

論文 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

山崎 竹博*1・出光 隆*2・渡辺 明*3

要旨：JIS A 6204 で規定されるコンクリート用化学混和剤の減水率試験は、所定のスランブが得られる単位水量のコンクリートを用いた試験結果から評価され、混和剤そのものの減水性能の他に使用する配合や骨材特性の相違などによってもその評価が異なる。本研究では JIS R 52 01 に規定される品質の一定な標準砂を用いたモルタルのフロー試験および空気量試験を実施し、コンクリート用混和剤として安定使用できる高性能 A E 減水剤の減水性能評価の在り方について検討した。その結果、混和剤の種類によって単位水量の変化に伴うフロー値の変化量が異なり、その性状を新たな実験指標の一つ（仮称：水鋭敏比）に加えることによって、高流動コンクリートの実用化に向けた性能を評価できる可能性があることなどを報告した。

キーワード：化学混和剤, 高性能 A E 減水剤, 減水率, モルタルフロー, モルタルミキサー

1. はじめに

AE 剤、減水剤、AE 減水剤、高性能 AE 減水剤等、コンクリート用化学混和剤の性能は JIS A 6204(コンクリート用化学混和剤)に規定されている。同 JIS の規格試験では工事用骨材を用い、幅のある配合で試験コンクリートを打設し、減水率や空気量試験などを測定する。このため、試験で得られる結果は、化学混和剤の性能よりもむしろ使用するコンクリートの性能を評価することになり、試験要領も煩雑である。一般に、混和剤の性能を規定するには、試験に用いる混和剤以外の材料は品質が一定でなければ、確認する混和剤の性能は相互評価できない。

本研究では、特に実験が煩雑な混和剤の減水率試験の在り方を検討するため、標準砂を用いたモルタルによる性能評価試験を行い、現行の試験方法と比較検討した。その研究過程で、高流動コンクリートの実用化に不可欠な安定した流動性状を与えるための新たな指標とすべき性質も明らかになり「水鋭敏比」と呼ぶことにした。

2. 実験概要

2. 1 実験目的

コンクリートから取り出したウェットスクリーニングモルタルと、同一配合で練り混ぜたモルタルとのフレッシュ性状は必ずしも一致しない。特に高性能 A E 減水剤を用いた場合、スクリーニングモルタルに比べて練混ぜモルタルの空気量は著しく大きい。その原因にはモルタルミキサーのパドル形状や回転速度などが影響しているものと考えられる。

コンクリートの各種性状に及ぼす混和材料の性能をモルタル性状から評価するには、コンクリート中のモルタルに近い性状の練混ぜモルタルを使用することが望ましい。本実験ではモルタル試験による高性能 A E 減水剤の減水率試験の実施に必要な、以下の項目について実験した。

- (1) s/a, W/C の異なるコンクリートを用いた現行の減水率試験(スランブ 8cm, 18cm)。
- (2) 試験(1)で使用したコンクリート中のモルタルと同一配合の海砂モルタルの性状。
- (3) 標準砂モルタルによる減水率試験。
- (4) 練混ぜ方法によるモルタルの性状の相違。
- (5) 新しいパドルを用いた練混ぜモルタルの性状。

*1 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 工博(正会員)

*2 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 博士(工学)(正会員)

*3 九州共立大学教授 工学部開発学科 工博(正会員)

(6) コンクリートの流動特性に与える高性能AE減水剤性能の新たな評価指標。

2. 2 使用材料

実験には普通ポルトランドセメント(密度 3.16, 比表面積 3220cm²/g) および海砂(絶乾比重 2.61, 吸水率 2.1%)と標準砂(丸みがあり 98%以上のシリカ質粒子を含有, 絶乾比重 2.64, 吸水率は 0.47%)を使用した。各砂の粒度分布を Fig.1 に示す。粗骨材には碎石(最大寸法 20mm, 密度 2.69, 吸水率 1.3%)を用い、混和剤には市販の高性能AE減水剤から Table 1 に示すポリカルボン酸系 3 種とスルホン酸系の合計 4 種を比較使用した。

2. 3 空気量の測定

モルタルの空気量試験は JSCE F 505 の規定に従い、容器の内径 14cm, 内高 13cm の円筒容器を用いた JIS A 1116(フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法および空気量の質量による試験方法, 以下質量方法と呼ぶ)で測定した。また、JIS A 1128(フレッシュコンクリートの空気量の

