

[1002] しらすのコンクリート用細骨材への利用に関する基礎的研究

正会員○武若耕司（鹿児島大学工学部）

正会員 松本 進（鹿児島大学工学部）

川俣孝治（鹿児島大学大学院）

1. まえがき

南九州に広く分布するしらすの堆積量は、鹿児島県のみを考へても600億³mを優に越える
と推察されている。そこで、このように多量に存在するしらすが少しでも付加価値の高い材料
として利用できれば、南九州の産業構造活性化の一つの原動力ともなり得ると期待され、特に、
大量の土石を利用することの多い土木・建築の分野におけるこの期待は大きい。

一方、近年のコンクリート工学における諸問題についてみると、骨材に関連する問題が急激
に増加しているが、これらの原因の多くは、良品質骨材の不足を補うために用いた骨材を十分
に検討しないまま安易に使用したことにある。確かに、天然資源に頼っている骨材では近い将
来、良品質資源の確保と未開発資源の有効利用の立場から、必ず低品質骨材の利用を余儀無く
されるであろう。しかしその場合には、利用する骨材の性質とコンクリートの諸特性値の關係
を明確にし、場合によってはコンクリートの品質による適用範囲の分類なども必要となって来
る。化学的あるいは物理的にみても低品質骨材に分類されるしらすについてコンクリート用細
骨材への利用を検討することは、これらの点を明らかにさせる一資料ともなり得る。

以上のことを鑑みて、本研究では、しらすを細骨材として使用したコンクリート（以下、し
らすコンクリートと称す）の諸特性について検討を行った。

2. 使用したしらすの諸性質

一般に新紀火砕流堆積物の俗称として呼ばれるしらすは、砂およびシルト状粒子を主体とし、
一部に軽石れきを含んでいる。今回検討を行ったしらすは、鹿児島市内の2か所の地山から採
取したもので、その主な物理的性質に関する検討結果を熊本緑川産川砂と比較して表-1に示
す。これらの結果から、しらすは川砂に比べて比重が小さく、吸水率の非常に大きいポーラス
な材料で、コンクリート用の骨材としては強度的にもかなり脆弱であることが明確に示されて
いる。また、図-1には粒度分布を示したが、今回の検討にあたっては極力しらす自体の単価
を押えることを念頭において、5mmふるいによるふるい分けのみにとどめたしらすを使用し
たため、このしらすはコンクリート用細骨材としては細粒分の含有割合が非常に高く、特に、
0.15mm以下の微細粒分は全体の20%以上に達するものであった。

なお表-1の検討内容の内、表乾比重と吸水率の測定にはしらすの表乾状態を判定する必要
があるが、これをフローコーン試験で判定すると、しらすの場合には明らかに乾き過ぎた状態
を表乾状態と判定する結果

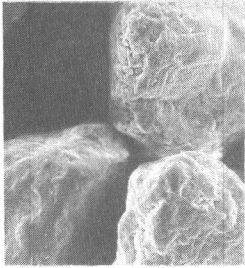
表-1 しらすの主な物理的性質

細骨材の種類	比 重		吸水率 (%)	粗粒率	実績率 (%)	洗い試験 (%)	単位容積、 重量(kg/m ³)	40t 破 砕値(%)
	表乾	絶乾						
谷山産しらす	2.06	1.85	11.31	1.58	64.12	21.9	1186	29.8
田上産しらす	2.07	1.86	11.10	1.78	59.01	15.0	1101	29.1
緑川産川砂	2.62	2.55	2.96	3.14	64.72	0.7	1647	2.6

となった。これは、しらす
中に多量の微細粒子が含ま
れていることと、写真-1
に示すようにしらす粒子の
表面が川砂のように滑か

表-2 しらすの化学組成

化 学 成 分 (%)									
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
71.06	0.26	13.62	0.52	1.55	0.05	0.61	2.17	3.30	2.70



川砂(×300)



しらす(×300)

