

I S S N 0386—5878
土 研 資 料 第1814号
マイクロフィルム第 号

土 木 研 究 所 資 料

川辺川ダム骨材試験報告書

昭和57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 © 1982 fiscal year 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 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、複写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。

要 旨

九州地方建設局川辺川工事事務所の依頼により、川辺川ダムコンクリート用骨材の原石山候補地から採取された骨材について、一般物理試験、化学安定性試験、コンクリートの凍結融解試験およびインパクトクラッシャーによる分離破碎試験を行った。

その結果、同骨材には化学的に不安定な鉱物が含まれていないこと、物理的性質では、砂岩骨材は特に問題がないこと、粘板岩は新鮮なものと風化したものがあり、新鮮なものは特に問題はないが、風化したものについては混入率を少なくなるように工夫すべきことおよび粘板岩と砂岩との分離にインパクトクラッシャーによる破碎が有効であること等の結果を得た。

目 次

序 言	1
1. 骨材の化学的安定性に関する試験 (昭和50年度)	2
1. 1 目 的	2
1. 2 骨材試料	2
1. 3 試験内容	2
1. 4 試験方法	3
1. 5 試験結果	5
2. コンクリートの耐久性試験 (昭和50～52年度, 55, 56年度)	7
2. 1 低品質の粘板岩に関する試験	7
2. 1. 1 目 的	7
2. 1. 2 試験方法	7
2. 1. 3 試験結果および考察	13
2. 2 品質のよい粘板岩に関する試験	19
2. 2. 1 目 的	19
2. 2. 2 試験方法	19
2. 2. 3 試験結果および考察	23
3. インパクトクラッシャーによる分離破碎試験 (昭和54, 55年度)	31
3. 1 目 的	31
3. 2 予備試験	31
3. 2. 1 試験方法	31
3. 2. 2 試験結果および考察	32
3. 3 本試験	34
3. 3. 1 試験方法	34
3. 3. 2 試験結果および考察	35
4. まとめ	36
附属資料 (骨材試料の採取位置)	37
参考文献	40

序 言

川辺川ダムのコンクリート用骨材として候補にあがっている原石山は、中世代四万十層群に属し、砂岩と粘板岩が互層をなす地質構造となっており、ボーリング調査によれば同地点の粘板岩混入率は約20%前後である。一般に、粘板岩は層状に剥がれ易く、強度的にもろい傾向があること、骨材形状が偏平あるいは細長くなり、所要のコンクリートのコンシステンシーを有するために単位水量が増加すること、などの性質を有する。このため、粘板岩質骨材はコンクリート用骨材として良質なものであるとは考えられていない。しかし、同原石山候補地の地質状況から、現地での骨材生産過程において粘板岩を完全に分離することは不可能であり、所要のコンクリートの品質が得られる範囲で、その混入を許容することが経済的に有利であると思われる。

そこで、土木研究所コンクリート研究室は九州地方建設局川辺川工事事務所の依頼により、原石山候補地で採取される粘板岩質骨材の特性、粘板岩混入骨材を用いたコンクリートの耐久性、および粘板岩の分離の方法等の調査を実施してきた。本報告書は、これらの試験をとりまとめたものである。

なお、本試験の実施に当っては、金沢工業大学太田実教授（前コンクリート研究室長）の御指導をいただいた。また、試料の採取および送付に当っては、川辺川工事々務所の若松基夫所長をはじめ多くの方々の御協力をいただいた。ここに記して深謝致します。

昭和57年 3 月

コンクリート研究室 室 長 小林茂敏

研究員 小野金造

〃 河田博之

高橋正志

1. 骨材の化学的安定性に関する試験（昭和50年度）

1. 1 目 的

川辺川ダムコンクリート用骨材として検討されている岩石中に、ローモンタイト、モンモリロナイト等の有害物質が含まれていないかどうか、また、セメント中のアルカリと反応するような物質が含まれていないかどうかを、確かめることを目的とした。

1. 2 骨材試料

試料は、昭和50年度に現地より送付されたもので種類は、次のとおりである。

試料A：碎石および碎砂（砂岩質）

試料B：岩石塊（粘板岩質）

これらの主な物理試験結果を表－1. 1に示す。

表－1. 1 骨材試料の物理試験結果

試料	比 重	吸水率 (%)	硫酸ナトリウムによる安定性 試験の損失重量 (%)					摘 要
			5.0～ 2.5mm	2.5～ 1.2	1.2～ 0.6	0.6～ 0.3	合 計	
A	2.68	0.7						砂岩質，碎砂
			0.6	1.1	1.5	2.6	1.1	
	2.69	0.3	25～ 20mm	20～ 15	15～ 10	10～ 5	合 計	砂岩質，碎石
			1.4	0.1	1.5	0.9	0.4	
B	2.64	1.2	—					粘板岩質，岩石塊

1. 3 試験内容

試料A，Bについて、表－1. 2に示す項目の試験を行った。

X線回折試験および顕微鏡観察は、岩石の組成を明らかにして活性の鉱物の有無、変質の程度等を確認することを目的としたものである。

アルカリ骨材反応試験は、コンクリート中のアルカリに対する骨材の反応性を確かめるもので、試料AについてASTM-C227規格によるモルタルバー法とASTM-C289規格による化学法によって行った。モルタルバー法は、モルタル供試体の長さ変化を測定して骨材の膨張性アルカリ反応の有無を確かめる方法であり、化学法は80℃の水酸化ナトリウム溶液に試料を24時間浸漬したときのアルカリ濃度の減少量および液中に溶解したシリカ量を測定して、骨材のアルカリに対する潜在反応性を確かめる方法である。

表-1. 2 試験項目

試験項目 試料	X線回折試験	顕微鏡観察	アルカリ骨材反応試験	
			モルタルバー法	化学法
A	○	○	○	○
B	○	○	—	—

1. 4 試験方法

(1) X線回折試験および顕微鏡観察

1) X線回折試験

ここで用いたX線回折法は、粉末X線回折法で試料を数mm以下の粒子に破碎した後、めのう乳鉢で粉碎した。

X線回折条件は、次のとおりである。

管 球：Cu

フィルター：Ni

電 圧：30kv

電 流：15mA

走査範囲： $2\theta=2.5^{\circ}\sim40^{\circ}$

走査速度： $2^{\circ}/\text{min}$

記録紙速度：2 cm/min

2) 顕微鏡観察

骨材を厚さ 20μ 程度の薄片試料(プレパラート)とし、鏡下では単ニコルと直交ニコルで観察した。

(2) アルカリ骨材反応試験

1) モルタルバー法

i) 使用材料

骨材は試料Aで、表-1. 3の粒度に調整したものを用いた。セメントは、中庸熱ポルトランドセメント(大阪セメント社製)を用いた。セメントのアルカリ含有量は、表-1. 4のようであった。

ii) モルタルの配合

モルタルの配合は、セメント1に対し骨材2.25の重量比とした。水量は、フロー値105~210を生ずるような量とし、モルタルの練りまぜはASTM-C305規格に従って行った。モルタルの配合を表-1. 5に示す。

表-1. 3 骨材の粒度

ふるいの呼び寸法 (mm)		重量百分率 (%)
通	過 残 留	
5	2.5	10
2.5	1.2	25
1.2	0.6	25
0.6	0.3	25
0.3	0.15	15

表-1. 4 セメントのアルカリ含有量

成 分	Na ₂ O	K ₂ O	全アルカリ量
含有量 (%)	0.58	0.76	1.08

表-1. 5 モルタルの配合

試 料	W/C (%)	フ ロー 値	セメント量 (g)	水 量 (g)	骨 材 量 (g)
A	40	114	300	120	675

iii) 試験方法

ASTM-C227-71規格に準じて行った。すなわち、表-1. 5に示す配合のモルタルで25×25×285mmの供試体を製作し、成形後24時間で脱型して最初の長さ測定を行い、その後は供試体を37.8±1.7℃の温度の密封湿気箱中に保存し、所定の材令時に23±1.7℃に保ったのち長さを測定した。長さ測定には、1/1000mmダイヤルゲージ付コンパレータを用いた。

2) 化学法

i) 試 料

骨材はモルタルバー法の試験に用いたものと同一のもので、0.30~0.15mmの粒度に調整したものを用いた。

ii) 試験方法

ASTM-C289規格に準じて行った。すなわち、粒度調整した骨材試料に1N-NaOH溶液を加えて80±1℃の溶槽に24時間置いた後、試料混合液をろ過し、アルカリ溶液の濃度減少量と液中に溶解したシリカ量を測定した。

1. 5 試験結果

(1) X線回折および顕微鏡観察

1) 試料A

X線回折試験では、長石、石英、雲母および緑泥石が検出された。骨材の安定性において有害なローモンタイト、モンモリロナイト等は、存在しないことが確かめられた。

岩石種は砂岩で、砂粒は長石、石英を主体に、角閃石、輝石、白雲母、ルチル、緑簾石、燐灰石などの碎片、凝灰石、安山岩、チャートなどの碎片から成り、膠結物は緑泥石、絹雲母、石英、方解石、褐鉄鉱、玻璃、黄鉄鉱から成る。

砂粒は半角稜で、粒度は $80\mu\sim 1\text{ mm}$ である。砂粒の長石は、正長石、微斜長石などのアルカリ長石と斜長石で、ほとんど長石が部分的に細かく緑泥石、絹雲母、方解石、カオリン微品に交代されている。緑簾石は粒度 $20\sim 80\mu$ で、方解石などを伴っていることから後生物質と考えられる。凝灰岩碎片は割合に多いが、他の岩石や鉱物の碎片は少ない。白雲母はかなり屈曲しており、推積後圧力を受けた形跡がある。

膠結物の主体をなす緑泥石および絹雲母は粒度が $1\sim 20\mu$ 、方解石は数 $\mu\sim 40\mu$ で、これらの鉱物の量は微量である。玻璃、黄鉄鉱も量は少ない。

2) 試料B

X線回折試験では、石英、方解石、雲母および緑泥岩が検出された。ローモンタイト、モンモリロナイト等の有害物質は存在しないことが確かめられた。

岩石種は砂岩石墨粘板岩で、多少変成を受けている。主成分鉱物は石英、方解石、絹雲母、緑泥石で、ほかに長石、石墨、褐鉄鉱、白雲母およびルチルが含まれる。

砂粒は、石英と長石で粒度 $20\sim 200\mu$ 、長石は微晶の絹雲母と緑泥石で交代されており、長石は、完全に交代されているものが多い。長石は、アルカリ長石と斜長石である。

石英は細脈で存在し、粒度は砂粒と同様である。石英の量は、砂粒のものおよび細脈のものを合せて30%程度、長石は10%程度(絹雲母、緑泥石で交代されているものを除けば5%程度)である。

石墨は $1\sim 20\mu$ で網目状に存在し、その量は10%程度である。褐鉄鉱、白雲母、ルチルはともに微量である。

方解石は $1\sim 10\text{ mm}$ の細脈、または破碎された岩石片の間を埋めて存在し、その量は30~40%を占めている。

(2) アルカリ骨材反応試験

1) モルタルバー法

モルタルバーの膨張率測定結果を、表-1. 6に示す。

ASTM規格では、材令3ヶ月における膨張率が0.05%、材令6ヶ月における膨張率が0.10%をそれぞれ超える場合は、有害なアルカリ反応の潜在的可能性があると判断することとしている。この判断基準に従えば、試料Aはアルカリに対して不活性であると判断される。

表－１．６ モルタルバーの膨張率測定結果

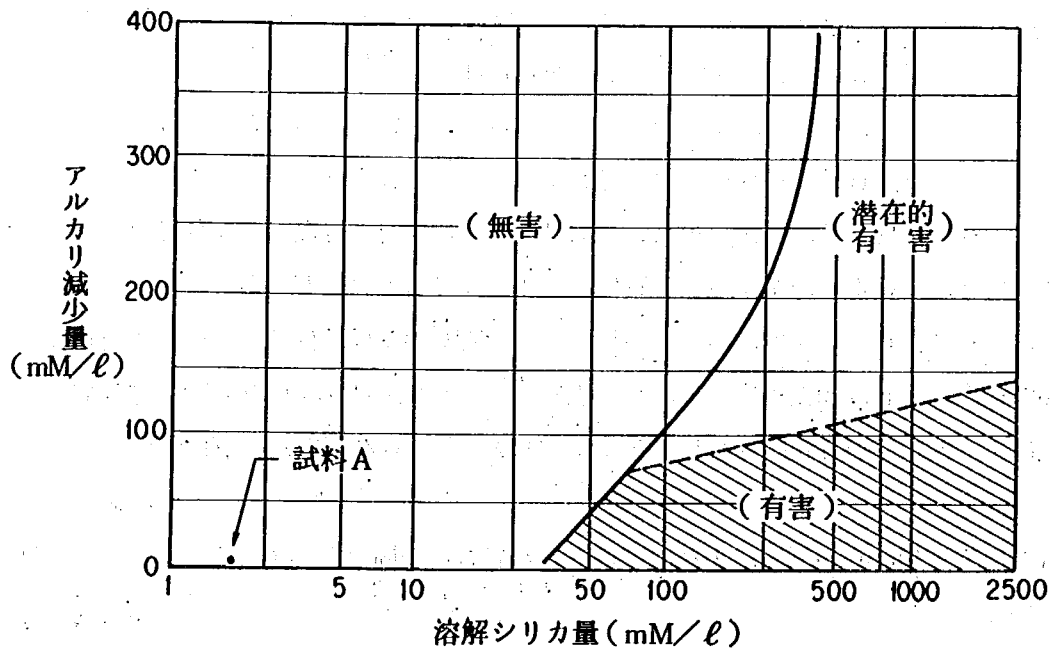
材令(月)	(14日)	1	2	3	4	5	6
膨張率 (%)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02

2) 化学法

試験結果を表－１．７に示す。これを ASTM 規格による判定基準とともに図示すると、図－１．１のとおりである。これより、試料Aはアルカリに対する潜在反応性なしと判定される。

