

# 19. 高炉セメントを用いた桂沢堰堤コンクリートについて

石狩川治水事務所 小 浜 実

## 1. 概 説

最近堰堤コンクリートに膨脹収縮防止・耐久性増大・工費節減等の目的から各種の混和材を使用する傾向にあるが、桂沢堰堤においても早くから低熱型セメントやフライアッシュ・珪藻土・珪酸白土等の混和材の利用を検討中であったが、マスコンクリートに使用するに十分な品質の材料を多量に入手することができないでいた。たまたま高炉セメント製造が道内で開始されるに及び、この利用に着目するに至った。

## 2. 予 備 試 験

セメント工場設立に先立ち、将来使用される原料、即ち富士製鉄釜山工場産スラグと磐城セメント八戸工場製クリンカトを用い、八戸工場にて混合粉碎して製造されたスラグ混入量40%、50%、60%の3種の高炉セメントについて試験を行なった。

セメント試験結果は表19-1の通りで、何れもJISに合格している。なお、比較に用いたセメントは日本セメント上磯工場の普通ポルトランドセメントである。

表 19-1 試製高炉セメント試験成績表

### (1) 物 理 試 験

試料の種類			試 験 項 目														
			比重	粉 末 度			凝 結		安 定 性		フ ロー (mm)	強 さ (kg/cm <sup>2</sup> )					
				比表面積 フレン (cm <sup>2</sup> /g)	88μ 標準篩 残 分 (%)	始発 (時分)	終結 (時分)	煮沸法	オート クレー プ膨脹 (%)	曲 げ			圧 縮				
3日	7日	28日	3日	7日	28日												
普通セメント			3.17	3,130	3.7	2~18	5~08	良	0.07	217	28.2	44.0	75.4	111	186	349	
試 製 高 炉 セ メ ン ト	ス ラ グ 混 入 量	40%	3.04	3,970	0.1	2~23	5~25	良	0.08	214	34.7	51.7	72.8	106	161	276	
		50%	2.99	4,050	0.2	3~24	6~57	良	0.06	217	30.7	43.1	71.7	93	136	250	
		60%	2.98	3,940	0.4	3~12	6~05	良	0.06	219	25.1	33.4	69.3	89	105	218	

### (2) 化 学 試 験

試料の種類			試 験 項 目												
			強熱 減量 (%)	不溶解 残 分 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	硫化物 硫 黄 (%)	水和熱 (cal/gr)		
3日	7日	28日													
試 製 高 炉 セ メ ン ト	ス ラ グ 混 入 量	40%	0.69	1.36	23.39	8.75	2.76	56.96	2.20	0.89	1.16	1.15	63.6	74.5	86.0
		50%	0.72	1.42	24.79	9.33	2.46	55.16	2.40	1.01	1.84	0.76	63.3	73.0	83.8
		60%	0.62	1.31	27.09	10.01	2.28	52.17	2.62	1.11	2.37	0.21	54.6	67.2	78.7

註：物理試験は桂沢試験室，化学試験は土木試験所

表 19-2 試製高炉セメント使用コンクリート標準示方配合表 (1m<sup>3</sup> 当り)

