

# [65] 高炉セメントに流動化剤を使用したコンクリートの諸性質について

正会員 ○依 田 彰 彦 (足利工業大学工学部)

正会員 横 室 隆 (足利工業大学工学部)

正会員 岡 田 英三郎 (花王化学品本部)

## 1. はじめに

高炉セメントは、このところ省資源・省エネルギー及びアルカリ骨材反応防止などの理由からコンクリート工事に多用されている。

本報は先に報告した流動化剤<sup>1)</sup>以外のものを使用した場合について多角度から実験研究したものをとりまとめた。なお、高炉セメントB種の高炉スラグ混合率は50%のものを使用した。また、併せて普通ポルトランドセメントについても同様の実験研究を行い、比較検討に供した。

表1 使用セメントの品質

種類	比重	比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	凝 結			安定性	強熱減量 (%)	酸化マグネシウム (%)	三酸化硫黄 (%)	酸化ナトリウム (%)	酸化カリウム (%)
			水量 (%)	始発 (h-m)	終結						
N	3.16	3160	27.3	2-20	3-25	良	0.5	63.8	2.0	0.46	0.45
BB	3.04	3780	29.5	2-50	4-20	良	0.9	54.4	2.1	0.29	0.24

表3 使用水質 (足利保健所報告)

色	濁度	水素イオン濃度 (pH)	蒸発残留物 (ppm)	塩素イオン (ppm)	過マンガン酸カリウム消費量 (ppm)
5度以下	2度以下	6.7	190	10.1	0.30

表2 使用骨材の品質

種類	絶乾比重	吸水率 (%)	単位容重 ( $\text{kg}/\ell$ )	粘土塊量 (%)	洗い損失量 (%)	有機不純物	粗粒率又は最大寸法	ふるいを通るものの重量百分率 (%)												
								ふるいの呼び寸法 (mm)												
								40	25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		
川砂	2.54	2.46	1.76	0.2	0.3	うすい	2.8	—	—	—	—	100	92	75	44	12	2	—	—	—
川砂利	2.54	2.26	1.72	0.1	0.1	—	25mm	100	100	71	52	27	0	—	—	—	—	—	—	—

## 2. 実験計画

### 2.1 実験に供した流動化剤

- 流動化剤A:標準形流動化剤, 主成分はナフタリンスルホン酸高縮合物塩で、pH10.0, 比重1.200 (20°C)。
- 流動化剤B:遅延形流動化剤, 主成分はナフタリンスルホン酸高縮合物塩で、pH10.0, 比重1.185 (20°C)。
- 流動化剤C:標準形と遅延形の間置的な流動化剤, 主成分はポリアルキルアールスルホン酸塩で、pH9.5, 比重1.190 (20°C)。
- 流動化剤D:標準形流動化剤, 主成分はナフタリンスルホン酸高縮合物塩で、pH8.0, 比重1.165 (20°C)。

### 2.2 流動化剤以外の使用材料

- セメント
  - 普通ポルトランドセメント (C社製) 記号Nで、JIS A 5210 (ポルトランドセメント) に適合するもの。
  - 高炉セメントB種 (Y社製) 記号BBで、JIS A 5211 (高炉セメント) のB種に適合するもの。
- 骨材;鬼怒川産の砂・砂利で、いずれもJASS 5の規定値を満足するもの。
- 水;自家用 (飲料用) で、JASS 5の規定値を満足するもの。
- ベース用化学混和剤;主成分はリグニンスルホン酸とポリオール複合体のA E減水剤 (N社製)。
- 使用材料の品質;表1~3に示す。

### 2.3 目標としたコンクリート調合

- 水セメント比;60%, 50%
- スランプ;ベースを $12 \pm 1.5 \text{ cm}$ とし、流動化剤添加後を $21 \pm 1.5 \text{ cm}$ とする。
- 空気量; $4 \pm 1 \%$
- 容積セメント量;水セメント比50%の場合 $102 \ell/\text{m}^3$ , 水セメント比60%の場合 $83 \ell/\text{m}^3$
- 容積砂利量;  $418 \ell/\text{m}^3$ , なお、s/aはNの場合W/C 60%→41.9%, W/C 50%→40.0%, BBの場合はNの0.5%増。

