

【報 告】

井川ダムにおける寒中コンクリート施工について

和 久 英 雄*
丹 羽 哲 郎**

まえがき 井川ホローダムの当初の打設計画では、昭和32年9月1日堤体内仮排水路閉塞の予定であつたが、その後

1. 電力を早急に供給すべく工期を約2カ月短縮する。
 2. 堤体のカーテングラウトのため上下流端にフィレットをつけ、あるいは基礎の滑動を避けるためコンクリートブロックの岩盤接触部を階段状としたため、コンクリート量が初期の計画より増加した。
- 等の事情が生じ、冬季間においてもいままでとは同様、むしろそれ以上の打設能率の増強が要求された。一方当ダム地点は四方山に囲まれた標高600mの峡谷にあり、冬季には-10°Cを下ることもあつて、冬季凍結対策および寒中コンクリート施工の必要に迫られた。

I. 施工の方針

1. 概要

打設工程の上から寒中コンクリート設備を行つた場合の可能打設量について検討してみよう。

冬季間寒中コンクリート施工の対象となる各日を気温の上から次のように分類する。

- A型気温日：最低温度が-5°Cと大きく下り、日中でも+5°Cを越えることのほとんどない日
- B型気温日：最低温度が-5°C近くまで下り、日中は+10°Cくらいまで上昇する日
- C型気温日：最低温度が0°Cくらいであるが、日中は15°C位まで上昇する日
- D型気温日：最低温度が+5°C以上であつて、寒中設備の不要な日

12月から3月までの各日を、各種気温型日に分けると表-1のようになった。ただし代表計画年は30年度とした。

表-1

	12月	1月	2月	3月	計
A	3	16	16	4	39
B	21	10	10	9	50
C	5	5	2	8	20
D	2	0	0	10	12
計	31	31	28	31	

* 正員 中部電力KK 井川水力建設所長
**正員 井川水力建設所技師

表-2 気温表

	12月	1月	2月	3月
日最高平均	13.0°C	7.5	8.3	12.4
日最低平均	-2.3°C	-4.8	-4.7	1.3
日標準平均	1.8°C	-0.4	0.9	6.7
日最高の最高	19.5°C	15.0	19.0	25.0
日最低の最低	-8.0°C	-9.0	-9.5	-8.0
最低0°C以下	23日	11.0	10.0	6.0
最低-5°C以下	4日	15.0	15.0	5.0
標準0°C以下	13日	15.0	10.0	0.0

(1) 全然冬季凍結対策および寒中コンクリート工事のための設備を施さない場合 土木学会コンクリート標準示方書その他の文献によると平均日気温が4°C以下になるおそれあるときは、コンクリートの製造および養生について、適当な処置を取らねばならないとある。一方-5°Cくらいに下れば骨材輸送コンベヤーが凍結し、スリップあるいは蛇行し骨材不足を来し、バッチャープラントの運休を余儀なくされるであろう。

いままでの(31.11.31)実績から1時間当たり可能打設量80m³稼働時間1日18hrとして、各気温日の可能稼働時間およびそれによる可能打設量を想定すると、表-3のようになる。

表-3

	12月	1月	2月	3月	計
A	0	0	0	0	
B	11700	5600	5600	5600	
C	4000	4000	1600	6400	
D	2900	0	0	14400	
計	18600	9600	7200	25800	61200

- A型日 全然打設不可能
- B型日 可能作業時間 7hr×80m³/hr=560m³
- C型日 " 10hr×80m³/hr=800m³
- D型日 " 18hr×80m³/hr=1440m³

(2) 対策を施した場合 バッチャープラントにおいてコンクリートの練り上り温度を高め、打設ブロックでは、なんらかの方法で養生するとともに、骨材輸送コンベヤーには凍結対策を施して、打設に支障なからしめた場合の予想可能打設量は次のようになる。ただしこの場合でもA型日には骨材生産および輸送に不都合を生ずるものと思われる。

