

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2774号

土木研究所資料

規格外骨材の

利用性に関する実験的研究

平成元年3月

建設省土木研究所
地質化学部コンクリート研究室

「Copyright © (1989) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

規格外骨材の利用性に関する実験的研究

地質化学部コンクリート研究室 室長 小林 茂 敏
研究員 丹 野 弘
石 井 良 美
田 村 久

要 旨

経済性の確保，自然環境の保護などの問題から，コンクリートダムを建設する際に，コンクリート用骨材としての規格の境界線上にある骨材を，材料として検討する事例が見受られるようになってきている。本報告書は，これらの骨材のうち，特殊な鉱物を有する骨材について，骨材としての使用性等を検討する目的で行った，実験的研究結果について，とりまとめたものである。

キーワード：骨材、安定性、試験法、乾湿繰り返し作用、濁沸石、粘土鉱物

目 次

1. まえがき	1
2. 目 的	2
3. 使用材料	3
4. 骨材中の特殊鉱物の含有量測定方法に関する試験	5
4.1 試験方法	5
4.2 試験結果	6
5. コンクリートの耐久性に関する試験	8
5.1 試験方法	8
5.2 試験結果	10
6. ま と め	30
7. あとがき	31

付属資料－1 ダムコンクリート用骨材の選定方法について

－2 ダムとその使用材料

1. ま え が き

近年のコンクリートダム建設においては、環境保全・経済性の追求等の理由により、骨材原石山選定の際制限を受ける場合が多くなり、良質な骨材を入手することがしだいに困難となってきた。このような骨材事情の下でダムの建設を計画的に進めるためには、各種骨材の品質を合理的に判定し一部の規格を満足できない骨材に対して使用可能性を的確に評価する技術の確立を図ることが肝要であると考えらる。

本研究では、骨材に関する各種の試験項目のうち、物理的性質に属する、骨材の吸水性、硫酸ナトリウムによる安定性損失重量などの条件が、一部規格値を満足することができないかあるいは、規格値に近く別途検討をする必要があるような骨材を主な対象とした。

規格外骨材の品質を正しく評価・判別する手法を確立するとともに、この結果に基づいて各種の規格外骨材を用いたコンクリートの品質改善手法の評価を行い、骨材の有効利用に寄与することを目的とする。

2. 研究の目的

骨材として用いる原石山の岩石に、質的な劣化をさせる作用としては、岩石を構成する鉱物の各粒子間の結合状態を弱める物理的な風化作用や、地中からの熱水や地表からの浸透水と岩石の鉱物が化学的に反応する作用がある。このうち、質的な劣化作用として大きな割合を占めるのが、後者のような化学的作用により、別の鉱物が形成されたり、元の鉱物が分解する変質である。

変質の結果生じた主な有害鉱物としては、粘土鉱物（スメクタイト群に属するモンモリロナイトやサポナイト）、雲母族の加水雲母、イライト、絹雲母、一部緑泥石、沸石族（ローモンタイト、濁沸石）、方沸石）、硫化鉱物（硫化鉄）などを挙げることができる。

本研究では、骨材に関する物理的品質規格を満足することができないこれらの鉱物の中から、骨材として検討対象となる岩種の岩石の中に比較的産出する機会の多い、粘土鉱物（モンモリロナイト）および沸石族（ローモンタイト）が含有されている骨材を選定し、検討対象として用いた。

本研究で目的とした事項は次のとおりである。

- ① 一部において耐久性に問題があるとされているモンモリロナイトを含む岩石試料、ローモンタイトを含む岩石試料を骨材として用いて作製したコンクリートの耐久性に関する性状を把握する。
- ② 表層近くに位置し、若干の風化作用を受けたため吸水率などの性質がコンクリート用骨材に関する規格を満足できない骨材を用いたコンクリートの自然暴露条件下における性状の変化を把握する。
- ③ これらの有害鉱物を含有している骨材の使用性について判定する際、重要な判断基準となる有害鉱物の含有量を測定する方法として、現在広く用いられている粉末X線回折試験の適用性、精度、使用上の問題点を把握する。

3. 使用材料

「4. 骨材中の特殊鉱物の含有量測定方法に関する試験」「5. コンクリートの耐久性に関する試験」に、用いた材料をそれぞれ、3.1.含有量測定方法に関する試験材料 および 3.2.耐久性に関する試験材料 に示す。

3.1 含有量測定方法に関する試験材料

X線回折による含有量測定方法に関する試験に用いた試料は次のとおりである。

純粋なローモンタイトの結晶試料として、表-3.1に示す4試料を用いた。

表-3.1 純粋ローモンタイト試料

試料No	産 地	適 用	備 考
L 1	群馬県産	純粋試料及び検量線作成	同一産地の骨材A1をコンクリート用骨材として使用
L 2	北海道産	純粋試料としてのみ	
L 3	秋田県産	純粋試料としてのみ	
L 4	宮崎県産	純粋試料としてのみ	

測定したX線回折ピークの高さを基に検量線を作成し、この検量線から含有量の推定を行った試料は、表-3.2に示す4試料である。

表-3.2 定量試験に用いた試料

試料No	産 地	適 用	備 考
A 1	群馬県産	乾湿および暴露試験	同一産地の試料L1を検量線に使用
A 2	山梨県産	乾湿試験	
A 3	鹿児島県産	乾湿試験	
A 4	広島県産	X線回折のみ	花崗母岩、断層付近の割れ目析出物

A 4以外の試料の岩種は表-3.3に示す。

3.2 コンクリートの耐久性に関する試験

コンクリートの耐久性に関する試験に、用いた試料は次のとおりである。

表-3.3 耐久性に関する試験に用いた骨材試料

試料No	産 地	適 用	備 考
A 1	群馬県産	乾湿および暴露試験	同一産地の試料L 1を検量線に使用
A 2	山梨県産	乾湿試験	
A 3	鹿児島県産	乾湿試験	
B 1	青森県産	乾湿、暴露、他試験	B 2と同一産地ただしモンモリロナイト30 (%)
B 2	青森県産	乾湿、暴露、他試験	B 1と同一産地ただしモンモリロナイト15 (%)
C	宮城県産	乾湿、暴露、他試験	モンモリロナイト含有
d	富士川産	乾湿、暴露、他試験	比較用川砂
E	茨城県産	乾湿、暴露、他試験	比較用硬質砂岩碎石

4. 骨材中の特殊鉱物の含有量測定方法に関する試験

4.1 試験方法

骨材中のある鉱物の含有量を測定する各種定量方法のうち、ここでは粉末X線回折試験を用いて、特殊鉱物の含有量測定方法の検討を行った。

試験機は、当所保有の物理学電機製 2027 型粉末X線回折試験機を用いた。

試験条件は、表-4.1 に示す条件に固定した。

また試料の調整もできるかぎり個人差がでないように、一人の人間で行った。各試料は、ジョークラッシュおよびミルクラッシュを用いて細粒化した後、振動ミルを用いて2分間（またはそれ以上）細粉碎し、その後乳鉢を用いて一人の人間が同一の感触（ザラザラした感じがなくなるまで）になるまでさらに粉碎した。

試験時のバレットへの詰め込みも同一人が実施した。

表-4.1 試験条件

対陰極	Cu (モノクロメータ付)
管電圧	40 (KV)
管電流	20 (mA)
時定数 (T·C)	5 (sec)
走査速度 (S·S)	0.5 ($2\theta^\circ/\text{min}$)
記録速度 (C·S)	0.5 (cm/min)
発散スリット	1 ($^\circ$)
散乱スリット	1 ($^\circ$)
受光スリット	0.3 (mm)

含有量の測定は、次の二つの方法により行った。

第一の方法は、検量線を純度 100 %の純粹試料（ここではローモンタイト）およびその純粹試料の着目する回折ピークにピークを持たない似通った硬度の鉱物（石英その他）を各種の割合で混合した試料を用いて、同一回折条件下におけるピークの強度の絶対値から作成した検量線を用いて、定量するものである。

第二の方法は、一般に内部標準法といわれている方法。検量線作成および被測定物質の測定時に、内部標準物質と呼ばれる物質（シリコンなど）を必ず同じ割合だけ混入し、その内部標準物質の特定ピークと対象とする骨材のある鉱物のピークの強度の比から定量するものである。

4.2 試験結果

(1) 純粋試料に関する試験結果

純粋と考えられる4試料について、粉末X線回折試験によりそのローモンタイトのピークを測定した結果、表-4.2の結果が得られた。

表-4.2 純粋試料の粉末X線回折試験結果

試料名	ローモンタイト/シリコン ピーク比				平均	標準偏差値
	1	2	3			
L1	2.686	3.165	2.957		2.936	0.196
L2	2.901	2.519	2.514		2.645	0.181
L3	2.819	3.324	2.254		2.799	0.437
L4	2.946	1.764	2.884		2.531	0.543

A1骨材を用いて定量用に検量線を作成した結果を表-4.3に示す。

表-4.3 検量線作成用試料の粉末X線回折試験測定結果

試料中の ローモン 含有率	ローモンタイト/シリコン ピーク比				平均	標準偏差
	1	2	3			
1%	0.030	0.042	0.055		0.042	0.010
2%	0.082	0.064	0.065		0.070	0.008
5%	0.105	0.133	0.199		0.145	0.039
10%	0.181	0.151	0.194		0.175	0.018
20%	0.426	0.384	0.494		0.435	0.045
50%	1.122	1.319	1.016		1.152	0.126
100%	2.686	3.165	2.957		2.936	0.196

これより、含有率は次に示す回帰式で求めることとした。

$$Y = 35.7X$$

ここにY: 含有率 (%)

X: ローモンタイト/シリコン ピーク比

(2) 骨材試料に関する試験結果

コンクリート用骨材として、供試体を作成し、コンクリートの耐久性について検討した結果、表-4.4の結果が得られた。また、(1)で得られた検量線から求まるローモンタイト含有量測定結果を表-4.5に示す。

表-4.4 骨材試料中のローモンタイトに関する粉末X線回折試験測定結果

試料名	粒径 (μ)	0.15 以下	0.15 ~0.3	0.3 ~0.6	0.6 ~1.2	1.2 ~2.5	2.5 ~5	5 ~10	10 ~15	15 ~20	平均
A1				(9.0)	(7.0)	(5.0)	(4.0)	(7.0)	(5.0)	(8.0)	(6.4)
A2		10.4	8.4	5.3	3.7	4.2	4.3	6.5	5.1	7.5	6.2
A3		2.5	1.7	1.2	1.9	1.6	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9

注 () 内は、ローモンタイトピーク高さから直接求めた参考値

表-4.5 ローモンタイト含有量推定結果

試料No	L1	L2	L3	L4	A4-1	A4-2	A4-3
ピーク比 L/Si	2.96	2.51	2.88	2.25	0.113	0.183	1.014
L1ピーク比 (含有率)	100	85	97	76	4.0	6.5	36.2
標準偏差値	0.196	0.181	0.543	0.437	0.015	0.023	0.192

5. コンクリートの耐久性に関する試験

5.1 試験方法

(1) 骨材の物理試験

骨材の一般的な物理的性質を把握するため、各骨材について、次の表－5.1, 2に示す試験を実施した。

表－5.1 細骨材について実施した物理試験項目

試験項目	試験方法	骨 材 種 類						
		A 1	A 2	A 3	B 1	B 2	C	d
ふるい分け	JIS A 1102	○	○	○	○	○	○	○
洗い試験	JIS A 1103	○			○	○	○	○
比重・吸水	JIS A 1109	○	○	○	○	○	○	○
安定性試験	JIS A 1122	○			○	○	○	○

表－5.2 粗骨材について実施した物理試験項目

試験項目	試験方法	骨 材 種 類						
		A 1	A 2	A 3	B 1	B 2	C	E
ふるい分け	JIS A 1102	○	○	○	○	○	○	○
洗い試験	JIS A 1103	○			○	○	○	○
比重・吸水	JIS A 1110	○	○	○	○	○	○	○
すり減り	JIS A 1121				○	○	○	○
安定性試験	JIS A 1122	○			○	○	○	○

ただし安定性試験は、JISで定められた硫酸ナトリウム溶液の他に、A 1, B 1, B 2, C, d, E については、市販自動車用不凍液（等量の水で希釈）、尿素溶液（2倍の水で希釈）への浸析も実施した。

(2) 凝結硬化速度試験

A 1, B 1, B 2, d, Eの骨材を用いて、凝結硬化速度試験を実施した。

配合条件は表－5.3、骨材の組合せは表－5.4によった。

コンクリートの練り混ぜは、容量50ℓの強制練りミキサを用いて行った。材料の投入順序および練り混ぜは、細骨材、セメント、粗骨材投入後、30秒空練りを行い、水を加えた後90秒間練り混ぜとした。練り混ぜ直後に5mmふるいを用いて、ウェットスクリーニングを行い、JIS A 6204 コンクリート用

化学混和剤の付属書の規定に従い、容器にモルタルを入れ、同JISに定められた径の貫入針を用いて定められた時間（30分間隔）で計測した。

表- 5.3 配合条件

最大寸法 Gmax(mm)	W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	S/a (%)	AE剤 (%)
20	55	8 ± 2	4.5 ~ 5.0	単位水量最小 となる値	空気量により 決定

表- 5.4 骨材の組合せ

- 1 シリーズ1

配合No	粗骨材	細骨材	条 件
1-1	B1	B1	モンモリ約30%
1-2	B2	B2	モンモリ約15%
1-3	A1	A1	ローモン約15%
1-4	E	d	比較用骨材
1-5	B2	d	粗骨材モンモリ

混和剤は天然樹脂酸塩系AE剤を使用

- 2 シリーズ2

配合No	粗骨材	細骨材	混和剤	備 考
2-1	C	C	1	粗・細ともモンモリ含
2-2	E	C	1	細のみモンモリ含
2-3	C	C	2	AE減水剤2使用
2-4	E	d	2	比較AE減水剤
2-5	C	C	3	AE減水剤3使用

混和剤は 1. 天然樹脂酸塩系AE剤
2. リグニンスルホン酸系AE減水剤標準型
3. 同 上 遅延型

(3) 乾湿繰り返し試験

A1, A2, A3, B1, B2, d, Eの骨材を用いて、乾湿繰り返し試験を実施した。

配合条件は表- 5.3, 骨材の組合せは表- 5.4 に示すシリーズ1, 2について行った。

コンクリートの練り混ぜは、容量50ℓの強制練りミキサを用いて行った。材料の投入順序および練り混ぜは、細骨材、セメント、粗骨材投入後、30秒空練りを行い、水を加えた後90秒間練り混ぜとした。

5.2 試験結果

(1) 骨材の物理試験結果

コンクリートの耐久性に関する試験に用いた骨材の物理試験結果を、表-5.6～5.7に示す。

表-5.6-1 細骨材の物理試験結果（シリーズ1）

試料 No	比 重		吸水率 (%)	洗 い 損失量 (%)	安定性損失重量(%)			粒度分布（残留%）					粗粒率 FM
	表乾	絶乾			NaSO ₄	不凍液	尿 素	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
B1	2.69	2.60	3.52	—	24.2	25.1	56.0	20	47	61	77	93	2.98
B2	2.68	2.60	3.29	8.44	15.6	17.6	35.1	20	49	69	82	94	3.14
A1	2.35	2.17	8.51	14.79	21.8	10.4	12.6	17	35	62	79	90	2.84
d	2.62	2.58	1.82	3.14	5.4	2.7	7.2	11	37	70	92	98	3.08

— 2 細骨材の物理試験結果（シリーズ2）

骨 材	比 重		吸水率 (%)	洗 い 試験 (%)	安定性損失重量(%)			単位 体積 重量	実績率 (%)	粗粒率 FM
	表 乾	絶 乾			NaSO ₄	不凍液	尿 素			
C	2.59	2.46	5.08	5.65	12.5	12.2	62.9	1.55	59.9	2.86
d'	2.63	2.58						1.70	64.6	2.61

表-5.7-1 粗骨材の物理試験結果（シリーズ1）

試料 No	比 重		吸水率 (%)	洗 い 損失量 (%)	すりへり減量 (%)	安定性損失重量(%)			粒度分布（残留%）			粗粒率 FM
	表乾	絶乾				NaSO ₄	不凍液	尿 素	15	10	5	
B1	2.73	2.65	3.31	2.29	15.1	30.4	53.5	59.0	30	66	100	6.60
B2	2.73	2.65	2.81	0.76	14.3	11.9	31.7	28.7	27	62	100	6.62
A1	2.37	2.19	8.43	2.54	31.9	72.7	12.9	21.1	20	59	97	6.56
E	2.69	2.67	0.61	0.72	12.7	6.5	7.4	2.7	33	67	100	6.67

— 2 粗骨材の物理試験結果（シリーズ2）

骨 材	比 重		吸水率 (%)	洗 い 損失量 (%)	安定性損失重量(%)			単位体 積重量 (kg/ℓ)	実績率 (%)	すり減り減量 (%)	粗粒率 FM
	表 乾	絶 乾			NaSO ₄	不凍液	尿 素				
C	2.60	2.49	4.51	4.1	11.5	16.8	33.4	1.42	54.6	18.8	6.76
E'	2.97	2.65	0.60					1.54	57.7		6.70

それぞれの骨材の特徴を取りまとめると、次のようになる。

① A 1 骨材について

- ・比重が小さく、吸水率も細・粗骨材とも8%以上とかなり大きい。
- ・洗い試験による損失量も、細骨材15%、粗骨材でも2.5%程あり、大きい。
- ・粗骨材のロサンゼルス試験によるすり減り減量も30%を越え、比較的多い。
- ・粗骨材の硫酸ナトリウム溶液による安定性損失重量も、70%以上とずばぬけて大きい。細骨材は20%程度と、それ程大きくない。

② B 1, B 2 骨材について

- ・吸水率は3%前後とやや大きい。比重は表乾比重で2.7前後であり一般的といえる。B 1 と B 2 との比較では、モンモリロナイトの含有量の多いB 1 の吸水率のほうが大きい。
- ・安定性試験の結果、硫酸ナトリウム溶液の浸析でB 1 で30%、B 2 で15%程度の損失量がある。
- ・安定性試験と同一の方法で、硫酸ナトリウム溶液のかわりに市販不凍液および尿素溶液を用いて試験を行った結果、尿素溶液への浸析では、B 1 骨材が、細・粗骨材とも、55%以上の損失重量を示し大きかった。また、B 2 骨材も30%程度の損失重量があった。不凍液への浸析では、B 1, B 2 とともに粗骨材で細骨材の倍程度の損失重量を示した。特にB 1 粗骨材では損失重量が50%以上と大きかった。

③ C 骨材について

- ・比重は、絶乾比重で2.5%以下でやや小さく、吸水率も細・粗骨材とも、4.5～5.0%と大きい。
- ・硫酸ナトリウムによる安定性損失重量は12%程度あり、土木学会コンクリート標準示方書の規格値程度である。
- ・尿素を用いた安定性試験の結果、細骨材で60%と大きい。
- ・不凍液を用いた安定性試験の結果は、ほぼ硫酸ナトリウムと同じ程度の損失重量であった。

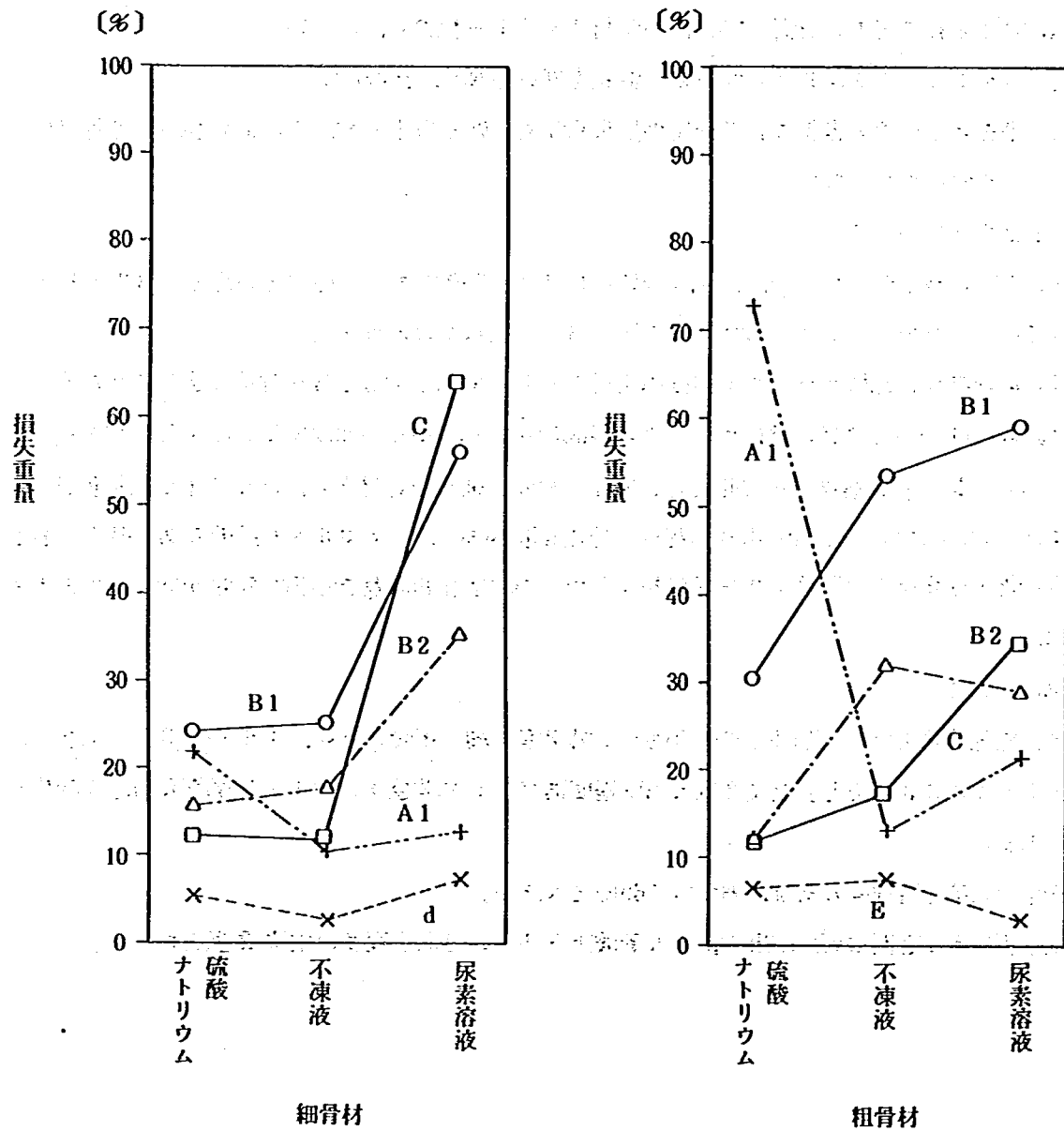


図-5.1 骨材の安定性試験結果

(2) 凝結硬化速度試験

試験練りの結果決定した示方配合を表-5.8に示す。

凝結硬化速度試験の結果を表-5.9および図-5.2, 3に示す。

表-5.8-1 コンクリートの示方配合および性状(シリーズ1)

配合 No	骨材種類		単 位 量 (kg/m ³)					スランブ (cm)	空気量 (%)	練り上がり 温 度 (℃)
	粗	細	W	C	S	G	AE剤			
1-1	B1	B1	215	391	772	885	0.043	5.9	4.6	20.4
1-2	2	B2	215	391	769	885	0.039	8.1	4.7	20.0
1-3	A1	A1	195	355	710	801	0.042	8.2	5.0	19.0
1-4	E	d	175	318	831	960	0.021	9.1	5.4	20.0
1-5	B2	d	175	318	831	975	0.022	7.1	5.1	19.0

- 2 コンクリートの示方配合および性状(シリーズ2)

配合 No	骨材 種類		S/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						スランブ (cm)	空気量 (%)	温 度 (℃)
	粗	細		W	C	S	G	混和剤	AE助剤			
2-1	C	C	47	187	340	803	909	0.035		8.8	4.8	20
2-2	E	C	47	191	347	796	925	0.027		8.4	5.0	20
2-3	C	C	48	181	329	833	906	0.25	5 cc	7.7	4.5	20
2-4	E	d	46	175	318	823	980	0.25	4 cc	7.1	4.6	20
2-5	C	C	48	181	329	833	906	0.25	2 cc	7.9	4.7	20

表-5.9 凝結硬化速度試験結果

シリーズ1

配合No	始発時間 (時:分)	終結時間 (時:分)
1-1	5:00	6:50
1-2	5:00	6:40
1-3	6:00	8:00
1-4	5:20	7:30
1-5	5:20	7:30

シリーズ2

配合No	始発時間 (時:分)	終結時間 (時:分)
2-1	4:40	7:10
2-2	4:50	7:20
2-3	5:20	7:30
2-4	6:50	8:30
2-5	5:50	8:10

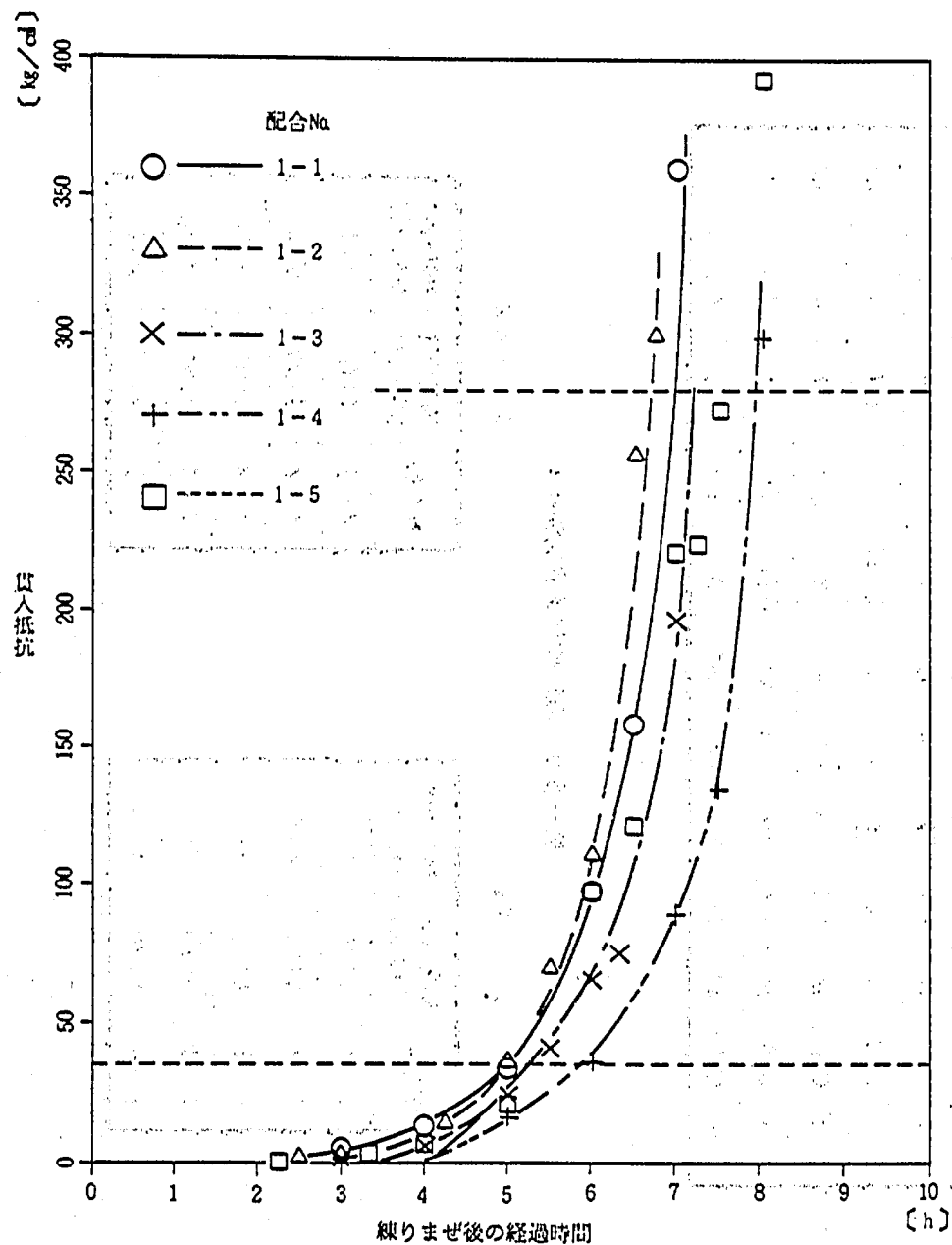


図-5.2 凝結硬化速度試験 (シリーズ1)