## 2.4 実験の項目と方法

- a. ワーカビリチー;スランブ試験におけるフレッシュコンクリートのくずれ方の状態から判定した。
- b. スランブロス;練りませ直後にミキサから練り舟に排出しJIS A 1101 (コンクリートのスランブ試験方法) によるスランブを測定した後さらに20分, 40分, 60分経過した時にコンクリートを練り返してスランブを測定しスランブロス<sup>注</sup>を算出した。
- c. 空気量ロス;上記bの各経過時間に伴うスランブ試験と併せて、JIS A 1128 (まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法 (空気室圧力法)) によって空気量を測定し、空気量ロス<sup>注</sup>を算出した。
- d. プリージング;JIS A 1123 (コンクリートのプリージング試験方法) によって測定した。
- e. 凝結;ASTM C 403 (Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance) によって測定した。
- f. 圧縮強度;JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法) によった。なお、供試体の直径は10cm, 高さは20cmの円柱で、養生・温度は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 水中とした。
- g. ヤング係数;圧縮強度試験と併せて、コンプレッソメーターを用いて歪を測定し、最大荷重1/3の点における割線ヤング係数を求めた。
- h. 長さ変化率;無筋及びD16を中心に埋込んだ $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ のコンクリート供試体を、打込み後材令1週まで $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 水中に養生した後、無筋は温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ・湿度 $60 \pm 5\%$ の恒温恒湿室に、また、RCはごく普通の屋外 (温度 $26.3 \sim 2.1^\circ\text{C}$ , 湿度 $81 \sim 58\%$ , 風速 $2.5 \sim 1.0\text{m/s}$ ) に、それぞれ放置したものに対してJIS A 1129 (モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法) のコンパレーター方法によって長さをそれぞれ測定し、材令1週を基長した場合の変化率を算出した。
- i. 重量変化率;上記hの長さ変化測定と併せて0.1 gまで測定できる直示天秤を用いて重量を測定し、材令1週を基重とした場合の変化率を算出した。
- j. 凍結融解作用に対する抵抗性;ASTM C 666 (Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing) によって相対動弾性係数を求めた。
- k. 中性化深さと鉄筋の発錆;D16を中心に埋込んだ $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の供試体をごく普通の屋外 (h. 参照) に自然暴露し、中性化深さをmm単位のスケールを用いて測定し、併せて鉄筋の発錆状況を肉眼観察した。

(注) 注 スランブロス及び空気量ロスの算出法は次の通り

$$\begin{aligned} \text{スランブロス} &= \frac{\text{経過後のスランブ}(A_0)}{\text{又は空気量}} \\ \text{又は空気量ロス} &= \frac{\text{ミキサから排出した直後のスランブ又は空気量}(A_0)}{\text{ミキサから排出した直後のスランブ又は空気量}(A_0)} \times 100 (\%) \end{aligned}$$

## 2.5 その他の実験条件

- a. コンクリートの練りませは、JIS A 1138 (試験室におけるコンクリートの作り方) によった。なお、骨材は表乾状態とし、ミキサは容量 $50\ell$ の強制攪拌式ミキサを用いた。
- b. コンクリート供試体は、JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方) によって作った。
- c. 試験・測定材令は、後述の3. 実験結果と検討を参照されたい。

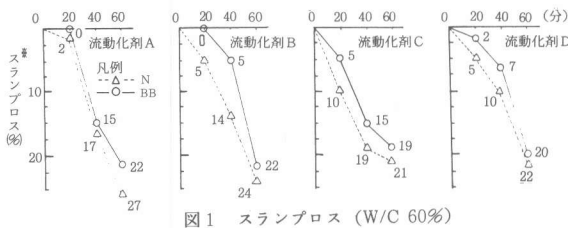


図1 スランブロス (W/C 60%)

