

高強度軽量コンクリートの 物理的性状に関する研究

山 本 英 一

Study of the Physical Properties of High Strength Lightweight Concrete.

Eiichi YAMAMOTO

Currently, there is an increasing demand for multistory buildings in the center of our large cities. These have a tendency to be super-multistoried because of rising land costs. The multistory buildings are standing out nationwide by the acceleration of the movement toward multistory realization in the cities. These multistory buildings realize the development of various kinds of lightweight construction materials. Especially, the development of lightweight concrete as a main material has played an important role. However, because of the problem of strength, this lightweight concrete is not often used as a structural member but is used as a secondary member. Paying attention to this fact, experiments were carried out to study the possibility of increasing the precision of lightweight concrete and its use as a structural member, and to analyze the factors necessary to obtain high strength.

〔I〕はじめに

今日わが国における構築物は、益々大規模化の様相を呈し、その用途も多岐にわたっている。特に都市部における主要な建築物の高層化と超高層化は一層の伸展をみせ、高層化が無理とされている鉄筋コンクリート構造に於いてすら、超高層化へと歩み始めている。こうした超高層化への機運は、超高層化を可能とする主要素材の改善、或いは優れた特性を生み出す素材の開発があるからである。とくにコンクリートの分野においては、精選された人工軽量骨材、高性能減水剤、流動化剤等の各種添加剤の開発に依って、従来にない高強度の軽量コンクリートが可能となったのである。

本研究ではこのような点に着目し、鉄筋コンクリート造での超高層化への足がかりとして、人工軽量骨材を使用したコンクリートの性状について言及するものである。とくに今回は、コンクリートの比重の低減と圧縮強度の増長を目的とし、これに関する物理的諸条件について実験を通して追求するものである。

尚今回の実験では、 $500\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 600\text{kgf}/\text{cm}^2$ の範囲における高強度の軽量コンクリートの成型を試

み、其の基礎的物性について報告するものである。即ち、コンクリートの混練時又は打設時における添加剤混入の影響、次いで硬化後の基礎的性状に関して実験考察を加え、高強度を得る為に必要な因子を、更に構造材として使用し得る可能性を検討するものである。

〔Ⅱ〕実験計画

Ⅱ－１ 方針

研究の目的を更に明確にする為に、次のような方針によることとした。

即ち、先ず第１に、軽量化に対するアプローチとして、比重を1.8までに抑える、第２に、高強度コンクリートの範囲に納める為に、圧縮強度を $400\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 600\text{kg}/\text{cm}^2$ とする。更に第３として、弾性係数を $2.0 \times 10^5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 程度とする。以上３点を一応基本的な目標と定めた。この基本的目標を進めるとき、水セメント比のみで強度を支配することは、この場合不可能に近いと考えられるから、高濃度のセメントペーストに依存することとした。従って本研究では、単位セメント量を $700\text{kg}/\text{m}^3$ を最高値に、以下単位水量の変化に応じたものとした。また水セメント比を30%、35%、40%、45%の４ミリーズとした。

Ⅱ－２ 使用材料

- a) セメント 普通ポルトランドセメント（T社製）
- b) 骨材 人工軽量骨材（S社製）（比重 細骨材1.88 粗骨材1.28）
天然骨材（九頭竜川産）（比重 細骨材2.60 粗骨材2.65）
- c) 混和剤 高性能減水剤、流動化剤（K社製）

Ⅲ－３ 実験項目

- a) スランプ値 （コンシステンシーについて）
- b) 圧縮強度 （１週強度、４週強度）
- c) 引張強度 （割裂試験による）
- d) 弾性係数
- e) 曲げ強度
- f) せん断強度（２面せん断試験）

〔Ⅲ〕実験方法

Ⅲ－１ 供試体

供試体の形状寸法は、圧縮試験、引張試験用として $\phi 100 \times 200$ のシリンダーとし、曲げ試験、せん断試験用として $100 \times 100 \times 400$ の長方体とした。

III—2 調 合

前記の実験計画に於いて述べた如く、軽量コンクリートの強度の伸長には、水セメント比を抑えた高濃度のセメントペースが最も有効な手段と考えられる。即ち水セメント比を30%、35%、40%、45%の4シリーズとし、各シリーズにおける単位水量を、210kg、200kg、190kg、180kg、170kg、160kgの6種とした。尚細骨材率は比重と強度の両面に対応するよう40%～50%程度とした。

