

論文

[1002] 各種セメントを用いた高強度軽量コンクリートの諸特性に関する基礎的研究

正会員○椎葉大和（福岡大学建築学科）

本田 悟（福岡大学建築学科）

荒木 恵（福岡大学建築学科）

1. はじめに

近年の土地の高度有効利用による住宅確保の一手段として、居住性やコスト面から有効とされている30階程度の超高層鉄筋コンクリート集合住宅の存在が最近クローズアップされている[1]。その際に、材料的側面からコンクリートの高強度化及び軽量化が重要な課題と考えられる。

従って、本研究は設計基準強度420~480kgf/cm²程度の高強度コンクリートの製造を目標として、各種のセメント及び軽量化と資源の有効利用のために石炭火力により副生されたフライアッシュ製の軽量粗骨材[2]などを用いて高強度軽量コンクリートの基礎的諸特性について比較検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料、調合及び混練

(1) 使用材料、調合

セメントは普通ポルトランドセメント（普通）、フライアッシュB種（フライB）及び高炉セメントB種（高炉B）を用い、骨材（表1）は、砂には除塩海砂、砂利には軽骨A（フライアッシュ製の造粒型）、軽骨B（膨張けつ岩製の非造粒型）及び碎石（角せん岩）を用いた。また、混和材は同一メーカー製の高性能AE減水剤、流動化剤及びAE剤を用いた。

なお、表2の基本調合は単位水量を一定とし、目標スランプ21cm、目標空気量4%とした。

(2) 混練

フレッシュコンクリートの測定における流動化剤添加方法と混練の関係は、添加方法I（ベースコンクリートに流動化剤添加後はミキサを4r.p.m.で低速搅拌を継続）と添加方法II（ベースコンクリートを低速搅拌30分後の流動化剤添加以後も低速搅拌を継続）の2水準とした。

表1 骨材の物理的性質

項目 骨材		比 重		吸水率 (24h) (%)	単位容量 積重量 (kg/l)	実積率 (%)	破砕値 (%)
		絶 乾	表 乾				
砂	海 砂	2.54	2.57	1.26	1.63	64.2	—
	軽骨A	1.35	1.51	13.10	0.83	61.4	39.9
砂利	軽骨B	1.26	1.38	9.50	0.81	64.0	40.3
	碎 石	2.84	2.99	0.84	1.68	59.2	18.5

表2 ベースコンクリートの基本調合

スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位セメント量 (kg/m ³)	
						ベースコンクリート
15	21	4.0	25	38	170	680
			30	39		567
			35	40		486
			40	41		425
			45	42		378

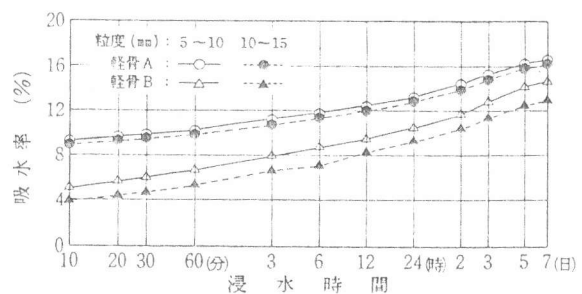


図1 人工軽量骨材の吸水率と浸水時間

また、硬化後の測定に供したコンクリートは、ベースコンクリート製造直後に流動化剤添加を行ったものである。

3. 実験結果及び考察

3.1 粗骨材の特性

(1) 吸水率 (図1)

図1に示す絶乾状態の両軽骨の吸水速度は極めて早く、浸水7日以後も吸水率の増加が認められる。両軽骨とも浸水初期の約10分間の吸水率が24時間後の73~75%に達し、24時間後の吸水率は、軽骨Aでは13.1%、軽骨Bでは9.5%である。この両軽骨の吸水率の差は、軽骨の空隙量を定めている発泡成分 Fe_2O_3 及び他の化学成分もさほど差がないことから、主に軽骨外殻部の微密さの相違に起因すると思われる。

(2) 破砕強さ (図2)

