

[69] 各種低発熱型セメントを用いた高強度コンクリートに関する基礎研究

正会員 ○青 木 茂 (大林組技術研究所)
 正会員 十 河 茂 幸 (大林組技術研究所)
 芳 賀 孝 成 (大林組技術研究所)

1. まえがき

連続地中壁の現状での利用形態は、山留め壁体、建築構造物での地下外壁、場所打ち杭としての基礎杭等種々あり、その用途は広い。これらの用途においては、現在のところ壁体コンクリートの設計基準強度は180 kg/cm² ~ 300 kg/cm²が多く、強度的にはこの範囲でその目的を十分達している。しかし、今後は大深度構造物および特殊構造物など高強度域での本体利用が考えられる。これらの需要に対処するためには、気中打設コンクリートと同程度の高強度域での品質保証を確保しておく必要がある。

本研究は、この様な観点から、連壁コンクリートの高強度化の可能性について配合の面から調査したものである。研究にあたっては、高性能減水剤の使用を条件に、富配合化による水和熱上昇を低減するため各種低発熱型セメントをパラメータに配合試験を行った。本論文はこれら配合試験結果の一部をとりまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

基本配合表を表・1に示す。セメントは普通ポルトランドセメントと3種類の低発熱型セメントを用いた。使用した低発熱型セメントは、高炉セメントB種(BB)、マスコン型高炉セメントB種(MKB)およびフライアッシュ混入マスコン型高炉セメント(FMKB)である。なお各セメントの性状一覧表を表・2に示す。

粗骨材は最大寸法20mmの秩父産砕石(F・M=6.71, 比重2.78), 細骨材は木更津産山砂(F・M=2.69, 比重2.60, 吸水率1.9%)を使用した。

混和剤はベース用混和剤、流動化用混和剤ともナフタレンスルホン酸と変性リグニンの縮合物に特殊リグニンを配合した高性能減水剤を用いた。使用する高性能減水剤はプラントから工事現場までの運搬、トレミーによる打設等諸条件を考慮し、スランプロス低減型とした。なお、本論文においては、流動化に用いる高性能減水剤を流動化剤と呼ぶことにする。水セメント比は30%を基準とした。なお所要のワーカビリティを得ることが可能なものについては25%まで低減を試みた。目標スランブは、連続地中壁のトレミーによる打設実績および富配合コンクリートの粘性を考慮し、流動化後で22cm、ベースで6cm、9cm、12cmの3系列とした。目標空気量は実績値(4±1%)をふまえ、耐久性の向上を考慮し、ベース、流動化とも5±1%とした。

2.2 試験項目および混練方法

フレッシュコンクリートの諸性状を把握するた

表・1 基本配合表

配合 No	セメント の種類	目 標 値				W/C (%)	S/a (%)	示 方 配 合				ベース 混和剤 (C×%)	流動化 混和剤 (C×%)
		スランブ (cm)		空気量 (%)				W	C	S	G		
		ベース	流動化	ベース	流動化								
①	NP	6	22	5	5	3.0	4.0	1.31	4.37	7.07	1.137	2.5	1.0
②		9	22	5	5	3.0	3.9	1.46	4.87	6.60	1.101	2.0	0.8
③		12	22	5	5	3.0	3.8	1.64	5.47	6.06	1.056	1.5	0.6
④	BB	9	22	5	5	3.0	4.0	1.40	4.67	6.84	1.095	2.0	0.8
⑤	MKB	6	22	5	5	3.0	4.2	1.16	3.87	7.70	1.137	2.0	1.0
⑥		9	22	5	5	3.0	4.2	1.20	4.00	7.62	1.123	2.0	0.8
⑦		12	22	5	5	3.0	4.2	1.24	4.13	7.51	1.109	2.0	0.6
⑧	FMKB	9	22	5	5	3.0	4.2	1.20	4.00	7.49	1.106	1.8	0.8

ベース混和剤：高強度コンクリート用高性能減水剤(スランプロス低減型)
 流動化混和剤：高性能減水剤(スランプロス低減型流動化剤)

