

# 有峰堰堤の施工法に就て

富山縣電氣局技術顧問  
工學博士

石井 穎一郎

昭和十二年九月

(以印刷代謄寫)

富山縣電氣局

梗 概

本論は富山縣有峰堰堤の施工法に關する研究にして、第一節に於て既設堰堤の實例より内部温度上昇を30°C内外に見込むの適當なること、セメント水和熱の消散に數年を要するを述べ、第二節は内部温度及乾燥のため收縮龜裂を發生すること、收縮による應張力、龜裂の實例と反對説、筆者の意見を述べ。第三節は龜裂防止的施工法にして、セメントの問題、重力堰堤内部應力の分布、次で種々の施工接手の入れ方を順次批判し、近代ブロック式工法の理論的矛盾を指摘し、結局從來の水平層々打上工法の止むを得ざるを明かにし、堰堤工事の困難を説き、一層細心なる施工の必要を主張し、尙参考として鉄筋による龜裂防止の經濟的不能なるを明確にし、次で骨材冷却法の費用を算出し、人工冷却水を循環使用する時は經濟的可能らしく思はるゝも之が實行に當りては更に實驗の必要なるを述べたり。第四節有峰堰堤の施工法は從來の伸縮接手工法採用の妥當なるを論じ、最後に堰堤断面決定に關し筆者の希望を述べたり。

正 誤 表

頁	行	誤	正
緒言	8	昭和十一年	昭和十一年
3	23	Initial	Initial
4	10	して	して
5	17	monolithic	monolithic
6	30	左圖實線	(A)の實線
7	1	(B)實線	(B)の實線
7	第三圖	(B)等應力度線	(A)等應力度線
8	14	假に内部上昇	假に内部温度上昇
9	3	groufing	grouting
9	12	Geresole	Ceresole
9	31	行渡らざるを	行渡らざるを
10	18	Keyw ay	Key-way
12	23	注入管費(A)ノ場合ノ堤軸ト直角ナル注入管は	注入管費((A)ノ場合ノ堤軸ト直角ナル注入管)は
16	20	放散せしなる	放散せしむる
17	12	讃歎に	讚嘆に
17	22	絶無になさんとせだ	絶無になさんとせば
17	03	$\frac{As}{Ac}$	$\frac{As}{Ac}$

## 緒 言

富山縣電氣局は常願寺川水系和田川の水源に一大堰堤を築造し、有峰盆地を大貯水池と化し、新たに水力発電所を建設すると共に、既設下流數發電所の効率を增高せしめ、以て統制ある水力發電系統とし、併せて常願寺川の利水と、治水に至大の効果を齎すべき計畫を進行しつゝあり。此處に築造せらるべき有峰堰堤は高さ 355 尺、長さ 1056 尺の混凝土造重力堰堤にして、現在本邦に存する最高の堰堤より高さこと更に約 100 尺に及ぶ。筆者は技術顧問として本堰堤工事に關係するが故に、之が工法に關し些か研究する處あり。

近年米國に於ける土木事業、就中堰堤工事の發達は今や最高峰に達すと云はれ、遂に世界最高の Boulder 堰堤を完成し、次で Grand Coulee の築造に邁進しつゝあり。筆者は昨昭和十一年ワシントンに國際大堰堤會議の開催されたるを好機とし、之等最新の大堰堤を視察し大に得る所ありたり。歸朝後改めて有峰堰堤の施工に付て考究するに及び、米國に於ける所謂最新式の工法を其儘採用するを適當とすべきか、將又必要なりや、疑問を抱くに至れり。即ち彼我國土の相違と、スケール大小の差は、經濟的構造物建設に於て、第一要件として考慮さるべき事項にして、本邦には本邦としての又有峰には有峰として適切なる工法を採るを自然とすべきに非ずやと考ふるに至れり。

而して混凝土堰堤工法の最難點は、施工容量、進度の増加に伴ひ起る内部温度の上昇、收縮龜裂の發生にありとす。茲に於てか筆者は先づ之等の問題を改めて検討し邁つて堰堤應力の理論に觸れ、順次各種工法に論及し、最後に有峰堰堤に於て採用すべき工法を解決せんと試みたり。依て大方諸士の高覽に供し更に高評を待つ所以なり。

## 内 容

I. 混凝土堰堤の内部温度 .....	I
II. 收 縮 龜 裂 .....	3
III. 龜裂防止的施工法 .....	6
IV. 結 論 .....	26

## I. 混凝土堰堤の内部温度

混凝土重力堰堤の築造に於て最も困難なる問題は龜裂の發生し易きことにして、其傾向は堰堤の高さの増大に伴ひ益々多からむとす。

龜裂の主因は混凝土の凝結並に硬化の際に於けるセメントの水和熱の發生及放散による温度變化に基く膨脹及收縮並に乾燥による收縮によるものとす。而して堰堤の高さの増大と施工速度の要求とは堰堤内部に熱量の蓄積を益々累進せしめ施工を困難ならしむ。

近年築造せられたる混凝土堰堤に於て實測されたる内部温度の上昇は、(混凝土打込當時の平均気温より上昇したる温度) 次表の如し。

堰堤名稱	上昇温度	備考
小牧	30°C	打込當時10日間平均気温以上
小屋平(黒部川)	30°C	埋設時(10年11月1日午後1時) コンクリート温度以上
Owyhee	36.5°C	
Ariel	39°C	
Schluchsee	31°C	
Bleiloch	31°C	

温度測定記録なき他の大堰堤に於ても、普通セメントを用ひたる場合は大體30°C内外の温度上昇ありしものと推定せらる。特種の規格により製造せられたるセメントを使用したる Boulder Dam に於てきへ實驗の結果によれば 26°C の温度上昇を想像せられたりと云ふ。