以上の点より500kgf/cm²～600kgf/cm²の強度は得られるものと推定した。表—1に調合表を示す。

表—1 調 合 表

w/c %	細骨材率 a _s (%)	重 量 (kg/m ³)				混和剤 (%)
		水	セメント	粗骨材	細骨材	
30	42	210	700	387	398	3.0
	40	200	666	383	427	3.1
	38	190	633	377	457	3.2
	38	180	600	390	473	3.2
	38	170	566	403	489	3.5
	38	160	533	416	505	3.8
35	45	210	600	439	399	3.0
	43	200	571	432	427	3.0
	40	190	542	415	464	3.0
	40	180	514	428	478	2.5
	40	170	485	441	492	2.0
	40	160	457	454	507	2.0
40	48	210	525	487	393	1.5
	46	200	500	481	420	1.5
	43	190	475	462	456	1.5
	43	180	450	475	469	2.0
	42	170	425	477	490	2.0
	42	160	400	489	502	2.5
45	52	210	466	544	373	1.0
	50	200	444	537	400	1.0
	46	190	422	507	443	1.5
	46	180	400	520	455	2.0
	45	170	378	522	475	2.0
	45	160	356	535	486	3.0

○目 標 値

スランプ値 18cm

空 気 量 4 %

III—3 主な試験装置及び測定機器

100 t 万能試験装置, 恒温恒湿装置, 電気歪み測定装置, データ収録装置, 強制攪拌ミキサー

III—4 各試験

a) 圧縮試験, 引張試験

圧縮試験は, 材令 7 日及び 28 日とし JISA 1108 の強度試験方法によって行った。又材令 28 日の強度については, 気中養生の場合と水中養生の場合の 2 種類について行った。

引張強度は JISA 1113 の割裂試験によった。

b) 曲げ試験, セン断試験

試験体の関係で, 集中載荷曲げ試験方法によって行ない。セン断試験は 2 面セン断試験装置によって行った。

c) 弾性係数

圧縮試験時の縦歪みの測定値より求めたものである。ただし圧縮強度の $\frac{1}{3}$ におけるものである。

〔IV〕 実験結果と考察

IV—1 コンシステンシー

写真—1 の如きスランプ値が大きい場合, 打設時の施工性は良好であるが, 比重の小さい粗骨材の浮上が生ずる為, スランプ値を大きくことはマイナス効果となる。

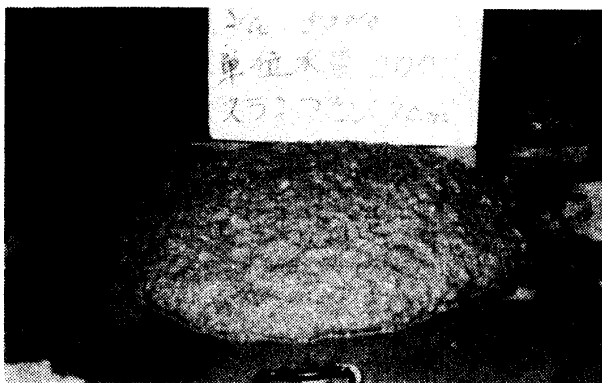
写真—2 は試し練り時に成型したスランプ値 20cm 程度の硬化後の断面であるが, 完全に分離状態を呈しており, これは明らかにスランプ値過多の悪影響と考えられる。

斯様な点に於いて今回の実験では, 混和剤によってスランプ値をコントロールした。

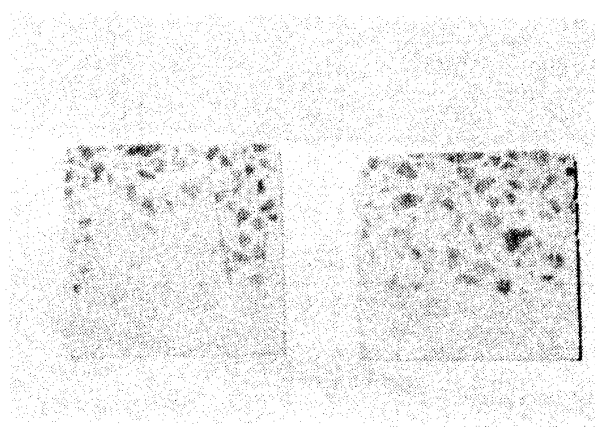
尚空気量については, 調合時に 4 % を目標と定め成型した。結果として 3.7 % ~ 5.1 % の測定値を得られたが, 上下幅 1 % 強のバラツキが生じた。このバラツキの原因は主として粗骨材にあるものと推測される。

