

論文 コンクリートの粘性低減作用の優れたセメント高性能 AE 減水剤の開発

岡田和寿^{*1}・木之下光男^{*2}・星野実^{*3}・三井健郎^{*4}

要旨：高強度コンクリートの施工はコンクリートの粘性が高く，作業性の改善のためにコンクリートの粘性を低減することが必要とされている。本研究では従来の末端スルホン基を有するポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を改良試作し，粘性低減に有効であるか検討した。 J_{14} 漏斗流下時間や L フロー初速度の比較によりモルタルおよびコンクリートの粘性を評価した結果，試作品は流動保持性においてフローの後伸び現象がなく，粘性低減に有効であることを確認した。

キーワード：高性能 AE 減水剤，ポリカルボン酸系，コンクリート，粘性低減

1. はじめに

近年，コンクリートの高耐久化への要望の高まりとともに単位水量の低減が必要となり，また高強度コンクリートの需要も高まっている。これらの要望に応えるべく高性能 AE 減水剤が開発され普及してきている。高性能 AE 減水剤はその高減水性と流動保持性に優れていることから高強度コンクリートの製造には必要不可欠なものとなっている^{1),2)}。

しかし，高強度コンクリートは単位水量や粉体量の兼ね合いから富配合となり，製造，施工時のフレッシュコンクリートの粘性が高くなってしまいう問題がある。コンクリートの粘性は材料分離抑制効果に大きく影響する要素であるが，施工，作業性の観点からはむしろ，材料分離を起こさない範囲内で粘性の低いものが望まれている。

既に，コンクリートの粘性について単位水量³⁾や骨材⁴⁾，混和剤⁵⁾について報告されているなかで，本研究では混和剤によるフレッシュコンクリートの粘性を低減させるため，硬化物性に

悪影響を与えず粘性を低く抑えるために，末端スルホン基を有するポリカルボン酸系多元ポリマーと特殊ポリマーの複合物を用い最適化できるか検討することとした。本研究では粘性低減をキーワードとして，先に開発した末端スルホン基を有するポリカルボン酸系多元ポリマーからなる高性能 AE 減水剤⁶⁾を改良試作し，併せて現在市販されているポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤と比較した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメント(C)：普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm^3)，細骨材(S)：大井川水系産陸砂(表乾密度 2.58g/cm^3 ，粗粒率 2.70)，粗骨材(G)：岡崎産碎石(表乾密度 2.68g/cm^3 ，最大寸法 20mm)を使用した。

使用した高性能 AE 減水剤を表-1 に示す。本試験では市販のポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤（以下 PC とする）として PC1 から PC5 を，改良試作した粘性低減作用を有する高性能

*1 竹本油脂(株)第三事業部 開発研究グループ研究員 工修 (正会員)

*2 竹本油脂(株)第三事業部 開発研究グループリーダー 工博 (正会員)

*3 竹本油脂(株)第三事業部 開発研究グループ主任研究員 (正会員)

*4 (株)竹中工務店技術研究所 建設技術開発部材料・施工部門主任研究員 工修 (正会員)

A E 減水剤は末端スルホン基を有するポリカルボン酸系多元ポリマーと櫛状の共重合体⁷⁾からなる特殊ポリマーの配合物であり、前者の成分の配合割合の高い順に PCH, PCN, PCL として用いた。

2.2 モルタル試験による粘性評価

(1) モルタルの配合

モルタル試験に用いた配合を表-2に示す。ただし細骨材は 2.5mm 以下のものを使用した。

(2) 練混ぜ方法およびモルタルフロー測定

5 L 容量のモルタルミキサにセメント、細骨材、PC を含む水を投入し、温度 20℃、湿度 80% の条件にて低速で 4 分間練り混ぜた後、5 分間静置した。その後 JIS R 5201 の方法に準じ、落下なしモルタルフローを測定した。これを練混ぜ後 5 分とした。さらに 15 分静置させ同様にモルタルフローを測定した。これを練混ぜ後 20 分とした。モルタルの空気量による粘性への影響を軽減するために消泡剤を微量用いて 1%未満の空気量とした。

