



技術

土木工事用セメントの化学的考察（三）

西川榮三

第五節 Pine Canyon Dam セメント

Pine Canyon Dam に使用せるセメントは大體 3 種にして其の一つは普通ポルトランド・セメントの規格に合格するもの、其の二は多少之に改良を施せるもの、其の三は低熱セメントであつて、ダムの本體に使用するもので、次の如き特種の規格が設けられて居る。

1.	7 日までに発生せられる水和熱	65 <i>cal/g</i> 以下
28日	"	80 " "
2.	アルミ酸三石灰	6 % 以下
3.	粒度 200番篩通過	85~89%

4. キルダル耐壓強度 28日

7日の強度に對して35%以上

大にして、且つ 2000 lbs/in^2 以上たるべし。

かくの如く、低熱セメントの規格は其の目標す所が、従来の強度のみを主眼とする標準規格と、全く異つたものである。

第六節 Hoover Dam セメント

Hoover Dam に於て使用せられた低熱及中熱セメントは次の如き規格によるものである。

第九表 Hoover Dam 低熱及中熱セメント暫定規格

項	低熱セメント或は A 型セメント 成分 灰熟減量 不溶解残渣	目		中熱セメント或は B 型セメント 成分 %	同 左
		3.00 以下	0.50 "		
SO_3		2.00	"	同	左
MgO		4.00	"	同	左
遊離 CaO		1.50	"	同	左
$Fe_2O_3:Al_2O_3$		1.50	"	同	左
粗礦二石灰 $2CaO:SiO_2$	60%	"		規定せざ る	
アルミ酸三石灰 $3CaO:Al_2O_3$	5%	"		4.0% 以下	
珪酸三石灰 $3CaO:SiO_2$	.....			60% 以下	
粒度 Sp. Surface cm^2/g	1300~1700			1200~1600	

(200番筋通過) % (87~97)

(85~95)

安定度

O. K. O. K.

凝結時間

始發

同

左

Gillmore Needle 終結

10. 時 00分

同

左

強 度

3×6" コンクリート圓盤により、Hoover Dam 用の骨材を用る
(3/4" 以下); 配合 1:5.2, 水量 3in スラッシュ ($10\frac{1}{2}$ in 圓盤に

よる) 試験す。

7 日

1000 lbs/in^2 以上

2000 lbs/in^2 以上

28 日

2000 "

3000 lbs/in^2 以上

但し 7 日の強度の 1.5 倍以上

但し 7 日の強度より大

水和熱

7 日

60 cal/g 以下

.....

28 日

70 cal/g 以下

.....

本試験に用ひる試料は、工場に於てセメント・ビンへ送る途中のコンベイヤー上より採取する。Specific Surface, 標準

稠度、凝結、安定度等は 400 檻毎に検し、化學分析、水和熱、耐壓強度等は 2000 檻毎に試験する。この中 Specific Surface の試験は U. S. Bureau of Standard 式の Turbidimeter に依るもので、水和熱の測定は溶解法に依り Riverside Cement Co. 型のカルリメーターを用ひて行ふものである。

第七節 大量コンクリートの收縮と化學成分

Byram W. Steele の記載する所によれば、大量コンクリートの温度の變化による收縮率は 1°C 每に 0.0000045 乃至 0.

0000054 位であり、コンクリートの熱の放散に對しては、其の比熱及比重の差による影響は少くして、其の熱傳導度の差による影響が大である。而して熱傳導度の差は其の中の骨材の相違によつて生ずる。

コンクリートの收縮は其の中のセメントの種類により程度を異にするもので、温度の變化による收縮よりも、水分の減少による收縮は一層大であつて、Hubert Woods, Howard R. Starke, Harold H. Steinour 等が 1:3 モルタルを用ひ、276 日に亘り、含湿度の變化による收縮を測定せる所に依れば、水分の飽和せるものが、漸次乾燥し行く時は日と共に收縮し、520 日間に 0.10~0.12% の長さの變化を見る。之を温度の差 30°C に對する變化 0.015% に比較すれば遙かに大である。然してこの含湿度の變化による收縮は、セメントの 4 主要成分含有の割合によりて異なるもので、成分を異にする種々のセメントに對して、實測せる收縮率の相違より、4 主要成分が收縮に對する分擔割合を算出せるものは次の如くであると云ふ。