- A型日 可能作業時間 8hr×80m³/hr=640m³
- B型日以下 " 18hr×80m³/hr=1440m³

表-4

	12月	1月	2月	3月	計
A	1 900	10 200	10 200	2 600	
B, C, D	40 400	21 600	17 300	38 900	
計	42 300	31 800	27 500	41 500	143 100

すなわち (1) と (2) では $143\,100\text{ m}^3 - 61\,200\text{ m}^3 = 81\,900\text{ m}^3$ 違つてきて、打設工程の上から当然その必要性が明らかになった。

2. 寒中コンクリート設計温度の決定

冬季低温度ではコンクリートが硬化するまでの時間が長く、また硬化してからの強度の増進も少ない。現在までに発表されている各種文献、あるいは土木学会コンクリート標準示方書の示すところにより、打込温度および養生温度ともに 5°C 以上に決定した。

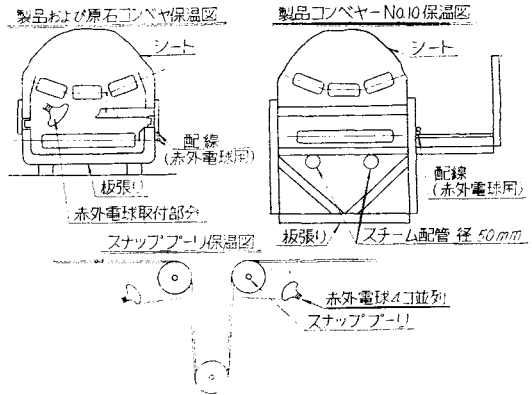
II. 施工計画

1. に述べた方針に従い各プラントごとに次のような防寒設備を計画した。

1. 骨材の生産および輸送関係

- (1) 各プラント機械室はシートで全面的に被覆するとともに板張りをする。
- (2) 骨材輸送ベルトコンベヤーのプラント内暗キョ、トンネル部を除く外気露出部は、すべてシートで被覆する。特にプラント運転主要部のコンベヤーは板張りし、内部は赤外線ランプで保温する。またスナッププリー部分も赤外線ランプを取りつけプリー周囲に付着した水の凍結によるコンベヤーのスリップあるいは蛇行を防止する (図-1, 図-2 参照)。
- (3) トンネル部および暗キョ部はそれぞれの出口および入口を木戸で閉塞し、特に暗キョ内にはヒーターを配置する。
- (4) 堂平プラントにはボイラー (伝熱面積 5 m^2) を設置し、各機械室、パイル~蒸気パイプを通じプラ

