

高流動化コンクリートに関する研究

西林 新蔵*・井上 正一*・林 昭富*・植田 純一*

(1978年5月31日受理)

A Study on the Plasticized Concrete

Shinzo NISHIBAYASHI*, Shoichi INOUE*, Akitomi HAYASHI* and Junichi UEDA*

(Received 31st of May, 1978)

Admixture are generally defined as materials other than cement, aggregates, and water that are used as components for concrete. The chemical admixture for concrete are used to improve the workability of fresh concrete, increase the compressive strength and durability of hardened concrete, and to improve other physical properties. Thus, the admixture is gaining now a significant position as the fourth ingredient for concrete.

Customarily, these admixture are dissolved in water first, and then added to the other materials prior to or the same time the beginning of the concrete mixing.

As the results of many tests, it was found that the water reducing action and effectiveness of the admixture can be greatly enhanced by purposely changing the timing of admixture addition to the concrete mix.

In this study, in order to produce flowing (plastisizing) concrete and to improve the water reducing action of admixture, the plastisizing concrete produced by the delayed addition of several kinds of admixture are considered. In this case, dosage of admixtures is added at very short delayed time such as only 30, 45, 60 and 120 second, into the play concrete mix.

For the mixed concrete, slump, bleeding, setting time (penetration resistance), entrained air content, bulk density, compressive strength and dynamic modulus of elasticity are studied experimentally. From the experimental results, it seems that the high quality concrete can be achieved economically without any derogatory effects on the final products when the suitable admixture is used with the appropriate procedure.

1 はじめに

一般にコンクリートは、練混ぜ後の時間の経過とともにスランプ試験で評価されるコンシステンシーは小さくなる。このことは AE 剤や減水剤などワーカビリティを改善するのに効果のある化学混和剤を混入したコンクリートについてもいえることである。とくに、高温時に

施工される暑中コンクリートにおいては、温度の影響を強く受けてコンシステンシーの低下が著しく、水分の蒸発による初期ひび割れの発生、コールドジョイントの形成など種々の問題が生じてくる。これらの問題に対処するための一つの方策に、コンクリートの凝結・硬化時間を遅延する特性をもっている遅延剤や遅延型減水剤が有

* 土木工学科 Department of Civil Engineering

効に利用されている。しかしながら、このような凝結時間を遅らせたコンクリートでも、運搬にともなうスランプロスの問題を完全に解消することはできない¹⁾。このため、高温時に製造し施工されるコンクリートに対する減水剤の合理的な使用方法の研究、あるいは、ワーカビリティの改善を主目的とした混和剤の開発が実用的に極めて重要となってくるのである。

化学混和剤は一般に混合用水とともに使用されているが、剤の添加時期を適当にコントロールすること、いわゆる遅れ添加することによって、コンシステンシーの低下をある程度まで回復・復元できることが知られている。このことは建築用の軟練りコンクリートを対象とした研究で確認されている²⁾³⁾⁴⁾。土木工事に用いられているような硬練りコンクリートにおいても、水セメント比を変えることなく現場で適当な軟らかさのコンクリートが施工できれば、施工性の面から多大のメリットが期待できるものと考えられる。しかし、一般の土木工事に用いられているような硬練りコンクリートの場合に、剤を遅れ添加することによってどのような効果が期待できるかは依然として明確にされていないのが現状である。

減水剤を通常の添加時期（練混ぜ水に混合、以下同時添加と称する）よりもやや遅らせて添加する（以下時間差添加と称する）と、その分散効果（減水効果）がさらに向上することが知られている⁵⁾。この時間差添加による減水効果向上のメカニズムについて、以下簡単に説明を加えることにする。

減水剤は表面活性剤の一種で、その活性作用のうち分散作用が優れたものである。水溶液中においてこの剤はイオン化傾向を示し、疎水性の活性部がセメント粒子表面に吸着しセメント凝集体（塊）を壊して、セメント粒子を均一に分散させ、さらに凝集体中に取込まれていた水や空気を離脱させることによって、より大きい流動性をもったセメントペーストを作ることができる。減水剤の主成分として最もよく利用されているリグニンスルホン酸カルシウム水溶液を C_3S と C_2S の 2 水硬性化合物から成るセメントに添加すると、剤がセメント粒子に吸着して表面を被覆してしまうためにそれ以降の水和を阻止し、数日ないし数十日たっても硬化しない。そこに C_3A が存在すると、 C_3A と水との水和反応によって複塩が生成し、これが水和の進行を阻止していたリグニンスルホン酸カルシウムの被膜を取除き、 C_3S と C_2S の水和は再び開始してセメントペーストは硬化する⁶⁾。

この C_3A の反応は注水後 1～2 分でほぼ終息してしまうことが知られている。そこで減水剤を注水後 2 分以内に時間差添加すると、時間差の長さに応じて反応にあずかる C_3A の量が次第に減って行くので、極く初期の凝結が起こらず流動性が増すものとも考えられている。さらに、同時添加の場合は水と一緒に減水剤もセメント粒子に吸着するが、時間差添加では剤がセメント粒子と水との極く初期の水和生成物に吸着することになる。したがって、同一添加量レベルでは、時間差添加の方が同時添加よりも練混ぜ水中に残存する減水剤の量が相対的に多くなり、そのため流動性が増加するとの説もある⁷⁾。

以上述べたことから、大きなコンシステンシーのコンクリートを作ることだけを目的とする場合には、理論的には分散作用を有する減水剤の添加時期を練混ぜ水と一緒に用いるのではなく、剤を単独に添加し、しかもその添加時期を遅らせるだけで容易に得られることがわかる。このような減水剤の時間差添加の効果を実際のコンクリートに応用すると、スランプ一定の条件では、単位水量の大幅な減少とそれにとまらぬセメント効率の増大、強度一定の条件の場合には、同一水量でより大きいコンシステンシーのコンクリートを容易に作る事が可能になる。

