

[76] 既存硬化コンクリートの簡易配合推定法について

正会員 佐治泰次 (九州大学工学部)

正会員 ○松藤泰典 (九州大学工学部)

河上嘉人 (九州大学工学部)

1. まえがき

硬化コンクリートの配合推定については、幾つかの方法が考案されているが、代表的な方法として、セメント協会 J-18「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験」に示された方法が挙げられる。この方法は、コンクリート試料を微粉砕し、これを化学分析することから配合を推定するもので、試料を粉砕するので、コンクリート工学的な面から知りたい細粗骨材に対するデータ、例えば、最大粒径、粒度分布、細骨材率などが得られない。また、これらの分析結果が必ずしも現実的な配合推定値を示さないことは、しばしば経験するところである。

本研究では、ある程度まで骨材に関するデータが得られ、近似的に大過ない配合を推定する簡便な方法として、試料を高温加熱によつてほぐし、ほぐした試料を稀塩酸で処理して、試料の配合推定を行なう方法を試みた。以下、高温加熱時に示す骨材やモルタルの対熱的諸性状を含め、簡易配合推定方法について述べる。

2. 強熱骨材の物理性状

配合を推定しようとするコンクリート試料を、加熱によつて強度を低下させ、余り大きな外力を加えずに解きほぐすには、およそ700℃以上の高温を与えなければならぬ。このことは、後述する、セメントペーストおよびモルタルの加熱試験(図-1)によつても明らかで、700℃では未だかなりの強度を持ち、強度が20%程度以下に達するためには、更に900℃程度までの加熱が必要である。

そこで、ここでは、各種、細粗骨材の900℃2時間加熱後の骨材の物性変化についての実験を行なった。実験試料は、細骨材各500g、粗骨材1kgとし、電気炉を用いて加熱した。結果を表-1に纏めて示した。強熱減量は、多くの試料が5%以下であった。玄海灘・海砂は他のものにくらべてやや多いがこれは貝殻の混入が影響を

表-1 各種骨材の加熱後性状の変化

骨 材	強熱減量 (%)	表 乾 比 重			吸 水 率 (%)			粗 砂 率			
		110℃	900℃	900℃/110℃	110℃	900℃	900℃/110℃	110℃	900℃	900℃/110℃	
細骨材	標準砂・豊浦	(0.31) 0.34	2.61	(2.61) 2.61	(1.00) 1.00	0.50	(0.75) 0.75	(1.50) 1.50	0.96	0.96	1.0
	海砂・唯ノ集	(1.04) 1.80	2.56	(2.55) 2.53	(1.00) 0.99	1.68	(2.25) 2.46	(1.34) 1.46	(2.65) 2.84	(2.65) 2.83	(1.000) 0.996
	海砂・玄海灘	5.09	2.59	2.55	0.985	1.03	1.56	1.515	2.77	2.62	0.946
	川砂・筑後川	0.10	2.54	2.46	0.969	1.90	2.35	1.237	3.61	3.49	0.967
	川砂・遠賀川	0.90	2.58	2.52	0.977	1.46	1.95	1.336	2.31	2.25	0.974
	砕砂・片岩	4.23	2.91	2.91	1.000	0.95	1.99	2.095	3.92	3.89	0.992
	砕砂・輝緑岩	4.82	2.71	2.73	1.007	1.40	1.56	1.114	3.25	3.19	0.982
	砕砂・角閃岩	3.09	2.74	2.71	0.989	1.11	2.01	1.811	3.26	3.18	0.975
粗骨材	角閃岩・福岡	(1.40) 2.46	2.70	(2.55) 2.55	(0.944) 0.944	0.90	(2.41) 3.65	(2.68) 4.06	(6.58) 6.54	(6.55) 6.49	(0.955) 0.992
	角閃岩・山口	2.30	2.92	2.84	0.972	0.55	0.98	1.782	6.71	6.64	0.990
	輝緑岩・小倉	3.46	2.83	2.76	0.975	0.32	2.37	7.406	6.94	6.94	1.000
	安山岩・福岡	6.96	2.73	2.53	0.927	1.37	3.90	2.847	6.73	6.71	0.997
	安山岩・岡垣	3.57	2.83	2.78	0.982	0.62	2.17	3.500	6.97	6.94	0.996
	安山岩・重方	2.95	2.74	2.69	0.982	0.28	0.78	2.786	6.92	6.92	1.000
石灰岩・田川	18.10	2.72	測定不能	—	0.23	測定不能	—	6.59	6.47	0.982	

