

ペロセメントについて

日本セメントKK関西事務所 * 竹内 茂

1 緒 言

日本工業規格 J I S R 5210 のポルトランドセメントの定義に「ポルトランドセメントは主成分としてシリカ、アルミナ、酸化鉄および石灰を含む原料を適當の割合で十分に混ぜ、その一部分が溶融するまで焼成して得たクリンカに適當のセツコウを加え、粉碎して粉末としたものである」と録してある。即ちセメントは石灰石、粘土を主原料とし補助原料として軟珪石、鉄滓を加え適正なる調合原料を作り微粉類で焼成し、焼成物である所謂クリンカに石膏を加えて粉末にすれば良いのである。然しこの製造作業工程が極めて重要で高度の科学的管理を必要とするのである。特にこれから述べんとするペロセメントは更に一層嚴重な管理に依り初めて製造し得られる超高級セメントである。

2 ペロセメントの意義

ペロセメントのペロとはラテン語の *Velox* 即ち駿足の意味で早期に力を出すことを意味した日本セメント社において製造している高級セメントの商品名であり日本社湿式工場において初めて製造可能の超高級セメントである。

3 ペロセメントの歴史

元来ポルトランドセメントは1842年英人ジョセフ・アスペデン (Joseph Aspdin) に依つて發明されたのであるが爾來其の優秀性は他種のセメントを押しセメント界の王座を占め人類文化の向上に寄与するところ頗る大であり一國文化のバロメーターはセメントの消費量によつて推知されるとまで云はれている、しかし其の品質は學術の進歩、技術の發展につれて逐年上昇して來たもののポルトランドセメントに寄せる期待と信頼とは必ずしも満足すべきものではなかつた。かゝる秋1907年オーストリアの鐵道技師スピンドル (M. Spindel) 氏は普通のポルトランドセメントが早期強度に欠ける点に着目し品質均齊にして然も早期に強度を發揮するセメントの製造をなし嚴重な科学的管理の下に研究を重ねた結果、遂に當時はスピンドルセメントと呼称された高級セメントの製

造に成功した。時あたかも第一次世界大戰が勃發しこのセメントも大なる發展を見ずに終熄したのであるが1924年独乙の有名なドレスデン大學教授ゲーラー氏が高級セメントに就ての論文を發表してこの種セメントの出現を渴望していた時流に一致した為各國において製造が企圖されるようになったのである。

4 ペロセメントの本質について

(イ) セメントの鉱物組成に就て

ポルトランドセメントの主成分はシリカ (SiO_2)、アルミナ (Al_2O_3)、酸化第二鉄 (Fe_2O_3) 及び酸化カルシウム (CaO) にしてこれらの成分が化合して珪酸三石灰 ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) 略記 C_3S 、珪酸二石灰 ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) 略記 (C_2S)、アルミン酸三石灰 ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) 略記 C_3A および鉄アルミン酸四石灰 ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) 略記 C_4AF を構成し、鉱物学的にはアリット (Alit)、ベリット (Belite)、セリット (Celite) 及び硝子部分より成立していると考えられて來たが、1897年テルネボーム (Tornebohm) が更に研究の結果アリット、ベリット、セリット及びフェリットの4種の鉱物を識別することに成功したが、學者間に於て論争の結果テルネボームの命名したフェリットは其の存在が否定されて結局アリット、ベリット、セリット及び硝子部分から成立している事が認められてアリットは C_3S と C_3A の混晶、ベリットは C_2S 、セリットは残りの C_3A と C_4AF からなつており、更に微量に存在するマグネシア (MgO) とアルカリ (Na_2O , K_2O) は夫々アリット並にセリットに混入していると考えられるようになった。最近 (1952年) 第3回國際セメント化学シンポジウムにおいてアリットは $54\text{CaO}\cdot 16\text{SiO}_2\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{MgO}$ ($\text{C}_{54}\text{S}_{16}\cdot \text{M}\cdot \text{A}$) であり組成的には $\text{C}_3\text{S} 91\%$ 、 $\text{C}_3\text{A} 8\%$ 、 $\text{MgO} 1\%$ 前後であると考えられるようになり、又ベリットは C_2S ではあるが $\beta\text{C}_2\text{S}$ が99%で、 Fe_2O_3 及びアルカリが合計して1%内外を含んでいる。又セリットは $6\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ($\text{C}_6\text{A}_2\text{F}$) であることが認められた。

