

土木研究所資料

宮ヶ瀬ダムコンクリート用 骨材に関する試験

昭和61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 © (1986) 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、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

宮ヶ瀬ダムコンクリート用骨材に関する試験

地質化学部コンクリート研究室

室 長 小 林 茂 敏

丹 野 弘

石 井 良 美

要 旨

関東地方建設局管内、相模川水系に建設が予定されている宮ヶ瀬ダム用骨材の原石山候補地として上げられている各地区の骨材について、コンクリート用骨材として使用可能であるかどうか実験的に検討を行った。この結果、南山地区で産する試料は、弱風化部を除いて十分に耐久的な骨材であるといえることが明らかとなった。

キーワード：宮ヶ瀬ダム，骨材，ローモンタイト，耐久性，乾燥湿潤試験，凍結融解試験

まえがき

宮ヶ瀬ダムは相模川水系に建設が予定されている高さ 155 m、堤体積 220 万 m³を有する重力式コンクリートダムである。

当ダムの原石山候補地の調査は、予備調査開始時期より、貯水池内のダムサイト近傍において数多くの地点で実施してきている。その内、昭和 55 年度より大槲沢地区（凝灰岩質砂岩）について、昭和 57 年度よりダムサイト約 200 m の直上に位置する南山地区（火山礫凝灰岩及び火山角礫岩）について、コンクリート用骨材としての検討を行った。

本報告書は、以上の大槲沢地区、南山地区産骨材に加えてダムサイト転用ズリについてもダムコンクリート用骨材として検討した結果も合わせて報告するものである。試験に際しては多くの方々の助言助力を得た。ここに記して感謝する次第である。

昭和 61 年 3 月

コンクリート研究室 室 長 小 林 茂 敏
丹 野 弘
石 井 良 美

目 次

まえがき

1. 調査対象原石山における地質及びコンクリート用骨材としての特徴	1
2. 試験目的	5
3. 大瀬沢産骨材における検討	5
4. 南山産骨材における検討	20
5. 結 論	40

あとがき	41
------------	----

資 料

コンクリートの乾燥湿潤繰返し試験方法(案)	43
-----------------------------	----

1. 調査対象原石山における地質及びコンクリート用骨材としての特徴

宮ヶ瀬ダムコンクリート用骨材の対象として、コンクリート研究室で調査検討を行った原石山の地質及びコンクリート用骨材としての特徴は以下のとおりである。

また、後述する各試験に用いた試料採取地点は図-1.1に示すとおりである。

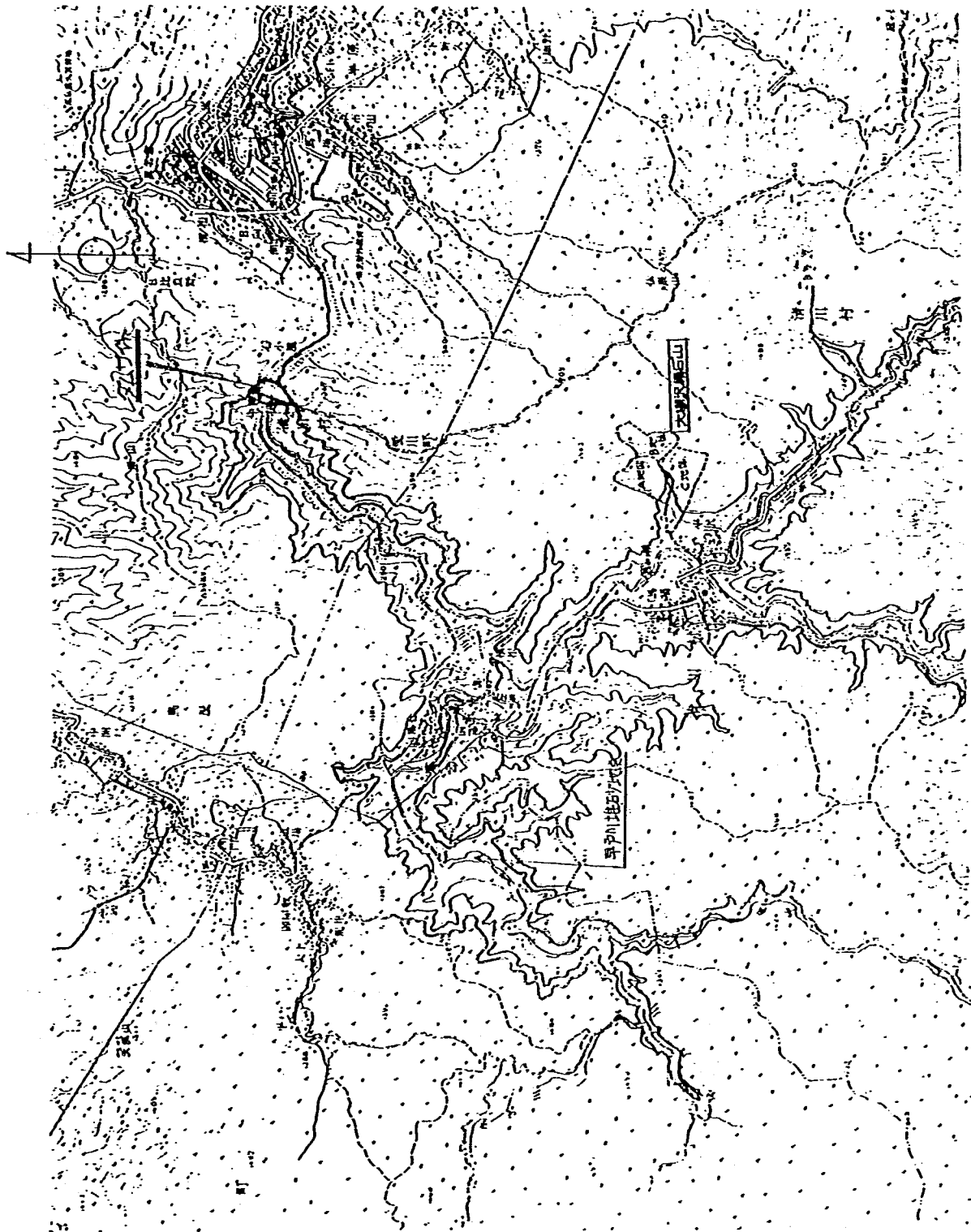


図-1.1 試料採取地

1.1 大棚沢周辺の地質

大棚沢地点の地質は、新第三紀中新世の愛川層群宮ヶ瀬層、丹沢層よりなり、宮ヶ瀬層、丹沢層の主な構成岩種は凝灰質粗粒砂岩 (tuffaceous coarse-grained sandstone 以下 Tcs) である。Tcs 層中には、凝灰岩 (tuff)、火山礫凝灰岩 (lapilli tuff)、凝灰質細粒砂岩 (tuffaceous fine-grained sandstone 以下 Tfs) を挟んでいる。

調査地点で確認された断層は、E-W 系、NW-SE 系、N-S 系のものに大別され、それらのうち E-W 系、NW-SE 系の断層に比較的大きな破碎幅を持ったものがみられる。

図-1.2 中の T-1 坑北東向き分枝坑の観察結果では、全般的に凝灰質粗粒砂岩 (Tcs) ~ 細粒砂岩 (Tfs) が卓越し、岩盤の工学的な分類名で C_M に属する岩盤が大半を占める。また T-1 坑と T-8 坑 (S-N 方向) を比べると次のようになる。

- (1) T-1 坑は T-8 坑に比べ高標高部にあるため、土かぶり厚が薄く割れ目沿いなどの風化は進んでいる。
- (2) ローモンタイトの含有状況は T-1 坑 C_M 岩盤で 3% 程度、T-8 坑 C_M 岩盤で 5% 程度であり、白色細脈も全般的にみて T-1 より T-8 において発達している。

1.2 南山周辺の地質

南山地点の地質は、新第三紀中新世の愛川層群に属する安山岩質の火山礫凝灰岩 (lapilli tuff)、火山角礫岩 (volcanic breccia) を主体とし、凝灰質砂岩 (tuffaceous sandstone)、火山円礫岩の薄層を挟有している。事務所で行った X 線分析試験の結果から、ローモンタイト及びモンモリロナイト等を含むことが明らかとされ、また各々の鉱物は次のような産状の特色を有することが明らかとされた。

(1) ローモンタイト

白色脈の発達頻度とローモンタイトの含有量との間には相関性は認められない。明確ではないが、むしろ白色脈の多い部分には、スチルバイトが顕著に検出している。

ローモンタイトは、岩石全体を白濁化させるような変質が認められる区間に、顕著に検出された。このような変質部で含有量は 3~5% である。全岩石について行った分析値から平均的なローモンタイトの含有量を推定すると 0.9% となる (やや多く見積った値)。

(2) モンモリロナイト

モンモリロナイトの分布は、暗緑色パッチの分布によって特徴づけられる。含有量については定量分析は行っていないが、定性的にみると全掘進区間長のうち特に多い区間は全体の 9% であり、微量のものを含めると全体の約 76% の区間で検出されている。

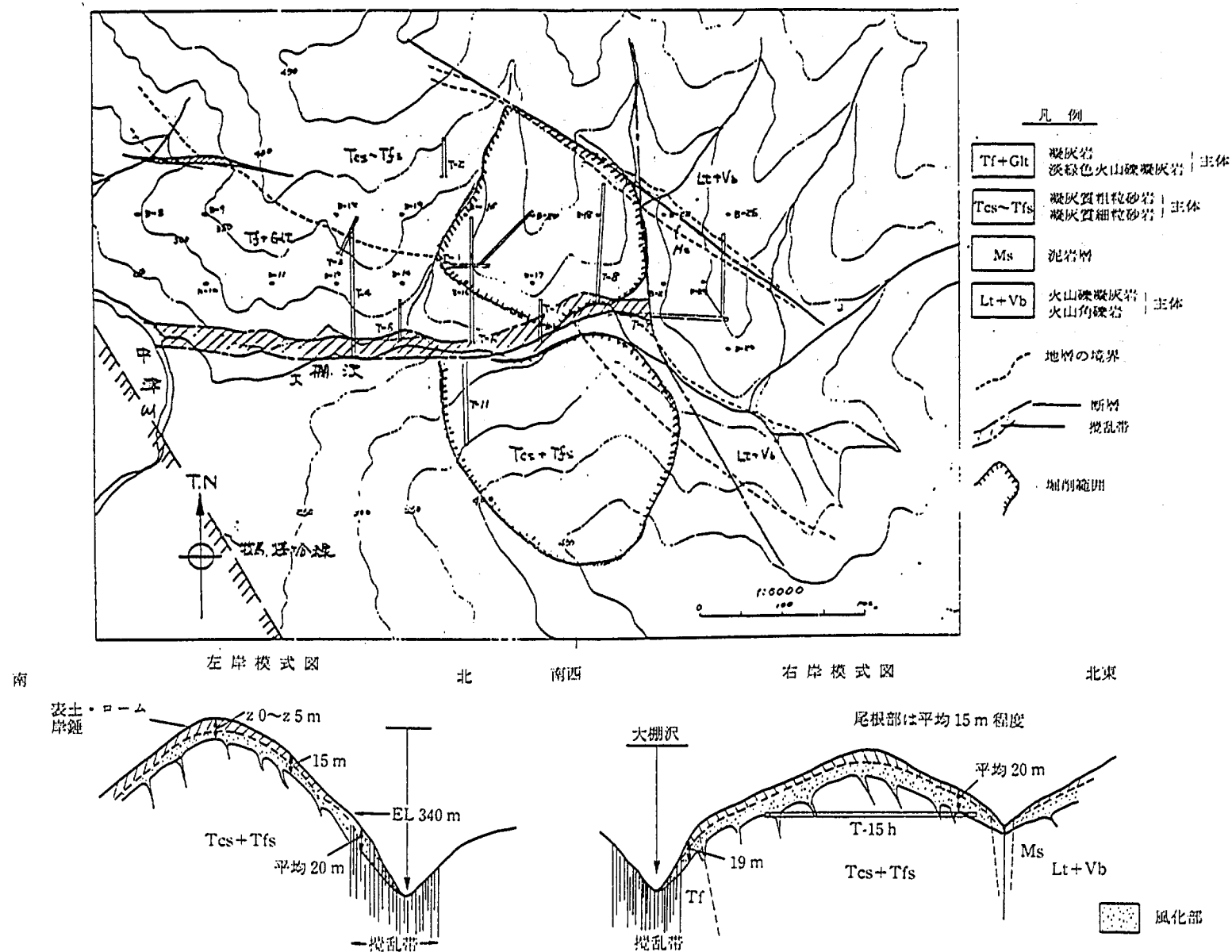


図-1.2 大棚沢での試料採取地

1.3 コンクリート用骨材としての問題点

当ダムのコンクリート用骨材として、ここで問題となるのは、大瀬沢、南山地区の双方においてローモンタイト及びモンモリロナイトが存在していることである。

ローモンタイト（濁沸石）は、 $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の理想式を有する白色板状結晶であり、1/8の水を失ってレオンハルダイトとなる。この時、ユニットセル（Unit Cell）の体積が1.5%収縮する。逆に、レオンハルダイトが吸水してローモンタイトに変るときは、1.5%膨張する。すなわち、乾燥、湿潤の繰返しに伴って体積変化を起こす。また、ローモンタイトの乾燥時の脱水に伴う粉化、並びにローモンタイトとセメント中のカルシウムとの化学反応等の現象も生じるともいわれている。

このローモンタイトが骨材中に存在した場合、膨張－収縮の体積変化等により、コンクリート表面剝離、強度低下、崩壊、ポップアウトなどの現象が現れることがある。

モンモリロナイトは粘土鉱物の一種で乾湿の変化にしたがって多量の水を吸収・脱水し、同時に著しい体積変化を起こす。また、骨材中にモンモリロナイトが多量に存在すると、ローモンタイト同様にコンクリートの崩壊をおこすといわれている。この他、一部においてはモンモリロナイトはセメントの凝結を遅らせるともいわれている。

このように、コンクリート用骨材中にローモンタイトやモンモリロナイトが存在するとコンクリートが劣化する可能性を有することから、この種の骨材をコンクリート材料として使用する場合十分な検討を要すると考える。

ところで、これまでのところ、ローモンタイトやモンモリロナイト等の鉱物を含む骨材がコンクリートに与える影響について調査研究された例は数少ない。したがって、この種の骨材をどの程度含むとコンクリート用骨材として不適當であるのか、また、その無害化利用技術等についても解明されていないのが現状であると考ええる。

2. 試験目的

宮ヶ瀬ダムコンクリート用骨材として検討されている各種の骨材原石には、ローモンタイトやモンモリロナイトを含有しているため、乾湿の変化に伴う体積変化、脱水に伴う粉化及びカルシウムとの化学反応が問題となることから、この骨材の物理的性質、化学的安定性及びそれを用いたコンクリートの耐久性（凍結融解、乾燥湿潤、自然曝露）等を知ることを本試験の目的とした。

3. 大柵沢産骨材における検討（昭和 55 年度～56 年度）

3.1 試験方法

3.1.1 骨材の物理試験

送付された骨材試料について以下の試験を実施した。

- (1) 粗骨材の比重及び吸水率試験 (JIS A 1110)
- (2) 骨材の単位容積重量及び実積率試験 (JIS A 1104)
- (3) 骨材の硫酸ナトリウムによる安定性試験 (JIS A 1122)
- (4) ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験 (JIS A 1121)
- (5) 骨材の洗い試験 (JIS A 1103)
- (6) 細骨材の比重および吸水率試験 (JIS A 1109)
- (7) 骨材のふるい分け試験 (JIS A 1102)
- (8) 細骨材の有機不純物試験 (JIS A 1105)

3.1.2 コンクリートの試験

(1) 使用材料

1) セメント

使用したセメントは、普通ポルトランドセメントで、その物理試験結果は表-3.1.1に示すとおりである。

表-3.1.1 セメントの物理試験結果

比 重	粉 末 度 (ブレン 方法) (cm^3/g)	凝 結					安 定 性 (煮沸方法)	M_rO (%)	SO_3 (%)	ig. loss (%)
		室 温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時分)	終 結 (時分)				
3.15	3360	280		28.0	2-26	3-36	良	12	2.1	0.6
フロー値	曲げ強さ (kg/cm^2)				圧縮強さ (kg/cm^2)				養生温度 ($^{\circ}\text{C}$)	
	1 日	3 日	7 日	28 日	1 日	3 日	7 日	28 日	室 温	水 温
262	—	32	46	66	—	141	224	404		

2) AE 剤

AE 剤は、ヴィンソルを 20 倍希液にして使用した。

3) 骨材

現地から送付された 5 種類の細骨材のうち、コンクリートの試験にはローモンタイト品位の高いものと低いもの (No. 1, 4) の 2 種類とこれらと比較するため富士川産川砂を用いた。

粗骨材には送付された試料を用い、比較として葛生産石灰岩 (凍結融解試験) 及び富士川産川砂利 (乾燥湿潤試験) を用いた。

(2) コンクリートの配合

以下に示す配合条件でコンクリート供試体を作製した。

水セメント比(w/c) : 55%

スランブ : 7±1 cm

空気量 : 4~4.5%

表-3.1.2 に凍結融解試験に供したコンクリートの配合を示し、表-3.1.3 に乾燥湿潤試験に供したコンクリートの配合を示す。

表-3.1.2 コンクリートの配合 (凍結融解試験)

配 合	最大寸法 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
				W	C	S	G	混和剤 (C×%)			
1	25	55	40	175	320	716	1078	0.025	6.0	4.5	23.0
2				175	320	688	1078	0.025	6.0	4.0	23.0
3				155	282	752	1167	0.020	6.0	4.4	23.0

配合 1 : 細骨材 №1 粗骨材 凝灰岩質砂岩
 2 : " №4 " "
 3 : " 富士川 " 葛生

表-3.1.3 コンクリートの配合 (乾燥湿潤試験)

配 合	最大寸法 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
				W	C	S	G	混和剤 (C×%)			
1	25	55	40	175	320	716	1078	0.020	8.0	4.5	21.0
2				175	320	688	1078	0.020	9.5	3.9	21.0
4				175	320	716	1092	0.020	11.0	4.2	21.0

