

建築における資源の有効利用に関する研究*

—その2. 高強度石膏に関する試験研究—

平 居 孝 之**

Study on Effective Use of Resources in Architecture

—Part 2. Experimental Study on High-strength Gypsum—

By Takayuki HIRAI

Department of Architecture, Faculty of Engineering,
Oita Institute of Technology

Abstract

Some experiments have been carried out to investigate the fundamental properties of cast gypsum, and fire resistant efficiency, bond character and behavior in water concluded as follows are known.

When the heat decided in JIS A 1304 attacks on cast gypsum specimen, the temperature inside of it starts to rise but stops at around 100°C and rises again after a few ten minutes, while the temperature inside of cement concrete specimen rises continuously and faster than the case of cast gypsum.

Concerning on a reinforcing bar for cast gypsum, deformed bar is to be used and there bond strength over ten percent of compressive strength is obtained. Bond character between cast gypsum and reinforcing bar is quite different from that between cement concrete and reinforcing bar. When bond stress works between cast gypsum and reinforcing bar, the interface starts to slip immediately and the slip increases by considerable rate with the increase of bond stress.

Cast gypsum absorbs water rapidly and the strength decreases to half of dried ones by a little of sucked water. Cast gypsum is difficult to get waterproof by some admixture which has no bad effect on fire resistant properties

1. 高強度石膏

石膏は住環境を構成する建築素材としては、セメントコンクリートや木材をしのぐすぐれた点を多くもっている。防火・衛生・速硬性の長所からプラスターやボードとして内装材に多用されているのは周知のことであるが、諸外国の文献には石膏の特性として水分の吸着性が

強く、室内の湿度を自動的に調節するので内壁に用いると非常に居住性が良くなると強調されている。¹⁾これは石膏プラスターの塗りが厚く、ボードも単体で壁板に使われる程厚い外国の場合にいえることで、我国のように薄く石膏を用いる場合にはあてはまらない。反面我国における石膏利用の新しい試みにヒントを与えてくれる。耐火上の点についても当然石膏が厚く利用される外国と

* 昭和51年4月21日受理 **工学博士 建築学科講師

付着の測定は15cm×15cm×15cmの石膏中央を貫通するように配置した鉄筋を、付着応力度の増加速度が0.4kg/cm²・sec前後になるように引抜き、一定間隔の荷重に対する石膏と鉄筋のすべりをダイヤルゲージより読み取った。測定した付着応力度と鉄筋すべりの一例を図4に示す。同時に圧縮強度をφ5cm×10cmシリンダー供試体で測定した。また比較のためコンクリートについての付着を材令28日異形D19丸鋼φ19で、また、圧縮強度をφ10cm×20cmシリンダー供試体で測定した。コンクリートの養生は20°C水中で行った。圧縮強度を表4に示す。

表3 試料詳細

石 膏	II型無水石膏 改質II型無水石膏 α型半水石膏
鉄 筋	異形 SD 30 丸鋼 SR 30 表面四酸化鉄被膜, トリクレン脱脂
コンクリート	普通ポルトランドセメント, 川砂, 川砂利 調合 C : W : S : G1 : 0.5 : 2 : 2

表4 圧縮強度 kg/cm²

材令(日)	1	3	7	28	91	365
II型無水石膏	182	199	243	261	263	264
改質II型無水石膏	202	233	280	291	295	296
α型半水石膏	142	164	233	239	238	241
セメント コンクリート				383		

