

高強度石膏に関する実験研究 (その2 水に対する応答)

正会員 岸谷孝一* 同〇 平居孝文**

4 水に対する応答

石膏が水に弱いことは経験的に知られている。例えば水に濡らすと急速に吸水して大きく強度が低下するし、流水に長期間つけておくとやせてきて最終的には溶けてなくなってしまう。それでは水が作用する所に石膏を用いない方が良くかというとしてそうではない。外国では底のある外壁や軒の下など天候に直接は晒されない所で装飾性を生かした仕上げに使われている。また水分が集中的に作用する浴室や台所に用いることを勧めている¹⁾。この理由について明確なことは判らないが石膏の吸水性がよくなって好条件となっているようである。このように仕上げ材としては断続的に水分が作用する場所で利用出来るようである。しかし構造耐力的に用いる場合、例えば石膏プレキャスト板による屋根や石膏コンクリート屋根スラブでは施工後直ちに防水工事を行い石膏を水に濡らしてはいけないことになっている³⁾。

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石膏にどう作用するかを調べておかなければならない。水硬性石膏にはα型半水石膏とβ型半水石膏とⅡ型無水石膏があり、それぞれ凝結硬化性には大きな差があるがいったん水と練って硬化したものは同じ二水石膏となり結晶の発達程度やからみ具合で物理的性質が異なると考えられる。三者のうちその1で示したようにα型半水石膏とⅡ型無水石膏は硬化して高強度となり構造耐力的な利用が考えられる。この2種類の水硬性石膏に凝結調整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4^{cm}×4^{cm}×16^{cm}ヨ-カン供試体を用いて行い、吸水率は短時間浸水の場合水中重量の測定により、長時間吸水して吸水量の変化が小さい場合は表面水を切った重量の測定によった。供試体は1水準につきヨ-カン3本である。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℃前後の室内で行い翌日脱型して以後材令28日まで20±2℃ 70±10%RHの条件で養生し水溫20±2℃ 室温20℃前後で試験した。材料の詳細や水硬性石膏の基礎的な性質については、その1を参照。

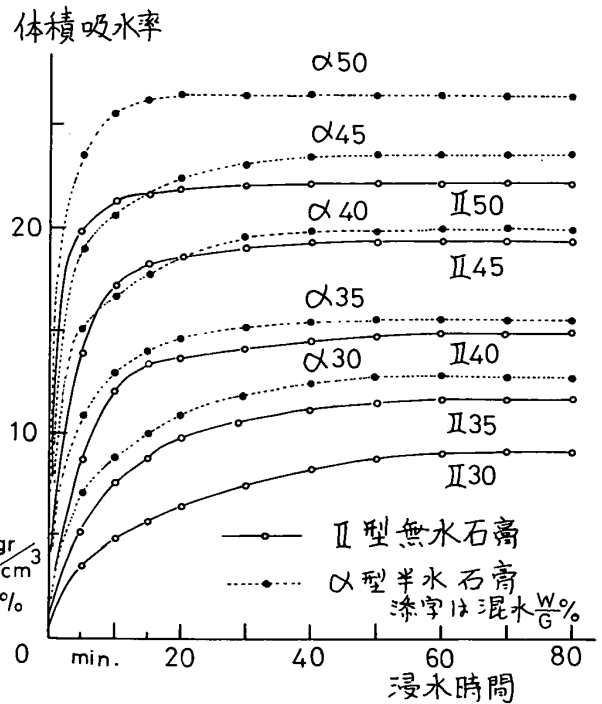


図7 吸水速度 (20℃ 静水中)