表－１．７ 化学法による試験結果

アルカリ減少量 R_c (mM/ℓ)	溶解シリカ量 S_c (mM/ℓ)
1.8	1.9



図－１．１ 化学法によるアルカリ反応試験結果

2. コンクリートの耐久性試験（昭和50～52, 55, 56年度）

現地より送付された碎石および砕砂試料について、これらを用いたコンクリートの凍結融解試験を行い、骨材の耐久性について検討した。試験の対象とした骨材試料は、比較的浅層部の風化を受けたもの（昭和50～52年度）と深層部の風化を受けていないもの（昭和55, 56年度）に大別される。

2. 1 低品質の粘板岩に関する試験

2. 1. 1 目的

送付された骨材試料は、碎石・砕砂ともに、砂岩質および粘板岩質で、粘板岩は、後述のようにその品質が劣るためコンクリート骨材として使用することは考えられていないが、原石山の地層の状況から、骨材の生産過程において砂岩種のなかに粘板岩が混入することは避け難いと考えられる。これらのことから、粘板岩が混入した場合のコンクリートの耐久性におよぼす影響を確かめることを目的とした。

2. 1. 2 試験方法

(1) 使用材料

1) セメント

使用セメントおよびその試験成績を表-2. 1に示す。

2) 骨材試料

試験に用いた骨材試料は、各年度ごとに現地より送付されたものである。なお、比較のために土木研究所コンクリート研究室が一般に使用している石灰岩質碎石（栃木県葛生産）および富士川産川砂を用いた。これらの物理試験結果を表-2. 2および表-2. 3に示す。

また、送付された骨材試料は、表-2. 4に示すように、細・粗骨材の粘板岩混入率を変えて試験に用いた。

3) 混和剤

市販のAE剤ヴィンソルの原液を20倍溶液にして用いた。

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合は、水セメント比57%を基準とし、スランプ5.0～10.0cm, 空気量4.0～4.5%を目標として表-2. 5に示すように定めた。

表-2. 1 セメントの試験成績

a) 昭和50年度 中庸熟ポルトランドセメント (日本セメント社製)

比 重	ブレーン比表面積 (cm^2/g)	凝			結		酸化マグネシウム (%)	三酸化 いおう (%)	けい酸 三カル シウム (%)	アルミ 酸三カ ルシウム (%)	強熱減 量 (%)
		室 温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)					
3.19	3160	20.9	90	26.5	3-16	4-51	1.0	2.3	46	4	0.6
フロー値 (mm)	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	
252	-	33.6	43.6	64.6	-	121	175	364	20.5	20.2	

b) 昭和51年度 普通ポルトランドセメント (日本セメント社製)

比 重	ブレン比表面積 (cm^2/g)	凝			結		安定性 (煮沸 方法)	酸化マグネシウム (%)	三酸化 いおう (%)	強熱減 量 (%)
		室 温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)				
3.16	3130	20.4	90	27.5	2-39	3-54	良	1.2	2.3	0.5
フロー値 (mm)	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
247	-	32.7	46.0	70.7	-	124	216	407	20.5	20.2

c) 昭和52年度 普通ポルトランドセメント (日本セメント社製)

比 重	ブレ ン比表面積 (cm^2/g)	凝			結		安定性 (煮沸 方法)	酸化マ グネシ ウム (%)	三酸化 いおう (%)	強熱減 量 (%)
		室 温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)				
3.16	3140	20.4	91	27.4	2-38	4-03	良	1.2	2.1	0.5
フロー値 (mm)	曲 げ 強 さ (kg/cm)				圧 縮 強 さ (kg/cm)				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
252	—	33.1	46.9	71.6	—	129	220	409	20.3	20.1

表-2. 2 細骨材の物理試験結果

1) 試料	実施年度	比重	吸水率 (%)	安定性試験の損失重量 (%)					洗い試験	有機不純物	粒 度						粗粒率
											各ふるいに留る量の重量百分率(%)						
				5.0 ┌ 2.5 mm	2.5 ┌ 1.2	1.2 ┌ 0.6	0.6 ┌ 0.3	合計			5.0 ┌ 2.5 mm	2.5 ┌ 1.2	1.2 ┌ 0.6	0.6 ┌ 0.3	0.3 ┌ 0.15	0.15 以下	
SA	50	2.68	2.9	1.0	1.8	1.8	2.4	1.5	2.9	合格	9	22	26	22	14	7	2.67
SB		2.59	7.2	39.7	32.9	22.6	14.8	19.8	7.2	合格	8	22	27	22	13	8	2.67
SA	51	2.67	0.8	0.5	0.6	0.5	1.5	0.6	—	合格	10	22	28	21	14	6	2.73
SB		2.55	9.8	25.7	19.5	12.2	11.0	12.9	—	合格	10	23	25	22	14	6	2.75
SA	52	2.67	0.6	0.5	0.5	0.5	1.3	0.6	—	合格	9	20	26	25	17	2	2.79
SB		2.53	5.9	34.0	20.9	5.4	5.0	9.7	—	合格	8	20	27	26	16	2	2.74
SF		2.62	2.2	11	7	6	8	7	—	合格	12	28	27	22	9	2	3.06

(注) 1) S_A: 砂岩質, S_B: 粘板岩質, S_F: 川砂 (富士川産)

表-2. 3 粗骨材の物理試験結果

1) 試料	実施年度	比重	吸水率	安定性試験の損失重量 (%)					単位容積重量 (kg/m ³)
				25~20 mm	20~15	15~10	10~5	合計	
GA	50	2.69	0.3	0.4	0.2	0.5	0.6	0.4	1610
GB		2.59	3.7	80.4	74.6	62.3	51.6	67.3	—
GA	51	2.69	0.3	0.3	0.1	0.4	0.4	0.4	1630
GB		2.57	3.6	55.7	57.5	50.6	33.1	49.1	—
GA	52	2.69	0.3	0.9	0.8	0.7	0.1	0.7	1574
GB		2.58	4.3	61.3	76.8	83.2	90.4	76.9	—
GK		2.74	0.7	0.4	0.8	0.6	0.5	0.4	1620

(注) 1) G_A: 砂岩質, G_B: 粘板岩質, G_K: 石灰岩碎石 (葛生産)

表-2.4 骨材の組合せ

骨材 番号	実施 年度	粘板岩混入率 ¹⁾ (%)	
		細 骨 材	粗 骨 材
I	50	2.0	2.0
II		8.0	8.0
III		8.0	8.0
IV	51	0.0	0.0
V		15.0	15.0
VI		30.0	30.0
VII	52	0.0	0.0
VIII		10.0	10.0
IX		20.0	20.0
X		富士川産川砂	葛生産碎石

(注) 1) 粘板岩の混入率 $\left(\frac{\text{粘板岩}}{\text{砂岩} + \text{粘板岩}} \times 100\right)$

表-2.5 コンクリートの配合

1) 配合	実施 年度	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	実 測 値		水セメン ト比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			スランプ (cm)	空気量 (%)			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE剤 (cc)
I	50	25	6.0	4.5	46	37	170	370	655	1143	65
II			6.0	4.4			170	370	661	1143	65
III			8.0	4.5			170	300	720	1143	65
IV	51	25	7.5	4.3	57	39	170	300	724	1140	45
V			5.5	4.4			170	300	719	1132	45
VI			5.5	4.3			170	300	713	1125	70
VII	52	25	4.0	4.5	57	40	170	300	742	1122	45
VIII			5.0	4.2			170	300	738	1118	45
IX			6.0	4.2			170	300	735	1113	62
X			6.5	4.1			170	300	751	1179	40

(注) 1) 配合は、表-2.4の骨材番号に対応する。

(3) コンクリートの練りませ

コンクリートの練りませは、強制練りミキサを使用して全材料投入後1分以上練りませた。

練りませに用いた細骨材は、あらかじめ湿潤状態にして置き、表面水の補正をして用いた。また、粗骨材は、気乾状態のものを24時間以上水に漬けて十分に吸水させたのちに表乾状態にして用いた。

(4) 凍結融解試験供試体

凍結融解試験供試体は、 $7.5 \times 10 \times 40$ cmの角柱を用い、各配合について3本ずつ製作した。また、供試体は、製作後24時間湿潤養生を行ったのち脱型し、材令14日まで水中養生を行った。

(5) コンクリートの凍結融解試験

凍結融解試験は、ASTM-C666-75「急速凍結融解に対するコンクリートの抵抗試験方法(方法A)」に準じて、次のとおり行った。

供試体中心温度： $4.4 \pm 1.7^\circ\text{C} \sim -17.8 \pm 1.7^\circ\text{C}$

繰返し速度：7.0サイクル/日（昭和50，51年度）

6.5サイクル/日（昭和52年度）

温度履歴：図-2. 1に示す。

試験開始材令：14日

また、測定項目は、次のとおりとした。

- 1) JIS A 1127「共鳴振動による動弾性係数測定方法（たわみ振動の場合）」による動弾性係数
- 2) 供試体の重量
- 3) 目視観察および写真記録

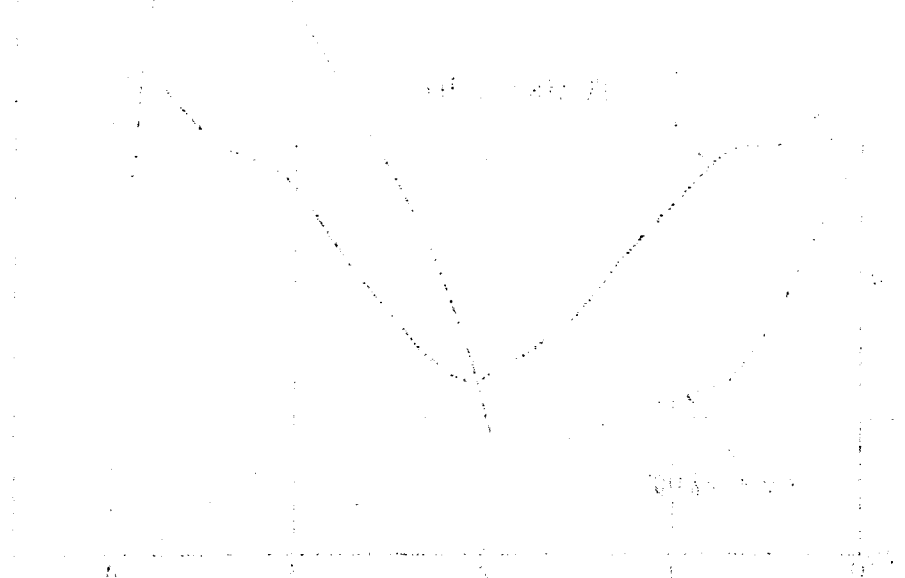
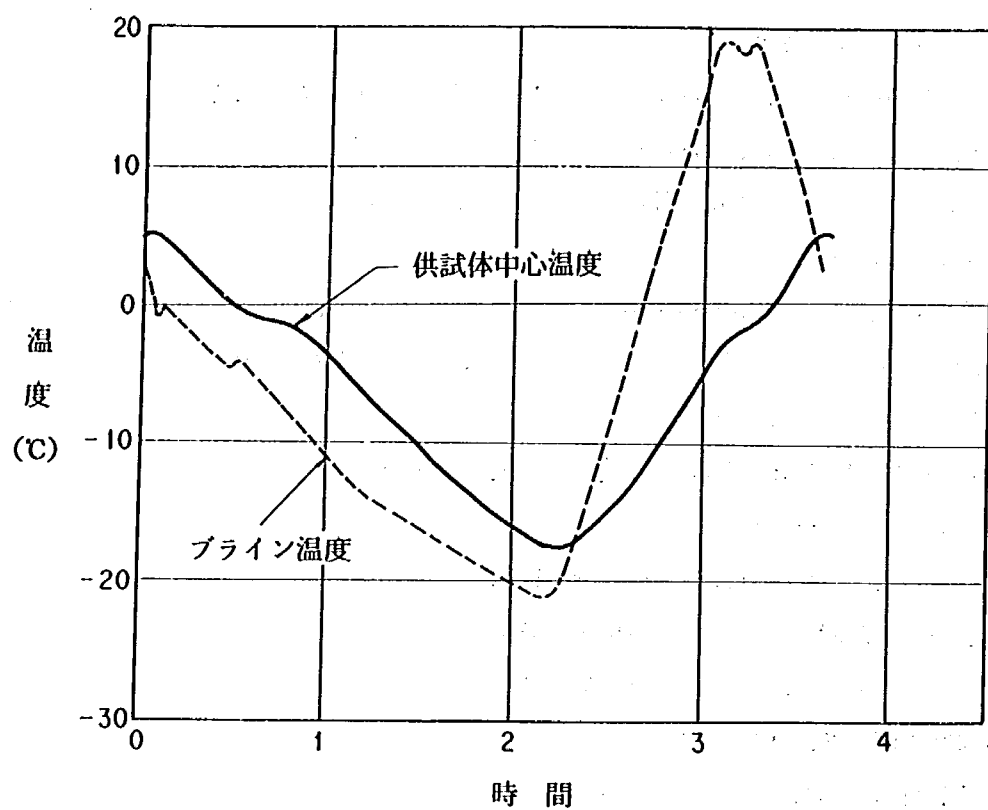


