

## 低品質骨材を用いたコンクリートの特徴

### Ⅲ コンクリートの耐凍結融解性

服部九二雄\*・柘植巳一\*

平成2年5月31日受付

## Properties of Concrete Made with Lower Qualitative Aggregates

### Ⅲ Resistance of Concrete to Freezing and Thawing

Kunio HATTORI\*, and Miichi TSUGE\*

We have studied on the use of "Masa-do" as a fine aggregate in concrete since 1981. The term "Masa-do" is applied to the residual soil derived from the weathered granite in Japan. From these studies, it was shown that "Masa-do" can be used for a fine aggregate of concrete.

In this paper, we will discuss an experimental study of the resistance of concrete made with "Masa-do" as a fine aggregate to freezing and thawing. After curing in water with 20°C for 14 or 28 days, the concrete were exposed to freezing and thawing in the laboratory. The type of exposure is rapid freezing in air and thawing in water. The test piece is a prism with 10 cm square and 40 cm long.

Weight, volume, density, dynamic modulus of elasticity, pulse velocity, bending strength and compressive strength were measured. These factors were compared with the each initial values at 14 or 28 days, and the resistance to freezing and thawing was evaluated.

From the experiments carried out for two years since 1988, the following results were obtained.

- ① Whenever the air content of concrete was increased to 4% or more by air entraining agent, the resistance to freezing and thawing was improved considerably.
- ② To evaluate the resistance of concrete to freezing and thawing, pulse velocity as well as dynamic modulus of elasticity are effectual methods.

---

\* 鳥取大学農学部農林総合科学科生産環境工学講座

\* Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

## 緒 言

コンクリートは、セメント、骨材、水、空気と混和材料から成る建設材料で、最も耐久性がありかつ任意の形状が作れる建設材料でもある。しかし、最近では、天然の良質の骨材不足から、海砂や砕石などの低品質骨材の使用量が多くなり、コンクリート中の鉄筋の発錆やアルカリ骨材反応などによって、コンクリート構造物の耐用年数が以前と比べてかなり短くなってきていることがしばしば報告されてきている。

このような天然で良質の河川産骨材の不足の原因は、戦後、工業化と生活改善などによる高まった電力需要と農業用水および都市用水の確保のため、河川上流部にダム群の建設の進行に伴う補給量の激減とともに、高度成長期の濫掘の結果である。

このような骨材資源を考え、筆者らは、昭和56年度より低品質骨材として、中国地方に多く見られるマサ土を選び、コンクリート用細骨材としての使用可能性を明らかにするため、継続して現在まで研究を続けてきており、得られた結果は逐次報告してきている<sup>6)7)</sup>。現在までに得られた結果をまとめると次のようになる<sup>3)</sup>。

- ① マサ土を細骨材として使用したコンクリートは、マサ土の粗粒率が3.3~3.6と大きく、粒形が角張っているため、単位水量・単位セメント量が、川砂・川砂利から成るコンクリートよりも多くなる。ただし、コンクリートそのものは後者のものよりもプラスチックなものとなる。
- ② AE剤の使用で単位水量・単位セメント量とも低減でき、かつそれに伴う強度低下も最大15%程度と余り大きくない。また、最適AE剤量は、セメント重量の0.03~0.06%である。
- ③ マサ土のような風化途上にある土粒子は、練混ぜによって『砕粒化』するため、練混ぜ（砕粒）後の粗粒率で配合設計するのが適切である。
- ④ プラスチックなフレッシュコンクリートの場合、ローリング法による空気量測定の際、サンプルの締め具合がよく、容器底部に付着してしまうことが多く、回転装置を用いても完全に水と掻混ぜることができない。鋼棒で強制的に攪拌して付着のないことを確認してから注水・測定することが望ましい。

このような結論から、マサ土がコンクリート用細骨材として十分使用できるという前提のもとに、次のステップとして、マサ土から成るコンクリートの耐久性に関する実験に着手した。本論文では、マサ土から成るコンク