配合 1 : 粗骨材 凝灰岩質砂岩 細骨材 №1
 配合 2 : " " " №4
 配合 4 : " 富士川産川砂利 " 富士川産川砂

(3) コンクリートの凍結融解試験

コンクリート研究室所有の急速凍結融解試験装置を用いて、ASTM C 666 規格に準じて温度範囲 $+4^{\circ}\text{C} \sim -18^{\circ}\text{C}$ 、繰返し速度 7 サイクル/日により凍結融解試験を行った。

測定は、凍結融解の繰返しに伴う動弾性係数の変化を JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数試験方法（たわみ振動の場合）」によって測定するとともに、供試体の重量変化測定や外観々察の写真記録を行った。

(4) コンクリートの乾燥湿潤繰返し試験

現在コンクリートの乾燥湿潤繰返し試験方法は定まったものがなく、米国開拓局で示されているにすぎない。そのため、ここでは次のように条件を設定し試験を行った。

温度範囲： $80^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$

乾燥方法： 80°C 乾燥炉中

湿潤方法： 20°C 水中浸せき

サイクル：48 時間乾燥 48 時間湿潤

(注) 試験方法の詳細は巻末を参照

測定は乾燥湿潤繰返しに伴う動弾性係数の変化、重量、及び外観の変化について、凍結融解試験同様にを行った。

(5) コンクリートの長さ変化試験

ローモンタイトは、セメント中の Ca と反応して、カルシウム・アルミネート ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、カルシウム・アルミノ・シリケート ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) 等を生成する。この反応は、水の存在下でおこり、水が供給されれば相変換が終るまで続くものと考えられる。これらの反応がコンクリートにどのような害を与えるかは明確ではないが、アルカリ骨材反応のようにコンクリートを膨張させるようなものであれば、明らかに有害となるであろうし、また、乾燥湿潤を伴わなければローモンタイトはコンクリートに害を与えないであろう。そこで、これらの事を確認する意味から次のような試験を行った。

コンクリート供試体をアルカリ骨材反応試験と同様に 38°C の恒温湿潤状態と恒温乾燥状態に置き、動弾性係数、重量および長さ変化を測定した。

(6) コンクリートの曝露試験

種々の室内試験は一種の促進試験であるが、試験条件が実際のコンクリートの置かれる自然環境を正しく再現促進しているとはいいがたく、劣化の要因を正しく捕えていないのかも知れない。したがって、実際にはそのコンクリートを長期に渡って自然環境のなかで観察するのが時間はかかるが最も確実な方法といえる。そこで、3 種類の細骨材について、それらを用いたコンクリート供試体の屋外曝露（土研内）を行った。曝露期間中は、供試体の動弾性係数、重量及び外観観察を行った。

3.2 試験結果及び考察

3.2.1 骨材の物理試験

(1) 粗骨材

表-3.2.1 に送付された粗骨材の物理試験結果を示す。

試料は凝灰岩質砂岩で、外見は硬質な砂岩であるが、いくつかの物理試験で規格値を下廻るものが見られる。下廻っているのは吸水率、安定性損失重量といずれも耐久性と深い関係にあるとされているものである。したがって、この骨材はコンクリート用骨材としては良質なものであるとはいえず、コンクリート用骨材として使用する場合にはコンクリートの凍結融解試験等の各耐久性試験結果にもとづいて使用の可否を判定しなければならないと考える。

表-3.2.1 粗骨材の物理試験結果

粗骨材の種類	比 重	吸 水 率 (%)	安定性損失重量(%)					すりへ り減量 (%)	洗 い 試 験 (%)	粗 粒 率
			25~20	20~15	15~10	10~5	25~5			
凝灰岩質砂岩	2.53	4.1	26.3	33.8	43.7	50.0	38.6	20.5	1.5	7.0
葛 生	2.71	0.9	3.2	2.7	0.7	1.5	8.1	22.3	—	7.0

(2) 細骨材

細骨材は粗骨材と同じ凝灰岩質砂岩の砕砂であり、砕砂製造での破碎工程によって砂の中のローモンタイトの品位は表-3.2.2 に示す5種類のように変化する。これは、ローモンタイトが脈状に入っているために、一次破碎後の最大骨材寸法 25 mm 程度以下のものを集めて製砂すると、一次破碎ではローモンタイトを含む割れ易い脈のところで割れるため、ローモンタイト品位の非常に高い砂が得られる。また、一次破碎後の大粒の骨材はローモンタイトの品位が小さいので、これから製砂したもののローモンタイト品位は比較的小さい。

表-3.2.2 細骨材の種類及びローモンタイト品位

テストNo.	内 訳	ローモンタイト品位%
1	三次破碎の20~5mm : 1,050kg " -5mm : 275" } 混合試料	1.1
2	三次破碎の20~5mm : 1,075" " -5mm : 275" 二次破碎の -5mm : 175" } 混合試料	1.2
3	二次破碎の20~5mm : 約1トン	1.5
4	一次破碎の20~5mm : 約2トン	4.9
5	一次破碎の40~20mm : 約1.5トン (コーンクラッシャーで-20mmに破碎し、原料とする)	2.2

このようにして各種の方法で得られた5種類の細骨材の物理試験結果を表-3.2.3に示す。

JISのコンクリート用砕砂の規格値は吸水率3%以下、安定性損失重量10%以下であるため、細骨材 No. 4, No. 5が吸水率を満足しておらず、すべての細骨材が安定性損失重量を満足していない。また、吸水率、安定性損失重量とローモンタイト品位との間にはローモンタイト品位が増加するほど吸水率、安定性損失重量も増加する傾向がうかがわれる。

このように細骨材も吸水率、安定性が満足していないため粗骨材同様にコンクリート用骨材として使用するに当って耐久性等の検討が必要となる。

表-3.2.3 細骨材の物理試験結果

細骨材の種類	比重	吸水率 (%)	安定性損失重量(%)					有機不純物	洗い試験 (%)	粗粒率
			5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.6	0.6~0.3	5~0.3			
No. 1	2.60	2.7	15.5	18.8	15.3	7.7	10.7	合格	2.7	2.54
No. 2	2.60	2.6	35.9	30.3	28.8	13.8	21.4	合格	3.6	2.84
No. 3	2.59	2.8	29.1	35.6	26.9	13.2	17.6	合格	4.9	2.48
No. 4	2.53	3.7	43.8	45.5	32.6	22.2	26.3	合格	2.7	2.62
No. 5	2.57	3.1	33.2	35.4	29.5	19.5	25.8	合格	2.2	2.93
富士川	2.63	2.0	8.7	5.8	5.4	4.0	4.7	合格	1.7	2.80

3.2.2 コンクリートの凍結融解試験

図-3.2.1に凍結融解繰返しに伴う動弾性係数の変化を示し、図-3.2.2に重量の変化を示す。

凍結融解試験の結果は良質の比較用骨材でも耐久性指数(DF)は70~90程度であるのに対して、ローモンタイトを含む凝灰岩質砂岩は、300回の凍結融解繰返し後も劣化は全くみられなかった。また外観も他の良好な骨材と比べ、著しいコンクリート表面のスケーリングやポップアウト等は見られない。なお、この結果は2年に2回の実験で同様の結果を得たもので、また比較として用いた石灰岩も過去に幾度となく得られた結果と同様であるため十分に信頼できる値といえる。

ローモンタイトを含む骨材がコンクリートの凍結融解試験結果に与える影響については、あまり影響を与えない事が過去の実験により判明している。

図-3.2.3は、細骨材をローモンタイト粉末で置換して、コンクリートを作り、凍結融解試験を行ったもので、ここで示した実験条件やローモンタイトの賦存状態が多少異っている。この図から、たとえ細骨材の20%をローモンタイトと置換しても耐久性指数は70を上回る結果となっている。