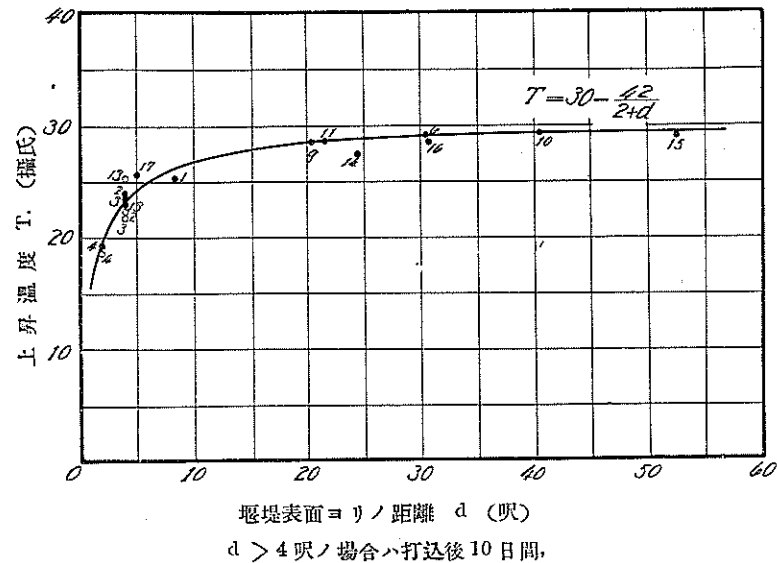
小牧堰堤に於て測定せられたる處によれば、セメントの水和熱に因る温度上昇は混凝土の打込と殆ど同時に始まり、或温度計は打込より4時間後に於て早くも 10°C 上昇し、36時間にして最高温度に達したるを示したり。

一般に打込後2-3日にて大體上昇を終り48時間前後に於て略ぼ最高温度に達す。小牧に於ける最高温度は 55°C にして一般に 40°-50°C のもの多し。其 55°C を示したる處は堤頂より60尺下の中心部に於て8月の暑中施工し、當時平均気温 25°C なりしを以て即ち 30°C の温度上昇なりとす。之に反し4月頃打込みたるものは平均温度 10°C 位にして内部温度 20°-30°C を示し、即ち温度上昇 18°-20°C なりしは最注目に値すと云ふべし。之れ夏季に於ては平均気温の高きに加ふるに庄川の河原にて採集したる砂利、砂は非常に高温にして、且つ混凝土として打込まれたる後も熱の放散すること少く、又夏季は仕事の繁盛季なるを以て施工速度早く打ち繼がれ、かく内部に熱を蓄積せしむべき條件重複するが爲に 55°C 又は 60°C の處さへ推察せられたる所以にして、之に反し春季、北陸地方に於て雪解けの直後に打込まれたる部分は上記と全く反對の経過を以て施工されたるが故に好結果を得たるものなりとす。

温度上昇と混凝土の表面よりの深さの關係に付き小牧堰堤に於ける研究は拙著既刊第一回國際大堰堤會

議提出日本論文集に邦譯を掲げたるが、茲に其一部を掲ぐれば第一圖の如く

第一圖 小牧堰堤に於けるコンクリートの厚さと  
温度上昇の關係曲線



$$T = 30 - \frac{42}{2+d} \dots (1)$$

なる式にて表さる。

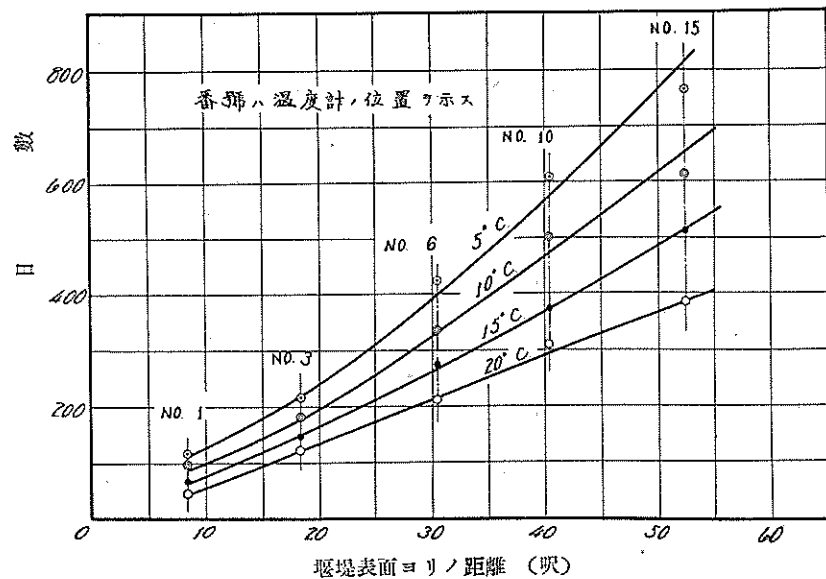
茲に T = 打込後の平均気温よりの温度上昇 °C。

d = 混凝土表面よりの深さ呎

此曲線によれば表面より 5 呎の深さにて既に 24°C の上昇を示し、深さ 30 呎前後より内部は温度上昇は一定し約 30°C なり。故に若し或堰堤を 50 呎 × 50 呎ブロックとして施工すると假定せば温度上昇 28°C 内外と想像し得べし。