図2に示すプランジャー法による破砕荷重と破砕値の関係では、両軽骨の10%破砕値は軽骨Aでは10.5t、軽骨Bでは9.3tと、碎石の場合の2~3倍程度である。また、40t破砕値は両軽骨とも40%前後と差がなく、碎石の場合は軽骨の1/2程度の値を示している。

3.2 フレッシュコンクリートの特性

(1) ブリージング (図3)

図3より、ブリージングはセメント、水セメント比(単位セメント量)、粗骨材及び流動化剤添加方法などの要因の影響を受けている。まず、水セメント比25%及び30%で碎石の場合はブリージングが生じず、フライB及び高炉Bの場合のブリージング率は水セメント比30~40%の範囲では4%以下であり、全般に普通ポルトを用いた場合よりブリージング率が低い。また、単位水量一定の条件での軽骨の場合のブリージング率の増加は、図1による軽骨の含有水分の増加と関係していると思われる。なお、添加方法別では後添加効果によりブリージング率は低くなる。

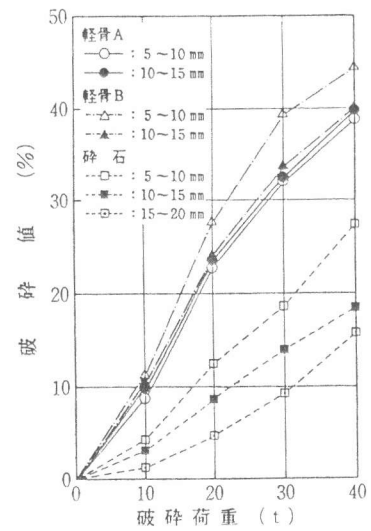


図2 粗骨材の粒度別破砕値

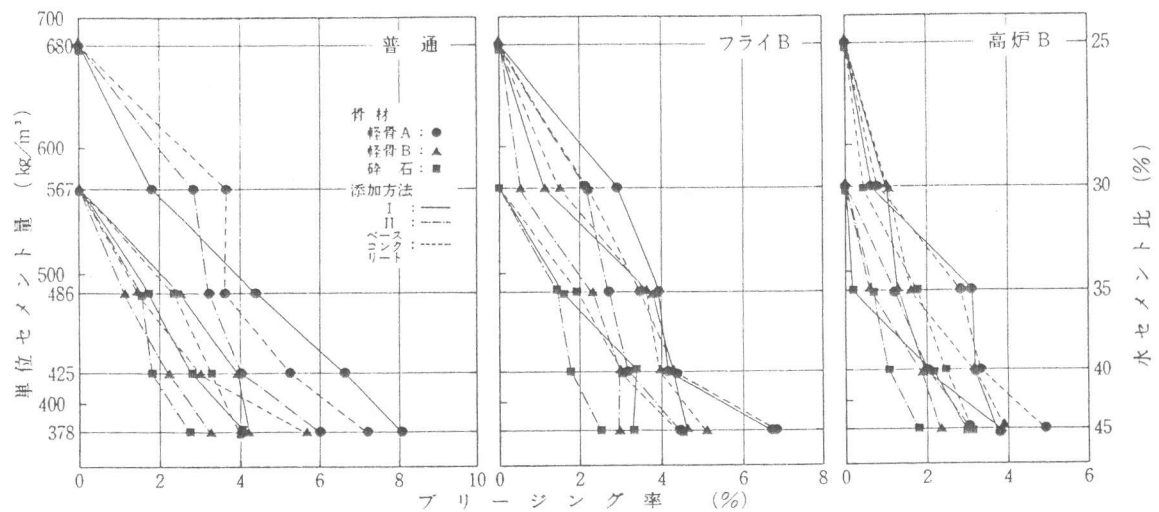


図3 単位セメント量ならびに水セメント比に対するブリージング率

(2) スランプ及び空気量の経時変化 (図4, 図5, 図6) [3]

低速攪拌に伴うスランプと空気量の経時変化を図4と図5に、また、両者の関係を図6に示す。

図4より、全般にスランプロスの回復に大きな影響を与える要因として、主に水セメント比（低水セメント比）、添加方法（添加方法II）及び粗骨材（軽骨）などがあげられる。全般に低水セメント比で添加方法IIでは後添加効果によりスランプの回復量が非常に大きい。しかし、軽骨の場合はスランプの回復量の大きい低水セメント比25%でも普通ポルトの回復量に比べて、軽骨Aの場合はフライBでは38%、高炉Bでは61%、同様に軽骨Bの場合はフライBでは34%、高炉Bでは57%と、使用セメントの種類によってはスランプの回復量の低下が認められる。

