

# 論文 高流動コンクリートの調合と諸性質に関する研究

岩井信彰\*<sup>1</sup>・榊田佳寛\*<sup>2</sup>・杉山 央\*<sup>3</sup>・安田正雪\*<sup>4</sup>

**要旨：**各種セメントを用いて、水セメント比、単位水量、単位粗骨材かさ容積および混和剤使用量を広範囲に変化させた高流動コンクリートの調合と、フレッシュ性状および硬化後の物性との関係を検討した。その結果、高性能で高流動なコンクリートが得られる単位ペースト量および単位粗骨材かさ容積の範囲を得た。

**キーワード：**高ビークライト系セメント，スランプフロー，フロー速度，単位ペースト量，乾燥収縮

## 1. はじめに

高流動コンクリートは、従来の軟練りコンクリートよりも高い流動性と分離抵抗性とを併せもち、施工の省力化やコンクリートの高品質化をはかるための技術として注目されている。高流動コンクリートの調合設計をする場合、水セメント比の大きな範囲では強度上必要なセメント量だけでは材料分離抵抗性に必要な粘性を確保できないため、鉱物質の微粉末で粉体量を増やすか、分離低減剤を添加する必要がある。また、高流動コンクリートは、単位粗骨材かさ容積を小さくしなければならないが、乾燥収縮などに及ぼす影響については必ずしも十分な知見があるわけではない。本研究は、種々のタイプの高流動コンクリートのうち、結合材（粉体）としてセメントのみを用い、分離低減剤を併用するものについて広範囲の強度レベルに適用可能な高流動コンクリートの調合設計方法および基本的性質に関する知見を得ることを目的に実施したものである。

## 2. 実験計画

コンクリートの調合の要因と水準を表-1に示す。また、使用材料を表-2に示す。高流動コンクリートのスランプフローは65±5cmを、空気量は4.5±1.0%を目標値とした。また、硬化後の物性の比較のためにスランプ18または21cmの軟練りコンクリートを使用した。なお、コンクリ

表-1 コンクリートの調合の要因と水準

セメントの種類	水セメント比 (略号: W/C) (%)	単位水量 (略号: W) (kg/m <sup>3</sup> )	粗骨材かさ容積 (略号: Gv) (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	分離低減剤使用量 (略号: Vc) (W×%)	高性能A/E減水剤 使用量 (略号: SP) (C×%)
普通ポルトランド セメント	30, 35, 45, 55	160~200	0.45~0.57 比較: 0.60, 0.63	0, 0.1, 0.2 0.3, 0.4	0~4.0
高ビークライト系 セメント	30, 35, 45	160, 170, 185	0.51~0.54	0, 0.1, 0.2, 0.4	
高炉セメントB種	35, 45, 55	170~200	0.48~0.56	0, 0.1, 0.2 0.3, 0.4	

- \* 1 建設省建築研究所第2研究部無機材料研究室部外研究員（正会員）
- \* 2 建設省建築研究所第2研究部無機材料研究室室長，工博（正会員）
- \* 3 建設省建築研究所第2研究部無機材料研究室研究員，工修
- \* 4 東洋建設(株)総合技術研究所美浦研究所建築材料研究室主任研究員（正会員）

練り混ぜ数は 165バッチに及んでいる。  
セメントは普通ポルトランドセメント、高強度、高流動タイプの高ビーライト系セメントおよび高炉セメントB種を用いた。これらのセメントを用いた高流動コンクリート（以下、OPC、HBC、BSCと略記する）の調合は、水セメント比を30から55%、単位水量を 160から200kg/m<sup>3</sup>、分離低減剤使用量を単位水量に対し最大 0.4%まで変化させた。単位粗骨材かさ容積（以下、かさ容積と略記する）は、0.45から0.57 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>まで変化させた。なお、比較のための通常の軟練りコンクリートは0.60および0.63m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とした。

