研 23.

各種セメントを用いたコンクリートの特性について

○ 伊藤　司＊1
尾崎雅敏＊2
島田裕史＊3

要旨
各種セメント(N、H、BB、M、L)を用いたコンクリートについて、水セメント比毎に同一配合でフレッシュ性状、強度性状、硬化性状の比較試験を行った。
1.初期スランプは、L＞M＞N＞BB＞Hの順であった。
2.スランプロスは、L＜M＜BB≒N＜Hの順であった。
3.Nの28日強度に達する材齢は、Hで約12日、BBで約30日、Mで約34日、Lで約38日であった。
4.乾燥収縮率は、H＜N＜M≒L＜BBの順であった。
5.中性化深さは、H＜N＜M＜Lの順であった。
ｷｰﾜｰﾄﾞ：各種セメント、スランプロス、空気量ロス、圧縮強度、乾燥収縮、中性化

1．まえがき

近年、高強度や高流動コンクリートの普及に伴い、生コン工場においても、普通ポルトランドセメントだけでなく、用途に応じて、各種のセメントが用いられるようになってきた。そこで、本研究では、各種セメントを用いたコンクリートのフレッシュ性状、強度性状、硬化性状（乾燥収縮、中性化）について検討した。

2．実験概要

2．1　使用材料

セメント：普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（記号：N、密度：3.15 g/㎤、粉末度：3390 ㎠/g）
早強ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（記号：H、密度：3.13 g/㎤、粉末度：4570 ㎠/g）
高炉ｾﾒﾝﾄB種　（記号：BB、密度：3.04 g/㎤、粉末度：3990 ㎠/g）
中庸熱ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（記号：M、密度：3.21 g/㎤、粉末度：3110 ㎠/g）
低熱ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（記号：L、密度：3.24 g/㎤、粉末度：3270 ㎠/g）
混和剤：AE減水剤標準形Ⅰ種
高性能AE減水剤標準形
粗骨材：砕石2005（笠間産、表乾密度：2.66 g/㎤、吸水率：0.62 %、実積率：61.3 %）
細骨材：川砂 S_1（鬼怒川産、表乾密度：2.62 g/㎤、吸水率：1.82 %）
陸砂 S_2（麻生産、表乾密度：2.55 g/㎤、吸水率：2.52 %）
混練水：水道水

＊1 東京ｴｽｵｰｼｰ㈱芝浦工場、＊2 横浜ｴｽｵｰｼｰ㈱横浜工場、＊3 埼玉ｴｽｵｰｼｰ㈱戸田工場

2．2　配　　合

実験に供したコンクリートの配合を、表１に示す。

表１　コンクリートの配合

配合No.	W／C (%)	セメント種類	目標SL (cm)	目標Air (%)	単位量 (kg/m³)					
					W	C	S_1	S_2	G	AD
1	60	N	18 ± 2.5	4.5 ± 1.5	177	295	706	124	974	2.95
2		H			177	295	706	124	974	2.95
3		BB			177	295	699	123	974	2.95
4		M			177	295	710	125	974	2.95
5		L			177	295	712	126	974	2.95
6	50	N	18 ± 2.5	4.5 ± 1.5	175	350	672	119	974	3.50
7		H			175	350	670	118	974	3.50
8		BB			175	350	663	117	974	3.50
9		M			175	350	677	119	974	3.50
10		L			175	350	679	120	974	3.50
11	40	N	フロー 60 ± 5.0	4.5 ± 1.5	170	425	630	111	974	4.04
12		H			170	425	628	111	974	4.04
13		BB			170	425	619	109	974	4.04
14		M			170	425	637	112	974	4.04
15		L			170	425	639	113	974	4.04