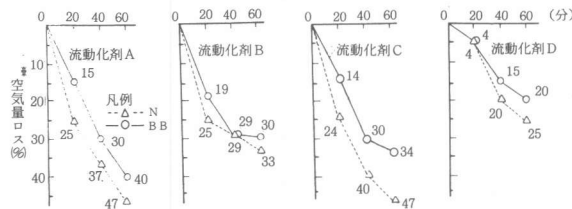


図2 空気量ロス (W/C 60%)

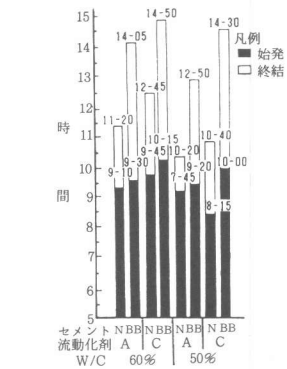


図3 凝結時間

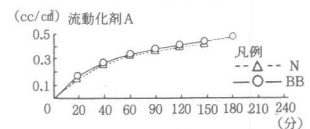


図4 プリージング量 (W/C 60%)

3. 実験結果と検討

表4及び図1～10に示し、以下に検討する。

a. 打込んだコンクリートの調査は目標とした通りで、そのワーカビリティは、いずれも良好であった(表4)。

b. スランプロスは、いずれの流動化剤でも高炉セメントB種の方が普通ポルトランドセメントより若干小さい。流動化剤別では流動化剤Dが最小で、以下B, A, Cの順であったしかし、その差違は若干である(図1)。

c. 空気量ロス、図2に示したようにスランプロスとほぼ同じ傾向にあることが認められた。すなわち、空気量ロスはスランプロスと密接な関係にある。

d. ブリージング量は図3に例示したように、いずれの流動化剤でも高炉セメントB種の方が普通ポルトランドセメントより若干多く、また、流動化剤別ではBが多く、以下A, C, Dの順である。しかし、いずれもJASS 5で目標としている0.5cc/cm<sup>3</sup>以下である。

e. 凝結はセメント別では高炉セメントB種が、流動化剤別AとCではCが、水セメント比別では60%の方がそれぞれ遅い(図4)。

f. 圧縮強度は材令3日、7日、28日では普通ポルトランドセメントの方が大きい、材令91日、1年に至ると高炉セメントB種の方が大きくなり、従来からいわれている通り高炉セメントコンクリートは長期強度が大幅に増進する傾向が本研究でも認められた。W/Cでは、いずれの材令においても小さい方が当然である大きい(図5)。図6にセメント別のC/WとF28との関係式(平均)を求めたので提案する。

g. 圧縮強度とヤング係数との関係を見るといずれの流動化剤において高炉セメントB種でも普通ポルトランドセメントでも、日本建築学会のRC造計算規準で提案している推定式を上回ることを確認した(図7)。

h. 長さ変化率は図8に示した通り、いずれの流動化剤もJIS法(無筋)より屋外(RC)の方が小さい。また水セメント比では60%の方が若干小さいようである。セメント別を見るとJIS法では高炉セメントB種の方が明らかに小さいが、屋外ではセメント別の差違は認められない。なお、いずれの供試体にもひび割れは生じていないことを付記する。