リートの耐久性のうち、耐凍結融解性について検討した結果を述べる。

コンクリートが持つ性質のうち最も重要なものは耐久性である。耐久性とは、「凍結融解、寒暑、乾湿などが繰り返して作用する、いわゆる気象作用をはじめ、硫酸塩、酸類などの化学物質による侵食作用、車輛や流水、流砂などによるすりへり作用、中性化、鋼材の腐食、反応性骨材などの影響、その他コンクリートの使用上生ずる種々の作用に抵抗し、長年月にわたって使用に耐えうる性質」と定義されている<sup>4)</sup>。したがって、耐久性は、物理的な作用に対する抵抗性として、耐凍結融解性、耐摩耗性、耐熱性、耐火性、耐電食性、化学的な作用に対する抵抗性として、耐硫酸塩性、耐酸性、中性化抵抗性、耐海水性、骨材反応抵抗性などに分けられる。

## 使用材料・実験方法

### (1) 使用材料

骨材は、岡山市下足守七鼻付近で昭和61年に採取したマサ土E、鳥取県千代川産の川砂・川砂利を使用した。それらの物理的性質を第1表に示す。セメントは、比重3.16の普通ポルトランドセメント、混和剤は、山宗化学社製のヴィンソル70Sと80を使用した。第2表には、実験に使用した示方配合を示す。

供試体の作製は、容量50 lの強制練りミキサーに、セメントと骨材を入れて75秒間空練りし、次いで予め混和剤を混ぜた練混ぜ水を加えて150秒間練混ぜた後、ミキサーを回転させながら練板上に排出し、2往復手練り後、スランプとタッピング試験でワーカビリティを観察し、スランプが所定値であることを確認してから、ローリング法で空気量を測定し、同時に10×10×40cmの角柱形型枠へ1バッチ8本ずつ打込みを行った。練混ぜは、型枠数の関係から1日3種類の配合を各1バッチずつ3回連続して午前中に行った。つまり、1日合計24本の角柱形供試体を作製した。

24時間恒温恒湿室に置き、脱型後20±3℃の恒温水槽

第1表 使用骨材の物理的性質

骨 材	比 重	吸 水 率 (%)	有効吸水率 (%)	粗 粒 率
マサ土E	2.54	2.51	1.65	3.27
川 砂	2.59	2.67	1.64	2.75
川 砂 利	2.60	1.81	1.30	6.54*

\*人為的に粒度調整した値  
有効吸水率 = (表乾状態) - (室内気乾状態)

第2表 実験に使用した示方配合

実験名	西歴	配合名	M.S. (mm)	Slump (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
								水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤	空調剤
シリーズ1	1988	川砂ブレン	20	12±2	2.0	55	45.0	177	322	813	813	...	...
		マサ V70S	20	12±2	4.0	55	45.6	194	353	757	926	0.212	...
		マサ V80-3	20	12±2	6.0	55	43.6	185	336	719	952	1.008*	0.0806
		マサ V80-7	20	12±2	6.0	55	43.6	180	327	726	965	0.981*	0.0785
シリーズ2	1989	川砂ブレン	20	12±2	2±1	55	45.0	174	316	824	1009	...	...
		マサブレン	20	12±2	2±1	55	45.0	200	364	759	952	...	...
		マサ 4%	20	12±2	4±1	55	45.0	188	342	759	949	0.229	...
		マサ 6%	20	12±2	6±1	55	45.0	174	316	762	952	0.411	...
		マサ 8%	20	12±2	8±1	55	45.6	170	309	803	978	0.618	...

M.S. : 最大骨材寸法 空調剤 : 空気量調整剤 \* : 単位はリットル  
 川砂ブレン : AE剤を使用せず, 川砂と川砂利から成るコンクリート  
 マサ V70S : ヴィンソル70Sを使用し, 細骨材はマサ土  
 マサ V80-3 : ヴィンソル80を使用し, 細骨材はマサ土, 試練り測定空気量3%  
 マサ V80-7 : ヴィンソル80を使用し, 細骨材はマサ土, 試練り測定空気量7%  
 マサブレン : AE剤を使用せず, マサ土と川砂利から成るコンクリート  
 マサ 4% : ヴィンソル70Sを使用し, 細骨材はマサ土, 配合設計空気量4%  
 マサ 6% : ヴィンソル70Sを使用し, 細骨材はマサ土, 配合設計空気量6%  
 マサ 8% : ヴィンソル70Sを使用し, 細骨材はマサ土, 配合設計空気量8%

第3表 コンクリートの種類と凍結融解試験の開始・終了材令

(単位: 日)

実験名	西歴	番号	種	類	開始材令	終了材令
シリーズ1	1988	1	川砂,	マサ V80-3, マサ V80-7	28	51
		2	川砂,	マサ V70S, マサ V80-7	28	48
		3	川砂,	マサ V70S, マサ V80-7	14	34
シリーズ2	1989	1	川砂,	マサ 4%, マサ 6%,	14	40
		2	マサブレン,	マサ 4%, マサ 8%	14	37

