

講演 演

第 20 卷 第 12 號 昭和 9 年 12 月

セメント混和材に就いて

(昭和 9 年 10 月 27 日土木學會創立 20 周年記念講演會に於て)

會 員 工 學 士 近 藤 泰 夫*

On Cement Admixtures

By Yasuo Kondow, C.E., Member.

内 容 梗 概

外的作用を受くること比較的多き土木用コンクリートに使用するセメントは、その水和作用により生成する遊離石灰が安定なる状態に定着せらるゝことが望ましい。この目的に著者は混和材の使用を提唱し、その使用の方法を述べ使用によりてコンクリートの強度、化學的抵抗其の他の性質に及ぼす影響につき著者實驗中の結果を用ひて説明したものである。

目 次

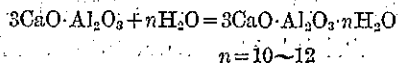
	頁
1. 概 説	1493
2. 混和材の種類	1496
3. 混和の方法	1497
4. 混和材活性の影響	1498
5. 強 度	1500
6. 磨滅及び衝撃抵抗	1503
7. 滲 透 性	1503
8. 化學的抵抗性	1504
9. 伸 縮	1505
10. 耐 熱 抵 抗	1505
11. 發 熱	1505
12. 結 語	1506

1. 概 説

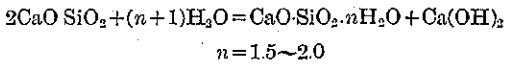
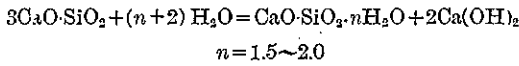
今日セメントをコンクリートとして使用するにその用途が多方面に分岐するに到つた、これに應じてセメントも夫々の使用目的に適合するものを選択使用することが必要である。この目的に都合よくその効果を擧げ得る方法は混和材の添加であつてセメントへ混和材を混和し使用せられる。

總じてコンクリートは物理的には相當優秀なる性質を保有してゐるものであるが、これを化學的に見るときは相當不安定な状態に置かれてゐるものであつてセメントの水和作用方程式

製 結



硬 化



に見らるゝ如く、水和生成物には意外に多量の遊離石灰を保有し居り又生じた礬土酸鹽、珪酸鹽は何れも相當薄弱な結合状態にある。従つて化學的の外作用に因つて容易に溶出し又分解破壊するに至る。第 1 表は某市貯水池コ

第 1 表 コンクリート構造物の滲出生成物分析

試料採取箇所		第 1 例 貯水池堰堤	第 2 例 地下構造物
分析結果	灼熱減量	42.35	44.67
	不溶性残渣 +SiO ₂ +R ₂ O ₃	0.50	0.36
	石灰 (CaO)	53.89	54.39
	苦土 (MgO)	痕跡	痕跡
推定組成	炭酸石灰 (CaCO ₃)	96.08	97.13
	化合水分	0.16	1.94
	不溶性残渣 +SiO ₂ +R ₂ O ₃	0.50	0.36
	計	96.74	99.43

ンクリート堰堤に於ける滲透水によつて溶出析出した生成物及び某市地下構造物を滲透せる地下水によつて形成せる鐘乳石の分析結果を示し、何れも殆んど純粹に近き炭酸石灰より成ることが認められる。斯くの如く土木工事に用ひらるゝコンクリートは建築工事用の大部分のコンクリートとは異なり、常に水に接觸してゐるため空隙に富めるコンクリートならば、その内部を滲透する水によつてコンクリート中の遊離石灰は絶えず溶出せらるべく、又水中に侵蝕作用を呈する酸又は鹽類が存在するときは容易に石灰鹽を生成して或は溶出し又は膨脹してコンクリートを破壊に導く。斯くて石灰の溶出さるゝに伴ひコンクリート中に空隙を作り益々水の滲透を容易ならしめて溶出作用を促進するものである。即ちコンクリート中に存在する遊離水酸化石灰は實にコンクリート不安定の原因を爲すものである。

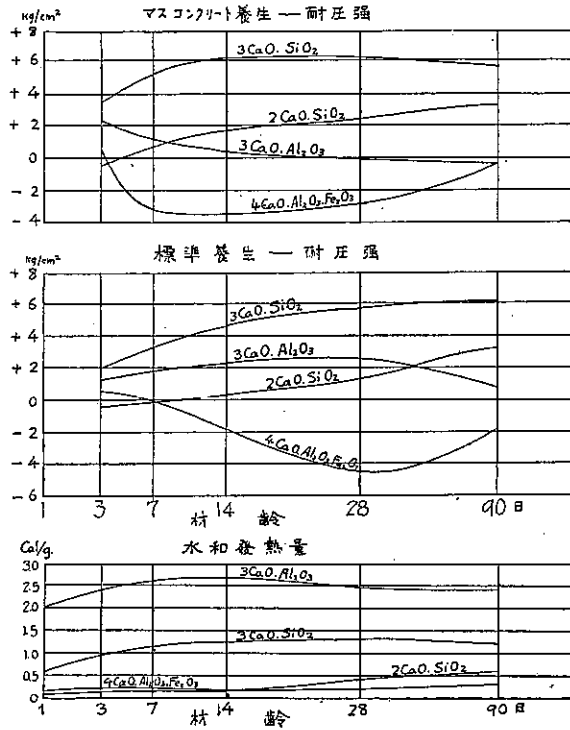
近年ポルトランド・セメントはその規格強度の改正昂上さるゝにつれ益々強度の一點のみに視聽が集中さるゝ結果となり、爲に化學的安定度を犠牲として迄も強度を高めんとする傾向を生ずるに至つたことは、蓋し已むを得ざる時代相であつたのであらう。第 2 表に示すものは Boulder dam 工事假仕様書に記載されたる化學組成とその各組成が發揮する耐壓強比率を示すものであつて、例へば標準養生をなした材齡 28 日の耐壓強は

$$\sigma_{28} = 5.79(\% 3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2) + 1.45(\% 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2) + 2.67(\% 3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3) - 4.56(\% 4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

