

## 高強度石膏に関する実験研究 (その3 粒子強化)

筆者らは建築における資源問題より広く利用方法を考えていくべき材料として石膏に着目し、基本となる物性や弱点の強化方法さらに実用試作などを研究している。石膏利用にあたっては水と練れば固まるという特性を生かして石膏をマトリックス相とし粒子やせんいを分散相に使った複合材料の形で利用するのが有望である。そこで今回は高強度を持つ石膏に関する試験のうちから前報<sup>7)</sup>に続きその3粒子強化、その4石膏セメントコンポジットについて報告する。

### 5 複合材料のマトリックス相として見た石膏

水と反応して硬化する石膏には3種あるが そのうちα型半水石膏とⅡ型無水石膏は図15と図16のように普通ポルトランドセメントと類似の流動性と空中養生における高強度が得られるので結合材すなわち複合材料のマトリックス相として有望である。しかし硬化した石膏は一般のセメント類とは逆に水中養生すると図17のように材令と共にわずかであるが強度が減少し、しかもその2水に対する応答<sup>7)</sup>で示したように乾燥した石膏は水分の吸着が速く吸水初期の少量の水分で強度が大きく低下するため石膏の性能を評価するにあたっては水分が作用した状態を基準にしなければならず、実用上は乾燥か乾燥に近い状態で使われなければならない。また図18のように乾燥収縮が大きいため必然的に骨材等で収縮をおさえている一般のセメント類と対照的に、石膏は空中における長さ変化が小さく骨材等を入れずに使うことも可能である。