この様にローモンタイトがコンクリートの凍結融解試験結果に影響を与えないのは、供試体がたえず水中にあり、安定した状態に保っているためと考えられる。

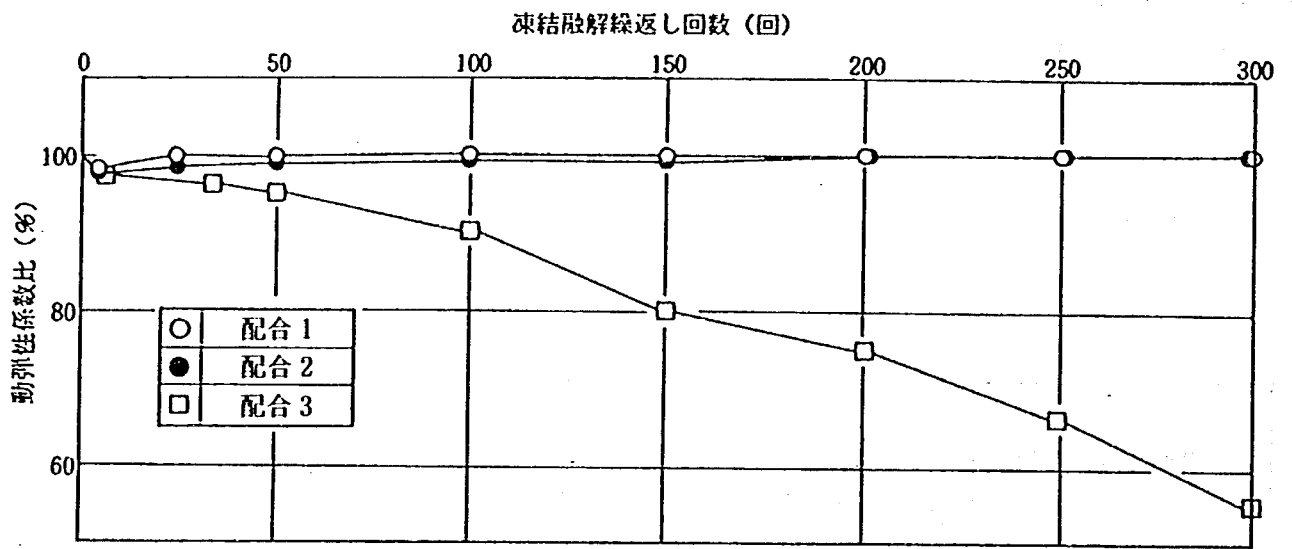


図-3.2.1 凍結融解繰返しに伴う供試体の動弾性係数の変化

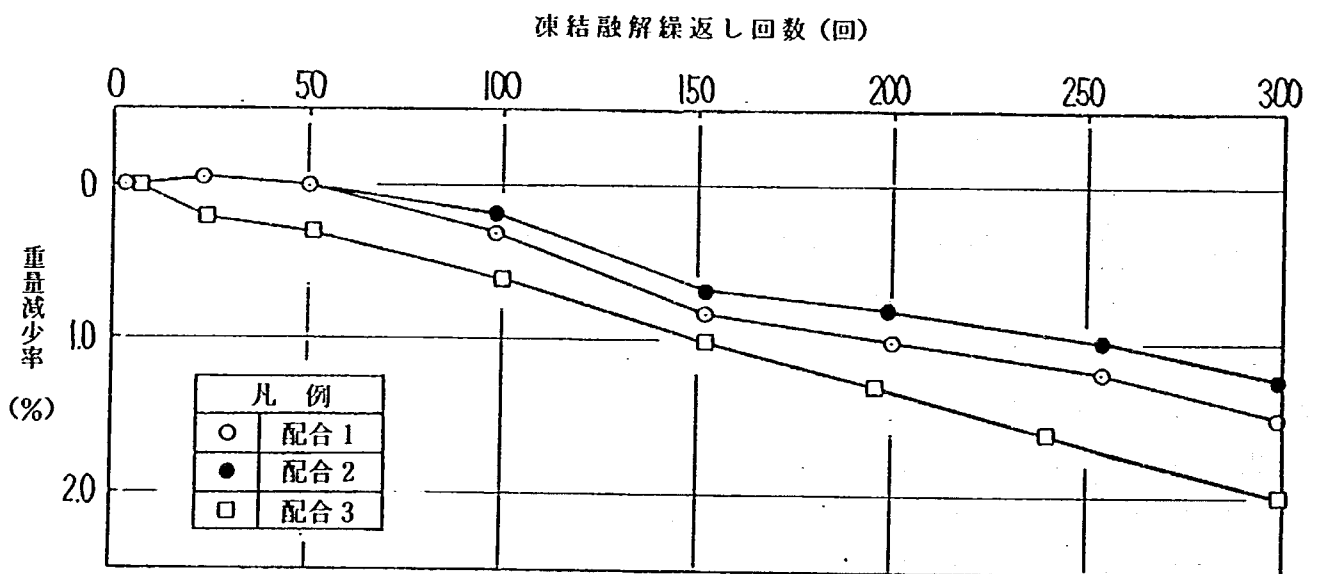


図-3.2.2 凍結融解繰返しに伴う供試体重量の変化

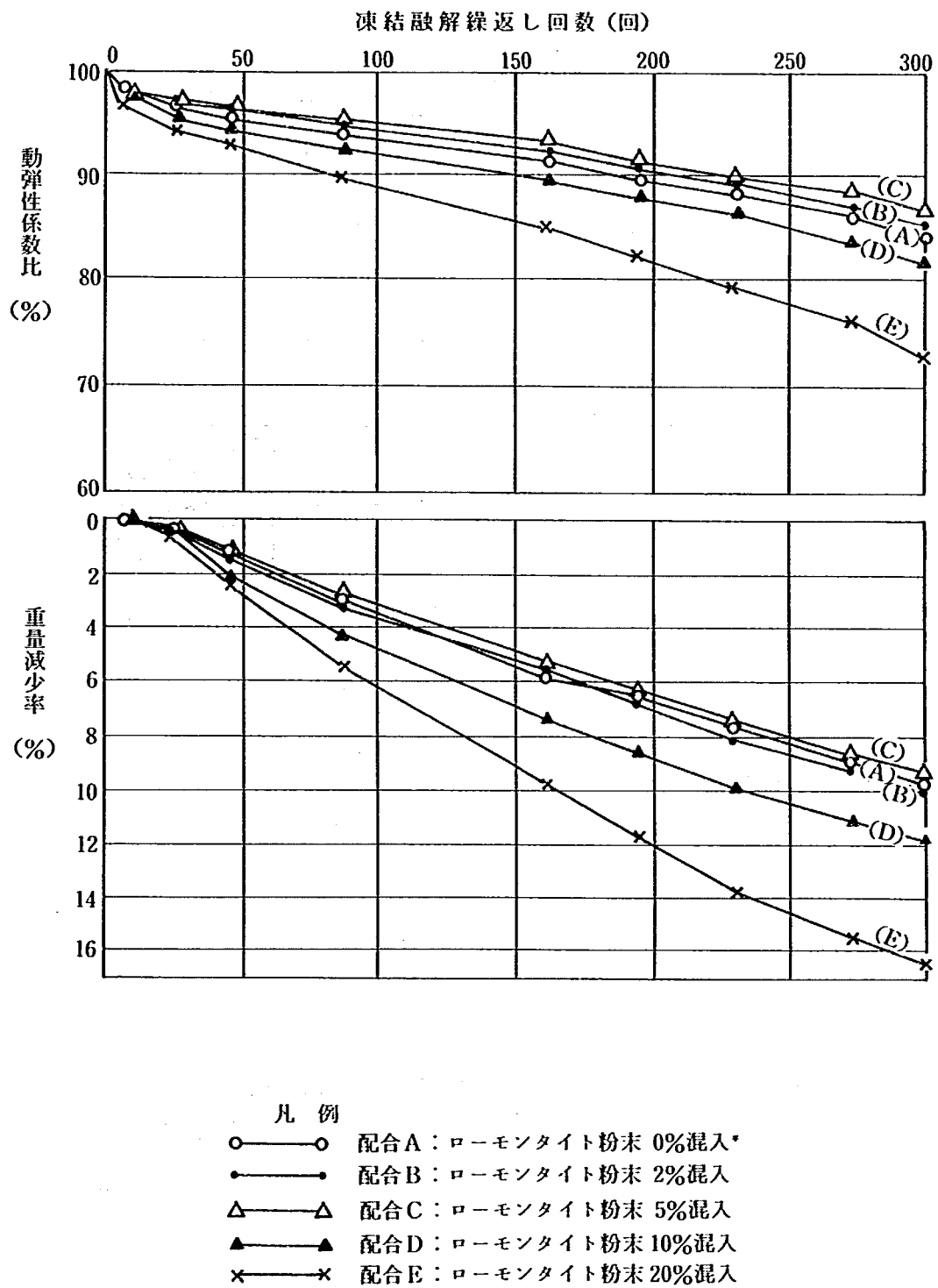


図-3.2.3 凍結融解繰返しに伴う動弾性係数の変化及び供試体の重量変化

3.2.3 コンクリートの乾燥湿潤繰返し試験

図-3.2.4 にコンクリートの乾燥湿潤繰返しに伴う動弾性係数の変化を示し、図-3.2.5 に重量の変化、図-3.2.6 には長さ変化を示す。

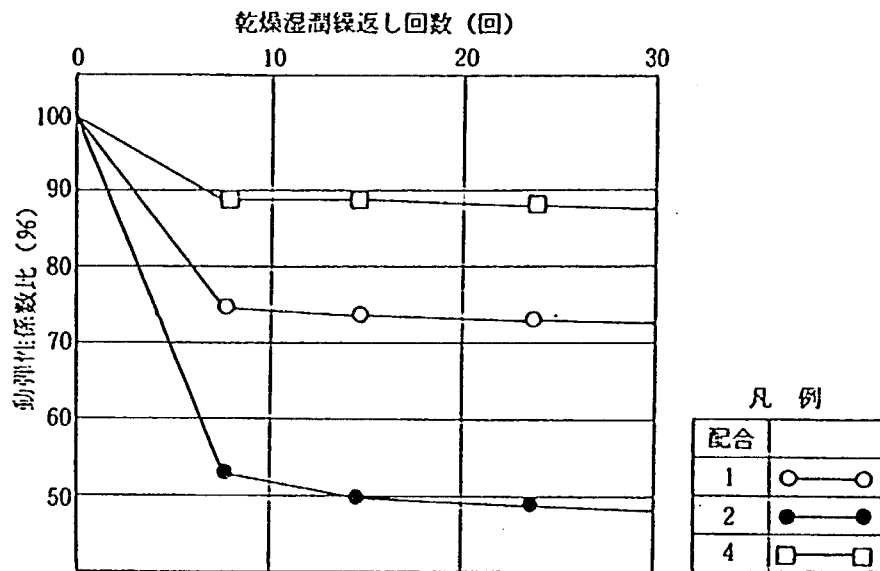


図-3.2.4 動弾性係数の変化

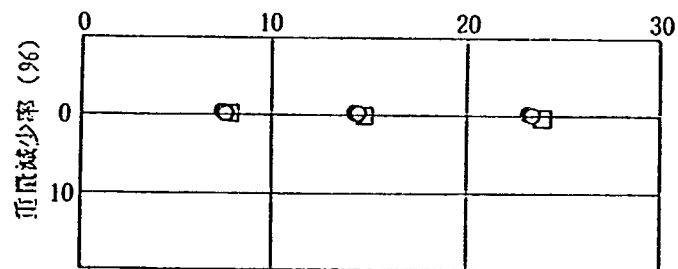


図-3.2.5 重量の変化

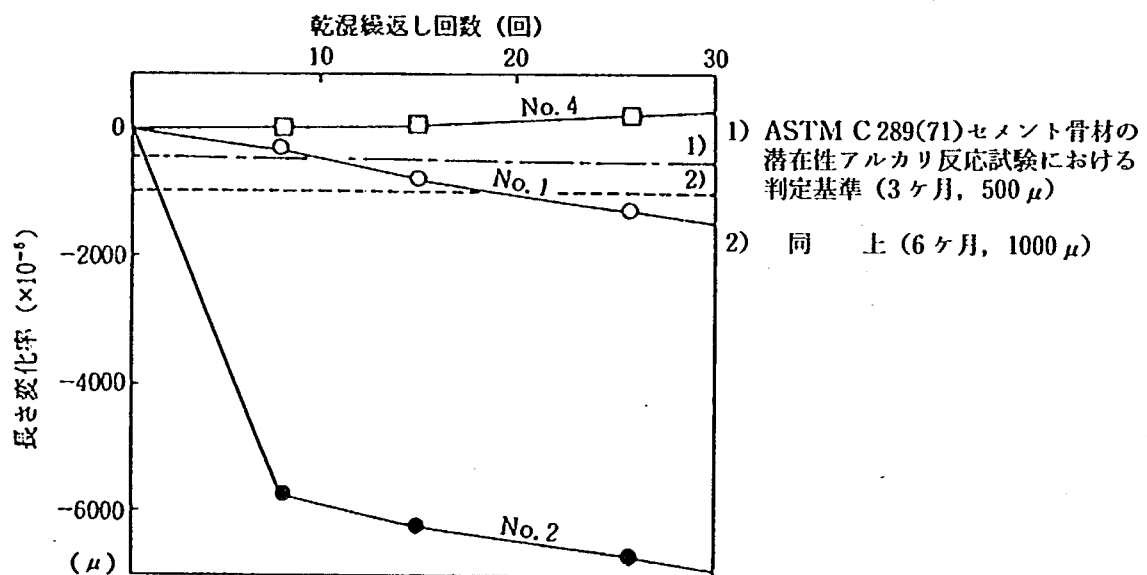
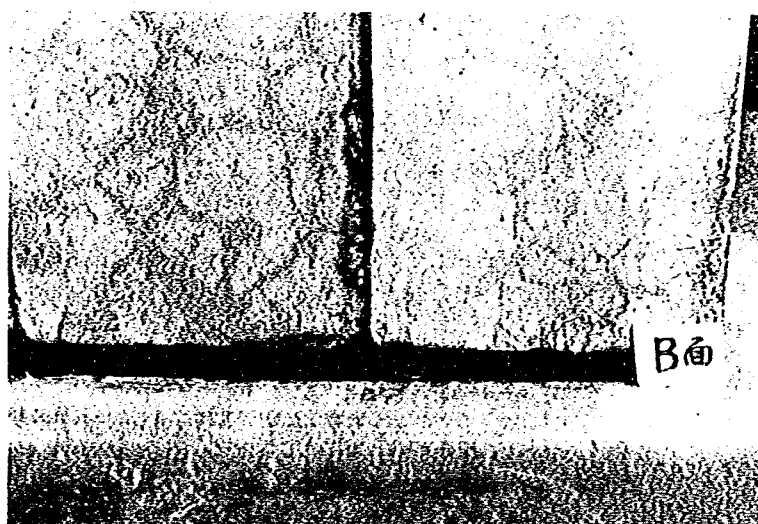
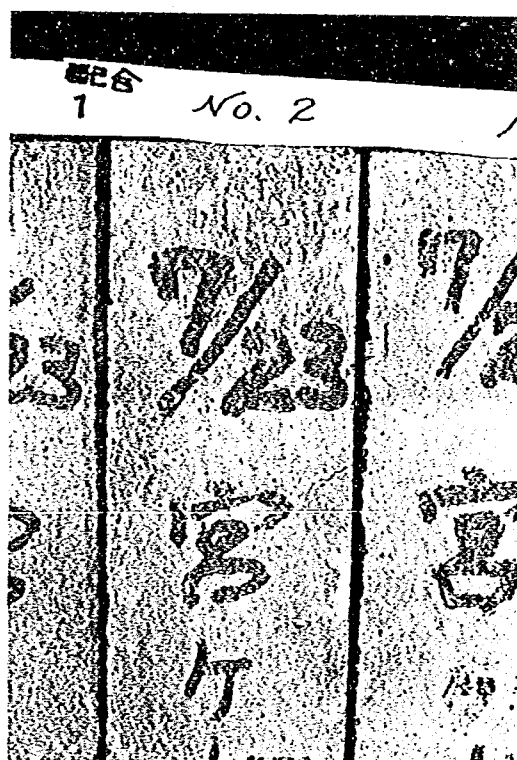
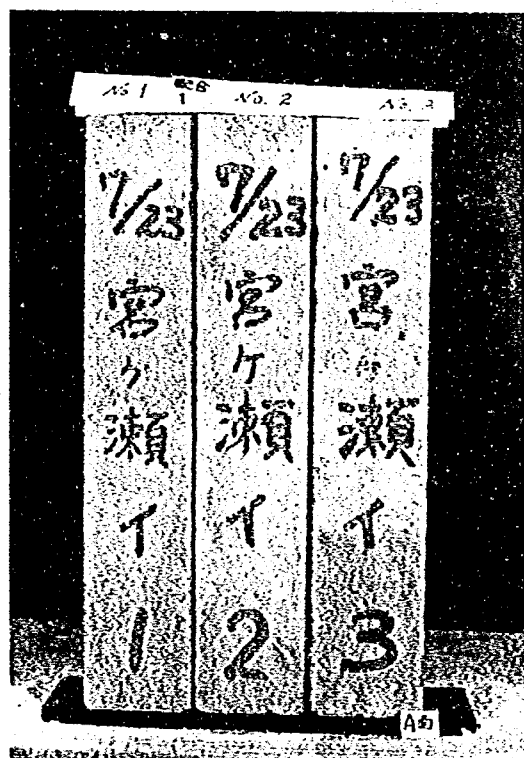


図-3.2.6 乾湿繰返しに伴う長さ変化

動弾性係数の低下は使用材料によって大きな差を生じており、配合1では8サイクルで75%、配合2では53%と少ない乾燥湿潤の繰返しで低下し、その後は徐々に低下する傾向となっている。重量は、図ではわかりづらいが、徐々に増加する傾向にあり、長さ変化ではローモンタイトを含む供試体では著しい膨張を示している。

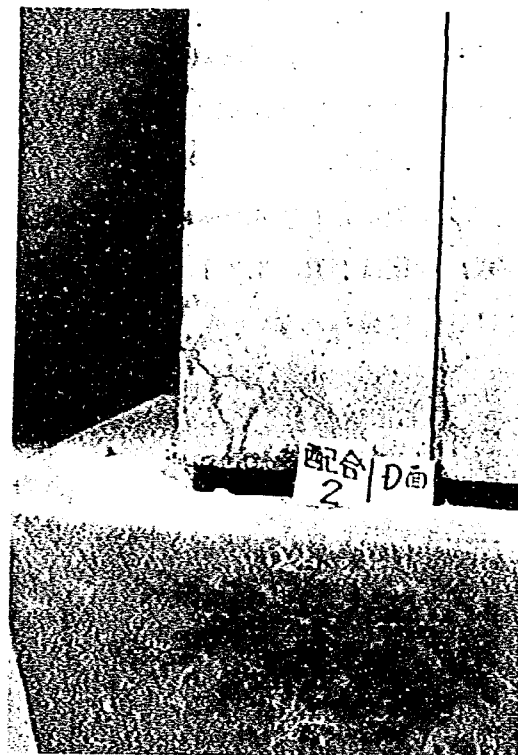
一方、比較用として用いた配合4は動弾性係数の低下は少なく、長さ変化も収縮を示している。

外観の変化は写真-3.2.1に示すように配合1、2で、表面にひびわれが発生しているのに対して配合4は変化は見られない。

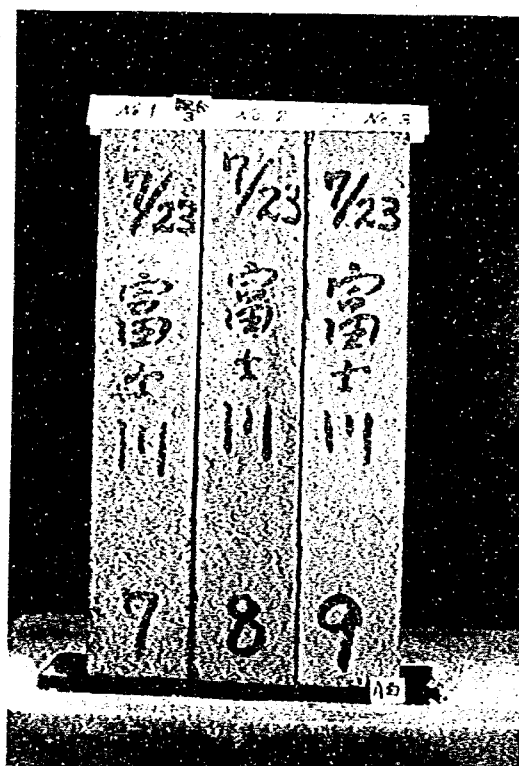


配 合 1 (32 サイクル)

写真-3.2.1 コンクリートの乾湿繰返しに伴う供試体の外観変化 (その1)



配 合 2 (32 サイクル)



配 合 4 (32 サイクル)

写真-3.2.1 コンクリートの乾湿繰り返しに伴う供試体の外観変化 (その2)

ローモンタイトを含む骨材を用いたコンクリートの乾燥湿潤試験は他に例を見ないため、試験によって大きく劣化した例は初めてである。配合 1, 2 では乾燥湿潤繰返し回数が増すにつれてコンクリート表面に無数の微小なひびわれが発生し、そのうちのいくつかは比較的大きなひびわれに発展している。

動弾性係数の低下や膨張は供試体に発生したひびわれが原因しているものと思われる。また、ひびわれの原因は乾燥湿潤繰返しに伴うローモンタイトの収縮・膨張、及び粉化によるものであろうと思われる。

3.2.4 コンクリートの長さ変化試験

この試験による動弾性係数の変化を図-3.2.7に示し、長さの変化を図-3.2.8に示す。

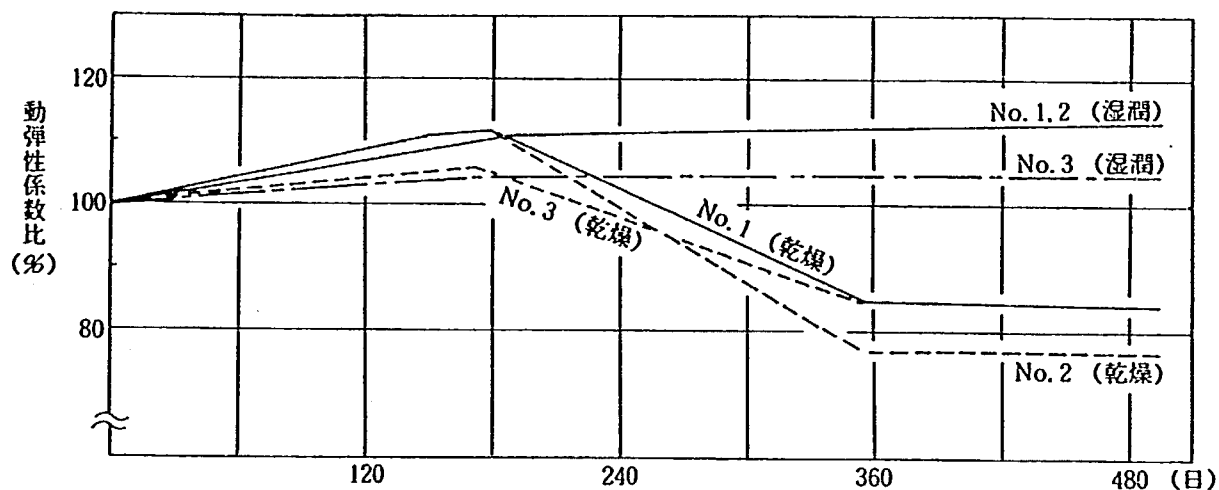


図-3.2.7 動弾性係数の変化

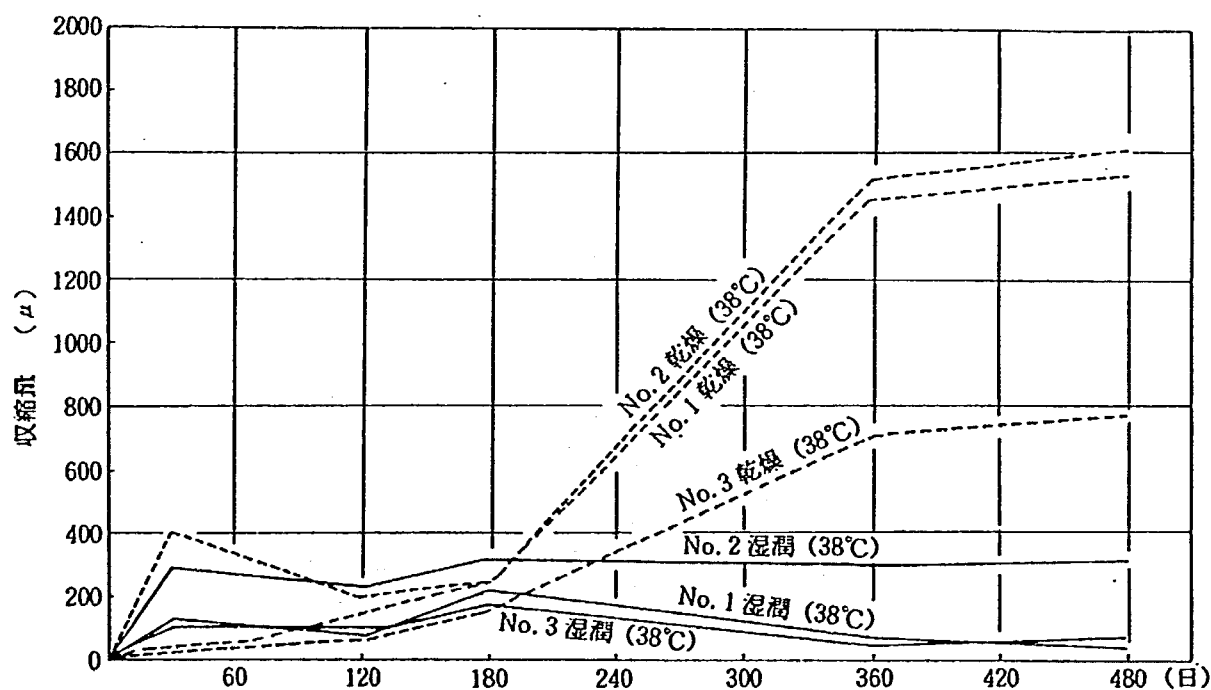


図-3.2.8 長さ変化

湿潤状態においた供試体の動弾性係数は材令が増すにつれ増加し、乾燥状態においた供試体は減少している。これは湿潤状態においたものは水和が進み強度増進したものであり、乾燥状態においたものは供試体中の水分の蒸発による動弾性係数の低下に起因するものである。従って、動弾性係数の経時変化を見た範囲では、ローモンタイトによるコンクリートの劣化は認められない。

長さ変化では湿潤状態においたものは、それほど大きな変化を示していないが、乾燥状態においたものは大きな収縮を示している。これらも動弾性係数同様、水分の蒸発に依存する変化であると思われるが、収縮量が大きい。

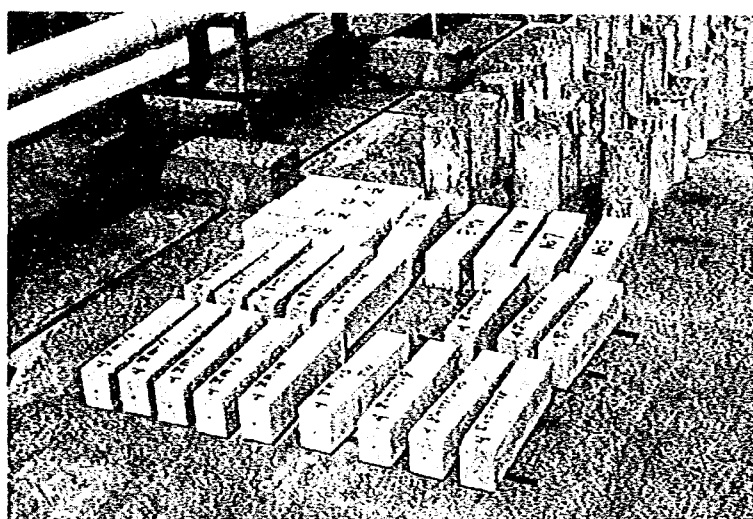
以上の事より、ローモンタイトを含む骨材を用いたコンクリートは、常時乾燥、常時湿潤状態であれば劣化しない事がわかる。また、コンクリートの性質も通常のコンクリートとあまり大きな違いはないといえる。