注) ( )内の値は700℃加熱時の値を示す。

与えていると見られる。粗骨材の石灰岩も当然の結果と言える。

比重は、110℃乾燥時を基準にすれば、加熱後、若干減少する。但し、減少量は安山岩(福岡)を除けば5%以下

であり、容積等の算定には使用しても差支えないであろう。粗粒率も若干減少傾向を示すが、その差は僅かであり、配合時粒度の推定が可能である。吸水量は、加熱後、増加する。増加量は骨材の種類によつて異なり加熱後試料よりの推定は困難である。なお、骨材の熱対応挙動については後記(2)(3)などの文献がある。

### 5. 強熱モルタルの諸性状

骨材と同様、セメントペーストおよびモルタルについても(4×4×16cm)試験体によつて、700℃および900℃で加熱し、強熱後の減量、強度低下の傾向等に関する試験を行なつた。細骨材は、標準砂(豊浦)を使用した。配合及び標準養生供試体強度を表-2に示す。供試体は、試験時まで水中養生(20±1℃)とした。含水率は、水中浸漬後の供試体の表面水を拭き取つた後の重量と110℃24時間乾燥後の供試体重量との差で求めた。試料は、設定温度Tで2時間加熱後、徐冷し、試験を行なつた。各試験結果を表-3に示す。加熱後の圧縮強度を $F_{Tc}$ とし、標準養生強度との比 $F_{Tc}/F_c$ の変化を図-1に示した。

加熱後圧縮強度は、700℃加熱で約50%、900℃加熱で約20%に低下し、コンクリートの強熱性状<sup>(4)</sup>と同様の試験結果となつた。

ほぐしやすさでは、900℃加熱供試体の方がすぐれている。

110℃乾燥後の強熱減量は、セメントペーストの結合水、熱分解による $CO_2$ 、骨材の脱水等によつて生ずる。標準砂の強熱減量は極めて小さい(700℃で0.51%)のでこれを含めて結合水量とみなし、単位セメント量当りの重量比を結合水率とした。表-3によれば、加熱温度による差異はそれ程顕著ではない。結合水率と水セメント比(W/C)との関係を図-2に示す。材令の経過に従つて結合水率は増加し、セメントペーストは材令4週で15%程度に達する。モルタルでは、材令による差はあるものの水セメント比とは直接的には関係しない。

単位セメント量に対する含水量と結合水量との和の比を $(W/C)_{CAL}$ として、配合水セメント比 $(W/C)_{MIX}$ との関係を示したものが図-3である。これは、水量を強熱減量から求める方法の範疇に属する方法であるが、良い一致を示している。

本実験のように、脱型後、直ちに水中養生を行ない、供試体の水分の移動を阻止したような場合は、この方法は十分推定に役立つものと認められる。

表-2 モルタル供試体の調合及び標準養生強度

供試体記号	重量調合比 C : S : W	フロー 値(mm)	練上り 温度(℃)	脱型時 比重	圧縮強度 $F_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )			間接強度 $F_{Tc}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		
					3日	7日	28日	3日	7日	28日
1003	1 : 0 : 0.3	191	25	2.09	537	603	847	66.6	78.9	86.5
1104	1 : 1 : 0.4	209	20	2.19	385	554	712	58.5	75.1	89.2
1206	1 : 2 : 0.6	200	19	2.11	191	313	443	31.3	48.7	56.9
1257	1 : 2.5 : 0.7	174	19	2.06	132	227	321	24.9	36.9	47.4