図-2 ベルトコンベヤー保温図



ントを保温するとともに、凍結カ所に集中的に使用し、氷結融解の迅速をはかる。

- (5) 再ふり分けプラント、引出コンベヤーおよび製品コンベヤーの一部に、ボイラーからのスチームパイプを通じて暖房する (図-3 参照)。

図-3 再ふり分けプラントおよび引出しコンベヤー保温図

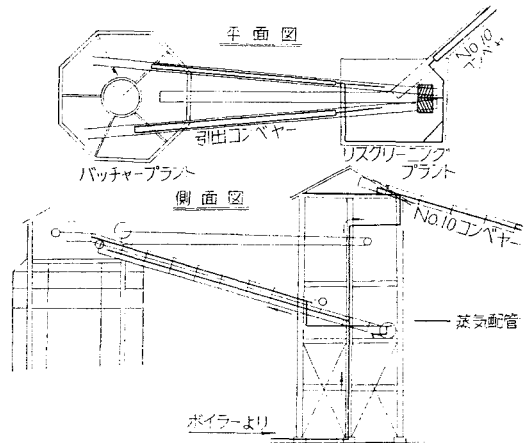
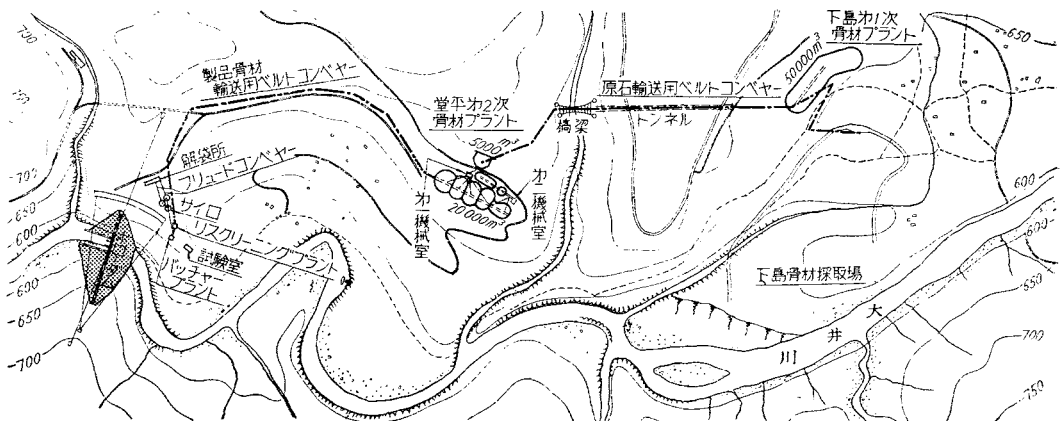


図-1 井川ダム仮設備配置図



(6) 給水パイプはすべて凍結しないよう防護する。

表-5 おもなる設備

プラント名	名称	仕様	数量	摘要
下島プラント	シート	2K×3K	23枚	
	赤外線ランプ	220V 375W	50コ	
原石コンベヤー	シート	2K×3K	86枚	
	赤外線ランプ	220V 375W	122コ	
	ヒーター	100V 4kW	1コ	
	"	100V 1kW	5コ	
堂平二次プラント	シート	2K×3K	189枚	
	赤外線ランプ	220V 375W	102コ	
	ヒーター	1kW	13コ	
	ボイラー	伝熱面積 5m ²	1基	
製糸コンベヤー	シート	2K×3K	174枚	No.10 コンベヤー
	赤外線ランプ	220V 375W	41コ	
	ヒーター	1kW	27コ	
	木材		16.8石	
	スチームパイプ	φ2"	72m	
再ふるい分けプラント	ヒーター	1kW	4コ	再ふるい分けプラント 再ふるい分けプラントおよび引出コンベヤー 再ふるい分けプラント引出コンベヤー
	スチームパイプ	φ2"	266m	
	シート		3枚	
	"		15枚	
	木材		116.5	

2. バッチャー プラント

(1) 設備容量の計算 容量計算のための計算基礎温度を次のように仮定する。

- 打設温度 5°C
- 練り上り温度 7°C (運搬中の熱損失 30% とする)
- 計量前諸材料温度 0°C
- 養生温度 5°C
- 設計外気温 -5°C
- セメント, アッシュ比熱 0.20
- 骨材比熱 0.20

コンクリート 1m³ 当りの所要熱量を計算すると次のようになる。ただし 1m³ 当りの材料配合量は

- セメント 160 kg
- アッシュ 40 kg
- 細骨材 522 kg
- 粗骨材 1619 kg
- 表面水 45 kg (細骨材 7% 粗骨材 0.5% と仮定)
- 混合水 53 kg

したがって所要熱量は、

$$\{(160+40+522+1619) \times 0.20 \times 7\} + \{(53+45) \times 1.00 \times 7\} = 3790 \text{ kcal/m}^3$$

コンクリート諸材料のうち比熱の大きい、また加熱容易な水を一応作業上影響ないと思われる 40°C に加熱し、残り不足分は細骨材および小砂利を予熱することにより補給する。