図5より、全般に低水セメント比ではセメントの種類及び添加方法に関係なく、流動化後攪拌30分後に空気量の増加傾向が認められる。この傾向が比較的著しいのは、普通ポルトの場合は添

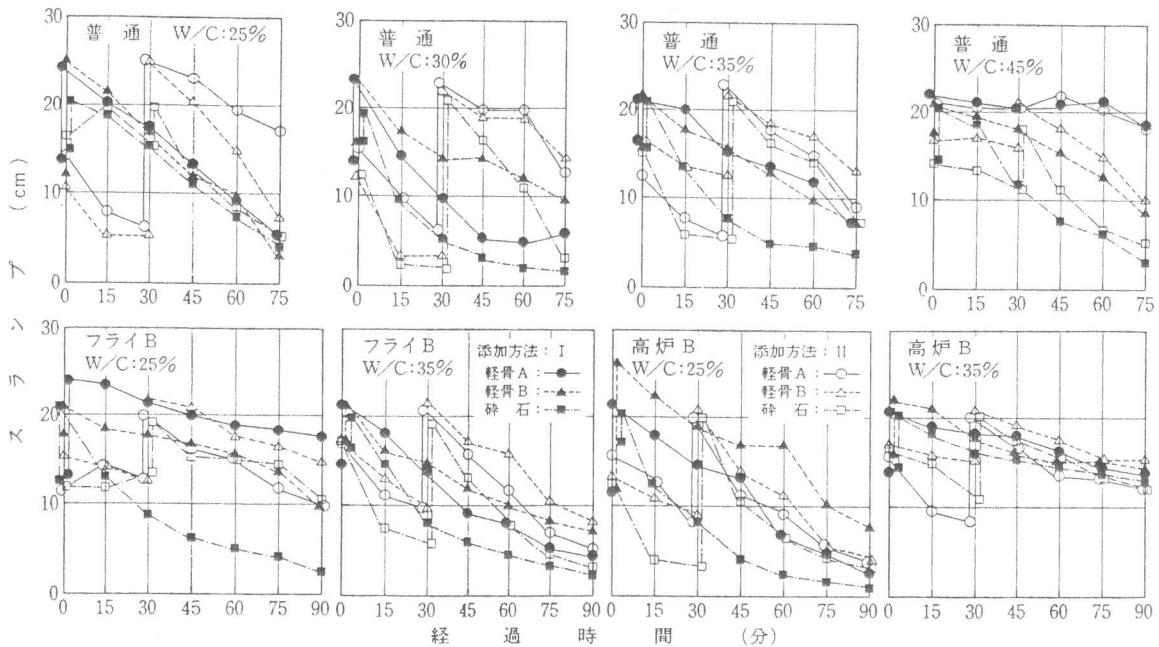


図4 攪拌に伴うスランプの経時変化

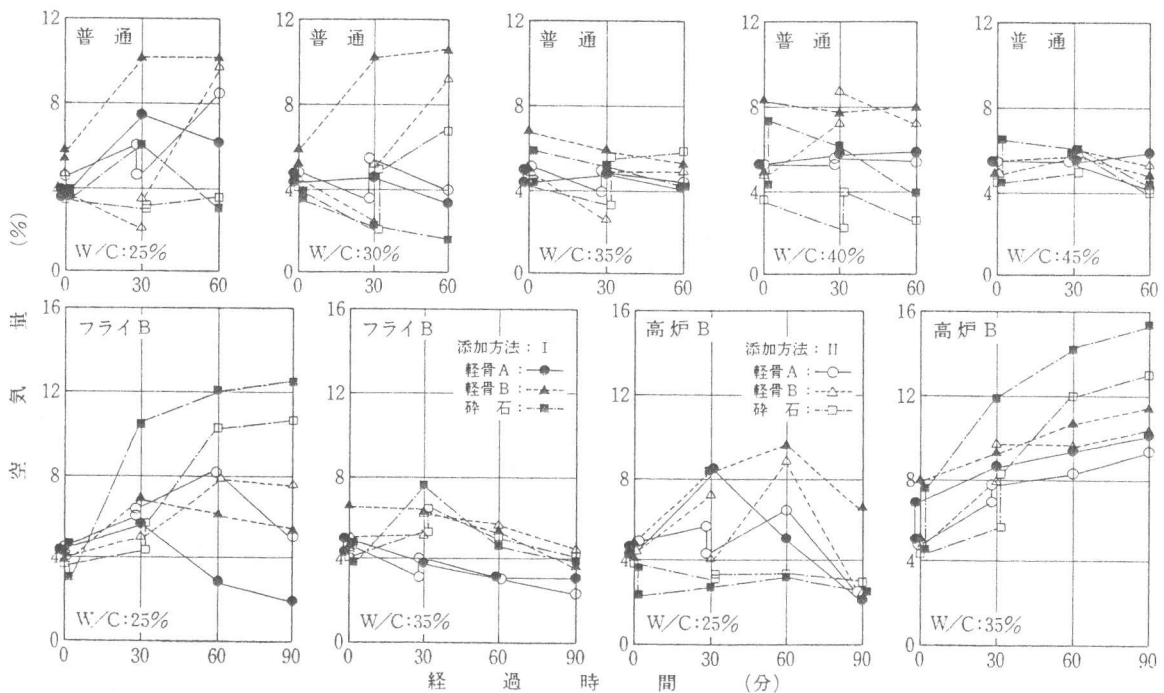


図5 攪拌に伴う空気量の経時変化

加方法 I の軽骨 B では水セメント比25%及び30%ともに4.3%の空気量の増加がある。同様に、フライ B 及び高炉 B では特に碎石の場合は攪拌経過後も空気量の増加が生じ、流動化後攪拌30分でフライ B で水セメント比25%の場合に添加方法 I では7.5%、II では4.6%、また、高炉 B では水セメント比35%の場合に添加方法 I では4.3%、II では3.7%の空気量の増加がある。

図6の添加方法 I のスランプと空気量の経時的関係は、混練直後から空気量の増加（7～8%）に伴いスランプも増加を示すが、最終的には空気量2～6%の範囲でスランプ低下が生じる。

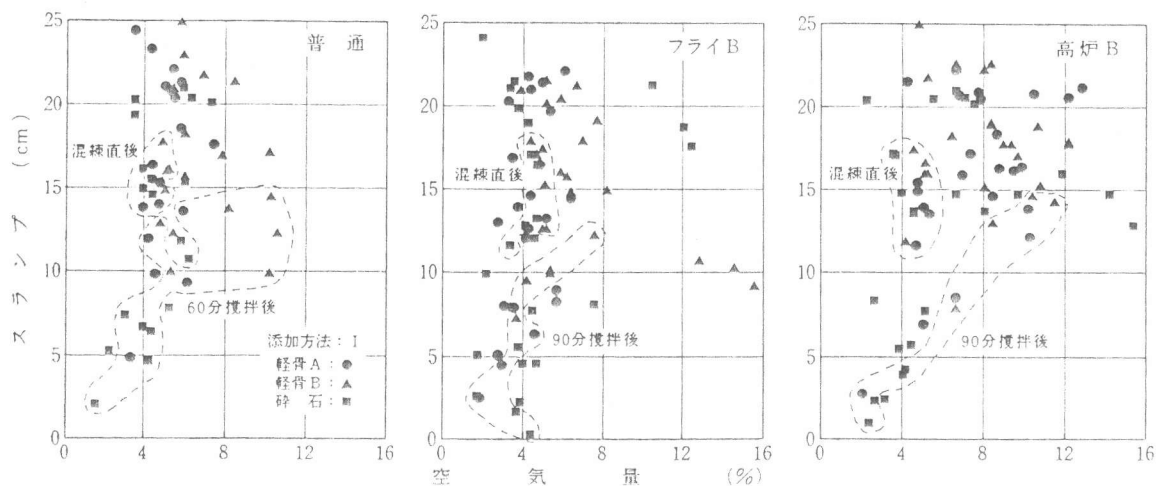


図6 攪拌に伴う経時的なスランプと空気量

3.3 硬化コンクリートの特性

(1) 強度 (表3, 図7, 図8, 図9)

