

低品質の砕石を使用したコンクリートの長期性状に関する研究

DB-16063 大友哲朗

1. はじめに

現在、わが国では資源環境の保全の観点から地域により良質な骨材の入手が困難となってきた^{1) 2) 3) 4)}。また、表 2 より海外の発展途上国などでも普通骨材が必ずしも容易に手に入る環境とは言えない状況である。このため、低品質骨材も利用できるようになれば今後の骨材の安定供給に役立てられると考えられる。しかしながら、低品質骨材をそのまま使用したコンクリートは性能的に良質な砕石を使用したコンクリートに比べて劣るとされている。このため、今回の実験では、低品質な砕石を良質な砕石に混合することにより使用できる割合を把握することとした。既に材齢 1 年までについては実験的検討が行われている^{5) 6)}のに対して、長期性状についてはまだ十分な検討が行われていない。したがって本実験では材齢 34 年のコンクリート供試体を用いて、砕石の品質や混合割合の検討を通して低品質骨材の利用可能な道筋を検討する。

2. 実験概要

2.1 実験計画

表 1 に砕石の品質を、表 3 に実験の要因と水準を示す。砕石 0 は、基準値を満足する砕石であるが、その他の砕石は JIS A 5005 の規格外である。表 4 に今回の実験の使用材料の組合せを示す。粗骨材での比較を行うため、使用材料のうちセメントは普通ポルトランドセメントを、細骨材は大井川産の陸砂に統一している。粗骨材の組合せは、計 11 種類である。本稿では、砕石 0 を基準、その他単味 5 種類を低品質、0 と単味を混合と称して、グループ分けをしている。

2.2 試験項目と試験方法

表 4 に試験項目と試験方法を示す。試験体の状態は、乾試験を乾、湿試験を湿と示す。建築研究所で昭和 60 年に作製されたコンクリート供試体（寸法 10×10×40cm、3 本 1 組）を用いて試験を行う。破壊試験と非破壊試験を乾試験、湿試験により行う。JIS の規格試験や建築学会規準のあるものは、それに準じて試験を行った。透気試験は供試体の表面含水率が 5%以下であることを確認したのち、トレント法によって側面を 2ヶ所測定した。

表 1 砕石の種類

砕石の種類	絶対密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性 (%)	すりへり 減量 (%)	実積率 (%)	破砕値 (%)
O	2.62	0.75	3.1	15.3	61.1	12.2
F	2.54	1.91	23.3	25.7	60.2	18.0
H	2.27	5.84	20.3	18.9	57.7	16.2
KM	2.34	5.38	50.1	52.6	62.0	27.8
KY	2.19	9.23	77.3	50.5	62.6	30.4
C	1.91	13.1	84.8	32.3	60.7	27.4

備考) F, H, KM, KY, C は JIS A 5005 の規格外に適合しないもの

表 2 国別の細骨材と粗骨材の品質

	地 域	調 査 年	絶対密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)	実積率 (%)	粒形判定 実積率 (%)	粗粒率
細 骨 材	香港	1996	2.58	0.93	11.60	70.3	—	3.30
		1997	2.61	0.56	9.00	67.9	—	3.23
	韓国	1996	2.51	1.94	2.80	64.9	—	2.67
		1997	2.57	1.22	2.00	63.9	—	2.65
	マレーシア	1996	2.60	0.87	2.80	67.0	—	2.90
		1997	2.61	0.61	2.30	66.6	—	2.93
	インドネシア	1996	2.46	4.10	3.20	65.1	—	3.01
		1997	2.37	5.68	3.40	67.6	—	3.08
粗 骨 材	香港	1996	2.60	0.56	0.86	59.3	58.8	6.64
		1997	2.60	0.58	0.66	59.9	57.6	6.91
	韓国	1996	2.66	0.60	0.32	57.8	56.8	6.79
		1997	2.69	0.71	0.78	58.0	56.1	6.94
	マレーシア	1996	2.60	0.64	0.82	59.0	58.1	6.74
		1997	2.60	0.74	0.56	58.8	56.9	6.84
	インドネシア	1996	2.45	3.60	0.92	58.7	—	7.98
		1997	2.42	4.22	0.95	60.0	—	7.07

