

低品質骨材を使用したコンクリートの長期性状

D1-10406 尾場瀬 保彰 D2-10403 坂入 翔太郎

1. はじめに

密度、吸水率などが規格に合わないような低品質骨材を用いた場合の材齢 1 年までの結果はすでに報告されているが¹⁾、長期的にどのような問題があるかはまだ十分に明らかではないと思われる。本研究では、1 年までに計測が行われた試験体を 34 年経過した今回再度計測し、吸水率、圧縮強度、ヤング係数などの力学的性状や中性化について報告するものである。

2. 実験概要

2.1 検討の範囲

既往の研究より推測される、各種物性に及ぼす水セメント比と骨材の表 1 に示す。その根拠となった既往のデータを本実験結果と併せて表 4 に示す。使用した骨材は表 2 に示した。水セメント比は 45%,55%,65%の供試体を用いた。既往の研究では水セメント比は圧縮強度、中性化との関わりが大きく反応を示した。また、ヤング係数、乾燥収縮は骨材の品質の影響が大きく影響している。

また、規格に適合した鬼怒川を標準としてデータを比較することとする。

2.2 実験方法

供試体の骨材の組み合わせを表 3 に示す。本実験では 100×100×400mm の角柱供試体を用いた。また、一般的にあまり行われない供試体の取り扱い方をしたので以下に示す。初めに角柱供試体の寸法、質量、超音波伝播速度、動弾性係数を計測した。その後、24 時間吸水後の質量、超音波伝播速度、動弾性係数も計測した。この際に水中での質量も計測した。次に、反発度試験、透気係数試験、中性化深さ試験を行い、角柱供試体をコンクリートカッターで両端から長さ約 150mm で切断して 2 体の供試体を用意した。この供試体に対して寸法、質量、超音波伝播速度、動弾性係数の測定を行い 2 日水中浸漬した。水中浸漬後繰り返し同様の試験を行い、φ75×150mm のコアを抜き両端面の研磨後に 2 日水中浸漬を行った。水中浸漬後のコアの寸法、質量、超音波伝播速度、動弾性係数、圧縮強度、ヤング係数の測定を行った。本実験で用いた各試験方法を表 4 に示す。

表 1 各種物性に及ぼす影響の程度

	水セメント比	骨材
圧縮強度	○	○
ヤング係数	○	○
中性化	○	×

表 2 骨材の物性¹⁾

区分	産地	記号	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)	微粒分量 (%)
粗骨材	鬼怒川	K	2.54	1.96	6.88	66.5	0.1
	奥入瀬川	O	2.43	3.5	7.03	65.4	0.2
	米代川	Y	2.38	4.05	7.12	63	0.3
細骨材	鬼怒川	k	2.51	2.88	2.64	66.9	1.4
	奥入瀬川	o	2.39	4.32	2.57	64.8	0.8
	米代川	y	2.49	4.79	3.11	66.5	1.1

表 3 骨材の組み合わせ

粗骨材 細骨材	鬼怒川 (K)	奥入瀬川 (O)	米代川 (Y)
鬼怒川(k)	Kk	Ok	Yk
奥入瀬川(o)	Ko	Oo	—
米代川(y)	Ky	—	Yy

表 4 試験方法

項 目	供試体			方 法
	切断前	切断後	コア	
反発度試験	—	○	—	JIS A 1155
超音波伝播速度	○	○	○	CTM-15(飽和増幅方式対称法)
動弾性係数	○	○	○	JIS A 1127
圧縮強度試験	—	—	○	JIS A 1107
ヤング係数	—	—	○	JIS A 1149
透気試験	○	—	—	ダブルチャンパー法
中性化深さ試験	—	○	—	JIS A 1152

