

[60] 葛生産骨材を用いたコンクリートの諸性質について

正会員 依田 彰彦 (足利工業大学工学部)
 正会員 ○横室 隆 (足利工業大学工学部)
 土沢 清 (吉沢石灰工業採鉱部)

1. はじめに

葛生は栃木県南西部に位置し、石灰石・苦灰石の採掘で有名な町である(図1)。

本研究では、葛生産細骨材(砕砂)5種類、同粗骨材(砕石)1種類、などを組合せたコンクリートの諸性質について多角度から実験研究し、鬼怒川

産の砂・砂利コンクリートと比較検討した。

2. 実験計画

2.1 実験に供した葛生産骨材

細骨材として下記a~f及び粗骨材として下記gを用いた。

- a. 葛生産細骨材a; X線回折した結果、成分はCaCO₃及びCa(Mg 0.67 Fe 0.33)(CO₃)₂の混合物である。
- b. 葛生産細骨材b; 葛生産細骨材aとほぼ同じ成分。
- c. 葛生産細骨材c; 葛生産細骨材aとほぼ同じ成分。
- d. 葛生産細骨材d; 葛生産細骨材aとほぼ同じ成分。
- e. 葛生産細骨材e; X線回折した結果、成分はSiO₂である。
- f. 葛生産細骨材f; 葛生産細骨材eとほぼ同じ成分。
- g. 葛生産粗骨材G; X線回折した結果、成分はCaCO₃である。
- h. 葛生産及び比較用骨材の品質; 表1~2に示す。

2.2 葛生産骨材以外の使用材料

- a. セメント; 普通ポルトランドセメント(C社製)記号N。
- b. 比較用骨材; 鬼怒川産の砂(r)・砂利(R)(表1~2参照)。
- c. 水; 自家用(飲料用)。
- d. 化学混和剤; 主成分はリグニン酸とポリオール複合体のAE減水剤(N社製)。
- e. 骨材以外の使用材料の品質; 表3~4に示す。

2.3 目標としたコンクリート調査; 表5参照

表1 葛生産及び比較用細骨材の品質

細骨材種類	絶乾比重	吸水率(%)	単位容重(kg/ℓ)	粘塊量(%)	洗い損失量(%)	有機不純物(f.m.)	粗粒率(%)	ふるいを通るものの重量百分率(%)						
								ふるいの呼び寸法(mm)						
								10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
砕砂 a	2.56	2.4	1.38	0	1.2	うすい	2.9	100	100	86	57	35	21	10
砕砂 b	2.58	2.3	1.86	0	1.2	うすい	2.8	100	100	87	61	40	25	11
砕砂 c	2.66	1.4	1.51	0	2.2	うすい	2.3	100	100	90	66	49	36	26
砕砂 d	2.49	3.5	1.50	0	1.8	うすい	2.7	100	100	86	63	44	27	9
砕砂 e	2.51	2.8	1.43	0	0.8	うすい	2.8	100	100	90	63	39	21	5
砕砂 f	2.64	2.4	1.51	0	1.0	うすい	2.7	100	100	96	68	38	19	6
比較用砂 r	2.54	2.5	1.76	0.2	0.3	うすい	2.8	100	99	84	68	46	18	6

表2 葛生産及び比較用粗骨材の品質

種類	絶乾比重	吸水率(%)	粒形判定の実績率(%)	粘土塊量(%)	洗い損失量(%)	最大寸法(mm)	破砕値		ふるいを通るものの重量百分率(%)						
							40トン破砕率(%)	40トン沈下量(mm)	ふるいの呼び寸法(mm)						
							40	25	20	15	10	5	2.5		
砕石 G	2.64	1.3	62.5	0	0.13	20	21.1	25.7	—	100	96	79	30	5	1
比較用砂利 R	2.54	2.3	—	0.1	0.10	25	16.4	19.7	100	100	71	52	27	0	—

表3 使用セメントの品質

比重	比表面積(c㎡/g)	凝結		安定性	強熱減量(%)	酸化マグネシウム(%)	三酸化硫黄(%)	酸化ナトリウム(%)	酸化カリウム(%)	
		水量(%)	始発終結(h-m)							
3.16	3230	27.5	2-35	3-45	良	0.6	63.9	2.1	0.45	0.46

表4 使用水質(足利保健所報告)

色度	濁度	水素イオン濃度(pH)	蒸発残留物(ppm)	塩素イオン(ppm)	過マンガン酸カリウム消費量(ppm)
5度以下	2度以下	6.7	190	10.1	0.30



