

[25] 低品質の骨材を用いたコンクリートの性質

正会員 友沢 史紀(建設省建築研究所)
 正会員 榊田 佳寛(建設省建築研究所)
 正会員 〇田中 齊(建設省建築研究所)

1. はじめに

JASS5では、昭和50年の改訂によって骨材の品質の級をⅠ～Ⅲ級に区分し、使用するコンクリートの品質の級と対応させ、通常のコンクリートではⅡ級以上の骨材の使用を勧めている。また、JISA5308(レデーミクストコンクリート)においてもコンクリートの所要性能確保のため新たに付属書に骨材についての規定を設けている。しかし、近年、河川産骨材の枯渇に伴ない、川砂利、川砂の品質が低下する傾向にあることが指摘され¹⁾、地域によっては良質な骨材の入手が困難であり、今後一層品質の悪い骨材を使用せざるを得ない状況になっている。そのため、これらの品質規定を満足しない骨材が使用されるケースも多いことが考えられる。

1978年6月の宮城県沖地震での被害建物調査²⁾において、用いている骨材の品質の悪いこと、コンクリートのヤング係数が小さいことが指摘されたが、このような品質の悪い骨材や規格に合わないいわゆる低品質な骨材を用いた場合のコンクリートに与える影響については少しずつ明らかにされてきているものの^{3),4)}、まだ十分でないと思われる。

本研究は、このような低品質の骨材を用いたコンクリートの力学的性質および耐久性について検討を加え、これらの低品質骨材の適正利用をはかるための資料とすることを目的として行なったものである。

2. 骨材の品質

従来から東北地方における河川産骨材は、低品質のものが多いといわれてきた。そこで低品質の骨材を用いたコンクリートの試験の対象として東北地方において多く使用される河川産骨材の中から、砂利5種類、砂3種類を選定した。また、比較の対象として、比較的良質とされる鬼怒川産の砂利・砂を用いた。これらの骨材の品質については、JASS5に規定される項目以外に安定性、軟石量、比重1.95に浮く粒子の試験を行い、その結果を表1に示す。

この骨材試験の結果をJASS5の骨材品質の級と照合すると、鬼怒川産骨材では、砂利の粘土塊量を除けばⅠ級の規定を満足しているが、東北地方産骨材では、雫石川産砂利がⅡ級に該当するほかはⅢ級あるいは規定に満たないという結果になった。東北地方産骨材の特徴を一言でいうと、絶乾比重が小さく、吸水率が大きいというようにまとめられ、特に、米代川産骨材は、砂利・砂とも絶乾比重・吸水率の点で規定に満たなかった。その他の項目では、東北地方産砂利は軟石量が多く、安定性試験値が大きいという傾向があった。

表1 骨材の品質

区分	産地	記号	粗粒率	実積率 %	絶乾比重	吸水率 %	洗い損失量 %	安定性 %	粘土塊量 %	有機不純物	軟石量 %	比重1.95 浮く粒子%
粗骨材	鬼怒川	KN	6.88	66.5	2.54	1.96	0.1	15.1	0.31	—	2.3	0.1
	奥入瀬川	OS	7.03	65.4	2.43	3.50	0.2	16.6	0.21	—	10.1	1.4
	米代川	YS	7.12	63.0	2.38	4.05	0.3	24.5	0.21	—	16.2	0.6
	最上川	MG	6.93	65.6	2.47	2.86	0.1	13.4	0.06	—	13.5	0.8
	雫石川	SZ	6.99	63.9	2.55	2.82	0.1	9.0	0.22	—	10.4	0.7
	白石川	SR	6.99	64.7	2.41	3.60	0.3	23.4	0.20	—	9.5	0.8
細骨材	鬼怒川	kn	2.64	66.9	2.51	2.88	0.4	4.8	0.56	合格	—	0.5
	奥入瀬川	os	2.57	64.8	2.53	4.32	0.8	8.6	0.67	合格	—	5.5
	米代川	ys	3.11	66.5	2.39	4.79	1.1	9.8	0.68	合格	—	1.5
	最上川	mg	2.82	65.1	2.49	3.05	0.7	6.0	0.49	合格	—	0.9