表 4 実験結果（25 年と 34 年以外のデータは文献¹⁾より引用）

記号		Kk45	Ko45	Ky45	Ok45	Oo45	Yk45	Yy45	Kk55	Ko55	Ky55	Ok55	Oo55	Yk55	Yy55	Kk65	Ko65	Ky65	Ok65	Oo65	Yk65	Yy65
圧縮強度 (N/mm ²)	28日	34.1	34.5	34.2	32.6	34.2	31.7	32.9	26.2	25.1	25.8	26.3	23.5	25.4	25.2	19.7	18.6	18.7	18.0	18.6	18.3	19.8
	91日	39.6	42.3	40.4	39.1	41.5	37.8	38.1	32.8	31.4	31.5	34.3	32.9	32.1	30.0	25.8	25.2	23.4	22.8	25.5	26.0	23.0
	1年	36.0	37.2	34.5	33.2	34.8	34.3	32.8	29.4	26.8	27.9	29.7	27.0	28.4	26.1	23.2	21.6	19.9	21.4	21.9	22.2	21.1
	34年コア1	26.7	32.2	29.5	31.6	35.7	28.6	32.2	31.2	35.0	29.9	35.3	37.3	30.6	32.3	35.2	35.3	28.4	32.1	35.6	30.2	27.2
	34年コア2	25.1	31.1	29.2	33.8	36.6	26.8	30.4	33.2	35.5	31.0	34.2	34.9	34.0	30.7	32.3	35.5	26.5	30.6	36.2	26.2	29.3
	34年コア平均	25.9	31.6	29.3	32.7	36.2	27.7	31.3	32.2	35.2	30.4	34.8	36.1	32.3	31.5	33.7	35.4	27.5	31.4	35.9	28.2	28.3
反発度	試験体1	37.3	38.7	36.2	37.4	35.3	36.6	35.9	31.1	30.3	32.9	33.2	30.7	30.6	28.7	25.6	24.2	22.3	24.3	29.1	24.8	26.7
	試験体2	34.0	36.0	35.9	35.9	37.3	34.2	36.9	29.9	27.7	32.2	30.8	28.6	30.9	30.7	25.4	24.1	25.6	24.9	24.2	26.6	27.0
	平均	35.5	37.5	36.0	37.1	35.8	35.4	36.9	30.0	28.5	32.5	31.4	29.6	31.0	29.1	26.1	23.9	23.6	24.5	26.5	25.9	26.7
密度 (g/cm ³)	コア1	2.33	2.36	2.33	2.31	2.33	2.27	2.29	2.37	2.37	2.34	2.33	2.35	2.29	2.29	2.36	2.36	2.30	2.33	2.35	2.31	2.30
	コア2	2.32	2.37	2.35	2.31	2.33	2.27	2.28	2.35	2.36	2.31	2.33	2.33	2.30	2.29	2.35	2.35	2.30	2.32	2.35	2.29	2.27
	平均	2.32	2.37	2.34	2.31	2.33	2.27	2.28	2.36	2.36	2.32	2.33	2.34	2.30	2.29	2.35	2.35	2.30	2.32	2.35	2.30	2.28
動弾性係数 (kN/mm ²)	34年	30.8	32.5	30.0	28.4	28.4	25.6	27.2	33.2	32.6	27.9	28.0	28.9	27.0	26.0	25.2	31.7	25.5	26.8	29.5	25.9	22.6
ヤング係数 (Kn/mm ²)	7日	23.3	21.7	21.7	20.2	19.9	20.2	19.0	22.2	20.7	19.6	20.3	19.0	18.7	16.5	20.2	18.8	18.8	18.3	16.0	18.1	16.1
	28日	28.6	26.5	26.2	24.2	23.9	23.9	22.8	25.5	24.2	23.6	22.8	21.6	22.7	19.3	24.4	22.8	22.8	21.0	20.2	21.3	19.7
	91日	22.7	24.1	22.8	21.5	22.0	20.6	20.5	23.1	23.2	20.4	21.3	22.2	20.1	17.4	20.7	20.9	18.9	18.2	18.8	19.1	16.0
	1年	23.0	22.8	22.1	19.5	20.2	19.4	18.5	22.0	22.2	21.1	18.5	18.2	18.6	18.8	20.5	19.5	17.9	18.0	16.9	17.2	16.8
	34年コア1	24.9	29.3	26.2	24.3	25.9	26.6	25.3	24.5	28.5	27.8	25.7	26.6	27.2	23.1	28.1	29.4	24.2	23.8	25.9	23.7	19.8
	34年コア2	28.7	29.6	27.2	24.1	23.6	21.9	22.1	29.5	28.4	26.9	26.9	25.4	-	26.7	28.1	29.0	24.1	23.1	25.9	21.0	21.0
	34年コア平均	26.8	29.4	26.7	24.2	24.8	24.2	23.7	27.0	28.5	27.4	26.3	26.0	27.2	24.9	28.1	29.2	24.1	23.5	25.9	22.3	20.4