（注）配合 No.1～10 は AE 減水剤を、配合 No.11～15 は高性能 AE 減水剤を使用した。

単位水量及び混和剤の添加量は N を基準に設定した。

AE 助剤の添加量は、AE 減水剤の場合 1A、高性能 AE 減水剤の場合 3A であった。

2．3　試験方法

コンクリートのフレッシュ性状及び硬化性状について試験を行った。尚、フレッシュ性状（スランプ、スランプフロー、空気量）に関しては経時変化を見るため、静置状態における各経過時間（練混ぜ直後、30 分後、60 分後、90 分後）毎に測定を行った。

(1)スランプ及びスランプフロー：スランプ試験は、JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」に準拠し実施した。スランプフロー試験は、土木学会編「高流動コンクリート施工指針（スランプフロー試験方法）」に準拠し実施した。

(2)空気量：空気量試験は、JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」に準拠し実施した。

(3)コンクリート温度：棒状温度計により測定した。

(4)圧縮強度：圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し実施した。供試体はφ10×20 cm を使用し、セメントの種類によらず試験材齢を 1、3、7、28 日及び 56 日とした。

(5)乾燥収縮試験：JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に準じ、コンタクトゲージ法により行った。供試体は 10×10×40 cm を用い、乾燥期間 0、7、14、28、56、91、182 日において長さ変化率及び質量変化率を測定した。

(6)促進中性化試験：ポルトランドセメントを用いたコンクリートについて、促進中性化試験を行った。供試体はφ10×20 cm を用い、材齢 28 日まで水中養生後、温度 20±1℃、湿度 60±5%の恒温室にて 28 日間乾燥させた後、温度 20℃、湿度 60%、炭酸ガス濃度 5%

とした中性化促進試験装置内に静置した。なお、W/C=60%の配合は 6 週間、W/C=50%の配合は 13 週間中性化装置内に供試体を保存した後、中性化深さを測定した。

3．実験結果及び考察

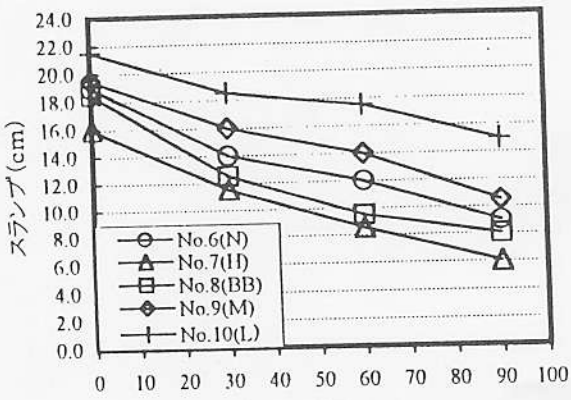
3．1　フレッシュ性状

(1)　スランプ

①　初期スランプ、スランプフロー

セメントの種類によるスランプ(W/C=50%)を図－1に、スランプフロー(W/C=40%)を図－2に示す。初期スランプは L＞M＞N＞BB＞H の順であった。また、スランプフローは、L≒M≒BB＞N＞H の順であった。

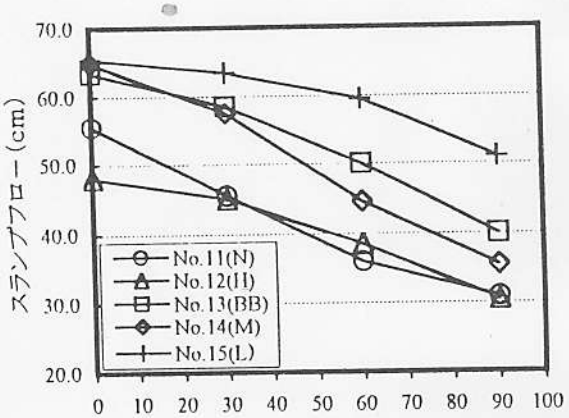
空気量補正を行った上で、N と同等の初期スランプを得ようとした場合、単位水量を M で 3 kg/m³ 程度、L で 9 kg/m³ 程度、BB で 4 kg/m³ 程度、N の単位水量に対して減じることが可能である。逆に H では、5 kg/m³ 程度、増やす必要があると推察される。



図－1　セメントの種類によるスランプ
(w/c=50%)

