

論文

[1047] 遠心成形のノロの発生に及ぼす練り混ぜ方法の影響

伊藤幸広^{*1}・辻 正哲^{*2}・袴田智之^{*3}・渡部 浩^{*4}

1. まえがき

遠心成形の際に発生するノロ（セメント、水などからなるスラリー状の物質）は、一般に中和、脱水等の処理を施した後に埋め立て廃棄処分されている。しかし、ノロの処理には多くの費用を必要とするばかりでなく、近年では埋め立て処分地の確保難といった問題も生じてきている。そのため、ノロの発生を抑制する方法に関する研究が近年多く行われるようになり、一部は実用化されるまでに至っている。こうしたノロを抑制する方法には、微分末材料を添加し保水性を高める方法 [1]、増粘剤を主成分とした混和剤を添加し、ペースト中の水分の降伏値を上げる方法 [2]、ノロとして多く排出されるセメント中の微粒分の割合を少なくした粒度調整セメントを用いる方法 [3] などがある。

一方、従来の一括練り混ぜ方法に対し、水やセメントを分割して練り混ぜると、ブリージングをはじめとしてコンクリートの諸性質が改善されることが知られている [4]。その理由として、骨材周囲に水セメント比の小さなペースト（モルタル）層が形成されることや、セメント粒子の分散性が向上することが考えられている。したがって、分割練り混ぜ方法で製造したコンクリートは、セメント粒子の分散性が良く保水性が高くなることから、遠心成形時のノロの発生量を少なくできる可能性がある。

本研究は、遠心成形時のノロの発生に及ぼす練り混ぜ方法の影響を検討することを目的としたものであり、特に分割練り混ぜ方法におけるノロ抑制剤の添加方法がノロの発生に及ぼす影響について検討を行ったものである。

表-1 (a) 細骨材の物理的性質

比 重	吸水率 (%)	単位容積 重 量 (kg/m ³)	実練率 (%)	粒度分布 (残留百分率) (%)						粗粒率
				5 ■	2.5 ■	1.2 ■	0.6 ■	0.3 ■	0.15 ■	
2.60	1.32	1666	64.9	0	8	18	47	84	98	2.55

(b) 粗骨材の物理的性質

最大寸法 (mm)	比重	吸水率 (%)	単位容積 重 量 (kg/m ³)	実練率 (%)	粒度分布 (残留百分率) (%)					粗粒率
					25 ■	20 ■	15 ■	10 ■	5 ■	
20	2.65	0.92	1566	59.6	0	8	18	47	84	6.39

表-2 基本配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					W	C	S	G	ノロ 抑制剤 Sa	高性能減水剤 Ad (%)
20	12±1.5	2±1	37	43	147	397	790	1068	2.0	C×0.8~1.3

*1 東京理科大学助手 理工学部土木工学科, 工修 (正会員)

*2 東京理科大学助教授 理工学部土木工学科, 工博 (正会員)

*3 日本コンクリート工業㈱ (前 東京理科大学理工学部土木工学科)

*4 東京電力㈱ (前 東京理科大学理工学部土木工学科)

粗骨材はそれぞれ鬼怒川産の川砂および山梨産の碎石であり、その物理的性質は表-1に示すとおりである。実験で使用したノロ抑制剤は、アクリル系の増粘剤を主成分とした市販のものである。また、スランプを調整するためにナフタリンスルホン酸系の高性能減水剤を用いた。

2.2 配合

コンクリートの基本配合は、一般のコンクリートポールに用いられている配合を参考に決定したものであり、その配合は表-2に示すとおりである。練り混ぜ方法の違いがノロの発生に及ぼす影響を調べるため、ノロ抑制剤の添加量は、予備実験により確認した一括練り混ぜ方式でノロが発生しなくなる添加量 ($4\text{ kg}/\text{m}^3$) の $1/2$ とした。スランプは、練り混ぜ方法の違いによらず全て $12 \pm 1.5\text{ cm}$ となるように高性能減水剤を用いて調整した。細骨材は表面水率が約4%となるように調整して用いた。