(3) モルタルの粘性評価

モルタルの粘性は図-1に示す J₁₄ 漏斗⁸⁾のモルタル流下時間を測定することにより評価した。ただし、流下開始後 J₁₄ 漏斗の上部からのぞき底部に穴が開いた瞬間までを流下時間とした。粘性は同一モルタルフローである場合、J₁₄ 漏斗流下時間が短いほど粘性が低いと評価した。

2.3 コンクリートによる粘性評価

(1) コンクリートの配合と練混ぜ方法

コンクリートの配合を表-3に示す。コンクリートは W/C=30%, 40% の 2 種類の配合にて試験を行った。両配合は粘性の差を大きくするため単位水量を 160kg/m³ とやや低めに設定した。練混ぜは温度 20℃、湿度 80% の条件下、100L 強制パン型ミキサを使用し、セメント、細骨材、混和剤を含む水を投入し 60 秒間モルタルを練り混ぜ、その後粗骨材を投入し 90 秒間練り混ぜてコンクリートを調整した。

なおフレッシュコンクリートの各試験項目についての測定は練混ぜ直後から 5 分後に行った。

表-1 使用した高性能 A E 減水剤

記号	種類
(試作品) PCH PCN PCL	末端スルホン基を有するポリカルボン酸系多元ポリマーと特殊ポリマーの複合物 (改良後)
PC1	市販の末端スルホン基を有するポリカルボン酸 (改良前)
PC2~5	市販のポリカルボン酸系

表-2 モルタルの配合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			空気量 (%)
	W	C	S	
30	299	996	996	1.0>

表-3 コンクリートの配合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				空気量 (%)
	W	C	S	G	
30	160	533	826	900	1.5
40	160	400	949	884	1.5

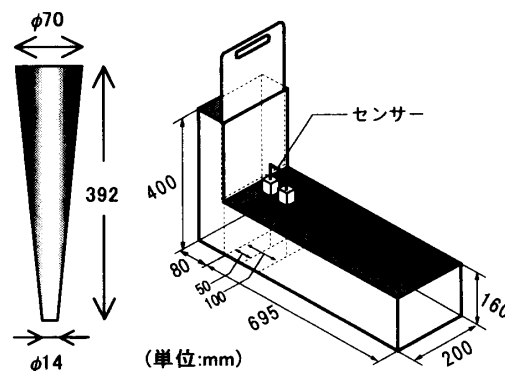


図-1 J₁₄ 漏斗, L フロー試験器

(2) 試験項目

コンクリートの試験項目を以下に示す。

- ・スランプフロー：W/C=30%は目標値を 55±3cm, W/C=40%では 50±3cm とした。
- ・コンクリートの材料分離：目視にて骨材とペーストの材料分離がないかを確認した。
- ・L フロー初速度⁹⁾：図-1に示した L フロー試験器により測定した。L フロー初速度は L フロー試験器の流れ始動面より 5cm から 10cm の間の流動速度とした。スランプフローが同一である場合 L フロー初速度の大きいものが低粘性

であると判断した。

・ J_{14} 漏斗流下時間：練混ぜ後のフレッシュコンクリートを 5mm ふるいでふるって粗骨材を除去したモルタルについて流下時間を測定し、粘性評価を行った。

・空気量：JIS A 1128 に準拠して測定した。目標値は $1.5 \pm 0.5\%$ とした。

・凝結：JIS A 6204 に準拠して行った。

・経時変化試験：練混ぜ後、静止保存したコンクリートを試験直前に切り返し、30, 60, 90 分にてスランプフローを測定した。

・圧縮強度：JIS A 1108 に準拠し、供試体(10φ×20cm)の片面を研磨処理とし、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ にて水中養生を行った。材齢 7 日と 28 日について測定を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 モルタルによる粘性評価

(1) 既存の PC の粘性

図-2 に PC 添加量とモルタルフローを、図-3 にモルタルフローと J_{14} 漏斗流下時間の関係を、図-4 にモルタル練混ぜ後 5 分と 20 分のモルタルフローの差と J_{14} 漏斗流下時間の関係を示す。ただし図-4 の変化量はモルタルフローが伸びる方向を正とした。既存の PC である PC1 から PC5 は PC 種による添加量とモルタルフローの差があるが、図-3 に示すように J_{14} 漏斗流下時間は、モルタルフローが同一であっても PC 種により差があり、既存の PC では PC2 が PC1, PC3, PC4, PC5 より流下時間が 3~4 秒程度短かった。粘性を現す J_{14} 漏斗流下時間は、図-4 の練混ぜ後 5 分から 20 分のフローの差と流下時間より PC1 から PC5 ではモルタルフローの後伸びが大きいほど J_{14} 漏斗流下時間が短くなった。この結果は後伸びが大きい PC ほど粘性が低くなる傾向があることを示唆している。