細骨材は鬼怒川産川砂を、粗骨材は岩瀬産硬質砂岩砕石を使用した。高性能AE減水剤はポリカルボン酸系ものを、分離低減剤は水性セルロースエーテル系ものを使用した。コンクリートの練混ぜ時間は、セメントおよび細骨材投入後15秒、加水後60秒、粗骨材投入後60~90秒とし、フレッシュコンクリートの試験は、排出後ただちに行った。試験項目および試験方法を表-3に示す。また、スランプ試験においてコンクリートの状態を目視により判定し、表-4に示す状態分類した。

### 実験結果および考察

#### 1 フレッシュコンクリートの性質

スランプ・スランプフロー・フロー速度  
スランプとスランプフローの関係を図-1に示す。図中の曲線は、コンクリートの状態が良好なもののみを用いて、最小二乗法で、 $Y = A e^{Bx} + 20$ （Y：スランプフロー(cm)、X：スランプ(cm)、A, B：係数）の形の式を用いたものである。これによると良好な高流動コンクリートは、セメントの種類にかかわらずスランプとスランプフローの関係は同じを示すことがわかる。一方、分離したコンクリートのスランプフローは、スランプが26cm以下の範囲で、この曲線に比べ約3

表-2 使用材料

材料	種類	特性・主成分
セメント	普通ポルトランド	比重 = 3.16 比表面積 = 3420cm <sup>2</sup> /g (3銘柄等量混合)
	高ビーライト系	比重 = 3.16 比表面積 = 4180cm <sup>2</sup> /g C <sub>2</sub> S = 46%
	高炉B種	比重 = 3.05 比表面積 = 3720cm <sup>2</sup> /g
細骨材	川砂 (鬼怒川産)	表乾比重 = 2.58 吸水率 = 2.07% 粗粒率 = 2.88
粗骨材	砕石 (岩瀬産硬質砂岩)	表乾比重 = 2.65 吸水率 = 0.68% 実積率 = 59.8%
混和剤①	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
混和剤②	分離低減剤	セルロースエーテル系 2%水溶液粘度 = 10,000cP

表-3 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプ スランプフロー	JIS A 1101による スランプ試験後のフロー値を測定
フロー速度	スランプフローが50cmに達する時間を測定し、この時間でフロー先端の移動距離15cmを除いて求める
空気量	JIS A 1116による
圧縮強度	JIS A 1108による 試験体寸法 = φ10×20 標準養生 試験材齢 = 7, 28, 91, 365日
ヤング係数	圧縮強度の1/3割線静弾性係数
乾燥収縮	JIS A 1129による 材齢7日まで標準養生 以後、恒温恒湿室で気中養生 20±1℃, 60±5%RH
中性化抵抗性	材齢28日まで標準養生、以後 28日間恒温恒湿室で気中養生後 促進養生, 20±2℃, 60±5%RH CO <sub>2</sub> 濃度 = 5±0.2%

表-4 コンクリートの状態の分類

分類	コンクリートの状態
粘性大	粘性が大きく、作業性が悪いもの スランプフロー端部が丸みを帯びている
良好	粗骨材がスランプフロー端部まで運ばれ 粗骨材とモルタルの分離がないもの
分離	スランプフロー端部にペーストおよび 遊離した水が遍在するもの 中央部に粗骨材が遍在するもの

cm以上大きかった。

次に、スランプフローとフロー速度の関係を図-2に示す。また、スランプ別にコンクリートの状態に対するフロー速度の範囲を図-3に示す。セメントの種類がフロー速度に及ぼす影響を見ると、スランプフロー 65±5 cmの範囲の良好なコンクリートでは、OPCは2~4 cm/s、HBCは2~10 cm/s、BSCはその中間であり、セメントの種類による差が認められた。これまで C<sub>2</sub>Sの含有量が多いセメントでは粘性が小さいと報告されている[1][2]がこれを裏付ける結果となった。