内部温度の持続は第二圖に示したる如く、表面より約 50 呎深き堰堤内部にては打込當時の気温より 20°C も高き高温が約 1 箇年も継続し、又 5°C 以上の上昇温度は 2 箇年前後継続す。かく内部に於ける熱が混凝土の厚き層を通じて放散する速度は極めて緩漫にして外部の平均温度迄全く下降するには非常に長日月を要す。其の期間は堰堤を包む環境即ち外氣温度、貯水池水位の變化、水温等により左右され一定し難しと雖米國にては厚さの比較的薄き拱堰堤に於てさへ兩三年を要すと云はれ、小牧堰堤に於ては水和熱の大體放散したるべしと思はるゝ迄約 3 ヶ年を要したり。故に彼の Boulder Dam の如きは若し人爲的冷却法を採用せざりしならば内部温度の繼續百年を超ゆべしと想像せられたる故有りと云ふべきなり。

第二圖



小牧堰堤内部ノ混凝土ガ打込後 60 日間ノ平均気温以上 5°, 10°, 15°, 及 20°C, 高イ温度ヲ持續セル日數。

之等の實例により有峰堰堤の内部温度を想像せんに、普通セメントを使用するとし、施工法を在來の工法通り堰堤の長手に於てのみ接手を設くるものとし、且つ其間隔を 50 呎とせば、I ブロックの中心が表面よりの距離は左右兩面より各々 25 呎にして、上下流表面よりは、假に頂部より 300 呎下に於ては各約 140 呎の深所にあるを以て、中心附近に於ける温度上昇は最高 30°C と見込みて大差なかるべく、又夏季混凝土打込温度は 24°C と認めらるゝを以て内部最高温度は 54°C 内外、或は 60°C に達すること亦想像し得らるべし。

従つて之が外氣温度と同等に低下する迄には毎年約半ヶ年に及ぶ積雪による影響と、次で貯水による冷却を考慮に入るも尙數年の年月を要すと想像せらる。

## II. 收 縮 龜 裂

大堰堤に於ては其中心部は殆ど斷熱状態に置かれ、こゝに莫大なる熱量を蓄積し、爲に温度著しく上昇して 60°C 前後に達すること前述の如し。従つて混凝土の容積は膨脹す。やがて月日の経過するに従ひ水和熱は次第に放散し、混凝土の乾燥即水分の蒸發と、外氣温度の低下、並に貯水による冷却等のために堰堤は徐々に收縮を起すに至るべし。而して收縮は當然張力を生じ、之が混凝土自體の極張強度を超過するに至る時始めて龜裂の發生を見るに至るものとす。

假に或堰堤に於て夏季平均気温 25°C の時に施工てられたる混凝土が 30°C の温度上昇ありとし、内部最高温度 55°C となりたりとせよ。次で之が漸次冷却し始むる時は表面と内部との冷却度の相違により先づ表面に Hair crack を生ずべし。やがて堰堤の中心部に於ては其地點の年平均気温、假に 12°C に冷却するものとして、55°C - 12°C = 43°C の温度變化を受くることとなり。假に乾燥のための收縮無しとするも、此冷却による應張力 (δ) は

$$\delta = 43 \times 0.00001 \times 150,000 = 64.5 \text{ kg/cm}^2$$

と概算し得るを以て、假令此温度變化の一部分が施工後堤體内の Initial compressive stress として負擔され居り、δ が 64.5 kg/cm<sup>2</sup> より幾分小なりとするも龜裂の危險性は否む能はざるべし。若し 30°C の温度上昇の内 15°C 丈け Initial compressive stress により負擔されたりと假定するも、

$$\delta = (43 - 15) \times 0.00001 \times 150,000 = 42 \text{ kg/cm}^2$$

となり尙龜裂の危險存するものと認めらる。

之に反し都合よき條件の下に施工せられたる場合、假に最初の温度 15°C、温度上昇 20°C 程度とし、且つ此内 10°C は Initial compressive stress として負擔されたりとせば、將來 12°C に冷却した場合には、

$$\delta = \{(15 + 20 - 10) - 12\} \times 0.00001 \times 150,000 = 195 \text{ kg/cm}^2$$

となり龜裂發生の傾向著く減すべし。之れ堰堤の如き大塊混凝土に於ては理想として夏季の施工を避け度き譯にして、又ブロック式工法として其人爲的冷却、或は骨材冷却の思想の起る所以なりとす。堰堤の收縮は乾燥による影響亦大なり。混凝土の乾燥による收縮は實驗に徴すれば施工後數年後に於て 1m に付き

0.4-0.5mm に及ぶと云はる。然れ共之等試験より求めたる値を以て直に大堰堤に適用するの不可なるは勿論なりと雖、堰堤が巨塊なるの故を以て乾燥による収縮を等閑視し、又は上流面が水に浸漬せらるゝ故を以て内部は決して乾燥すること無しと斷ずるは早計なりと云ふべし。堰堤の幾何の深さ迄乾燥すべきや、又乾燥による収縮の程度は、堰堤により其環境により相異り之を明示するは困難なりと雖之が収縮の程度は相當の大きさに及ぶものと推察せらる。

堰堤は底部に於て岩盤に固定さるゝ爲め其所に於ける混凝土は収縮により張應力を生じ龜裂の發生を見ることがあり。又岩盤の傾斜面に築造されたるブロックは形状不規則なる爲一層龜裂の傾向多し。