したがって細骨材および小砂利の所要温度は次のようになる。

$$T_c = 7^\circ\text{C} = \frac{53 \times 40 + 45 \times t + 0.20(522+372)t}{98 + 0.20(160+40+522+1619)} \therefore t = 9^\circ\text{C}$$

そこでこの温度を満足させるため次の仕様のボイラー 1 基を設備するものとし、その容量について検討する。

型式 立型ボイラー

伝熱面積 25 m²

単位面積当り蒸発量 15 kg/m²・hr

制限圧力 7 kg/cm²

理論発生熱量 659×25×15=247 125 kcal/hr

実際の発生熱量 (効率 80% として)

$$247 125 \times 0.80 = 197 700 \text{ kcal/hr}$$

そして 1日 1 500 m³ 打設するに要する熱量は

$$Q = 1 500 \times 3 790 = 5 685 000 \text{ kcal/day}$$

いまボイラー運転時間を 1日 18 hr とすれば

$$q_1 = 197 700 \times 18 = 3 558 600 \text{ kcal/day}$$

またヒーターにより

$$q_2 = 53 \times 1 500 \times 40 = 3 180 000 \text{ kcal/day}$$

$$\therefore q_1 + q_2 = 6 738 600 \text{ kcal/day} > Q$$

$$= 5 685 000 \text{ kcal/day}$$

次にバッチャー プラント内の混合水タンクの水を 40°C に保つに必要なヒーターの容量は効率 80% として、

$$53 \times 80 \times 40 \times 1.0 = 169 600 \text{ kcal/hr}$$

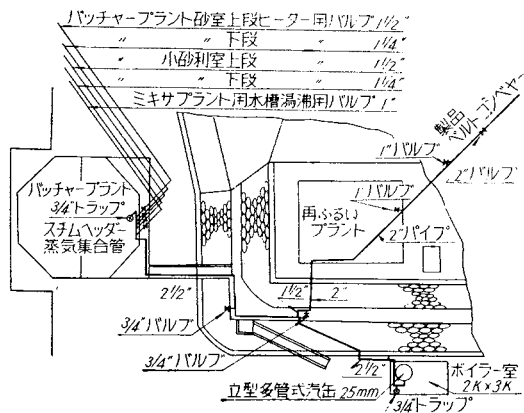
$$169 600 / 864 \times 0.8 = 240 \text{ kW}$$

(2) 設備の概要 バッチャー プラントは石川島コ-リング 56S×4 で使用材料は

1. 玉砂利 (150~80 m/m)
2. 大砂利 (80~40 m/m)
3. 中砂利 (40~20 m/m)
4. 小砂利 (20~5 m/m)
5. 砂 (5 以下)
6. セメント
7. フライ アッシュ
8. 水
9. AE材 (ピンゾール)

前節にのべた容量計算に従い、次のような諸対策を講

図-4 バッチャー プラント内ボイラー パイプ配置図



ずる。

a) ボイラーを設置しそのナマ蒸気を $\phi 2''$ パイプで細骨材および小砂利ビン周辺にめぐらして加熱する。すなわちナマ蒸気を直接ビンに送入すれば骨材の含水量が増加し、コンクリートのコンシステンシー管理に困難をきたすのをおそれ、**図-4** および **5** に示すようにパイプを通し間接的に加熱するよう計画した。

b) 混合水加熱用水槽を新設する (**図-6** 参照)。

$$\left. \begin{array}{l} 12 \text{ kW} \times 15 = 180 \text{ kW} \\ 10 \text{ kW} \times 5 = 50 \text{ kW} \end{array} \right\} \text{計 } 230 \text{ kW}$$