図1には、これら骨材の石質を表わすと考えられる絶乾比重、安定性軟石量と吸水率との関係を示したが、これらの関係は従来から言われているとおりの相関の高いことがわかる。この結果、骨材の吸水率は、骨材の石質にかかわる品質に対する簡便な指標になると考えられる。

3. 実験計画

(1) 骨材の組み合わせ

試験対象とした東北地方産川砂利5種、川砂3種および鬼怒川産砂利・砂を表2に示すようにそれぞれ1種類の組み合わせとした。この組み合わせは、比較対象として用いた鬼怒川産の砂利を軸として各河川産砂と組み合わせたもの、同様に鬼怒川産の砂を軸として各河川産の砂利と組み合わせたもの、および同一河川産の砂利・砂を組み合わせたもので構成されている。

(2) 調合

コンクリートの調合は、スランプ18cm、空気量4%とし、水セメント比を45, 55, 65%の3水準として強度を3レベルに変化させた。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、混和剤としてAE剤(ヴィソル)を使用した。

(3) 試験項目

(i) 圧縮強度 供試体は $\phi 10 \times 20$ cmとし、材令28日まで標準水中養生を行い、その後20℃60%RHの室内に放置した。試験材令は7日、28日、91日、1年とした。

(ii) ヤング係数 圧縮強度試験時にダイヤルゲージ式コンプレッションメーターを用いて応力歪関係を測定し、強度の1/3におけるセカンドモデュラスを計算してヤング係数とした。

(iii) 引張強度 $\phi 10 \times 20$ cmの供試体を用い、割裂試験によって求めた。養生は標準水中養生とし、材令28日で試験した。

(iv) せん断試験 供試体は $10 \times 10 \times 40$ cmとし、直接2面せん断試験によって行った。養生材令は(iii)に同じ。

(v) 乾燥収縮率 材令7日まで標準水中養生を行い、その後20℃、60%RHの室内に保存し、コンパレーター法によって長さ変化を測定した。

(vi) 凍結融解試験 供試体は $10 \times 10 \times 40$ cmを用いて材令14日から水中凍結融解試験を行なった。温度範囲は、5℃～-18℃として1サイクルあたり3時間30分で行った。

(vii) 中性化深さ 室内放置と強制中性化の2法で行い、前者は材令1年で測定、後者は材令1年まで室内放置し、それ以降30℃、60%RH、二酸化炭素濃度5%の室内に1ヶ月強制中性化させ測定した。測定は割裂面にフェノールフタレイン1%溶液を吹き付けて行った。

(viii) その他 乾湿繰返し試験、圧縮クリープ、屋外浸せき暴露試験等についても試験を行っている。

4. 実験結果および検討

実験結果の一覧を表3にまとめて示す。

(1) 圧縮強度

材令28日および1年における圧縮強度をセメント水比に対応させて図2に示す。いずれの骨材の組み合わせによっても圧縮強度は、セメント水比にしたがって増加し圧縮強度の頭打ち現象はみられなかった。しかし、骨材