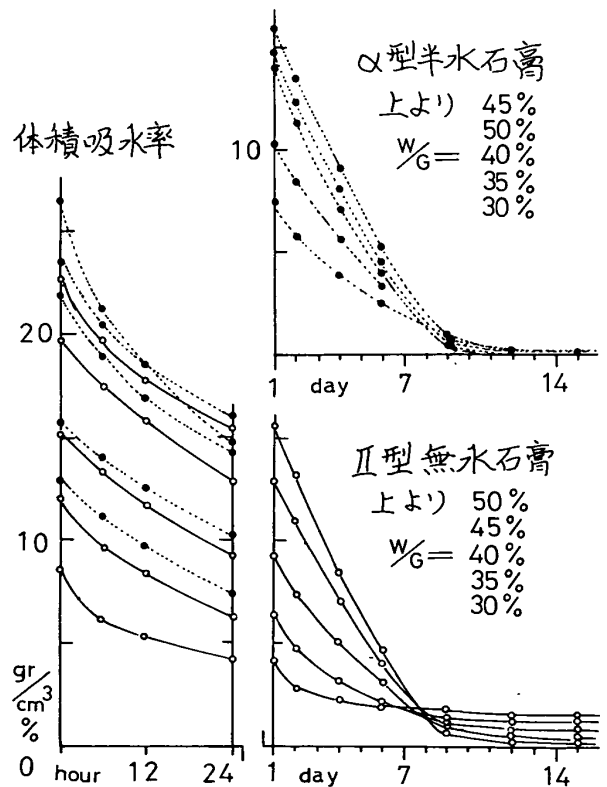


図8 乾燥速度 (20℃ 70% RH)

4-1 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、水石膏比の大きく従って軽量で空隙の大きい低強度の石膏では数分で容積1ℓ当り200g程度の水を、水石膏比の小さく密実度高強度の石膏でも数十分で容積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のようになり吸水の場合と違ってゆっくりに一定の速度で乾燥する。20℃ 70%RHの条件では乾燥してしまうのに約10日かかり水石膏比が異り空隙や強度が違っても同一時期に乾燥が終り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一定となるが、Ⅱ型無水石膏の方は水石膏比が小さく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水を取り入れたためと思われる。なお乾燥の場合は温度湿度の違いにより乾燥速度が大きく変化する。

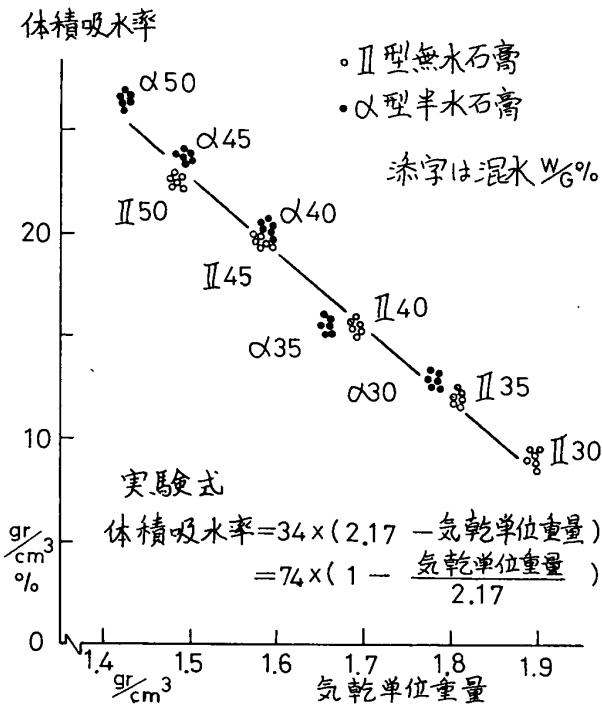


図9 吸水率

4-2 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っておりⅡ型無水石膏とα型半水石膏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

$\left(1 - \frac{\text{気乾単位重量}}{2.17} \right)$ 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る程吸水率を大巾に低下させることが可能であるのが判る。

4-3 吸水強度

吸水した時の圧縮強度を図10に示す。4-1で示したように石膏は吸水速度が非常に速く吸水させながら吸水率が変化した場合の強度を測定することは困難であるため、いったん飽和吸水させた後徐々に乾燥させながら強度を測定した。この図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1/5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。曲げ強度も同じ傾向を示している。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型無水石膏及び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れ、圧縮強度残存比は0.4~0.6でα型半水石膏と似ているが曲げ強度残存比は0.45~0.25でα型半水石膏より強度低下がはげしい。