c) ナマ蒸気送入パイプの外気露出部はすべてフェル

図-5 (a) バッチャープラント内スチームパイプ配管図

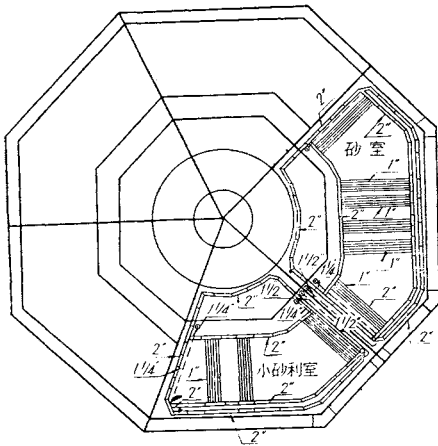


図-5 (b) 同上

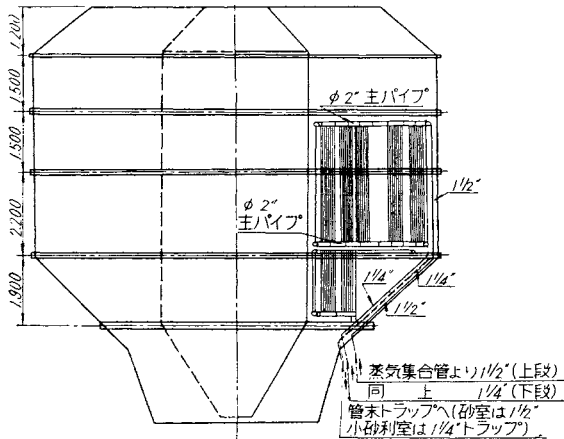
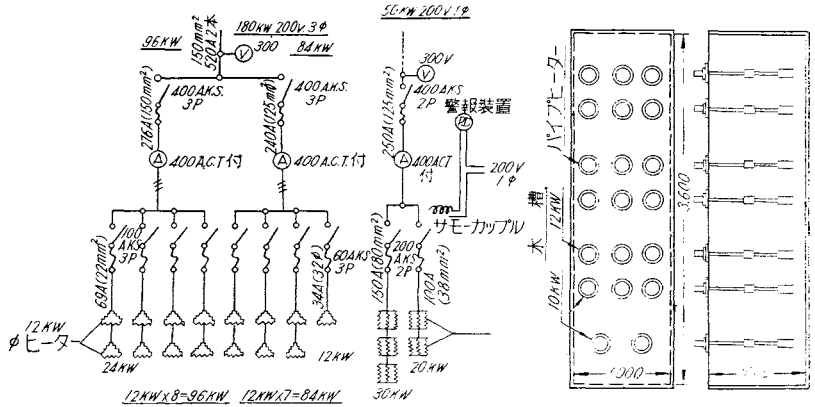


図-6 混合水加熱用パイプヒーター配置図



トにて被覆する。また AE 材混和槽は板囲いする。以上の方策により

a) 冬季間は -7°C 以上いかなる気温下でもバッチャープラント練上りコンクリート温度を、 7°C 以上とする。

b) 設備の運転は原則として $+5^{\circ}\text{C}$ 以下の場合とし、 0°C までは加熱水のみでよいが、 0°C 以下の場合はこのほかボイラーを運転し練上り $+7^{\circ}\text{C}$ 以上とする。

3. 打設現場

打設現場におけるコンクリート養生方法の概要は次のとおりである。

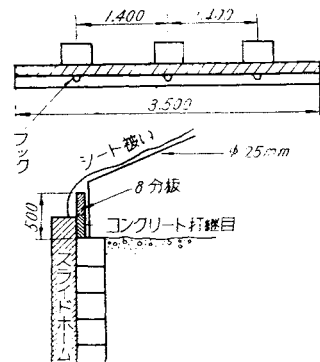
(1) スラントホームの天端に 8 分板を 50 cm 立て、上下 2 段フックをつけ、これに $\phi 25 \text{ mm}$ の鉄筋をさし延べて上からシートをかぶせ、熱の損失を防ぐ。

