

## 高流動化剤を使用したコンクリートの性質

西林 新蔵\*・植田 純一\*\*・中岡 秀夫\*\*\*・山本 篤信\*\*\*\*

(1979年6月30日受理)

### Properties of Concrete with Superplasticizer

Shinzo NISHIBAYAHl\*, Junichi UEDA\*\*, Hideo NAKAOKA\*\*\* and Atsunobu YAMAMOTO\*\*\*\*

(Received 31st of June, 1979)

Recently, much attention has begun to be paid to the plasticizing (flowing) concrete.

In this study, in order to improve the workability of fresh concrete and to produce the plasticizing concrete effectively, the plasticizing concretes produced by the delayed addition of superplasticizer are experimentally investigated.

In this case, poly-condensed aromatic sulphonate type plasticizing agent (named Pozzolite NP-10) is added at 60 minutes after mixing, into the base concrete with normal water reducing agent (lignin sulphonate type, named Pozzolite No.8 IMP). Moreover, as the conditions of mix proportion, various initial consistency (slump : 2.5, 5.0, 7.5, 10, 20 cm) at constant s/a (38%) and several s/a (38, 41, 44, 47%) at constant slump (7.5 cm) are selected.

For the concrete mixed, slump, air contents, bleeding, setting time (penetration resistance specified in ASTM), compressive strength and dynamic modulus of elasticity (D. M. E.) are tested. From the experimental results, it seems that the high quality concrete can be generally achieved. But, it can be indicated, as the problems on the mix proportion, that the plasticizing concretes produced from base concrete having low s/a and high water content may be proceeded the delay of setting time, the segregation and reduce of strengths. And to attain the suitable plasticizing concrete, limit content as to each kinds of plasticizing agent used should be recommended.

### 1 ま え が き

最近、フレッシュコンクリートを施工する際の諸問題を有利に解決する目的で、流動化剤 (plasticizing agent, plasticizer) を使用する機会が多くなった<sup>1)~5)</sup>。この流動化剤の歴史は比較的新しく、1970年代の初頭から日本や西ドイツで実用化されるようになり、その後他のヨーロッパ諸国やアメリカなどでも普及するようにな

った。日本においては、最初のうちは主として高強度用減水剤 (著しい減水作用を利用して、通常のコンクリートと同程度のワーカビリティーを保ったままで、水セメント比を小さくして高圧縮強度のコンクリートを造る) として利用されていたが、最近になって流動化剤としての役割が認識されるようになった。一方、西ドイツにおいては、最初から硬練りコンクリートの施工性を改善する

\* 土木工学科, Dept. of Civil Engineering

\*\* K.K. 鴻池組 Konoike Construction Co. Ltd.

\*\*\* 三井建設 K.K. Mitsui Construction Co. Ltd.

\*\*\*\* 鳥取県庁 Tottori Prefectural office

目的で、高流動化剤（この剤を使用したコンクリートを流動化コンクリート：Fleissbeton (Flowing concrete or plasticizing concrete) と称している）として利用されていた。

この流動化剤と普通の減水剤との相違点を一口でいえば、流動化剤は凝結の遅延、過剰な空気の流れとそれに伴う強度低下などの悪影響をコンクリートに及ぼすことなしに、高い混入率で使用することができる点にある。

流動化剤を用いたコンクリートの流動性向上の機構については、まだ十分解明されていない。しかし、基本的な機構は、一般の減水剤と同様に、その剤が持っている分散能によるもので、流動性がとくにすぐれているのは添加量の増大によるところが大きいと考えられている。また、流動化剤の上手な利用法の一つに掲げられている遅れ添加における流動性の向上については、通常の同時添加の場合よりも、セメントが水と接触してから極く短時間に生成する水和物との吸着が少ない、あるいは未水和のセメント粒子との吸着量が多くなるからである。すなわち、遅れ添加の方が流動化剤が有効にセメント粒子の表面に吸着し、その分散効果を高めるために著しい流動化現象が現われると説明されている<sup>6)~8)</sup>。

本研究は、減水剤を用いたベースコンクリート（混和剤を遅れ添加する前のコンクリート）に流動化剤を遅れ添加して、コンクリートを高流動化する方法を確立する

ことを目的にしている。すなわち、硬練りコンクリートの配合 ( $s/a$  と単位水量を変化) と流動化剤（ポゾリス NP-10）の添加量とを実験条件に選び、流動化剤を遅れ添加して得られた高流動化コンクリートの諸性質を実験的に検討せんとするものである。

## 2 実験概要

### 2.1 使用材料

セメントは宇部興産社製の普通ポルトランドセメントを、粗骨材は砕石（最大寸法：20mm，比重：2.65）を、細骨材は海砂と砕砂を混合し土木学会基準の標準粒度範囲内に入るように粒度調整を施したもの（比重：2.59，F.M.：2.73）を、それぞれ使用した。

混和剤は、ベースコンクリートにはリグニンスルホン酸塩系減水剤（ポゾリス No. 8 IMP，略号 WR）を、遅れ添加用には高縮合芳香族スルホン酸塩系流動化剤（ポゾリス NP-10，略号 NP）を使用した。

### 2.2 コンクリートの配合

ベースコンクリートの配合を Table I に示す。配合条件は、全てのコンクリートでセメント量は一定、 $350\text{kg}/\text{m}^3$  粗骨材の最大寸法は 25mm，空気量の範囲を  $5.0 \pm 0.5\%$  とした。スランプと細骨材率  $s/a$  とは、①細骨材率を 38% と一定にして、スランプが 2.5, 5.0, 7.5, 10, 20cm とする、②スランプ 7.5cm と一定にして、 $s/a$  を 38, 41, 44, 47% に変化させる、の 2 種類の組合わせ