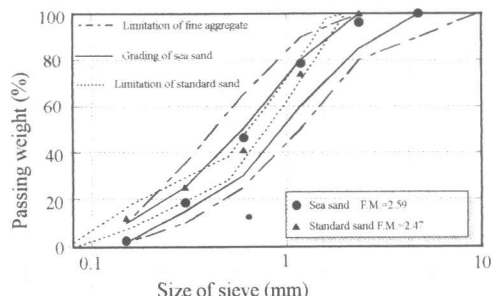


Fig.1 Grading distribution of sand

Table 1 Type of AE high-range water reducing agent used in this test.

Symbol	S8	S9	H11	F300
Type of main Ingredient	Polycarboxylic Acid Ether and Cross-Linked Polymer	Denatured Lignine, Alkyl allyl sulfonic Acid, Activated Polymer Composition	Polycarboxylic Acid Type Plural Polymer with Graft Sulfonic Acid	Compound of poly-Carboxylic Acid and Polymerized Maleic Acid
Specific gravity	1.04~1.06	1.13~1.16	1.06~1.12	1.03~1.07
Quantity of Standard use (%)	1.1	1.5	0.75	1.0

Table 2 Mixtures of base concrete and test concrete

Slump (cm)	Maximum Size(mm)	Kind of Concrete	s/a (%)	W/C (%)	Unit Weight (kg/m ³)				
					Water	Cement	Sand	Gravel	Admixture
8	20	Base	50	69	207	300	875	892	---
8	20	Test	50	48	144	300	913	931	3.30
18	20	Base	50	70	224	300	845	861	---
18	20	Test	50	51	163	300	880	897	3.52

圧力による試験方法, 以下空気圧方式と呼ぶ)の試料と蓋の隙間に注水しない方法を用いても測定した。両測定値にはほぼ 25%程度の差異が生じ、空気圧方式が質量法の値より大きい結果となった。そのため、以下に述べるモルタルの空気性状の比較にはそれらの平均値を用いた。

3. 実験結果および考察

3. 1 コンクリートを用いた減水率試験

現行の試験方法を確認するため、高性能AE減水剤の減水率を JIS A 6204 に定めるコンクリートのスランブ試験から求めた。減水率試験では所定の単位セメント量と 40~50%の細骨材率で水セメント比を変化させ、所定のスランブ値(8 または 18cm)のバッチが得られるまで試験練りを繰り返してベースコンクリートの水セメント比を決定する。次に、配合の得られたベースコンクリートに、混和剤メーカーの定める標準量の混和剤を添加し、再度同一のスランブが得られるまで試験練りを繰り返して水セメント比を求める。このとき、使用する骨材やセメントは現場で実用するものを用いるため、同一混和剤でも使用する材料によって試験結果が異なることになる。このようにして求めた試験コンクリートとベースコンクリートの単位水量差をベースコンクリートの単位水量百分率で示した値が減水率となる。

本試験で得られたベースコンクリートおよび試

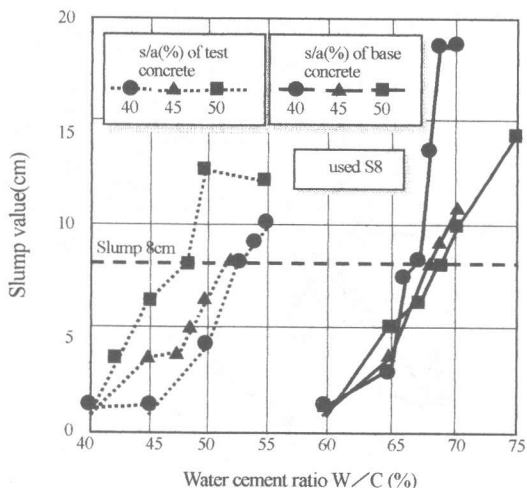


Fig.2 Water reduction ratio when slump 8 cm.

