

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5 衝撃弾性波法によるコンクリートの圧縮強度の推定での 現状の精度と課題

Study on Inspection Method of Concrete Structures Using Non-Destructive Tests
Impact Elastic Wave Part5 Current Accuracy and Problem in Estimation of Compression
Strength of Concrete Structures by The Impact Elastic Wave Method

岩野 聡史 リック(株) 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) 極 檀 邦夫 東海大学
Tomoaki Sakai Applied Research Kunio Gokudan Tokai University

概 要

衝撃弾性波法によりコンクリートの弾性波速度を測定し、圧縮強度を推定する研究を行っている。これまで、弾性波速度から圧縮強度への換算式は、多種多様なコンクリートに対して一般化するのではなく、呼び強度別に換算式を設定することや、管理用円柱供試体等を用いて換算式の検証を行うことを提案してきた。今回は実構造物においてこの提案に基づき圧縮強度を推定し、構造物から採取した標準コアによる圧縮試験結果と比較した。その結果、換算式の検証により推定精度が向上することや、換算式を設定したコンクリートとは種類が異なる構造物では、適用が困難であることが確認された。

キーワード：衝撃弾性波法，圧縮強度，弾性波速度，呼び強度

1. まえがき

衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の検査項目に圧縮強度の推定がある。これはコンクリート構造物で弾性波速度を測定し、弾性波速度と圧縮強度の関係式を換算式として、圧縮強度を算出する手法である。しかし、条件が多種多様なコンクリートを混在させて、弾性波速度と圧縮強度の関係を示すと、両者の相関関係は弱くなることから、本手法を一般化するのは難しいと指摘されている¹⁾。筆者らは、この問題に対し、弾性波速度と圧縮強度の関係を呼び強度別に示すと両者の相関関係が強くなることから、換算式を呼び強度別に設定すること²⁾や、新設構造物での管理用円柱供試体などにより換算式を検証すること³⁾を提案している。

今回は、これらを考慮して実構造物で衝撃弾性波法により圧縮強度を推定し、現状の精度、今後の課題等について検討したので、その結果について報告する。

2. 弾性波速度と圧縮強度の関係について

これまでの実験において、セメント種類が普通コンクリート、高炉B種、早強セメントの3種類、呼び強度が18~45と多種多様な円柱供試体により、弾性波速度と圧縮強度を測定し、両者の関係を調査した。全供試体での弾性波速度3700m/s以上での弾性波速度と圧縮強度の関係を図1に示す。

図1より、両者を指数関数で回帰し、相関係数を求めると0.73となり、両者にはある程度の相関関係が認められるものの、ここで得られた回帰式を弾性波速度から圧縮強度への換算式として採用するには、問題があるといえる。

