

非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究 衝撃弾性波 その9 衝撃弾性波法 (ITECS 法) によるコンクリート構造物の 圧縮強度推定精度

Study on Inspection Method of Concrete Structures Using Non-Destructive Tests
Impact Elastic Wave Part9 Accuracy data of Estimation of Compression Strength of
Concrete Structures by The Impact Elastic Wave Method

○岩野 聡史 リック勝 森濱 和正 独立行政法人土木研究所
Satoshi Iwano RIK Kazumasa Morihama Public Works Research Institute
境 友昭 アプライドリサーチ株式会社 極禮 邦夫 ITECS 技術協会
Tomoaki Sakai Applied Research Kunio Gokudan ITECS Association

概 要

筆者らは、衝撃弾性波法 (ITECS 法) による圧縮強度の試験方法について実験し、この実験成果から、国土交通省が新設構造物に対して実施している強度測定の実験での要領が作成されている。今回は、過去3年間の9現場での新設構造物での測定結果や、材齢が3年～5年経過した供試体での測定結果から、本法による推定精度、維持管理への利用方法等について検討した。その結果、本法による新設構造物での推定精度は概ね±15%であること、また、本法による弾性波速度の測定により、以後の維持管理への適用が期待されることが確認された。

1. まえがき

筆者らは、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の試験方法について検討をしている。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、これらには、新設構造物で推定精度が期待される試験方法を確立することや、既設構造物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になると考えられる。そこで、今回はこれまでに提案した試験方法により、9現場の新設構造物で圧縮強度を測定し、コア採取等による圧縮試験結果と比較して推定精度を検証した。また、材齢が3年～5年経過した供試体 (既設供試体) での測定結果と中性化試験結果の比較により、本法をコンクリート構造物の維持管理への利用する方法等について検討した。

表1 実験対象構造物

新設構造物	測定部材	配合	既設供試体名称	配合	材齢
L 橋脚	フーチング	27-8-20BB	L型壁 A	18-8-25N	約5年
	柱下段	30-8-20N	L型壁 B	27-8-25N	
M π型ラーメン橋	フーチングヘッド	36-12-20H	L型壁 C	40-8-25N	約4年
	垂直材	36-12-20H	ボックス 頂版	30-8-20N	
	主桁 (PCホロー桁)	36-12-20H	ボックス 厚壁	45-12-20N	
N PC40-スラブ橋	主桁 (PCホロー桁)	36-8-20H	ボックス 薄壁	18-8-20N	約3年
P 橋脚	フーチング	24-8-20BB	ボックス 底版	30-8-20BB	
Q 橋台	フーチング	27-8-20BB	壁供試体1	18-8-20N	約3年
	壁	27-8-20BB	壁供試体2	24-8-20N	
	パラベット	27-8-20BB	壁供試体3	30-8-20N	
R 上部工	主桁	36-15-20H	壁供試体4	60-15-20N	約3年
S 下部工	フーチング	27-8-20BB	壁供試体5	24-8-20BB	
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			