図-3からは、いずれのスランプフローでもフロー速度は粘性大のものでは小さくなっていることが分かる。また、スランプフローが 70±5 cmでは分離したものや分離気味のものでフロー速度が他の場合より大きくなった。

以上のことをまとめるとコンクリートの材料分離の判定は、スランプが26 cm以下の場合にはスランプとスランプフローとの関係から、スランプフローが70 cm程度の場合にはスランプフローとフロー速度との関係から、それぞれ行えると考えられる。

### (2) コンクリートの状態に及ぼす調合の影響

単位セメント量、単位ペースト量、単位粗骨材かさ容積などの調合要因とスランプフローおよびコンクリートの状態との関係を調べたところ、単位ペースト量がコンクリートの状態に大きく影響していた。

ここで、単位ペースト量はセメント、混練水、空気量の調合上の体積の和とした。

単位ペースト量とスランプフローの関係を図-4に示す。図中にほぼ全ての調合のコンクリートが分離した線、分離と良好がそれぞれ半数ずつの線およびほぼ全てが良好であった線を示す。同図より、スランプフローを大きくしていった場合に良好なコンクリートを得るには、単位ペースト量を多くしていく必要があることが分かる。本実験の範囲では、スランプフローが60 cmでは340 g/m<sup>3</sup>程度に、