一般に堰堤の龜裂を防ぐ方法として採用せらるゝ方法は堤軸に直角なる垂直収縮接手、即堰堤の長さの方向の接手を設ける方法なりとす。此工法は混凝土の打方にも都合良きため最普通の工法となりたり。而して其間隔は種々の例あれ共歐米の専門家の多く一致せる處は50呎前後を適當とせり。小牧に於ては中央部ブロック90呎、85呎、左右ブロック65呎、60呎等に區分したるが尙表面に毛狀龜裂を生じたり。筆者の経験によれば接手の間隔は廣きより狭き方龜裂の傾向少きは勿論なりと雖、さればとて狭くしたりとて矢張り表面の毛狀龜裂は免れざるものにして、何呎にせば絶對龜裂を免るかは實に困難なる問題と云ふべし。然れども大體論として60呎-50呎が總ての點より見て適當ならむと思はる。此程度に接手を設ける時は、たとへ表面に生ずる毛狀龜裂は止むを得ずとするも、堰堤を横斷する程深く龜裂の侵入することは稀なりと思はる。

堤軸に直角なる接手により堰堤の上下流面に生ずる垂直龜裂は解決し得たりとするも、斷面に生ずる龜裂は如何共致し難し。殊に近年堰堤の高さ加はり従つて斷面積増大するに従ひ、益々其傾向を増さんとす。茲に於てか収縮及施工の兩方面より堤軸に直角なる接手と共に堤軸に平行なる接手、即ち河の方向に直角の接手を、設けるの餘儀無きに至り所謂柱狀ブロック工法の採用を見るに至れり。Boulder Dam 及び Grand Coulee Dam は其適例なりとす。柱狀ブロックの賛否に付はて後段詳述すべし。

堰堤の規模大となるに従ひ尙他の問題は、施工速度の問題なりとす。即施工急速を尊ぶ結果水和熱の初期放散に必要な暇無く、益々莫大の熱量を内部に蓄積せんとする傾向あることなり。之が爲め米國に於ては最近施工の堰堤は何れも一回打上りの高さ（以下リフトと稱す）、及び次層打繼迄の時間を制限するに至れり。之に對し T. G. Tripp 氏は氏の経験より収縮龜裂は施工進度の増大に依ると云ふ説に反駁を試み、氏は大小堰堤の築造中施工の急速なる場合は勿論、緩漫の場合に於てすら尙且つ縦横の龜裂の早く發生するを見たりと、故に施工の急速なる事が必然的に収縮龜裂を作ふ原因とはならずと結論せり。之亦味ふ可き言なりと雖、急施のため堰堤内部温度の高まるは争はれざる事實にして、従つてリフト及打繼時間を制限して急施による害を緩和するは最適切の工法と云ふべきなり。

堰堤の龜裂は下流面に現れたるものは見易しと雖、上流面に於けるものは貯水のため認め難く、又接手斷面に生じたるものは永久發見せられざるもの多かるべし。唯監査廊を有する堰堤に於ては監査廊を横斷し或は之に沿ひて生ずる龜裂により内部龜裂の存在と方向を推察し得べしと雖、之とて監査廊あるために

局部的に龜裂の生ずること亦多しとす。之れ監査廊は其構造及工法より考ふるに堤體の他の部分より早く冷却を起すを以て此處に収縮龜裂の生ずる傾向あるは當然なりと云ふべし。故に堰堤内部に縦又は横の監査廊を設けて内部龜裂を診斷するは可なりとするも、一般に堤體内に廊孔を設けることは堤體の他の部分と不均齊の収縮を起さしむる因となるを以て堰堤の安全を害せざる範圍の少數に止むべきを筆者は望むものなり。

St. Francis Dam の缺潰後其殘骸の斷面上に垂直又は下流面にほゞ平行なる數龜裂を認められたりと云ふ。而して之等龜裂より缺潰後數日間水が滲み出でたる事を以て可成り深く入り居りたるべしと推論せられたり。此事實は横斷面に現れたる龜裂の實證と云ふべし。Henny 氏は斯る龜裂は垂直に生じ易く最大剪力の方向に近しと指摘せり。

以上収縮龜裂の理論及實例を述べたるが、堤體内部に起る収縮龜裂に關しては反對説をなす者もありとす。以下其代表的のものを擧ぐべし。

A. J. Wiley 氏は堤軸に平行なる収縮龜裂は極めて局部的にして空氣中にて凝結する爲に生ずる Open galleryを除きては如何なる堰堤にも、斯る龜裂の證據は見當らずと稱し居れり。又 Multiple arch 及 Ambursen Dam の薄き Buttress に収縮龜裂の發生したることを以て直に Massive なる重力堰堤の内部にも同様なる収縮龜裂を生ずるとの證據にはならずと。多くの厚き大なる Arched gravity Dam に収縮接手を設けたる場合、接手の開口は表面丈けに止まり、10'-20' より深所には及ぶものに非ず。其れ以上深所に於て堰堤は實質的には一體なり (practical monolithic)。之は収縮接手の下流面より漏水の無きことを以て立證せらる。Mulholland Dam に於ては此事が壓力試験により明瞭となりたりと。Gallery 其他外氣に接する所は急速冷却と乾燥とに依り急激に収縮する爲に龜裂を發生するなり。氏は又 St. Francis Dam に現れたる龜裂に就ても大なる疑問をなし、氏自身現場を視察し、嘗て Noetzi 氏が Axial crack なりと考へたるものは實は缺潰の可成り前に起りたる Radial contraction crack の一の境界なりと述べ居れり。