	收縮の割合
3 CaO. SiO ₂	0.46
2 CaO. SiO ₂	1.06
4 CaO. Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	1.68
3 CaO. Al ₂ O ₃	3.22

之に依りて見る時は、3 CaO. Al₂O₃ の多きものは、温度變化による收縮大なるものと考へなければならぬ。而して收縮は少くも約 1 ヶ年間繼續するも、最初の 80 日以後は其の度が遙かに少い。

第八節 道路用セメントの主成分とその耐久性

Ira Paulによれば、1920年及1930年に於けるボルトランド、セメントの主成分は次の如くであると言ふ。

第10表 1920年及1930年に於けるボルトランドセメント

主成分の比較

セメント別	3 CaO. SiO ₂		2 CaO. SiO ₂		合計	
	1920年 %	1930年 %	1920年 %	1930年 %	1920年 %	1930年 %
A	28.36	55.43	43.77	19.37	72.13	74.80
B	38.29	46.19	29.03	21.98	67.38	68.17
C	34.26	46.72	37.30	27.58	71.56	74.30
D	37.89	49.04	30.57	20.14	69.46	69.18
E	36.75	57.10	32.31	14.94	69.06	72.04
平均	35.11	50.89	34.61	20.62	69.92	71.70

即ち1920年の製品は比較的珪酸三石灰 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ に乏しく、珪酸二石灰 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ に富み、1930年の製品は珪酸三石灰に富み、珪酸二石灰は甚しく低下して居る。換言すれば、近代に至りては、高石灰低珪酸型のセメントが多くなつて来た。このことは初期強度を高めるために有利であるが、鋪装の耐久性に對して果して如何であらうか。

同氏が各年代の種々のコンクリート鋪装について主成分及其の質績等を検した所を見ると概略次の様である。

第11表 各年代コンクリート鋪装の質績とそのセメント

成分との關係

番號	年代	主 成 分		細胞材安定度		1932 年に於ける錫製の状況
		3 CuO. SiO ₂ %	2 CuO. SiO ₂ %	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄	
1	1914	21.61	51.88	6.0	15.1	優良。
2	1920	37.89	30.57	6.8	20.7	良好にして安定。
3	1922	39.44	29.03	6.8	20.7	稍剥落。多少龜裂。但しコングリートは安定。
4	1923	38.22	35.97	6.8	20.7	良好なれど稍龜裂。稍剥落。但し安定。
5	1923	43.27	27.46	6.8	20.7	不良。1930 年表面處理を施した。
6	1924	43.47	29.81	6.8	20.7	1928 年表面處理を施した。
7	1924	43.47	29.89	6.8	20.7	不良。1929 年表面處理を施した。
8	1924	44.93	25.43	4.4	39.4	不良にして表層して居る。
9	1924	48.96	21.19	8.7	56.4	100% 剥落。表層。
10	1925	41.83	24.54	6.8	20.7	50% は表面處理を施した。崩壊。
11	1925	41.06	28.37	6.8	20.7	崩壊。
12	1926	37.97	36.60	3.5	28.4	良好。安定。
13	1926	41.66	28.37	3.5	28.4	30% 剥落。表層。
14	1926	44.93	24.37	5.3	30.1	75% 剥落。表層。施工後 2 年にして剥落はじまる。
15	1926	36.22	32.84	7.6	30.1	良好。安定。
16	1927	39.03	35.41	3.1	33.1	良好。安定。
17	1928	53.18	18.22	6.8	20.7	90% 剥落。表層。
18	1929	47.37	24.76	6.8	20.7	剥落進行中。空隙多し。

19 1929 49.90 20.08 5.3 30.1 刺落進行中。はげしい。
20 1930 48.59 25.56 5.3 30.1 刺落はげしく既に30%に及ぶ。