表-3 モルタル供試体の加熱後性状の変化

供試体記号	材令(日)	含水率(%)	強熱減量(%)			体積変化率(%)			結合水率(%)		
			700℃	900℃	900℃/700℃	700℃	900℃	900℃/700℃	700℃	900℃	900℃/700℃
1003	3	16.6	11.71	12.44	1.06	-5.25	-9.30	-4.05	13.26	14.22	1.07
	7	17.4	11.77	12.33	1.05	-4.72	-6.93	-2.21	13.34	14.07	1.05
	28	16.1	12.82	13.71	1.07	-6.11	-6.23	-0.12	14.72	15.88	1.08
1104	3	12.9	6.00	6.57	1.10	-0.93	-0.69	0.24	11.72	12.26	1.05
	7	13.0	6.61	7.12	1.08	-0.62	-0.58	0.04	13.12	13.55	1.03
	28	11.8	7.56	8.27	1.09	-1.69	-1.61	0.08	15.31	16.24	1.06
1206	3	14.2	4.15	4.48	1.08	0.04	-0.77	-0.81	10.90	10.49	0.96
	7	14.1	4.81	5.05	1.05	-0.23	0.20	0.43	13.10	12.35	0.94
	28	13.0	5.72	6.36	1.11	-0.62	-0.27	0.35	16.11	16.77	1.04
1257	3	14.2	3.43	3.69	1.08	-0.02	-0.54	-0.52	9.81	8.90	0.91
	7	14.1	4.18	4.35	1.04	-0.08	0.11	0.19	12.68	11.40	0.90
	28	13.3	4.87	5.33	1.09	-0.08	-0.35	-0.27	15.33	15.22	0.99

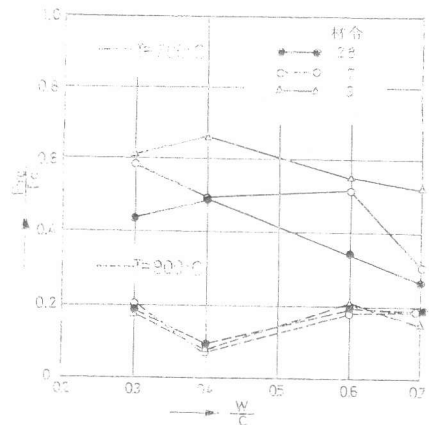


図-1 加熱後圧縮強度の低下

尚、加熱後の体積変化率を表-3に併記した。セメントペースト(供試体1003)は、いずれも収縮傾向にある。

モルタル(供試体1104~1257)の体積変化率は骨材の量によつて異なり、骨材量の増加に従つて収縮率が低下の傾向を示す。

従つて、基準とする試料体積は、加熱前の試料から求めるのがよい。

#### 4. 硬化コンクリートの配合推定例

加熱分解試料による配合推定の手順を以下に示す。単位水量の推定は、全量からセメントと骨材との合計量を差引く方法(差引法)による。ここに示していない手順の多くは、P-18(3)定量方法に準じている。

①試料の大きさ：電気炉の内容積によつて制限されるが、2kg以上が望ましい。本実験では、配合既知のコンクリート供試体(直径・高さ=10cm)を用いた。配合は表-4に示す。

②供試体体積V：水中浸漬を行ない、一定重量になつた時点の水中重量 $W_1$ と、空气中で表面水を拭き取り表乾状態とした重量 $W_2$ を測定し、 $V=(W_2-W_1)/\rho_w$ で求める。但し、 $\rho_w$ は水の密度である。

③強熱減量：110℃で、24時間乾燥後の重量 $W_3$ 及び、電気炉で700℃、2時間加熱、炉内で徐冷後の重量 $W_4$ を測定し、 $(W_3-W_4)/W_3$ で求める。本実験では、900℃加熱についても測定した。

④分解・溶解：手で揉みほぐした後、0.3N塩酸に浸漬、ゆるやかに攪拌する。攪拌時間は粗骨材表面が清浄になるのを目安とする。静置した場合は、砕石骨材では5~4日を要する。900℃加熱の方がほぐし易いが誤差は大きくなるので加熱温度を明示する。

⑤不溶残分：ろ紙でろ過した残分を温水で7~8回洗浄後、電気炉で700℃、30分加熱、徐冷後5mm以上の粗骨材重量 $W_G$ 、5mm以下の細骨材重量 $W_S$ を測定する。