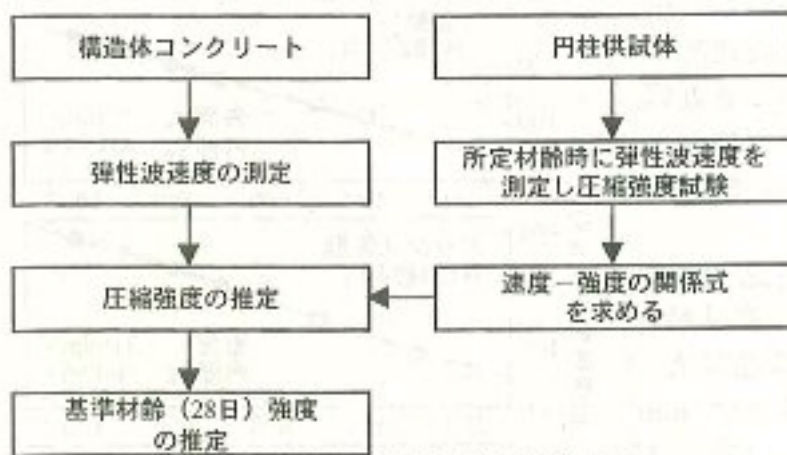


図1 iTECS法による圧縮強度試験手順



写真1 構造体での速度測定状況

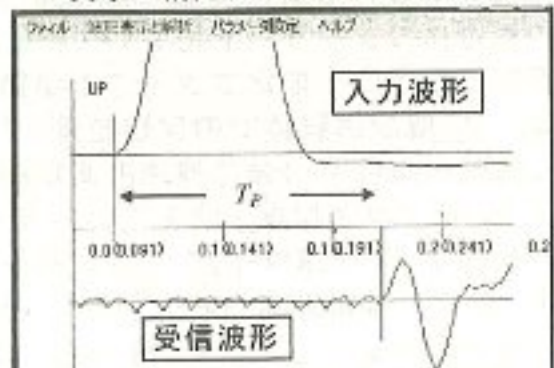


図2 構造体での速度測定波形例

2. 実験概要

2. 1 実験対象構造物, 供試体

実験対象構造物, 供試体の概要を表1に示す。

2. 2 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の試験方法¹⁾

本法による圧縮強度試験方法を図1に示す。本法では、①コンクリート中を伝搬する弾性波の速度は、ポアソン比、密度が一定であれば、弾性係数の平方根に比例すること、②弾性係数とコンクリートの圧縮強度には正の相関関係があること、①、②より、弾性波速度と圧縮強度には相関関係があることを利用して、構造体コンクリートで測定した弾性波速度から圧縮強度を測定するものである。ただし、これまでの実験で弾性波速度と圧縮強度の関係はコンクリートの配合によって変化することが確認されていることから²⁾、試験対象の構造体コンクリートと同一配合の円柱供試体で式(1)に示す両者の関係式を求め、強度推定式に設定している。

$$f_c = k \times V_p^\alpha \quad (k, \alpha : \text{係数}) \quad (1)$$

また、構造体コンクリートでの弾性波速度の測定状況を写真1に示す。弾性波の入力点, 受信点を一直線上に設定する。コンクリート表面にインパクトで打撃を与え、表面を伝搬する縦弾性波の伝搬時間差 T_p を計測し (図2), 入力点と受信点の距離差 L から弾性波速度 V_p を測定する。距離差 L は 200, 300mm と 100mm 間隔で 1000mm まで変えて測定し、全測定結果を平均処理して弾性波速度を決定する方法としている。

3. 実験結果

3. 1 新設構造物での圧縮強度推定結果

新設構造物での弾性波速度測定例として、構造物 V, W での各入力点と受信点の距離差での伝搬時間差の測定結果を図3に示す。新設構造物では全測定点において両者は一直線の比例関係を示

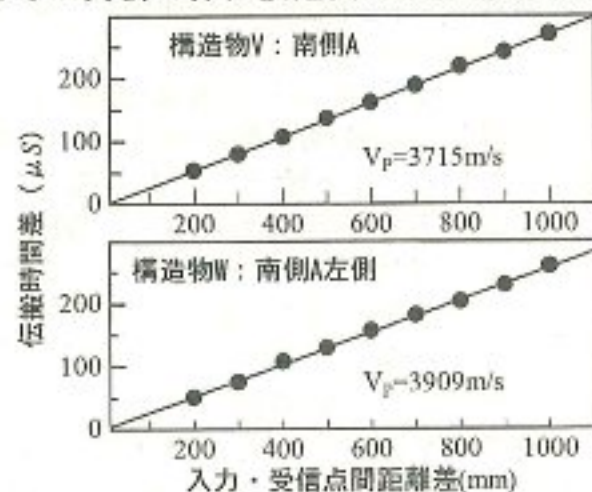
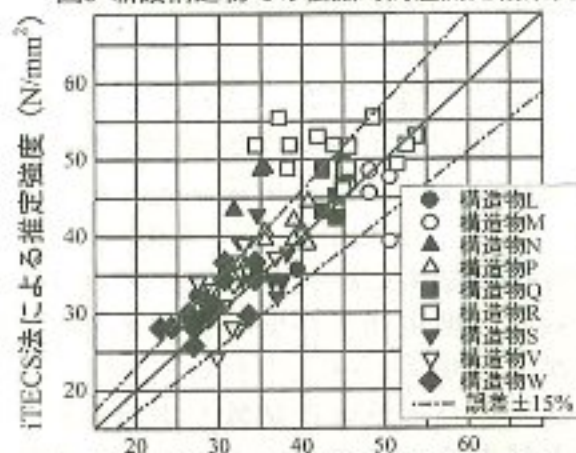


図3 新設構造物での伝搬時間差測定結果例



各試験方法による圧縮試験結果 (N/mm²)

図4 推定結果と圧縮試験結果との比較

した。これから、新設構造物では、入力点と受信点の距離差 200~1000mm において弾性波速度の測定値に変化が無く、どの距離差においても近似した速度が測定され、コンクリートの表面付近と内部での強度差が確認されないことが示されたものである。