コンクリートの良否は、セメントの成分のみの爲でないかも知れないが、上記の結果より見れば、 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 含有量40%以上のものは、いづれも剥落、表層はげしく、結局て於て高石灰セメントは、舗装用として耐久性に乏しきものの様である。 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ は硬化迅速であるが、水和生成物として $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生じ、このものは水及風化作用に弱く、又凍結融解等に對しても抵抗性が弱いから $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ の含有量高きセメントは耐久性に乏しい結果に陥り易い。 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ は硬化はおそいが、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生せず、従つて上記の如き缺陷を生じない。早強性を望む結果、高石灰セメントを舗装用に使用することは相當考慮を要するものではなからうか。

第九節 ポルトランド、セメント成分の今昔

P. H. Bates は、アメリカに於ける約 20 年前のポルトランド・セメントと今日の製品との成分を比較して居る。

第12表 ポルトランド・セメント成分の今昔

年 代 合 計	MgO	SO_3	MnO	K_2O	CO_2	3 C.S	2 C.S	3 C.A	4 CAF	備 考	
										$3\text{C.S} = 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1W
1W 1918	3.2	1.4		44	30	11.0	6.5				
1W 1930	3.4	1.8		47	24	15.0	6.0				
2W 1918	1.4	1.7		35	36	14.5	7.5				
2W 1930	1.6	1.5		37	34	17.5	6.5				
3W 1914	3.7	1.3		32	40	11.0	8.0				
										$= 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	

4W	1918	1930	3.8	1.6	46	25	14.5	6.0
5W	1918	1930	1.9	1.5	46	24	15.5	7.5
6W	1918	1928	2.6	1.4	45	25	16.5	7.5
7W	1914	1930	1.2	1.5	51	21	11.5	9.0
8W	1914	1930	1.0	1.5	43	30	13.0	8.0
9W	1914	1930	1.5	1.4	46	24	11.5	9.5
10W	1914	1929	3.4	1.6	50	22	13.0	7.0
11W	1918	1930	1.3	1.5	33	42	16.0	7.5
12W	1914	1930	1.7	1.4	30	41	26	36E, 37E, 38E
13E	1911	1932	2.4	1.1	41	32	12.0	9.0
			0.32	0.66	40	33	13.5	7.0
			1.4	1.4	41	32	12.5	7.0

1Wより12Wまでは西
部諸州或はコロラド州
のセメント。

13Eより41Eまでは東
部大西洋岸諸州及ミシ
シッピーベー渓谷諸州のセ
メントである。
製造し居ら。

14E	1909	2.8	1.7	0.30	0.63	0.30	42	27	15.5	8.0
	1932	1.5	1.0				51	23	7.0	13.0
15E	1909	1.6	1.4	0.16	0.54	0.15	40	34	12.0	11.0
	1932	.....	1.8				60	14	8.0	11.0
16E	1909	3.1	1.6	0.16	0.54	0.15	35	32	17.0	8.0
	1932	2.9	1.8				47	22	15.5	7.5
17E	1909	3.3	1.8	0.16	0.80	1.11	27	39	16.5	7.5
	1932	3.2	1.9				47	23	14.5	7.5
18E	1909	2.8	1.5	0.41	0.75	1.08	41	27	15.5	8.0
	1932	3.2	1.8				43	26	15.5	7.5
19E	1909	3.9	1.4	0.24	0.26	0.92	45	22	16.5	6.5
	1932	3.0	1.7				56	14	12.5	9.5
20E	1909	3.1	1.5	0.40	0.32	0.86	27	42	15.0	8.0
	1932	2.6	1.8				42	26	16.0	7.5
21E	1909	3.5	1.5	0.16	0.28	0.52	41	30	12.0	8.5
	1932	N.D.	1.6				45	27	13.5	7.5
22E	1908	0.7	1.5	0.68	0.44	0.37	31	45	0.0	18.0
	1932	N.D.	1.9				52	24	7.0	11.5
23E	1910	1.8	1.4				31	41	13.0	9.5
	1932	2.3	1.9				49	20	13.0	10.5
24E	1910	3.4	1.0				35	40	10.5	7.5