表3より、500kgf/cm²程度の圧縮強度の確保には材令91日まで考慮すれば、軽量コンクリートでも普通ポルトを使用し水セメント比25～30%であれば材令7日でも可能である。また、フライ

表3 500kgf/cm²程度の圧縮強度が得られるための諸条件

材令 (日)	W/C (%)	骨材	養生 方法	圧縮強度 (kgf/cm ²)			
				普通	フライB	高炉B	
7	25	軽骨A	W	(450)	500	(473)	
			A	(483)	528	524	
		軽骨B	W	531	(477)	502	
			A	535	513	546	
		碎石	W	(498)	(497)	(475)	
			A	528	(498)	(486)	
	30	軽骨A	W	523	(405)	(309)	
			A	517	(448)	(347)	
		軽骨B	W	(493)	(332)	(375)	
			A	500	(388)	(404)	
		碎石	W	529	(433)	(406)	
			A	(493)	(450)	(411)	
28	25	軽骨A	W	564	581	601	
			A	598	613	611	
		軽骨B	W	597	579	597	
			A	618	591	621	
		碎石	W	587	567	548	
			A	599	526	526	
	30	軽骨A	W	596	509	(423)	
			A	585	534	502	
		軽骨B	W	529	(416)	508	
			A	580	(466)	547	
		碎石	W	688	(471)	524	
			A	622	510	(491)	
	91	30	軽骨A	W	627	576	(499)
				A	666	627	559
			軽骨B	W	596	(459)	556
				A	592	530	587
			碎石	W	728	586	575
				A	679	594	538
35		軽骨A	W	502	505	(390)	
			A	550	539	(457)	
		軽骨B	W	544	(418)	(435)	
			A	544	(411)	(469)	
		碎石	W	624	518	514	
			A	557	540	(477)	

