

論文

[1001] 初期強度を増進させるため粒子組成を制御した普通ポルトランドセメントの諸特性

正会員○細羽利幸（小野田セメント セメント・コンクリート研究所）

佐竹紳也（小野田セメント セメント・コンクリート研究所）

正会員 末吉康一（間組 建築本部技術部）

正会員 大崎幸雄（間組 技術本部土木技術開発部）

1. まえがき

工期の短縮および工期の挽回、厳寒地区の寒中コンクリートおよびプレキャストコンクリートの養生短縮等に早強性をもち、ひびわれの起こりにくいセメントが必要とされている。

早強ポルトランドセメントは、普通ポルトランドセメントに比べクリンカーの鉱物組成が異なるとともに粉末度が高いため、若材令での強度発現は大きい、水和発熱量が大きく部材が大きい場合、温度ひびわれが入り易いなどの欠点もある。

本文は、普通クリンカーの粒子組成を調整することにより、普通セメントより若材令での強度発現が大きく、早強セメントに比べ水和発熱量が小さい早強性普通セメントを試製し、各種コンクリートの諸特性について、普通セメントおよび早強セメントを用いたコンクリートと比較検討した結果について述べたものである。

2. 早強性普通セメントの開発

2. 1 早強性普通セメントのキャラクターの検討

セメントの開発にあたっては、初期強度を増進させるものの、ひびわれが起こりにくいことが必要であった。コンクリートのひびわれ抵抗性をあげるには、材料面ではセメントの水和熱を低く抑え、コンクリートの単位水量を小さくする必要がある。このため早強性普通セメントの化学組成は普通セメントと同一とし、即ち普通クリンカーを用い、初期強度を増大するために、粉末度を普通セメントよりも高くすることで対応した。

次にコンクリートの単位水量を減らすためにセメントの粒度分布について検討した。セメントと細骨材を含めた系の充填率をあげればコンクリートの流動性が改善されることは既に報告されており、粗粒率 2.3～3.1 程度の一般的な細骨材を使用する場合、セメントのN値を1.05～1.15程度にすればよいことが確認されている[1]。ここでN値とは、セメントの粒度分布をロジン・ラムラー式で近似したときに求められる値で、粒度分布の広さを表す。ちなみにN値が大きいほど粒度分布の幅は狭く、普通セメントの場合N値は1.3程度である。

表-1に早強性普通セメントのキャラクター設定値を示す。

表-1 早強性普通セメントのキャラクター設定値

項目	設定値
化学組成	普通ポルトランドセメントと同一
粉末度	ブレン比表面積 $4200 \pm 100 \text{ cm}^2/\text{g}$
粒子組成	N値 = 1.05 ～ 1.15 (ロジン・ラムラー式の値)

表-2 セメントの性状

項目 セメント	比表面積 (cm^2/g)	粒度分布			水和熱 (cal/g)		セメントの圧縮強さ (kgf/cm^2)			
		15 μ 残	30 μ 残	N 値	7 日	28 日	1 日	3 日	7 日	28 日
N-3800	3800	53.9	24.5	1.10	80.8	92.5	110	195	284	413
N-4200	4220	48.0	19.4	1.07	84.1	95.0	126	226	321	449
N P C	3440	56.2	21.6	1.30	75.8	87.7	—	159	264	406
H P C	4400	38.3	8.5	1.26	89.7	99.0	165	290	391	487

2. 2 早強性普通セメントの性状

表-2 に試製した早強性普通セメント (N-3800、N-4200) の性状を、また比較のために用いた普通セメント (NPC) および早強セメント (HPC) の性状を合わせて示す。

JIS に示される方法で求めた早強性普通セメントの水和熱および圧縮強さは、普通セメントと早強セメントの中間程度で、粉末度が高いほど水和熱、圧縮強さともに大きくなっている。

3. 早強性普通セメントを用いた各種コンクリートの諸特性

3. 1 使用材料

(1)セメント

表-2 に示す早強性普通セメント、普通セメントおよび早強セメントを使用した。

(2)骨材

細骨材に小笠産陸砂 ($\rho=2.60$ 、 $F.M.=2.75$ 、吸水率=1.50%)、粗骨材に岩瀬産碎石 ($G_{max}=20\text{mm}$ 、 $\rho=2.65$ 、 $F.M.=6.65$ 、吸水率=0.70%) を使用した。