(2) 打設各ブロックには、打設後 6 kW あるいは 9 kW ヒーターを 3~4 コ、熱が均等にわたるように配置する。

(3) ボイラー 1 基を特に日陰となる左岸寄りブロックに設置し、凍結水の除去、岩盤の清掃に用いる。

以上の方策を講ずることにより、コンクリート打設後次の打継ぎまで少くとも 5°C 以上の温度に保つ。

図-7 打設現場における養生方法



III. 各プラントの運転実績

II. の設備による実際の各プラントの運転実績は次のようであつた (表-6~9 参照)。

表-6 堂平二次プラント, 製品コンベヤー
再ふるい分けプラント温度記録総括表

プラント 各所の 温度 記録		12.1~12.31			
		1.1~1.31	2.1~2.28	3.1~3.15	計
外 気 温	最高	13.0	14.0	12.0	16.0
	標準	2.8	3.0	2.7	5.1
	最低	-8.0	-10.0	-8.5	-9.0
原砂暗キョ	最高	16.0	24.0	20.0	20.0
	標準	6.6	8.7	9.6	10.5
	最低	-6.0	-9.0	-8.0	-6.5
No.28 コンベヤー (第2機械室)	最高	21.0	18.0	-18.0	14.0
	標準	6.2	6.5	3.6	4.6
	最低	-4.5	-4.0	-6.0	-3.0
製品カルバ ート	最高	10.0	12.0	13.0	13.0
	標準	8.3	8.7	8.6	10.1
	最低	2.0	5.0	5.0	4.0
再ふるい分 けプラント	最高	16.5	13.5	11.0	16.0
	標準	0.9	4.0	2.7	4.6
	最低	-6.5	-8.0	-8.5	-5.0
ボイラー	一運転時間 (hr)		185.5	244.0	110.5
	石炭使用量 (t)		1.45	10.60	6.95
	機械工 (人)		25	25	13

註: 温度記録のうち

最高は日最高温度の最高

青低は日最低温度の最低

標準は日標準温度の平均値である。

表-7 塊体打設現場, 養生温度記録総括表

	1.6~1.31	2.1~2.28	3.1~3.3	計
養生温度 (°C)	14~3	10~3	11~4	
養生面積 (m ²)	19 260	21 299	2 453	43 021
電熱容量 (kWh)	71 055	103 607	13 840	187 502
トイラー 運転時間 (hr)	221	102	6	329
石炭使用量 (t)	14.35	10.55	3.15	28.05

表-8 バッチャー プラント温度記録総括表

期 間	12.1~12.24		12.25~12.31		1.1 ~ 1.31			2.1 ~ 2.28			3.1 ~ 3.15		
	ボイラー, ヒーター とも用いず		ヒーターのみ使用		ボイラー, ヒーターとも使用			同 左			同 左		
測定時刻	1.00	5.00	1.00	5.00	10.00	1.00	5.00	10.00	1.00	5.00	10.00	1.00	5.00
気 温	-1.5	-2.6	-2.6	-3.4	5.6	1.3	-0.3	2.2	-1.6	-2.0	6.2	0.4	2.0
自 然 水	10.0	7.0	8.3	7.9	7.3	7.1	7.4	8.1	7.4	7.5	7.0	6.3	6.6
加 熱 水			34.6	24.6	24.1	21.5	19.4	25.3	28.6	27.6	27.9	28.8	29.5
之メント	7.0	6.9	8.4	8.4	9.3	11.6	10.2	8.9	9.2	8.9	10.7	10.6	10.8
アッシュ	4.7	4.0	5.6	5.1	7.5	7.8	6.9	5.6	5.7	5.7	7.1	6.6	5.7
玉大中砂利	5.5	5.0	5.8	5.5	5.6	6.2	5.4	4.4	5.2	4.9	5.2	4.9	4.9
小 砂 利	5.5	4.7	6.0	5.5	6.6	7.1	7.3	6.3	6.1	6.6	5.8	5.4	5.4
砂	3.2	2.9	2.6	2.4	5.5	5.3	5.1	3.9	3.9	3.7	4.7	4.0	4.0
コンクリート 練上り温度	5.5	5.9	6.5	6.2	8.0	8.3	7.7	7.4	7.5	7.4	8.4	8.0	7.3
打設温度					6.2	7.2	7.0	6.2	6.3	6.3	8.1	8.0	7.3
熱 損 失					1.8	1.1	0.7	1.2	1.2	1.1	0.3	0	0
運 転 時 間 (hr)					387.5			448.0			245.0		
石 炭 (t)					20.75			19.6			10.6		
機 械 工 (人)					27			28			15		