(ロ) 鉱物組成がセメントの物理的性状に及ぼす影響について

上述それぞれの鉱物組成が如何なる物理的性状を示すかについては C_3S は水化作用が比較的速いので早期強度を司り空中收縮は稍大きい、水中の膨脹は少い。 C_2S

* 大阪市北区梅田町新阪神ビル

は水和作用は緩徐であるから長期強度を培進せしめ水中の膨張は少いが空中収縮は稍大である。C₄AFの水和作用は比較的速いが強度に寄与するところは少い、C₃Aは4種の構成化合物中水和作用は最も迅速であるからセメントの凝結及び短期強度に寄与するところ大であるが、汚水、海水其の他の侵蝕液に対する抵抗性が少ないのみならず膨脹収縮が大で風化に対する抵抗性が小さい。尚これ等鉱物組成の大体の含有量は(C₃S+C₂S)75~78%にして(C₃A+C₄AF)20%内外であるが、ペロセメントは早期強度に最も寄与するC₃Sを増加し逆にC₂Sを減ぜしめるような原料を仕調し優良炭を以て高度に構成して得たる良質焼塊を比較的級度の高い石膏を加えて粉末にすると出来るのである。然してこれ等の工程管理は極めて厳重にしなければ斯界に君臨する最優秀なペロセメントは製造が不可能であり、湿式製造設備で初めて生産が可能である。第1表は日本社アサノペロセメントと普通セメント及び市販セメントのC₃S、C₂S含有量を示す。又このC₃SとC₂Sの水和の速さは第2表の様にある如く可成りの相違がある。

第1表 アサノペロセメント、アサノ普通セメント及び市販普通セメントのC₃S、C₂S含有量(日本社品)

セメント	組成鉱物	C ₃ S	C ₂ S
アサノペロセメント		63	13
アサノ普通セメント		51	26
市販普通セメント		51	24

第2表 C₃S及びC₂Sの水和の深さ(単位:ミクロン)

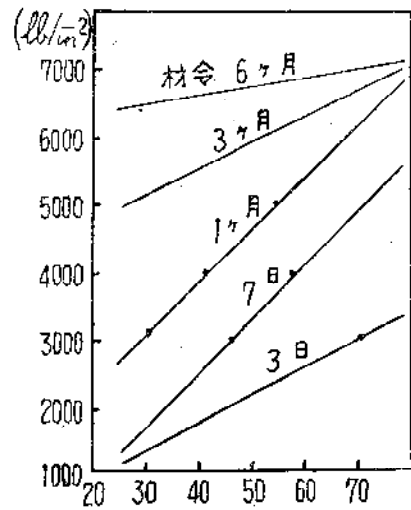
組成鉱物	材 令			
	3時間	1日	7日	28日
C ₃ S	1.68	2.25	4.32	4.44
C ₂ S	—	0.28	0.62	0.83

第3表 C₃SとC₂Sの引張強さ(単位lb/□")

組成鉱物	純セメント			1:3モルタル	
	1日	7日	28日	7日	28日
C ₃ S	440	698	772	270	407
C ₂ S	軟弱	軟弱	98	軟弱	23

即ち第2表に依るとC₃Sの水利はC₂Sに比し5-10倍速く水との化合が急速に行なわれることを示している、次にC₃S及びC₂Sの夫々の鉱物組成の強度を比較すると第3表の如きである。

第3表の強度においてはC₃SとC₂Sとの差は甚しく、早期強度発生には如何にC₂Sが大切であるかが判る、第1図はR. H. Bogue (The chemistry of Portland Cement p 493 Fig 235)に依る、焼塊中のC₃Sの含有量に依るモルタル圧縮強度(lbm⁻²)の關係を示す。