注) W: 水中養生, A: 気中養生
(): 圧縮強度500～300kgf/cm²

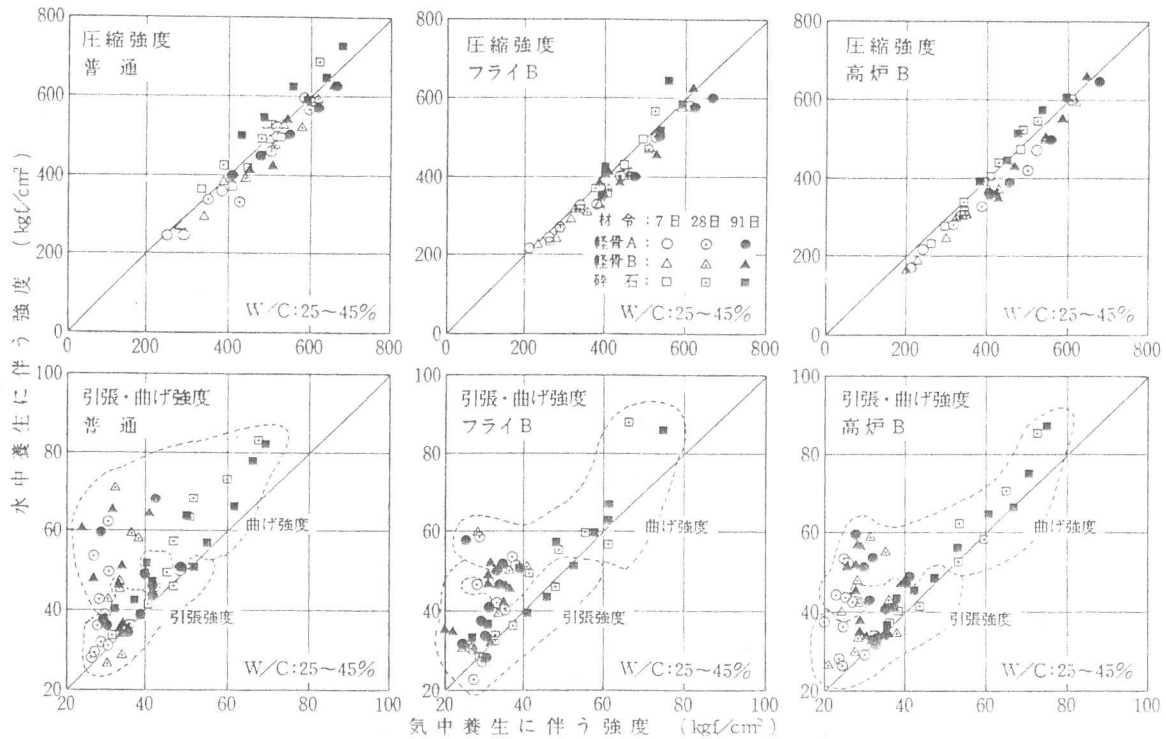


図7 養生方法の違いに伴う強度（圧縮強度，引張強度，曲げ強度）

B及び高炉Bの場合は、水セメント比25%では材令7日から、水セメント比30%では材令28日からほぼ500kgf/cm²程度の強度の確保は可能である。さらに、軽量コンクリートでも水セメント比25%では、材令28日で600kgf/cm²、材令91日では650kgf/cm²程度は達成できる。

図7と表3より、全般に圧縮強度の場合は水中養生及び気中養生ともにほぼ同等の強度が得られているが、特に軽骨の場合は気中養生における強度が若干高めである。このことは軽骨内部からの適度の含有水分の放出によって、自己養生作用(4)に伴う水和作用の促進が圧縮強度の増加に寄与しているためと考えられる。さらに、引張及び曲げ強度の場合はセメントの種類による強度差は少なく、水中養生による強度が気中養生の場合より高い。また、軽量コンクリートでは引張強度で50kgf/cm²程度、曲げ強度で60kgf/cm²程度で強度の頭打ち現象が生じている。

図8より、圧縮強度500~550kgf/cm²の範囲で強度の頭打ち現象が生じ、その際のヤング係数は砕石コンクリートで4.0×10⁵kgf/cm²、軽骨コンクリートでは2.8×10⁵kgf/cm²程度である。また、図中に両者の関係式(学会式、ACI式)を示すが、ACI式は学会式に比べてやや低めに位置している。

図9より、水中及び気中養生ともに圧縮強度と超音波速度には良好な相関関係が成立している。

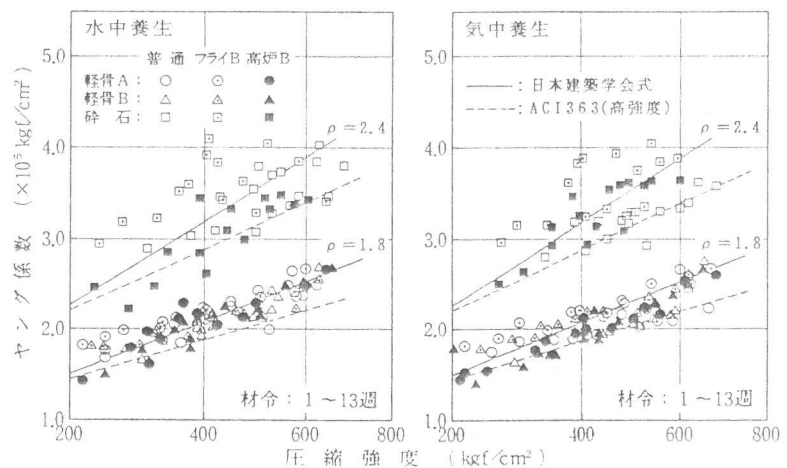


図8 圧縮強度とヤング係数

(2) 熱伝導率 (図10)

熱伝導率は粗骨材、セメント及び養生方法などによって若干異なるが、概略値として碎石コンクリートは $1.3\sim 1.6\text{kcal/m}\cdot\text{h}\cdot\text{°C}$ 、軽量コンクリートでは $1.0\sim 1.4\text{kcal/m}\cdot\text{h}\cdot\text{°C}$ である。