筆者は之に對し、堰堤の軸に平行なる収縮龜裂（内部龜裂）が絶無なりと斷ずる議論には承服するを得ざるなり。Arch Dam のみならず重力堰堤に於ても斯かる龜裂は充分發生すべき可能性有り。然れ共堰堤の横斷面は一般に相隣れるブロックによりて互に外氣より保護せられ、上下流面の如く急激の乾燥、冷却無きを以て上下流面程龜裂の發生の傾向少しと認むるを妥當なりとせんか。其監査廊に現るゝ龜裂のみを以て直ちに内部に深く侵入せる龜裂と斷ずるの早計なるは前述の如く、此點 Wiley 氏と筆者の意見一致する處なり。筆者の経験によれば酷暑の候ブロックを急ぎ打上る時は堤軸に平行なる龜裂は、上下流面に現るゝ堤軸に直角なる龜裂と同様に起り易きものにして、殊に前者は堰堤の最大剪力の方向と一致するを以て最も警戒すべきものなり。而して如何なる方向の龜裂にもせよ、工事中に現はるる龜裂は混凝土の初期強度未だ充分ならざる時代に發生するを以て可成り奥深く侵入する恐れあり。故に工事中龜裂を發見する時は假令局部的のものと雖直ちに適當の處置を講ずべきは勿論にして且つ再び其失敗を繰返さざる様、混凝土の施工方法、時期、リフト、速度等を研究し、特に養生に付ては一層の注意を拂ふべきを望んで止

ます。

### III. 龜裂防止施工法

#### a) セメント

混凝土の水和熱を低下する最有效なる方法の一は特種セメントを使用することと考へらる。所謂低熱セメント之なり。低熱セメントは大別してポルトランド系のものと、混合セメント系のものとの二種とす。何れにせよ此種セメントにより内部温度を引下げ、收縮龜裂の發生すべき傾向を減少せしむるを得ば堰堤工事上非常に有益なること云ふ迄も無し。筆者は其完成を望むで止まざるものなりと雖、本邦に於ては其市場に現れたる日尙淺く、大規模に使用されたる例としては現在施工中の塚原堰堤のみかと思はる。而も同堰堤に於ける成績は未だ公表さるゝに至らず。之が強度、發熱其他性能等製造會社の試験成績のみを以て直ちに之を實行に移すは如何かと思はる。此故に富山縣に於ては目下之等各種セメントの試験中にして果して何種を採用すべきか未定なり。

低熱セメントに關し注意すべきは Boulder Dam に用ひられたる特種セメントの實例なり。即ち夫れによれば低熱の状態を保ちたるは早期に於てのみにして、長期に至りては其温度上昇は普通ポルトランドセメントと大差なく、單に發熱期が普通品より遅れたるに過ぎず。塚原堰堤の成績は知らずと雖矢張り上記と同様の結果ならずやと想像せらる。故にかゝるセメントを有効に利用する爲には Boulder に於ける如く未だ高温に上昇せざるに先立ち、即ち早期に於て冷却法を行ひ温度低下を計るを以て有効とすべく、然らざれば結局普通セメントと大差なきやに考へらる。然れども茲に興味ある問題は混凝土の Plastic flow 即ち荷重による漸増變形の問題なりとす。此問題は最近漸く斯界の注意を引くに至りたるが、加州大學 R. E. Davis 氏、其他二氏の研究によれば (E. N. R. July 29, 1937) 一般に水セメント比大なる混凝土は其小なるものより flow 大にして、又同一水セメント比を有する混凝土に對しては富配合は貧配合より大なる flow を示すと云ふ。之等の研究に於て尙注意すべき事は、粗粒低熱ポルトランドセメントを用ひたるものは普通セメントのものより Plastic flow 大なる事指摘せる事にして、Plastic flow 大なる事は當然龜裂發生少きことを意味す。故に現代の低熱セメントに類似の組成なる粗粒セメントを以て 55 年以前築造されたる桑港水道に屬する Crystal Spring Dam (小ブロック式工法による) は殆ど龜裂無かりしと云はる。塚原堰堤はブロック式工法により築造されつゝあるが未だ龜裂の發生を見ずと云はるゝは其原因一は特種セメントの採用によるに非ざるか。

有峰堰堤は上記の如くセメント試験中に屬するを以て以下普通セメントを使用するものと假定し論を進むべし。

#### b) 重力堰堤内部應力の分布

第三圖は有峰堰堤の満水時に於ける内部應力圖にして、左圖實線は最大主應力の、點線は最大應剪力の各等應力度線を示す。而して堤趾に於ける應剪力 160 噸/m<sup>2</sup> は注意に値す。

又第三圖 (B) 實線は最大及最小主應力の、點線は最大應剪力の方向を示すものにして、剪力の方向が水平及垂直に近きは接手施工上大に注意を要する點なりとす。

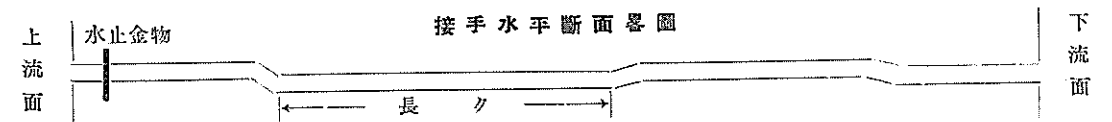
内部温度の影響は堰堤の内部應力に至大の關係を有し、實際の應力分布の狀態は之と異なるべしと雖、未だ不明なるを以て茲には本圖により考察を進むべし。