写真-1 しらすおよび川砂粒子の表面形状

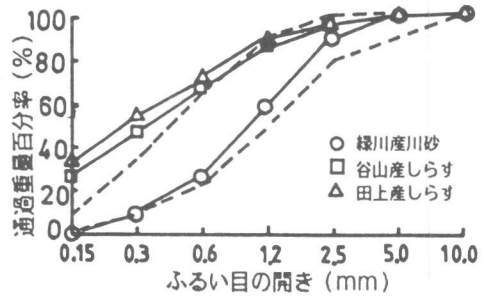


図-1 しらすおよび川砂の粒度分布

はなかなか凸凹が激しいことから、表乾状態を過ぎてもしらすどうしの噛み合わせによってコーンが自立するためであると考えられる。そこでここでは取り敢えず、しらすを乾燥させる過程で逐次乾いた手で触って、手に水分が付着しない最初の状態を表乾状態と定めた。

表-2はしらすの化学組成について示したものである。しらすを構成する鉱物はその約80%が火山ガラスであり、このため化学組成に占めるシリカの割合もかなり大きく、また、全体的にみてこの化学組成はボゾラン物質にかなり類似したものであった。

3. まだ固まらないコンクリートの性質

図-2には、粗骨材として最大寸法20mmの碎石を使用した場合について(以下同じ)、しらすあるいは川砂コンクリートのスランプ値と単位水量の関係と比較して示した。この結果から、しらすを細骨材として用いた場合も通常のコンクリートと同様に、単位水量の増加に伴うスランプ値の直線的な増加傾向を確認できるが、所定のスランプ値を得るために必要な単位水量は川砂使用の場合に比べて約1割程度割増する必要があることがわかる。図-3は、単位水量が一定のコンクリートについて、細骨材率とスランプ値の関係を各水セメント比ごとに示したものである。この図からは、しらすコンクリートにおいても川砂コンクリートと同じく最適細骨材率が存在し、その値は水セメント比の増加とともに増加する傾向にあることが明確に認められる。ただし、この場合の最適細骨材率は川砂使用の場合に比べて、全体的に約1割程度小さな値を示すようである。また、最適細骨材率におけるスランプ値を見ると、川砂コンクリートではW/C40~60%の範囲内で単位水量一定ならばスランプ値もほぼ一定となり、明らかに単位水量一定の法則が成立つことを確認できるが、しらすコンクリートではこの法則は成立せず、水セメント比の増加に伴ってスランプ値も直線的に増加する傾向にあった。

図-4は、しらすコンクリートにおけるAE剤の空気連行性能を検討した結果である。この結

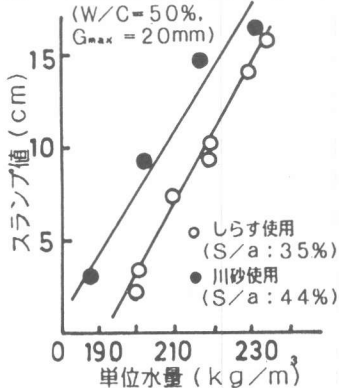


図-2 単位水量とスランプ値の関係

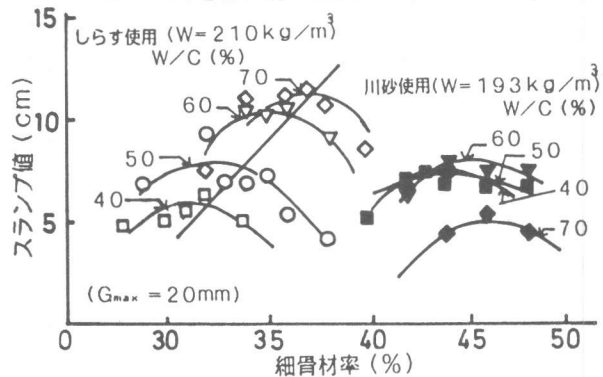


図-3 細骨材率とスランプ値の関係

果、しらすコンクリートにおいても所望の空気量を有するAEコンクリートを作成することは十分に可能であるが、このためには、AE量を川砂使用の場合の約2～2.5倍に増加させる必要があるようである。また図-5は、AEコンクリートの最適細骨材率について検討を行った結果の一例であるが、しらす使用の場合も空気量1%の増加に対して最適細骨材率はおよそ1%減少する傾向を示している。図-6は、所定のスランプ値を得るための単位水量と空気量の関係を示したものであり、この結果から、しらすコンクリートにおいてもAEコンクリートとすることによって通常のコンクリートとほぼ同じ割合でワーカビリティを改善できることが明確に示されている。