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、時間差添加の問題を切り上げ、硬練りコンクリートの高流動化、減水剤の減水効果の向上について実験的に検討し、化学混和剤の新しい利用法の確立を図ることを目的として計画したものである。

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、粗骨材は碎石（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標準粒度範囲内に入るように粒度調整したもの（比重 2.59，F.M. : 2.73）をそれぞれ使用した。

混和剤には、リグニンスルホン酸塩系減水剤遅延型（ポゾリス No.8 略号 WR-N），同系の AE 減水剤遅延型（ポゾリス No.8A，略号 WR-A），ポリオール系高強度用減水剤（ポゾリス NL-4000，略号 NL），高縮合芳香族スルホン酸塩系流動化剤（NP-10，NP-20）

及び AE 剤 (ピンゾール, 略号 AE) を使用した。

2.2 コンクリートの配合

使用したコンクリートの示方配合を Table I に示す。配合条件は, 土木用コンクリートとして最も使用頻度が高いと考えられるものを想定し, 単位セメント量を 350kg/m³ と一定に選び, スランプを 5.5±1cm とし, 細骨材率 (s/a) はプレーンコンクリート (混和剤無添

加) の 40% を基準にとって, 混和剤を添加するコンクリートに対しては空気量の増加にともなって細骨材率の補正を施した。これらの配合における単位水量は, 所定のスランプ (7.5 ± 1cm) になるように試し練りによって決定した。

この配合とは別に, 混和剤の時間差添加による減水効果を考慮して単位水量をあらかじめ減じておき, 混和剤

Table I Mix proportions of plastisizing concrete

	Max. size of agg. (mm)	Slump (cm)	Air (%)	Water cement ratio W/C (%)	Fine agg. ratio s/a (%)	Water W (kg/m ³)	Cement C (kg/m ³)	Aggregate (kg/m ³)		Admixture
								fine S	coarse G	
AE	20	7.5±1	5	47.7	38	167	350	661	1112	20g/m ³
WR-N	20	7.5±1	5	42.8	38	150	350	678	1141	C×0.25%
WR-A	20	7.5±1	5	42.3	38	148	350	680	1144	C×0.25%
NL	20	7.5±1	1	44.3	42	155	350	788	1121	3000cc/C100kg
NP-10	20	7.5±1	1	44.9	38	157	350	711	1195	500cc/C100kg
NP-20	20	7.5±1	1	47.1	38	165	350	703	1182	1000cc/C100kg
PL	20	7.5±1	2.5	51.1	40	179	350	710	1080	—

Table II Plans of test

Classifications of concrete	Items of test	Properties of concrete produced by C-method(*)							Properties of concrete produced by L-method(*)						
		0*	30	60	90	120	150	180	0*	30	60	90	120	150	180
C-method(**) concrete	Slump	○	○	○	○	○	○	○							
	Air	○		○		○		○							
	Bleeding	○		○		○		○							
	Setting time	○													
L-method concrete(***)	Slump								○	○	○	○	○	○	○
	Air								○		○		○		○
	Bleeding								○		○		○		○
	Setting time								○						

(*) Elapsed time of after mix (min.)

(**) Admixture is added into the mixer at initial mixing

(***) Admixture is added into the mixer at delayed time (30, 45, 60, 120sec. after initial mixing)

を添加した後にスランプが $7.5 \pm 1\text{cm}$ となるような配合も選んだ。なお、混和剤はいずれも溶液で使ったので、単位水量が一定となるよう溶液分を使用水量から差し引いた。

2.3 試験項目

各試験項目とその測定時間を一括して **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。

2.4 試験方法

混和剤を練混ぜ水と一緒に注入する方法（以下 C 法と記す）と、まず練混ぜ水を注入し練混ぜを開始してから 30秒、45秒、60秒、120秒 遅らせて混和剤を添加する方法（以下、それぞれ L-30、L-45、L-60、L-120 法と記す）で得られるフレッシュコンクリートの試料を、練混ぜ後所定の時間が経過してから採取し、**Table II** に示した試験を行なった。

一回のコンクリートの練混ぜ量は 105ℓ とした。強制攪拌式ミキサーに、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、細骨材量をこの順に投入し、空練りを1分間行ない、練混ぜ水を注入してから2分間、さらに L 法の場合は混和剤を時間差添加してから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触した瞬間から3時間が経過するまで行なった。

3 結果と考察

3.1 スランプ（コンシステンシー）

各種コンクリートのスランプの経時変化を **Fig. 1** に示す。

AE では、練混ぜ直後のスランプは添加時間差が長くなるにしたがって大きくなり、C 法に比べると、単位水量が一定の場合 L-30 で 2.1cm 、L-45 で 3.8cm 、L-60 で 3.3cm 、L-120 で 4.5cm のスランプ増が得られた。練混ぜ後1時間および2時間経過したコンクリートのスランプ低下率は、C 法では40%、60%であるのに対して、L 法では45%~65%、72%~85%となり、L 法の方がスランプ低下率はやや大きい。しかし、練混ぜ後3時間経過すると、いずれのコンクリートのスランプ低下率も88%~96%となり、時間差添加による差はほとんど