Table I Mix proportions of base concrete

Max. size of agg. (mm)	Slump (cm)	Air (%)	Water cement ratio W/C (%)	Fine agg. ratio $s/a$ (%)	Water W ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Cement C ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Aggregate ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )		Admixture
							Fine S	Coarse G	
25	2.5	5.0	41.1	38	144	350	685	1152	WR (pozz. No. 8 IMP) C×0.25%
	5.0		41.4		145		683	1140	
	7.5		44.0		154		614	1134	
	10.0		44.3		155		673	1124	
	20.0		50.6		177		653	1095	
	2.5		44.3	41	155		733	1059	
	7.5		45.7		160		728	1051	
	2.5		43.4	44	152		790	1009	
	7.5		46.9		164		776	992	
	2.5		44.0	47	154		842	953	
	7.5	46.9	164		829	939			

を考えた。これらの配合における単位水量は、所定のスランプになるよう試験さによって決定したものである。

### 2.3 試験項目

各試験の項目と実施時間を一括して Table II に示す。これらの試験はいずれも、JIS の規定あるいは凝結試験においては ASTM に規定されている試験方法に準じて行なった。

Table II Test program

Items of test	Base concrete			Plasticizing concrete			
	Sampling time (min.)						
	0	30	60 B*	0	30	60 B*	60 A**
Slump (JIS A 1101)	○	○	○	○	○	○	○
Air (JIS A 1118)	○		○	○			○
Bleeding (JIS A 1123)	○		○	○			○
Setting time (ASTM C 403)	○		○				○
Compressive strength*** (JIS A 1108)	○		○	○		○	○

\* before (pre-) addition of plasticizer (NP)

\*\* after (post-) addition of plasticizer

\*\*\* included D. M. E. (JIS A 1127)

### 2.4 試験方法

一回のコンクリートの練混ぜ量は 60ℓとし、試験は2バッチ連続して行なった。強制攪拌式ミキサー（容量 100ℓ）に、1バッチのコンクリートを練り上げるのに必要な粗骨材量、セメント量、細骨材量をこの順序で投入し、空練りを1分間行なった後、練混ぜ水を注入してから2分間の本練りを行なった。練混ぜを完了したコンクリートは、表面からの水分の蒸発を防ぐために湿布で覆い、Table II に示した試験を練混ぜ水が材料と接した瞬間から1時間経過するまで行なった。1時間経過したコンクリートに NP を所定量（200, 400, 600, 800 cc/C= 100kg）添加し、2分間練り直した。このようにして練り上げた高流動コンクリートについて所定の試験を行なった。

## 3 結果と考察

### 3.1 コンシステンシー（スランプ）

スランプの経時変化と NP の遅れ添加によるスランプの回復を、 $s/a$  一定のコンクリートおよび  $s/a$  を変化させたコンクリートの場合について示すと Figs. 1~4 のようになる。

i)  $s/a$  一定、コンシステンシー変化のコンクリート (Figs. 1, 2)

流動化剤 NP の遅れ添加によるスランプの回復量は、ベースコンクリートの初期スランプの大きさによってかなり異なることがわかる。すなわち、初期スランプが 2.5, 5.0, 7.5cm のコンクリートでは、NP の添加量が増加するとともにスランプの回復量はほぼ直線的に増大する。一方、初期スランプが 10, 20cm と大きくなるにつれて、スランプの回復量は頭打ちの傾向を示し、とくに初期スランプ 20cm のコンクリートでは、NP の量を増やしても最初のスランプ値まで回復しない。

なお、Fig. 2 より、NP を通常の使用量であるセメント 100kg 当り 500cc を遅れ添加すると、ベースコンクリートの配合のいかにかわらなく、7~10cm のスランプの回復が期待できることがわかる。

ii) コンシステンシー一定で  $s/a$  を変化させたコンクリート (Figs. 3, 4)

同一スランプのコンクリートにおいては、 $s/a$  の大きいコンクリートの方が、スランプの回復に及ぼす NP の効果がやや大きい。すなわち、 $s/a$  が 38% のコンクリートでは、NP 100cc 当りのスランプ回復量は約 2cm であるのに対して、 $s/a$  が 41, 44, 47% のものでは NP 100cc 当り約 3cm のスランプが回復する。

以上 i), ii) の結果より、ベースコンクリートの配合に見合った量の NP を遅れ添加することによって、スランプロスを大幅にかつ容易に回復することができる。しかし、NP の添加量が多過ぎると、コンクリートが材料分離を引き起すばかりでなく、他の性質（ブリージング、空気量、凝結、強度など）にも好ましくない影響が現われてくる。従って、スランプの回復やコンクリートの流動化だけを目的とする場合には、流動化剤 NP の添加量はセメント 100kg 当り 600cc が限度であると考え