(3)混和剤

W/C = 50、61% の一般強度コンクリートには AE 減水剤を、W/C = 37% の高強度コンクリートには高性能 AE 減水剤を使用した。なお空気量調整のため、全てに AE 助剤を使用した。

3. 2 配合

配合は、以下に示す 3 種類とした。

(1) W/C = 50%、Sl = 8 cm (2) W/C = 37%、Sl = 18 cm (3) W/C = 61%、Sl = 18 cm

3. 3 試験項目

凝結時間、ブリージング、圧縮強度、乾燥収縮によるひびわれ抵抗性、および断熱温度上昇について試験した。乾燥収縮によるひびわれ抵抗性は JIS 原案に従い、断熱温度上昇については空気循環式の装置を用い試験した。なお、コンクリートの練り込み温度および養生温度は 20℃ とした。

3. 4 試験結果および考察

(1)単位水量

表-3 にコンクリートの試験結果を示す。所定のスランプを得るのに必要な単位水量は、早強セメントが W/C = 50% の配合で僅かに大きかったが、その他の配合ではセメントの種類による単位水量の差は認められなかった。

表-3 コンクリート試験結果

セメントの種類	目標スランプ (cm)	目標エア (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					AEA	実測スランプ (cm)	実測エア (%)	コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)				
					C	W	S	G	WRA				1 d	3 d	7 d	28 d	91 d
N-3800	18	4	61	48	300	182	852	941	0.75	1.5A	19.6	4.0	91	182	254	351	382
N-4200	8	4	50	45	312	156	824	1027	0.78	1.5A	6.8	3.3	140	276	359	476	545
	18	4	37	42	425	158	734	1032	3.82	6.5A	19.4	3.5	230	399	482	616	656
	18	4	61	48	300	182	852	941	0.75	2.0A	18.8	3.9	104	195	263	364	395
NPC	8	4	50	45	312	156	825	1028	0.78	1.5A	8.6	3.9	86	244	359	474	533
	18	4	37	42	425	158	735	1034	3.82	7.0A	19.0	3.1	188	398	501	664	720
	18	4	61	48	300	182	853	942	0.75	1.5A	18.3	3.7	55	165	255	334	394
HPC	8	4	50	42	320	160	762	1072	0.80	1.5A	7.7	4.1	180	322	400	478	520
	18	4	37	42	425	158	734	1033	3.82	6.0A	18.7	4.0	315	481	546	656	690
	18	4	61	48	300	182	852	941	0.75	2.5A	18.0	3.9	133	256	327	376	382

(2)凝結時間

図-1にコンクリートの凝結時間を示す。早強性普通セメント (N-4200) を用いたコンクリートの凝結時間は、W/C=50%で6時間10分 (始発) と7時間30分 (終結)、W/C=61%で8時間 (始発) と10時間 (終結) で、普通セメントよりも早く早強セメントと同等であった。これは早強性普通セメントの粉末度が普通セメントに比べ高く、極初期の水和反応が大きいためと考える。

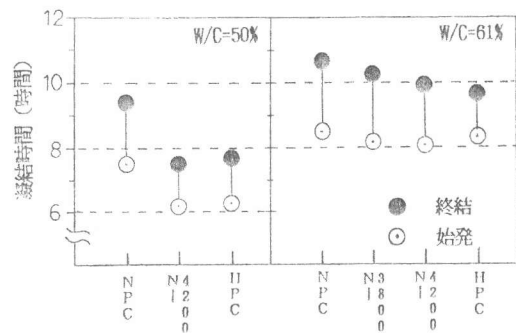


図-1 コンクリートの凝結時間

(3)ブリージング

図-2にコンクリートのブリージング率を示す。早強性普通セメント (N-4200) のブリージング率は、W/C=50%で3.2%、W/C=61%で7.2%と普通セメントに比べ少なく、早強セメントに近かった。またN-3800に比べN-4200の方がブリージングは少なく、セメントの粉末度が高いことや、(2)に示した凝結時間の早さが影響していると考えられる。

(4)圧縮強度

図-3にコンクリートの圧縮強度を示す。図中の () 内の値は、普通セメントを用いたコンクリートの圧縮強度を100とした時の圧縮強度比で、材令および配合別に示した。早強性普通セメント (N-4200) を用いたコンクリートの圧縮強度は普通セメントより、材令