験コンクリートの配合を Table 2 に、試験時の水セメント比とスランプおよび空気量との関係をそれぞれ Fig.2 に示した。その結果からスランプ 8cm に対して、s/a=50%の配合では減水率は 30.6%となるが、高強度コンクリートなどに用いる s/a の小さい配合では s/a=45, 40%に対してそれぞれ減水率は 23%, 21%と小さくなった。

$$s/a=50\%: [(68.7-47.7)/68.7] \times 100=30.6\%$$

$$s/a=45\%: [(67.8-52.0)/67.8] \times 100=23.3\%$$

$$s/a=40\%: [(67.0-52.8)/67.0] \times 100=21.1\%$$

いずれも JIS の規定値 18%以上を満足するが、減水率は化学混和剤の性能とは別に、配合によっても結果が異なることになる。これらの観点から、労力が少なくかつ性状が一定な ISO 標準砂を用いたモルタル試験による減水率試験の実施について以下に検討した。

3. 2 海砂モルタルを用いた減水率試験

減水率試験で使用したコンクリートの配合から粗骨材を差し引いてモルタルの配合を定め、同一の海砂と標準砂とを使用したモルタルでフロー値及び空気量を測定した。一般にコンクリート中のモルタルよりも JIS R 5201 に定めるモルタルミキサーで練り混ぜたモルタルの空気量は大きくなる傾向にある。そのようなモルタルの減水率試験の可否を検討するため、試験には空気連行作用の強いタイプとして S8 を用いた。その結果は Fig.3 に示すように、空気量はいずれの砂でも 5~22%程度の

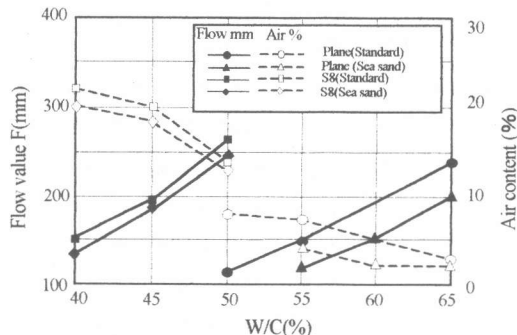


Fig.3 Flow and air content of sea sand mortar.

値となり、空気室圧力式試験器では計測が困難な 20%以上の値も生じた。ちなみに、コンクリートの空気量 6~8%をモルタルの容積比で除してモルタル中の空気量を推定すれば 9~12%となる。また、海砂と標準砂を使用したモルタルの空気量は標準砂を用いた場合のほうが大きい値となることが分かった。その原因の一つには、Fig.1 の粒度分布に見られる微粉量の差が考えられる。しかしながら、Fig.3 に示しているような空気量が大きいモルタルのフロー試験結果からフロー値 200mm での減水率を算出しても、先にコンクリート試験から求めた値 21~33%の中間値となることが分かった。

$$\text{海砂の場合: } [(64.5-46.0)/64.5] \times 100=28.7\%$$

$$\text{標準砂の場合: } [(61.0-45.5)/61.0] \times 100=25.4\%$$

3. 3 モルタルミキサーとコンクリートミキサーの練混ぜ方法による相違

モルタルミキサーで練り混ぜたモルタルの空気量がコンクリート中のモルタルに存在する量より

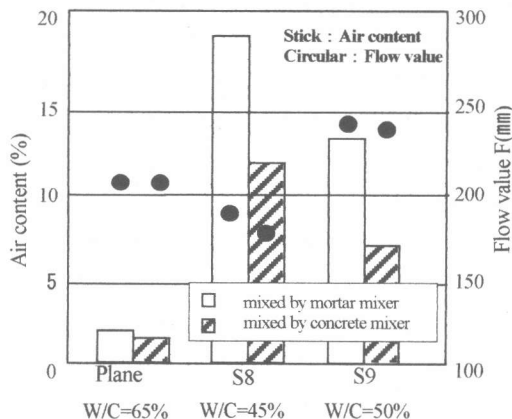


Fig.4 Comparison of air content of the mortar mixed by concrete mixer and mortar mixer.

も多くなる原因を検討する一実験として、同一配合の海砂モルタルをコンクリートミキサーと JIS 規格のモルタルミキサーとで練り混ぜ、空気量とフロー値を比較した。その結果は Fig.4 に示すように、モルタルミキサーで練り混ぜた場合、フロー値には変化はないものの、空気量が大きくなることが分かった。このことから、練混ぜモルタルの空気量が多い原因の一つにモルタルミキサーの練混ぜ方が関与していることが分かった。

その他、使用した混和剤の種類による影響も考えられるので、標準砂を用いて各種高性能 AE 減水剤を使用したモルタルの空気量及びフロー値を測定した。

3. 4 標準砂モルタルによる各種高性能

AE 減水剤の減水率試験

Table 2 に示す配合から粗骨材を取り除いた配合で標準砂モルタルを練混ぜ、Table 1 に示す 3 種類の高性能 AE 減水剤の減水率と空気量を測定した。練混ぜは JIS による方法である。

試験モルタルはスランブ 8cm のコンクリートに対応する配合として、セメント質量 500g/L、高性能 AE 減水剤を Table 1 の各標準使用量とし、それぞれ混和剤ごとに単位容積当たりの混和剤量が一定の条件で水セメント比を 40% から 65% まで変化させた。

Fig.5 に示す結果からフロー値 20cm での減水率を求めれば、混和剤 S8 で 25.5%、S9 で 24.5%、H11 で 21.3% となり、 $s/a=45\%$ のコンクリートから求めた減水率 23.3% に近い値を得た。しかしながら、試験モルタルの空気量は水セメント比の低下に伴って増加し、水セメント比 50~40% に対して S8 の 15~22% を除いても 5~15% となり、多量の空気量となった。

3. 5 練混ぜ方法と空気量およびフロー値

このように多量の空気量を伴うモルタルでは練り上がり後の空気量の経時変化や活性度指数などへの影響が懸念される。そのため、混和剤が用いられるコンクリート中のモルタルに近い空気量が得られる練混ぜ方法や器具の改善を試みた。

練混ぜ時の巻込み空気を少なくし、安定した空

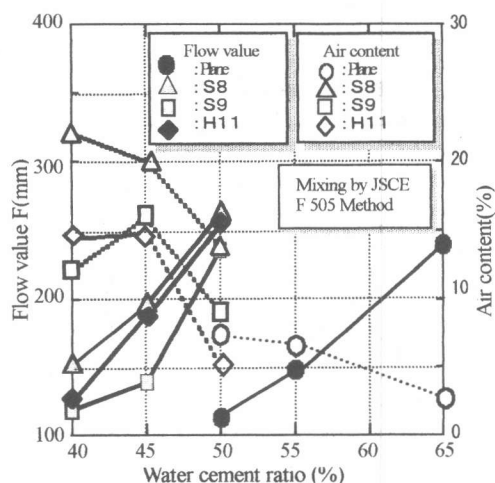


Fig.5 Flow value and air content of standard sand mortar due to various W/C.

気量を得る方法として、パドルの回転数を低速にする方法が考えられる。又、低速化によるセメントの分散効果の低下を防ぐ方法として分割練混ぜを併用すること等を検討した。

練混ぜ方法の比較試験として Fig.6 に JSCE F 505(試験室におけるモルタルの作り方)による高速回転を伴う練混ぜ方法を JSCE 法、一度にすべての材料を投入し低速回転で 3 分間単練混ぜする SM 法、セメントの分散に効果的と考えられる分割水と砂およびセメントを投入して練り混ぜ、後で残りの水と混和剤を加え練り混ぜる DM1 法、分割水とセメントを練り混ぜた後で残りの水と混和剤を加えて練り混ぜ、さらに砂を加えて練り混ぜる方法を DM2 法として示した。JSCE 法以外ではすべてパドルは低速回転である。

Fig.6 に示すそれぞれの練混ぜ方法で得られた空気量とフロー値を Fig.7 に示した。JSCE と SM の間、DM1 と DM2 の間では空気量に大差はなかったが、後者の分割練混ぜグループの空気量が少なくなった。また、その中でも DM2 の空気量が DM1 よりも 1% 程度多くなる傾向は見られたが、セメントの練混ぜによる分散効果が良いと考えられる DM2 でのフロー値が DM1 よりも 40~90mm も大きくなり、混和剤の流動特性を評価する上では DM2 による練混ぜが適切と判断された。よって、以降の混和剤性能評価試験では、分割低速練