第1図 クリンカ中のC₃Sの圧縮強さ

元來セメント製造に當つては、上記構成化合物の性状性質より帰納して其の成分を決定するのが常道であり、セメント製造理論に欠けるところがあれば成分上如何に考慮を払うとも原料の選択、製造工程の管理に非科学的な点があり又は複雑であり或は製造設備が不完全である場合には出来たクリンカは局部的には高石灰活性部分と低石灰緩水硬性部分との混合物となり其の上化合不完全の為に悪影響のある遊離石灰の量が多くなる。ペロセメントは成分上の根本理念として構成化合物の性質を充分考慮しセメントとして最も大切な高活性化化合物であるC₃Sの量を可能なる最大量に保ちC₃Aは其の長所と短所とを考慮して、最適の量に止め且つ構成化合物の均齊な分布を目標としている。これがためには諸原料の精選、適正な原料調合、調合原料の絶対均齊、調合原料の完全焼成、クリカンの急冷および適度の微粉碎等の科学的管理並にこれに適合する優秀な設備が不可欠である。高級セメントの発明者スピンドルは普通セメントを製造する多数の工場で高級セメントを製造しよう思つて、例えば見掛けの良好な焼塊を微細に粉碎したとしても真の高級セメントにはならない、真の高級セメントを製造し

生産と技術

ようとするには最新式の工場設備によつて始めて成功することに気付くであろう。高級セメントの価値はクリンカの化学組成にあつて微粉碎ではないと喝破したのである、我が国でも巷間に早強ポルトランドと称して現われているセメントには上記スピンドルの指摘したよな普通ポルトランドセメントクリンカを只微粉碎した所謂微細セメントの多いことは警戒すべきで假令表面上早強セメントの規格条項に合格しても初期強度以外の一般セメン

ト品質に於て決して油断が出来ずコンクリートにした場合種々のトラブルが起る遠因を作るのである。

5 ベロセメントの化学成分及び物理的性状

第4表にベロセメントと普通セメント及び市販普通セメントの化合成分と化合物組成を示し第5表に夫々の物理試験成績を示す。

第4表 ベロセメント、普通セメント及び市販普通セメントの化合成分と化合物組成 (日本社品アサノセメント)

品名	化 学 成 分 (%)										化 合 物 組 成			
	強熱減量	不溶解残分	シリカ	アルミナ	酸化鉄	石灰	マグネシア	無水硫酸	合計	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
JisR5210 (早強)	< 4.0						< 5.0	< 2.8						
アサノベロセメント A	0.86	0.61	21.26	4.98	2.88	65.44	1.52	2.00	99.55	60	16	8	9	
〃 B	1.26	0.43	21.15	5.01	2.74	65.79	1.03	2.09	99.50	64	12	9	8	
〃 C	1.25	0.44	21.16	5.24	2.74	65.84	1.24	1.89	99.80	63	13	9	8	
〃 D	1.22	0.30	21.01	5.28	2.80	65.73	1.17	2.09	99.60	64	12	9	9	
〃 E	1.26	0.31	20.99	5.34	2.90	65.83	1.00	1.98	99.65	66	11	9	9	
平 均	1.17	0.42	21.11	5.17	2.82	65.73	1.19	2.01	99.62	63	13	9	9	
JisR5210 (普通)	< 4.0						< 5.0	< 2.5						
アサノ普通セメント平均	0.93	0.41	22.28	5.29	3.00	64.85	1.28	1.43	99.47	51	26	9	9	
28年度市販普通セメント平均	1.62	0.59	21.71	5.24	3.21	63.81	1.69	1.53	99.39	51	24	9	10	

第5表 ベロセメント、普通セメント及び市販普通セメントの物理試験表 (日本社品アサノセメント)