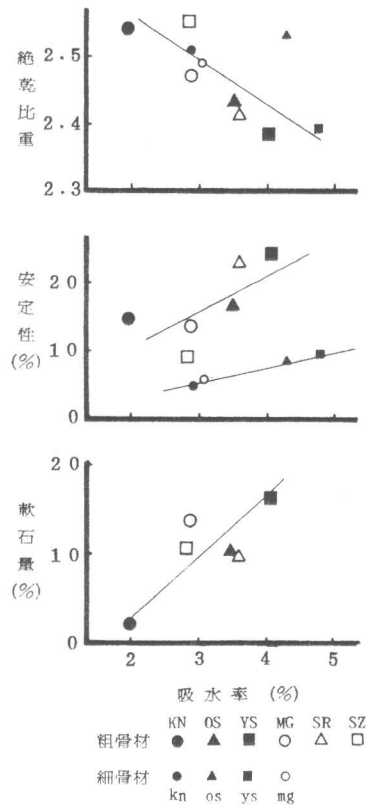


表2 骨材の組み合わせ及び記号

粗骨材	鬼怒川 (KN)	奥入瀬川 (OS)	最上川 (MG)	米代川 (YS)	雫石川 (SZ)	白石川 (SR)
鬼怒川 (kn)	Kk [●]	Ok [■]	Mk [▼]	Yk [▲]	SZk [⊕]	SRk [✱]
奥入瀬川 (os)	Ko [○]	Oo [□]	—	—	—	—
最上川 (mg)	—	—	Mm [▽]	—	—	—
米代川 (ys)	Ky [◎]	—	—	Yy [△]	—	—

の組み合わせの違いによって強度に差が生じており、特に米代川、最上川の砂利を用いたものは強度の低下が大きい。この強度の違いは、水セメン比65%で50 kg/cm²程度の範囲であるが、水セメント比55~45%の高強度レベルのところでは、材令28日で50 kg/cm²程度であり、材令1年では60~80 kg/cm²の強度の差となっている。強度低下の大きい2つの骨材の特徴として米代川産砂利は、もっとも品質の劣る骨材であり、最上川産砂利は軟石量が比較的多いことがあげられる。

(2) ヤング係数

材令1年におけるヤング係数と圧縮強度の関係を図3に示す。同一圧縮強度に対するヤング係数には骨材の組み合わせによって明確な差があり、鬼怒川産骨材を用いたコンクリートに比べて雫石川産砂利を用いたものは、 $0.2 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ 程度小さくなっており、その他の骨材を用いたものは、 $0.4 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ 程度小さくなっている。これらの骨材の品質を絶対比重および吸水率の規定に関して級別すると、鬼怒川産砂利はI級であり、雫石川産砂利はII級、その他の骨材はIII級以下になる。

(3) 引張強度、せん断強度

引張強度は圧縮強度のほぼ1/10程度であり、せん断強度は圧縮強度の4%~5%の範囲にあり通常の場合と比べてそれ程異なる点はみられなかった。しかし、米代川産の骨材を用いたコンクリートは、強度の高いところでは引

