

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6 衝撃弾性波法によるコンクリートの圧縮強度推定での  
換算式設定方法の検討

Study on Inspection Method of Concrete Structures Using Non-Destructive Tests  
Impact Elastic Wave Part6 Examination of the Method of Deciding the Expression for  
Convert Elastic Wave Velocity into Compression Strength of Concrete

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 iTECS 技術協会  
Tomoaki Sakai Applied Research Kunio Gokudan iTECS Technology Association

概 要

衝撃弾性波法によるコンクリートの圧縮強度推定では、弾性波速度と圧縮強度の関係式を換算式として利用する。これまでの実験により、両者の関係はコンクリートの配合等で変化することから、推定精度の向上には、新設構造物では管理用の円柱供試体で両者の関係を再度調査し、換算式を検証することが必要であるとの見解を得ている。しかし、煩雑な検証方法では適用が困難となる。これから、今回の実験では、煩雑でない検証方法として、材齢変化に伴う強度変化の予測式を利用する方法を検討した。その結果、この方法により圧縮強度の推定精度が向上する換算式を設定できることが示された。

キーワード：衝撃弾性波法，圧縮強度，弾性波速度，換算式，新設構造物

1. まえがき

衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の圧縮強度の推定について研究をしている。本法は、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方法である。推定精度には換算式が大きく影響するが、弾性波速度と圧縮強度の関係はコンクリートの配合等により変化することから、筆者らは、推定精度の向上には測定構造物ごとに換算式を検証する必要があると提案している<sup>1)</sup>。換算式の検証方法については、新設構造物ではコンクリート打設時に管理用の円柱供試体を製作することから、この円柱供試体を利用することが有効であると考えられる。これまでの検証方法は<sup>2)</sup>、円柱供試体を多数製作し、材齢を数回変化させて弾性波速度と圧縮強度を測定し、材齢変化に伴う両者の変化から両者の関係を調査する方法であった。しかし、この方法は、円柱供試体を多数製作することや、圧縮試験を複数回実施することから、煩雑な方法といえ、実構造物への適用には問題があると考えられる。

これに対し、材齢変化に伴う圧縮強度の変化については、一般的な予測式が設定されている<sup>3)</sup>。これから、この予測式が利用できれば、圧縮強度については各材齢で試験する必要が無く、換算式の検証を簡易に実施できるものと期待される。

そこで、今回の実験では、新設の実構造物および供試体で製作した円柱供試体で、実際に測定した圧縮強度と予測式により推定した圧縮強度との比較や、両圧縮強度と弾性波速度との関係を比較し、弾性波速度から圧縮強度への換算式の検証に、材齢変化に伴う圧縮強度の予測式が利用できるかについて検討した。

2. 実験概要

2.1 実験に用いた構造物，供試体

実験に用いた構造物，供試体の概要を表1に示す。セメント種類は普通ポルトランドセメント(N)，高炉セメントB種(BB)の2種類，呼び強度は18～60である。

表1 実験に用いた構造物，供試体の概要

構造物・供試体名称			セメント種類	呼び強度	測定材齢 (日)	測定回数
構造物A	橋脚	RC巻立て補強部	BB	24	7~91	4
構造物B	橋脚	床版	N	30	3~28	4
構造物C	擁壁	底版	BB	24	27~90	4
構造物D	擁壁	底版	BB	24	11~74	4
構造物E	橋台	底版	N	24	6~91	3
構造物F	橋台	底版	BB	24	4~94	5
L型供試体			BB	18	7~363	6
			BB	27	7~363	6
			N	18	14~376	5
			N	27	14~376	5
			N	40	14~376	5
ボックス型供試体			BB	30	1~405	9
			N	45	1~391	9
			N	18	1~391	9
			N	30	1~377	9
壁型供試体			N	18	1~56	6
			N	24	1~56	6
			N	30	1~56	6
			N	60	1~56	6
			BB	24	1~56	6