IV—2 圧縮強さ

圧縮強度については試験結果表 (表—1) 並びに図 1 ~ 図 8 に示した。



写真—1



写真—2

びに図1～図8に示した。

図1～図4は、気中養生における圧縮強度と歪度との関係を水セメン比別に示したが、その挙動に於いて2つに区分されるようである。即ち、水セメント比30%、35%の場合と40%、45%の場合とである。

表-2 試 験 表

a _c (%)	C (kg/m ³)	圧縮強度 (kg/cm ²)			引張強度 (圧裂試験) (kgf/cm ²)	弾性係数 (×10 ⁵ kg/cm ²) E	比 重
		材 令 7 日	材 令 28 日				
			気 中	水 中			
30	700	550	596	590	33.0	2.2	1.77
	666	502	570	560	25.2	2.0	1.75
	633	500	565	557	27.1	1.9	1.74
	600	521	588	545	23.2	1.9	1.72
	566	501	563	530	20.7	1.9	1.71
	533	450	514	510	19.7	1.8	1.70
35	600	523	615	581	31.2	2.3	1.73
	571	511	565	545	25.8	2.4	1.73
	542	467	579	554	26.0	2.4	1.72
	514	450	574	560	25.8	2.2	1.71
	485	430	542	502	25.0	1.9	1.71
	457	410	531	493	19.0	1.8	1.70
40	525	481	553	509	29.0	1.9	1.68
	500	450	523	504	25.7	1.7	1.67
	475	437	520	508	22.0	1.8	1.67
	450	413	508	453	21.0	1.8	1.67
	425	410	446	431	20.1	1.8	1.67
	400	378	408	407	19.4	1.8	1.62
45	466	408	511	487	28.3	2.2	1.69
	444	410	510	420	23.9	1.9	1.67
	422	405	502	476	25.7	1.8	1.68
	400	401	497	481	25.8	2.0	1.67
	377	362	438	395	24.3	2.0	1.64
	355	308	395	354	23.6	2.0	1.63

強度に関して前者の場合は560kgf/cm²を中心に、また後者の場合は480kg/cm²を中心として分布している。この両者いずれも±50kgf/cm²の幅をもって分散している。このことは歪度についても同様な動きを示している。

即ち、水セメント比30%、35%の場合の破壊時の歪度が、0.28%～0.30%であるのに対し、40%、45%の場合は、0.25%前後で破壊している。図5～図8は、同じ材令の水中養生におけるものであるが、気中養生の場合とはほぼ同様な挙動を示しているが、気中養生との差異は、強度面に於いて各シリーズ共5%程度の減少がみられるのである。この強度低下の最たる原因は、粗骨材の吸水時における硬度低下に依るもので、焼成材のもつ特性と考えられる。

斯くなる諸点より、4ミリーズでの調合差による強度の変化は、水セメント比35%時で最高値 615 kg/cm²を示し、次いで30%、40%、45%の順となった。しかし、30%と35%との強度差が比較的小さい点を考えれば、単位セメント量の少ない35%の方に有効性を認めるものである。(図-9)

また因みに、歪度に於いて天然骨材使用の高強度コンクリートと比較した場合、明らかに差が生じた。(図-1)