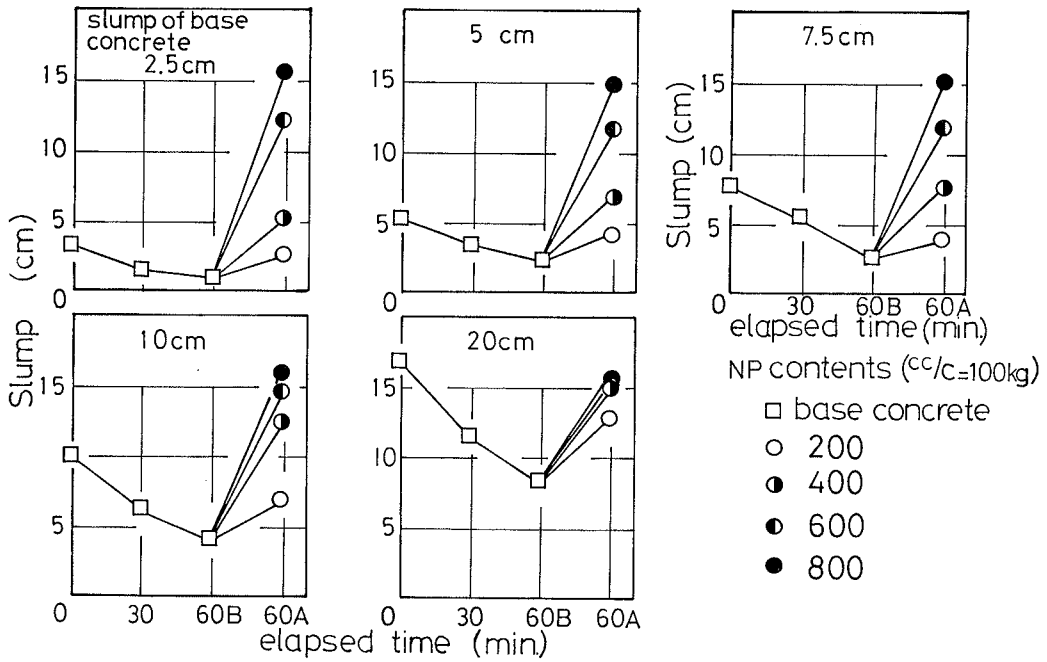


Fig. 1 Relationships between slump and elapsed time (constant s/a : 38%)

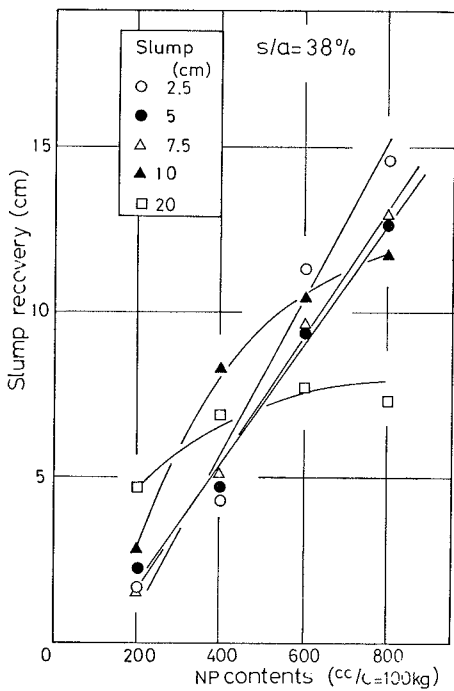


Fig. 2 Relationships between slump recovery (increase of slump due to addition of plasticizing agent) and NP contents

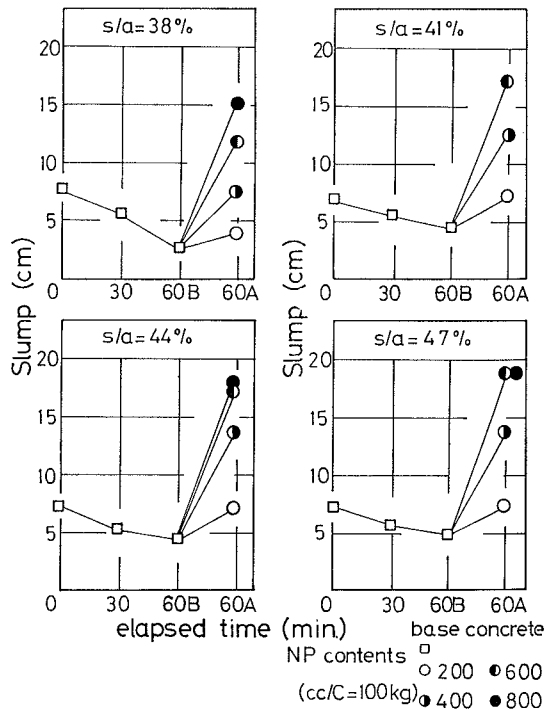


Fig. 3 Changes of slump and elapsed time

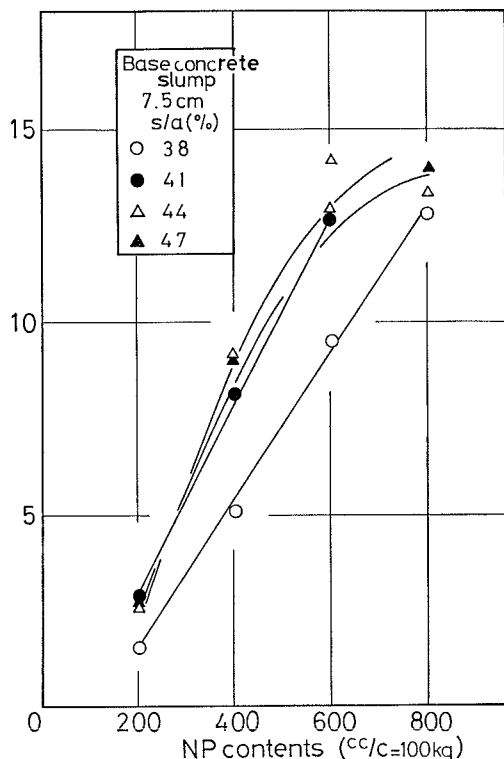


Fig. 4 Slump recovery and NP contents

られる。

### 3.2 空気量

空気量とNP添加量との関係を Fig. 5 に示す。

$s/a$  が一定 (38%) のコンクリートにおいては、ベースコンクリートの初期スランプの大きさにかかわらず、NP 添加量の増加とともに空気量は減少し、NP をセメント 100kg 当り 800cc 添加すると連行空気量は1%前後になる。

$s/a$  を大きく採ったコンクリートでは、NP を遅れ添加しても空気量の極端な低下は見られない。すなわち、 $s/a$  を大きく採ることによって、流動後においてもある程度の空気量を維持できることを示している。

流動化剤を遅れ添加してコンクリートを流動化すると空気量はある程度減少するが、コンシステンシーや粘性は大幅に増大するので、空気量の減少によるワーカビリテーの低減は完全に補なわれるものと考えられる。また、流動化後も空気量を維持するためには、ベースコンクリートの初期空気量を大き目に選びかつ  $s/a$  を大きく採ればよいことがわかる。

