

コンクリートの凍害対策に関する研究

— AE材, W/C ならびに骨材の品質がコンクリートの凍結融解に対する抵抗性に及ぼす影響 —

構造研究室 総理府技官 林 正道
" " 若 林 昌
" " 本 間 清
技術補助員 今 井 益 隆

1. 緒 言

従来、コンクリートはきわめて耐久的な構造用材料と考えられていたので、耐久性についてはあまり考慮されず、主としてその構造物の強度計算に用いられた強度が得られるように、コンクリート材料を選定し配合を決定していた。しかし、コンクリートの歴史が古くなるにつれて、耐久性に疑問と関心もたれるようになり、最近ではこの方面の研究が、種々行われるようになってきた。そして現在では所要の強度と、耐久性を基礎に配合を決定するのが常識となつている。北海道のような気象作用の激しい地方においては、特にその耐久性について考えなければならないのは当然である。

コンクリートの耐久性を支配する因子としては、風・雨・雪・寒・暑などの気象作用（特に凍結融解・乾燥湿潤の反覆作用）、水の滲透作用、海水・酸アルカリなどの化学作用、車輪・流水・流氷・波浪などによるスリヘリ作用、または侵食作用、流水によるキャピテーション作用、高温による火熱作用などがある。これら多くの因子のうち、北海道のような寒冷地では凍結融解の反覆作用が、一般に最も大きな影響を与えている。

コンクリートの凍害という言葉は広範な意味を持つており、寒中コンクリートの施工において、十分硬化しないうちに凍結によつて受ける害をさすこともあるが、上記の硬化後の凍結融解の反覆作用によつて、受ける害をさすこともある。本文では、後者の場合の対策についての研究を述べようとするものである。

コンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、その水セメント比・単位水量・使用材料の品質などに大きく支配されることは、従来の多くの研究が示している。ASTMにおいては、1952年に急速凍結融解試験方法を暫定的に定めたが、以来、我が国においてもこの方法による凍結融解試験が、この2、3年行なわれ始めた。土木試験所においては、昭和30年3月この急速凍結融解試験を行ない得る装置を設置し、それ以来着々とその威力を発揮し、すでにこの装置による結果を2、3報告している¹⁾。今回、この装置と道産の材料を使用し、水セメント比・単位水量・骨材の品質がコンクリートの耐久性に及ぼす影響を実験的に研究したので報告する。

2. AEコンクリートと普通コンクリートの凍結融解に対する抵抗性に及ぼす水セメント比の影響

コンクリートの耐久性を著しく改良するものとして注目されているAEコンクリートと、従来の普通コンクリートについて、凍結融解に対する抵抗性に及ぼす W/C の影響を実験的に研究したものである。

(1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメントでJIS R 5201による。試験結果は表—1の通りである。

砂は白老海岸産のもので試験結果は表—2、粒度は図—1の通りである。

砂利は沙流川富川付近産のもので試験結果は表—3の通りである。

表-1 セメント試験結果

比重	粉末度	凝 結		フ ロ ー 値	安定度	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)		
	標準網フル イ88 μ 残分 (%)	始 発 (時一分)	終 結 (時一分)			3 日	7 日	28日	3 日	7 日	28日
3.09	1.0	2-56	6-53	207	良	26.9	42.5	60.3	98	163	293

表-2 砂 の 試 験 結 果

比 重	吸 水 量 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	洗い試験で 失われる量 (%)	有機不純物試験	粗 粒 率
2.73	1.04	1,830	0.50	合 格	2.77

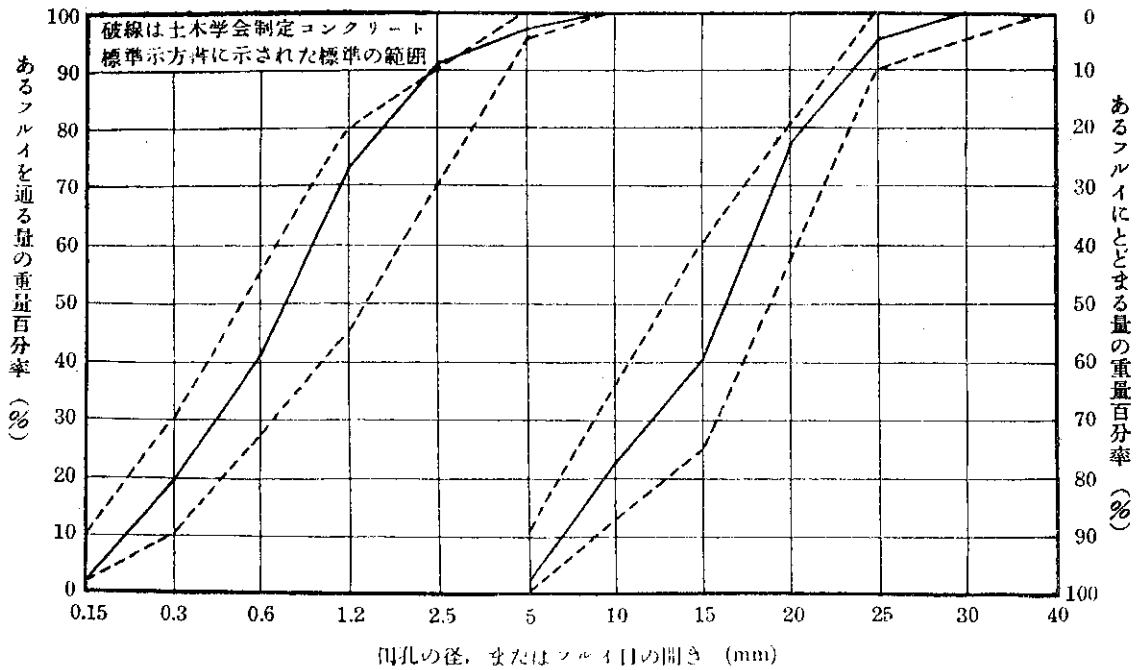


図-1

表-3

比 重	吸 水 量 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	洗い試験で 失われる量 (%)	粗 粒 率
2.72	1.83	1,808	0.32	6.99

粒度は、5~15 mm, 15~25 mm の群にあらかじめふるい分けてあるものを、重量で4:6の割合でべつべつに計量使用したので、図-1に示す通りとなった。

AE材は米国 Hercules Powder Co. 製の Vinsol Resin を20%の中和水溶液として使用した。

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合は普通コンクリート, AEコンクリートともに水セメント比40%, 50%, 60%, 70%の

4種とし、スランプは8cmとした。

コンクリートの練り混ぜは手練りとし、十分練り混ぜた。AEコンクリートの空気量は練り混ぜ直後ワシントン型エアメーターを用いて測定した。コンクリートの配合は表—4の通りである。

表—4 コンクリート配合表

水セメント重量比 (W/C)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	単位セメント量 (kg)	単位水量 W (kg)			空気量 (%)	粗細骨材重量比 (G/S)	表面乾燥飽和状態の単位骨材重量 (kg)			
				ビンプール溶液の量 (kg)	練り混ぜに用いる水量 (kg)	計 (kg)			全量	細骨材	粗骨材	
											25~15 (mm)	15~5 (mm)
40	25	8.5	320	0.38	128	128.4	5.5	2.20	1,955	611	538	806
50	25	8	250	0.23	125	125.2	5.3	1.90	2,028	746	531	797
60	25	8	225	0.13	135	135.1	5.3	1.50	2,023	809	485	728
70	25	8	195	0.09	136	136.1	5.3	1.30	2,042	888	462	692
40	25	8	390	0	156	156	0	2.00	1,962	654	523	785
50	25	8	316	0	158	158	0	1.70	2,022	749	509	764
60	25	8	270	0	162	162	0	1.45	2,048	836	485	727
70	25	8	240	0	168	168	0	1.20	2,061	937	450	674