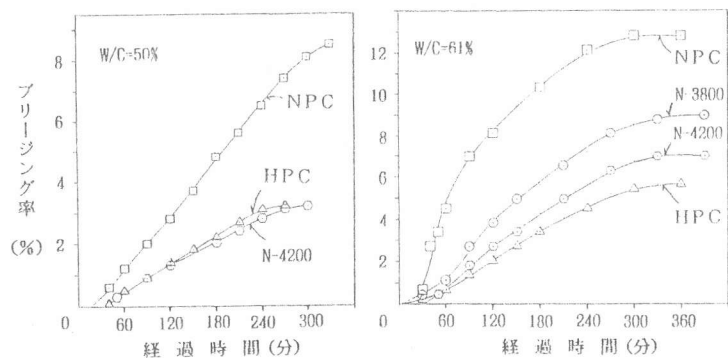


図-2 コンクリートのブリージング

1日で40～50 (kgf/cm²)、材令3日では0～30 (kgf/cm²) 大きく、W/C=50および61%で材令7日、W/C=37%で材令3日以降は普通セメントの強度と同等になっている。N-3800に比べ粉末度の高いN-4200の方が強度増進は大きかった。セメントの粉末度を高くすることは材令3日～7日程度までの若材令での強度発現を増進するのに効果があり、また高強度の配合になるほど普通セメントとの強度差は小さくなっている。

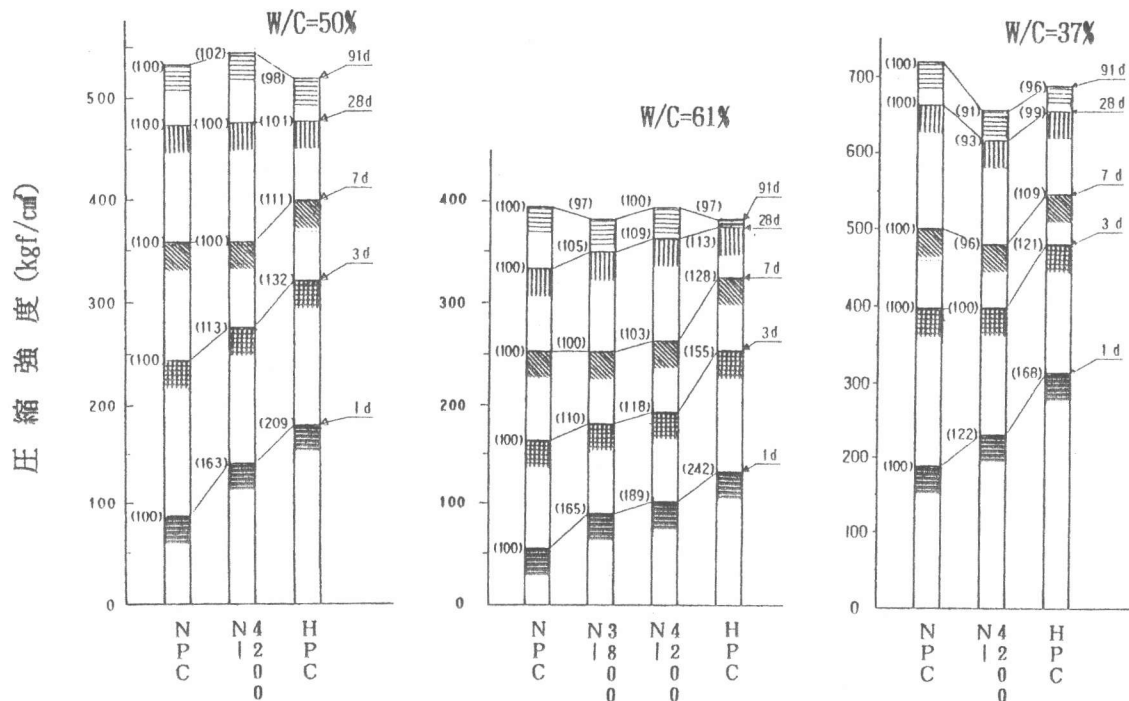


図-3 コンクリートの圧縮強度

(5)乾燥収縮

図-4に W/C=50および61%のコンクリートの乾燥収縮試験結果を示す。材令26週までの乾燥収縮を比較すると、セメントの種類間での差は極僅かであり、粉末度の影響を確認することは困難であった。また重量減少率については、早強性普通セメントが若干大きいようである。