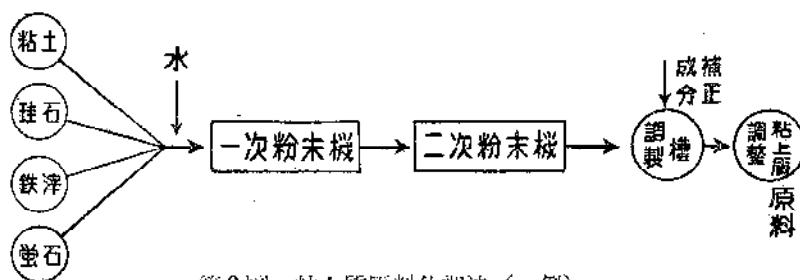
品名	比 重	粉 末 度 比表面積 cm ² /g	凝 結						安定度 パツト 温煮沸	強 度 kg/cm ²								
			0.88フ ルイ %	室温 °C	温度 %	水量 %	始時 分	終時 分		曲 げ 強 度				圧 縮 強 度				
										1	3	7	28	1	3	7	28	
JisR5210 (早強)	>3.05	>3000	< 10.20±3	>80	>1-0	<10-0	完	>10	>25	>40	>60	>40	>90	>180	>280			
アサノベロセメント A	3.12	3910	2.0	20.4	96.27	7.1	48	3-01	完	239	22.8	41.6	58.2	71.4	79	200	308	438
〃 B	3.13	4210	2.0	20.5	94.27	6.2	01	3-29	〃	239	22.0	45.1	61.9	75.1	74	210	325	451
〃 C	3.12	3970	2.4	20.4	95.27	5.2	20	3-36	〃	234	21.4	44.8	58.7	74.4	72	199	324	455
〃 D	3.12	4180	2.5	20.5	96.25	4.1	44	3-04	〃	244	21.8	43.8	58.1	74.5	71	198	312	442
〃 E	3.11	4080	1.4	20.4	96.26	2.1	43	2-57	〃	248	23.9	44.1	58.8	75.3	78	214	328	463
平 均	3.12	4070	2.1	20.4	95.26	9.1	55	3-13	〃	241	22.4	43.9	59.1	74.1	75	204	319	450
JisR5210 (普通)	>3.05	>2300	<10.0	20±3	>80	>1-0	<10-0	完		>12	>25	73.6		>45	>90	>200		
アサノ普通セメント平均	3.15	3160	2.9	20.1	96.26	1.2	03	3-19	完	243	30.4	45.8	68.9		121	215	380	
28年度市販普通セメント平均	3.16	3340	3.1	20.5	94.26	4.2	35	4-06	完	252	23.6	38.8	61.3		89	172	331	

以上第4表 第5表よりして如何にペロセメントが普通セメントに比し優秀であるかが窮知される。

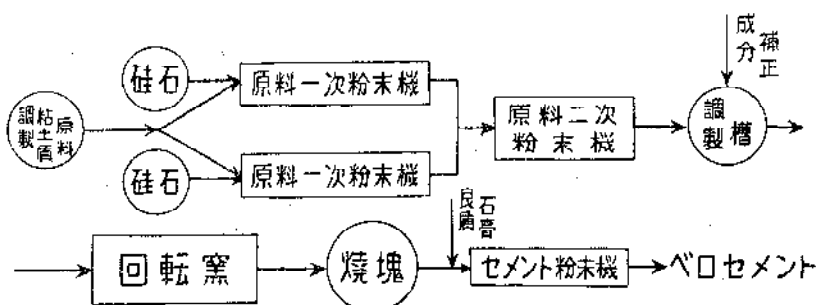
6 ペロセメントの製造に就て

原料として石灰石（純度高きもの）粘土、珪石、鉄滓及び螢石（fluxとして使用）を使用するが普通セメントの製造使用原料に比し其の品質は特に吟味し良質のものを使用する、又仕調される原料は超微細としなければならない。即ち原料の反復粉砕を必要とする第2図及び第3図はペロセメント用原料調製法の一例を示す。

