

非破壊試験による構造物中のコンクリートの圧縮強度検査法に関する研究

九州産業大学工学部 学生会員 中垣 秀実  
 九州産業大学工学部 フェロー会員 豊福 俊泰  
 九州産業大学工学部 正会員 亀井 頼隆

1. まえがき

建設事業では、構造物中のコンクリートの圧縮強度に対する高精度の非破壊試験(検査)法の開発が、重要な課題である。本研究は、従来法である反発度法を高精度化<sup>1)</sup>するとともに、打撃画像法<sup>2)</sup>、エコーチップ法<sup>3)</sup>、トレント法<sup>4)</sup>、水分計法等を組み合わせた複合法による圧縮強度検査法を検討したものである。

2. 試験概要

実験計画は、表-1に示すとおりであり、供試体は、曲げ供試体(高さ15×15×53cm)、柱部材(高さ60×50×20cm)、床部材(高さ20×50×60cm)とし、10配合のレディーミクスコンクリートを用いて、養生条件、材齢を変化させた。コア圧縮強度は、それぞれ2個採取して試験を行った。

非破壊試験法としては、9方法で試験を行った。反発度法は、衝撃エネルギー2.207Nmのリバウンドハンマーを使用し、リバウンドハンマーのプランジャーによるコンクリート表面の打撃面積(楕円面積)を、記録紙の画像から測定する打撃

画像法を併用する場合と併用しない場合とで反発度(テストアンビルで補正)を測定した<sup>1),2)</sup>。エコーチップ法は、Gタイプインパクト装置でエコーチップ値を測定した<sup>3)</sup>。トレント法は、トレント試験器で浸透係数と浸透深さを測定した<sup>4)</sup>。水分法は、高周波容量式水分計HI-500で水分量を測定した。電気抵抗法は、トレント試験器付属のウイナープローブでコンクリートの電気抵抗を測定した。超音波伝播速度法は、エルソニックで伝播時間を測定(測定距離15cm)した。材齢法は、試験日までの材齢を計算した。以上の非破壊試験法に加え、部分破壊試験法である中性化法(JIS A 1152, 中性化深さ)を併用する場合についても試験した。

3. 試験結果と考察

試験結果は、表-2に示すようにコア圧縮強度9.6~65.7N/mm<sup>2</sup>、材齢7~1167日(1週~3年2箇月)であり、低強度から高強度までの一般的なコンクリートを代表しているとみなされる。これらの9方法の非破壊試験から得られる10試験項目を説明変数とし、コア圧縮強度との関係を重回帰分析(変数増減法,  $F_{in}=F_{out}=2.0$ )で求めた結果、表-3の(1)式~(17)式および図-1~図-4が得られた(式の下段の( )内はT値, i: 項目数(個), p: 自由度(取り込まれた項目数), n: データ数, R: 重相関係数, e<sub>s</sub>: 回帰残差eの標準偏差)。

表-1 実験計画

コンクリートの種類	水セメント比(%)	材齢	供試体の種類	養生方法	試験方法
普通5	86	1週	曲げ供試体 柱部材 床部材 円柱供試体	屋内(空気中) 屋内(湿度養生5日) 屋内(養生密閉布) 屋外 水中	反発度法 打撃画像法 中性化法 材齢法 エコーチップ法 トレント法 水分法 電気抵抗法 超音波伝播速度法
普通10	86	2週			
普通20	63	3週			
普通25	52	4週			
普通30	54	5週			
普通40	37, 38	6週			
普通45	38	7週			
普通50	31	8週			
普通60	30	9週			
普通70	30	10週			
		1年			
		2年			
		3年			

表-2 試験結果および解析データ

試験方法	試験項目	記号	単位	最大値	最小値	平均値	標準偏差	コア圧縮強度との相関係数	
								直線式	累乗式
圧縮強度法	コア圧縮強度	F <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	65.69	9.60	31.40	13.24		
反発度法	打撃画像法を併用する	反発度	HAN	51.94	16.62	32.37	6.94	0.819	0.850
	打撃画像法を併用しない		HAN	53.52	16.62	33.53	7.47	0.837	0.862
打撃画像法	楕円面積	DA	mm <sup>2</sup>	78.27	31.32	46.40	10.13	-0.824	-0.892
中性化法	中性化深さ	TYU	mm	11.3	0	1.3	2.2	-0.388	-0.367
材齢法	材齢	ZA	日	1167	7	212.5	334.2	0.200	0.266
エコーチップ法	エコーチップ値	ECO	—	559.0	239.8	381.9	62.5	0.790	0.837
トレント法	浸透深さ	L	mm	174.6	6.5	53.4	34.4	-0.574	-0.634
	透気係数	K	×10 <sup>-16</sup> mm <sup>2</sup>	64.03	0.01	3.44	8.48	-0.340	-0.635
水分法	水分	KU	%	7.35	1.82	4.10	0.94	0.317	0.369
電気抵抗法	電気抵抗	DR	k cm	84	3.4	19.0	13.1	0.077	0.235
超音波伝播速度法	超音波伝播速度	TV	km/s	4.04	1.45	3.26	0.58	0.688	0.709