セメント種類	配合種別	単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	水セメント量比 (%)	AE 材量 (2%ゼン) (cc/m <sup>3</sup> )	粗細骨材重量比	表面乾燥飽和状態の骨材重量 (kg/m <sup>3</sup> )						
							砕石 (mm)					海砂	
							5~20	20~40	40~80	80~150	全量		
試製高炉セメント	40%	A	240	105	44	3,400	3.03	504	321	321	397	488	1,527
		B	230	105	46	3,200	3.00	510	321	321	398	490	1,530
		C	220	105	48	3,000	2.97	516	322	322	399	490	1,530
		D	180	102	57	1,600	2.83	546	324	324	402	495	1,545
		E	170	102	60	1,500	2.80	553	325	325	403	495	1,548
		F	160	102	64	1,400	2.77	559	325	325	403	495	1,548
	50%	A	240	105	44	3,400	3.03	503	320	320	396	488	1,524
		B	230	105	46	3,200	3.00	509	321	321	397	488	1,527
		C	220	105	48	3,000	2.97	515	321	321	398	490	1,530
		D	180	102	57	1,600	2.83	545	324	324	401	493	1,542
		E	170	102	60	1,500	2.80	552	325	325	402	494	1,546
		F	160	102	64	1,400	2.77	558	325	325	402	494	1,546
	60%	A	240	104	43	3,300	3.03	505	321	321	398	490	1,530
		B	230	104	45	3,100	3.00	511	322	322	399	490	1,533
		C	220	104	47	2,900	2.97	517	322	322	400	491	1,535
		D	180	101	56	1,550	2.83	547	325	325	403	495	1,548
		E	170	101	58	1,450	2.80	557	326	326	403	496	1,551
		F	160	101	63	1,350	2.77	560	326	326	403	496	1,551
普通セメント	C	220	96	44	2,700	2.90	531	324	324	401	492	1,541	
	E	170	96	56	1,400	2.70	572	324	324	402	494	1,544	

註： 粗骨材最大寸法 150 mm, 標準スランプ 4 cm, 連行空気量 3±1%, 海砂比重 2.72, 砕石比重 2.54, コンクリート練上温度 10°C.

コンクリート試験用標準示方配合は試験により表 19-2 の如く決定した。比較の普通セメントコンクリートの配合表は、凍結融解試験に用いた 2 種のみを記し、他は省略した。

強度試験用供試体は、全配合を混合後 50 mm の標準節で湿式篩分し、15×30cm の標準供試体型枠に詰め成型した。圧縮強度試験成績表は表 19-3 のとおりである。

表 19-3 試製高炉セメントコンクリート圧縮強度試験成績表 (kg/cm<sup>2</sup>)

材令	7 日						28 日						91 日					
	配 合 種 別																	
セメント種類	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
スラグ 40%	223	208	192	134	117	101	321	304	284	223	207	189	398	380	361	295	277	259
スラグ 50%	188	177	163	116	104	90	305	289	272	215	198	181	356	342	325	270	254	236
スラグ 60%	170	157	141	92	82	68	284	266	245	180	162	143	342	328	311	261	248	233
普通セメント	203	190	175	124	111	98	334	314	296	223	206	184	345	334	322	278	266	254

