

徳島大学 正員 河野 清
 呉高専 正員 竹村 和夫
 徳島大学 学生員 堅川 孝生

1. まえがき

近年、建設業界では工程の短縮、省カ化などの目的からコンクリート製品の使用が盛んに行なわれているが、最近開発された超早強セメントは初期材令でかなりの強度が得られ、早期脱型、早期出荷を必要とする製品用に適していると考えられる。コンクリート製品では製品の種類や品質に応じて適正な材料や配合を選定する必要があり、とくに製品に超早強セメントを用いる場合の参考資料は少なく、碎石の使用や経済性の問題も含め今後十分検討する必要がある。したがって本報告では2種の超早強セメントおよびこれと比較のために早強セメントや普通セメントも使用し、粗骨材に碎石と川砂利を使用し、ワーカビリティや強度などに及ぼす配合の影響について検討を行なった。

2. 実験の概要

セメントはメーカーの異なる2種の超早強セメントを含め表-1に示す4種のものを使用した。

表-1 セメントの試験結果

セメント の種類	ig loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	total	比重 (cm^3/g)	アル- ン (cm^3/g)	凝結(時分)		曲げ強さ (kg/cm^2)				圧縮強さ (kg/cm^2)			
												始発	終結	1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	28日
超早強(A)	0.9	0.2	19.1	5.3	3.0	64.6	1.0	3.4	97.5	3.12	5140	1-55	3-15	45.5	55.2	64.3	74.4	197	330	389	445
超早強(B)	0.9	0.1	19.7	5.1	2.7	64.7	2.0	3.0	98.2	3.14	5930	1-15	1-55	51.9	65.1	75.3	82.1	220	311	372	480
早強(H)	0.9	0.1	20.6	5.0	2.8	65.4	1.2	3.0	99.0	3.14	3970	2-14	3-38	26.3	50.5	64.3	77.5	97	227	354	465
普通(N)	0.9	0.1	22.3	5.3	3.1	65.1	1.2	1.8	98.5	3.15	3140	2-38	3-45	—	30.6	48.4	70.1	—	132	239	414

骨材は徳島県吉野川産の川砂 ($\text{FM} = 2.75$, 比重 = 2.60, 吸水量 = 1.22%), 川砂利 (最大寸法 = 20^{mm} , $\text{FM} = 6.53$, 比重 = 2.61, 吸水量 = 1.54%) および徳島県産の碎石 (硬砂岩, 最大寸法 = 20^{mm} , $\text{FM} = 6.90$, 比重 = 2.60, 吸水量 = 1.72%) を用いた。骨材はそれぞれ粒度調整を行なって使用した。

コンクリートの配合は、細骨材率の影響を検討する場合 (実験I) には単位セメント量を 280 kg および 370 kg の2種にかえ、スランパを 5 cm の一定とし、細骨材率を 3% 等間隔で5種にかえた。単位セメント量の影響を検討する場合 (実験II) には、スランパを 5 cm の一定とし、単位セメント量を 250, 310, 340 および 370 kg の5種とした。単位水量の影響を検討する場合 (実験III) には単位セメント量を 280 kg および 370 kg の2種とし、単位水量を 5 kg の等間隔に5種にかえ中間のもののスランパが 5 cm となるようにした。なお、実験IIおよびIIIの細骨材率は実験Iの結果を参考に決定した。

強制練りミキサでコンクリートを練り混ぜたのち、スランパ試験を行ない、強度試験に供するものは $10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱形型わくに一層につめ、振動台を用いて締固め成形を行なった後 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ の養生室に移し翌日脱型し、以後 20°C 水中養生を行ない材令7日および28日で圧縮強度を試験した。

3. 実験結果とその考察

(1) ワーカビリティ、コンシステンシーに及ぼす配合の影響

表-2は、実験Iの結果により、スランパを一定にした場合の細骨材率10%の変動に対するコンク

リートの単位水量の変化量を示したものである。表に見られるように、細骨材率を増すと骨材の比表面積が増加するためいすれも単位水量を増す必要があるが単位セメント量の多少による差はほとんどみられず、粗骨材に川砂利を用いた場合は普通セメントのコンクリートでは平均14

表-2 細骨材率10%の変化に対する単位水量の変化量(kg)