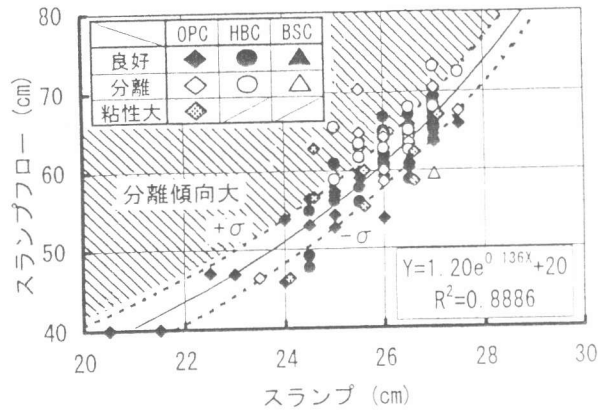


図-1 スランプとスランプフローの関係

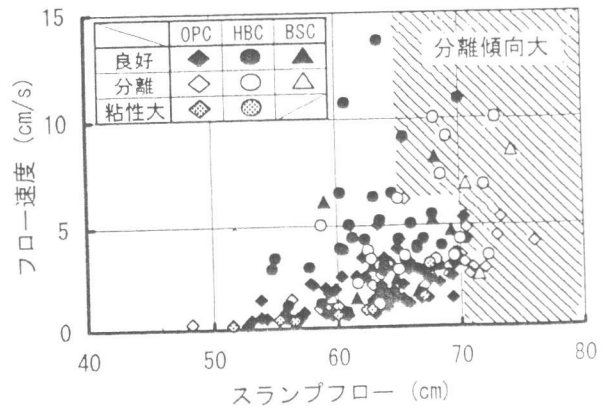


図-2 スランプフローとフロー速度の関係

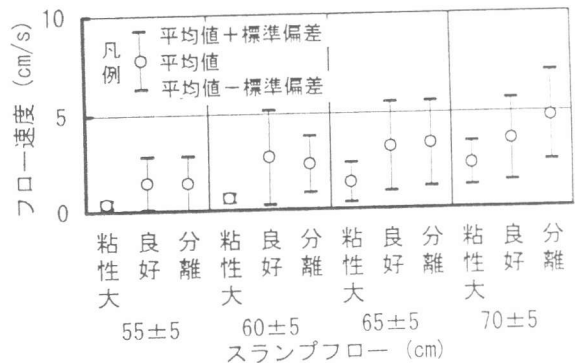


図-3 コンクリートの状態とフロー速度の関係

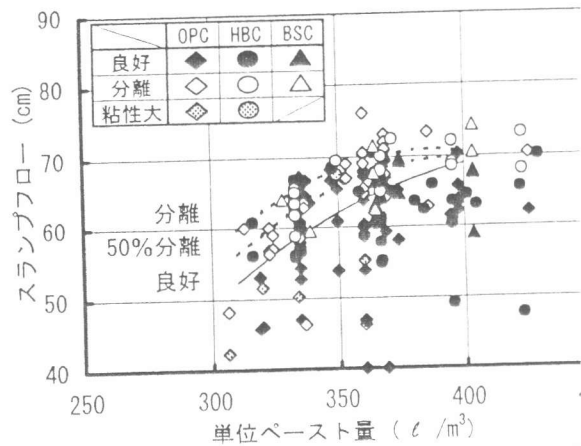


図-4 単位ペースト量とスランプフローの関係

0.50m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>程度になった。

### 3.2 硬化コンクリートの特性

#### (1) 圧縮強度・ヤング係数

セメント水比と圧縮強度の関係を図-5に示す。セメント水比と圧縮強度の関係は、通常のコンクリートと同様に直線近似が可能である。HBCの材齢28日における強度発現はOPCとほぼ同等であったが、材齢7日強度は、材齢28日強度に比べて約4~6割であり、またOPCに比べて約200kgf/cm<sup>2</sup>小さかった。一方、長期材齢の強度増進は大きく、材齢28~91日で約100kgf/cm<sup>2</sup>以上の強度増加が認められ、高ビーライト系セメントの特徴をよく表す結果となった。

圧縮強度とヤング係数の関係を図-6に示す。ヤング係数は、比較のための軟練りコンクリートに比べてやや小さくなる傾向が認められたものの、単位容積質量が2.3~2.4t/m<sup>3</sup>の範囲では、セメントの種類に関わらずNew RC式でよく近似できる[3]。

単位粗骨材かさ容積の影響を図-7に示す。圧縮強度は、かさ容積の減少に従い大きくなり、0.50m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>以下でその傾向が顕著であったが、ヤング係数には差が認められなかった。従って、かさ容積が0.50m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>以下になると同じ圧縮強度に対するヤング係数は小さくなると言える。

#### (2) 乾燥収縮

乾燥日数と質量減少率の関係を図-8に、乾燥日数と長さ変化率の関係を図-9に示す。

W/C 35%では、OPCの質量減少率および長さ変化率はともに比較のための軟練りコンクリートと比べて差は認められなかったが、HBCでは質量減少率が比較コンクリートと比べて大きいにもかかわらず長さ変化率が小さかった。

W/C 45および55%のOPCの質量減少率および長さ変化率はともに比較のための軟練りコンクリートに比べやや大きかった。一方、W/C 45%のHBCでは、質量減少率が大きいにもかかわらず、長さ変化率は比較のための軟練りコンクリートと大差なかった。