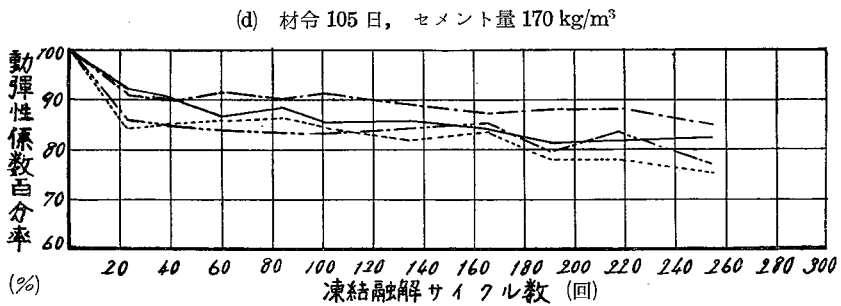
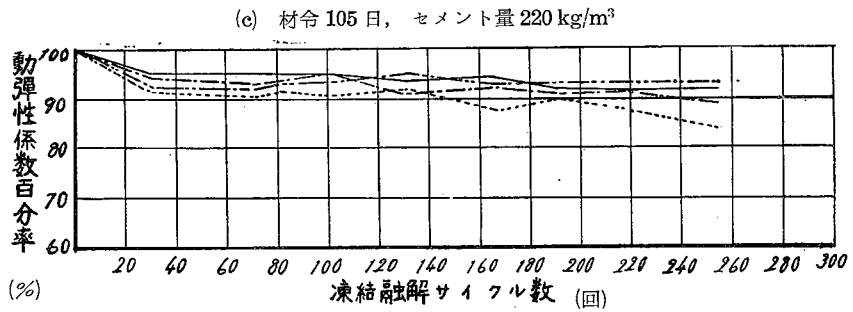
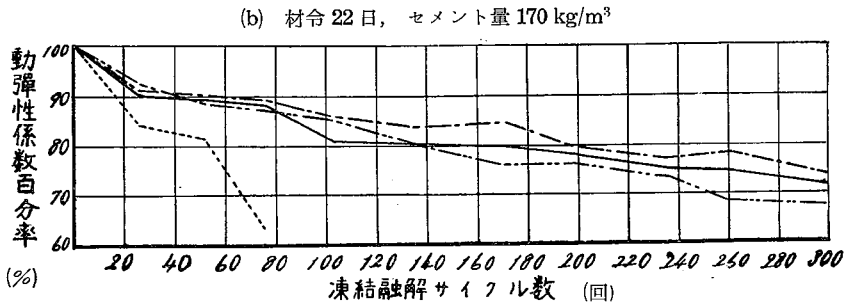
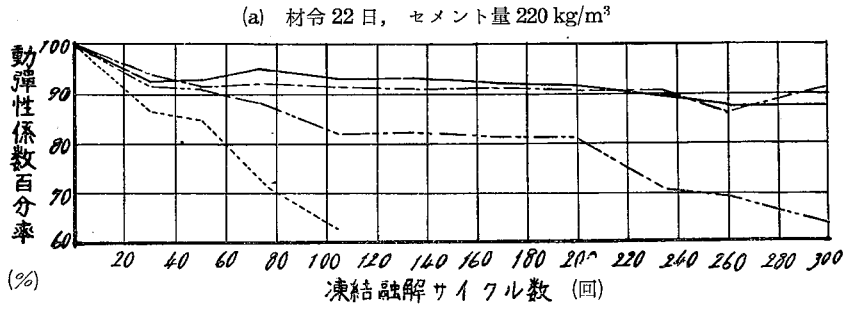


図 19—1 試製高炉セメントコンクリートの凍結融解試験成績

- 註
- 普通ポルトランドセメント
  - - - 試製高炉セメント (スラグ 40%)
  - · - 試製高炉セメント (スラグ 50%)
  - 試製高炉セメント (スラグ 60%)

コンクリートの耐久性については、凍結融解試験を行なった。この試験においては、激しい気象作用をうけるのはダムの表面であり、内部まで凍結を受けるとは考えられないが、一応貧配合の場合も比較する事にした。

凍結融解試験用供試体は富配合として  $220 \text{ kg/m}^3$ 、貧配合として  $170 \text{ kg/m}^3$  の単位セメント量のコンクリートとした。

供試体の成型は、前記配合により全材料を計量混合し、30 mm の湿式篩分を行なった後、 $10 \times 10 \times 42 \text{ cm}$  の型枠に二層に詰めた。凍結融解試験は土木試験所に依頼して行なった。(図 19-1 参照)

以上の予備試験の結果高炉セメントをマスコンクリートとして利用する事の可能性を確認し、かつ購入にあたっては次の如くセメントの品質を決定した。

- 1) スラッグの混入量は若材齢における気象作用を考慮して 50% とした。
- 2) 粉末度は  $4,000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  程度でも安定性・耐久性には何等遜色をみられず、むしろあまり粗なる場合若材齢の強度の低下を考慮して  $3,500 \text{ cm}^2/\text{gr}$  以上とした。
- 3) 安定性として特に ASTM C 151-53 によるオートクレーブ法を採用し、その膨脹率を 0.1% 以下とした。
- 4) セメントの強さは、予備試験のスラッグ混入量 50% の高炉セメントを標準として次の如くした。