(2) 粘性低減作用を有する試作品

粘性低減作用を有する試作品の試験として図-5 に PC 添加量とモルタルフローの関係を、図-6 にモルタルフローと J_{14} 漏斗流下時間の関係を、図-7 にモルタル練混ぜ後 5 分と 20

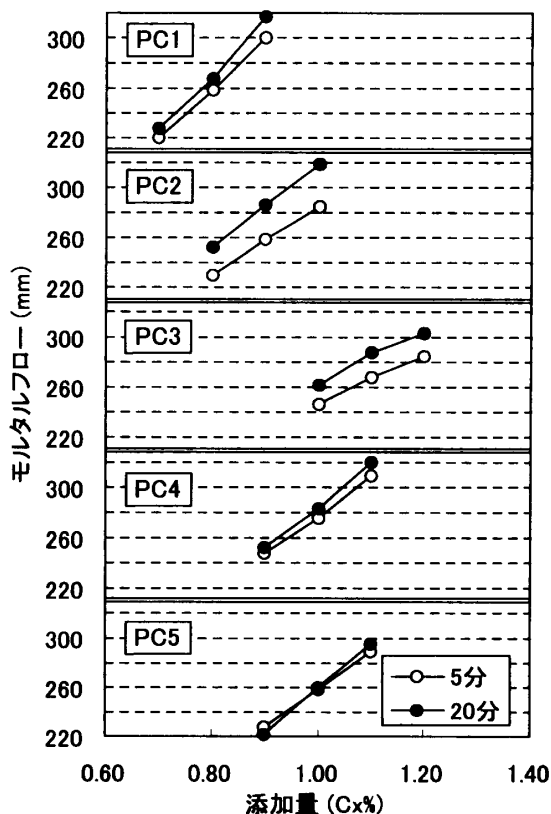


図-2 PC 添加量とモルタルフロー

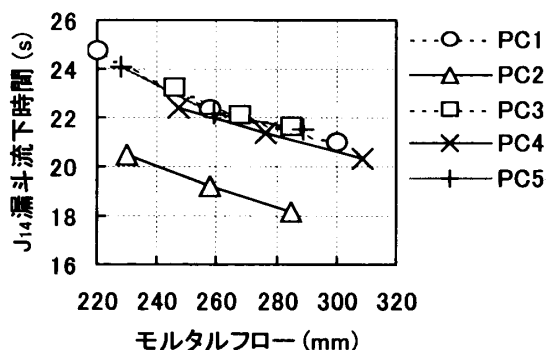


図-3 モルタルフローと J_{14} 漏斗流下時間

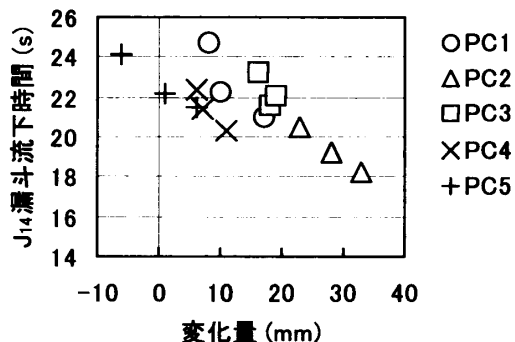


図-4 練混ぜ後 5 分から 20 分のフローの差と粘性

分のモルタルフローの差と J_{14} 漏斗流下時間の関係を示す。PCH, PCN, PCL の 3 種を試験したところ、既存の PC と比較し粘性が低い部類に属していた。これはこの低粘性型 PC の成分による特性であると考えられる。この 3 種は PCH と PCL は既存の PC と同様に後伸びが大きい場合に流下時間が短く粘性が低い結果となったが、PCN はそれらとは異なり、後伸びをしないで粘性が低いという結果が得られた。PCH, PCN, PCL の比較によりその末端スルホン基を有するポリカルボン酸系多元ポリマーと特殊ポリマーとの配合比により粘性が低くなり、後伸びしにくい最適な配合比が存在すると思われる。PCN がこれにあたる。モルタル試験としては PCN が最適であった。

