

報告 コンクリート中のセメントペーストが硬化物性に及ぼす影響

浅井 洋*¹・永元直樹*²・西本好克*³・藤田 学*⁴

要旨：高流動コンクリートは、従来のコンクリートの配合と比較してペースト容積が多くなる傾向にある。本試験では、コンクリート中のペースト容積の増加が硬化したコンクリートの静弾性係数、乾燥収縮およびクリープ変形に及ぼす影響を水セメント比の比較的小さい領域において行った。その結果、単位ペースト容積は静弾性係数などに影響を及ぼすが、低水セメント比の配合では長さ変化やクリープ変形特性にはほとんど影響を及ぼさないことがわかった。

キーワード：単位ペースト容積，圧縮強度，静弾性係数，乾燥収縮，クリープ

1. はじめに

高流動コンクリートの研究および施工が各方面で実施されており、そこで使用される配合用箇所や要求性能等により様々である。従来より使用されているコンクリートの配合と比較した場合、その多くは単位ペースト容積が増加する傾向にある。単位ペースト容積の増加はコンクリートのフレッシュ性状のみでなく硬化物性に及ぼす影響も大きいものと考えられる。本実験結合材に普通ポルトランドセメントを用い、高性能AE減水剤によって流動性を付与した高流動コンクリートを想定し、数種類の配合の硬化物性を把握するため試験を行った。

2. 試験概要

使用材料を表-1に示す。結合材として普通ポルトランドセメント単体を使用し、すべての配合について高性能AE減水剤を使用してスランプあるいはスランプフローを調節した。配合を表-2に示す。配合1はスランプ8cm，配合2はスランプ15cmとした。配合3～6はスランプフロー60cmとした。空気量は4%とした。

配合1および配合2は高強度コンクリートを対象とした配合である。配合3は配合2のs/aを約10%増加した高流動コンクリートである。配合4,5はそれぞれ配合3から単位水量および単位ペースト容積を変化させたものである。また、

表-1 使用材料

セメント	C	普通ポルトランドセメント 比重 3.15 比表面積 3220cm ² /g
細骨材	S	栃木県鬼怒川産川砂 比重 2.62 吸水率 1.75 粗粒率 3.04
粗骨材	G	栃木県粟野町産碎石 比重 2.65 吸水率 0.55% 実績率 59.9% 粗粒率 6.95
高性能 AE減水剤	SP	ポリカルボン酸系

- *1 住友建設(株)土木部開発課主任 (正会員)
- *2 住友建設(株)技術研究所研究員 (正会員)
- *3 住友建設(株)建築部技術課課長 (正会員)
- *4 住友建設(株)技術研究所主任研究員 (正会員)

表-2 配合表

配合 No.	W/C (%)	s/a (%)	Vp (m ³ /m ³)	単 位 量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	SP
1	41.5	44.5	0.291	165	398	761	1005	4.38
2	33.7	41.4	0.330	170	505	687	972	8.59
3	33.7	51.5	0.328	169	500	858	808	11.50
4	36.0	51.0	0.339	180	500	836	802	10.00
5	33.7	51.0	0.370	191	565	793	762	7.35
6	29.1	48.1	0.404	193	664	705	762	11.62

Vp: 単位ペースト容積

表-3 試験方法

試験項目	内 容
圧縮試験	材齢 3, 7, 28 日に測定 供試体寸法: φ10×20cm, 標準養生
静弾性係数 およびポアソン比	圧縮試験時、縦方向および横方向ひずみを 表面ゲージにて測定
引張試験	材齢 28 日測定 供試体寸法: φ10×20cm, 標準養生
曲げ試験	材齢 28 日測定 供試体寸法: □10×10×40cm, 標準養生
長さ変化試験	供試体寸法: □10×10×40cm 供試体製作翌日より材齢 7 日まで 20℃ 水中養生 材齢 7 日以降、気温 20℃, 湿度 60% 気中養生
クリープ試験	供試体寸法: □10×10×40cm 養生方法は長さ変化試験に同じ、材齢 7 日に載荷 応力度: 配合 1 10MPa, 配合 2~6 15MPa 長さ変化試験およびクリープ試験の長さ変化量は 供試体中に配置した埋め込み型ゲージによる