図1 葛生の位置

表5 目 標 単 位 水 量 (kg/m³)

粗骨材	細骨材	W/C 45%・	W/C 55%・	W/C 55%・	粗骨材	細骨材	W/C 50%・	W/C 60%・	W/C 60%・
		Sℓ 18±1.5 cm	Sℓ 8±1.5 cm	Sℓ 18±1.5 cm			Sℓ 18±1.5 cm	Sℓ 8±1.5 cm	Sℓ 18±1.5 cm
川	a	15.9	14.1	16.1	砕	a	17.8	15.7	18.0
	b	16.2	14.4	16.5		b	18.4	16.1	18.4
	c	15.9	14.1	16.2		c	17.9	15.7	18.0
	d	15.8	13.9	16.0		d	17.8	15.5	17.8
	e	15.9	14.1	16.2		e	17.9	15.7	18.0
砂	f	15.7	13.9	16.0	f	17.6	15.5	17.8	
	r	15.7	13.8	15.9	r	17.4	15.4	17.6	
					石				

(注) 空気量はいずれも4・1%, s/aは川砂利コン39±1%, 砕石コン44±1%。

2.4 実験の項目と方法

a. 反応性状; ASTM C 227 (Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar Bar Method), Standard Method of Test for) に準じた。なお、供試体の寸法は 4×4×16cm, 水セメント比は50%, 供試体の貯蔵槽は、温度40℃, 湿度95%とした。

b. ワーカーピリチー; スランプ試験におけるコンクリートのくずれ方の状態から判定した。

c. スランプ; JIS A 1101 (コンクリートのスランプ試験方法) によった。

d. 空気量; JIS A 1128 (まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力方法))によった。

e. ブリージング; JIS A 1123 (コンクリートのブリージング試験方法) によって測定した。

f. 凝結; ASTM C 403 (Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance) によって測定した。

g. 圧縮強度; JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法) によった。なお、供試体の直径は10cmである。

h. 引張強度; JIS A 1113 (コンクリートの引張強度試験方法) によった。なお、供試体の直径は10cmである。

i. 曲げ強度; JIS A 1106 (コンクリートの曲げ強度試験方法) によった。なお、供試体は10×10×40cmである。

j. ヤング係数; 圧縮強度試験と併せてコンプレッソメーターを用いて歪を測定し、最大荷重1/3の点の値を求めた。

k. 長さ変化率; 無筋及びD16を中心に埋込んだ10×10×40cmのコンクリート供試体は打込み後、材令1週まで20±2℃水中に養生した後、温度20±1℃・湿度60±5%の恒温恒湿室に放置したものをを用いて JIS A 1129 (モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法) のコンパレーター方法によって長さを測定し、材令1週を基長とした場合の変化率を算出した。

l. 重量変化率; 0.1gまで測定できる直示天秤を用いて上記kの供試体の重量を測定し、材令1週を基重とした。

m. 凍結融解作用に対する抵抗性; ASTM C 666 (Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing) によって相対動弾性係数を求めた。

n. 中性化深さと鉄筋の発錆; D16を中心に埋込んだ10×10×40cmの供試体を温度20℃・湿度60%・CO₂濃度10%に制御した貯蔵槽に放置した。中性化深さは切断した面に対して1%のフェノールフタレインアルコール溶液を噴霧し、紫赤色にならなかった部分を中性化したものと断定し、mm単位のノギスを用いて平均中性化深さを測定した。鉄筋の発錆は中性化深さを測定した後、速やかにコンクリートを研り、鉄筋を取り出し、肉眼観察した。

o. 塩酸溶液に対する抵抗性; 上記gの圧縮強度試験に用いた同じ形状寸法の供試体を使用し、材令1週まで20±2℃水中養生した後材令4週まで20℃・80%の恒温多湿室に封かん養生した後、2%濃度に制御した塩酸溶液槽(20℃室)に4週間放置した。なお、塩酸溶液はコンクリート供試体による中和を考慮し、1週間ごとに新しい溶液と取り換えた。

