

河川部門一自由課題

第19回建設省技術研究発表会

最近のダム用セメントの品質

106

昭和40年11月

建設省土木研究所
化学研究室

最近のダム用セメントの品質

建設省土木研究所

建設技官 大 場 正 男

〃 小 島 逸 平

1. ま え が き

戦後、建設省は国土総合開発の一環としてダム建設に尽力して来たのであるが、これらダム建設に使用するセメントにも大いに関心を持つて来た。特に、安価なセメントを得ること、ポルトランドセメントの性質改善および資源の高度利用等の観点から、ダム用セメントとして高炉セメントを使用することに関心を持つてきた。

土木研究所では、これらダム用低発熱型セメントの品質の実態を把握するため、上椎葉ダム用中庸熱セメントをはじめとして、多くのダム用セメントの依頼検収試験を行い、ダム用セメントの品質について検討して来た。そこで、これら過去に試験を行つたセメントの品質と、最近依頼検収試験を行つた横山、天ヶ瀬および箇原の各ダム用セメントの品質とを比較し、最近のダム用セメントの品質の検討を行つた。

他に、セメントの品質試験上および使用上注意すべき点についても2、3報告する。

2. 試験結果および考察

当土木研究所でセメントの依頼試験を行つたダムは十数ヶ所にも及ぶが、1表に示すダムを代表として選り、セメントの品質を比較検討した。

品質試験結果はその主要な項目について平均値、最大値および最小値を2表～5表に示す。

i) 比 重

各ダムで用いたセメントの比重の平均値は2表に示したごとく、高炉セメントで3.03～3.06の範囲にあり、中庸熱セメントでは3.20～3.21の範囲にある。

ii) 粉末度

88 μ フルイ残分については表示しなかつたが、88 μ フルイ残分(%)の平均値は高炉セメントでは鐘畑1.9、目屋1.7であり、二瀬、大倉、皆瀬、横山、箇原では0.5～1.3の範囲にあり、十年前のセメントより、最近や μ フルイ残分が少なくなっている。中庸熱セメントでは、上椎葉の平均値が2.2の長安口2.1、天ヶ瀬2.1であり、十年前のセメントも最近のセメントも88 μ フルイ残分に関しては変化が認められない、いずれにし

1表 試験ダム名

ダム名	所在地	ダム型式	使用セメント	使用期間	使用量 (千トン)	試験回数	製造工場数
鑑畑	秋田	重力	高炉	29.11~32.1	43	56	2
目屋	青森	〃	〃	33.2~34.10	22	43	1
二瀬	埼玉	アーチ	〃	33.12~36.1	128	58	1
大倉	宮城	〃	〃	34.7~36.7	52	52	1
皆瀬	秋田	ロックフィル	〃	35.5~37.12	16	16	1
横山	岐阜	中空式重力	〃	36.8~38.11	60	50	1
関原	群馬	重力	〃	37.10~40.2	46	46	1
上椎築	宮崎	アーチ	中浦熟	28.6~30.6	94	38	3
長安口	徳島	重力	〃	28.44~31.3	55	60	3
天ヶ瀬	京都	アーチ	〃	37.2~38.8	37	16	1
横山	岐阜	中空式重力	〃	36.8~38.11	21	20	1

2表 各ダム用セメント試験結果(比重、ブレン値、水和熱)