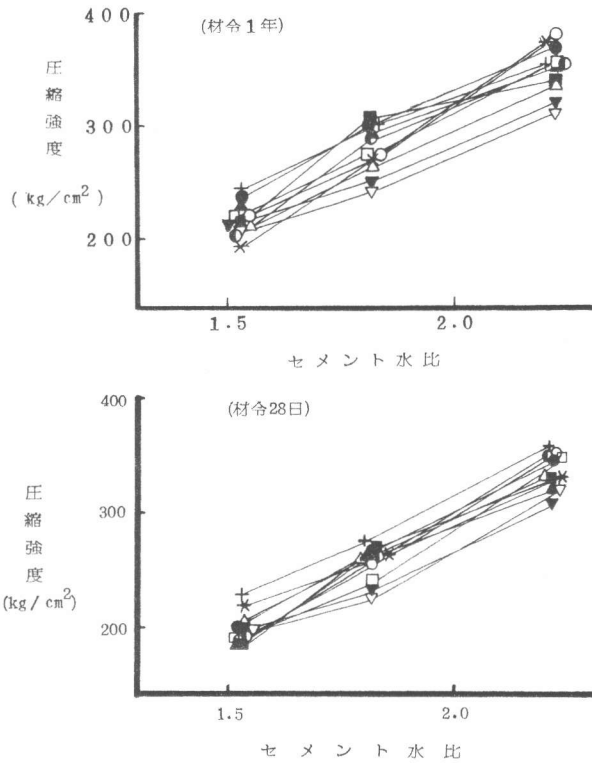


図2 セメント水比と圧縮強度

表3 実験結果

記号	W/C (%)	S L P (cm)	Air (%)	圧縮強度 (Kg/cm ²)				静弾性係数 (×10 ⁵ Kg/cm ²)				引張り強度 (Kg/cm ²)	せん断強度 (Kg/cm ²)	乾燥収縮率 (×10 ⁻⁴)			凍結融解 相対動弾性係数(%)			中性化深さ (mm)	
				7 D	28 D	91 D	1 Y	7 D	28 D	91 D	1 Y			3 M	6 M	1 Y	100cy.	200cy.	300cy.	強制	室内
Kk45	18.5	3.4	212	348	404	367	2.38	2.92	2.32	2.35	32.0	65.8	6.1	6.6	7.2	97.2	94.1	88.3	8.5	1.5	
Ko45	19.0	3.2	215	352	432	380	2.21	2.70	2.46	2.33	31.0	69.6	6.3	6.8	7.2	-	-	-	9.5	1.5	
Ky45	19.0	2.8	222	349	412	352	2.21	2.67	2.33	2.26	30.1	62.1	6.5	6.9	7.5	-	-	-	10.0	2.0	
Ok45	18.5	3.4	215	333	399	339	2.06	2.47	2.19	1.99	32.5	67.3	6.5	7.0	7.6	-	-	-	10.0	1.5	
Oo45	19.0	3.0	216	349	423	355	2.03	2.44	2.24	2.06	29.5	66.8	6.7	7.1	7.7	-	-	-	10.5	0.5	
Yk45	18.5	3.6	203	323	386	350	2.06	2.44	2.10	1.98	26.4	48.6	7.3	7.7	8.6	-	-	-	8.5	1.5	
Yy45	19.0	2.8	217	336	389	335	1.94	2.33	2.09	1.89	25.3	60.3	7.5	8.2	8.8	-	-	-	10.0	2.5	
Mk45	18.5	4.0	207	312	351	319	2.25	2.64	2.17	1.88	29.2	64.8	6.9	7.6	8.3	-	-	-	10.0	1.5	
Mm45	20.0	3.3	203	323	375	309	2.10	2.61	2.17	1.94	29.3	63.5	6.2	6.6	7.4	-	-	-	9.5	1.5	
SZk45	18.0	4.3	233	356	402	351	2.33	2.85	2.47	2.19	32.1	65.8	6.7	7.1	7.8	98.6	97.1	96.1	9.5	2.5	
SRk45	17.5	3.7	226	331	417	372	1.98	2.35	1.94	2.00	28.0	66.1	7.0	7.6	8.4	87.8	59.6	33.3	9.5	1.5	
Kk55	18.5	2.9	166	267	335	300	2.27	2.60	2.36	2.24	24.8	53.7	6.3	6.8	7.4	99.3	95.8	90.7	13.0	3.5	
Ko55	19.5	4.2	156	256	320	273	2.11	2.47	2.37	2.27	27.8	61.6	5.8	6.2	6.6	-	-	-	14.5	3.5	
Ky55	19.0	3.7	156	263	321	285	2.00	2.41	2.08	2.15	26.3	53.2	6.5	6.9	7.8	-	-	-	15.0	4.0	
Ok55	18.5	3.4	177	268	350	303	2.07	2.33	2.17	1.89	25.0	59.2	6.9	7.4	7.9	96.9	93.9	88.7	13.5	4.5	
Oo55	19.0	3.4	137	240	336	276	1.94	2.20	2.27	1.86	26.8	53.0	7.1	7.5	8.1	94.8	90.2	84.3	17.0	3.0	
Yk55	17.0	3.4	164	259	328	290	1.91	2.32	2.05	1.90	25.4	51.3	7.8	8.3	9.0	-	-	-	12.0	4.0	
Yy55	18.0	3.4	156	257	306	266	1.68	1.97	1.78	1.92	26.0	54.8	7.8	8.2	8.9	-	-	-	16.0	4.0	
Mk55	18.0	4.4	157	236	278	252	2.23	2.45	1.90	1.83	20.9	61.0	6.8	7.5	8.2	-	-	-	14.5	5.0	
Mm55	19.5	3.8	143	227	267	242	1.93	2.27	1.99	1.85	25.9	67.8	6.9	7.4	8.0	93.2	77.2	59.2	13.5	5.5	
SZk55	18.0	4.1	182	277	331	300	2.35	2.61	2.12	2.06	27.1	49.8	6.2	6.5	7.2	99.9	97.3	95.8	13.5	4.5	
SRk55	17.5	4.2	166	262	317	269	1.88	2.19	1.95	1.89	24.7	57.1	6.8	7.3	7.9	92.7	69.7	57.0	13.5	4.5	
Kk65	17.5	3.4	122	201	263	237	2.06	2.49	2.11	2.09	22.1	45.0	6.1	6.6	7.1	99.1	95.5	94.3	18.5	5.5	
Ko65	19.5	4.7	112	190	257	220	1.92	2.33	2.13	1.99	22.3	49.4	5.7	6.0	6.5	-	-	-	19.5	4.0	
Ky65	17.0	4.7	118	191	239	203	1.92	2.33	1.93	1.83	21.6	47.7	7.4	7.8	8.4	-	-	-	21.0	8.0	
Ok65	19.5	4.3	121	184	233	218	1.87	2.14	1.86	1.84	19.2	44.0	6.7	7.2	7.8	-	-	-	22.0	8.0	
Oo65	22.0	3.5	116	190	260	223	1.63	2.06	1.92	1.72	20.9	48.0	6.6	7.0	7.6	-	-	-	19.0	6.5	
Yk65	18.5	3.5	124	187	265	227	1.85	2.17	1.95	1.76	21.6	50.2	7.3	7.8	8.4	-	-	-	17.5	7.5	
Yy65	19.5	3.3	116	202	235	215	1.64	2.01	1.63	1.71	22.2	47.4	8.3	8.8	9.4	-	-	-	20.0	8.0	
Mk65	17.5	4.4	122	196	230	216	1.95	2.25	1.77	1.72	22.9	44.4	7.1	7.6	8.3	-	-	-	20.0	7.5	
Mm65	20.0	4.0	116	196	254	207	1.90	2.24	1.64	1.65	22.1	-	6.8	7.2	7.9	-	-	-	18.5	7.0	
SZk65	18.0	3.9	139	224	267	244	2.35	2.50	2.03	1.96	24.8	52.5	6.0	6.4	7.1	99.7	98.4	97.4	18.0	6.0	
SRk65	18.5	4.3	136	221	277	238	1.71	2.19	1.85	1.77	22.9	49.4	7.0	7.5	8.2	91.6	79.2	72.7	15.0	6.0	