セメントの種類	碎石コンクリート			川砂利コンクリート		
	C=280kg	C=370kg	平均	C=280kg	C=370kg	平均
超早強(A)	5	5	5	7	6	7
超早強(B)	5	5	5	7	7	7
早強(H)	8	7	8	10	11	11
普通(N)	8	7	8	15	13	14

注) スランポ: 5cm

kgとなっておりこれは単位水量の9%に相当し従来の報告とほぼ同様である。一方、超早強セメントの場合は水量差は7kgでこれは単位水量の4%で普通セメントの場合の約1/2の値となっている。これは、後述するように、超早強セメントは粒子がより微粉砕されているため(表-1)ペーストの粘稠性が増し普通セメントに比し所定のコンスタンシーを得るための水量が多くなっており、細骨材率の増加に伴う比表面積の増加以上にセメントの粉末度が単位水量に影響したためと思われる。また、碎石コンクリートは川砂利コンクリートに比し細骨材率10%の変化に対する水量差は少なく、セメントの種類による影響も少なくなる傾向を示している。

プラスチックでワークフルなコンクリートでは一定単位水量の法則が適用できるといわれているが、実験IIの結果より水セメント比と単位水量との関係をプロットすると図-1のようになり、普通セメントと早強セメントのコンクリートでは水量は一定となっておりこの法則が適用できることを示しており、セメント協会のコンクリート専門委員会の報告²⁾でも水セメント比が40~65%では両セメントについて同様な結果がえられている。一方、超早強セメントのコンクリートでは一定単位水量の法則を適用するのはやや困難な傾向にある。これは高配合になるとセメントペーストの粘稠性の増加が著しく、一定のスランポを得るのに単位水量を増加する必要が顕著になるためと思われる。

図-1 水セメント比と単位水量との関係

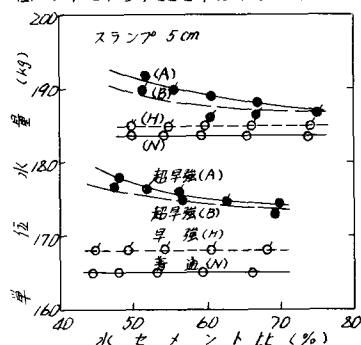


表-3 碎石コンクリートと川砂利コンクリートとの単位水量差(kg)

セメントの種類	水セメント比(%)		
	50	60	70
超早強(A)	14	14	13
超早強(B)	12	13	13
早強(H)	17	17	17
普通(N)	19	19	19

注) スランポ: 5cm

また、川砂利コンクリートと碎石コンクリートとの単位水量差を示した表-3にみられるように、両者の水量差は使用セメントが同じであれば本実験の範囲内では水セメント比にかかわらずほぼ一定であり、普通セメントのコンクリートでは19kgで既報³⁾の結果と同様な値となっているが、超早強セメントを用いたものは12~14kgの値であり、多少少なくなる傾向を示している。

図-2は実験IIIの結果より単位水量とスランポとの関係を示したものであるが、一定スランポを得るための超早強セメントのコンクリートの単位水量は普通セメントの場合より5~15kg多く、この差はコンクリートがやわらかくなるほど大きくなり、碎石コンクリートより川砂利コンクリートのほうが水量差が多少大きくなっている。また図-1にもみられるように、高配合になると差が大きくなる傾向がある。スランポ4~8cm程度のコンクリートではスランポ1cmの増減に対する単位水量の変化は、普通セメントコンクリートでは約2.5kgで単位水量の1.5%に相当するが、超早強セメントのコン

フリートでは3~4kgで単位水量の1.7~2.1%と幾分多く増減する必要がある。

(2) 圧縮強度に及ぼす配合の影響

図-3は圧縮強度に及ぼす細骨材率の影響を示したものであるが、強度が最大になる細骨材率があり単位セメント量280kgの場合、川砂利ではいずれのセメントコンクリートとも38%であるが、碎石では普通セメントコンクリートは44%、超早強では38~41%、単位セメント量370kgの場合には、川砂利の普通では35~38%、超早強では32~35%、碎石では普通は41~44%、超早強は38~41%となっている。したがって、超早強セメントを用いる場合は、強度面よりみて普通セメントの場合より細骨材率を3%程度低くするのでよいと思われる。また、川砂利コンクリートに比べ碎石を用いる場合にはいかなれのセメントコンクリートとも細骨材率を3%程度高くする必要がありと考えられる。また、富配合の場合には貧配合の場合に比べ細骨材率を多少低目にするのがよいといえる。