ダム名	使用 セメント	比重	ブレン値 (cm/g)		水和熱 (Cal/g)					
			平均値	最大値 最小値	1 平均値	W 最大値 最小値	2 平均値	W 最大値 最小値	4 平均値	W 最大値 最小値
鐵 畑	高 炉	3.03	3730	4010 3410	60.2	68.7 47.2	—	—	79.0	85.1 66.7
目 屋	〃	3.03	3540	3750 3370	59.3	66.7 51.0	—	—	79.9	83.0 75.6
二 瀬	〃	3.05	3670	3780 3570	59.1	65.8 53.4	—	—	75.6	84.5 68.0
大 倉	〃	3.06	3730	3930 3470	56.7	60.2 51.3	—	—	76.9	82.2 70.4
皆 瀬	〃	3.05	3630	3720 3530	58.4	65.3 53.9	—	—	73.3	76.2 69.7
横 山	〃	※3.02	※3470	—	59.6	67.8 52.4	70.7	75.8 67.2	79.7	85.2 73.2
國 原	〃	3.04	3550	3600 3440	57.5	64.8 50.8	67.3	75.6 60.1	74.8	79.8 70.2
上 椎 葉	中庸熟	3.21	3210	3460 2970	55.8	65.4 48.1	—	—	72.3	80.0 65.3
長 安 口	〃	3.21	3240	3540 2980	55.5	66.3 48.4	—	—	71.5	79.8 63.3
天ヶ瀬	〃	3.20	3040	3160 2880	58.7	64.5 52.6	69.5	72.6 64.1	76.4	79.4 72.3
横 山	〃	※3.21	※3030	—	58.6	63.4 50.4	68.8	72.8 64.3	76.8	80.3 72.6

※ 製造者側成績

てもフルイ残分はJIS規格および仕様規格を充分満足するのみならず、得られる値も小さく、又変動も非常に少ないため、フルイ残分による粉末度試験はあまり有意義ではない。ブレン比表面積は平均値をみると、2表より明らかなごとく、高炉、中庸熱セメントとも一般に最近のセメントがやや低い値をもつ傾向が認められる。高炉セメントは中庸熱セメントに比して約 $500 \sim 700 \text{ cm}^2/\text{g}$ 大きいブレン値を与えている。ブレン値の変動の範囲を検討すると、高炉セメントでは、澁田ダム最大のブレン値 $4010 \text{ cm}^2/\text{g}$ と最小値 $3410 \text{ cm}^2/\text{g}$ の間には約600もの差があり、目屋ダムの場合は約400の差がある。しかし、最近建設された函原ダム用セメントでは最大値3600と最小値3440との間に約160の差があるのみである。中庸熱セメントの場合も同様な傾向を示し、粉末度に関して最近のセメントは極めて均質であるといえる。

iii) 強度

3表に各ダム用セメントのモルタル強度試験結果を示す。高炉セメントでは一般には4週モルタルの圧縮強度が 340 kg/cm^2 前後のセメントが製造されているが、最も最近建設された函原ダム用セメントは、過去のセメントよりやや弱く、平均 308 kg/cm^2 を示している。これは水和熱を低くすることに力を入れてセメントを製造したためとも思われるが、混合材として使用したSlagのCaO含有量がやや低いこととも関連がある。

中庸熱セメントは、4週の圧縮強度をみると、最近のセメントの方が高い値を示しているが、2表に示したごとく水和熱も、これと比例的に高くなっている。

高炉セメントと中庸熱セメントを比較すると、3日強度で高炉セメントがやや低い値を示す傾向が認められる以外、4週迄の強度試験では、特に両者の間に目立つた差異はない。

強度の変動範囲を検討すると、高炉、中庸熱両セメントとも一般に十年前の澁田、目屋、上椎葉、長安口の各ダム用セメントでは最大値、最小値の差が大きく、4週モルタルの圧縮強度について検討すると、 $160 \sim 180 \text{ kg/cm}^2$ ものひらきがある。一方最近の函原ダム用高炉セメントは、4週の圧縮強度の最大、最小値の差が 80 kg/cm^2 であり、天ヶ瀬ダム用中庸熱セメントでは、 60 kg/cm^2 を示し強度に関しても最近のセメントは高炉、中庸熱両セメントともセメントのバラツキの範囲が小さくなっている。

iv) 水和熱

2表に各ダム用セメントの水和熱測定値を表示している。高炉セメントの水和熱は、十年前の高炉セメントと最近の高炉セメントでは目立つた差異はない。最近の中庸熱セメントは、十年前の中庸熱セメントに比してやや高い水和熱を与える傾向が認められるが、これに比例的にモルタル強度もやや高いものが得られている。最近のセメントの水和熱に関しては、特に高炉と中庸熱両セメント間に目立つた差異は認められない。各材料における最大値と最小値との差を検討すると比較的大きな値を示す。これは水和熱測定の精度上の問題から来る実験誤差もかなり含まれている。熟練した測定者でも、同一試料の2回の水和熱

