

報 告

[1124] 抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの
圧縮強度と水セメント比との関係

正会員○中西正俊（清水建設技術研究所）

正会員 九々正武（清水建設埼玉営業所）

篠崎明夫（清水建設建築本部）

内藤憲一（清水建設建築本部）

1. はじめに

抗火石（多孔質黒雲母流紋岩、東京都新島産）微粉末を造粒、焼成して得られた、絶乾比重0.6~0.9の超軽量骨材の基礎物性、ならびに、この骨材を使用して得られた、目標気乾比重1.4（未満）の超軽量コンクリートの圧縮強度を中心とした基礎物性はすでに報告した[1]。

本報告は、同骨材を使用した目標気乾比重1.0~1.4（未満）の超軽量コンクリートの比強度を向上させる目的で、圧縮強度と水セメント比との関係を検討したものである。なお、圧縮強度以外の各種強度、静弾性係数、比重・吸水率、長さ変化、ならびに耐久性についても参考までにこれらの概要を示した。

2. 本検討に用いた超軽量骨材について

すでに報告した[1] ように、本検討に用いた超軽量骨材は、東京都新島産抗火石を微粉碎し発泡材、結合材等を加えてパン型ペレタイザーで造粒し、ロータリーキルンを用いて約1150℃で焼成、ふるいわけを行った。粗骨材として15~5 mm, 細骨材として5~0.6mmの範囲のものをを使用した。なお、抗火石原石の化学成分、同骨材の外観・断面、化学的性質等、ならびに、骨材の強度等の物理的性質についてはすでに報告した[1], [7] ので、ここでは省略した。

3. 軽量コンクリートの圧縮強度と水セメント比の関係についての既往の研究

コンクリートの破壊強度式については、有名なAbrams等の実験式があるが、これらはペースト強度よりも大きい骨材を用いたときの式であり、ペースト強度より弱い骨材を用いた軽量コンクリートについてはあてはまらない[2]とされている。

平賀[2] は、軽量コンクリートの圧縮強度を、セメントの圧縮強度、単位セメント量、単位水量、軽量骨材の重量、同真比重、同絶乾比重、ならびに軽量骨材の種類によってきまる常数などで表わす算定式を提案しているが、浅間火山レキ等の天然軽量骨材を対象としたものである。

上村[3] は、わが国の人工軽量骨材のセメント水比と圧縮強度との関係を示した上、水セメント比が40%以下のコンクリートでは、圧縮強度の伸びが少なくなる傾向にある、としている。

菊池ら[4] は、石炭灰系軽量骨材を用いた軽量1種コンクリートの水セメント比と圧縮強度との関係を示し、杉田ら[5] は、石炭灰系軽量骨材を用いた比重1.9前後のコンクリートの水セメント比と圧縮強度との関係を示し、角ら[6] は、粗・細骨材に火山灰を使用したコンクリートの圧縮強度推定式を提案し、圧縮強度がセメント水比、単位細・粗骨材量、ならびに細骨材の粗粒率の関数で示されるとしている。

4. 圧縮強度と水セメント比との関係の検討

4.1 実験方法ならびに結果

(1) 使用した材料

使用した超軽量骨材の諸物性を表一に示す。水は水道水を、セメントは普通ポルトランドセメントを、砂は絶乾比重 2.5, 最大寸法 2.5mm のものを、混和剤は A E 減水剤を使用した。

(2) 超軽量コンクリートの計画調合

同コンクリートの計画比重(目標気乾比重)は、1.0, 1.2, 1.4(未満)の3種類とし、S/Aは原則として 0.5程度とし、比重の調整は超軽量骨材、砂、人工軽量細骨材の混合割合を変えることで行った。また、計画比重 1.4(未満)の超軽量コンクリートについては、限界までの高強度をねらうこととした。

超軽量骨材の製造時期は、開発当初(1985年～)、中間期(1987年～)、最近(1989年～)にわけられるが、中間期以降からは表一に示すように骨材の改質を行うとともに、コンクリートの調合においても、すべての計画比重について、混和材料として A E 減水剤のほかにシリカ質混和材を使用した。また、水セメント比については、計画比重 1.0 および 1.2 ではとくに高強度をねらったものではないため、0.4~0.6としたが、計画比重 1.4(未満)については上記のように限界までの高強度をねらうため、水セメント比は 0.25~0.6とした。

