

# 論文 モルタルによる高性能AE減水剤の性能評価に関する基礎的研究

柿野 光昭<sup>\*1</sup>・山崎 竹博<sup>\*2</sup>・添田 政司<sup>\*3</sup>・日比野 誠<sup>\*4</sup>

要旨: JIS A 6204 (コンクリート用化学混和剤) に規定されている化学混和剤の性能のうち減水率に着目し, モルタル試験によって減水率を求める方法について検討を行った。提案する試験方法はコンクリートと同様に, 混和剤を用いない基準モルタルと混和剤を用いた試験モルタルの単位水量の差から減水率を求めるものである。本研究では, 試験モルタルを調製する場合の配合修正方法, 特に単位セメント量に関して評価される減水率との関係を調査した。単位セメント量が増加しペースト量が増えると, 高性能AE減水剤の粒子分散効果が有効に作用し, 混和剤の添加率が同一の場合, 減水率は高く評価される結果となった。

キーワード: 化学混和剤, 高性能 AE 減水剤, 減水率, 単位セメント量

## 1. はじめに

コンクリート構造物への要求性能の多様化に伴い, コンクリートの多機能化, 高性能化に関する技術開発が活発に行われている。このような高性能コンクリートの開発には, 高性能 AE 減水剤に代表される化学混和剤の使用が不可欠である。コンクリート用化学混和剤の性能は, JIS A 6204 に定める試験方法によって求めることが原則となっている。この試験方法では, コンクリートの単位セメント量を  $300\text{kg/m}^3$  および  $320\text{kg/m}^3$  と一定にして減水率などの性能を評価しているため, 単位粉体量が  $500\text{kg/m}^3$  を超える高強度コンクリートや自己充填コンクリートと言った高性能コンクリートの配合とは異なり, 高性能コンクリートに使用する場合の混和剤の性能を必ずしも的確に評価できているとは考えられない。

さらに, JIS A 6204 に規定されている化学混和剤の性能には, 減水率のほかにコンクリートの圧縮強度の比, 長さ変化の比などが含まれており, 化学混和剤を用いたコンクリートの性能とコンクリートを用いて評価された化学混和剤の性能が適切に分離されていないと考えられる。また, コンクリートを用いた減水率試験は, 試験練りを繰り返してスランプが 8cm または 18cm とする単位水量を求めるため, 多大な労力を必要

とするのが現状である。そこでより簡便なモルタルを用いた性能評価試験方法の開発が期待されている<sup>1)</sup>。

本研究では, 化学混和剤自身の性能である減水率に着目し, コンクリート試験よりも簡便なモルタル試験によってこれを評価する方法を提案した。また, 高性能コンクリートへの適用を考慮し, 単位セメント量を増加させた場合の評価結果に関して検討を行った。

## 2. モルタルによる減水率試験

モルタルによる減水率試験もコンクリートの場合と同様に, 混和剤を用いない基準モルタルと混和剤を用いた試験モルタルの単位水量の差から減水率を定義することとした。単位セメント量  $300\text{kg/m}^3$  程度, 細骨材率約 45% のコンクリートを想定し, この配合から粗骨材を除いた配合をもとにモルタルの単位セメント量を  $500\text{kg/m}^3$  とした。JIS R 5201 (セメントの物理試験方法) に定めるフローコーンを用いる場合, 測定可能なフロー値は 120 ~ 280mm の範囲であると考えられる。フロー試験は, 過度な材料分離が生じず, かつ 0 打フローが 120 ~ 280mm の範囲となる条件で行った。本実験では, この測定可能な範囲の中央値であるフロー値 200mm を基準として

*1	九州工業大学大学院		工学研究科建設社会工学専攻	(正会員)
*2	九州工業大学	教授	工学部建設社会工学科	工博 (正会員)
*3	福岡大学大学院	助教授	工学研究科資源循環・環境工学専攻	工博 (正会員)
*4	長岡技術科学大学	助手	工学部環境・建設系	工博 (正会員)

表 - 1 高性能 AE 減水剤の種類とその特性

高性能AE減水剤	PC-A	PC-B	NS
主成分	ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体	末端スルホン基を有するポリカルボン酸基含有多元ポリマー	変性リグニン，アルキルアリルスルホン酸，活性持続ポリマーの複合物
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.04 ~ 1.06	1.06 ~ 1.12	1.13 ~ 1.16
標準添加率C×wt. %	0.5 ~ 3.0	0.5 ~ 4.0	1.0 ~ 2.5
添加率C×wt. %	1.10	0.75	1.50