曲 げ ( $\text{kg/cm}^2$ )			圧 縮 ( $\text{kg/cm}^2$ )		
3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
15 以上	30 以上	45 以上	50 以上	100 以上	250 以上

5) 当所用セメントを製造する場合は、工場において、当所係員立会いのもとセメント試験試料を採取し、試験結果が規格に合格した後でなければ袋詰、発送をしてはならない事とした。

又一方この試験により高炉セメントのすべてが究明されたものでなく、使用にあたっては既往の各資料を参考とし、特に次の点を考慮する事にした。

- 1) コンクリートの養生、特に撒水型枠外しは充分注意すること。
- 2) 寒冷時の使用を避け、気温低下に対する措置を厳にすること。
- 3) erosion, sand off 等の現象を考慮し、これらの影響あると思われる部分には使用しないこと。

### 3. 購入高炉セメント試験

昭和 30 年 6 月富士セメント株式会社が本格的に創業を開始すると共に、当所用スラッグ混入量 50% の高炉セメントを製造せしめ、セメント試験・コンクリート強度試験および凍結融解試験を行なった結果は次表の通りであった。

表 19-4 購入高炉セメント試験成績表

区 分	試 験 項 目													
	比重	粉末度 比表面積 (ブレン) ( $\text{cm}^2/\text{gr}$ )	凝 結 標準篩分 (%)	安 定 性		フ ロー (mm)	強 さ ( $\text{kg/cm}^2$ )							
				始 発 (時分)	終 結 (時分)		煮 沸 法	オ ー ト ル ー プ 膨 脹 (%)	曲 げ			圧 縮		
3日	7日	28日	3日	7日	28日									
最 大 値	3.06	4,380	0.9	2~47	4~39	良	0.09	229	37.6	55.9	81.6	127	273	429
最 小 値	3.02	3,800	0.2	1~23	3~15	良	0.03	189	22.1	36.3	64.4	65	141	276
平 均 値	3.04	4,090	0.5	2~03	3~49	良	0.07	218	31.2	46.4	71.1	102	181	371

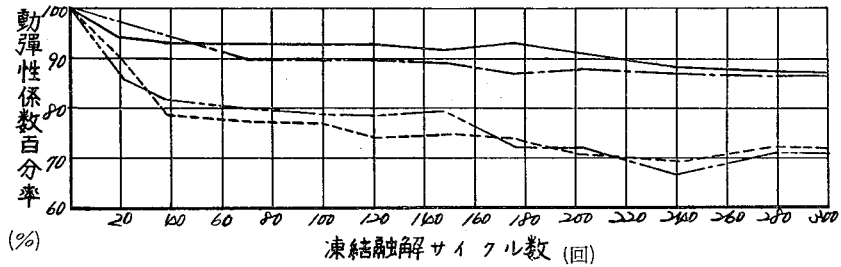
(2) 化学試験

区分	試験項目									
	強熱減量 (%)	不溶解分 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	S (%)
最大値	0.30	0.84	27.52	11.43	2.57	57.77	3.76	1.13	1.87	0.70
最小値	増量	0.59	25.04	9.35	2.02	52.65	1.87	0.33	0.92	0.08
平均値	—	0.72	26.37	9.99	2.21	55.17	2.75	0.62	1.35	0.52

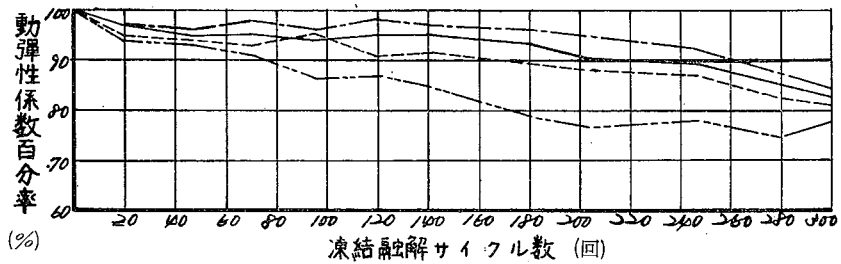
註：物理試験は桂沢試験室(試験回数33)