### 3.3 プリージング (Figs. 6, 7)

$s/a$  が一定でコンシステンシーを変化させたコンクリ

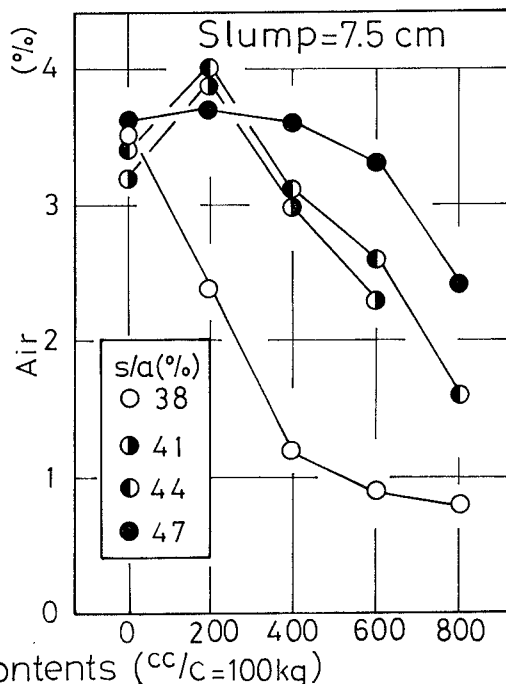
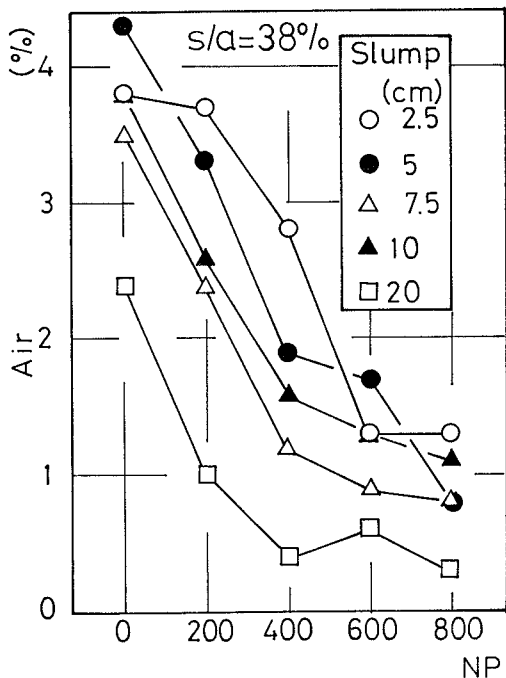


Fig. 5 Relationships between magnitudes of air and NP contents

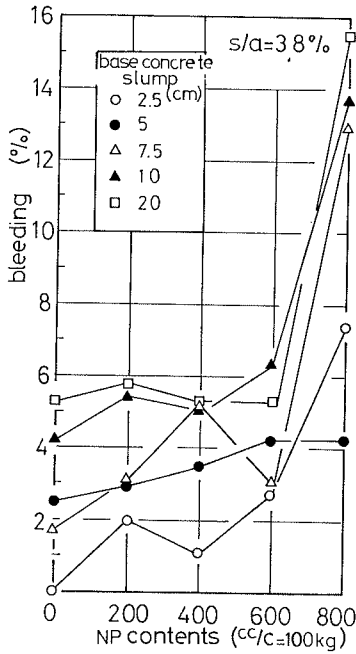


Fig. 6 Relationships between bleeding and NP contents

ート (Fig.6) では、NPの添加量を 100cc から 600cc まで増やしても、流動化後のブリーディングはあまり変わらず、ベースコンクリートのそれよりもやや大きい程度である。しかし、NP 添加量を 800cc にすると、ブリーディングは急激に増大し材料分離の傾向が顕著になる。

コンシステンシーが一定で  $s/a$  を変化させたコンクリート (Fig. 7) では、NP の添加量が 400cc までは、ベースコンクリートの配合 ( $s/a$  の違い) が異なってもブリーディングはほとんど変わらず、さらにベースコンクリートのそれとほぼ等しい。しかし、NP 添加量が 600cc になると、ブリーディングが大きく、かつ分離の傾向が認められるようになる。

以上の結果から、流動化剤の添加量がセメント 100kg 当たり 400cc までであれば、ベースコンクリートの  $s/a$  を変えても、ブリーディングにはほとんど影響を及ぼさないと断定できる。