單位 (kg/cm²)

なる式によつて與へられ 3CaO·SiO₂ が最も大なる分擔を有することを知るべく、換言すれば石灰含有量の異なる程度強度増加に寄與するものである。尙同表には各組成の發熱比率をも示して置いた。第 3 表は我國に於けるセメント製造の初期より今日迄に於ける各社製品ポルトランド・セメントの化學成分分析平均値及びこれより Bogue 氏の方法によつて計算せる組成成分比率を示す。尙セメントの水和作用が完全に行はれるものと假定して計算せ

第 2 表 セメント化学組成と耐圧強及び發熱量との關係



第 3 表 ポルトランド・セメント化学成分の變化

年代	粉末度 #900孔 %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	3CaO· SiO ₂	3CaO· SiO ₂	3CaO· Al ₂ O ₃	4CaO· Al ₂ O ₃ · Fe ₂ O ₃	加水生成 Ca(OH) ₂
1905 ¹⁾ (明 38)	17.0	22.24	5.41	2.43	60.68	1.36	50.34	21.86	10.23	7.39	35.85
1913 ²⁾ (大 2)	14.4	22.68	7.10	3.07	61.08	1.60	50.57	19.29	13.62	9.33	34.27
1923 ³⁾ (大 12)	7.0 ⁴⁾	23.21	6.52	2.75	63.50	1.26	43.55	30.57	12.61	8.36	38.60
1933 ³⁾ (昭 8)	3.0	22.20	5.95	3.17	65.40	1.22	25.69	50.40	10.31	9.64	43.82
早強 ³⁾ (1933)	1.7	21.19	5.81	2.95	66.40	1.44	13.66	62.52	10.39	8.96	46.50

る水酸化石灰の生成量をも示す。この表に見る如くポルトランド・セメントは近年に到り益々石灰含有量を高め來つて早期強度を發生する 3CaO·SiO₂ が初期の 23% より近年の 50% まで増加し長期強度を支配する 2CaO·SiO₂ が 50% より 26% まで減少するに到つたのであつて、同時に水和生成物中の遊離石灰の量が増加する結果となり結局土木工用セメントとしては益々不利不安定なるセメントと化し來つたのであつて、その最も著しきものが所謂早強セメントである。

セメント不安定の原因をなす遊離石灰を減ぜしむるために考慮さるゝ解決の一つは、石灰含有量の少きセメントを製造することゝ、他の一つは生成した遊離石灰と化合してこれを安定なる化合物に變ぜしむるために可溶性珪酸又は礬土を別に添加する方法であつて、今日最も推奨され廣く採用せらるゝものは専らこの後者即ち混和材の利用

1) 東京工業試験所, 2) 日比博士著書, 3) 鐵道省, 4) 狩野宗三, 組成計算法は Bogue に據る。

である。コンクリート中に生成する遊離石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の量は完全なる水和作用を假定せば計算上 40~50% に及ぶが故に、この石灰を完全に捕へるだけの可溶性珪酸の類を添和すればよい理である。第 4 表は獨逸に於ける分析例であつて、トラスを例に採ればトラス 30% を用いたトラス・セメントに於て略酸基と鹽基とが相殺するを見る。

第 4 表 膠着材分析例

種 類	容 重 kg/l	酸 基				計 %	鹽 基 $\text{CaO}+\text{MgO}$ %	過 剩	
		SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	鹽基 %			酸基 %	
ポルトランド・セメント	1.3	21	7	3	31	62	31	—	
鐵ポルトランド・セメント	$\frac{70}{30}$ 1.3	24	7	3	34	58	24	—	
高爐セメント	$\frac{30}{70}$ 1.2	30	9	5	44	49	5	—	
トラス・ポルトランド・セメント	$\frac{70}{30}$ 1.2	31	10	3	44	47	3	—	
鐵 滓	1.2	35	11	6	52	42	—	10	
ライン・トラス	1.0	60	20	4	84	2	—	82	

(参照: AMB 1938)

2. 混和材の種類

混和材として我國に使用されるものを擧げれば火山灰、珪藻土、珪酸白土の如き珪酸質物質及び石灰、鐵滓等であつて夫々長短がある。混和材が使用される目的の第 1 は上述の遊離石灰の定着にあつて、これによつて強度、水密性、化學的抵抗等を増大することを得るのであるが、又其の外に次の如き特徴を有するためにこれを目的として混和材が使用せらるゝ事が鮮くない。即ちコンクリート中へ混和材を混和使用するときはコンクリートに粘濁性を増すために、その施工中に材料の分離することを防ぎ軟練硬練共に作業を容易ならしめ、従つて施工接合を均質ならしめ得る故に構造物をして水密均質且つ耐久のならしめることが容易となり、又混和材の影響により低温型セメントとなすことが出来る。唯一般に混和材は微粉輕量なるためにコンクリートの混合困難を伴ひ易く、又使用水量を増加する傾向があり、従つて硬化の遲延する事實の存するは否めない。第 5 表に各種混和材の化學分析例を示す。

