

銅スラグ細骨材コンクリートに対する圧縮強度推定手法の適用に関する検討

徳島大学大学院 学生会員 ○鈴木彩莉
 徳島大学大学院 学生会員 西山航平
 徳島大学大学院 正会員 渡辺健
 徳島大学大学院 フェロー会員 橋本親典

1. はじめに

日本非破壊検査協会では、非破壊試験の一つである衝撃弾性波法を適用し、測定した弾性波速度から圧縮強度を推定する方法が提案されている¹⁾。圧縮強度と弾性波速度は間接的には相関性があり、その関係は指数関数で表すことが出来る。近年では、骨材資源確保のために、スラグ骨材を骨材の代替材として用いるなど、材料の多様化が進んでいる。そこで、本研究では銅スラグ細骨材コンクリートに対して弾性波法のうち衝撃弾性波法・超音波法を用いて測定を行い、同じ配合のコンクリートにおける材齢の進行に伴う弾性波速度と圧縮強度の相関関係を利用した圧縮強度評価式（以下、圧縮強度評価式という）を作成し、圧縮強度の推定精度を評価した。また、打撃による非破壊試験方法の一つである機械インピーダンス法により、同様の検討を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体

コンクリートの配合を表-1に示す。銅スラグ細骨材の置換率の違いによる圧縮強度評価式の変化と圧縮強度の推定精度を確認するため、置換率は0%、30%、60%の3水準に設定した。W/Cは55%で一定とし、粗骨材量の影響を除去するため、粗骨材量も全ての配合で一定とした。供試体は円柱供試体(φ100×200mm)を用い、3日、7日、28日、56日間水中養生を行った。

2.2 弾性波速度による圧縮強度評価

衝撃弾性波法は多重反射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。超音波法は透過法を用いて伝搬速度 t を測定し、式(2)より弾性波速度を算出した。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。最小二乗法を適用させて求めた α 、 β から推定圧縮強度を算出し、実際の圧縮強度との誤差率を評価した。

$$V_p = 2 \cdot f_0 \cdot L \tag{1}$$

$$V_p = L/t \tag{2}$$

$$f_c = \beta \times V_p^\alpha \tag{3}$$

2.3 機械インピーダンスによる圧縮強度評価

一軸圧縮強度試験機を用いて荷重20kNを載荷した状態で供試体の側面20点を打撃し、機械インピーダンスを測定した。機械インピーダンスによる圧縮強度推定は、式(3)の V_p を Z_R に置き換えた式(4)を圧縮強度評価式として行った。

$$f_c = \beta \times Z_R^\alpha \tag{4}$$

表-1 配合表

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)						
			W	C	CUS	S	G	AEA	SP
N	55	45	170	308	-	790	965	0.012	6.2
CUS30					325	553			5.5
CUS60					651	316			4.6

表-2 圧縮強度評価式の算出結果

配合名	衝撃弾性波法	
	N	$F_c = 1.863 \times 10^{-20} \times V_p^{5.956}$
CUS30	$F_c = 6.841 \times 10^{-20} \times V_p^{5.801}$	
CUS60	$F_c = 6.809 \times 10^{-20} \times V_p^{5.791}$	
配合名	超音波法	
	N	$F_c = 1.844 \times 10^{-35} \times V_p^{10.02}$
CUS30	$F_c = 6.733 \times 10^{-30} \times V_p^{8.489}$	
CUS60	$F_c = 8.230 \times 10^{-31} \times V_p^{8.732}$	
配合名	機械インピーダンス	
	N	$F_c = 15.25 \times Z_R^{5.361}$
CUS30	$F_c = 13.04 \times Z_R^{5.981}$	
CUS60	$F_c = 10.16 \times Z_R^{6.705}$	