⑥セメント量 $W_C$ ：骨材が塩酸に5%溶解すると仮定し、 $W_C=W_4-1.05(W_G+W_S)$ で求める。

⑦細・粗骨材比重 $\rho_S, \rho_G$ ：⑤で分離した細・粗骨材を水中浸漬した後、表乾状態にし、JIS A1109, 1110に従つて表乾比重を求める。適切な資料等により吸水率を仮定し、絶乾比重 $\rho'_S, \rho'_G$ を求める。本実験では、110℃絶乾比重既知の細・粗骨材を用いたので、この値を $\rho_S, \rho_G$ とした。

⑧重量配合：セメント $C=W_C/V$ 、細骨材 $S=1.05W_S/V$ 、粗骨材 $G=1.05W_G/V$ で求める。

⑨絶対容積配合：セメント $V_C=C/\rho'_C$ 、細骨材 $V_S=S/\rho'_S$ 、粗骨材 $V_G=G/\rho'_G$ 、水 $V_W=1000 \cdot (V_C+V_S+V_G+Air)$ 、但し、単位は $l/m^3$ 、空気量 $Air$ は、1~4%程度の範囲で仮定する。

本手順に従つた硬化コンクリートの配合推定試験結果の例を表-4に示す。供試体は標準養生4週間、3カ月程度室内保存したものである。試料1、2は、粗骨材：角閃岩・福岡、細骨材：海砂・雁ノ巣、試料3の粗骨材：安山岩・福岡(いずれも表-1参照)を用いた。試料3の細骨材は、海砂・雁ノ巣と砕岩砕砂を重量比1:1混合したものを用いた。単位水量の推定に際して、空気量は、試料1、2について4%、試料3について1%と仮定した。試験結果、700℃加熱の場合、ほぼ満足すべき値が得られた。900℃加熱による試験結果も併せて示

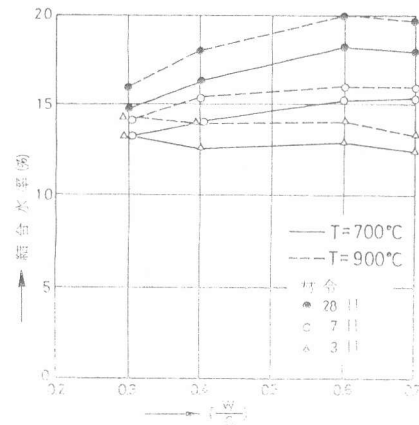


図-2 水セメント比 $\frac{W}{C}$ と結合水率の関係

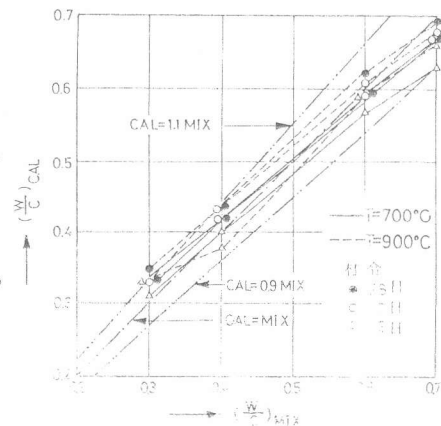


図-3 水セメント比の推定

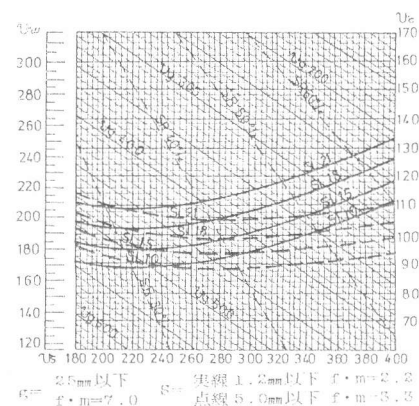


図-4 コンクリート配合図表(W/C 0.8)