(3) 凍結融解試験

凍結融解試験に用いたコンクリート供試体は、10×10×42cmのハリ型で、鋼製型枠を用いて製作したもので、最初型枠にコンクリートを詰めて直ちに20°Cの湿気養生室へ運搬し湿布でおおい、翌日脱型して水中(20°C)に入れ養生した。凍結融解試験は、材令14日に達した供試体について行なつた。凍結融解試験方法は、ASTM Designation: C 290²⁾に準じ、供試体の周囲には厚さ約3mmの水または氷を保ち、1日約10回凍結融解を行ない合計300回実施した。供試体中心部の温度は凍結時-18±1.5°C、融解時+4.5±1.5°Cとした。凍結融解約30回ごとに供試体重量・動弾性係数を測定し、更に供試体表面のスケーリングの模様を写真に記録した。なお、供試体は2個1組とした。

凍結融解試験装置および試験方法の詳細は土木試験所月報第23号(昭和30年6月発行)、技術資料第11号(土木学会北海道支部昭和30年12月発行)に説明してあるので省略する。

(4) 試験結果とその考察

凍結融解の進行にともなう動弾性係数・重量の変化は、図—2に示す通りで、各測定値は供試体2個の平均である。また、供試体表面のスケーリングの状態は写真—1に示す通りである。

図—2に示すように、AEコンクリート・普通コンクリートのいずれにおいても動弾性係数は、水セメント比が小さいものほど減少率も少なく、重量においても同じことがいえる。

AEコンクリートと普通コンクリートの動弾性係数百分率を比較してみると、凍結融解の初期にすでにその差が著しく、普通コンクリートのW/C=70%、60%のものは凍結融解50回で動弾性係数は60%以下に減少し、W/C=50%のものは凍結融解200回で60%に減少している。これに対し、AEコンクリートは、W/C=70%のもので90回を要し、W/C=60%のものは300回に至つてもなお、60%には減少していない。表—4から分るようにAEコンクリートと普通コンクリートのW/Cが同一でも単位セメント量は、AEコンクリートの方が約20%も少ないので、コンクリートの単価が同一となるW/Cについて比較すれば、更にこの差は大きくなるものと思われ、AEコンクリートがいかに有利であるかが分る。