3表 各ダム用セメントモルタル強度試験結果

ダム名	セメント	曲げ強度 (kg/cm ²)						圧縮強度 (kg/cm ²)					
		3日		1W		4W		3日		1W		4W	
		平均値	最大値 最小値	平均値	最大値 最小値	平均値	最大値 最小値	平均値	最大値 最小値	平均値	最大値 最小値	平均値	最大値 最小値
鋳畑	高須	22.6	29.6 15.4	36.4	49.1 26.2	63.3	76.4 51.1	80	127 55	151	189 99	358	437 278
目屋	〃	18.7	24.6 13.3	32.6	44.0 23.9	64.8	73.9 56.1	65	88 42	138	187 93	374	459 304
二瀬	〃	20.3	25.6 14.0	31.1	37.4 24.0	60.9	68.1 48.2	66	88 45	122	167 90	344	401 230
大倉	〃	18.8	22.2 14.6	30.2	36.5 26.0	63.9	74.6 58.2	60	69 46	119	141 98	341	381 301
皆瀬	〃	20.8	25.1 19.2	30.8	35.3 28.6	61.3	65.4 58.3	69	87 59	122	155 111	340	359 317
園原	〃	20.1	23.3 16.8	30.2	34.3 24.4	59.8	70.9 53.6	67	85 49	115	137 90	308	354 272
上椎葉	中庸熱	22.8	31.1 15.0	37.1	48.1 27.2	64.2	84.4 50.5	76	113 51	137	197 89	278	375 199
長安口	〃	20.9	28.8 12.5	34.6	46.8 24.3	63.6	88.1 45.5	75	119 41	128	181 72	286	373 189
天ヶ瀬	〃	22.0	26.3 18.3	34.8	41.3 30.3	62.1	69.8 53.9	78	94 60	137	171 122	337	357 302

測定値間に 2 Ca1 以上の差のある場合が少なくない。

V) 化学分析

4 表に各ダム用セメントの化学分析結果の平均値を示し、7 表にはクリンカー組成を示す。高炉セメントについてはスラグの塩基度及びセメントの推定配合量をも示す。

高炉セメントでは、十年前の鎢畑、目屋ダム用と、最近の横山、箇原ダム用セメントとの間には、CaO 含有量の相違が認められる以外、すべてのダム用セメントの各成分とも特に目立つた差異は認められず、過去、現在とも極めてよく類似した化学組成を持つセメントが得られている。

高炉セメントの CaO 含有量は最近のセメントの方が過去のセメントに比して 1~2 % 少ない。これは 5 表に示したスラグの CaO 含有量とも関連があろう。スラグの CaO 量は最近やゝ少なくなっており、塩基度も箇原ダム用スラグでは表示した(1)式、(2)式による値とも過去のスラグの塩基度よりやゝ小さくなっている。

VI) セメントの均一性

ダムのごとき大塊コンクリートではコンクリートの品質管理上、長期間にわたって納入されるセメントにある程度の均一性が要求され、従って仕様書にある種の均一性に関する規定が定められるのが一般である。そこで、これらダム用セメントの均一性を見るべくモルタル強度、水和熱について変動係数を求めた。

1 図に各ダム用セメントの圧縮強度の変動係数を示す。図中左方グループが高炉セメントを使用したダムで、右方が中腐熱セメントを用いたダムである。各ダム用セメントとも材令の短いものは変動係数は大きい。十年前に建設された鎢畑ダム、上椎葉ダム、長安口ダムのセメントは、最近のダム用セメントに比して極めて大きい変動係数を示している。鎢畑ダム用セメントの材令 3 日、1 週、4 週における圧縮強度の変動係数は、それぞれ 2.2.4、1.3.4、1.0.3 となり、上椎葉では 2.2.4、1.9.8、1.4.5 となり、長安口では 2.4.4、2.1.4、1.5.6 となっている。一方最近建設された箇原ダムに使用された高炉セメントは材令 3 日、1 週、4 週でそれぞれ 1.2.7、8.9、5.7 となり、最近の中腐熱セメントである天ヶ瀬ダム用セメントでは 9.6、1.0.3、3.9 となっており、圧縮強度の変動係数は、高炉、中腐熱両セメントとも十年前のセメントの約 $\frac{1}{2}$ 程度に小さくなっている。