配合 6 は配合 5 の粗骨材量を一定として単位ペースト容積等を変化させたものである。

試験体作製時の突き固めは配合 1 および配合 2 については土木学会規準に従い、配合 3 ~ 6 は一切突き固めを行わなかった。実施試験項目および試験内容を、表-3 に示す。

3. 試験結果

3.1 圧縮強度

各材齢の圧縮強度と C/W の関係を図-1 に示す。セメント水比と圧縮強度の関係は各材齢で比例関係が認められた。また、川砂利や硬質砂岩を用いた既往の研究結果¹⁾と比較すれば、同一セメント水比で高い圧縮強度を示すが、セメント水比と圧縮強度との関係の傾きはほぼ同じであった。

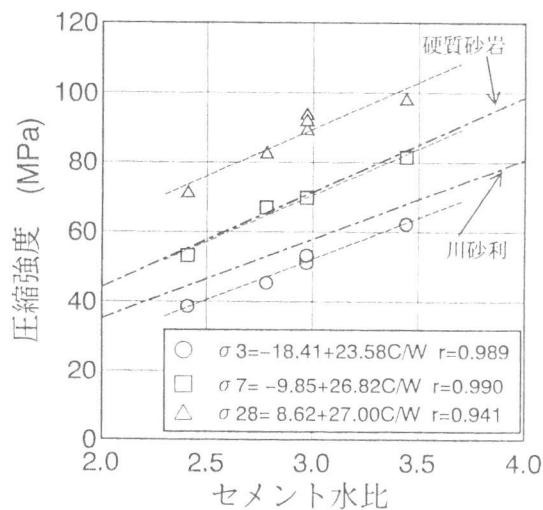


図-1 C/Wと圧縮強度の関係

3. 2 静弾性係数

静弾性係数と圧縮強度の関係をコンクリート標準示方書の値、建築学会式、ACI363式²⁾およびNew RC式³⁾と比較して図-2に示し、それぞれの式を式(1)~(3)に示す。圧縮強度が60MPa以下では各配合の間に顕著な差は認められず各々の関係式とも適用できるものと考えられる。一方、60MPaを越えた高強度域では単位ペースト量の多い配合3~6の静弾性係数は、配合1および配合2と比べ若干小さな値を示した。その値は、ACI式あるいはNew RC式によく一致した。

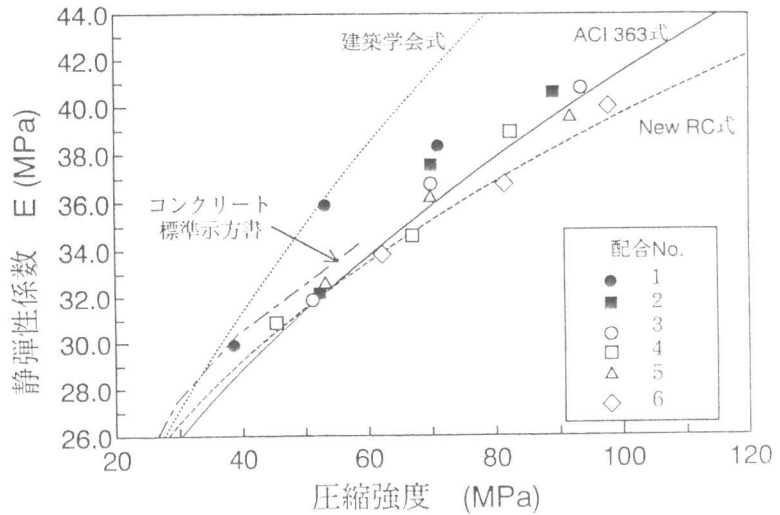


図-2 圧縮強度と静弾性係数の関係

$$E=20600 \times (\gamma/2.3)^{1.5} \times (fc/19.6)^{0.5} \quad (1) \quad [\text{建築学会式}]$$

$$E=(3320 \cdot fc^{0.5} + 6900) \times (\gamma/2.346)^{1.5} \quad (2) \quad [\text{ACI 363式}]$$

$$E=K1 \cdot K2 \times 3.35 \times 10^4 \cdot (\gamma/2.4)^2 \times (fc/60)^{1/3} \quad (3) \quad [\text{New RC式}]$$