②　経時変化

AE 減水剤を使用した場合、静置 90 分後のスランプは、L≧M≧BB≒N≧H の順であった。その傾向は W/C によらず同じ傾向を示した。これは、スランプ変化にはセメントの粉末度が影響しているためと考えられる。また、高性能 AE 減水剤を用いた場合、静置 90 分後のスランプフローは、L≦BB≦M≦N≒H となった。

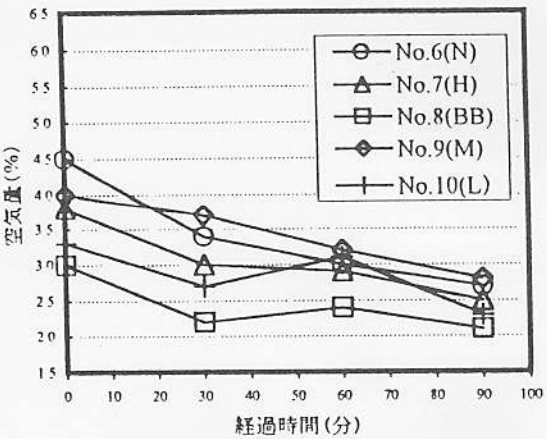


図－2　セメントの種類によるスランプフロー
(w/c=40%)

(2)　空気量

①　初期空気量

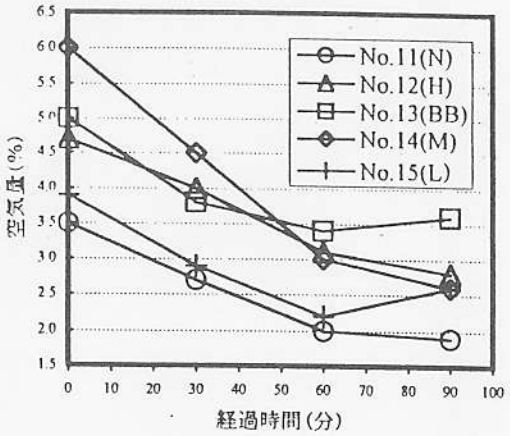
セメントの種類による空気量(W/C=50%)を図－3に、(W/C=40%)を図－4にそれぞれ示す。測定値の全てが許容範囲を満たしており、ポルトランドセメントの種類の違いによる空気連行性に、明確な違いは認められなかった。しかし、AE 減水剤を用いた時、BB を用いた場合には空気が入りにくくなる傾向が認められた。また、高性能 AE 減水剤を用いた流動性の大きいコンクリートは空気が入りにくくなる傾向を示した為、AE 助剤が AE 減水剤を用いた場合より 3 倍必要とした。



図－3　セメントの種類による空気量
(w/c=50%)

② 経時変化

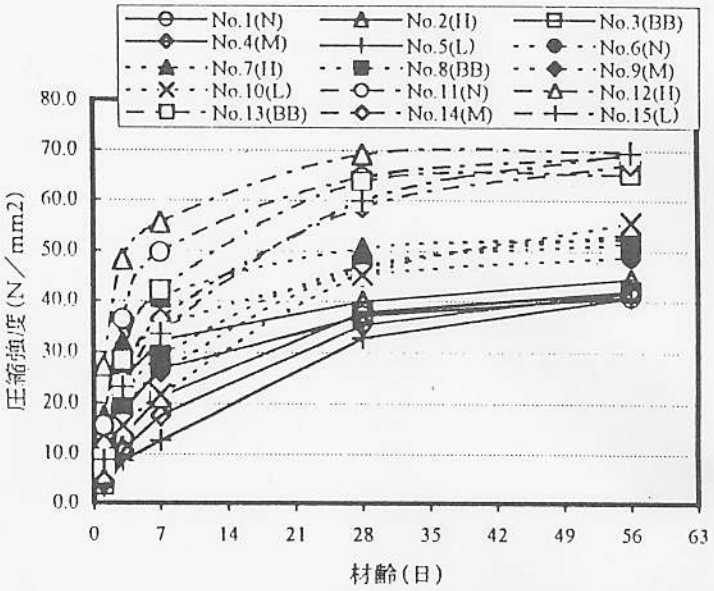
空気量ロスにおいてもセメントの種類の違いによる明確な差は認められなかった。AE減水剤を用いたコンクリートの空気量ロスは、高性能AE減水剤を用いた流動性の大きいコンクリートに比べて、空気量ロスは小さくなる傾向を示した。