正会員 岸谷孝一<sup>※</sup> 同〇 平居孝之<sup>※</sup>

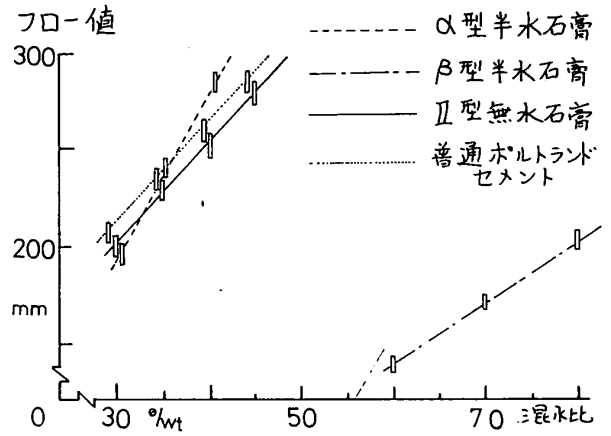


図15 流動性

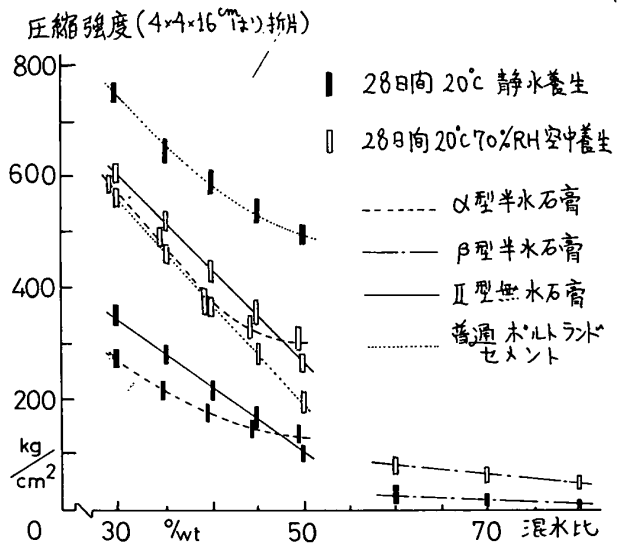


図16 圧縮強度

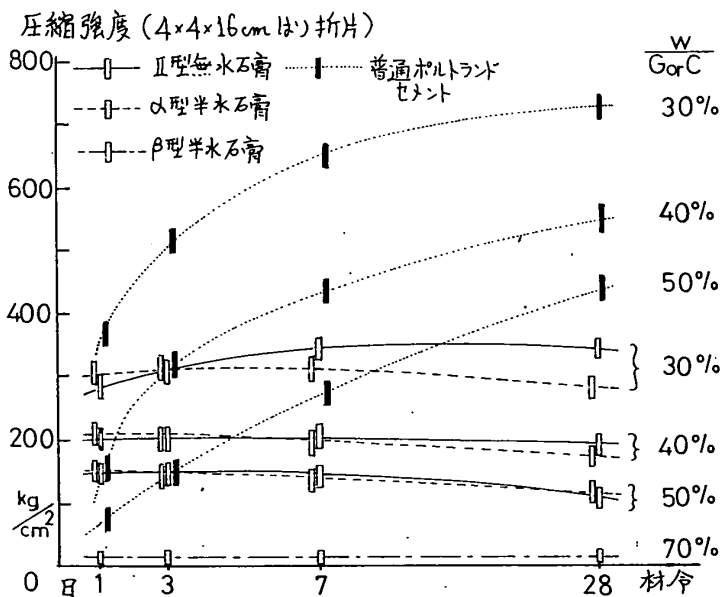


図17 水中養生の圧縮強度

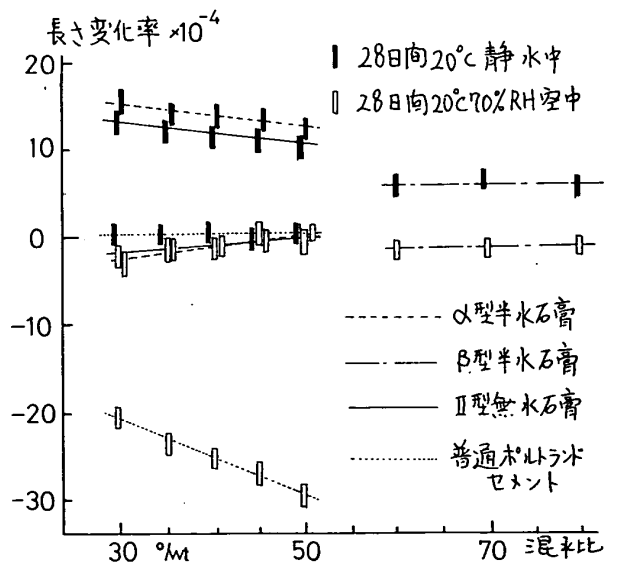


図18 長さ変化

### 6 粒子強化

II型無水石膏とα型半水石膏と比較用の普通ポルトランドセメントに表9の骨材を用い、混練物の流動性や硬化体の力学的性質を試験して粒子強化の効果を調べた。

#### 6-1 川砂川砂利

川砂川砂利を用いた場合を表10のように評価すると、II型無水石膏では普通ポルトランドセメントと似た流動性を示すがα型半水石膏では凝結調節剤の遅延効果が骨材の混入で影響され大きく流動性が低下する。圧縮強度は2種の石膏共に小さくなり特に川砂利を用いてコンクリートとした場合は比重が大きくなる上に石膏自身を持つ圧縮強度を生かせず不利である。弾性係数は図19のようにII型無水石膏の場合普通ポルトランドセメントと似た川砂川砂利を用いて大きく出来るがα型半水石膏では混練物の流動性が悪く密実な硬化体とならないため効果は少ない。