3.2.5 コンクリートの曝露試験

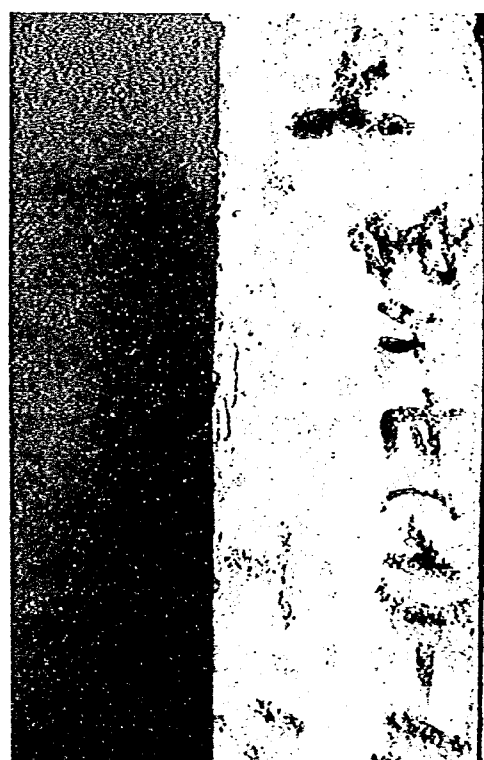
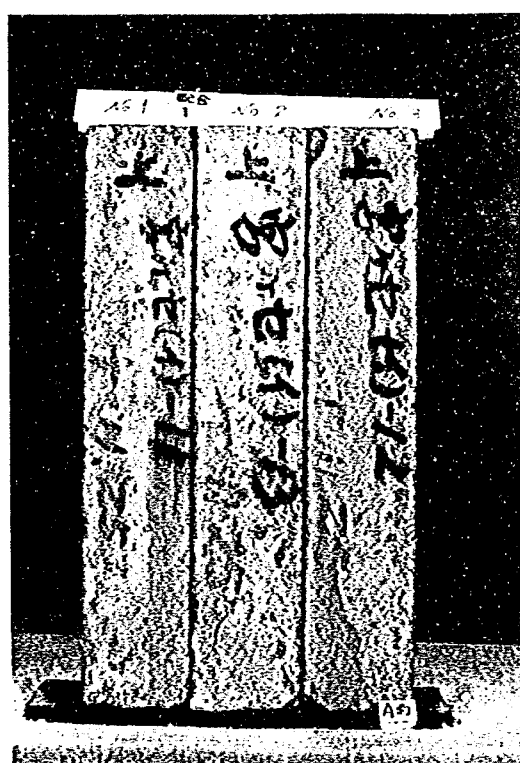
曝露試験におけるコンクリート供試体の動弾性係数の経時変化を表-3.2.4に示す。また外観状況を写真-3.2.2に示す。

表-3.2.4 曝露試験における供試体の経年変化

配合	No	Eo ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)	En/Eo $\times 100$ (%)		1年3ヶ月後の平均
			1年後	1年3ヶ月後	
1	1	294	106.0	105.4	105.1
	2	296	105.5	103.7	
	3	302	105.1	104.9	
	4	295	105.8	106.2	
	5	298	105.2	105.2	
2	1	290	102.1	97.8	94.0
	2	283	96.3	93.8	
	3	287	90.4	85.5	
	4	282	95.7	93.5	
	5	295	99.5	98.3	
	6	278	96.6	94.8	
3	1	369	104.7	102.2	103.3
	2	373	103.1	101.9	
	3	362	103.7	102.4	
	4	377	105.2	103.7	
	5	356	107.9	106.8	
	6	368	103.6	102.8	

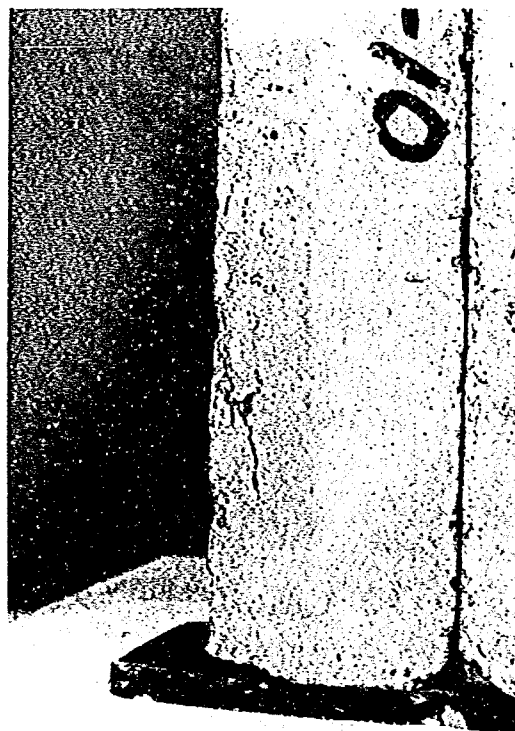
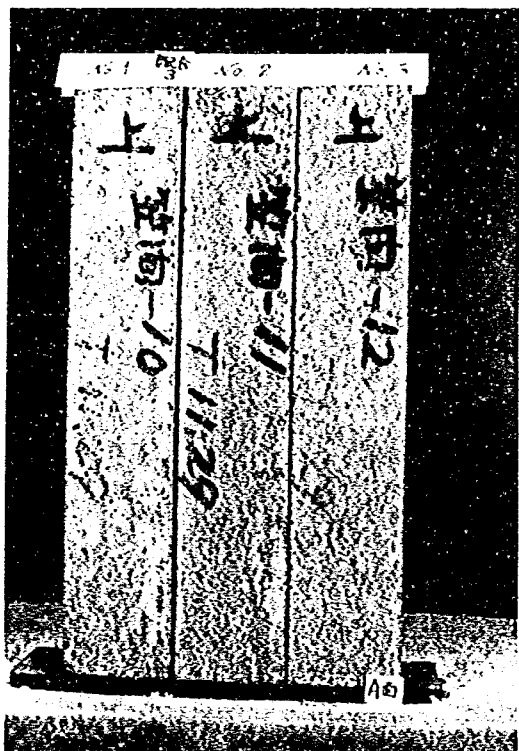


曝 露 状 況

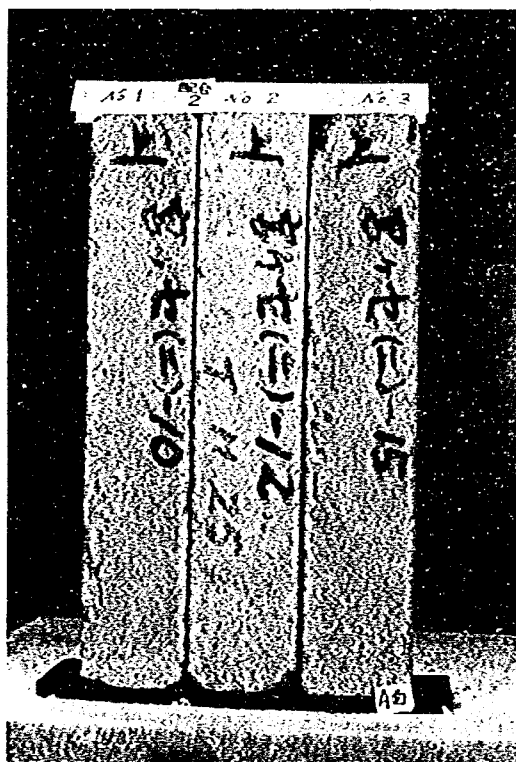


配 合 1

写真-3.2.2 コンクリートの曝露試験における供試体の外観変化（その1）



配 合 2



配 合 3

写真-3.2.2 コンクリートの曝露試験における供試体の外観変化（その2）

曝露期間1年3ヶ月において、配合2の供試体は動弾性係数の低下は94%とわずかであるが、角欠け、ひびわれ等が顕著に現れている。配合1では動弾性係数は増加しているが、配合2同様に角欠け、ひびわれを生じている。

ローモンタイトを含む骨材を用いたコンクリートを屋外で曝露すると、供試体の角欠け、ひびわれの外見的な変化を顕著に示すのが特徴である。これは、角欠けやポップアウトをした箇所にローモンタイトを含む骨材が存在していることが確認されていることから、この劣化がローモンタイトの存在に関連することがうかがえる。室内の乾湿繰返し試験に比べて表面の劣化が顕著に現れる理由は、ここでは明確にすることはできなかったが、屋外曝露の場合には乾湿のサイクルが室内よりも遅いことや、日光等の他の劣化条件が加っていること等からそれらが原因となっていると考えられる。また動弾性係数の低下が室内の乾湿繰返し試験ほど顕著でないのは、劣化が比較的コンクリートの表面だけに生じていた可能性があることに帰因するとも考えられる。

3.3 まとめ

以上の調査結果は現地から送付された大瀬産の凝灰岩質砂岩を原石とする骨材についての試験結果であり、各種の鉱物を含むので、ローモンタイトを含有する岩石の一般的性質を示すものではない。また、ローモンタイトの特徴が明確に把握された訳でもないが、ここで調査した範囲では、おおむね次のようなことが言える。

- (1) 試験の対象とした凝灰岩質砂岩は、吸水率、安定性損失重量の点で JIS 及び土木学会のコンクリート用骨材の品質規格・規準に満たないものである。また、骨材中に含まれるローモンタイトが多くなるほど骨材の品質は低下する傾向にある。
- (2) コンクリートの凍結融解試験では劣化はほとんど認められず、良好な結果であった。この骨材は断えず湿潤状態にある凍結融解試験では凍結融解作用に強いものであるといえる。
- (3) 常時乾燥、湿潤状態におかれたコンクリート供試体の場合、1年程度の期間では乾燥による収縮以外に顕著な挙動は認められず、膨張することもない。したがって一定湿度環境下のもとでは、この骨材を用いたコンクリートは劣化を生じないものと考えられる。
- (4) 乾燥、湿潤を繰返すと数サイクル程度の繰返しで変化が現われ、微小ひびわれの発生、体積膨張、動弾性係数の低下等を生ずる。この現象はローモンタイトの含有量が増加するほど顕著に現われる。
- (5) コンクリート供試体を屋外曝露した場合には、1年程度の曝露期間で角欠けやひびわれを生じた。また、その程度はローモンタイトの含有量が多いほど顕著である。
- (6) ここでコンクリートの試験に用いた骨材はローモンタイトの含有量が1.1%の砕砂と4.9%の砕砂しか行っていないが、どちらの場合にも乾湿の繰返しおよび屋外曝露による変化がみられたため、屋外など外気にさらされる部分のコンクリートにこの骨材を使用することは好ましくないと判断される。

4. 南山産骨材及びダムサイト堀削ズリ骨材に対する検討（昭和 57 年度～59 年度）

4.1 試験方法

4.1.1 骨材の物理試験

送付された南山産骨材（M 5, M 6 横坑堀削ズリ）およびダムサイト堀削ズリ（No. 4）について以下の試験を実施した。

- （1）粗骨材の比重及び吸水率試験（JIS A 1110）
- （2）骨材の単位容積重量及び実積率試験（JIS A 1104）
- （3）骨材の硫酸ナトリウムによる安定性試験（JIS A 1122）
- （4）ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験（JIS A 1121）
- （5）骨材の洗い試験（JIS A 1103）
- （6）細骨材の比重および吸水率試験（JIS A 1109）
- （7）骨材のふるい分け試験（JIS A 1102）
- （8）細骨材の有機不純物試験（JIS A 1105）

4.1.2 骨材の化学的安定性試験

送付された骨材試料 M 5, M 6, No. 4 について、ASTM C 289「骨材の潜在反応性試験方法（化学法）」を実施した。

骨材は、ロールジョークラッシャーで 0.3～0.15 mm に破碎し、水洗後乾燥した。

骨材 25 g と 1 規定の水酸化ナトリウム水溶液 25 ml をステンレス反応容器に入れ、恒温水槽中で 80±1℃ に 24 時間保持した後、溶液を口別した。その溶液中のアルカリ濃度減少量と溶解シリカ量を測定した。

4.1.3 コンクリートの試験

（1）使用材料

1) セメント

使用したセメントは、普通ポルトランドセメントでその物理試験結果を表-4.1.1 に示す。

2) AE 剤

AE 剤には天然樹脂酸塩系「ヴィンソル」を 20 倍溶液にして使用した。

3) 骨材

細骨材には南山 M 5 横坑堀削ズリ、南山弱風化部 M 6 横坑堀削ズリ、ダムサイト堀削ズリ No. 4 及び比較用に富士川産川砂を用いた。

粗骨材には細骨材で述べた当該試料 3 種と比較用に笠間産碎石を用いた。

（2）コンクリートの配合及び試験条件

コンクリートの配合は次に示す条件でコンクリート供試体を作製した。

w/c : 55%

スランブ：7±1 cm

空気量：4～4.5%

試験は各骨材での違いや水セメント比の違いによる影響を把握できるようにし、また後述するコンクリートの試験による挙動の変化を調べられるような試験ケースの設定を行った。

この様に設定した試験ケースでのコンクリートの配合を表-4.1.2に示す。

表-4.1.2 コンクリートの配合

配合	粗骨材	細骨材	S/a (%)	単位重量(kg/m ³)					スランブ (cm)	空気量 (%)
				W	C	S	G	AE剤		
1	M 6	M 6	41	177	322	698	1,017	.020	8.0	4.9
2	M 5	M 5	41	177	322	729	1,057	.020	6.4	4.5
3	M 4	M 4	41	177	322	729	1,045	.022	5.6	4.8
4	笠間	富士	45	165	300	820	1,020	.019	6.7	4.5

備考：AE剤-ウィンソル，使用量-C量×(%)

：G_{max}=25 mm

- | | |
|----------------------|------------------|
| (3) コンクリートの凍結融解試験 | } 記載省略
3.1 参照 |
| (4) コンクリートの乾燥湿潤繰返し試験 | |
| (5) コンクリートの曝露試験 | |

4.2 試験結果及び考察

4.2.1 骨材の物理試験

送付された南山 M 5 横坑堀削ズリ，弱風化部 M 6 横坑堀削ズリ及びダムサイト左岸堀削ズリの物理試験結果を表-4.2.1，4.2.2に示す。

JIS A 5005「コンクリート用碎石」の規格値は，比重 2.5 以上（土木学会ダムコンクリート標準示方書では 2.6 以上），吸水率 3%以下，安定性損失重量 12%以下，すりへり減量 40%以下であるため，M 5，M 6，No. 4 試料とも安定性損失重量が各々 18.8%，59.9%，22.4%と規格値を満足していない。また，M 6 では吸水率 3.98%と吸水率も規格値を上回っている。このため，これらの試料は，コンクリート用骨材としては良質なものとはいえず，耐久性等の試験結果にもとづいて使用の可否を判断し

表-4.2.1 粗骨材の物理試験結果

種類	比重	吸水率 (%)	安定性損失 重量(%)	すりへり 減量(%)	実積率 (%)	単位容積重 量(kg/l)
M 6	2.55	3.98	59.9	17.2	59.4	1.46
M 5	2.65	1.83	17.4	16.5	63.7	1.69
No. 4	2.62	2.27	22.4	15.4	63.9	1.68
笠 間	2.72	0.50	6.2	11.8	56.7	1.55

表-4.1.1 普通ポルトランドセメント

普通ポルトランドセメント
試験成績表

御中

昭和 58 年 12 月 10 日

試料名

11 月分

小野田セメント



試験項目	比重	粉末度		凝結			安定性
		比表面積 (cm^2/g)	88 μm 残分 (%)	水量 (%)	始発 (時-分)	終結 (時-分)	
試験成績	3.16 $\checkmark$	3270 $\checkmark$	0.9	27.7	2-30 $\checkmark$	3-33 $\checkmark$	良
規格値 JIS R 5210 (1979)	—	2500以上	—	—	60分以上	10時間以下	良

試験項目	フロー値	強さ [kgf/cm^2 (N/mm^2)]					
		曲げ強さ			圧縮強さ		
		3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
試験成績	251	36	50	70	142 $\checkmark$	230 $\checkmark$	410 $\checkmark$
規格値 JIS R 5210 (1979)	—	—	—	—	70以上 (6.86以上)	150以上 (14.71以上)	300以上 (29.42以上)

試験項目	化学成分 (%)							
	強熱減量 (ig. loss)	不溶残分 (insol.)	二酸化けい素 (SiO_2)	酸化アルミニウム (Al_2O_3)	酸化第一鉄 (Fe_2O_3)	酸化カルシウム (CaO)	酸化マグネシウム (MgO)	三酸化硫黄 (SO_3)
試験成績	0.6	0.1	22.0	5.5	3.0	65.0	1.3 $\checkmark$	1.9 $\checkmark$
規格値 JIS R 5210 (1979)	3.0以下	—	—	—	—	—	5.0以下	3.0以下
								合計 99.4

試験方法は JIS R 5201および JIS R 5202による

お問合せその他のご連絡先

記	異常凝結性試験：合格 (試験方法は JASS 5T-101による)
事	



(〒100)

東京都千代田区丸の内1-8-2

電話 (03) 214-7611(代表)

小野田セメント株式会社東京支店

表-4.2.2 細骨材の物理試験結果

種類	比重	吸水率 (%)	安定性損失 重量(%)	洗い損失 (%)	有機不純物	単位容積重 量(kg/l)
M 6	2.52	3.90	31.7	5.0	合 格	1.51
M 5	2.63	2.17	7.1	2.1	合 格	1.65
No. 4	2.63	2.33	6.6	1.8	合 格	1.64
富士川	2.62	1.40	6.8	0.4	合 格	1.70

なければならぬと考えられた。

表-4.2.3 は、コンクリート研究室で提案した「コンクリート用粗骨材の品質規準(案)」である。この規準(案)は当研究室においてこれまで行ってきた各種骨材についての吸水率、安定性損失重量の物理的性質に関する試験結果及びコンクリートの凍結融解試験結果から、物理的性質の規格値を多少満足しなくとも耐久性指数を確保できる規準として提案したものである。

これによれば、コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} が 300 kg/cm^2 未満で、特に耐久性を要求されないコンクリートでは吸水率 3% 以下、安定性損失重量 40% 以下であれば良いとしている。したがって、M 5, No. 4 の 2 試料については十分に耐久性を有する骨材であることが予想され、ダムコンクリート用骨材として使用することは可能であると考えられる。

表-4.2.3 コンクリート用粗骨材の品質規準 (案)

