

東京大学工学部 正員 小林正凡

東京大学大学院 学生員 ○高木秀典

東京大学工学部 木下 旭

1. まえがき アルミナセメントについては、すでに2・3の研究報告もあるが、この研究では、養生中の温度と湿度がアルミナセメントコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響、アルミナセメントコンクリートのウォーカビリティー・クリープ性状、各種混和剤の使用法等について論じようとするものである。

2. 使用材料 実験に用いたアルミナセメントは国産の試作品A、市販品B、および輸入品Cであつて、その試験結果は表-1に示す通りである。なお比較のために用いたセメントは、日本セメント株式西三河工場製の普通ポルトランドセメント、および早強ポルトランドセメントである。実験に用いた骨材は、粗骨材、細骨材とも富士川産のもので粗骨材は最大寸法は、比重2.66、粗粒率6.89でまた、細骨材は比重2.63、粗粒率2.93である。

表-1 セメントの試験結果

セメントの種類	製造方式	主な用途	物理的性質								化学成分 (%)										
			粉末度 800μm以下 通過率 (%)	凝結時間 水量 100g 乾熱 100℃	引張強度 1日 圧縮 曲り 比重	1日 強度 (%)	比重	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MgO	SO ₃	Total						
アルミナセメント	A	焼成方法 耐火材料用	0.5	3900	28.0	6-54	7-25	228	501	80.0	30.5	0.28	—	36.8	52.43	5.16	33.86	2.73	1.08	—	99.22
	B	溶解方法 耐火材料用	3.0	4250	27.5	4-24	4-55	249	569	80.5	29.8	—	—	4.40	52.17	1.54	39.19	2.53	—	—	99.83
	C	溶解方法 耐火材料用	2.0	2570	21.8	2-54	3-18	222	385	59.1	32.6	—	—	3.08	38.68	17.84	37.67	2.28	—	—	99.55
ポルトランドセメント	普通	—	2.7	3310	27.7	2-13	3-15	207	—	—	3.15	0.8	1.0	21.7	5.4	3.1	63.5	—	1.5	1.9	98.90
	早強	—	0.4	4260	27.6	2-12	3-14	225	—	—	3.13	0.8	1.1	20.5	5.0	2.7	65.0	—	1.3	2.6	99.00

3. アルミナセメントコンクリートの養生方法について アルミナセメントコンクリートの強度は、養生温度によって、いちじるしく影響をうける(図-1、表-2)。たとえば、図-1によれば、養生温度20-40℃では、材令6時間ですでに250%以上の強度が得られており、極めて早強性であることが示されている。しかし、養生温度30℃では、同じ強度に達するのに15時間程度かかっている。凝結時の温度が30℃付近にならないよう注意する必要がある。また養生温度0℃でも12-15時間で200%以上の強度が得られており、このセメントが寒中コンクリートに適したセメントであることがわかる。しかしながらアルミナセメントコンクリートは高温多湿条件下に保たれた場合、水和物の転移によって強度が低下する。表-2によれば、この強度低下には、下限がありある値以下には達しないこと、またアルミナセメントの種類によって、強度低下速度、および転移後の強度(下限値)がかなり相違することが認められる。長期材令での強度低下は、常温で養生した場合も認められるが、この場合の方が強度の下限は高温で養生した場合より幾分高いようである。従って、長期間の使用を考慮しなければならぬ重要な構造物にアルミナセメントを用いる場合は、40℃程度の高温で養生して、早期に強度低下させ、その下限値と許容応力度とを比べれば安全と思われ。次に、養生期間中、供試体の温度を20℃にして、湿度の相違が強度に及ぼす影響を確かめた(図-2、図-3)。図-2によれば、強度は養生期間中の初期も湿潤に保った場合の方が高いことが示されている。一般には材令1日までは硬化熱による温度上昇を防ぐため、散水、その他の方法によってコンクリートと湿潤状態に保つことが行なわれており、このことは強度の点からも望ましいことが確かめられたのである。また、図-3によれば、40%~60%のいずれの水セメント比の場合でも材令1年における強度は湿潤に保たれた場合の方が高いことが示されている。また、高温低下での湿度の相違が強度に及ぼす影響を確かめた(図-4)。これによれば、養生温度が高い場合は、常温の場合と異り、湿度の低い方が高い強度が得られることがわかる。これは、高温でも、コンクリートが乾燥状態に保たれると、アルミナセメントの水和物が転移をおこし