2 図には曲げ強度の変動係数を示す。圧縮強度と類似した傾向を示している。

3 図は水和熱の変動係数について図示したものである。水和熱の変動係数も、最近のセメントでは十年前のそれに比して小さい値を示している。鎢畑ダム用セメントの材令 1 週、4 週における水和熱の変動係数は 7.7、6.9 であり、上椎葉ダム用セメントでは 7.6、5.7 となっている。一方箇原ダム用セメントでは 5.4、3.6 を示し、天ヶ瀬ダム用セメントでは 5.3、2.9 となっている。

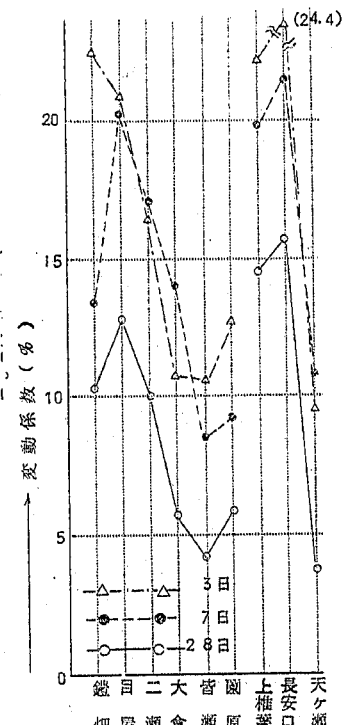
4表 各ダム用セメントの化学分析結果 (平均値、%)

ダム名	セメント	Ig Loss	Insol R	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	S	Total
鍛 畑	高 炉	0.6	0.7	26.3	9.9	2.2	0.9	53.6	3.9	1.2	0.6	99.9
目 屋	〃	0.5	0.8	26.3	11.5	2.0	0.9	52.8	3.6	1.5	0.5	100.4
二 瀬	〃	0.4	0.9	26.3	11.1	2.6	0.7	51.5	4.0	1.8	0.5	99.8
大 倉	〃	0.5	0.8	26.6	9.5	2.3	0.7	55.9	3.4	1.7	0.4	100.0
皆 瀬	〃	0.5	0.9	26.5	11.0	2.7	0.7	51.7	3.4	1.7	0.4	99.5
横 山	〃	1.0	0.7	26.0	11.7	2.2	0.8	51.9	3.3	2.1	0.4	100.1
岡 原	〃	0.4	0.9	27.0	10.6	2.6	0.8	51.6	3.8	1.7	0.4	99.8
上椎築	中腐熟	0.8	0.4	23.9	4.2	3.9	—	63.5	1.6	1.4	—	99.7
長安口	〃	0.7	0.4	23.9	4.4	4.0	—	63.4	1.3	1.4	—	99.5
天ヶ瀬	〃	0.9	0.9	23.1	5.0	4.1	—	62.4	1.4	1.7	—	99.5
横 山	〃	0.7	0.8	23.2	5.0	4.2	—	62.4	1.4	1.7	—	99.4

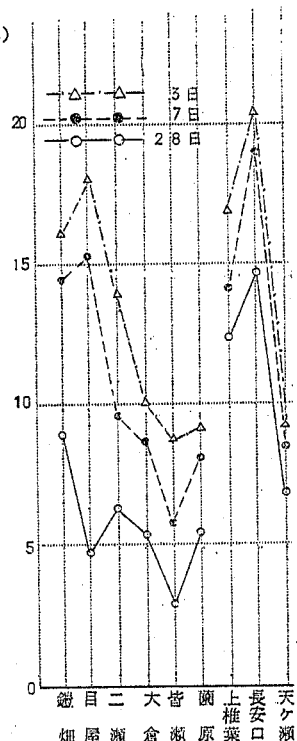
5表 クリンカーの組成とスラグの塩基度 (平均値)