表・2 各セメントの性状一覧表

種 別	比 重	比表面積 (m ² /g)	スラグ量 (%)	F.A.量 (%)	フロー値 (mm)	始 発 (h-mm)	終 結 (h-mm)	硬化モルタル (%)	三酸化イオン (%)	特殊減水 (%)
NP	3.16	317.0	—	—	2.58	2-2.9	3-4.7	1.3	2.0	0.6
BB	3.05	358.0	4.0	—	2.68	3-0.2	4-3.0	3.8	1.5	0.9
MKB	3.00	375.0	5.6	—	2.69	3-4.3	4-5.6	4.1	1.1	1.0
FMKB	2.78	343.0	4.5	2.0	2.70	4-3.9	5-5.2	3.8	0.9	0.5

めに、スランブ、空気量およびこれらの経時変化の測定、ブリージング試験、凝結試験を行なった。硬化コンクリートの特性を調査するため、各材令毎に圧縮強度試験、静弾性係数の測定を行なった。材令は3日、7日、28日、56日、91日の5材令とした。混練りは可傾式ミキサ(容量100ℓ)を用い、1バッチ70ℓとした。混練時間はベースで90秒、流動化で30秒とし、流動化はベースコンクリート注水15分後に行なった。フレッシュコンクリートの性状試験は、ベース、流動化とも練り板上に全て排出し、試験全体を練り直した後に行なった。

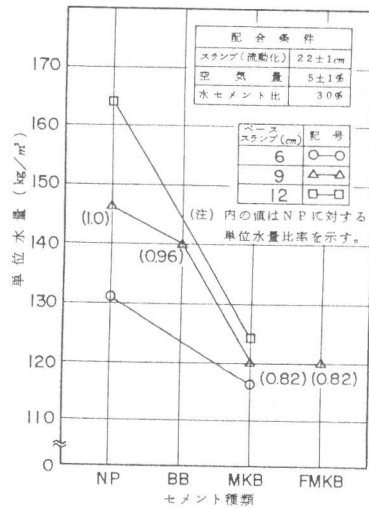
3. 試験結果と考察

3.1 フレッシュコンクリートの性質

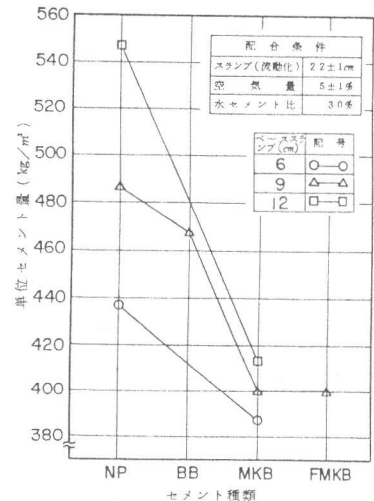
(1) 単位水量および単位セメント量

ベーススランブをパラメータとしたセメント種類と単位水量の関係を図・1に示す。普通セメントに比べ高炉系セメントの著しい減水効果が見られる。ベーススランブ9cmに着目すると、NPに比べBBで4%、MKB、FMKBで18%程度の単位水量の減少となっている。これは、単位セメント量が $C > 400 \text{ kg/m}^3$ の富配合の領域であるため、高炉系セメントのもつ減水効果が顕著に現われたものと考えられる。また、単位セメント量(図・2)をみるとNPに比べBBで 20 kg/m^3 、MKB、FMKBで 90 kg/m^3 程度のセメント量の減少となっている。低発熱特性を考え合わせると、高炉系セメントの使用は水和熱の温度上昇抑制にかなり有効であると考えられる。