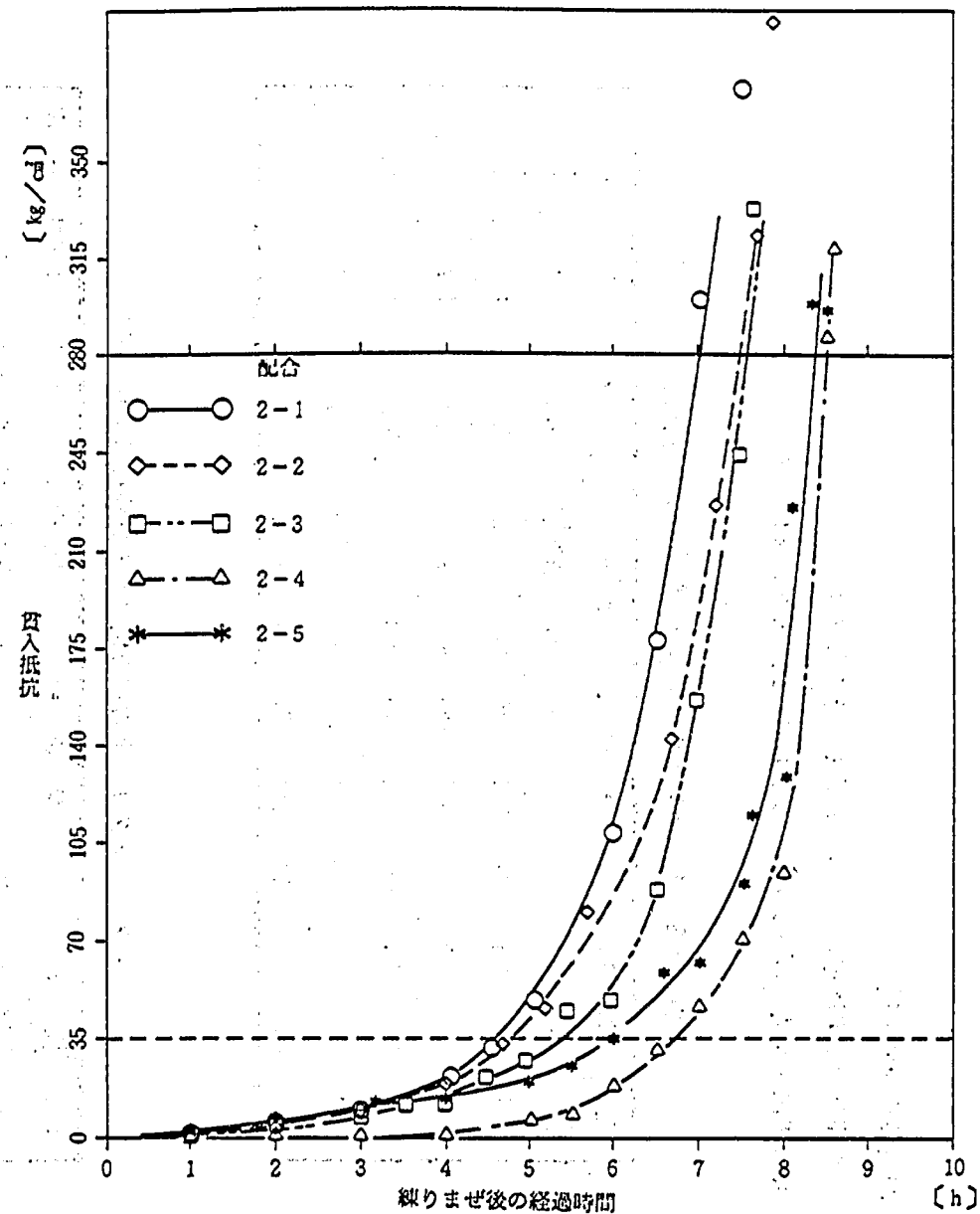


図-5.3 凝結硬化速度試験 (シリーズ2)

これらの試験結果より

- ① シリーズ1の中では、細骨材にB1、またはB2骨材を用いた配合で始発、終結時間ともやや早い傾向を示した。
- ② シリーズ2の中では、2-4配合以外の細骨材にC骨材を用いたもので、始発、終結時間ともやや早い傾向を示した。
- ③ ①、②よりモンモリロナイトを含む骨材では、プロクター貫入試験機により測定した凝結硬化速度が若干早まる可能性があることが予想される。
- ④ ローモンタイトを含むA1骨材を用いた1-3配合は始発、終結時間とも、やや遅くなっている。

(3) 乾湿繰り返し試験

シリーズ1のコンクリートに関する乾湿繰り返しによる供試体の長さ変化測定結果を表-5.10に、重量変化測定結果を表-5.11に、動弾性係数比測定結果を表-5.12に示す。

シリーズ2のコンクリートに関する乾湿繰り返しによる供試体の長さ変化測定結果を表-5.13に、重量変化測定結果を表-5.14に、動弾性係数比測定結果を表-5.15に示す。

これらの試験結果をまとめると次のようになる。

- ① A1骨材を用いた配合1-3のコンクリートは乾湿繰り返し5サイクル程度からコンクリートの膨張が始まり、動弾性係数もやや下降傾向を示す。10サイクルを過ぎるあたりでは、膨張量が1000(μ) (0.1(%))を越え、動弾性係数の低下および重量(湿潤重量)の増加傾向が顕著となるとともに供試体表面のひびわれも目立ち始める。その後、20サイクル程度で動弾性係数が半分以下となり、表面のひびわれもひどく、膨張量の伸びもいよいよ大きなものとなる。30サイクルを越えると供試体の共鳴振動数が測定不可能になる程、内部のひびわれが成長する。
- ② B1、B2およびC骨材を用いた各配合のコンクリートでは、最初の乾湿繰り返しでやや乾燥し、動弾性係数が試験前と比べて低下した以降、どの配合においても、長さや重量の顕著な変化、動弾性係数の低下は見られない。比較用として作製した、硬質砂岩碎石と川砂の骨材組合せによる配合、1-4および2-4と、あまり変わらない傾向を示す。
- ③ 粗骨材のみモンモリロナイトを含むB1骨材を用いた配合1-5、および細骨材のみモンモリロナイトを含むC骨材を用いた配合2-2は、他のモンモリロナイトを含む骨材を細・粗骨材ともに使用した配合のコンクリートと比べて、硬化後の性状に差異は見られない。
- ④ 試験開始材令の違いについて、劣化傾向を示した配合1-3で、その劣化の早さを比較した結果からは、材令14日で先に開始したものが、材令31日(材令28日付近を目標とした)に比べて、やや劣化傾向が早く生じているように思えた。
- ⑤ 4日1サイクルの試験と1日1サイクルの試験の違いについては、特に大きな劣化性状を示したコンクリートがなく比較できなかった。ただし、1日1サイクルでは供試体内部まで十分乾燥できないことが予想されることから、やや劣化条件として緩やかではないかと考えられる。

表-5.10.1 乾湿繰り返し試験 長さ変化 (シリーズ1)
(試験開始材令14日)

配合No	供試体No	(μ)	測 定 サ イ ク ル 数												
			1	2	3	4	5	7	10	15	22	24	38	50	54
1-1	1	0	-169	-225	-254	-197	-197	-113	-28	0	0	-56	-113	28	28
	2	0	-141	-197	-225	-197	-225	-113	-28	-28	-28	-85	-140	0	-28
	平 均	0	-155	-211	-240	-197	-211	-113	-28	-14	-14	-71	-127	14	0
1-2	1	0	-254	-254	-310	-225	-197	-169	-56	56	-56	-85	-85	28	0
	2	0	-282	-225	-197	-254	-225	-140	-56	85	-85	-56	-28	0	0
	平 均	0	-268	-240	-254	-240	-211	-155	-56	71	-71	-71	-57	14	0
1-3	1	0	-169	-169	-28	28	394	648	1324	2169	3437	4113	8789	14563	16732
	2	0	-225	-169	-113	-85	225	451	1014	1746	2901	3493	7577	12761	14789
	平 均	0	-197	-169	-71	-29	310	550	1169	1958	3169	3803	8183	13662	15761
1-4	1	0	28	0	-28	28	0	85	169	254	225	197	169	254	282
	2	0	-28	-85	-113	-56	-56	0	85	113	56	85	28	169	141
	平 均	0	0	-43	-71	-14	-28	43	127	184	141	141	99	212	212
1-5	1	0	-169	-141	-197	-141	-169	-113	0	112	56	-85	-56	28	28
	2	0	-197	-141	-169	-169	-169	-113	-28	140	-56	-28	-56	28	28
	平 均	0	-183	-141	-183	-155	-169	-113	-14	126	0	-57	-56	28	28

表-5.10.2 乾湿繰り返し試験 長さ変化 (シリーズ1)
(試験開始材令31日)

配合No	供試体No	(μ)	測 定 サ イ ク ル 数									
			2	3	5	7	10	15	20	34	46	50
1-1	1		-310	-338	-310	-310	-254	-254	-197	-254	-169	-85
	2		-282	-225	-197	-225	-169	-169	-85	-141	-85	0
	平 均		-296	-282	-254	-268	-212	-212	-141	-198	-127	-43
1-3	1		0	169	535	620	873	1606	2704	6592	11549	13324
	2		-112	56	394	507	845	1493	2620	6254	11268	13211
	平 均		-56	113	465	564	859	1550	2662	6423	11409	13268
1-4	1		-113	-85	-56	-28	28	0	56	56	85	169
	2		-141	-85	-56	-85	0	-56	-28	-56	28	28
	平 均		-127	-85	-56	-57	14	-28	14	0	57	99
1-5	1		-254	-197	-141	-169	-28	-56	-28	-56	28	56
	2		-282	-254	-197	-197	-85	-113	-85	-113	-28	56
	平 均		-268	-226	-169	-183	-57	-85	-57	-85	0	56

表-5.11.1 乾湿繰り返し試験 重量変化 (シリーズ1)
(試験開始材令14日)

配合No	供試体No	(%)	測 定 サ イ ク ル 数												
			1	2	3	4	5	7	10	15	22	24	38	50	54
1-1	1	0	-0.58	-0.63	-0.61	-0.55	-0.55	-0.51	-0.52	-0.56	-1.56	-1.20	-1.92	-1.79	-1.89
	-0.58	-0.64	-0.58	-0.64	-0.60	-0.54	-0.55	-0.50	-0.75	-0.81	-2.17	-0.69	-2.00	-1.96	-1.75
	平 均	0	-0.58	-0.64	-0.61	-0.55	-0.55	-0.51	-0.64	-0.69	-1.87	-0.95	-1.96	-1.88	-1.82
1-2	1	0	-0.65	-0.63	-0.58	-0.50	-0.54	-0.47	-0.51	-0.58	-1.76	-1.20	-1.69	-1.58	-1.71
	2	0	-0.59	-0.61	-0.59	-0.49	-0.52	-0.47	-0.64	-0.69	-1.77	-1.16	-1.72	-1.59	-1.82
	平 均	0	-0.62	-0.62	-0.59	-0.50	-0.53	-0.47	-0.58	-0.64	-1.77	-1.18	-1.71	-1.59	-1.77
1-3	1	0	-1.02	-0.99	-0.97	-0.82	-0.63	-0.55	-0.42	-0.37	-0.13	-0.12	0.58	1.10	1.25
	2	0	-1.03	-1.04	-1.03	-0.88	-0.71	-0.62	-0.46	-0.42	-0.20	-0.21	0.42	0.90	1.09
	平 均	0	-1.03	-1.02	-1.00	-0.85	-0.67	-0.59	-0.44	-0.40	-0.17	-0.17	0.50	1.00	1.17
1-4	1	0	-0.47	-0.56	-0.58	-0.49	-0.50	-0.50	-0.63	-0.73	-0.58	-0.66	-0.54	-0.60	-0.52
	2	0	-0.45	-0.54	-0.53	-0.50	-0.49	-0.48	-0.61	-0.86	-0.58	-0.65	-0.50	-0.75	-0.61
	平 均	0	-0.46	-0.55	-0.56	-0.50	-0.50	-0.49	-0.62	-0.80	-0.58	-0.66	-0.52	-0.68	-0.57
1-5	1	0	-0.51	-0.50	-0.50	-0.46	-0.41	-0.43	-0.45	-0.47	-1.25	-1.11	-1.26	-1.45	-1.37
	2	0	-0.20	-0.17	-0.15	-0.13	-0.09	-0.11	-0.25	-0.34	-1.16	-0.92	-1.03	-1.17	-1.20
	平 均	0	-0.36	-0.34	-0.33	-0.30	-0.25	-0.27	-0.35	-0.41	-1.21	-1.02	-1.15	-1.31	-1.29

表-5.11.2 乾湿繰り返し試験 重量変化 (シリーズ1)
(試験開始材令31日)

配合No	供試体No	(%)	測 定 サ イ ク ル 数									
			2	3	5	7	10	15	20	34	46	50
1-1	1		-0.71	-0.68	-0.66	-0.62	-0.58	-0.63	-0.72	-1.84	-1.86	-1.61
	2		-0.75	-0.74	-0.74	-0.71	-0.67	-0.66	-0.69	-2.02	-2.21	-1.64
	平 均		-0.73	-0.71	-0.70	-0.67	-0.63	-0.65	-0.71	-1.93	-2.04	-1.63
1-3	1		-1.07	-0.98	-0.86	-0.77	-0.68	-0.57	-0.47	0.05	0.64	0.78
	2		-1.07	-0.99	-0.86	-0.80	-0.74	-0.62	-0.51	-0.02	0.56	0.74
	平 均		-1.07	-0.99	-0.86	-0.79	-0.71	-0.60	-0.49	0.02	0.60	0.76
1-4	1		-0.58	-0.54	-0.53	-0.53	-0.53	-0.57	-0.63	-0.67	-1.07	-1.02
	2		-0.55	-0.54	-0.53	-0.51	-0.50	-0.58	-0.66	-0.62	-0.76	-0.73
	平 均		-0.57	-0.54	-0.53	-0.52	-0.52	-0.58	-0.65	-0.65	-0.92	-0.88
1-5	1		-0.48	-0.48	-0.48	-0.48	-0.47	-0.60	-0.78	-1.14	-1.15	-1.33
	2		-0.50	-0.47	-0.46	-0.47	-0.47	-0.60	-0.70	-1.20	-1.09	-1.27
	平 均		-0.49	-0.48	-0.47	-0.48	-0.47	-0.60	-0.74	-1.17	-1.12	-1.30

表-5.12.1 乾湿繰り返し試験 動弾性係数比 (シリーズ1)
(試験開始材令14日)

配合No	供試体No	(%)	測 定 サ イ ク ル 数												
			1	2	3	4	5	7	10	15	22	24	38	50	54
1-1	1	100	86	82	83	82	85	86	90	92	93	94	96	98	99
	2	100	86	82	82	82	86	89	92	94	95	94	97	99	100
	平 均	100	86	82	83	82	86	88	91	93	94	94	97	99	100
1-2	1	100	83	81	81	80	83	85	89	89	91	92	96	98	99
	2	100	83	81	81	80	83	85	87	88	91	91	94	97	97
	平 均	100	83	81	81	80	83	85	88	89	91	92	95	98	98
1-3	1	100	82	84	88	87	84	83	77	65	46	38	12	0	0
	2	100	83	86	89	88	86	84	81	71	48	39	12	0	0
	平 均	100	83	85	89	88	85	84	79	68	47	39	12	0	0
1-4	1	100	89	86	88	87	89	91	94	97	98	99	101	103	103
	2	100	90	86	88	87	89	90	94	97	99	100	102	104	104
	平 均	100	90	86	88	87	89	91	94	97	99	100	102	104	104
1-5	1	100	84	87	87	87	87	89	92	95	97	97	97	100	101
	2	100	83	86	85	86	87	88	92	94	96	96	98	100	100
	平 均	100	84	87	86	87	87	89	92	95	97	97	98	100	101

表-5.12.2 乾湿繰り返し試験 動弾性係数比 (シリーズ1)
(試験開始材令31日)

配合No	供試体No	(%)	測 定 サ イ ク ル 数									
			2	3	5	7	10	15	20	34	46	50
1 - 1	1	100	76	75	73	75	80	80	83	87	88	89
	2	100	77	75	77	77	81	84	83	88	90	90
	平 均	100	77	75	75	76	81	82	83	88	89	90
1 - 3	1	100	79	79	74	73	70	60	44	17	0	0
	2	100	79	79	74	73	69	60	45	21	0	0
	平 均	100	79	79	74	73	70	60	45	19	0	0
1 - 4	1	100	78	78	80	81	83	85	86	90	92	92
	2	100	80	80	81	83	85	86	88	90	93	93
	平 均	100	79	79	81	82	84	86	87	90	93	93
1 - 5	1	100	78	77	76	78	81	83	86	89	92	92
	2	100	77	77	75	77	81	83	84	88	91	91
	平 均	100	78	77	76	78	81	83	85	89	92	92

表- 5.13.1 乾湿繰り返し試験 長さ変化 (シリーズ2)
(4日1サイクル試験)

配合No	供試体No	(μ)	測 定 サ イ ク ル 数								
			1	2	3	5	7	10	15	20	25
2-1	1	0	-197	-180	-189	-110	-155	-138	-124	-34	-161
	2	0	-192	-169	-197	-175	-107	-180	-169	-99	-166
	3	0	-161	-183	-183	93	-155	-149	-155	-42	-161
	平 均	0	-183	-177	-190	-64	-139	-156	-149	-58	-163
2-2	1	0	-155	-158	-175	-82	-152	-113	-183	-141	-163
	2	0	-163	-163	-169	-135	-144	-135	167	-56	-242
	3	0	-121	-155	-155	-121	-113	-113	-85	20	-45
	平 均	0	-146	-159	-166	-113	-136	-120	-33	-59	-150
2-3	1	0	-211	-310	-310	-315	-268	-200	-287	-197	-293
	2	0	-189	-237	-231	-239	-169	-107	-138	-104	-180
	3	0	-239	-282	-268	-301	-242	-211	-211	-127	-203
	平 均	0	-213	-276	-270	-285	-226	-173	-212	-143	-225
2-4	1	0	-132	-107	-130	-101	-110	-48	-85	-28	-93
	2	0	-149	-161	-107	-121	-113	-45	-101		-130
	3	0									
	平 均	0	-94	-89	-79	-74	-74	-31	-62	-9	-74
2-5	1	0	-183	-217	-239	-211	-113	-161	-197	-70	-223
	2	0	-197	-211	-225	-146	-189	-161	-197	-70	-217
	3	0	-220	-245	-254	-155	-192	-135	-211	-99	-223
	平 均	0	-200	-224	-239	-171	-165	-152	-202	-80	-221

表- 5.13.2 乾湿繰り返し試験 長さ変化 (シリーズ2)
(1日1サイクル試験)

配合No	供試体No	(μ)	測 定 サ イ ク ル 数								
			1	2	5	7	10	15	20	30	
2-1	1	0	-103	-47	-83	-81	-64	0	64	19	
	2	0	-106	-47	-97	0	0	36	0	22	
	3	0	-53	-28	-83	17	-56	0	28	25	
	平 均	0	-87	-41	-88	-21	-40	12	31	22	
2-2	1	0	-72	-83	-122	-97	-83	28	22	17	
	2	0	-56	-11	-111	-83	-83	31	-11	11	
	3	0	6	61	-19	-19	-19	58	56	81	
	平 均	0	-41	-11	-84	-66	-62	39	22	36	
2-3	1	0	-269	-212	-197	-236	-181	-147	-156	-75	
	2	0	-167	-114	-89	-139	22	-58	25	-11	
	3	0	-153	-97	-97	-153	-119	-131	-17	-31	
	平 均	0	-196	-141	-128	-176	-93	-112	-49	-39	
2-4	1	0	-78	-58	6	-44	11	50	64	72	
	2	0	-83	-58	-28	78	-11	-11	47	58	
	3	0	-75	-69	47	-19	42	42	103	53	
	平 均	0	-79	-62	8	5	14	27	71	61	
2-5	1	0	-69	14	14	-2	-158	-181	-175	-167	
	2	0	-83	14	-14	-61	0	-22	17	8	
	3	0	-14	-3	-3	-81	-11	-22	6	8	
	平 均	0	-55	-1	-1	-48	-56	-75	-51	-50	

表-5.14.1 乾湿繰り返し試験 重量変化 (シリーズ2)
(4日1サイクル試験)

配合No	供試体No	(%)	測 定 サ イ ク ル 数								
			1	2	3	5	7	10	15	20	25
2-1	1	0	-0.52	-0.50	-0.47	-0.89	-1.09	-2.04	-2.39	-2.26	-1.96
	2	0	-0.50	-0.46	-0.45	-0.49	-1.21	-2.32	-2.63	-2.69	-2.24
	3	0	-0.46	-0.46	-0.41	-0.48	-0.96	-1.84	-2.28	-1.62	-2.04
	平 均	0	-0.49	-0.47	-0.44	-0.62	-1.09	-2.07	-2.43	-2.19	-2.08
2-2	1	0	-0.57	-0.54	-0.48	-0.50	-1.66	-2.21	-2.40	-1.98	-1.55
	2	0	-0.54	-0.51	-0.47	-0.45	-1.09	-2.16	-2.38	-1.87	-1.87
	3	0	-0.51	-0.50	-0.46	-0.45	-0.95	-1.59	-2.01	-1.51	-1.50
	平 均	0	-0.54	-0.52	-0.47	-0.47	-1.23	-1.99	-2.26	-1.79	-1.64
2-3	1	0	-0.54	-0.58	-0.64	-1.01	-0.74	-1.14	-2.64	-0.96	-1.96
	2	0	-0.49	-0.55	-0.56	-0.94	-0.55	-0.84	-1.94	-1.13	-1.87
	3	0	-0.51	-0.51	-0.54	-0.84	-0.68	-0.90	-2.21	-1.93	-2.08
	平 均	0	-0.51	-0.55	-0.58	-0.93	-0.66	-0.96	-2.26	-1.34	-1.97
2-4	1	0	-0.47	-0.53	-0.49	-0.66	-0.88	-1.30	-2.10	-1.97	-1.62
	2	0	-0.46	-0.53	-0.51	-0.69	-0.81	-1.19	-1.73	-1.87	-1.86
	3	0	-0.49	-0.56	-0.62	-0.75	-0.84	-1.09	-1.35	-1.41	-1.39
	平 均	0	-0.47	-0.54	-0.54	-0.70	-0.84	-1.19	-1.73	-1.75	-1.62
2-5	1	0	-1.37	-1.53	-1.61	-1.78	-1.65	-2.41	-3.51	-2.67	-2.96
	2	0	-0.61	-0.74	-0.67	-0.86	-0.88	-1.62	-2.58	-1.63	-1.87
	3	0	-0.60	-0.79	-0.72	-0.75	-0.83	-1.59	-2.72	-1.78	-2.04
	平 均	0	-0.86	-1.02	-1.00	-1.13	-1.12	-1.87	-2.94	-2.03	-2.29

表-5.14.2 乾湿繰り返し試験 重量変化 (シリーズ2)
(1日1サイクル試験)

配合No	供試体No	(%)	測 定 サ イ ク ル 数								
			1	2	5	7	10	15	20	30	
2-1	1	0	-0.51	-0.49	-0.42	-0.37	-0.22	-0.18	-0.50	-0.63	
	2	0	-0.49	-0.49	-0.40	-0.34	-0.21	-0.20	-0.27	-0.34	
	3	0	-0.55	-0.56	-0.45	-0.40	-0.33	-0.35	-0.27	-0.10	
	平 均	0	-0.52	-0.51	-0.42	-0.37	-0.25	-0.24	-0.35	-0.36	
2-2	1	0	-0.55	-0.54	-0.48	-0.44	-0.33	-0.45	-0.57	-0.27	
	2	0	-0.55	-0.56	-0.49	-0.46	-0.38	-0.49	-0.55	-0.19	
	3	0	-0.54	-0.54	-0.46	-0.43	-0.35	-0.21	-0.27	-0.31	
	平 均	0	-0.55	-0.55	-0.48	-0.44	-0.35	-0.38	-0.46	-0.26	
2-3	1	0	-0.50	-0.57	-0.49	-0.38	-0.23	-0.22	-0.31	-0.22	
	3	0	-0.41	-0.50	-0.45	-0.38	-0.21	-0.63	-0.72	-0.01	
	3	0	-0.48	-0.53	-0.46	-0.33	-0.12	-0.07	-0.73	0.02	
	平 均	0	-0.46	-0.53	-0.47	-0.36	-0.19	-0.31	-0.59	-0.07	
2-4	1	0	-0.56	-0.60	-0.57	-0.60	-0.59	-0.49	-0.46	-0.41	
	2	0	-0.55	-0.61	-0.59	-0.63	-0.63	-0.63	-0.61	-0.61	
	3	0	-0.53	-0.61	-0.59	-0.61	-0.57	-0.79	-0.70	-0.63	
	平 均	0	-0.55	-0.61	-0.58	-0.61	-0.60	-0.64	-0.59	-0.55	
2-5	1	0	-0.58	-0.70	-0.69	-0.65	-0.56	-0.78	-1.10	-0.84	
	2	0	-0.54	-0.66	-0.65	-0.56	-0.59	-0.87	-1.05	-0.58	
	3	0	-0.56	-0.66	-0.65	-0.58	-0.12	-0.66	-1.08	-0.86	
	平 均	0	-0.56	-0.67	-0.66	-0.60	-0.42	-0.77	-1.08	-0.76	

表- 5.15.1 乾湿繰り返し試験 動弾性係数比 (シリーズ2)
(4日1サイクル試験)

配合No	供試体No	(%)	測 定 サ イ ク ル 数								
			1	2	3	5	7	10	15	20	25
2-1	1	100	78	71	74	75	75	75	76	76	75
	2	100	78	74	77	77	77	77	75	74	71
	3	100	79	74	77	78	79	79	79	82	81
	平 均	100	78	73	76	77	77	77	77	78	76
2-2	1	100	77	79	78	81	79	80	79	81	79
	2	100	79	79	79	83	80	82	83	84	83
	3	100	80	80	81	85	84	86	90	92	92
	平 均	100	79	79	79	83	81	82	84	86	85
2-3	1	100	75	69	66	65	67	68	68	75	67
	2	100	73	68	65	65	68	71	69	72	67
	3	100	67	68	62	62	66	72	66	70	69
	平 均	100	72	68	64	64	67	70	68	73	68
2-4	1	100	83	82	82	85	86	91	91	91	91
	2	100	83	83	82	85	86	89	91	91	92
	3	100	83	74	81	84	86	89	91	94	93
	平 均	100	83	80	82	85	86	90	91	92	92
2-5	1	100	79	75	73	75	76	77	74	76	70
	2	100	82	77	77	79	80	81	79	81	77
	3	100	83	79	78	82	86	84	81	84	79
	平 均	100	81	77	76	78	81	81	78	80	75

表- 5.15.2 乾湿繰り返し試験 動弾性係数比 (シリーズ2)
(1日1サイクル試験)

配合No	供試体No	(%)	測 定 サ イ ク ル 数								
			1	2	5	7	10	15	20	30	
2-1	1	100	89	90	92	93	96	98	96	96	
	2	100	89	91	93	95	95	97	97	97	
	3	100	89	90	93	95	95	96	97	99	
	平 均	100	89	90	93	94	96	97	97	97	
2-2	1	100	89	91	93	94	96	97	97	99	
	2	100	89	91	94	95	97	98	98	99	
	3	100	89	91	94	95	97	99	99	100	
	平 均	100	89	91	93	95	97	98	98	99	
2-3	1	100	91	91	93	94	96	97	98	97	
	2	100	92	90	90	92	95	96	96	96	
	3	100	92	90	90	93	96	97	97	97	
	平 均	100	92	90	91	93	96	97	97	97	
2-4	1	100	91	92	95	95	96	98	99	99	
	2	100	91	92	94	94	95	96	97	98	
	3	100	92	92	94	95	96	97	98	98	
	平 均	100	91	92	94	95	96	97	98	98	
2-5	1	100	90	90	91	92	94	94	95	96	
	2	100	90	90	91	94	94	95	94	96	
	3	100	90	90	92	94	95	98	96	97	
	平 均	100	90	90	91	93	95	96	95	96	

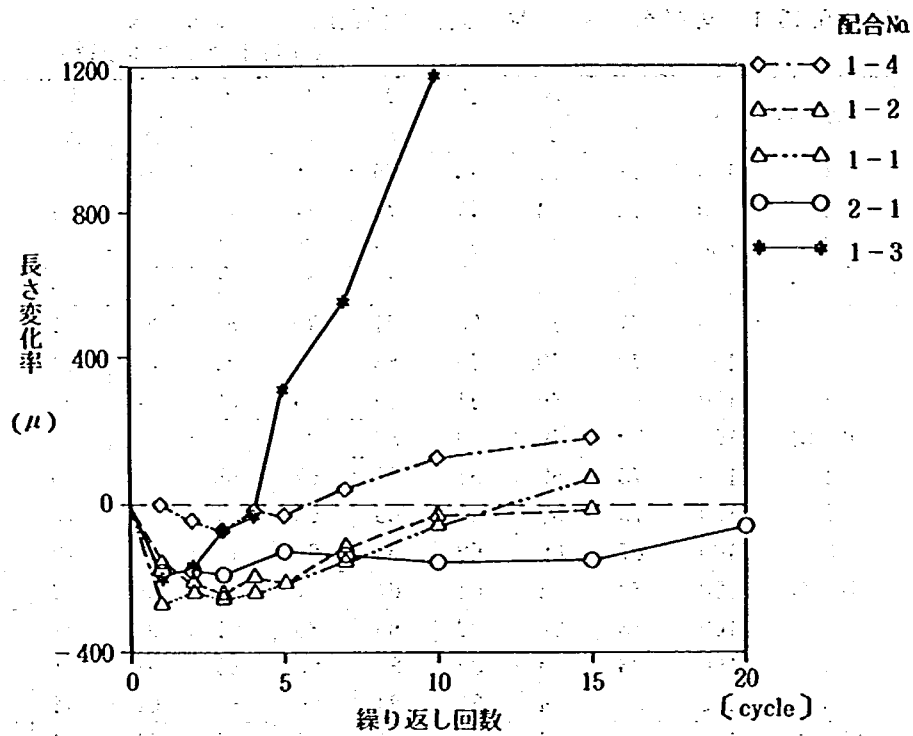


図-5.4 乾湿繰返しによる供試体長さ変化 (抜粋)