ダム名	セメント	クリンカー のCaO%	水硬率	石 灰 飽和度	クリンカー組成 (%)				ス ラ グ			推 定 配 合 量 クリンカー:スラグ:石コウ
					C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO%	塩基度(1)	塩基度(2)	
鍛 畑	高 炉	65.6	2.12	0.92	57	22	6	11	40.8	1.24	1.90	54 : 43 : 3
目 屋	〃	64.2	2.13	0.91	52	24	7	10	41.9	1.32	2.03	(49 : 51) :
二 瀬	〃	64.5	2.02	0.87	49	31	5	12	39.4	1.27	2.11	50 : 46 : 4
大 倉	〃	64.5	2.03	0.86	43	34	5	11	42.4	1.33	2.01	(54 : 46) :
皆 瀬	〃	64.7	2.03	0.88	48	31	4	12	38.2	1.21	2.02	52 : 45 : 3
横 山	〃	65.7	2.09	0.90	55	25	6	12	39.7	1.26	2.06	48 : 47 : 5
岡 原	〃	65.1	2.07	0.89	51	28	6	12	38.5	1.17	1.91	50 : 46 : 4
上椎築	中腐熟	63.5	1.99	0.84	39	39	5	12	塩基度(1)式 = $\text{CaO} / \text{SiO}_2$ 〃 (2)式 = $(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2$			
長安口	〃	63.4	1.97	0.84	37	40	5	12				
天ヶ瀬	〃	62.4	1.94	0.84	34	41	6	12				
横 山	〃	62.4	1.93	0.83	34	41	6	13				

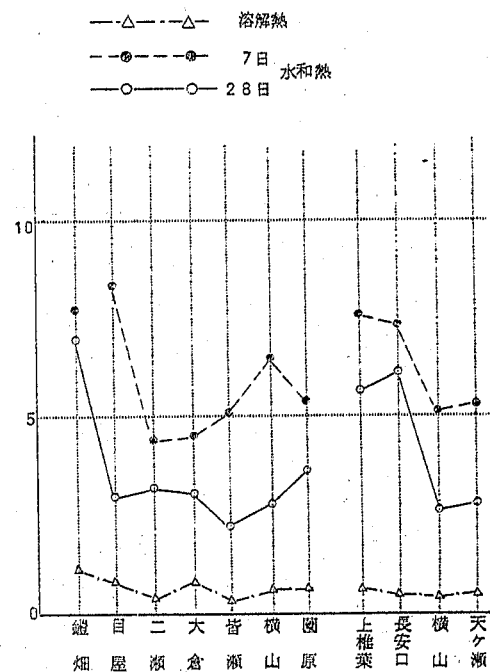
※ セメントのCaO量、推定配合量の()はクリンカーとスラグの比のみを算出



1 図 圧縮強度の変動係数



2 図 曲げ強度の変動係数



3 図 水和熱の変動係数

以上、ダム用セメントの検収試験結果および、品質の変動について論じてきたが、これらの試験結果は試験者の相違、試験設備の相違等からくる実験誤差も含んでおり、これを一応無視してセメントの品質を比較検討した点に問題がないわけではないが、いずれにしても最近のダム用高炉セメントおよび中腐熱セメントは十年前のセメントに比べて非常に均質なものが製造されていることが明らかである。

3. 品質試験および使用上の2、3の注意点

1) モルタル強度試験

ダム用セメントの仕様書にはセメントの均一性を保つため、一般にモルタル強度の変動をある範囲に規定している。セメントモルタルの強度試験法はJIS R 5201に定められているが、あるダムに使用するセメントのモルタル強度試験結果が、使用者側と製造者側とでかなりの差のある場合があり、JIS規格内試験でも、養生温度、上削り時間の相違によりモルタル強度にかなりの差を生ずることが予想される。これを確かめるべく実験を行った。結果を4図～8図に示す。なおモルタルの成型および養生温度はJIS R 5201に $20 \pm 3^\circ\text{C}$ と定められ、又上削り時間は成型後5時間以上24時間以内に定められている。