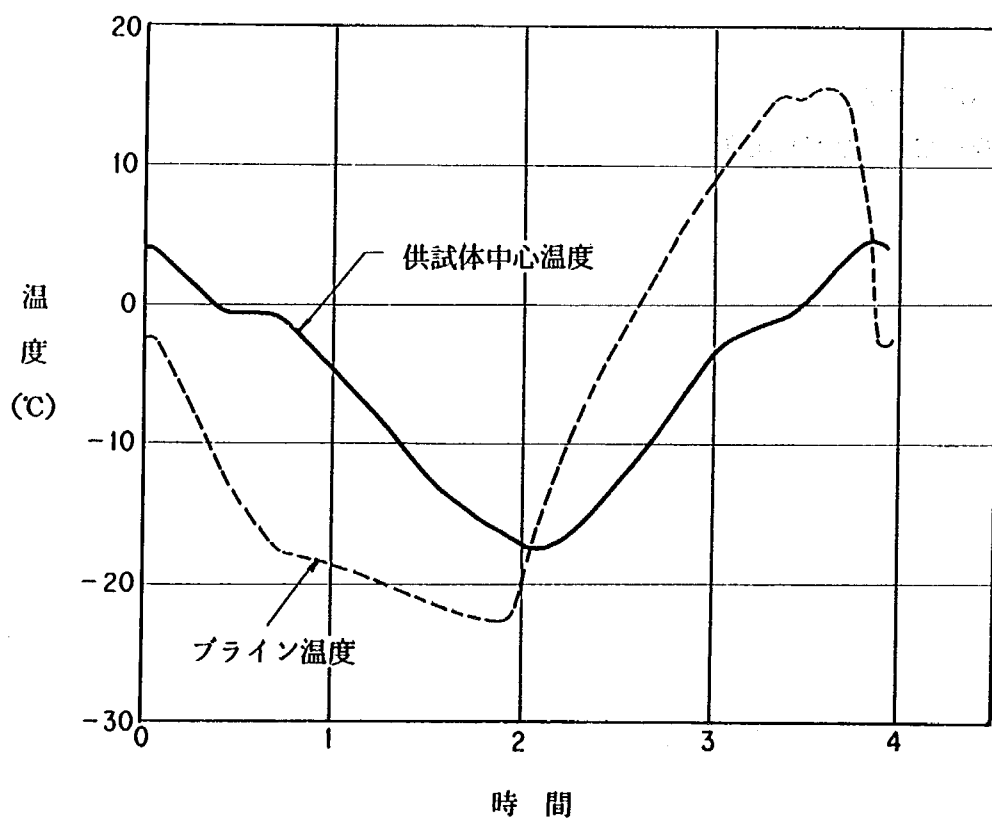
図-2.1

凍結融解試験 (a)

試験開始材令 14日



a) 昭和50, 51年度



b) 昭和52年度

図-2.1 温度履歴

2. 1. 3 試験結果および考察

(1) 骨材の一般物理試験結果

1) 送付された粗骨材のうち、粘板岩碎石は、茶褐色でかなり風化していた。その物理的品質は表-2. 3に示すごとく比重が2.58程度と比較的大きいものの、吸水率は3.6~4.3%であり、硫酸ナトリウムによる安定性損失重量も49.1~67.3%と土木学会「コンクリート標準示方書」に規定する12%を大幅に上回っている。一方、砂岩碎石は、幾分骨材粒子の表面が茶色に変色したものも見出されたが、その物理品質は良好で、コンクリート用骨材として十分な品質を有していると云える。

2) 細骨材も粗骨材と同様に、粘板岩砕砂は茶色に変色しており、吸水率5.9~9.8%、硫酸ナトリウムによる安定性損失重量は9.7~19.8%を示したのに対し、砂岩砕砂では、吸水率、安定性と共に良好な結果を示している。

3) 安定性試験の結果は、骨材の強硬の程度を示すものであり、骨材の耐久性の絶対的な目安でないが、粘板岩骨材（特に粗骨材）がこのように大きな安定性損失重量を示したことから、この骨材はコンクリート用骨材として単独で用いるのは、不適当なものである。

(2) コンクリートの凍結融解試験結果

凍結融解の繰返しに伴う供試体の動弾性係数の変化および重量変化を表-2. 6および図-2. 2、図-2. 3に示す。これらより、つぎのことが明らかになった。

1) 細、粗骨材の粘板岩混入率が多くなれば、凍結融解に伴うコンクリートの動弾性係数の低下率（耐久性の低下率）が大きくなる。(1)でも述べたように、砂岩はその品質が比較的よいので、このように耐久性が低下する原因は明らかに風化した粘板岩の混入によるものとみることができる。

2) 重量減少率も粘板岩混入率の増加とともに大きくなっている。凍結融解試験におけるコンクリートの重量減少は、細骨材の品質の影響を強く受けるものと考えられる。すなわち、重量減少は主にコンクリート表面のスケーリング、次いでモルタルの剥落という劣化現象によるもので、モルタルすなわち細骨材の耐久性に左右されることになる。実際に、最終（試験中止あるいは300）サイクルでの供試体では、粘板岩混入率の大きいものほどスケーリングの程度（粗骨材露出の程度）が顕著であった。さらに、粘板岩が混入したコンクリート供試体では、凍結融解作用により粘板岩碎石部分でポップアウトが生じているのが観察された。

3) 51年度の試験結果は、50年度および52年度の試験結果と比べ動弾性係数の低下率が相対的に大きくなっている。たとえば、砂岩単味（粘板岩混入率0%）の場合、300サイクルにおける動弾性係数比が配合Ⅶで96%であるのに対し、配合Ⅳでは66%となっている。このように同一配合でありながら試験値に差がでた理由は明確ではないが、凍結融解試験は骨材粒子内部の含水状態によって、試験値がかなり影響されること、また、供試体に与える温度サイクルのわずかな違いも試験値に影響することが最近明らかになりつつあり、今回の試験ではこのようなことが原因であると考えられる。特に、温度サイクルは、51年度と52年度とで温度上昇速度とブライン最高温度を変えたいきさつがあり（51年度は、温度上昇速度とブライン最高温度を52年度より高目にしてあり、供試体に与える影響はきびしいものとなっている）、51年度の試験結果は除外して考えるべきものと思われる。

表-2. 6 動弾性係数比および重量変化率

(その1)

配 合	実施 年度	供試体 番 号	動 弾 性 係 数 比 (En/Eo) × 100 (%)									重 量 減 少 率 [(Wo-Wn)/Wo] × 100 (%)								
			Eo (X10 ³) (kg/cm ²)	サ イ ク ル (回)								Wo (g)	サ イ ク ル (回)							
				5	37	62	99	149	204	251	305		5	37	62	99	149	204	251	305
I	50	1	444	99.1	98.5	98.6	97.9	97.7	97.4	96.5	95.1	7322	0.2	0.4	0.7	1.1	1.6	2.1	2.7	3.4
		2	433	98.6	99.1	98.7	98.4	97.5	96.4	95.9	94.0	7324	0.2	0.4	0.6	1.0	1.7	2.3	2.9	3.7
		3	439	98.2	98.2	98.5	98.4	96.6	95.8	95.1	92.7	7256	0.0	0.4	0.5	0.8	1.5	2.3	3.0	3.9
		平 均	439	98.6	98.6	98.6	98.2	97.3	96.5	95.8	93.9	7301	0.1	0.4	0.6	1.0	1.6	2.3	2.9	3.7
II		1	423	99.4	98.4	98.4	97.4	95.9	95.2	93.9	91.0	7320	0.0	0.2	0.6	1.3	2.2	3.0	3.8	4.8
		2	422	98.4	97.8	97.9	97.1	95.6	94.8	93.3	90.2	7270	0.0	0.1	0.5	1.1	2.1	2.9	3.9	5.2
		3	420	98.7	98.7	98.2	98.4	96.3	95.5	93.7	90.8	7298	0.0	0.4	0.6	1.2	2.0	2.8	4.1	5.2
		平 均	422	98.8	98.3	98.2	97.6	95.9	95.2	93.6	90.7	7296	0.0	0.3	0.6	1.2	2.1	2.9	3.9	5.0
III		供試体 番 号	動 弾 性 係 数 比 (En/Eo) × 100 (%)									重 量 減 少 率 [(Wo-Wn)/Wo] × 100 (%)								
			Eo (X10 ³) (kg/cm ²)	サ イ ク ル (回)								Wo (g)	サ イ ク ル (回)							
		18		37	49	109	144	204	251	308	18		37	49	109	144	204	251	308	
		1	374	98.6	98.2	98.5	96.0	94.5	91.9	90.2	88.3	7238	0.2	1.0	1.4	3.3	4.9	7.0	8.2	9.3
		2	382	98.8	98.4	99.1	96.8	97.0	94.9	92.1	89.4	7293	0.4	1.1	1.7	3.3	4.0	5.8	7.4	8.5
		3	366	98.6	97.9	97.8	96.0	93.8	92.5	90.2	88.0	7194	0.2	1.1	1.8	3.6	4.9	7.0	8.2	8.9
		平 均	374	98.7	98.2	98.5	96.3	95.1	93.1	90.8	88.6	7242	0.3	1.1	1.6	3.4	4.6	6.6	7.9	8.9

注) E_o , E_n は、それぞれ凍結融解開始前および各サイクル後の動弾性係数, W_o , W_n は、それぞれ凍結融解開始前および各サイクル後の供試体重量。

表-2. 6 動弾性係数比および重量変化率

(その2)

配 合	実施 年度	供試体 番 号	動 弾 性 係 数 比 (En/Eo) × 100 (%)									重 量 変 化 率 [(Wo-Wn)/Wo] × 100 (%)								
			Eo (X10 ³) (kg/cm ²)	サ イ ク ル (回)								Wo (g)	サ イ ク ル (回)							
				7	32	58	102	157	201	252	302		7	32	58	102	157	201	252	302
IV	51	1	397	98.4	98.0	96.1	91.9	88.5	84.0	77.5	63.5	7180	0.2	0.4	1.5	3.8	6.5	8.0	9.5	10.2
		2	398	98.9	98.4	95.1	93.2	90.4	88.0	83.1	77.0	7174	0.1	0.6	1.7	3.5	5.2	6.3	8.0	9.2
		3	411	98.0	97.6	94.1	90.4	86.7	82.2	73.3	57.2	7190	0.0	0.3	2.0	4.6	6.5	7.7	10.0	9.8
		平 均	402	98.4	98.0	95.1	91.8	88.5	84.7	78.0	65.9	7181	0.1	0.4	1.7	4.0	6.5	7.3	9.1	9.7
V		1	367	98.3	96.2	91.5	85.0	69.7	49.5	29.6	—	7186	0.0	0.6	2.6	5.9	8.5	9.4	9.8	—
		2	368	98.0	95.8	91.8	84.6	63.7	49.9	27.9	—	7174	0.0	0.7	1.9	5.4	8.3	9.4	11.9	—
		3	369	97.8	95.8	87.1	72.1	35.0	29.3	10.3	—	7200	0.0	0.1	3.2	7.9	11.1	12.2	14.9	—
		平 均	368	98.0	95.9	90.1	80.6	56.1	42.9	22.6	—	7187	0.0	0.5	2.6	6.4	9.3	10.4	12.2	—
VI		1	334	97.7	94.2	89.2	76.1	52.6	37.3	—	—	7124	0.0	0.9	2.1	5.1	9.2	10.7	—	—
		2	337	97.8	93.5	83.6	65.0	30.2	20.7	—	—	7174	0.0	1.4	3.7	7.4	10.9	13.4	—	—
		3	337	96.7	92.8	76.5	44.6	17.2	10.2	—	—	7195	0.0	0.4	1.5	6.2	10.2	12.0	—	—
		平 均	336	97.4	93.5	83.1	61.9	33.3	22.7	—	—	7164	0.0	0.6	2.4	6.3	10.1	12.0	—	—

注) Eo, Enは、それぞれ凍結融解開始前および各サイクル後の動弾性係数、 Wo, Wnは、それぞれ凍結融解開始前および各サイクル後の供試体重量。

表-2. 6 動弾性係数比および重量変化率

(その3)

配 合	実施 年度	供試体 番 号	動 弾 性 係 数 比 (En/Eo) × 100 (%)									重 量 変 化 率 [(Wo-Wn)/Wo] × 100 (%)								
			Eo(X10 ³) (kg/cm ²)	サ イ ク ル (回)								Wo (g)	サ イ ク ル (回)							
				6	33	53	92	146	194	247	300		6	33	53	92	146	194	247	300
VII	52	1	405	99.4	99.2	99.0	99.2	99.4	99.1	99.6	98.2	7203	0.1	0.8	1.3	2.0	3.1	4.2	5.2	6.4
		2	393	99.4	99.2	98.7	99.5	98.5	96.7	96.1	90.6	7136	0.0	0.6	1.2	2.4	4.1	6.1	6.9	8.4
		3	396	99.5	98.9	98.5	99.2	99.3	100.0	100.0	98.0	7201	0.0	0.8	1.3	2.4	4.0	5.0	5.5	6.4
		平 均	398	99.4	99.1	98.7	99.3	99.1	98.6	98.6	95.6	7180	0.1	0.7	1.3	2.3	3.7	5.1	5.9	7.0
VIII		1	384	99.6	99.4	98.5	99.1	99.4	97.6	98.0	94.4	7170	0.0	0.3	0.7	2.3	3.9	5.7	6.4	7.5
		2	383	98.7	98.4	98.6	96.1	94.3	93.9	94.1	89.3	7151	0.0	0.8	1.1	3.6	5.4	6.5	7.2	8.6
		3	388	98.9	98.1	96.9	92.6	90.5	87.7	89.7	87.6	7210	0.1	0.9	2.8	4.5	6.9	8.1	8.5	9.2
		平 均	385	99.1	98.6	98.0	95.9	94.7	93.1	93.9	90.4	7177	0.0	0.7	1.5	3.5	5.4	6.8	7.3	8.5
IX		1	363	99.5	98.9	98.7	98.1	97.8	97.0	95.0	88.1	7182	0.1	0.7	1.1	2.1	4.4	6.1	7.2	9.1
		2	370	99.2	97.7	98.2	97.8	95.1	87.7	83.1	78.1	7206	0.1	1.1	1.7	3.2	6.4	10.0	11.9	13.3
		3	364	99.9	98.9	98.8	99.4	96.7	96.5	89.8	83.8	7160	0.0	1.1	1.6	3.6	5.8	7.6	9.6	11.4
		平 均	366	99.5	98.5	98.6	98.4	96.5	93.7	89.3	83.3	7183	0.1	1.0	1.5	3.0	5.6	7.9	9.6	11.3
X		1	409	97.9	96.6	96.7	96.7	93.4	91.0	82.4	70.6	7358	0.0	0.4	0.7	1.6	2.9	3.7	4.2	5.2
		2	398	96.7	97.0	96.4	96.3	92.1	90.0	84.2	75.9	7357	0.0	0.4	0.7	2.8	4.6	5.3	5.9	6.8
		3	396	97.0	97.2	97.1	95.7	92.2	88.5	81.3	76.9	7298	0.1	0.9	1.1	3.2	4.4	5.6	6.5	7.0
		平 均	401	97.2	96.9	96.7	96.2	92.6	89.8	82.6	74.5	7338	0.0	0.6	0.8	2.5	4.0	4.9	5.6	6.3

注) E_o , E_n は, それぞれ凍結融解開始前および各サイクル後の動弾性係数, W_o , W_n は, それぞれ凍結融解開始前および各サイクル後の供試体重量。