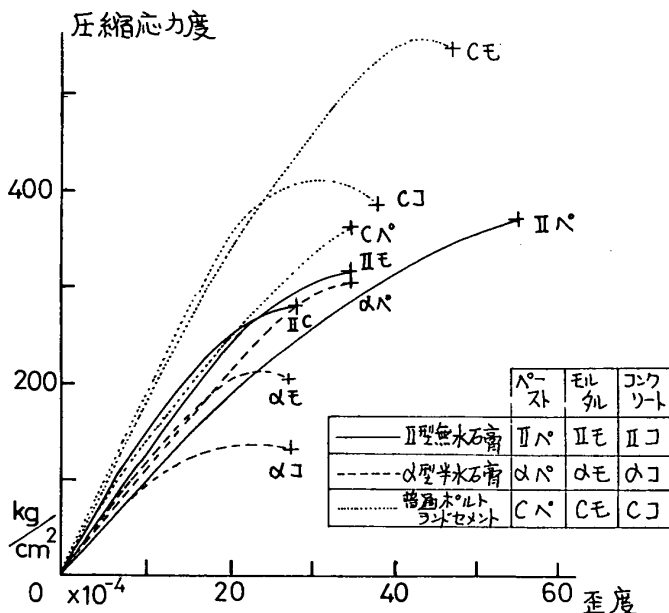


図19 川砂川砂利を用いた場合の圧縮応力-歪度

表11 メサライトを用いた場合の調合

	混比 W/G %	体積比			kg/m³						
		石膏	細骨材	粗骨材	水	石膏	メサライト	メサライト	促進剤	減水剤	
ペースト	30				460	1533				15.3	6.1
	35	1	0	0	497	1421	0	0	14.2	5.7	
	40				531	1327			13.3	5.3	
モルタル	30				219	730	931			7.3	2.9
	35	1	2	0	246	703	898	0	7.0	2.8	
	40				272	680	868		6.8	2.7	
コンクリート	30				219	730	372	449	7.3	2.9	
	35	1	0.8	1.2	246	703	359	432	7.0	2.8	
	40				272	680	348	417	6.8	2.7	

表9 粒子詳細

種類	表乾比重	吸水量 %	粒径 mm	粗率 F.M.	使用状態	
細骨材	川砂	2.53	2.93	5	2.99	表面水量 1.13%
	メサライト	1.87	17.5	5	2.76	表面水量 4.2%
	シラスパルソン	(0.57)	—	0.3	—	絶乾
	パーライト	(0.5)	—	2	—	
	フライト	(0.7)	—	0.3	—	
粗骨材	川砂利	2.67	0.77	25	6.89	表乾
	メサライト	1.50	18.3	15	6.41	有効吸水量 1.73%

表10 川砂川砂利を用いた場合の性能

□ は性能改善を示す

調合  $\frac{W}{G+O+C} = 40\%$  エルタル 1:1 vol コンクリート 1:1:1 vol  
養生 石膏マトリックス 28日間 20°C 70%RH 空中  
セメントマトリックス 28日間 20°C 静水中

項目	供試体 寸法 cm	II型無水石膏			α型半水石膏			普通ポルト ランドセメント		
		ペースト	モルタル	コンクリート	ペースト	モルタル	コンクリート	ペースト	モルタル	コンクリート
スランプ cm	混練直後	20.8	17.1	11.8	25.0	8.3	1.4	29.0	21.5	19.1
	40分経過	16.8	8.8	2.5	21.0	0.3	0.0	27.8	17.0	11.0
フロ-値 mm	混練直後	214	188	—	231	186	—	275	220	—
	40分経過	202	174	—	229	133	—	255	198	—
比重	φ10×20	1.71	2.03	2.21	1.56	1.92	2.13	2.03	2.27	2.39
圧縮強度 kg/cm²	φ10×20	385	325	279	297	220	153	350	564	418
	10×10×40	413	311	360	339	251	247	462	611	483
圧縮強度 /比重	φ10×20	225	161	126	190	115	72	177	248	175
	10×10×40	242	153	163	217	131	116	228	269	202
引張強度 kg/cm²	10×10×40	18.0	22.7	25.5	30.6	22.9	15.4	36.0	33.4	31.0
曲げ強度 kg/cm²		16.0	29.4	34.4	57.9	47.0	33.0	98.3	72.6	57.0
弾性係数 10⁴ kg/cm²	φ10×20	8.7	12.7	14.1	10.0	11.1	9.3	12.9	16.9	18.2
Solde kg/cm²		1.05	0.61	0.41	0.52	0.27	0.23	0.61	1.48	0.88