図-7および8は、しらすと川砂の混合使用について若干の検討を行った結果である。これらの結果から、しらすと川砂を混合使用すると、単位水量が一定であっても川砂/しらす容積比が増加するに従ってスランプ値は増加するが、単位水量の増加に伴うスランプ値の増加傾向は両者の混合割合にかかわらずほぼ一定であることが確認された。図-9は、この混合使用の結果としらすあるいは川砂が単味の場合の結果から、細骨材の粗粒率が最適細骨材率あるいはスランプ値に及ぼす影響を検討したものである。これによって、細骨材の粗粒率の増加に伴って最適細骨材率、スランプ値ともに直線的に増加する傾向が確認できた。

以上の結果を総合すると、しらすコンクリートのまだ固まらない状態の性質はしらす中に多量に含まれる細粒分あるいは、粒子表面の凸凹の影響をかなり大きく受けているようであるが、一方、少なくともしらすを使用して通常の施工性を有するコンクリートを打設することは十分に可能であることも明確となった。そこで表-3には、今回の結果を基にしらすを細骨材として用いたコンクリートの配合設計資料の一案を示した。

なお、図-10はブリージング試験を行った結果について示したものである。スランプ値を一定とした場合、しらすコンクリートでは川砂コンクリートに比べてブリージング率は増加するが、その増加割合は2～3割程度にとどまっている。

4. 硬化コンクリートの諸性質に関する検討

4・1 実験の概要

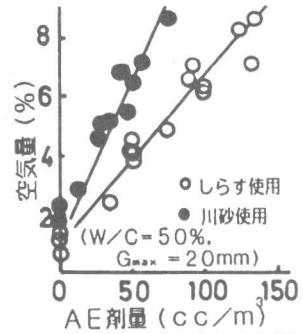


図-4 AE 剤量と連行空気量の関係

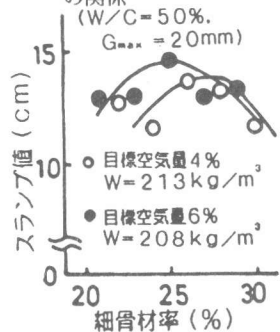


図-5 空気量と最適細骨材率の関係

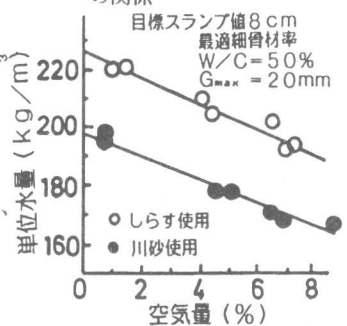


図-6 スランプ値一定の場合の単位水量と空気量の関係

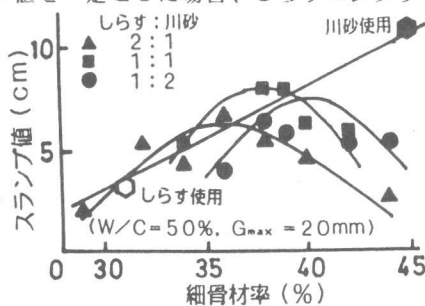


図-7 しらすと川砂を混合使用した場合の細骨材率とスランプ値の関係

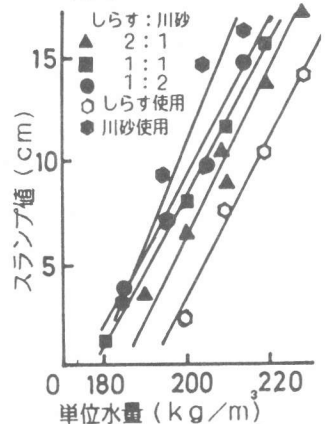


図-8 混合砂使用の場合の単位水量とスランプ値の関係

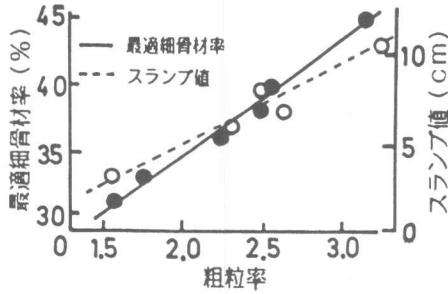


図-9 粗粒率と最適細骨材率あるいはスランプ値の関係

上記3の検討結果から得られた配合設計資料を基にしらすコンクリートを作成し、その強度特性ならびに耐久性等について川砂コンクリートと比較検討を行った。使用材料は、セメントとして普通ポルトランドセメント、粗骨材として最大寸法20mmの碎石(鹿児島島山産、比重:2.67)、