### 3.4 凝結時間

Figs. 8, 9 は、高流化コンクリートの凝結(終結)時間を、ベースコンクリートの終結時間からの遅れで表わし

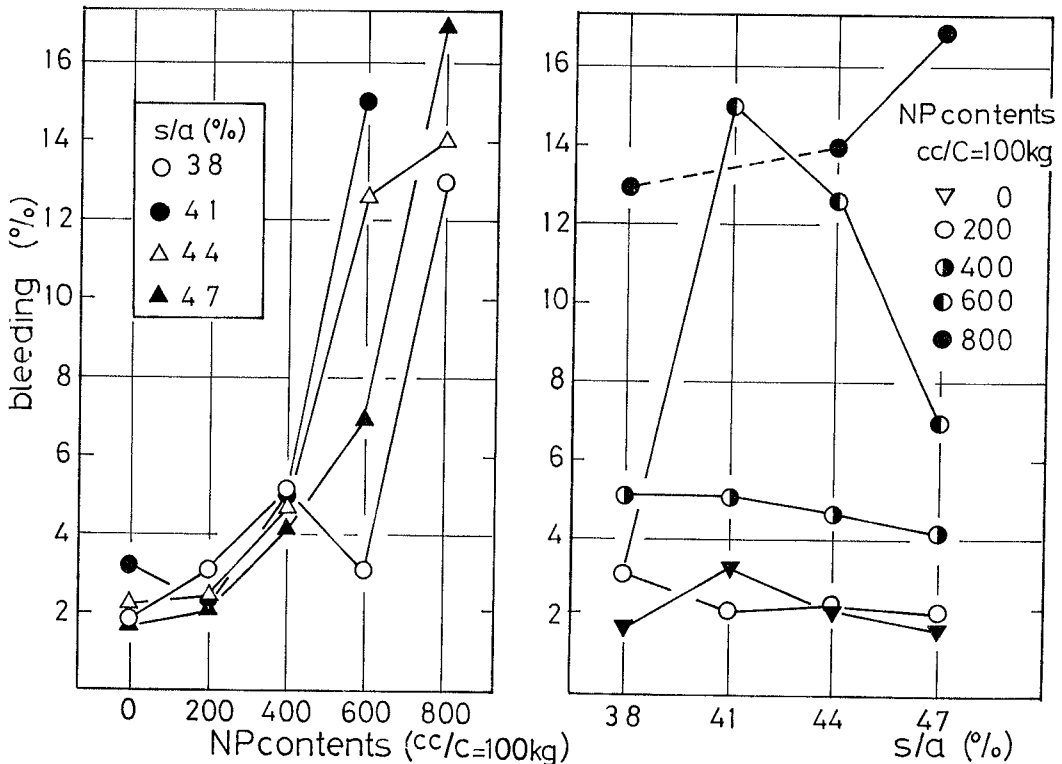


Fig. 7 Bleeding and NP contents,  $s/a$

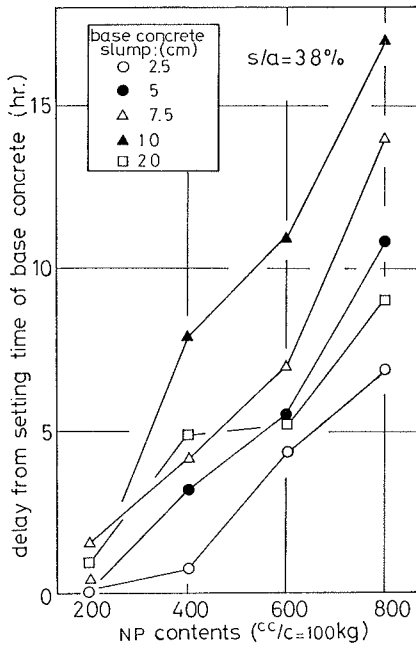


Fig. 8 Relationships between setting (final set) time and NP contents

たものである。

$s/a$  を 38% と一定にしたコンクリートの終結時間 (Fig. 8) は, NP の添加量を増加させるに従って大幅に遅れるが, コンシステンシーと凝結時間との間には明確な関係は見出されない。NP を 200cc 添加した場合の凝結時間は, 流動化コンクリートとベースコンクリートとでほとんど差が認められないので, 凝結時間が遅れる傾向は, ベースコンクリートの配合 (単位水量) の違いよりはむしろ NP の添加量の違いによるものである。

ベースコンクリートに用いた減水剤と流動化剤は, ともに凝結遅延性を有しない剤であるので, 本来凝結は遅延しない筈である。従って, NP と WR との間になんらかの化学的反応が起り, これがコンクリートの凝結を遅らせたものと予想される。

コンシステンシーを一定にして  $s/a$  を変化させたコンクリート (Fig. 9) では, ベースコンクリートの終結時間からの遅れは, NP の添加量が 600cc で 2 時間程度, 800cc で 3~5 時間と, 上述の  $s/a$  一定のコンクリートの場合とはその傾向を異にしている。すなわち,  $s/a$  を大きく選んだ場合には, NP の添加によって凝結

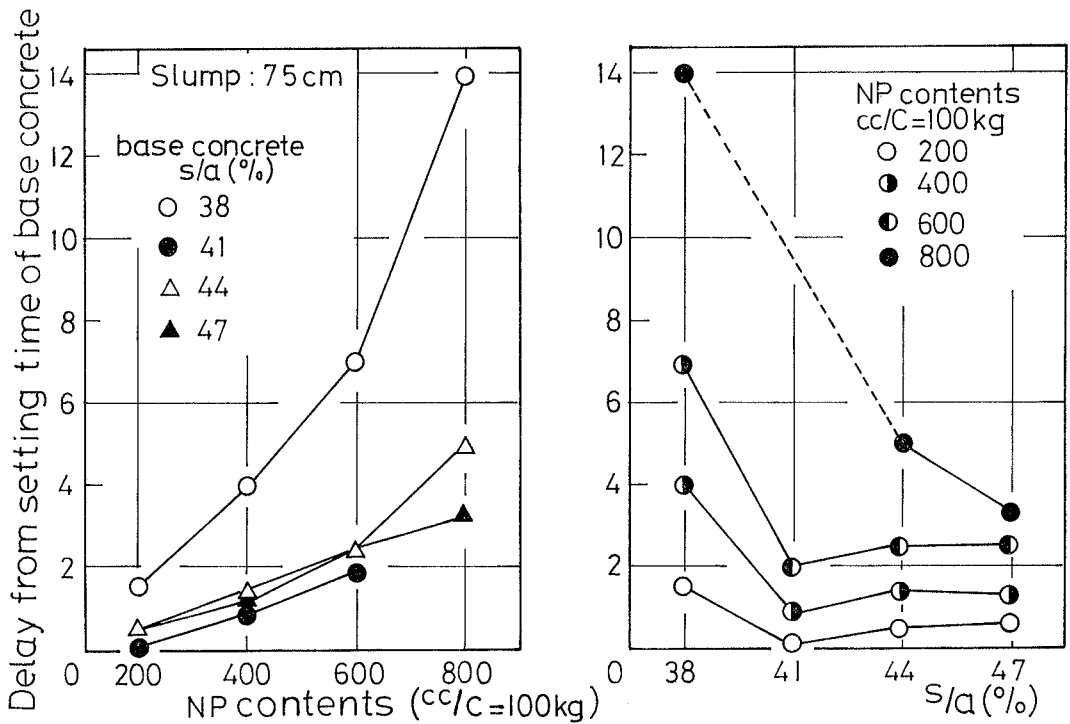


Fig. 9 Setting time and NP contents,  $s/a$

時間はやや遅れるものの、凝結の大幅な遅延は生じないことを示している。

この結果から、 $s/a$  の大きさが、NP を添加して得られる流動化コンクリートの凝結時間に著しい影響を及ぼすと考えることができる。

また、凝結の始発から終結までの時間は、NP を添加して凝結時間が大幅に遅れたコンクリートにも、2.0~2.5 時間でベースコンクリートのそれとほとんど変わらない。従って、たとえ凝結に遅れがあっても、コンクリートの硬化にはなんらの影響をも与えないと考えられる。