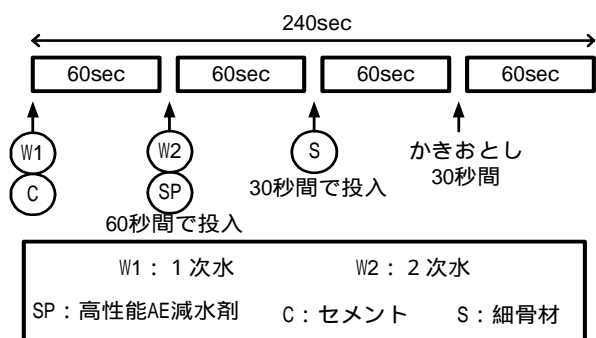


図 - 1 モルタルの練り混ぜ方法

表 - 2 空気量調整剤の種類

	AE剤	消泡剤
主成分	アルキルエーテル型陰イオン	ポリアルキレングリコール誘導体
外観	微黄色液	乳白色液
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.03 ~ 1.07	0.99 ~ 1.01

減水率を求めることとした。ただし、フロー値にはフローテーブルに打撃を加えずに測定した0打フロー値を採用した。

まず、混和剤を用いずに単位水量を変化させて0打フロー値を測定し、単位水量と0打フロー値との関係を求める。最小二乗法により0打フロー値が200mmとなる単位水量を算出し、これを基準モルタルとした。次に、混和剤を添加し単位水量を減じた配合を作成した。単位セメント量を500kg/m<sup>3</sup>に一定としているため、単位水量の減少に相当する容積だけ細骨材が増加している。基準モルタルの場合と同様に0打フローが200mmとなる単位水量を実験より求め、これを試験モルタルとした。基準モルタルと試験モルタルの単位水量の差を基準モルタルの単位水量に対する百分率で表し減水率を定義した。

### 3. 使用材料および練混ぜ方法

セメントには普通ポルトランドセメント（密度3.16g/cm<sup>3</sup>，比表面積3220cm<sup>2</sup>/g）を使用し、細

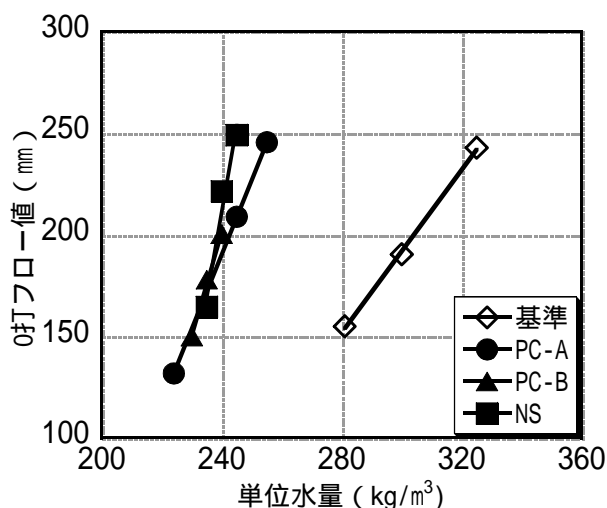


図 - 2 単位水量とフロー値の関係  
(単位セメント量C=500kg/m<sup>3</sup>)

骨材にはJIS標準砂（密度2.64g/cm<sup>3</sup>，吸水率0.47%）を使用した。混和剤には、市販の高性能AE減水剤から表-1に示すポリカルボン酸系のものを2種類（PC-A，PC-B）とナフタリン系のものを1種類（NS），合計3種類を用いた。添加量はメーカーの推奨する添加率を採用した。

モルタルの練混ぜ方法を図-1に示す。分割練り混ぜでペーストを先行して練り混ぜ、その後細骨材を加えてモルタルを調製した。ペースト練混ぜ時の1次水量（W1）はセメント質量比の24%とした<sup>2)</sup>。モルタルミキサはJIS R 5201に規定されるものを用い、パドルの回転はすべて低速回転とした。1バッチの練混ぜ量は2リットルとした。