しらすおよび川砂には前述の表-1のものを用い、図-10 コンクリートのフリージング試験結果目標スランプ値を10±1cmとしてコンクリートの配合を定めた。今回検討を行ったコンクリートの配合例を表-4に示す。なおW/Cが30および80%の場合については、プレーンの状態ですらす値を達成することが困難であったため高性能減水剤を使用した。

4・2 強度特性に関する検討結果

図-11は、水中養生を行ったコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係について示したものであり、また図-12には、材令の経過に伴う強度増加の割合を示した。これらの結果より、しらすを細骨材として用いたコンクリートの圧縮強度特性について次のような点が確認できる。すなわち、1)しらすコンクリートにおいても通常の場合と同様に水セメント比の法則が成立つこと、2)材令の経過に伴う強度増加割合も川砂使用の場合と同程度であること、3)ただし、しらすコンクリートでは川砂使用の場合に比べ、同一水セメント比における圧縮強度が10~30%、平均で約17%小さいこと、等である。

図-13は、コンクリートの静弾性係数と圧縮強度の関係を示したものである。多少ばらつきもあるが、しらすコンクリートにおいても圧縮強度の増加に伴う弾性係数の直線的な増加傾向が見られる。ただし、同一圧縮強度における弾性係数についてみると、しらす使用の場合には川砂コンクリートに比べ10~15%程度小さな値を示すようである。

なお、しらすコンクリートの引張りおよび曲げ強度についても、川砂コンクリートと同一の水セメント比の場合には圧縮強度と同様に、川砂コンクリートに比べていずれも約15%程度小さな値を示す傾向が認められたが、図-14および15に示す通り、同一圧縮強度を示すコンクリートについてみ

表-3 しらすを細骨材として用いたコンクリートの配合設計資料

G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単位水量	スランプ値
20	50	31	214	8

上記と条件が異なる場合の補正

区分	S/aの補正	単位水量の補正
スランプ値1cmの増減に対し	補正しない	±1.75%
水セメント比5%の増減に対し	±1%	±1.5%
粗粒率0.1の増減に対し	±0.6%	±0.6%
空気量1%の増減に対し	±1%	±2%

(注)ただし、この表は粗骨材として碎石を、細骨材としてFM1.58のしらすを使用した場合のものである。

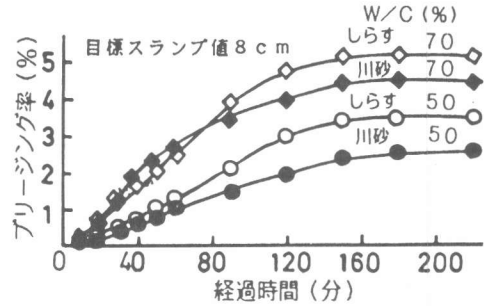


表-4 物性試験に用いたコンクリートの配合

細骨材の種類	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能減水剤 (cc/m)	備考
			C	W	S	G		
しらす	30	29	797	236	306	938	4780	田上産
	40	31	578	231	376	1080	-	"
	50	31	428	224	415	1199	-	谷山産
	60	33	362	217	455	1196	-	"
	70	35	299	209	502	1209	-	"
	80	39	254	203	579	1167	1500	田上産
川砂	30	41	660	198	637	934	3300	緑川産
	40	43	495	198	727	982	-	"
	50	45	396	198	798	994	-	"
	60	47	330	198	859	987	-	"
	70	49	283	198	915	970	-	"
	80	55	248	198	967	945	1500	"

ると、しらすコンクリートと川砂コンクリートの引張および曲げ強度はともにほぼ同じ値となるようであった。これは、通常圧縮強度から推定することの多い引張あるいは曲げ強度の特性値について、しらすコンクリート場