図－4 セメントの種類による空気量
(w/c=40%)

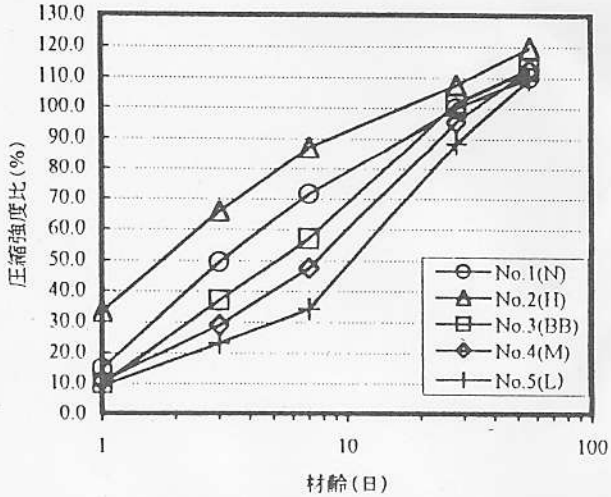
3．2 圧縮強度

セメントの種類の違いよる圧縮強度の違い(W/C=60,50,40%)を図－5に示す。初期材齢(3,7日)における圧縮強度は、H＞N＞BB＞M＞Lの順であった。この傾向は水セメント比に関係なく一様に認められた。材齢28日においても、圧縮強度はH＞N≒BB＞M＞Lであった。一方、長期(56日)ではW/Cによって異なり、W/C=60%ではH＞M≒BB＞N≒L、W/C=50%ではL＞M＞H＞BB＞N、W/C=40%ではH≒L＞N＞M＞BBの順となった。

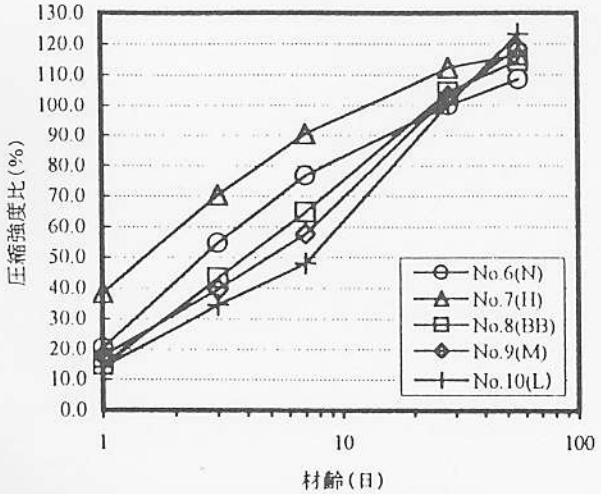


図－5 セメントの種類による圧縮強度の違い
(w/c=60,50,40%)