これらの結果から、OPCでは長さ変化率が大きくなる傾向にあるが、HBCでは長さ変化率

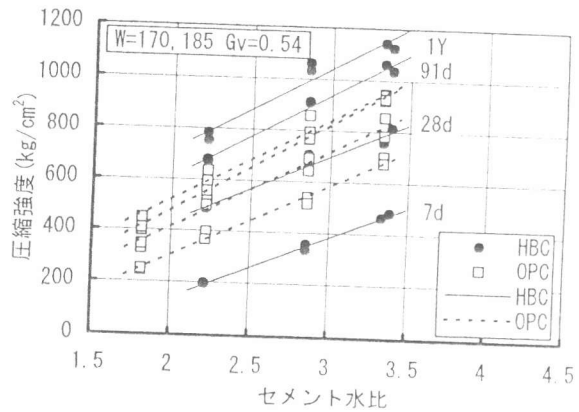


図-5 セメント水比と圧縮強度の関係

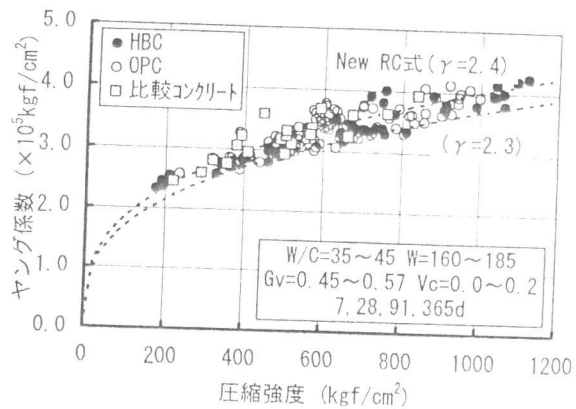


図-6 圧縮強度とヤング係数の関係

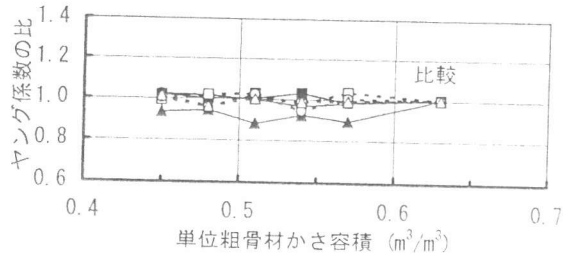
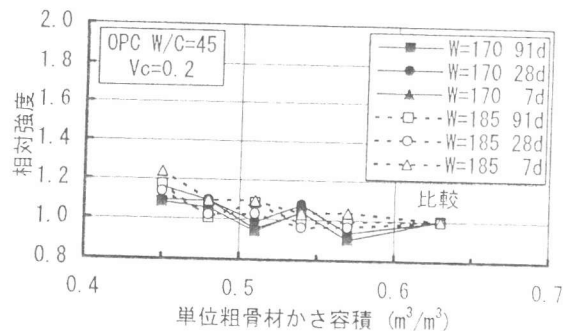


図-7 単位粗骨材かさ容積の影響

は必ずしも大きくはならないことが分かる。

単位粗骨材かさ容積と長さ変化率の関係を図-10に示す。今回の実験した範囲ではかさ容積による長さ変化率の差は認められなかった。

単位水量と長さ変化率の関係を図-11に示す。OPCでは、単位水量の増加に伴い長さ変化率は増大する傾向が認められたが、HBCでは特に差があるとは認められなかった。

分離低減剤使用量と長さ変化率の関係を図-12に示す。分離低減剤を用いた高流動コンクリートの長さ変化率は、用いないものに比べて大きいことが認められる。しかし、分離低減剤の使用の有無および使用量は、単位セメント量、単位水量および高性能AE減水剤使用量とに關係するため分離低減剤が単独で乾燥収縮に及ぼす影響については必ずしも明らかではない。