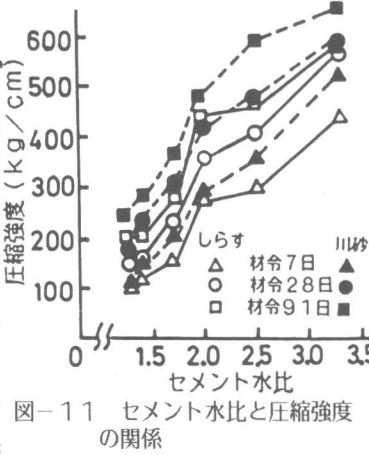


図-11 セメント水比と圧縮強度の関係

4・4 耐久性に関する一検討

図-16は、種々の養生条件下のコンクリートにおける材令3か月（一部に材令6か月）の圧縮強度の測定結果を示したものである。また図-17には、一例として硫酸ナトリウム10%水溶液浸漬供試体において測定した動弾性係数の経時変化を示した。なお、屋外養生とは材令7日から屋外に暴露させたもの、海水および硫酸ナトリウム10%水溶液中での養生とは、材令28日からそれぞれの溶液中に全浸漬させたものである。これらの結果については未だ検討期間も短く、耐久性に言及するには今後さらに継続した検討が必要であるが、少なくともこれまでのところ、いずれの養生条件においてもしらすを使用したことによる耐久性上の特別な問題点は認められない。

さらに図-18は、AEコンクリートについて凍結融解試験を実施した結果の一例を示したものである。なお、W/C50%のブレンコンクリートについて凍結融解試験を実施した結果は、しらす使用の場合および川砂使用の場合の耐久性指数(DF)がそれぞれ3.2および4.0と、ともに凍結融解に対する抵抗性は非常に低いものであった。一方連行空気量が4%以上ある場合には、この図から明らかのように細骨材の種類にかかわらず耐久性指数はいずれも90を越えており、しらす使用の場合に、凍結融解サイクルの増加にともなう動弾性係数の低下の割合がわずかに大きいのみであった。このことは、しらすを細骨材として使用しても十分に耐久的なコンクリートを作成できることを示す一例であると考えられる。

4・5 硬化コンクリートの微細構造に関する一検討

しらすコンクリートでは、しらす中に多量の火山ガラスが含まれており、これを構成するシリカ分がコンクリート中の水酸化カルシウム等と反応して、通常のコンクリートとは異なった微細構造となる可能性もある。写真