ここに、

E : 静弾性係数 (MPa), fc : 圧縮強度 (MPa)

γ : コンクリートの単位容積質量 = 2.4 (g/cm³)

K1 : 粗骨材の種類により定まる補正係数 = 1.0

K2 : 混和材の種類により定まる補正係数 = 1.0

静弾性係数と圧縮強度の3乗根の比 ($E/fc^{1/3}$)と単位ペースト容積との関係を図-3に示す。式(3)では一定値 ($E/fc^{1/3}=8557$)を示すのに対して、試験結果では単位ペースト容積が多いほど小さくなる傾向が認められ、圧縮強度に対する静弾性係数は小さくなる傾向にある。本試験では単一種類の骨材を使用したため単位ペースト容積による影響が認められたが、高強度になるにしたがい骨材の種類が静弾性係数に及ぼす影響も大きく、骨材の種類が変われば弾性係数も変化するものと考えられる。

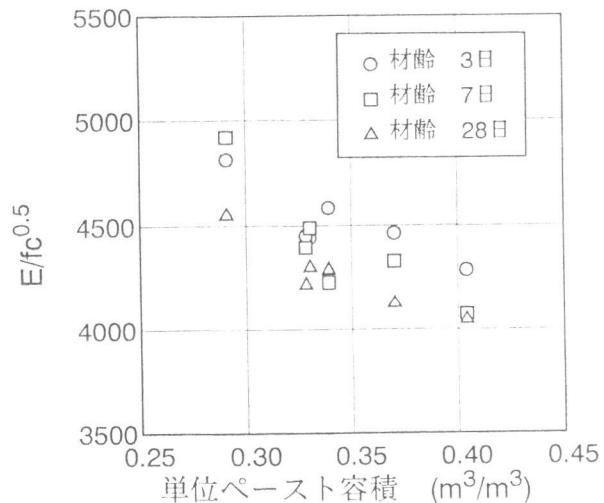


図-3 単位ペースト容積と静弾性係数の関係

3. 3 最大圧縮荷重時ひずみ

圧縮強度と最大圧縮荷重時のコンクリート縦ひずみの関係を図-4に示す。本実験の配合では圧縮強度時のひずみは $2000 \sim 3000 \times 10^{-6}$ に分布した。図中に六車⁴⁾による算定式を示した。配合1については圧縮強度の伸びとともにそのときのコンクリート縦ひずみも増加し六車の式に近い値を示した。一方、配合2～6の縦ひずみは算定式より大きな値を示し圧縮強度の増加にともなう縦ひずみの顕著な増加は認められなかった。

単位ペースト容積との関係を図-5に示す。単位ペースト容積が $0.29 \text{ m}^3/\text{m}^3$ では 2300×10^{-6} 程度であるのに対し、 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$ に増加すると縦ひずみは 2800×10^{-6} 程度に増加する。

3. 4 ポアソン比

圧縮強度 f_c と $1/3f_c$ におけるポアソン比の関係を図-6に示す。圧縮強度 $40 \sim 100 \text{ MPa}$ の間でポアソン比は $0.20 \sim 0.22$ 程度であり、圧縮強度の増加とともにポアソン比も大きくなる傾向にある。