キーワード 銅スラグ, 衝撃弾性波法, 超音波法, 機械インピーダンス, 圧縮強度評価式

連絡先 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1 徳島大学大学院 先端技術科学教育部

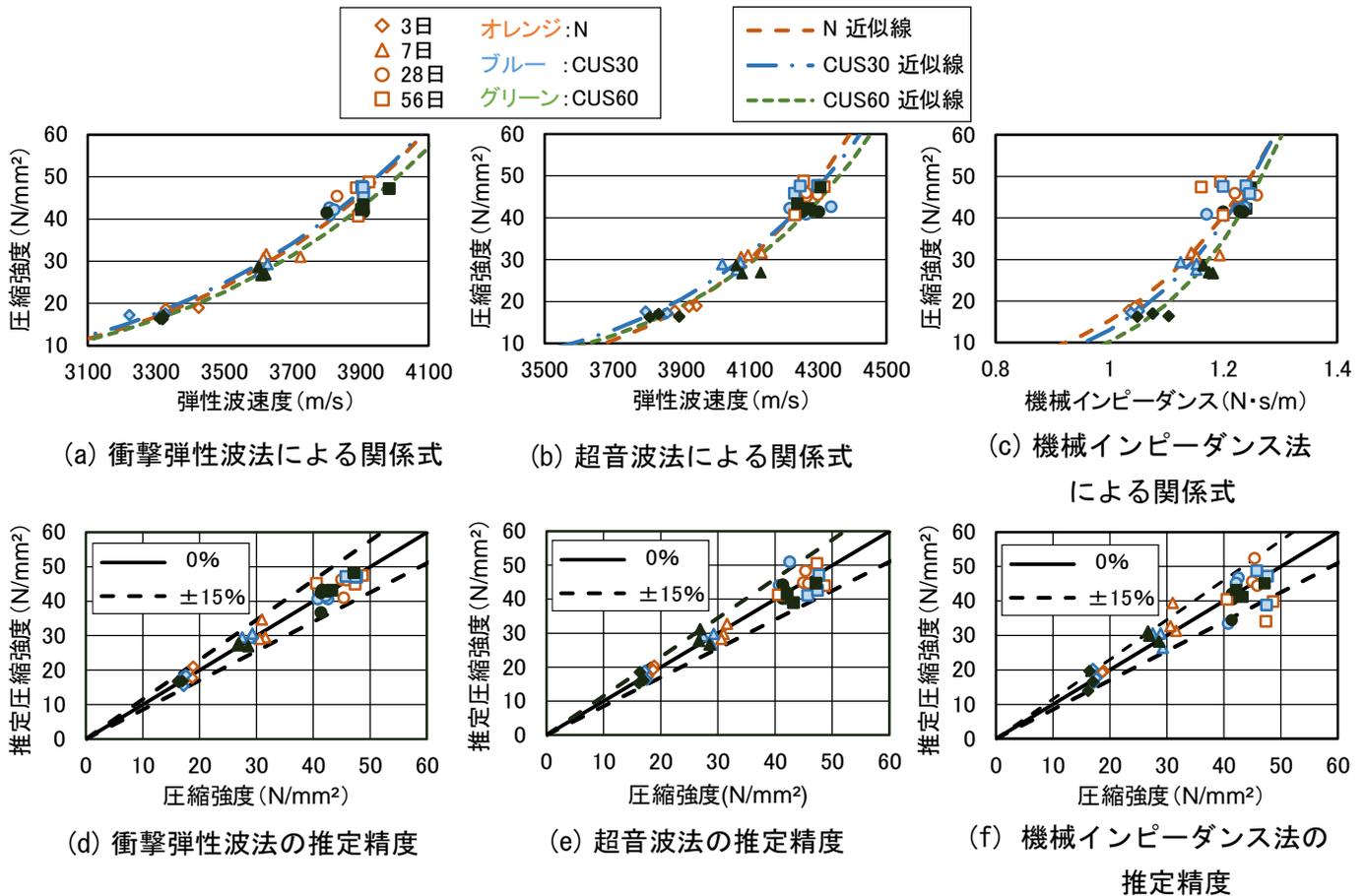


図-1 実験結果

3. 実験結果

それぞれの手法で求めた圧縮強度評価式を表-2, 近似線を表したグラフを図-1(a), (b), (c)に示す。銅スラグを置換した場合でも、衝撃弾性波法によるべき乗係数 α はNDIS 2426-2で定められている4~6¹⁾の範囲内となった。銅スラグの置換率増加に伴い、衝撃弾性波法と超音波法で求めた α は小さくなり、 β は大きくなることを確認できた。また、置換率が増加すると同じ速度でも圧縮強度が小さく見積もられた。このことから、銅スラグを置換したコンクリートに対してそれぞれ圧縮強度評価式を作成する必要があるといえる。衝撃弾性波法は多重反射で測定し、超音波法は1回のみ透過であるので弾性波の伝わり方が異なるため、超音波法による強度評価式は衝撃弾性波法とは異なる結果となった。

一方、機械インピーダンスはコンクリートの弾性的性質を測定している。また、一般的に弾性係数は圧縮強度と相関があり、このことから機械インピーダンスと圧縮強度の間にも相関関係があるといえる。また、高強度領域では同じ圧縮強度に対する機械インピーダンス値のばらつきが大きくなった。

圧縮強度の推定誤差を図-1(d), (e), (f)に示す。弾性波速度から圧縮強度を推定した場合、その推定誤差はほぼ±15%以内に収まっており、特に衝撃弾性波法は高い精度を持つことが確認できた。銅スラグを置換したコンクリートにおいても、普通コンクリートと同様の方法で圧縮強度の推定が可能であるといえる。一方、機械インピーダンスによる推定は他の手法と比較して、誤差が大きく算出された。機械インピーダンスは打撃面の表層部を評価しており表面気泡の影響によりばらつきが大きくなったことが一因と思われる。

4. まとめ

銅スラグ細骨材コンクリートに対して指数近似を行った結果、圧縮強度評価式を作成することが出来た。機械インピーダンスの測定結果から作成した強度評価式でも強度評価が可能であった。

参考文献

1) 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, pp.20, 2014