

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 ○ 辻 貴司
九州産業大学工学部 フェロー会員 豊福 俊泰

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¹⁾するとともに、エコーチップ法²⁾、トレント法³⁾、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、構造物を曲げ供試体（高さ15×15×53cm）、柱部材（高さ60×50×20cm）、床部材（高さ20×50×60cm）で代表させるものとし、10配合のレディーミクスト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1個採取して試験を行った。

非破壊試験法としては、7方法で試験を行った。反発度法は、衝撃エネルギー2.228Nmのリバウンドハンマー（ハンマー①）を使用してコンクリートの反発度を測定し、基準値80, 50, 30のテストアンビルで $y=ax+b$ 式で補正した¹⁾。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²⁾。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³⁾。水分法は、高周波容量式水分計HI-500で水分量を測定した。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。これらの非破壊試験に加えて、試験日までの材齢（日）を計算し材齢法とした（非破壊試験は、不要）。さらに、部分破壊試験法である中性化法（JIS A 1152による中性化深さをコアで測定）を併用する場合についても検討した。

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4.02~72.0N/mm²、材齢7~1502日（1週~4年1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7方法の非破壊試験から得られる9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~(16)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_s :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15	86	1週	曲げ供試体 柱部材 床部材 円柱供試体	屋外(空気中) 屋外(湿潤養生5日) 屋内(空気中) 屋内(湿潤養生5日) 水中	反発度法 中性化法 材齢法 エコーチップ法 トレント法 水分法 超音波伝播速度法
普通20	86	2週			
普通22	63	3週			
普通30	52, 54	4週			
普通40	37, 38	5週			
普通45	38	6週			
普通50	31	7週			
普通60	30	8週			
		11週			
		1年			
		2年			
		3年			
		4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	Fc	N/mm ²	720	4.02	29.50	13.53		
反発度法	反発度	HAN	-	51.2	8.09	31.54	8.60	0.817	0.86
中性化法	中性化深さ	TYU	mm	132	0	1.07	2.59	-0.169	-0.049
材齢法	材齢	ZA	日	1502	7	210.37	329.87	0.261	0.319
エコーチップ法	エコーチップ値	EOO	-	724	129.75	368.33	80.90	0.745	0.858
トレント法	浸透深さ	L	mm	2343	1.4	45.86	42.25	-0.570	-0.508
水分法	透気係数	K	$\times 10^{-16}$ mm ²	91.2	0.001	3.68	11.45	-0.387	-0.548
	水分	SU	%	104	0.45	4.10	1.38	0.273	0.363
超音波伝播速度法	超音波伝播速度	TV	km/s	4.8	1.42	3.46	0.59	0.454	0.473