備考) F, H, KM, KY, C は JIS A 5005 の規格に適合しないもの

表 3 要因と水準

要 因	水 準
砕石の種類	6 種類 (O, F, H, KM, KY, C)
基準 O への混合比率 (O:*)	3 水準 (1:1, 3:1, 4:1)

備考) コンクリートは砕石を混合使用し、11 種類とした。

表 4 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法	試験体 状態
長さ変化率	JIS A 1129-1 コンパレータ方法 (一部、ダイヤルゲージ方法)	乾
動弾性係数	JIS A 1127 たわみ振動・縦振動 (供試体寸法 10×10×40 c m)	乾・湿
超音波伝播速度	日本建築学会試験案 CTM-15 長さ (mm) / 超音波伝播時間 (μ s)	乾・湿
表面含水率	低周波水分計による質量比 (%) で 算定	乾
透気性	ダブルチャンバー法 (トレント法)	乾
反発度	JIS A 1155	乾・湿
吸水率	48 時間まで吸水後に質量比 (%) で 算定	乾→湿
曲げ強度	JIS A 1155	湿
中性化抵抗性 (中性化深さ)	JIS A 1152 (曲げ強度試験後、破断面切断後)	破断面 乾・湿
動弾性係数	JIS A 1127 縦振動 (供試体長さ 10~20 c m)	乾・湿
圧縮強度	JIS A 1108	乾・湿
静動弾性係数	JIS A 1149 (ひずみゲージ 60 mm)	乾

備考) 湿式試験 48 時間水中養生にて保管
乾式試験 湿式状態後、48 時間 20℃恒温恒湿

3. 実験結果と考察

3.1 超音波伝播速度

超音波伝播速度とコンクリートの強度や剛性とは相関性があるためここでは、長さ (mm) / 超音波伝播速度 (μs) により算出した。試験結果を図 1 に示す。乾試験の結果より、低品質の値は基準 0 と比べて小さくなった。そして、混合の値は基準 0 と低品質の間に収まった。湿試験の結果では、一部の結果、すなわち O+H と O+KM は基準 0 と H、KM の間に収まらなかったが、その他については乾試験と同様の結果となった。

3.2 長さ変化率

低品質の骨材は吸水率が大きく密度が小さいため、一般的には長さ変化率が大きくなる。ここでは低品質の碎石を混合化することによる、影響を見た。コンパレータ方法による長さ変化率試験結果を図 2、図 3 に示す。長さ変化率 (1 年まで) の試験結果より、基準 0 に対して、H を除き、低品質の方が大きい値を示した。混合したものは、基準と低品質の間に収まった。また、長さ変化率 (34 年まで) においても同様の結果が得られた。混合の図は、低品質の図より 1 年から 34 年にかけての傾きが小さくなっていることから、時間経過による長さ変化率の増加が小さくなっていることが分かる。これは、基準 0 を混合したことによる効果と考えられる。

3.3 質量変化率

低品質の骨材は長さ変化率と同様に吸水率が大きく密度が小さいため、一般的には長さ変化率試験における一定乾燥環境化で低品質である場合、初期の質量減少が大きくなり、長期的には保管されたでは環境下での温度湿度の影響で質量が変動しやすくなる可能性がある。

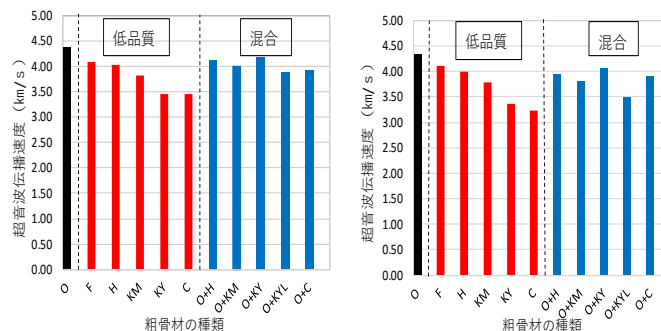
質量変化率 (34 年まで) の試験結果を図 4 に示す。これより、基準 0 の値に対して低品質が小さくなる傾向を示した。そして、混合の値は基準 0 と低品質の値の間に収まった。