認められなくなる。NL では、この混和剤の特徴でもあるが練混ぜ直後の材料分離が大きく一種の偽凝結を起こすため、スランプに及ぼす時間差添加の影響を明確にすることはできなかった。WR-N では、練混ぜ直後のスランプの値は、通常の添加方法の場合のスランプ値に対して、それぞれ L-30 で 0.9cm 、L-45 で 2.3cm 、L-60 で 2.8cm 、L-120 で 2.8cm のスランプ増が得られた。AE 減水剤の WR-A の場合には、L-30 で 0.5cm 、L-45 で 1.6cm 、L-60 で 1.8cm 、L-120 で 1.9cm のスランプ増で、これは WR-N の値よりもやや小さい値である。このことより、添加時間差が60秒まででは時間差にほぼ比例してコンシステンシー、いい換えると減水性は向上するが、それ以降では減水率はほとんど変わらず、減水率を大きくする時間差にはある限界があるものと考えられる。NP-10 では、練混ぜ直後のスランプの現われ方と添加時間差との間にはっきりとした規則性がみられなかった。NP-20 では、練混ぜ直後のスランプは通常の添加方法に比べ、L-30 で 1.3cm 、L-45 で 3.8cm 、L-60 で 4.0cm 、L-120 で 3.9cm のスランプ増が得られた。このことより、この剤を時間差添加に用いる場合には、45秒以上の時間差をおいてやらないと流動性を向上させる効果が現われないものと思われる。

つぎに、各種コンクリートの減水率（減水向上率）を一括して **Table III** に示す。

なお、**Table III** に示す減水性向上率は次式で求めたものである。

$$\text{減水性向上率}(\%) = (W_N - W_R) / W_N \times 100$$

W_N : 通常の添加方法の場合の単位水量

W_R : 時間差添加方法において、通常の添加方法の場合と同一スランプを得るのに要する単位単量

Table III によると、AE では、添加時間差が大きくなるにつれて減水率も大きくなり L-120 では約 5.4% の向上率となっている。つまり、同一コンシステンシーを得るために必要な単位水量を時間差添加による減水向上率に見合った分だけ減じることができる。WR-系では、添加時間差が60秒までは時間差が大きくなるにつれて減水率も向上するが、それ以上の時間差になると減水率はほぼ一定となる。AE と WR-系との減水性向上率の違いは、それぞれの混和剤の減水機構が異なるためと思われる。NL では、添加時間差とともに減水率は向上しているが、明確な傾向はみられない。NP-10 では、添