張強度やせん断強度の圧縮強度に対する比率が小さくなる傾向がみられた。

(4) 乾燥収縮率

乾燥期間1年における乾燥収縮率を骨材の組み合わせ別水セメント比別に図4に示す。スランブが一定であれば、単位セメント量による収縮の差よりも骨材の種類の影響が大きいことがわかる。骨材の種類でみると、鬼怒川産砂利・雫石川産砂利を用いたコンクリートに比べ絶乾比重が小さく吸水率の大きい米代川産砂利や白石川産砂利を用いたコンクリートの収縮は、 2×10^{-4} 程度大きくなっている。

(5) 凍結融解に対する抵抗性

300サイクルまでの相対動弾性係数の変化を図5に示す。比重、吸水率がⅠ・Ⅱ級の鬼怒川産砂利・砂、雫石川産砂利を用いたコンクリートの相対動弾性係数は、300サイクルで80%以上あった。

しかし、比重・吸水率がⅢ級あるいは級外の骨材を用いたものでは、奥入瀬川産骨材を用いたものが300サイクルで相対動弾性係数が80%以上となったほかは、安定性試験の悪い白石川産砂利および軟石量の多い最上川産砂利・砂を用いたものは、相対動弾性係数が300サイクルで60%以下となった。このように、骨材の比重・吸水率がⅠ・Ⅱ級であれば、それを用いたコンクリートは凍結融解に対して抵抗性を持つが、Ⅲ級以下の骨材を用いたものは骨材によって凍結融解に対する抵抗性が著しく劣るものがでてくる。