終了材令(日)とは, シリーズ1では凍結融解を300サイクル繰返し後の材令, シリーズ2では凍結融解試験に供した各配合の供試体5本の動弾性係数比が60%以下になった材令を意味する。

内で所要期間(材令14日または28日まで)養生した。

## (2) 凍結融解試験方法及び測定項目

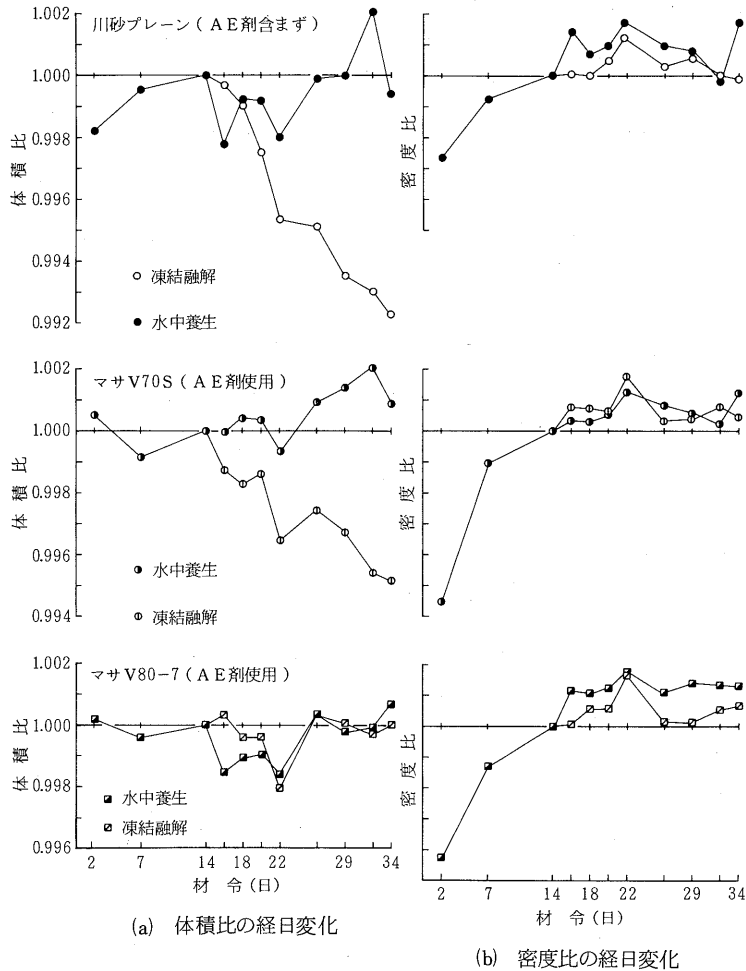
実験に使用した凍結融解試験機(株式会社マルイ製)は, 一度に24本の10×10×40cmの角柱形供試体を空中凍結, 水中融解できるものである。

所要材令または試験開始材令(材令14日または28日)に達した各配合のコンクリート供試体8本の内5本を凍結融解試験に供し, 残り3本を恒温水槽内で継続養生した。この凍結融解試験開始時に測定した重量, 体積, 密度, 動弾性係数, 超音波伝播速度を初期値として, 凍結融解を30~40回繰返し, その都度これらの因子を測定し, 全体で凍結融解繰返回数が300回または, 一つの配合5本の供試体の平均動弾性係数が初期値の60%以下に達す

るまで実験を行った。この実験手順は, ほぼJISの原案に従うものである<sup>2)</sup>。

このようにして1回の凍結融解試験が終了した後に, 各供試体の重量, 体積, 密度, 動弾性係数(タワミ共振法), 超音波伝播速度を測定し, さらに, 各供試体の曲げ強度(3等分点載荷)と圧縮強度試験を実施した。これらの実験結果に基づいて, 次のような因子について解析を行った。

- ① 重量
- ② 体積
- ③ 密度
- ④ 動弾性係数比
- ⑤ 超音波伝播速度比(シリーズ2のみ)



第1図 凍結融解試験による体積比および密度比の経日変化(シリーズ1・3回目)