表-4 硬化コンクリートの配合推定例

試料	材料	絶乾比重	重 量 (kg/m <sup>3</sup> )				絶 対 容 積 (L/m <sup>3</sup> )					水セメント比 W/C (重量比)				
			配合値	推 定 値		配合値	推 定 値		(推定値)/配合値		配合値	推 定 値		(推定値)/配合値		
				700℃	900℃		700℃	900℃	700℃	900℃		700℃	900℃	700℃	900℃	
系1	水 W	1.00	183	-	-	183	170	164	0.929	0.896	0.598	0.603	0.811	1.008	1.356	
	セメント C	3.15	306	282	202	97	90	64	0.928	0.660						
	細骨材 S	2.52	748	746	780	297	296	310	0.997	1.044						
	粗骨材 G	2.68	1024	1084	1131	383	404	422	1.055	1.102						
系2	水 W	1.00	164	-	-	164	161	196	0.982	1.195	0.550	0.555	0.841	1.009	1.529	
	セメント C	3.15	298	290	233	95	92	74	0.968	0.804						
	細骨材 S	2.52	902	900	949	358	357	377	0.997	1.053						
	粗骨材 G	2.68	919	938	838	343	350	313	1.020	0.913						
系3	水 W	1.50	150	-	-	150	145	155	0.967	1.033	0.250	0.271	0.356	1.084	1.424	
	セメント C	3.15	600	536	435	190	170	138	0.895	0.726						
	細骨材 S	2.58	955	970	1047	370	376	406	1.016	1.097						
	粗骨材 G	2.69	753	766	745	280	299	291	1.068	1.039						

したが、骨材料を多目に推定する傾向があり、また水セメント比も過大な推定値となつた。

本試験法は、簡便且つ実用的な範囲での配合推定法の確立を目的としたもので、骨材の熱的挙動について考慮すべきいくつかの要因を無視しており、推定精度等に言及する性格のものではないが、本試験法による配合推定値の精度は、骨材の絶乾比重の推定精度に最も影響されるので、コンクリートに使用されている骨材の岩質や既存の資料を検討して適切な収水率を与えることが重要である。

なお、建築用普通コンクリートでは、使用する細粗骨材の最大粒径、粗粒率がきまつている場合、所要のスランプに対応して、1m<sup>3</sup>当りの所要のセメント量、細粗骨材量、単位水量等はおよそ範囲内にあるので、加熱によるほぐし分析法で、単位容積当りに所要の各材料所要量が判明すれば、スランプ値を仮定することによつて、およその単位水量を推定することができる。図-4は、推定をするための配合図表の一例である。<sup>(6)</sup>

#### 5. まとめ

この報告は、配合を知ろうとするコンクリートを700℃、あるいは900℃などの高温まで加熱して分解し、硬化セメントペースト部分、細粗骨材部分をそれぞれ分離することから、そのコンクリートの配合を知ろうとする簡易コンクリート配合推定法について考察したものである。

まず始めに、各種細粗骨材および硬化セメントモルタルの高温加熱による物性変化を調べ、コンクリートを高温加熱した場合の物性変化を知る上での基礎的資料とした。

次いで、コンクリートを高温加熱によつてもみほぐし、ほぐした試料を0.3N塩酸で処理する方法で、コンクリートの配合推定を試みた。その結果、700℃に加熱し分解した分析法でかなり良好な結果が得られた。900℃に加熱の場合は、細骨材量、水セメント比等を多目に推定する結果となり、今後更に検討を継続したい。

本研究には、本学技官津賀山健次氏の協力を得た。記して謝意を表わす。

#### 参考文献

- (1)セメント協会「F-18、硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告」昭和49年
- (2)前田・安田・橋本「各種岩石の熱対応挙動について」セメント技術年報36昭和57年
- (3)岸谷・藤井・森「無機質材料の加熱による物性挙動に関する研究」セメント技術年報25昭和46年
- (4)大和・坂田「高温にさらされるコンクリートの強度変化について」セメント技術年報26昭和47年
- (5)依田「10年間110℃の熱を受けたモルタルの強度および重量変化」セメント技術年報37昭和58年
- (6)佐治・松藤「軟練りコンクリートの調合と沈下に関する研究」建築学会論文報告集140昭和42年