モルタル試験で低粘性型 PC の優位性は確認されたが、これらの結果を踏まえコンクリート試験に臨むこととした。コンクリート試験には低粘性型 PC として後伸びの小さかった PCN を、また比較 PC として PC1 から PC4 を用いることとした。

3.2 コンクリート試験

コンクリート試験結果として PC 添加量と空気量の経時変化を表-4, スランプフローの経時変化を図-8, L フロー初速度を図-9, J_{14} 漏斗流下時間を図-10, 凝結時間を図-11, 圧縮強度を図-12 に示す。空気量による粘性や硬化物性への影響は無視できるようにするため空気量は $1.5 \pm 0.5\%$ の範囲に収まるように消泡剤を用いて調整した。

(1) 経時変化

図-8 に示したスランプフローの経時変化は、 $W/C=30\%$ において PC2 はスランプフローの後伸びが大きく初期フローを目標値にすると材料分離したため初期フローを小さくして測定した。

各 PC のスランプフローの経時変化は PC2 以外は同様な傾向を示した。各 PC を用いたフレッシュコンクリートに分離は認められなかった。モルタル試験において後伸びが大きかった PC2 は $W/C=30\%$ では後伸びが大きく、 $W/C=40\%$ で

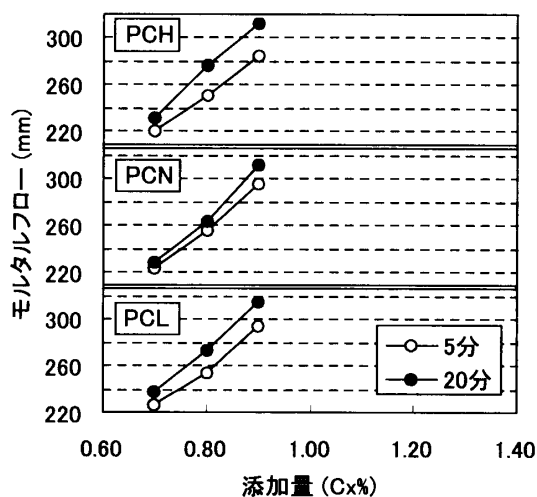


図-5 PC 添加量とモルタルフロー

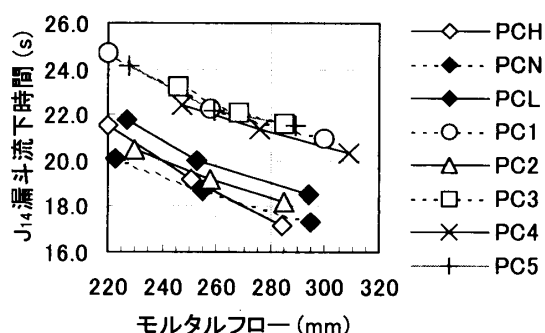


図-6 モルタルフローと J_{14} 漏斗流下時間

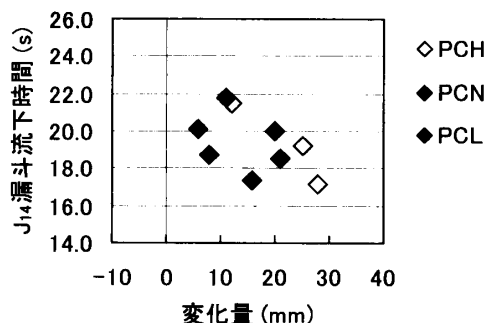


図-7 練混ぜ後5から20分のフローの差と粘性

表-4 空気量の経時変化

W/C (%)	減水剤種類	添加量 Cx%	空気量(%)	
			5 分	90 分
30	PCN	1.10	1.4	1.5
	PC1	1.10	1.5	1.7
	PC2	1.25	1.5	1.5
	PC3	1.45	1.5	1.8
	PC4	1.55	1.2	1.2
40	PCN	1.10	1.8	1.7
	PC1	1.15	1.8	1.9
	PC2	1.25	1.5	1.8
	PC3	1.50	1.4	1.9
	PC4	1.65	1.5	1.9