化学試験は土木試験所(試験回数19)

(a) 材令14日



(b) 材令28日



(c) 材令91日

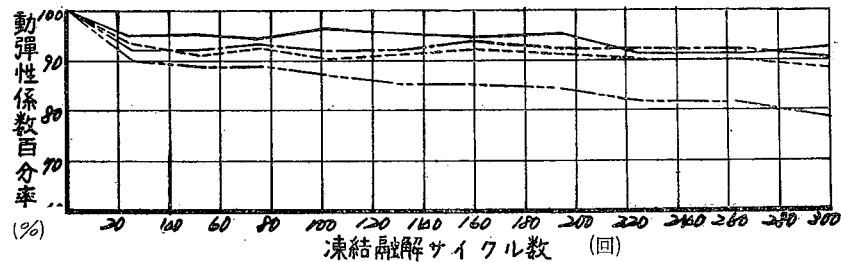


図19-2 凍結融解試験成績

註 ——— 普通ポルトランドセメント } セメント量 220 kg/m<sup>3</sup>  
 - - - - 高炉セメントスラグ 50% }  
 - - - - 普通ポルトランドセメント } セメント量 170 kg/m<sup>3</sup>  
 ····· 高炉セメントスラグ 170% }

表 19—5 圧縮強度試験成績表

材 令	単 位 セ メ ン ト 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
	240	230	220	180	170	160
7 日	178	172	166	135	124	112
28 日	298	287	278	224	206	187
91 日	337	330	322	284	270	256

以上の結果をスラグ混入量 50% の試製高炉セメントに比較すると、スラグとクリンカが同一工場製で粉末度も同程度であるにも拘らず、圧縮強度は大であつた。

コンクリートとしての強度は大差がないが、工場製セメントは試製セメントに比し各材齢共資配合に対しては高い値を示した。耐久性については若材齢においても普通ポルトランドセメントに比し何等劣る所なく、資配合の場合は長期材齢で寧ろ良い結果を示した。

#### 4. 使用実績

昭和 30 年 7 月から 10 月まで桂沢堰堤に使用した高炉セメントコンクリートは 64,5000 m<sup>3</sup> で、昭和 30 年度打設総量 140,772 m<sup>3</sup> の約 46% であつた。

コンクリートの品質管理を行なつた結果は図 19—3~7 のとおりであつた。

コンクリート打設において、普通セメントに比し何等難点は感じられなかつたし、又高炉セメントを使用しただ事により堰堤のコンクリートの品質を低下せしめたという点も見出せなかつた。