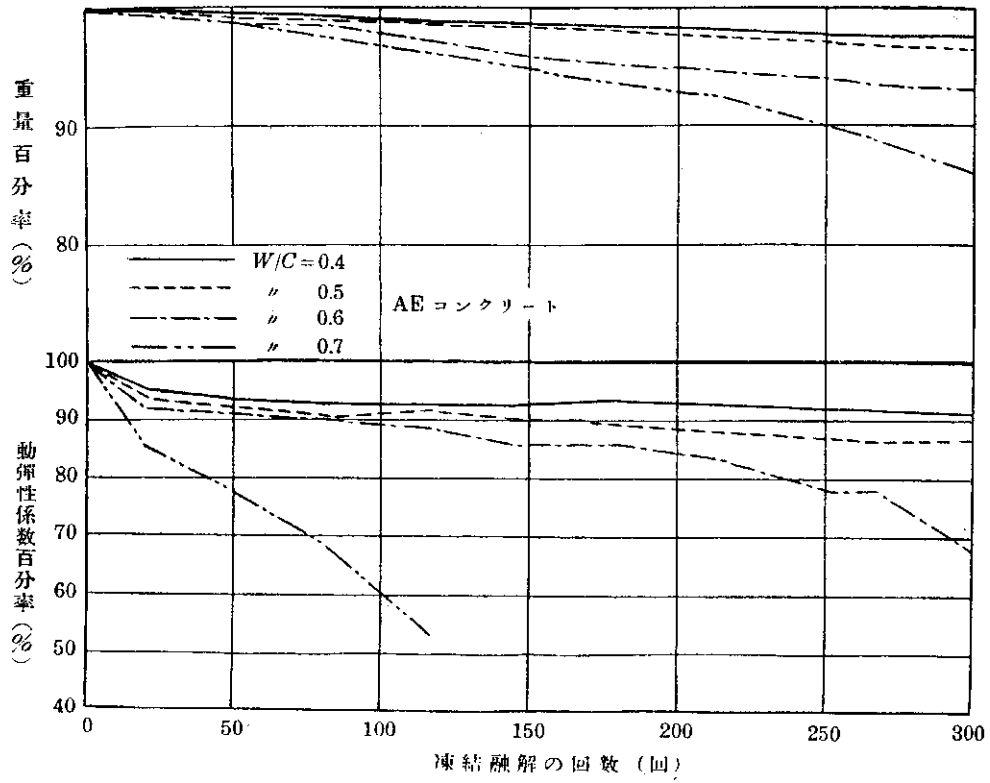


図-2・a

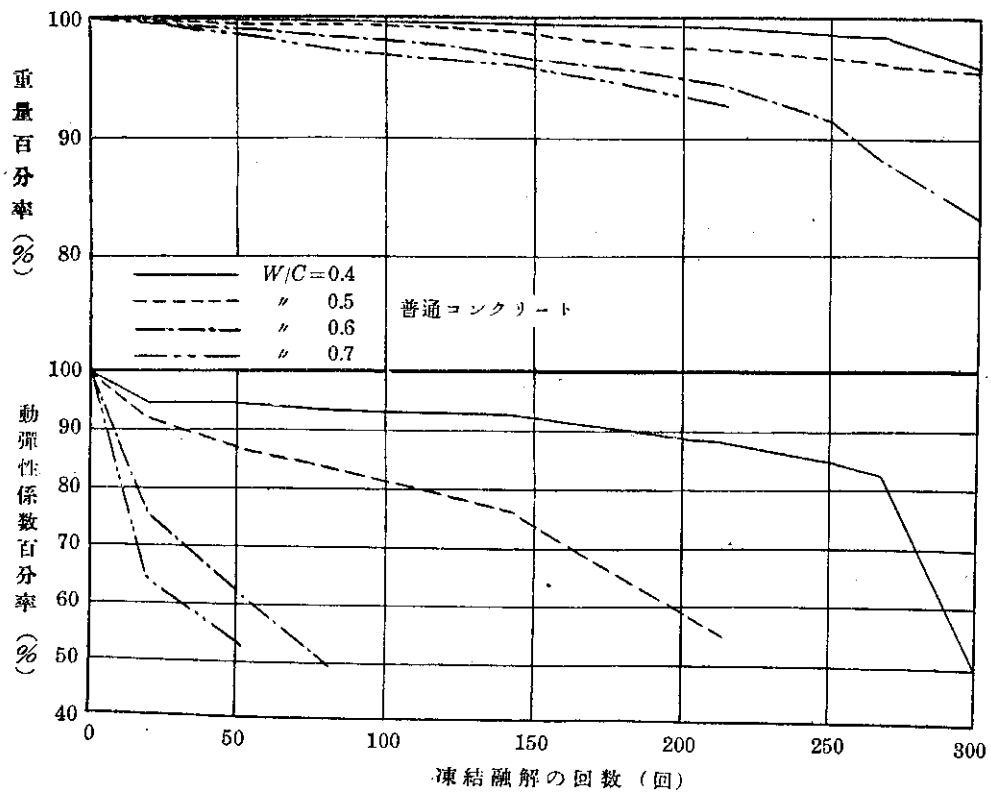
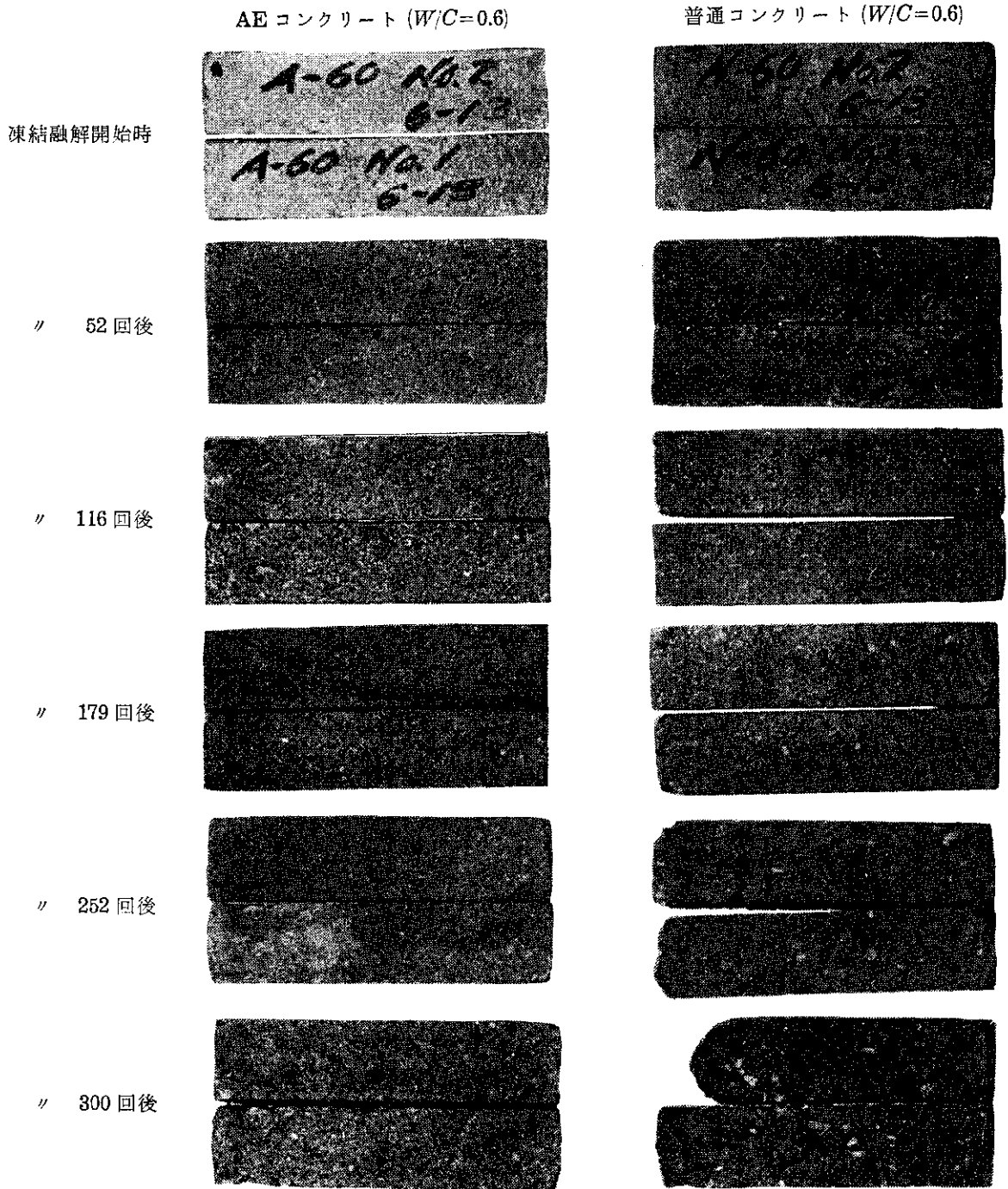


図-2・b

写真-1



ASTM Designation : C290 に準じて、次式から耐久性指数 DF (Durability Factor) を求めると、表-5 の通りである。

$$DF = \frac{PN}{M}$$

- P* : 凍結融解 0 サイクルの時の動弾性係数に対する *N* サイクルの時の動弾性係数の百分率
N : *P* の値が試験を中止するよう指示された最小値に達した時の凍結融解回数か、または最小値に達しない時は凍結融解をやめるよう指示された回数
M : 凍結融解をやめるよう指示された回数

なお、凍結融解の進行にともなう供試体表面のスケーリングを観察すると、凍結融解の初期においては、供試体製作時上面が下面よりも早期にスケーリングが進行している。これは、供試体製作時、浮き水その他の影響により上面の方が下面よりも W/C が幾分大きくなるためと思われる。一例として供試体製作時側面の外観を写真-2に示す。

表-5 耐久性指数

W/C (%)	40	50	60	70
AE コンクリート	91	87	68	20
普通コンクリート	58	40	11	6

写真-2



3. 単位セメント量一定の普通コンクリートの凍結融解に対する抵抗性及び単位水量の影響

所要の強度と耐久性を基準として設計、施工する場合は別として、小さな現場で今日なお往々に見られる方法、すなわち、定められた単位セメント量だけを厳守し、水量に関心を払わないで施工する方法においては、水量のいかんによつて当然 W/C はある範囲に変動し、強度も耐久性も必然的に変動するものと考えられる。ここでは、このような望ましくはないが現在なお行なわれている小現場のために、あえて、一実験結果を報告し参考に供したいと思う。