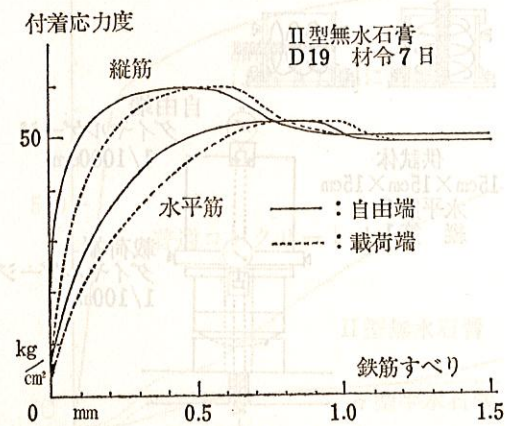


図4 付着応力度—鉄筋すべりの一例

2・2 付着試験結果

付着強度は表5と図5のように、丸鋼では非常に小さ

いこと、水平筋の方が縦筋より弱いこと、材令と共に強度の増加と似た傾向が大きくなっていることが判る。異形棒鋼の石膏に対する付着強度は、圧縮強度に対する比で1/4~1/6であった。鉄筋のすべりと付着応力度の関係について代表的な例を示すと図6のようになり、普通コンクリートにおいては丸鋼異形共十分な付着応力度が発生している自由端すべり0.025mmの時に、石膏では表6のように非常に小さな付着応力度しか発生していない。このように石膏の場合コンクリートと異り、荷重がかかるとすぐに鉄筋がすべりはじめ、付着力は純付着力でなく摩擦抵抗力と機械的付着力により発生しているのが特徴である。

表5 付着強度 kg/cm² × 石膏割裂破壊。鉄筋降伏

材令(日)	1	3	7	28	91	365	
異形	II型無水石膏 D19/D10	53	54	53	57	65	72°
	改質II型無水石膏 D19/D16/D10	26	35	42	58	62	61
	α型半水石膏 D19	26	29	37	36	40	
	普通コンクリート D19				105		
水平	II型無水石膏 φ19/φ9	3	3	3	3	11	12
	改質II型無水石膏 φ19/φ16/φ9	4	6	6	5	6	7
	α型半水石膏 φ19	3	3	3	3	8	
	普通コンクリート φ19				27		
縦	II型無水石膏 D19/D10	52	55	58	58	61	72°
	改質II型無水石膏 D19/D16/D10	37	45	57	65	62	63
	α型半水石膏 D19	33	45	50	52	51	
	普通コンクリート D19				115		
丸鋼	II型無水石膏 φ19/φ9	6	8	6	7	19	27
	改質II型無水石膏 φ19/φ16/φ9	6	11	17	20	17	21
	α型半水石膏 φ19	8	8	7	9	22	
	普通コンクリート φ19				56		

表6 自由端すべり0.025mmの付着応力度 kg/cm²

材令(日)	1	3	7	28	91	365	
異形	II型無水石膏 D19/D10	12	13	15	12	28	
	改質II型無水石膏 D19/D16/D10		10	13	22	21	21
	α型半水石膏 D19	9	11	16	17	21	
丸鋼	コンクリート φ19				52	25	

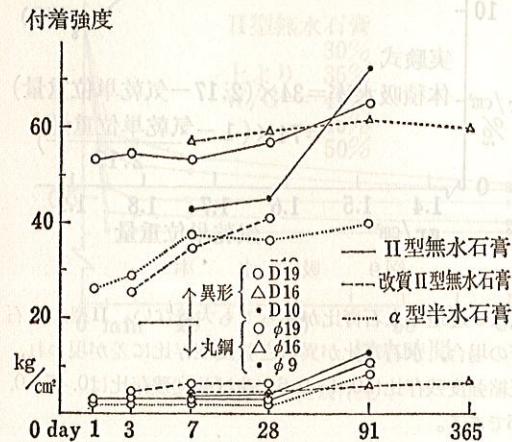


図5 付着強度(水平筋)

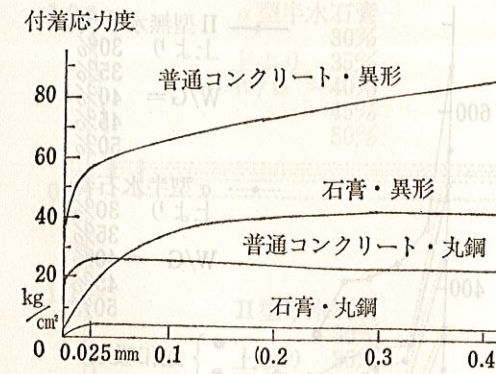


図6 付着応力度—自由端すべり(19mm水平筋)