尚材令7日強度は表-2に示す通りであるが、今回の実験では各シリーズ共、材令28日強度の80%強の発現性が認められた。

このことは、水セメント比を低く抑えたことと、成型時の良好な気候条件が重なった為と考えられる。

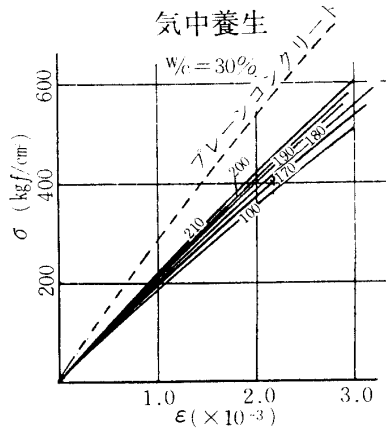


図-1

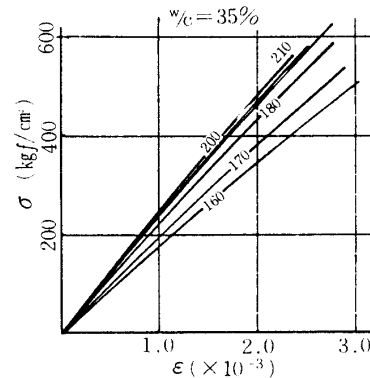


図-2

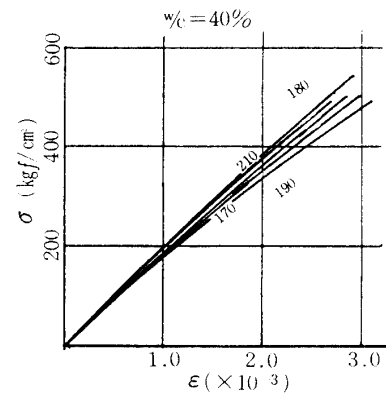


図-3

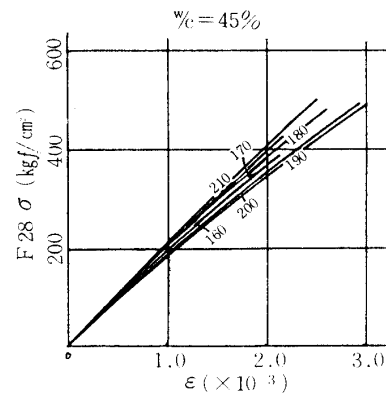


図-4

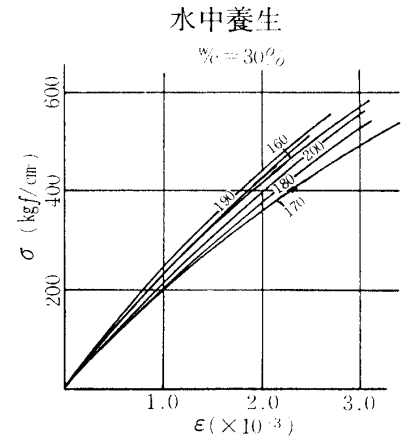


図-5

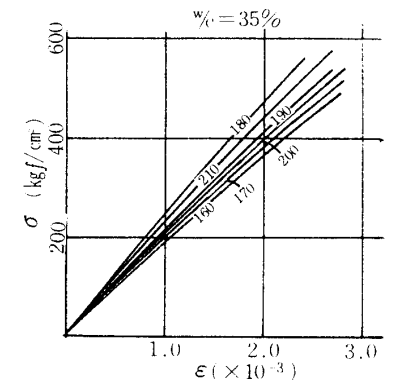


図-6

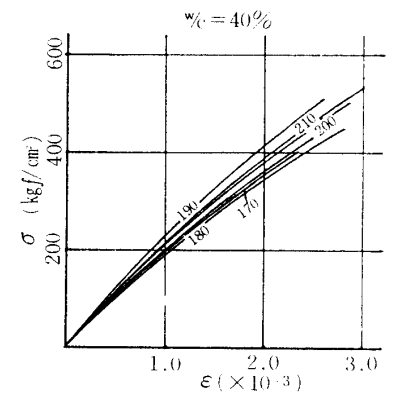


図-7

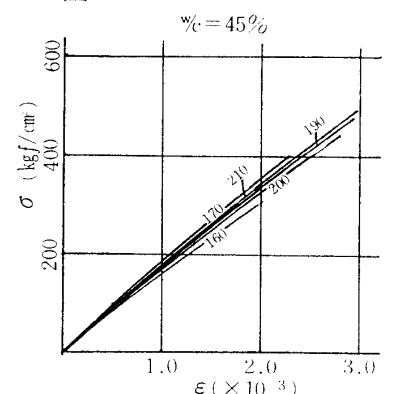


図-8

図-10に於いて圧縮強度と単位セメント量との関係を示したが、気中養生で水セメント比45%

図-10 圧縮強度と単位セメント量との関係

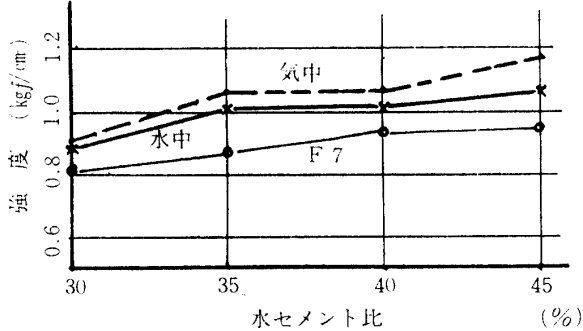


図-11 比重当りの圧縮強さ

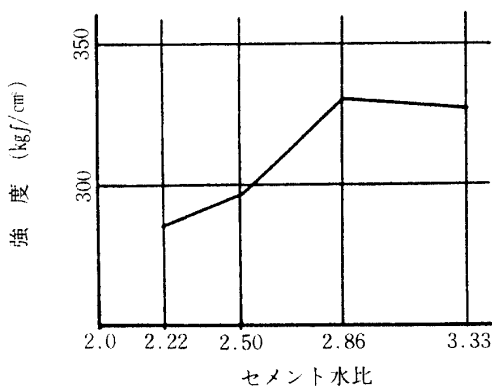