圧縮応力-歪度

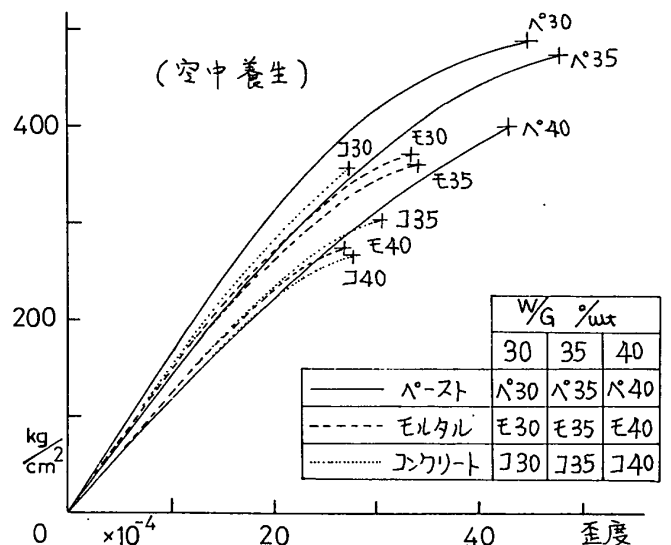


図20 メサライトを用いた場合の圧縮応力-歪度

### 6-2 メサライト

耐水性を向上した改質Ⅱ型無水石膏(参照 4の2水に対する応答<sup>7)</sup>)とメサライトを細骨材、粗骨材に用い、減水剤を併用して表11に示す割合で試験した結果を表12に示す。当然のことであるが比重はメサライトの混入で小さくなり、また今回のように骨材量が同じ場合粒度分布が良いコンクリートのほうがモルタルより流動性が高い。圧縮強度はメサライトを入れることで低下するが、図21のように空中養生に対する水中養生の強度を大きくすることが出来る。これと同じくメサライトを用いることで耐水性の強化になることは弾性係数にも著しく顕れ、図22のように水中養生するとペーストでは弾性係数が大巾に低下するのに対してメサライトが入っていると1割前後の低下におさえることが出来る。また同一圧縮強度に対する弾性係数も図23のようにメサライトを用いることで著しく大きくなり、これは石膏の粒子強化で得られる長所として特筆すべきものである。一方実用上から考えると、今回のように約700kg/m<sup>3</sup>という石膏量の多い割合で混水比を35%程度に取り適切に減水剤を併用すれば、水的作用を受けた場合でも圧縮強度200kg/cm<sup>2</sup>以上弾性係数11×10<sup>4</sup>kg/cm<sup>2</sup>程度の石膏メサライトコンクリートが十分可能である。