コンクリートの空気量を3～5%とし、空気は粗骨材に含まれずモルタル内部に全て存在するものと仮定するとモルタル容積に対する空気量は約4～8%となる。コンクリート中のモルタルに状態を近づけるため、表-2に示すAE剤と消泡剤を用いて試験モルタルの空気量を4～8%に

表 - 3 モルタルの配合

種類	高性能AE減水剤	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					空気量 (%)
			W	C	S	起泡剤	消泡剤	
基準モルタル	-	62	304	500	1294	1.0	-	-
試験モルタル	PC-A	48	243	500	1451	-	5.0	7.0
	PC-B	47	240	500	1459	-	2.0	6.0
	NS	47	239	500	1462	-	0.5	6.4

表 - 4 各高性能AE減水剤の減水率

高性能AE減水剤	減水率 (%)
PC-A	20.1
PC-B	21.2
NS	21.5

調整した。空気量は圧力方法 (JIS A 1128 準拠) により測定を行った。

#### 4. 減水率の評価および考察

##### 4.1 モルタル試験による減水率の評価

単位セメント量を 500kg/m<sup>3</sup> とし、単位水量を変化させ、0 打フロー値と空気量を測定した。0 打フロー値が最も 200mm に近くなった配合および空気量を表 - 3 に示す。単位水量と 0 打フロー値との関係を図 - 2 に示す。単位水量と 0 打フロー値との関係はほぼ直線関係にあることが見て取れる。したがって、両者の関係を 1 次関数で近似し、0 打フロー値が 200mm となる単位水量を求めることができる。モルタルのフロー値は空気量の影響を受けるが、本実験の範囲内では、モルタルの空気量とフロー値との間に明らかな相関関係は認められなかった。図 - 2 の結果より 0 打フロー値 200mm において得られた各混和剤の減水率を表 - 4 に示す。図 - 2 から分かる通り、試験モルタルにおいて 0 打フロー値 200mm となる単位水量に大幅な違いはなく、結果として得られた減水率もおおよそ同じ値となった。また、JISA6204 では高性能 AE 減水剤の減水率は 18% 以上と規定されており、本研究で提案するモルタルによる減水率試験において得られた減水率もおおよそ妥当なものであると考えられる。

##### 4.2 高性能コンクリートを想定した減水率の評価

つぎに、高強度コンクリートや自己充填コン

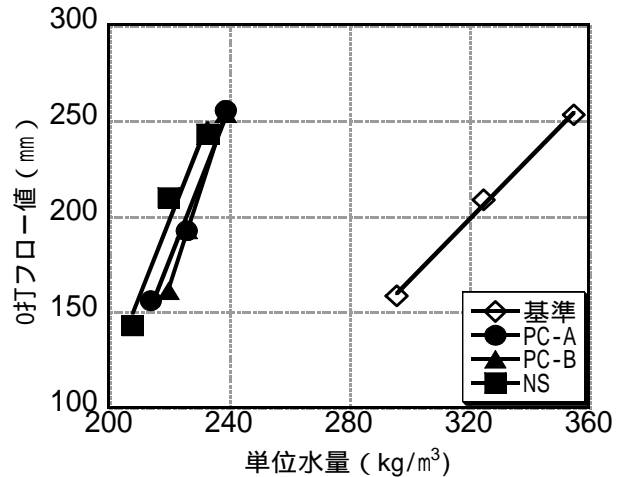


図 - 3 単位水量とフロー値の関係 (単位セメント量 C=600kg/m<sup>3</sup>)

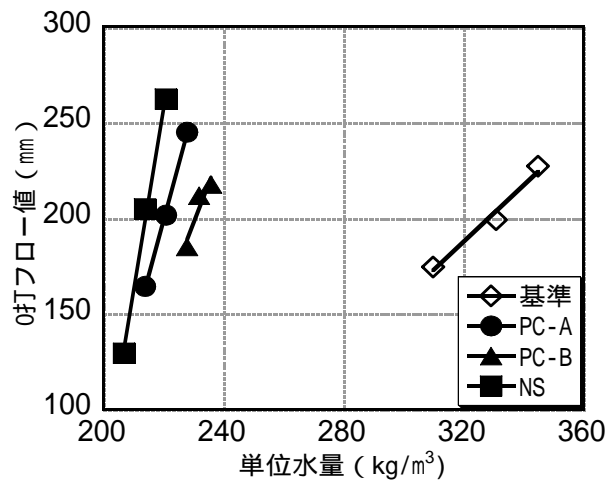


図 - 4 単位水量とフロー値の関係 (単位セメント量 C=700kg/m<sup>3</sup>)