コンクリートの 設 計 基 準 強 度 σ_{ck} (kg/cm^2)	粗 骨 材 の 品 質	
	耐久性を要求されるコンクリート	耐久性を特に要求されないコンクリート (内部コンクリート, 中詰コンクリートなど)
180 未満	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} \quad \quad : 3\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 40\% \text{以下} \end{array} \right.$ または $\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} \quad \quad : 5\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 12\% \text{以下} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} \quad \quad : 5\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 40\% \text{以下} \end{array} \right.$
180 以上 300 未満	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} \quad \quad : 3\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 12\% \text{以下} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} \quad \quad : 3\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 40\% \text{以下} \end{array} \right.$ または $\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} \quad \quad : 5\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 12\% \text{以下} \end{array} \right.$
300 以上	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} \quad \quad : 3\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 12\% \text{以下} \end{array} \right.$	—

注) 1) この規定を外れる骨材でも、使用実績のあるものや凍結融解試験等によって総合的に使用が可能と認められるものは、使用してよい。

2) すりへり減量は 40% 以下とする。ただし、舗装用コンクリートに用いる場合は 35% 以下とする。

4.2.2 骨材の化学的安定性試験

表-4.2.4, 図-4.2.1 に化学法の試験結果を示す。図-4.2.1 は骨材の潜在反応性試験（化学法）をもととした骨材の判定区分であるが、M 5, M 6, No. 4 試料とも無害の域に位置し、アルカリ・シリカ反応を生じない骨材であると判断できる。

表-4.2.4 ASTM C 289 (化学法) によるアルカリ濃度減少量と溶解シリカ量

試 料	アルカリ濃度 減少量 (mmol/l)		溶解シリカ量 (mmol/l)	
南山横抗 (M 5)	217.63	215.8	44.3	44.7
	214.14		44.9	
	215.63		44.9	
南山横抗 (M 6)	370.51	373.03	25.6	25.5
	383.96		24.9	
	364.54		26.1	
ダムサイト転 用ズリ (No.4)	244.02	241.36	33.1	32.8
	243.02		32.8	
	237.05		32.5	

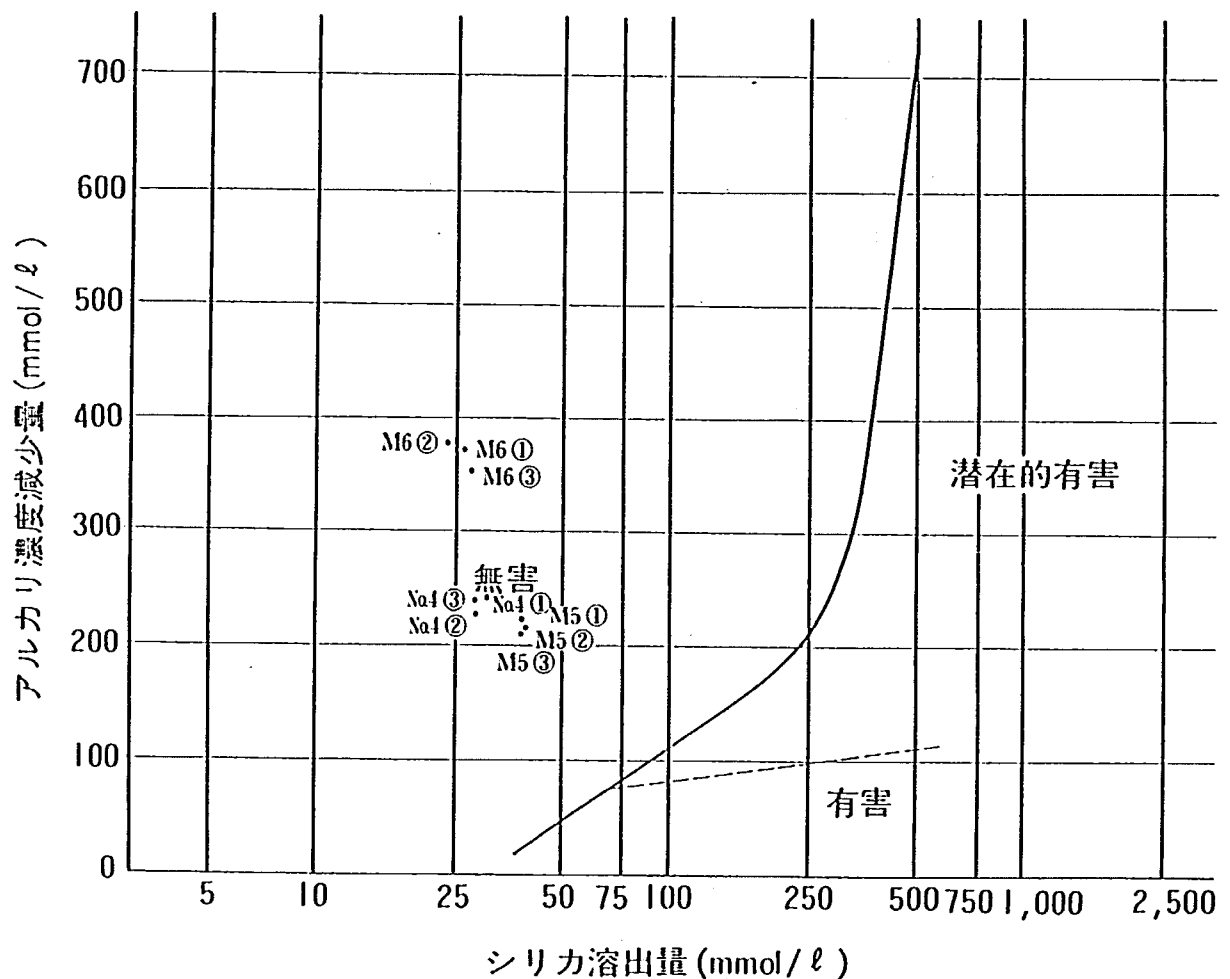


図-4.2.1 骨材の潜在反応性試験をもとにした骨材の有害度の判定区分

4.2.3 コンクリートの凍結融解試験

凍結融解繰返しに伴う供試体の動弾性係数の変化を、表-4.2.5 および図-4.2.2 に、重量変化を表-4.2.6 および図-4.2.3 に示す。また、外観変化を表-4.2.7~4.2.10 に示す。

表-4.2.5 凍結融解の繰返しによる動弾性係数の変化

配 合	試験開始時の動弾性係数 ($\times 10^3 \text{ kg f/cm}^2$)	相対動弾性係数 $\frac{n_t^2}{n_0^2} \times 100 (\%)$									DF
		サイクル 5	10	21	50	97	138	204	257	300	
FKV	382	98.6	98.6	98.9	98.9	99.1	98.3	99.4	99.1	98.4	98.6
	374	98.5	98.4	98.8	98.7	98.3	97.1	98.1	97.7	97.2	
	361	98.8	98.8	99.1	99.1	99.1	98.3	100.1	99.5	100.1	
	372	98.6	98.6	98.9	98.9	98.8	97.9	99.2	98.8	98.6	
FKP	397	99.2	98.9	98.8	98.7	98.4	98.3	98.5	97.9	97.9	96.6
	378	98.4	98.3	98.3	97.8	97.7	96.8	96.9	95.5	95.4	
	378	98.2	97.9	97.8	97.6	97.3	96.7	97.0	96.0	96.4	
	384	98.6	98.4	98.3	98.0	97.8	97.3	97.4	96.5	96.6	
NO. 4	298	99.5	99.4	99.4	99.5	100.6	99.9	101.6	100.7	101.4	99.3
	290	99.0	99.0	98.7	98.6	98.7	97.3	98.3	96.7	96.7	
	292	99.5	99.4	99.2	99.2	99.2	98.9	99.9	99.5	99.8	
	293	99.3	99.3	99.1	99.1	99.5	98.7	99.9	99.0	99.3	
M 5	315	98.3	98.6	98.5	98.8	99.2	98.7	100.1	99.4	100.0	99.3
	309	99.0	99.0	99.0	99.1	99.4	98.6	100.1	99.4	98.9	
	314	98.7	98.7	98.6	98.4	98.6	98.0	99.6	98.8	99.0	
	313	98.7	98.8	98.7	98.8	99.1	98.4	99.9	99.2	99.3	
M 6 w/c=45	302	97.9	97.7	97.6	97.2	97.5	96.4	97.8	97.6	97.6	97.4
	312	98.1	97.8	97.8	97.6	97.9	97.1	97.9	97.4	97.3	
	299	97.7	98.3	98.1	97.6	98.0	97.2	98.2	97.5	97.4	
	304	97.9	97.9	97.8	97.5	97.8	96.9	98.0	97.5	97.4	
M 6 w/c=55	271	98.5	98.5	98.4	98.4	98.4	97.5	98.8	98.3	97.3	98.1
	268	98.7	98.5	97.8	98.1	97.9	97.4	99.1	98.2	98.3	
	268	97.8	98.0	97.5	97.7	98.1	98.0	99.5	98.0	98.6	
	269	98.3	98.3	97.9	98.1	98.1	97.6	99.1	98.2	98.1	
M 6 w/c=65	248	98.2	97.9	97.9	98.0	96.8	95.4	92.7	78.3	73.3	82.2
	250	98.2	98.0	98.1	98.4	98.1	97.2	96.5	93.9	89.4	
	248	97.5	97.3	96.0	95.7	95.1	91.0	89.2	86.0	83.9	
	249	98.0	97.7	97.3	97.4	96.7	94.5	92.8	86.1	82.2	

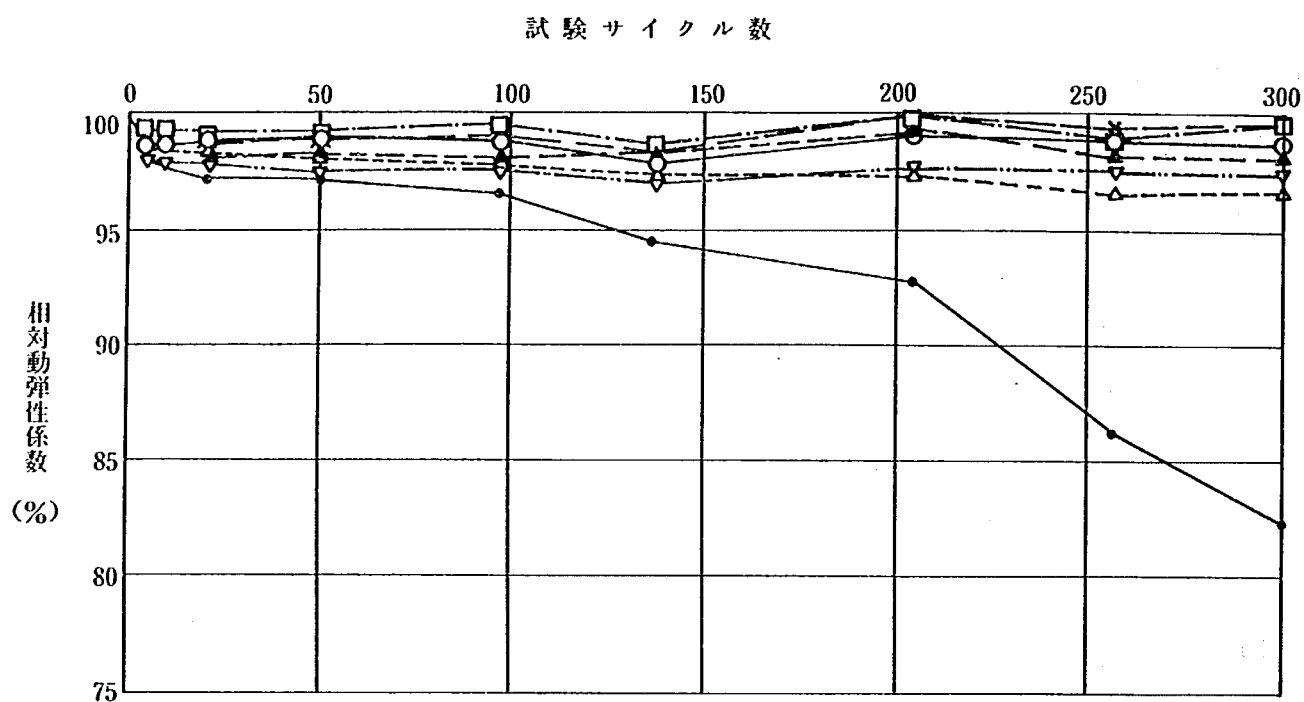


図-4.2.2 凍結融解の繰り返しによる動弾性係数の変化

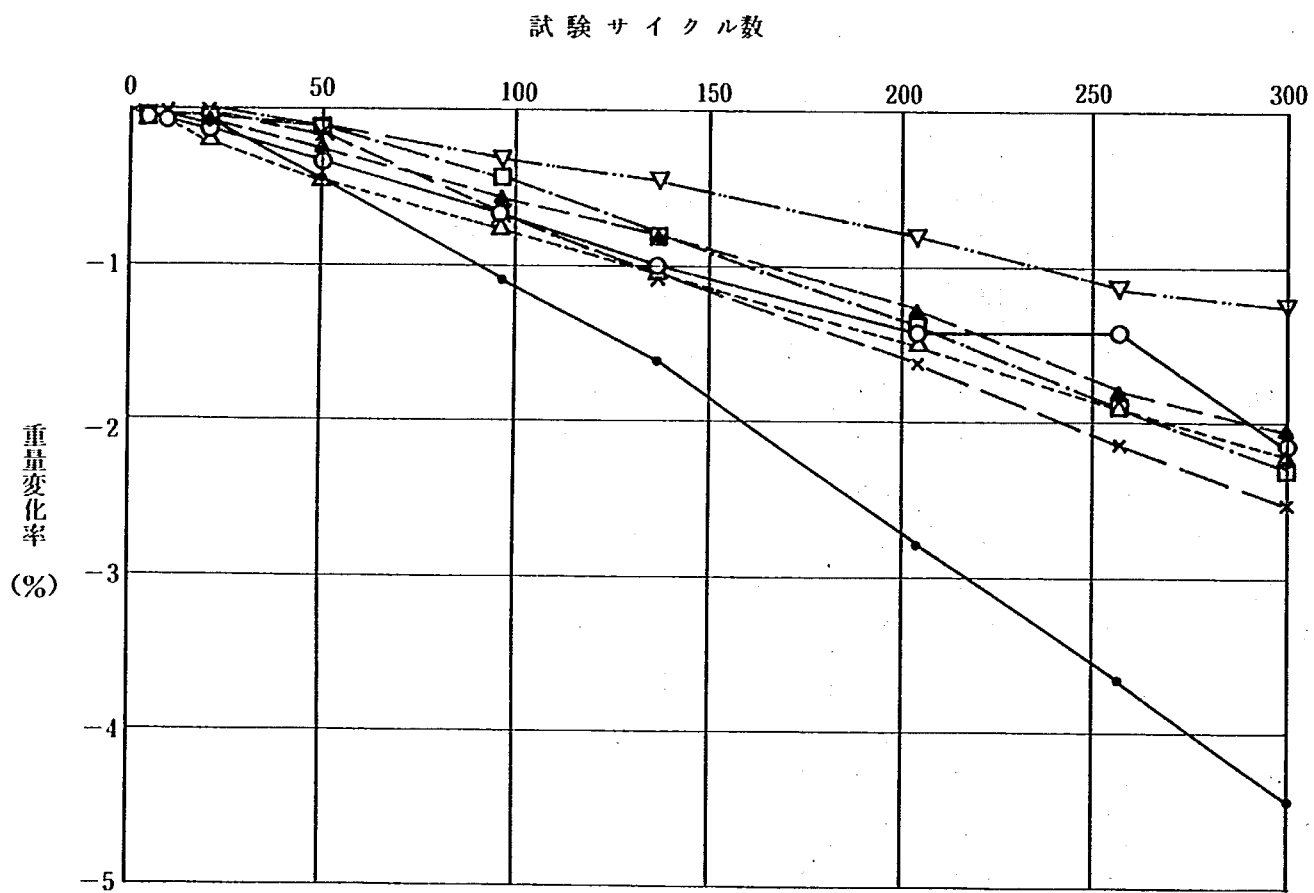


図-4.2.3 凍結融解の繰り返しによる供試体の重量変化

表-4.2.6 凍結融解の繰り返しによる供試体の重量変化

配 合	試験開始時 の供試体重量 (kg)	重量変化率 $\frac{w_0 - w_c}{w_0} \times 100 (\%)$								
		サイクル 5	10	21	50	97	138	204	257	300
FKV	9.5944	-0.04	-0.05	-0.10	-0.25	-0.60	-0.90	-1.27	-1.63	-1.88
	9.4962	-0.05	-0.09	-0.17	-0.43	-0.78	-1.12	-1.63	-2.14	-2.50
	9.5443	-0.06	-0.10	-0.15	-0.31	-0.64	-0.95	-1.38	-1.82	-2.08
	9.5450	-0.05	-0.08	-0.14	-0.33	-0.67	-0.99	-1.43	-1.43	-2.15
FKP	9.4662	-0.06	-0.08	-0.16	-0.34	-0.63	-0.89	-1.21	-1.58	-1.86
	9.4537	-0.11	-0.16	-0.26	-0.56	-0.91	-1.28	-1.88	-2.31	-2.70
	9.4066	-0.08	-0.10	-0.21	-0.47	-0.74	-0.98	-1.46	-1.89	-2.17
	9.4422	-0.08	-0.11	-0.21	-0.46	-0.76	-1.05	-1.52	-1.93	-2.24
NO. 4	9.3385	-0.03	-0.02	-0.04	-0.10	-0.26	-0.57	-1.19	-1.70	-2.02
	9.3793	-0.04	-0.05	-0.07	-0.23	-0.56	-1.03	-1.71	-2.33	-2.83
	9.3111	-0.06	-0.04	-0.05	-0.07	-0.48	-0.79	-1.23	-1.77	-2.07
	9.3430	-0.04	-0.04	-0.05	-0.13	-0.43	-0.80	-1.38	-1.93	-2.31
M 5	9.4329	-0.02	-0.01	-0.02	-0.30	-0.68	-1.05	-1.51	-2.01	-2.31
	9.4444	-0.01	-0.01	-0.03	-0.38	-0.68	-1.14	-1.81	-2.39	-2.85
	9.3770	-0.02	-0.02	-0.02	-0.36	-0.64	-0.98	-1.53	-2.07	-2.49
	9.4181	-0.02	-0.01	-0.02	-0.35	-0.67	-1.06	-1.62	-2.16	-2.55
M 6 w/c=45	9.1291	-0.04	-0.08	-0.10	-0.17	-0.36	-0.53	-0.88	-1.20	-1.32
	9.1889	-0.00	-0.02	-0.02	-0.04	-0.25	-0.42	-0.72	-1.14	-1.30
	9.0788	-0.02	-0.04	-0.06	-0.13	-0.36	-0.43	-0.80	-1.10	-1.23
	9.1323	-0.02	-0.05	-0.06	-0.19	-0.32	-0.46	-0.80	-1.15	-1.28
M 6 w/c=55	8.9742	-0.01	-0.04	-0.05	-0.18	-0.53	-0.77	-1.27	-1.85	-2.18
	9.0644	-0.01	-0.04	-0.06	-0.25	-0.58	-0.84	-1.38	-1.87	-2.11
	8.9158	-0.07	-0.11	-0.13	-0.33	-0.61	-0.81	-1.22	-1.70	-1.98
	8.9848	-0.03	-0.06	-0.08	-0.25	-0.57	-0.81	-1.29	-1.81	-2.09
M 6 w/c=65	8.9486	-0.00	-0.03	-0.13	-0.44	-0.97	-1.32	-2.54	-3.16	-3.62
	9.0827	-0.00	-0.03	-0.09	-0.39	-1.01	-1.41	-2.21	-3.15	-4.11
	9.0396	-0.01	-0.01	-0.05	-0.54	-1.29	-2.13	-3.58	-4.65	-5.62
	9.0236	-0.00	-0.02	-0.09	-0.46	-1.09	-1.62	-2.78	-3.65	-4.45