図 3 に本法による圧縮強度の推定結果と $\phi 25\text{mm}$ ~ $\phi 100\text{mm}$ のコア採取による圧縮試験結果、および、ポス供試体による圧縮試験結果との比較を示す。圧縮強度約 20N/mm^2 ~ 55N/mm^2 の構造物コンクリートにおいて、概ね $\pm 15\%$ の精度で圧縮強度を推定できることが確認された。

3. 2 既設供試体での実験結果

既設供試体での弾性波速度測定例として、L型壁 A、ボックス厚壁、壁 2 での各入力点と受信点の距離差での伝搬時間差の測定結果を図 5 に示す。壁 2 では新設構造物と同様に、両者は一直線の比例関係を示した。これに対し、L型壁 A、ボックス厚壁では伝搬時間差と入力・受信点間距離差の比例関係が 2 通り存在した。これは表面の強度が内部より劣る場合の結果であり、既設供試体では、数測定点でこの傾向が確認された。この場合には、2通りの直線関係の勾配などから表面の弾性波速度と内部の弾性波速度をそれぞれ求め、表面と内部の圧縮強度を推定した³⁾。

以上のとおり推定した推定結果と $\phi 25\text{mm}$ のコア採取による圧縮試験結果との比較を図 6 に示す。図 6 より、小径コアによる強度が弱い場合には本法による推定結果はさらに弱くなり、小径コアによる強度が強い場合には、本法による推定結果はさらに強くなり、本法による推定強度と小径コアによる強度には、一定の勾配を持つ直線比例関係を示すことが確認された。また、表面と内部で強度差が確認された供試体については、表面強度の方が、本法による推定強度と小径コアによる強度との直線比例関係に従う結果となった。

4. 本法の維持管理への利用について

既設供試体では中性化試験を実施した。また、新設時に本法により圧縮強度を推定していた。中性化試験による中性化速度係数と新設時の圧縮強度推定結果との比較を図 7 に示す。図 7 より、新設時の推定強度が弱い供試体では、中性化の進行が速い傾向が確認される。これから、新設時に本法により圧縮強度試験を実施することは、施工管理、品質検査のみでなく、各測定点での結果を比較することにより、中性化の進行が懸念される位置を特定して、以後の維持管理での中性化試験の実施箇所の判断などに利用できるものと期待される。