2.3 練り混ぜ方法

実験でとりあげた練り混ぜ方法の種類は、従来の一括練り混ぜ方法（一括方式）、水を分割して練り混ぜる方法（水分割方式）および水とセメントの両方を分割し練り混ぜる方法（セメント分割方式）の3種類である。水分割方式では、一次水とセメントの比率 (W_1/C) を5段階に変化させた。セメント分割方式では、一次セメント量 (C_1) を3段階に変化させ、さらに各一次セメント量 (C_1) につき一次水と一次セメントの比率 (W_1/C_1) を5段階に変化させた。

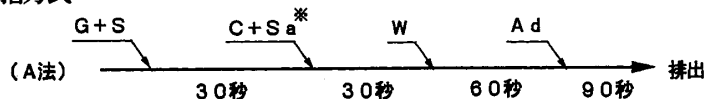
練り混ぜ方法別の要因と水準は表-3に示すとおりである。実験では、図-1に示すように、3種類の練り混ぜ方法をノロ抑制剤の添加位置の違いにより変化させた、合計6通りの練り混ぜ方法について検討した。トータルの練り混ぜ時間は練り混ぜ方法の違いによらず3分30秒に統一した。実験で使用したミキサーは強制練りミキサー（公称容量50 l）であり、1バッチの練り混ぜ量を約40 lとした。

表-3 練り混ぜ方法別の要因と水準

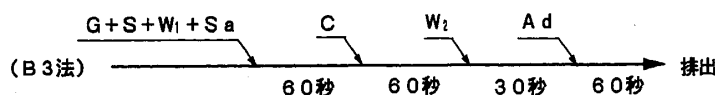
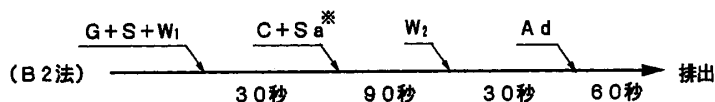
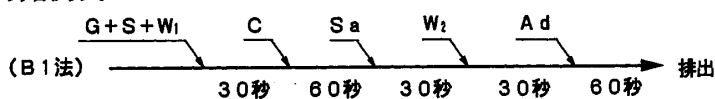
練り混ぜ方式	要因	水準
水分割方式	W_1/C (%)	20, 22, 25, 28, 30
セメント分割方式	C_1	$\frac{1}{4}C$, $\frac{1}{2}C$, $\frac{3}{4}C$
	W_1/C_1 (%)	$(C_1 = \frac{1}{4}C)$ 35, 45, 55, 65, 75
		$(C_1 = \frac{1}{2}C)$ 25, 35, 45, 55, 65
		$(C_1 = \frac{3}{4}C)$ 25, 30, 35, 40, 45

C: 単位セメント量

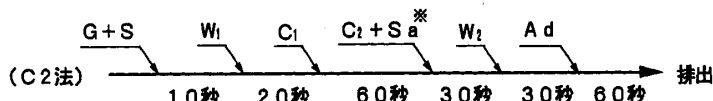
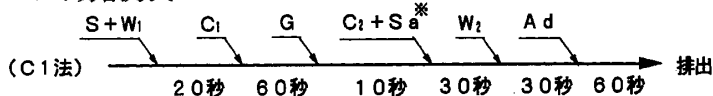
一括方式



水分割方式



セメント分割方式



* Sa (ノロ抑制剤) を C に混入した後、軽く攪はんして投入した。

図-1 練り混ぜ方法

2. 4 実験方法

(1) 供試体の作製

遠心成形用供試体は、JIS A 1136に従った直径20cm、高さ30cm、厚さ4cmのものである。供試体の成形には小型遠心成形装置を用いた。成形条件は表-4に示すとおりである。供試体は遠心成形後、材令1日で脱型し、室温 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ の恒温室内で材令28日まで気中養生を行った。

(2) ノロの測定

ノロ量の測定は、遠心成形後直ちに供試体を垂直に傾け排出されたノロを全量回収し、その重量を測定する方法とした。また、回収したノロを 110°C の乾燥炉で恒量となるまで乾燥させ、ノロ固形分量を求めた。

(3) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、材令28日においてJIS A 1136に準じて行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 ノロ量に及ぼす練り混ぜ方法の影響