第2図に示す様にペロ焼塊を製造するには成分を厳正にする為粘土類を先ず仕調する、そして所望の成分し



第2図 粘土質原料仕調法（一例）



第3図 ペロセメント原料調製（一例）

た上石灰石に一定の割合で逆送混合し粉砕するのであるが、この粉砕物は更に成分を入念に補正し回転窯に給養して良質炭（7000Kcal/kg）の微粉炭を以て焼成するとペロ焼塊が出来るのでこのものに良質石膏を加え粉砕すると良い。焼成温度は普通焼塊の焼成温度に比し約 100~150°C 高い。但しこの製造工程は高度の科学的管理と厳格な品質管理が要望されるのである。

7 ペロセメントの特徴及び 経済的利点

(イ) タイムセーヴァーとしてのペロセメント

普通セメントは充分硬化するに28日を要すると見做さ置いている、従つて短れて設計強度の基準も4週強度に期間に工事を行う様な場合には支障を生ずる、特に道路の如きは舗装中は交通の遮断を余儀なくされる。この点ペロセメントは早期に高強度を発揮して材令7日で普通セメントの28日の強度に達するから工事の進捗上大いに役立ち、従つて経費を節約し得るので得策である。参考迄に普通ポルトランドセメントと早強ポルトランドセメントとの型枠存置期間標準日数を示すと第6表の如きである（註 本表は土木学会制定無筋コンクリート標準示方書第55条の解説にある。）

第6表 型枠存置期間標準日数表

	構造物側面の型枠	構造物底面の型枠	スパン6m 未満のアーチのセントル	スパン6m 以上のアーチのセントル
普通ポルトランドセメント	4 日	7 日	10~15日	14~21日
早強ポルトランドセメント	2 日	4 日	7~10日	8~14日

又土木学会制定のコンクリート道路標準示方書49条には養生（交通開始までの）期間を第7表の様規定している。

第7表 交通開始迄の期間

普通ポルトランドセメント高炉セメントシリカセメントを用いる場合	14日
早強ポルトランドセメントを用いる場合	7日

何れの場合に於てもペロセメントは普通セメントの場合に比し1/2~1/3の期間で型枠を取り外すことが出来、工事期間を短縮することが出来る。

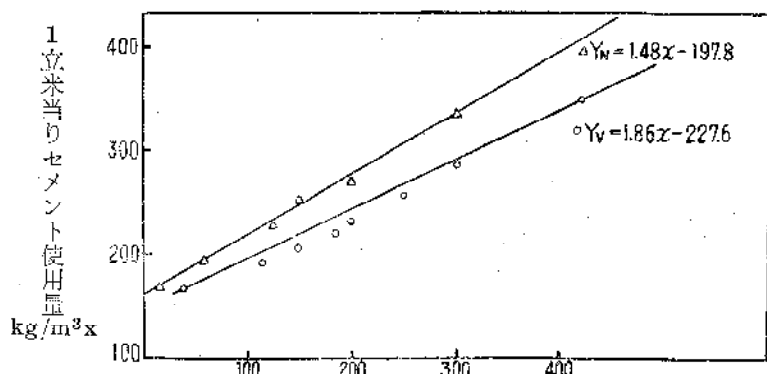
(ロ) セメントセーヴァーとしてのペロセメント

ペロセメントを用いたコンクリートはウオーカビリテイが非常によく、且つ普通セメントを使用した場合に比べてセメント使用量が少なくてすむ利点がある。第4図は普通セメントとペロセメントの 1m³ 当り使用量と28日圧縮強度との関係図である本試験結果は多摩川産骨材を使用してスランプを 15cmとしコンクリート 1m³当りセメ

生産と技術

ント使用量を数種類選んで水セメント比をこれに応じて変化した実験結果を示す、即ち同一スランプ及び強度の

コンクリートを得るにペロセメントを使用すれば普通セメントの約85%ですむ。換言すればセメントの使用量を



コンクリート圧縮強度 (28日) kg/m^3 (y)