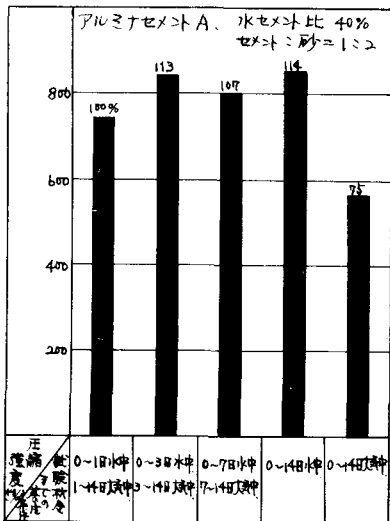
難くなることを示しているものと思われる。

表-2 高温多湿条件下に保たれたアルミナセメントコンクリートの圧縮強度

セメントの種類	水セメント比 (%)	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)				
		1日	21日	39日	97日	140日
A	40	582 (100)	304 (52.2)	449 (77.1)	186 (32.0)	202 (34.7)
	55	478 (100)	457 (95.6)	—	82 (17.2)	—
C	40	573 (100)	310 (54.1)	—	368 (64.2)	—
	55	468 (100)	123 (26.3)	—	158 (33.8)	—

(注) 1) 供試体寸法 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 2) スランパ約5cm
材令0~1日: 20°C水中
3) 練りより温度 21°C, 4) 養生条件 材令1日~ 40°C水中

図-2 養生中の湿度の相違がアルミナセメントモルタルの強度に及ぼす影響 (材令14日での圧縮強度比較)



(注) 1) 練りより温度 11°C 2) 養生温度 20°C
3) 大気中の湿度 R-H 50%
4) 供試体寸法 $\phi 5 \times 10\text{cm}$

4. アルミナセメントコンクリートのクリープ特性

アルミナセメントコンクリートでは、アルミナセメントの水和物の転移によって強度が低下するので、本リウドセメントの場合と異なつたクリープ特性を示すことが考えられる。図-5は養生温度E、0°Cより40°Cに変えた場合のアルミナセメントコンクリートのクリープについて調べたものである。それによれば、コンクリートのクリープは養生温度が高い程大きく、とくに養生温度40°Cでは材令20日以後でクリープが急激に大きくなっている。強度試験の結果によれば20の時期に水和物の転移によって強度がかなり低下している。常温度で養生される場合にも、長期材令では水和物の転移によって強度が低下することから認められており、その際、かなり大きなクリープ歪が生ずることが予想される。次に図-6は載荷前にあらかじめ水和物の転移

図-1 養生温度の相違がアルミナセメントコンクリートの短期強度に及ぼす影響 (供試体寸法 $\phi 10 \times 20\text{cm}$)

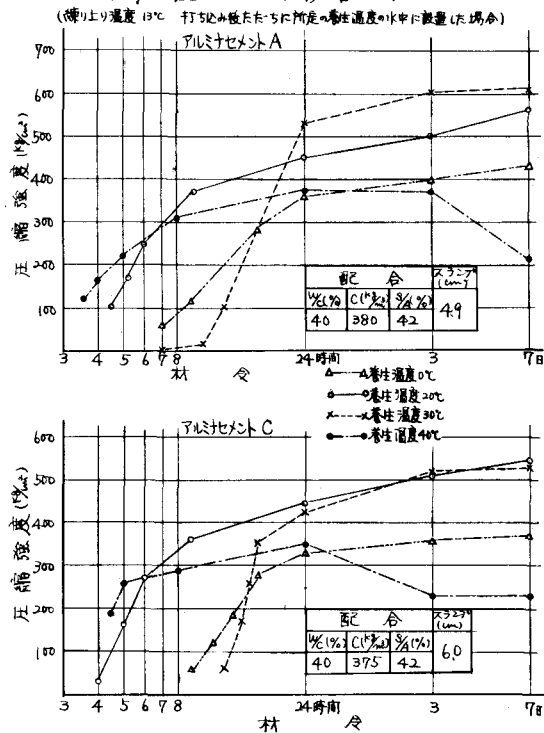
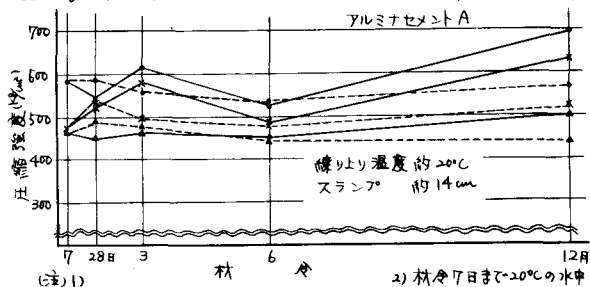


図-3 養生中の湿度の相違がアルミナセメントコンクリートの強度に及ぼす影響



(注) 1) 2) 材令7日まで20°Cの水中で養生した
3) 供試体寸法 $\phi 15 \times 30\text{cm}$

記号	材令7日後養生条件	%C1%	C1% (kg)	%A%
—	20°C 水中	40	375	42
---	20°C R-H 50%	50	320	44
x-x	20°C 水中	60	277	47
△	20°C R-H 50%			