材齢 34 年で質量が増加しているのは、中性化による質量増加が乾燥による質量減少を上回ったためと考えられ、これについては別途検討する予定である。

3.4 透気性

透気係数はモルタルの水セメント比と粗骨材の密度と粗骨材量などが影響を与えるため評価値にそれらの品質が反映されやすい。

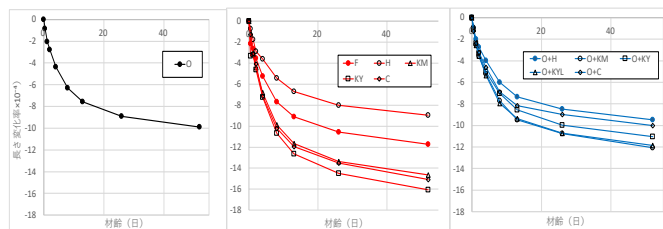
透気係数の測定結果を図 5 に示す。実験結果より、基準 0 の値に対して、F の値を除き、低品質は値が大きくなった。そして、混合の値は基準 0 と低品質の値の間に収まった。これらより、混合骨材を使用した場合の透気係数の値は、低品質に基準 0 を混合することで改善されているといえる。また、粗骨材の吸水率が小さいほど、透気係数の値も小さくなることも読み取れた。



a) 乾式

b) 湿式

図 1 超音波伝播速度

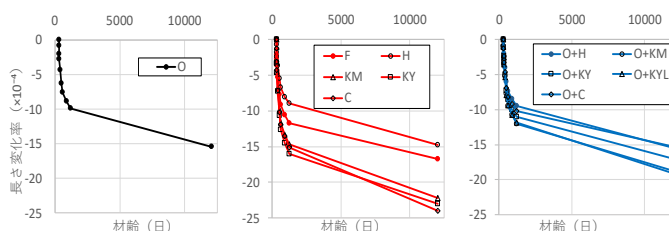


a) 基準

b) 低品質

c) 混合

図 2 コンパレータ方法を用いた長さ変化率 (短期: 1 年)

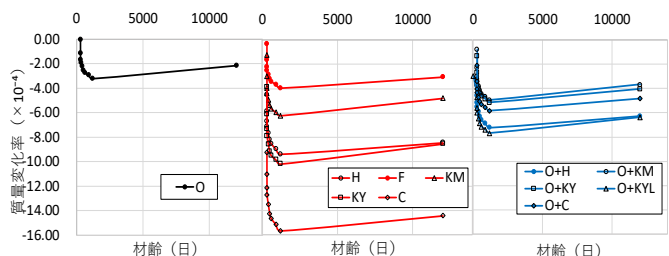


a) 基準

b) 低品質

c) 混合

図 3 コンパレータ方法を用いた長さ変化率 (長期: 34 年)



a) 基準

b) 低品質

c) 混合

図 4 質量変化率

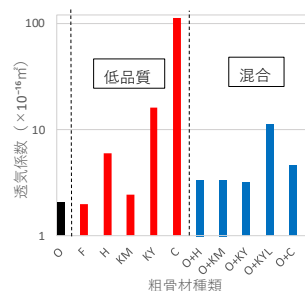


図 5 透気係数

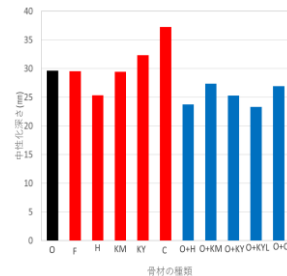


図 6 中性化深さ

3.5 中性化抵抗性（長期材齢 34 年）

中性化深さの測定結果を図 6 に示す。測定面は曲げ試験後の破断面で、1 供試体当たり 4 側面各 3 点を測定し、計 12 点の平均で、供試体 3 本の平均である。これより、低品質の値は、H を除き、基準 0 より大きくなった。また、混合の値は、0+KY、0+KYL を除き、0+H も含めて基準 0 と低品質の値の間に収まった。低品質 H は、粗骨材の吸水率が 5.84% と大きかったが、基準 0 より中性化が小さくなった理由は不明である。