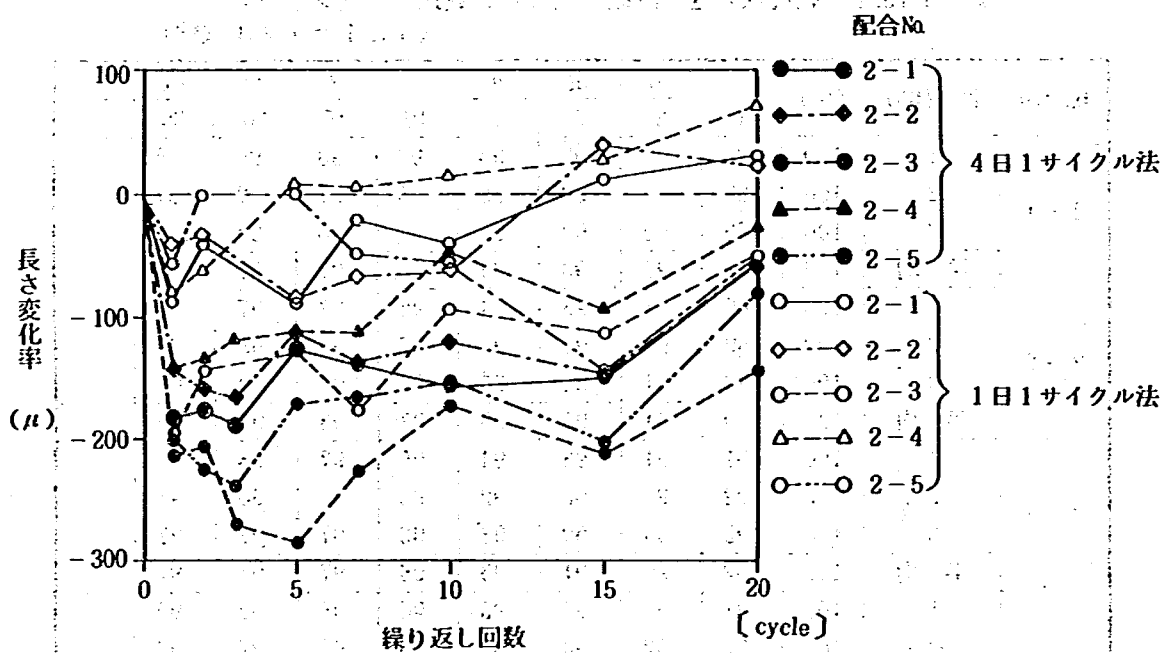


図-5.5 乾湿繰返しによる供試体長さ変化 (シリーズ2)

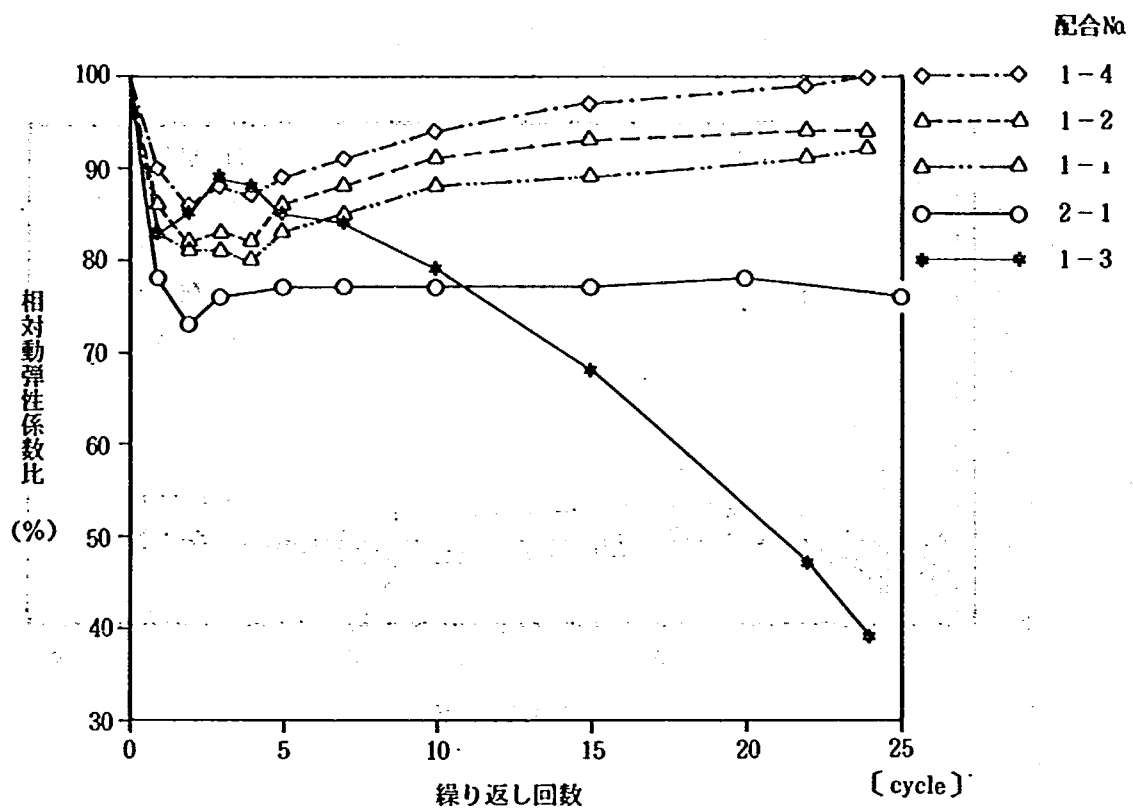


図- 5.6 乾湿繰り返しによる供試体動弾性係数比変化 (抜粋)

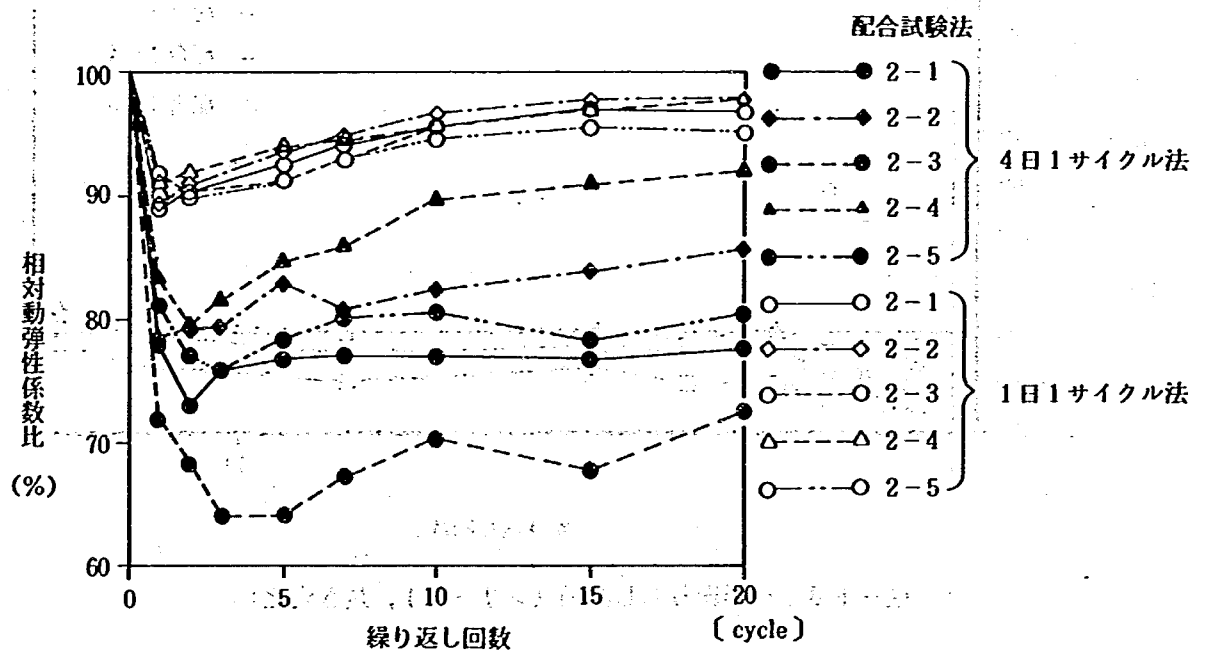


図- 5.7 乾湿繰り返しによる供試体動弾性係数比変化 (シリーズ2)

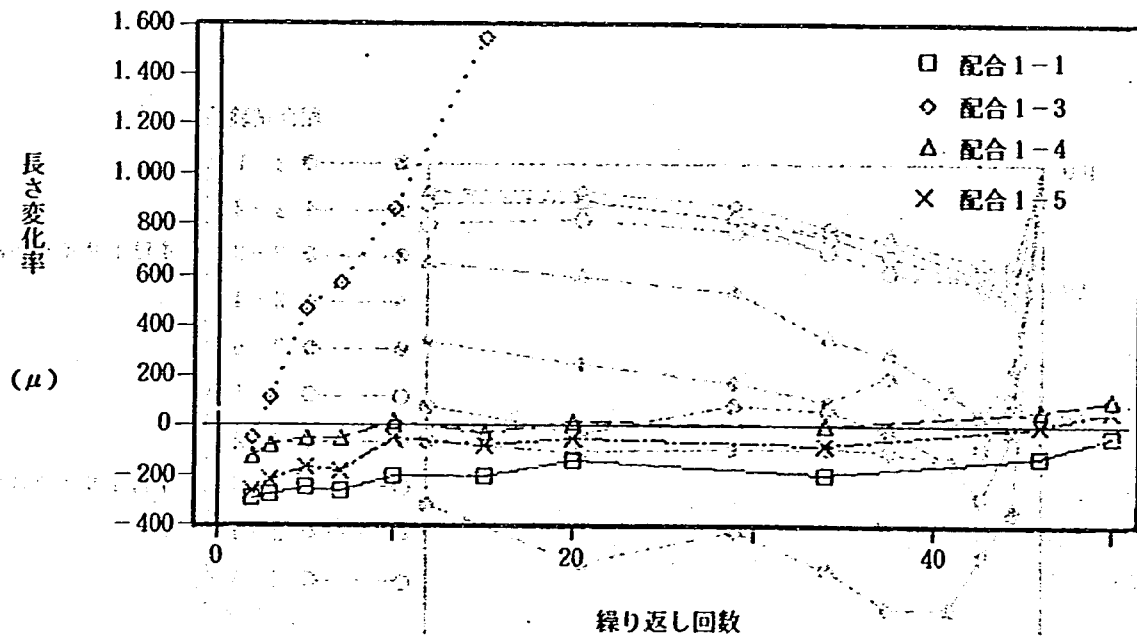
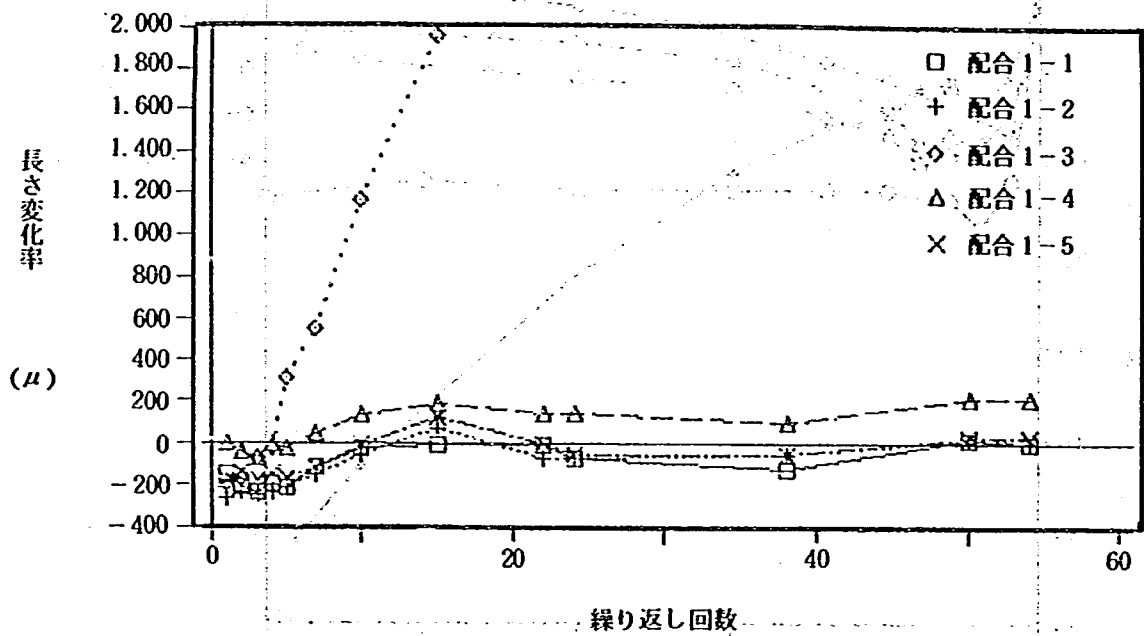


図-5.8 乾湿繰返し試験 (シリーズ1, 長さ変化)

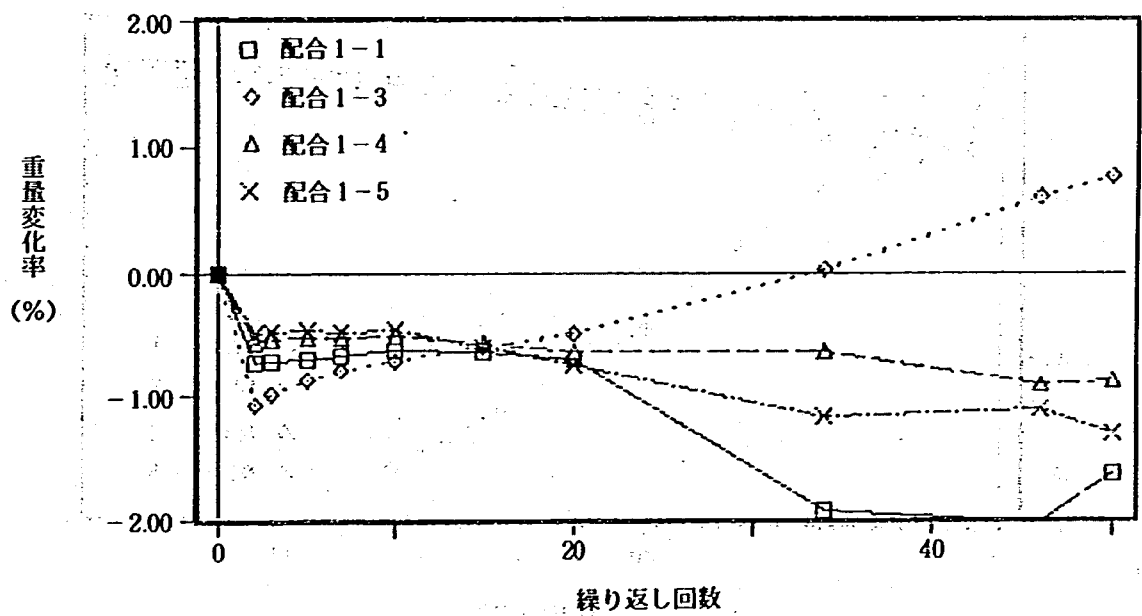
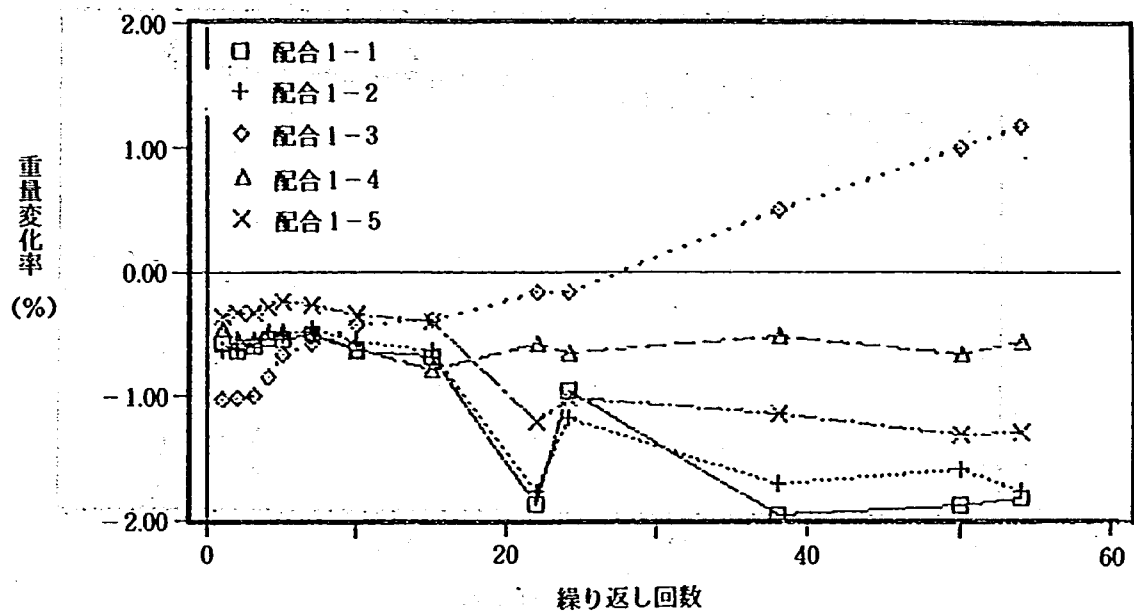


図-5.9 乾湿繰返し試験 (シリーズ1; 重量変化)

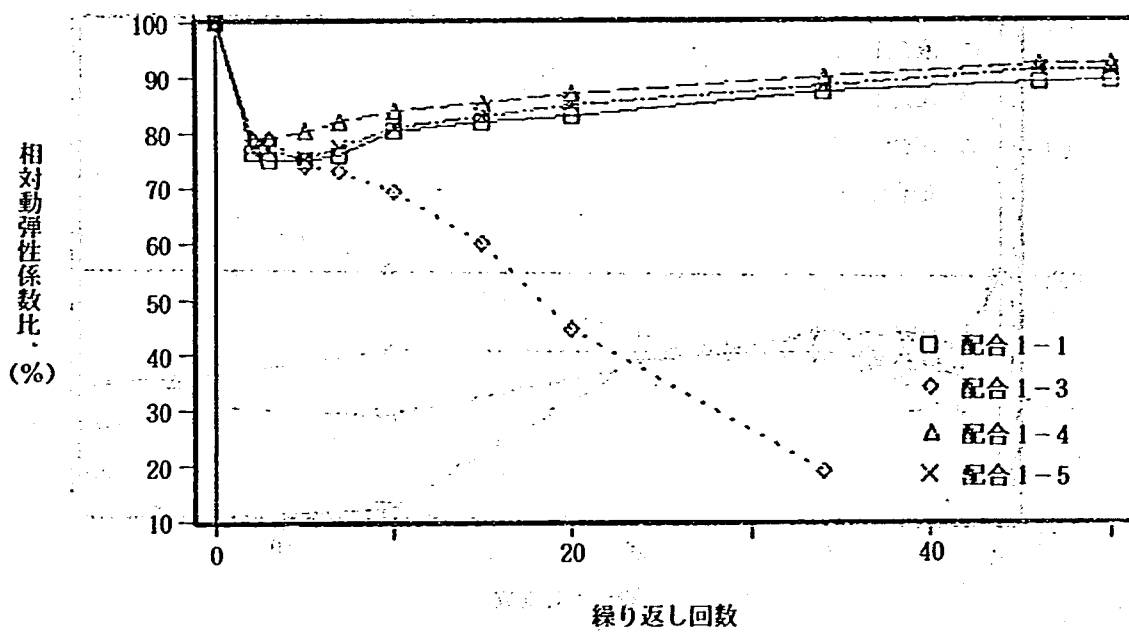
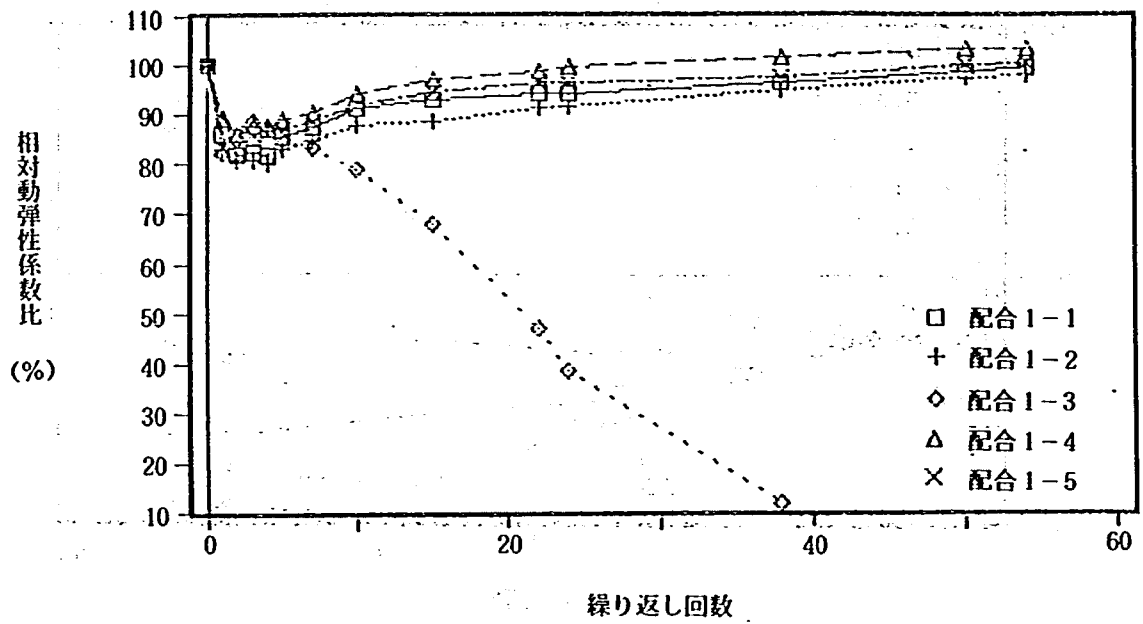


図-5.10 乾湿繰り返し試験 (シリーズ1, 動弾性係数比)

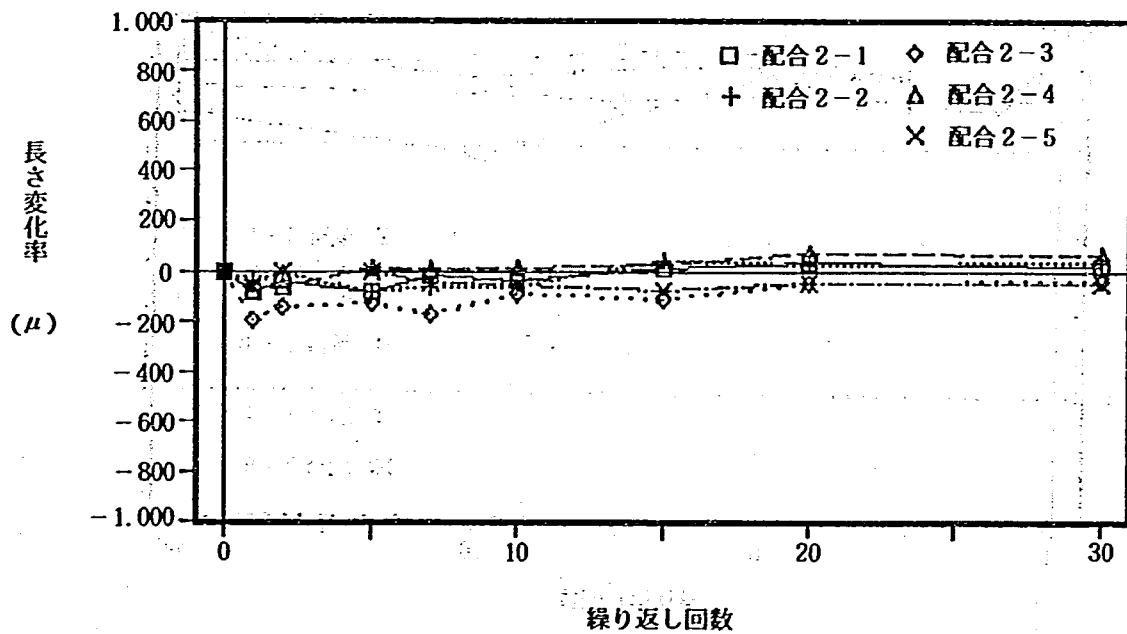
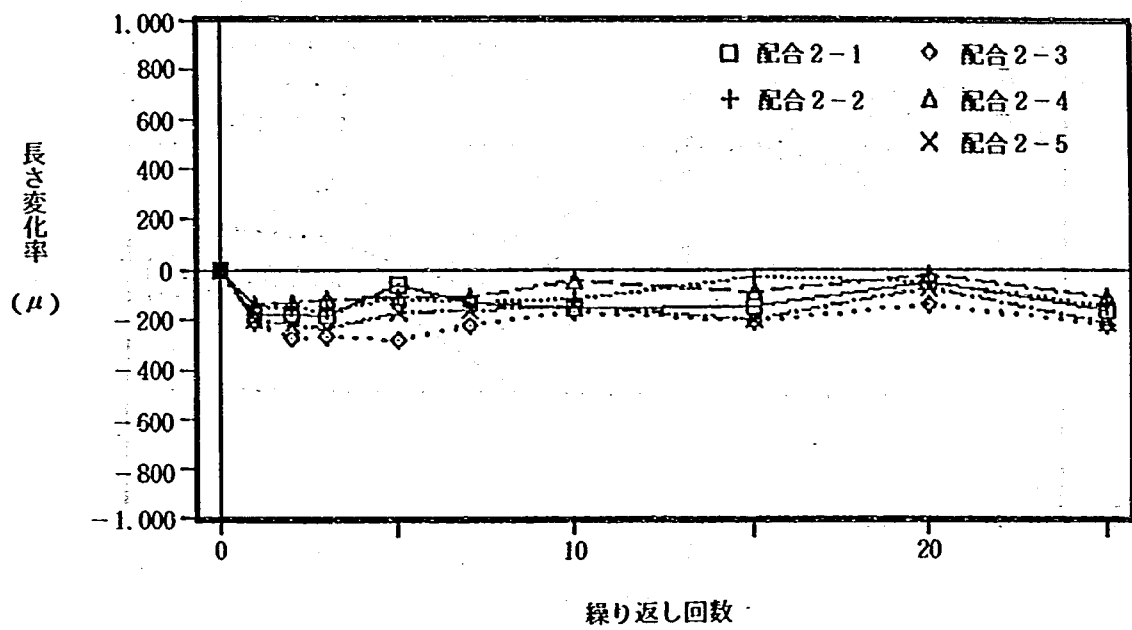


図-5.11 乾湿繰り返し試験 (シリーズ2, 長さ変化)

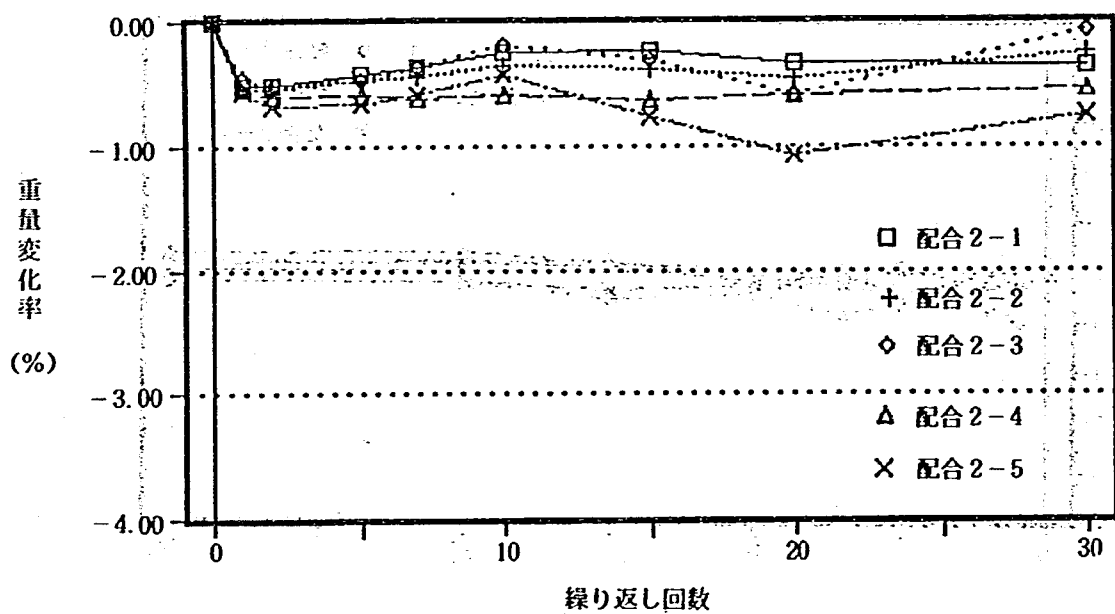
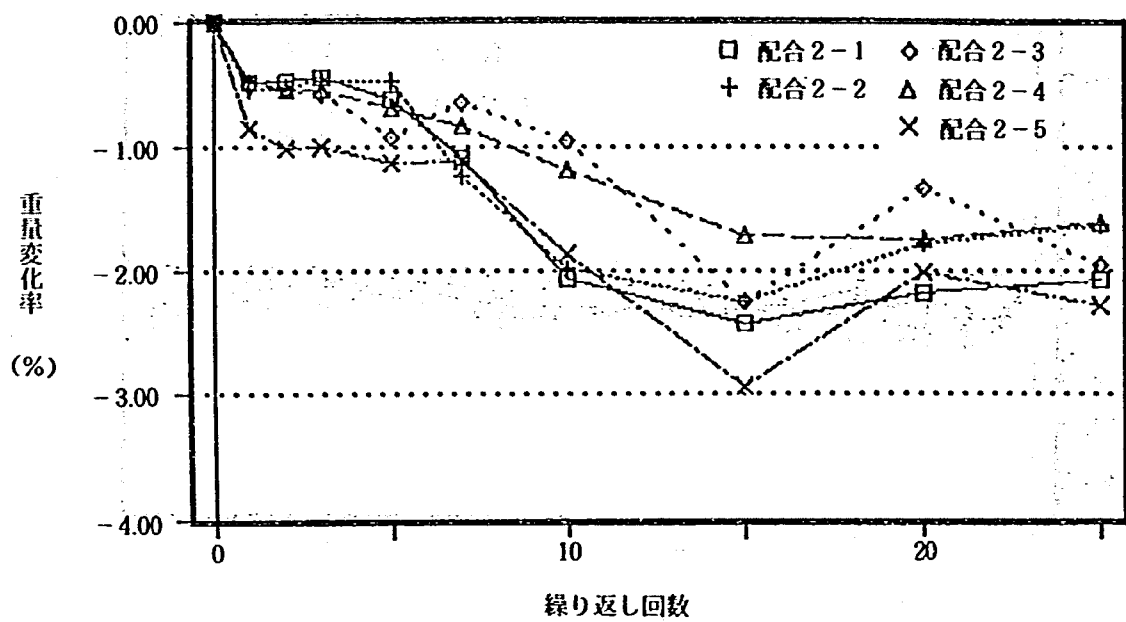