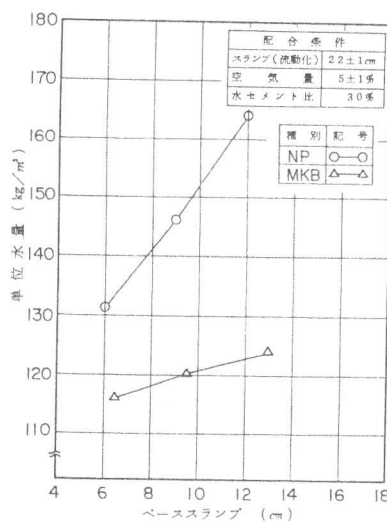
NPとMKBの単位水量とベーススランブの関係を図・3に示す。NPではベーススランブが6~12cmの範囲で、単位水量は 30 kg/m^3 程度の増減があり、MKBでは 10 kg/m^3 程度の増減となっている。これはMKBを用い、ある単位水量で所要のワーカビリティを得よう



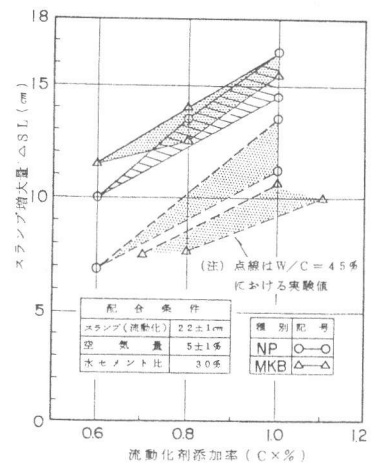
図・1 セメント種類と単位水量



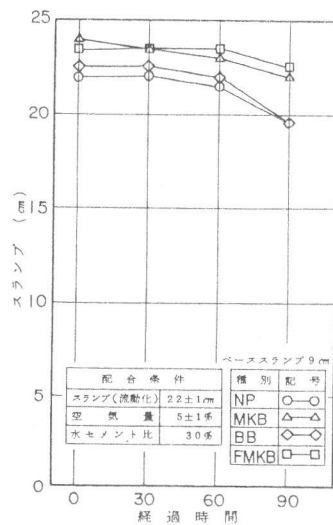
図・2 セメント種類と単位セメント量



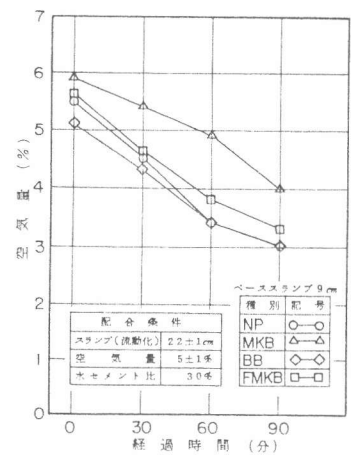
図・3 単位水量とベーススランブ



図・4 流動化剤添加率とスランブ増大量



図・5 スランブ経時変化

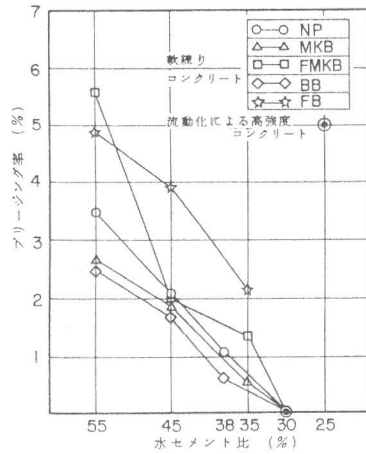


図・6 空気量経時変化

とすると、ベーススランブの変動割合が相当大きくなることを示している。

(2) 流動化剤添加率

流動化剤添加率とスランブ増大量の関係を図・4に示す。スランブ増大量と流動化剤添加率の関係は若干のバラツキはあるがほぼ比例関係にあると考えられる。



図・7 ブリージング率と水セメント比

すなわち、同一水結合材比なら、スラグはセメントと比べて、流動化剤の添加率はC+スラグに対する重量%で管理できるようである。なお、図中にW/C=45% (C=300~340 kg/m³)の場合の流動化剤添加率とスランブ増大量の関係を示した。同一添加率でもW/C=30%と45%ではスランブ増大量はかなり違うが、これは単位セメント量の差に伴う絶対混入量の差によるものと考えられる。