火山灰は古くより用ひられた混合材であるが、可溶成分比較的少く品質成分の均一を期すること困難なる場合少くなく特にその粉末度高からざるを缺點とする。

珪藻土は可溶性珪酸著しく多く粉砕容易であるが、比重が小なるため混合に困難を伴ひ特に水量多きときは分離し易きを缺點とする。

珪酸白土は産地により成因及び品質を異にするも、其の良質なるものは可溶性珪酸多く比重小ならず、使用に便なるため近來頗る需要を増しつゝある。

以上天然産珪酸質混和材の外に人工的に副産物として産出される粘土滓、明礬滓、岩石煨燒物、油頁岩灰等數種が考へられる。

石灰も亦コンクリートの粘濁性増加に有效であるとして混和使用されるが、元來ポルトランド・セメントは石灰過剰なので、これを加ふることは安定度に不安を伴ふ恐がある。

鐵滓はこれをポルトランド・セメント・クリンカーと混和粉砕して高爐セメントとして市場に出居り、能く混合セメントとしての特徴が利用せられてゐる。鐵滓粉を混和材として利用される事は稀である。

第 5 表 混和材の化学成分(可溶分析)及び物理性

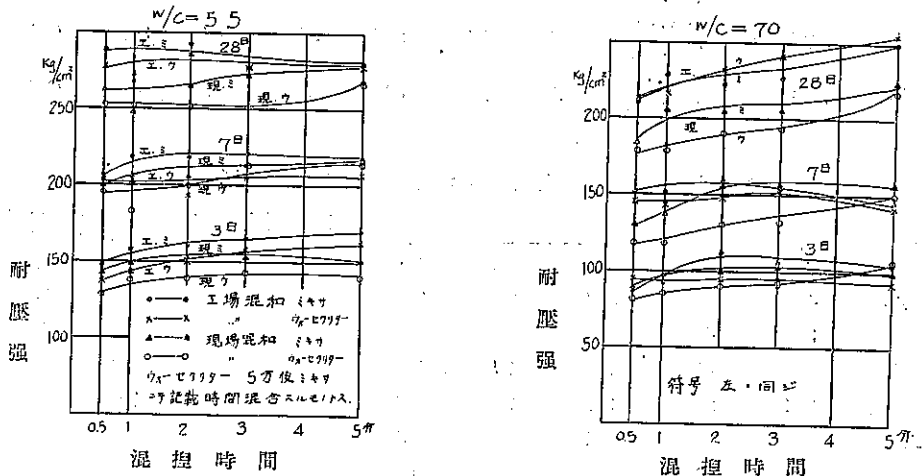
混和材	不溶部分	可溶部分					比重	容重 kg/m ³	粉末度 4900 孔 %
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO			
火山灰 (唐津)	25.25	26.48	19.61	8.07	0.93	0.44	—	—	—
	32.12	22.60	11.68	10.16	0.04	0.02	2.36	1185	43.82
	28.82	25.67	13.42	12.40	0.07	0.10	2.37	1170	33.50
珪藻土	11.20	68.76	1.06	0.28	0.14	0.73	—	—	—
	6.75	76.83	3.86	1.62	0.52	痕跡	1.92	518	18.50
珪酸白土 (埼玉産)	48.21	31.28	4.73	2.56	0.32	0.12	2.17	972	16.10
	50.56	30.12	4.23	1.42	0.69	0.28	—	—	—
	46.75	32.50	6.90	2.18	0.76	0.31	2.32	1094	3.46
	43.49	39.98	1.11	0.74	0.77	痕跡	—	—	—
溶珪白土 (金澤産)	12.41	68.75	5.28	2.33	1.68	0.31	—	—	—
	10.57	80.60	1.50	0.78	0.03	痕跡	—	—	—
	8.42	80.45	2.10	0.51	0.57	〃	—	—	—
可溶白土 (別府産)	12.19	76.08	1.87	1.36	2.51	痕跡	—	—	—
	7.89	76.57	1.49	0.80	0.48	〃	—	—	—
	7.86	74.57	4.59	0.96	2.09	〃	—	—	—

(参照: 永井彰一郎 セメント概論)

3. 混和の方法

混和材をセメントと混和使用するには混合の完全なるべきを主眼として種々の方法が考へられるが、これを現場に於て混和する方法と豫め工場に於て混合セメントとして混和し置く方法とに大別せられる。現場で普通用ひらるゝ方法は一齊にミキサーに投入して混和されるのであるが、混合が兎角完全となり難い憾がある。現場にて豫め混和材とセメントとを混合する方法としては乾燥状態で行ふもの、例へば獨逸に用ひらるゝ Trassia 混合機の如き又は篩 (No. 30 位) にて一緒に篩ふ方法があり、濕潤状態で行ふものには我國にあるウォークリーターのタン

第 6 表 混和方法並に混捏方法与強度との關係



クの如きものを應用して混和する方法がある。最も完全と思はれるのは混合セメントとして豫め混和材をセメント・クリンカーと一緒にボール・ミルに掛けて挽くのである。混和材をセメント既製粉末とミルで混和することは粉末度が過度になりて面白からぬやうである。第6表は豫め混和せる工場混和のものと混和しあらざるのものと採りこれを直接ミキサーに投入混合せしものと、ウォークリーターにて混和せし後ミキサーに投入混合せしものとを比較したものであるが、その結果一般に工場混和のものが最良でウォークリーターは思つたほどの成績を示さなかつた。