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	試験数	説明変数	計算式	推定式	i	p	n	R	e _s	式
併用する	6	HAN . K . L . ECO . SU . THU . TV . ZA	直線式	$F_c = -11.4678 + 0.778181HAN - 0.72913THU + 0.05397ECO - 0.04567L - 0.00283ZA$ (-5.530) (9.252) (-4.430) (6.329) (-4.732) (-1.984)	8	5	375	0.875	6.34	(1)
	6	HAN . K . L . ECO . SU . THU . TV	直線式	$F_c = -13.035 + 0.728957HAN - 0.83005THU + 0.054767ECO - 0.03852L + 0.483451SU$ (-4.837) (8.647) (-5.738) (6.295) (-3.607) (1.590)	7	5	375	0.875	6.35	(2)
			累乗式	$F_c = 10^{-2.48356} HAN^{0.707604} ECO^{0.979574} SU^{0.178831} K^{-0.07607} THU^{-0.00045} L^{0.114818}$ (-12.870) (8.384) (9.336) (4.374) (-2.328) (-3.012) (1.567)	7	6	374	0.866	6.60	(3)
	3	HAN . SU . THU . ZA	直線式	$F_c = -11.931 + 1.263723HAN - 1.0446THU + 0.641371SU$ (-7.339) (31.017) (-7.061) (2.285)	4	3	396	0.858	6.80	(4)
	2	HAN . THU	直線式	$F_c = -9.66976 + 1.279845HAN - 1.16743THU$ (-7.388) (32.065) (-9.140)	2	2	400	0.857	6.82	(5)
累乗式			$F_c = 10^{-0.99684} HAN^{1.5651} THU^{0.00114}$ (-15.365) (37.244) (-7.815)	2	2	399	0.850	7.00	(7)	
併用しない	5	HAN . ZA . ECO . K . L . TV . SU	直線式	$F_c = -16.1669 + 0.690133HAN + 0.067273ECO + 0.69007SU - 0.00552ZA - 0.06486L + 0.102863K$ (-6.039) (7.958) (7.847) (2.308) (-4.494) (-4.079) (1.970)	7	6	375	0.872	6.42	(8)
			累乗式	$F_c = 10^{-2.53761} HAN^{0.68765} ECO^{1.129059} SU^{0.167404} K^{-0.0273} ZA^{-0.03555}$ (-14.121) (8.358) (10.646) (4.049) (-4.670) (-3.585)	7	5	375	0.864	6.63	(9)
	3	HAN . ZA . K . L . SU	直線式	$F_c = -7.96043 + 1.238794HAN - 0.04758L - 0.00564ZA + 0.446221SU$ (-3.242) (22.857) (-4.281) (-4.350) (1.423)	5	4	396	0.853	6.91	(10)
			累乗式	$F_c = 10^{-1.06781} HAN^{1.33292} SU^{0.225495} K^{0.12123} L^{0.217118}$ (-8.045) (28.752) (5.474) (-3.420) (2.730)	5	4	396	0.846	7.1	(11)
	2	HAN . SU	累乗式	$F_c = 10^{-0.91306} HAN^{1.441718} SU^{0.327457}$ (-14.928) (34.526) (9.041)	2	2	396	0.841	7.19	(12)
	2	HAN . K	累乗式	$F_c = 10^{-0.60816} HAN^{1.349393} K^{-0.04566}$ (-8.819) (28.512) (-7.810)	2	2	400	0.828	7.52	(13)
	1	HAN . ZA	直線式	$F_c = -13.3114 + 1.407223HAN - 0.00751ZA$ (-9.262) (29.555) (-6.044)	2	2	400	0.840	7.18	(14)
	1	HAN	直線式	$F_c = -10.7344 + 1.271784HAN$ (-7.494) (29.005)	1	1	400	0.824	7.50	(15)
			累乗式	$F_c = 10^{-0.84584} HAN^{1.524848}$ (-12.741) (34.124)	1	1	400	0.820	7.58	(16)

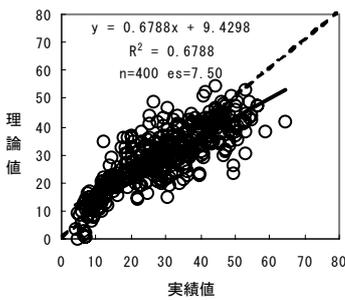


図-1 (5)式の実績値と計算値

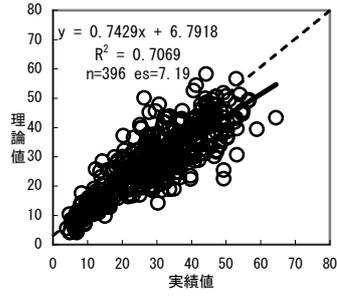


図-2 (12)式の実績値と計算値

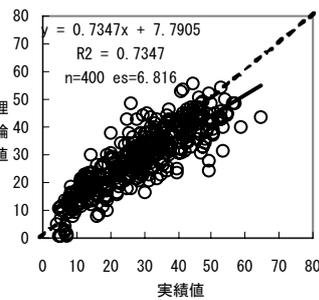


図-3 (14)式の実績値と計算値

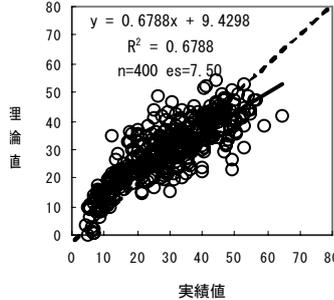


図-4 (15)式の実績値と計算値

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）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：反発度法単独で相関性が高い直線式(15)式の場合（R=0.824）と比較して、材齢を加えた(14)式（試験は反発度法のみ実施し材齢を計算，R=0.840），水分を加えた(12)式（試験は反発度法+水分計法を実施，R=0.841）の場合、さらに浸透深さを加えた(10)式（試験は反発度法+トレント法+水分計法を実施，R=0.853）の場合に、部分破壊試験法である中性化法を併用する場合は中性化深さを加えた(5)式（試験は反発度法+中性化法を実施，R=0.857）の場合に、高度の相関性が認められる。

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は、1 試験法としては反発度法（テストアンビルの反発度から y=ax+b 式で補正）が最適であり、2 試験法としては反発度法+水分計法または反発度法+中性化法が簡便で精度良く、さらに、トレント法を組み合わせることにより、高精度の非破壊試験が実用される。

参考文献

- 1) 廣田一宏・豊福俊泰・亀井頼隆：リバウンドハンマー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，平成16年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.857~858，2005年3月
- 2) 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
- 3) 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