

# 非破壊試験によるコンクリートの圧縮強度評価式の作成

## 4 および強度推定に関する検討

徳島大学 賛助会員○藤本就真 徳島大学大学院 正会員 渡辺健  
徳島大学大学院 学生会員 鈴木彩莉 徳島大学大学院 フェロー会員 橋本親典

### 1. はじめに

コンクリート構造物の圧縮強度を把握するための手法として、圧縮強度評価式による強度推定手法がある。これは、非破壊検査の一つである衝撃弾性波法により弾性波速度を測定し、弾性波速度と圧縮強度の関係から圧縮強度評価式を作成し強度を推定する手法であり、NDIS2426-2 衝撃弾性波法の附属所 D (参考) <sup>1)</sup>で提案されている。また、近年は天然骨材採取量の減少に伴い、産業副産物を起源とする骨材である銅スラグ、高炉スラグ、再生骨材等の有効利用が望まれており、様々な研究がおこなわれている。本研究では、使用材料、配合を変化させ、圧縮強度評価式の作成を行い、それらの精度と適用性について検討した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料・配合条件

使用材料を表-1、コンクリート配合を表-2に示す。セメントには普通ポルトランドセメント (OPC) を使用した。高炉スラグ細骨材 (BFS) は BFS5 を使用し、細骨材に 30% 置換した。再生粗骨材 (RG) は杭基礎を破碎・分級した低度処理のものである。

W/C はそれぞれの配合シリーズで 45%、55% の 2 パターンとした。また、骨材量が弾性波速度に与える影響を除去するため、骨材量は全配合で一定とした。供試体は円柱供試体 ( $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ ) を使用し、3 日、7 日、28 日、56 日、91 日間水中養生を行った後、各試験を行った。

#### 2.2 弾性波法による圧縮強度評価

衝撃弾性波法のうち多重反射 (図-1(a)) を用いて基本周波数  $f_0$  を測定し、式(1)より弾性波速度を算出した。サンプリング時間の違いによる圧縮強度評価式への影響を確認するため、サンプリング時間は  $10 \mu\text{s}$  で計測した。超音波法 (図-1(b)) では、150mm 間を伝搬する時間  $t$  を測定し、式(2)より弾性波速度を算出した。また、弾性波速度  $V_p$  と圧縮強度  $f_c$  の関係は式(3)で表すことができる。この式(3)を圧縮強度評価式という。  $\alpha$ 、 $\beta$  は実験によって求まる定数である。本研究では、最小二乗法から  $\alpha$ 、 $\beta$  の算出を行い、圧縮強度を推定し、推定圧縮強度と実測圧縮強度との誤差率が  $\pm 15\%$  の範囲内に収まるかを評価した。また、N 配合での圧縮強度評価式を他の材料を使用したコンクリートにも適用できるのかを確認するため、N 配合以外の配合に対して N 配合の  $\alpha$ 、 $\beta$  を用いて圧縮強度評価式を作成し、同様に評価した。

$$V_p = 2 \cdot f_0 \cdot L \quad (1)$$

$$V_p = 150/t \quad (2)$$

$$f_c = \beta \times V_p^\alpha \quad (3)$$

表-1 使用材料

使用材料	記号	物性等
普通ポルトランドセメント	OPC	表乾密度: 3.16g/cm <sup>3</sup>
普通砕砂	S	表乾密度: 2.57g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 2.43%, F.M.2.85, 実積率: 64.1%
福山産高炉スラグ細骨材	BFS	表乾密度: 2.73g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 0.89%, F.M2.9, 実積率: 54.8%
普通砕石	G	表乾密度: 2.57g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 1.62%, F.M.6.66, 実積率: 55.9%
再生粗骨材	RG	表乾密度: 2.52g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 3.75%, F.M.6.59, 実積率: 57.6%
高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系
AE剤	AEA	高アルキルカルボン酸系

表-2 コンクリート配合

配合シリーズ	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						SL (cm)	Air (%)
		W	C	S		G			
				S	BFS	G	RG		
N	45	157	349	789	-	964	-	8	4.3
	55	170	3	789	-	964	-	9.5	5.5
BFS	45	157	349	587	251	964	-	11	5.5
	55	170	3	587	251	964	-	10.5	3.8
RG	45	157	349	789	-	-	946	11	6
	55	170	309	789	-	-	946	11	5.5

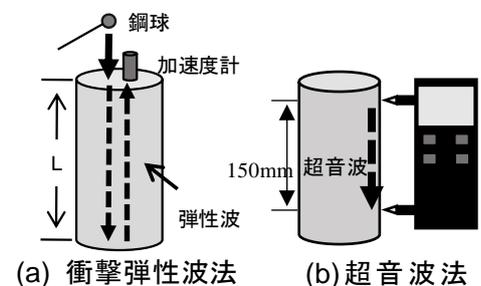


図-1 測定方法

### 2.3 ハンマ打撃法

測定は一軸圧縮強度試験機を用いて荷重 20kN を载荷した状態で行った。試験は機械インピーダンス法、反発度法を適用し、それぞれ機械インピーダンス、反発度を算出した。

### 3. 実験結果

衝撃弾性波法と超音波法から測定した弾性波速度と圧縮強度の関係から圧縮強度評価式を作成し、圧縮強度を推定した。そのうち、衝撃弾性波法と超音波法それぞれの W/C45% を抜粋し、図-2(a), 図-2(b), 図-3 に示す。その結果、一部は目標誤差率の±15%には収まらなかったが、平均誤差率は 14.1% となった。このことから、BFS, RG を使用したコンクリートに対して、使用材料毎に圧縮強度評価式を作成した場合は、圧縮強度評価式を用いて圧縮強度推定をすることが可能であることが示された。