2.5 その他の実験条件

a. コンクリートの練りまぜは JIS A 1138 (試験室におけるコンクリートの作り方) によった。なお、骨材は表乾状態とし、ミキサーは100ℓの強制攪拌式ミキサーを用いた。

b. コンクリート供試体は JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体Eの作り方) によって作った。

c. 試験・測定材令は、後述の3.実験結果と検討を参照されたい。

3. 実験結果と検討

紙面の都合上、結果の一部を表6及び図2～13に示し、以下に検討する。

a. 使用細骨材の ASTM モルタルバー法による6ヶ月における膨張率は図2に示した通り、0.0373%の比較用川砂が最も大きく、葛生産細骨材のそれは、すべてそれ以下であった。

b. 打込んだコンクリートは、目標とした調合(表5)通りで、そのワーカビリティは、すべて良好であった。

c. ブリージング量は、比較用の川砂コンクリートより少ない場合が多く、わずかに川砂利と細骨材aとを組合せたコンクリートのみ、多い傾向を示した(図3)。しかし、すべてがJASS5で目標としている0.5cc/cm³を下回っており良好なコンクリートといえよう。

d. コンクリートの凝結時間は、川砂利・砕石ともに細骨材aを用いたコンクリートのみ若干川砂コンクリートより長く、他はいずれも短かった(図4)。

e. 圧縮強度の発現傾向は次の通り。

①細骨材a及びeを用いたコンクリートを除き、一般に川砂コンクリートより大きい(図5)。細骨材a及びeを用いたコンクリートの圧縮強度が小さい理由はa及びeの単位容重が小さいことによると考える(表1)。

②20℃水中養生と5℃水中養生の圧縮強度は当然後者が短期材令ほど小さい。

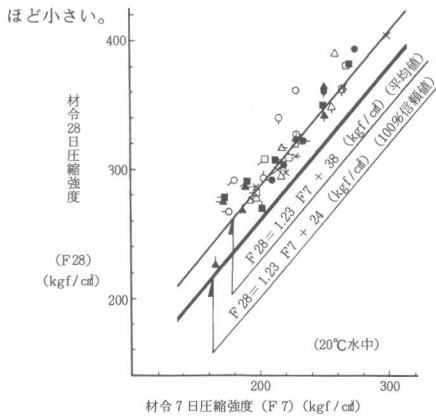


図8 材令7日圧縮強度と材令28日圧縮強度との関係

細骨材別で見ると20℃水中養生の圧縮強度を100としてそれに相応する5℃水中養生の圧縮強度比を求めると材令3日では川砂コンクリートが91に対し、葛生産細骨材コンクリートが89、材令7日では97対95、材令28日では97対98でほとんど差はないといえよう(資料数=川砂が6、葛生産細骨材36)。

③同一W/Cにおけるスランプ18cmの圧縮強度を100としてそれに相応するスランプ8cmのそれと比較すると98程度で、当然だがスランプ間の差は認められ

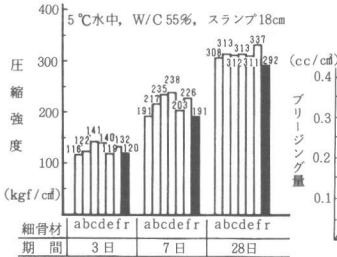


図6 川砂利コンクリートの圧縮強度

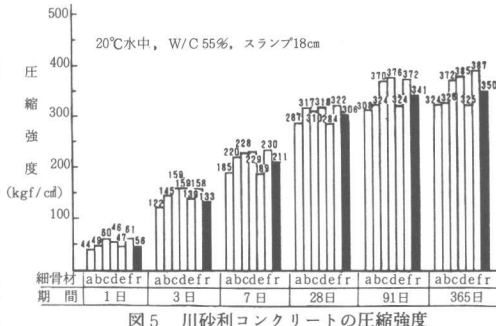


図5 川砂利コンクリートの圧縮強度

凡例	粗骨材	W/C	スランプ	養生条件	試体形状	試体寸法
○	川砂利	55	18	5℃水中	150mmφ×300mm	150×300
△	川砂利	55	18	20℃水中	150mmφ×300mm	150×300
□	川砂	55	18	5℃水中	150mmφ×300mm	150×300
◇	川砂	55	18	20℃水中	150mmφ×300mm	150×300
●	砕石	55	18	5℃水中	150mmφ×300mm	150×300
▲	砕石	55	18	20℃水中	150mmφ×300mm	150×300
○	川砂利	55	18	5℃水中	100mmφ×200mm	100×200
△	川砂利	55	18	20℃水中	100mmφ×200mm	100×200
□	川砂	55	18	5℃水中	100mmφ×200mm	100×200
◇	川砂	55	18	20℃水中	100mmφ×200mm	100×200
●	砕石	55	18	5℃水中	100mmφ×200mm	100×200
▲	砕石	55	18	20℃水中	100mmφ×200mm	100×200