(6) 中性化

中性化については、現在試験継続中のためははっきりしたことはいえないが、骨材の種類よりも水セメントの影響が大きいようである。

5. まとめ

本研究で行った実験結果をまとめると次のようになる。

- i) 低品質骨材を用いたコンクリートは、良質の骨材を用いたコンクリートと比較すると、同一調合では強度はやや出にくい傾向にある。
- ii) ヤング係数は、15~20%程度低下する。
- iii) 乾燥収縮率は、20~30%程度大きくなる。
- iv) 比重・吸水率でⅢ級以下のものでは凍結融解抵抗性が著しく劣るものがでてくる。
- v) 以上の結果、比重・吸水率でⅢ級以下の骨材についてはその使用にあたって注意が必要である。

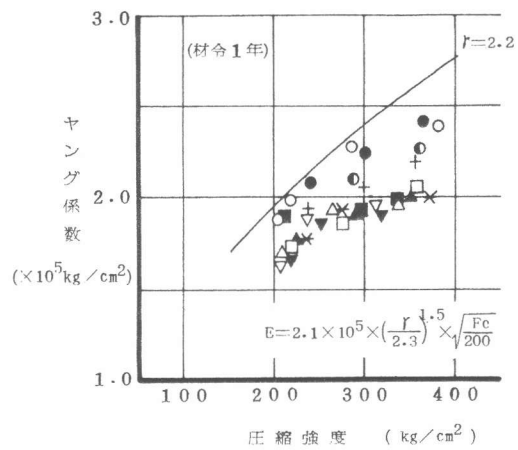


図3 ヤング係数と圧縮強度

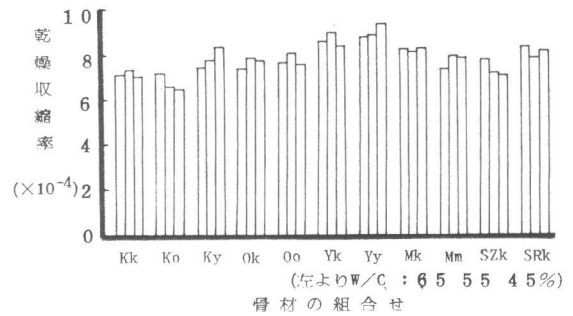


図4 乾燥収縮率

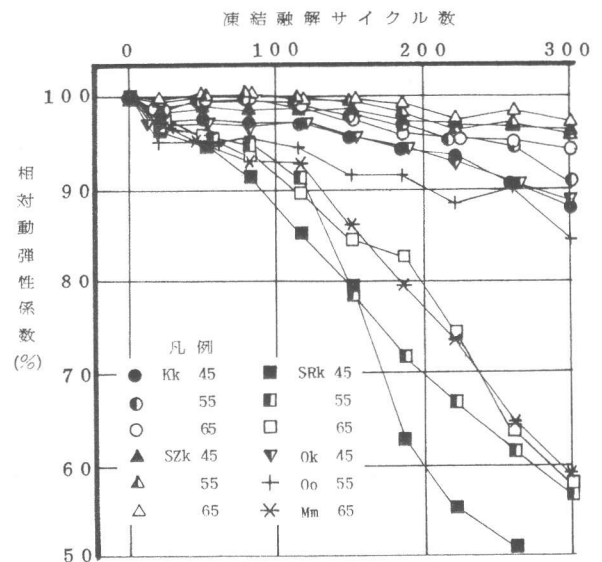


図5 相対動弾性係数の変化

参考文献 1) コンクリート専門委員会報告F-31, セメント協会, 1978・6 2) 「1978年宮城県沖地震」の調査報告書, 建研報告書, 6186, 1979・2
3) 和泉, 高他「東北地方の低品質骨材を用いたコンクリートの性質について」建築学会大会, S・559, S・569