図-2は水分割方式(B1, B2, B3法)によって練り混ぜた場合の W_1/C とノロ量との関係を示したものである。また、比較のために一括方式(A法)で練り混ぜた場合のノロ量についても示してある。なお、ノロ量は1つのバッチから作製した3つの供試体から発生したノロ量の平均値である。水分割方式で練り混ぜたコンクリートのノロ量は、ノロ抑制剤の添加位置にかかわらず、一括方式とほぼ同程度となっている。今回用いたノロ抑制剤は増粘剤を主成分としたものであり、水と接触すると水分子を高分子鎖の内にとりこむ反応が急速に起こり粘性が高くなるというものである。したがって、ノロ抑制剤が水と接するまでに十分に分散した状態でないと部分的に粘性が高くなり、全体としては効果が低下するものと考えられる。特にノロ抑制剤の添加量はセメント量の0.5%程度と著しく小さく、セメント等の粉体とあらかじめ十分に混合しておかないとコンクリート中へのノロ抑制剤の分散性が悪くなると考えられる。B1法およびB3法ではノロ抑制剤が直接水と

表-4 供試体の成形条件

	低速	中速	高速
加 速 度 (G)	2	15	30
回転時間 (min)	1	1	3

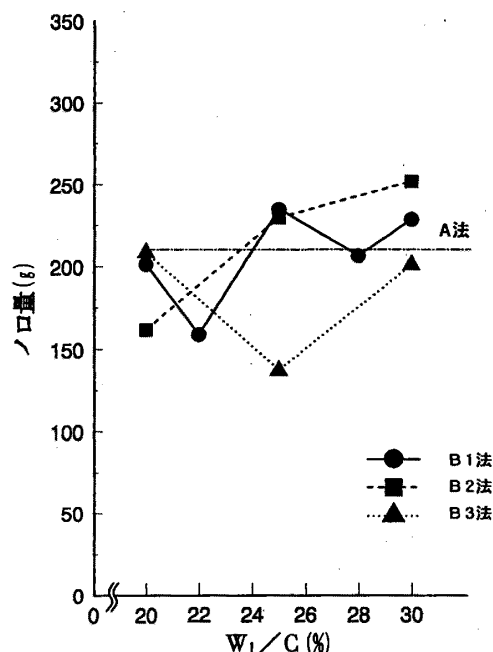


図-2 水分割方式における W_1/C とノロ量との関係

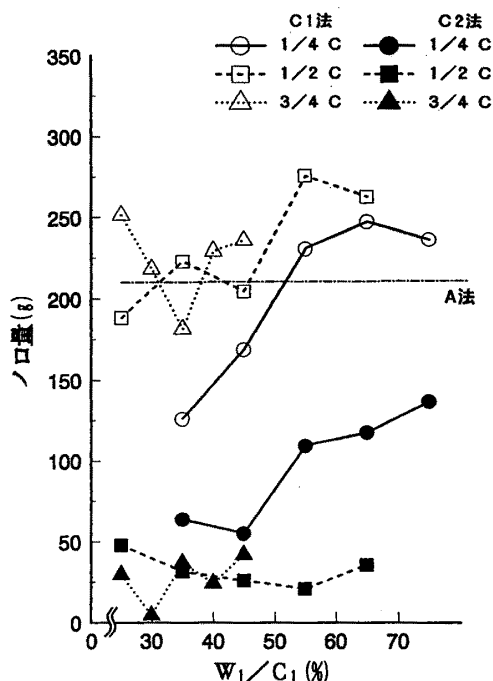


図-3 セメント分割方式における W_1/C_1 とノロ量との関係

接触することとなり、また、B2法ではノロ抑制剤がセメントと事前に混合してあるとはいえ十分に分散しておらず、その状態で表面水を多く持つ骨材と接触するために十分な効果が得られなかったものと考えられる。

図-3は、セメント分割方式によって練り混ぜた場合の W_1/C_1 とノロ量の関係を示したものである。C2法において一次セメント量を $1/2C$ および $3/4C$ とした場合には、ノロ量が大幅に減少している。これは細骨材および粗骨材にセメントペーストを付着させるため、ノロ抑制剤投入時に直接水と接触することがなく、その後の練り混ぜで十分にノロ抑制剤が分散したことによるものと考えられる。