3. 5 引張強度

単位ペースト容積が引張強度(f_t)に及ぼす影響を図-7に示す。コンクリート標準示方

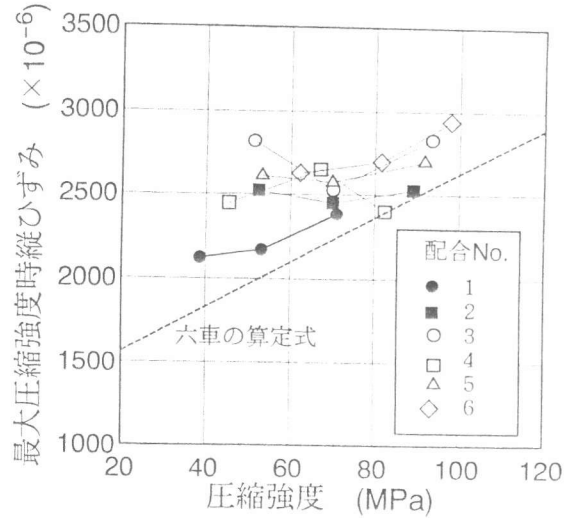


図-4 最大圧縮荷重時のコンクリート縦ひずみ

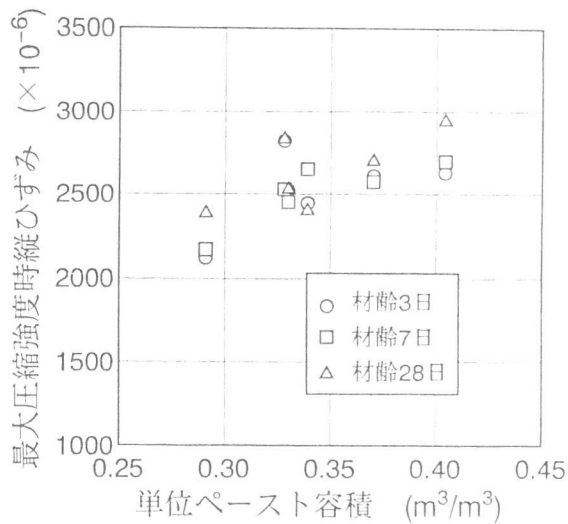


図-5 圧縮強度時ひずみ

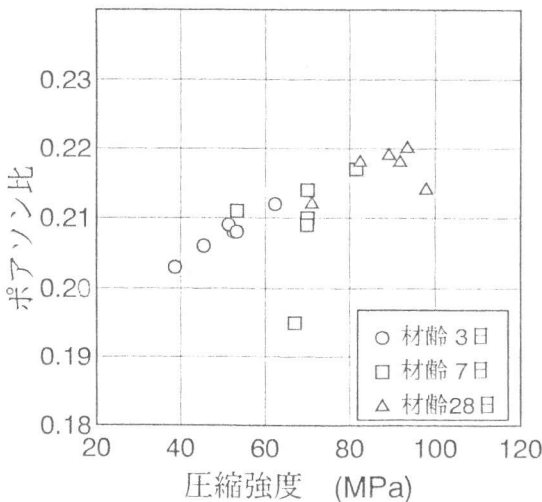


図-6 圧縮強度とポアソン比の関係

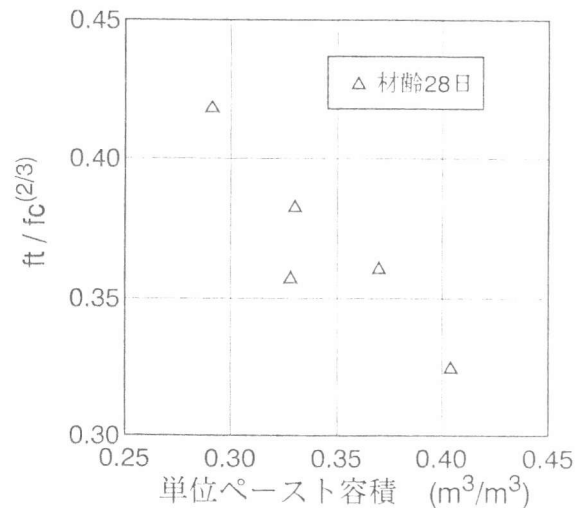


図-7 単位ペースト容積と引張強度の関係

書ではコンクリートの引張強度は圧縮強度の特性値の2/3乗に比例するとされており、圧縮強度の影響を排除するため縦軸に引張強度と圧縮強度の2/3乗の比をとって示した。単位ペースト容積が多くなるにしたがい圧縮強度に対する引張強度の割合は小さくなる傾向にある。単位ペースト容積 $0.29\text{m}^3/\text{m}^3$ で圧縮強度の1/15、 $0.40\text{m}^3/\text{m}^3$ では1/19であった。

3. 6 曲げ強度

単位ペースト容積と曲げ強度(f_b)の関係を図-8に示す。引張強度と同様に圧縮強度の違いの要因を排除するため縦軸には曲げ強度と圧縮強度の2/3乗の比をとった。本実験の範囲からは単位ペースト容積と曲げ強度との間には明確な傾向は認められず、概ね曲げ強度は圧縮強度の1/12~1/13であった。