JIS に規定されていない方法のため本稿には図示していないが、破断面を乾式で切断した場合の中性化深さは、破断面の場合と類似した傾向を示したが、破断面を湿式で切断した場合には、混合の中性化深さが全般的に基準 0 より小さくなる結果となった。

3.6 吸水試験

吸水試験の結果を図 7、図 8 に示す。吸水試験（60 分まで）の結果は、F を除き、基準 0 の値に対して大きくなった。そして、混合の値は基準 0 と低品質の間に、0+H、0+KM は収まらなかった。一方、吸水試験（48 時間まで）の結果では、混合の値は基準 0 と低品質の間に収まった。これらより、吸水性状の試験は、60 分までより 48 時間まで行った方が妥当であると考えられる。また、碎石の吸水率とコンクリートの吸水性状には比例関係があることが読み取れる。

3.7 動弾性係数と超音波伝播速度

動弾性係数と超音波伝播速度の関係を図 9 に示す。両者の間には、乾試験、湿試験のいずれの場合も比較的良好な相関が認められ、超音波伝播速度が大きくなると動弾性係数も大きくなり、基準 0 が最も大きくなることが確認された。逆に、動弾性係数と超音波伝播速度のいずれも最も小さくなったのは、低品質のなかでも最も品質の悪い低品質 C であった。また混合の値は、乾試験、湿試験いずれも場合も基準 0 と低品質の間に収まった。ただし、混合で低品質と基準 0 を結んだ直線上に位置したのは、乾試験では混合 0+KM、湿試験では 0+C のみで、他はやや直線から外れる結果となった。

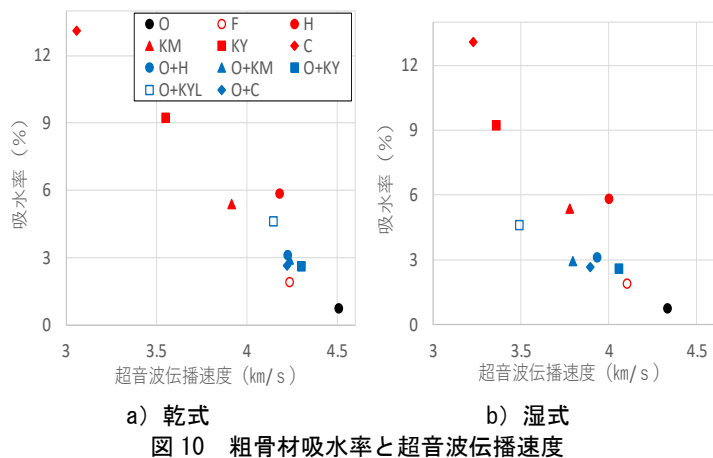
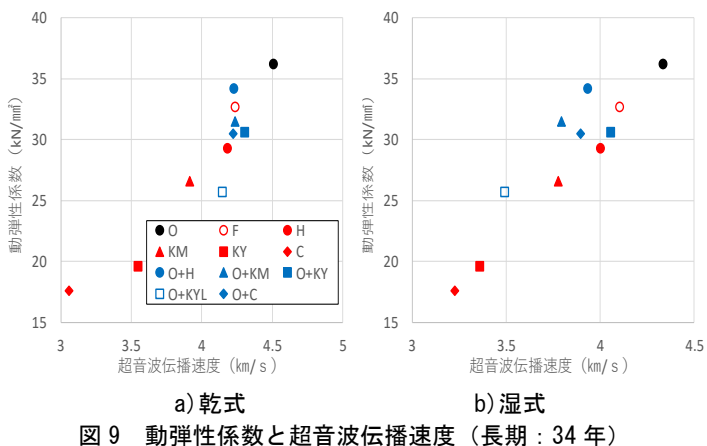
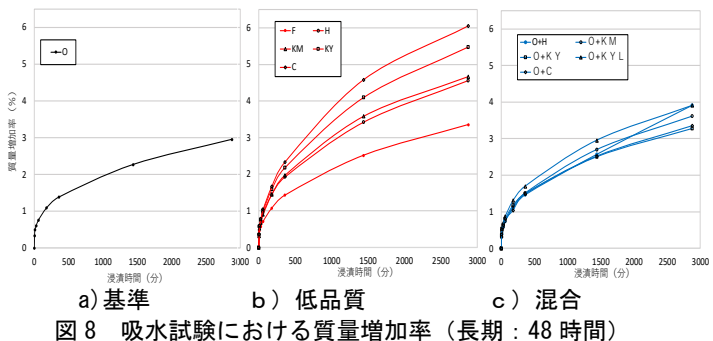
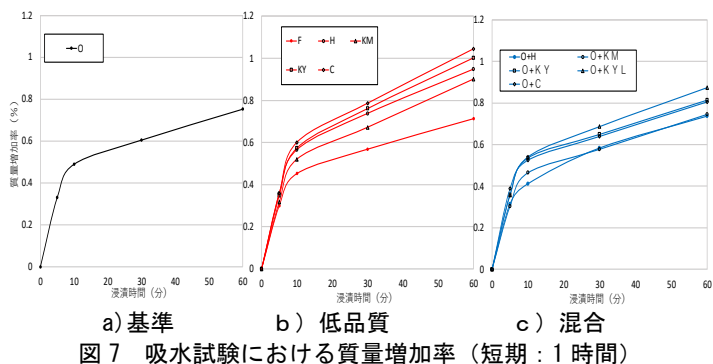
3.8 粗骨材の吸水率との関係