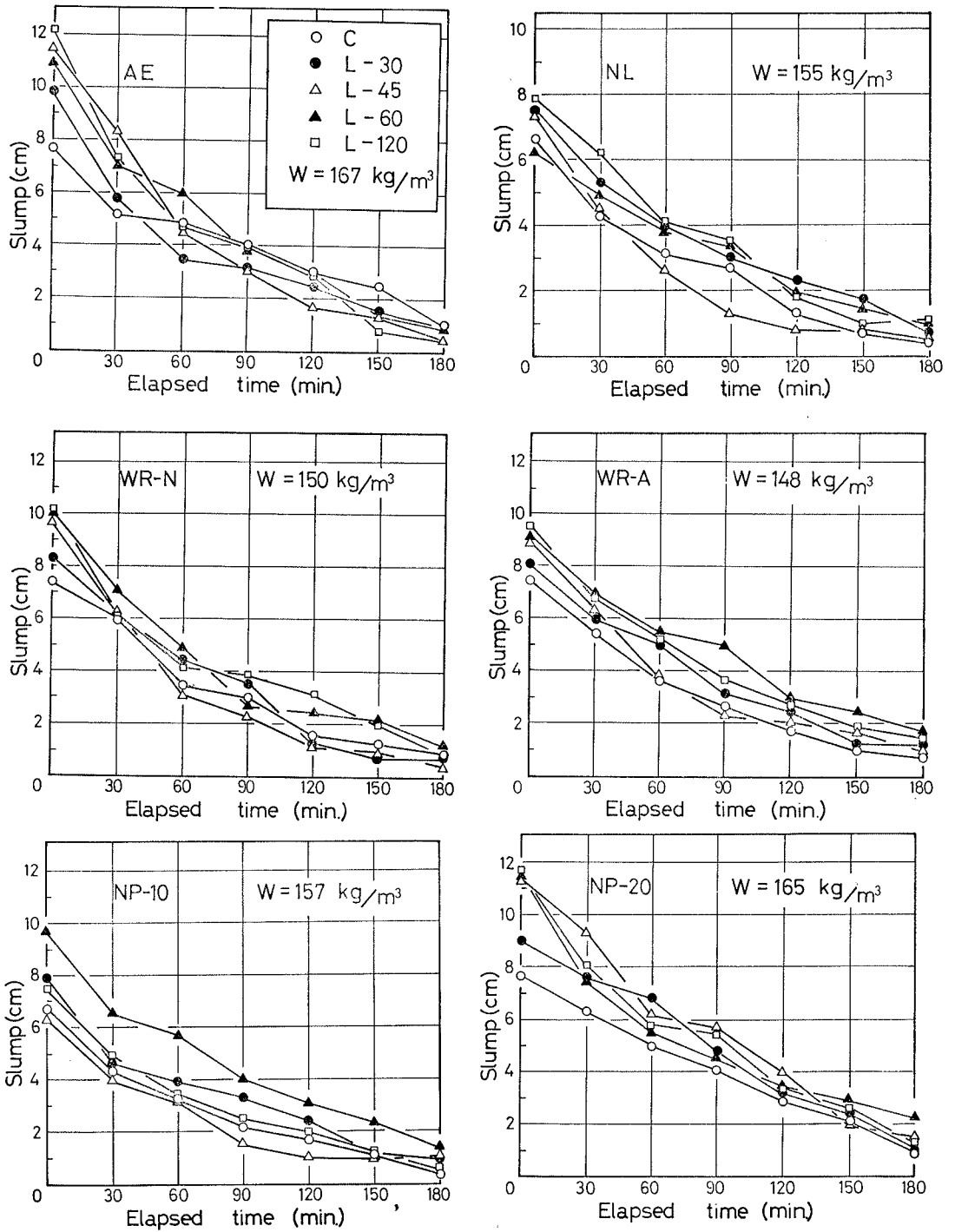


Fig. 1 Relationships between slump and elapsed time

Table III Percent of water reducing

	Effectiveness of water reducing (%)				
	C	L-30	L-45	L-60	L-120
AE	167	163	161	160	158
	6.7	8.9(2.4)	10.1(3.6)	10.6(4.2)	11.7(5.4)
WR-N	150	148	146	145	145
	16.2	17.3(1.3)	18.4(2.7)	19.0(3.3)	19.0(3.3)
WR-A	148	147	144	143	143
	17.3	17.9(0.7)	19.6(2.7)	20.1(3.4)	20.1(3.4)
NL	155	151	150	149	147
	13.4	15.6(2.6)	16.2(3.3)	16.8(3.9)	17.9(5.2)
NP-10	157	—	—	—	—
	12.3	12.3(0)	12.3(0)	15.0(2.4)	12.3(0)
NP-20	165	—	—	—	—
	7.8	9.8(1.8)	12.3(4.8)	12.3(4.8)	12.3(4.8)

加時間差による減水率の変化はみられない。一方、NP-20では、添加時間差が45秒までは減水率は向上するが、それ以降の変化はみられない。なお、NP-10、NP-20については、スランプの実測値から計算により減水率を求めた。

3.2 凝結試験

凝結試験の結果を Table IV に示す。

水セメント比が一定の場合、AE、NP-10、NP-20においては添加時間差の影響は認められなかった。一方、NLでは、添加時間差が大きくなるにしたがって始発、終結とも遅くなる傾向がみられた。このNLは凝結遅延型ではないが、C法ではAEと同じ傾向を示すのに対し、L法では凝結遅延の傾向が現われるという非常に興味のある現象を示した。WR-系では、時間差の大きいL-120の場合に、C法よりも凝結時間が短く、かつ始発と終結との差も小さくなったが、時間差の小さいL-30、L-45においては逆にC法よりも凝結時間が長く、かつ始発と終結との差も大きくなる傾向が認められた。

3.3 ブリージング

ブリージングと経過時間との関係を Fig. 2 に示す。AEでは、時間差添加によってブリージング率はほとん

ど影響を受けないが、ブリージングの継続時間は添加時間差が大きくなるにしたがって長くなる傾向がみられた。NLでは、時間差添加のブリージングに及ぼす影響はほとんどないものと思われる。WR-系では、時間差添加の方がブリージングが小さくなり、かつブリージング継続時間も長くなる。このことより、施工性の観点から考えると、WR-系の減水剤を時間差添加すると、大きなコンシステンシー、適度なブリージングとその継続時間が得られ、とくに表面仕上げの容易さ（フィニッシュビリチー）の点から有益であると思われる。NP-10、NP-20では、練混ぜ直後に採取した試料のブリージング継続時間は非常に短く、採取時間が遅くなるにつれブリージングは低下し、継続時間も長くなるが時間差添加の影響はほとんどないものと思われる。