体積吸水率(%)		3.36	3.54	3.91	3.35	5.68	4.85	4.69	5.66	5.37	6.03	6.00	8.16	6.50	8.27	9.93	7.84	8.96	9.62	8.54	10.32	11.54
質量吸水率(%)		1.48	1.53	1.72	1.49	2.52	2.22	2.13	2.48	2.35	2.68	2.66	3.62	2.95	3.80	4.43	3.48	4.10	4.34	3.79	4.72	5.33
中性化深さ (mm)25年	上の平均	17.7	15.9	16.1	21.0	15.2	19.2	15.8	18.9	25.3	22.8	25.1	30.5	27.0	30.3	37.9	35.5	34.7	35.4	35.5	37.6	46.1
	下の平均	14.7	18.6	14.0	23.8	17.8	16.2	19.8	25.6	23.3	31.4	23.2	31.8	25.0	30.8	41.6	33.8	35.9	41.0	37.9	46.7	41.0
	側1の平均	16.2	16.9	18.4	11.7	13.4	23.7	16.1	19.8	21.5	25.6	21.5	28.7	18.3	34.4	29.8	31.0	35.3	36.6	37.9	46.7	39.6
	側2の平均	12.9	16.5	18.4	14.4	16.8	16.0	16.3	25.4	23.2	28.2	22.8	28.6	23.0	27.7	29.9	35.3	35.9	43.5	36.8	44.3	37.7
	側1と2の平均	12.9	16.5	18.4	14.4	16.8	16.0	16.3	25.4	23.2	28.2	22.8	28.6	23.0	27.7	29.9	35.3	35.9	43.5	36.8	44.3	37.7
	全体の平均	15.4	17.0	16.7	17.7	15.8	18.8	17.0	22.4	23.3	27.0	23.1	29.9	23.3	30.8	34.8	33.9	35.5	39.1	37.0	43.8	41.1
中性化深さ (mm)34年	促進1M	8.5	9.5	10.0	10.0	10.5	8.5	10.0	13.0	14.5	15.0	13.5	17.0	12.0	16.0	18.5	19.5	21.0	22.0	19.0	17.5	20.0
	促進2M	11.3	13.0	13.0	12.5	12.0	13.0	13.5	18.0	20.5	20.5	20.5	22.0	19.0	20.0	26.0	25.5	27.5	29.0	26.0	24.0	26.0
	上の平均	16.5	6.8	9.7	11.9	9.3	19.0	12.0	20.9	16.3	21.2	23.7	26.1	27.6	26.3	38.8	33.3	35.0	全て 中性 化済 み	29.2	39.3	37.1
	下の平均	15.5	9.5	10.6	12.9	6.4	17.3	9.8	24.0	17.9	25.8	14.3	23.1	26.8	24.4	41.9	30.9	43.1		37.7	37.4	43.5
	側1の平均	16.4	6.1	16.5	13.8	8.2	16.4	11.5	23.5	16.6	23.5	14.4	22.2	25.2	25.9	38.4	31.1	40.8		33.7	38.5	39.6
	側2の平均	17.1	7.3	32.1	13.7	8.7	17.1	11.9	23.3	15.2	24.0	17.1	23.8	21.7	25.4	40.1	29.8	40.3		32.3	38.6	40.5
	側1と2の平均	16.8	6.7	24.3	13.7	8.5	16.7	11.7	23.4	15.9	23.7	15.8	23.0	23.5	25.6	39.2	30.4	40.6		33.0	38.5	40.1
全体の平均	16.4	7.4	17.2	13.1	8.2	17.4	11.3	22.9	16.5	23.6	17.4	23.8	25.3	25.5	39.8	31.3	39.8	33.2	38.4	40.2		
透気係数 ($\times 10^{-16}$ mm ²)	1	7.20	1.50	4.60	1.40	5.10	4.40	4.10	4.80	2.70	18.00	1.90	3.90	8.40	12.00	9.40	7.50	26.00	12.00	10.00	15.00	19.00
	2	6.20	0.73	10.00	1.30	5.60	24.00	17.00	3.90	3.40	11.00	10.00	8.90	6.00	18.00	12.00	7.60	46.00	17.00	5.60	24.00	24.00
	平均	6.70	1.12	7.30	1.35	5.35	14.20	10.55	4.35	3.05	14.50	5.95	6.40	7.20	15.00	10.70	7.55	36.00	14.50	7.80	19.50	21.50
超音波伝播 速度 (km/s)	コア1	4.18	4.30	4.25	4.16	4.23	3.99	3.96	4.26	4.06	4.19	4.11	4.07	3.94	3.99	4.28	4.42	3.74	4.11	4.12	4.06	3.98
	コア2	4.28	4.32	4.11	4.21	4.18	3.90	3.98	4.27	4.12	4.04	4.08	4.01	4.03	3.86	4.23	4.29	4.07	3.83	4.16	3.98	3.79
	平均	4.23	4.31	4.18	4.19	4.21	3.95	3.97	4.27	4.09	4.12	4.09	4.04	3.98	3.92	4.25	4.36	3.90	3.97	4.14	4.02	3.88