すなわち、単位セメント量が一定の場合、コンシステンシーの変化、したがって水量の変化が強度および耐

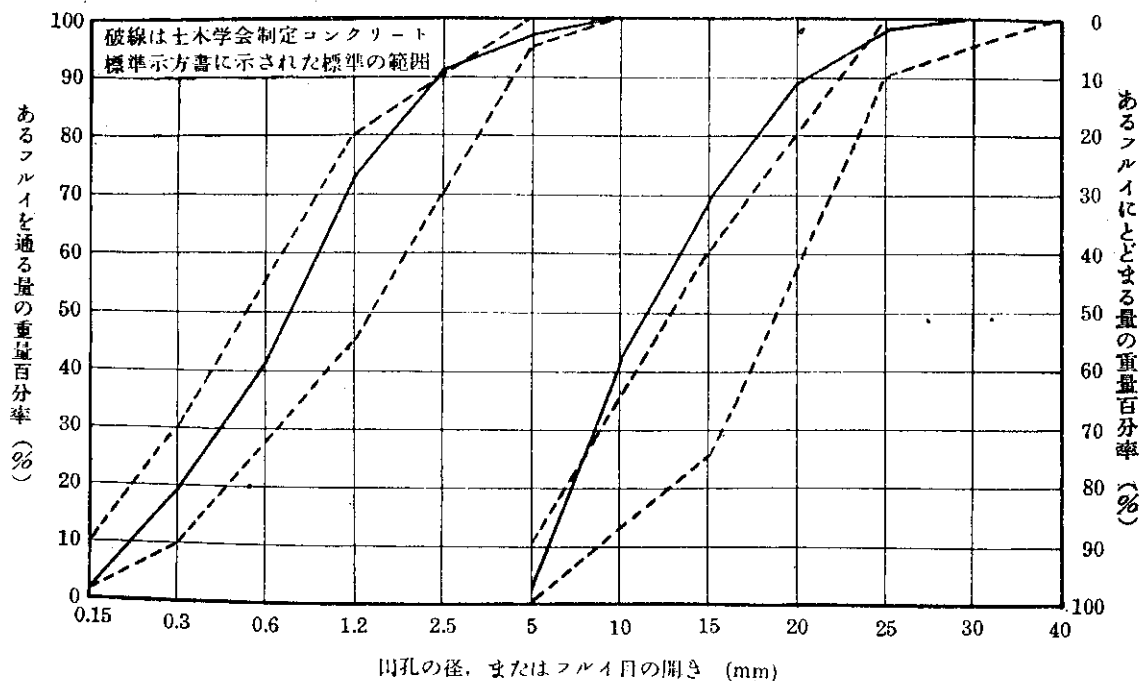


図-3

久性に及ぼす影響を、早強ポルトランドセメント使用の無
空気コンクリートについて実験した結果である。

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

セメントは早強ポルトランドセメントで比重3.15で
ある。

砂は白老海岸産、砂利は沙流川富川付近産のもので、試験結果は表—2, 6, 粒度は図—3の通りである。
コンクリートの配合は、最も広く使用されているものを選んだ。すなわち、単位セメント量は320 kgとし、
スランブを5~20 cmの間に变化させるため単位水量は155 kg, 175 kg, 185 kgの3種とした。これらの配合を
表示すれば表—7の通りである。なお、練り混ぜは手練りとし、十分練り混ぜた。

表—6 砂利の試験結果

比 重	吸 水 量 (%)	粗 粒 率
2.71	1.83	6.67

表—7 コンクリートの配合

配合	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラ ンブ (cm)	水セメント重 量 比 W/C (%)	単位セメ ント量 (kg)	単 位 水 量 (kg)	粗細骨材 重 量 比 (G/S)	表面乾燥飽和状態の 単位骨材重量 (kg)		
							全 量	砂	砂 利
A	25	5	48.5	320	155	1.6	2,021	777	1,244
B	25	16	54.7	320	175	1.6	1,966	756	1,210
C	25	20	57.8	320	185	1.6	1,939	746	1,193

(2) 試験方法

凍結融解試験は、2の(3)に述べた方法によつた。ただし、凍結融解は材令14日と164日とから開始し、前者
は235回、後者は300回行なつた。いずれも供試体は3個をもつて1組とした。

凍結融解試験開始時のコンクリートの強度を知るため、材令14日と164日でそれぞれ3個のφ15×30 cm
供試体により圧縮強度試験を行なつた。また、凍結融解試験終了時には凍結融解試験を行なつた供試体について、
参考までに曲げ強度試験と圧縮強度試験を行つた。曲げ強度試験は支間30 cmの3等分点荷重により行ない、圧
縮強度試験は、その両折片によりJIS A 1114 (ハリの折片によるコンクリートの圧縮強さ試験方法) に準拠し
て行なつた。

表—8

配 合	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)	
	材令 14 日	材令 164 日
A	370	436
B	—	398
C	239	—

(3) 試験結果とその考察

材令14日と材令164日における圧縮強度試験の結果
は表—8、凍結融解の回数と供試体重量、動弾性係数百分
率との関係は図—4, 5の通りである。また、凍結融解試
験を行なつた供試体の試験終了時の曲げ強度試験とその折
片による圧縮強度試験の結果は表—9の通りである。

表—9 凍結融解終了時の強度試験結果

配 合	材令 14 日から凍結融解開始 235 回終了時		材令 164 日から凍結融解開始 300 回終了時	
	曲 げ 強 度 (kg/cm ²)	圧 縮 強 度 ¹⁾ (kg/cm ²)	曲 げ 強 度 (kg/cm ²)	圧 縮 強 度 ¹⁾ (kg/cm ²)
A	7.9	137 (116)	21.2	194 (165)
B	—	—	6.6	95 (81)
C	2.5	74 (63)	—	—