① 曲げ強度比

② 圧縮強度比

③~⑤は、凍結融解試験開始時の材令における値を基準とし、①と②は、凍結融解試験終了後に行った曲げ試験および圧縮試験で得られた恒温水槽内養生供試体の強度と凍結融解試験に供した供試体の強度との比である。

第3表には、昭和63年と平成元年度に行った凍結融解実験の配合の種類と、実験開始および終了材令を示す。

### 結果と考察

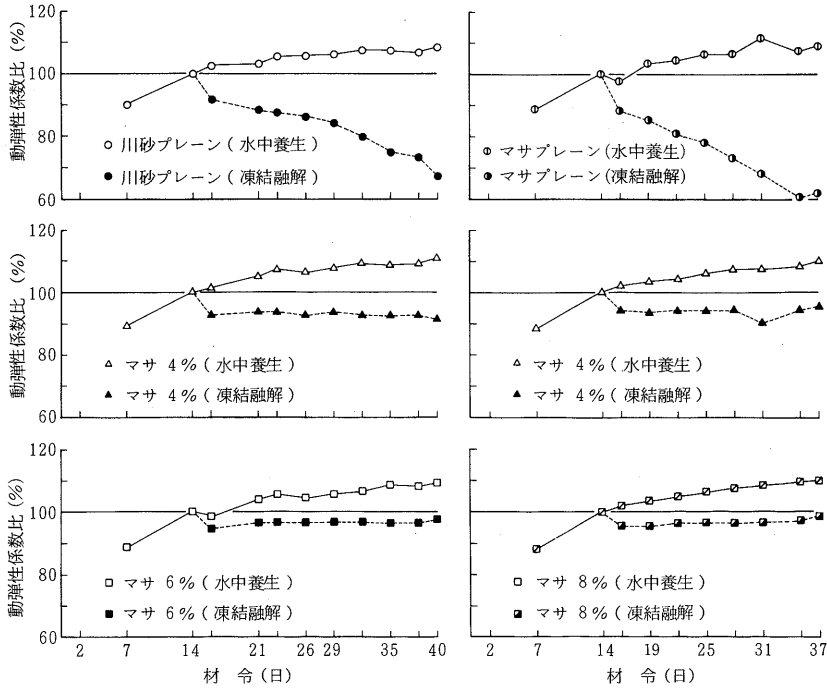
#### (1) 重量、体積および密度の経日変化

第1図に、昭和63年度に行った実験の体積および密度の経日変化を、凍結融解実験開始時の値を1として表わ

したものの一例を示す。凍結融解作用は、本来化学的な侵食作用でないため、密度そのものは実験開始後減少することなく、むしろ増大傾向にある。しかし、コンクリート供試体は、凍結融解作用を繰返し受けて、表面剥落が発生するため、体積(重量)は、減少していくことが分かる。

#### (2) 動弾性係数比および超音波伝播速度比の経日変化

第2図には、シリーズ2の動弾性係数比の経日変化を示す。これらの図から、連続して水中養生した供試体は、経日するにつれて動弾性係数は増大しているのに対し、凍結融解作用を受けた供試体は、実験開始後動弾性係数が低下し、その低下率は、空気量が多くなるにつれて小さくなることと分かる。とくに、川砂ブレンとマサ



第2図 凍結融解試験による動弾性係数の経日変化 (シリーズ2)

レーンの顕著な低下が目立つ。

第3図には、シリーズ2の超音波伝播速度比の経日変化を示す。超音波非破壊試験器 (ウルトラソニックテスター; UST, 株式会社マルイ製) の購入時期の関係から、シリーズ2の2回目の実験にのみ適用できただけで、データそのものは少ないが、ほぼ動弾性係数比の場合と同じような傾向を示している。超音波伝播速度は、コンクリートとか岩石のような比較的密実な物体内の状態を推定するのに近年多くの適用例が見られるが、今後本実験に使用することで、より多くのデータ蓄積を重ね、明確な傾向を得ることができると考えられる。

(3) 空気量と耐久性指数の関係

コンクリートの耐凍結融解性を定量的に表わすものとして、アメリカ材料試験協会 (ASTM) が定めた動弾性係数に基づく耐久性指数<sup>5)</sup>があるが、ここでは、便宜的に以下のものを考えた。

$$DF = \frac{fn^2}{f_0^2} \times 100 (\%)$$

$fn^2$  = 凍結融解 n 回後の共鳴 1 次振動数 (Hz)

$f_0^2$  = 凍結融解試験前の共鳴 1 次振動数 (Hz)