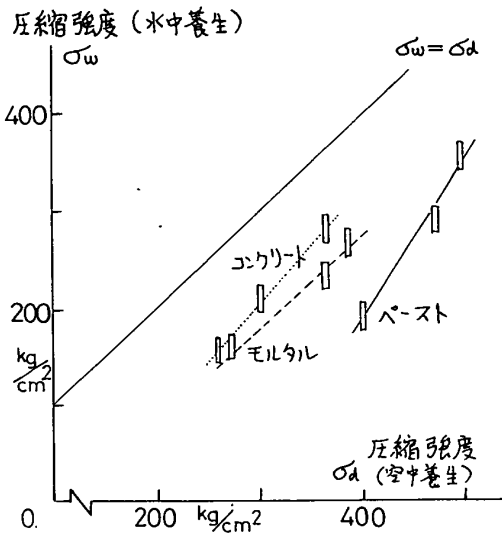


図21 メサライト混入の圧縮強度

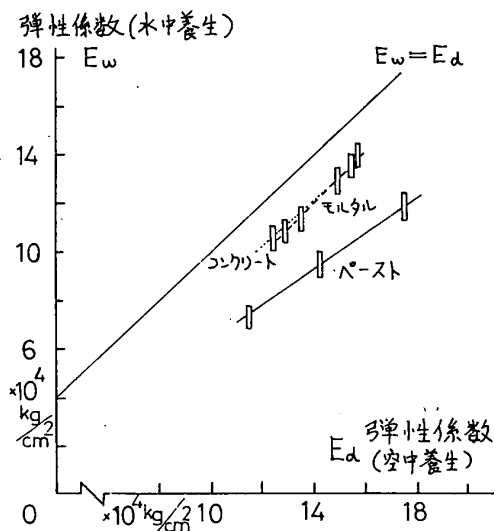


図22 メサライト混入の弾性係数

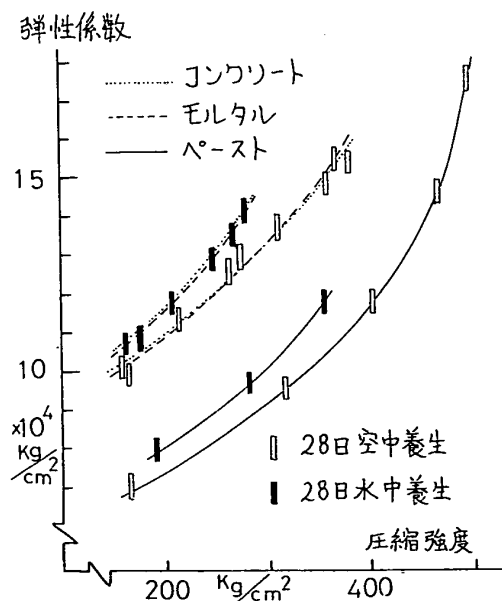


図23 メサライト混入の圧縮強度-弾性係数

表12 メサライトを用いた場合の性能

□ は性能改善を示す

項目	養生	供試体寸法 cm	W/G = 30%			W/G = 35%			W/G = 40%		
			ペースト	モルタル	コンクリート	ペースト	モルタル	コンクリート	ペースト	モルタル	コンクリート
スランプ cm	-	-	10.5	4.2	6.5	22.9	16.0	20.5	26.0	23.3	24.5
フロ-値 mm	-	-	181	147	-	200	150	-	256	207	-
比重	水中	φ10×20	2.00	1.92	1.85	1.96	1.90	1.79	1.88	1.88	1.79
	空中		1.81	1.72	1.63	1.75	1.69	1.55	1.64	1.65	1.54
圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	水中		362	266	279	289	246	208	197	165	164
	空中		492	381	361	477	365	306	401	275	265
			10×10×40	383	351	379	335	326	283	244	246
圧縮強度 / 比重 kg/cm <sup>2</sup>	水中		φ10×20	181	139	151	147	129	116	105	87
		10×10×40	272	222	221	273	217	198	245	167	172
		4×4×16	273	266	282	236	252	227	192	204	216
引張強度 kg/cm <sup>2</sup>	空中	φ10×20	25.2	28.6	20.0	26.8	25.1	22.3	17.8	21.0	20.3
		10×10×40	20.1	26.4	20.8	19.6	26.1	20.0	17.1	19.0	15.8
		4×4×16	34.3	39.5	34.6	32.8	41.9	31.1	27.5	31.0	22.7
曲げ強度 kg/cm <sup>2</sup>	空中	10×10×40	8.5	35.7	19.3	7.5	37.1	21.8	22.7	38.2	22.5
		4×4×16	68.2	65.0	47.8	56.5	64.3	24.2	55.8	55.3	28.5
		弾性係数 x10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup>	水中	11.9	13.4	14.0	9.6	13.2	11.2	7.7	10.6
空中	17.5		15.3	15.4	14.4	14.8	13.4	11.6	12.9	12.4	
弾性係数 / 圧縮強度	水中	32.9	50.4	50.2	33.2	53.7	53.8	39.1	64.2	63.4	
	空中	35.6	40.2	42.7	30.2	40.5	43.8	28.9	46.9	46.8	
水中 / 空中養生 圧縮強度 / 弾性係数	水中	0.74	0.70	0.77	0.61	0.67	0.68	0.49	0.60	0.62	
	空中	0.68	0.88	0.91	0.67	0.89	0.84	0.66	0.82	0.84	
σd/E	kg/cm <sup>2</sup>	空中	1.08	0.61	0.49	1.05	0.59	0.46	0.70	0.37	0.37