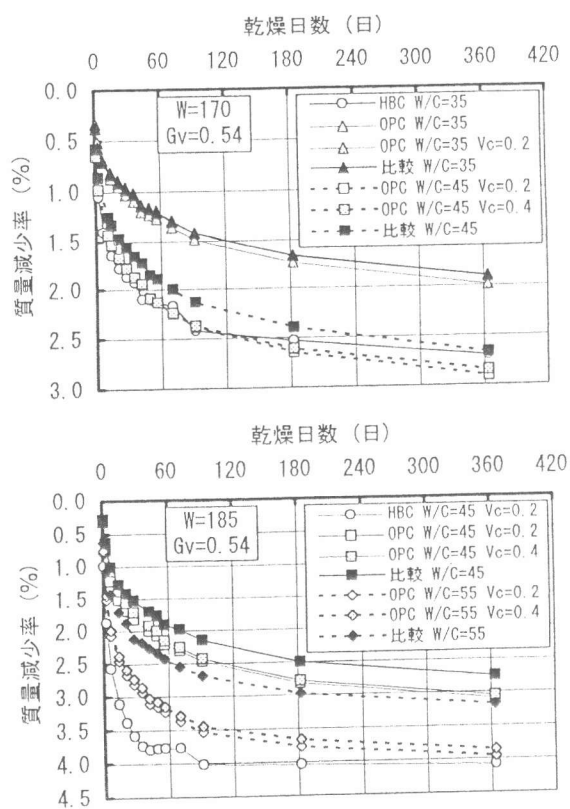


図-8 乾燥期間と質量減少率の關係

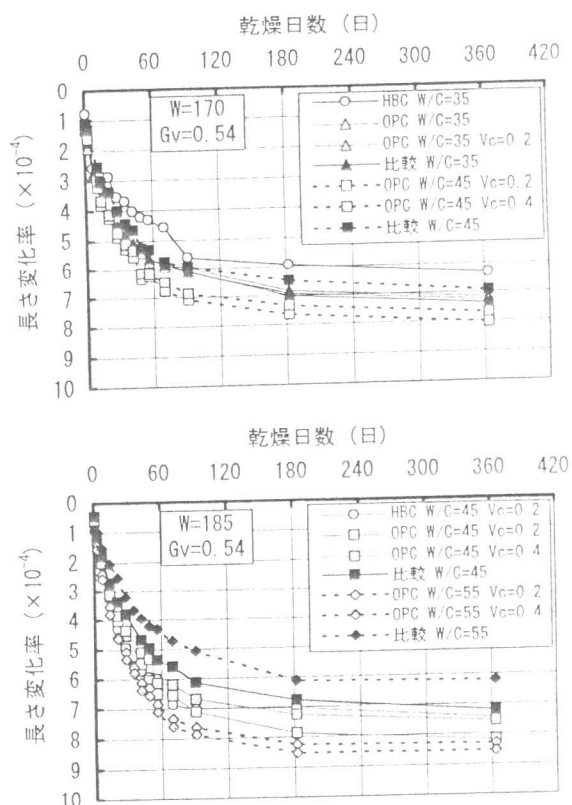


図-9 乾燥期間と長さ変化率の關係

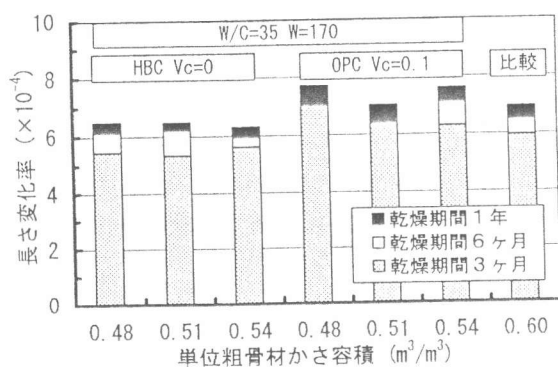


図-10 単位粗骨材かさ容積と長さ変化率の關係

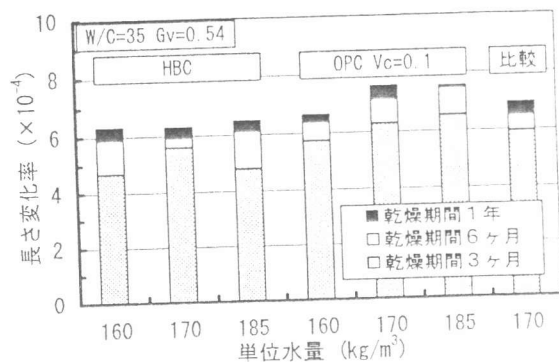


図-11 単位水量と長さ変化率の關係

### (3) 中性化

水セメント比と中性化深さの関係を図-13  
 こ示す。OPCの中性化深さは、W/C 30~35%  
 の場合にはほとんど進行しないが、W/C 45  
 ~55%の場合には比較コンクリートに対して  
 2~3mm大きくなる傾向が認められた。HBC  
 は、W/C 30と35%のみの試験であったが、  
 中性化はほとんど進んでいなかった。中性化  
 の進行は、従来の通常のコンクリートと同様  
 にW/Cの影響が大きいと考えられる。