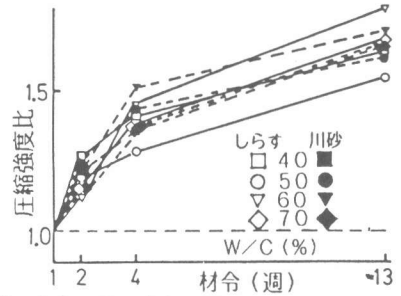


図-12 7日強度を基準に示した材令に伴う圧縮強度の増加割合

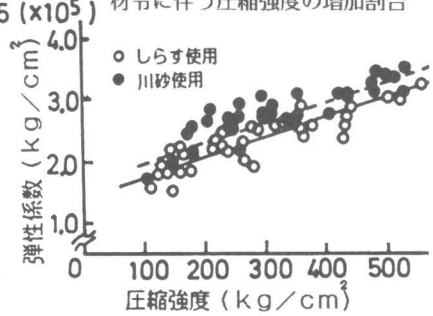


図-13 静弾性係数と圧縮強度の関係

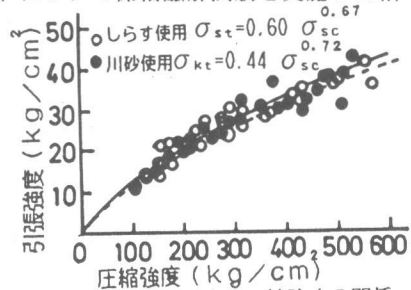


図-14 引張強度と圧縮強度の関係

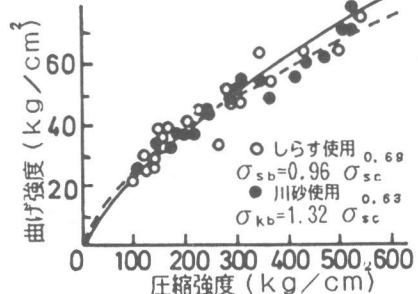


図-15 曲げ強度と圧縮強度の関係

ー2は、この点について検討するためにコンクリート破面の骨材周辺部を撮影した顕微鏡写真である。このうち、川砂とセメントペーストの境界については比較的明瞭に判定でき、またX線アナライザーによる調査からこの境界面のセメントペースト部はほぼ水酸化カルシウムの致密な結晶であると推測された。これに対して、しらすとセメントペーストの境界は不明確で一体化の様相を呈すとともに、境界部にはポーラスな層も存在し、この層中には火山ガラスの他に、CaとSiの存在する鉱物が確認され、カルシウム・シリケート物質であると推測された。このことは、しらす中の火山ガラスがコンクリート中で反応を起こしている可能性の極めて高いことを示すものである。

5. 結論

南九州に大量に存在するしらすをコンクリート用細骨材として有効に利用するため、これを用いたコンクリートの諸性質について基礎的な検討を行った。その結果、次の結論を得た。

1) 地山から採取したしらすをほぼそのままの状態 で用いた場合でも、配合条件を工夫することによって十分な作業性を有するコンクリートを作成することは可能であることが明確となり、また、このための配合設計資料を得ることができた。

2) しらすを細骨材として使用した場合には通常のコンクリートよりも水セメント比を5~10%小さくしてやることによって、通常の場合とほぼ同程度の強度特性が得られ、また、耐久性の点においても大差は見られないことが確認された。

3) しらす中の火山ガラスの一部はコンクリート中で反応してカルシウム・シリケート水和物をつくっている可能性の高いことが確認できたが、これがコンクリートの諸特性に及ぼす影響については今後の検討課題として残されている。

<参考文献>

- 1) 武若耕司、川俣孝治：しらすのコンクリート用骨材への利用に関する検討 土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.512~513、1986
- 2) 大庭 昇、露木利貞、海老原祐子：しらすの鉱物組成、化学組成および成因 岩石鉱物鉱床学会誌、第58巻第3号、pp.81~91、1967
- 3) 岡村雄樹、檜貝 勇：コンクリート用細骨材としての真砂土の利用に関する研究 第8回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.241~244、1986
- 4) 角 徹三、中村聖吾：細骨材にしらすを利用したコンクリートの基礎的実験 日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.63~64、1985

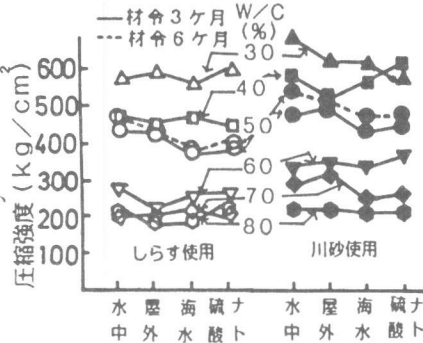


図-16 養生条件の異なるコンクリートの圧縮強度の比較

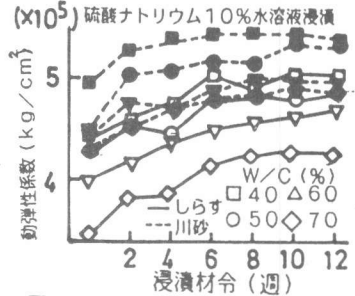


図-17 硫酸ナトリウム10%水溶液中のコンクリートの動弾性係数の経時変化

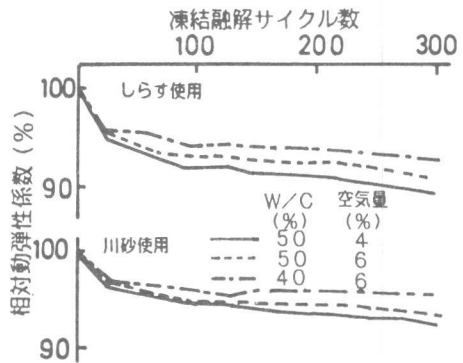
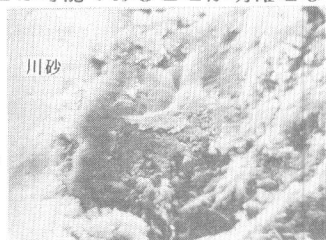


図-18 AEコンクリートの凍結融解試験結果



川砂コンクリート (×700)



しらすコンクリート (×1000)

写真-2 細骨材とセメントペーストの境界面の状況