### 3.5 圧縮強度 (動弾性係数を含む)

コンクリートの圧縮強度、動弾性係数と NP 添加量との関係を Figs. 10~12 に、さらに NP 添加直前のベースコンクリートの強度、動弾性係数と添加後のコンクリート (流動化コンクリート) のそれらとの関係を Figs. 13~16 に示す。

i)  $s/a$  一定、コンシステンシー変化のコンクリート (Figs. 10, 13, 14)

Fig. 10 より、いずれのベースコンクリートに NP を添加しても、セメント 100kg 当り 600cc までは強度の低下は見られないが、添加量が 800cc になると強度は極端に小さくなる。これは、NP の添加量が過大で材料分離を起したためで、強度の点から考えれば、NP の添加量はベースコンクリートの配合にかかわらず 600cc

が限度であると考えられる。また、初期スランプが 2.5cm, 5cm, 7.5cm のコンクリートでは NP 添加量が 600cc まで、10cm では 400cc までは、ベースコンクリートよりも強度が増加している。これは、この剤の分散効果が有効に発揮されたためで、この分散性は単位水量の小さいコンクリートほど有効であると考えられる。

なお、これら圧縮強度と同様の傾向は、初期スランプ 20cm のコンクリートを除き、動弾性係数にも見られた。

Fig. 13 より、NP 添加直前の強度と流動化コンクリートの強度とがよく対応し、さらに添加量 800cc の場合を除けば、NP を添加しても強度減をきたさないことがわかる。なお、図中の破線は、NP 添加直前と流動化コンクリートの強度との 1対1対応を、実線は D I N の規定「流動化後のコンクリートの圧縮強度は、流動化剤添加直前のコンクリートの圧縮強度の 90% を下まわってはならない」に基づいた限界をそれぞれ示している。

ii) コンシステンシー一定、 $s/a$  変化のコンクリート (Figs. 11, 12, 15, 16)

Fig. 11 より、NP の添加量が 600cc までは、 $s/a$  が異なっても、流動化コンクリートの強度はベースコンクリートのそれと同程度かあるいはやや大きく現われている。さらに、 $s/a$  が 44, 47% においては、NP を 800cc 添加しても強度減は現われない。また、Fig. 15 より、流動化剤添加前のコンクリート強度の 90% を下まわる

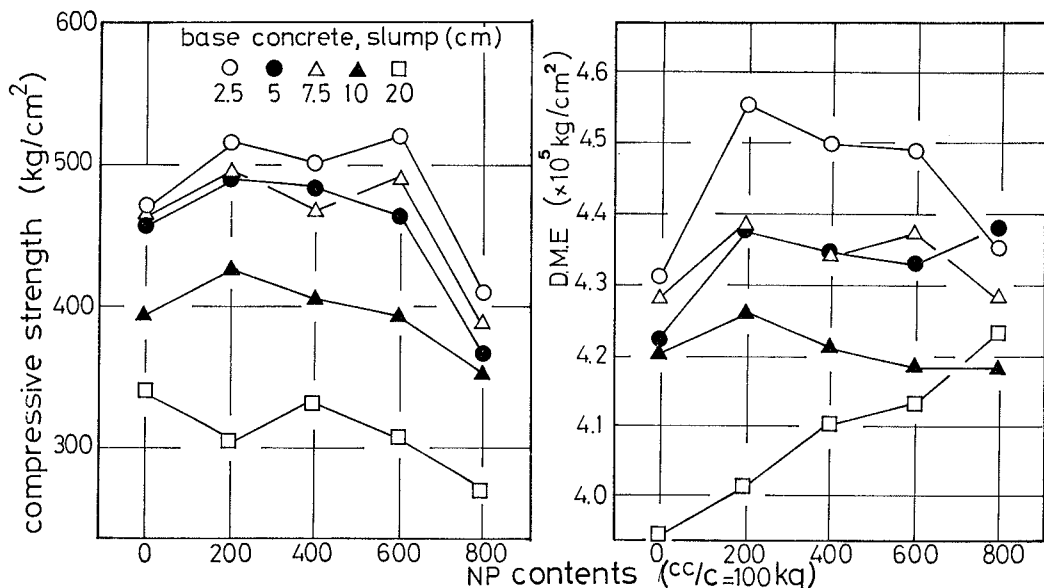


Fig. 10 Relationships between compressive strength, D. M. E. and NP contents ( $s/a=38%$ )