3. 実験結果

3.1 既往の実験結果

本実験結果を既往の実験結果と併せて表 4 に示す。既往の実験結果では、1980～1981 年に測定した際の水セメント比と圧縮強度は強く関係し、また使用された粗骨材、細骨材で圧縮強度との関係が見られた。中性化に関しても水セメント比との影響が強く表れた。1981 年時点では部材耐力に及ぼす骨材品質の影響は少なかった。

3.2 反発度

水セメント比と反発度の関係を図 1 に示す。鬼怒川を使った Kk 供試体は他の供試体との差を比べると水セメント比 45%では、反発度は供試体の中でも低い結果となり、水セメント比 55%では中央当たり、また、水セメント比 65%になると上がる傾向にあった。次に水セメント比との関係を図 2 に示す。

3.3 動弾性係数

図 8 では水セメント比ごとに概ね右肩下がりになる結果となり、また品質の良い鬼怒川を使用したコンクリートと他の骨材の品質のもので分かれる結果となった。

3.4 圧縮強度

水セメント比と圧縮強度の関係を図 3 に示す。一般にいわれている関係がこれによると認められなかった。この理由については不明である。また、水セメント比 45%は鬼怒川が最も強度の低い結果となった。

3.5 ヤング係数

圧縮強度に対するヤング係数は図 4～6 に示す。材齢 28 日、材齢 1 年、材齢 34 年のいずれも、ヤング係数は使用した骨材によって明確な違いが見られ、鬼怒川の粗骨材を使用したものが高い数値となり、次いで粗骨材に米代川、奥入瀬川を使ったものとなった。また材齢 28 日から材齢 1 年にかけて圧縮強度、ヤング係数ともに数値は下がっていたが、本実験では骨材の種類によりばらつきはあるが、明確にヤング係数が上昇した。

3.6 中性化深さ

水セメント比と中性化深さの関係を図 7 に示す。材齢 34 年たった現在でも中性化が進み、Ok45 のようにフェノールフタレイン溶液で変色しない供試体もあった。骨材の調合による影響は多少差があるが、水セメント比による影響を大きく受けていることがわかった。また、理由は不明であるが、鬼怒川が最も中性化の大きい結果となった。