図中 黒丸 微礫が $2.25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 養生の場合

白丸 実礫が $2.00 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 養生の場合

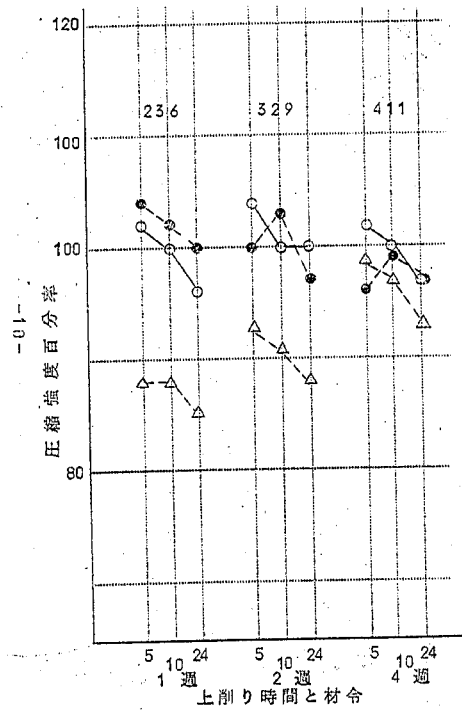
三角 1点微礫が $17.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 養生の場合

であり、各材料の場合とも10時間で上削りを行い、 20°C の標準温度で養生したモルタル強度を基準値とし、これを100として、これに対する百分率をもつて他の場合の強度を示してある。各グループの上部に示した数値が100%とした基準値であり kg/cm^2 の単位で示してある。これらの実験結果から、高炉セメントモルタル強度はモルタルの養生温度にもつとも鋭敏であり、フライアッシュ、中腐熱、シリカの質に鋭敏さが薄れ、普通セメントになると、JIS規格内試験方法に多少の相違があつてもモルタル強度には殆んど影響がみられない。

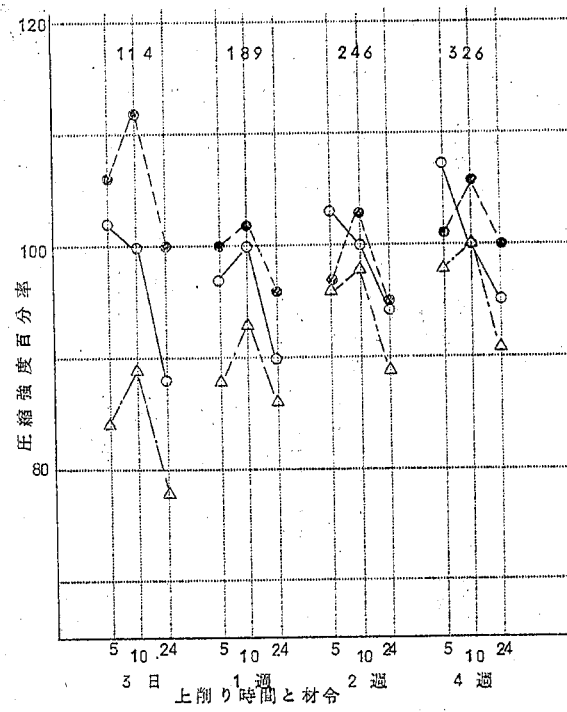
上削り時間の相違がモルタル強度におよぼす影響について検討すると、各セメントとも一般に10時間上削りモルタルがもつとも大きな強度を与えるようであるが、実験誤差もまた型わくによる差もあるようで、明確な結論をうるにはさらに詳細な実験が必要である。しかし実験結果からは高炉、中腐熱セメントなど初期強度の比較的低いものほど削り時間の相違による影響が大きい傾向が認められる。

セメントモルタルの強度は養生温度の影響が大きく、JIS規格内の $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の温度範囲でも温度の相違によつて測定値にかなりの差があるため、セメントの品質を正しく判定するためには養生温度を $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 程度の範囲で試験を行うことが必要で、特に高炉