ここで、n は、300回、または相対動弾性係数が60%以下となったときの回数、または供試体の質量が試験開始前の75%以下となったときの回数とされている。さらに、 $f_0$ は、材令14日における凍結融解試験前の共鳴 1 次振動数である。

本論文では、シリーズ1では、 $n=300$ とし、シリーズ2では、相対動弾性係数が60%以下となったときの回数とした。基準値としての $f_0$ は、材令28日または14日とした。

その他、耐凍結融解性を定量的に表現する因子として、本論文では次のようなものを考えた。すなわち、超音波伝播速度、曲げ強度と圧縮強度に基づくものである。

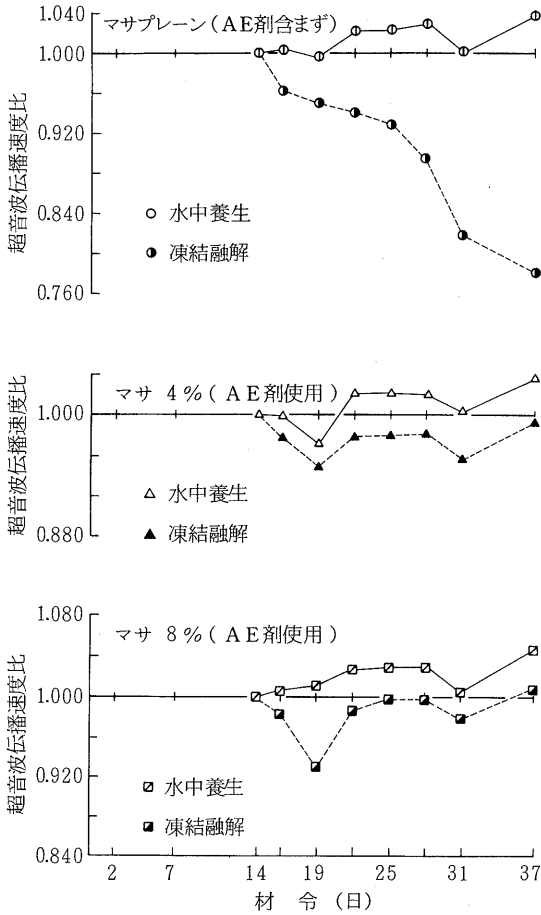
$$DU = \frac{V}{V_0} \times 100 (\%), \quad DB = \frac{\sigma_b}{\sigma_{b0}} \times 100 (\%)$$

$$DC = \frac{\sigma_c}{\sigma_{c0}} \times 100 (\%)$$

ここで、

DU, DB, DC = それぞれ超音波伝播速度、曲げ強度、圧縮強度に基づく耐久性指数

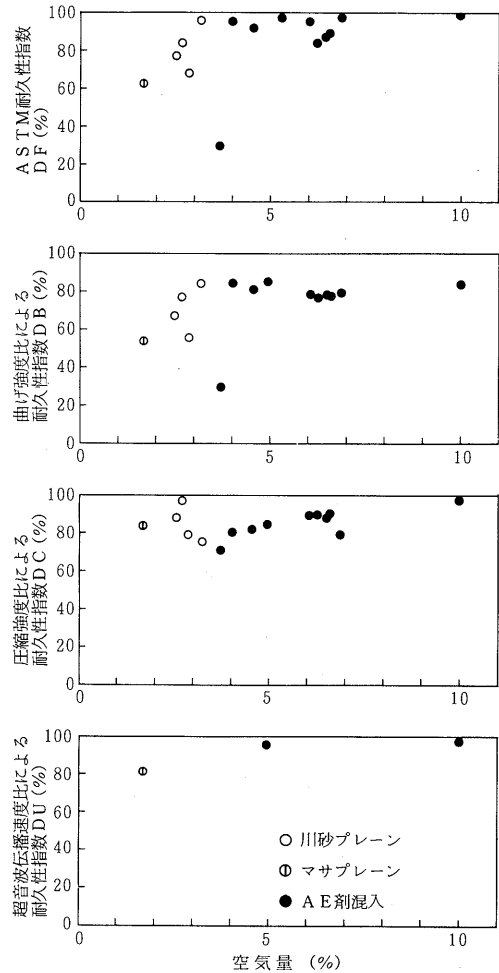
V,  $\sigma_b$ ,  $\sigma_c$  = 凍結融解を受けた供試体の試験終了後の