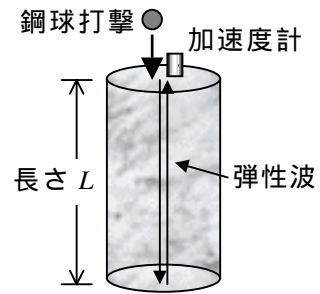


図1 弾性波速度測定状況

表2 圧縮強度予測式の係数

セメント種類	a	b	d
N	4.5	0.95	1.11
BB	6.2	0.93	1.15

## 2.2 実験内容

全構造物，供試体とも新設であり，コンクリート打設時に円柱供試体を製作した。この円柱供試体に対し，表1に示す材齢，回数で弾性波速度と圧縮試験により圧縮強度を測定した。

コンクリートの圧縮強度は材齢に伴い変化するが，一般に各材齢での圧縮強度  $f'_c(t)$  は，材齢 28 日の圧縮試験により測定した圧縮強度  $f_{c28}$  から，式(1)により推定される<sup>3)</sup>。

$$f'_c(t) = \left( \frac{t}{a + bt} \right) \times d \times f_{c28} \quad (1)$$

ここに， $t$  は材齢 (日)， $a, b, d$  は表2を標準とするセメントの種類によって変化する係数である。

そこで，衝撃弾性波法によるコンクリートの圧縮強度推定での換算式の設定に，式(1)の予測式が利用できるかを検討するため，各構造物，供試体で，各材齢で予測式により圧縮強度  $f'_c(t)$  を推定し，圧縮試験により測定した圧縮強度との比較を行った。また，弾性波速度と圧縮強度の関係について，予測式による圧縮強度での関係式と，圧縮試験による圧縮強度での関係式との比較を行った。さらに，予測式による圧縮強度と弾性波速度との関係式から，換算式を設定し，弾性波速度の測定結果から圧縮強度を推定した場合での誤差を確認した。

## 3. 実験結果

### 3.1 予測式による圧縮強度と圧縮試験による圧縮強度の比較結果

各構造物，供試体で材齢 28 日に圧縮試験により測定した圧縮強度から，式(1)の予測式により推定した圧縮強度と，圧縮試験により測定した圧縮強度との比較結果を図2に示す。図2より，L型供試体では誤差が大きくなるが，概ね 10% 程度の誤差となった。

誤差が生じた原因としては，予測式による圧縮強度は材齢 28 日での圧縮試験結果から推定したが，材齢 28 日での圧縮試験で用いた円柱供試体と，その他の材齢での圧縮試験

で用いた円柱供試体とは、同時に製作したものの同一ではないことから、ある程度の誤差が生じたものと考えられる。この他、特にL型供試体で圧縮試験による圧縮強度が約  $35\text{N/mm}^2$  以上となった場合に誤差が大きくなった。これは、材齢1年程度まで圧縮試験を行った場合には、材齢1年程度での圧縮試験による圧縮強度は、予測式により推定した圧縮強度よりも大きくなること示されたものといえる。

### 3.2 弾性波速度と圧縮強度の関係式の比較結果

弾性波速度と圧縮強度の関係式について、予測式により推定した圧縮強度での結果と、圧縮試験による圧縮強度での結果を比較した例を図3に示す。また、両関係式のバラツキの程度を比較するために、両関係式の寄与率を求め<sup>4)</sup>、セメント種類、最後の測定を行った材齢別に平均値で比較した結果を表3に示す。

図3より、構造物B、壁型供試体(N30)では、寄与率が0.9以上と高くなり、弾性波速度と圧縮強度の関係式は、予測式により推定した場合であっても、圧縮試験で圧縮強度を測定した場合と同等となる結果であった。

一方、構造物C、L型供試体(N18)での寄与率は低下した。両関係式は、弾性波速度が材齢28日での測定値となる付近を交点として、弾性波速度が増加すれば、予測式による関係式での圧縮強度が低くなる結果となった。

これは、予測式による圧縮強度は、材齢28日に圧縮試験により測定した圧縮強度から推定したことから、材齢28日の測定値付近で両関係式が一致することと、前述のとおり、材齢1年程度での圧縮試験による圧縮強度は、予測式での推定以上に大きくなること原因として考えられる。また、表3からも、両関係式の寄与率はセメント種類には影響されないが、測定材齢を1年程度までとした場合には、この原因により低下することが、明らかに確認できる。