超軽量コンクリートの計画調合の例を表二に示す。

(3) 超軽量コンクリートのねりませ、養生、ならびに試験方法

超軽量骨材は気乾状態で使用し、後吸水に相当する水量は計画調合以外に追加した。ねりませは、50リットルの強制攪はんミキサーを使用し、3分間ねりませた。強度試験用供試体は脱型後標準養生を行った。また圧縮強度試験は、JIS A1108によった。

(4) 試験結果

圧縮強度試験結果の例を表二ならびに図一に示す。なお、スランブならびに空気量の計画値はそれぞれ 8cm, 2% とし、実測値もこれに近い値が得られた。

4.2 検討

図一に示すように、この超軽量コンクリートの水セメント比と圧縮強度との関係は、人工軽量骨材コンクリートのそれ [3] とは異なる。これは、人工軽量骨材コンクリートの比重が 1.4 以上であることから当然であるが、計画比重 1.4, 1.2 の一部は範囲 [3] に入っており、かなり比強度が大きいことがわかる。なお、同一水セメント比で圧縮強度に差があるのは、水セメント比以外の混和材料等の影響と考えられる。また、水セメント比 0.40 以下では圧縮強度は上限を約 360kg/cm²とした頭うちの状態であり、水セメント比を 0.25 まで引き下げたが、この傾向は変わらないようである。このことから、さらに比強度を向上させるためには、骨材自体の改質が必要であると思われる。

5. 圧縮強度以外の諸物性の検討

5.1 圧縮強度以外の各種強度

(1) 割裂引張強度

表二に示すように、割裂引張強度は圧縮強度の 0.07~0.12 で、普通コンクリートの値と同様である。

(2) 曲げ強度

表一2に示すように、曲げ強度は圧縮強度の0.11~0.25で、普通コンクリートの値と同様である。

(3) 静弾性係数

すでに報告した[8]のように、計画比重1.0では、 0.77×10^5 kg/cm²、同1.2では、 0.90×10^5 kg/cm²、同1.4(未満)で 1.18×10^5 kg/cm²で、いずれも建築学会推定式による値よりは大きい。

(4) 比重・吸水率

すでに報告した[9]のように、材令13週の気乾比重の実測値はいずれも計画値より低い値を示している。また、吸水率は計画比重1.0で9.8~11.8% wt, 同1.2で16.5~18.9% wt, 同1.4(未満)で15.0% wtと、通常の人工軽量骨材コンクリートの値よりも小さい。

(5) 長さ変化

すでに報告した[9]のように、計画比重1.2で材令13週の長さ変化率は 8.4×10^{-4} で、建設省基準[13](9×10^{-4} 以下)を満足している。

(6) 耐久性

すでに報告した[9]のように、ASTM-C666(A法, 水中)に従って行った凍結融解試験の結果は、計画比重1.0~1.4(未満)で、300サイクルにおいて耐久性指数が72.7~82.7%であった。この値は比重1.0~1.4(未満)のコンクリートとしては優れているといえる。

また、すでに報告した[9]のように、3気圧、20℃の条件での炭酸ガス促進中性化試験の結果、促進時間25時間における仕上げ面の中性化深さは4.2~7.7mm, 同型枠面では1.0~5.8mm, 3気圧、40℃の条件では、それぞれ7.7~14.3mm, 3.6~11.8mmと、通常の人工軽量骨材コンクリートよりも優れている。

(7) その他

以上のほかに、蒸気養生の最適条件が、前置き時間8時間、最高温度40℃、最高温度継続時間2時間であること、部材としての曲げ耐力が既往の計算式で把握でき、合成構造としても利用できること、ならびに、高強度化についてはすでに報告した[10], [11], [12]とおりでである。