図-4は、ノロ抑制剤の添加の有無がノロの発生量に及ぼす影響を示したものである。検討した練り混ぜ方法は、一括方式(A法)とセメント分割方式のC1法とC2法であり、ノロ抑制剤を添加した場合、高いノロ抑制効果が得られたものである。この結果より、ノロの抑制に及ぼす分割練り混ぜ方法のみの効果はほとんどなく、ノロ抑制剤との相互作用により効果が現れたと考えられる。

3.2 ノロ固形分比に及ぼす練り混ぜ方法の影響

発生したノロ全量に対するノロ中の固形分の比率をノロ固形分比とし、練り混ぜ方法との関係を示したものが図-5および図-6である。分割練り混ぜを行ったものは、一括方式に比べノロ固形分比が小さくなる。また、細骨材および粗骨材のいずれに対してもセメントペーストをあら

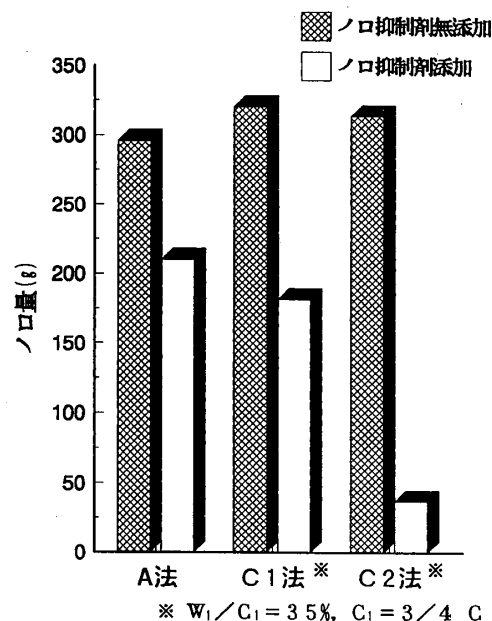


図-4 ノロ抑制剤の添加の有無がノロ量におよぼす影響

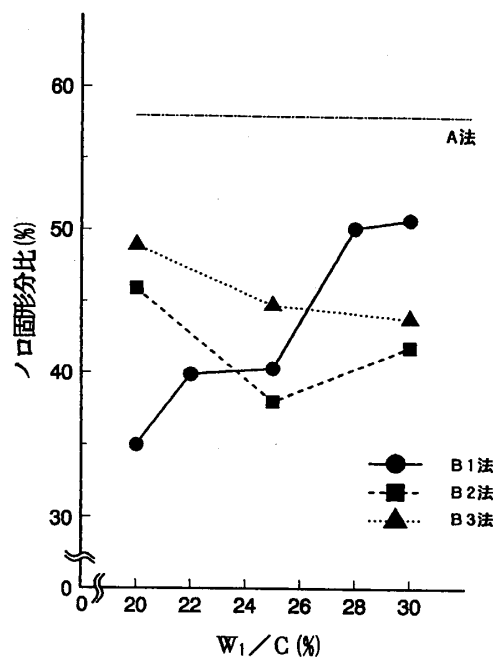


図-5 水分割方式における W_1/C とノロ固形分比との関係

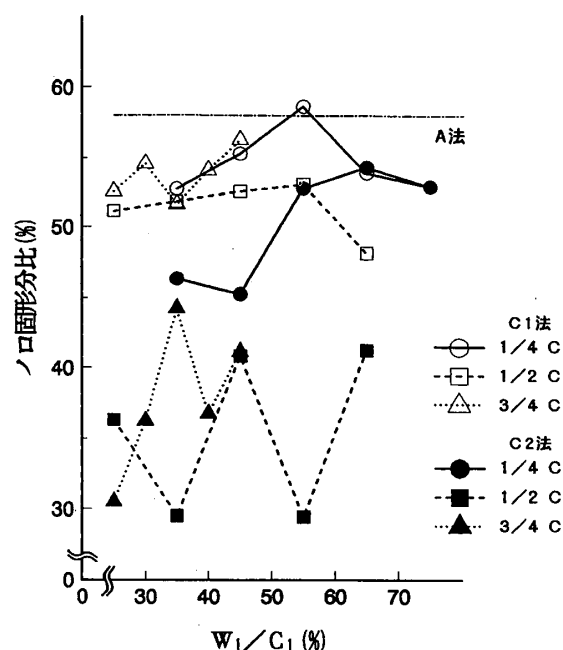


図-6 セメント分割方式における W_1/C_1 とノロ固形分比との関係

かじめ十分に付着させるという練り混ぜ方法であるB1法、B2法、B3法およびC2法の方が、細骨材のみにセメントペーストを付着させるC1法に比べ、ノロ固形分比は小さくなっている。これは、発生したノロ量が同等であっても、細骨材および粗骨材にあらかじめ水セメント比の小さいセメントペーストを付着させることにより、セメントや細骨材中のノロ成分として析出し易い微粒分がコンクリート中で拘束され易くなることを表していると思われる。