i. 重量変化率は図9に例示した。JIS法(無筋)の方が屋外(RC)より大きい。

j. 凍結融解作用に対する抵抗性は図10に高炉セメントB種を用

表4 コンクリートの結果

W/C (%)	流動化剤	セメント	スランプ(cm)	スランプベース	スランプ添加後	空気量(%)	空気量ベース	空気量添加後	ワーカビリティ	材令	1年
										中性化深さ(mm)	鉄筋の発錆状況
60	A	N	13.5	21.5	3.8	4.0	良	2.5	錆なし		
		B	12.5	20.0	3.2	4.0	良	3.6	錆なし		
	B	N	13.5	21.0	4.2	4.3	良	2.2	錆なし		
		B	13.0	20.0	3.9	4.2	良	4.7	錆なし		
	C	N	13.5	21.5	3.5	3.8	良	2.2	錆なし		
		B	12.5	20.0	3.2	4.0	良	3.3	錆なし		
	D	N	13.5	20.5	3.8	4.4	良	2.2	錆なし		
		B	12.5	20.0	3.8	4.0	良	4.3	錆なし		
50	A	N	13.0	21.5	3.5	3.9	良	0.8	錆なし		
		B	11.0	21.0	3.5	4.0	良	2.3	錆なし		
	B	N	13.5	22.5	3.5	4.0	良	0.7	錆なし		
		B	10.5	21.5	3.5	4.0	良	2.3	錆なし		
	C	N	13.0	21.5	3.8	4.5	良	0.7	錆なし		
		B	10.5	21.0	3.2	4.0	良	2.2	錆なし		
	D	N	13.5	22.0	3.8	4.0	良	0.7	錆なし		
		B	10.5	20.5	3.8	4.0	良	2.5	錆なし		

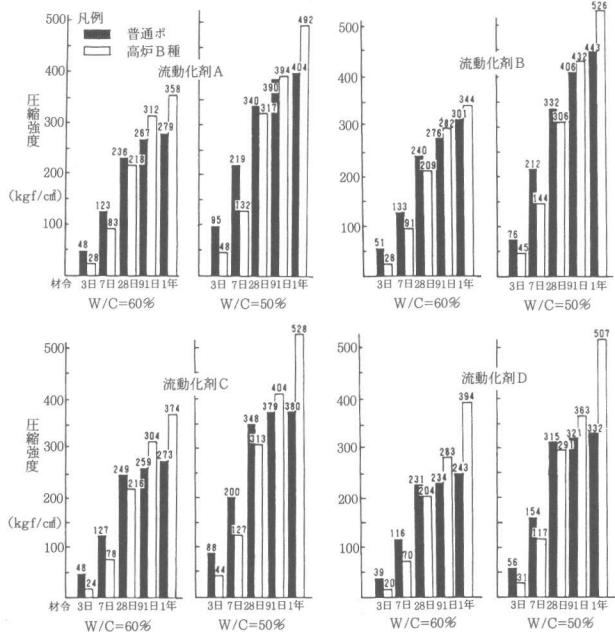


図5 圧縮強度

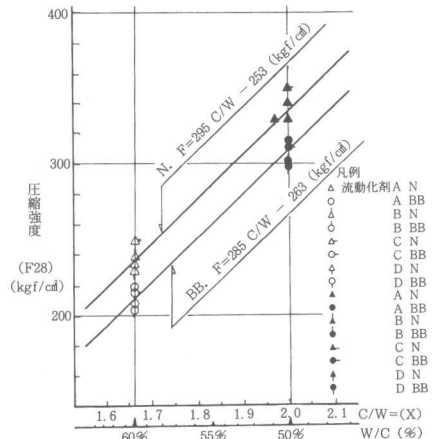


図6 W/Cと圧縮強度との関係

いたコンクリートの結果を示した。300サイクルにおける相対動弾性係数はいずれの場合も80%前後でいずれも良好、流動化剤別の差は認め難い。

k. 中性化深さは表4に示した通り、水セメント比(小さい方が有利)、セメント別(普通ポルトランドセメントの方が同一水セメント比なら有利)の差は認められたが、流動化剤別の差は材令1年現在では認め難い。

