～45N/mm²と大きな差がある。これに対し、配合別の場合では（図2下図）、両者の相関係数は高く、同一速度での強度の差も小さいことがわかる。

従って、本法においては、調査対象構造物と同一配合のコンクリートで弾性波速度と圧縮強度の関係、または、弾性係数と圧縮強度の関係を調査し、配合毎に強度推定式を設定することが重要となる。

2. 3 弾性波速度の測定方法について

調査対象構造物での弾性波速度の測定は、図3、図4に示すとおり、コンクリート中に入力した縦弾性波がコンクリート内部を球面状に伝搬する性質を利用して、入力点から受信点までの弾性波の伝搬時間と距離差の関係から弾性波速度を求める方法を多く採用している。測定波形の例を

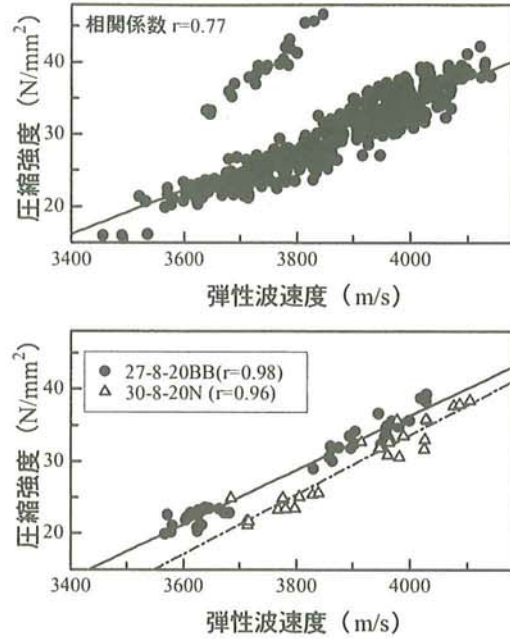


図2 弾性波速度と圧縮強度の関係比較例
（上図：配合4種類、下図：配合別）



図3 縦弾性波の伝搬模式図



図4 構造物での速度測定状況

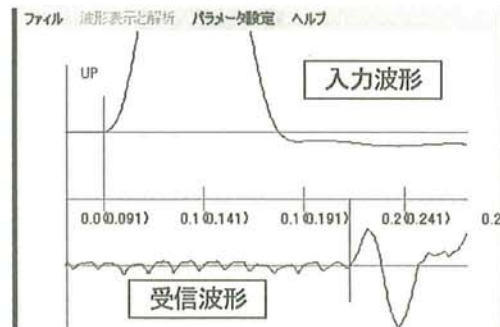


図5 構造物での速度測定波形例

図5に示す。また、入力点から受信点までの距離差 L は200mm, 300mm, 400mm, と100mm間隔で1000mmまで変化させ、9点での測定結果から、弾性波速度を決定することを基本としている。

距離差200mm~1000mmの9点で測定するのは、コンクリートの表面と内部の強度が均一な場合と、既設構造物での表面劣化等により、表面の強度が内部の強度より劣る場合では、以下に示すとおり距離差によって測定結果が異なり、この性質を利用して表面劣化の有無を判断することを期待したものである。

1) 表面と内部の強度が均一な場合

表面と内部の強度が均一な場合での、各入力・受信点間距離差での伝搬時間の測定例を図6に示す。入力・受信点間距離 L と弾性波の伝搬時間 T_p は、ほぼ一直線の比例関係となる。これは、本法では最初に受信点に到達する弾性波の伝搬時間を測定するが、表面と内部の強度が均一な場合は、コンクリート表面を伝搬した弾性波が最初に受信点に到達し、この伝搬時間が測定されたことによる。

最初に受信点に到達する弾性波の伝搬距離は入力点と受信点の距離差となることから、弾性波速度 V_p は式(3)により算出できる。

$$V_p = L/T_p \quad (3)$$

2) 表面の強度が内部より劣る場合

表面の強度が内部より劣る場合での測定例を図7に、弾性波の伝搬模式図を図8に示す。表面の強度が劣る場合では最初に受信点に到達する弾性波の伝搬経路は、入力点と受信点の距離差 L によって異なる。

距離差が短い場合には、表面を伝搬する経路が最短であることから、表面を伝搬する弾性波が最初に受信点に到達する。しかし、距離差が一定以上になると、表面を伝搬する弾性波の速度より内部を伝搬する弾性波の速度が速いことから、内部を経由する弾性波が最初に受信点に到達することとなる。従って、表面の強度が内部より劣る場合では、距離差 L と弾性波の到達時間差 T_p の直線比例関係は距離差 L によって2通り存在し(図7上図)、式(3)による計算上の速度は距離差 L によって異なることとなる(図7下図)。この場合においてコンクリート内部の強度を推定するには、内部を経由した弾性波の伝搬速度を測定することが必要となり、内部を経由した弾性波が最初に到達する距離2点 L_1, L_2 (図7では距離差700mm~1000mmでの任意の2点)で測定した到達時間差 T_{p1}, T_{p2} から、弾性波速度 V_p を式(4)などにより測定することが必要となる。

$$V_p = (L_1 - L_2)/(T_{p1} - T_{p2}) \quad (4)$$

3. 推定精度、今後への期待と課題

3.1 推定精度

本法による推定精度を検証するため、表1に示す9現場の新設構造物で実験を行った。本法により圧縮強度を推定した結果と、標準コア、 $\phi 25\text{mm}$ の小径コア⁴⁾、ボス供試体⁵⁾による試験結果との比較を