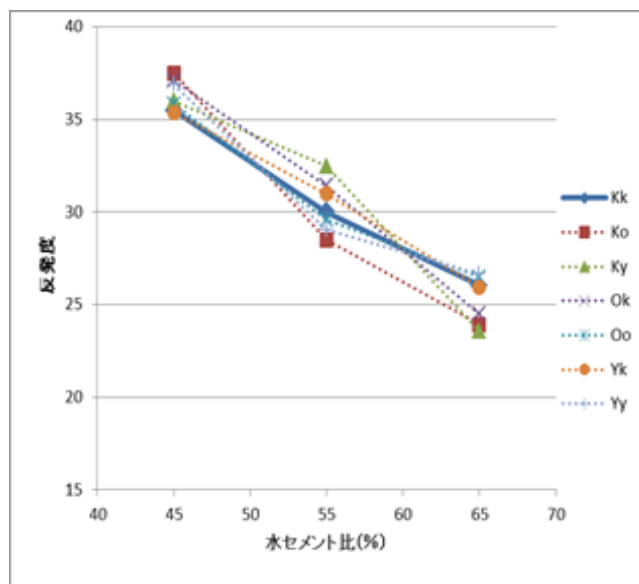


図 1 水セメント比と反発度

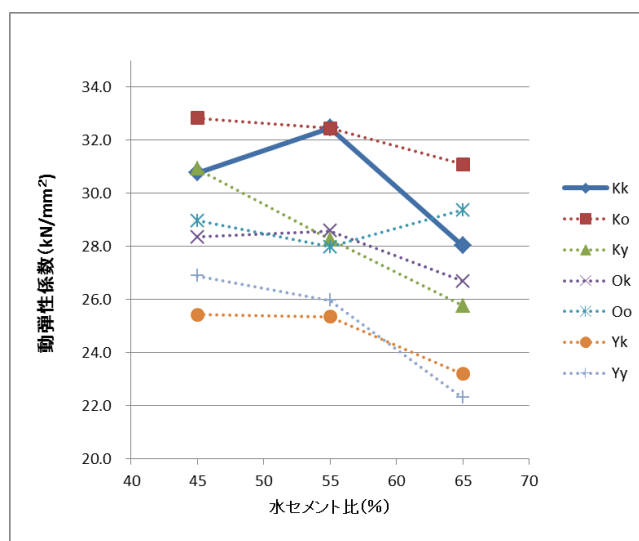


図 2 水セメント比と動弾性係数

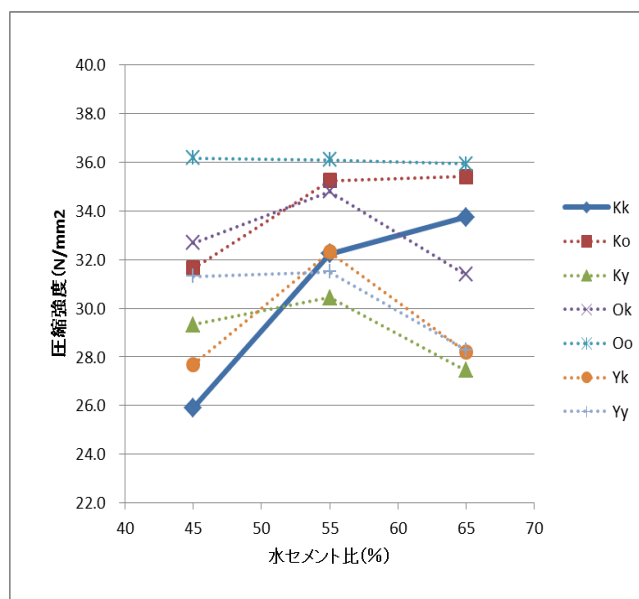


図 3 水セメント比と圧縮強度

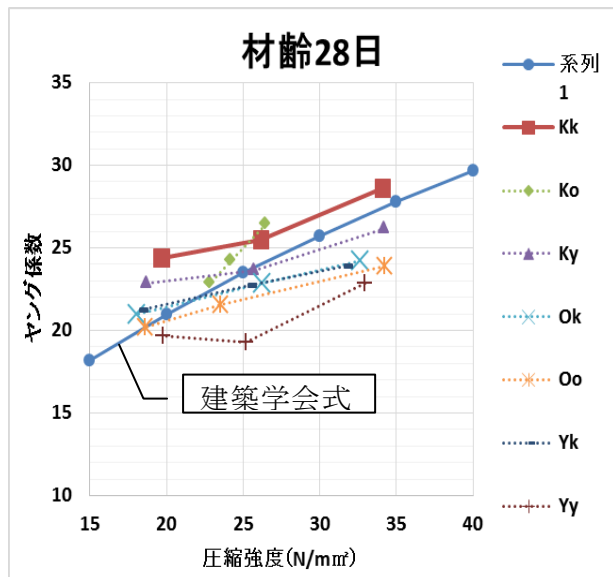


図4 ヤング係数と圧縮強度の関係（材齢28日）

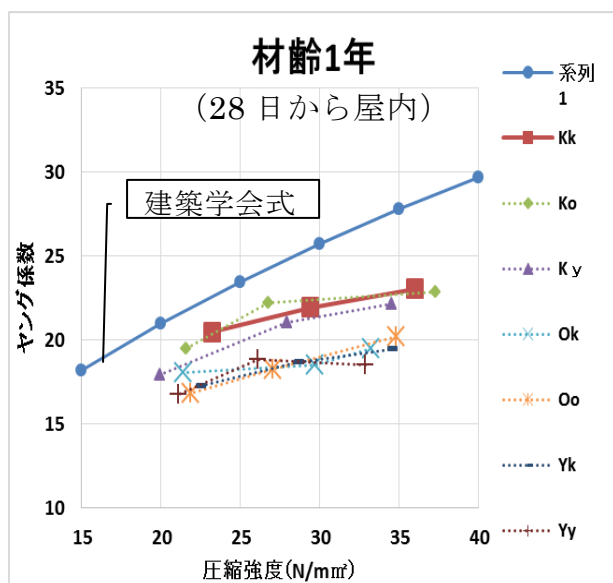


図5 ヤング係数と圧縮強度の関係（材齢1年）

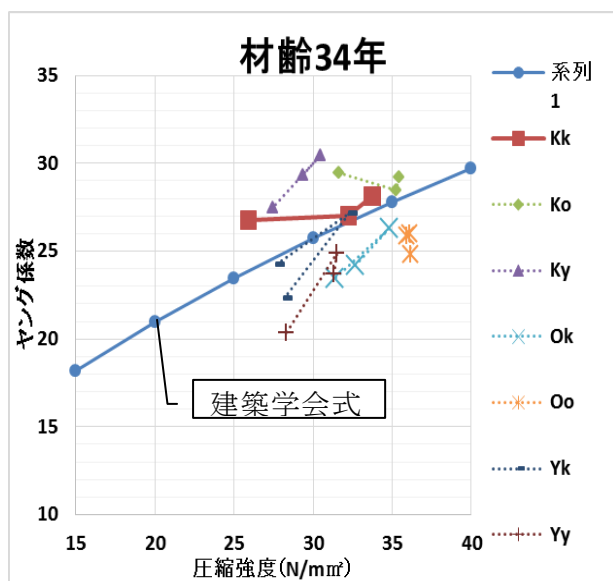


図6 ヤング係数と圧縮強度の関係（材齢34年）

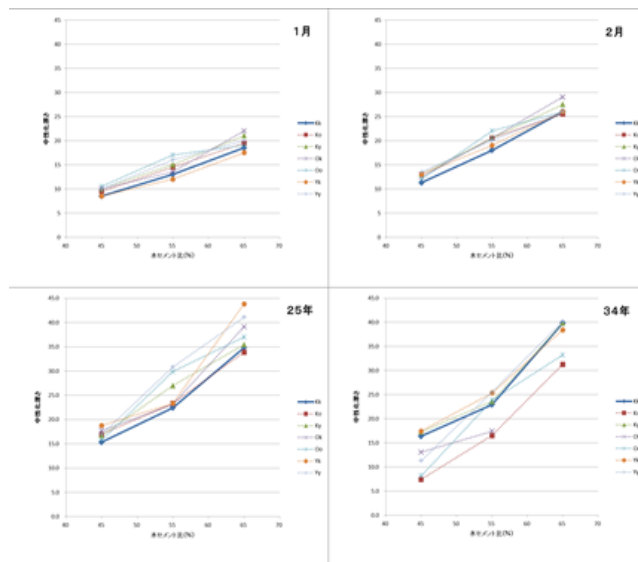


図7 材齢別中性化と水セメント比

4. まとめ

結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 34年経過した室内保存の角柱供試体を切断した試験体と $\phi 75 \times 150 \text{mm}$ のコアを用いて行った。角柱供試体で測定した反発度試験は、水セメント比に比例して45%のときに高く65%のときに小さくなった。鬼怒川の粗骨材を使用したものは良い結果であった。ただし、鬼怒川の粗骨材を用いて水セメント比45%のものは反発度が小さくなった。
- (2) 動弾性係数は供試体によってばらつきがあったが、概ね水セメント比に応じて45%の場合には高く、65%のときには小さい傾向となった。鬼怒川を用いたものには全般に低い結果となった。
- (3) 圧縮強度は水セメント比によらずばらつきが出る結果となり、また骨材別に比較したところ、必ずしも鬼怒川の強度が高い結果にならなかった。
- (4) ヤング係数は全般に1年よりも増加した。理由は不明である。低品質骨材を使用したものは鬼怒川と同等以下であった。
- (5) 中性化は、これまでの結果と異なり、鬼怒川より小さくなった。

骨材の長期性状を計測するうえで、非破壊試験、破壊試験の結果は、本研究でのデータを基に試験方法そのものを検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 友沢史紀 低品質骨材の適正利用に関する研究（その1~3）日本建築学会大会学術講演梗概集 1981年9月、1982年10月