4. 混和材活性の影響

次に珪酸白土を混和したる場合その結果モルタル又はコンクリートの強度及び水密性及び化學的抵抗が良好さるゝ理由がその可溶性珪酸の活性に因るものであるか、又はその微粉が物理的に空隙を填充することに因るのであるかは慎重に研究すべき事項であつて、この目的には活性を有せざる微粉例へば珪砂粉末を添加したるものと比較實驗することによつて判定する必要がある。標準砂を用ひる規格試験の如きを以て混和材の優劣を比較する如きは供試體が空隙に富むを以て、混合材は空隙填充の作用をなす結果その試験成績を判断するに正鵠を得難い恐がある。又珪酸白土を細粗2様に製造して比較試験することも同様活性の影響を示す資料となし得る。第7~10表は珪酸白土と珪砂粉とを比較したもので、其の混和量の多からざる場合には凝結及び強度に大差を生じないことを知る。即ち第7表凝結は大體に於て大差なく強度に於ては規格モルタル(第8表)を除き軟練モルタル、コンクリート共試験の範囲内に於ては著しき差違を認めざるも、特に多量を加へたる場合(第10表)に限り珪砂粉よりも珪酸白土の高強なるを示す。この強度に著しき差異を示さない事實は強度關係のみを考慮する場合には珪酸白土品質の選定に當り甲乙を附することの困難なるを示すものである。第11表及び第12表は珪酸白土を細粗2

第7表 混和材(珪酸白土,珪砂粉)添加の物理性比較

記 號	混和材	試 料 混和比	粉末度 4900孔 %	凝 結 試 験					膨脹性 龜裂 煮沸
				始發 時分	終結 時分	氣温	水温	水量 %	
A ₁	珪酸白土	100:11.1 (90:10)	2.0	1.03	2.00	28.0	27.0	28.0	OK
B ₁	珪砂粉	100:11.1 (90:10)	2.0	1.02	1.58	28.0	26.0	25.5	OK
A ₂	珪酸白土	100:25 (80:20)	1.5	1.18	2.25	25.0	24.5	30.0	OK
B ₂	珪砂粉	100:25 (80:20)	1.5	2.18	3.30	28.0	27.0	26.0	OK

第8表 混和材添加の1:3規格モルタル強度比較

試 料	抗 張 強				耐 壓 強				28日に於ける脆度係數
	3日	7日	28日	水量%	3日	7日	28日	水量%	
A ₁	41.0	44.0	50.3	7.3	569	661	681	7.4	13.5
B ₁	39.8	41.0	47.2	7.0	599	679	725	7.1	15.4
A ₂	43.2	45.3	52.5	7.5	578	705	711	7.6	13.5
B ₂	31.2	34.0	37.3	7.2	531	—	621	7.6	16.4
A ₁ /B ₁	103	107	107	—	95	97	94	—	—
A ₂ /B ₂	138	133	141	—	109	—	114	—	—

第 9 表 混和材添加の軟練モルタル及びコンクリート強度比較 (材齡 28 日)

W/C	軟練モルタル				コンクリート				衝撃試験		
	A ₁ B ₁ 1:0.11:1:2		A ₂ B ₂ 1:0.25:1:2		A ₁ B ₁ 1:0.11:2:4		A ₂ B ₂ 1:0.25:2:4				
	抗曲強		耐壓強 (4×4角)		耐壓強 (15×30圓筒)		抗曲強		耐壓強 (10×10角)		
	55	70	55	70	55	70	55	70	55	70	
A ₁	66.2	68.8	444	299	286	240	63.5	50.9	302	240	55 同 26.0
B ₁	60.4	69.3	426	285	262	231	56.3	58.1	287	236	23.2
A ₂	66.8	64.1	481	326	281	243	57.3	56.3	313	256	23.0
B ₂	61.8	65.3	444	304	263	228	63.5	53.1	274	251	22.0
A ₁ /B ₁	110	99	104	105	109	102	113	87	105	102	
A ₂ /B ₂	108	98	108	107	107	107	90	106	114	102	

第 10 表 混和材多量混和のコンクリート耐壓強

記 號	混和材	混和比	W/C = 55%		W/C = 70%	
			3日	7日	3日	7日
A ₅	珪酸白土	セメント 混和材 50: 50	59.2	99.6	34.3	51.5
B ₅	珪砂粉	50: 50	40.9	65.1	19.1	31.3
A ₇	珪酸白土	30: 70	35.3	50.9	16.4	33.2
B ₇	珪砂粉	30: 70	22.6	35.7	13.1	22.4
A ₅ /B ₅			145	153	180	165
A ₇ /B ₇			156	143	125	149

第 11 表 珪酸白土細粗物物理性比較

試料	粉末度 4900孔	凝 結 試 験				膨脹性龜裂 煮沸	
		始發 時分	終結 時分	氣温	水温		水量 %
細	1.5	1.30	2.47	30.0	28.0	33.0	OK
粗	8.6	3.51	5.20	29.0	27.0	32.0	OK

第 12 表 珪酸白土細粗強度比較

試料	抗 張 強			耐 壓 強				
	3日	28日	水量 %	3日	28日	水量 %		
.70: .30: 3 規格モルタル	細	29.5	48.5	7.9	442	689	8.0	
	粗	33.7	50.7	7.8	459	685	7.8	
.70: .30: 1: 2 軟練モルタル (材齡 28 日)	抗 曲 強		耐 壓 強					
	W/C	55	70	55	70			
	細	60.5	51.6	402	274			
	粗	59.2	57.4	347	253			
.70: .30: 2: 4 コンクリート (材齡 28 日)	耐壓強 (15×30圓筒)		抗曲強		耐壓強 (10×10角)		衝 撃	
	W/C	55	70	55	70	55		
	細	251	202	44.8	41.6	268	223	16.6 ^同
	粗	257	199	44.5	39.7	262	194	17.3

様に製造したるものゝ比較であつて、粗なるものは凝結に於て著しく遅延し、モルタル規格強度に於ては高强を示すも軟練モルタル及びコンクリートに於ては概して劣つてゐることを示す。