表-4.2.7 凍結融解の繰り返しによる供試体の外観変化

	FKV			FKP		
	A 面	B, D 面	C 面	A 面	B, D 面	C 面
5	No. 1, No. 2 表面極く僅かに スケーリング	D 面 No. 1, No. 2 僅かにス ケーリング	変 化 な し	No. 1 極 く 僅 か, No. 2 5 % 程度スケーリン グ	変 化 な し	変 化 な し
10	No. 1, No. 3 10~30%スケー リング, No. 2 50%程度	5 %程度スケ ーリング	僅かにスケーリ ング	5~20%程度ス ケーリング, 特 に No. 2 が大き い	気泡が少し多く 見えてきた	変 化 な し
21	50~80%程度ス ケーリング	10%程度スケ ーリング	僅かにスケーリ ング	60~70%程度ス ケーリング	極く僅かにス ケーリング	極く僅かにス ケーリング, 外 観的に大きな変 化なし
50	80~95%程度ス ケーリング	10~15%程度ス ケーリング	僅かにスケーリ ング	90~95%程度ス ケーリング	5~10%程度ス ケーリング	僅かにスケーリ ング
97	供試体表面積で 100%スケーリ ング, 粗い砂露 出	20~50%程度ス ケーリング, No. 2 の周辺に 粗い砂露出	少しスケーリン グ, 外観的に大 きな変化なし	95~100%程 度スケーリング, 粗い砂が全面に 見える	10~20%程度ス ケーリング, 特 に No. 2 が大き い	少しスケーリン グ
138	粗骨材極く僅か に見える	30~60%程度, 粗い砂が露出	外観的に大きな 変化なし	100%スケーリ ング, 粗骨材が 極く僅かに見え る	25~50%程度ス ケーリング, 周 辺部が特に目立 つ	供試体表面積で 5 %程度スケ ーリング
204	粗い砂露出, 僅 かに粗骨材見え る	40~70%程度, 粗骨材極く僅か 露出	5 %程度, No. 2 に極く僅か粗い 砂露出	粗骨材少し露出	40~60%程度ス ケーリング, 粗 骨材も少し露出	5~10%程度ス ケーリング
257	粗骨材少し露出	70~90%程度, 特に B 面の方 が大きい	5~10%程度ス ケーリング, 特 に No. 2 が大き い	粗骨材少し露出	60~80%程度ス ケーリング, 特 に No. 2 の骨材 が目立つ	10%程度スケ ーリング, スケ ーリング部に粗 い砂が見える
300	粗い砂, 粗骨材 が露出	70~95%程度, 特に No. 2 骨材 が目立つ	5~10%程度, 特に No. 2 の周 辺部大きい	No. 2, 周辺部中 央少し丸見がか る	60~90%程度ス ケーリング, 全 体に粗骨材見え てくる	15~20%程度ス ケーリング

表-4.2.8 凍結融解の繰り返しによる供試体の外観変化

	No. 4			M 5		
	A 面	B, D 面	C 面	A 面	B, D 面	C 面
5	供試体 No. 1, No. 2, No. 3 変化なし	供試体 No. 1~No. 3 とも小さな気泡が多くなった	供試体 No. 1~No. 3 とも小さな気泡が多くなった	供試体表面極く僅かスケーリング	極く僅かスケーリング, D 面 No. 2 下, 少しかけおち	供試体 No. 1~No. 3 変化なし
10	供試体 No. 1~No. 3 とも変化なし	供試体表面極く僅かにスケーリング	供試体周辺部極く僅かにスケーリング	極く僅かにスケーリング	少しスケーリング	変化なし
21	供試体 No. 3 極く僅かにスケーリング	供試体表面極く僅かにスケーリング	供試体表面積で 5% 程度スケーリング	10~20% 程度スケーリング, 特に No. 2 が大きい	少しスケーリング	変化なし
50	5% 程度スケーリング	5~10% 程度スケーリング, 特に No. 2 が大きい	供試体表面積で 5% 程度スケーリング	60~70% 程度スケーリング	5~10% 程度スケーリング	供試体表面少しスケーリング
97	25~50% 程度スケーリング	30~50% 程度スケーリング (周辺部)	5~10% 程度スケーリング	90~95% 程度, 粗い砂が見える	20~40% 程度スケーリング	5~10% 程度, 特に No. 2 の周辺部が大きい
138	50~70% 程度スケーリング	供試体周辺部 40~60% 程度スケーリング	10% 程度スケーリング	100% スケーリング	40~60% 程度スケーリング	10~30% スケーリング
204	80~90% 程度スケーリング, 粗い砂極く僅か見える	45~65% 程度スケーリング, 粗い砂が目立つ	30% 程度, No. 2 に極く僅か粗骨材見える	骨材が露出	50~90% 程度スケーリング, 周辺部骨材が見える	10~35% スケーリング
257	90~95% 程度スケーリング, 粗骨材極く僅か見える	50~85% 程度スケーリング, 特に No. 2 が大きい	35~65% 程度スケーリング, 周辺に粗骨材見える	204 サイクル時と大きな変化なし	60~100% スケーリング	粗骨材が露出, 35~90% 特に No. 2 が大
300	95~100% 程度スケーリング	55~95% 程度スケーリング	55~95% 程度スケーリング	204 サイクル時と大きな変化なし	70~100% スケーリング	40~90% スケーリング

表-4.2.9 凍結融解の繰り返しによる供試体の外観変化

	M 6 w/c=45			M 6 w/c=55		
	A 面	B, D 面	C 面	A 面	B, D 面	C 面
5	No. 1, No. 3 5%程度スケ ーリング	供試体表面極く 僅かスケーリ ング	変 化 な し	供試体表面積と No. 1, No. 2 10%, No. 3 75%程度スケ ーリング	僅かにスケーリ ング	極く僅かにス ケーリング
10	No. 1 30% No. 3 10% スケーリング	僅かにスケーリ ング	変 化 な し	No. 1, No. 2 40%, No. 3 90%スケーリ ング	供試体表面少し スケーリング	極く僅かにス ケーリング
21	30~50% スケーリング, No. 1, No. 3	少しスケーリ ング	供試体表面少し スケーリング	供試体表面積で 80~100%程度 スケーリング	10%程度スケ ーリング, 外観的 に変化なし	僅かにスケーリ ング, 外観的に 変化なし
50	No. 1, No. 3 70~80%程度ス ケーリング, No. 2 15%	5~20%程度ス ケーリング	50%程度スケ ーリング	供試体表面積で 95~100%程度 スケーリング	20%程度周辺部 にスケーリン グ, スケーリン グ部分に細骨材	供試体周辺部に 少しスケーリン グ
97	80~90%スケ ーリング	10~20%程度ス ケーリング	5%程度, No. 1 風化した粗骨材 露出	100%スケーリ ング, 砂が見え る	30%程度スケ ーリング	少しスケーリ ング, 50サイクル 時と外観的に変 化なし
138	90~95%程度ス ケーリング	20~30%程度ス ケーリング	97サイクル時と 外観的に変化な し	97サイクル時と 外観的に変化な し	周辺部40%程度 スケーリング, 粗い砂が露出	供試体周辺部 5%程度スケ ーリング
204	100%スケーリ ング, 粗い砂, 風化岩が全面に 見える	40~50%程度ス ケーリング	10~15%スケ ーリング, No. 1 風化岩崩壊する	外観的に変化な し	50%程度スケ ーリング, 粗骨材 も露出	10%スケーリ ング
257	風化岩部分に穴 があく	40~70%スケ ーリング	15~30%スケ ーリング, かけお ち部分大きくな る	粗い砂, 風化し た粗骨材も見え る	50~70%程度ス ケーリング, D 面に粗骨材見え る	20%スケーリ ング
300	257サイクル時 と外観的に変化 なし	40~80%スケ ーリング, 粗骨材 少し見える	20~40%スケ ーリング	風化岩の所が凹 状となる	60~80%程度ス ケーリング	30~45%スケ ーリング

表-4.2.10 凍結融解の繰り返しによる供試体の外観変化

	M 6 w/c=65		
	A 面	B, D 面	C 面
5	供試体表面積で10%程度スケールリング	少しスケールリング	極く僅かにスケールリング
10	供試体表面積で40~60%程度スケールリング	5%程度スケールリング	極く僅かにスケールリング
21	70~90%程度スケールリング, 粗い砂露出	5~10%程度スケールリング	極く僅かにスケールリング
50	90~100%スケールリング, 3本とも粗い砂露出	15~30%程度スケールリング	僅かにスケールリング
97	95~100%スケールリング	25~40%程度スケールリング	少しスケールリング
138	供試体にクラック, 中央付近かけおち粗骨材露出	30~50%程度スケールリング	5%スケールリング, 風化粗骨材少し露出
204	周辺部のかけおち, No. 3 が特に大きい	40~75%程度スケールリング, かけおち有	10%程度スケールリング
257	204サイクルよりかけおちが大きくなり粗骨材多く見える	40~80%スケールリング, 全面に粗骨材露出	10~20%程度スケールリング
300	257サイクル時よりかけおち部分が大きくなる	40~90%スケールリング	15~25%程度スケールリング

これにより、各々の骨材を用いたコンクリート耐久性指数は、No.4：99.3, M5：99.3, M6：98.1, といずれにおいても良好な値を示しており、また比較用として同時に試験を実施した笠間産と同等の数値を示した。このため、いずれの骨材も笠間産骨材と同程度の凍結融解耐久性を有しているといえる。

また、弱風化部の M6 骨材については水セメント比を変化させて試験を行っているが、水セメント比 45～65%の範囲内で耐久性指数が 98.1～82.2 であったことから十分な凍結融解耐久性を有している骨材であるといえる。なお、水セメント比が大きくなるにつれて重量減少率は大きくなっている。

M6 骨材はこのようにコンクリートの凍結融解試験では良好な結果を示しているが、物理的性質が劣っている（特に安定性損失重量が 59.9%と大きい）ため、この骨材の使用はできるかぎり避けた方が良いと思われる。

4.2.4 コンクリートの乾燥湿潤繰返し試験

乾燥湿潤繰返しに伴う供試体の動弾性係数の変化を表-4.2.11 および図-4.2.4 に示し、長さ変化を表-4.2.12 および図-4.2.5 に示す。また重量の変化を表-4.2.13 および図-4.2.6 に示す。

表-4.2.11 乾燥湿潤の繰返しによる動弾性係数の変化

配 合	試験開始時の動弾性係数 ($\times 10^3 \text{ kg f/cm}^2$)	相対動弾性係数 $\frac{n_c^2}{n_0^2} \times 100 (\%)$									
		1	2	3	4	5	7	10	15	20	30
FKV	393	84.5	84.8	86.7	85.2	84.6	86.5	85.4	85.1	80.0	84.2
	389	85.3	85.3	87.3	85.9	85.4	87.7	86.0	87.1	80.9	85.5
	392	88.7	86.7	88.6	87.6	87.1	88.6	88.0	89.7	82.9	88.6
	391	86.2	85.6	87.5	86.2	85.7	87.6	86.5	87.3	81.3	86.1
FKP	394	85.4	85.2	87.1	86.0	85.7	87.9	86.0	89.8	85.0	89.7
	391	86.2	86.6	88.1	87.0	87.7	90.0	88.0	90.0	85.2	89.6
	399	86.6	87.0	88.6	87.3	87.0	89.6	88.0	88.5	84.5	90.1
	395	86.1	86.3	87.9	86.8	86.8	89.2	87.3	89.4	84.9	89.8
NO. 4	304	83.2	83.7	85.0	84.6	84.0	86.9	84.6	87.2	74.6	72.8
	304	83.1	83.4	85.0	83.8	83.3	86.0	82.8	86.3	74.3	71.8
	310	83.7	83.5	85.5	84.3	83.5	85.7	83.3	85.8	71.6	71.4
	306	83.5	83.5	85.2	84.2	83.6	86.2	83.6	86.4	73.5	72.0
M 5	331	85.2	85.3	87.0	87.1	86.3	87.4	87.1	88.7	79.9	82.2
	334	85.2	85.5	87.2	87.1	86.6	87.8	87.4	89.2	78.4	84.1
	337	85.1	85.4	87.4	86.8	86.8	88.2	87.4	89.6	81.8	84.3
	334	85.2	85.4	87.2	87.0	86.6	87.8	87.3	89.2	80.0	83.5
M 6 w/c=45	315	85.6	85.9	88.3	87.9	87.8	89.1	88.9	89.6	79.1	78.9
	322	85.9	86.4	88.0	87.9	88.0	89.3	89.3	90.1	79.1	80.1
	313	85.5	85.7	86.9	86.7	86.6	88.1	87.5	87.9	76.9	77.7
	317	85.7	86.0	87.7	87.5	87.5	88.8	88.6	89.3	78.4	78.9
M 6 w/c=55	281	84.1	83.9	85.5	84.0	83.7	84.7	83.5	84.9	71.2	72.4
	285	83.5	84.0	85.7	84.1	83.5	84.6	84.1	85.1	72.0	73.2
	288	82.6	83.8	84.7	83.7	82.3	84.0	83.3	82.4	68.7	69.7
	285	83.4	83.9	85.3	83.9	83.2	84.4	83.6	84.1	70.6	71.8
M 6 w/c=65	269	81.4	81.2	83.0	82.0	81.9	82.1	79.5	77.8	66.0	68.6
	272	82.5	81.0	83.3	82.0	81.2	82.6	80.0	77.8	67.2	64.5
	268	81.9	81.4	83.2	82.9	82.2	83.5	80.9	78.2	64.4	65.2
	270	81.9	81.2	83.2	82.3	81.8	82.7	80.1	77.9	65.9	66.1

乾燥湿潤に伴う動弾性係数の低下は全ケースとも同じ傾向であり、1サイクルで急激な低下を示し、その後20サイクルで再び低下の傾向を示した。しかし、15サイクル以後の傾向は、南山M5（新鮮部）、笠間産碎石と南山M6（弱風化部）、ダムサイト転用ズリNo.4の2つに区分される。現状でのデータ数の不足や試験方法自体の問題点などを考えると、この2つに区分される原因は不明であるが、一般物理試験での結果からM6、No.4両骨材原石とも決して良質な骨材であるとはいえず、これを反

表-4.2.12 乾燥湿潤の繰り返しによる供試体の長さ変化

配 合	供試体寸法 (cm)	長さ変化 $\frac{L_o - L_c}{L_o}$								
		1	2	3	4	5	7	10	15	20
FKV		-0.14	-0.03	-0.14	-0.14	-0.11	-0.11	-0.14	-0.03	-0.08
		-0.07	-0.07	-0.14	-0.14	-0.08	0.03	-0.08	0.08	0.11
		-0.11	-0.11	-0.14	-0.17	-0.17	-0.11	-0.20	-0.03	-0.00
	35.500	-0.11	-0.07	-0.14	-0.15	-0.12	-0.06	-0.14	0.01	0.01
FKP		-0.06	-0.06	-0.14	-0.14	-0.11	-0.11	-0.17	-0.06	-0.11
		-0.08	-0.03	-0.14	-0.14	-0.11	-0.11	-0.17	-0.03	-0.14
		-0.17	-0.06	-0.14	-0.14	-0.11	-0.08	-0.17	-0.06	-0.14
	35.500	-0.10	-0.05	-0.14	-0.14	-0.11	-0.10	-0.17	-0.05	-0.13
No. 4		-0.14	-0.11	-0.23	-0.23	-0.20	-0.06	-0.23	0.03	-0.06
		-0.20	-0.14	-0.23	-0.20	-0.20	-0.08	-0.17	-0.06	-0.08
		-0.17	-0.11	-0.23	-0.23	-0.20	-0.08	-0.25	0.06	-0.14
	35.500	-0.17	-0.12	-0.23	-0.22	-0.20	-0.07	-0.22	-0.05	-0.09
M 5		-0.14	-0.03	-0.14	-0.11	-0.08	-0.03	-0.14	-0.23	-0.06
		-0.17	-0.06	-0.14	-0.14	-0.11	0.03	-0.17	0.11	-0.03
		-0.14	-0.06	-0.14	-0.14	-0.11	0.00	-0.17	0.14	0.00
	35.500	-0.15	-0.05	-0.14	-0.13	-0.10	0.02	-0.16	0.14	0.01
M 6 w/c=45		-0.08	-0.06	-0.14	-0.14	-0.14	0.03	-0.11	0.00	0.00
		-0.17	-0.11	-0.17	-0.17	-0.14	-0.06	-0.17	-0.03	-0.03
		-0.17	-0.06	-0.14	-0.14	-0.14	-0.08	-0.14	0.00	0.03
	35.500	-0.14	-0.08	-0.15	-0.15	-0.14	-0.04	-0.14	-0.01	0.00
M 6 w/c=55		0.03	-0.03	-0.14	-0.11	-0.06	-0.06	-0.06	0.11	0.11
		-0.11	-0.03	-0.11	-0.11	-0.08	-0.03	-0.06	-0.08	0.06
		-0.11	0.01	-0.11	-0.11	-0.00	-0.03	-0.06	0.17	0.14
	35.500	-0.06	-0.02	-0.12	-0.11	-0.07	-0.04	-0.06	0.06	0.10
M 6 w/c=65		-0.03	0.00	-0.06	0.00	-0.03	0.03	0.11	0.20	0.17
		0.03	-0.03	-0.08	-0.06	-0.03	0.03	0.00	0.23	0.20
		-0.06	0.03	-0.06	-0.03	0.00	0.17	0.03	0.25	0.23
	35.500	-0.02	0.00	-0.07	-0.03	-0.02	0.08	0.05	0.23	0.20