第3図 凍結融解試験による超音波伝播速度比の経日変化 (シリーズ2・2回目)

第4表 ローリング法によるフレッシュコンクリートの測定空気量 (単位: %)

実験名	配合名	1回目	2回目
シリーズ1 (1988)	川砂プレーン	2.49	2.67
	マサ V70S	3.68	4.31
	マサ V80-3	6.31	4.65
	マサ V80-7	6.99	6.40
シリーズ2 (1989)	川砂プレーン	2.86	3.64
	マサプレーン	1.65	1.68
	マサ 4%	4.58	4.90
	マサ 6%	6.87	4.33
	マサ 8%	9.99	9.02



第4図 各種耐久性指数と空気量との関係 (シリーズ1, 2) (ただし, 超音波伝播速度比はシリーズ2のみ)

超音波伝播速度 (km/sec) と曲げ強度および圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$V_0$  = 試験開始前の超音波伝播速度 (km/sec)

$\sigma_{b0}$ ,  $\sigma_{c0}$  = 凍結融解を受けていない水中養生した供試体の試験終了後の曲げ強度と圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

以上の因子とローリング法で測定したフレッシュコンクリートの空気量との関係を第4図に示す。第4表には、各配合のフレッシュコンクリートの測定空気量を示す。一般に、従来からの実験結果によれば、耐久性指数DFには第5表のような判断基準<sup>1)</sup>がある。この基準を基に、第4図の結果を考察してみる。まず、AE剤を混入して進行空気量を4%以上にすることで、耐凍結融解性が格段

第5表 耐久性指数DFの判断基準 (単位: %)

DF の 範 囲	特 性
DF < 20	耐凍性がかかなり低い
20 < DF < 80	中程度で遷移領域
80 < DF	耐凍性が優れている

に向上することが分かる。しかし、圧縮強度に基づく耐久性指数DCは、他の因子に比べ空気量の多寡による耐凍結融解性にはっきりした違いを示さないことがわかる。また、データ数は少ないが、超音波伝播速度に基づく耐久性指数DUは、耐凍結融解性を定量的に表わす有効な手段となることが予想できる。

### 結 論

現在までに得られたデータ数は少ないが、低品質のマサ土を細骨材として使用したコンクリートの凍結融解性に関する実験結果を次のようにまとめることができる。

- ① AE剤を使用して連行空気量を4%以上にすれば、耐凍結融解性が向上する。
- ② 超音波法は、タワミ共振法と並んで、コンクリートの耐凍結融解性を調べるのに有効な手段となる。
- ③ コンクリートの耐凍結融解性は、超音波伝播速度比、曲げ強度比および圧縮強度比から得られる耐久性指数によっても、相対動弾性係数に基づく耐久性指数と同じような結果が得られる。ただし、圧縮強度比に基づくものは、他に比べてやや精度が落ちる。

### あ と が き

2年間にわたって行った実験をまとめたものであるが、

1つの凍結融解実験を終えるのに少なくとも約40日必要で、まだ十分なデータ数といえない。さらに実験を重ね、より多くのデータを得ることで、耐凍結融解性を定量的に表わすのに適した耐久性指数と、マサ土を混入したコンクリートと良質の細骨材を使用したコンクリート間の耐凍結融解性の違いを明確にすることができると考えられる。本実験遂行に多大なる協力を戴いた昭和63年度および平成元年度当研究室専攻生諸君に謝意を表する。

### 文 献

- 1) Cordon, W. A. : *Freezing and Thawing of Concrete — Mechanisms and Control*. ACI Monograph 3, p.69 (1966)
- 2) 長谷川寿夫・藤原忠司：凍害，技報堂出版，東京 (1988)，pp.136-139
- 3) 服部九二雄・柘植巳一：マサ土を細骨材として利用したコンクリートの特徴 —— 低品質骨材の有効利用に関する研究 (I) —— ，農業土木学会論文集，114 25-32 (1989)
- 4) 岡田 清：コンクリートの耐久性，朝倉書店，東京 (1986)，p.1
- 5) 岡田 清：4)と同じ，pp.189-191
- 6) 柘植巳一・服部九二雄：低品質骨材を用いたコンクリートの特徴，I．マサ土を細骨材として利用した場合，鳥大農研報，37 102-110 (1985)
- 7) 柘植巳一・服部九二雄：低品質骨材を用いたコンクリートの特徴，II．AE剤混入の効果，鳥大農研報，39 85-91 (1986)