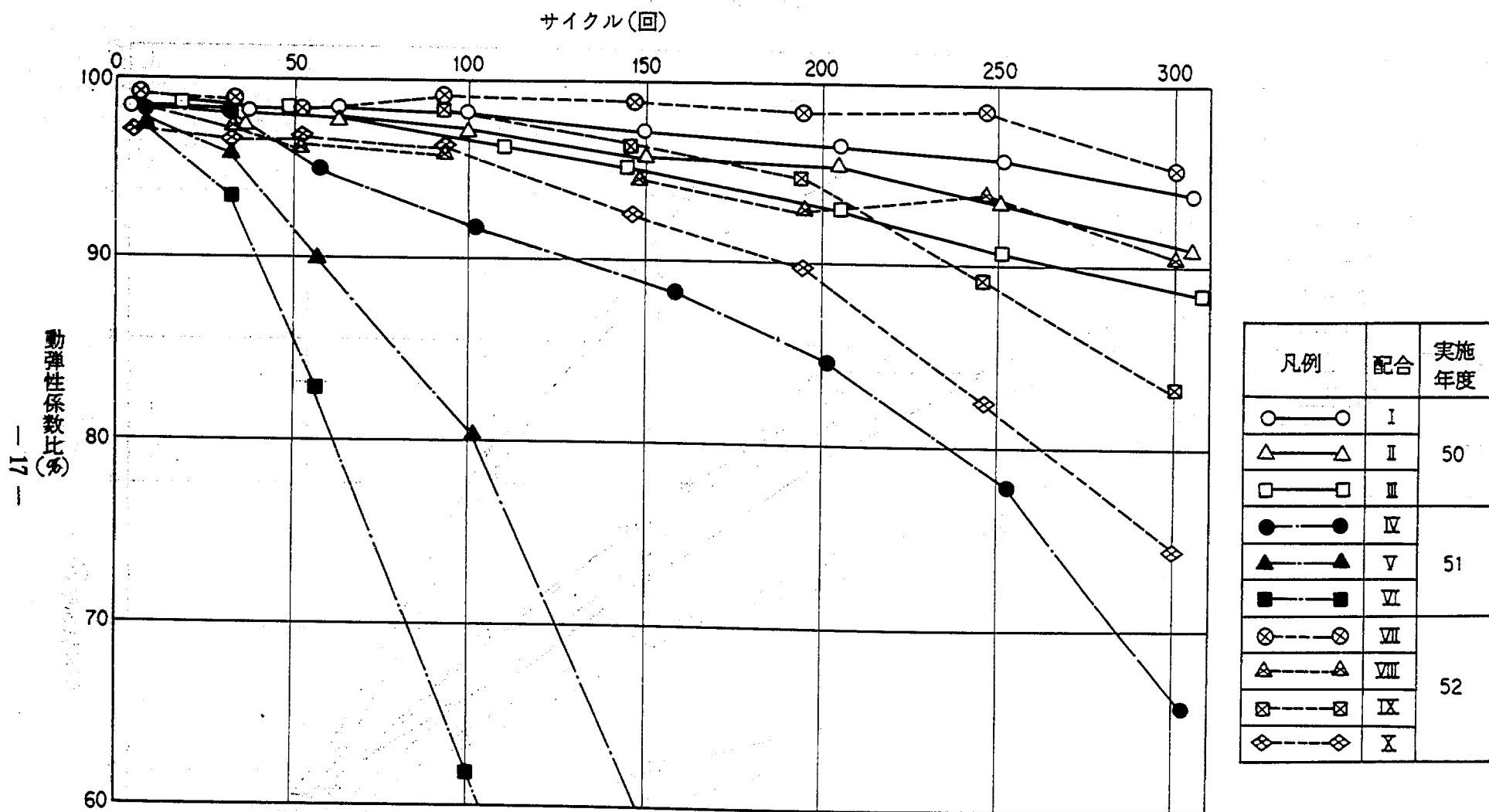


図-2. 2 凍結融解の繰返しに伴う供試体の動弾性係数比

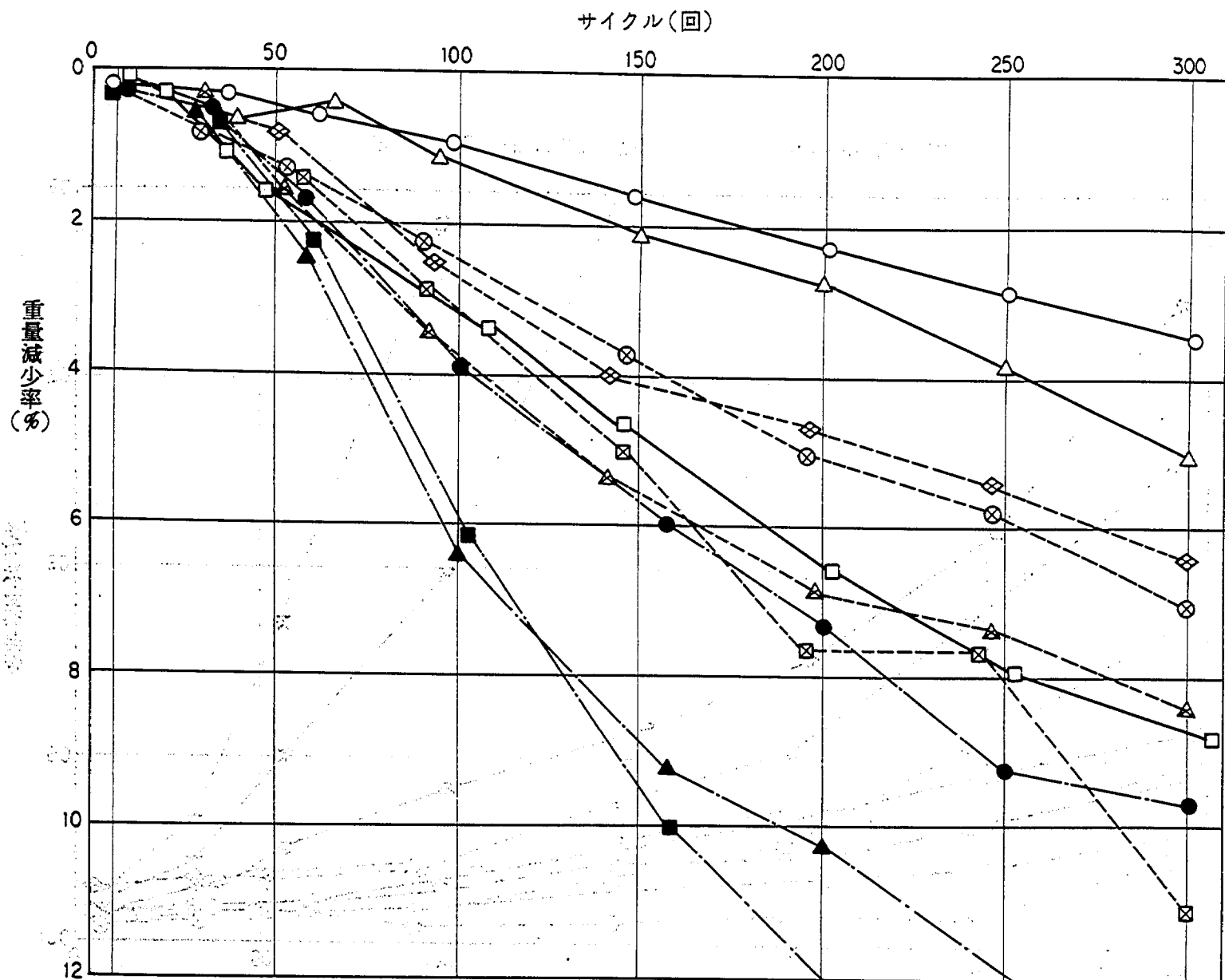


図-2. 3 凍結融解の繰返しに伴う重量の変化

なお、52年度に試験した配合Xの結果は、同じ骨材を用いて行った凍結融解試験の再現性確認試験の結果とほぼ同じであったので、十分信頼出来る値と思われる。

4) そこで52年度に行った試験結果をみると、粘板岩混入率が大きくなればコンクリートの耐久性は低下するものの、混入率が10%程度ならばその影響はさして大きくないとみることができる。

5) また、51年度に行った圧縮強度試験結果を表-2. 7に示す。

表からも明らかなように、風化した粘板岩の混入はコンクリートの圧縮強度も低下させるので、強度の面からも風化している粘板岩の混入率を少なくしておく必要がある。

表-2. 7 コンクリートの圧縮強度 (材令28日)

配 合	圧縮強度 (kg/cm ²)
IV	337
V	333
VI	315

2. 2 品質のよい粘板岩に関する試験

2. 2. 1 目 的

昭和50年度から昭和52年度までに実施した凍結融解試験結果では、風化した粘板岩骨材の混入率は10%程度に抑えておくことが望ましいという結果を得た。しかしながら粘板岩は必ずしも風化したものばかりではなく、深層部には風化されていない良質の粘板岩もあることがわかったので、さらに深層部から採取した未風化の骨材試料を対象として凍結融解試験を行い、砂岩のなかに未風化の粘板岩が混入した場合のコンクリートの耐久性に与える影響を確かめた。

2. 2. 2 試験方法

(1) 使用材料

1) セメント

使用セメントおよびその試験成績を表-2. 8に示す。

2) 骨材試料

骨材試料は、現地より送付されたものを用いた。なお、各年度の凍結融解試験の再現性を確認するためにコンクリート研究室が比較用に用いている石灰岩碎石 (栃木県葛生産) および富士川産川砂を用いたコンクリートの試験も行った。これらの物理試験結果を表-2. 9および表-2. 10に示す。

また、送付された骨材試料は、表-2. 11に示すように細・粗骨材の粘板岩混入率を変えて試験に用いた。

表-2. 8 セメントの試験成績

a) 昭和55年度 普通ポルトランドセメント (日本セメント社製)

比 重	ブレン比 表面積 (cm^2/g)	凝 結					安 定 性 (煮沸 方法)	酸化マグ ネシウム (%)	三 酸 化 い お う (%)	強熱減量 (%)
		室 温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)				
3.15	3320	21.5	93	28.3	2-30	3-46	良	1.2	2.1	0.4
フロー値 (mm)	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
265	-	33	48	66	-	149	237	400	-	-

b) 昭和56年度 普通ポルトランドセメント (日本セメント社製)

比 重	ブレン比 表面積 (cm^2/g)	凝 結					安 定 性 (煮沸 方法)	酸化マグ ネシウム (%)	三 酸 化 い お う (%)	強熱減量 (%)
		室 温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)				
3.15	3360	21.2	91	28.0	2-26	3-36	良	1.2	2.1	0.6
フロー値 (mm)	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
265	-	32	46	66	-	141	224	404	-	-

表-2. 9 細骨材の物理試験結果

1) 試 料	実 施 年 度	比 重	吸 水 率 (%)	安定性試験の損失重量(%)					洗 い 試 験	有 機 不 純 物	粒 度							粗 粒 率
											各ふるいに留る量の重量百分率(%)							
				5.0 ┌ 2.5 mm	2.5 ┌ 1.2	1.2 ┌ 0.6	0.6 ┌ 0.3	合 計			5.0 ┌ 2.5 mm	2.5 ┌ 1.2	1.2 ┌ 0.6	0.6 ┌ 0.3	0.3 ┌ 0.15	0.15 以下		
SA	55	2.66	0.7	1.1	5.7	1.4	2.3	2.2	1.9	合格	10	21	30	21	13	5	2.79	
SB		2.68	1.2	10.2	10.2	3.1	2.8	2.8	7.6	合格	2	10	25	27	20	15	2.02	
SF		2.62	2.2	5.2	5.2	3.3	3.0	3.2	—	合格	10	20	30	24	12	4	2.80	
SA	56	2.66	0.6	0.4	1.0	1.3	1.3	0.9	2.1	合格	10	21	31	20	13	5	2.80	
SB		2.67	1.2	1.4	1.8	1.7	1.4	1.3	4.7	合格	11	18	27	20	20	14	2.62	
SF		2.63	2.0	4.0	5.4	5.8	8.7	4.7	1.7	合格	10	20	30	24	12	4	2.80	

(注) 1) SA: 砂岩質, SB: 粘板岩質, SF: 川砂 (富士川産)

表-2. 10 粗骨材の物理試験結果

試料	実施 年 度	比 重	吸水率 (%)	安定性試験の損失重量(%)					単位容積 重 量 (kg/m³)
				25~20 mm	20~15	15~10	10~5	合 計	
GA	55	2.68	0.3	4.9	8.6	0.9	2.4	4.2	1567
GB		2.73	0.7	7.7	12.7	4.8	8.0	8.3	1546
GK		2.75	0.7	9.2	14.2	7.7	6.2	9.3	1595
GA	56	2.66	0.6	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	1550
GB		2.72	0.9	14.9	8.0	4.4	8.1	8.8	1580
GK		2.72	0.9	12.6	10.9	2.8	6.1	8.1	1600

(注) 1) GA: 砂岩質, GB: 粘板岩質, GK: 石灰岩碎石(葛生産)

表-2. 11 骨材の組合せ

骨材 番号	実施 年 度	粘板岩混入率1)(%)	
		細 骨 材	粗 骨 材
I	55	9.1	9.1
II		16.7	9.1
III			16.7
IV			23.1
V		23.1	9.1
VI			16.7
VII			23.1
VIII		33.3	33.3
IX		富士川産川砂	葛生産碎石
X	56	30.0	30.0
XI		50.0	50.0
XII		100.0	100.0
XIII		富士川産川砂	葛生産碎石

(注) 1) 粘板岩の混入率 $\left(\frac{\text{粘板岩}}{\text{砂岩} + \text{粘板岩}} \times 100 \right)$

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合は、水セメント比55%、スランプ5~10cm、空気量4.0~4.5%を目標とし、表-2. 12に示すように定めた。