3. 7 長さ変化

図-9に長さ変化の経時変化を示す。コンクリートの乾燥収縮は単位水量の増加に伴い増加する傾向を示す。配合1~6の長さ変化の推移はほとんど同じ傾向を示した。友沢ら⁵⁾は圧縮強度が $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上で単位水量が $185\text{kg}/\text{m}^3$ 以下では乾燥収縮に及ぼす単位水量の影響はわずかであるという結果を示しており、水セメント比が比較的小さく高強度が得られたため各配合に差が生じなかったものと考えられる。

単位セメント量あたりの長さ変化率を単位収縮ひずみとし、水セメント比との関係を図-10示す。材齢28日における長さ変化と最終ひずみを図中に示した。ここで最終ひずみは長さ変化率と経時変化の関係を双曲線により近似し算出したものである。藤原ら⁶⁾は圧縮強度が異なるコンクリートの乾燥収縮を単位セメント量あたりの乾燥収縮と水セメ

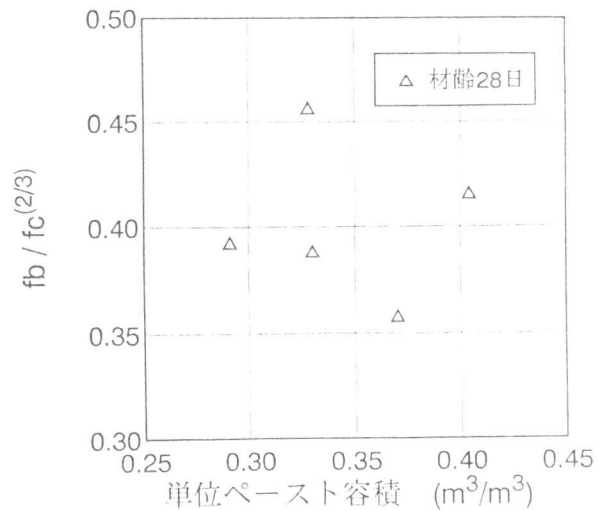


図-8 単位ペースト容積と曲げ強度の関係

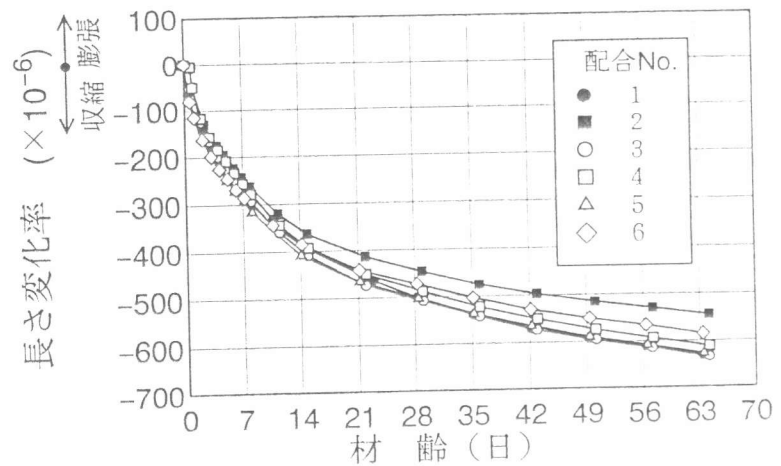


図-9 長さ変化率

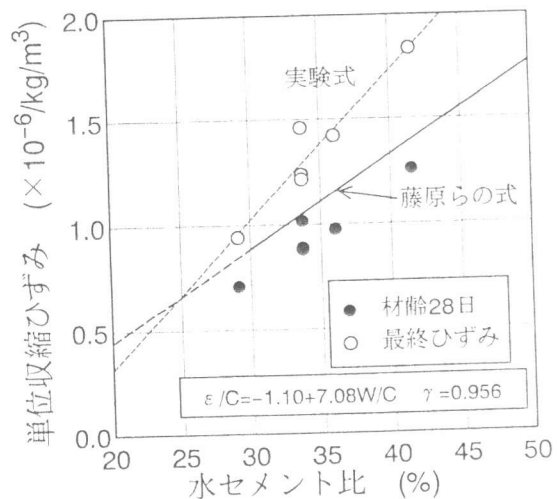


図-10 水セメント比と単位収縮ひずみの関係

ント比との関係で評価しており、本実験結果においても藤原らの実験式とは異なった値ではあるが線形関係が認められた。

3. 8 クリープ

図-11に各供試体のクリープ係数の経時変化を示す。各配合のクリープ係数の推移は配合1および配合6がわずかに高い値を示して推移したが、各配合のクリープ係数には大差が認められなかった。材齢28日におけるクリープ係数と単位ペースト容積との関係を図-12に示す。各配合の経時変化を双曲線式で近似し