混和材を加ふるに添加法と代用法とある。前者は混合材をセメント骨材の配合比の外に別に添加するが故にそのモルタル又はコンクリートに及ぼす影響を知るに適し、後者はセメントを減じてその代りに混合材を代用して用ふるのであるから、混和セメントの形に於て如何にセメントが性質を變化するかを比較し得る。總じて混和材は添加法によつて加へらるゝが望ましきも、その用途により又品質の良好なるときには代用法によつて用ひても甚しき不都合を見ないことが多い。

5. 強 度

混和材が各種性状に及ぼす影響を知るため普通ポルトランド・セメントに比較的可溶珪酸多き別府産珪酸白土及び珪砂粉を種々の混合比に混和し、水比及び材齡の變化に應じ強度、弾性係數、磨滅抵抗、滲透性、化學的抵抗、伸縮、耐熱、發熱が如何に變化するやは實驗中に屬するを以て、その結果の一部を以下略述して識者の此正を乞はんとするものである。

第 13 表及び第 14 表は試料の物理性及び化學成分を示す。總て前述の試験に用ひた試料はこれを用ひたものである。

第 13 表 別府産珪酸白土混和試料物理性

試料 混和比	比重	容重 kg/m ³	粉末度		凝 結 試 験					膨脹性急 裂 煮 沸
			4900孔 %	10000孔 %	始發 時分	終結 時分	氣温	水温	水量 %	
セメント 自土 100 : 0	3.12	1500	1.8	8.8	1.25	2.30	29.0	29.0	26.8	OK
90 : 10	3.05	1368	1.6	6.0	1.42	3.09	"	"	27.4	OK
80 : 20	2.95	1216	1.5	4.3	1.51	3.38	30.0	"	30.0	OK
70 : 30	2.78	1140	1.9	6.9	2.10	3.41	29.0	"	33.6	OK
60 : 40	2.73	1103	1.8	8.3	3.07	4.25	"	"	36.8	OK
0 : 100	2.04	688	1.8	8.5						

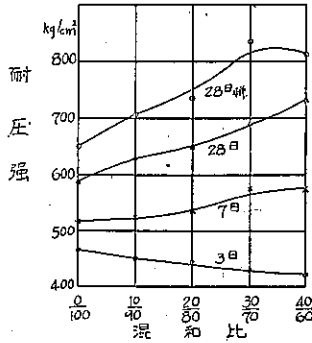
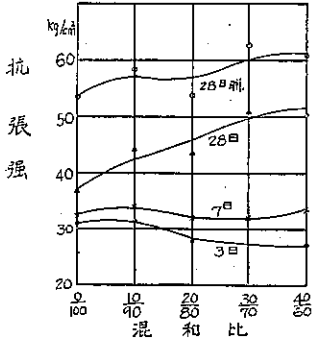
第 14 表 原セメント及び珪酸白土の化學分析結果

試料	灼熱減量	不溶解 残渣	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	計	備 考
原セメント	1.34	0.24	22.73	5.17	3.11	64.66	1.12	1.39	99.76	
珪酸白土	6.61		86.60	4.23	1.09	0.80	痕跡	—	99.33	可溶珪酸 79.15

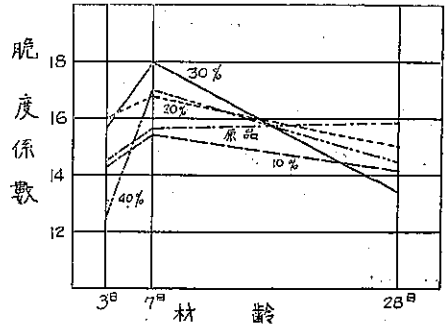
先づ強度試験の結果に就いて述べんに試験には規格試験の外軟練モルタル及びコンクリートの抗張強、抗曲強及び耐壓強並に附着強に就いて試験した。その結果總じて材齡小なる間は混和量少きものが高强を示すも、材齡の進むに従ひ混和量の多なる方が高强となり、又水量が少き場合には混和量の多きものが高强であつて、反對に水量多きときは混和量多からざるときに高强を示し、そのセメントに對する珪酸白土の混和比 $\frac{80}{20} \sim \frac{60}{40}$ の範圍内に最高強度の存することが窺はれる。

第 15 表は 1:3 モルタル規格試験で水量 6.6~8.4% に變化するときの抗張及び耐壓強度を示し、材齡の進むに従ひ左方の高かつた曲線が漸次右方が高くなり、混和量の多き程高强なるを示し脆度係數は材齡の進むにつれ又混和比の多きに従ひ減少する傾向著しきことは第 16 表に認められる。軟練モルタル(配合セメント 1: 九味