図-5.12 乾湿繰り返し試験 (シリーズ 2, 重量変化)

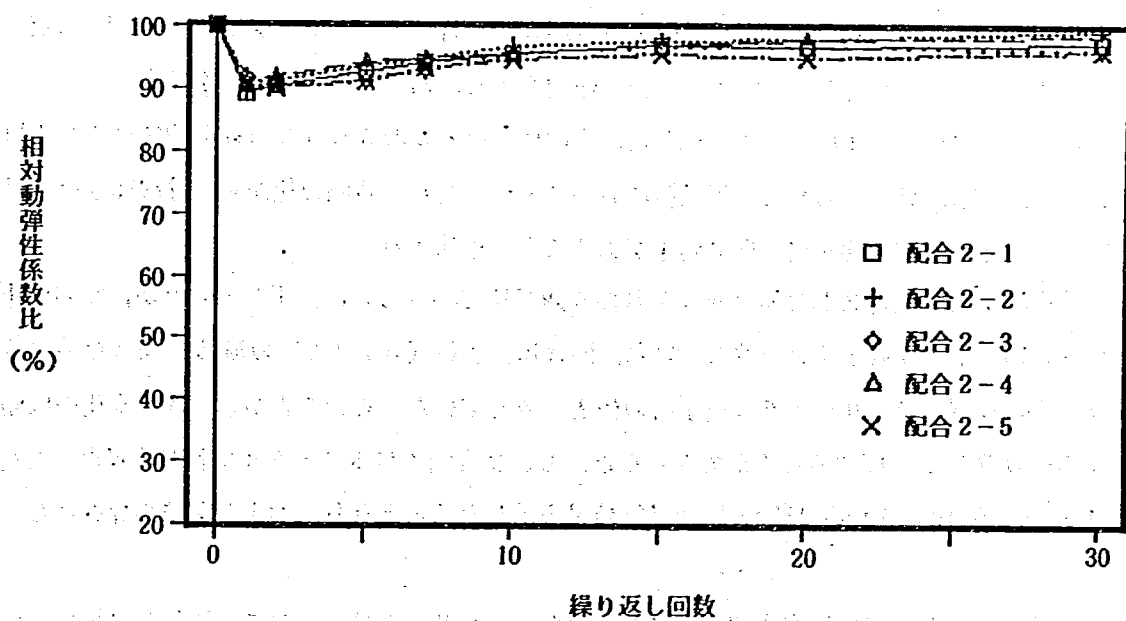
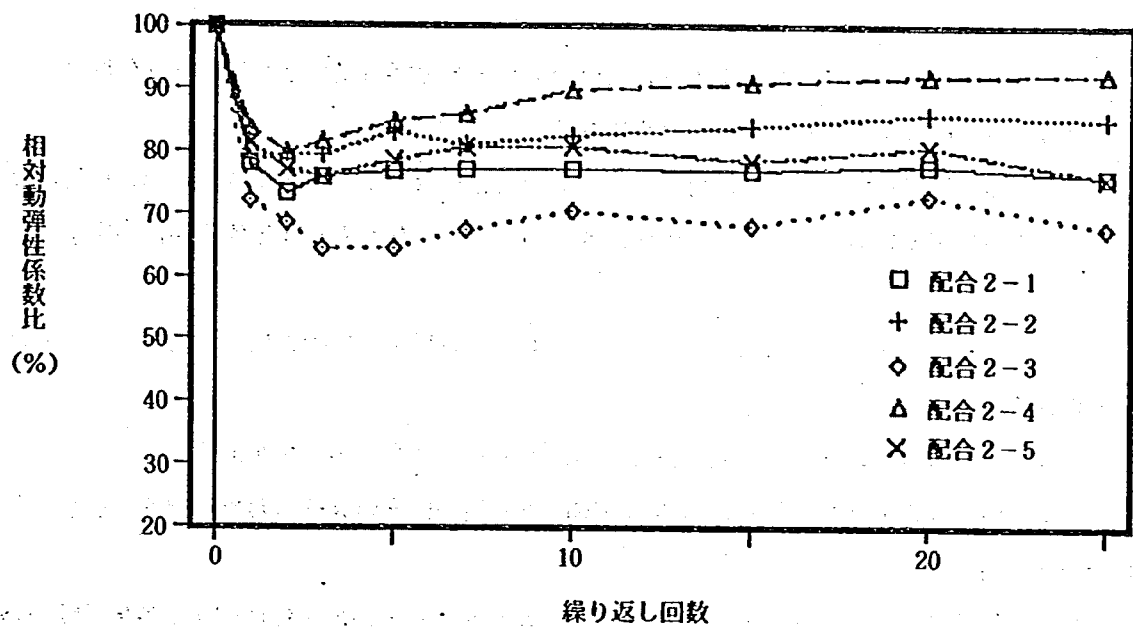


図- 5.13 乾湿繰り返し試験 (シリーズ 2, 動弾性係数比)

6. ま と め

骨材中の特殊な鉱物（ここでは、ローモンタイト）について粉末X線回折試験法を用いた含有量の測定方法に関する試験の結果を取りまとめると、次のようになる。

- ① 粉末X線回折試験の結果得られた特定回折角度のピークの高さを用いることにより、特定の鉱物が存在するかどうか、その量が多いものか微量なものか、鉱物の専門家でなくとも比較的簡易に判定することができる。
- ② 試験の精度から考えると、かなり厳密な試験を実施しても、含有量1%以内の精度で測定することは難しいと考えられる。
- ③ 純度100%と考えられる試料の間でも、同一条件で約20%のピーク高さの変化がある。
- ④ 内部標準物質を用いた測定方法は、試料の詰め込み密度その他の個々の試験におけるバラツキを少なくするのに効果がある。

骨材の物理的性質に関する試験、およびその骨材を用いたコンクリートの耐久性に関する各種試験の結果を取りまとめると、次のようになる。

- ① 試験した配合の中で、A1の骨材を細・粗骨材に用いたもの以外は、乾湿繰り返し試験および暴露試験の結果、相対動弾性係数比（試験開始前の動弾性係数に対する比）の低下がなく、重量の極端な減少もないことなど、劣化の兆候は見受けられなかった。
- ② 供試体の長さ変化の測定結果からも、異常な膨張作用は生じていないことがわかった。
- ③ 吸水率が高く、硫酸ナトリウムによる安定性損失重量が大きな骨材（ローモンタイトを10%程度含む）を用いたコンクリートは、自然暴露2年程度で、膨張傾向を示し、動弾性係数の低下を示す。
- ④ 同様な現象は、同一配合供試体について実施した、室内における乾湿繰り返し試験の約10サイクル目を過ぎた後の結果からも、見受けられた。両試験において劣化に要した時間の比から、乾湿繰り返し試験は自然暴露試験と比較して、約20倍の促進効果があることが推定された。

まず動弾性係数は、自然環境における2年4ヶ月の暴露試験で80（%）に低下していたが、この低下度は、乾湿繰り返し10サイクル終了時と一致していた。同様に、重量（0.4（%）の減少）および長さ変化（0.1（%）の膨張）も、ほぼ10サイクル終了時の値と一致していた。このことから、性状変化の概略は10サイクルの繰り返しで把握することができること、および今回4日1サイクルで乾湿の繰り返しを行ったので、 $4 \times 10 = 40$ 日間で約800日間の暴露試験結果を示したこととなり、およそ20倍の促進になっていた。

- ⑤ モンモリロナイトを含む（30%程度まで）骨材を用いたコンクリートは、これまで実施した試験の結果からは、使用性に問題があるという結果は得られていない。

7. あ と が き

粉末X線回折試験による特定鉱物の含有量測定に関しては次のような感触を得ることができた。

粉末X線回折試験の結果得られた特定回折角度のピークの高さを用いることにより、特定の鉱物が存在するかどうか、その量が多いものか微量なものか、鉱物の専門家でなくとも比較的簡易に判定することができる。

試験の精度から考えると、かなり厳密な試験を実施しても、含有量1%以内の精度で測定することは難しいと考えられる。

ローモンタイトを含む骨材のコンクリート用骨材としての使用性に関して、次のような感触を得ることができた。

コンクリートが劣化現象を示した使用したローモンタイトを含む骨材A1は、吸水率が粗骨材8.43(%)、細骨材8.51(%)、安定性損失重量も粗骨材72.7(%)とかなり高く、この結果からもコンクリート用骨材として不適当であることは明らかであるが、実際にコンクリート供試体を作製し2年あまり自然環境で暴露しただけで、動弾性係数の低下や、コンクリートの膨張など、他のコンクリートと比べて明らかに違う挙動を示し、あらためてこれらの骨材をコンクリートに使用することの危険性が確かめられた。

明らかに一般の骨材と違う物理的性質を示す骨材について試験を実施したため、どの程度の含有量からコンクリートとして有害な作用が生じるか、数的に示すことはできない。今後、中程度の含有量および物理的性質を示す骨材を用いた試験を、ある程度実施していけば、もう少し明確にすることができると考える。

また、骨材の物理試験において極めて高い吸水率および粗骨材の安定性損失重量を示すことから、これらの試験で骨材としての使用性については大まかには判別することができると考えられる。

この種の骨材のコンクリート用骨材としての適用性を検討する際には、自然環境での暴露も有効である。さらに、暴露試験で生ずる現象を促進的に求めるためにはここで行ったような乾湿繰返し試験が、有効である。

モンモリロナイトを含む骨材のコンクリート用骨材としての使用性に関して、次のような感触を得ることができた。

2産地3種類のモンモリロナイトを含む骨材の物理的性質および、それらの骨材を用いたコンクリートの乾湿繰返し作用に対する耐久性および自然環境における暴露試験を行った。その結果から、モンモリロナイトが含まれているかどうかおよび概略の量の測定には、安定性試験の溶液として、硫酸ナトリウムの代わりに尿素、あるいは不凍液を用いると良いことがわかった。ただし、検討した骨材を用いたコンクリートに対する各種試験の結果からは、特に異状を示す変状は生じていない。

乾湿繰返し試験に対しては、次のように評価することができた。

性状の変化を示したローモンタイトを含む骨材を用いたコンクリートに対して、乾湿繰返し試験の促進度を、動弾性係数、重量の変化、および膨張量の各ファクターで評価した。両試験において同一の劣化状

態になるまでに要した時間の比から、乾湿繰り返し試験は自然暴露試験と比較して、約20倍の促進効果があることが推定された。

最後にここで対象とした特殊鉱物を含む骨材に関する各種試験の結果から一部の規格を満足できない骨材について、その使用性を検討する際には、次のようなことが重要となると考える。

- ① 骨材中に含まれる鉱物の中に、コンクリートとしたときに問題となる鉱物が含まれていないか、粉末X線回折試験などにより調査する。
- ② 基本となる骨材自身の物理的性質を、各物理試験を用いて詳しく調査する。
- ③ 一部で問題とされている鉱物を含む骨材についても、暴露試験や乾湿繰り返し試験など各種の耐久性に関する試験の中から、適宜選定した試験により、劣化現象が生じるかどうか確かめる。

付属資料－１ ダムコンクリート用骨材の選定方法について

目 次

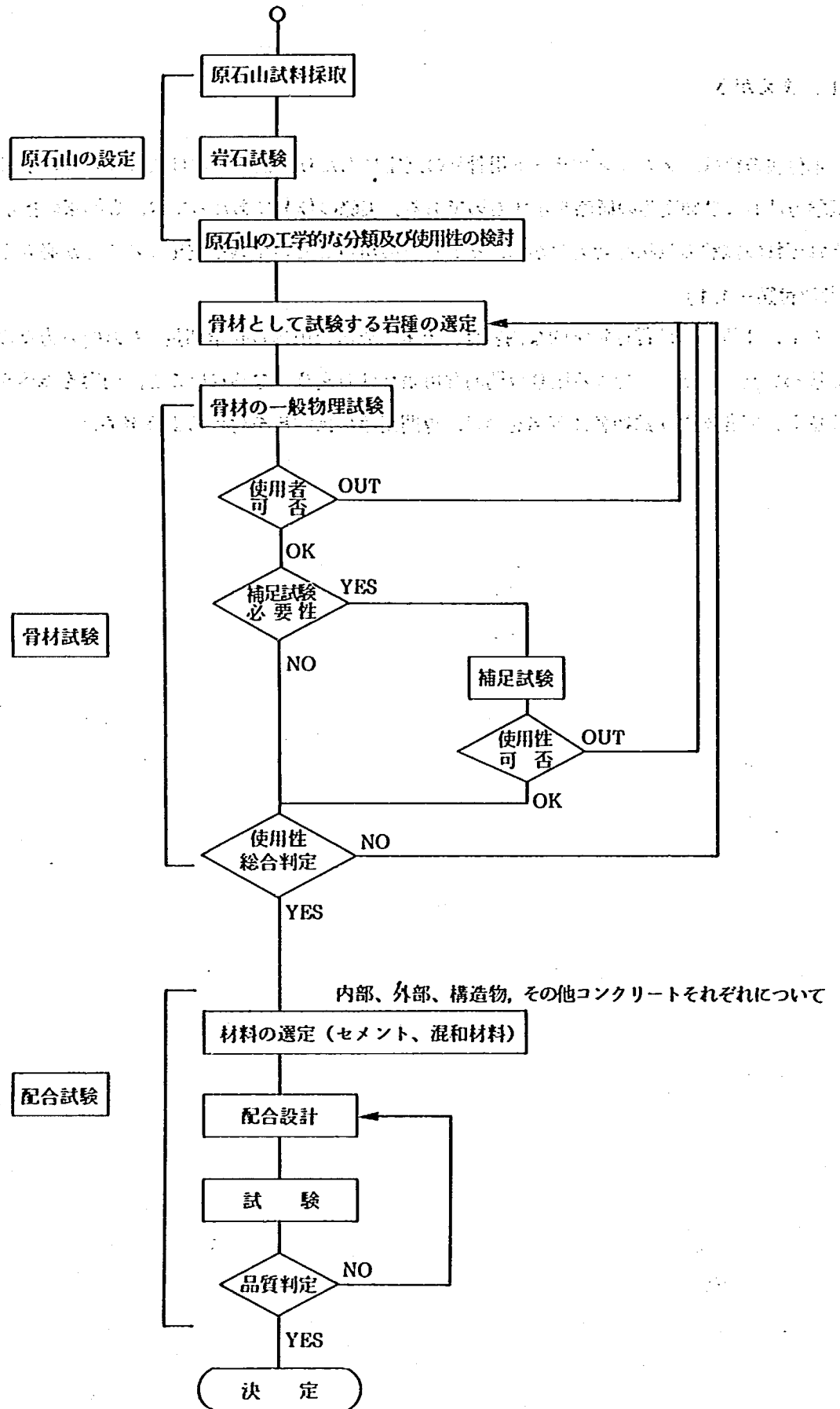
1. まえがき	1
2. 骨材として用いられている岩石の性質	3
2.1 骨材として用いられている岩種別の使用実績	3
2.2 岩質別の問題点	5
2.3 合理化施工とそれに適した骨材の性質	10
3. 原石山候補地における調査の概要	14
3.1 候補地選定の一般的方法	14
3.2 原石の破砕試験（室内における検討に用いる骨材の製造）	17
4. 試験室における試験	19
4.1 試験の概要	19
4.2 一般的物理試験	19
4.3 強度試験	21
4.4 熱的特性に関する試験	22
4.5 耐久性に関する試験	23
5. その他の試験	24
6. 配合試験の概要	25
6.1 配合試験の実施手順	25
6.2 結果の評価方法について	25

1. まえがき

本付属資料は、ダムコンクリート用骨材の選定にあたり、検討しなければならない項目および具体的な試験方法および頻度等の概略を示すものである。実際の作業にあたっては、専門家の指示をあおぎ、更にそれぞれの試験の意味を考えながら、それぞれの項目ごとの試験を実施することが必要となると考える。

(参照付図－1.1)

なお、本資料の地質鉱物学的内容は、土木研究所市川地質化学部長、その他の方々の発表された文献に基づいた。ただし、できる限り専門的な用語だけの文章とならないこと、内容を調べやすくすることに注意し、できる限り鉱物名に英名をつけ、専門用語には注釈を付けるよう努めた。



付図ー 1.1 ダムコンクリート用骨材およびコンクリート配合の概略検討作業フロー (案)

2. 骨材として用いられている岩石の性質

2.1 骨材として用いられている岩種別の使用実績

ダムコンクリート用骨材として既設のダムで用いられた（予定を含む）骨材を，日本の多目的ダム（80年版）¹⁾をもとに調査した。

その結果，ダム等の構造形式別には，アーチ式コンクリートダム 23，重力式コンクリートダム 217，フィルダム洪水吐コンクリート等 13，その他河口堰コンクリート等 2，合計で 255 ケ所のデータが得られた。

骨材の使用形態としては，碎石，砕砂の使用が 72（％），川砂利・川砂の使用が 24（％），残りの 4（％）が碎石と川砂利を混合して使用していた。

不明および川砂利を用いて種類が特定できないダムを除き，骨材として使用された岩種をとりまとめると表-2.2 のようになる。

調査の結果，類別した岩種区分の中では，堆積岩の砂岩が 62 ケ所で使用され最も多かった。次に火成岩の安山岩類が 57 ケ所，花崗岩類が 43 ケ所で使用され多かった。

また，これまでに完成している堤体積 10 万 m³以上の 139 のコンクリートについて調査した結果²⁾を表-2.3 および 2.4 に示す。

これからも，火成岩の安山岩類，花崗岩類および堆積岩の砂岩類が多く使用されていることがわかる。

表-2.1 ダム用骨材の使用形態

形 式	碎 石	川 砂 利	碎石川砂利混用	計
アーチ	18 (0.79)	4 (0.17)	1 (0.04)	23
重力式	155 (0.72)	55 (0.25)	7 (0.03)	217
フィルダム 洪水吐等	9 (0.70)	2 (0.15)	2 (0.15)	13
河口堰等	2 (1.00)	0 (0)	0 (0)	2
計	184 (0.72)	61 (0.24)	10 (0.04)	255

下段（ ）内は，各形式内の割合

表-2.2 ダム用骨材岩種別の使用頻度

形式		火 成 岩						堆 積 岩				変 成 岩	
		深 成 岩		半 深 成 岩		火 山 岩							
		花崗岩	閃緑岩	斑岩ヒン岩等	流紋岩	安山岩	玄武岩	頁岩類	砂岩	凝灰岩類	石灰岩	片岩	その他
アーチ	川	2	1	1	0	1	0	0	2	1	1	0	0
	砕	4	1	1	2	6	0	1	4	1	0	0	1
	混	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	7	2	2	2	7	0	1	6	2	1	0	1
重力式	川	7	1	3	2	18	0	4	21	2	0	6	3
	砕	25	6	8	5	25	18	8	32	7	6	17	5
	混	3	1	1	0	4	0	0	1	0	0	0	0
	計	35	8	12	7	47	18	12	54	9	6	23	8
その他	川	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	砕	0	0	0	3	3	1	1	1	0	1	1	0
	混	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	1	0	0	3	3	1	1	2	0	1	1	0
合 計	川	10	2	4	2	19	0	4	24	3	1	6	3
	砕	29	7	9	10	34	19	10	37	8	7	18	6
	混	4	1	1	0	4	0	0	1	0	0	0	0
	計	43	10	14	12	57	19	14	62	11	8	24	11

表-2.3 コンクリートダムの骨材²⁾
(昭和59年現在)

碎石(製造)	川砂利	碎石・川砂利混用	不 明	合 計
68	53	8	10	139

表-2.4 岩種別骨材使用状況²⁾

	安山岩類	花崗岩類	砕岩類	玄武岩類	凝灰岩類	頁岩類	片岩類	石灰岩類
碎石	14	20	14	1	4	3	4	3
混用	1	3	4	0	2	0	1	0

注 安山岩類：安山岩・流紋岩・石英安山岩
 花崗岩類：花崗岩・花崗閃緑岩・閃緑岩・
 ノーライト・片麻岩・花崗斑
 岩
 砕岩類：砂岩・グレイワッケ
 玄武岩類：玄武岩
 凝灰岩類：シャールスタイン・凝灰角礫
 岩・凝灰岩
 頁岩類：頁岩・粘板岩・千枚岩
 片岩類：結晶片岩・角閃岩
 石灰岩類：石灰岩・結晶質石灰岩

2.2 岩種別の問題点

2.1でまとめたように岩種別にはダムコンクリート用骨材として安山岩類、花崗岩類、砂岩類が多く使用されている。しかしながら、実際に使用された骨材の中は、これらの岩種の分類に用いた鉱物だけでなく、副鉱物（岩石中に含まれるが、岩石の定義には関与しない鉱物）も存在し、その種類によって骨材としての性質が大きく変化することもある。このため一般的な岩石名だけで骨材としての適否を論ずるのは適当ではないと考えられる。そこで、共通する基本的な性質だけでなく、問題となることの多い（あるいは過去問題となったことのある）事象について簡単に説明し、骨材を選定する際実施しなければならない試験を選択する上で役立てることを目的とした。

なお本節の内容は、主として文献³⁾に基づいた。

2.2.1 深成岩 (plutonic rock)

火山の活動により、地下深部からのマグマの上昇貫入、あるいはそれに引き続く冷却・固結という過程でできた火成岩は、その成因により大きく深成岩、半深成岩および火山岩の三つに分けることができる。このうち地下数kmの深部でマグマが比較的ゆっくりした速度で冷却して固結した深成岩は、組織が粒状の結晶質で、結晶同志がぎっしりかみ合っているため、他形^{注1)}で複雑な結晶の形をしているのが特徴である。花崗岩、閃緑岩、班レイ岩、カンラン岩等が属する。

花崗岩 (granites) は、主に石英と長石からできており、黒雲母も含んでいるのが普通である。また角閃石を含むこともある。ごま塩のような模様をしている。深成岩の中で最も広い分布をしており、利用されることも多い。特徴として石英と長石を主体とするため、鉱物の粒子そのものは硬いが粒子間の結合は堅固ではないため構造運動^{注2)}を受けて内部組織が破壊されやすい。また、地表から相当深いところまでマサ^{注3)}化して岩石の組織は残っているものの粒子がばらばらになっていることが多い。また新鮮なものでも雲母の含有量が多いものは泥分が多くなりやすく、砂を製造する場合粒度調整に注意する必要がある。一般的物理試験を実施した場合、雲母が多い割合等でロサンゼルスすりへり試験 (JIS A 1121) で、すりへり減量が比較的多くなることがある。

閃緑岩 (diorite) は、主に斜長石と角閃石からできており、輝石や黒雲母を含むものもある。花崗岩より全体が黒みを帯びている。花崗岩に伴なって産出し、よく似た性質を持つが概して風化に強く、節理も少ないので大塊が得られる。例えば石手川ダムにおいては、花崗閃緑岩 (granodiorite) と半々に存在した山が、花崗閃緑岩のみの山と比べて、風化の程度が低く硬質で骨材としての性質が良かったことから原石岩として採用された。

班レイ岩 (gabbros) は、主に斜長石、輝石およびカンラン石からできている (石英、正長石ではない)。花崗岩、閃緑岩と比べて色の黒い鉱物を多く含み、硬く比重も大きい。ただし、カンラン岩、輝緑岩とともに蛇紋岩化作用^{注4)}を受けていることが多く、品質の分布がかなり不安定で使用された例は少ない。

カンラン岩 (olivine) は、主に斜長石とカンラン石からできており、(石英、正長石はなく、輝石もあり含まない)、班レイ岩と似ている。班レイ岩に伴なって産出し黒色緻密で、比重が3以上と大きい。

重骨材として利用されることがあるが、ダム用骨材として使用された例は少ない。

2.2.2 半深成岩

火山岩と深成岩のできる場所の中間程度までマグマが上昇して、岩盤の比較的せまい割れ目に沿って貫入して固結してできた半深成岩は、(岩)脈状をなして産出し、一般に節がある。得られる骨材の大きさはそれらの成状の大小による。また、貫入に伴って熱水変質^{注5)}や鉍化作用^{注6)}を生じていることがある。石英斑岩、ヒン岩、輝緑岩等が属する。

斑岩 (porphyry)(石英斑岩 (quartz. porphyry) 等)は、白っぽく斑状構造で、長石、石英、黒雲母の斑晶がある。ヒン岩は緑灰色で石英の斑晶は一般には見られない。これらはそれぞれ対応する火山岩である流紋岩や、安山岩に似た性質を示す。一般に新鮮なものでは組織が緻密で良好な岩質を持つ。

輝緑岩 (diabase) は、斑レイ岩に似ている緑色であるが全体の鉍物が細くなっている。また、輝緑岩は、粗粒玄武岩とともに、変質により吸水率が高くなり骨材として使用できない場合もある。二瀬ダム(直轄、埼玉、荒川)、横山ダム(直轄、岐阜、木曽川)、宮川ダム(三重県、宮川)で使用した実績がある。

2.2.3 火山岩 (volcanic. rocks)

マグマが地表あるいは海底に噴出して、空气中または水中で急激に冷却してできた火山岩は、活動の中心あるいは活動の盛んな時期に形成されたものでは堅硬で緻密であるが、これ以外の所で形成されたものは、火砕質^{注7)}の部分やガラス質^{注8)}あるいは多孔質の部分を含んでいることが多い。熱水変質を受けていることも少なくない。岩体内の岩質の分布は一般に極めて不規則で、緻密堅硬な部分と、火砕質であまり緻密でない部分が混在する。骨材としての適否は一般に比重、吸水率、安定性に重点をおいて判断するのが良い。

流紋岩は (rhyolite) は、石英、正長石、斜長石、雲母などが、ガラス質の石基の中に斑晶となっており、ざらばった組織をもつ。色は一般には、白色であるが、茶色、褐色、灰色化したものもある。表面に流れ流石のような縞模様が見られることもある。石英粗面岩 (lipantite) と呼ばれることがある。酸性^{注9)}で、比重が2.2~2.5と小さく、板状節理^{注10)}のために、扁平な割れ方をするものがしばしば認められる。岩体内での岩質の分布は比較的単純である。藤原ダム(直轄、群馬、利根川)、土師ダム(直轄、広島、江の川)、矢木沢ダム(水公団、群馬、利根川)、笹堀ダム(新潟県、五十嵐川)、破間川(新潟県、破間川)で使用した実績がある。

安山岩 (andesite) は、斜長石、角閃石、輝石などが斑晶となっており、石基もこれらの非常に細かい集まりでできている。色は暗い灰色や赤褐色などをしていいる。我が国の火成岩の中で最も広く分布しており、使用実績も最も多い。一般に緻密で硬いが噴出岩である場合粗く多孔質であったり、火砕質岩と混在することがある。岩脈状のものは岩質上は良好であるが、分布は狭小である。また、形成時の自破砕^{注11)}作用や、熱水変質作用による粘土鉍物の形成のため劣化していたり、ガラスを多く含むときには、アルカリ骨材反応を生じたりすることもある。比重は一般に2.4~2.6程度であり、破砕後の形も比較

的等径状をなす。定山溪ダム（北海道開発局，北海道，石狩川），川治ダム（直轄，栃木，利根川），耶馬溪ダム（直轄，大分，山国川）他，かなりの使用実績がある。

玄武岩（basalt）は，非常に細かい斜長石やガラス状の物質の集まりで，時に斜長石，輝石，かんらん石が斑晶として入ってくる。表面は黒っぽく緻密に見えるので，堆積岩の砂岩と間違えることが多い。日本では各地の火山で見ることができる。比重は，安山岩より一般に大きく堅硬である。産状は安山岩とほぼ同様に第三系の溶岩や火砕岩，第四系の火山体を形成しており，変質を受けていることが多く，板状や柱状の比較的細かく摂理を有する部分がある。特にガラス質の場合には安定性に欠けることが多い。小平ダム（北海道，小平薬川），粟地ダム（香川県，安田大川），竜門ダム（佐賀県，有田川），神浦ダム（長崎県，神浦川），岩屋川内ダム（佐賀県，塩田川）等で使用した実績がある。