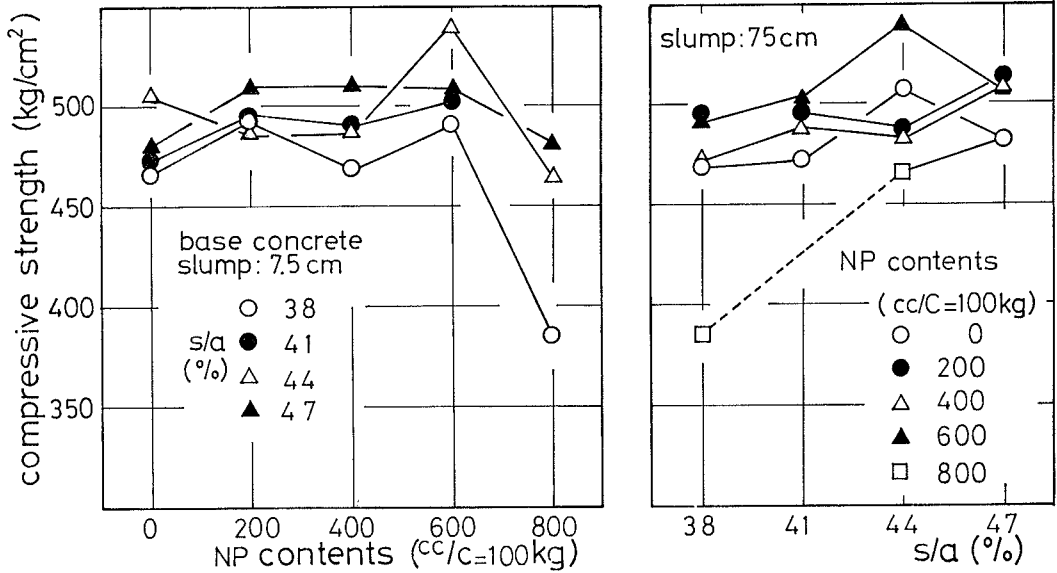


Fig. 11 Compressive strength of various plasticizing concrete

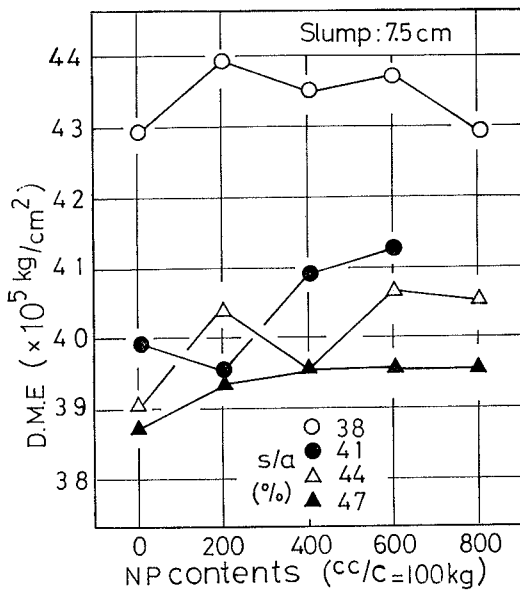


Fig. 12 Relationships between dynamic modulus of elasticity (D. M. E) and NP contents

ものは、s/a が 38% と NP 添加量 800cc との組み合わせの場合だけである。

これらの事実から、強度だけを考えれば、s/a を大き

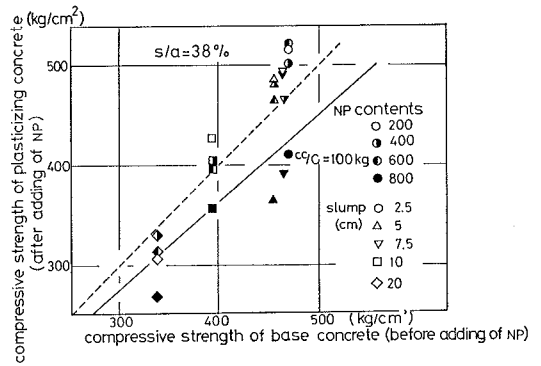


Fig. 13 Comparison of compressive strength (constant s/a : 38%)

く選ぶと流動化剤の使用の限度を大きくすることができるものと推察される。

なお、強度と同様の傾向が動弾性係数でも認められる。

以上の結果をまとめると、同一のコンシステンシーのコンクリートにおいては、s/a を大きく選んだ場合の方が、強度はやや大きく発現している。しかし、この強度増の程度は極く僅かであるので、強度の面だけを見ると、流動化コンクリートにおいても s/a をとくに大きく選ぶ必要はないものと思われる。

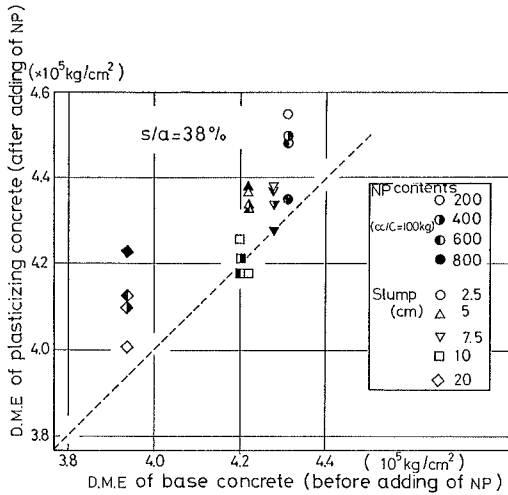


Fig. 14 Comparison of D. M. E (constant  $s/a = 38\%$ )

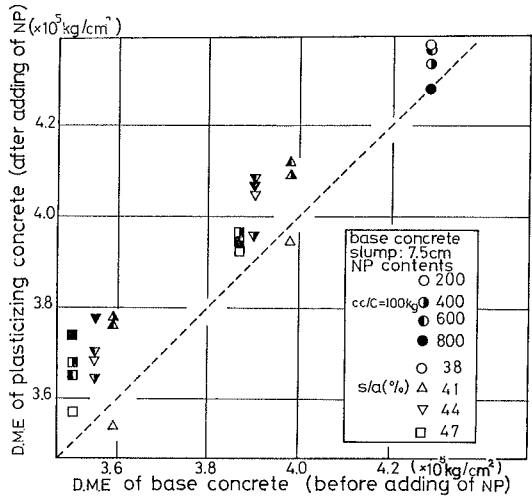


Fig. 16 Comparison of D. M. E (constant slump = 7.5cm)