したアルミナセメントコンクリートと載荷後水和物の転移したアルミナセメントコンクリートのクリープ歪を示している。なお図-6には比較のために、この試験期間中では水和物の転移しないコンクリートのクリープ歪も示している。これによれば、載荷前に水和物の転移したアルミナセメントコンクリートのクリープ歪はいちじるしく小さいことが認められる。これはあらかじめ水和物の転移したコンクリートでは載荷前にすでにアルミナセメントの水和はほとんど完了し、転移後の安定な水和物(C₃AH₆Gibbsite)が形成されているためと思われる。従って、PC構造物にアルミナセメントを用いる場合でも、プレキャスト製品として用いられ、使用に際しクリープが増大の欠点はさほど心配はないのである。

5. アルミナセメントの使用上の注意事項

1) アルミナセメントコンクリートのワーカビリティについて

アルミナセメントを用いた場合、所要のワーカビリティのコンクリートとするに要する単位水量は、ポルトランドセメントを用いた場合より小さい。また単位水量の変化がコンクリートのスランプに及ぼす影響は、アルミナセメントを用いた場合、ポルトランドセメントより大きく、その影響もアルミナセメントの種類によりかなり相違する(図-7)。すなわちスランプを1cm変化させるために必要は単位水量の増減は、スランプが5±1cmの範囲で水セメント比40%の場合、普通ポルトランドセメントでは3.7%であるのに対し、アルミナセメントAでは1.1%でありCでは0.9%にもなっている。またアルミナセメントを用いた場合には、ペーストの粘性が小さいためポルトランドセメントを用いたコンクリートと同程度のワーカビリティを得るための処置としては幾分単位セメント量を増すとか細骨材率を2~4%大きくすることが考えられるがセ

メント量を増加すると硬化熱による温度の上昇が大きくなる欠点もでてくるので、フライアッシュを適当量使用してこの欠点を補うことが望ましいと思われる。また、フリーズング率は、アルミナセメントの種類によりかなり相違する(図-8)。セメントCを用いたコンクリートのフリーズングが大きいののは、セメントの粉末が粗いためと思われる。

2) アルミナセメントコンクリートの長期強度を高める方法について。アルミナセメントの水和物の転移による長期強度の低下を防ぐ直接的な方法はまた見えていないが、塩化アルミニウムとモルタルまたはコンクリートに混合して用いると低下後の強度を高めるとかであることが確かめられた(図-9)。これによれば、塩化アルミニウムを混入した場合は、これを用いない場合に比べて、水和物の転

図-4 高温下での湿度の相違がアルミナセメントモルタルの圧縮強度に及ぼす影響
(ただし比較のために所定の養生条件下に設置した場合)

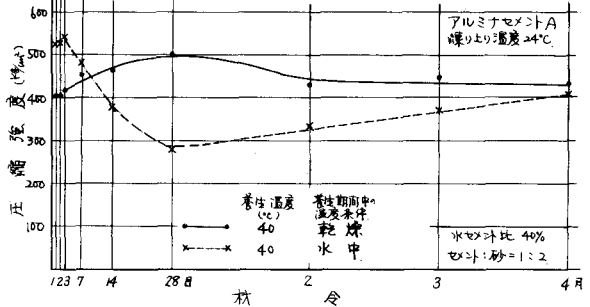


図-5 養生温度の相違がアルミナセメントコンクリートのクリープに及ぼす影響

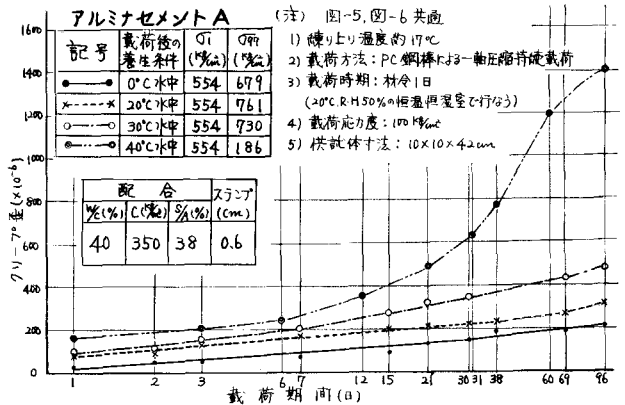
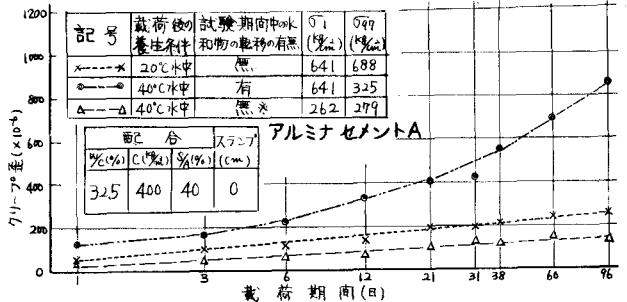