#### o) 施工接手の入れ方

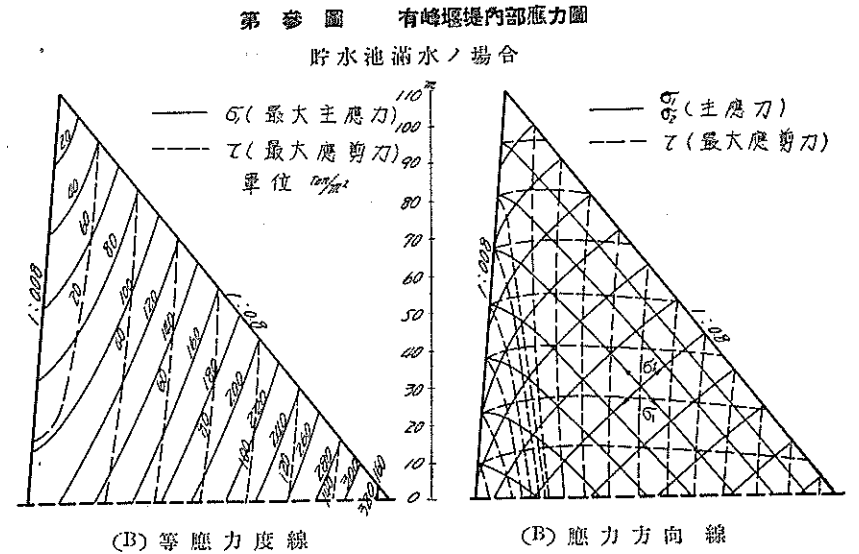
##### i) 堤軸に直角の垂直接手

此接手は最も一般に採用せらるゝ工法にして且つ其間隔を 50 呎-60 呎とするを適當とすること前述の如し、實例の示す處によれば堰堤の高さ甚しく大ならざる場合は此方向の接手のみにて施工可能なるべし。而して其高さ何程迄を可なりとすべきかは一様に決定し難く困難なる問題と云ふべし。

此工法に於ては一般に接手面に凹凸を設け、隣接ブロックと咬合せるを常法をすれ共こは一得一失と云ふべし。凹凸により咬合はせられたる各ブロックは堰堤が Deformation を起したる時各單獨に變形又は變位することなく、互に掣肘することにより一見安全に思はるれ共、之がため各ブロックに無理なる應力を生じ、凹凸部に龜裂を發生すること往々あり。さればとて接手を全然平面接觸にするは堰堤の一體性を無視する事なれば、凹凸は矢張り設くることとす、凹凸部の長さを大とし、従つて其数を少くし、且つ接觸部に於ける急角度を避くる様にするを可とすべきか。此點に付ては諸家の研究發表を望むや切なり。



接手の上流端に挿入する水止金物は銅板を最良とす。小牧に於ては厚さ 1/4" の銅板を一文字に挿入し、一端固定、他端可動としたるが諸所漏水を認めたり。察するに可動端の周圍を廻りて漏水するか又は銅板接合部不完全なりし爲と思はる。最近竣功したる黒部川小屋平堰堤に於ては 1/8" 銅板を U 字形に挿入し、小牧の缺點を繰り返さざらむとせしに之亦諸所漏水を見たり。原因は銅板上下端接合に際し入念に蠟付けせしめたるも、形狀複雑なるため混凝土打込の際し銅板を歪め、蠟付けの離脱したる爲と判断せられたり。Z 形は經驗なきも相隣れるブロック變位したる場合切斷の恐れあるべし。此ことは一文字板に於ても同様の缺點を有す。何れも完全を望むは難しと雖矢張り U 字形を可とすべきか。接手よりの漏水は龜裂、施工



第 三 圖 有峰堰堤内部應力圖  
貯水池満水ノ場合



(A) 等應力度線

(B) 應力方向線

目地等よりの漏水と異り、堰堤の安定に無関係なるやに思はるれ共、混凝土頽化の原因は主として漏水に起因するを以て、如何なる場合にもせよ漏水は最も忌むべきものにして、直接間接に堰堤の安全性を幾分なりとも低下するは否むべからざる事實なり。

ii) 堤軸に平行なる接手

Boulder Dam, Grand Coulee Dam 等に採用せられたる工法にして、堤軸に直角なる接手と同時に平行なる接手を併用するものなり。所謂ブロック式柱状打上り工法なり。

上記兩堰堤共ブロックの大きさは長さ奥行共 50 呎×50 呎(標準)柱状に打上る。而して一回打上り高、即ちリフトを 5 呎とし、次リフト打始迄 72 時間以上の経過を要すとせり。各ブロックは縦及横の凹凸組合せ、所謂 Key way によりて組合す。凹凸の形状は Boulder Dam にては  状とし、Grand Coulee にては  状とす。Key-way は兩者共堤軸に直角の接手には垂直とし、平行の接手には水平とす。即前者は堰堤の前後の Deformation に對して一體性を要求するため、後者は接手の方向が最大剪力の方向と一致するを以て之が補強且つ應力分布に對し堤體の一體性を保つ爲なりとす。

柱状ブロックの工法は各ブロックを基盤目式に打上ぐるを以て常に先に打上げらるるブロックは幾分温度上昇を緩和せらると雖、單に自然の冷却に任ず時は温度低下に非常に時間を要し、假に内部上昇 30°C 近くの 1 柱獨立し、周圍外氣に包まると假定するも、5°C 迄低下するに約 300 日を要すること第二圖の如し。いはんや實際に於ては引續き基盤目に相互に打上ぐるを以て自然冷却に放置する時は温度低下に非常の長時間を要すべし。故に此工法は必然的に人為的冷却法を伴ひ、夫れに依てブロックの收縮するを待ち周圍の間にセメント注入を行ふを以て常法とす。尙人為的冷却法は温度上昇を或程度に制限するのみならず、多數の冷却管を内部に配列することによりブロックの均等收縮を目的として行はる。