2・3 付着試験の結論

石膏の場合、異形棒鋼を用いれば圧縮強度の1/10以上の付着強度が得られる。しかしセメントコンクリートと異り、付着応力度の発生につれて鉄筋と石膏のすべりが非常に大きくなることに配慮が必要である。

3. 高強度石膏の水に対する応答

高強度を生かして石膏を構造耐力的に用いるには乾燥

状態で使うことが前提となるが、力学的性能の判定には水分が作用した場合を調べておかねばならない。水と練れば硬化する石膏粉末のうち、この報告の前半で示したようにα型半水石膏とII型無水石膏は高強度の硬化体とすることが可能で、石膏の利用方法を開発するのに有望である。この2種類の石膏に凝結調節剤だけを添加して固めた石膏単味の硬化体について、吸水速度・乾燥速度・吸水強度・水中での重量変化などを調べる試験を行った。また石膏の耐水性を強化する目的でいくつかの添加剤を試みた。試験は4cm×4cm×16cmヨーカー供試体を用いて行い、水石膏比は混練物の流動性より利用可能な範囲で5段階に選んだ。供試体の打設は20°C前後の室内で行い、翌日脱型して材令28日まで20±2°C, 70±10% R.H. の条件で空中養生した。

3・1 吸水速度と乾燥速度

図7のように石膏の吸水速度は非常に速く、水石膏比の大きき従って軽量で空隙の大きい硬化体では数分で容積1ℓ当り200g程度の水を、水石膏比の小さき密実な硬化体でも数十分で容積1ℓ当り100g近い水を吸収してほぼ飽和吸水になる。乾燥速度は図8のように、吸水の場合と違ってゆっくり一定の速度で乾燥する。また水石膏比が異り空隙や強度が異っても、同一時期に乾燥の終了しているのが注目される。α型半水石膏では乾燥後浸水前と同じ重量になって安定するが、II型無水石膏の方は水石膏比が小さき密度の大きい程浸水前より大きな重量で一定となる。これは未反応の成分が水和して結晶

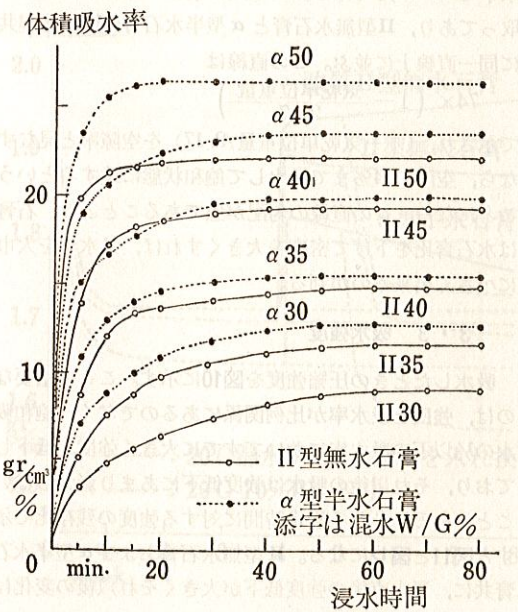


図7 吸水速度(20°C静水中)

水を取り入れたためと思われる。なお乾燥の場合は、温度と湿度の違いにより乾燥速度が大きく変化する。

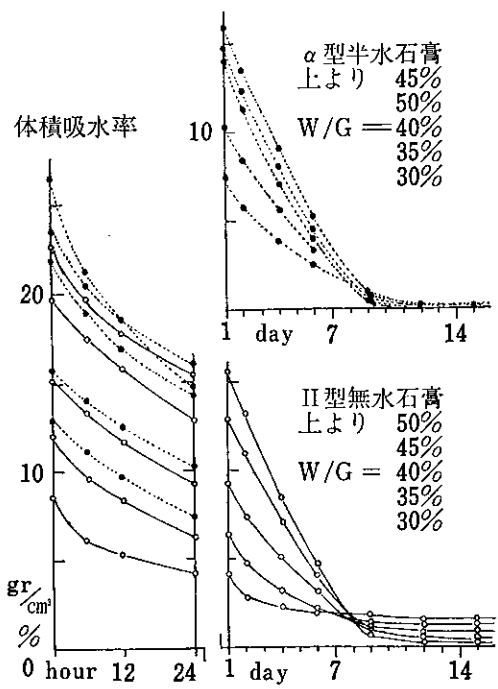


図8 乾燥速度 (20°C 70%RH)