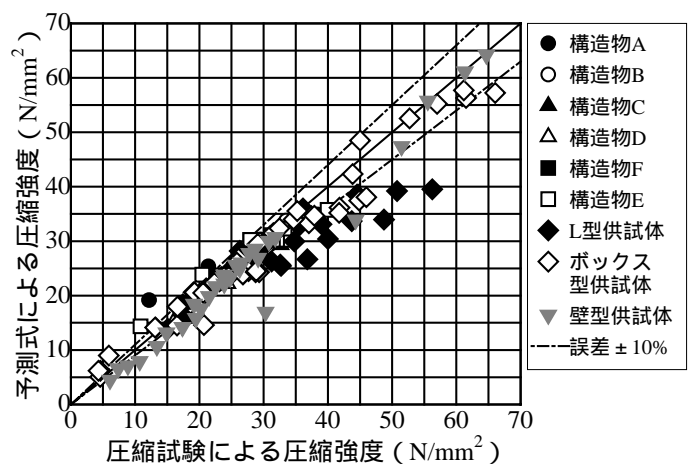
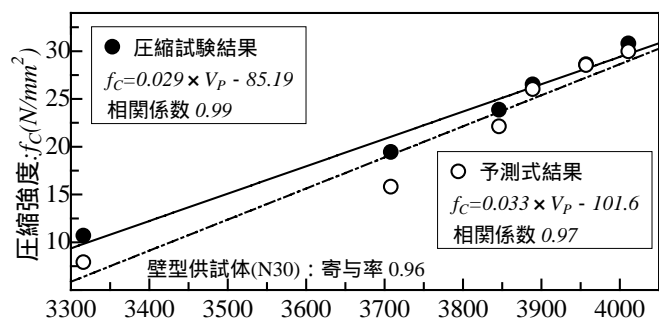
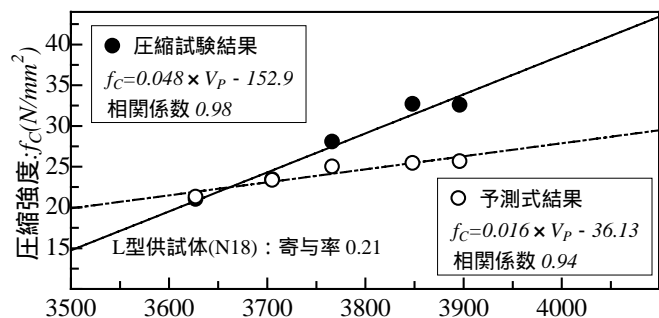
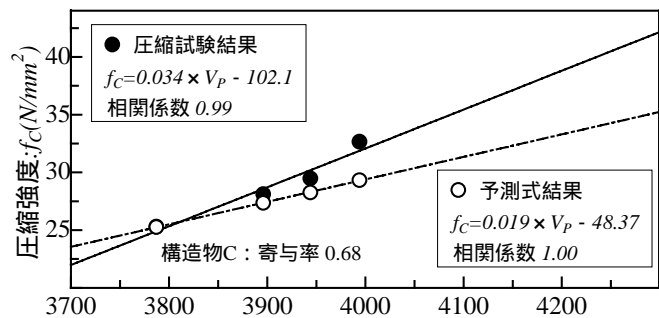
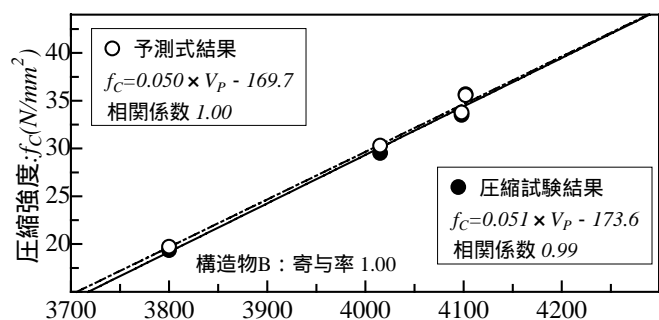


図2 予測式による圧縮強度と圧縮試験結果の比較



弾性波速度:  $V_p$ (m/s)

図3 弾性波速度と圧縮強度との比較

表3 測定材齢，セメント種類による寄与率の比較

最終測定時材齢(日) セメント種類	50未満	50～75	75～100	350～375	375～400	400～425	総計
N	1.00	0.84	0.90	-	0.51	-	0.69
BB	-	0.85	0.78	0.36	-	0.48	0.65
総計	1.00	0.85	0.81	0.36	0.51	0.48	0.68