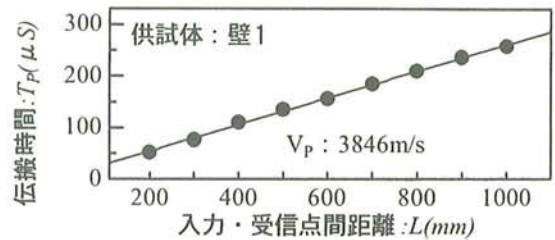


図6 表面と内部が均一な場合での測定例

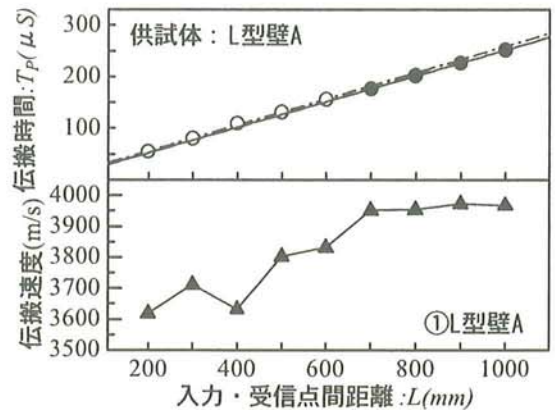


図7 表面が劣化している場合での測定例

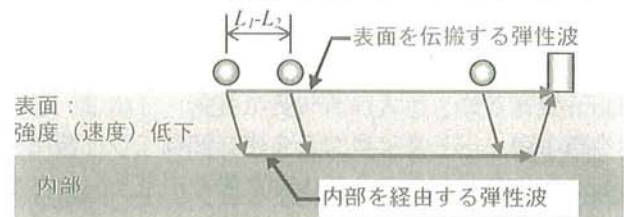


図8 表面が劣化している場合での弾性波の伝搬模式図

図9に示す。圧縮強度約20N/mm²～約55N/mm²の構造体コンクリートにおいて、概ね±15%の精度で圧縮強度を推定できることが確認された。

3. 2 今後への期待と課題

今後への期待としては、新設構造物において概ね±15%の精度で圧縮強度を推定できることが確認されていることから、新設構造物の施工管理、品質検査に利用できるものと期待される。また、施工後5年、10年と経過した段階で、新設時と同一箇所を再度測定し、新設時の測定結果と比較することにより、経年変化が確認できるものと期待される。特に「2. 2節」に示したとおり、表面劣化が存在すれば、入力点・受信点間の距離差によって測定上の弾性波速度が異なることから、各入力点・受信点間の距離差での測定値を経年比較することにより、表面劣化の発生状況を把握できるものと期待される。

今後の課題としては、測定精度に影響する現場適用時の条件について、具体的には測定時の材齢や天候が関係するコンクリート表面の湿潤状態が測定結果に及ぼす影響について、十分に把握できていないことから、これらを検証する必要があると考えられる。

4. まとめ

衝撃弾性波法 (iTECS 法) によるコンクリート構造物の圧縮強度試験方法についての紹介と、今後の課題等について記述した。本法による新設構造物での推定精度は概ね±15%であると確認されていることから、新設構造物の施工管理、品質検査に利用できるものと期待される。また、構造物の供用後に新設時と同一箇所を再度測定し、新設時の測定結果と比較することにより、経年変化、表面劣化の発生状況を把握できるものと期待される。今後の課題としては、測定精度を安定させるために、現場適用時の条件を把握していくことである。

参考文献：

- 1) 岩野聡史, 森濱和正, 極檀邦夫, 境友昭: 衝撃弾性波法を適用した新設コンクリート構造物での圧縮強度推定および内部欠陥探査に関する検討, 日本非破壊検査協会 コンクリート構造物の非破壊検査への展開 論文集(Vol.2), pp.475-482, 2006.8
- 2) リック, 土木研究所, 衝撃弾性波試験 (iTECS 法) による新設の構造体コンクリート強度測定要領 (案), 2006.4
- 3) 河野清, 田澤栄一, 門司唱: 新しいコンクリート工学, 朝倉書店, 1987.5
- 4) 銭高組, 前田建設工業, 日本国土開発, 土木研究所, 小径コア試験による新設の構造体コンクリート強度測定要領 (案), 2006.5
- 5) 戸田建設, 土木研究所, ボス供試体による新設の構造体コンクリート強度測定要領 (案), 2006.5

表1 実験対象構造物

新設構造物	測定部材	配合	
L	フーチング	27-8-20BB	
	柱下段	30-8-20N	
M	フーチングヘッド	36-12-20H	
	垂直材	36-12-20H	
	主桁 (PCホロー桁)	36-12-20H	
N	PCホロー橋	主桁 (PCホロー桁)	36-8-20H
P	橋脚	フーチング	24-8-20BB
Q	フーチング	27-8-20BB	
	縦壁	27-8-20BB	
	パラベット	27-8-20BB	
R	上部工	主桁	36-15-20H
S	フーチング	27-8-20BB	
	柱	30-8-20BB	
V	ボックスガート	頂版, 側壁, 底版	24-8-25BB
W	ボックスガート	頂版, 側壁, 底版	24-8-25BB

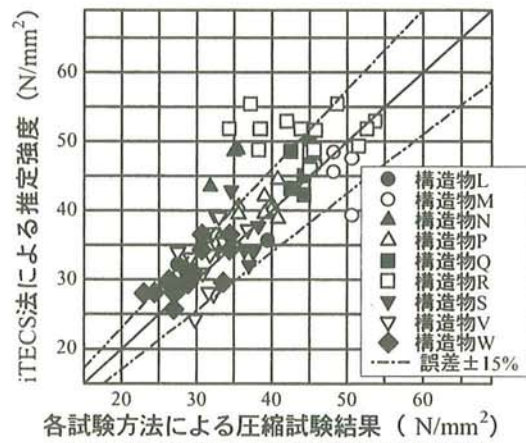


図9 推定結果と圧縮試験結果との比較