表一1 使用した超軽量骨材の諸物性

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	15	0.61	11.3	0.32	52.4	-	1985	
B	15	0.65	8.1	0.39	60.0	2.0	1987	
C	15	0.70	6.8	0.43	61.4	2.3	1987	
D	15	0.76	7.7	0.47	61.8	2.3	1987	
E	15	0.81	7.5	0.50	61.7	2.7	1988	
F	15	1.01	4.5	0.62	61.4	3.2	1988	
G	15	1.04	7.2	0.65	62.5	3.2	1988	
H	15	1.10	4.8	0.66	60.0	4.4	1988	
I	10	0.73	9.2	0.41	56.2	-	1985	
J	10	0.75	9.0	0.42	56.0	2.5	1987	
K	10	0.80	5.1	0.49	61.3	2.9	1987	
L	10	0.81	4.7	0.52	60.1	3.3	1987	
M	10	0.84	5.9	0.54	64.3	3.0	1988	
N	10	0.86	7.2	0.56	65.1	3.6	1988	
O	10	1.13	5.3	0.71	62.8	4.6	1988	
P	10	1.20	4.0	0.78	65.0	4.8	1988	
Q	5	0.75	12.9	0.46	61.3	3.3	1987	
R	5	0.81	8.1	0.47	58.1	2.5	1987	
S	5	0.81	10.4	0.47	58.0	3.2	1987	
T	5	0.86	12.0	0.50	58.1	3.4	1987	
U	3	0.81	16.0	0.49	60.5	2.8	1987	
V	3	0.82	13.2	0.48	58.2	-	1985	
W	3	0.86	12.0	0.50	58.1	3.4	1987	
X	3	0.91	13.6	0.51	56.0	3.5	1987	
Y	1	0.84	21.2	0.51	60.7	-	1985	
Z	1	0.86	17.9	0.52	60.3	3.0	1987	
α	1	0.93	18.4	0.52	55.9	-	1985	

1:記号; 2:最大寸法(mm); 3:絶乾比重
4:24時間吸水率(% vol.);
5:単位容積質量(kg/l); 6:実積率(%);
7:BS10%破碎荷重(t); 8:試作年

表一2 計画割合 (kg/m³)ならびに試験結果 Fc, Ft, Fb(kg/cm²)の例

計画比重	No.	W	C	G	S	Sa	Sb	Si	計	W/C	S/A	Fc	Ft	Fb	備考
1.0	37	174	435	239	219	0	0	30	1097	0.40	0.45	212	19.0	28.4	C, L, R, W, Z
	39	160	320	251	254	0	0	30	1015	0.50	0.47	136	16.9	26.1	C, L, R, W, Z
	41	157	262	275	275	0	0	30	968	0.60	0.50	160	15.3	23.9	C, L, R, W, Z
	27	150	300	240	262	0	0	30	982	0.50	0.50	196	20.8	-	B, M, Q, V, Y
	29	150	273	243	267	0	0	30	963	0.55	0.50	183	21.3	-	B, M, Q, V, Y
	31	150	250	246	269	0	0	30	945	0.60	0.50	168	13.8	-	B, M, Q, V, Y
1.2	36	175	438	245	261	40	0	20	1179	0.40	0.50	275	18.7	-	D, N, T, X
	38	175	389	251	242	120	0	20	1197	0.45	0.50	232	19.8	-	D, N, T, X
	46	175	438	245	261	40	0	20	1179	0.40	0.50	246	21.2	27.9	D, N, T, X
	48	178	356	254	236	150	0	20	1194	0.50	0.50	231	20.4	28.2	D, N, T, X
	50	180	300	260	223	210	0	20	1193	0.60	0.50	222	15.2	27.3	D, N, T, X
	79	160	320	254	218	182	0	40	1174	0.50	0.50	254	18.4	-	B, M, Q, V, Y
	71	160	291	256	213	213	0	40	1173	0.55	0.50	212	25.4	-	B, M, Q, V, Y
	75	160	267	259	207	244	0	40	1177	0.60	0.50	228	19.3	-	B, M, Q, V, Y
1.4 (未満)	1	150	400	359	277	140	0	40	1366	0.375	0.55	348	28.8	42.9	H, P, S, X
	2	150	450	351	276	120	0	40	1387	0.333	0.55	318	32.0	45.8	H, P, S, X
	3	150	500	343	275	100	0	40	1408	0.30	0.55	361	30.9	56.3	H, P, S, X
	4	150	550	335	274	80	0	40	1429	0.273	0.55	363	28.5	53.6	H, P, S, X
	5	150	600	327	273	60	0	40	1450	0.25	0.55	355	30.9	51.0	H, P, S, X
	12	138	552	375	272	0	0	30	1367	0.25	0.50	313	-	-	H, P, S, W
	13	150	500	377	256	60	0	30	1373	0.30	0.50	251	25.6	-	H, P, S, W
	51	180	450	330	83	340	0	0	1383	0.40	0.37	247	22.9	47.0	E, N, S, W, Z
	52	176	391	337	80	380	0	0	1364	0.45	0.38	237	22.7	47.1	E, N, S, W, Z
	53	174	348	339	79	420	0	0	1360	0.50	0.39	186	20.7	45.9	E, N, S, W, Z
	130	172	344	224	141	442	0	50	1373	0.50	0.54	260	25.5	-	E, M, Q, U
	132	172	313	228	137	468	0	50	1368	0.55	0.54	231	21.0	-	E, M, Q, U
	134	172	287	231	128	507	0	50	1375	0.60	0.54	254	21.4	-	E, M, Q, U
	124	180	360	263	0	0	539	50	1392	0.50	0.45	297	19.8	-	E, M
128	180	300	250	0	0	606	50	1386	0.60	0.49	242	22.8	-	E, M	