も後伸びがあったが、改良品の PCN は W/C=30%では後伸びが見られたが、W/C=40%では認められなかった。

(2) Lフロー初速度

図-9に示したLフロー初速度より、モルタル試験と同様に PCN が W/C=30%において初速度が最も大きくて粘性が低く、続いて PC2 の粘性が低かった。モルタル試験結果では後伸びが大きいと粘性が低かったが、コンクリートにおいても後伸びが大きいと粘性が低くなる傾向が認められ、PC2 がそれに該当する。W/C=40%においてはLフロー初速度の PC 種による差は現れなかった。W/C=30%における PCN と PC2 の比較において PCN が後伸びしないで粘性が小さい理由は、コンポーネントとして用いた末端スルホン基を有するポリカルボン酸系多元ポリマーと特殊ポリマーの混合比が最適であり、その相乗効果によるものと推察される。

(3) J_{14} 漏斗流下時間

J_{14} 漏斗試験では粗骨材の影響が排除されてしまうため、フレッシュコンクリートそのものの直接的評価はできないが、図-10に示した J_{14} 漏斗流下時間でも粘性について検討を行ったと

ころ、Lフロー初速度が大きかったものほど流下時間が短く、コンクリートの粘性評価試験と同様な粘性低減の傾向が得られた。W/C=40%で

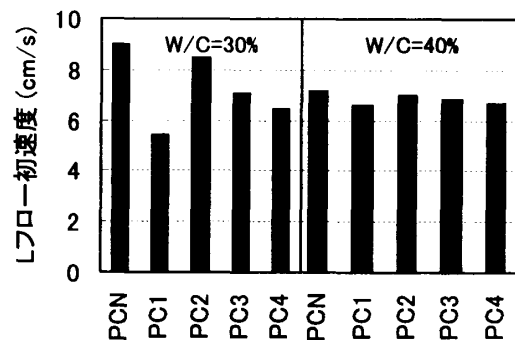


図-9 Lフロー初速度

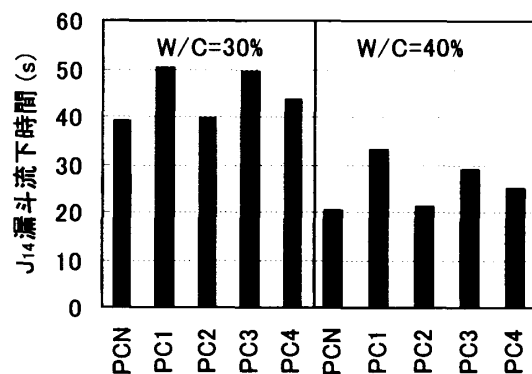


図-10 J_{14} 漏斗流下時間

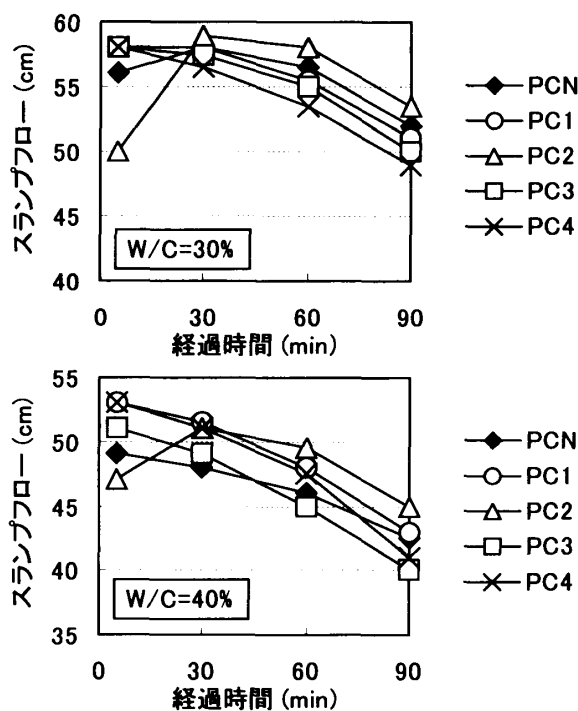


図-8 スランプフローの経時変化

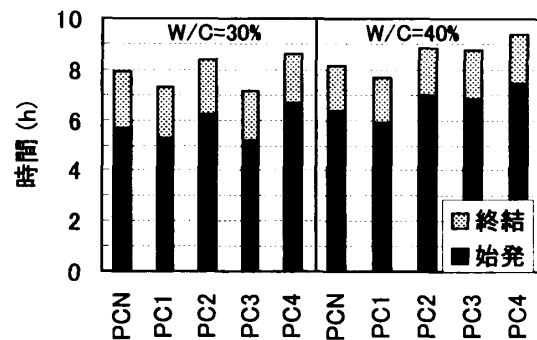


図-11 凝結時間

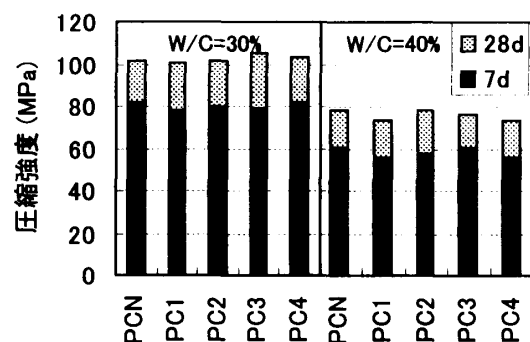


図-12 圧縮強度

は L フロー初速度の差が現れなかったが、 J_{14} 漏斗では流下時間としては明らかな差が現れ、その中では PCN と PC2 の粘性が低いことが確認された。

(4) 凝結時間

図-11 より凝結時間は PC 種による差はあるものの、PCN は既存の PC と比較し差はない。PCN を構成している成分には凝結の促進や遅延させる効果はなく、凝結は良好である。

(5) 強度発現

図-12 に示した圧縮強度試験結果では材齢 7 日、28 日において各 PC とほぼ同じ圧縮強度を示した。PCN の強度発現は他の PC と同等であった。

4. まとめ