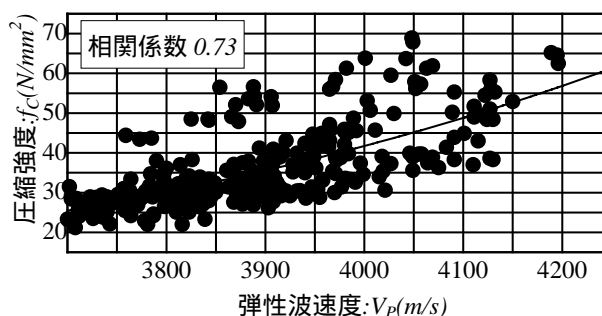


図1 全円柱供試体での弾性波速度と圧縮強度の関係

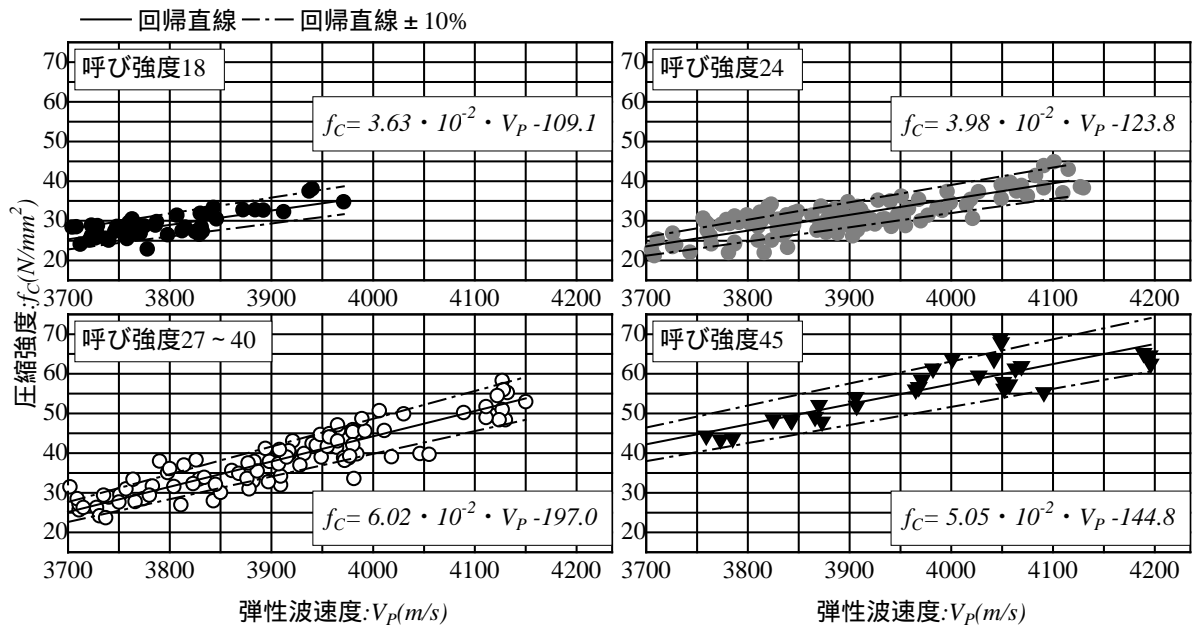


図2 呼び強度別での弾性波速度と圧縮強度の関係

両者の関係を呼び強度毎に分別し、示した結果を図2に示す。図2より、両者は直線で回帰され、ここで得られた回帰式と実データとの誤差は概ね10%の範囲に収まることが確認された。以上から、弾性波速度を測定し、弾性波速度と圧縮強度の関係式を換算式として圧縮強度を推定するには、多種多様のコンクリートでの両者の関係式を用いると測定精度に問題があることから、表1に示すとおり呼び強度別に換算式を設定するなどの対応が必要であるといえる。

表1 弾性波速度から圧縮強度への換算式

呼び強度	換算式
18	$f_c = 3.63 \cdot 10^{-2} \cdot V_p - 109.1$
24	$f_c = 3.98 \cdot 10^{-2} \cdot V_p - 123.8$
27 ~ 40	$f_c = 6.02 \cdot 10^{-2} \cdot V_p - 197.0$
45	$f_c = 5.05 \cdot 10^{-2} \cdot V_p - 144.8$

表2 測定した既設構造物一覧

名称	構造物種類	呼び強度	適用する換算式
A	橋脚	21 24	$f_c = 3.98 \cdot 10^{-2} \cdot V_p - 123.8$
B	堤防護岸	19.5	$f_c = 3.63 \cdot 10^{-2} \cdot V_p - 109.1$
C	橋脚	24	$f_c = 3.98 \cdot 10^{-2} \cdot V_p - 123.8$
D	建築物	不明	-

3. 既設構造物での測定例



写真1 構造物A測定状況



写真2 構造物B測定状況



写真3 構造物D測定位置状況

既設構造物での測定例として、表2に示す構造物A、B、Cについて、圧縮強度を推定した結果を示す。なお、弾性波速度から圧縮強度への換算式については、コンクリートの呼び強度から表1に示した換算式を適用した。また、構造物Dについては呼び強度

が不明であることや、これまで換算式を設定するために実験したコンクリートとは種類が異なる建築物であることから、弾性波速度を測定した結果から本法の適用の可能性について確認した。