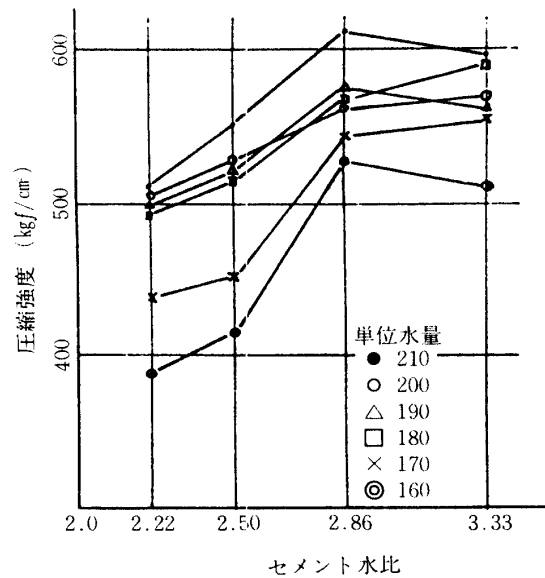


図-9 圧縮強度とセメント水比との関係



の場合、セメント使用量 1 kg 当り 1.17 kgf/cm² の強度発現をみた。一方、これに対して水セメント比 30% 場合を注目すると、セメント 1 kg に対して、0.92 kgf/cm² の強度を得、又、35%、40% の場合はほぼ同様で 1.07 kgf/cm² を得たわけである。この結果からも前述の如く、水セメント比 35% の調合の有効性が考えられるのである。

図-11 は比重当りの圧縮強さを、各シリーズのアベレージ別に示したものである。この図から明らかなように、高強度を得る為には水セメント比を抑えることも必要といえる。

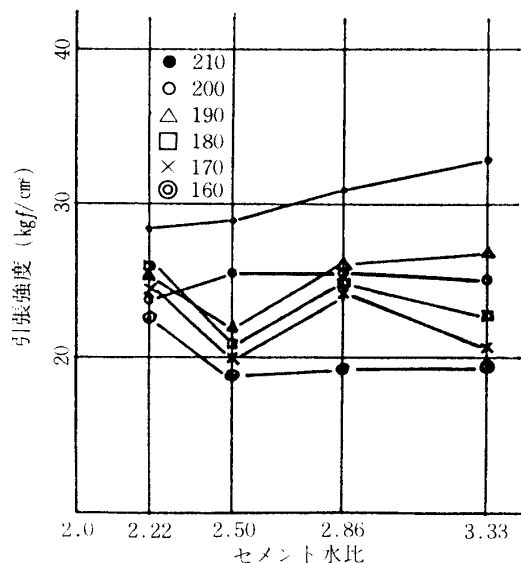


図-12 引張強度とセメント水比との関係

VI-3 引張強さ

表-2 及び図-12 に於いて試験結果を示したが、各シリーズ共ほぼ 20 kgf/cm² ~ 30 kgf/cm² であった。

引張強度も或程度はセメントマトリックスで支えられているが、今回の実験の如く、セメントマトリックスを 2 倍としても引張強度は 2 倍にはならなかった。しかも試験結果の変動バラツキが多いと云う事実等、これらの諸点において、単にセメントマトリックスのみで引張並びに脆性を改善すること、又は定量化することは不可能に近いと云える。