表-2. 12 コンクリートの配合

配合	実施 年度	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	実 測 値		水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			スランプ (cm)	空気量 (%)			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	A E 剤 (CC)
I	55	25	7.5	4.1	55	40	170	309	732	1104	59
II			9.0	4.0			170	309	732	1104	70
III			9.5	4.1			170	309	732	1108	71
IV			6.5	4.5			170	309	732	1112	77
V			10.0	4.4			170	309	734	1104	87
VI			8.5	4.4			170	309	734	1108	87
VII			9.0	4.5			170	309	734	1112	87
VIII			8.3	4.3			170	309	734	1117	99
IX			10.0	4.2			155	282	744	1172	51
X	56	25	7.5	4.5	55	40	170	309	745	1113	93
XI			7.0	4.5			170	309	745	1117	155
XII			7.0	4.2			170	309	747	1129	309
XIII			6.0	4.4			155	282	752	1167	56

(注) 配合は、表-2.11の骨材番号に対応する。

(3) コンクリートの練りませ

コンクリートの練りませは、強制練りミキサを使用して全材料投入後1分以上練りませた。

練りませに用いた細骨材は、あらかじめ湿潤状態としておき、表面水の補正をして用いた。また、粗骨材は、気乾状態のものを24時間以上水に漬けて十分に吸水させたのちに表乾状態にして用いた。

(4) コンクリートの試験供試体

凍結融解試験供試体は、7.5×10×40cmの角柱を用い、各配合について3本ずつ製作した。また、暴露試験供試体をφ15×30cmの円柱を用いて配合I、VII、VIII、X、XI、XIIについて3本ずつ製作した。養生は、供試体製作後24時間湿潤養生を行ったのちに脱型し、材令14日まで水中養生を行った。

(5) コンクリートの凍結融解試験

凍結融解試験は、ASTM-C666-75「急速凍結融解に対するコンクリートの抵抗試験方法(方法A)」に準じて、つぎのとおり行った。

供試体中心温度：4.4±1.7℃～-17.8±1.7℃

繰返し速度：7.0サイクル/日

温度履歴：図-2. 4に示す

試験開始材令：14日

供試体寸法：7.5×10×40cm

また、測定項目は、つぎのとおりとした。

- 1) JIS A 1127「共鳴振動による動弾性係数測定方法（たわみ振動の場合）」による動弾性係数
- 2) 供試体の重量
- 3) 目視観察および写真記録

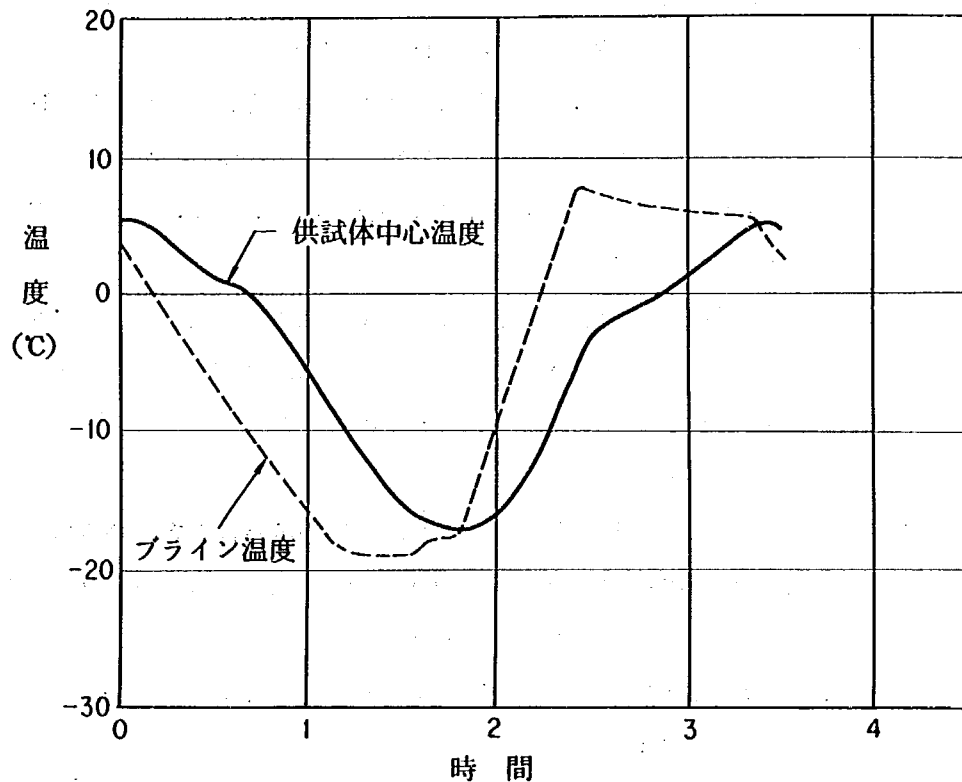


図-2. 4 温度履歴

(6) 暴露試験

暴露試験開始材令を14日とし、土木研究所材料構造共同実験施設の屋上に暴露した。

測定項目を下記に示す。

- 1) JIS A 1127「共鳴振動による動弾性係数測定方法（縦振動の場合）」による動弾性係数
- 2) 供試体の重量
- 3) 目視観察および写真記録

2. 2. 3 試験結果

(1) 骨材の一般物理試験

55, 56年度に送付された骨材試料のうち、粘板岩の碎石、砕砂は、黒色で新鮮な岩石であり、その物理的性質は、表-2. 9, 2. 10に示すように、50~52年度に対象とした風化した粘板岩の碎石、砕砂に比べて良好なものであった。

また、砂岩の碎石、砕砂の物理的性質は、50~52年度のものとは大差なく、その品質はコンクリート用骨材として十分なものである。

(1) コンクリートの凍結融解試験

凍結融解の繰返しに伴う供試体の動弾性係数の変化および重量変化を表-2. 13および図-2. 5,

図-2, 6に示す。これらより, 次のことが明らかとなった。

- 1) 細・粗骨材共, 粘板岩を同率で混入した配合 (I, III, VII, VIII, X~XII) では, その量にかかわらず, 凍結融界繰返しに伴う動弾性係数の低下はほとんど生じないで, 十分な耐久性を示している。特に, 耐久性が最も小さくなると考えられる細・粗骨材とも粘板岩単味 (粘板岩混入率100%) で用いた配合XIIでも, 300サイクルにおける動弾性係数比は約92%と大きな値となっている。
- 2) 細骨材の粘板岩混入率を一定にし, 粗骨材の粘板岩の混入率を変えた配合 (II~IV, V~VII) および粗骨材の粘板岩の混入率を一定にし, 細骨材の粘板岩混入率を変えた配合 (IとIIとV, IIIとVI, IVとVII) でも, 300サイクルにおける動弾性係数比がほぼ同じような値を示しており, 粘板岩混入率の大小の影響が明確に現れていない。
- 3) 供試体の重量減少率は, 粘板岩混入率が大きくなると重量減少率も大きくなる傾向があるものの, 300サイクルにおける重量減少率の最も大きな配合VIでも4%程度で, 粘板岩混入の影響は極めて小さいといえる。また, 300サイクルにおける各供試体表面のスケーリング深さも1~2mm程度で劣化は軽微なものであった。
- 4) 55, 56年度の凍結融解試験の試験条件をチェックし, 試験の再現性を確かめるための配合IX, XIIの結果は, 300サイクルでの動弾性係数比がそれぞれ60.5%, 55.3%とほぼ同じ値を示しており, 2年間に得られた結果を対等に比較検討し得ることを確認した²⁾。
- 5) コンクリートの暴露試験の結果は, まだ暴露期間も2年で十分なデータが得られていないが, 供試体には何ら変化がなく, 健全である。

以上のことより, 今回の試験に用いた未風化粘板岩質骨材は, その混入率が相当に大きくなってもコンクリートの耐久性にほとんど影響がないものといえる。なお, この粘板岩の物理的性質は, 土木学会「グムコンクリート標準示方書」およびJIS A5005「コンクリート用碎石」等で要求される物理的品質をすべて満足している。したがって, JIS等の品質規定を満足しているような品質のものであれば, 粘板岩の混入は耐久性等の面からは全く問題とならないともいえる。

表-2.13 動弾性係数比および重量変化率

(その1)

(その1)

配 合	実施 年度	供試体 番 号	動 弾 性 係 数 比 (En/Eo) X 100 (%)									重 量 減 少 率 [(Wo-Wn)/Wo] X 100 (%)								
			Eo(X10 ³) (kg/cm ²)	サ イ ク ル (回)								Wo (g)	サ イ ク ル (回)							
				5	25	52	99	147	201	248	300		5	25	52	99	147	201	248	300
I	55	1	431	97.7	98.6	98.4	99.3	98.9	99.0	99.4	99.3	7170	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5
		2	415	98.9	97.3	98.6	98.4	97.9	98.3	98.4	97.1	7153	0.2	0.2	0.2	0.4	0.7	0.8	1.0	1.2
		3	414	98.7	99.0	99.3	99.1	98.6	99.1	99.0	99.0	7151	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.9	0.9	1.1
		平 均	420	99.0	98.3	99.3	98.6	98.5	98.8	98.9	98.5	7158	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.9
II		1	418	98.0	97.8	98.7	96.7	96.7	95.7	95.6	95.8	7157	0.1	0.2	0.2	0.7	1.3	1.7	2.0	2.2
		2	422	98.4	97.6	98.4	95.9	94.5	94.5	94.9	94.9	7143	0.1	0.2	0.3	1.1	2.0	2.4	2.7	2.9
		3	415	98.7	98.0	98.1	96.6	95.6	94.0	92.8	93.8	7148	0.1	0.3	0.4	1.0	1.7	2.9	3.4	3.7
		平 均	418	99.0	97.8	98.4	96.9	95.6	94.7	94.4	94.8	7149	0.1	0.2	0.3	0.9	1.7	2.3	2.7	2.9
III		1	415	97.8	97.9	98.9	97.5	97.3	96.8	97.1	96.4	7099	0.2	0.2	0.3	0.5	0.9	1.2	1.5	1.7
		2	409	98.3	98.5	97.9	96.8	95.6	94.8	94.7	94.7	7104	0.1	0.2	0.3	1.0	1.8	2.4	2.7	3.0
		3	419	97.5	98.2	98.3	98.2	97.6	98.7	97.2	96.4	8166	0.2	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5
		平 均	414	97.9	98.2	98.4	97.5	96.8	96.8	96.3	95.8	7123	0.2	0.2	0.3	0.7	1.4	1.5	1.8	2.1

注) E_o , E_n は、それぞれ開始前および各サイクルの動弾性係数, W_o , W_n は、それぞれ開始前および各サイクルの供試体重量

表-2.13 動弾性係数比および重量変化率

(その2)

配 合	実 施 年 度	供試体 番 号	動 弾 性 係 数 比 (En/Eo) × 100 (%)									重 量 減 少 率 [(Wo-Wn)/Wo] × 100 (%)									(その2)
			Eo (X10 ³) (kg/cm ²)	サ イ ク ル (回)								Wo (g)	サ イ ク ル (回)								
				5	25	52	99	147	201	248	300		5	25	52	99	147	201	248	300	
Ⅳ	55	1	423	97.8	97.9	98.6	98.0	96.6	97.9	97.7	97.8	7183	0.2	0.2	0.3	0.5	0.8	1.1	1.3	1.4	
		2	413	98.3	98.3	98.2	97.5	96.6	95.1	95.3	94.9	7166	0.2	0.2	0.2	0.5	0.9	1.6	2.0	2.2	
		3	408	98.3	97.4	99.4	98.0	97.5	97.2	96.6	96.8	7104	0.2	0.2	0.2	0.5	1.0	1.5	1.7	1.9	
		平 均	415	98.1	97.9	98.7	97.8	96.9	96.7	96.5	96.5	7151	0.2	0.2	0.2	0.5	0.9	1.4	1.7	1.8	
Ⅴ		1	404	98.5	98.3	98.6	98.4	97.9	97.6	96.5	96.2	7157	0.2	0.4	0.7	1.2	1.7	2.1	2.4	2.8	
		2	425	97.6	97.6	96.7	96.1	95.9	95.7	95.7	94.1	7265	0.2	0.4	0.9	1.6	2.1	2.7	3.0	3.4	
		3	412	99.2	99.3	99.3	99.0	98.8	98.5	98.3	98.6	7157	0.2	0.3	0.4	0.7	1.1	1.5	1.6	1.9	
		平 均	414	98.4	98.4	98.2	97.8	97.5	97.3	96.8	96.3	7193	0.2	0.4	0.7	1.2	1.6	2.1	2.3	2.7	
Ⅵ		1	417	98.3	97.9	97.3	96.6	94.9	92.4	90.1	90.2	7207	0.1	0.4	0.7	1.3	2.0	2.8	4.3	5.3	
		2	404	98.6	98.8	98.2	97.8	97.0	96.3	95.7	97.4	7169	0.2	0.4	0.6	1.4	1.8	2.4	2.7	2.9	
		3	403	98.5	98.9	98.9	98.0	93.0	91.4	91.6	90.8	7172	0.2	0.3	0.5	0.9	2.9	4.2	4.5	4.9	
		平 均	408	98.5	98.5	98.1	97.5	94.9	93.4	92.3	92.8	7183	0.2	0.4	0.6	1.2	2.2	3.1	3.8	4.4	

注) E_o , E_n は、それぞれ開始前および各サイクルの動弾性係数、 W_o , W_n は、それぞれ開始前および各サイクルの供試体重量

表-2. 13 動弾性係数比および重量変化率

(その3)