### まとめ

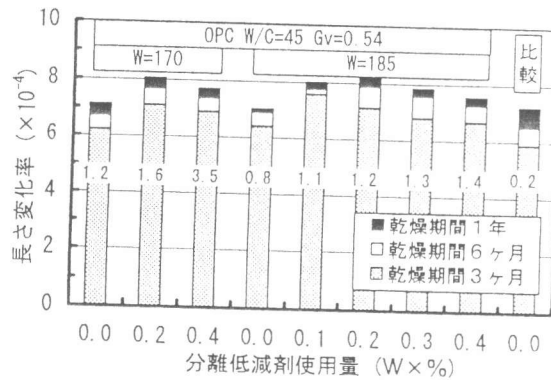
本研究の結果をまとめると以下のようであ  
 る。

- 1) スランプフローが同一の場合のフロー速  
 度は、OPC、BSC、HBCの順に大き  
 くなる。
- 2) コンクリートの分離傾向は、スランプが  
 26cm以下の場合にはスランプとスランプフ  
 ローとの関係から、スランプフローが70cm  
 程度の場合にはスランプフローとフロー速  
 度との関係から、それぞれ判定できると考  
 えられる。
- 3) 目標とするスランプフローを大きくすると、良好な高流動コンクリートを得るための単位ペ  
 ースト量は多くなり、今回の実験の範囲では、スランプフローが60cmでは340ℓ/m<sup>3</sup>程度に、65  
 cmでは370ℓ/m<sup>3</sup>程度になった。
- 4) 単位粗骨材かさ容積が0.50m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>以下では、同じ圧縮強度に対するヤング係数は小さくなる。
- 5) 長さ変化率は、HBCは比較コンクリートと比べて小さく、OPCは大きくなる傾向である。
- 6) 中性化深さは、W/Cの影響が大きい。

【辞】 本研究に際し、建設省建築研究所の阿部道彦室長、鹿毛忠継主任研究員および前田弘美  
 技官、部外研究員の伊藤卓幸氏、中川雄二氏および宮本鯉輔氏、秩父小野田(株)の名和豊春氏、  
 我妻佳幸氏、(株)八洋コンクリートコンサルタントの桜井新一氏らに協力を頂きました。

### 参考文献

- 1) 小林・吉本・鈴木：中庸熟ポルトランドセメント系HPC用セメントに関する研究，セメント  
 技術大会講演集，Vol. 47，1993. 4
- 2) 名和・江口・大久保・坂部：高ビーライト系ポルトランドセメントを用いたモルタル・コンクリ  
 ートの流動性と蒸気養生下での強度発現性について，セメント技術大会講演集，Vol. 48，1994. 4
- 3) 建設省総合技術開発プロジェクト：鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開  
 発報告書，pp7-2-35~7-2-37，1993. 3



【注】 棒グラフ中の数字は高性能AE減水剤使用量 (C x %) を現す。

図-12 分離低減剤使用量と長さ変化率の関係

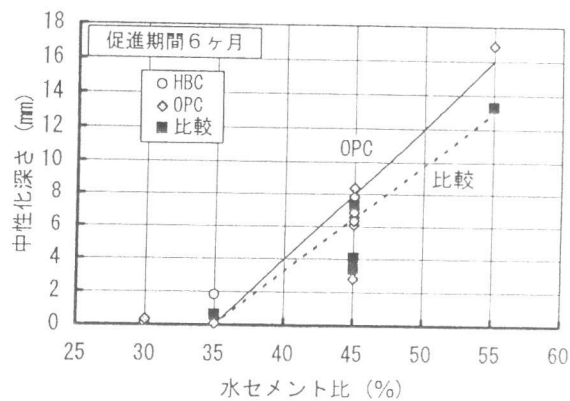


図-13 水セメント比と中性化深さの関係