また、衝撃弾性波法から算出した N (普通コンクリート) の圧縮強度評価式を用いて、BFS, RG の圧縮強度を推定した結果を図-4 に示す。結果、平均誤差率は 18.5 となり、N の圧縮強度評価式は BFS, RG に適用可能であることが確認できた。

次に、ハンマ打撃法から得られた機械インピーダンス、反発度と、圧縮強度及び静弾性係数とのそれぞれの相関性を評価した。そのうち静弾性係数との関係を図-2(c), 図-2(d) に示す。結果、どちらの場合も高い相関を示し、機械インピーダンス、反発度と圧縮強度に相関があることが確認された。

### 4. まとめ

BFS, RG を使用したコンクリートは、機械インピーダンス、反発度と静弾性係数が相関関係にあることが確認された。また BFS, RG を使用したコンクリートに対して、誤差率±15%程度であれば、圧縮強度評価式による圧縮強度評価が可能であることが示された。さらに、BFS, RG を使用したコンクリートに対して、N 配合の圧縮強度評価式を用いて強度推定することが可能であることが示された。

### 参考文献

NDIS 2426-2 付属書 D：新設コンクリート構造物におけるコンクリート圧縮強度評価方法，pp20，2014

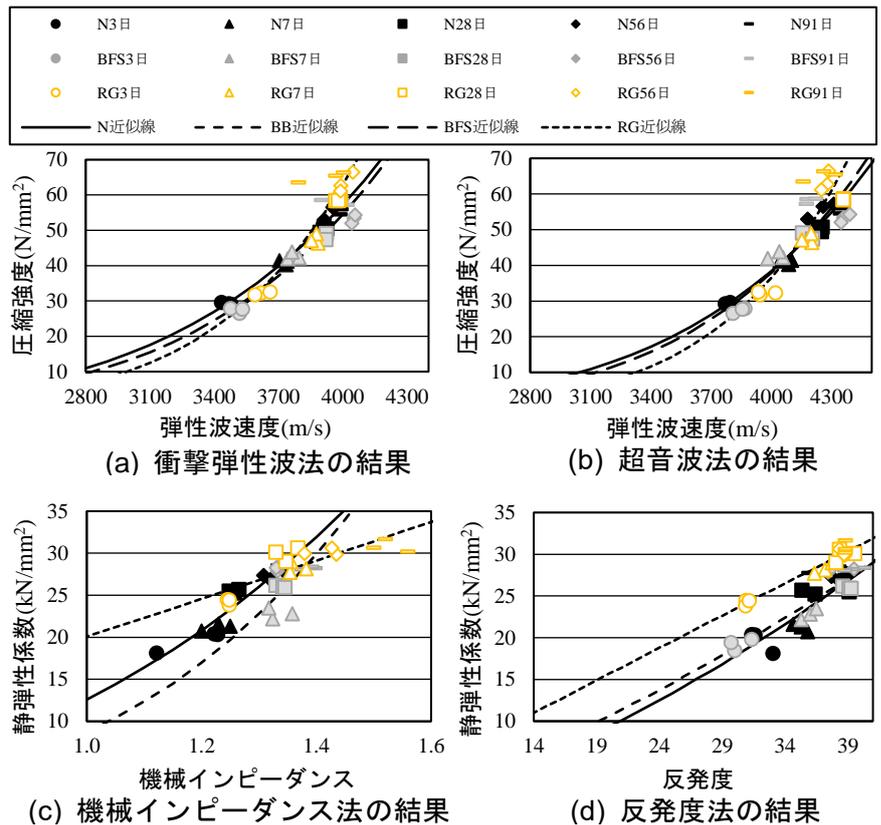


図-2 各試験での相関関係の結果

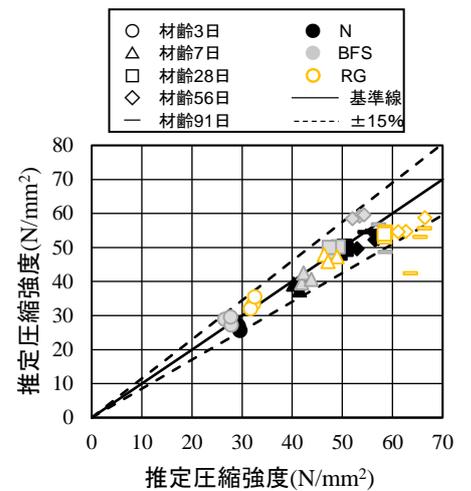


図-3 圧縮強度の推定精度

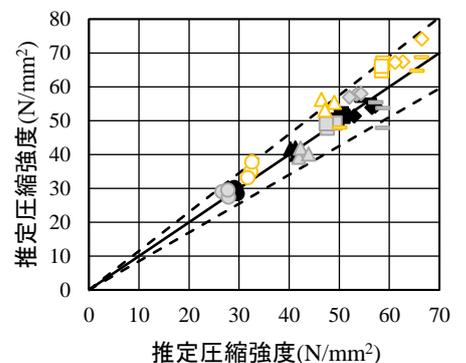


図-4 N 配合の圧縮強度評価式を BFS, RG 配合に適用した場合の推定精度