IV—4 弾性係数

表—2 の試験結果表にて各シリーズ毎の弾性係を示してあるが、 $1.7 \sim 2.4$ ($\times 10^5$ kgf/cm²) の範囲に於いて分散しており、平均的には 1.98 ($\times 10^5$ kgf/cm²) とし得られた。

数値の大きさとしては、調合時の目標にほぼ近く、構造物として充分に対応し得る値と考えられる。しかしこれらの数値が、定量的な調合比とさして関係なく得られるところに、問題点があり、一考すべき点であろう。

この点は、前述の引張強度の性状と類似しており、共通項として今後検討すべき点と考えるものである。

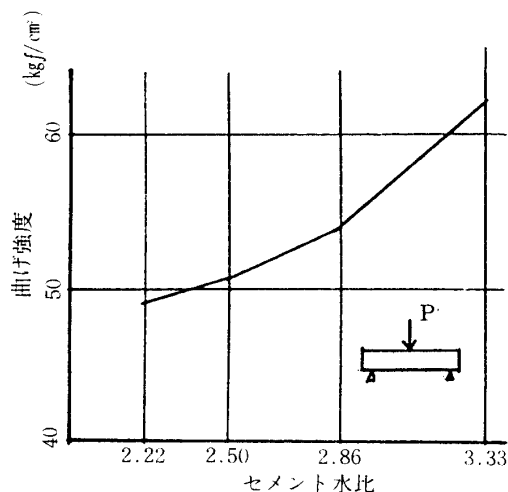
IV—5 曲げ強度及びせん断強度

曲げ試験及びせん断試験に供した試験体の履歴と試験結果については表—3 に示す通りである。なお曲げ試験、せん断試験は図—13、14 に示す方法によって行なった。

各供試体の調合の決定に関しては、各シリーズ共、セメントペースが最大値となるものを抽出

曲 げ せ ん 断 強 度 表

水セメント 比(%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	重 量 kg/m ³				混和剤 (%)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	せん断強度 (kgf/cm ²)
			水	セメント	粗骨材	細骨材			
30	42	4.0	210	700	398	417	3.0	62.2	64.3
35	45	"	210	600	400	473	1.2	53.8	55.4
40	48	"	210	525	395	527		50.6	51.3
45	52	"	210	466	376	589		48.6	47.2



図—13 曲げ強度とセメント水比との関係

したのであるが、この前提には、セメントペーストの多寡がコンクリート強度を支配するとの考え方がある為である。

したがって、今回の曲げ試験及びせん断試験では、単位水量を一定値とし、セメント使用量を変化させたわけである。先ず曲げ試験であるが、1点集中載荷方法のため、せん断力の影響も付加されるので、得られた曲げ強度は割り引いてみる必要がある。しかしせん断力の影響が加味されるとしても、単位セメント量の増加は、曲げ強度に対して或る程度の効果を生む要素となる。即ち、セメント水比 $2.22 \sim 3.33$ へと移行するに従い、 $48.6 \text{ kgf/cm}^2 \sim 62.2 \text{ kgf/cm}^2$ と約 13 kgf/cm^2