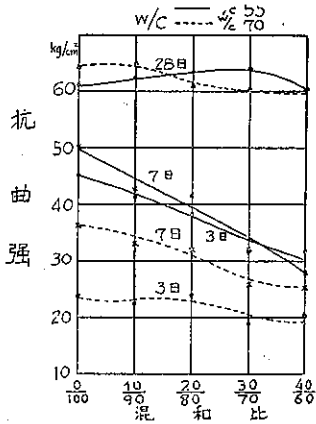
第 15 表 混和比と 1:3 モルタル規格強度との関係



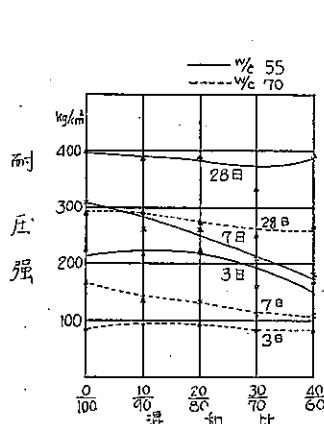
第 16 表 規格モルタルの脆度係数



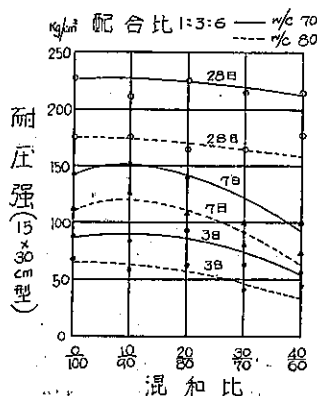
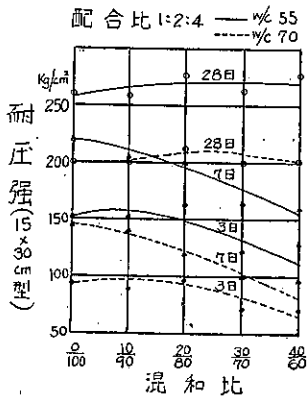
第 17 表 混和比と軟練モルタル抗曲強との関係



第 18 表 混合比と軟練モルタル耐圧強との関係



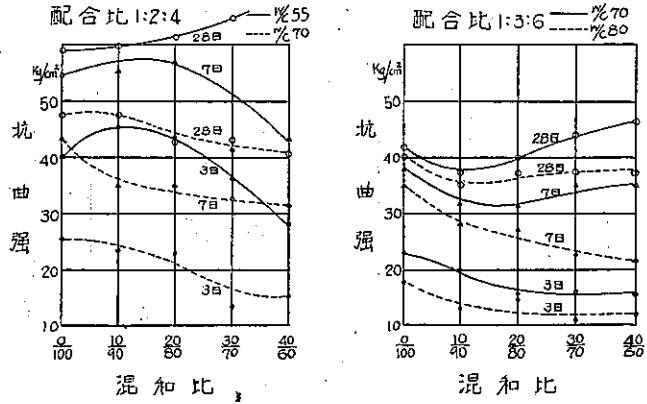
第 19 表 混和比とコンクリート標準耐圧強との関係



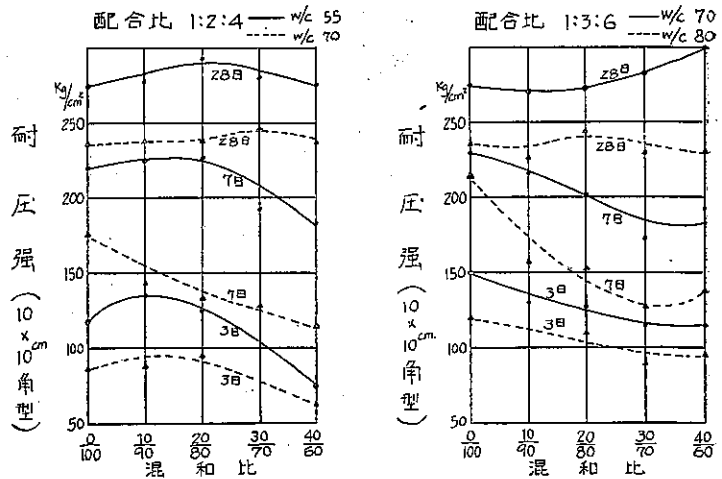
浦微砂 1:標準砂 2)に就いて水比 55% 及び 70% に於ける抗曲強は第 17 表に、その破片を用ひ試験せる耐壓強は第 18 表に示す。全く同様にコンクリート(配合比 1:2:4 及び 1:3:6)に就いて水比及び混和比を變へたる標準耐壓強を第 19 表に、抗曲強を第 20 表に、その破片を用ひたる耐壓強を第 21 表に示す。これ等の圖表を一覽して材齡 28 日を基準とするとき大約 $\frac{80}{20} \sim \frac{70}{30}$ の混和比が最高強度を示し材齡がこれより小なれば混和比低下し、材齡これより大なれば混和比多くなるものである。且つ水比の小なるとき混和比多くなり、その大なるとき少くなることも認められる。尙参考のため珪酸白土使用による施工軟度の比較を第 22 表に掲ぐ。

鐵筋引抜試験に據る 附着應力は第 23 表に示した供試體を用ひ同表に示す結果を得た。水比少き場合多少不規則であるが、大體として添加により大差を見ないと云ひ得る。白土と珪砂粉とも大差を示さない。

第 20 表 混和比とコンクリート抗曲強との關係



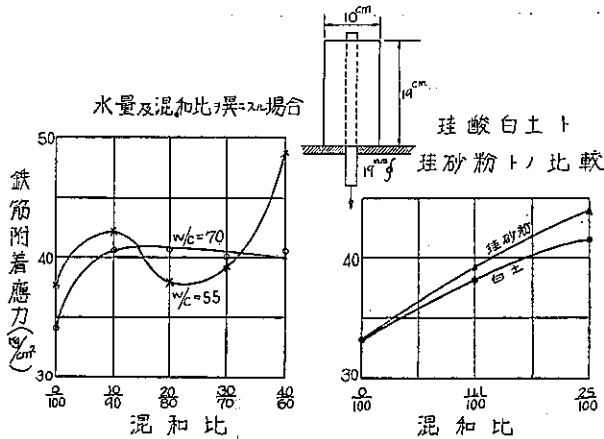
第 21 表 混和比とコンクリート耐壓強との關係



第 22 表 白土使用による施工軟度の比較

試料	軟練モルタル		コンクリート 1:2:4				コンクリート 1:3:6			
	55%		55%		70%		70%		80%	
	フロー	フロー	スランプ cm	フロー	スランプ cm	フロー	スランプ cm	フロー	スランプ cm	フロー
セメント 白土 100 : 0	243	>290	6.7	145	19.6	235	0.5	183	15.0	196
90 : 10	233	>290	3.5	140	18.7	223	0.5	178	14.0	192
80 : 20	223	278	3.4	136	18.2	216	0.4	153	6.0	188
70 : 30	211	264	1.4	121	16.9	202	0.0	141	3.5	171
60 : 40	193	251	0.6	113	16.2	183	0.0	135	3.0	180