2.2.4 堆積岩

礫，砂，泥，生物の遺骸で構成される堆積物が，圧密・こう結^{注12)}・再結晶・交代（置換）作用などにより物理的・化学的変化を生じ，固結して形成された堆積岩の固結度は，その生成した地質時代の古さによりかなり異なる。堆積岩は，大きく4つのグループに分けることができる。一般に古生代，中生代の堆積岩が硬岩，第三紀のそれが軟岩と言われているのはこのため。

このうち碎屑性堆積岩は，地表にあった岩石が水や風の作用で壊れてできた破片（碎屑物）が積もったもので，礫岩，砂岩，泥岩および頁岩（粘板岩）がある。

礫岩（Conglomerate）は，一般に礫（Gravel）（2 mm 以上）が50% 以上含まれている岩石をいい，こう結が多く，礫と基質とがほぼ同様の硬さのものや，細粒で砂岩に近いものは多く利用されるが，礫と基質の硬さが異なるものは，破碎時のロスが多く使用に適さないことが多い。真名川ダム（直轄，福井，九頭竜川）で骨材の一部として用いられた他にはあまり実績はない。

砂岩（Sandstone）は，一般には石英や長石を主とする砂粒（0.074~2 mm）がこう結されたもので砂粒が50% 程度以上含まれている岩石をいう。塊状であるため等径状に破碎することができ，火成岩のように鉱物間に物理的な不連続がないので安定性が高い。一般に砂粒となる鉱物と基質により分類されるが，古生層の基質の少ないものは硬砂岩あるいはグレイワッケ（Graywacke）と呼ばれ優れた性質を持つ。岩尾内ダム，桂沢ダム（北海道開発局，天塩川），五十里ダム（直轄，栃木，利根川），小渋ダム（直轄，長野，小渋川），真名川ダム（直轄，福井，九頭竜川），永瀬ダム（直轄，高知，物部川），大渡ダム（直轄，愛媛，高知，仁淀川），野村ダム（直轄，愛媛，肱川），緑川ダム（直轄，熊本，緑川），鶴田ダム（直轄，鹿児島，川内川）他で，最も多く利用されている。

泥質の起源を持つものには粘板岩（slate）と頁岩（shale）^{注13)}とがあり，いずれもはく離性（薄く割れる性質）があるので好ましくない。砂質のものには塊状のものもあり使われる場合もある。頁岩は固結度が低いことが多く，一般には使われていない。粘板岩は，大雪ダム（北海道開発局，石狩川），草木ダム（水公団，群馬，利根川），城山ダム（神奈川県，相模川），三面ダム（新潟県，三面川），佐幌ダム（北海道，佐幌川）などで使用された。頁岩は使用実績がほとんどない。

主に火山灰よりなる凝灰岩（tuff）の中で，大谷石で代表される第三系の中性～酸性火山岩に近い化

学組成のものは、軟質で使用には適さない。火山岩中に一部分挟在している場合が多く、コンクリート骨材中に混合するとポップアウトを生じたり、破碎中に多量の泥分を生じたりトラブルの原因となる。溶岩の岩片を多く含む凝灰角礫岩 (tuff breccia) は一見堅硬であることが多いが、角礫と基質の凝灰岩との物性の違いが大きすぎて材料の細片化が時間の経過とともに進行するので、使用されることは少ない。鳴子ダム(直轄, 宮城, 北上川)で骨材の一部に用いた例はある。

中・古生層中に見られる輝緑凝灰岩 (シャールスタイン)^{注14)}の中には、こう結が進んで輝緑岩に近い性質を示すものもあり、利用の対象となることもある。二瀬ダム(直轄, 埼玉, 荒川), 大野ダム(直轄, 京都, 由良川)等で骨材として使用した例がある。

石灰岩 (limestone) は、生物の遺骨が集って堆積した岩石の一つで CaCO_3 を主成分とするものをいう。一般に中・古生層のものが塊状で堅硬緻密であり、骨材として利用されることもある。 CaCO_3 の他に (Ca, Mg) CO_3 の組織を持つ白雲岩 (苦灰岩 (dolomite)) があり、物理的性質は石灰岩とほとんど変わらないが、コンクリート中で $\text{Mg}(\text{OH})_2$ を形成してコンクリートを劣化させることがあり、風化して吸水率・安定性損失重量が大きくなったものもある。沖縄総合事務局では他に骨材として適当な岩種が少なく、石灰岩を安波ダム, 新川ダム等に使用した実績がある。チャート (chert) は、珪藻など珪質の化学的堆積物で緻細な潜晶質を示す。中・古生層に存在し、極めて堅硬であって塊状のものは破碎するのも難しいが、剛性も高いので一般に構造運動を受けて細かく破碎されていることが多い。また、コンクリート中ではアルカリと珪酸とが反応することもある。

2.2.5 広域変成岩 (regional metamorphic rocks)

既存の岩石が、地下深部で強い加熱、加圧、変形などの諸作用を受けた結果、鉱物組織や鉱物の配列状態がすっかり変って造られた変成岩は、その成因となる作用の種類により、大きく広域変成岩 (regional metamorphic rock) と、接触変成岩 (contact metamorphic rock) {あるいは熱変成岩 (thermal metamorphic rock)} に分けることもできる。

このうち広域変成岩は、広域変成作用^{注15)}により黒雲母、白雲母、絹雲母、緑泥石、緑閃石、角閃石、紅れん石、石墨などの鉱物が生成され (岩石全体がある方向に薄く剥がれやすくなり)、きらきら輝いた緑、黄緑、赤色化したものをいう。熱変成岩に比べてきわめて広い地域に分布する特徴があり、結晶片岩、石英片岩、片麻岩などが属する。

結晶片岩 (crystalline) は、新しくできた鉱物がある方向に配列し、薄く剥がれやすい性質を持つようになったものをいう。その中に含まれている新しい鉱物の種類によって呼び名が違ふ。一見塊状に見えるものでも薄い片理^{注16)}を内在させ、堅硬でも使用に適さないことが多い。美和ダム (直轄, 長野, 天竜川) で片麻岩、石墨片岩、緑泥片岩が、蓮ダム (直轄, 三重, 檜田川), 島地川ダム (直轄, 山口, 佐波川) で砂質片岩、黒色片岩が、厳木ダム (直轄, 佐賀, 松浦川) で、片岩 (花崗岩) が使用された。

片麻岩 (gneiss) は、花崗岩、石英斑岩、流紋岩などの火成岩が強い圧力を受けた結果できた岩石である。片岩と違って薄く剥がれることはないが顕著な縞状の構造をもつもの以外は花崗岩 (細粒) に準じて利用される。ただし、雲母の含有量の多いもの (泥質起源) は骨材にすると泥分が多く、風化にも

弱い。この場合、珪質の部分と雲母質の部分に分かれていないことが多く、詳細な調査が必要となる。

2.2.6 接触変成岩 (contact metamorphic rocks)

砂岩や、頁岩などの堆積岩にマグマが貫入した場合に、付近の岩石がマグマの放出する熱を受け、鉱物の一部または全部が分解して全体が黒味がかかった紫色の固まりのようになり、元の堆積岩の特徴である層理が見えなくなり、与えられた温度条件に適した新しい鉱物が生成（再結晶作用）し、結晶質粒状組織をもつ。このような岩石を接触変成岩といいホルンフェンス (hornfels) に代表される。頁岩や粘板岩から変成したホルンフェンスは極めて堅硬で良好な品質であるが、変成の規模によって分布と産出量が大きく異なる。また、中には紅柱石やきんせい石という新しい鉱物ができている。松川ダム(長野県、松川)で、使用した例がある。

- 注1) 他形 (poymorphism) 鉱物の外形を表す語。その鉱物固有の結晶面の発達が発達するほかの鉱物によって妨げられた形。↔自形。深成岩中の晩期の鉱物や変成岩の鉱物の多くはこの形。(地学辞典、平凡社以下同じ)
- 注2) 構造運動 (tectonic movement, tectogenesis) 地殻を構成する岩体 (岩石、地層) をそれらの形成後に変位・変形させ、褶曲・断層などの構造的変形や破壊をひきおこす原因となる運動および過程の総称。
- 注3) マサ化 白色・淡灰色・淡褐色花崗岩が風化、分解した砂。
- 注4) 蛇紋岩作用 (serpentinization) 超塩基性岩が、その主要構成鉱物であるカンラン石、輝石の蛇紋石化変質により蛇紋岩となる作用。
- 注5) 熱水変質 (hydrothermal alteration) 後マグマ期の熱水液による母岩の変質。生成する鉱物により緑泥石化作用、珪化作用、炭酸塩化作用、粘土化作用、沸石化作用などに別けることができる。
- 注6) 鉱化作用 (mineralization) 狭義には鉱床をつくる作用。広義には岩石中にある鉱物が形成または供給されること。
- 注7) 火砕岩 (pyroclastic rock) 火山砕屑物が固結して生じた岩石。火山砕屑岩ともいう。
- 注8) ガラス質 (hyaline, glassy, vitreous) 岩石の結晶度を表す語。岩石または石基がガラスからなる場合に使う。珪長質火山岩、特にその急冷相からみられる。
- 注9) 酸性岩 (acidic rock) 火成岩で、その化学成分の SiO_2 が 66 (wt%) 以上のもの石英・長石を主要構成鉱物とするために優白質。
- 注10) 板状節理 (platy joint) 岩体を板状に分離させている節理で冷却面に平行に発達する。収縮性の節理であるため、節理面が開口しており、安定上問題がある場合が多い。
- 注11) 自破砕熔岩 (autobrecciated lava) 熔岩の一部が固結した後も他の部分が流動するために、固結部が破砕された熔岩の厚い熔岩流の内部や火道から押し出される熔岩に見られる。
- 注12) こう (膠) 結物 (cement) 水に溶けた鉱物成分が堆積物の粗粒物質間に沈殿して各粒子をこう結する作用をこう結作用といい、この沈殿物をセメントと呼ぶ。石灰質、珪質のものが多い。
- 注13) 頁岩 (shale) 剥離性の発達した泥質岩。泥板岩ともいう。頁岩がさらに堅くなり、かつ剥離性の増したものは粘板岩と呼ばれる。
- 注14) 輝緑凝灰岩 (schalstin) 多少変質した塩基性火山噴出物の火成岩・熔岩の集合体に対する呼び名で、厳密な意味の岩石名として用いられることはほとんどない。
- 注15) 広域変成作用 (regional metamorphism) 造山運動によって既存の岩石や地角斜堆積物が地下深所にもたらされ、高温・高压と変形運動を受けつつ再結晶をし、片状構造を持った変成岩のできる作用。造山帯の中軸部に沿って伸長方向に数十～数百 km におよび生じる。

注16) 片理 (schistosity) 片状構造ともいう。柱状・針状または、板状・鱗片状の結晶が一定方向に配列して生じる線状または面状の構造。

2.3 合理化施工とそれに適した骨材の性質

近年、従来からの施工方法に加えてRCD工法をはじめとする、各種合理化施工方法によりコンクリートダムを建設する事例が増加してきている。これらの工法を用いて施工する場合コンクリートに用いる骨材に要求される性質も、これまでのダムコンクリートで必要とされていた性質に加えて、施工法に応じて新たに必要とされる性質が加わることになる。ここでは、各施工法ごとに使用された岩種および主要な物理的性質試験結果について整理するとともに特別に注意すべき事項などについて取りまとめることにする。

2.3.1 RCD工法用骨材

RCD工法によるコンクリートダムの施工は、1974年に研究が開始された以降順調に推移し、これまでに合せて300万 m^3 程度のRCDコンクリートが打設されるまでになっている。これらのダムについては表-2.5に示すように骨材として花崗岩類1、閃緑岩類1、流紋岩+ヒン岩+輝緑岩1、安山岩類5、玄武岩1、片岩類1、凝灰岩+角礫岩1が使用(予定を含む)されており、安山岩類の使用実績が多い。

これまでRCD工法により施工されたダムにおいては、骨材の調査を行なった時点では、施工をRCD工法で行うことが決定されていなかった場合もあり、すべてのダムで厳密な検討の上岩種を選定したわけではない。また、施工実績が増えたといっても15例にすぎず、現時点で岩種の適、不適を論ずるのは適当でないと考えられるが、安山岩類の使用実績が多いのは、次のような特徴があるためと考える。

① 一般に緻密で硬くすりへりにくい

② 破碎後の形が比較的等径状をなし、偏平な骨材が生じにくく、ブルドーザー等の敷ならしや、ローラによる転圧で破碎しにくい。

今後、RCD工法によりコンクリートダムを建設する際、使用する骨材に求められる性質としては、上記のすりへりや破碎がしにくいことの他に、細骨材に締め固めし易い適当な量の微粉末を確保できることが必要となる。ただしその量が多すぎて、所要のワーカビリティを確保するために必要な単位水量を増加させ、ひいてはセメント量の増加等を招くことがないように注意する。また、粒形が悪い場合や粒度分布が偏っている場合もワーカビリティを悪化させることになるので注意する必要がある。

2.3.2 その他の合理化施工法とそれに適して骨材

これまでにRCD工法以外の合理化施工法として、ポンプ(PCD工法)、ベルトコンベア、ダンプによるコンクリートの運搬および拡張、全面レアー工法による打設が表-2.6に示すダムで行われてきた。

施工実績が限られているため、各骨材の種類の適、不適を論ずるのは難しいが、それぞれの施工法の特徴と考え合わすと使用する骨材については次のようなことがいえる。

(1) ポンプ施工について

ポンプを用いて施工する場合、次のような点に注意する必要がある。

表-2.5 RCD 工法を用いて施工したダムと使用骨材の物理試験結果

ダム名	事業者名	ダム高 (m)	堤体積 (千m ³)	セメントの種類	骨材の種類	配 合 条 件					骨 材 の 物 理 試 験 結 果										骨材の種類 (骨材の形状)
						Gmax (mm)	C + F (kg / m ³)	F C + F (%)	W C + F (%)	s/a (%)	比 重		吸水率(%)		単重(kg / m ³)		実積率(%)		粗粒率 FM		
島地川ダム	中国地建	80	300	普通+フライ アッシュ	砂 質 片 岩 黒 色 片 岩	80	120	30	87.5	34	2.66	2.70	1.15	0.63	1725	1774	65.2	65.9	2.64	7.95	砕砂・砕石 (偏平)
大 川 ダム マ ッ ト 部	北陸地建	(78)	1000	中庸熟+フライ アッシュ	河 川 砂 礫	80	120	30	85.0	32	2.53	2.61	3.12	2.0	1760	1780	69.6	68.2	2.70	8.11	
新中野ダム	北海道 開発局	75	276 (201)	中庸熟+フライ アッシュ	安 山 岩	80 150	120 120	20	79.2 82.0	34 32	2.51	2.56	4.08	3.67					2.91	8.31	
阿木川ダム 一次仮締切	水資源 開発公社	(40)	(450)	普通+フライ アッシュ	濃 飛 流 紋 岩	80	114	30	70.0	32	2.64	2.66									
玉 川 ダム	東北地建	100	1150	中庸熟+フライ アッシュ	石 英 安 山 岩	150 80	130 120	30 30	73.1 86.7	30 31	2.59	2.59	2.1	2.1	1590	1790	62.5	70.6	2.73	8.40	
英利河ダム	北海道 開発局	40	360	中庸熟+フライ アッシュ	河 床 砂 礫	80	120	30	75.0	30	2.61	2.66	1.88	1.68					2.71	8.18	
布 目 ダム 堤 体 一 部	水資源 開発公社	72	370	中庸熟+フライ アッシュ	粗 粒 花 崗 岩	150	130	35	76.9	27	2.66	2.70	(0.79)	(0.57)	1630 (1720)	1900 (1930)	61.8 (65.2)	70.8 (71.9)	2.52	8.59	
宮ヶ瀬ダム	関東地建	155	(2000)	中庸熟+フライ アッシュ	火 山 礫 凝 灰 岩 火 山 角 礫 岩	150	未	未	未	未	(2.57)	(2.65)	(3.17)	(1.75)	(1080)	(1800)	(67.6)	(67.9)	(2.79)	(8.33)	
真 野 ダム	福島県	69.0	212	中庸熟+フライ アッシュ	花 崗 閃 緑 岩	80	120	20	85.8	33	2.65 (2.62)	2.71	1.30	0.77	1730 (1820)	1710 (1730)	66.1 (69.6)	63.6 (64.3)	2.55	7.85	砕砂、砕石 (角ばっている)
白水川ダム	山形県	54.5	312	中庸熟+フライ アッシュ	石 英 安 山 岩	80	120	20	83.3	31	2.58 (2.53)	2.62	2.16	2.00	1560 (1720)	- (1680)	61.8 (68.1)	- (65.4)	2.68	7.98	砕砂、砕石 (角ばっている)
朝日小川ダム	富山県	84.0	350	中庸熟+フライ アッシュ	河 床 砂 礫	80	120	20	76.7	32	2.58 (2.53)	2.65	1.87	0.69	1730 (1840)	1760 (1780)	68.3 (72.7)	66.9 (67.6)	2.70	7.92	川砂、川砂利 丸みをおびている
朝 里 ダム	北海道	72.0	500	中庸熟+フライ アッシュ	輝 石 安 山 岩	80	120	20	87.5	28	2.65 (2.56)	2.56	3.32	3.53	1530 (1760)	1690 (1720)	59.1 (68.6)	68.5 (69.6)	2.67	7.88	砕砂、砕石 丸みをおびている
道平川ダム	群馬県	70.0	380	中庸熟+フライ アッシュ	安 山 岩	80	120	20	83.3	30	2.60 (2.52)	2.64	3.15	2.18	1680	1660	66.7	64.2	2.77	7.98	砕砂、砕石 (角ばっている)
神 室 ダム	山形県	60.0	295	中庸熟+フライ アッシュ	安山岩質 玄武岩	80	120	20	85.8	32	2.71 (2.65)	2.75	2.33	1.67	1740 (1890)	1730 (1750)	65.7 (69.1)	64.0 (64.7)	2.77	7.88	砕砂、砕石 (角ばっている)
境 川 ダム	富山県	115.0	712	中庸熟+フライ アッシュ	流紋岩 ひん岩輝緑岩	80	130	30	76.9	32											

比重の下段 () 内の値は、絶乾比重

単重および実積率の下段 () 内の値は振動台による試験結果

表-2.6 RCD 工法以外の合理化施工法を用いて施工したダムと使用骨材

施工法	ダム名	ダム事業者名	打設場所	堤体積 (千㎡)	セメント の種類	骨材の種類	配 合 条 件					骨 材 の 物 理 試 験 結 果									
							Gmax (mm)	C+F (kg/㎡)	F C+F(%)	W C+F(%)	s/a (%)	比 重		吸水率(%)		単重(kg/㎡)		実収率(%)		粗粒率 FM	
												細骨	粗骨	細骨	粗骨	細骨	粗骨	細骨	粗骨	細骨	粗骨
ポ ン ブ	下 湯 ダム	青森県	砂防ダム	0.7	中麻熟フライ アッシュ		80	228 179	20	60 70	36 36	2.60	2.57	2.0	4.3	1.68	1.54	64.6	59.9	2.76	6.90
	長 与 ダム	長崎県	本体	60	普通フライ アッシュ	玄武岩 川砂海砂	60	217	20	68	37.5	2.57	2.61	2.18	1.36					2.41	7.81
	三 国 川 ダム	北陸地建	フィルダム 洪水吐き		普通フライ アッシュ	川砂利 川砂	80	220	20	58.2	34	2.58	2.81	1.55	0.74	1630	1880	64.2	67.4	2.27	7.88
ペ ル ト コ ン バ ア	青 蓮 寺 ダム	水資源 開発公団	アーチ 本体	180	中麻熟	花崗片麻岩	80	114	30	70.0	32	2.63	2.65								
	浅瀬石川ダム	東北地建	減勢工 水叩き部	9	普通フライ アッシュ	砂質片岩 黒色片岩	150	130 120	30 30	73.1 86.7	30 31	2.71	2.65	0.94	1.3		1630		61.5		
	蓮 ダム	中部地建	本体	140	中麻熟	砂質片岩	80	120	30	75.0	30	2.63	2.66	1.5	1.1		1320		49.6	2.65	6.66
	セケ宿ダム	東北地建	フィルダム 洪水吐き	169	普通フライ アッシュ	石英安山岩	80	237	20	53	29	2.63	2.64		(1.87)						
	小 平 ダム	北海道	本体	260	普通フライ アッシュ	玄武岩	150 150	210 140	20 20	50 66.3	25 26.5	2.70	2.76								
	高 滝 ダム	千葉県	本体	78	高炉スラグ	硬質砂岩 山砂(洗)	150 150	200 140		44 64	25 27	2.61	2.68	1.16	0.30	1.79	1.53	65.1	57.5	2.52	8.55

- ① 川砂利川砂のように骨材の比表面積が小さなものが、管内抵抗の増加を招かないため、適している。
- ② 粒度分布も圧送性に大きな影響があり、単粒度のように一部の粒径に偏っている場合には、圧送性が悪く閉塞などのトラブルが生じる。
- ③ 最大寸法も、圧送に用いる管径、ポンプの能力および圧送距離から限界が定まるので、管径の1/3以上のサイズの骨材を用いる場合には十分な検討が必要である。
- ④ 細骨材率は、一般に大きいほど圧送性が良い傾向を示す。
- ⑤ 細骨材中の微粒分が十分確保されていること。
- ⑥ 骨材がブレウェッチングされていること。

(2) ベルトコンベア施工について

ベルトコンベアを用いて施工する場合、これまで特に使用材料等の面で特別な検討を行った例はない。また、コンクリートに要求される性質も、通常のバケット打ちのコンクリートと変わらないと考えられる。ただし、運搬途中でコンクリートの比表面積が大きくなり、温度変化や水量の変化を起しやすく、コンシステンシーが変化する可能性がある。また運搬状態によっては、落下時等に材料分離が生じる可能性もある。

これらの現象に対して、使用する骨材の性質の面から、特別な配慮を行う必要はないと考えられるが、良好なコンシステンシーを得ることができるよう、できる限り偏平でない粒形、標準的で連続した粒度分布を有することが求められる。

3. 原石山候補地における調査の概要

3.1 原石の調査方法

ダムを建設する際に行う地質調査として、調査の対象により大きく分けて次の4つの調査が実施される。

- ① ダム基礎（ダム堤体を支持する岩盤部等）の調査
- ② 貯水池内部および周辺部の崖垂その他の調査
- ③ ダム堤体用材料（コンクリート用骨材、ロック材コア材等）の調査
- ④ その他（仮設備基礎等）の調査

ここでは、ダム堤体用材料すなわち、コンクリート用骨材に関する調査について述べる。

ところでダムコンクリート用骨材には、ダムサイト周辺の適当な原石山から岩石を採取、これを破碎して碎石および砕砂として用いる場合、付近の適当な河川に自然に産する河床堆積物すなわち川砂利および川砂を用いる場合、さらに原石山からの碎石、砕砂、河床堆積物の両者を併用する場合がある。

ここでは使用実績として大半を占める碎石を用いる場合(原石山を選定し、そこから破碎により碎石、砕砂を生産する場合)を主な対象として、調査計画時から、コンクリート用骨材としての検討するための試料を採取するまでについて、手順に従い概説する。なお具体的な試験方法等については、他の文献を参考にさせていただくこととして、ここでは省略する^{3), 5), 13), 14)}。

原石山（骨材材料採取地）としての適性を確かめるため、次の項目を試験により検討・調査しなければならない。

- ① 骨材の品質および賦存量の把握
- ② 採取計画、および採取工法の策定

なお地質学的な調査については、「ダムの地質調査」(土木学会) pp 25～28 にかけて「2.4 堤体材料の調査計画」として流れが示されているので(図-3.1 堤体材料の地質調査フロー)、以下この流れに従い、コンクリート用骨材としての適否を検討する手順を述べることにする。

3.1.1 初期段階の調査（大まかな原石山候補地の選定）

まず原石山候補地を選定する際には、ダムサイトを選定する時点でもある程度進められていると考えられるが、検討の対象としているダムサイトを中心として、地域全体の地質構造、岩石の性状等の大略を調査する。

具体的には、まず文献資料の収集検討、空中写真判読および1/5万（1/2.5万）地形図による現地確認を行う。これらの机上調査では、岩石の分布、種類および性質が、その地域の地形、地質に支配されていることを念頭において行わなければならない。

引き続いて1/5,000程度の地形図による地質踏査を行う。

この地質踏査では、机上調査で選定された採取候補地点について、骨材として用いることができる岩石材料の存在が想定される箇所の範囲および想定の高さを地形図に記入し、斜面の形状、高度差、距離

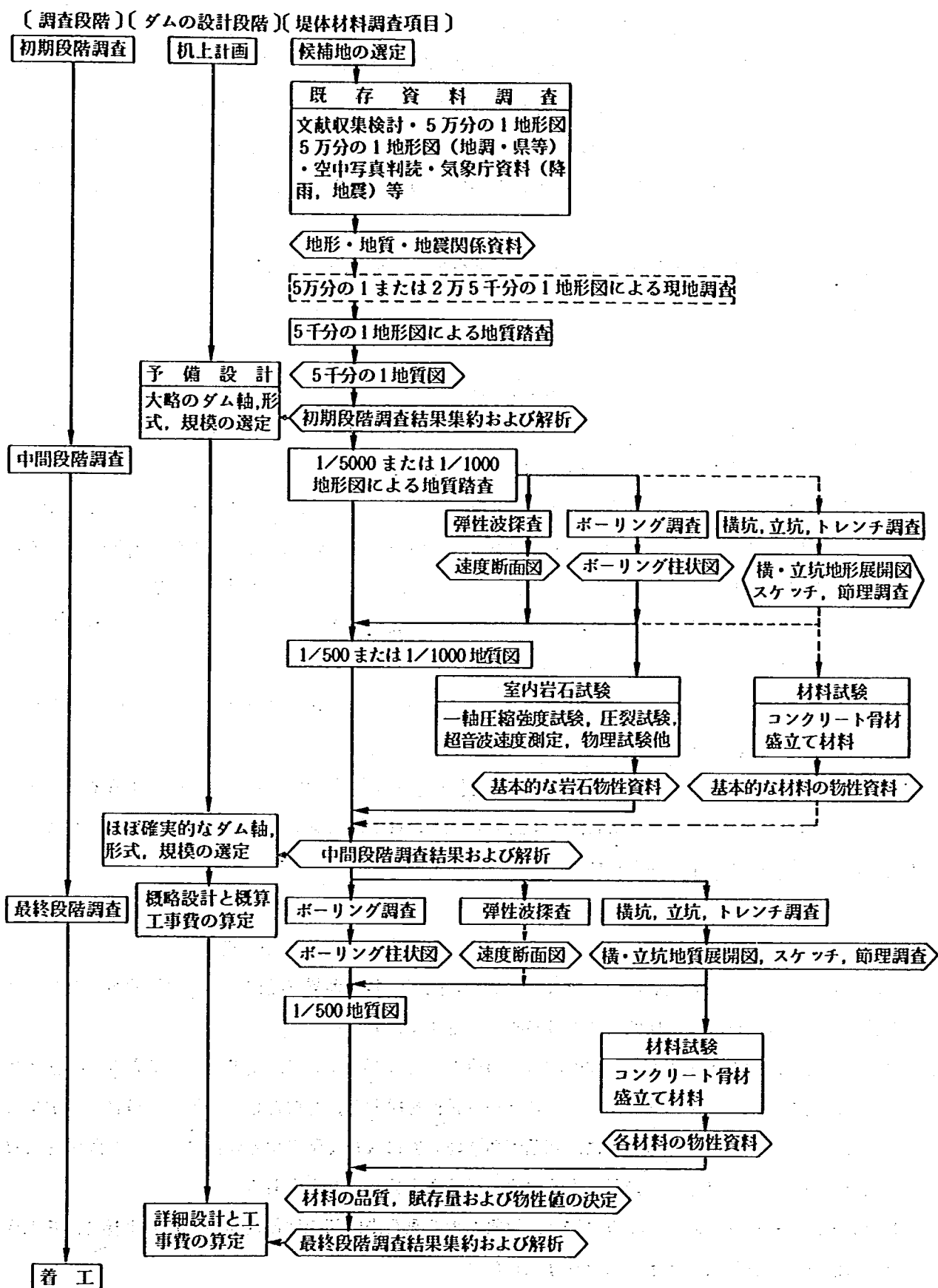


図-3.1 堤体材料の地質調査フロー¹⁹⁾

等を検討しながら概略の面積および容積を試算しておくことが必要である。

以上の調査結果に基づき、各原石山候補地について試算された採取の容易さ、運搬距離、分布量と、決定されたダム堤体積より、原石山として必要な条件を満足することができるかどうか、検討する。この時、運搬および表層その他の不良土の含有により、ある程度の損失が考えられるので、必要量の2倍程度以上確保できること、運搬方法域概略および不良土の廃棄埋めた場所を確保できること等を考慮しなければならない。