配	実施 年度	供試体 番 号	動 弾 性 係 数 比 (En/Eo) × 100 (%)									重 量 減 少 率 [(Wo-Wn)/Wo] × 100 (%)								
			Eo (×10 ³) (kg/cm ²)	サ イ ク ル (回)								Wo (g)	サ イ ク ル (回)							
				5	25	52	99	147	201	248	300		5	25	52	99	147	201	248	300
VII	55	1	404	98.6	98.3	96.7	96.4	94.4	94.2	95.4	94.4	7215	0.2	0.4	0.8	1.4	2.3	3.0	3.1	3.5
		2	408	98.3	98.3	97.4	96.6	95.3	93.8	94.7	94.6	7222	0.2	0.4	0.8	1.5	2.0	2.6	2.9	3.3
		3	403	98.6	98.8	97.8	96.8	96.5	95.0	95.3	94.1	7166	0.2	0.4	0.7	1.3	1.8	2.3	2.7	3.1
		平 均	405	98.5	98.5	97.3	96.6	95.4	94.3	95.1	94.4	7201	0.2	0.4	0.8	1.4	2.0	2.6	2.9	3.3
1		411	99.3	98.1	98.5	98.5	97.7	97.7	97.3	96.9	7192	0.2	0.2	0.2	0.6	1.0	1.4	1.6	1.8	
2		407	97.9	97.4	96.5	96.2	95.7	95.0	94.6	94.8	7146	0.1	0.2	0.4	1.0	1.4	1.8	2.1	2.4	
3		415	97.2	97.8	98.1	97.7	97.3	97.4	97.0	97.3	7228	0.2	0.2	0.3	0.7	1.1	1.5	1.7	1.9	
平 均		411	98.1	97.8	97.7	97.5	96.9	96.1	96.3	96.3	7189	0.2	0.2	0.3	0.8	1.2	1.6	1.8	2.0	
IX		1	380	96.0	94.5	93.2	90.6	85.7	81.0	74.3	68.2	7236	0.1	0.2	0.3	0.7	1.1	1.4	1.5	1.8
		2	396	94.4	93.5	91.9	87.3	81.9	75.1	68.3	56.7	7262	0.1	0.2	0.4	0.8	1.1	1.5	1.9	3.2
		3	378	96.5	95.8	93.4	86.8	77.3	70.3	61.3	56.6	7184	0.1	0.2	0.3	0.7	2.2	3.1	3.3	3.7
		平 均	385	95.6	94.6	92.8	88.2	81.6	75.5	68.0	60.5	7227	0.1	0.2	0.3	0.7	1.5	2.0	2.2	2.9

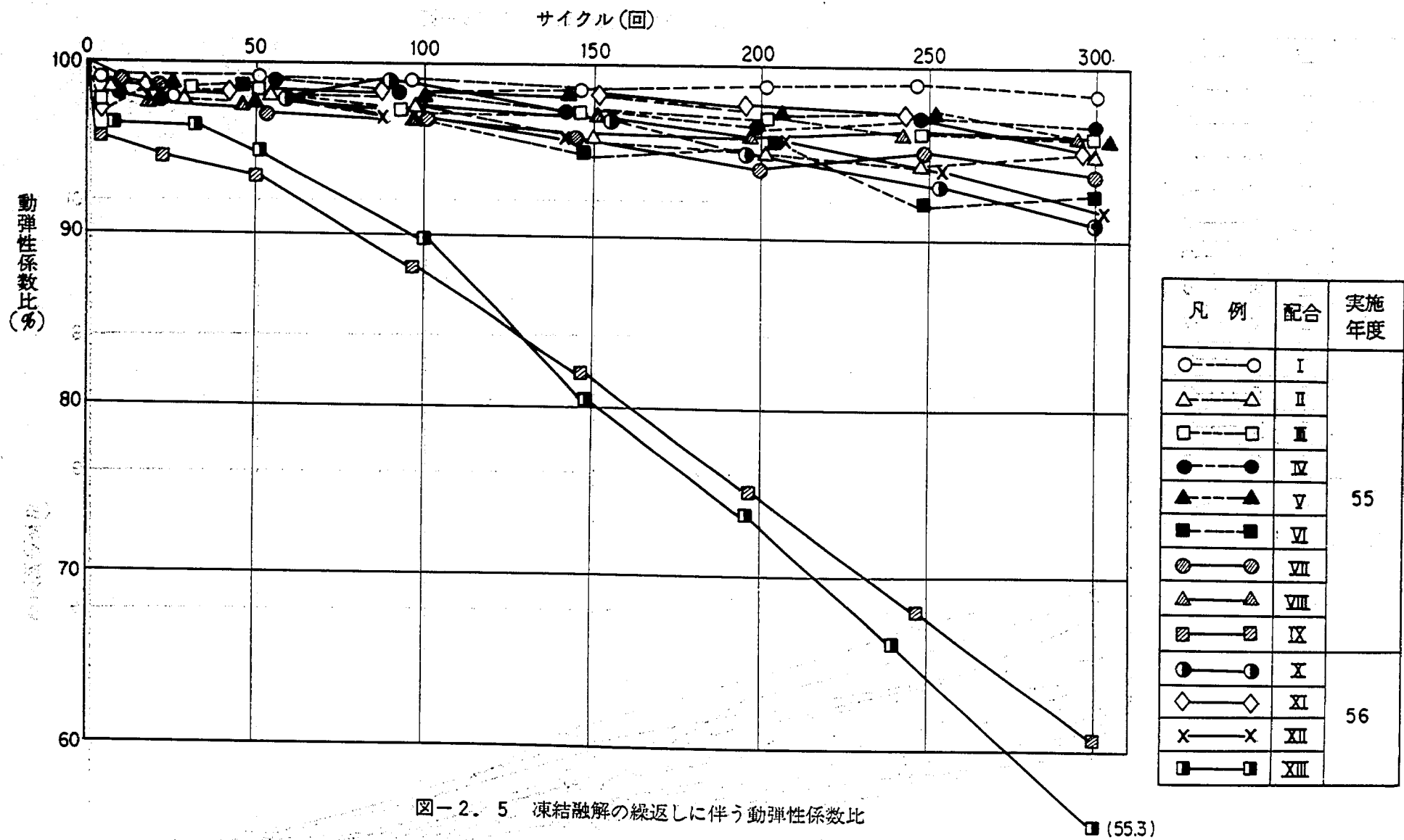
注) E_o , E_n は、それぞれ開始前および各サイクルの動弾性係数、 W_o , E_n は、それぞれ開始前および各サイクルの供試体重量

表-2. 13 動弾性係数比および重要変化率

(その4)

配 合		実施 年度	供試体 番 号	動 弾 性 係 数 比 (En/Eo) × 100 (%)								重 量 減 少 率 [(Wo-Wn)/Wo] × 100 (%)								(その4)
				Eo (X10 ³) (kg/cm ²)	サ イ ク ル (回)							Wo (g)	サ イ ク ル (回)							
					3	23	50	98	152	199	254		300	3	23	50	98	152	199	
X	56	1	410	98.0	97.7	98.1	98.2	97.3	95.9	94.8	93.4	7394	0.0	0.1	0.2	0.5	0.9	2.2	3.3	3.8
		2	400	99.1	98.6	98.3	98.6	95.4	94.3	90.6	88.4	7373	0.0	0.1	0.3	0.8	3.1	4.2	4.7	5.1
		3	408	98.1	98.2	97.8	98.0	97.1	96.1	93.6	91.5	7350	0.0	0.1	0.3	0.6	1.1	1.9	3.2	4.3
		平 均	406	98.7	98.2	98.1	98.3	96.6	95.4	93.0	91.1	7375	0.0	0.1	0.3	0.7	1.7	2.8	3.7	4.4
XI		1	386	98.6	98.0	97.6	98.2	97.6	97.0	96.8	93.3	7388	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	1.0	1.4	3.2
		2	396	99.2	99.2	98.2	98.6	98.1	98.0	97.3	95.9	7391	0.0	0.1	0.4	0.7	1.0	1.2	1.6	2.0
		3	402	98.1	98.2	98.1	98.2	97.7	97.6	96.0	94.8	7455	0.0	0.0	0.2	0.6	0.9	1.3	2.0	2.7
		平 均	395	98.6	98.5	98.0	98.3	97.8	97.5	96.7	94.7	7411	0.0	0.1	0.3	0.6	0.9	1.2	1.4	2.7
XII		1	354	99.0	98.4	98.0	98.0	95.4	94.5	92.4	90.7	7407	0.0	0.1	0.5	0.9	1.6	2.1	3.0	3.8
		2	360	98.4	98.2	96.3	96.6	95.4	94.7	93.7	90.4	7422	0.0	0.1	0.9	1.7	2.5	3.0	3.5	4.9
		3	368	99.3	99.2	98.3	98.6	98.2	97.8	96.9	95.5	7412	0.0	0.2	0.6	0.9	1.6	2.1	2.5	3.5
		平 均	361	98.9	98.6	97.5	97.7	96.3	95.7	94.3	92.2	7414	0.0	0.1	0.7	1.2	1.9	2.4	3.0	4.1
XIII		供試体 番 号	Eo (X10 ³) (kg/cm ²)	サ イ ク ル (回)							Wo (g)	サ イ ク ル (回)								
		7	32	51	100	148	196	240	300	7		32	51	100	148	196	240	300		
		1	375	95.9	96.0	94.8	91.5	87.4	78.0	70.1	59.2	7226	0.0	0.2	0.2	0.5	0.8	1.2	1.7	2.1
		2	362	97.2	96.9	96.3	91.0	78.5	73.6	65.7	54.6	7248	0.0	0.3	0.4	0.8	1.2	1.4	1.7	2.2
		3	385	97.1	96.6	93.6	87.3	75.6	69.4	62.8	52.1	7353	0.0	0.2	0.3	0.6	0.9	1.2	1.4	1.8
	平 均	374	96.7	96.5	94.9	89.9	80.5	73.7	66.2	55.3	7256	0.0	0.2	0.3	0.6	1.0	1.3	1.6	2.0	

注) Eo, Enは、それぞれ凍結融解開始前および各サイクル後の動弾性係数、Wo, Wnは、それぞれ凍結融解開始前および各サイクルの供試体重量



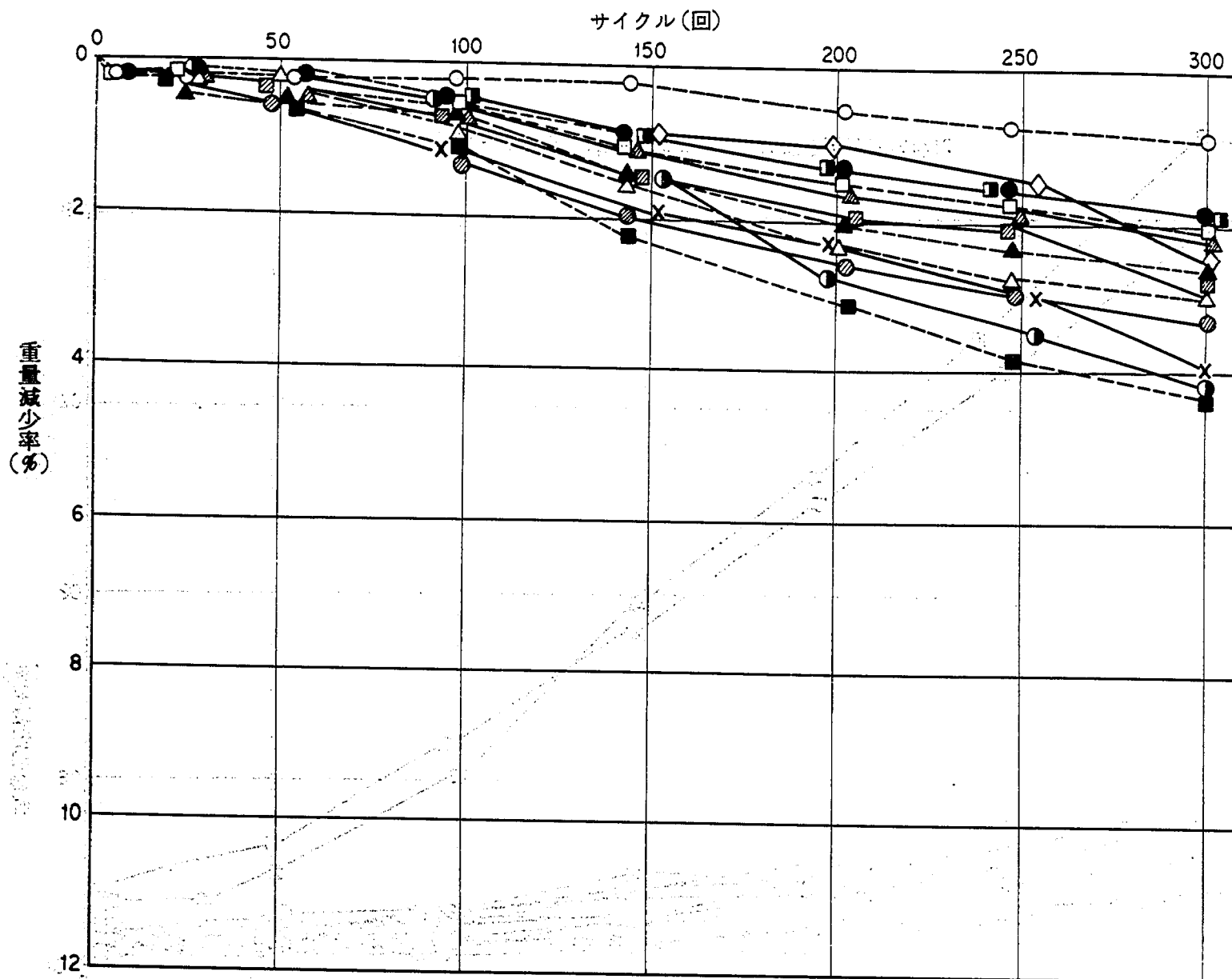


図-2. 6 凍結融解の繰返しに伴う重量の変化

凡 例	配合	実施 年度
○---○	I	55
△---△	II	
□---□	III	
●---●	IV	
▲---▲	V	
■---■	VI	
⊗---⊗	VII	
△---△	VIII	
▨---▨	IX	
●---●	X	56
◇---◇	XI	
x---x	XII	
■---■	XIII	

3. インパクトクラッシャーによる分離破碎試験（昭和53, 54年度）

3. 1 目 的

昭和50年度から昭和52年度までに行ったコンクリートの凍結融解試験では、風化した粘板岩の混入率が10%程度であれば問題ないとした。しかしながら、粘板岩と砂岩の仕分けを人力で行うのは非常に困難と思われる。

そこで、インパクトクラッシャーの分離破碎特性（ローターの打撃板を利用して割れ易い粘板岩のみを碎いて選別する効果）を利用して、機械的に粘板岩の混入率10%程度に減らすことが出来ないかどうかを調査した。

3. 2 予備試験

3. 2. 1 試験方法

(1) 破碎試料

現地より送付された原石試料の粘板岩混入率は、原石山の地質構成とほぼ同じく約20%であった。また、クラッシャーにかけた骨材の粒度は、表-3. 1に示すとおりである。