圧縮強度

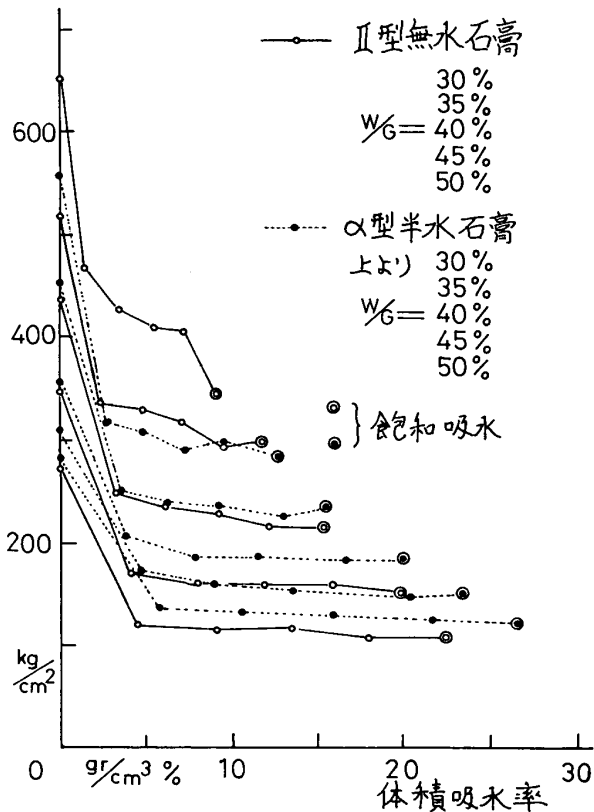


図10 吸水率と圧縮強度

圧縮強度残存比

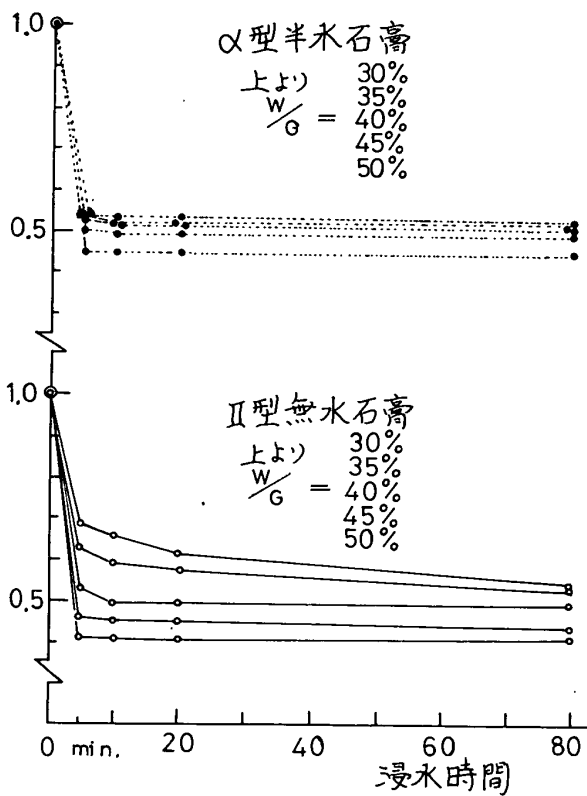


図11 圧縮強度残存比

曲げ強度残存比

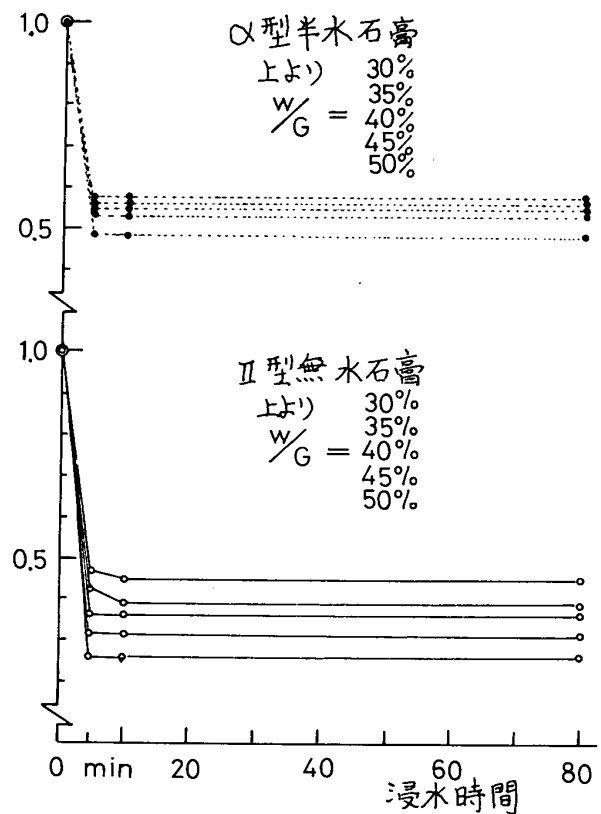


図12 曲げ強度残存比

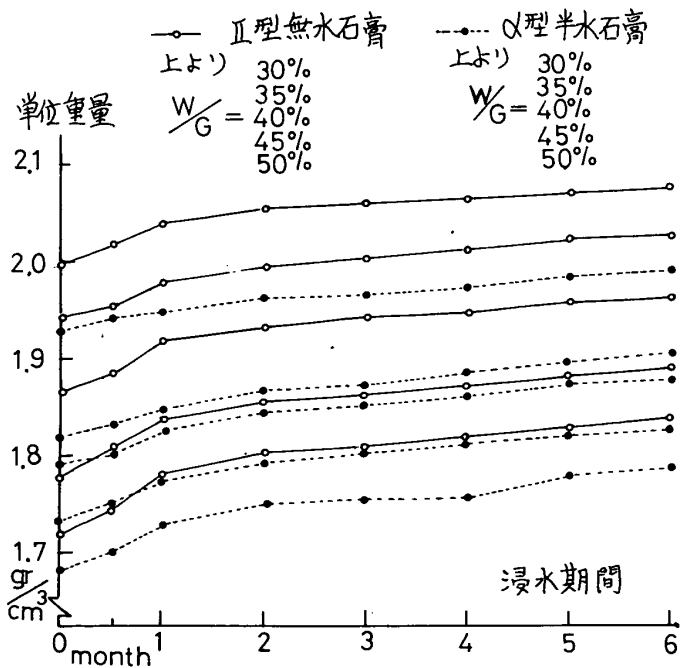


図13 浸水重量変化

単位重量

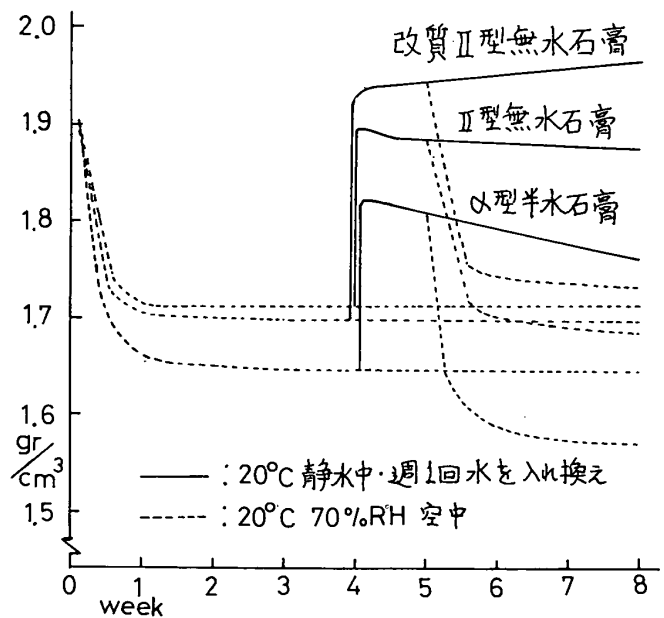


図14 重量変化 (%G=40%)

4-4 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。浸水が長く存るにつれ徐々に重量が増加しており、何かが水中で起っているわけでさらに調べる必要がある。硬化した石膏は水1と当り2gr程溶ける。したがって容器の水を入れ換える場合は図14のII型無水石膏とα型半水石膏のように重量が減少していき石膏が溶けていくのが判る。

4-5 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測定した。結果は表7のように樹脂を混入したA'やB'の石膏では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。しかし未加工の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かったことより、多量の樹脂が混入されていると考えられ耐火性と経済性に問題が生じ建材としての利用価値は低い。無機質系の添加剤を用いたC'では吸水率は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再び乾燥した時の強度低下がなくまた図14で改良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。