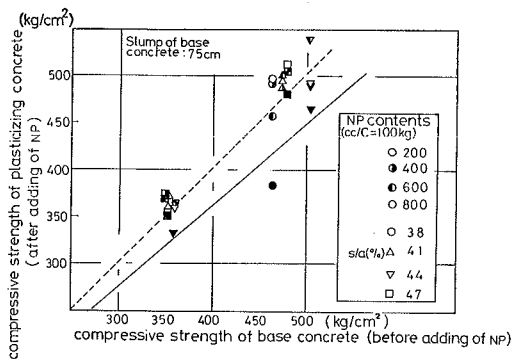


Fig. 15 Comparison of compressive strength (constant slump = 7.5cm)

#### 4 結 び

本研究は、混和剤の遅れ添加による高流動化コンクリートに関する研究の一環として、コンクリートの配合 ( $s/a$  を一定にしてコンシステンシーを変化したコンクリート、及びコンシステンシーを一定にして  $s/a$  を変化したコンクリート) と流動化剤 (ポゾリス NP-10) の添加量とを実験条件に選び、高流動化したコンクリートの諸性質を実験的に検討したものである。

得られた結果を以下に列挙し、本論文のまとめとする。

(1) 硬練りのベースコンクリートに流動化剤 (NP) を遅れ添加してコンシステンシーの回復あるいは向上を図る場合、スランプ増は NP の添加量 100cc (セメン

ト100kg 当り) 当り 2.0~2.5cm になる。このコンシステンシーの改善、つまりコンクリートの高流動化は、主として流動化剤の添加量に支配される。

(2) ベースコンクリートのコンシステンシーが大きい (軟練りコンクリート) 場合、NP の添加量を増やしてもそれに見合っただけのスランプ増が得られず、流動化にはおのずから限界がある。

(3) 流動化コンクリートの空気量は、ベースコンクリートの  $s/a$  によってかなり異なる。従って、耐久性の見地からベースコンクリートと同程度の空気量を得たい場合には、ベースコンクリートの空気量を多目に連行し、かつ  $s/a$  を大きく採る必要がある。

(4) 流動化コンクリートのブリージングは、NP の添加量が 600cc まででは、配合とは無関係に、ベースコンクリートのブリージングと同程度である。従って、コンクリートを流動化することによって、ブリージングを増減させることなしに施工性を大幅に改善できる。

(5) 凝結 (終結) 時間は、 $s/a$  の小さいコンクリートでは NP の添加によって流動化すると凝結遅延の現象が現われるが、 $s/a$  の大きいコンクリートではこの現象がほとんど現われなかった。

以上、本実験から得られた結果をもとにして、流動化剤 NP の適当な使用量を考えてみよう。

NP の使用限界量の概要を Table III に示す。

表からもわかるように、 $s/a$  をやや大き目に採るだけで土木用として一般に使用されている硬練りコンクリー

Table III Limit contents of plasticizing agent (NP)

s/a (%)	Slump (cm)	NP contents (cc/C=100kg)			
		200	400	600	800
38	2.5	○	○	○	×
	5.0	○	○	○	×
	7.5	○	○	△	×
	10.0	○	○	×	×
	20.0	○	△	×	×
38	7.5	○	○	△	×
41		○	○	△	×
44		○	○	△	×
47		○	○	○	×
38		○	○	○	×
41		○	○	△ 500	×
44		○	○	○	×
47	○	○	○	×	

State of fresh concrete ○ good  
 △ limit of non-segregation  
 × segregation

トの流動化にも、NPが十分その効果を発揮できるものと考えられる。しかし、低 s/a のコンクリートでは、NPを添加すると材料の分離、殊に水の分離が起り易く、真の流動化が持たられざるとは云い難い現象が見られる。従って、低 s/a のコンクリートの場合、流動化剤の使用量はおのずから減らざるを得ないことになり、流動化というよりはむしろスランプの回復・復元の効果しか期待できなくなるであろう。また、低 s/a のコンクリートに流動化剤を用いることは、ベースコンクリートの単位水量を減じたり、剤を添加した後の全水量を減じて、強度や耐久性の向上、乾燥収縮の減少など硬化コンクリートの性質を改善する上で、意義があると考えられる。

いずれにしても、流動化剤を用いて硬練りコンクリートを効果的に流動化するには、ベースコンクリートの s/a をやや大きく選んでおく必要がある。

得られた結果は、実際のコンクリート、とくにレデーミクストコンクリートの打設現場で容易に応用し、かつ実用化できるものと思われるが、今後は現場実験を行なって、流動化コンクリートの一般的性質を確認し、その認識を高めて行き度いと考えている。

終りに、本研究を実施するに当り終始御協力を賜った土木工学科材料研究室並びに日曹マスタービルダーズKK中央研究室の諸氏に対し感謝の意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 岸谷孝一，暑中コンクリートのスランプ低下防止方法に関する研究，セメント・コンクリート，No. 340, June, 1975
- 2) 服部，山川，東，飯塚，流動コンクリート，セメント・コンクリート，No. 357, Nov., 1976
- 3) 嵩，池田，高性能減水剤の遅延添加による高流動コンクリート，セメント・コンクリート，No. 359, Jan., 1977
- 4) 児玉，中川，御所窪，減水剤の新しい使用方法について——コンクリートのスランプ低下の防止，復元と高流動化および減水性の向上について——，材料，第26巻，Nov., 1977
- 5) 西林，井上，植田，重広，コンクリート用化学混和剤の新しい利用法に関する研究——遅れ添加したコンクリートの性質について——，鳥取大学工学部研究報告，Vol. 8, No. 1, Sept., 1977
- 6) 西林新蔵，混和材料(1)，(2)，コンクリート工学，Vol. 16, No. 10, 11, Oct., Nov., 1978
- 7) 服部健一，特殊減水剤の物性と高強度発現機構，コンクリート工学，Vol. 14, No. 3, Mar., 1976
- 8) 西林，井上，林，植田，高流動化コンクリートに関する研究，鳥取大学工学部研究報告，Vol. 9, No. 1, Sept., 1978