セメント水比と圧縮強度との関係を示した図-4にみられるように、材令7日では超早強セメントのコンクリートが初期の水和が速いため、同一セメント水比における強度は普通セメントや早強セ

図-2 単位水量とスランパとの関係

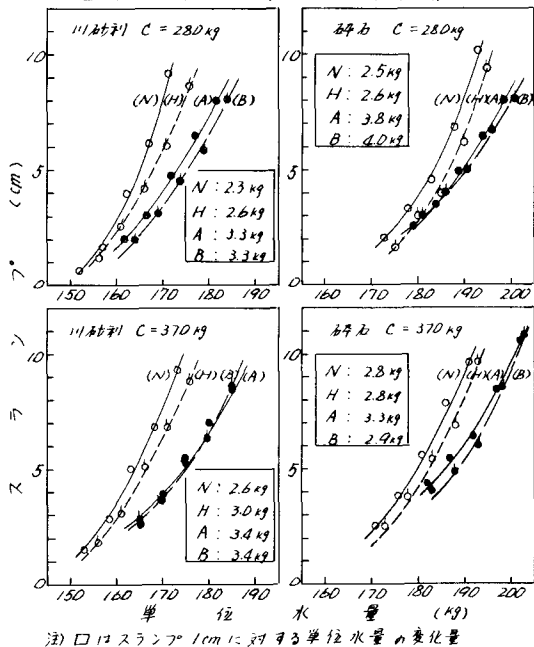


図-3 圧縮強度に及ぼす細骨材率の影響 (28日)

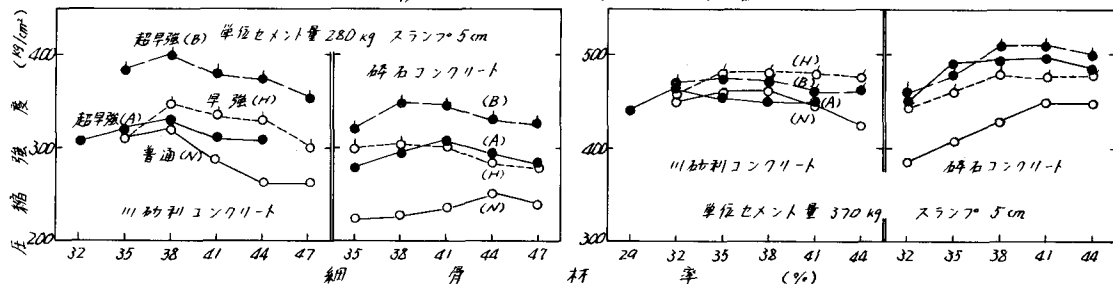
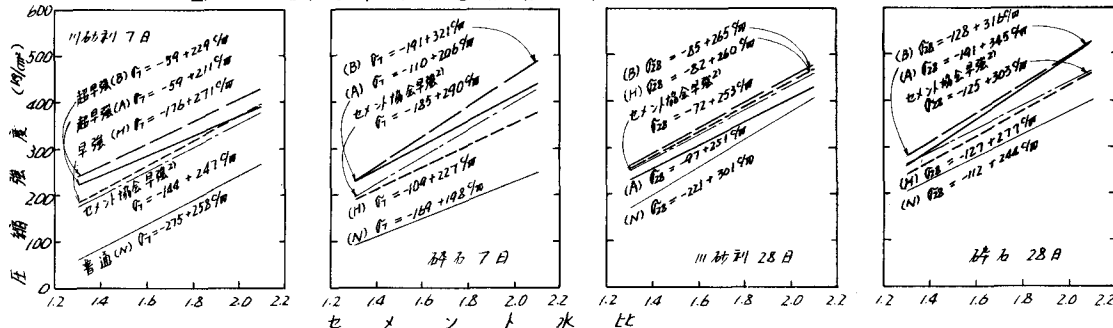


図-4 セメント水比と圧縮強度との関係



メントの場合より大きい。28日で川砂利では早強セメントコンクリートより低くなるものもある。一方、碎石では材令28日でも超早強2種が大きくセメント水比の増加に伴う強度の増加割合も大きく図-5にもみられるように超早強セメントで富配合にする場合は碎石を用いるのが有利といえる。