25E	1909	1932	....	1.8	50	22	11.0	8.0
26E	1909	1932	1.5	1.6	40	35	12.5	7.5
27E	1909	1932	3.0	1.6	0.26	0.56	0.78	32
28E	1909	1932	3.4	1.8	0.44	0.27	0.22	41
29E	1909	1932	3.1	1.9	34	36	13.5	7.5
30E	1909	1932	3.5	1.4	47	22	15.0	7.5
31E	1909	1932	0.7	1.7	16	55	14.0	8.0
32E	1909	1932	1.0	1.6	51	24	13.0	7.5
33E	1909	1932	1.8	1.5	37	38	12.5	6.5
34E	1909	1932	2.6	1.8	53	21	11.0	6.5

35E	1909	1.3	1.5	0.12	1.14	11	56	19.5	7.0
	1932	1.7	1.6			58	16	12.5	9.0
36E	1909	0.6	1.0	0.17	0.19	0.88	34	40	7.0
	1909	0.8	1.2	1.54	0.24	1.01	49	22	0.0
37E	1909								17.0
38E	1909		0.9	1.4	0.24	0.51	44	22	8.5
	1909								21.0
39E	1909	1.0	1.4	0.23	0.63	0.27	31	43	15.0
	1909	2.3	1.5	.....	.....	.....	39	29	12.0
40E	1909	0.5	1.7	0.20	0.28	0.69	34	42	0.0
	1909								14.5
41E	1909								41Eはエルツセメント

上記の比較を見るに、約 20 年前の製品に比し、現今 の 製品に於ては珪酸三石灰の量は、大體に於て増加して居り、平均増加 11% (減少せるものの最大量 -21%; 増加せるものの最大量 47.0); 硅酸二石灰は大體に於て減少し (減少せるもの最大量 -40%; 增加せる最大量 +24%); アルミニ酸三石灰、テトラカルシウム・アルミニ・フェライトの兩者は、特殊のものを除いては大體に於てあまり増減がない。——平均増加率 -0.17%; +0.09%

この年代による成分の相違は、主としてボルトランド・セメントが早強性をのみ主眼として發達せるを示せるもので、低硅酸高石灰に變化し来るものである。恐らく現今 の 本邦セメントについてもこの傾向は認めらるゝものであらう。而してアルミニ酸三石灰、テトラカルシウム・アルミニ・フェライト等にあまり變化を來して居ない所を見ると、セメントの化學的抵抗性、セメントの發熱性、セメントの膨脹收縮性等の改良に對しては、特種のものをぞきては、一般に未だ深い考慮が拂はれて居なかつたものと見られる。

41E はエルツセメント(鐵セメント)であり、 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ を缺如し、22E 及 37E も $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ を缺いて居る點は、鐵セメント或はカリクリートに類するものである。

上記の如き現代セメントの傾向を見る時は、之を土木工事用として使用するには、諸種の點に於て考慮しなければならない事が分る。

第十節 水硬湿化セメント Bituminized Cement

概説。水硬湿化ポルトランド・セメントは、最近發達せるものにして、通常のポルトランド・セメントが道路鋪装に使用せられたる後に於て屢々龜裂、破壊等を生ずる缺點あるを遺憾とし、之に代ふるに水硬湿化ポルトランド・セメントを用ひて、其の缺點を輕減しようとの目的より造り出されたもので、瀝青とポルトランド・セメント・クリンカー粉末との混合物である。

獨逸、フランス、スウェーデン、ユーゴースラビア及フィンランド等に於ては、歐州大戦中捨て、顧みられなかつた道路、殊に大戦の激甚なる交通に依つて極度に破壊せられた水縮マカダム道、瀝青マカダム道等の路面處理に對して湿化セメントを用ひ、透入式セメント・マカダム工法に依て施工した場所は延長 200 哩に達して居ると言ふ。

獨逸のドレスデンに於ては、1931 年舊マカダム道の上にこの工法を施して居るが、10~12ヶ月後に検査した所に依ると蓄路面を掘さ起し、面均し後に、2.5~6.25cm の花崗岩碎石を下層とし、上層に 3.7~2.5cm の碎石を撒布し、湿化セメントを膠着として用ゐたものであつた。