クリートを想定し、単位粉体量が増加した場合の減水率について検討を行った。モルタルの単位セメント量を 600kg/m<sup>3</sup> および 700kg/m<sup>3</sup> の 2 水準に設定し、前節と同様に単位水量を変化させ、0 打フロー値と空気量を測定した。0 打フロー値が最も 200mm に近くなった配合および空気量を表 - 4 に示す。単位セメント量を一定としたまま単位水量を減少させ、0 打フロー値 200mm となる単位水量を求めた。単位セメント量を一定

表 - 5 モルタルの配合

種類	高性能AE減水剤	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					空気量 (%)
			W	C	S	起泡剤	消泡剤	
基準モルタル	-	54	321	600	1168	1.0	-	-
	-	48	329	700	1065	2.0	-	-
試験モルタル	PC-A	37	225	600	1411	-	5.0	5.5
		31	220	700	1340	-	4.0	4.3
	PC-B	37	228	600	1403	-	5.0	6.2
		32	231	700	1313	-	3.0	6.2
	NS	36	220	600	1425	-	2.0	4.7
		30	214	700	1356	-	1.5	6.4

表 - 6 各高性能AE減水剤の減水率

高性能AE減水剤	減水率 (%)	
	C=600kg/m <sup>3</sup>	C=700kg/m <sup>3</sup>
PC-A	29.8	33.0
PC-B	28.8	29.9
NS	31.4	34.9

としているため、単位水量の減少量に相当する容積分だけ細骨材が増加している。高性能AE減水剤添加率は単位セメント量を500kg/m<sup>3</sup>としたときと同一(表-1)である。

単位セメント量を600kg/m<sup>3</sup>および700kg/m<sup>3</sup>とした場合の単位水量と0打フロー値との関係を図-3、図-4にそれぞれ示す。実験結果より得られた0打フロー値200mmにおいて得られた各混和剤の減水率を表-6に示す。このように単位セメント量を増加させることで高性能コンクリートの配合に対応した環境下で高性能AE減水剤の減水率を評価することができると考えられる。実際の高強度コンクリートや自己充填コンクリートに使用される高性能AE減水剤添加率は表-1の値よりも高いのが一般的である。高性能AE減水剤添加率を今回よりも高く設定した配合においても減水率の検討が必要と考えられる。さらに、自己充填コンクリート中のモルタルの流動特性は、0打フロー値で評価した場合240~270mm程度と予測される<sup>3)</sup>。したがって、減水率を求める基準の0打フロー値も200mmから250mm程度に変更する必要があるであろう。

#### 4.3 単位セメント量と減水率との関係

減水率の評価結果(表-4および表-6)より

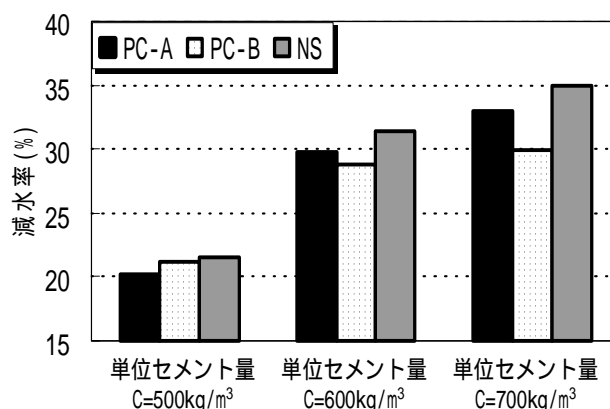


図-5 単位セメント量と減水率の関係

求めた単位セメント量と減水率との関係を図-5に示す。単位セメント量の増加に伴い得られた減水率が高くなっていることが分かる。セメント質量に対する添加率を一定にして単位セメント量を増加させているので、単位セメント量の増加に伴い高性能AE減水剤の添加量が増加している。この結果、単位セメント量の多いモルタルの減水率が高くなったものと考えられる。