第 23 表 鐵筋附着應力



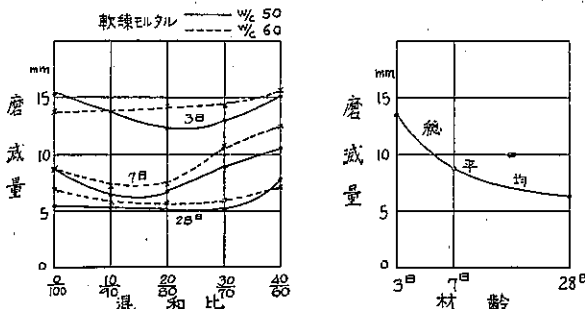
6. 磨滅及び衝擊抵抗

磨滅量はアムスラー磨滅試験機により金剛砂を用ひ 250 回轉によつて磨滅したる厚さを以て示すときは第 24 表の如くなる。水比の大なる方磨滅量多きも材齡の進むに従ひ急に磨滅抵抗を増すものであり白土の混和比との關係は強度に於ける如く材齡小なる時混和比低く材齡の進むに従ひ混和比の多き程抵抗の大なるを示す。

衝擊抵抗はペーヅ衝擊試験機のプランヂャー重量 1.275 kg, 鐵槌重量 10 kg なるものを使用し供試體 14.2×14.2×7.1 なる平板を 2 側に支へて鐵槌を最初 2 cm より始め順次 2 cm 宛増加せる落下高を以て落下せしめ龜裂發生迄に反復せる落下衝擊回數を以て示すこととしたるに、第 25 表に示す結果を得た。即ち材齡の増加するにつれ混和比の大なるものが大なる抵抗を示すこととなり、この現象は水比の小なる程著しい。

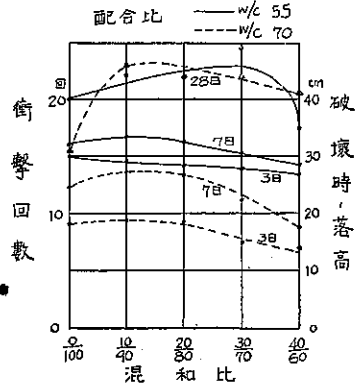
第 24 表

混和比、材齡と磨滅量との關係



第 25 表

混和比とコンクリート衝擊抵抗との關係

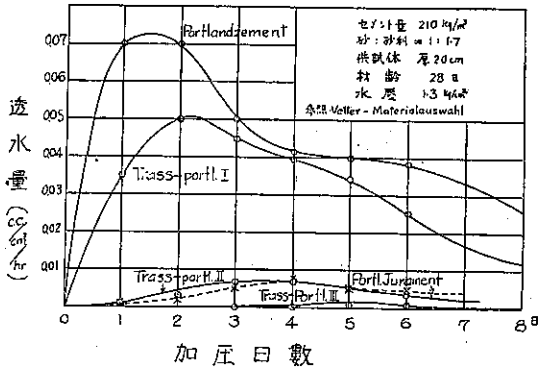


7. 滲透性

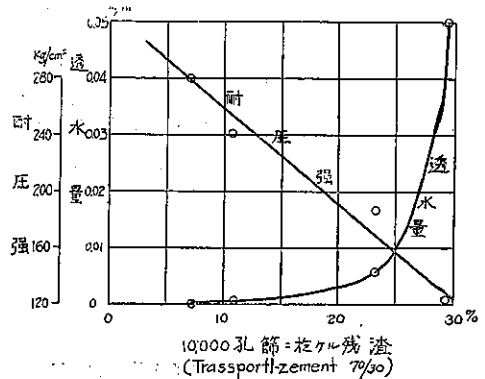
滲透性はコンクリートを用ひて比較すべきものであつてその實驗例を第 26 表及び第 27 表に示す。第 26 表はセメントの種類及び加壓日數の経過により如何に減少するかを示し、第 27 表はトラス・セメントを用ひて試験

せる結果粉末度が強度及び透水量に影響する様様を示したものである。即ち一般に混和材使用により透水量を減じ又加圧時間の進むにつれて減少し特にセメント粉末度は影響する所大であると思はれる。

第 26 表 セメント種類による透水量の變化例



第 27 表 セメント粉末度と強度及び透水量との關係



8. 化學的抵抗性

化學的抵抗の試験は侵蝕液中に浸したる供試體の強度減退及び龜裂、破壊の發生によつて比較されるのが最も普通であるが、又透水量増加により或は鹽基性を喪失した容積をフェノール・フタレーンを用ひて測定して比較することも出来る。混和材の石灰定着の能力を比較するには硬化せるセメント糊から溶出する石灰量を定量するが便である。第 28 表はモルタル規格供試體を水道水、海水、鹽化苦土 5% 溶液、硫酸苦土 5% 溶液及び亞硫酸瓦斯飽和溶液に浸漬せる後強度の減退を試験せるものであつて、何れも混和材添加により強度増加せるを示す。第 29 表は硬化せるセメント糊中の可溶石灰量を定量したものであつて、凝結試験に用ひたる供試體の材齡 1 週のものゝ 110° にて 1.5 時間乾かし水分を除き粉碎して 4900 篩を通らしめ、これよりセメント 5g を含むだけの試料を採り