粗骨材の吸水率とコンクリートの諸性質の関係を図 10 から図 14 に示す。ややばらつきは認められるが、すべての図の結果に共通して、粗骨材の吸水率が小さいものはコンクリートの諸性質も良い値になっていることが読み取れる。

特に相関が良かったのは、粗骨材の吸水率と超音波伝播速度と動弾性係数との関係であった。

中性化深さとの相関はあまり良くなかったが、逆にいえば、中性化深さに関しては粗骨材の吸水率はあまり考慮する必要がないともいえる。

圧縮強度については、粗骨材の吸水率が一般に規格の上限値となっている 3% でも、かなり強度低下が認められた。これは、



低品質な砕石に含まれる脆弱な粒子の影響とも考えられ、今後のさらなる検討が必要である。

4. まとめ

今回の実験結果をまとめると、以下のようになると考えられる。

- 1) 基準となる砕石 0 とその他の低品質な砕石を混合した砕石を使用したコンクリートの諸性質は、ややばらつきは認められるが、それぞれを単味で使用情况の場合のおおよそ中間の値に収束する傾向にある。
- 2) 粗骨材の吸水率とコンクリートの超音波伝播速度および動弾性係数との間には、良い相関が認められた。一方、中性化深さとの相関はあまり良くなかったが、粗骨材の吸水率がコンクリートの中性化深さへ及ぼす影響は小さかった。圧縮強度については、粗骨材の吸水率 3 % でも強度低下が大きくなった。
- 3) 各実験において、異常値の出たものがあつたが、これらは低品質の砕石を使用したことや長期保存による標点部分の劣化が考えられる。
- 4) コンクリートの質量変化率の測定より、混合の値は基準 0 と低品質の値の間に収まった。また材齢 34 年で質量が増加しているのは、中性化による質量増加が乾燥による質量減少を上回ったためと考えられる。
- 5) 応力とヤング係数の関係より、低品質に比べて混合 0+KYL、0+KY 以外は建築学会式に近い値を示した。また、建築学会式に近かった混合 0+KM、0+KY、0+H は吸水率が比較的基準 0 に対して近い値を示していることからヤング係数と吸水率も密接な関係があることが読み取れる。
- 6) JIS に規定されていないが目視により変色していると思われる部分にペンで印をつけて計測を行ったが、フェノールフタレイン溶液を吹きかけたものと比べると近い値を示すものもあるが、基本的には測定の確実性はないことが読み取れる。
- 7) 低品質な砕石を使用したコンクリートの実用化に向けて使用方法を模索したが、使用可能な調合にするための方法は、現段階では不確かでさらなる検討を行う必要がある。