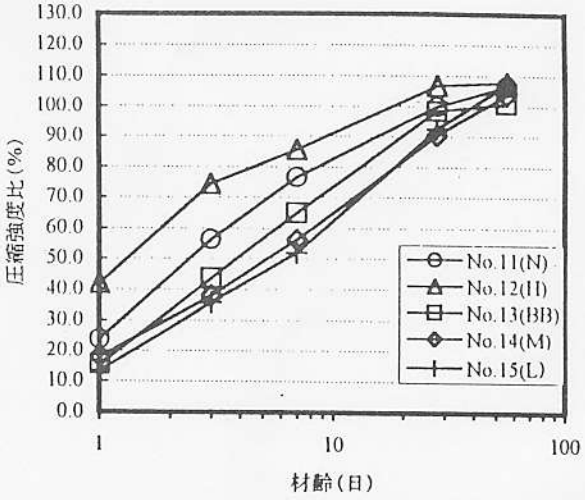
また、Nを用いた材齢28日強度に対する強度比を求め、セメントの種類による圧縮強度比をW/C=60、50、40%についてそれぞれ図－6、7、8に示す。W/C=60%の強度比は、材齢3日で、H約66%、BB約37%、M約29%、L約23%、材齢56日で、H約120%、BB約113%、M約112%、L約109%であった。W/C=50%の強度比は、材齢3日で、H約70%、BB約43%、M約40%、L約34%、材齢56日で、H約116%、BB約115%、M約119%、L約123%であった。また、W/C=40%の強度比は、材齢3日で、H約74%、BB約44%、M約38%、L約48%、材齢56日で、H約108%、BB約101%、M約104%、L約107%であった。Nの材齢28日強度に達する材齢は、Hで10～15日、BBで29～31日、Mで32～36日、L



図－6 セメントの種類による圧縮強度比の違い(w/c=60%)



図－7 セメントの種類による圧縮強度比の違い(w/c=50%)



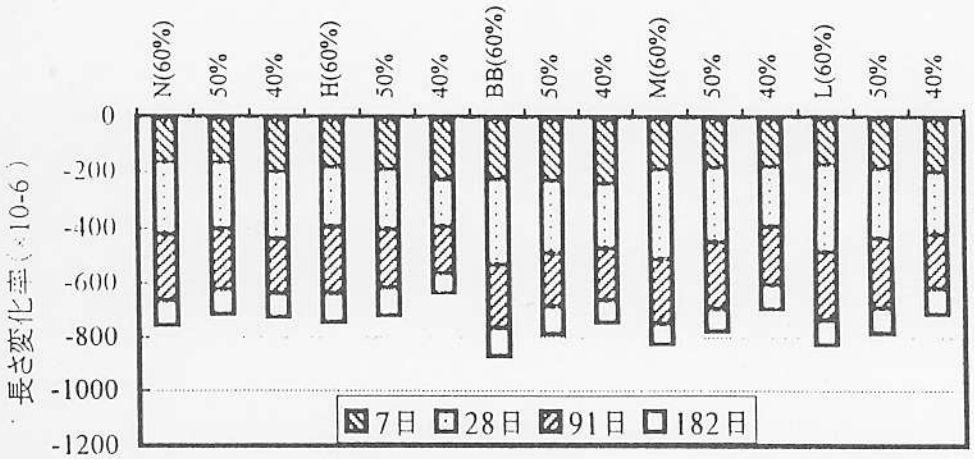
図－8 セメントの種類による圧縮強度比の違い(w/c=40%)

で 33～42 日であり、W/C が小さいほどその材齢は早くなる傾向が認められた。

3．3 乾燥収縮

供試体の長さ変化(W/C=60,50,40%)を図－9に示す。長さ変化率は H＜N＜M≒L＜BB の順となり、BB を用いたコンクリートが乾燥期間によらず最も大きかった。水セメント比別で長さ変化を比較した場合、W/C=50%以下であれば、セメントの種類に関係なく 800 $\times 10^{-6}$(JASS 5 では 6 ヶ月間の乾燥収縮率を 800$\times 10^{-6}$ 以下とするために単位水量を 185 kg/m^3 以下と規定している)を超えなかった。

しかし、W/C=60%では H 及び N は 800$\times 10^{-6}$ を超えないが、BB、M 及び L では、800 $\times 10^{-6}$ を超える結果を示した。これは、乾燥収縮試験では養生期間が 7 日間と短いため、セメント中の C_2S 量が多く、水和が遅いコンクリートほど内部組織にある水分が蒸発しやすいためと考えられる。