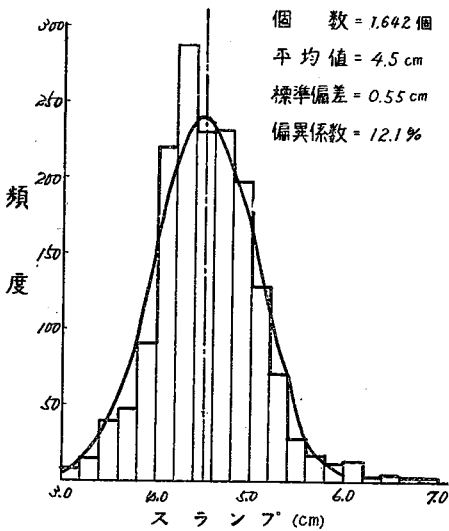


図 19—3 スランプ管理図

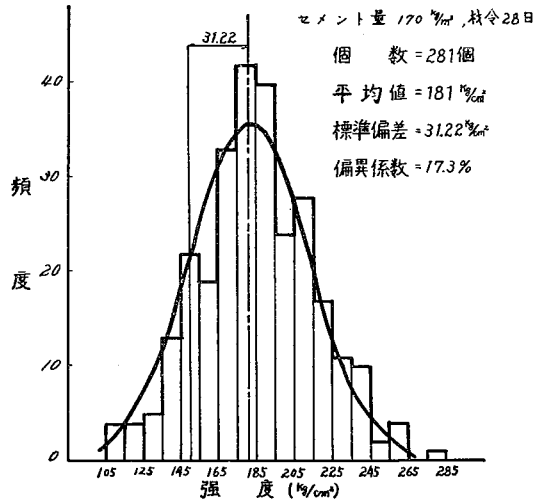


図 19—4 圧縮強度管理図

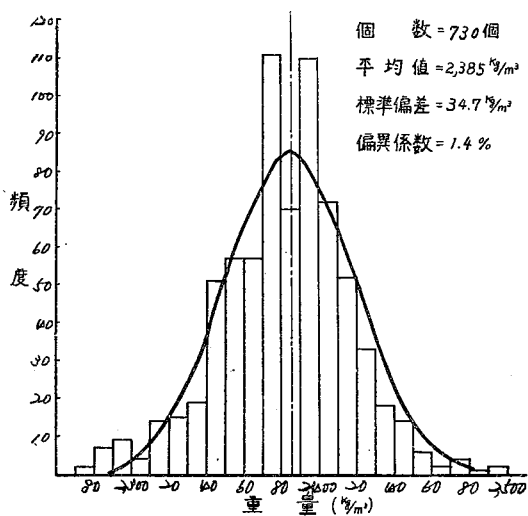


図 19-5 単位容量管理図

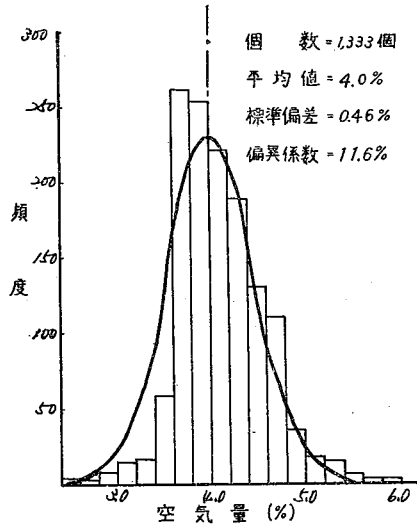


図 19-6 空気量管理図

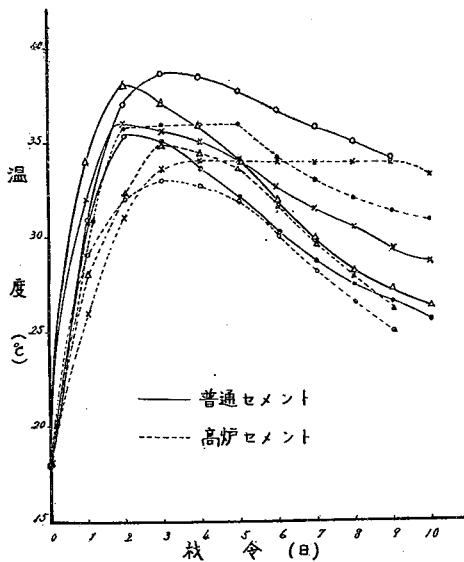


図 19-7 堤体温度測定表

### 5. 後 記

我国の高炉セメント利用は、フランス・ドイツ・ベルギー等の諸国に比し著しく立ち遅れているが、従来のともすれば高炉セメントは代用セメントであるかの如き観念から脱却し、進んでその利点を活用するならば、本道のコンクリート工事がより一層の発展を遂げるであろう事を期待して止まない。なおこの試験にあたり多大の御協力を賜りました土木試験所構造研究室の諸兄に厚く感謝し、紙数の都合で各図表を詳細に説明できなかつた事を深謝する。