3. 3 ペースト層厚に及ぼす練り混ぜ方法の影響

練り混ぜ方法の違いによる供試体内面のペースト層の厚さを示したものが、図-7および図-8である。ペースト層の厚さは発生するノロの量(図-2, 図-3)と関係があり、ノロ量が少ないものほどペースト層は厚くなる傾向にある。発生したノロの体積とペースト層の断面積に供試体高さを掛けて求めたペースト層の体積の合計値は、練り混ぜ方法の違いによらずほぼ一定となった。すなわち、ノロ抑制剤は排出されようとするノロの粘性を上げ、供試体内面に残存させることによりノロの発生を抑制するものと考えられる。

3. 4 圧縮強度に及ぼす練り混ぜ方法の影響

図-9および図-10は、材令28日における圧縮強度を練り混ぜ方法別にそれぞれ示したものである。一般に、遠心成形供試体の圧縮強度は、発生するノロ量に影響を受け変化するといわれている。しかし、水分割方式とC1法で練り混ぜたコンクリートは、発生したノロ量がいずれも一括方式とほぼ同程度(図-2, 図-3)であるにもかかわらず、一括方式よりも圧縮強度が全般的に大きくなっている。また、C2法のノロ量は、一括方式に比べかなり少ないにもかかわらず、圧縮強度はほぼ同等となっている。これらはそれぞれ分割練り混ぜの効果によってセメント粒子が分散し、強度が増進したものと考えられる。