註: (1) 温度記録はすべてその期間の平均値

(2) 加熱前の小砂利の温度は玉大中砂利温度にほぼ等しい

(3) 加熱前の砂の温度は加熱後にくらべて約 1°C 低かつた。

冬季間の気温記録は本年度は表-9 のようであつた。ただしカッコ内は過去3カ年平均である。

表-9

	12月	1月	2月	3月	計
日最高の平均	8.7 (12.5)	10.3 (8.3)	8.7 (10.1)	10.3 (12.8)	
日最低の平均	-3.9 (-1.2)	-2.5 (-4.1)	-3.7 (-3.8)	-2.4 (1.1)	
日標準の平均	2.8 (3.4)	3.0 (0.9)	2.7 (2.0)	5.1 (7.0)	
最 高	13.0 (20.7)	14.0 (15.8)	12.0 (19.1)	16.0 (21.7)	
最 低	-8.0 (-7.3)	-10.0 (-10.0)	-8.5 (-10.0)	-9.0 (-5.8)	
最低0°C以下	30日(21)	30日(25)	25日(23)	21日(12)	106日(81)
~-5°C以下	12 (5)	12 (15)	18 (14)	6 (3)	48 (37)
~-7°C以下	3 (2)	6 (7)	5 (4)	4 (2)	18 (15)
標準0°C以下	4 (8)	4 (13)	3 (9)	0 (0)	11 (30)

(1) 下島プラント, 原石コンベヤーは前章の凍結対策で外気温 -5°C くらいまでは特別運転に支障ない。すなわち骨材は堂平プラントでサージングされるので, コンクリートの打設工程に直接響くことが少なかつた。

(2) 堂平プラント, 製品コンベヤー, 再ふるい分けプラントにおいては外気温が平均 -6.5°C になるとコンベヤーの各ブリー関係が氷結し, スリップあるいは蛇行してコンクリート打設に支障をきたした。特に氷結と風速の関係を調べたところ, 風速 2.5 m/sec 以下ならば -6.5°C くらいまではよいが, 3.5 m/sec 以上になると -4.0°C くらいで凍結した (ただし風速は日最大風速であり, 必ずしも凍結したときの温度と風速の関係を直接示したものでない)。

(3) バッチャー プラントで -7°C はを下ると, ミキサーあるいは計量機のエヤーラムが凍結した。また打設関係ではケーブル クレーン バケットの空気弁が凍結した。

写真-1 堂平第二次骨材ふるい分けプラント
(湿式) 防寒状況



A: コンベヤーヘッド部防寒小屋 B: コンベヤー分岐点防寒小屋
C: カンバスで防寒被覆したベルトコンベヤー D: メリッタ計量機防寒小屋 E: ボイラー室 (5 m²) F: 蒸気供給用パイプ

いま冬季凍結対策および寒中コンクリート施工により打設工程にどの程度の効果をあげ得たかを略算すると、

(1) 対策しないとき (今年の気温で計算上)

表-10

月	12月	1月	2月	3月	計
A	(9日) 0	(7) 0	(10) 0	(5) 0	
B	(14) 7800	(12) 6700	(11) 6200	(6) 3400	
C	(8) 6400	(11) 8800	(5) 5600	(18) 14400	
D	(0) 0	(1) 1400	(0) 0	(2) 2900	
計	14200	16900	11800	20700	63600