さらに、各高性能AE減水剤の減水率の差は、単位セメント量が500kg/m<sup>3</sup>のときよりも単位セメント量が700kg/m<sup>3</sup>のときの方が拡大している。つまり、より高い水準の減水率で比較することによって各高性能AE減水剤の減水性能を的確に比較することができるものと考えられる。

つぎに単位セメント量と高性能AE減水剤の粒子分散効果との関係について検討を行った。表-3、表-5に示す試験モルタルの配合をもとにポリカルボン酸系の高性能AE減水剤PC-Aを用いたときの、高性能AE減水剤添加率と0打フローとの関係を図-6に示す。同図より、1.1%を

表-7 モルタルの配合

種類	高性能AE減水剤	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					空気量 (%)
			W	C	S	起泡剤	消泡剤	
基準モルタル	-	61	304	500	1294	1.0	-	-
試験モルタル	PC-A	34	238	701	1294	-	2.5	7.0
	PC-B	36	245	679	1294	-	2.0	4.0
	NS	34	239	698	1294	-	4.5	6.8

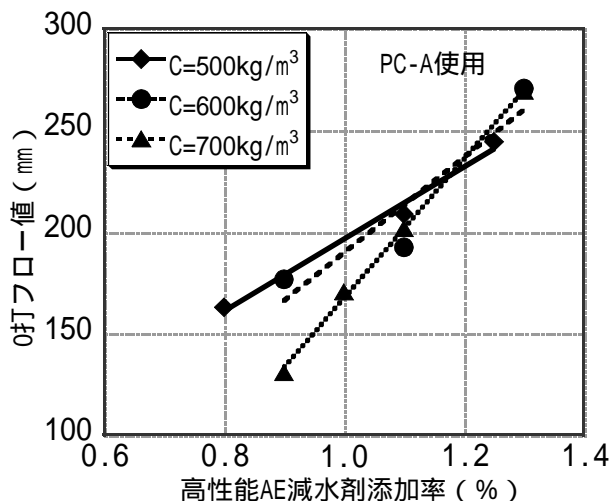


図-6 高性能AE減水剤添加率とフロー値の関係

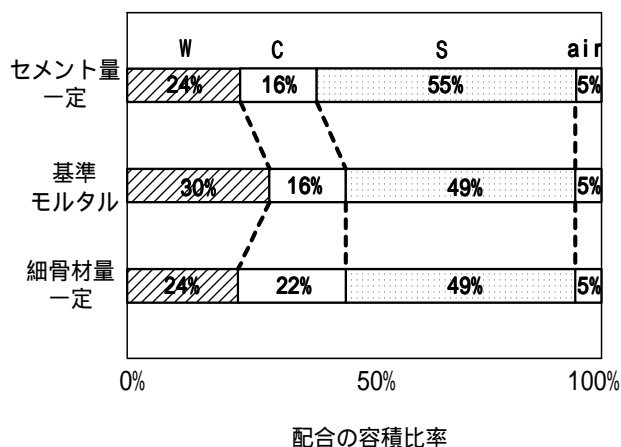


図-7 試験モルタルの配合の容積比率

中心に添加率を増減すると0打フローは、単位セメント量に関わりなく、ほぼ直線に沿って変化していることが分かる。さらに直線の傾きは単位セメント量が増加するにつれて大きくなっている。この直線の傾きが大きいほど、少量の高性能AE減水剤の添加で0打フロー値が大きく増加することを意味しており、高性能AE減水剤の粒子分散効果が有効に作用していると推測できる<sup>4)</sup>。単位セメント量を増加させ、細骨材量を減少させることで結果的に富配合となり、砂粒子の内部摩擦の影響を低減できたことと、単位セメント量に対する添加率を一定としているため、単位セメント量が多いほど配合中の高性能AE減水剤の絶対量が増加していることがこの要因と考えられる。つまり、得られる減水率の大きさは高性能AE減水剤の粒子分散作用の効果と相関があると推測できる。