表3 既設構造物での圧縮強度推定結果

名称	構造物種類	弾性波速度 (m/s)	推定圧縮強度 (N/mm ²)	標準コア圧縮強度 (N/mm ²)
A	橋脚	4008	35.7	32.8
		4015	36.0	27.5
B	堤防護岸	4340	48.4	37.1
		4386	50.1	44.0
		4358	49.1	38.9
		4240	44.8	44.6
C	橋脚	4163	41.9	40.5
		3939	33.0	44.4
		3887	30.9	34.4

既設構造物 A, B, C での測定結果および標準コアによる圧縮強度測定結果との比較を表 3, 図 3 に示す。比較結果より、標準コアにより測定した圧縮強度との誤差は 0.5% ~ 30.7% (0.2N/mm² ~ 11.4N/mm²) となった。

建築物である構造物 D での弾性波速度の測定結果および 25mm の小径コアでの圧縮強度試験結果を表 4 に示す。測定結果より、弾性波速度は全部材とも 3700m/s を下回る結果であった。表 1 に示した本法での弾性波速度から圧縮強度への換算式は、弾性波速度 3700m/s 以上を想定し、設定しているが、測定結果はこの範囲外であった。参考までに呼び強度 18 での弾性波速度 3700m/s 以上での換算式から圧縮強度を計算すると、4.1 ~ 23.3N/mm² と低い値となる。これに対し、小径コアでの圧縮強度試験結果は 27.0 ~ 32.3N/mm² であった。これから、換算式を設定する実験を行ったコンクリートとは種類が異なる建築物のような構造物においては、この換算式を用いて圧縮強度を推定することは困難であるといえる。

4. 新設構造物での測定例



写真 1 構造物 E 測定状況

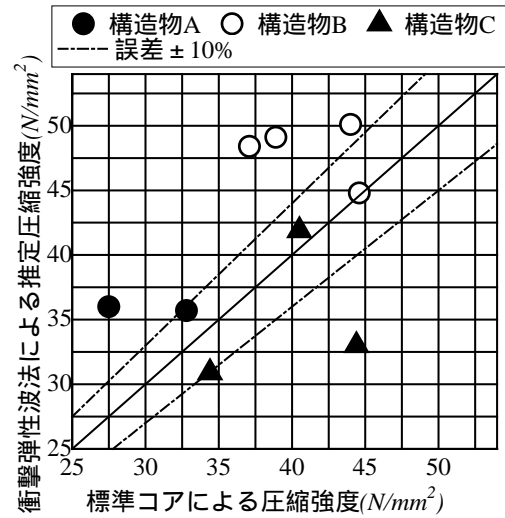


図3 既設構造物での圧縮強度推定結果比較

表4 構造物D測定結果

測定部材	弾性波速度 (m/s)	小径コア圧縮強度 (N/mm ²)
E面	3598	28.8
	3320	
	3118	
N面	3649	32.3
		27.0
W面	3441	27.5
		31.4

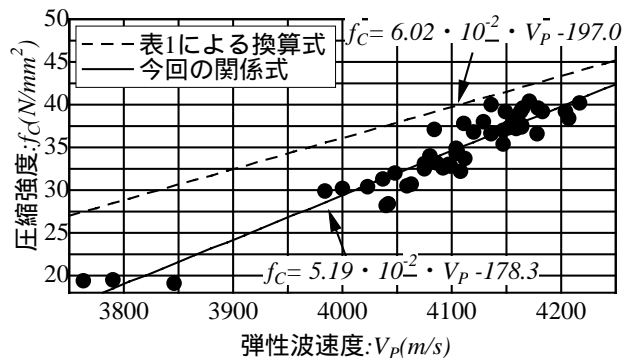


図4 円柱供試体による弾性波速度と圧縮強度の関係調査結果および表 1 の換算式との比較

新設構造物での測定例として、構造物 E での測定結果を示す。構造物 E では、管理用の円柱供試体を製作したことから、まず、換算式の検証実験を行い³⁾、次に、実構造物で弾性波速度を測定し、圧縮強度の推定を行った。