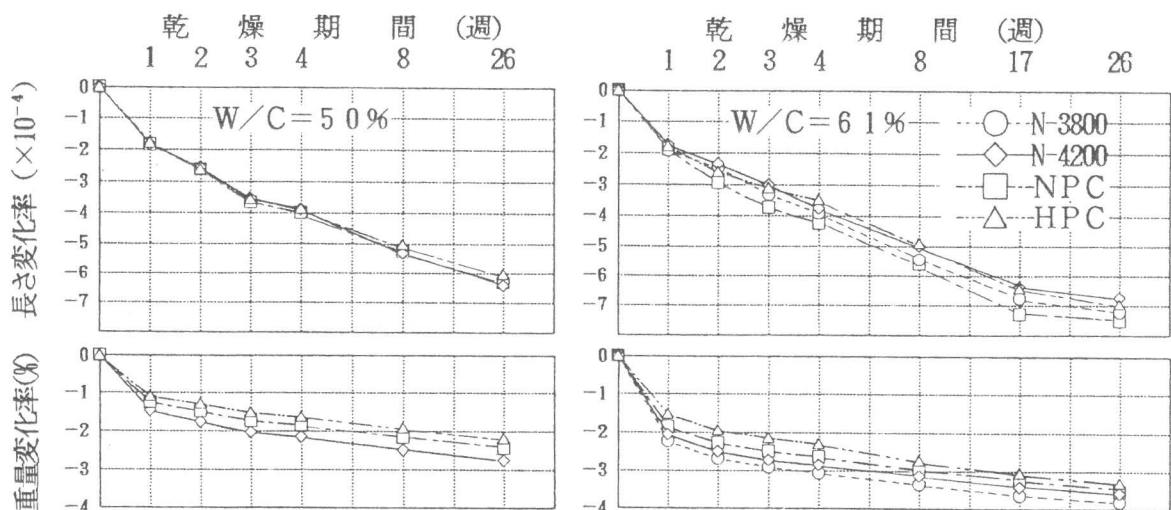


図-4 コンクリートの乾燥収縮

(6)乾燥収縮ひびわれ

表-4に $W/C=61\%$ のコンクリートの乾燥収縮ひびわれ試験結果を示す。ひびわれ発生日数は、供試体間のばらつきは若干大きかったが、早強性普通セメントが最も長く、普通セメントおよび早強セメント以上の乾燥収縮ひびわれ抵抗性を有するものと考ええる。

(7)断熱温度上昇

図-5に $W/C=61\%$ のコンクリートの断熱温度上昇試験結果を示す。最終温度(K)は、早強性普通セメントN-3800、N-4200とも 45°C で、普通セメントと同等、早強セメントより 10°C 低く、4200 (cm^2/g) 程度であれ粉末度を高くしても最終温度は変わらない。また上昇速度を表す α は、早強性普通セメントN-3800と普通セメントは同等で 0.9程度、それに比べN-4200は3割、早強セメントは6割程度大きくなった。

表-4 乾燥収縮ひびわれ試験結果 ($W/C=61\%$)

セメントの種類	ひびわれ発生日数(日)				ひびわれ発生時の諸特性値		
	供試体番号			平均	自由収縮ひずみ ($\times 10^{-4}$)	拘束枠ひずみ ($\times 10^{-4}$)	拘束引張ひずみ ($\times 10^{-4}$)
	No. 1	No. 2	No. 3				
N-4200	47	58	73	59	5.40	1.72	3.68
NPC	31	51	60	47	4.78	1.32	3.46
HPC	33	32	52	39	4.50	1.43	3.06

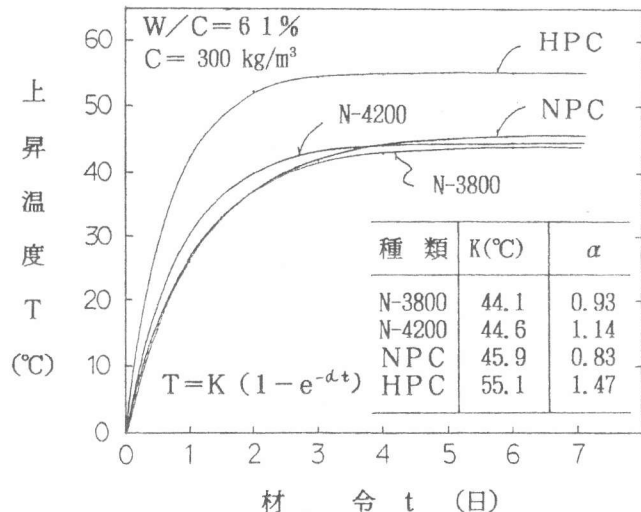


図-5 コンクリートの断熱温度上昇

4. コンクリート製品への応用

早強性普通セメントを用いたコンクリートは、凝結時間が早く、ブリージングが少なく、特に $W/C=50\sim 60\%$ 程度で初期強度が大きく、ひびわれ抵抗性が高い。これらの特性から建築用プレハブ部材の製造に応用できるものと思われる。以下に、早強性普通セメントを用い蒸気養生を行ったコンクリートの圧縮強度特性について示す。