#### 5. 細骨材量を一定とした減水率試験

前節で、高性能AE減水剤の粒子分散効果は配

合に依存し、添加率が一定の場合、ペースト量の多い富配合でその効果がより発揮されると考察した。JIS A 6204に定める化学混和剤の性能評価試験では、コンクリートの単位セメント量を一定として単位水量を減じて試験コンクリートを調製するため、基準コンクリートと比較して試験コンクリートはペースト量の少ない貧配合に移行するものと考えられる。したがって、今回提案する試験方法のように試験モルタルを調整する段階で貧配合となる調製方法は、高性能AE減水剤の粒子分散効果が十分に発揮される条件ではないと推測される。そこで、細骨材量を一定とし、減少した単位水量に相当する容積のペーストを増加させて試験モルタルを調製することとした。セメント量を一定とした場合と細骨材量を一定とした場合の試験モルタルの配合容積比率を図-7に示す。このような方法で試験モルタルを調製し、0打フロー値が200mmとなる単位水量を調べ、高性能AE減水剤の減水率を求めた。単位水量と0打フロー値との関係を図-8に示す。また、基準モルタルと試験モルタルの配合および空気量を表-7に示し、0打フロー値200mmにおいて得られた減

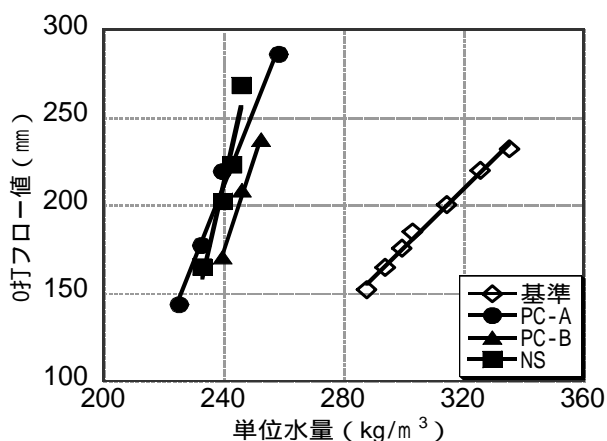


図-8 単位水量とフロー値の関係

表-8 各高性能AE減水剤の減水率

高性能AE減水剤	減水率 (%)	
	S=1294kg/m <sup>3</sup>	C=700kg/m <sup>3</sup>
PC-A	21.7	33.0
PC-B	19.4	29.9
NS	21.4	34.9

水率を表-8に示す。表-8には単位セメント量を一定(700kg/m<sup>3</sup>)とした試験モルタルでの減水率もあわせて表示している。上述の考察では、富配合になるほど高性能AE減水剤の粒子分散作用が効果的に働くため、得られる減水率が大きくなると予想した。しかしながら、表-8では、単位セメント量と同程度の試験モルタルで減水率を比較すると、単位セメントを一定とした試験モルタルのほうが高い減水率を示す結果となった。現状でこの原因は不明である。今後、高性能AE減水剤の粒子分散効果とモルタル試験によって得られた減水率との関係を明確にする必

#### 参考文献

- 1) 山崎竹博ほか：モルタルを用いた化学混和剤の減水率試験に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.193-198，2000
- 2) 田澤栄一ほか：フレッシュセメントペーストのダブルミキシング効果，土木学会論文集，No. 396 / V-9，pp.135-142，1988

要がある。

#### 6. まとめ

本研究では高性能AE減水剤の減水性能を簡便なモルタル試験で評価することを目的に，試験モルタルの調製方法と得られた減水率との関係について検討を行った。その結果，明らかとなったことを以下に示す。

- (1)コンクリートの場合と同様に混和剤を用いない基準モルタルと混和剤を用いた試験モルタルとの単位水量の差から，化学混和剤の減水率を定義した。
- (2)基準モルタルの単位セメント量を増加させると混和剤の添加率が一定の場合，試験モルタル中の混和材料が増加し，得られた減水率が高くなった。
- (3)ペースト量の多い配合ほど高性能AE減水剤の粒子分散効果が発揮され，得られる減水率が高くなると予想された。しかしながら，細骨材量を一定とした試験モルタルにより得られた減水率は，単位セメント量を一定とした試験モルタルより得られた減水率よりも低い結果となった。

今後は，高性能AE減水剤の粒子分散効果とモルタル試験によって得られた減水率との関係を明確にする必要がある。

- 3) 大友 健ほか：スランプ領域から高流動領域までの流動性を有する高性能AE減水剤を用いたコンクリートのコンシステンシー評価に関する研究，化学混和剤の性能と規格に関するシンポジウム論文集，pp. -39-44，2002
- 4) 山田一夫：セメントの初期水和と液相の組成変化を考慮したポリエーテル系セメント分散剤の作用機構，東京工業大学学位論文，2000