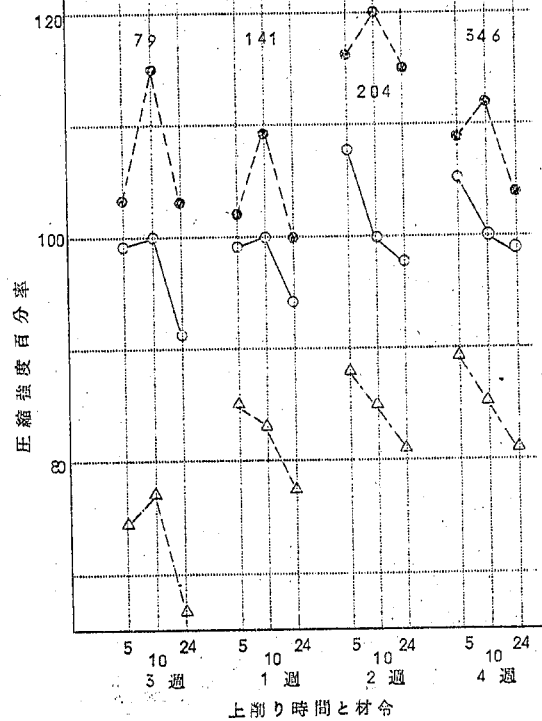
4 図 A 社製普通セメントモルタル圧縮強度百分率



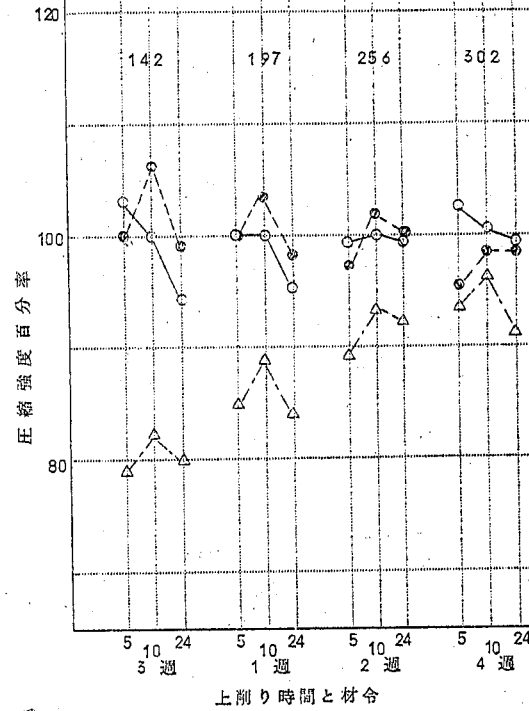
5 図 B 社製中熱セメントモルタル圧縮強度百分率



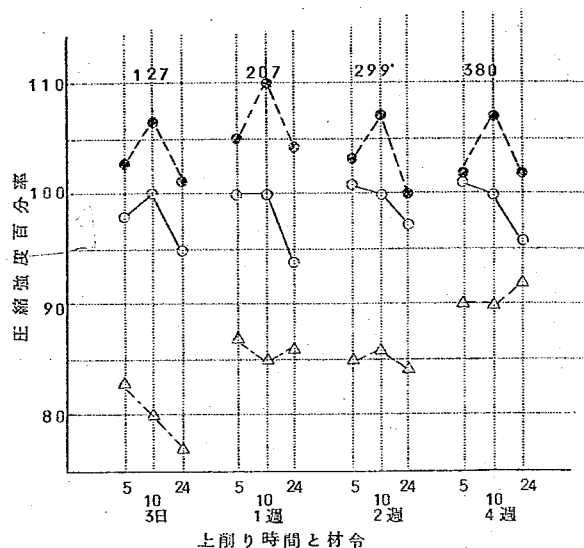
6 図 C社製高炉セメントモルタル圧縮強度百分率



7 図 D社製シリカセメントモルタル圧縮強度百分率



8図 E社製フライアッシュセメントモルタル圧縮強度百分率



セメントを使用する場合はその必要がある。しかし、四季を通じて $20 \pm 1^\circ\text{C}$ に養生温度を保つことは必ずしも容易でない。養生温度が 20°C より $\pm 3^\circ\text{C}$ 近く偏在し、しかもそれが長期にわたらざるをえない場合は、その都度養生温度を記録し、検収者側の試験結果に製造者側の試験結果をも参考にしてセメントの品質を検討するとよい。