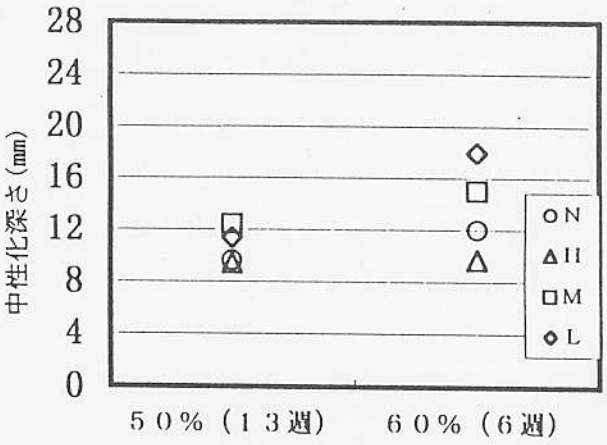


図－9 供試体の長さ変化(w/c=60,50,40%)

従って、硬化の遅いタイプのセメントを用いる場合には、乾燥収縮が大きくならないように、W/C を小さくする、十分に湿潤養生期間を設ける、などの対策が必要である。

3．4　中性化

W/C及び材齢による中性化深さを、図－１０に示す。W/C=50%ではH＜N＜M＜Lの順で中性化深さは大きくなる傾向が認められたが、中性化促進期間を13週間と長くしたにもかかわらず、その差は比較的小さかった。しかし、W/C=60%では、硬化の遅いポルトランドセメントほど中性化深さが大きくなる傾向が顕著に認められた。これは、ポルトランドセメントの化学組成に含まれるカルシウム量の影響を受けるためと考えられる。



図－１０　W／C及び材齢による中性化深さ

従って、硬化の遅いタイプのセメントを用いる場合には、中性化が大きくならないように、W/Cを小さくする、単位セメント量を著しく少なくしない、十分な湿潤養生期間を設けるなどの対策が必要である。

4．まとめ

①所要のスランプを得るため必要な単位水量は、Nの単位水量に対して、Mを用いる場合3 kg/m^{3}程度、Lを用いる場合9 kg/m^{3}程度、BBを用いる場合4 kg/m^{3}程度減じることが可能となる。逆に、Hを用いる場合、5 kg/m^{3}程度増加する。

②空気連行性及び空気量変化には、セメントの種類の違いによる明確な差は認められなかった。

③初期材齢における圧縮強度は、H＞N＞BB＞M＞Lの順であった。また、材齢56日ではW/Cにより幾分傾向が異なるが、L、Mの強度がNに比べて高くなる傾向が認められた。

④Nの28日強度に達する材齢は、Hで10～15日、BBで29～31日、Mで32～36日、Lで33～42日であった。また、W/Cが小さいほど、その材齢が早くなる傾向が認められた。

⑤乾燥収縮率は、H＜N＜M≒L＜BBの順であった。硬化の遅いタイプのセメントをW/Cの大きい配合で用いる場合には、乾燥期間6ヶ月で乾燥収縮率が800×10^{-6}を超える場合があるので注意が必要である。

⑥中性化深さは、H＜N＜M＜Lの順であった。硬化の遅いタイプのセメントをW/Cの大きい配合で用いる場合には、中性化深さが大きくなる場合があるので注意が必要である。

（共同研究者）

市川ｴｽｵｰｼｰ生ｺﾝ㈱　天野幸雄、佐倉ｴｽｵｰｼｰ㈱　金塚美喜男、成田ｴｽｵｰｼｰ㈱　城之内利彦、柏生ｺﾝ㈱　中野拓、昭和加州生ｺﾝ㈱府中工場　国井一司、吉建ｴｽｵｰｼｰ㈱　奥貫壮介、玉川ｴｽｵｰｼｰ㈱宮松第一工場　松尾洋一、玉川ｴｽｵｰｼｰ㈱宮松第二工場　谷田貝修久、東京ｴｽｵｰｼｰ㈱業平橋工場　長根良美、住友大阪ｾﾒﾝﾄ㈱　大石英夫