4-6 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得られず、添加剤の量が数%のオーダーでは石膏の耐水性に影響を与えることが困難であるのかあるいは今回の試験手法が不相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向上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なく現在でも不思議に思っている。

表7 石膏の耐水性改善例

記号	メーカー	主成分	水石膏比 %/wt	気乾比重 g/cm ³	体積吸水率 %/cm ³	圧縮強度 Kg/cm^2		
						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'		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'		樹脂入りα半水石膏	22	1.74	1	410	375	—
C	小野田	Ⅱ型無水石膏	40	1.70	15	437	213	375
C'	セメント	改良Ⅱ型無水石膏	40	1.69	23	395	271	426

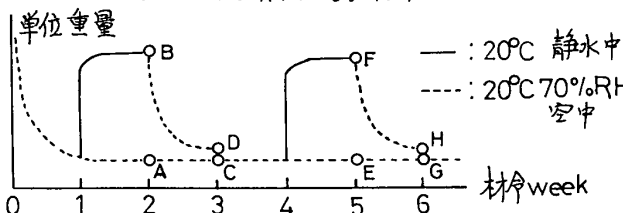
4-7 水に対する応答結論

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近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とすると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) DIN18163,4102 3) CONSTRUCTION United States Savings and Loan League 4) ソビエトの新建材 白木久 田村嘉幸 山海堂1964 5) 石膏の短時間応力歪応答 岸谷孝一 平島孝之 s49 日本建築学会大会要録集 6) Bariumsulfid als Gipszusatz ZEMENT-KALK-GIPS Nr 3/1971 Von B-Djabaroy Sofia Bulgarien

* 東京大学教授 工博 ** 同大学院生

表8 添加剤の試験結果



石膏	添加剤 ad. %	単位重量		吸水率 $\beta_F - \beta_E$	圧縮強度 Kg/cm^2								
		β_F	β_E		A	B	C	D	E	F	G	H	
改良Ⅱ型無水石膏	単味	1.93	1.69	0.24	392	272	376	418	395	271	392	426	
	エポキシ樹脂	0.5	1.97	1.69	0.28	366	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
	ケラレポパル	0.5	1.93	1.66	0.27	325	220	325	375	360	234	366	361
		1.0	1.89	1.60	0.29	292	205	290	347	325	211	346	337
		3.0	1.65	1.43	0.22	195	123	195	228	250	135	249	255
	アクリル酸カルシウム	0.5	1.95	1.70	0.25	386	268	383	449	419	279	417	445
		1.0	2.00	1.72	0.28	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	
	SiO ₂	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	457
		3.0	1.96	1.70	0.24	405	289	393	422	425	292	400	429
	水ガラス	0.5	1.95	1.72	0.23	372	286	418	442	431	263	447	457
		1.0	1.95	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	415	
硫化バリウム	0.5	1.95	1.70	0.25	331	245	384	426	384	274	338	435	
	1.0	1.95	1.71	0.24	323	252	392	425	378	278	353	417	
	3.0							硬化不良					
硫酸バリウム	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	
硫化カルシウム	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	291	388	442	372	263	385	397	
	3.0	1.95	1.71	0.24	384	290	404	444	398	283	400	425	
Ⅱ型無水石膏	単味	1.83	1.74	0.09	286	224	442	347	378	239	505	426	
	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	
α型半水石膏	0.5	1.84	1.73	0.11	335	236	388	331	350	245	470	433	
	1.0	1.86	1.72	0.14	293	242	468	396	391	245	476	427	
	3.0	1.86	1.71	0.15	315	232	494	404	439	229	469	425	
α型半水石膏	単味	1.74	1.61	0.13	358	214	359	295	348	170	365	261	
	0.5	1.76	1.56	0.20	342	199	348	338	365	161	369	284	
	1.0	1.75	1.54	0.21	358	194	382	267	350	179	373	340	
標準型Ⅱ型(普通型)セメント	3.0	1.77	1.58	0.19	307	175	350	223	329	134	337	287	
	2.12	1.95	0.17	243	276	244	396	225	314	267	389		