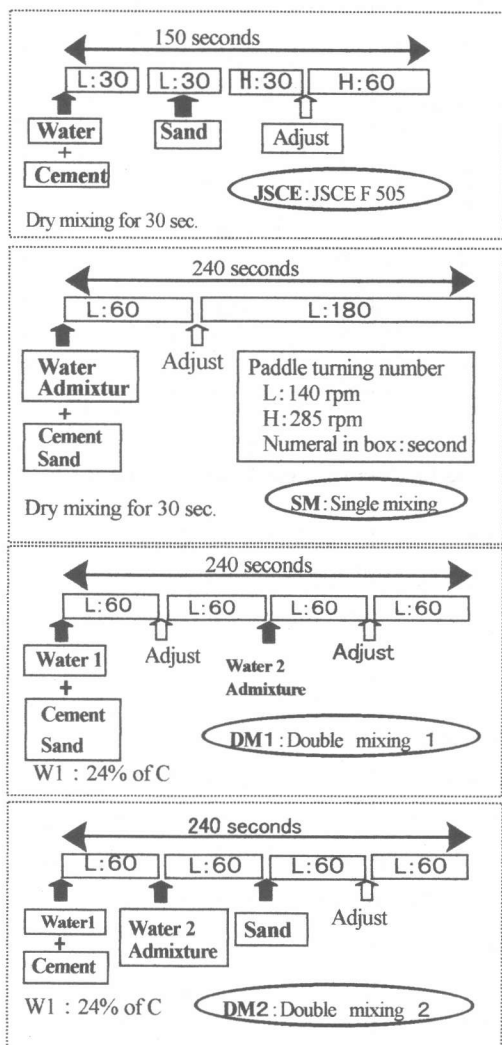


Fig.6 Mixing methods of mortar.

混ぜ DM2 を用いることにした。

3. 6 モルタルミキサーパドルの改良

Fig.6 に示す各種の練混ぜ方法の内、分割練混ぜ方法で作製したモルタルの空気量が少なくなる結果を得た。しかし、練混ぜ方法を工夫しても混和剤 S8, S9 を使用したモルタルの空気量は 13~15% の範囲にあり、さらに 4~5% の空気量低下が望まれる。空気量については、一般に強度への影響も大きいことから、化学混和剤の各種の性能を総合評価する観点からもコンクリート中のモルタルと同程度の空気量の達成方法について検討した。ここでは、パドル回転時の巻き込み空気をさらに減らす目的で、Fig.8 に示すようにパドル全面にステ

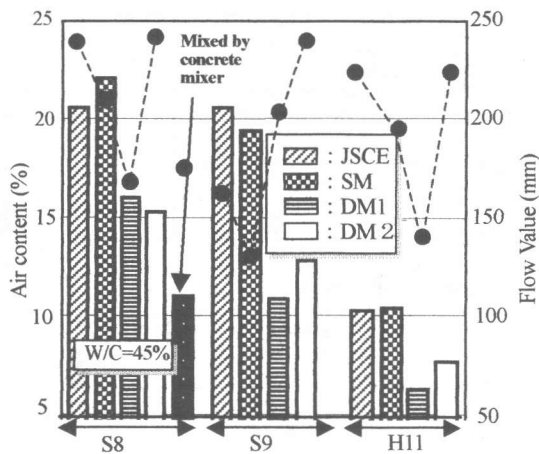


Fig.7 Air content of mortar mixed by different methods.

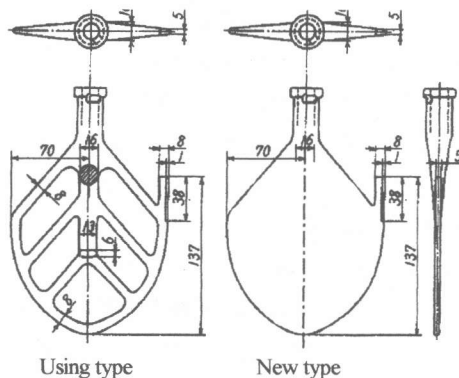


Fig.8 Improvement of paddle of mortar mixer.

ンレス板を貼った新しいタイプを試作した。

新型パドルの特性を調べるため、現行と新型のパドルを用いて、DM2 法で練り混ぜたモルタルのフロー試験を行った。それらの結果を Fig.9 に示している。混和剤は SP8S を使用したが、W/C=45%での空気量は新型パドルの方が現行のパドルよりも 4%程度小さい。空気量の安定性では、現行パドルの場合 13.5%の空気量が練置き 20 分後で 10.0%に低下したが、新型パドルでは空気量の低下は認められなかった。

3. 7 新型パドルによるモルタル減水率試験

標準砂を用いたモルタルを新型パドルで練り混ぜて減水率試験を実施した。その結果を Fig.10 に示している。Fig.10 の結果ではフロー値が 200mm となる水セメント比は、各種類の高性能 AE 減水剤とも等しく 43%程度であった。この値そのものの定量については実験資料の蓄積を待たねばなら