第4図 ペロセメント及び普通セメントの 1m^3 当り使用量とコンクリート28日圧縮強度との関係 (日本社品)

約15%減少せしむることが出来る。このことは 1m^3 当りのセメント使用量を許される最低限にとるならば構造断面の縮小も可能となることを意味する、即ちペロセメントの価格が多少高くても工事の規模によつてこれを相殺することが出来るしペロセメントの早強性に基く型枠存置期間の短縮という利点加はつて工事費の過減が可能である。

(ハ) ペロセメントの水密性

コンクリートが侵蝕水又は悪水に依り破壊され主原因は其の水密性の不良に起因することが多い、この点ペロセメントは防水剤を加えなくとも如何なる防水剤を加えた普通セメントコンクリートよりも水密性に富んでいる。第8表は日本社アサノペロセメント及びコンクリートの透水度試験成績表を示したものであり、そ

第8表 コンクリートの透水試験成績表
(試験体の透水面積 200cm^2 厚さ 10cm)

セメントの種類	コンクリート配合割合	水セメント比	透水圧力気圧	透水量 cc/br		
				3	7	28
アサノペロセメント	1 : 2 : 4	0.7	3	0	0	0
	"	0.8	"	31	3	0
	1 : 3 : 6	0.9	"	244	0	0
	"	1.0	"	217	54	18
普通セメント	1 : 2 : 4	0.6	"	615	82	1
	"	0.7	"	674	227	24
	1 : 3 : 6	0.8	"	—	3,002	1,340
	"	0.9	"	—	9,295	2,910
シーカ (+ 5%)	1 : 2 : 4	0.7	"	323	119	4
トリコザール (+ 5%)	1 : 2 : 4	0.7	"	35	10	0
カル (+ 5%)	1 : 2 : 4	0.7	"	63	1	0
セライト (+ 5%)	1 : 2 : 4	0.7	"	121	2	0
珪藻土 (+ 5%)	1 : 2 : 4	0.7	"	—	18	—

の優秀性を物語っている。

(ニ) ペロセメントの低収縮性

ペロセメントは上述した様に科学的、且、合理的な製造法と管理とによつて其の焼成の化学的、鉱物的本質に重点を置いており粉末度は多少細くても収縮が小さいことは第5図及び第6図に示す通りである、其他ペロセメントの化学的侵蝕に対する抵抗性特に海水或は硫酸塩に対する抵抗性は普通セメントに比し優秀である。

8 ペロセメントコンクリートの温度上昇及び酷暑期に於ける

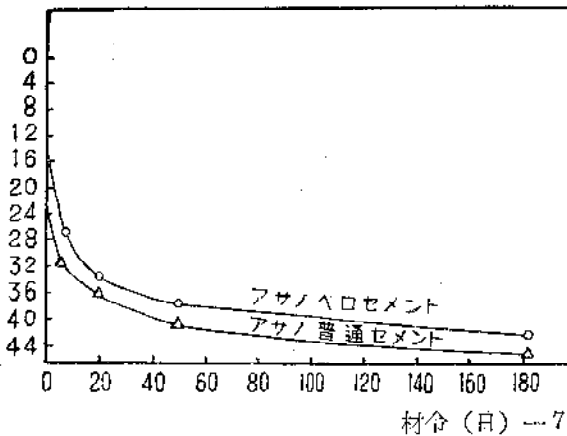
工事に就て

日本セメント株式会社研究所の研究に依れば完全断熱状態に近いコンクリートの温度上昇試験を昭和10年以来研究しているがその結果は第9表に示す如く最高 6.3°C の温度上昇を示している。即ちこの結果よりして厳冬時普通セメントで施工が困難な場合ペロセメントを使用すれば工業を進めるのに好都合と云えよう (註 試験に用いたコンクリートの供試体は直径 30cm 高さ 25cm の円筒形のものでその配合は (A) は $1 : 2.29 : 4.58$ (B) は $1 : 2.37 : 4.74$ としてスランプは夫々 8cm 水セ