### 3.3 予測式による換算式での圧縮強度の推定精度について

各構造物，供試体で弾性波速度を測定し，換算式から圧縮強度を推定した。

100mm の標準コアを採取して実施した圧縮試験結果との比較を図4に示す。なお，図4には換算式を既往の研究で提案した呼び強度別に設定した場合と<sup>2)</sup>，3.2節で得た予測式による圧縮強度と弾性波速度との関係式から設定した場合とを示した。図4より，換算式を予測式から設定することにより推定精度は向上し，L型供試体を除いては誤差±10%程度以内で圧縮強度が推定できることが確認された。L型供試体で誤差が大きくなったのは，前述のとおり，材齢1年程度での予測式での推定強度は，実際の強度より小さくなることなどが原因として考えられる。

### 4.まとめ

衝撃弾性波法による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の簡易な設定方法として，材齢変化に伴う圧縮強度の変化の予測式を利用する方法を検討した。その結果，測定材齢を100日程度までとした場合には，予測式により推定した圧縮強度と圧縮試験による圧縮強度との誤差は小さく，換算式は両者で同等となる結果が得られた。また，実際の構造物等で弾性波速度を測定し，予測式により設定した換算式から圧縮強度を推定すると，既往の研究で提案した換算式を呼び強度別に設定した場合よりも推定精度は向上した。以上から，測定材齢に配慮して予測式を利用すれば，換算式の簡易な設定方法として利用できるものと考えられる。

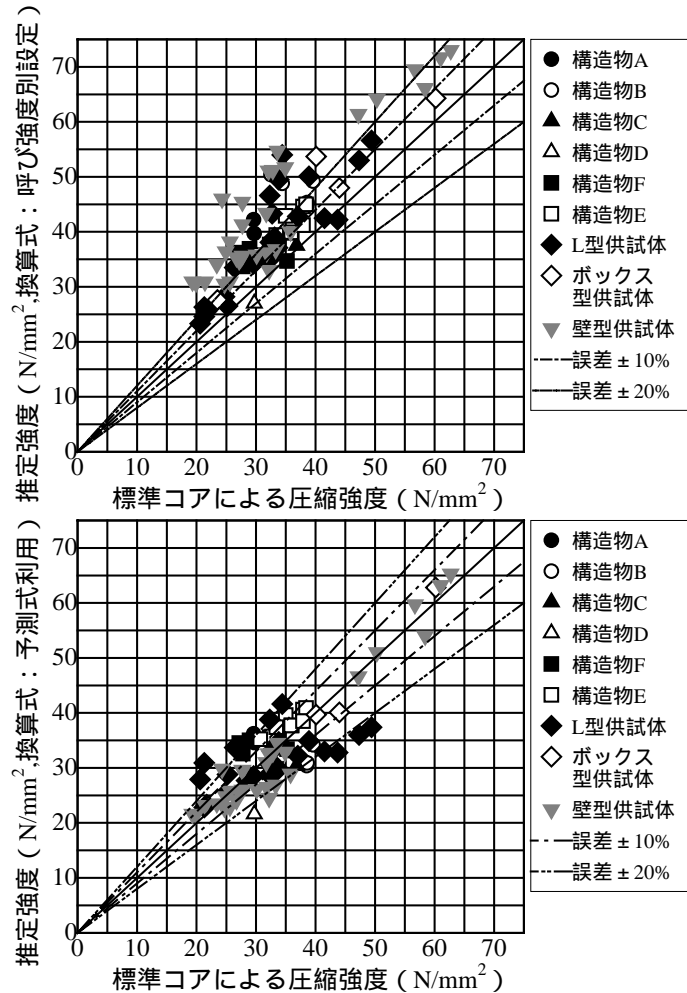


図4 標準コアによる圧縮試験結果との比較

参考文献：1) 岩野聡史,森濱和正,境友昭,極檀邦夫：衝撃弾性波法による新設供試体でのコンクリートの圧縮強度の推定,土木学会第60回年次学術講演概要集第V部,pp.49-50,2005.9

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) (社)土木学会,2002年制定 コンクリート標準示方書[施工編],pp.52,2002.3

4)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