削り時間の相違による強度の差違については明確な傾向はみとめられなかったが、試験誤差を少なくするためにも製造者側と検収者側とであらかじめその削り時間を協定しておくことが望ましい。

ii) セメントの風化

ダムに使用するセメントは製造直後のセメントをセメント工場にて採取し、その試験成績をもつて品質を判定する。一般には4週迄の強度および4週迄の水和熱その他で品質を判定する。従つて実際に使用するセメントは製造後一ヶ月以上経過するため、貯蔵法、輸送法の相違により、ダム現場で使用するセメントの品質は、試験セメントのそれと相違することが考えられる。実際あるダム現場サイロより使用直前に採取して試験を行った高炉セメントがいちじるしい強度の増進を示した。(6表Nにこれを示す)そこで他のダム現場からも使用直前のセメントを採取し、製造直後に採取したセメントの品質との比較を、

6表 ダム現場サイロのセメントの強度試験結果

ダム現場	セメント	試料	採取時	曲げ強度 (Kg/cm ²)				圧縮強度 (Kg/cm ²)			
				3 d	1 w	2 w	4 w	3 d	1 w	2 w	4 w
I	中 層 熟	1	製造直後	22.7	33.7	47.4	62.9	73	129	209	342
			使用直前	23.1	34.9	43.1	58.3	78	124	182	292
		2	製造直後	22.5	35.3	45.7	66.5	78	133	189	328
			使用直前	19.5	30.7	40.2	56.0	66	116	168	280
II	高 炉	1	製造直後	22.1	32.5	46.3	63.3	73	118	212	320
			使用直前	23.5	34.5	43.5	61.9	84	133	198	318
		2	製造直後	18.9	32.0	42.4	62.0	58	116	180	312
			使用直前	21.8	31.4	41.9	59.0	78	132	211	326
			使用直前	19.9	29.2	42.1	58.2	68	123	203	314
			使用直前	19.9	29.2	42.1	58.2	68	123	203	314
III	高 炉	1	製造直後	21.2	33.5	43.9	60.0	72	140	214	338
			使用直前	24.3	35.2	44.5	62.5	81	136	207	327
		2	製造直後	21.6	32.7	41.5	61.9	72	133	199	344
			使用直前	21.1	36.7	50.0	60.4	79	151	238	366
IV	高 炉	1	製造直後	23.3	34.7	43.5	65.4	81	141	203	344
			使用直前	24.1	39.7	55.8	68.1	91	171	270	406

主としてモルタル強度について行つた。結果を6表に示す。中磨熱セメントの方が風化の影響を受け易く、2週、4週のモルタル強度低下がみとめられる。高炉セメントは4週迄の強度低下は殆んど認められず、むしろ3日強度は製造直後のセメントのそれを凌駕している。高炉セメントは風化によつて起る軽度のクリンカーの水和によつてスラグが活性化され、初期強度の増進がもたらされるものと思われる。たゞし室内で強制風化せしめた高炉セメントを検討したところ、未風化セメント程の長期強度の増進がみとめられない場合が多く、偽凝結性等との問題をも含めて、やはりセメントの風化は可及的に避けるべきである。

セメントの品質は2週強度、2週水和熱試験値をもつて4週強度、4週水和熱を推定し、これをもつて品質を判定することにより、製造後早目にセメントを使用することが得策であらう。前記のごとき最近のセメントの品質向上とも考えあわせて、2週試験成績をもつて4週試験成績を推定することは充分可能である。しかし、サイロにセメントを貯蔵することはセメントを冷却する意味もあるのでセメント温度等との兼ねあいで使用時期を定めるべきである。

なおセメントの風化は、強熱減量の測定により、短時間である程度の目安を得ることが出来る。