表-4は単位水量が20kg変動した場合のコンクリートの強度変化を示したものであるが、各セメントコンクリートについて平均すると普通セメントの場合では100kg/cm²であるのに対し超早強では77, 81kg/cm²となり普通セメントに比べわずかに少なくなる傾向がみられる。

表-5は7日強度と28日強度との関係式およびそれらの式による28日強度の推定値をセメントの種別で比較したものであるが、超早強セメントのコンクリートは初期材令で高強度が得られるため材令7日より28日への強度の伸びは普通セメント、早強セメントの場合より小となっている。

4. まとめ

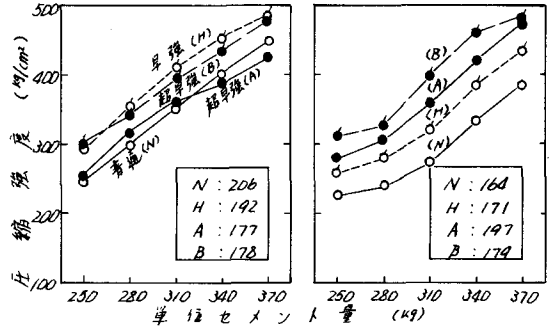
(1)超早強セメントを用いたコンクリートでは細骨材率の増減に伴う単位水量の増減は普通セメントの場合より少なくなり、川砂利コンクリートでは普通セメントの場合の約半分、細骨材率1%に対し約0.5%となっている。一方、製品用配合ではスランポ1mmの増減に対する単位水量の増減は普通セメントの場合には約2.5kgになるのに対し超早強セメントでは3~4kgと多くなっている。また、超早強セメントのコンクリートでは一定単位水量の法則を適用しにくく富配合になるにつれて単位水量を増加する必要がある。

(2)超早強セメントコンクリートでは最大寸法20mmの場合細骨材率は川砂利で35~38%、碎石で38~41%の配合で強度が高くなる傾向がある。超早強セメントを用いる場合、川砂利ではセメント水比の増加による強度の増進率は普通セメントより小さくなる傾向があるので単位セメント量を350kg程度までとするのが有利であり、富配合では碎石の使用が有利と考えられる。超早強セメントコンクリートは7日強度(f_7)より28日強度(f_{28})への増進率は普通セメントの場合より低く、両者の関係はセメントの種別により次式で示される。超早強セメント(A) $f_{28} = 1.19 f_7 - 16$ 。超早強セメント(B) $f_{28} = 1.01 f_7 + 53$

参考文献

- 1) 近藤泰夫(訳)：コンクリートマニュアル(オーム社) P127 (1966)
- 2) セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-16~F-19 (1962~1964), F-19 (1967)
- 3) 横道英雄：セメントコンクリート No. 129 RP 14~19 (1957. 11)
- 4) 日本建築学会：JASS5 RP 528~538 (1963)

図-5 圧縮強度に及ぼす単位セメント量の影響(28日)



注) 〇は単位セメント量 370kgと250kgの場合の強度差(kg/cm²)

表-4 単位水量20kgの差によるコンクリートの強度差(kg/cm²)

セメントの種類	材令 7日		材令 28日		平均
	川砂利	碎石	川砂利	碎石	
超早強(A)	57 (52)	85 (79)	83 (42)	125 (89)	77
超早強(B)	86 (58)	61 (73)	101 (80)	71 (97)	81
早強(H)	94 (81)	72 (84)	109 (73)	105 (68)	86
普通(N)	77 (115)	50 (86)	101 (173)	77 (117)	100

注) 単位セメント量は250kgと370kgで、()は370kgの場合

表-5 7日強度より28日強度の推定値の比較

セメントの種類	関係式	28日強度推定値(kg/cm²)		
		$f_7=200$	$f_7=300$	$f_7=400$
超早強(A)	$f_{28} = 1.19 f_7 - 16$	222	341	460
超早強(B)	$f_{28} = 1.01 f_7 + 53$	255	356	457
早強(H)	$f_{28} = 1.03 f_7 + 68$	274	378	480
普通(N)	$f_{28} = 1.21 f_7 + 46$	338	459	580
日本建 ¹⁾ 早強	$f_{28} = 1.00 f_7 + 80$	280	380	480
学会 ²⁾ 普通	$f_{28} = 1.35 f_7 + 30$	300	435	570
セメント協会 ³⁾ 普通	$f_{28} = 1.24 f_7 + 66$	314	438	562

注) 試験個数は右セメントコンクリートとも50個