1) 括弧内の数値は Gonnerman の実験結果を引用し、供試体を10 cm立方と仮定し0.85を乗じて
φ15×30 cm 供試体強度に換算した値である

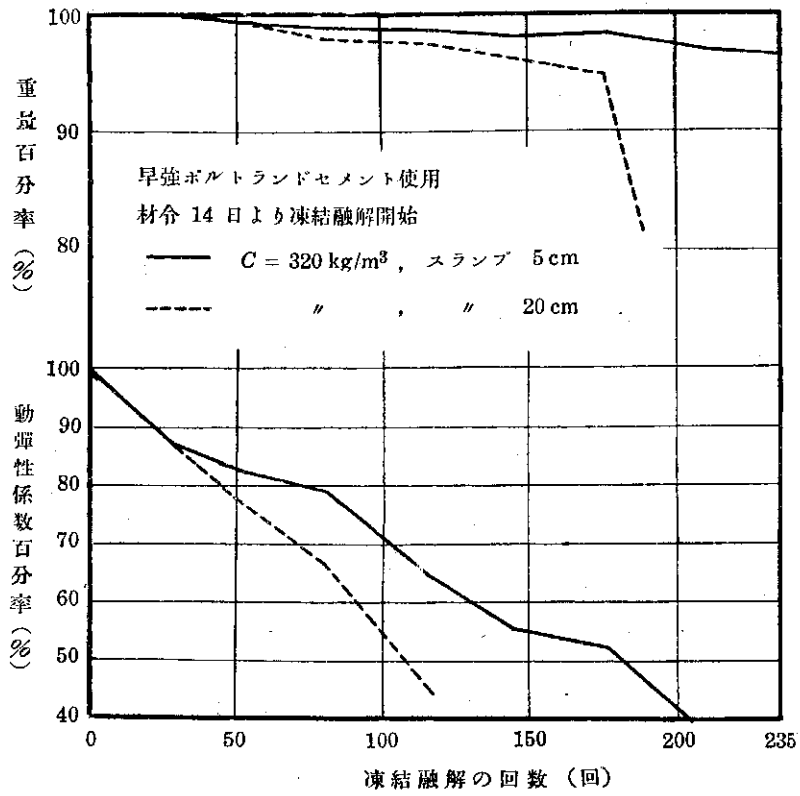


図-4

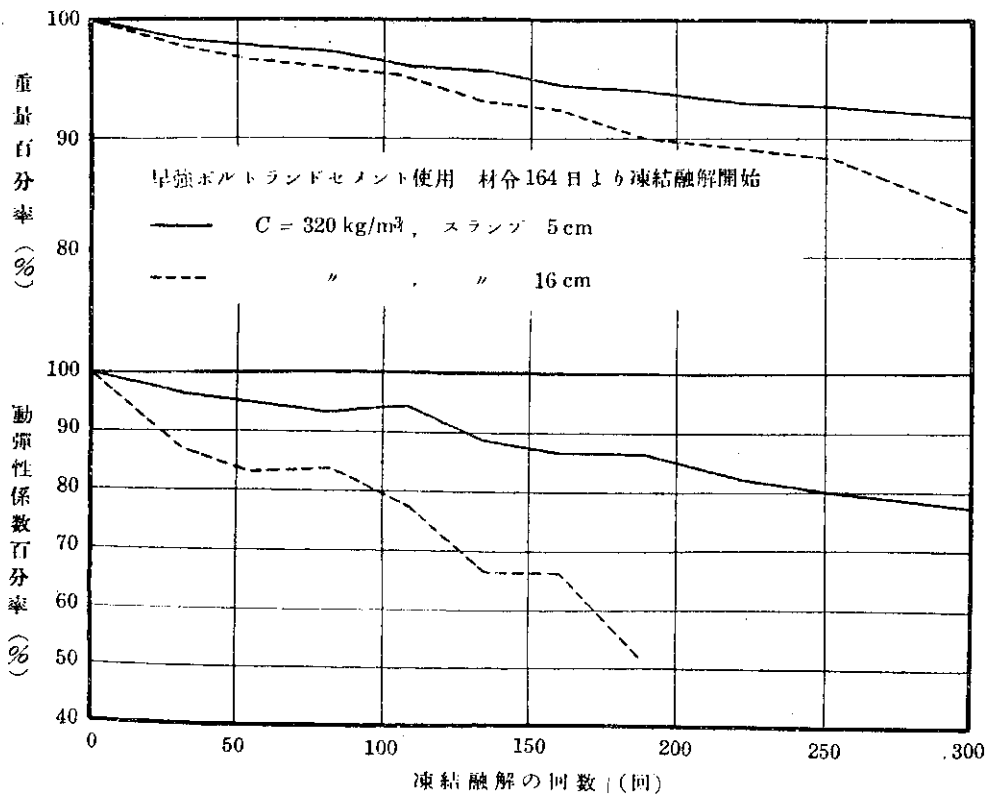


図-5

表-7によれば、スランプ5 cmのコンクリートのW/Cは、48.5%であるのに対し水量を増してスランプ16, 20 cmなどの軟練りとすればW/Cはそれぞれ54.7%, 57.9%のように増大しその圧縮強度は表-7のように減少する。

凍結融解試験の結果では図-4, 5から分るように重量百分率においても、動弾性係数百分率においてもW/Cの差異が大きくあらわれている。すなわち、図-4によればスランプ20 cmのコンクリートは凍結融解約95回で動弾性係数は60%に減少しているのに対し、スランプ5 cmのものは凍結融解130回で60%に減少している。また、図-5によればスランプ16 cmのコンクリートは凍結融解172回で動弾性係数が60%に減少しているのに対し、スランプ5 cmのものは凍結融解を300回行なつてもなお60%に減少せず約78%となつている。ASTM Designation: C 290に従つて、DFを求めてみると材令14日から凍結融解を開始した場合の配合A, Cについてはそれぞれ26, 18となり、材令164日から開始した場合の配合A, Bについてはそれぞれ78, 34となる。供試体重量の減少率においても同じように大きな差異を示している。

ASTM Designation: C 290によれば動弾性係数が50%に低下した後、試験を続行することは意味がないとされているが、本実験においては動弾性係数が50%に減少した後も更に試験を続行し、重量の減少を測定した。その結果、材令14日に凍結融解を開始したスランプ20 cmのコンクリートは、凍結融解210回で1個破壊し、1個は供試体長の1/4点で折損した。

また、参考までに、凍結融解試験開始時の強度と終了時の強度の比を耐久比と仮称し、それを求めてみると、それぞれ0.31, 0.22, 0.38, 0.20となり、この点においても大きな差異が認められる。

4. 骨材の品質がコンクリートの凍結融解に対する抵抗性に及ぼす影響

(1) 白老海岸産と空知川産の砂の比較ならびに沙流川産と空知川産の砂利の比較試験

天然骨材として白老海岸産と空知川産の砂および沙流川産と空知川産の砂利を使用したコンクリートの凍結融解試験を行なつた。これら各骨材の品質は表-10, 11の通りであり、各2種の砂・砂利はできるだけ同じ粒度となるようにした。すなわち、砂は図-6に示すような粒度とし、砂利は最大寸法20 mmで、20~10 mm, 10

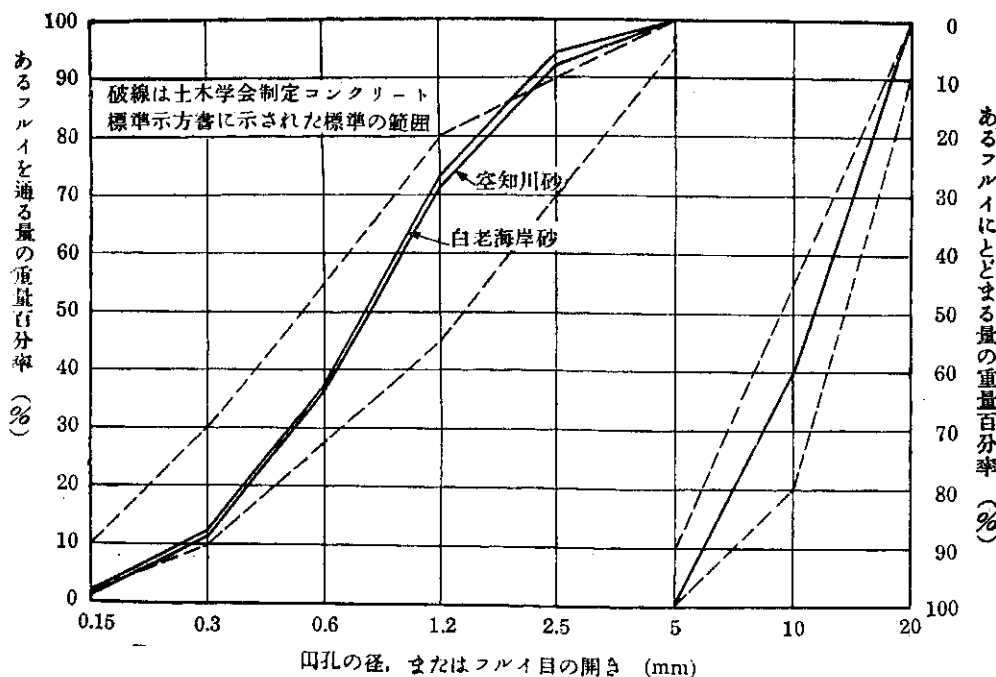


図-6

表—10 砂の試験結果

産地	比重	吸水量 (%)	硫酸ナトリウムによる耐久性試験を5回繰返した場合の損失量 (%)	有機不純物試験	粗粒率
空知川	2.68	2.96	1.28	合格	2.89
白老	2.76	0.83	1.12	合格	2.82

表—11 砂利の試験結果

産地	比重	吸水量 (%)	硫酸ナトリウムによる耐久性試験を5回繰返した場合の損失量 (%)			最大寸法 (mm)	粗粒率
			20~10 (mm)	10~5 (mm)	混合		
空知川	2.69	1.67	5.93	0.33	3.36	20	6.6
沙流川	2.72	1.87	11.7	12.5	12.12	20	6.6