(1) 換算式の検証実験結果

構造物 E の呼び強度は 30 であることから、換算式は表 1 より、式(1)を採用することが検討される。

$$f_c = 6.02 \cdot 10^{-2} \cdot V_p \quad 197.0 \quad (1)$$

そこで、式(1)を換算式として採用することに問題がないかを検証するため、管理用の円柱供試体により弾性波速度と圧縮強度の関係を調査した。その結果を図 4 に示す。図 4 より、弾性波速度と圧縮強度には式(1)とは一致しない関係式(2)が得られた。

$$f_c = 5.19 \cdot 10^{-2} \cdot V_p \quad 178.3 \quad (2)$$

式(1)を換算式とした圧縮強度の測定値と式(2)を換算式とした圧縮強度の測定値との寄与率を求めると 0.39 と低くなった。これから、本構造物での換算式は、円柱供試体により得られた式(2)を採用することとした。

(2) 圧縮強度の推定結果

構造物 E で弾性波速度を測定し、式(2)により推定した圧縮強度および標準コアによる圧縮強度の測定結果との比較を表 5 に示す。比較結果より、標準コアにより測定した圧縮強度との誤差は 1.9% ~ 21.7% (0.7N/mm² ~ 8.4N/mm²) となった。図 5 に、構造物 E を含め、換算式の検証を行った新設構造物での推定精度と 3 章に示した換算式の検証を行わない既設構造物での推定精度の比較を示す。換算式の検証を行った新設構造物の方が推定精度は向上しているものと考えられる。

5. まとめ

衝撃弾性波法によるコンクリートの圧縮強度の推定について、弾性波速度から圧縮強度への換算式を多種多様のコンクリートに対して一般化することは、推定精度において問題があるといえる。そこで、コンクリートの呼び強度毎に換算式を設定し、実構造物で圧縮強度の推定を行った。その結果、管理用円柱供試体により換算式を検証すると推定精度は向上し、また、換算式を設定したコンクリートとは種類が異なる建築構造物では適用が困難であることが確認された。これらから、呼び強度毎の設定のみでなく、弾性波速度と圧縮強度の関係が更にどのような条件で変化するのかを把握し、推定精度の高い換算式の決定方法を考案することが今後の課題であると考えられる。

表5 新設構造物Eでの圧縮強度推定結果

測定位置 No.	弾性波速度 (m/s)	推定圧縮強度 (N/mm ²)	標準コア圧縮強度 (N/mm ²)
	4098	35.1	32.5
	4078	34.1	39.6
	4051	33.7	34.4
	4019	30.1	38.5
	4035	30.7	38.6

● 換算式の検証を行った場合 (新設構造物)
○ 換算式の検証を行わない場合 (既設構造物)
--- 誤差 ± 10%

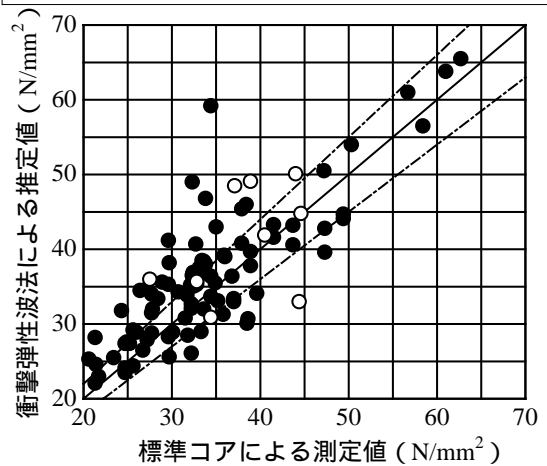


図5 標準コアによる測定結果との比較

参考文献：1)鎌田敏郎：コンクリートにおける弾性波の伝播特性について、日本非破壊検査協会 非破壊検査第 53 巻 9 号,pp.552-557, 2004.9

2)岩野聡史,森濱和正,境友昭,極檀邦夫：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4 コンクリートでの弾性波速度と圧縮強度の関係について、日本非破壊検査協会平成 16 年度秋季大会講演概要集,pp.49-50,2004.11

3)岩野聡史,森濱和正,極檀邦夫,境友昭：衝撃弾性波法による現地でのコンクリート構造物の圧縮強度の推定、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期待 論文集,pp.49-56,2003.7