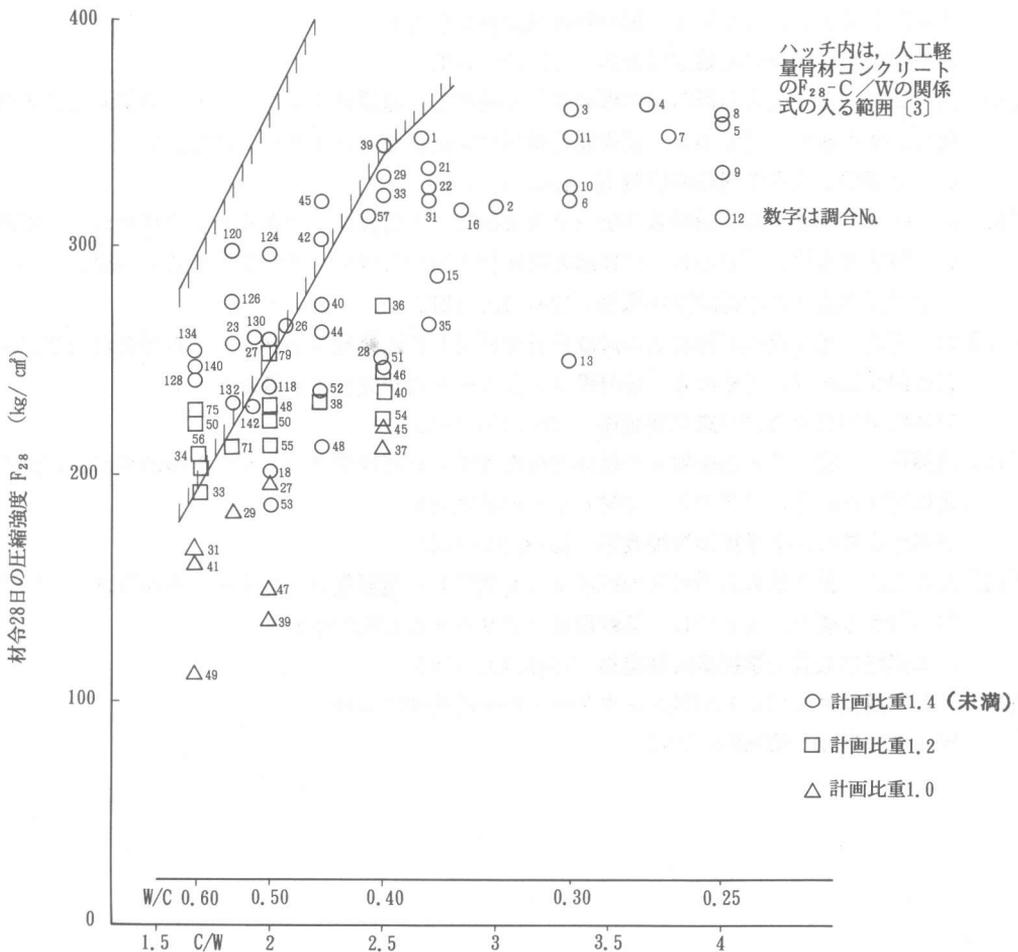
W:水; C:セメント; G:超軽量粗骨材; S:超軽量細骨材; Sa:砂; Sb:人工軽量細骨材;
 Si:シリカ質混和材; Fc:材令28日圧縮強度; Ft:材令28日割裂引張強度; Fb:材令28日曲げ強度
 備考:使用した超軽量骨材の記号(表一1参照)