### 6-3 シラスバルーン、パーライト、フライト

高強度を持つ石膏の硬化体は図24のように乾燥状態における比重が1.5~2.0で他のセメント類に比べ軽量であるからメサライトなど気乾比重が1以上の骨材では表12に示したようにたいして軽量化にたうない。そこで比重がきわめて小さいシラスバルーン、パーライト、フライトをII型無水石膏と組合せた場合の軽量化について試験を行った。実験の結果、図25のように骨材量が増える程比重を小さく出来るが圧縮強度と混練物の流動性が低下する。実用上かう必要な圧縮強度が保てる場合を考えてみると、図25にスクリーンで示したように比重を小さくしようとする程混練物の流動性が低下して制限を受けるわけで、今回の場合3種の骨材とも石膏だけの場合に比べ20%程度の軽量化が限度ということになる。

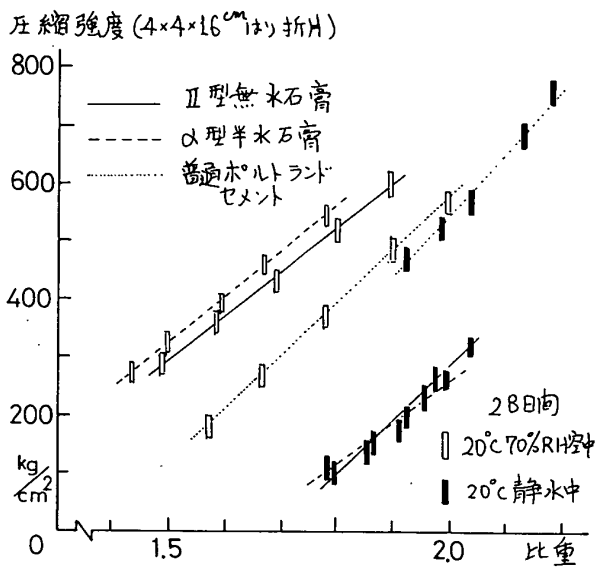


図24 比重と圧縮強度

### 6-4 粒子強化結論

高強度の硬化体ができるα型半水石膏とII型無水石膏のうち骨材と共に用いる場合は、混練物の流動性と凝結硬化の調節の点でII型無水石膏の方が利用しやすい。川砂川砂利を用いてコンクリートにすると比重が大きくなる上に著しく強度が低下し不利であるが、川砂だけを用いれば強度低下を生じるが弾性係数が大きくなり利用価値はある。メサライトの粗細骨材を用いてコンクリートにすると、圧縮強度は多少小さくなるが水が作用した場合の弾性係数と強度の低下をおさえることが出来、混練物の流動性や比重の点からも実用性が大きく非常に有望である。シラスバルーン、パーライト、フライトでは軽量化のために骨材料を大きくし必要な圧縮強度を保つために混水比を小さくする関係上、混練物の流動性の面から制約を受ける。今回はこれら3種の骨材共に20%程度の軽量化が限度であったが、高性能の減水剤の併用や加圧成型による方法をさらに研究すべきである。