4. まとめ

本研究の結果を要約すると次の通りである。

(1) 高強度軽量コンクリート用粗骨材としてフライアッシュ製の人工軽量粗骨材は十分使用可能である。

(2) 水セメント比25%ではセメントの種類に関係なくブリージングは生じない。また、軽骨の場合は含有水分の影響によりブリージング率の増加が認められる。

(3) 流動化剤添加によりスランプ低下の回復があり、

特に軽骨の場合は回復後の攪拌継続に伴う経時的なスランプ低下が碎石の場合に比べて少ない。

(4) 500kgf/cm^2 程度の圧縮強度の確保は軽量コンクリートでも可能である。また、軽骨の場合は含有水分の影響により、特に軽骨Aの場合は気中養生での圧縮強度は水中養生の場合より高く、軽骨Aの場合(水セメント比25%-材令91日-高炉B)は 680kgf/cm^2 の強度が得られている。

謝辞：本研究は文部省科学研究費補助金(一般研究C)の助成によるものである。

参考文献

- 1) 正木正広：超高層RC建物への期待、コンクリート工学、Vol.26、No.5、pp.28-37、1988
- 2) 杉田英明・御手洗泰文・椎葉大和：石炭灰軽量骨材の品質とコンクリートの諸性状について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.11、No.1、pp.53-58、1989
- 3) 友沢史紀・福士勲・清水昭之・飛坂基夫：高性能減水剤を用いたコンクリートのスランプ経時変化試験方法に関する検討、セメント・コンクリート論文集、No.43、pp.102-107、1989
- 4) 佐治泰次・松藤泰典・重藤和之・ビクター・サンペブル：開放性空隙を有する多孔質骨材を用いたコンクリートの暑中適用性について(その1)、日本建築学会九州支部研究報告、第29号、pp.13-16、1986

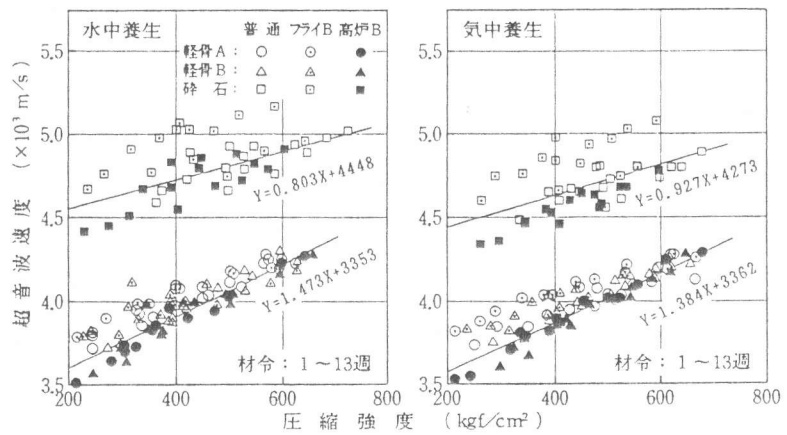


図9 圧縮強度と超音波速度

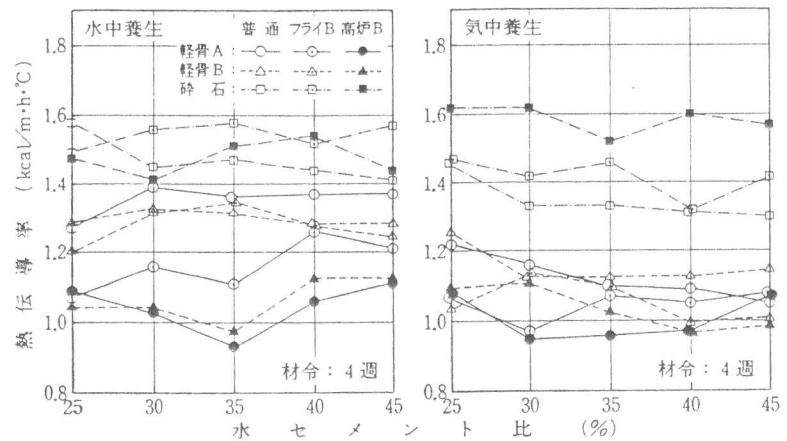


図10 熱伝導率と水セメント比