粘性低減作用の優れた高性能 A E 減水剤の開発を目的として、従来の末端スルホン基を有するポリカルボン酸系高性能 A E 減水剤の改良試作を行った。従来品および市販のポリカルボン酸系高性能 A E 減水剤と比較しながらコンクリートの粘性低減作用について検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) モルタルの J_{14} 漏斗流下時間の粘性評価において、市販の高性能 A E 減水剤では練混ぜ後のフローの後伸びが大きいものほど粘性が低かった。
- (2) モルタル試験では末端スルホン基を有するポリカルボン酸系多元ポリマーと特殊ポリマーの配合物の比が最適な場合の試作品 PCN において、後伸びが小さくても粘性が低くなった。
- (3) コンクリート試験において、PCN はスランブフローの保持性が他の PC と同等であり、かつ L フロー初速度が最も高く粘性が低かった。また凝結時間、強度発現性についても PCN は他の PC と同程度であり、コンクリートの硬化物性に悪影響を与えないことが確認された。

参考文献

- 1) 日本建築学会/建築工事標準仕様書・同解説、JASS5 鉄筋コンクリート工事, p.422, 1997
- 2) 日本建築学会/高性能 A E 減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針(案)・同解説, 1992
- 3) 泉達男, 下田政朗, 小島俊治, 正中雅文: 高性能 A E 減水剤を用いたコンクリートの施工性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp.187-192, 2000
- 4) 大内雅博, 松枝良展, 小澤一雅, 岡村甫: 自己充填コンクリート中の粗骨材・モルタル粒子間相互作用の簡易評価法, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.451-456, 1999
- 5) 陳庭, 姜丙熙, 野口貴文, 李翰承: ペーストのレオロジー特性に及ぼす高性能 A E 減水剤の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.455-460, 1994
- 6) 木之下光男, 下野敏秀, 米澤敏男, 三井健郎: 超高強度コンクリート用高性能減水剤の性質, コンクリート工学年次論文報告, Vol.16, No.1, pp.341-346, 1994
- 7) 木之下光男, 堺孝司, 荒島猛, 結城康夫: 新高性能 A E 減水剤を用いた低温環境用低発熱・高強度コンクリートの特性, コンクリート工学論文集, Vol.7, pp.19-29, 1996
- 8) 土木学会: 平成 11 年制定コンクリート標準示方書[基準編], p.373, 1999
- 9) 米澤敏男, 和泉意登志, 三井健郎, 奥野亨: 高強度コンクリートのワーカビリティに関する L フロー試験法による研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.11, pp.171-176, 1989