(3) スランブおよび空気量の経時変化

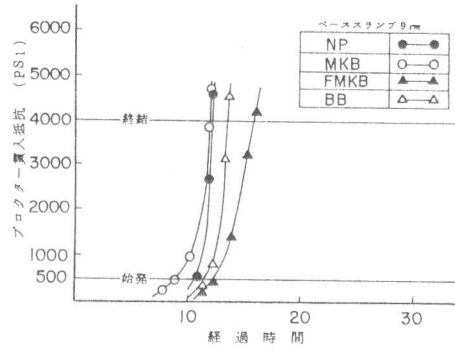
セメント種類をパラメータとしたスランブと空気量の経時変化を図・5および図・6に示す。スランブはセメント種類にかかわらず全体的にロスが少なく、90分経過後でも1~3cmのロスであり、保持率が非常に良い傾向にある。これは、単位セメント量が多く、結果としてスランブロス低減型流動化剤の混入量が多いことによるものと考えられる。空気量は経過時間とともに直線的に落ちる傾向にあり、そのパターンはセメントの種類によりほとんど差はない。

(4) ブリージング

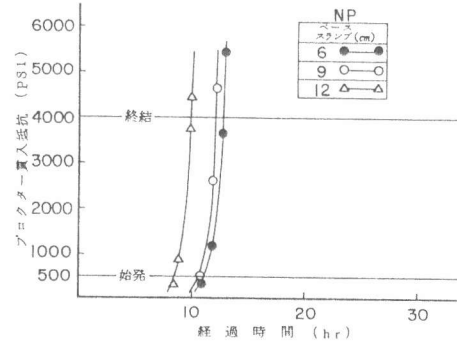
ブリージングは本実験においては全くみられなかった。高性能減水剤を用いない軟練りコンクリートのブリージング率と水セメント比の関係に本実験結果をプロットしたものを図・7に示す。これを見ると、水セメント比とブリージング率との関係はほぼ比例関係にあるようである。

(5) 凝結性状

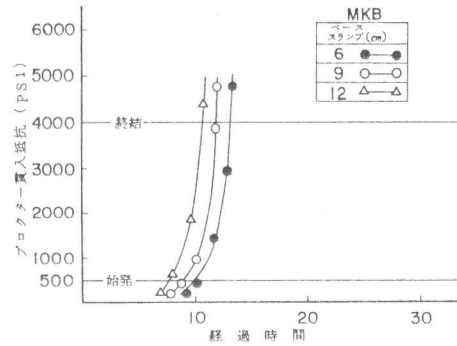
ベーススランブ9cmにおけるセメント種類をパラメータとしたブロクター貫入抵抗試験結果を図・8に示す。始発時間はMKBが速く、NP, BB, FMKBの順となっている。MKBがNPより速いのはスランブロス低減型流動化剤の混入量がNPより少ないためと考えられる。ちなみに、ベーススランブが9cmの場合の流動化剤の混入量は、MKBで約3.2 l/m³, NP, BBで約3.8 l/m³, FMKBで約3.2 l/m³であった。FMKBが遅いのはフライアッシュの添加による凝結遅延の影響がでているためと考えられる。なお、NPとMKBにつ



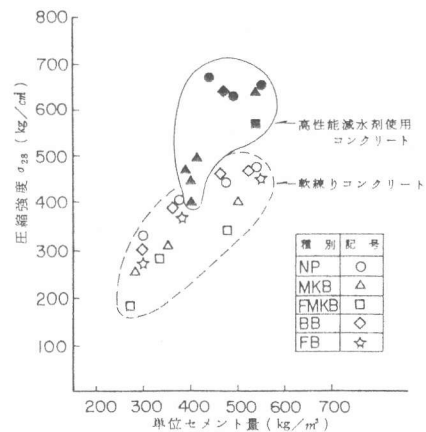
図・8 ブロクター貫入抵抗試験



図・9 ブロクター貫入抵抗試験



図・10 ブロクター貫入抵抗試験



図・11 圧縮強度と単位セメント量

つ

いてベーススランブをパラメータとしたプロクター貫入抵抗試験結果を図・9および図・10に示した。両者とも始発時間は、ベーススランブが大きいほど速くなっており、流動化剤の混入量の差がでている。始発からの立ち上りはベーススランブによる差はほとんどない様である。