なお、河床堆積物を骨材として使用する場合は調査でも、賦存量、材質等を同様の方法により調べることとなる。

3.1.2 中間段階の調査計画（骨材としての適否の判断）

本段階の調査は、初期段階の調査の後の概略検討の結果ある程度の優先順位が付けられ、本案と比較案の2箇所程度に候補地点を絞り込まれた段階で開始される。

この段階の調査の目標は、概略設計と概算工事費の算定を行うため、コンクリート用骨材としての材料に関する資料を作成する点にある。つまり対象とした原石山において、表土および崖垂等の被覆物の分布とその性質、岩種、岩質、風化、変質、割れ目の状態、破碎帯の分布状態等を把握することになる。

なお、河床堆積物等の堆積性材料を用いる場合には、構成する物質の粒形、粒度および岩種、その層の厚さおよび広がり、有害物の有無について把握することになる。

具体的な調査としては、1/500～1/1,000の地形図を用いた詳細な地質調査の後、原石山現地における物理探査（一般に弾性波探査等）や調査ボーリングを行う。

弾性波探査は、被覆物および風化層の発達状態を把握するのに有効である。また後述する調査ボーリングと併用すれば推定の信頼度が増し、効果的である。調査ボーリングは、被覆物の発達状態および山体内部の地質状態の把握を目的として実施される。

3.1.3 最終段階の調査計画（各品種ごとの物性値、採取可能量、採取方法の決定）

この段階の調査は、採取候補地の詳細な地質状況の把握、各種地質（品種）ごとの物性値の把握および各品種ごとの採取可能量、採取方法を最終的に決定するために行う。

調査としては、調査ボーリング、弾性波探査の追加、およびトレンチ、調査坑による調査が実施される。また、調査ボーリング、トレンチ、調査坑から試料を採取し、骨材としての品質を検討する試験に供することになる。なお骨材の品質に、問題があり経済性に大きく関与する場合には、中間段階で採取した試料について、骨材としての品質を検討する試験を実施することもある。

トレンチ、調査横坑、および調査立坑は、対象とする原石山内部の地質状態を正確に把握できるように適切な位置および個数、選定しなければならない。

トレンチは、堀削面から直接、地質状態を観察することができ、容易に試料を採取できる利点を有する。

調査横・立坑は、被覆物および強風化岩の材質および産状を把握すること（立坑が主）や、山体内部

の岩石の風化の進行状態、岩質、割れ目の密度、破碎帯の分布等を把握すること（横坑が主）を目的として掘削される。

以上の調査結果を用いて、計画段階での最終的な材料採取地に関する地質図を作成する。この段階では地質図として、地質平面図、地質水平図、地質縦横断面図を一般に作成する。

3.2 原石の破碎試験（室内における検討に用いる骨材の製造）

原石山候補地選定のための最終段階の調査に使用した調査ボーリング、トレンチ、調査坑等の掘削ずり等を試料とし、実際の工事で使用することが予定される破碎機と同種の機種を用いて破碎し、骨材試料を製造する。この骨材試料の性質を把握するため、概ね次のような項目について、検討を行う。

- ① 粒度試験
- ② 偏平度、変調度試験
- ③ 流出泥分百分率
- ④ 製品骨材の物理的性質

このうち、粒度試験は破碎によりダムコンクリート用骨材の規格に入る、粒度分布が得られるかどうか、偏平度、変調度試験は骨材としての適否（例えば、所要のコンシステンシーを得るのに単位水量が多くならないか）を大まかに把握するために、行われる。流出泥分百分率は骨材の賦存量と併せて、十分な量の骨材が確保できるか、岩の固結度はどうなのか判断するのに役立てる。

これらの試験の結果、骨材として使用するのに問題がないことを確認した後、製造した骨材がコンクリート用骨材として所要の品質を有するかどうか実験室内における物理試験およびコンクリートとしての諸性状が検討されることになる。

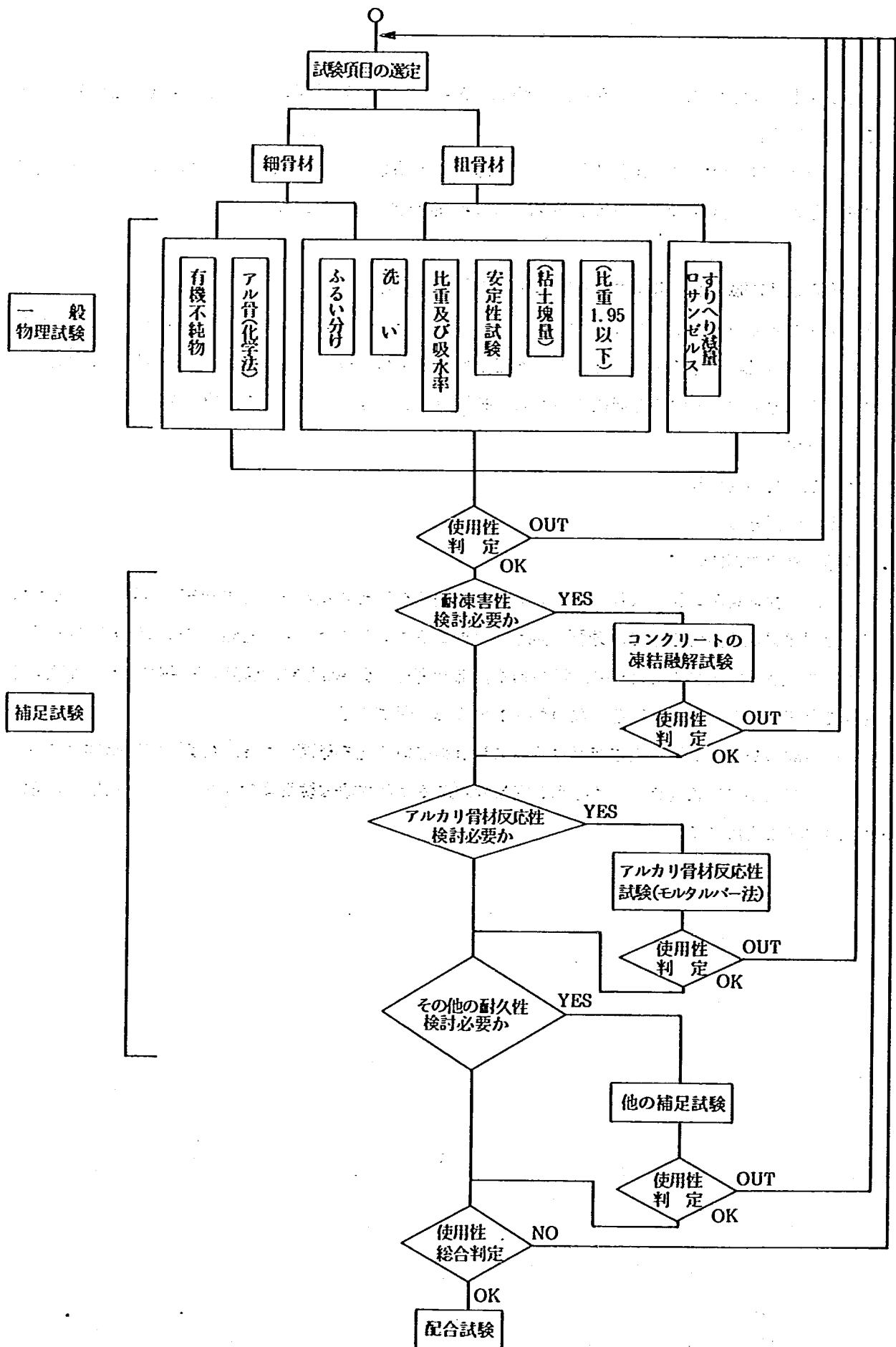


図-4.1 試験室における骨材選定作業フロー (案)

4. 試験室における選定のための試験

4.1 試験の概要

ダムコンクリートに骨材として用いることができるかどうか検討するため、試験室において一般に次の項目について試験を行う必要がある。

- ① 一般物理性質に関する試験
- ② 発現強度に関する試験
- ③ 熱的性質を把握するための試験
- ④ コンクリートの耐久性に関する試験

これらの試験は、図－4.1 に示す流れ図に従い、実施するのが望ましいと考える。

4.2 一般物理試験

骨材の物理的性質に関しては、一般に次の項目について、試験によりその性状を把握しなければならない。

- | | |
|----------------------|---------------------------------|
| ① 比重および吸水率試験 | J I S A 1109, 1110 |
| ② 硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験 | J I S A 1122 |
| ③ 骨材のふるい分け試験 | J I S A 1102 |
| ④ ロサンゼルス試験機によるすり減り試験 | J I S A 1121 |
| ⑤ アルカリ骨材反応性試験（化学法） | J I S A 5308 附属書7 および
建設省暫定案 |

骨材の比重および吸水率は、簡易な試験であるが、骨材としての耐久性を比較的良く表すことができる。また、土木研究所資料第1838号「コンクリート用骨材に関する調査報告書(1)」で報告し、土木学会コンクリート示方書ダム編で採用されているように、この結果と、硫酸ナトリウムによる安定性試験の結果を併せて考慮することにより、骨材の凍結融解耐久性がほぼ推定することができる。

また近年コンクリートの早期劣化現象の一つとして社会的な問題となっているアルカリ骨材反応については、ダムコンクリートでは一般にセメント使用量（単位セメント量）が少ないため、問題になることが少ないが、念のため建設省暫定案やJ I S A 5308 レデーミクストコンクリートの附属書7に示された「化学法」により骨材が反応性であるかどうか調べておく事が望ましい。

この試験の結果、アルカリ骨材反応に対し有害あるいは潜在的有害と判定された場合には、建設省暫定案あるいは同J I S附属書8の「モルタルバー法」により再度反応性について確認することが望ましい。

さらに次の試験については、参考のため実施しても良い。

- | | |
|-------------------------|--------------|
| ⑥ 骨材の単位容積重量試験 | J I S A 1104 |
| ⑦ 細骨材中の有機不純物試験 | J I S A 1105 |
| ⑧ 骨材の比重 1.95 の液体に浮く粒子試験 | 土木学会基準 |

⑨ 鉱物の組成に関する観察およびX線回折試験

また次の試験は、特別な問題がない限り、実施する必要性は少ないと考える。

⑩ 骨材の洗い試験 J I S A 1103

⑪ 骨材に含まれる粘土塊量試験 J I S A 1137

⑫ 骨材の破砕値試験 B S 812

試験に供する骨材試料は、原則として対象とする原石山を代表すると思われる試料1種類で良い。ただし、賦存量に余裕がなく未風化部等の新鮮部以外の部分まで検討の対象としなければならない場合には、各部分ごとに試料を採取し試験に供することとする。この際、複数の部分を混ぜ合わせ1つの試料とすることはせずに、それぞれの部分を別個の試料として取り扱う必要がある。骨材としての良否の判定も、それぞれの部分で行われなければならない。

主な試験に用いる骨材試料の粒度範囲、量等については、次の表-4.1を参考に定めるものとする。

表-4.1 主な骨材試験とその試料

試験項目	粗骨材試料		細骨材試料	
	粒度範囲(㎜)	重量(kg)	粒度範囲(㎜)	重量(kg)
比重および吸水率試験	150～80	10	全範囲	2
	80～40	10		
	40～20	5		
	20～10	2		
硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験	80～60	5	5～2.5	0.2
	60～40	5	2.5～1.2	0.2
	40～25	3	1.2～0.6	0.2
	25～20	2	0.6～0.3	0.2
	20～15	1		
	15～10	1		
骨材のふるい分け試験	Gmax 150 (Gmax 80)	50 (30)	全範囲	2
ロサンゼルス試験機による粗骨材のすり減り試験	A 40～10	10	—	—
	E 80～40	20		
アルカリ骨材反応性試験	Gmax～5	40	全範囲	40

(重量は、1試料当りの量)

4.3 強度試験

骨材を選定するために行う強度試験は、①岩石単体で行う強度試験、②コンクリート材料としての骨材に関する強度試験の2つに大別することができる。

4.3.1 岩石単体で行う強度試験

岩石単体で行う試験は、原石山から採取した岩石をそれぞれの試験に適する形に整形し、岩石単体の圧縮、引張などの作用に対する（強さ）特性を求めるものである。主として試料の基本的物理特性を求め、風化など劣化作用の程度、破碎帯の状況等について評価することを目的として行われる。

一般的に行われる試験としては、以下のような試験がある。

- ① 密度および吸水率試験
- ② 一軸圧縮強度試験
- ③ 引張強度（割裂）試験
- ④ 超音波伝播速度試験
- ⑤ 動弾性係数試験
- ⑥ ショア硬度

これらの試験の中から、原石山（あるいは河床砂礫帯）の状態に基づき専門家（地質鉱物学に関する）が選択した試験を実施する。

それぞれの試験に必要な供試体の数および大きさは、対象とする原石山（あるいは河床砂礫帯）の状態（風化、破碎帯の分布等）により異なる。また、試験に供する供試体も原石山を代表できるものを選定しなければならない。これらについても原則として専門家が選定する必要がある。

4.3.2 コンクリートとしての骨材に関する強度試験

コンクリート材料としての骨材に関する強度試験は、コンクリート用骨材の粒度範囲に適合するよう粉碎・調整した骨材を用いてコンクリート供試体を製作し、コンクリートとしての強度を試験により求めるものである。主としてコンクリート用骨材として、所要のワーカビリティを確保することができるかどうか判定することを目的とし、岩体の強度の推定を目的としてはいけない。

一般にコンクリート練り混ぜ時に骨材が再粉碎される恐れがある場合等、その骨材を用いたワーカビリティに問題がある場合等では必要と考えられるが、すべての骨材について実施しなければ試験ではない。

配合に関しては次のようなことに留意する。骨材としての特性がわかれば良いので、骨材の最大粒径をダムコンクリートのそれに合わせる必要はない。また、単位セメント量もダムコンクリートのそれに合わせて少なくする必要はない。

後述する耐久性に関する試験で用いる配合（W/C55%, Gmax20mm, スランプ8 cm, Air5.0 ± 0.5 %）を用いれば、過去に例も多く他と比較しやすい等有利である。

4.4 熱的特性に関する試験

ダムコンクリートでは、温度応力によりひび割れを発生させないため、温度応力解析を行わなければならない。この温度応力解析を行うため、骨材に関して次の性質を把握しておくのが望ましい。

① 熱伝導率（および、熱拡散率）

② 比熱

③ 熱膨張係数

①熱伝導率は、コンクリートの熱伝導率がコンクリート中で体積の80%程度を占める骨材のそれに大きく左右されるため、予備的に必要とされる場合がある。②比熱は、コンクリートの比熱を使用材料の配合と個々の材料の比熱から求めることがあるので必要である。③熱膨張係数は、コンクリートの熱膨張を把握するため予備的に必要とされる場合がある。

それぞれの試験は、試験方法が特に定められていないので、実施する場合には専門家の手に委ねなければならない。

それぞれの定数は特に規格は定められていない。過去の測定例では、熱定数（熱伝導率、比熱等）については表-4.2の値が、熱膨張係数については表-4.3の値が得られている。

表-4.2 種々の骨材の熱定数

骨材の種類	密度 ρ (kg/m ³)	熱伝導率 λ (kcal/m · h · °C)	比熱 C (kcal/ kg · °C)	熱拡散率 g (m ² /h)
石英	2.635	4.45	0.175	0.00964
花崗岩	—	2.50 ~ 2.65	0.171 ~ 0.188	—
白雲岩	—	3.54 ~ 3.70	0.192 ~ 0.200	—
石灰石	2.670 ~ 2.700	2.29 ~ 2.78	0.179 ~ 0.202	0.00457 ~ 0.00509
長石	2.555	2.00	0.194	0.00405
大理石	2.704	2.11	0.209	0.00374
玄武岩	2.695	1.47	0.183 ~ 0.204	0.00267
砂岩	—	—	0.17	—

(コンクリート工学ハンドブック)

表-4.3 岩石種別による骨材およびこれを用いたコンクリートの熱膨張係数

岩石種別	代表的なシリカ含有率 (Wt%)	骨材の熱膨張係数 (10 ⁻⁴ /°C)				試験した岩石試料の 数	コンクリートの熱膨張係数 (10 ⁻⁴ /°C)	
		最小	最大	最大変化	平均		測定最小値	測定最大値
チャート	94	7.4	13.0	5.6	11.8	50	11.4	12.2
珪石	94	7.0	13.2	6.2	10.3	28	11.7	14.6
石英岩	94	—	—	—	—	—	9.0	13.2
砂岩	84	4.3	12.1	7.8	9.3	43	9.2	13.3
大理石	僅少	2.2	16.0	18.2	8.3	35	4.1	7.4
珪酸質石灰岩	45	3.6	9.7	6.3	8.3	6	8.1	11.0
花崗岩	66	1.8	11.9	10.1	6.8	79	8.1	10.3
輝緑岩	50	4.5	8.5	4.0	6.8	4	—	—
玄武岩	51	4.0	9.7	5.7	6.4	18	7.9	10.4
石灰岩	—	—	—	—	—	—	—	—
砂	5 ~ 95	-1.8	11.7	13.5	5.5	125	4.3	10.3
砂利	—	—	—	—	—	—	9.0	13.7

(マスコンクリート)

4.5 耐久性に関する試験

骨材の耐久性を評価する指標としては、5.2 一般物理試験に述べた、比重および吸水率、骨材の安定性損失重量がある。一般には、これらの値だけで十分判定できると考えるが、これらの指標のうち一部の指標が規格を満たさない場合には、凍結融解試験により骨材の凍結融解耐久性を判定しなければならない。

コンクリートの凍結融解試験の方法は「JIS A 6204 コンクリート用化学混和剤」附属書2に示された方法によることが良い。

骨材の凍結融解耐久性を判定する際には、次の配合条件によるものとする。

表-4.4 凍結融解耐久性試験に用いるコンクリートの配合条件

セメント 種類	粗骨材最大 寸法G _{max} (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	スランプ S _ℓ (cm)	空気量 (%)	混和剤種類
普通ポルト	20~25	55	最適	8.0 ± 1.0	4.5 ± 0.5	天然樹脂酸塩系AE剤

また、試験に供する供試体は、材令1日脱型後、材令14日まで水中20℃の標準養生を行う。

試験は、材令14日で開始する。できれば、その時点で強度（圧縮強度）が十分発現していることを確認しておくのが良い。

5. その他の試験

ダムコンクリート用骨材を選定するためには、4章までの試験を用いて判定すれば良い。しかしながら、環境保護などの観点から他に代替えとなる原石山を見つけることが難しい場合で、対象となる原石山の骨材の試験結果、ある特定の性質のみ規格値を満たすことができない場合がある。

このような場合、対応策として①原石山の賦存量が十分ある場合、特に品質の悪い部分を取り除き他の十分規格値を満足する部分のみ使用する。②コンクリート用骨材として有害な作用を生じないことを確かめた上で使用することが考えられる。また逆に、選定した原石山の賦存量が予想外に少ない場合もある。

このような場合も上記②のような方法によることが考えられる。

いずれの場合にも、地質鉱物学およびコンクリート工学の専門家と相談の上、十分な実験的な検討の上、最良と考えられる方法を選定することが重要である。

このような場合行われる試験として、次のようなものがある。

- ・ 岩石自体の特性に関する試験
 - ① スレーキング試験（非拘束水浸試験）
 - ② 膨張量試験（側方拘束水浸試験）
 - ③ （岩石の）凍結融解試験
 - ④ （岩石の）安定性試験（JIS A 1122 準拠）
 - ⑤ エチレングリコール浸折試験
- ・ コンクリートとしての特性に対する試験
 - ⑥ コンクリートの乾湿繰り返し試験
 - ⑦ ウェザーリング試験（日射試験）
 - ⑧ 暴露試験
 - ⑨ 摩損試験
 - ⑩ アルカリ骨材反応性試験（コンクリートによる方法、アルカリ炭酸塩反応試験）

6. 配合試験の概要

6.1 配合試験の実施手順

例えば一般的な重力ダムでは、内部コンクリート、外部コンクリート、構造物コンクリート、岩着コンクリートの計4種類の配合を少なくとも定めなければならない。

ダムコンクリートの配合は、一般の鉄筋コンクリートの配合と比較して次のような特徴を有する。

- ① 内部鉄筋はほとんどなく（構造物コンクリートを除く）、骨材最大粒径が大きい。
- ② 他に類のないマスコンクリートであるため、内部コンクリートをはじめとして温度規制の面から単位セメント量に、最大量に制限が設けられる。特に内部コンクリートにおいては厳しい制限が与えられる。
- ③ 強度は一般鉄筋コンクリートと比べてそれほど高くなくとも十分である。また、材令初期の発現強度も比較的要求されない。

このため、図－6.1に示すような一般の鉄筋コンクリートにおける配合設計手順は通常とられない。土木学会のコンクリート標準示方書ダム編では図－6.2に示す配合設計手順が例示されている。また、図－6.3のような配合設計手順でも、ダムコンクリートとして所有の性質を有するコンクリートの配合を定めることができると考える。

6.2 結果の評価方法について

6.1で述べたようにダムコンクリートでは、他のコンクリートと違い、温度規則等に十分注意しなければならない。このため、内部コンクリート（およびそれに相当するコンクリート）では、配合設計の結果決定された配合を用いて実際に断熱温度上昇曲線を実験により求め、温度規制計画で検討した温度上昇量の範囲に収まることを確認することが望ましい。

また、得られた各部分の配合が、適当であるかどうか判定する際、過去の同形式同規模のダムにおける配合と比較することも有効である。骨材として用いる岩の岩種等により、多少配合は変化するが、同様の岩種を用いた場合の配合の実績と同程度のものであれば、施工上も大きな問題を生じることなくダムを建設することができると考える。

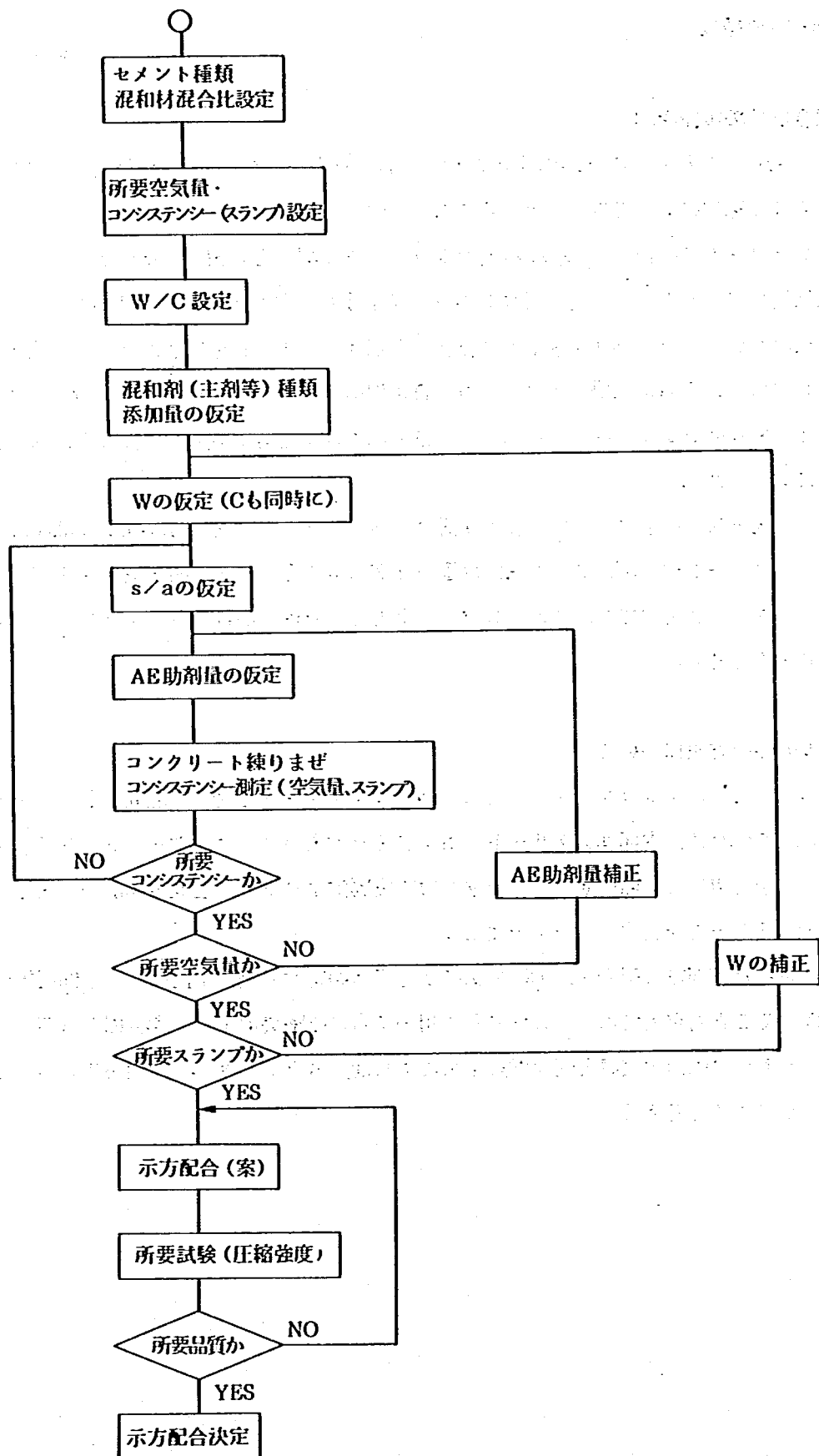


図- 6.1 一般の鉄筋コンクリートにおける配合設計例

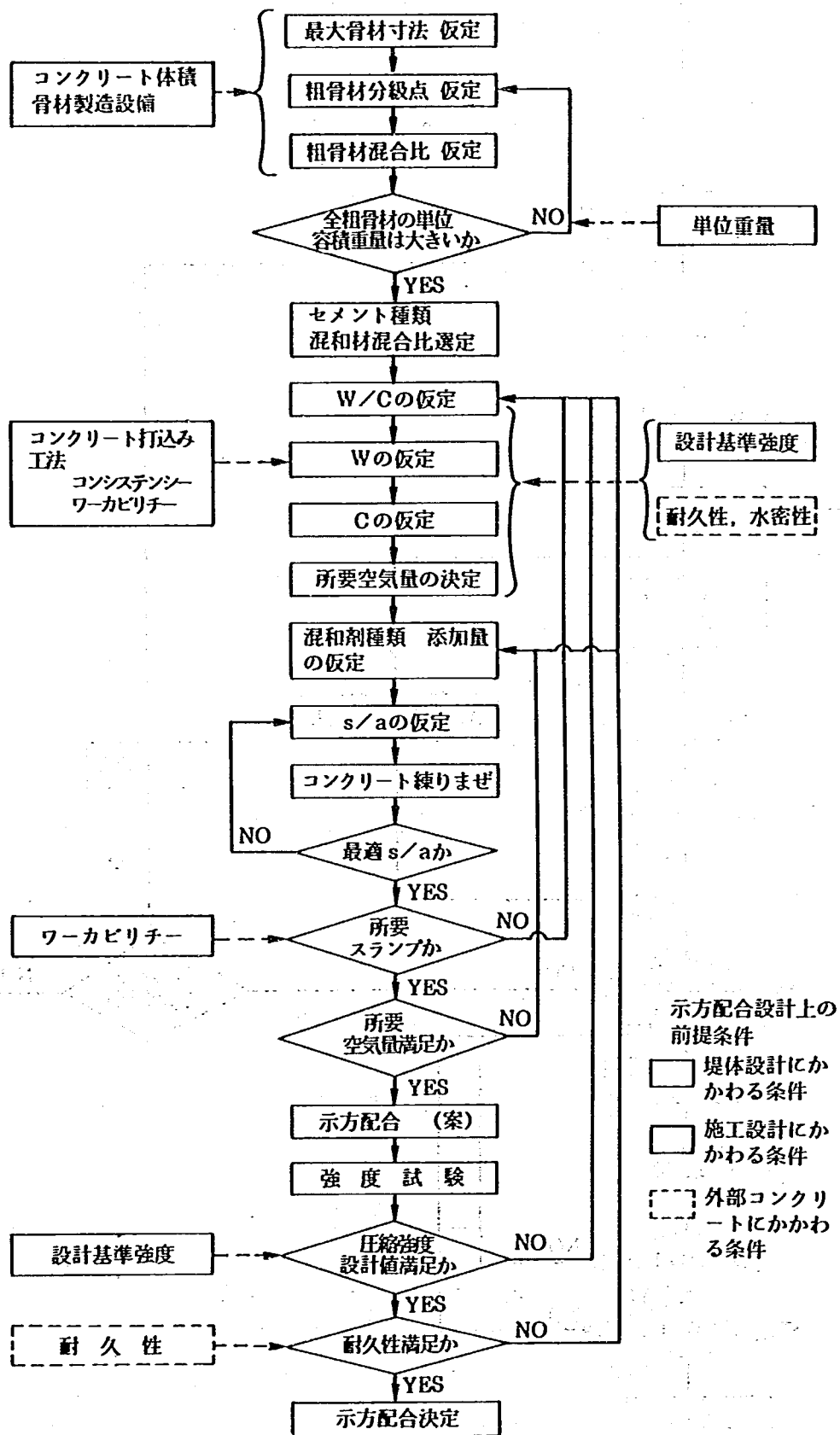
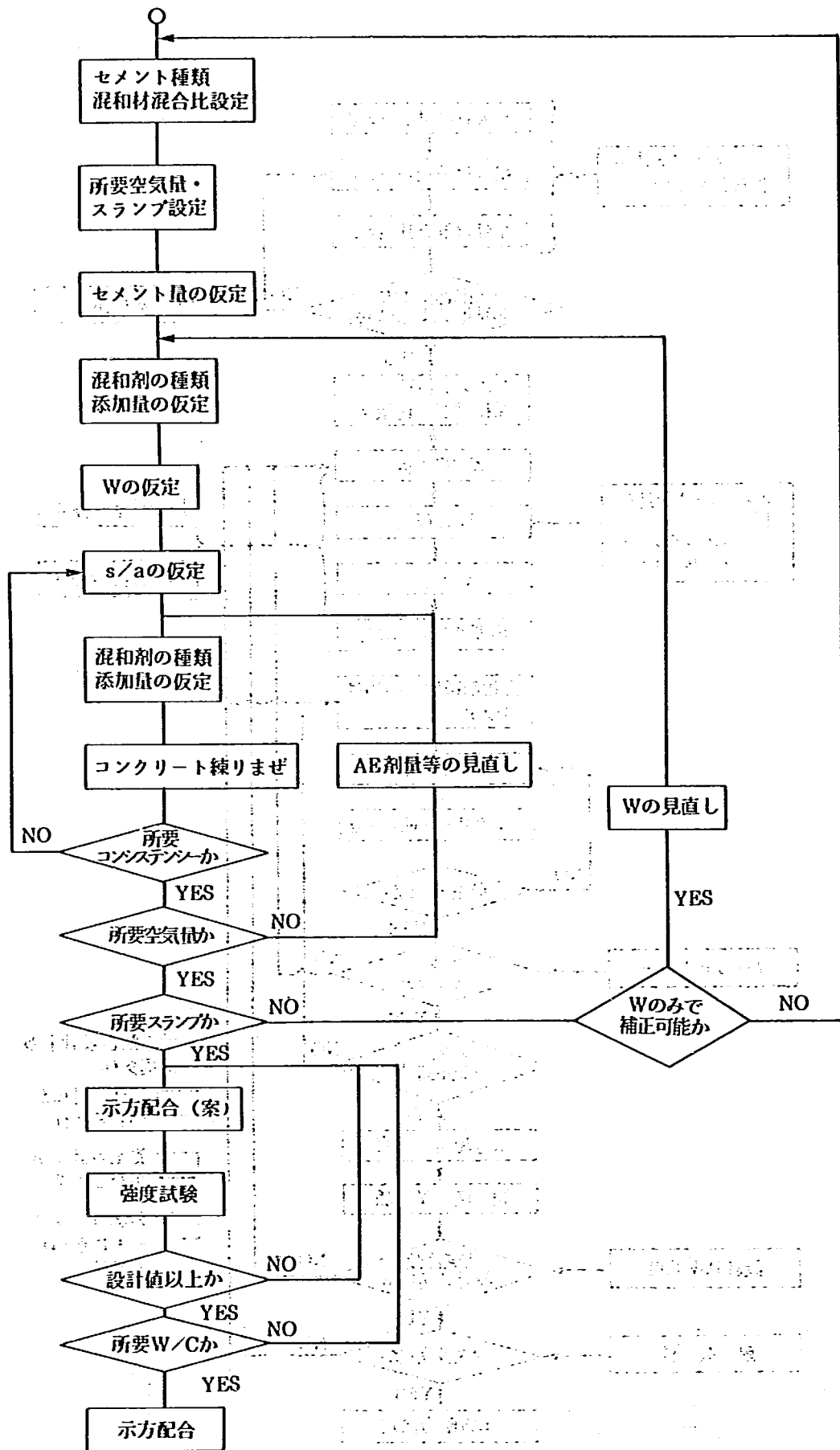