表-3 コア圧縮強度と各種非破壊試験項目との重回帰分析結果

中性化法	打撃画像法	説明変数	計算式	推定式	i	p	n	R	e <sub>s</sub>	式
併用する	併用する	HAN, K, L, ECO, SAI, DA, SU, TYU, TV, DR	直線式	$F_c = -24.6553 + 1.4931HAN - 0.0074ZA - 1.0696TYU + 3.6415TV - 0.0227L$ (-6.6137) (12.8826) (-3.4368) (-4.2228) (3.4622) (-1.5004)	10	5	185	0.906	5.60	(1)
		HAN, K, L, ECO, SAI, DA, SU, TYU, TV, DR	累乗式	$F_c = 10^{0.1519 DA^{-0.7761} TYU^{0.0005} TV^{0.1887} HAN^{0.9320} ZA^{-0.0788} ECO^{0.4653}}$ (0.2285)(-4.2438)(-3.0669) (2.0529)(5.3446)(-6.0399)(2.1763)	10	6	185	0.910	5.51	(2)
		HAN, DA, SU, TYU, ZA	直線式	$F_c = -6.4529 - 0.19DA + 1.5417HAN - 0.0089ZA - 1.0113TYU$ (-0.7351) (-2.0492) (9.8119) (-4.1112) (-3.8757)	5	4	186	0.900	5.78	(3)
		HAN, TYU	累乗式	$F_c = 10^{-0.0830 HAN^{1.6879} TYU^{-0.0005}}$ (-8.7922) (20.4353) (-2.0065)	2	2	186	0.807	7.85	(4)
	併用しない	HAN, K, L, ECO, SU, TYU, TV, ZA, DR	直線式	$F_c = -20.3237 + 1.3490HAN - 1.1417TYU + 3.2928TV - 0.0053ZA - 0.0309L$ (-5.8834) (13.6811) (-4.6927) (3.2108) (-2.7423) (-2.1240)	9	5	185	0.912	5.43	(5)
		HA, TYU, ZA	直線式	$F_c = -19.8390 + 1.6250HAN - 1.2333TYU - 0.0077ZA$ (-8.0131) (21.4967) (-4.9470) (-3.9411)	3	3	186	0.903	5.70	(6)
		HA, TYU	直線式	$F_c = -14.0396 + 1.4286HA - 1.8706TYU$ (-6.7871) (24.1949) (-9.4888)	2	2	186	0.894	5.94	(7)
併用しない	併用する	HAN, DA, ZA, ECO, K, L, DR, TV, SU	直線式	$F_c = -38.0293 + 1.6623HAN - 0.1175ZA + 3.7901TV + 1.3900SU$ (-12.7948) (15.0499) (-6.2379) (3.5297) (2.6288)	9	4	185	0.898	5.83	(8)
		HAN, DA, ZA, ECO, K, L, DR, TV, SU	累乗式	$F_c = 10^{-0.6111 DA^{0.5334} HAN^{1.0673} ZA^{-0.0805} ECO^{0.5678} TV^{0.1893} L^{-0.0382}}$ (-0.7607) (-2.7968) (6.2680) (-6.1021) (2.5245)(2.0169)(-1.5202)	9	6	185	0.905	5.63	(9)
		HAN, DA, ZA, K, L, SU	累乗式	$F_c = 1^{0.12373 DA^{-0.9525} HAN^{1.2987} ZA^{-0.0831}}$ (2.6637) (-6.3692) (8.0534) (-6.9551)	6	3	185	0.899	5.80	(10)
		HAN, DA	累乗式	$F_c = 10^{2.9240 DA^{-1.4110} HAN^{0.5794}}$ (6.5856) (-9.4117) (4.1575)	2	2	186	0.874	6.44	(11)
	併用しない	HAN, ZA, SU, L, K	直線式	$F_c = -24.7834 + 1.6428HAN - 0.0107ZA + 1.3893SU - 0.0515L + 0.1119K$ (-5.6391) (20.2993) (-6.3440) (2.2564) (-2.3679) (1.5515)	5	5	185	0.900	5.77	(12)
		HAN, ZA, SU, L, K	累乗式	$F_c = 10^{-1.2650 HAN^{1.9056} ZA^{-0.0924} K^{-0.0363}}$ (-10.0516) (20.4030)(-7.4409)(-3.5812)	5	3	185	0.896	5.89	(13)
		HAN, ZA	直線式	$F_c = -26.2061 + 1.8060HAN - 0.0139ZA$ (-11.6652) (25.7017) (-8.8439)	2	2	186	0.889	6.07	(14)
		HAN, K	累乗式	$F_c = 10^{-0.6924 HAN^{1.4132} K^{-0.074}}$ (-6.1012) (18.8150) (-7.4073)	2	2	185	0.870	6.57	(15)
		HAN	直線式	$F_c = -18.3476 + 1.4836HAN$ (-7.4632) (20.7277)	1	1	186	0.837	7.25	(16)
		HAN	累乗式	$F_c = 10^{-1.0987 HAN^{1.6866}}$ (-9.8832) (23.0226)	1	1	186	0.828	7.43	(17)