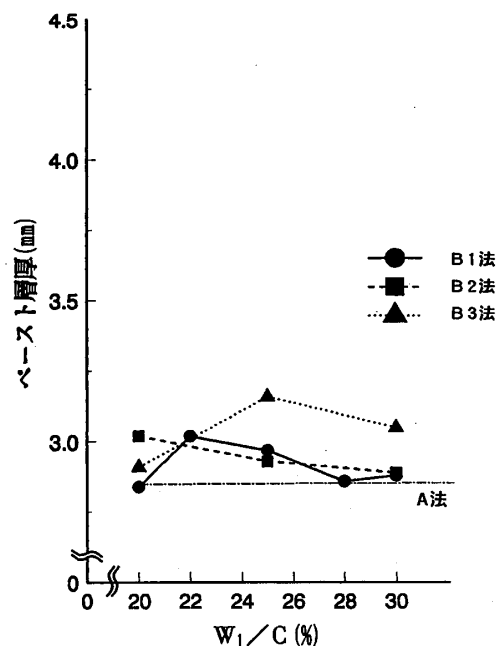


図-7 水分割方式における W_1/C とペースト層厚との関係

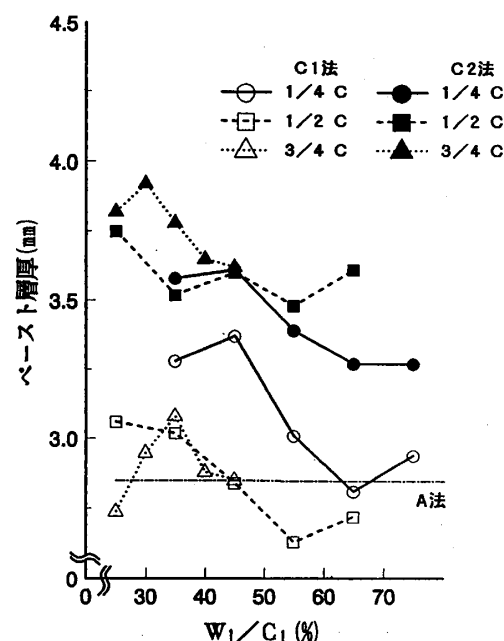


図-8 セメント分割方式における W_1/C_1 とペースト層厚との関係

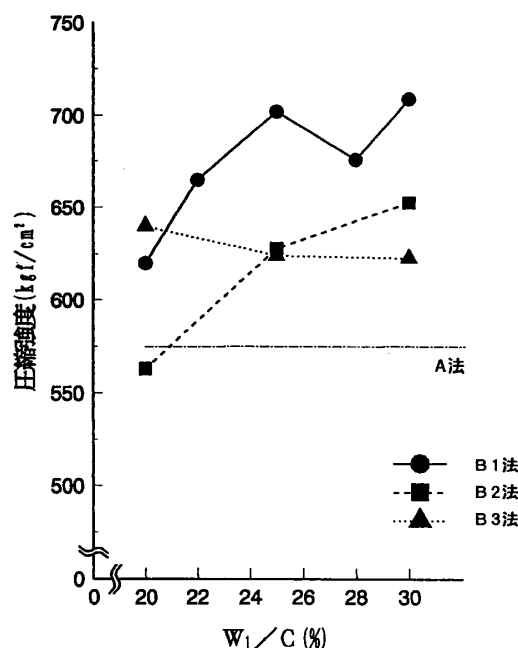


図-9 水分割方式における W_1/C と圧縮強度との関係

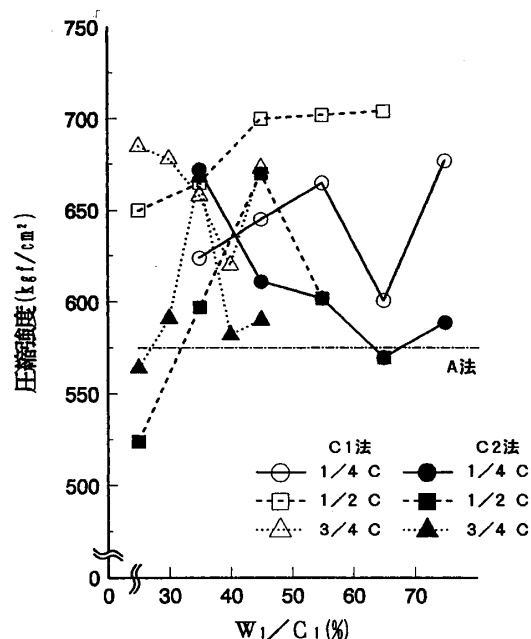


図-10 セメント分割方式における W_1/C_1 と圧縮強度との関係

4. まとめ

本実験で得られた結論を要約すると以下のとおりとなる。

(1) セメントを分割し、細骨材と粗骨材の両方にセメントペースト（モルタル）を付着させるという練り混ぜ方法でコンクリートを製造すると、ノロ抑制剤を同量添加し一括方式で練り混ぜたものより大幅にノロの発生量を低減させることができる。ただし、ノロの抑制におよぼす練り混ぜ方法のみの効果はほとんどなく、ノロ抑制剤との相互作用により効果が得られる。

(2) 分割練り混ぜ方法によって製造したコンクリートのノロ固形分比は、一括方式によるものよりも小さくなる。

(3) 練り混ぜ方法の違いによらず、発生するノロ量が少ない供試体ほどペースト層の厚さは厚くなる傾向にある。

(4) 水分割方式およびセメントを分割し細骨材のみにセメントペーストを付着させるという練り混ぜ方法で製造した遠心成形供試体の圧縮強度は、一括方式で製造したものよりも大きくなる。

謝 辞：本研究の遂行にあたり、日本セメント株式会社の橋本正幸氏、益山徹氏からご助力ならびに有益なご示唆をいただきました。ここに深く感謝の意を表する次第であります。

参考文献

- [1] 福沢公夫ほか：微粉末材料の混和による遠心締固め製品製造時のスラリー排出防止、セメント技術年報 No.38 pp. 182-185.1984
- [2] 下山善秀ほか：遠心成形における分離性状に関する研究、セメント技術年報 No.42 pp. 188-191.1988
- [3] 内田清彦ほか：粒度調整セメントを用いたヒューム管製造に関する研究、第46回セメント技術大会講演集 pp.480-485.1992
- [4] 田村一美ほか：分割混練法により高強度軽量コンクリートの耐凍害性の改善、コンクリート工学論文集 第2巻第1号 1991.1