3.2 硬化コンクリートの性質

(1) 圧縮強度と単位セメント量

高性能減水剤を用いない軟練りコンクリートおよび低水セメント比の流動化コンクリートにおける圧縮強度と単位セメント量の関係を同時にプロットしたものを図・11に示した。同じ単位セメント量でも高性能減水剤を用いることにより、W/Cを低下させ発現強度を高くすることが可能であることがわかる。

(2) 圧縮強度と材令

セメント種類をパラメータとした圧縮強度と材令の関係を図・12に示した。材令28日までの発現強度はNPが高く、それ以後はBBの強度が高い結果となった。強度の伸びはBBが7日以後長期に亘り高いのに比べ、NPは他のセメントより長期強度の伸びが小さい結果となった。NP, MKB についてベーススランブをパラメータとした圧縮強度と材令の関係を図・13, 図・14に示した。両者ともベーススランブの差による圧縮強度の差はほとんどみられなかった。

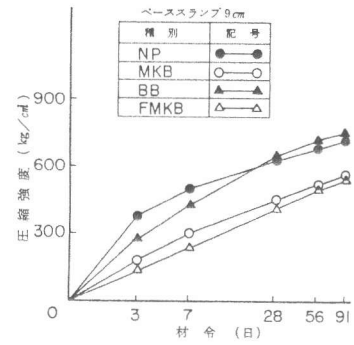
4. まとめ

連壁コンクリートに高性能減水剤を使用することにより、低水セメント比でかつ所要のワーカビリティをもったコンクリートの製造が可能であり、材令28日の圧縮強度がNPで650 kg/cm²程度、高炉系セメントで400 kg/cm²~630 kg/cm²程度の高強度化が可能であることが判明した。本実験で得られた諸事項を以下に示す。

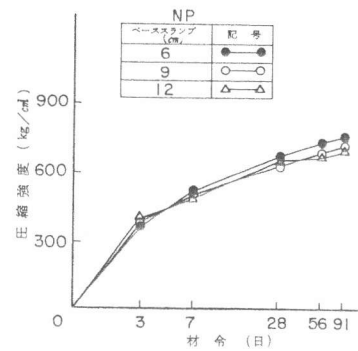
- ① 高強度連壁コンクリートを製造する場合、高炉系セメントの使用が単位水量および単位セメント量の削減に有効であり、低発熱特性を考慮すると、水和熱の低減にも役立つものと考えられる。
- ② 高強度連壁コンクリートに高炉系セメントを用いた場合、普通セメントに比べてベーススランブの変動割合が大きいことを考慮して、スランブの目標値を設定する必要がある。
- ③ 流動化剤の添加率とスランブ増大量は比例関係にあるが、富配合のため流動化剤の混入量が多くなり、スランブ増大効果は通常の水セメント比の場合より大きくなる傾向にある。
- ④ W/C=30%の領域ではブリージングはほとんどない。これは連壁コンクリートの品質の面で有利な事項であると思われる。
- ⑤ 高強度連壁コンクリートの強度を長期材令でとらえた場合、高炉系セメントの使用が有効である。

5. あとがき

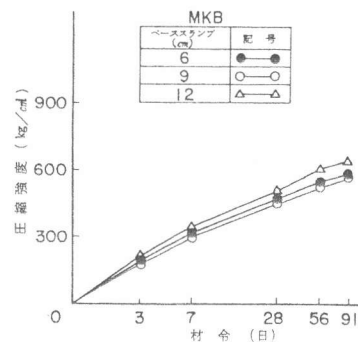
高強度連壁コンクリートについて配合の面から一連の実験を行ってきたが、さらに施工および打設後の品質面から、①セメントの多量使用により粘性が増大することによるトレミー内の流下性状、②富配合に起因する水和熱温度性状、③ベーススランブの変動を考慮したワーカビリティの適性な管理手法などを継続調査する必要があると思われる。



図・12 圧縮強度と材令



図・13 圧縮強度と材令



図・14 圧縮強度と材令