表-3. 1 給鉱試料の粒度（予備試験）

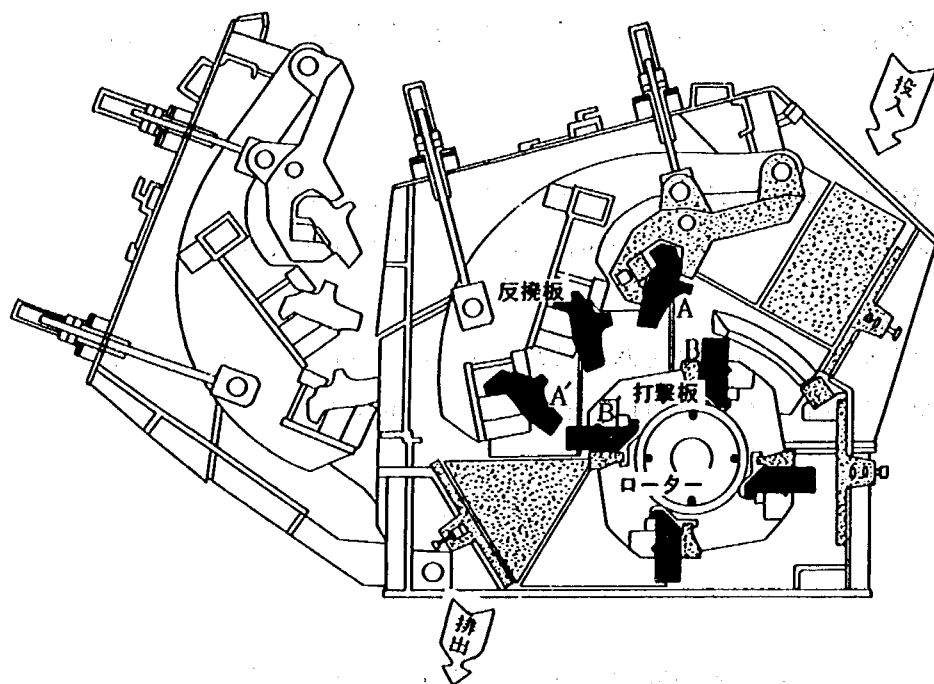
ふるい目の 寸法（mm）	インパクトクラッシャー		コーンクラッシャー	
	重 量（％）		重 量（％）	
	粒 度 別	累 積	粒 度 別	累 積
150～100	67.1	67.1	0.0	0.0
100～80	22.6	89.7	15.9	15.9
80～60	5.0	94.7	33.0	48.9
60～40	3.4	98.1	25.0	73.9
40～20	1.2	99.3	15.0	88.9
20～10	0.5	99.8	10.5	98.4
10～5	0.2	100.0	1.6	100.0
5以下	0.0	0.0	0.0	0.0

(2) 破碎機および破碎条件

試験に用いたインパクトクラッシャーは、ハルドパクト PEH60/35型であり、その構造を図-3. 1に示す。

破碎条件は、同図中の反撥板 A と打撃板 B との間隔を85mm、反撥板 A' と打撃板 B' との間隔を60mm にセットし、ローターの回転速度を周速15m/s、20m/s および25m/s と変え、給鉱量は10t/h とした。

また、比較のため、コーンクラッシャー（キャリブレーター700/80型）を出口セット20mm、コーンの回転数を400rpm として試験を行った。



図－3. 1 予備試験に用いたインパクトクラッシャーの構造図

これらのクラッシャーによる破碎試験によって得られた破碎試料について、ふるい分け試験を行い、砂岩と粘板岩の分離状況を調べた。

3. 2. 2 試験結果および考察

インパクトクラッシャーおよびコーンクラッシャーの破碎試験の破碎試料の粒度および品位分析結果を表－3. 2および表－3. 3に示す。

これらより、次のことが明らかとなった。

1) インパクトクラッシャーによる破碎試験では、ローターの回転速度にかかわらず、破碎試料の粒径が大きいほど砂岩の割合が高く、逆に粒径が小さくなると粘板岩の混入率が高くなり分離破碎が行われていることを示していた。また、粘板岩が20%程度混入している場合、目標とする粘板岩の混入率を10%程度に破碎分離することを考えると、ローターの回転速度15m/sがよいようで、この場合20mm以下をカットすると粘板岩混入率10.1%で、骨材歩留は72.1%となった。粘板岩の混入率をやや緩く考えて13.0%とすれば、10mm以下をカットして歩留が85.8%となった。

2) 一方、コーンクラッシャーによる破碎試験では、粒径5 mm以下の細粒部については、砂岩の割合がやや上がり、粘板岩の割合がやや下がるものの、大半を占める粗粒部ではクラッシャーの破碎分離効果は認められなかった。

表-3. 2 インパクトクラッシャーの破碎試料の粒度と品位 (予備試験)

ふるい目の 寸法 (mm)	ローター周速 15 m/s				ローター周速 20 m/s				ローター周速 25 m/s			
	重量 (%)		混入率 (%)		重量 (%)		混入率 (%)		重量 (%)		混入率 (%)	
	粒度別	累 積	砂 岩	粘板岩	粒度別	累 積	砂 岩	粘板岩	粒度別	累 積	砂 岩	粘板岩
100 ~ 80	8.0	8.0	100.0	0.0	0.6	0.6	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80 ~ 60	8.9	16.9	93.7	6.3	3.7	4.3	92.3	7.7	0.5	0.5	100.0	0.0
60 ~ 40	30.3	47.2	42.0	8.0	25.1	29.4	86.9	13.1	19.3	19.8	89.3	10.7
40 ~ 20	24.9	72.1	89.9	10.1	28.1	57.5	82.1	17.9	28.8	48.6	87.9	12.1
20 ~ 10	13.7	85.8	87.0	13.0	19.0	76.5	80.5	19.5	20.4	69.0	85.3	14.7
10 ~ 5	6.6	92.4	85.7	14.3	10.6	87.1	80.4	19.6	13.0	82.0	84.3	15.7
5 ~ 2.5	3.2	95.6	85.0	15.0	5.8	92.9	79.5	20.5	7.8	89.8	83.7	16.3
2.5 ~ 1.2	1.7	97.3	84.8	15.2	3.0	95.9	79.4	20.6	4.3	94.1	83.2	16.8
1.2 ~ 0.15	2.2	99.5	84.2	15.8	3.3	99.2	78.4	21.6	4.7	98.8	82.1	17.8
0.15 以下	0.5	100.0	測定せず		0.8	100.0	測定せず		1.2	100.0	測定せず	

表-3. 3 コーンクラッシャーの破碎試料の粒度と品位 (予備試験)

ふるい目の 寸法 (mm)	重量 (%)		混入率 (%)	
	粒度別	累 積	砂 岩	粘板岩
40 以上	0.2	0.2	54.0	46.0
40 ~ 20	36.2	36.4	81.9	18.1
20 ~ 10	36.1	72.5	80.0	20.0
10 ~ 5	11.6	84.1	80.5	19.5
5 ~ 2.5	7.2	91.3	81.3	18.7
2.5 ~ 1.2	3.6	94.9	81.7	18.3
1.2 以下	5.1	100.0	測定せず	

3. 3 本試験

3. 3. 1 試験方法

(1) 破碎試料

現地より送付された原石試料の粘板岩混入率は約37%であったが、予備試験の場合と試験条件を同じくするため、手選により粘板岩を除去し、クラッシャーにかける試料の粘板岩混入率を約20%とした。クラッシャーにかけた試料の粒度分布を表-3. 4に示す。

表-3. 4 給鉱試料の粒度
(本試験)

ふるい目の 寸法 (mm)	重量 (%)	
	粒度別	累 積
150~80	67.4	67.4
80~60	18.4	85.8
60~40	12.8	98.6
40~20	0.8	99.4
20以下	0.6	100.0

(2) 破碎機および破碎条件

試験に用いたインパクトクラッシャーは、ハルドパクト PEH100/70型であり、その構造を図-3. 2に示す。

破碎条件は、予備試験結果を参考にして、同図中の反撥板 A と打撃板 B との間隔を85mm、反撥板 A' と打撃板 B' との間隔を60mm にセットし、ローターの回転速度を15m/s、給鉱量を40t/hとした。

このクラッシャーによる破碎試験によって得られた破碎試料について、ふるい分け試験を行い、砂岩と粘板岩の分離状況を調べた。

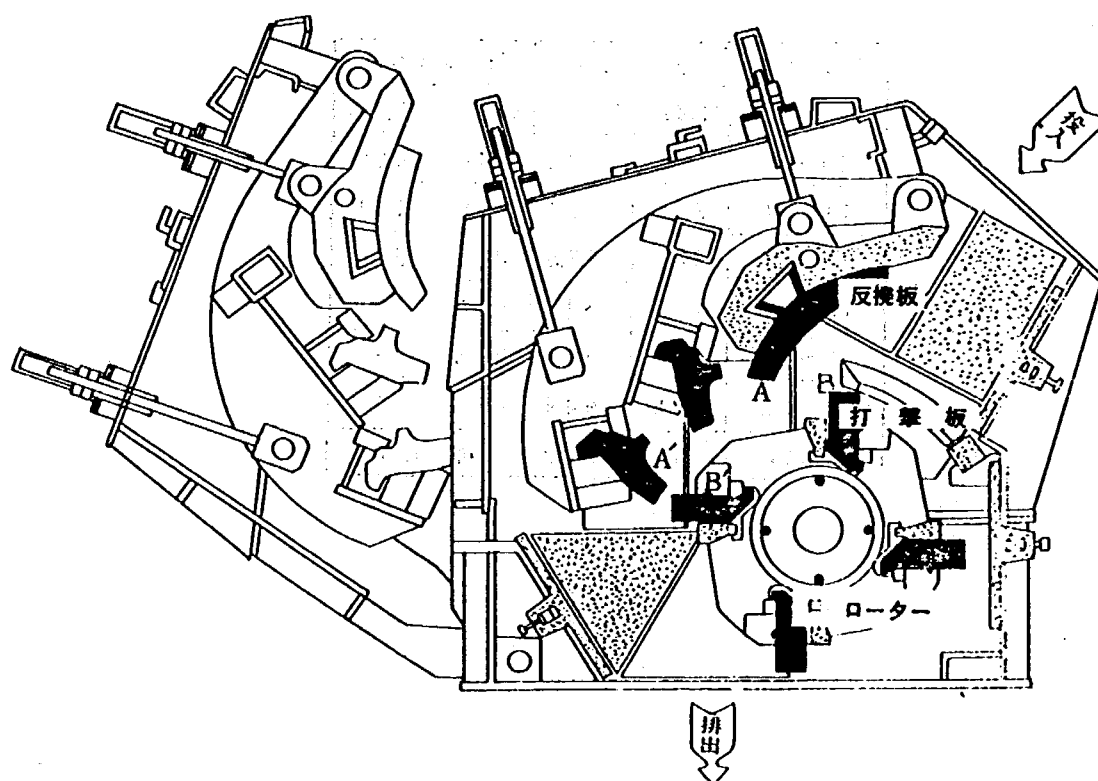


図-3. 2 本試験に用いたインパクトクラッシャーの構造図

3. 3. 2 試験結果および考察

大型のインパクトクラッシャーによる破碎試験によって得られた破碎試料のふるい分け結果および品位分析結果を表-3. 5に示す。これより、次のことが明らかになった。

- 1) 粘板岩混入率20%の原石を、混入率11.0%にするためには、クラッシャーにかけた後20mm 以下を捨てればよいが、骨材歩留は84.1%となる。粘板岩混入率を13.7%まで許すとすれば、10mm 以下をカットすればよいので歩留は92.1%となる。これは、予備試験結果よりもよい結果となっている。
- 2) 以上の試験によって、大型インパクトクラッシャーによる砂岩と粘板岩との分離破碎効果を確認できたと同時に、クラッシャーが大きくなるとその分離破碎効果が上がることがわかった。

表-3. 5 インパクトクラッシャーの破碎試料の粒度と品位 (本試験)

ふるい目の 寸法 (mm)	重量 (%)		混入率 (%)	
	粒度別	累 積	砂 岩	粘板岩
100~80	13.5	13.5	97.1	2.9
80~60	14.0	17.5	95.3	4.7
60~40	35.5	63.0	91.7	8.3
40~20	21.1	84.1	89.0	11.0
20~10	8.0	92.1	86.3	13.7
10~5	3.4	95.5	85.1	14.9
5~2.5	1.2	96.7	84.6	15.4
2.5~1.2	1.2	97.9	84.0	16.0
1.2~0.15	1.7	99.6	83.2	16.8
0.15以下	0.4	100.0	測定せず	

4. まとめ

川辺川ダムコンクリート用骨材の原石山候補地から採取された骨材について行ってきた一連の試験および骨材の選択方法に関する調査結果をまとめれば、次のようになる。

- 1) 原石山候補地で採取した砂岩および粘板岩は、ローモンタイト、モンモリロナイト等、骨材の化学的安定性を害するような物質は含んでいない。また、アルカリ骨材反応を生ずる心配もない。
- 2) 原石の主体をなす砂岩には、新鮮なものとやや風化したものがあるが、骨材としての品質にはあまり差がなく、耐久性も十分に大きいと考えられる。
- 3) 原石に一部混る粘板岩にも、風化したものと新鮮なものがあり、両者の品質は大きく異っている。すなわち、風化した粘板岩はコンクリート用骨材の品質水準を大きく外れており、それが多量に混るとコンクリートの耐久性に与える影響も大きいので、その混入を10%程度以下に抑えておくことが望ましい。
- 4) 一方、未風化の粘板岩はコンクリート用骨材としての品質水準を満足しており、それが砂岩に混入してもコンクリートの耐久性等に与える影響はほとんどない。
- 5) したがって、粘板岩ということだけで骨材から排除する必要はなく、風化していて骨材の品質水準に達しない粘板岩の混入だけを抑制すればよいことになる。
- 6) 風化した岩石が骨材に混入しないようにするためには、原石山の地質調査に基づいて風化した岩石の存在するゾーンを調べ、掘削時にはそのゾーンを捨土とする方法および原石採取時にチェックを行い、風化した岩石が混入している場合には捨土とする方法が一般的な方法として考えられる。しかし、このような方法では捨土量があまりにも多すぎる場合があり、破碎機にインパクトクラッシャーを用いると捨土量を減らすのに効果があると思われる。すなわち、インパクトクラッシャーは、割れ易い粘板岩類を砂岩よりもより細粒化させるという性質があるので、インパクトクラッシャーで破碎後品質の悪い細粒分だけを捨てれば捨土量が少なくなるのである。