謝辞

本研究の一部は 2019 年度私学工学院大学ブランディング事業による支援を受けた。本研究は 34 年前のコンクリートの製造から始まり、長期的な研究参画者の多大な支援によります。深く感謝の意を表します。また実験の補助をしてくださった大山優氏、供試体の提供から実験終了まで手厚く支えてくださった阿部道彦工学院大学名誉教授に心より感謝申し上げます。

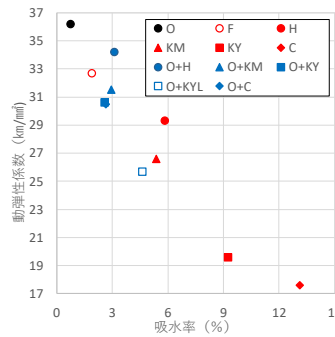


図 11 粗骨材吸水率と動弾性係数

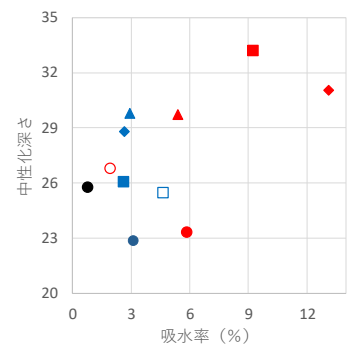


図 12 粗骨材吸水率と中性化深さ (mm)

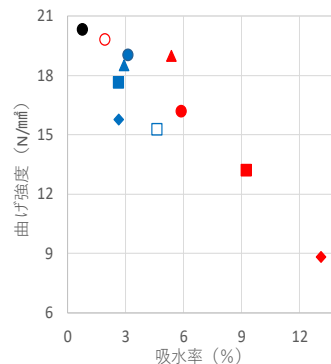


図 13 粗骨材吸水率と曲げ強度

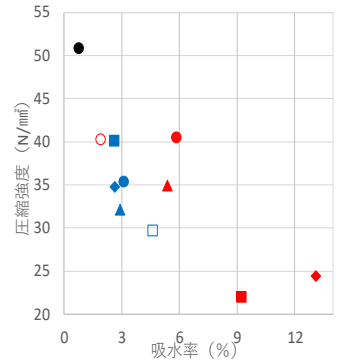


図 14 粗骨材吸水率と圧縮強度

参考文献

- 1) セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-28, 細骨材の品質調査報告, 1976. 12
- 2) セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-29, 粗骨材の品質調査報告, 1977. 12
- 3) 和泉意登志、嵩英雄：東北地方の低品質骨材を用いたコンクリートの諸性質, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1-2, 1980. 9
- 4) 玉木柱、和泉意登志、嵩英雄、小野寺常昭：東北地方の低品質骨材を用いたコンクリートの諸性質 その 3 細骨材および粗骨材の影響について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 13-14, 1981. 9
- 5) 友沢史紀、梶田佳寛、阿部道彦、安田正雪、田中斉、柳啓：混合骨材の品質基準に関する研究 (その 1) 研究計画及び骨材の品質特性, 日本建築学会大会学術講演概論集, pp. 57~58. 1998. 10
- 6) 友沢史紀、梶田佳寛、阿部道彦、安田正雪、田中斉、柳啓：混合骨材の品質基準に関する研究 (その 2) 混合骨材を用いたコンクリートの性質, 日本建築学会大会学術講演概論集, pp. 57~58. 1998. 10