第 23 表 白土混和セメントの化學的抵抗

材 齡	試 料	水道水	海 水	MgCl ₂ 5% 溶液	MgSO ₄ 5% 溶液	SO ₃ 飽和溶液	
		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	
抗 張 強	1 週	100 : 0	32.8	34.3	30.7	33.0	30.8
		70 : 30	35.8	36.8	35.6	35.1	33.0
	4 週	100 : 0	39.0	40.4	34.7	37.0	39.7
		70 : 30	41.0	40.8	39.7	39.7	40.5
	1 年	100 : 0	39.3	35.3	30.3	21.3	40.0
		70 : 30	50.0	54.8	47.0	44.3	53.2
耐 壓 強	1 週	100 : 0	431	435	417	392	403
		70 : 30	479	489	469	465	435
	4 週	100 : 0	471	496	451	471	462
		70 : 30	552	547	553	576	560
	1 年	100 : 0	578	545	420	470	535
		70 : 30	670	612	577	560	576

第 29 表 硬化セメント中の可溶石灰量

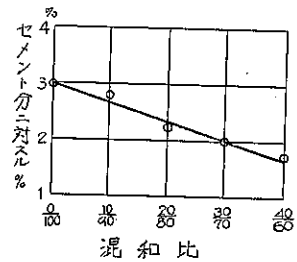
試料 配合比	混和 水量	可乾 水分	灼熱 減量	セメント 5g を含む 重量	上澄液中 の CaO	セメント分 に対する 百分率
	%	%	%	g	mg	%
100 : 0	24.7	7.27	9.95	5.552	146.5	2.93
90 : 10	25.1	7.42	9.90	6.165	139.0	2.78
80 : 20	27.4	7.50	11.35	7.502	114.5	2.28
70 : 30	32.4	9.16	9.70	7.910	104.7	2.09
60 : 40	35.0	10.76	9.25	9.183	85.0	1.70

100 cc の水を加へ 2 時間震盪機にかけて 24 時間静置せる後、その上澄液中に溶出せる CaO を定量したものである。この結果を圖示すれば第 30 表の如く直線にて與へられる。

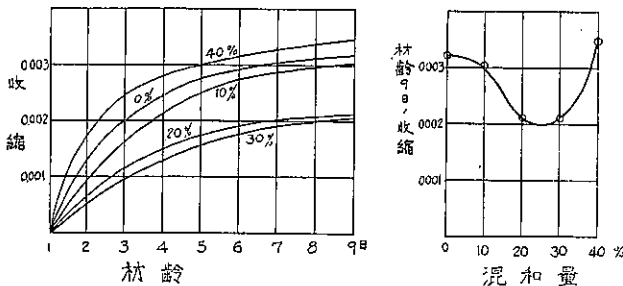
9. 伸 縮

伸縮量は一般に混和材の存在によりて減ずと稱せらるゝが、バウシinger測定器によつて純モルタルの伸縮を測定したものは第 31 表の如く 20~30% 混和により減少してゐるが、これをコンクリートについてウィットモア・ストレーン・ゲージを用ひて測定した結果は第 32 表の如く確定的の判断を下すに迷はざるを得ぬ。

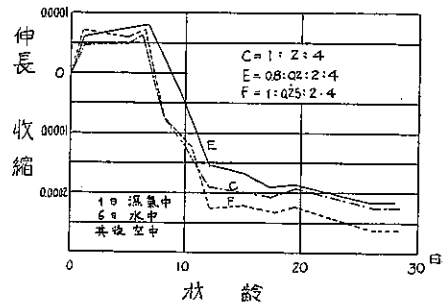
第 30 表 硬化セメント中の可溶石灰量



第 31 表 純モルタルの収縮(バウシinger測定器による)



第 32 表 コンクリートの伸縮(ストレーン・ゲージによる)



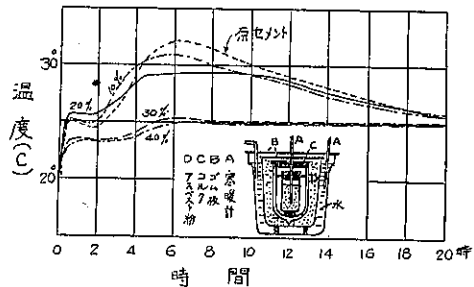
10. 耐 熱 抵 抗

耐熱抵抗はコンクリート中に存する遊離石灰の脱水により CaO を生じ、これが加水膨脹して龜裂を有する故に混和材の存在は耐熱抵抗を大ならしめると稱せられ居るも、同時に骨材として耐熱的のものを使用することが肝要であると考へられる。

11. 發 熱

セメントの凝結發熱はマス・コンクリートに於て緊要問題である。第 33 表は斷熱測定法によつて求めた發熱曲線

第 33 表 混和比を異にするセメントの發熱曲線



であつて、混和材添加により低熱となることを示す。

12. 結 語

以上を要するに土木工事用セメントに對して混和材添用は必然の趨勢であり、その良質のものを用ひ又セメントの種類、化學成分に應じて混和材の種類及び混合比を誤たざるよう選定するときは、入念なる施工と相俟つて相當強度ある水密耐水の安定なるコンクリートを製作することが出來よう。尙施工に關しては特に骨材粒度を良好ならしめることに留意すべく、又使用水量を減じ突固を完全にし充分の養生を與へることが何より大切である。

最後に本實驗の實施及び試料製作に當つて多大の盡力を得たる京都帝國大學土木學教室、大阪市電氣局臨時高速鐵道建設部材料試驗所及び大阪窯業セメント株式會社の各方面の方々に深厚なる感謝の意を表す。