表—12 セメントの試験結果

比重	粉末度		凝結					安定度	フロー値	曲げ強さ (kg/cm ²)				圧縮強さ (kg/cm ²)			
	標準網フルイ88μ残分 (網フルイ法) (%)	比表面積 (ブレーン法) (cm ² /g)	始発 (時-分)	終結 (時-分)	水量 (%)	温度 (°C)	湿度 (%)			3日	7日	28日	91日	3日	7日	28日	91日
3.15	2.9	2,940	2-29	4-23	25.9	20.2	95	良	203	27.6	44.7	70.2	73.7	114	208	397	494

表—13 コンクリートの示方配合

コンクリートの種類	砂の産地	砂利の産地	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント量 W/C (%)	単位セメント量 C (kg)	単位水量 W (kg)			空気量 (%)	粗細骨材重量比 (G/S)	絶対細骨材率 (S/A)	表面乾燥飽和状態の単位骨材重量 (kg)			
							全量	練り混ぜに用いる水	AE材溶液				全量	砂	20~10 (mm)	10~5 (mm)
①	白老海岸	空知川	20	6	45	330	148.7	148.5	.2145	5.0	1.3	0.428	1,895	824	643	428
②	空知川	空知川	20	6	45	360	153.2	153.0	.2340	5.0	1.3	0.436	1,850	804	628	418
③	白老海岸	沙流川	20	6	45	327	147.3	147.1	.2126	5.0	1.3	0.431	1,913	832	649	432

~5 mm の 2 群にあらかじめふるい分けておき、使用に当りこれらを重量で 6 : 4 の割合でべつべつに計量した。すなわち、砂利は 図—6 に示すような粒度とした。

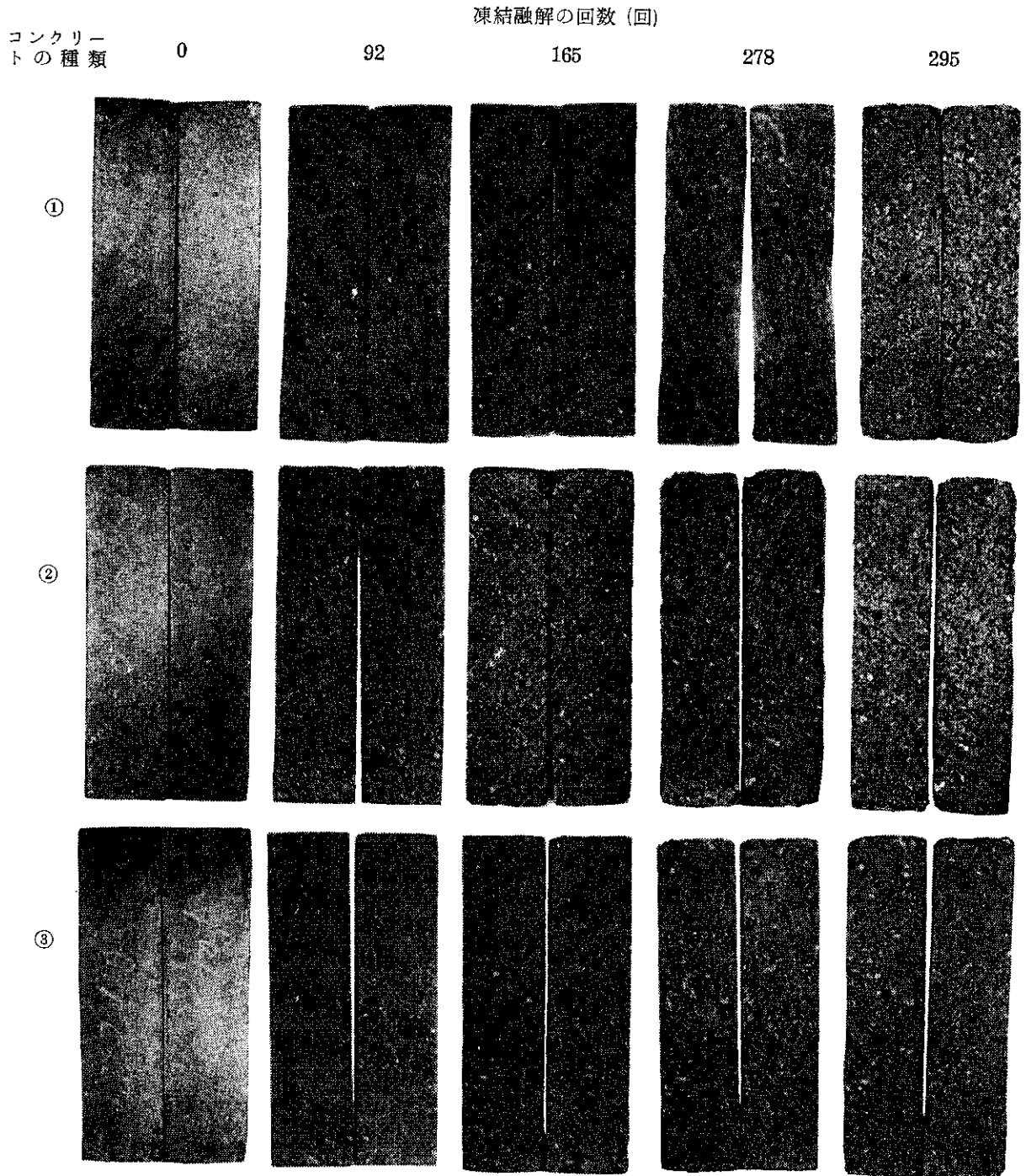
使用したセメントは普通ポルトランドセメントで、その試験成績は表—12 の通りである。

砂、砂利各 2 種の組合せによる 3 種のコンクリートの配合は、表—13 の通りである。すなわち、① 白老砂と空知川砂利、② 空知川砂と空知川砂利、③ 白老砂と沙流川砂利で、いずれも AE コンクリート (Vinsol Resin 使用) とした。練り混ぜは可傾式容量 4 切のミキサーで行なつた。3 種のコンクリートにおいて単位セメント量・単位水量に多少の差の生じたのは、骨材の粒度が同一でも骨材粒の形状、表面の平滑度、比重などが異なるため、同一コンシステンシーのコンクリートを得るに要する水量に差が生じたのではないと思われる。

凍結融解試験は 2 の (3) に述べた方法によつた。ただし、凍結融解は材令 42 日から開始し 295 回行なつた。供試体は 2 個をもつて 1 組とした。

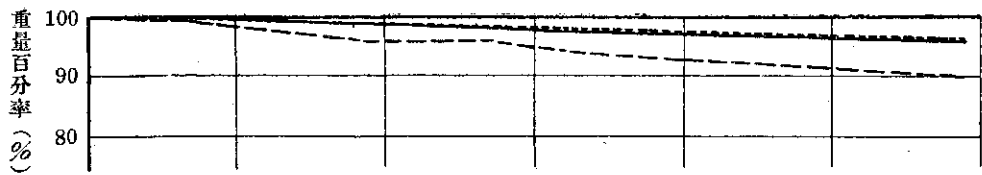
凍結融解の進行にともなう供試体重量・動弾性係数の変化は 図—7 の通りであり、表面のスケーリングの進行状況の一例を示せば写真—3 の通りである。

写真—3



ASTM Designation : C 290 に従つて耐久性指数 DF を求め更に凍結融解試験終了時と開始時の強度ならびに、その比を耐久比と仮称してこれを求めれば表—14 の通りである。