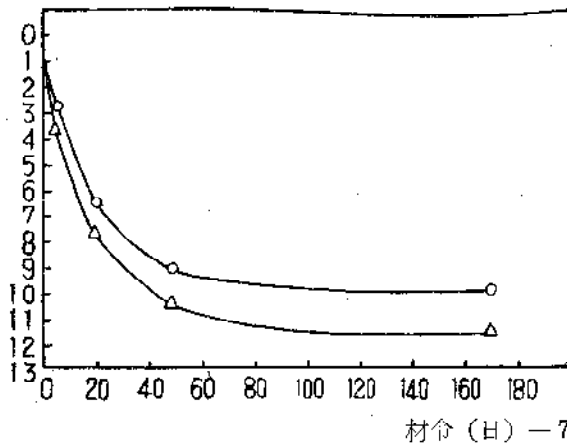
第9表 コンクリート断熱温度上昇状況

(日本社研究所試験)

材令	アサノペロセメント (A)	アサノ普通セメント (B)	差(A)-(B)
0分	0.0°C	0.0°C	0.0°C
6時間	6.7	5.4	+1.3
12時間	11.6	9.7	+1.9
1日	21.4	17.7	+3.7
2日	35.3	29.0	+6.3
3日	40.13	4.5	+5.6
4日	41.83	7.0	+4.8
5日	43.33	9.0	+4.3
6日	44.54	0.6	+3.9
7日	45.5	41.6	+3.9
実験開始温度	19.6	19.3	—



第5図 純セメントによるペロセメント及び普通セメントの収縮比較(日本社研究所試験結果) 純セメント収縮率(%) × 10²



第6図 軟練モルタルによるペロセメント及び普通セメントの収縮比較(日本社研究所試験結果) 軟練モルタルによる収縮率(%) × 10²

メント重量比は53%であつた。

尚このペロセメントを使用した寒冷工事の代表的実例としては満州松花江の鉄道工事に零下 40°C の酷寒を克服して見事完成したことを以てしても如何に酷寒時の工事にペロセメントが適当であるかが立証されている。尚上述の優秀性の外に色々秀れた利点があり特に最近脚光をあびて来た P.S コンクリート等はペロセメントを使用して初めて製作可能である事実を以てしても如何にすぐれているかが判る。

以上ペロセメントに就ての概念を略述したが、該セメントに関し多少の知識を得て頂けば筆者望外の幸と思う次第である。

(40頁より続く)

得るかどうか知らないが面白い研究を紹介したい。

胃腸から吸収せられたアルコールは血液から肝臓に入るか、肝臓から血液内に入るか何れにしても飲酒後血液内にアルコールがありその酔いの程度に応じ血中アルコールが1cc中1~4mg程度あり5mg/ccでは致死量とはクラシクな研究結果でしばしば引用せられるところである。

最近北海道大学の桜井正夫氏(北海医、27巻781附27)は家兎を用いて肝臓の有無とアルコールの関係を見ている。

家兎の肝臓を完全に遮断したものにアルコールを給与して血液中のアルコール濃度を計ると肝臓を遮断しないものに較べて血中アルコールの低下が著しく遅延する、しかしやはり血中アルコールの消失は見られる。

肝臓を約20%残すと健常時に較べアルコールの酸化係数は殆んど変化なく、肝臓18%ではやゝ減少し肝臓残存率15%以下では著しくアルコールの酸化係数は低下するという。

この結果から結論して肝臓はアルコール代謝の主役を演ずるものとは考えられるがこれのみでアルコール酸化を営む器官とは考えられないとしている。この結果は一般人はどう見るであろうか。ノイローゼ気味の人では肝臓の悪いということはもうそれが健全肝臓の20%以下になっているのではなからうかと心配することであり、神経の太い人物にあつては肝臓が20%以下になるまではまだまだ酒を恐れることはあるまい、まづそれまではとも併積するのではなからうか。

(筆者は阪大工学部教授)