3・2 吸水率

図9に示すように、石膏硬化体の飽和吸水率は体積吸水率で10~25%である。この図は横軸に気乾単位重量が取り、II型無水石膏とα型半水石膏の硬化体が共に同一直線上に並ぶ。この直線は

$$74 \times \left(1 - \frac{\text{気乾単位重量}}{2.17} \right)$$

で示され、(1 - 気乾単位重量/2.17)を空隙率と見なすなら、空隙の74%まで吸水して飽和状態に達するということになる。この直線の勾配が急であることより、石膏は水石膏比を下げ密度を大きくすれば、吸水率を大巾に小さく出来るのが判る。

3・3 吸水強度

吸水したときの圧縮強度を図10に示す。ここで重要なのは、強度と吸水率が比例関係にあるのではなく、飽和吸水の1/2以下の吸水率においてすでに大きく強度が低下しており、それ以後の吸水は強度低下にあまり影響しないことである。これを浸水時間に対する強度の残存比で示すと図11と図12になる。II型無水石膏およびα型半水石膏共に、浸水直後の強度低下が大きくそれ以後の変化は小さい。α型半水石膏の場合、圧縮曲げ共に強度残存比

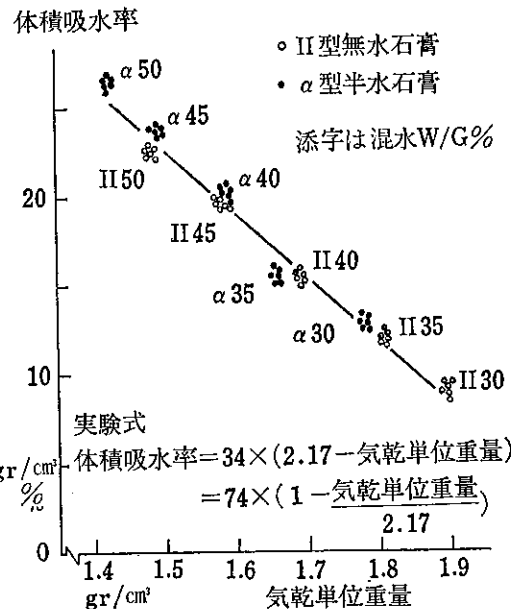


図9 吸水率

は0.5近辺で水石膏比が異っても大差ない。II型無水石膏の場合、水石膏比が異ると強度残存比に差が現われ、圧縮強度残存比は0.4~0.6で曲げ強度残存比は0.45~0.25である。