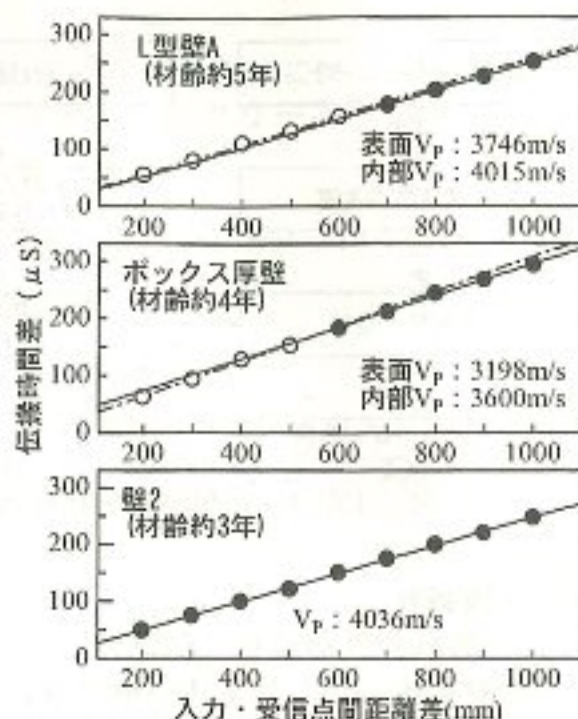


図5 既設供試体での伝搬時間差測定結果例

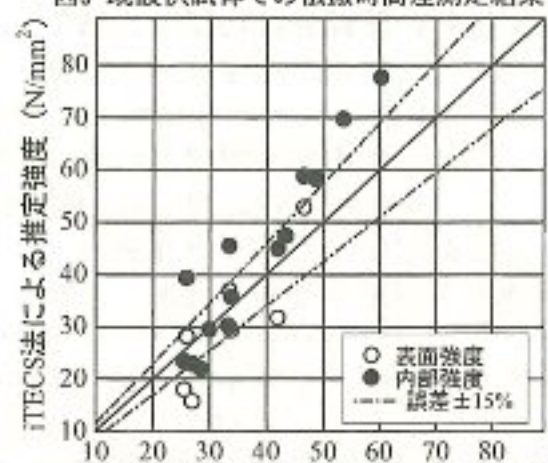


図6 推定結果と小径コア強度との比較

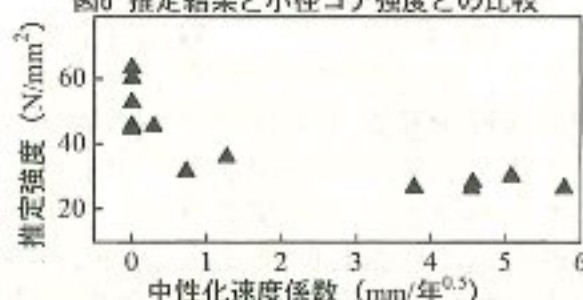


図7 新設時の強度推定結果と中性化速度係数

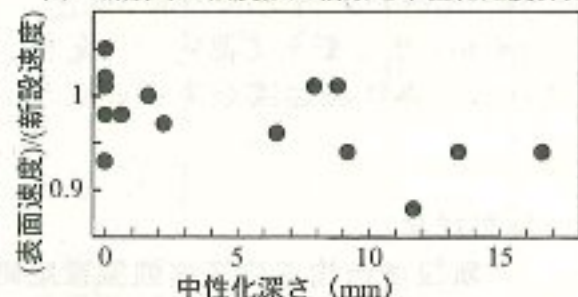


図8 弾性波速度変化と中性化深さ

また、既設供試体では3.2節に示したとおり、表面と内部で弾性波速度の差（強度差）が確認される測定点が存在したが、表面の弾性波速度と新設時の弾性波速度との比率と、中性化深さとの関係を図8に示す。図8より、表面の弾性波速度が新設時から低下するほど、中性化深さが深くなる傾向が確認される。ただし、中性化の進行による弾性波速度の変化要因は明確ではなく、過去の実験においてはセメントの種類によっては、中性化の進行により弾性波速度が速くなる場合もあった⁴⁾。しかし、これらの実験結果より、中性化の進行により、弾性波速度の測定値に何らかの変化が生じることが予想されることから、既設構造物では表面と内部で強度差が生じているのかを確認し、さらに、新設時の測定結果と比較することにより、中性化深さを推測することは困難ではあるが、中性化の進行が懸念される位置を特定して、中性化試験の実施箇所の判断などに利用できるものと期待される。

以上のとおり、本法では弾性波の入力点と受信点の距離差を200mmから100mm間隔で1000mmまでの計9点で伝搬時間差を計測して弾性波速度を測定するが、この測定を新設時から以後の維持管理まで実施し、伝搬時間差の距離差による変化や経年変化に着目することにより、新設時の施工管理、品質検査のみでなく、以後の維持管理にも利用できるものと期待される。

5. まとめ

今回は、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を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に利用されることを期待して、新設構造物での推定精度を検証し、また、材齢が3年～5年経過した既設供試体での測定結果と中性化試験結果の比較などを行った。

その結果、9現場の新設構造物では、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。既設供試体では、入力点と受信点の距離差を200mmから100mm間隔で1000mmまでの計9点で伝搬時間差を計測することにより、表面と内部との強度差の有無を判断できることが確認された。また、新設時の圧縮強度の測定値は以後の中性化の進行速度と関係があり、さらに、中性化の進行によって表面付近の弾性波速度が新設時の測定値から変化する傾向が確認された。

以上から、新設時から以後の維持管理まで試験を実施し、伝搬時間差の距離差による変化や経年変化に着目することによって、新設時の施工管理、品質検査のみでなく、劣化の進行が懸念される位置の特定や、進行の傾向を把握することにより、各種破壊試験の実施箇所や実施時期の判断など、以後の維持管理に利用できるものと期待される。

参考文献：

- 1)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）（H19修正），2007.4
- 2)岩野聡史ほか：衝撃弾性波法による新設構造物での圧縮強度推定方法の検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.28，No.1，pp.1835-1840，2006.6
- 3)岩野聡史ほか：非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究衝撃弾性波 その8 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推定手順の検証，日本非破壊検査協会平成19年度秋季大会講演概要集，pp.107-110，2007.10
- 4)岩野聡史ほか：弾性波速度に変化を及ぼすコンクリートの状態変化について，第61回土木学会年次学術講演会講演概要集，第V部門，pp.545-546，2006.9