図—7 および表—14 から分るように、使用した骨材により凍結融解に対する抵抗性は異なつている。すなわち①②は同じ砂利を使用しているので、砂のみの比較ができるものとすれば、空知川産砂を使用したコンクリートは白老海岸産砂を使用したコンクリートに比して DF 21%、耐久比曲げ 47%、圧縮 43%、それぞれ減少している。①③は同じ砂を使用しているので砂利のみの比較ができるものとすれば空知川産砂利を使用したコン



[註] 実線は白老砂 空知川砂利コンクリート
 破線は空知川砂 空知川砂利 "
 点線は白老砂 沙流川砂利 "

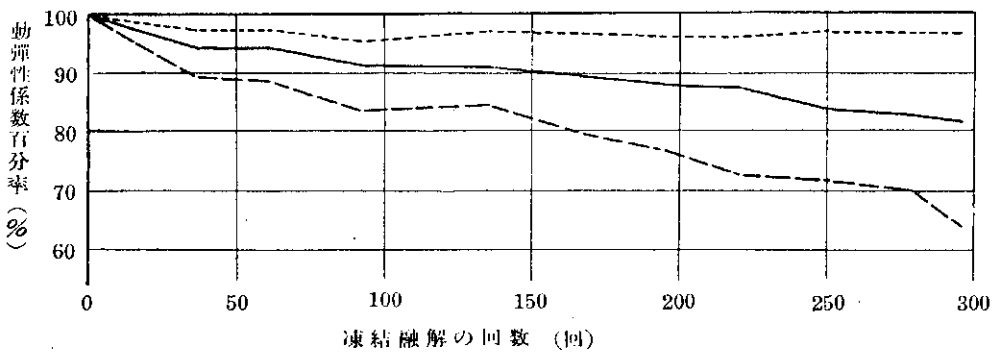


図-7

表-14 コンクリートの試験結果

コンクリートの種類	砂の産地	砂利の産地	42日強さ (kg/cm ²)			295回終了後強さ (kg/cm ²)		耐久性 ²⁾ 指数	耐久比	
			圧縮 (φ10×20cm)	曲げ ¹⁾	圧縮 ¹⁾	曲げ ¹⁾	圧縮 ¹⁾		曲げ	圧縮
①	白老海岸	空知川	398	56.3	468	21.2	196	82.0	0.38	0.42
②	空知川	空知川	367	51.5	380	10.2	91	65.0	0.20	0.24
③	白老海岸	沙流川	421	61.2	470	47.2	289	96.5	0.77	0.61

註 1) 10×10×42 cm 供試体について、スパン 30 cm の 3 等分点荷重により曲げ強度試験を行ない、その両折片について圧縮強度試験を行なったもの (試験は JIS A 1106 コンクリートの曲げ強さ試験方法, JIS A 1114 ハリの折片によるコンクリートの圧縮強さ試験方法に準拠した)
 2) ASTM Designation: C 290 に準じて求めたもの

クリートは、沙流川産砂利を使用したコンクリートに比して DF 15%、耐久比曲げ 51%、圧縮 31%、それぞれ減少している。ただし、これらの結果は表-13 から分るように、単に、砂・砂利の質のみでなく、単位水量の僅少の差異による影響も含まれているものである。

(2) 3種の碎石の比較

異なつた品質の原石を破碎して製造した碎石 3 種についてコンクリートとしての凍結融解試験を行ない、凍結融解に対する抵抗性を比較検討してみた。3 種の碎石の品質は表-15 の通りである。

表-15

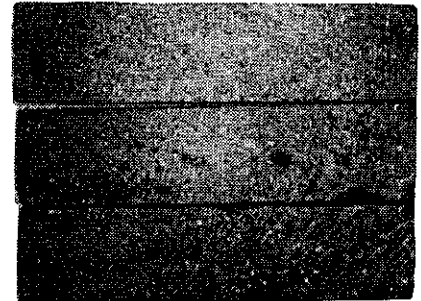
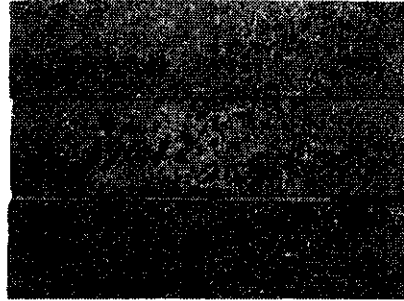
	岩種	比重	吸水量 (%)
碎石 A	砂質頁岩	2.57	2.42
" B	細粒砂岩	2.52	4.56
" C	燧石状頁岩	2.45	4.07

写真—4

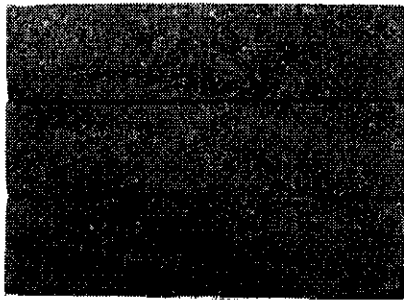
凍結融解 144回後

凍結融解 266回後

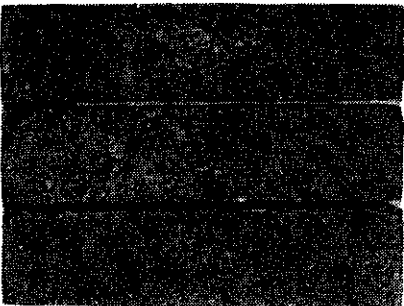
碎石 A



” B



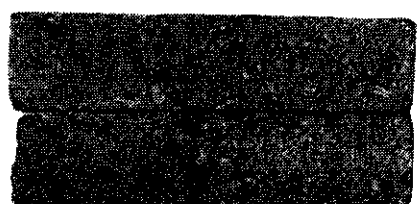
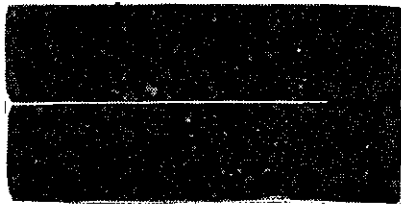
” C



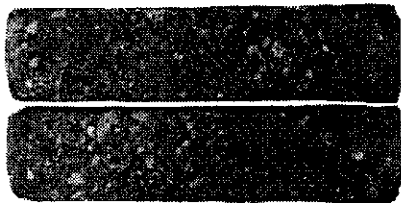
凍結融解 384回後

凍結融解 500回後

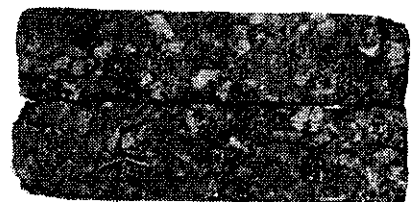
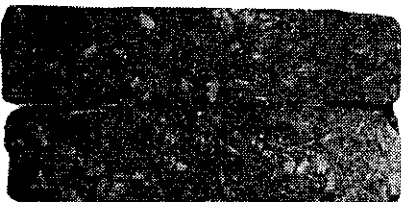
碎石 A