図-6.2 ダムコンクリート示方配合設計フローチャート²⁰⁾



図ー 6.3 ダムコンクリートにおける配合設計フロー(案)

参考文献リスト

- 1) 全国河川総合開発促進期成同盟会編；日本の多目的ダム，1980，山海堂，1980年3月
- 2) 国土開発技術研究センター；ダムコンクリートの耐久性評価に関する業務報告書，1983年度，1983年
- 3) 市川慧；ダムの原石山の選定について，ダム技術，Vol.5-3，ダム技術センター，1987年
- 4) 桑原啓三；岩石岩盤の劣化，ダム技術，Vol.1-4，pp37~46，ダム技術センター，1983年
- 5) 菅原捷；岩石材料の耐久性とその試験，ダム技術，Vol.3-3，pp52~59，ダム技術センター1985年
- 6) 鈴木徳行，坂田俊之；RCDコンクリートの諸問題—島地川ダムにおける合理化施工—，セメントコンクリート，No.399，pp28~36，セメント協会，1980年5月
- 7) 小宮山克治；大川ダムのマット部におけるRCDコンクリート，セメントコンクリート，No.407，pp38~45，セメント協会，1981年1月
- 8) 根上義昭，嶋田洋，奥村忠彦；150mmの粗骨材を用いたRCDコンクリート—新中野治水ダム減勢工部の施工—，セメントコンクリート，No.420，pp26~35，セメント協会，1982年2月
- 9) 原田譲二；RCD工法による玉川ダムの施工，セメントコンクリート，No.457，pp49~58，セメント協会，1958年3月
- 10) 市川慧，平野勇；目で見えるダムの地質調査（その1）～（その3），ダム技術，Vol.5-4，Vol.6-1，Vol.6-2，ダム技術センター，1987~1988年
- 11) ダム技術センター；ダム技術，Vol.3，増刊No.1，コンクリートダムの新施工法，ダム技術センター，1985年1月
- 12) ダム技術センター；ダム技術，No.26，合理化施工特集号，ダム技術センター，1988年10月
- 13) 三木幸蔵；わかりやすい岩石と岩盤の知識，鹿島出版会，1982年5月
- 14) L・ドラーマントアニ，洪悦郎，鎌田英治訳；コンクリート骨材ハンドブック，技術書院，1987年4月
- 15) 鈴木徳行，田中道弘，岩田泰之，坂田俊之；RCDコンクリートによる島地川ダムの合理化施工，土木学会誌，Vol.65-11，pp1~7，土木学会，1980年11月
- 16) 志水茂明，竹村公太郎；RCDコンクリートによる上流仮締切の試験施工，コンクリート工学，Vol.16，No.4，コンクリート工学協会1978年4月
- 17) 広瀬利雄，柳田力；コンクリートダムの新しい施工方法—RCDコンクリートによる施工—，セメントコンクリート，No.377，セメント協会，1978年7月
- 18) 三浦豊，小寺幸男；RCDコンクリートによる一次締切の施工について，ダム技術，Vol.1-4，ダム技術センター，1983年
- 19) 土木学会；ダムの地質調査（第2版），土木学会，1986年10月
- 20) 土木学会；コンクリート標準示方書，土木学会，1986年10月
- 21) 岡田清，六車照；コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，1981年11月

付属資料-2 ダムとその使用材料

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m3)	粗骨材 種類 岩種	細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法			
							種類	比重	種類	比重	内部 (kg/m3)	外部				内部	外部	
11	石狩川	豊平峡	A	102.5	28.5	砕石	石英安山岩	2.52	川砂	2.56	中庸熱		210	47.6	47.6	ボゾリス8	2.32	パイプ
26	北上川	鳴子	A	94.5	18.0	砕石	花崗岩	2.53	川砂	2.54	中庸熱	190	230	50.0	46.0	ビンソル	2.30	パイプ
27	北上川	鳴子	A			砕石	安山岩											
28	北上川	鳴子	A			砕石	凝灰岩											
29	名取川	大倉	A		22.6	砕石	安山岩	2.81	砕砂	2.82	高炉	170	230	61.0	45.0	ボゾリス8	3.06	パイプ
35	利根川	川治	A	140.0	65.0	砕石	安山岩	2.69	砕砂		中庸熱		230	43.0		ボゾリス5L8	2.35	パイプ
36	利根川	川俣	A	117.0	14.7	川砂利	安山岩	2.72	川砂	2.28	中庸熱	230	265	45.0	45.0	ボゾリス8	2.40	パイプ
37	利根川	川俣	A			川砂利	閃緑岩											
38	利根川	川俣	A			川砂利	花崗岩											
44	荒川	二瀬	A	95.0	35.6	川砂利	輝緑岩	2.64	川砂	2.62	高炉	160	200	56.0	44.0	ボゾリス8		パイプ
45	荒川	二瀬	A			川砂利	角岩									ボゾリス10		
46	荒川	二瀬	A			川砂利	輝緑凝灰岩											
47	荒川	二瀬	A			川砂利	石灰岩									ボゾリス114	2.35	パイプ
59	天竜川	小波	A	105.0	26.9	川砂利	硬砂岩	2.72	川砂	2.67	中庸熱		230		38.7	ボゾリス8	2.30	パイプ
60	矢作川	矢作	A	100.0	30.9	砕石	花崗岩	2.65	砕砂	2.65	中庸熱		220		22.7	マジノン100	2.35	パイプ
69	九頭竜川	真名川	A	127.5	50.7	砕石	砂岩	2.60	砕砂	2.60	中庸熱		220		51.0	ボゾリス8		パイプ
70	九頭竜川	真名川	A				礫岩											
72	淀川	天ヶ瀬	A	73.0	121.6	砕石	砂岩	2.64	砕砂	2.59	中庸熱		230		47.8	ボゾリス8	2.35	パイプ
73	淀川	天ヶ瀬	A			砕石	粘版岩											
98	筑後川	下釜	A	98.0	28.2	砕石	安山岩	2.50	砕砂	2.50	中庸熱	160	231	68.0	43.0	ボゾリス	2.30	
102	球磨川	川辺川	A	107.5	22.0	砕石	砂岩											
107	利根川	矢木沢	A	131.0	57.0	砕石	石英粗面岩	2.53	砕砂	2.50	中庸熱		230		46.0	ボゾリス8	2.35	ブレ、パイ
124	淀川	青蓮寺	A	82.0	17.5	砕石	花崗片麻岩	2.65	砕砂	2.63	中庸熱		230		45.0	ボゾリス8	2.30	パイプ
192	裾花川	裾花	A	83.0	13.1	砕石	安山岩	2.69	砕砂	2.67	中庸熱	210	280	50.0	49.7	ボゾリス8	2.35	パイプ
205	井田川	室牧	A	80.5	5.7	川砂利	花崗岩	2.65	川砂	2.65	高炉		210		43.0	ボゾリス8	2.35	パイプ
212	大千瀬川	新豊根	A	116.5	33.9	砕石	花崗岩	2.71	砕砂	2.69	中庸熱		230		46.0	サンフロR	2.35	パイプ
300	北川	北川	A	82.0	6.2	砕石	花崗斑岩	2.57	岩砕	2.54	中庸熱		220		50.9	ボゾリス	2.30	パイプ
301	北川	北川	A													ビンソル		
308	綾川	綾北	A	75.3	6.1	砕石	砂岩	2.67	砕砂	2.64	高炉	220	230	53.6	47.2	ボゾリス	2.30	
22	北上川	四十四田	E G	50.0	29.0	川砂利	安山岩	2.56	川砂	2.43	普通	170	270	51.8	43.3	ボゾリス	2.30	パイプ

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ	体積	粗骨材		細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却方法		
						種類	岩種	比重	種類	比重	種類	内部	外部				内部	外部
				(m)	(万m3)	(kg/m3)												
23	北上川	四十四田	E G		9.2	川砂利	流紋岩											
24	北上川	四十四田	E G			川砂利	頁岩											
1	天塩川	岩尾内	G	58.0	39.4	川砂利	砂岩	2.63	砕砂	2.55	高炉	160	210	64.4	49.0	ボゾリス8	2.35	パイプ
2	天塩川	岩尾内	G			川砂利	安山岩											
6	常呂川	鹿ノ子	G	55.5	19.6	川砂利	安山岩	2.60	川砂、砕砂	2.53	中庸熱	160	220	44.5	61.3	ボゾリス8	2.30	パイプ
7	石狩川	桂沢	G	63.6	35.0	砕石	砂岩	2.54	海砂、砕砂	2.68	普通	170	230	51.8	43.3	ビンソル	2.35	
8	十勝川	十勝	G	84.3	54.1	砕石	角斑器粘板岩	2.63	シルト質粘	2.71								
10	石狩川	定山溪	G	112.5	115.0	砕石	安山岩	2.54	砕砂	2.60								
16	岩木川	目屋	G	58.0	11.8	砕石	黒雲母閃緑岩	2.73	砕石	2.90	高炉	165	230	68.0	52.0	ビンソル	2.43	散水
19	北上川	田瀬	G	81.5	42.4	川砂利	安山岩	2.62	川砂	2.56	普通	180	230	57.0	48.2	ビンソル	2.39	
30	名取川	釜房	G	45.5	10.0	砕石	安山岩	2.60	砕石	2.60	中庸熱	170	220	67.6	52.3	ボゾリス	2.35	パイプ
31	雄物川	鎧畑	G	58.5	19.2	川砂利		2.61	川砂	2.42	高炉	160	240	62.5	50.0	ビンソル	2.35	
34	利根川	五十里	G	112.0	47.5	川砂利	砂岩		川砂	2.69	中庸熱	170	230	68.0	48.0	ビンソル	2.35	パイプ
39	利根川	藤原	G	95.0	41.7	砕石	石英粗面岩	2.58	砕石	2.54	普通	160	220	65.7	51.8	ビンソル	2.53	プレ
40	利根川	相俣	G	67.0		川砂利	輝石安山岩	2.60	川砂	2.55	シリカ	165	220	60.0	55.0	ボゾリス8	2.41	
41	利根川	相俣	G			川砂利	輝石安山岩	2.66	川砂	2.56	普通		230		51.0	ビンソル		
42	利根川	園原	G	76.5	20.7	川砂利	安山岩	2.61	川砂	2.63	高炉		220			ボゾリス810	2.35	
43	利根川	八ッ場	G	131.0	160.0	砕石	安山岩		砕砂									
48	相模川	宮ヶ瀬	G	155.5	220.0	砕石	凝灰質粗粒砂	2.60	砕砂									
49	荒川	大石	G	87.0	40.0	川砂利	花崗岩	2.60	砕石	2.50	中庸熱	160	220	68.7	50.0	ビンソル	2.35	パイプ
50	阿賀野川	大川	G	78.0	100.0	川砂利	安山岩	2.66	川砂	2.59	中庸熱	160	220	85.0		ビンソル	2.35	パイプ
51	阿賀野川	大川	G			砕石	花崗岩		砕石									
53	黒部川	宇奈月	G	97.0	52.0	川砂利	花崗岩	2.67	川砂	2.60	中庸熱	160	220	56.2	45.5		2.40	パイプ
55	大井川	長島	G	112.0														
56	天竜川	美和	G	69.1	28.6	川砂利	片麻岩		川砂		中庸熱	170	245			ビンソル	2.40	
57	天竜川	美和	G			川砂利	石墨片岩											
58	天竜川	美和	G			川砂利	緑泥片岩											
62	木曽川	丸山	G	98.2	49.7	川砂利	花崗岩	2.62	砕砂	2.60	中庸熱	165	240	62.4	44.2	ビンソル	2.35	パイプ
63	木曽川	丸山	G			川砂利	石英斑岩											
64	木曽川	丸山	G			川砂利	ひん岩											

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m3)	種類	粗骨材 岩 種	比重	種類	比重	セメント 種類	W/C				混和剤	比重	冷却 方法
												内部 (kg/m3)	外部	内部	外部			
67	楠田川	運	G	78.0	48.4	碎石	砂質片岩	2.66	砕砂	2.60	中庸熱					ビンソル	2.36	パイプ
68	楠田川	運	G			碎石	黒色片岩	2.67										
71	由良川	大野	G	61.4	16.7	碎石	輝緑凝灰岩	2.83	砕砂	2.75	高炉	165	225	71.0	63.0	ビンソル		
74	紀の川	大滝	G	100.0	94.0	碎石	砂岩	2.60	砕砂									
75	新宮川	猿谷	G	74.0	17.4	川砂利	砂岩		川砂		中庸熱	180	230	57.8	45.2	ビンソル		パイプ
76	日野川	菅沢	G	73.5	20.4	碎石	花崗岩	2.60	砕砂	2.54	高炉	170	230	60.0	45.0	ビンソル		
78	太田川	温井	G	155.0	155.0	碎石	花崗岩		砕砂									
79	江の川	土師	G	50.0	20.7	碎石	流紋岩	2.63		2.53	高炉	160	210		55.0	ボゾリス8	2.35	パイプ
80	芦田川	八田原	G	84.9	65.0													
85	小瀬川	弥栄	G	120.0	160.0													
86	佐波川	島地川	G	88.0	31.0	碎石	砂質片岩	2.70	砕砂	2.66	フライC	120	220			ボゾリス8	2.40	
87	佐波川	島地川	G			碎石	黒色片岩									ボゾリス8	2.40	
88	物部川	永瀬	G	77.0	39.2	川砂利	砂岩	2.64	海砂, 川砂	2.62	中庸熱	180	245	58.2	42.6	ビンソル	2.43	プレ
89	仁淀川	大渡	G	96.0	86.4	碎石	砂岩	2.64	砕砂	2.63	中庸熱	150	210	65.0	50.0	ビンソル		パイプ
90	重信川	石手川	G	87.0	41.0	碎石	花崗閃緑岩	2.76	砕砂	2.67	高炉B	160	220	66.0	50.0	ビンソル	2.32	パイプ
91	肱川	鹿野川	G	61.0	16.0	川砂利		2.66	川砂	2.62	高炉	180	250	67.0	55.0	プロテックス	2.37	
92	肱川	野村	G	60.0	25.2	碎石	砂岩	2.64	砕砂	2.62	高炉B	150	210	69.0	52.0	ビンソル	2.35	パイプ
93	山国川	耶馬溪	G	65.0	34.0	碎石	安山岩	2.58	砕砂	2.60	高炉	160	210	61.6	50.0	ビンソル		パイプ
94	松浦川	蔵木	G	117.0	104.0	碎石	片岩	2.80	砕砂	2.00		160	220	72.5	54.5	ビンソル	2.37	パイプ
95	松浦川	蔵木	G			碎石	花崗岩											
96	筑後川	松原	G	83.0	29.4	碎石	複輝石角閃石	2.66	砕砂	2.62	中庸熱	160	360	53.0	68.0	ビンソル	2.35	
97	筑後川	松原	G	98.0	28.2	碎石												
99	緑川	緑川	G	76.5	36.7	碎石	砂岩	2.61	砕砂	2.60	高炉B	160	215	69.0	51.0	ボゾリス8	2.39	パイプ
101	球磨川	市房	G	78.5	31.2	碎石		2.63	川産	2.58	高炉					ビンソル	2.30	クーリング
103	川内川	鶴田	G	117.5	111.9	碎石	砂岩	2.59	砕砂	2.60	高炉	155	215	67.7	45.6	ボゾリス8	2.26	パイプ
104	川内川	鶴田	G													マジノン100		
109	利根川	下久保	G	129.0	119.0	碎石	砂岩	2.65										
110	利根川	草木	G	140.0	132.1	碎石	粘板岩	2.66	砕砂	2.62	高炉	160	210	77.1	51.4	ビンソル	2.40	パイプ
111	利根川	草木	G				砂岩											
112	利根川	草木	G				チャート											

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m³)	粗骨材 種類	岩 種	比重	細骨材 種類	比重	セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法	
											内部	外部	内部	外部				
											(kg/m³)							
114	荒川	滝沢	G	140.0	180.0	碎石	砂岩	2.64	砕砂	2.60						2.35		
125	淀川	室生	G	63.5	15.3	碎石	溶結凝灰岩	2.52	砕砂	2.52						2.25		
126	淀川	布目	G	72.0	37.0													
127	淀川	一庫	G	75.0	45.0	碎石	花崗閃緑岩	2.75	砕砂	2.75	普通	140	210	75.0	50.0	A E	2.45	パイプ
129	吉野川	池田	G	24.0	5.8	川砂利	砂岩	2.65	川砂	2.62	普通		210		55.0	A E		
130	吉野川	池田	G				片岩											
131	吉野川	新宮	G	42.0	8.0	砕砂	砂質片岩	2.70	砕砂	2.63	高炉	160	220	71.9	51.3	ボゾリス8	2.35	
132	吉野川	早明浦	G	106.0	120.0	碎石	角閃岩	2.98	砕砂	2.90	中庸熱	150	210	58.0	46.0	ビンソル	2.65	パイプ
135	小平愛川	小平	G	42.4	24.0	碎石	玄武岩	2.76	碎石	2.70							2.35	パイプ
136	愛別川	愛別	G	39.0	18.5													
137	美唄川	美唄	G	35.5	8.6	碎石	砂岩	2.60	川砂	2.57	フライ B	170	230			ビンソル		パイプ
139	浅瀬石川	沖浦	G	40.0	7.9	碎石	安山岩		川砂	2.69	普通	225	250	60.0	45.0		2.40	散水
140	浅瀬石川	沖浦	G			川砂利												
141	中津川	網取	G	59.0	20.0	碎石	石灰岩	2.71	砕砂	2.66	中庸熱	150	210	69.3	49.5	ボゾリス8	2.44	パイプ
142	夏油川	入畑	G	80.0	28.0													
143	一迫川	花山	G	47.8	4.5	川砂利	安山岩	2.55	川砂	2.54	高炉	160	200	60.0		ボゾリス8	2.30	散水
146	早口川	早口	G	61.0	19.9	碎石	安山岩	2.65	砕砂	2.61	普通	170	210	64.7	52.0	ビンソル	2.35	
147	柏毛川	桑波里	G	72.0	11.5	碎石	安山岩	2.60	砕砂	2.61	普通	170	210	64.0	52.0	ビンソル	2.35	パイプ
148	小又川	森吉	G	62.0	7.5	川砂利	安山岩		川砂	普通		18	200					
149	小又川	森吉	G			碎石			碎石									
150	小阿仁川	萩形	G	61.0	11.1	碎石	安山岩	2.65	碎石	2.64	フライ A	170	230	63.0	47.0	ボゾリス8	2.35	パイプ
151	三内川	岩見	G	66.5	19.7	碎石	花崗岩	2.63	砕砂	2.58	中庸熱	170	210	56.5	45.7	ボゾリス8	2.30	パイプ
152	鮭川	高坂	G	57.0	6.6	碎石	粗粒玄武岩	2.64	砕砂	2.63	フライ A	119	154			ボゾリス8	2.35	
153	赤川	荒沢	G	61.0	15.9	碎石	花崗岩	2.65	砕砂, 川砂	2.60	中庸熱	180	230			ボゾリス8	2.36	プレ
158	野川	菅野	G	44.5	3.7	川砂利	花崗岩	2.65	川砂	2.63	高炉	190	220				2.26	
159	阿賀野川	東山	G	71.0	29.5	碎石	石英安山岩	2.43	砕砂	2.43		160	216	60.6	50.0	減水剤	2.23	
160	真野川	真野	G	68.0	24.0	碎石	花崗岩	2.70	砕砂	2.66	中庸熱 F	120		85.8				
161	鮫川	高柴	G	59.5	12.5	川砂利	角閃片岩	2.83	川砂	2.59	普通	160	230	62.4	44.3	ビンソル	2.40	
163	大北川	水沼	G	33.7	4.0	砂利	閃緑岩	2.83	海砂	2.63	普通	172	225	152.0	110.0	ビンソル	2.35	
164	花貫川	花貫	G	45.3	17.0	碎石	角閃岩	2.80	海砂	2.57	普通	170	230	40.4	43.3	ビンソル	2.35	

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

№	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m3)	粗骨材		細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法	
						種類	岩 種	比重	種類	比重	種類	内部 (kg/m3)	外部				内部
165	藤井川	藤井川	G	37.5	4.8	川砂利	安山岩		川砂		普通	180	245	53.0	75.0		2.35
166	山田川	竜神	G	45.0	4.7	碎石	角閃岩	2.80	海砂	2.60	普通	179	220	52.6	43.6	ビンソル	2.42
167	十王川	十王	G	49.7	15.0	碎石	角閃岩	2.80	海砂	2.60	普通						
168	帯川	塩原	G	60.0	11.5	川砂利		2.60	川砂利	2.54	中庸熱	170	230	60.0	45.0	ボゾリス8	2.35
169	大谷川	中禅寺	G	6.4	0.2	川砂利		2.65	川砂	2.62	普通		220		60.0	ボゾリス	2.25
170	吾妻川	品木	G	43.5	5.7	川砂利	安山岩	2.63	川砂	2.53	シリカ	180	230	60.0	50.0	ビンソル	2.40
171	桐生川	桐生川	G	61.5	32.4	碎石	輝石凝灰岩	2.91	砕砂	2.89	中庸熱	170	226	65.0	50.0	ボゾリス8	2.56
172	小櫃川	亀山	G	34.5	8.0	碎石	蛇紋岩	2.85	碎石	2.67	フライ B	180	220	55.0	50.0	ボゾリス8	2.45
173	小櫃川	亀山	G				塩基性噴出										
174	相模川	城山	G	75.0	36.2	碎石	砂岩	2.71	川砂	2.60	中庸熱フ	180	210	48.9	39.1	ビンソル	2.43
175	相模川	城山	G				粘板岩										
176	相模川	相模	G	58.4	17.4	川砂利	砂岩		川砂	2.65			250	55.0			
177	相模川	相模	G				安山岩										
178	酒匂川	三俣	G	95.0	18.3	川砂利	角礫凝灰岩	2.71	川砂	2.58	フライ B		225		60.0	ボゾリス5L	2.48
179	酒匂川	三俣	G				石英閃緑岩										
180	三面川	三面	G	82.5	27.0	川砂利	花崗岩	2.63	川砂	2.54	普通	180	220	62.0	58.0	ビンソル	2.36
181	三面川	三面	G				粘板岩		海砂							ボゾリス	
184	五十嵐川	笹堀	G	74.5	24.0	碎石	石英粗面岩	2.53	川砂、砕砂	2.35	普通	122.4	165.6	69.3	47.3	ボゾリス	2.30 バイブ
185	早出川	早出川	G	82.5	35.7	碎石	砂岩	2.90	砕砂	2.90	中庸熱	160	220	70.5	50.0	ボゾリス8	2.40 バイブ
186	刈谷田川	刈谷田	G	83.5	21.4	川砂利		2.72	川砂	2.62	中庸熱	160	220	56.2	40.9	ボゾリス8	2.41 バイブ
187	破間川	破間川	G	93.5	41.0	碎石	石英粗面岩	2.39	砕砂	2.49	中庸熱	160	220	73.8	53.6	ボゾリス8	2.25 バイブ
188	正善寺川	正善寺川	G	47.0	19.3	山砂利	安山岩	2.58	山砂	2.59	中庸熱	140	220	67.1	42.7	ボゾリス8	2.48
189	久知川	久知川	G	51.0	8.6	碎石	安山岩	2.60	川砂	2.58	高炉	140	220	71.9	52.3	ボゾリス8	2.40
190	国府川	大野川	G	47.0	11.5	碎石	安山岩	2.63	川砂	2.54	高炉	160	220	77.0	55.0	ボゾリス8	2.33
193	松川	松川	G	84.3	25.2	碎石	ホルンフェル	2.76	砕砂	2.65	中庸熱	160	220	73.0	52.0	ボゾリス8	2.35 バイブ
194	裾花川	奥裾花	G	59.0	15.2	碎石		2.69	砕砂	2.69	高炉	160	202	73.1	47.5	ボゾリス5L8	2.32 バイブ
197	内村川	内村	G	51.3	20.0	碎石		2.70	砕砂	2.60	高炉	160			55.0	ボゾリス8	2.30
199	上市川	上市川	G	64.0	13.4	川砂利	花崗岩	2.65	川砂	2.65	高炉	170	210	50.7	44.2	ボゾリス8	2.35 バイブ
200	和田川	和田川	G	21.0	2.4	川砂利	石英粗面岩	2.65	川砂	2.65	高炉	180	200	51.6	48.0	フリオブラス	バイブ
201	和田川	和田川	G				輝閃片麻岩										