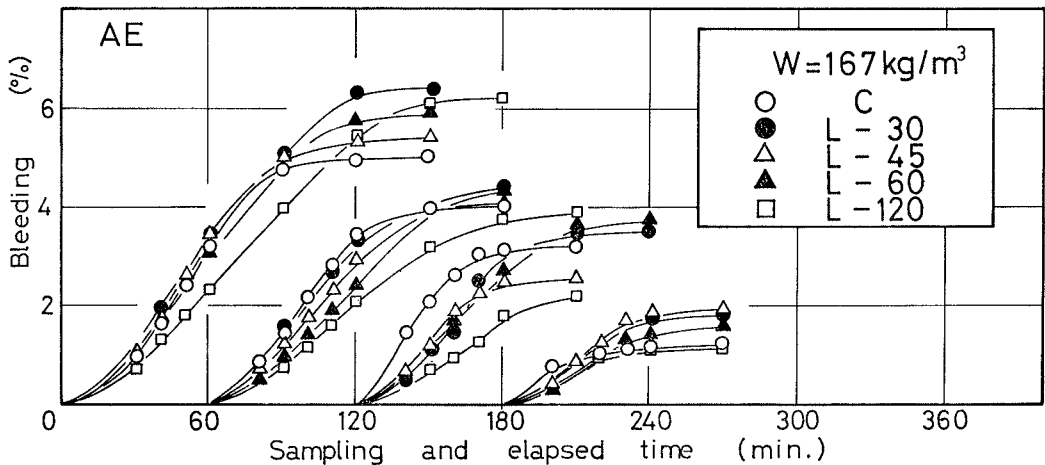
3.4 圧縮強度（動弾性係数を含む）

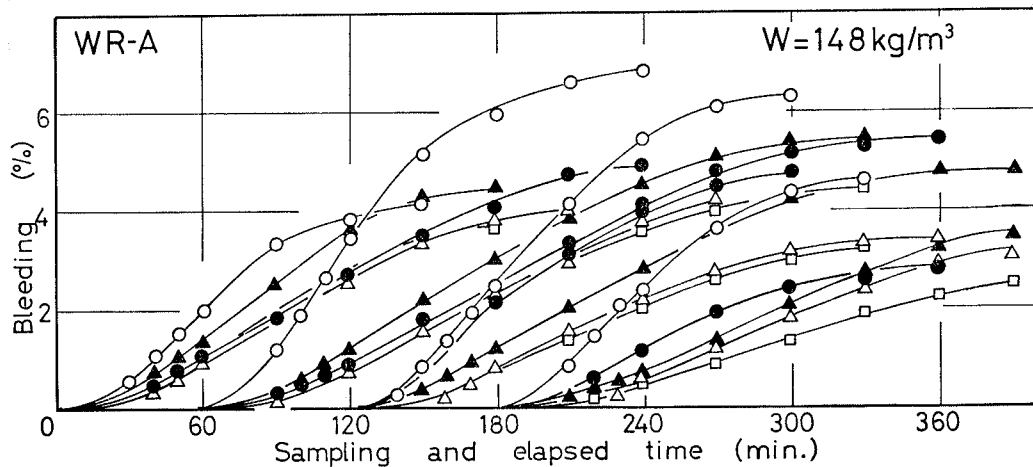
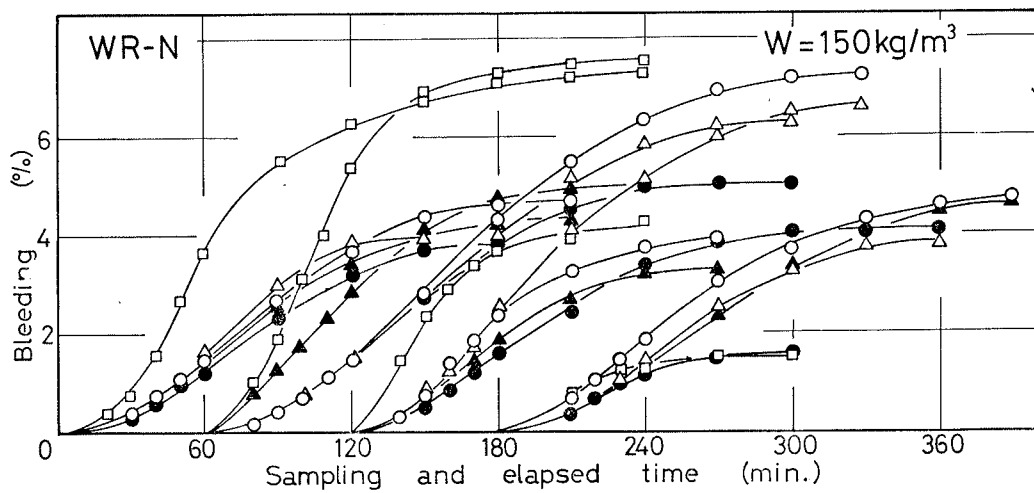
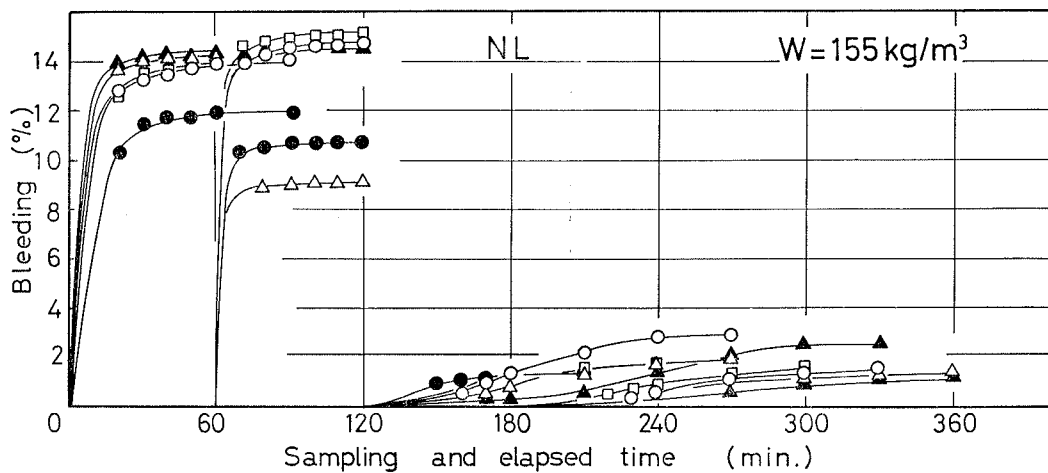
材令28日における圧縮強度試験の結果および動弾性係数の測定結果を Fig. 3 に示す。なお、動弾性係数と圧縮強度との間には直線関係が認められているので、ここでは主として圧縮強度について考察を加えることにする。

各種混和剤の時間差添加による強度の発現状況を考察

Table IV Setting time

Admixture	Water content (kg/m ³)	Delayed time (sec)	Initial setting (h-m)	Final setting (h-m)	Difference between initial and final setting (h-m)
AE	167	0	5 - 03	6 - 58	1 - 55
		30	4 - 56	6 - 55	1 - 59
		45	4 - 59	7 - 03	2 - 04
		60	4 - 59	7 - 04	2 - 05
		120	5 - 17	7 - 04	1 - 47
NL	155	0	5 - 21	6 - 54	1 - 33
		30	6 - 15	7 - 47	1 - 32
		45	7 - 30	9 - 32	2 - 02
		60	6 - 53	8 - 53	2 - 00
		120	6 - 44	9 - 10	2 - 26
WR-N	150	0	13 - 11	15 - 51	2 - 40
		30	14 - 59	17 - 36	2 - 37
		45	14 - 23	17 - 14	2 - 51
		60	13 - 14	15 - 37	2 - 23
		120	10 - 48	12 - 53	2 - 05
WR-A	148	0	11 - 38	14 - 06	2 - 28
		30	12 - 47	15 - 01	2 - 14
		45	12 - 31	14 - 58	2 - 27
		60	12 - 53	14 - 55	2 - 02
		120	11 - 17	13 - 29	2 - 12
NP-10	157	0	6 - 40	8 - 38	1 - 58
		30	6 - 27	8 - 44	2 - 17
		45	7 - 25	9 - 09	1 - 44
		60	6 - 44	8 - 26	1 - 42
		120	6 - 37	8 - 28	1 - 51
NP-20	165	0	7 - 13	9 - 11	1 - 58
		30	7 - 01	8 - 55	1 - 54
		45	7 - 08	9 - 01	1 - 53
		60	7 - 03	9 - 03	2 - 00
		120	7 - 20	9 - 07	1 - 47