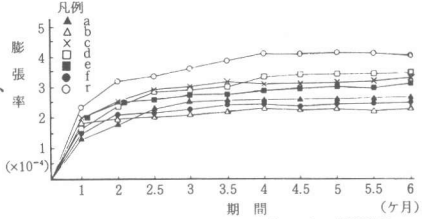


図2 モルタルバー法による膨張率

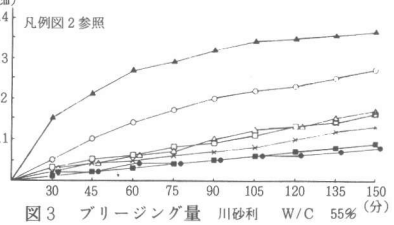


図3 ブリージング量 川砂利 W/C 55% (分)

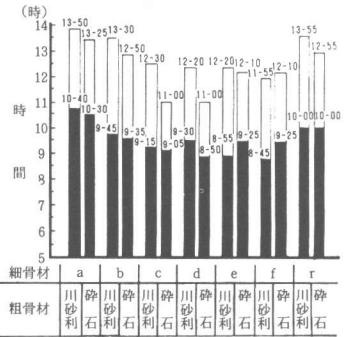


図4 凝結時間

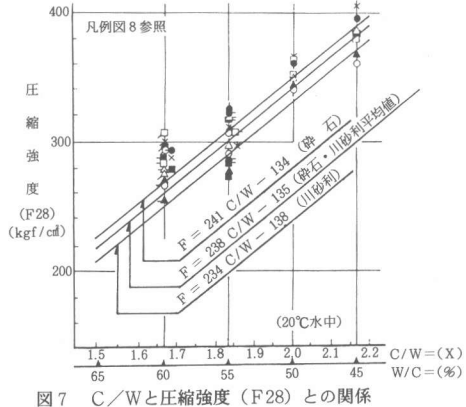


図7 C/Wと圧縮強度(F28)との関係

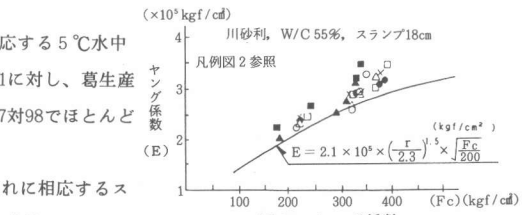


図9 ヤング係数

ない(資料数=川砂12, 葛生産細骨材72)。

④セメント水比(C/W)と材令28日圧縮強度(F28)との関係式及び材令7日(F7)から28日圧縮強度(F28)の推定式を求めたので提案する(図7~8)。

⑤粗骨材間の差違を図7の式から計算すると同一W/Cにおいて砕石は6%程度川砂利より大きくなる。

f. 引張・曲げ強度は圧縮強度の傾向に似ている(表6)。

g. ヤング係数は図9に例示した通り、いずれの細骨材も日本建築学会RC造計算規準で提唱されている式をほぼ満足する。

h. 長さ変化率は図10に例示した通り、自由収縮と拘束収縮とは当然であるが、前者の収縮が大きい。細骨材別では比較用の川砂が中間にある。葛生産細骨材は大~小の範囲にあるが、大差ではない。また、重量変化率は長さ変化率の傾向に似ている(図11)。

i. 凍結融解作用に対する抵抗性は相対動弾性係数として図12に示した通り、川砂コンクリートと同程度といえる。

j. 温度20°C・湿度60%・CO₂濃度10%の促進槽に6ヶ月間放置したコンクリートの中性化深さは、表6に示した通り細骨材の種類によって多少差違が認められる。比較用の川砂コンクリートは中間程度である。川砂利コンクリート中の細骨材c, d及び砕石コンクリート中の細骨材cの中性化深さが少ないのはコンクリート供試体の組織が密実に締固められたためと考える。また、いずれの場合も鉄筋の発錆は認められなかった。これはコンクリートの中性化深さが鉄筋の位置まで到達していないこと、60%という乾燥条件下に放置したためと考える。

k. 2%の塩酸溶液中に4週間浸漬した場合と同期間標準養生した場合との圧縮強度比は図13に示した通り100~82%の範囲にある。うち、スランブの小さいコンクリートの方が若干不利である。これは単位セメント量に起因したものと考える。