実験では、粘板岩を20%含む場合インパクトクラッシャーで破碎後20mm以下の骨材を捨てれば粘板岩の含有量が10%程度となる。この場合の歩留は84%程度であった。

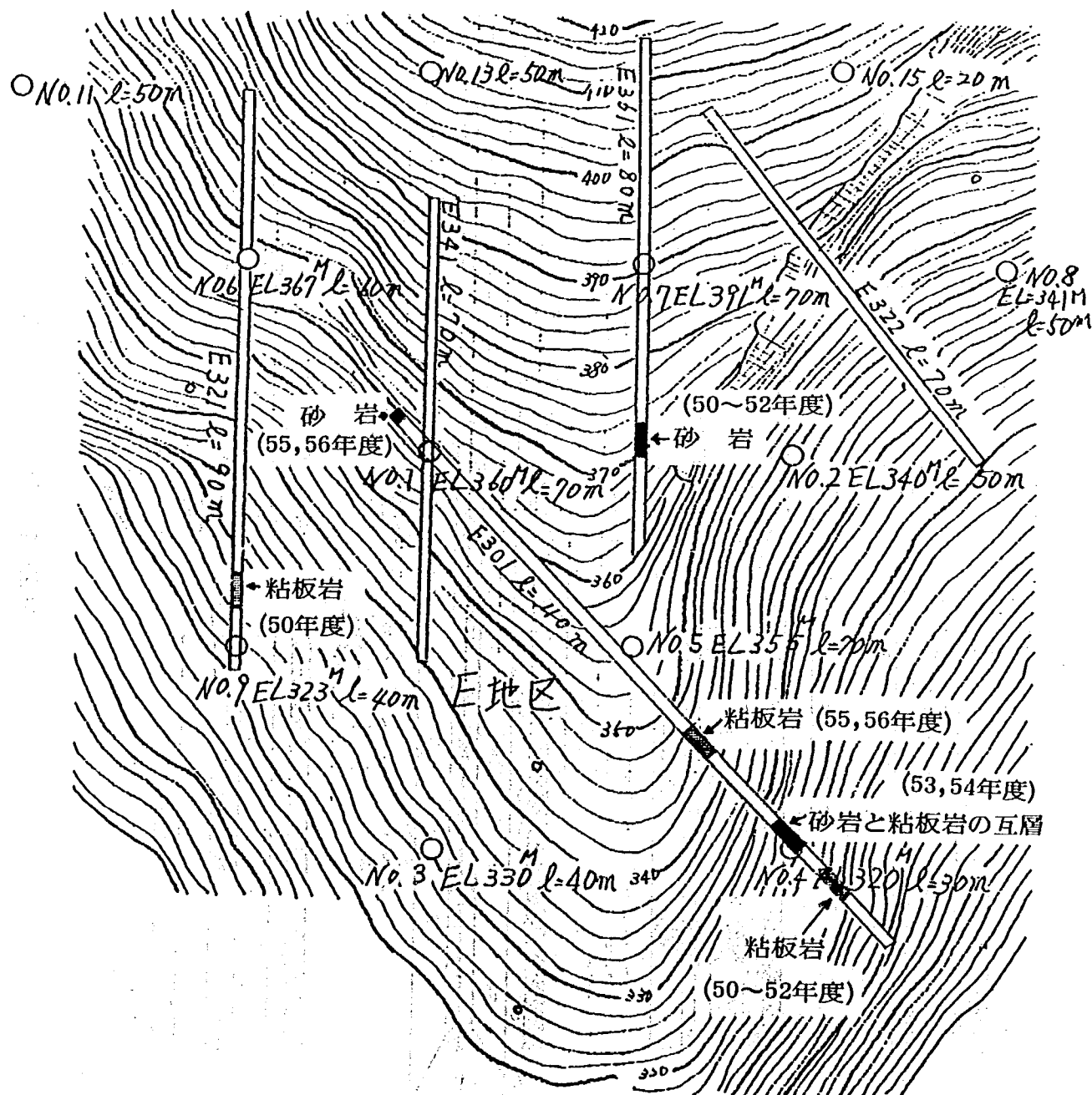
なお、細粒分のうち、どの程度の品質のものを捨てるかという品質の判定は、骨材の吸水率等の試験値を用いるのが簡便で実用的と考えられる。

- 7) 粘板岩はその性質上新鮮なものであっても破碎すると一般に形状が偏平なものが多くなって来る。このような形状のものがあまり多量に混入されるとコンクリートのワーカビリティ等が悪くなり単位水量が多くなり易い。したがって粘板岩の大きなゾーンにあたって、粘板岩だけが連続して採取されるような場合でも出来るだけ砂岩質のゾーンと平行して採取させ、製品の骨材中には粘板岩だけがまとまって存在しないようにすることも大切である。

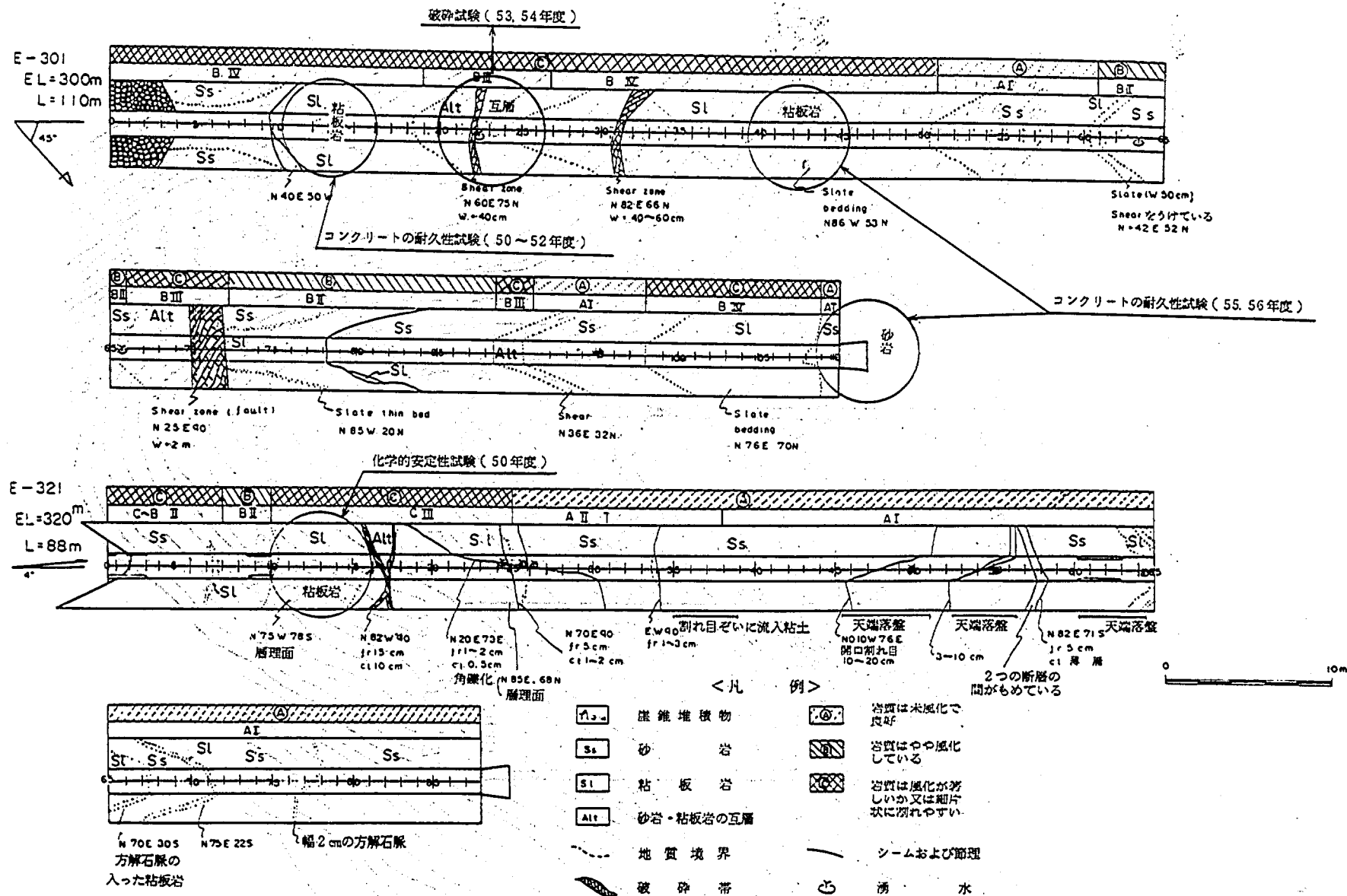
附属資料（骨材試料の採取位置）

昭和50年度から56年度までに対象とした骨材試料の採取位置を附図-1, 2に示す。

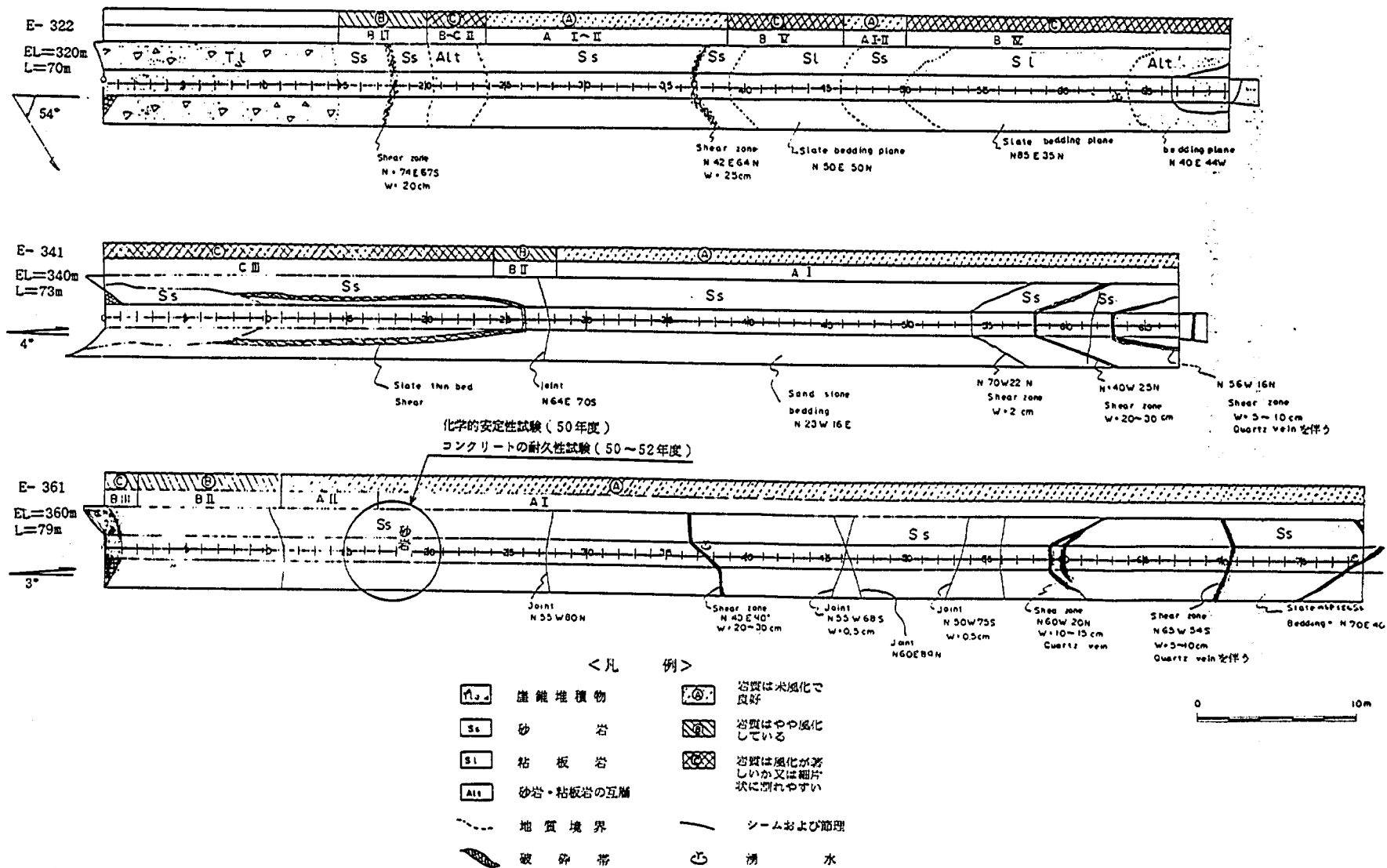
附図-1は原石山候補地の試錘、試掘坑の位置と骨材試料採取位置の概略を示したものであり、附図-2は各試掘坑について骨材試料採取位置の詳細を示したものである。



附図-1 試錘、試掘坑の位置図



附図-2 骨材試料の採取位置 (その1)



附図-2 骨材試料の採取位置 (その2)

参考文献

- 1) 太田実, 小野金造, 河田博之: 骨材の化学的安定性試験, 昭和54年11月, 土木研究所資料第1536号
- 2) 柳田力, 太田実: コンクリートの凍結融解試験方法に関する検討, 昭和52年10月, 土木学会講演概要集

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第1814号
マイクロフィルム第 号
昭和57年3月(1982)
小林茂敏, 小野金造
河田博之, 高橋正志

キーワード: 凍結融解耐久性, 化学的安定性, 粘板岩骨材, 分離破砕

要 旨

川辺川ダムコンクリート用骨材の原石山候補地から採取された骨材について、各種試験を行い、その結果、同骨材には化学的に不安定な鉱物が含まれていないこと、物理的性質では、砂岩骨材は特に問題がないこと、粘板岩は新鮮なものと風化したものがあり、新鮮なものは特に問題はないが、風化したものについては混入率を少なくなるように工夫すべきことおよび粘板岩と砂岩との分離にインパクトクラッシャーによる破砕が有効であることが明らかになった。



郵便はがき

切手をは
て下さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

コンクリート研究室

御中

No. _____

No. _____

土研資料1814号

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1814号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印