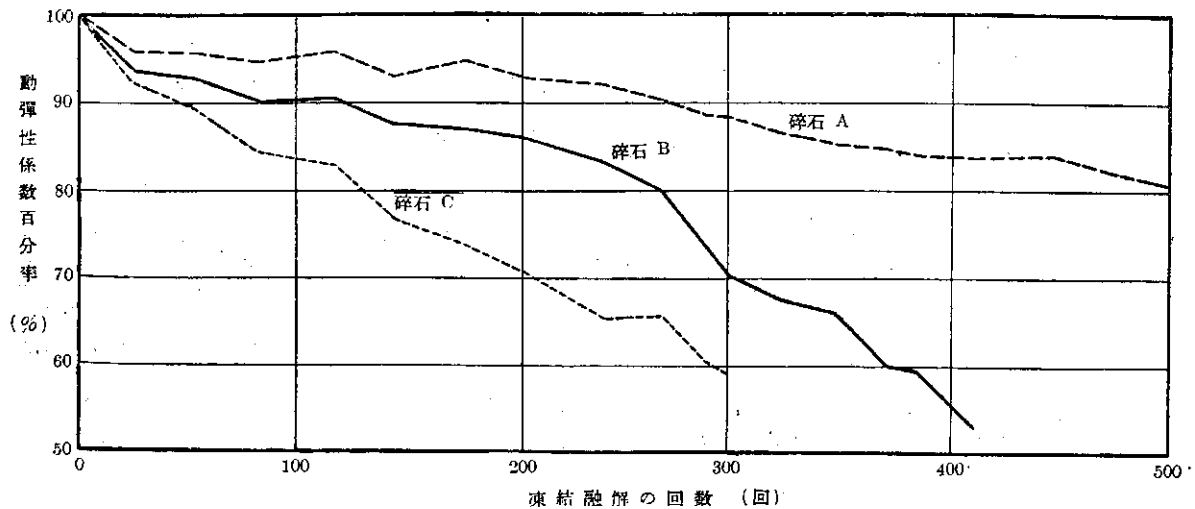


” B



” C





図—8

使用セメントは普通ポルトランドセメントで、砂は錦岡海岸産である。コンクリートの配合は粗骨材の最大寸法 150 mm, $W/C=54\%$, スランプ 4 cm の AE コンクリート (Vinsol Resin 使用) で機械練りとし、これを 30 mm フルイで湿式フルイ分けを行なったものである。湿式フルイ分け後の空気量は 4% とした。なお、碎石の粒度は土木学会制定重力ダムコンクリート標準示方書に示された標準の範囲の中間で 3 種とも同一とした。

凍結融解試験は 2 の (3) に述べた方法により、材令 14 日から開始した。凍結融解の回数と動弾性係数百分率との関係は 図—8 の通りである。また、供試体の外観は 写真—4 の通りである。

図—8、写真—4 によれば碎石の品質によりその耐久性に大きな差異が認められる。ASTM の規定に従って耐久性指数を求めてみると碎石 A 88, 碎石 B 70, 碎石 C 58 となる。また、前記 PN/M において $M=300$ の代りに $M=500$ として求めてみると碎石 A 81, 碎石 B 44, 碎石 C 35 となる。

5. む す び

コンクリートの耐久性と最大水セメント比についての ACI の 1954 年の標準³⁾ によれば表—16 の通りであり、1944 年の標準⁴⁾、米国聯合委員会の報告⁵⁾、あるいは土木学会の標準⁶⁾ に比較してかなり良質のコンクリートを要求している。

前記 2, 3 の実験結果からも W/C によつて、コンクリートの凍結融解に対する抵抗性が非常に異なり、また、AE コンクリートがきわめて優秀であることが分る。

次に前記 4 の実験結果からは骨材の品質も凍結融解に対する抵抗性に大きな影響を与え、比較的比重が大で吸水量の小さいものが良好な成績を示しているようであるが、この骨材の比重・吸水量、あるいは硫酸ナトリウムによる耐久性試験の損失量と凍結融解に対する抵抗性との関係については、更に研究をつづけなければ結論は出せないものと思う。

以上のことから北海道のような気象作用の激しい地方——特に水と接触したり、外気にさらされる構造物——ではできるだけ W/C の小さな (少なくとも土木学会制定コンクリート標準示方書に示された耐久性から定まる最大水セメント比以下) AE コンクリートを使用し、かつ、良質の骨材を選定使用することが凍害対策上緊要なことと思われる。

表-16 耐久性と最大水セメント比 (ACI 標準, 1954 年)

構造物の種類	露出状態*					
	温度変化の大きい場合、凍結融解がしばしば繰り返される場合 (AE コンクリートのみ)			温和な気候でめつたに凍結しない場合、雨量の多い場合、または乾燥地の場合		
	空气中	水際線か、水面の変動する範囲内、または噴霧を受けるコンクリート		空气中	水際線か、水面の変動する範囲内、または噴霧を受けるコンクリート	
		淡水中	海水中または硫酸塩と接触する場合†		淡水中	海水中または硫酸塩と接触する場合†
薄い断面：高欄・縁石・敷居・戸当り・装飾コンクリート・鉄筋コンクリート杭・管、その他鉄筋のかぶり高が 2.5 cm より小さいすべての断面	0.49	0.44	0.40‡	0.53	0.49	0.40‡
普通の断面：擁壁・橋台・橋脚・桁・梁	0.53	0.49	0.44‡	§	0.53	0.44‡
大きな断面の外部	0.58	0.49	0.44‡	§	0.53	0.44‡
トレミーにより打つ水中コンクリート	—	0.44	0.44	—	0.44	0.44
地面上に打つコンクリート版	0.53	—	—	§	—	—
気象作用を受けないコンクリート、たとえば建物の内部、地下のコンクリート	§	—	—	§	—	—
後になつて囲いや埋戻しによつて保護されるが、この保護がなされる前に数年間凍結融解にさらされるコンクリート	0.53	—	—	§	—	—

* 苛酷な露出条件では AE コンクリートを使用すべきであり、温和な気候下でもウォーカービリティを改良するため使用してよい

† 0.2% 以上の硫酸塩を含む土壌と地下水

‡ 耐硫酸塩セメントを用いる時は水セメント比を 0.04 増加させてよい

§ 水セメント比は強度とウォーカービリティの要求を基礎に選定すべきである

参考文献

- 1) 桂沢堰堤建設事務所・構造研究室：試製富士高炉セメント使用コンクリートの耐久性試験成績について 土木試験所月報第 26 号 (北海道開発局土木試験所 昭和 30 年 8 月発行)
桂沢堰堤建設事務所・構造研究室：富士高炉セメントの凍結融解に対する抵抗性について 土木試験所月報第 36 号 (北海道開発局土木試験所 昭和 31 年 5 月発行)
若林 昌・他：高炉セメントの品質について 土木試験所月報第 38 号 (北海道開発局土木試験所 昭和 31 年 7 月発行)
- 2) ASTM Designation: C290-52 T Tentative Method of Test for Resistance of Concrete Specimens to Rapid Freezing and Thawing in Water
- 3) ACI Standard: Recommended Practice for selecting proportions for Concrete (ACI 613-54) Journal of ACI Sept. 1954
- 4) ACI Standard: Recommended Practice for the Design of Concrete Mixes (ACI 613-44) Journal of ACI June 1945
- 5) Report of the Joint Committee on Standard Specifications for Concrete and Reinforced Concrete 1940
- 6) 土木学会制定コンクリート標準示方書 (昭和 24 年)