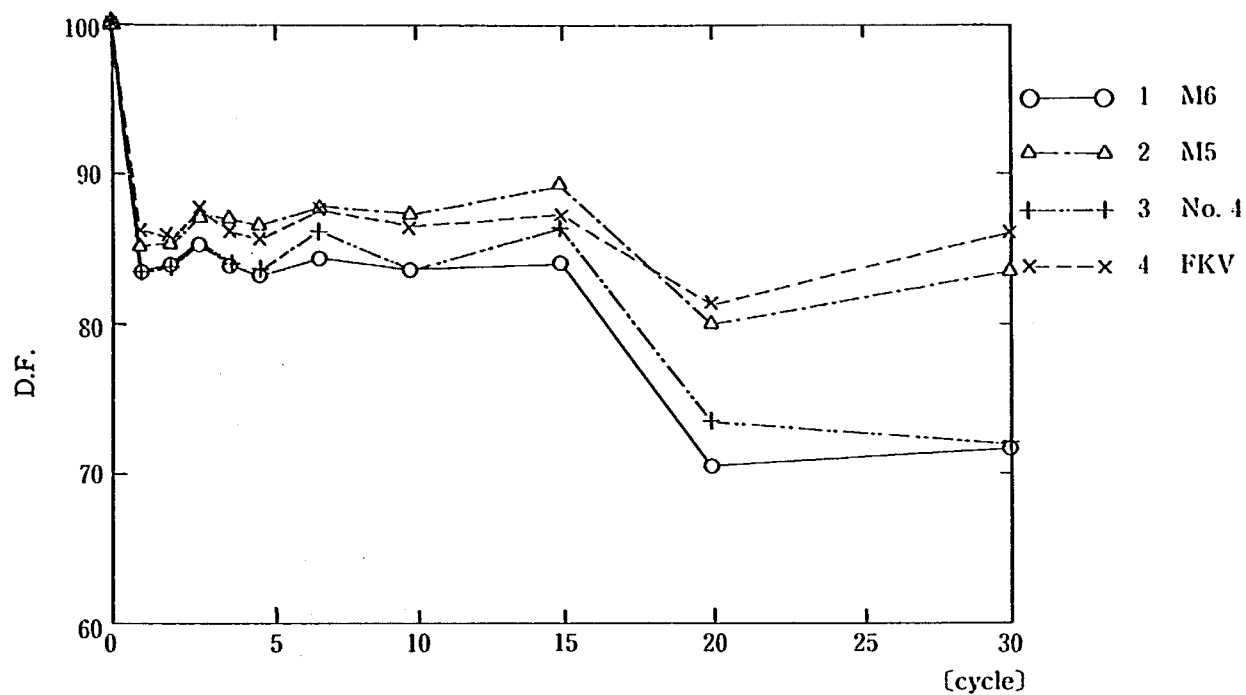


図-4.2.4 乾燥湿潤の繰り返しに伴う動弾性係数の変化

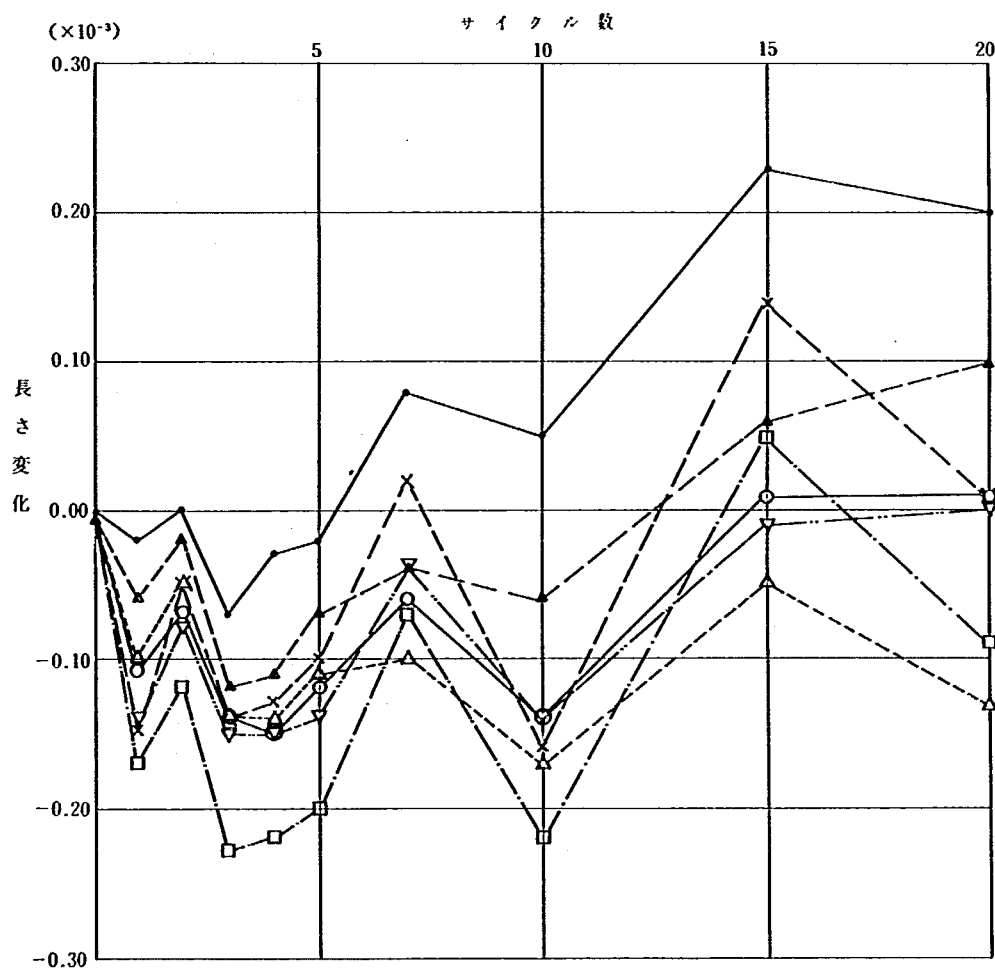


図-4.2.5 乾燥湿潤の繰り返しによる供試体の長さ変化

表-4.2.13 乾燥湿潤の繰り返しによる供試体の重量変化

	試験開始時の 供試体重量 (kg)	重量変化率 $\frac{w_o - w_c}{w_o} \times 100 (\%)$									
		1	2	3	4	5	7	10	15	20	30
FKV	9.4580	-0.44	-0.51	-0.54	-0.57	-0.23	-0.52	-0.74	-0.60	-1.09	-1.52
	9.4381	-0.46	-0.54	-0.55	-0.57	-0.65	-0.53	-0.81	-0.63	-1.12	-2.84
	0.5496	-0.43	-0.52	-0.56	-0.58	-0.75	-0.53	-0.80	-0.50	-0.92	-1.69
	9.4819	-0.44	-0.52	-0.55	-0.57	-0.71	-0.53	-0.78	-0.60	-1.04	-2.02
FKP	9.5575	-0.58	-0.64	-0.67	-0.71	-0.87	-0.66	-0.98	-0.73	-1.18	-1.05
	9.6556	-0.52	-0.59	-0.61	-0.62	-0.70	-0.56	-0.80	-0.63	-1.09	-1.12
	9.6241	-0.52	-0.60	-0.61	-0.63	-0.75	-0.58	-0.79	-0.62	-1.03	-1.66
	9.6124	-0.54	-0.61	-0.63	-0.65	-0.77	-0.60	-0.86	-0.66	-1.10	-1.28
No. 4	9.4220	-0.64	-0.34	-0.77	-0.77	-0.85	-0.66	-0.92	-0.68	-1.73	-1.63
	9.3342	-0.65	-0.76	-0.77	-0.77	-0.87	-0.68	-0.99	-0.67	-1.58	-1.67
	9.3504	-0.66	-0.79	-0.81	-0.83	-0.95	-0.76	-1.00	-0.72	-1.64	-2.09
	9.3689	-0.65	-0.63	-0.78	-0.79	-0.89	-0.70	-0.97	-0.69	-1.65	-1.80
M 5	9.4653	-0.58	-0.67	-0.71	-0.74	-0.91	-0.84	-0.98	-0.72	-1.40	-1.95
	9.4541	-0.58	-0.65	-0.67	-0.71	-0.81	-0.68	-0.86	-0.71	-1.28	-1.28
	9.5595	-0.56	-0.64	-0.66	-0.67	-0.78	-0.67	-0.85	-0.67	-1.32	-1.92
	9.4930	-0.57	-0.65	-0.68	-0.71	-0.83	-0.73	-0.90	-0.70	-1.33	-1.72
M 6 w/c=45	9.2456	-0.51	-0.67	-0.71	-0.71	-0.77	-0.62	-0.80	-0.66	-0.91	-0.89
	9.1995	-0.51	-0.65	-0.72	-0.71	-0.81	-0.63	-0.81	-0.64	-1.04	-0.91
	9.1392	-0.53	-0.66	-0.72	-0.70	-0.81	-0.63	-0.80	-0.63	-1.01	-0.57
	9.1948	-0.52	-0.66	-0.72	-0.71	-0.80	-0.63	-0.80	-0.64	-0.99	-0.79
M 6 w/c=55	8.8223	-0.52	-0.60	-0.66	-0.67	-0.88	-0.54	-0.78	-0.47	-0.86	-1.00
	9.0810	-0.42	-0.49	-0.56	-0.57	-0.76	-0.43	-0.60	-0.36	-0.72	-0.85
	8.9540	-0.45	-0.52	-0.58	-0.56	-0.71	-0.40	-0.57	-0.38	-0.52	-0.29
	8.9524	-0.46	-0.54	-0.60	-0.60	-0.78	-0.46	-0.65	-0.40	-0.70	-0.71
M 6 w/c=65	9.0127	-0.50	-0.55	-0.55	-0.51	-0.64	-0.35	-0.58	-0.34	-0.48	-0.28
	9.0128	-0.56	-0.63	-0.63	-0.55	-0.63	-0.42	-0.58	-0.47	-0.55	-0.47
	9.0220	-0.63	-0.69	-0.65	-0.57	-0.69	-0.47	-0.62	-0.51	-0.55	-0.66
	9.0158	-0.56	-0.62	-0.61	-0.54	-0.65	-0.41	-0.59	-0.44	-0.53	-0.47

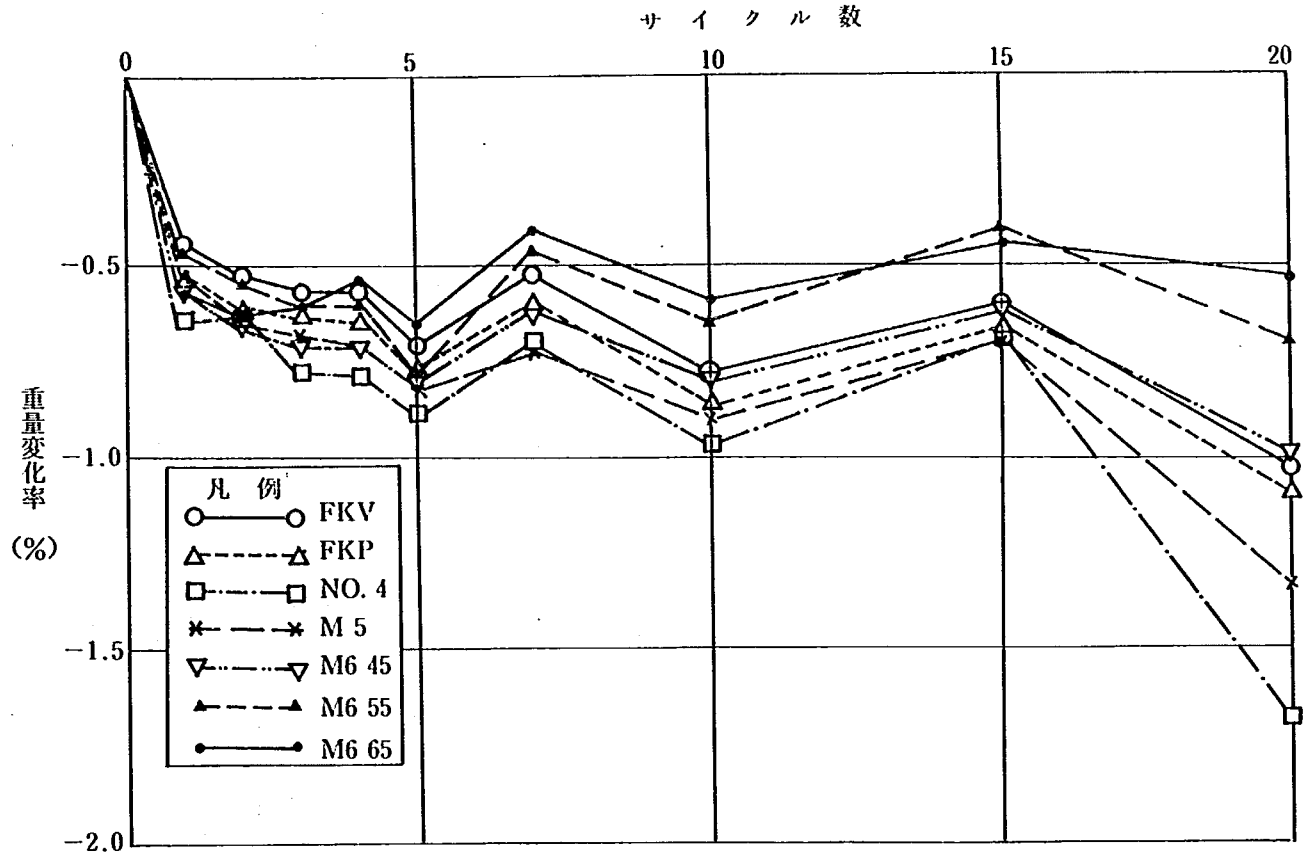


図-4.2.6 乾燥湿潤の繰り返しによる供試体の重量変化

映した結果となっている。一方、重量変化率は2%程度の減少ですべて同一傾向にあり、長さ変化も0~0.03%の間で変動して、すべてが収縮の傾向にある。

これらから、乾燥湿潤繰返し作用によるコンクリートの劣化については一般に良質とされて使用されている骨材に比べていずれの骨材にも明らかな差が出ていないことがわかった。

4.2.5 コンクリートの曝露試験

表-4.1.3で示したコンクリートの配合について、現在、現地（宮ヶ瀬ダム工事事務所）ならびに土木研究所構内で曝露試験を行っている。現在のところ特に異常な変化は生じていないが、曝露して、まだ間もないので、ここでは結果について断定的なことはいえない。これらの結果も参考にして、骨材の使用可否の判断に資していきたいと考えている。

これら供試体の曝露初期値を表-4.2.14, 4.2.15に示す。

表-4.2.14 宮ヶ瀬ダム用骨材 59年度現地曝露供試体一曝露前初期値調査結果 (円柱供試体)
59年12月制作-60年1月10日測定

配合	No.			供試体重量(g)	動弾性係数 打設面	高さ (cm)			直径(打設面側) (cm)			直径(底面側) (cm)			断面積(cm²)			体積 (cm³)	見掛け 比重
		Sl	Air			(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均	打設面	底面側	平均		
M 6 / 65	1			3537.2	8297	20.01	20.09	20.05	10.03	10.04	10.04	10.03	10.01	10.02	79.09	78.85	78.97	1583	2.234
	2	8.7	4.9	3479.9	8294	19.84	20.00	19.92	9.99	9.99	9.99	10.00	10.00	10.00	78.38	78.54	78.46	1563	2.226
	3			3477.0	8360	19.95	19.93	19.94	9.90	10.06	9.98	10.02	9.97	10.00	78.22	78.46	78.34	1562	2.226
M 6 / 55	1			3490.9	8576	19.93	19.86	19.90	10.04	10.04	10.04	10.01	10.00	10.01	79.17	78.62	78.90	1570	2.224
	2	8.0	5.0	3494.9	8465	19.90	19.90	19.90	10.00	10.10	10.05	10.05	10.02	10.04	79.33	79.09	79.21	1576	2.217
	3			3490.3	8531	19.91	19.84	19.88	10.09	9.90	10.00	9.98	10.01	10.00	78.45	78.46	78.46	1560	2.237
M 6 / 45	1			3542.3	8932	19.89	19.92	19.91	9.93	10.08	10.00	10.03	10.02	10.03	78.61	78.93	78.77	1568	2.259
	2	7.1	4.5	3585.2	8997	20.12	20.01	20.07	10.04	10.06	10.05	10.06	10.00	10.03	79.33	79.01	79.17	1589	2.256
	3			3551.7	8947	19.98	19.98	19.98	10.03	10.00	10.02	10.00	10.01	10.01	78.78	78.62	78.70	1572	2.259
M 5 / 55	1			3642.3	8870	20.05	20.03	20.04	9.95	10.06	10.01	10.04	9.99	10.02	78.62	78.78	78.70	1577	2.310
	2	6.4	4.5	3678.3	8867	20.13	20.07	20.10	10.01	10.03	10.02	10.03	10.02	10.03	78.85	78.93	78.89	1586	2.319
	3			3610.4	9008	19.90	19.84	19.87	9.90	10.08	9.99	9.98	10.02	10.00	78.38	78.54	78.46	1559	2.316
No 4 55	1			3605.6	8563	19.95	20.00	19.98	9.94	10.05	10.01	9.98	10.03	10.01	78.46	78.62	78.54	1569	2.298
	2	5.6	4.8	3608.6	8597	19.96	20.02	19.99	9.95	10.08	10.02	9.99	10.02	10.01	78.77	78.62	78.70	1573	2.294
	3			3665.6	8717	19.98	20.05	20.02	10.09	9.97	10.03	10.05	10.03	10.04	79.01	79.17	79.09	1583	2.316
F K V 55	1			3677.4	9840	20.12	19.98	20.05	10.01	10.01	10.01	10.00	10.00	10.00	78.70	78.54	78.62	1576	2.333
	2	6.7	4.5	3659.1	9560	20.00	20.00	20.01	10.04	10.03	10.04	10.01	10.03	10.02	79.57	78.85	79.21	1585	2.309
	3			3662.5	9710	20.04	20.00	20.02	10.03	10.00	10.02	10.03	10.02	10.03	78.78	78.93	78.86	1579	2.320
F K P 55	1			3697.8	10110	19.88	19.96	19.92	10.00	10.02	10.01	10.02	10.00	10.01	78.70	78.70	78.70	1568	2.358
	2	6.2	5.0	3697.0	9920	19.96	19.98	19.97	10.06	9.95	10.01	10.00	10.03	10.02	78.62	78.78	78.70	1572	2.352
	3			3719.2	9710	19.90	19.98	19.94	10.02	10.09	10.06	10.05	10.00	10.03	79.41	78.93	79.17	1579	2.355