\* 東京大学教授 工博 \*\* 同大学院生

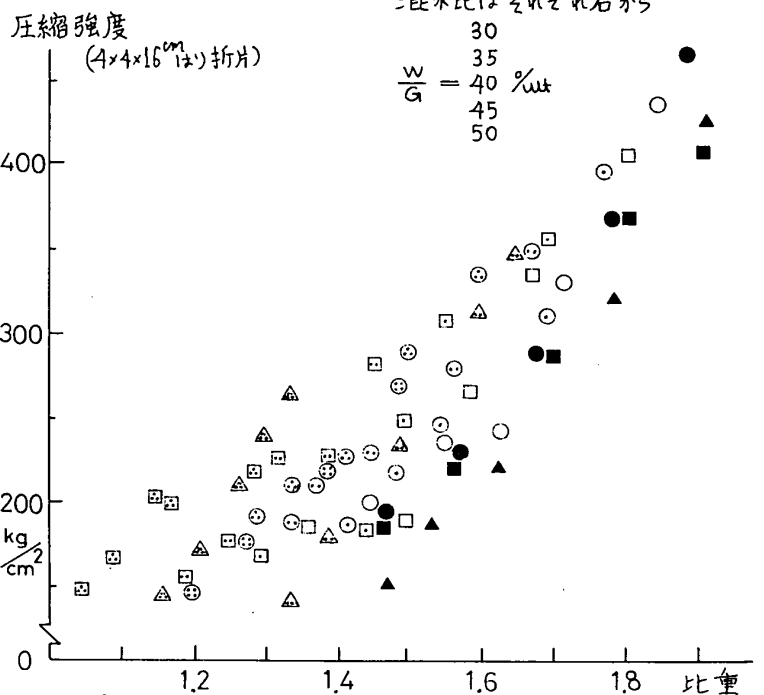
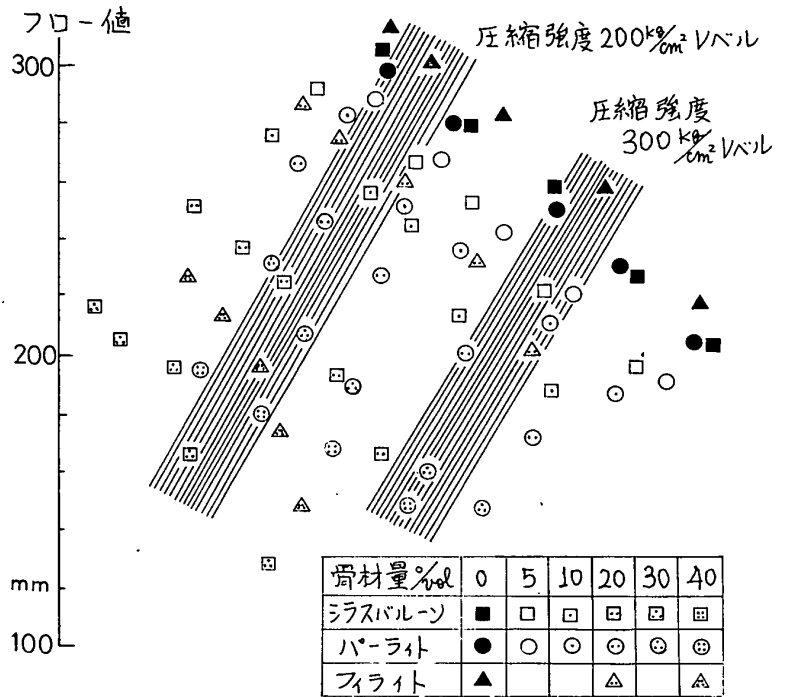


図25 シラスバルーン、パーライト、フライトを用いた場合の比重と圧縮強度及び流動性