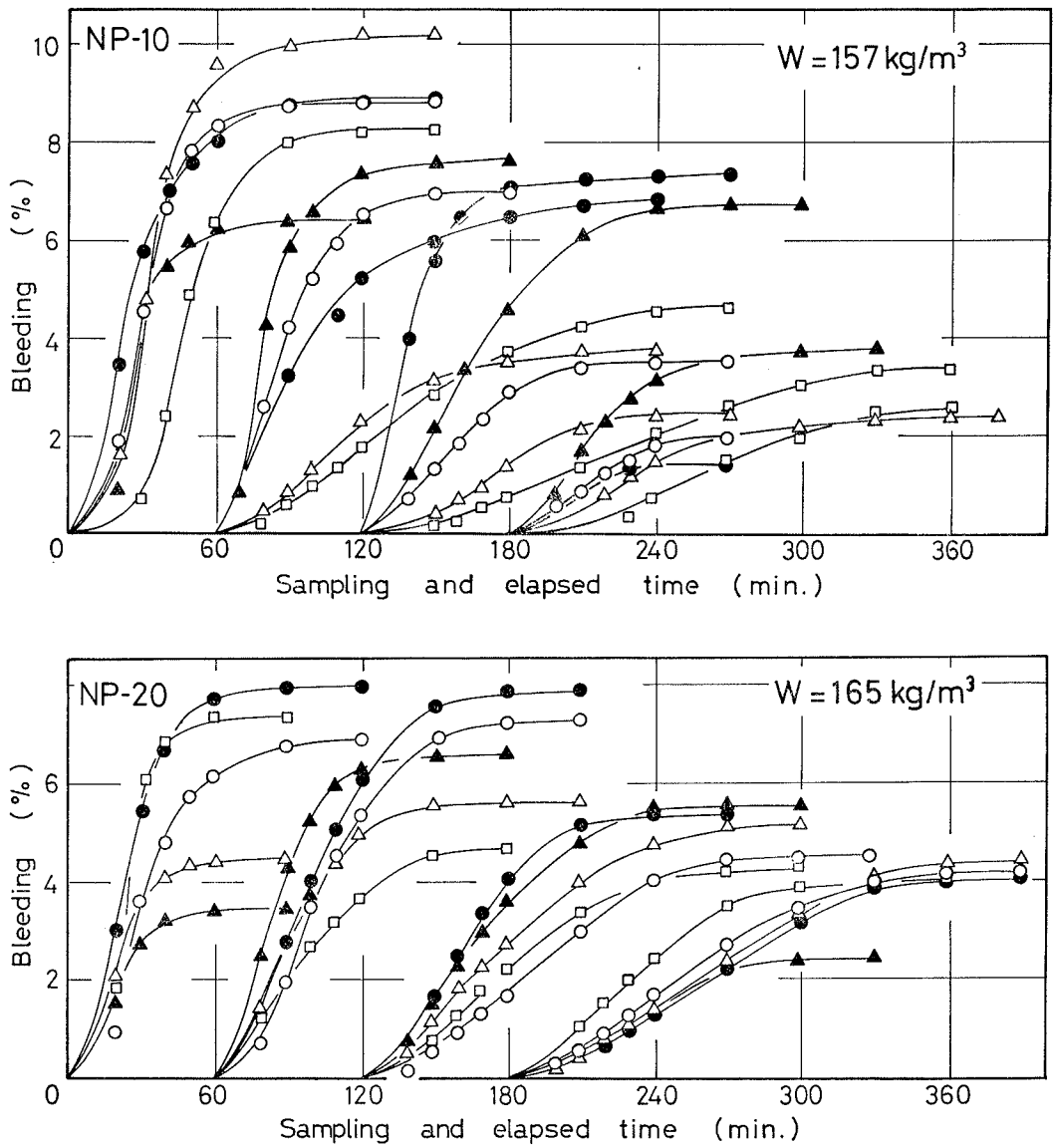
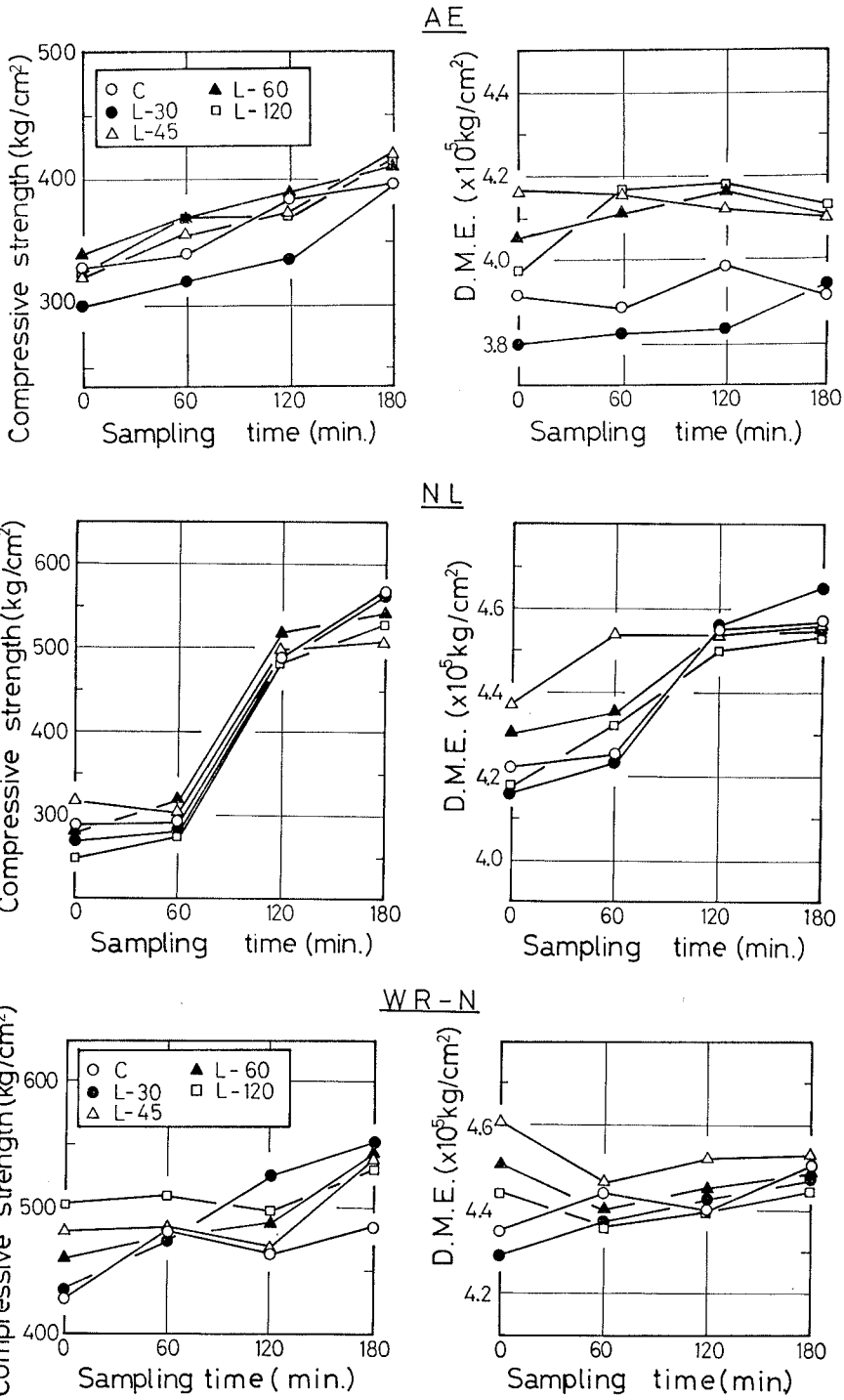