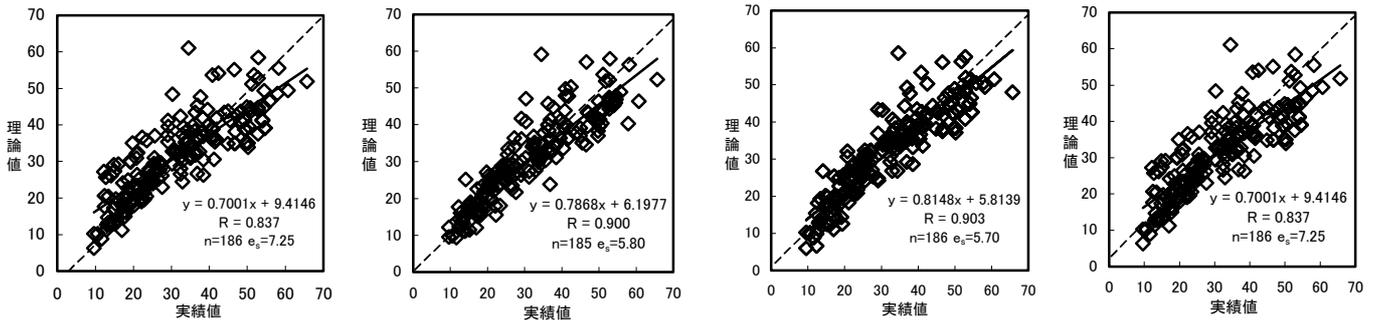


図-1 (6)式の実績値と計算値 図-2 (10)式の実績値と計算値 図-3 (13)式の実績値と計算値 図-4 (16)式の実績値と計算値

実構造物に対する試験実施の困難さを考慮して、中性化法（部分破壊試験法）・打撃画像法（記録紙が反発度に影響）を併用する場合と併用しない場合とで区分して説明変数を選定し、推定式を求めた。

この結果、説明変数として(16)式：反発度単独の場合と比較して、(3)式：(楕円面積)+反発度+(材齢)+(中性化深さ)、(6)式：反発度+(中性化深さ)+(材齢)、(10)式：(楕円面積)・反発度・(材齢)、(13)式：反発度・(材齢)・(透気係数)の場合に、高度の相関性が認められる（( )内の試験項目は負の相関）。

4. まとめ

構造物中のコンクリートの圧縮強度検査方法として、反発度法を高精度化する<sup>1)</sup>とともに、中性化法、材齢法、打撃画像法<sup>2)</sup>、トレント法<sup>4)</sup>を組み合わせることにより、さらに高精度の非破壊試験が実用される。

謝辞：本研究は(社)九州建設弘済会「建設事業に関する研究開発」の助成を頂きました。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 田代悟・豊福俊泰・亀井頼隆：テストアンビルによるテストハンマー強度試験方法の高精度化技術の開発，平成15年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.A-544～A-545，2004年3月
- 2) 井上洋一・豊福俊泰・亀井頼隆：テストハンマー硬さによるコンクリートの圧縮強度試験法に関する研究，平成15年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.A-542～A-543，2004年3月
- 3) 重松岳史・豊福俊泰・亀井頼隆：エコーチップ硬さ試験による構造物中のコンクリートの品質検査法に関する研究，平成13年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.A-572～A-573，2002年3月
- 4) 富基次・豊福俊泰・亀井頼隆：透気性試験による構造物中のコンクリートの耐久性検査法に関する研究，平成13年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.A-574～A-575，2002年3月