これ等の道路は住宅街にあるものが多いが、其の或るものは 1 日交通量 800~1000 噸に達する工場地域にあり、鐵車輪

の影響を受くることが多かつたが、龜裂崩壊等を見なかつた。

パバリアにては下層には 5cm の碎石層を用ひ、上層には 3.7~2.5cm の碎石を用ひる配 1 : 2 配合のダルートを行つて居るが、其の成績は同様である。

Saxon Ministry of Finance の道路局の報告に依れば、8cm 鋪装に對し、1 平方碼 3.75 マルクにて足りる。而してこの道路は輒壓後直ちに交通に開始して差支なく、其の後の経験によれば上層に對して、2.5~3.7cm の碎石を用ひ、1 : 1 のダルートを行ふを得策とすると言はれて居る。

1932 年 Stuttgart の Technische Hochschule に於ては、徑約 9m 幅 3cm の圓形試験鋪装をつくり、 $1\frac{1}{3}$ 吨の試験荷重を回轉して試験を行つて居る。鋪装は厚 7.8cm、幅 37.5cm の鐵輪で輒壓し、輒壓終了後、ヨムタイヤーとかへ、2 日後より 5 日間、約 15km/h の速度にて試験輪を回轉し、全廻數 143,700 に達した。この結果の磨耗量は 0.1mm であつた。次にソリッド・タイヤにて 141,100 廻の運轉にて磨耗 11mm、次にソリッド・タイヤにて 21km/h の速度にて 91,800 廻の運轉を行ひたる所 0.3mm の磨耗であった。即ち 502,800 廻の動荷重に對して、 $11\frac{1}{2}$ mm の磨耗を示して居る。

米國に於ては Medusa Portland Cement Co. は 0.75km の試験鋪装を造り、更に 1930 年同延長の試験鋪装を行つて居るが、兩道路共崩壊の現象はなかつたと言ふ。

水硬滲化セメントの性質。Walter Dyckerhoff に依れば、水硬滲化ポルトランド・セメントの性質は、其の製造方法に依つて大いに異なるので、滲化質材料を石灰岩粉末と混捏し、之に更に石灰粉末を混合してこの混合物をセメント・クリン

カーフ粉末と混合する舊式の方法に依る製品はセメント粒子の表面を滌青質材料にて被覆する結果、其の凝結硬化の作用を甚しく害する處がある。之に反して滌青を熔融し、或は粉末となし、之を噴霧状態となし、セメント粉末の噴霧状態のものとを混合する時は、滌青の粒子は單にセメント粒子の間に介在するに止り、セメント粒子の表面を被覆する事がないから、セメントの凝結硬化の性質を著しく害することがない。

Spannberg が滌化セメントについて抗曲試験を行つたものによれば、常温養生に於ては、滌化セメントの抗曲強度はボルトランド・セメントに優ることは認められないが、-15 C, 70 C 間の冷却加熱を反復する時は、ボルトランド・セメントは126日間に甚しく抗曲強度が衰へるが、滌化セメントは、寒冷及暑熱の影響を受くること少く、常温養生のものと同程度の抗曲強度を示して居る。

専門化セメントとボルトランド・セメントとの性質を比較したものは次の例に見ることが出来る。

第13表 水硬滌化セメントの性質

項目	普通ボルトランド・セメント	滌化ボルトランド・セメント
灼熱減量	%	1.5
滌青 ベンゾール	%	0.0
水重	%	3.6
凝結時間 始発	分	28
		35
終結	分	180
		300
安定度		360
		540
安定度		安定

強度	度 1:3 モルタル	抗張	融解	抗張	耐壓
3日	水中 kg/cm^2	23.0	240	17.0	145
7日	" "	25.0	301	25.0	242
28日	" "	29.0	393	32.0	290
3月	" "	36.0	450	32.0	360
28日	聯結 " "	41.0	453	45.0	347
抗張 : 耐壓					
3日	水中	10.4		8.8	
7日	" "	12.0		9.9	
28日	" "	13.5		9.2	
3月	" "	12.5		11.3	
28日	聯結	11.1		7.7	

澱化セメントは凝結時間は稍長く、其の際の温度の上昇は幾分は止まる。又其の膨脹収縮は普通セメントよりも少
寒暑の差による龜裂の發生崩壊等を防ぐには有力なるものの如くである。(完 8.10.4)