(2) 対策したとき

表-11

月	12月	1月	2月	3月	計
A	5800	4500	6400	3200	
B,C,D	31700	34600	26000	37500	
計	37500	39100	32400	40700	149700
計算上					
実際の打設量	41722.5	36335.5	37621.5	43119.25	158796.75

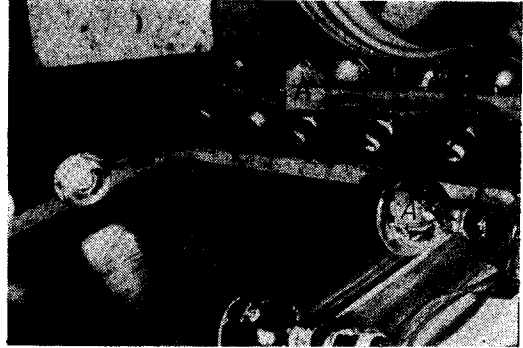
すなわち(1)と(2)では計算的には86100m³実際には95200m³の差があり、従つて予期の成果が得られたものと思う。また1月は実際の打設量が計算上よりも若干少なかつたのは、機械整備に年始の5日間を費したためである。

IV. 熱効率の検討

表-12

プラント名	熱源	総熱量	コンクリート1m ³ 当り熱量 kcal/m ³
下島プラント	赤外線ランプ	5054000 kcal	135
原石コンベヤー	赤外線ランプ、ヒーター	14758000	392
堂平プラント	ボイラー、赤外線ランプ、ヒーター	77414000	2058
製品コンベヤー	ボイラー、赤外線ランプ、ヒーター	13308000	354
再ふるい分けプラント	ヒーター	1078000	29
小計		111612000	2968
バッチャープラント	ボイラー、ヒーター	182286000	4848
打設現場	ボイラー、ヒーター	152816000	4062
合計		446814000 kcal	11878 kcal/m ³

写真-2 製品コンベヤー プーリー部保温状況



A: 赤外線電球
B: ドライブプーリー
C: ベルトコンベヤーのベルト裏面

いま最も凍結対策工事および寒中コンクリート施工の実をあげ得たと思われる2月について、その熱効率を算定してみる。2月中に投入した全熱量を各プラント別に集計すると表-12のようになる。

またバッチャープラントにおける熱効率を算定する。ただし

(1) 骨材温度の初期条件は再ふるい分けプラントを出てバッチャープラントビン搬入直前のものとする。

(2) ヒーター、ボイラー両方使用の夜間(19.00より翌8.00)について検討する。すなわち表-8より夜間1.00と5.00測定記録の平均値をとる。

自然水(加熱前混合水)温度 7.45°C

表面水(加熱前砂と同一温度とする)温度 2.8°C

粗骨材温度 5.05°C セメント温度 9.05°C

アッシュ温度 5.70°C

従つてもしボイラー、ヒーターともに使用しないときはコンクリートの練上り温度は次のようになる。

$$T_c = \frac{53 \times 7.45 + 45 \times 2.8 - 0.20 \times 522 \times 2.8 + 0.20 \times 1619}{98 + 0.20(160 + 40)} \times 5.05 + 0.20 \times 160 \times 9.05 + 0.20 \times 40 \times 5.70 + 522 + 1619 = 4.92^\circ\text{C}$$

しかし、実際は7.45°Cにバッチャープラントで練上げられているから2.53°C上昇させている。すなわちコンクリート1m³当り

$$0.22 \times 2.53 \times 2350 = 1308 \text{ kcal/m}^3$$

一方夜間のみで投入した熱量は

ボイラー 15840 (2月分石炭 19600 のうちの夜間の分) 6000 = 95040000 kcal

ヒーター 206 × 12 hr 26日 × 864 = 55531000 kcal

計 150571000 kcal/月

夜間のみの打設量 20768.5 m³

ゆえに1m³当りの投入熱量は 7250 kcal/m³

従つて効率は 1308/7250 = 18.0%