有峰堰堤の場合に於ては冬季積雪 10m に達する處なるを以て降雪を利用して夏季施工のブロックを冷却しては如何との考は當然起るべき理なり。即此場合先づ第一夏には基盤竊に一つ飛に打上り、冬季打残されたる穴に自然積りたる雪にて冷却を行ふ。12 月末より 5 月末迄積雪季なる故 8 月盛夏に打込まれたるブロックは翌年 6 月、即第二夏の初期迄 9 ヶ月餘経過することになり、大體ブロック内部は常温に近づきたりと認めらるべし。次に第二夏には前年打残されたる部分を基盤竊に打上げざるべからず。之等は周圍取圍まれたる穴に打込まれ放熱の機會少き上に來るべき冬季には、之等は雪によりて冷却せらるる恩恵を受くる能はず、之が温度低下には非常に長期間を要す。更に翌年、翌々年は前々年、前年施工の上層に夫々同様條件のものを打次ぐを以て、施工に長時日を要するのみならず、完成したる結果より見れば基盤竊的に不均等なる堤塊より成る堰堤を築造したることとなり、其結果の好ましからざるは云はずして明かなりと云ふべし。故に柱状ブロック工法に於て人為的冷却法を行はざるは收縮接手としては効果甚だ少く、單に施工の便宜に過ぎずと云ふの外なし。殊に特種セメントを用ひたる場合冷却法を併用せざれば一層效果的ならず。

上記米國の二大堰堤に於て採用せる cooling 及 grouting 管及リフト時間の制限次の如し。

Boulder Dam:—50'×50' 柱状ブロック; 1" cooling pipe 5' c. to c.; 1/2" grouting pipe 10' c. to c.; lift max. 5' in 72 時間; max. 35' in 35 日。

Grand Coulee Dam;—50'×50' 柱状ブロック; 1" cooling pipe 5' c. to c.; 1/2" grouting pipe 6'~7'~10' c. to c.; 其他前者と同様。

人為冷却法を行はず單にブロック式としたる例;—



Grimsel Dam, 堤軸に平行に不規則 2~3 個の施工接手を入れリフトは約 3m に上げたり。又特に上流面に稠密なる混凝土層を打ち、其下流には堰堤全長に亘る空隙を残し置き、且つ此等空隙を主應力線と一致せしめ、此部分を後にて填充したり。之は上流稠密層の施工接手を後詰めの混凝土にて蔽ふ目的なりと云ふ。(第九圖参照)

Dneprostroy Dam, リフト 4m, 堤軸に平行の方向に 6~15m ブロックとしブレーキジョイントとして上げたり。

Geresole Reale Dam, 堤軸に直角の收縮接手を 25m 間隔とし、平行の接手を 24m とし、こゝに 1m の空隙を残し置き後にて之を填充したり。

塚原堰堤、堤軸に直角なる接手を 2 1m~17.5m とし、平行の接手を 18m~16m~23m……等とし、高さを三段又は四段としてブレーキジョイントに壘築しつゝあり。此堰堤は我國に於て堤軸に平行なる接手を採用したる最初のものとして云ふべし。

一般に高堰堤に於ては温度上昇、及龜裂の問題無しとするも、上下流面に亘りて廣く混凝土を連続打込むことは一回打上の數量莫大なる量に上り、設備の點より施工不可能なることあり。此故に施工の便宜より云はるるブロック式工法、或は堤軸に平行なる任意の施工接手を設くるは止むを得ざることなりと雖、之を以て理論的に適法と認むべきや大に疑問無き能はざるなり。第 3 圖に示したる如く堤軸に平行なる接手は貯水池満水の場合に於ける最大剪力の方向と一致することにして、特に堤趾に近づくに従ひ剪力の値は大となるを以て之に近く堤軸に平行なる垂直接手を設くるは最も忌むべきことなりとす。此點より見る時は柱状式ブロック工法は最進歩したる工法と一般に認めらるると雖、理論的には全く矛盾したる工法と云はざるべからず。

之を以て Boulder Dam 及 Grand Coulee Dam に於ては此不合理を補正する爲に前記の如く各ブロックの上下流面に水平の  又は  状 key way を設け且つブロックの收縮による周圍間隙にセメント注入を行ひ、全堰堤を一體的ならしむるに苦心したり。而してセメント注入は完全に汁を行渡らせる必要よりブロック表面は特に平滑に仕上ぐることとせり。即混凝土の表面は型板を取外したるまゝの平滑状態とし、面上少しにても粗面又は目地突起ある時は電氣グラインダーにて磨きをかけ平滑に仕上ぐ。普通施工接手に行はるる表面を缺き取り粗面仕上げとすることゝ全然反對に却つて平滑なる接手面を造るなり。かくせざればセメント汁は key way を有する接觸面に行渡らざるを以てなり。かゝる工法を用ゆる故セメント注入は完全に行はるべしと雖、こは充填に止まるものにして各ブロックを膠著



する効果無しと筆者は信ずるものなり。唯上記 key way によりて相隣れるブロックは組合され、剪力に對し50%の強度を有するに過ぎずと云ふべし。即柱狀式ブロック工法は堰堤施工上最厭ふべき最大應剪力の方向に接手を設けることにより、上記補強策を講ずるも尙應剪力に對する安全率を半分にしたるものと云ふべし。しかも50%の應剪強を得るためには莫大の費用を投じ、非常に手数のかかる工法と細心の注意を拂ふことによりてのみ得らるゝものにして、若し施工不完全ならばブロック間隙の充填は直ちに効果を減ずること云ふ迄もなかるべし。