図-6 アルミナセメントの水和物の転移とアルミナセメントコンクリートのクリープとの関係



(注) * 林々05時から45時までの4時間100℃蒸気中で養生し、載荷前に水和物の転移をほぼ完了させている。

図-7 単位水量とスランプの関係

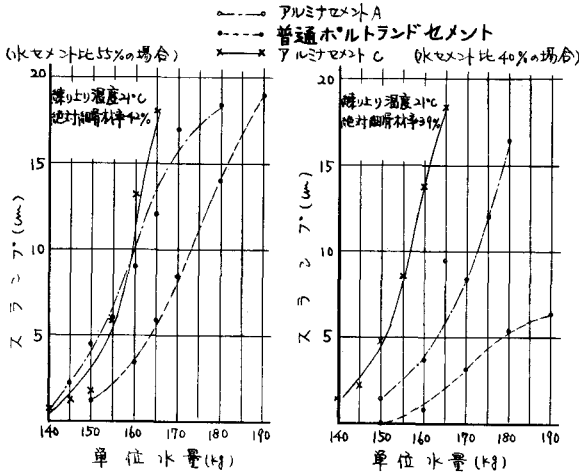


図-8 アルミナセメントコンクリートのフリージング試験結果

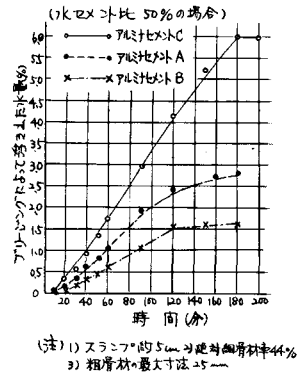
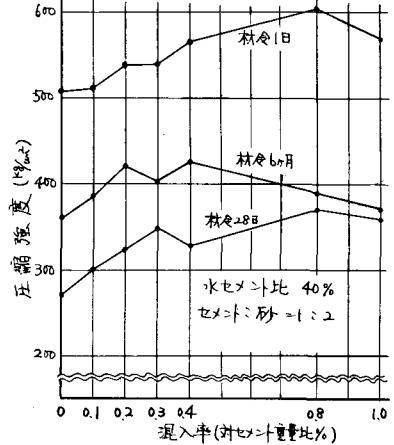


図-9 塩化アルミニウムを混入したアルミナセメントモルタルの圧縮強度試験

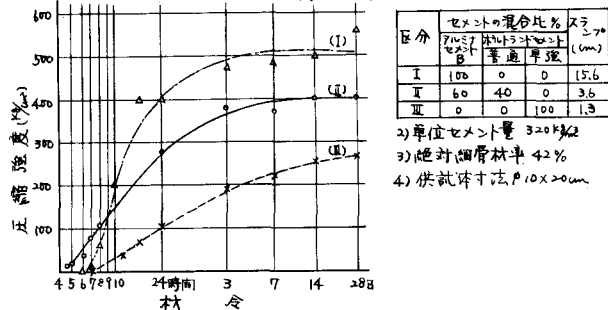


移後の圧縮強度が約 20% 高まることと示されている。しかしながら、塩化アルミニウムはアルミナセメントの凝結を遅延させるので初期強度をそこなわない程度に混入することが望ましい。凝結試験結果から混入率 0.2~0.3% 程度が適当と思われる。

3) 経済的な使用方法について。工期を大きく短縮しなけければならない道路、鉄道、その他の補修工事ではアルミナセメントにポルトランドセメントを混用すれば、セメントのコストを下げられること、またごく短期間ではアルミナセメントのみを用いた場合より強度が高いこと、などから有利となる場合が考えられる。この場合セメントが瞬結しない範囲として、アルミナセメントの 40% 程度を普通ポルトランドセメントで置き換えることが有利と考えられる。図-10 は、この置き換え率を 40% とした場合の強度試験結果である。普通ポルトランドセメントの使用量とセメントの凝結時間との関係は用いるアルミナセメントの種類によって大きく相違するので使用に先立って充分確かめておく必要がある。さらにこの普通ポルトランドセメントの 30% 程度をフライアッシュで置き換えれば、コンクリートのウオカビリーが改善されまた強度も同等またはそれ以上に保たれるのでこの方法がおすすめ

られる。

図-10 アルミナセメントにポルトランドセメントを混入したコンクリートの圧縮強度試験



6. 謝辞

この研究を行なうに際し東京大学教授 岡村正弘先生より終始ご指導を賜り、また東京大学土木教室コンクリート実験室の方には実験に多大のご援助をいただいた。謹んで厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 長尾・高木・木下: アルミナセメントコンクリートの養生温度に関する研究, セメント技術年報 (昭和 41 年)