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m3)	粗骨材		細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法		
						種類	岩 種	種類	比重	種類	内部 (kg/m3)	外部	内部				外部	
204	熊野川	熊野川	G	89.0	38.5	碎石	花崗岩	2.61	砕砂	2.61	中庸熱	150	210	45.0	60.0	ビンソル	2.30	パイプ
206	利賀川	利賀川	G	39.0	4.1	碎石	片麻岩	2.63	砕砂	2.65	普通	190	250		50.0		2.32	
208	厚川	厚川	G	72.0	15.3	碎石	片麻岩	2.74	砕砂	2.70	中庸熱	160	220	72.0	53.0	ボゾリス	2.35	パイプ
209	厚川	内川	G	81.0	18.6	碎石	石英安山岩	2.41	砕砂	2.43	高炉	170	230	67.0	51.8	ビンソル	2.18	パイプ
210	大聖寺川	我谷	G	56.5	7.8	碎石	安山岩	2.75	砕砂	2.77	高炉	160	220	75.0	55.0	ビンソル	2.45	
211	大聖寺川	九谷	G	71.0	30.0													
213	宮川	宮川	G	88.5	38.9	碎石	輝緑岩	2.96	碎石	2.92	普通	165	230	67.4	53.4	ビンソル	2.33	
214	宮川	宮川	G			川砂利	砂岩	2.60	川砂	2.53								
215	八手俣川	君ヶ野	G	73.0	33.1	碎石	片麻状花崗岩	2.64	碎石	2.62	フライア	180	230	52.0	41.5	ビンソル	2.30	
216	真名川	笹生川	G	76.0	22.5	碎石	石灰岩				中庸熱	170	230	73.0	53.0	ビンソル		パイプ
217	日野川	広野	G	63.0	14.3	碎石	砂岩	2.62	砕砂		中庸熱	170	210	59.0	52.0	ビンソル		散水
218	竹田川	山口	G	79.5	33.5	碎石	安山岩	2.64	碎石	2.61	中庸熱	150	210	60.6	43.3	ボゾリス8	2.41	パイプ
219	引原川	引原	G	66.0	18.0	碎石		2.65	砕砂	2.65	普通	170	220	68.8	56.9	ビンソル	2.27	
220	市川	生野	G	56.5	15.0	碎石	閃緑岩	2.78	砕砂	2.70	高炉	160	220	70.0	53.0	ビンソル	2.40	
221	布留川	天理	G	60.5	19.3	碎石	花崗岩	2.60	碎石	2.60	高炉B	160	220	65.5	47.7	マジノン	2.40	散水
222	有田川	二川	G	67.4	20.9	川砂利	砂岩	2.61	川砂利	2.59	普通	180	220	48.9	39.5	マジノン		パイプ
223	日高川	椿山	G	56.5	24.0													
224	古座川	七川	G	58.5	9.6	川砂利	砂岩	2.60	川砂利	2.65	中庸熱	180	220	60.0	50.0	ビンソル	2.35	
225	美田川	美田	G	26.8	1.8	碎石	安山岩	2.77	砕砂	2.76	高炉	160	210	73.8	55.7	サンフロR	2.53	散水
226	飯梨川	布部	G	55.7	12.5	碎石	花崗岩	2.60	砕砂	2.58	高炉	150	230	58.0	48.0	サンフロ	2.33	散水
227	山佐川	山佐	G	56.0	11.1	碎石	中粗粒花崗岩	2.60	砕砂	2.50	高炉B	160	210	64.4	47.0	ボゾリス8	2.30	散水
228	八戸川	八戸	G	72.0	19.4	碎石	安山岩質凝灰	2.79	砕砂	2.78	高炉B	160	210	66.0	48.0	サンフロR	2.25	パイプ
229	浜田川	浜田	G	58.0	10.7	碎石	凝灰角礫岩	2.59	砕砂、海砂	2.58	高炉	160	220	60.6	44.1	ボゾリス8	2.49	散水
230	旭川	湯原	G	70.0	21.9	碎石	輝石ひん岩	2.71	砕砂	2.71	普通	180	230	75.0	58.0	ビンソル	2.35	パイプ
231	高梁川	千屋	G	90.0	55.0													
233	旭川	旭川第一	G	45.0	14.6	川砂利		2.66	川砂	2.63	普通	180	220	65.0	55.0		2.33	
234	高瀬川	高瀬川	G	67.0	17.4	碎石	石灰岩	1.45	砕砂	1.45	高炉B	150	210	67.3	49.5	ボゾリス8	2.40	パイプ
235	黒瀬川	二級	G	32.0	2.0	碎石	花崗岩	2.65	川砂	2.60	普通	200	320	60.0	57.0		2.30	
236	沼田川	椋梨	G	39.5	7.0	碎石	花崗岩	2.60	砕砂	2.56	普通	210	290	65.0	45.0	ビンソル	2.31	
237	八幡川	魚切	G	77.5	31.5	碎石	花崗岩	2.60	砕砂	2.54	高炉B	160	210			サンフロR	2.30	パイプ

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m3)	粗骨材		比重	細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法	
						種類	岩 種		種類	比重	種類	内部 (kg/m3)	外部 (kg/m3)	内部				外部
238	八幡川	魚切	G												ボゾリス8			
239	小瀬川	小瀬川	G	49.0	9.6	碎石	花崗岩	2.60	砕砂	2.55	高炉	180	230		ボゾリス	2.30		
241	佐波川	佐波川	G	54.0	9.8	碎石	花崗岩	2.65	川砂	2.65	高炉		230			2.34		
242	木屋川	木屋川	G	41.0	8.5	碎石	珪岩	2.78	川砂	2.67	中庸熱	180	220					
243	錦川	生見川	G	90.0	43.1	碎石	花崗岩	2.60	砕砂	2.68	フライ C	160		63.8	サンフロ R	2.34	パイプ	
244	錦川	向道	G	43.3	4.2	碎石			川砂	2.65	中庸熱	200	245			2.35		
245	錦川	菅野	G	87.0	38.4	碎石	砂岩	2.65	砕砂	2.65	中庸熱	170	220		ビンソル		パイプ	
246	富田川	川上	G	63.0	10.8	碎石	黒色片岩	2.71	碎石	2.68	フライ C	160	340	48.0	62.5	ボゾリス8	2.44	パイプ
247	富田川	川上	G												サンフロ R			
248	厚東川	厚東川	G	38.8	6.2	碎石	花崗岩	2.65	川砂	2.65	普通	245	330				2.36	
249	柳井川	黒抗川	G	35.0	6.9	碎石	砂岩	2.72	海砂	2.56	普通	170	220		ボゾリス	2.30		
250	宮川内谷川	宮川内	G	36.0	4.0	川砂利	砂岩	2.62	川砂	2.62	普通	165	220	45.0	31.0	ビンソル	2.34	
251	宮川内谷川	宮川内	G				安山岩				高炉							
252	勝浦川	正木	G	67.0	24.9	碎石	砂岩	2.63	砕砂	2.63	高炉	160	220	71.3	51.8	ビンソル	2.30	パイプ
253	那賀川	長安口	G	85.5	30.0	碎石	砂岩	2.54	砕砂、川砂	2.64	普通	170	230	58.0	45.0	ビンソル	2.35	
254	伝法川	殿川	G	35.6	6.6	碎石	安山岩	2.78	海砂	2.58	高炉	170	220	62.0	45.5	ビンソル	2.30	
256	安田大川	粟地	G	45.8	13.5	碎石	玄武岩	2.88	海砂	2.54	高炉	160	210	62.1	44.0	ボゾリス8	2.30	
257	津田川	大川	G	36.0	3.6	川砂利	砂岩	2.55	川砂	2.52	高炉	170	220	62.0	47.0	ボゾリス8	2.34	
258	鴨部川	前山	G	38.8	7.8	川砂	和泉砂岩	2.50	川砂	2.50	高炉	160	220	62.0	45.0	ビンソル	2.30	
259	与田川	大内	G	26.0	2.5	川砂利	和泉砂岩	2.50	川砂	2.50	高炉	170	220	67.0	48.0	ボゾリス8	2.30	
260	淡川	五名	G	27.5	1.8	川砂利	花崗岩	2.55	川砂	2.51	普通	190	220	65.0	55.0	ビンソル	2.45	
261	綾川	長柄	G	30.0	2.9	川砂利	和泉砂岩	2.56	川砂	2.50	普通	190	240	60.0	55.0	ビンソル	2.28	
262	馬宿川	千足	G	45.0	10.8													
263	香東川	内場	G	50.0	8.5	川砂利	花崗岩	2.13	碎石	2.50	普通	195	220	62.0	57.0	ビンソル	2.35	
264	香東川	内場	G	50.5	8.1	碎石												
265	柞田川	五郷	G	50.5	8.1	碎石	和泉砂岩	2.50	碎石	2.51	高炉	170	220	50.0	45.0	ビンソル	2.30	
266	銅山川	柳瀬	G	55.5	13.1	川砂利	砂岩	2.65	川砂	2.60	中庸熱	175	225	69.0	53.0	ビンソル	2.25	
267	銅山川	柳瀬	G				頁岩				普通							
268	国領川	鹿森	G	57.9	8.2	碎石	緑色片岩	2.80	川砂	2.78	高炉	250	330	48.0	60.0	ボゾリス8	2.50	
269	国領川	鹿森	G				石墨片岩		碎石									

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m3)	粗骨材 種類 岩種	細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法		
							種類	比重	種類	比重	内部 (kg/m3)	外部				内部	外部
270	加茂川	黒瀬	G	61.7	15.1	川砂利	緑泥片岩	2.83	川砂	2.72	高炉B	160	220	67.0	50.0	ボゾリス	2.45
271	加茂川	黒瀬	G				砂岩										
272	蒼社川	玉川	G	56.0	18.7	碎石	角閃岩	2.72	碎石	2.72	高炉	160	220	70.0	50.0	ボゾリス8	2.41
273	蒼社川	玉川	G				黒雲母										
274	蒼社川	玉川	G				花崗岩										
275	須賀川	須賀川	G	40.2	7.3	碎石	砂岩	2.70	碎石	2.70	高炉B	160	220	64.2	46.6	ビンソル	2.46
276	岩松川	山財	G	64.0	20.2	碎石	砂岩	2.67	碎石	2.63	高炉B	160	220	68.1	52.3	ビンソル	2.36
277	鏡川	鏡	G	48.0	7.2	碎石	石灰岩	2.70	砕砂	2.70	中磨熱	150	220	74.2	50.0	ビンソル	
278	柴川	ます淵	G	62.0	13.9	碎石	千枚岩	2.76	砕砂	2.69	高炉	160	220	57.5	43.2	ボゾリス8	2.32
279	八木山川	力丸	G	49.5	9.5	碎石	頁岩	2.72	砕砂	2.69	高炉	150	210	65.0	45.0	ボゾリス	2.41
280	今川	油木	G	54.6	17.6	碎石	花崗岩	2.66	砕砂	2.63	フライア	160	220	62.5	46.8	ボゾリス8	2.29
281	中元寺川	陣屋	G	48.5	13.0	碎石	花崗岩	2.61	砕砂	2.61	フライC	160	220	68.0	47.0	ボゾリス8	2.30
282	瑞梅寺川	瑞梅寺	G	64.0	23.9	碎石	結晶片岩	2.77	砕砂	2.68	フライア	160	220	65.6	47.7	サンフロ	2.30
284	那珂川	南畑	G	63.5	18.5	碎石	花崗岩	2.63	砕砂	2.63		160	220	65.0	47.7	プロテックス	2.30
285	矢部川	日向神	G	79.5	23.5	碎石	輝石角閃岩	2.56	砕砂	2.56	高炉	150	220	68.4	50.0	ボゾリス	2.27
286	矢部川	日向神	G				安山岩										
287	有田川	有田	G	27.5	1.4	碎石	玄武砂	2.73	川砂、山砂	2.60	高炉	180	220	69.0	56.0	ボゾリス	2.20 散水
288	有田川	竜門	G	42.2	5.9	碎石	玄武岩	2.60	山砂、海砂	2.57	高炉	160	220	55.0	45.0	ボゾリス	2.30 散水
289	伊岐佐川	伊岐佐	G	58.5	14.5	碎石	花崗岩	2.64	山砂	2.63	高炉	160	220	69.0	49.0	ボゾリス	2.30 散水
290	町田川	町田	G	29.5	2.3	碎石	玄武岩	2.80	山砂	2.57	高炉	160	220	70.0	49.0	ボゾリス	2.30 散水
291	郡川	釜瀬	G	51.0	8.2	碎石	角閃岩	2.44	砕砂	2.53	高炉B	160	207	63.8	50.2	ボゾリス8	2.35 散水
292	郡川	釜瀬	G				安山岩										
293	雪浦川	雪浦	G	44.0	7.6	碎石	玄武岩	2.60	砕砂	2.53	高炉B	160	210	66.5	50.9	ボゾリス8	2.35 散水
294	神浦川	神浦	G	51.0	10.3	碎石	玄武岩	2.88	砕砂	2.53	高炉B	160	215	68.0	52.0	ボゾリス8	2.35 散水
295	式見川	式見	G	45.5	6.6	碎石	安山岩	2.60	砕砂	2.60	高炉B	160	210	66.5	50.9	ボゾリス8	2.35 散水
296	氷川	氷川	G	56.5	10.2	碎石	石灰岩	2.71	川産	2.55	フライC	160	220	57.5	41.8	A E	2.30
297	亀川	亀川	G	37.0	4.4		安山岩	2.69		2.51	フライア	160	220	75.0	23.0	ビンソル	2.39
298	大野川	百枝	G	8.9	0.9	川砂利	安山岩		川砂	普通		185	210				
299	芹川	芹川	G	52.2	12.4	碎石	輝石安山岩	2.72	砕砂	2.71	普通	180	220	65.9	55.0	ビンソル	2.30 散水
302	祝子川	祝子	G	60.0	13.9	川砂利	砂岩	2.62	川砂	2.53	フライC	160	220	48.6	66.9	ビンソル	2.35

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m ³)	粗骨材 種類 岩種	比重	細骨材 種類	比重	セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法
										内部	外部	内部	外部			
										(kg/m ³)						
303	祝子川	祝子	G			頁岩										
304	祝子川	祝子	G			花崗岩										
305	小丸川	松尾	G	68.0	16.8	砕石	2.68	川砂	2.62	普通	200	250	64.3	55.0	ビンソル	2.33
306	小丸川	渡川	G	66.0	13.4	砕石	2.65	砕砂	2.63	中庸熱	175	226	65.0	59.0	ビンソル	2.30
307	三財川	立花	G	71.3	16.7	砕石	2.65	砕砂	2.60	高炉	160	210	71.3	50.5	ボゾリス	2.35
309	綾川	綾南	G	64.0	13.9	砕石	2.65	砕砂	2.63	高炉	170	230	56.0	52.0	ビンソル	2.33
310	大淀川	岩瀬	G	55.5	9.8	川砂利	2.59	川砂	2.62	フライア	165	220	64.8	48.6	ビンソル	2.33
311	綾北川	田代八重	G	58.0	11.7	砕石	2.60	砕砂	2.53					ビンソル	2.35	
312	綾北川	田代八重	G			砂質粘板岩										
313	茂築別川	有明	G	21.7	5.1	川砂利	2.60	海砂	2.60	高炉	180	230	60.0	49.0	ビンソル	2.30 散水
314	茂築別川	有明	G			花崗岩										
315	佐幌川	佐幌	G	46.6	19.3	砕石	2.65	砕石	2.66	高炉B	160	220	69.4	49.5	ビンソル	パイプ
316	模似川	模似	G	45.0	8.4	川砂利	2.60	川砂	2.65	高炉B	170	230	56.7	43.2	ビンソル	2.37 散水
317	亀田川	新中野	G	74.9	20.1	砕石	2.53	砕石	2.51	中庸熱フ	170	210	60.0	49.0	ボゾリス8	2.32 パイプ
318	汐泊川	矢別	G	34.5	2.3	砕石	2.78	海砂	2.72	フライB	170	210	57.2	46.9	ボゾリス8	2.35 パイプ
319	川内川	川内	G	55.0	10.2	砕石	2.60	砕砂	2.60							2.30
320	平川	遠部	G	45.0	8.1	砕石	2.50	川砂	2.50	中庸熱	170	230	63.0	47.0	A E	2.40 散水
321	北上川	遠野	G	26.5	3.1											
322	久慈川	滝	G	70.0	22.0	陸砂利	2.73	砂岩チャート	2.59	中庸熱	140	210	69.0	44.0	ボゾリス8	2.45 パイプ
323	旭川	旭川	G	51.5	12.5	砕石	2.60	砕砂	2.60	フライC	180	230	64.5	49.5	ボゾリス	2.32 パイプ
325	温海川	温海川	G	60.0	11.8	砕石	2.61	砕砂	2.60	中庸熱	160	220	70.6	49.1	ボゾリス8	2.34 パイプ
326	西荒川	西荒川	G	43.5	4.1	川砂利	2.62	川砂	2.62	フライ	160	220				
327	西荒川	西荒川	G			石英斑岩										
328	西荒川	西荒川	G			凝灰岩										
329	霧積川	霧積	G	57.5	18.9	砕石	2.84	川砂	2.65	高炉	170	220			ボゾリス	2.30
330	胎内川	胎内川	G	93.0	30.0	砕石	2.62	砕砂	2.62	中庸熱	160	220	72.0	52.0	ボゾリス8	2.39 パイプ
331	加治川	加治川	G	106.9	42.8	砕石	2.61	砕砂	2.62	中庸熱	160	220	75.0	53.6	ボゾリス8	2.30 パイプ
332	加治川	加治川	G			石英粗粒岩										
333	下条川	下条川	G	31.0	3.4	川砂利	2.71	川砂	2.60	フライ	160	200	63.0	45.0	ボゾリス8	2.30
334	鯖石川	鯖石川	G	37.0	8.8	川砂利	2.75	川砂	2.60	フライ	160	220	61.2	43.2	ボゾリス8	2.30

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m ³)	粗骨材		細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法	
						種類	岩 種	種類	比重	種類	比重	内部 (kg/m ³)	外部				内部
335	湯川	湯川	G	50.0	6.5	川砂利	安山岩	2.63	川砂	2.64	高炉	160	220	65.6	49.1	ボゾリス8	2.35
336	抜井川	古谷	G	48.5	9.5	碎石	安山岩	2.66	砕砂	2.60	高炉	150	210	77.0	54.0	ボゾリス8	2.40
337	横川川	横川	G	41.0	10.0	碎石	砂岩	2.62	砕砂	2.65	高炉	160	220	68.8	50.0	A E	2.40
338	横川川	横川	G				粘板岩										
339	梯川	赤瀬	G	38.0	7.0	碎石	安山岩	2.56	川砂	2.54	高炉	160	210	59.4	45.2	ピンソル	2.35 散水
340	牛道川	阿多岐	G	70.0	22.0	碎石	熔結凝灰岩	2.60	砕砂	2.60	中庸熱					A E	2.30 パイプ
341	夢前川	菅生	G	550.0	9.6	碎石	閃緑岩	2.57	砕砂	2.60	高炉	160	210	70.0	55.0	ボゾリス8	2.40
342	新湊川	天王	G	33.8	5.1	碎石	石英斑岩	2.65	海砂	2.54	高炉	180	230	65.0	50.0	ボゾリス8	2.36
343	三原川	論鶴羽	G	42.0	8.3	碎石	砂岩	2.55	川砂	2.62	高炉	180	235	69.0	52.0	ボゾリス8	2.29
344	広川	広川	G	53.5	11.0	川砂利	砂岩	2.60	川砂利	2.58	高炉		220		42.0	マジノン	2.25
346	佐治川	佐治川	G	46.5	5.7	碎石	玄武岩	2.63	砕砂	2.51	普通	170	220	67.0	51.8	ピンソル	2.35
347	三隅川	御部	G	66.6	17.3												
348	御調川	御調	G	54.0	12.6												
349	野呂川	野呂	G	44.8	9.8	碎石	石英斑岩	2.65	砕砂	2.43	普通	160	220	55.0	45.0		2.30
350	掛淵川	大坊	G	43.5	4.7												
351	有帆川	今富	G	35.5	7.3	碎石			砕砂		フライ	170	220			サンフロ	
352	福井川	福井	G	43.5	8.6	川砂利	砂岩		川砂								
353	塩田川	岩屋川内	G	59.5	13.3	碎石	玄武岩	2.75	砕砂	2.72	高炉	160	220	60.0	46.0	ボゾリス	2.35 散水
354	仁田川	仁田	G	33.4	3.3	碎石	玄武岩	2.60	海砂	2.60	高炉B	160	210	53.0	50.0	サンフロ	2.35 散水
355	難知川	難知	G	29.0	1.9	碎石	石英斑岩	2.60	海砂	2.60	高炉B	160	210	55.0	52.0	ボゾリス5	2.35 散水
356	谷江川	勝本	G	31.0	3.8	碎石	玄武岩	2.60	海砂	2.60	高炉B	160	210	68.0	55.0	ボゾリス8	2.35 散水
357	日字川	猫山	G	32.0	6.4	碎石	玄武岩	2.60	海砂	2.60	高炉B	160	210	66.0	51.0	ボゾリス8	2.35 散水
358	川棚川	野野川	G	24.0	1.4	碎石	玄武岩	2.60	海砂	2.60	高炉B	160	210	65.0	55.0	サンフロ	2.35 散水
359	小森川	江永	G	30.0	3.0	碎石	玄武岩	2.60	海砂	2.60	高炉B	160	210	67.0	53.0	ボゾリス8	2.35 散水
360	釣道川	青方	G	27.5	3.1												
361	福江川	福江	G	21.6	1.7	碎石	玄武岩	2.60	海砂	2.60	高炉B	160	210	55.0	62.0	ボゾリス8	2.35 散水
362	安岐川	安岐	G	35.0	5.1	碎石	安山岩	2.60	砕砂	2.56	フライ	170	210	67.6	54.3	ボゾリス	2.30
363	青江川	青江	G	43.0	7.5	碎石	石灰岩	2.70	海砂	2.58	高炉	150	200	65.0	53.0	ボゾリス8	2.32
364	堅田川	黒沢	G	47.5	12.4	碎石	砂岩	2.65	砕砂	2.56	高炉	170	210			ピンソル	
365	床木川	床木	G	63.0	11.4	碎石	砂岩	1.66	海砂	1.61	高炉	170	210	64.9	51.4	ボゾリス8	1.30

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m3)	粗骨材		細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法	
						種類	岩 種	比重	種類	比重	種類	内部	外部				内部
366	沖田川	沖田	G	36.0	3.1												
367	一ツ瀬川	長谷	G	65.0	12.1	川砂利	砂岩	2.62	海砂	2.59	高炉	160	220	60.0	48.0	ボゾリス8	2.34
368	広渡川	日南	G	49.0	16.6	砕石	砂岩	2.52	川砂	2.65	高炉	160	220	56.0	43.0	ボゾリス	2.37
20	北上川	湯田	GA	81.5	39.7	川砂利	花崗岩	2.55	川砂	2.53	高炉	190	230	49.0	40.0	ピンソル	2.35
21	北上川	湯田	GA			砕石			砕石	2.64	中庸熱	160	210	70.0	53.0		パイプ
122	淀川	高山	GA	67.0	18.5	砕石	粗粒黒雲母 花崗岩	2.62	砕砂	2.59	中庸熱	175	220	62.3	49.6	ボゾリス8	2.35
123	淀川	高山	GA														
240	阿武川	阿武川	GA	95.0	42.6	砕石	流紋岩	2.62	砕砂	2.60	フライ	200	230				2.30
345	天神川	百谷	GA	18.0	0.9	砕石		2.65	浜砂	2.57	普通	220	260	65.0	55.0	ボゾリス8	2.35
15	後志利別川	美利河	GR	34.0	25.0												
202	白岩川	白岩川	GR	50.0		川砂利	片麻岩	2.60	川砂	2.58	高炉		220		50.0	ボゾリス	2.35
203	白岩川	白岩川	GR				安山岩										散水
255	別当川	内海	GR	22.0	12.6	川砂利	和泉砂岩	2.86	海砂	2.50	中庸熱		210		55.0	ピンソル	2.30
283	山口川	山神	GR	59.0	18.4	砕石	花崗岩	2.70	砕砂	3.00	高炉	150	210	68.7	49.0	ボゾリス8	2.35
324	月光川	月光川	GR	48.0	12.3	砕石	安山岩	2.62	砕石	2.60	中庸熱	160	264	51.1	47.7	ボゾリス	2.32
9	石狩川	金山	HG	57.3	22.0	砂利		2.75	川砂	2.64	高炉	180	220	60.0	49.1	ピンソル	2.35
65	木曾川	横山	HG	80.8	32.0	砕石	輝緑岩	2.80	砕砂	2.80	高炉					ピンソル	2.40
66	木曾川	横山	HG								中庸熱						
154	馬見ヶ崎川	蔵王	HG	66.0	27.0	砕石	安山岩	2.63	川砂	2.60	中庸熱	200	230				2.32
155	馬見ヶ崎川	蔵王	HG			川砂利	花崗閃緑岩		砕砂		フライ	180	220				
156	野川	木地山	HG	46.0	6.2	砕石	花崗岩	2.62	川石	2.85	高炉	200	220			ボゾリス8	2.28
157	野川	木地山	HG			川砂利			砕砂								パイプ
182	加治川	内ノ倉	HG	82.5	2.1	川砂利	砂岩	2.65	川砂	2.64	中庸熱					ボゾリス8	2.40
183	加治川	内ノ倉	HG				安山岩										パイプ
232	西川	河本	HG	60.0	19.0	砕石	花崗岩	1.60	砕砂		中庸熱	180	230			ボゾリス8	2.30
3	石狩川	大雪	R	86.5	39.1	砕石	粘板岩	2.70	砂質ローム	2.73							
4	石狩川	大雪	R		(308)	砕石	粘板岩	2.70									
5	石狩川	大雪	R		18.4	川砂利		2.56									
12	石狩川	漁川	R	45.5	8.0	河床砂	安山岩	2.66	砂、シルト	2.67							
13	石狩川	漁川	R		(51)	砕石	溶結凝灰岩	2.28									

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m ³)	粗骨材		細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法
						種類	岩 種	種類	比重	種類	比重	内部 (kg/m ³)	外部			
14	石狩川	漁川	R		5.8	河床砂	安山岩		2.60							
17	北上川	石淵	R	53.0	3.1	碎石	石英安山岩	川砂	2.36	普通		300	65.0			
18	北上川	石淵	R		4.1			碎石								
32	雄物川	皆瀬	R	66.5	9.5	碎石	石英粗面岩	砕砂	2.55	高炉	170	230	58.0	47.0	ボゾリス8	2.20
33	最上川	白川	R	66.0	15.3	飽石	安山岩	砕砂	2.70	普通	235	273	55.0	55.0	ボゾリス8	2.30 パイプ
52	信濃川	三国川	R	115.5	13.2											
54	手取川	手取川	R	153.0	(1005											
100	緑川	緑川	R	35.0	34.7					中庸熱						
105	福地川	福地	R	91.5		碎石	石灰岩	碎石								2.30
108	利根川	奈良俣	R	155.0	(1160											
115	荒川	浦山	R	165.0	(970)											
116	木曽川	味噌川	R	140.0	(800)											
117	木曽川	阿木川	R	102.0	(540)											
118	木曽川	岩屋	R	127.5	(578)	碎石	濃飛流紋岩	砕砂	2.62	普通	250	420	40.0	63.2	ビンソル ボゾリス5L8	3.17
119	木曽川	岩屋	R													
133	筑後川	寺内	R	83.0	(300)											
138	静内川	高見	R	120.0	(512)	川砂利	砂岩	川砂	2.72	フライ B					ビンソル	2.45 散水
144	鳴瀬川	漆沢	R	80.0		碎石	石英粗面岩	砕砂	2.55	普通					ボゾリス5L	
145	七北田川	七北田	R	73.0		碎石	玄武岩	砕砂	2.80	フライア					ボゾリス5L	2.35
162	鮫川	四時	R	83.5	(256)	碎石	角閃片岩	山砂	2.70	普通		272	65.0	ボゾリス5		2.35
191	荒川	荒川	R	88.0	10.0	碎石	安山岩	砕砂	2.70	普通						
195	奈良井川	奈良井	R	60.0	9.9	川砂利	砂岩	砕砂	2.64	普通	170	230	74.0	55.0	ボゾリス5	2.35
196	奈良井川	奈良井	R			碎石										
198	子撫川	子撫川	R	450.0		川砂利	花崗岩	川砂	2.60	普通	270	294	51.8	51.7	ボゾリス5L	2.35
207	鶴飼川	小屋	R	57.5	(61)											
25	北上川	御所	R G	52.5	22.0	川砂利	安山岩	川砂	2.65	フライア	155	155			ボゾリス8	2.38
106	宮良川	真栄里	アス	27.0	35.0											
61	矢作川	矢作川河口堰														
77	吉井川	坂根堰	堰													
81	太田川	高瀬堰	堰	5.5	8.6	碎石	硬質砂岩	海砂	2.71	高炉 B		270	53.0	ボゾリス10		

ダムの形式ごとの使用骨材岩種およびその他の使用材料の種類

No	水系名	ダム名	形式	高さ (m)	体積 (万m ³)	粗骨材		細骨材		セメント		W/C		混和剤	比重	冷却 方法
						種類	岩種	種類	比重	種類	内部 (kg/m ³)	外部	内部	外部		
82	太田川	高瀬堰	堰							普通						
83	芦田川	芦田川河口堰		5.0	7.0	碎石	安山岩	川砂	2.62	高炉		285		55.0	ボゾリス5L	
84	芦田川	芦田川河口堰								普通						
113	利根川	利根川河口堰														
120	木曾川	長良川河口堰								中腐熱	310	370	45.5	53.2	ビンソル	3.20
121	木曾川	長良川河口堰													ボゾリス8	
128	吉野川	旧吉野川河堰														
134	筑後川	筑後大堰	堰													

規格外骨材の

利用性に関する実験的研究

ISSN 0386 - 5873

土木研究所資料 第2774号

平成元年 3 月 (1989)

小林 茂敏、丹野 弘

石井 良美、田村 久

要 旨

経済性の確保、自然環境の保護などの問題から、コンクリートダムを建設する際に、コンクリート用骨材としての規格の境界線上にある骨材を、材料として検討する事例が見受けられるようになってきている。本報告書は、これらの骨材のうち、特殊な鉱物を有する骨材について、骨材としての使用性等を検討する目的で行った実験的研究結果について、とりまとめたものである。

キーワード：骨材、安定性、試験法、乾湿繰り返し作用、濁沸石、粘土鉱物

郵便はがき

3 0 5 - □ □

郵便切手を
はって下さ
い

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

地質化学部コンクリート研究室 御中

No. 001

No. 001

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2774号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名 印

土木研究所資料第2774号