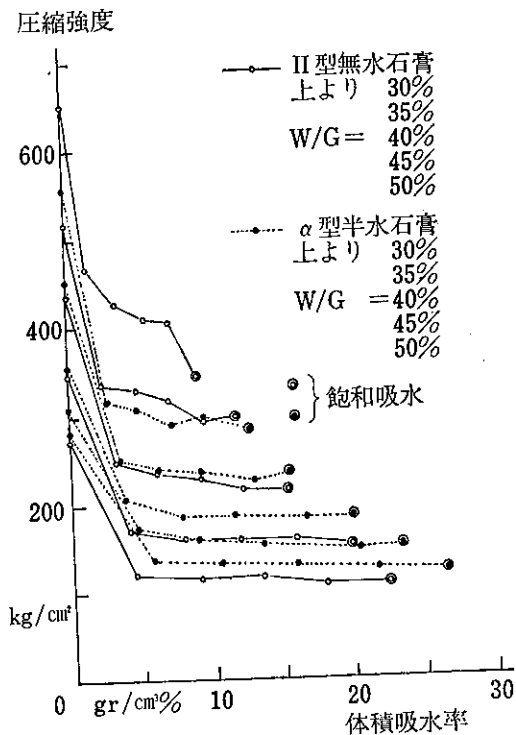


図10 吸水率と圧縮強度

3・4 長期浸水による重量変化

図13は一定量の水に長期間浸けておいた場合に表面水を切って測定した重量変化である。浸水が長くなるにつれ徐々に重量が増加しており、これは石膏が水中で膨張していきることが原因と考えられる。硬化した石膏は水1ℓ当たり2g程溶ける。したがって容器の水を入れ換える場合は、図14にII型無水石膏とα型半水石膏として示すように重量が減少していき、石膏の溶けていくのが判る。