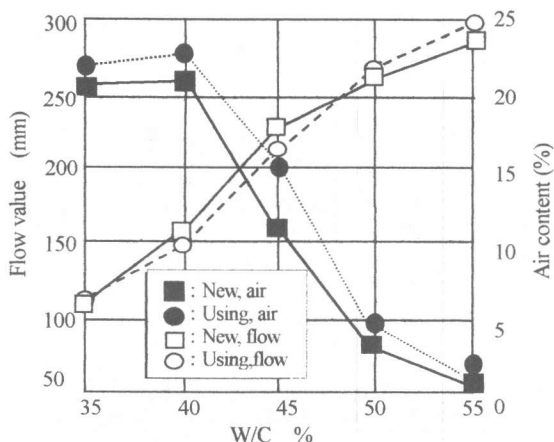


Fig.9 Comparison test by new and using type paddle.

ないが、各混和剤の流動性能が減水率以外に図中の直線の傾き、すなわち「水セメント比の変化に対するフロー値の敏感性」にも影響されることを示しており、図中の直線の傾きが大きい混和剤を使用した場合、現場での練混ぜ水量の変化で大きく流動性が変化する高流動コンクリートができることになる。この性質は安定した流動性をもつコンクリートの製造に重要な混和剤の性能と考えられる。このほか、水鋭敏比は流動性、材料分離抵抗性を満足する高流動コンクリートのタイプ等を選定する際の資料にもなり得ると考えている。

4. まとめ

以上、コンクリート用化学混和剤の性能試験の内特に実施の困難な減水率試験を、コンクリートから標準砂を用いたモルタル試験に変更することの可否に関する実験結果を報告した。その過程で明らかになった知見を以下にまとめる。

- 1) 現場での使用材料を用いた性能試験は、コンクリートの性能試験と考えられ、化学混和剤の試験は別途均一な材料を用いたモルタル試験で規定することが望ましい。
- 2) JIS R 5201 に従い、モルタルミキサーで練り混ぜられたモルタルは、コンクリート中のモルタルよりも多くの空気量を発生する。
- 3) 標準砂モルタルは海砂モルタルより大きい空気量となるが、両者の減水率はほぼ一致する。

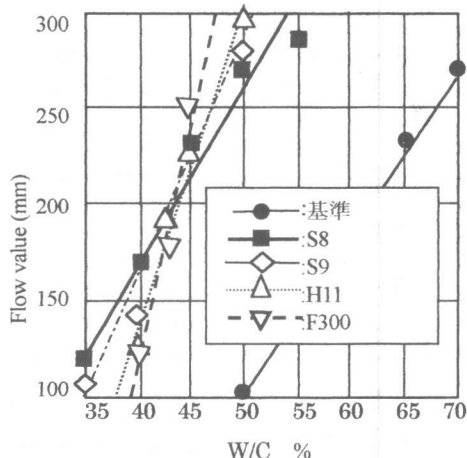


Fig.10 Water reduction tests by new mixing paddle.

- 4) モルタルでの減水率試験時の過剰な空気量を減ずるには分割低速練混ぜが有効であった。
- 5) コンクリート中のモルタル部分と同程度の空気量で、かつ空気量が安定したモルタルを練り混ぜる方法として、表面を板状にした新型パドルの使用は効果的である
- 6) 新型パドルを使用した減水率試験結果から、水セメント比に対するフロー値の敏感性を表す指標（仮称：水鋭敏比）を算出すれば、減水率と併用して高性能 AE 減水剤の流動性能を評価できる可能性がある。

謝辞 本研究は日本コンクリート工学協会九州支部学術専門委員会「コンクリート用混和剤の規格と性能評価」の関連課題として実施した。ご協力頂いた混和剤各社、委員各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 山崎竹博, 出光隆, 渡辺明, 蔵重勲: コンクリート用化学混和剤の規格試験改善に関する実験的研究, 第 53 回セメント技術大会講演要旨, pp. 308-309, 1999.
- 2) 俵道和, 出光隆, 山崎竹博, 佐藤美帆: ペースト及びモルタルの流動性状に及ぼす高性能 AE 減水剤の影響評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 21, No. 2, pp. 517-522, 1999.