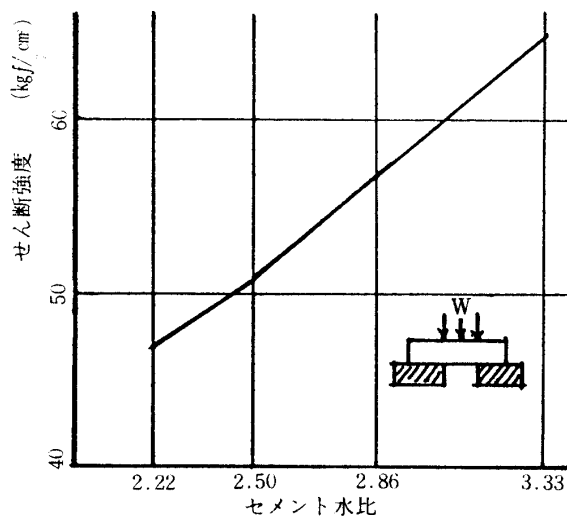


図-14 せん断強度とセメント水比との関係

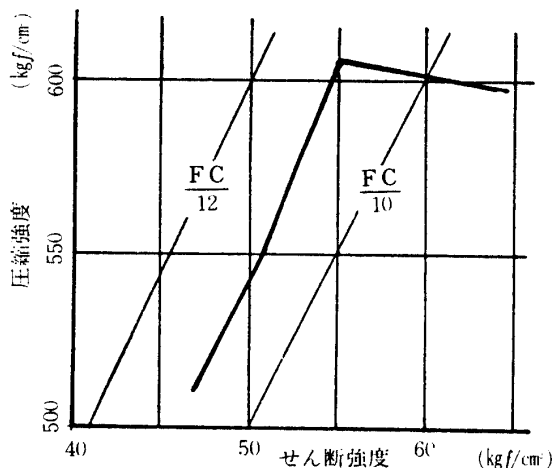


図-15 せん断強度と圧縮強度との関係

V-6 吸水性

骨材が人工骨材である為、吸水性はきわめて高く、8.1%の吸水が見られた。

試験には、100×100×15の板を表載状態とし、これを水中に24時間浸し、その後測定したものである。この高い吸水性は、100×100×400の長方形供試体を切断して使用した為、セメントペーストの保護的膜が皆無となり、しかも粗骨材の切断面における空隙が露呈したことから、吸水性が高まったものと推測される。

V ま と め

本研究の主たる目的である軽量コンクリートの高強度化へのアプローチは、種々の実験過程において一応の成果を得た。即ち、圧縮強度に於いては、当初の目標値である500～600kgf/cm²を一般的混練り成型にて得られ、又得られ、又その破壊過程での歪に関しても、普通コンクリートと大巾な差はなかった。しかも軽量化に必要な比重についても、1.7 前後という極めて良存な値が得られ、目標に合致するところになった。

曲げ、せん断に関しても、参考的とはいえ普通コンクリートと何んら遜色のない強度であった。

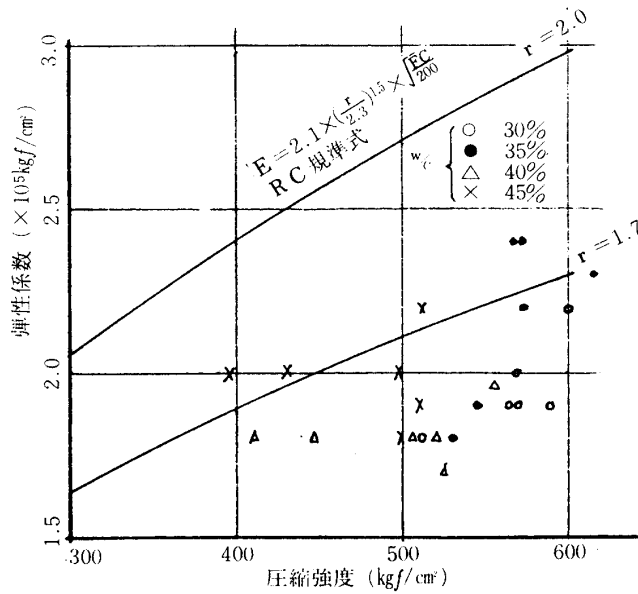


図-16

とくに、せん断強さについては、予想以上の数値で、図-15に示される通り、軽量コンクリートに於いても、圧縮強度との関係が見い出せるのである。ただし、水セメント35%以下の場合は、減水剤の逆効果もあってバラツキが多いようであった。

弾性係数は、図-16に示される通り、RC規準式と比較してかなり下廻っており、この点は軽量コンクリートのも一つ一つの特性である。しかし、この事実が、応力の集中や衝撃を吸収する役割をもつとすれば、逆な意味で優れた性質とも云える。

斯様な諸点より、今回の実験は基本的な部分で成果を得たと考えられる。今後は構造材としての適否に就いて、とくに圧縮クリープ、曲げクリープ等における長期の変形を検討するものである。

参 考 文 献

日本建築学会：軽量コンクリート調合設計施工指針案，同解説

飛坂基夫：高強度コンクリートの圧縮強度および静弾性係数に及ぼす骨材の影響・セメントコンクリート，

NO 394, 1979, 11

日刊工業新聞：軽量骨材コンクリートハンドブック