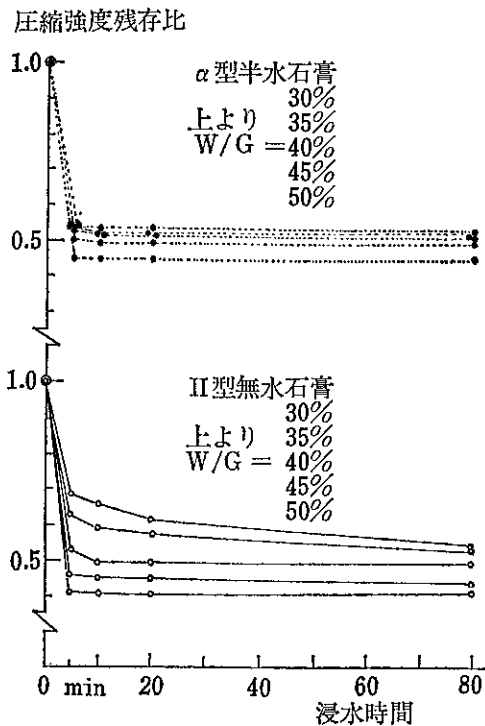


図11 圧縮強度残存比

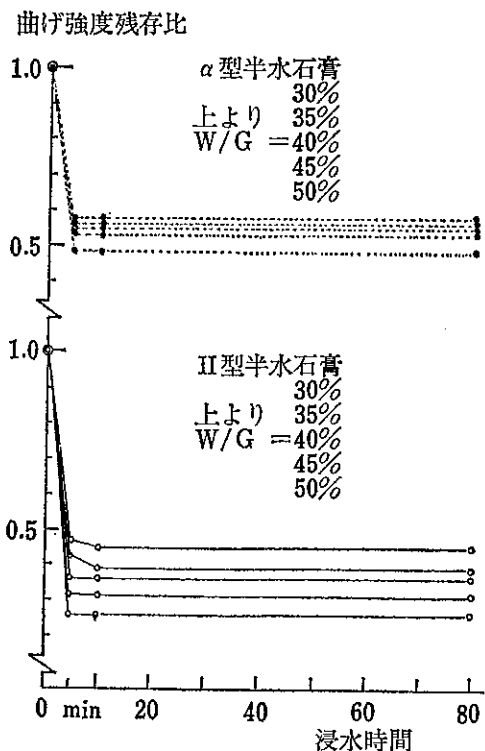


図12 曲げ強度残存比

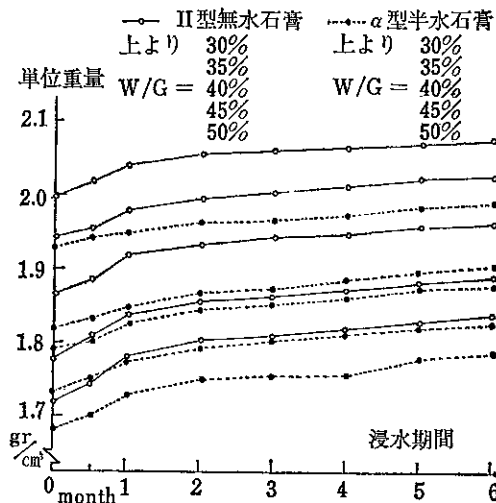


図13 浸水重量変化

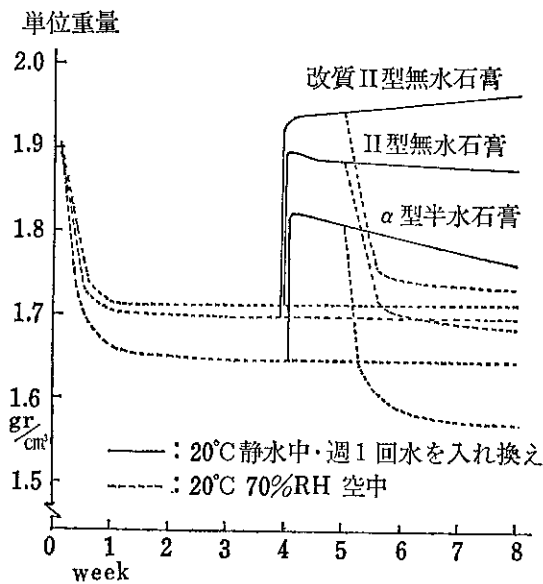


図14 重量変化 (W/G=40%/wt)

3・5 石膏の耐水性改善例

メーカーが耐水性の改善加工を行った石膏について、加工していないものも含めて吸水率と吸水後の強度変化を試験すると、その結果には表7のように樹脂を混入したA'やB'の石膏で、吸水率を非常に小さく吸水による強度低下をおさえるのが可能であることが示されている。しかし加工していないものに比べて数倍の価格であることや、小さな水石膏比の割には強度が出ておらず、また混練物の流動性が良いことより、多量の樹脂が混入されていると考えられ、防火性と経済性に問題が生じ建材としての利用価値は小さい。無機質系の添加剤を用いたC'では吸水率が大きくなっているが、石膏単味のA・B・Cに比べて吸水時の強度低下が小さく、かつ再び乾燥した時の強度低下がなく、また図14で改質II型無水石膏として示したように水中での重量減少もなく、耐水性の強化という点で一つの成功例である。

表7 石膏の耐水性改善例

記号	メーカー	主成分	水石膏比 W/G o/wt	気乾比重 gr/cm ³	体積吸水率 gr/cm ³	圧縮強度 kg/cm ²		
						24h 気乾	24h 浸水	浸水後 気乾
A	A社	α型半水石膏	40	1.61	26	376	195	291
A'	A社	樹脂入りα半水石膏	29	1.89	4	380	362	—
B	B社	α型半水石膏	40	1.60	18	354	185	263
B'	B社	樹脂入りα半水石膏	22	1.74	1	410	375	—
C	小野田セメント	II型無水石膏	40	1.70	15	437	213	375
C'	ト	改質II型無水石膏	40	1.69	23	395	271	426

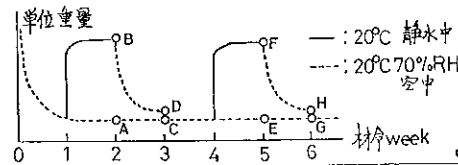
3・6 耐水性の改善を試みる添加剤の試験

石膏の耐水性強化を目的として添加剤を数例選び、吸水率と強度を調べる試験を行った。表8に結果を示すがいずれの場合も明確な効果が表われておらず、添加の量が数%のオーダーでは石膏の耐水性に影響を与えるのが困難であるのか、あるいは今回の試験方法が不適当であったのかとも考えられる。添加剤のうち、特に硫化バリウムは石膏の耐水性改善に効果があると文献に示されており、⁶⁾ 入念に試験してみたが効果が無く現在でも不思議に思っている。