4. 1 試験方法

(1)使用材料

セメントは、表-2に示す早強性普通セメント(N-4200)と、普通セメントを使用した。

細骨材として鹿島産山砂($\rho=2.60$ 、 $F.M=2.53$ 、吸水率=1.58%)、粗骨材として久慈川々砂利($G_{max}=25\text{mm}$ 、 $\rho=2.61$ 、 $F.M=6.89$ 、吸水率=1.34%)を使用した。

また、混和剤にAE減水剤およびAE助剤を使用した。

(2)配合

$W/C=48\%$ 、 $S1=6\text{cm}$ のプレハブ部材用配合とした。

(3)養生

蒸気養生は2通りのパターンで行った。何れも、前養生は 20°C で3時間、昇温は $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ で、パターン①は最高温度 70°C を1.5時間保持、パターン②は最高温度 55°C を1.5時間保持した。降温は何れも自然放冷で、材令2日目以降は 20°C で水中養生した。

(4)圧縮強度試験

材令は、建築用プレハブ部材の脱型時期に合わせ16および24時間とした。また蒸気養生後の強度の伸びをみるため、材令28日でも測定した。

4. 2結果および検討

表-5に蒸気養生試験結果を示す。パターン①で養生した場合、材令16および24時間の圧縮強度は、早強性普通セメントの方が普通セメントより40 (kgf/cm²) 大きく、早強性普通セメントで②の養生を行った場合と普通セメントで①の養生を行った場合がほぼ同等の強度発現を示した。またパターン②で養生を行った早強性普通セメントは28日での圧縮強度の伸びが大きい。

この実験では、早強性普通セメントを用いることで、蒸気養生を短縮でき、28日強度も増進することが確認された。

表-5 蒸気養生試験結果

セメント の 種 類	目標 スランプ (cm)	目標 w/c (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					AEA	実測 スランプ (cm)	実測 w/c (%)	養 生 No.	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
					C	W	S	G	WRA					16h	24h	28d
N-4200	6	3	48	37	300	143	712	1195	0.75	0.3A	7.5	2.8	②	125	146	397
													①	182	190	337
NPC	6	3	48	37	300	143	712	1195	0.75	0.3A	7.1	2.7	①	142	150	325

5. まとめ

早強性普通セメントのキャラクターとして、化学組成を普通セメントと同じとし、粒子組成をブレン比表面積で4200±100 (cm²/g)、N値で1.05~1.15程度とすることにより、コンクリートとして以下に示すような利点を得ることが可能となることが認められた。

- (1)所定のスランプを得るのに必要な単位水量は、普通セメントと同程度である。
- (2)ブリージングは、普通セメントを使用した場合より少ない。また凝結時間も普通セメントを使用した場合より早くなり、早強セメントを使用した場合に近い性状を示す。
- (3)強度発現は若材令、特に材令3日以内で大きく、材令7日以降は普通セメントを用いた場合と同等の強度発現を示す。またブレン比表面積4200 (cm²/g) 程度までであれば、粉末度を高くした方が強度発現性は大きくなる。
- (4)乾燥収縮ひびわれ抵抗性は、普通セメントおよび早強セメントを用いた場合より大きい。
- (5)断熱温度上昇の最終温度は、普通セメントを使用した場合と同等で、上昇速度は普通セメントと早強セメントの中間程度である。
- (6)強度発現は蒸気養生を行った場合も普通セメントに比べて大きく、上記の諸特性と考え合わせ、プレキャスト製品への応用が最適であると考ええる。

参考文献

- 1) 内川 浩・宇智田俊一郎・岡村隆吉：まだ固まらないセメントペースト、モルタル及びコンクリートの流動性に及ぼすセメントの粉末度及び粒子組成の影響、セメント技術大会講演集、No. 43、p. 86-91、1989