表6 コンクリートの結果

粗骨材	W/C	スランブ (cm)	空気量 (%)	材令28日(20°C水中)				10%CO ₂ 促進槽(T:20°C, H:60%)					
				引張強度 (kgf/cm ²)	圧縮強度との比	曲げ強度 (kgf/cm ²)	圧縮強度との比	2ヶ月		4ヶ月		6ヶ月	
								中性化深さ (mm)	発錆	中性化深さ (mm)	発錆	中性化深さ (mm)	発錆
a	55	18±1	4±1	21	0.07	63	0.22	4.1	なし	9.6	なし	11.5	なし
b				32	0.10	70	0.22	9.9	なし	10.3	なし	13.3	なし
c				23	0.07	69	0.22	4.2	なし	6.2	なし	8.5	なし
d				26	0.08	72	0.23	6.0	なし	7.1	なし	9.3	なし
e				26	0.09	68	0.24	9.5	なし	10.8	なし	19.5	なし
f				29	0.09	68	0.21	10.7	なし	15.6	なし	23.0	なし
r				22	0.07	63	0.21	7.6	なし	14.7	なし	19.8	なし
a	60	18±1	4±1	23	0.09	59	0.23	6.5	なし	12.8	なし	14.7	なし
b				24	0.09	63	0.23	8.6	なし	11.1	なし	16.2	なし
c				26	0.09	78	0.27	6.4	なし	9.3	なし	11.5	なし
d				26	0.09	72	0.26	6.5	なし	15.1	なし	17.8	なし
e				28	0.10	69	0.26	8.2	なし	12.8	なし	18.1	なし
f				22	0.10	70	0.25	9.2	なし	16.2	なし	20.0	なし
r				27	0.09	69	0.24	7.7	なし	12.3	なし	16.3	なし

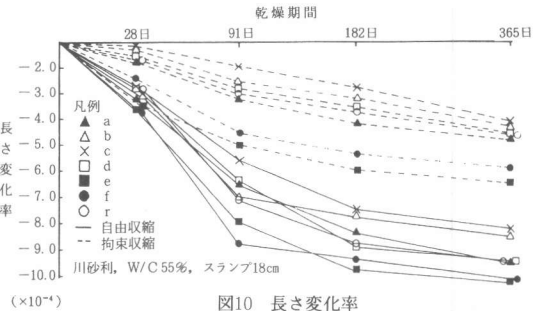


図10 長さ変化率

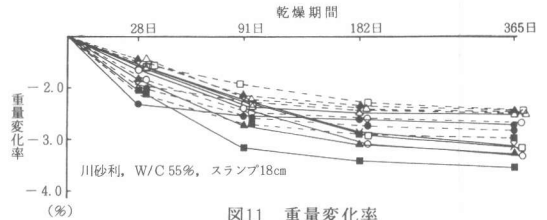


図11 重量変化率

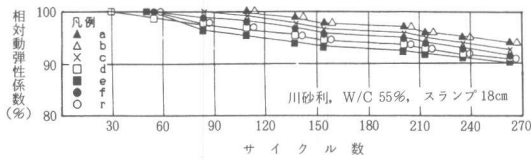


図12 相対動弾性係数

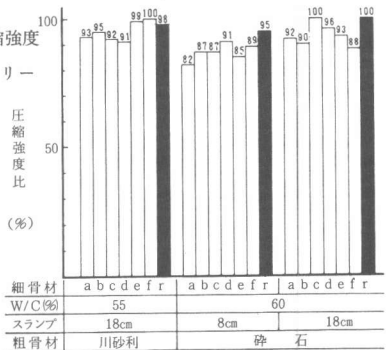


図13 標準養生した圧縮強度に対する2%の塩酸溶液に浸漬した場合の圧縮強度比

4. 結論

6種類の葛生産細骨材はASTMによる6ヶ月の膨張率が0.03%以下で反応の懸念はなく、また、それらの細骨材と葛生産石灰岩質砕石らを組合せたコンクリートの諸性質は比較用の砂・砂利コンクリートのそれと同程度か細骨材の種類によってはワーカビリティ、圧縮強度が上回るなど項目によっては、むしろ良好な結果を得た。

このことから、葛生産骨材はコンクリート用骨材として一般のコンクリート工事に十分使用し得るといえる。

本研究には、本学卒業生川島俊美補助員をはじめ多くの卒業生の協力を得たことを付記し、感謝する。