3・7 水に対する応答の結論

石膏は水に濡れると急速に吸水する。吸水率と強度は比例関係になく、わずかの吸水で強度が半分程度まで低下し、以後吸水が増えても強度の変化は少ない。吸水率

表8 添加剤の試験結果



石膏	添加剤 添加量 %wt	単位重量			圧縮強度 kg/cm ²							
		初	1	2	A	B	C	D	E	F	G	H
改質II型無水石膏	単味	1.93	1.69	0.24	392	272	376	418	395	271	392	426
	0.5	1.97	1.69	0.28	368	258	376	396	400	276	441	398
	1.0	1.94	1.67	0.27	315	234	271	356	336	269	366	383
	3.0	1.89	1.65	0.24	307	239	327	386	337	257	383	389
	0.5	1.93	1.66	0.27	325	220	325	376	360	234	366	361
	1.0	1.89	1.60	0.29	282	205	290	347	325	211	348	372
	3.0	1.85	1.43	0.42	155	123	185	228	250	133	249	255
	0.5	1.95	1.70	0.25	386	268	383	429	419	279	417	448
	1.0	1.90	1.72	0.18	405	264	411	400	413	297	447	453
	3.0	1.98	1.67	0.31	227	168	229	298	243	155	230	227
	単味	1.94	1.71	0.23	410	260	364	415	430	275	395	414
	0.5	1.94	1.70	0.24	391	288	361	355	412	271	382	420
1.0	1.94	1.71	0.23	360	277	362	365	411	276	368	452	
3.0	1.86	1.70	0.16	405	288	393	422	425	292	400	429	
0.5	1.95	1.72	0.23	372	286	418	424	431	263	447	457	
1.0	1.96	1.71	0.24	380	277	412	445	403	279	365	461	
3.0	1.95	1.72	0.23	320	296	397	423	442	294	419	453	
単味	1.93	1.70	0.23	358	244	397	418	358	280	380	413	
0.5	1.95	1.70	0.25	331	245	384	426	384	274	358	435	
1.0	1.95	1.71	0.24	323	252	382	426	378	278	353	417	
3.0	1.91	1.71	0.20	384	280	384	404	444	398	283	400	
0.5	1.95	1.71	0.24	350	225	419	393	440	282	344	404	
1.0	1.95	1.71	0.24	367	250	376	428	442	293	396	430	
3.0	1.98	1.73	0.25	376	257	410	460	408	282	423	424	
0.5	1.94	1.70	0.23	363	277	395	442	392	257	381	434	
1.0	1.94	1.69	0.25	328	251	388	442	372	253	385	397	
3.0	1.95	1.71	0.24	384	290	404	444	398	283	400	425	
単味	1.83	1.74	0.09	286	224	442	347	378	239	505	425	
0.5	1.86	1.72	0.14	323	236	443	402	403	220	481	404	
1.0	1.88	1.68	0.20	392	240	405	354	355	215	458	429	
3.0	1.74	1.61	0.13	359	214	359	295	348	170	366	251	
0.5	1.76	1.56	0.20	342	199	348	338	385	161	369	284	
1.0	1.75	1.54	0.21	358	194	382	267	350	179	373	340	
3.0	1.77	1.58	0.19	307	175	350	223	329	134	337	287	
標準(無水石膏)	2.12	1.95	0.17	243	276	244	396	226	314	267	369	

と気乾比重は比例関係にある。従って水石膏比を小さくして密実で高強度の硬化体にする、吸水率を小さくする効果は著しいが、吸水による強度低下の割合を小さくする効果は少ない。このように石膏は水分の吸着性が強く、吸水初期の少量の水分が強度に影響するので、高湿度の場合や定期的に水が作用する場合についても試験を行う必要がある。

文 献

- 1) BAUEN MIT GIPS Bunderverband der Gips- und Gipsbauplattenindustrie eV
- 2) DIN 18163, 4102
- 3) CONSTRUCTION United States Savings and Loan League
- 4) 白山和久・田村嘉章「ソビエトの新材」山海堂 1964
- 5) 岸谷孝一・平居孝之 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和49年
- 6) Barium sulfid als Gipszusatz ZEMENT-KAL K-GIPS Nr. 3/1971