l. コンクリート中の鉄筋の発錆は材令1年においてはいずれの場合も認められない(表4)。

m. 以上a~lを総括すると4種類の流動化剤を用いた高炉セメントB種コンクリートの諸性質は普通ポルトランドセメントコンクリートのそれと大きな差が認められない。

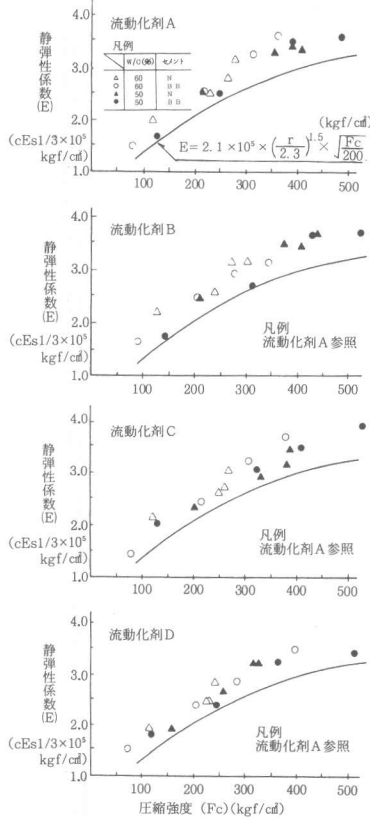


図7 静弾性係数

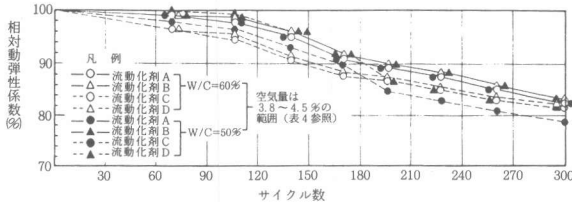


図10 高炉セメントコンクリートの相対動弾性係数

#### 4. 結論

高炉セメントB種(スラグ混合率50%)に4種類の標準形又は遅延形の流動化剤を使用したコンクリートの諸性質について多面的に実験研究した結果、比較用の普通ポルトランドセメントコンクリートとほぼ同様の性質が得られた。このことから、これらの流動化剤は高炉セメントコンクリート工事にも使用し得るといえる。

本研究には、本学卒業生川島俊美補助員をはじめ多くの卒業生の協力を得たことを付記し、感謝する。

#### 参考文献

1) 依田、枝広; 流動化剤を用いた高炉セメントコンクリートの性質について、日本建築学会秋季大会学術講演梗概集(関東),

1984年10月

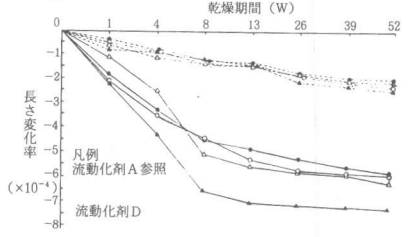
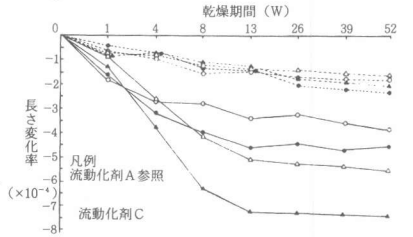
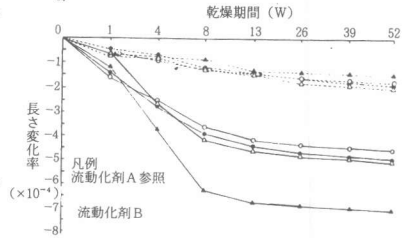
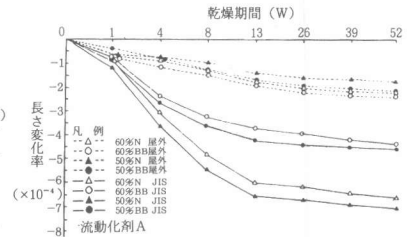


図8 長さ変化率

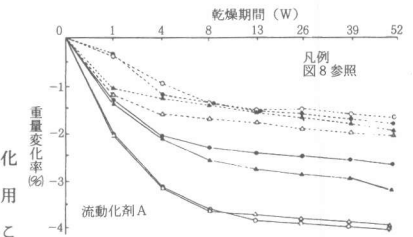


図9 重量変化率