最終クリープ係数を算出した。材齢28日および最終クリープ係数とも単位ペースト容積に対するクリープ係数への影響は認められなかった。

まとめ

本実験は普通ポルトランドセメントを用いた高流動コンクリートの基本的硬化物性を把握するために行った。単位ペースト容積が硬化物性に与える影響に着目した結果、弾性係数、最大荷重時のコンクリート縦ひずみ、ポソソ比や引張強度等のコンクリートの硬化性に影響を及ぼす結果が得られた。一方、乾燥収縮やクリープといった長期間の変形性にはほとんど差が認められなかった。

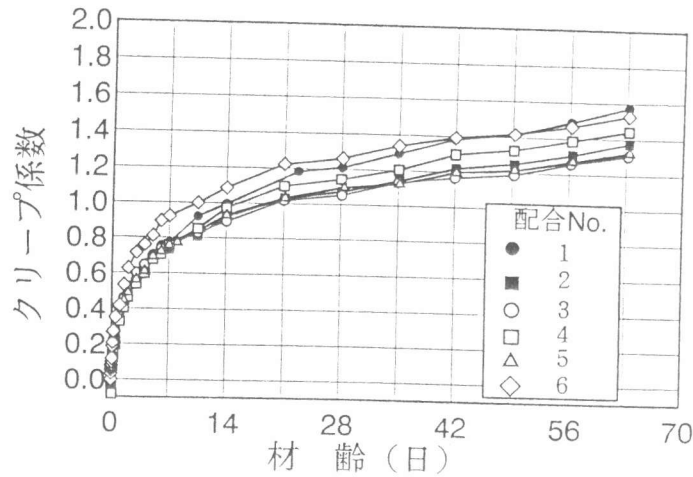


図-11 クリープ係数

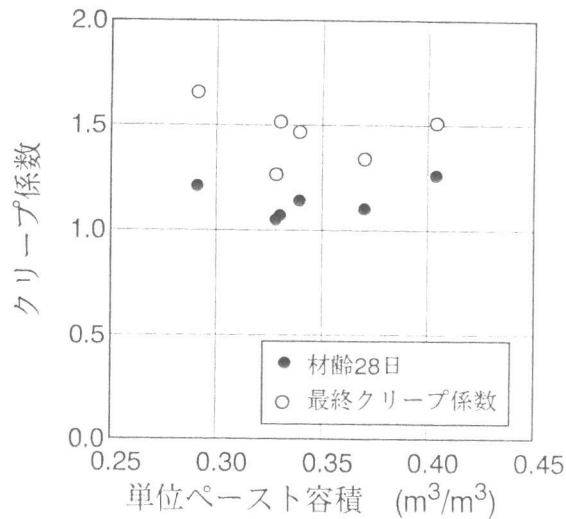


図-12 クリープ係数と単位水量の関係

参考文献

- 1] 日本建築学会：高強度コンクリートの技術の現状，1991.
- 2] ACI Committee 363: State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete 5.3-Modulus of elasticity, ACI Journal, Vol. 81, No. 4, p384, July-August, 1984.
- 3] 建設省総合プロジェクト：平成4年 高強度コンクリート分科会報告書，平成5年3月
- 4] 六車熙・田中進三：高強度コンクリートの力学特性について，セメント技術年報，XXV II，1973.
- 5] 友沢史紀・榊田佳寛・阿部道彦・田中斉・安田正雪：高強度コンクリートの調合と基礎的物性，昭和62年度建築研究所年報，pp. 49~54, 1987.
- 6] 藤原忠司・石田宏・帷子国成・小西俊之：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす配合の影響，コンクリート工学年次論文報告集，pp. 205~210, 1989.