断面積 = $\pi \times \text{直径}(1) \times \text{直径}(2) / 4$

体 積 = $(\Sigma \text{高さ}) \times (\Sigma \text{断面積}) / 4$

表-4.2.15 宮ヶ瀬ダム用骨材 59 年度現地曝露供試体-曝露前初期値調査結果 (凍結融解試験用 10×10×40)

59 年 12 月 27 日製作-60 年 1 月 10 日測定

配合	No.			供試体 重量	動弾性係数		長 さ			高さ (打設面までの)			幅 (打設面の)			断面積 (cm ²)	体 積 (cm ³)	見掛け比重 (g/cm ³)
		Sl	Air		打設面	側 面	1	2	平均	1	2	平均	1	2	平均			
M 6 / 65	1	8.6	4.6	9099.8	1825	1787	39.95	40.02	39.99	10.04	10.08	10.06	9.98	10.04	10.01	100.7	4027.	2.260
	2			9025.5	1776	1769	40.00	40.04	40.02	10.06	10.02	10.04	10.00	10.04	10.02	100.6	4026.	2.249
	3			9082.3	1796	1753	40.03	40.08	40.06	10.18	10.21	10.20	9.99	10.02	10.01	102.1	4090.	2.221
	65																	
M 6 / 55	1	7.1	5.1	9020.1	1862	1836	40.06	40.06	40.06	10.05	10.00	10.03	9.98	9.98	9.98	100.1	4010.	2.249
	2			9039.3	1849	1847	40.06	40.00	40.03	10.03	10.15	10.09	10.04	10.00	10.02	101.1	4047.	2.234
	3			9116.8	1854	1835	40.08	40.06	40.07	10.11	10.12	10.12	10.00	10.00	10.00	101.2	4055.	2.248
	55																	
M 6 / 45	1	7.7	4.8	9117.1	1944	1931	90.02	40.03	40.03	10.00	10.06	10.03	10.03	9.95	9.99	100.2	4011.	2.273
	2			9251.8	1957	1928	39.99	40.10	40.05	10.08	10.08	10.08	10.02	10.02	10.02	101.0	4045.	2.287
	3			9209.0	1973	1939	40.00	40.04	40.02	10.07	10.10	10.09	10.00	9.97	9.99	100.8	4034.	2.283
	45																	
M 5 / 55	1	7.6	5.0	9347.1	1956	1945	39.99	40.05	40.02	9.99	9.99	9.99	10.00	10.00	10.00	99.9	3998.	2.338
	2			9328.7	1956	1942	39.98	39.94	39.96	9.96	10.02	9.99	10.00	10.00	10.00	99.9	3992.	2.337
	3			9358.7	1950	1921	40.00	40.10	40.05	10.13	10.10	10.12	9.96	10.00	9.98	101.0	4045.	2.314
	55																	
No. 4 55	1	6.3	5.0	9317.8	1928	1890	39.95	39.88	39.92	10.14	10.21	10.18	10.04	10.00	10.02	102.0	4072.	2.288
	2			9291.1	1890	1873	40.00	40.03	40.02	10.03	10.03	10.03	10.03	10.02	10.03	100.6	4026.	2.308
	3			9237.7	1876	1858	40.04	39.98	40.01	10.07	10.00	10.04	10.00	10.04	10.02	100.6	4025.	2.295
	55																	
F K V 55	1	6.0	5.0	9379.0	2091	2056	40.04	40.06	40.05	10.08	10.21	10.15	10.04	10.04	10.04	101.9	4081.	2.298
	2			9435.9	2135	2091	39.87	40.10	39.99	10.06	10.15	10.11	10.03	10.07	10.05	101.6	4063.	2.322
	3			9379.4	2095	2072	40.08	40.08	40.08	10.04	10.09	10.07	10.02	10.03	10.03	101.0	4048.	2.317
	55																	
F K P 55	1	4.5	4.8	9546.1	2172	2150	40.10	40.04	40.07	10.00	10.08	10.04	10.00	10.00	10.00	100.4	4023.	2.373
	2			9506.1	2139	2130	40.06	40.03	40.05	10.04	10.06	10.05	10.00	10.04	10.02	100.7	4033.	2.357
	3			9454.3	2148	2139	39.98	40.01	40.00	10.00	10.01	10.01	10.02	10.02	10.02	100.3	4012.	2.357
	55																	

断面積 = (高さの平均) × (幅の平均)

体 積 = (断面積) × (長さの平均)

5. 結 論

昭和 55 年より宮ヶ瀬ダム工事事務所の依頼により、大棚沢産骨材を初めとする 4 種類の対象骨材についてコンクリート用骨材としての検討を行ってきた。

この検討結果をまとめると次のようになる。

- (1) 大棚沢産骨材は、ローモンタイトを含有する骨材であるが、コンクリートの凍結融解試験では良好な結果を示し、乾燥湿潤試験および屋外曝露試験では早期に劣化した。そのため、屋外などにさらされる部分のコンクリートにこの骨材の使用はできないと判定される。
- (2) 南山産骨材は、物理的性質を満足はしないもののコンクリートの凍結融解試験や乾燥湿潤試験、曝露試験で比較用として用いた笠間産骨材と同程度の耐久性を示した事により、耐久的な骨材であるといえる。
ただし、南山弱風化部 M6 においては各種コンクリート試験では良好な結果を示しているものの、物理試験で安定性損失重量が 59.9%と大きいために、この骨材の使用はできるかぎり避けた方が良いと思われる。
- (3) ダムサイト堀削ズリ No.4 は南山産骨材同様に物理的性質は満足しないが、コンクリートでの試験で良好な結果を示した事から、十分に耐久性を有する骨材であるといえる。

あとがき

ここで報告した結果は、宮ヶ瀬ダム工事事務所から提供された4種類の骨材原石についてであるため、一般的なローモンタイトを含有する岩石の性質を示すものでない事をここに付記しておく。また、ローモンタイトを含む岩石の一般的特性を得るためには、さらに多くの事例を含む研究が必要となるであろう。

送付された骨材試料はいずれもローモンタイトを微量含んでいるものであり、試験結果からこの骨材は使用しても良いと思われるものの、どの程度ローモンタイトが存在すると使用出来なくなるのかという上限の定量的な把握ができなかった。

今後、研究をさらに進めて、この数値が明確になるように努めたい。最後に調査の実施にあたって適切な助言および御協力をいただいた宮ヶ瀬ダム工事事務所の皆様および多くの方々に深謝致します。

コンクリートの乾燥湿潤試験方法(案)

1. 適用範囲

この規格は、コンクリートの乾燥湿潤作用に対する抵抗性を、供試体を用いて乾燥および湿潤の繰しによって試験する方法について規定する。

2. 試験用器具

2.1 動弾性係数測定装置

動弾性係数測定装置は、JIS A 1127（共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法）に規定するものとする。

2.2 はかり

はかりは感量 1 g までのものとする。

2.3 長さ変化測定装置

長さ変化測定装置は、JIS A 1129（モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法）に規定するものとする。

2.4 乾燥器

乾燥器は、 $80 \pm 3^{\circ}\text{C}$ の温度に保持できるものとする。

2.5 恒温水槽

恒温水槽は $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ の水温に保持できるものとし、養生水槽でもよい。

3. 供試体

3.1 供試体の寸法

供試体の断面は、正方形で、その一辺の長さは 100 mm とし、粗骨材の最大寸法の 3 倍以上としなければならない⁽¹⁾。供試体の長さは 400 mm とする。

注(1) 25 mm ふるいを全通する粗骨材を用いる場合には、75 mm としてもよい。

3.2 供試体の個数

供試体の個数は、同一条件の試験に対して 3 個以上とする。

3.3 供試体の作り方

供試体の作り方は、原則として JIS A 1138（試験室におけるコンクリートの作り方）及び JIS A 1132（コンクリートの強度試験用供試体の作り方）の 5.2, 5.3 によらなければならない。

3.4 供試体の養生

供試体の養生は、JIS A 1132 の 7 によることとする。ただし、型わくを取り外したあと、供試体を $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ の水槽中にて養生する。

3.5 試験の開始材令

試験の開始材令は 28 日⁽²⁾を標準とする。

注(2) セメントの種類または配合、並びに試験の目的によっては他の材令に試験することができる。

4. 試験方法

4.1 乾燥湿潤の方法

4.1.1 乾燥湿潤試験時温度の管理

乾燥湿潤試験時温度の管理は、試験槽（乾燥器、恒温水槽）内の温度によって行う。

4.1.2 サイクルの所要時間

原則として、乾燥は 80°C の炉乾燥によって行い、湿潤は 20°C の水中に浸せきすることにより行う。乾燥湿潤 1 サイクルに要する時間は、96 時間（4 日）とする。この場合、乾燥行程は 47 時間とし、1 時間自然放置した後湿潤行程 48 時間を行う。

4.1.3 試験中断時の供試体の扱い

試験を中断する場合には、供試体を湿潤状態（ $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ）で保存しておかなければならない。

4.2 測定項目及び測定方法

4.2.1 測定項目

測定項目は、原則として各供試体の長さ変化（参考 1）、JIS A 1127 によるたわみ振動の一次共鳴振動数及び質量とする。

4.2.2 測定時期

測定は、水中養生終了後の試験開始前、乾燥湿潤 10 サイクルまでは、各サイクルごとに、それ以降は 5 サイクルを超えない間隔で行うものとする。

4.2.3 測定方法

試験中における測定は、湿潤行程終了後に行う。試験槽から取出した供試体は、水洗い後表面水をふきとって、速やかに長さ変化を測定し、次にたわみ振動による一次共鳴振動数及び質量を測定する。

供試体に新たなひびわれ、または、破損が生じている場合には、これらを記録しておく。

4.2.4 試験の終了

試験の終了は、原則として 30 サイクル⁽³⁾とし、それまでに相対動弾性係数が 60% 以下及び長さ変化が 1000 μ 以上となったものは、そのサイクルで終了とする。

注(3) 試験の目的によっては、他のサイクルで試験を終了してもよい。

5. 計 算

5.1 相対動弾性係数

相対動弾性係数は、次式により計算する。

$$P_n = \left(\frac{f_n^2}{f_c^2} \right) \times 100$$

ここに、 P_n : 乾燥湿潤 n サイクル後の相対動弾性係数(%)

f_c : 乾燥湿潤 0 サイクルにおけるたわみ振動の一次共鳴振動数(Hz)

f_n : 乾燥湿潤 n サイクル後のたわみ振動の一次共鳴振動数(Hz)

5.2 耐久性指数

耐久性指数は次式により計算する。

$$DF = \frac{P \times N}{M}$$

ここに、 DF : 耐久性指数

P : N サイクルのときの相対動弾性係数(%)

N : 相対動弾性係数が 60% になるサイクル数、または 30 サイクルのいずれか小さなもの

M : 30 サイクル

5.3 質量減少率

質量減少率は、次式により計算し、JIS Z 8401 (数値の丸め方) により、小数点以下 1 けたに丸める。

$$W_D = \frac{W_o - W_n}{W_o} \times 100$$

ここに、 W_D : 乾燥湿潤 n サイクル後の質量変化率(%)

W_o : 乾燥湿潤 0 サイクルにおける供試体の質量(g)

W_n : 乾燥湿潤 n サイクル後の供試体の質量(g)

6. 報 告

報告には、次の事項のうち必要なものを記載する。

6.1 コンクリートの品質の報告は、次の項目について行う。

- (1) 使用材料の種類と品質
- (2) コンクリートの配合
- (3) まだ固まらないコンクリートの空気量、単位容積質量、スランプ、練上り温度

6.2 供試体の養生および特性の報告は、次の項目について行う。

- (1) 養生終了材令
- (2) 乾燥湿潤0サイクルにおける各供試体の寸法、質量、動弾性係数

6.3 乾燥湿潤方法についての報告は、次の項目について行う。

- (1) 試験の中断期間とその間の供試体の保存温度
- (2) 試験終了のサイクル数

6.4 試験結果の報告は、次の項目について行う。

- (1) 各測定時における各供試体の質量変化率、相対動弾性係数、及び同種供試体グループの平均値
- (2) 各供試体の耐久性指数、及び同種供試体グループの平均値
- (3) 各供試体の試験中に発生した欠陥、及び欠陥が発生したときのサイクル数

6.5 その他の必要な事項

(参考1) コンクリートの乾燥湿潤試験による長さ変化試験方法

コンクリートの乾燥湿潤試験における、供試体の長さ変化を測定する場合には、供試体の成形方法、測長方法、長さ変化率の算出、及び結果の報告事項等は、下記による。

1. 成形方法

コンクリートの打込み時に、供試体の両端部の中央に長さ変化測定用のプラグ⁽⁴⁾を埋込むものとする。

注(4) プラグは JIS B 1180 (六角ボルト) に規定するステンレスボルトの M 8×20 を用いるのを標準とし、その頭部の中央に、直径 5～6 mm のドリルにより深さ 1.5～2.0 mm のくぼみをつけて使用するものとする。

2. 測長器

測長器は、ダイヤルゲージを附属した測長わくを主体とし、供試体を測長わくにはめ込んでダイヤルゲージの目盛を読み取る構造のもので、次の条件を備えていなければならない。測長器の一例を図-1に示す。

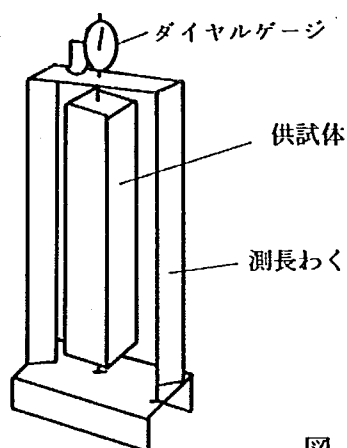


図-1 測長器（例図）

- (1) 測長わくは、供試体をその長軸が鉛直になるように支持し、常に一定の状態で測長できるものとし、その材質は鋼製で十分な剛性をもつものとする。
- (2) ダイヤルゲージは、日本精密測定機器工業規格 JMAS 2001 (0.01 mm 目盛ダイヤルゲージ) の規定に適合するものとする。ただし、測定範囲は 30 mm とし、スピンドルの先端（測定子）は超硬合金球とする。
- (3) 測長わくにおける供試体のプラグとの接点の先端は、ダイヤルゲージの測定子と同様の構造、材質とする。
- (4) 長さ標準器は、測長わくにおける供試体との接点とダイヤルゲージのスピンドルの先端との距離を容易に検定できるものとし、直径約 16 mm、長さ約 400 mm の棒鋼で、両端部にプラグと同様のくぼみを有するものとする。

3. 測定方法

- (1) 測定時期は 5.2.2 と同様とする。乾燥湿潤後の測定においては、先ず長さを測定し、次いで一次共鳴振動数及び質量を測定する。
- (2) 測長に先立ち、供試体のプラグに付着している異物をふき取る。
- (3) 測長方法は、標準器を測長部分にはめ込み、ダイヤルゲージのスピンドルを軽く押えながら標準器をゆっくり回転させ、ダイヤルゲージの指針の最小値が、ダイヤルゲージの所定の目盛を示すように調整する。次に供試体について同様の操作を行い、ダイヤルゲージの目盛の読み値を求め、これを l とする。このとき、標準器及び供試体の上下は常に一定して測定する。

4. 長さ増加比の算出

長さ増加比は次式により計算し、結果は 10^{-3} 単位として、JIS Z 8401 により、小数点以下 2 けたに丸める。

$$L_n = \frac{l_n - l_0}{Y}$$

ここに、 L_n : 乾燥湿潤 n サイクル後の長さ変化率 ($\times 10^{-3}$)

Y : 検長 (プラグ先端間の距離: 約 350 mm)

l_0 : 乾燥湿潤 0 サイクルにおける供試体長さのダイヤルゲージの読み値 (mm)

l_n : 乾燥湿潤 n サイクル後の供試体長さのダイヤルゲージの読み値 (mm)

5. 報 告

(1) 各測定時における各供試体の長さ変化率、及び同種供試体グループの平均値

引用規格: JIS A 1127 共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法

JIS A 1132 コンクリートの強度試験用供試体の作り方

JIS A 1138 試験室におけるコンクリートの作り方

JIS Z 8401 数値の丸め方

JMAS 2001 (0.01 mm 目盛ダイヤルゲージ)

宮ヶ瀬ダムコンクリート用骨材
に関する試験

ISSN0386-5878
土研資料第2331号
昭和61年3月
地質化学部コンクリート研究室

コンクリート研究室：小林 茂敏，丹野 弘，石井 良美

要 旨

関東地方建設局管内，相模川水系に建設が予定されている宮ヶ瀬ダム用骨材の原石山候補地として上げられている各地区の骨材について，コンクリート用骨材として使用可能であるかどうかを実験的に検討を行った。この結果，南山地区で産する試料は，弱風化部を除いて十分に耐久的な骨材であるといえることが明らかとなった。

キーワード：宮ヶ瀬ダム，骨材，ローモンタイト，
耐久性，乾燥湿潤試験，凍結融解試験

郵便はがき

3 0 5 - □ □

さを四
いは十
。門
っ切
て
下手

建設省土木研究所

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

○

土木研究所資料第 2331 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

○