5. まとめ

抗火石微粉末の焼成骨材を使用した目標気乾比重1.0~1.4(未満)の超軽量コンクリートの比強度を向上させる目的で、水セメント比0.60~0.25の範囲で、圧縮強度と水セメント比との関係を検討し、水セメント比0.40以下では圧縮強度は上限を約360kg/cm²とした頭うちの状態であり、さらに比強度を向上させるためには、骨材自体の改質が必要であると思われることを示した。

また、圧縮強度以外の各種強度、静弾性係数、比重・吸水率、長さ変化、ならびに耐久性についても参考までにそれらの概要を示した。

〔謝辞〕本報告の作製にあたり、㈱エスシー・プレコンの多久寿一氏、ならびに新島物産㈱の木村吉一氏、木村 薫氏、宮坂康行氏に多大の協力をいただいた。ここに厚く感謝いたします。



図一 水セメント比と圧縮強度との関係

〔参考文献〕

- [1] 中西正俊 他：抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの諸物性、
コンクリート工学年次論文報告集, 10-2 1988, pp.595-600
- [2] 平賀謙一：コンクリートおよび軽量コンクリートの強度に関する研究、
建築研究報告, No.22 1957.9
- [3] 上村克郎：人工軽量骨材の問題点、
コンクリート・ジャーナル, Vol.9, No.7, July 1971 pp.73-78
- [4] 菊池雅史 他：石炭灰系軽量骨材を用いたコンクリートの曲げおよび引張性状、
コンクリート工学年次論文報告集, 10-2 1988, pp.373-378
- [5] 杉田英明 他：石炭灰軽量骨材の品質とコンクリートの諸性状について、
コンクリート工学年次論文報告集, 11-2 1989, pp.47-52
- [6] 角徹三 他：粗・細骨材に火山灰を使用したコンクリートの圧縮強度特性、
コンクリート工学年次論文報告集, 11-2 1989, pp.59-64
- [7] 内藤憲一 他：抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの開発および実用
化に関する研究、(その1 試作超軽量骨材の性能)
日本建築学会大会学術講演梗概集 1986.8, 1368
- [8] 九々正武 他：抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの開発および実用
化に関する研究、(その2 試作超軽量骨材を用いたコンクリートの性能)
日本建築学会大会学術講演梗概集 1986.8, 1369
- [9] 九々正武 他：抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの開発および実用
化に関する研究、(その3 試作超軽量骨材を用いたコンクリートの性能・続編)
日本建築学会大会学術講演梗概集 1987.10, 1210
- [10] 九々正武 他：抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの開発および実用
化に関する研究、(その4 超軽量コンクリートの蒸気養生の最適条件)
日本建築学会大会学術講演梗概集 1988.10, 1219
- [11] 内藤憲一 他：抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの開発および実用
化に関する研究、(その5 部材としての諸性状)
日本建築学会大会学術講演梗概集 1989.10, 1134
- [12] 九々正武 他：抗火石微粉末の焼成骨材を使用した超軽量コンクリートの開発および実用
化に関する研究、(その6 超軽量コンクリートの高強度化)
日本建築学会大会学術講演梗概集 1989.10, 1135
- [13] 人工軽量骨材を用いる軽量コンクリートの使用基準について、
建設省住指発 第769号 1973