Fig. 2 Relationships between bleeding and sampling or elapsed time (AE~NP-20)



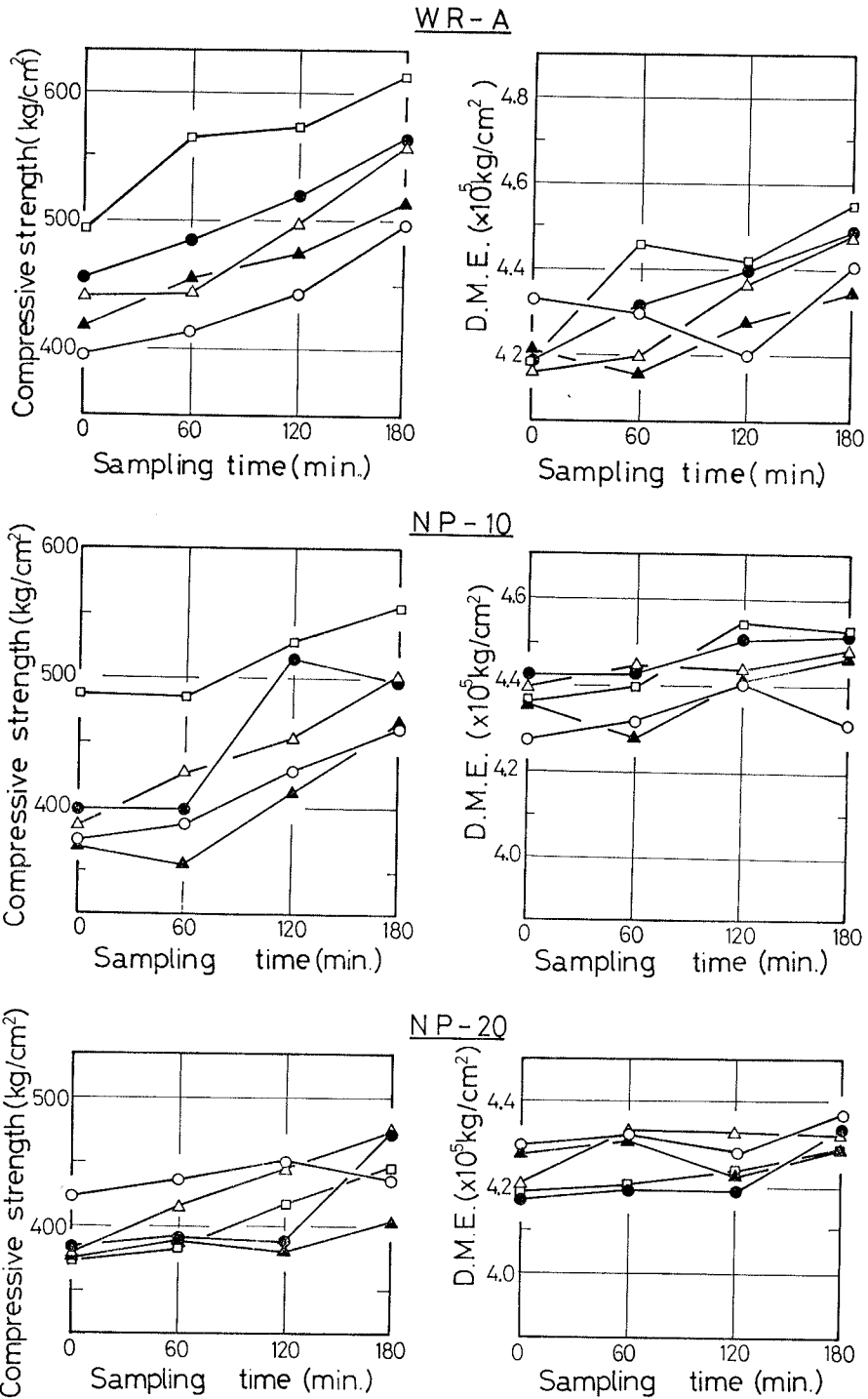


Fig. 3 Relationships between strength or D. M. E. and sampling time (AE~NP-20)

してみよう。AE では、C 法による値をほぼ平均値とする強度が現われており、さらに添加時間を変えた場合の強度は約 10% 程度の範囲内にあるので、時間差添加の影響はほとんど現われていないと判断できる。時間差添加によって生ずるコンシステンシーの増加に見合った減水を行えば、空気量の増加によって起こる強度減を完全に相殺できるものと思われる。NL では、強度におよぼす時間差添加の効果はほとんど現われていない。WR-系の減水剤では、練混ぜ直後に採取した供試体の強度を比べると、添加時間差が大きくなるにしたがって強度が大きく発現し、L-120 では C 法のものよりも WR-A で約 $75\text{kg}/\text{cm}^2$ (25%)、WR-A で約 $95\text{kg}/\text{cm}^2$ (24%) の強度増が得られた。このことにより、同一配合のコンクリートであっても WR-系の剤を時間差添加することによってかなりの強度増と施工性の改善を容易に実現しうるものと思われる。NP-10 では、練混ぜ直後に採取した供試体の強度は、C 法の強度を基準として考えると、L-30、L-45、L-60 ではほとんど差がみられないが、L-120 では $112\text{kg}/\text{cm}^2$ (31%) も増加している。したがって、この種の減水剤は添加時間差が大きいほど強度に及ぼす効果が現われるものと思われる。さらに、スランプ値から同時添加方法に対する減水率を求めると、L-30、L-45 で 0%、L-60 で 2.4%、L-120 で 0% となり、時間差添加による強度増はそれによる減水率と関係のないこともわかる。したがって、この種の剤の時間差添加による強度の増加は減水によるものではなく、剤の性能とくに分散性が著しいことによるものと思われる。NP-20 では、L 法による練混ぜ直後に採取した供試体の強度は、C 法によるそれに比べ約 10% 程度減少し、時間差添加の効果はほとんど認められなかった。

本実験の結果より、水セメント比一定のコンクリートに減水剤を時間差添加することによって、通常の添加方法の場合よりも強度増が期待できることが確認され、とくに NP-20、WR-A、NP-10 でのその効果が著しいようである。言い換えると、この時間差添加法による強度の発現は水セメント比の大小よりもむしろセメントの水和機構と減水剤の分散作用のメカニズムによるものと思われる。

3.5 その他

本実験では、空気量の変化と単位容積重量の変化についても測定を行なったが、ここでは結果のみを簡単に記すことにする。

1) スランプと同様に空気量も時間の経過とともに減少し、空気量の絶対値が大きいものほど減少の程度が大きい。時間差添加法においては、とくに AE の空気連行性が著しく助長された。

2) 単位容積重量は時間とともに増加する。時間差添加の場合、練混ぜ直後に測定した単位容積重量の添加時間差にともなう減少の程度は、混和剤の空気連行性が大きいものほど大きく、さらに空気量の変化(減少)が大きいものほど単位容積重量の増加の程度が大きいことが認められた。

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時間差添加の方法を探り上げ、主としてフレッシュコンクリートの性質の改善、つまりフレッシュコンクリートの高流動化、減水剤の減水性の向上の点について検討を加えた。

その結果、一般に使用されている良質の減水剤を時間差添加することによって、コンシステンシーの大幅な増大と強度増が容易に得られることが確認された。さらに、これらのコンクリートは通常の練混ぜと配合条件を異にしないので、コンシステンシーや強度以外の諸性質にもなんらの悪影響をおよぼさず、施工性の点から多大のメリットが得られるものと思われる。ただ、混和剤を時間差添加すると、大きなコンシステンシーが得られても時間の経過にともなうスランプ低下率はかなり大きいものとなるので、この点について細心の注意を払わなければかえって施工性を損なうおそれもある。

得られた結果は、実際のコンクリート、とくにレディミックスコンクリートプラントにおいて容易に応用し、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これらの現象を確認し、さらに化学混和剤の表面活性作用やコンクリートの物性、とくに化学的な組成との関連の究明まで研究を拡張していきたい。

終わりに、本研究にあたり終始御協力をいただいた石原浩氏(現美保土建)、井上敬三氏(現小柴工務店)に感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

- 1) 日本材料学会編：コンクリート用化学混和剤，朝倉書店
- 2) 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
- 3) 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**
 - 4) 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**
 - 5) 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**
 - 6) 山田, 有泉: わかりやすいセメントとコンクリートの知識, 鹿島出版会
 - 7) 服部: 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, March 1976**