然りと雖上記米國の二大堰堤の如き最大級のものに於ては施工の便宜より云ふも、又收縮龜裂防止の點よりしてもブロック式より他の手段は見出し得ざるべし。殊に Boulder は其現場を視察するに、兩岸狭く峭ちたる大岩壁の間に全堰堤を massive なる一體として楔狀に造り上げたものにして、此堰堤をかく拱狀重力式としたる處に大なる意義を見出し得るなり。拱狀重力堰堤は理論的に一得一失ありと雖、Boulder に於ては能く其得點を利用し、完全に柱狀ブロック式の不合理性を補ひ得たるものと云ふべし。之に反して Grand Coulee は高さ 550 呎、延長 4,300 呎の直線式重力堰堤なるを以て各ブロックは迫り持ちに成り難く其安全性は理論的に Boulder に及ばずと云ふべし。但し後者は其高さ前者より低く、しかも混凝土の量は前者を遙かに凌ぐが故に、之より他の適法なしとせば、現代技術の範圍に於て、之亦此堰堤に適當の工法と云ふべきか。

目下工事中の塚原堰堤は其施工法上述の如くブロック式を採用したり。此堰堤に於ては混凝土打込に當り、先に打上げたブロックの垂直面を完全に缺き取り粗面とし之に隣れるブロックを打繼ぐこととす。ブロック周囲は全く垂直にして key way を設けず。又念のためブロック間に間隙の生ずる場合を豫防し不完全ながらセメント注入管を布設す。察するに塚原堰堤に於ては施工接手として柱狀ブロック式を採用したりと雖、出來得べくば連接塊を密着せしめたい希望を以て特に表面を新鮮なる粗面仕上げとして打繼ぎたるものにして、尙且つ萬一間隙を生じたる場合を慮りセメント注入管を設備したるに非ずやと思はる。米國の如き大規模堰堤に於て一發電所百萬 K. W. を超ゆるか如き處に於ては莫大の經費を投じ、あらゆる完全なる設備、工法を行ふは易々たるべしと雖、我國の如く一發電所多くも數萬 K. W. を出でざる所に於て且工事用機械工業が土木事業に作はざる現代に於ては、塚原の如くブロック式を採用すると雖、人工冷却の行はれざるは亦止むを得ざる事と云ふべし。筆者は冷却法を併用せざるブロック工法は其價值甚だ少しと云ふと雖、こは理論的事にして、塚原の場合決して其不合理を責むべきに非ず。徒らに先例を模倣するよりも、先んじて夏季用セメントを以て近代的硬練混凝土を施工し、率先ブロック工法を採用したる當事者の勇氣は大に賞揚さるべきなり。此堰堤に於てブロック表面の缺取りとセメント注入設備とを併用したるは、明かに矛盾したる工法なりと雖、之亦當局の苦心を察すれば寧ろ同情を以て觀察すべき事と思考す。塚原堰堤に於て最注意すべきは堤軸に平行なる接手の内其堤趾に近きものは堤體中最大値の應剪力の方向と一致するを以て特に入念施工を望んで止まず。

施工接手の問題に付ては更に項を改めて詳論すべし。

iii) 有峰に柱狀ブロック式を假に採用したる場合の經費

1 ブロックを 15m×15m と假定し、高さ 15m に對する工費を算出すべし。冷却管は徑 1" 引拔鋼管を水平に 1.5m 毎に、上下間隔を 1.5m として配置するものとし、注入管は 1/2" ガス管を堤軸に直角の接手には約 1.8m 間隔に、平行の接手には約 1.5m 間隔に設置するものとす。之等の配置は總て Grand Coulee の實例に準ずるものと假定す。

冷却工費見込:

鋼管(徑1吋)	$5,000^{\text{尺}} \times 0.30^{\text{尺}} = 1,500^{\text{尺}}$	重量	1.753 <sup>噸</sup>
伸縮繼手	$100^{\text{尺}} \times 0.080 = 80^{\text{尺}}$	同	0.097 <sup>噸</sup>
材料費計	1,580 <sup>尺</sup>	同	1.85 <sup>噸</sup>
布設費	$1.85^{\text{噸}} \times 0.085 = 160^{\text{尺}}$		
冷却管費合計	1,740 <sup>尺</sup>		
混凝土ブロック體積	$15\text{m} \times 15\text{m} \times 15\text{m} = 3,375\text{m}^3$		
故に 1m <sup>3</sup> 當り	0.52 <sup>尺</sup>		
有峰堰堤全體積 720,000m <sup>3</sup> に對する工費	374,400 <sup>尺</sup>		

冷却水は堰堤附近の谷水を利用するものとし、之を堰堤上部に水槽を設けて導水し、之より給水することとす。之に要する費用は

唧筒費(建家及電動機等一式)	3,500 <sup>尺</sup>		
導水路費(鐵管及布設費)	21,000 <sup>尺</sup>		
水槽費(左右兩岸二ヶ所分)	4,000 <sup>尺</sup>		
給水管費	40,000 <sup>尺</sup>		
勞力費	24,000 <sup>尺</sup>		
動力費	2,500 <sup>尺</sup>		
其他	5,000 <sup>尺</sup>		
實行費合計	100,000 <sup>尺</sup>		
即 冷却費	374,400 <sup>尺</sup>		
實行費	100,000 <sup>尺</sup>		
○ 冷却工費計	474,400 <sup>尺</sup>	混凝土 1m <sup>3</sup> 當	0.66 <sup>尺</sup>

セメント注入費:—

注入管(徑 1/2" ガス管) — Riser (徑 1/2"), Feeder (1 1/2"), Return (1 1/2"), Tee, Elbow, Exp. Coupling, Grout stop, Leakage stop 等一切を含む。

注入管	重量	金額
堤軸に直角の接手	289kg	187 <sup>尺</sup>

同 平行 同	572kg	333 <sup>円</sup>		
其 他	19''	10''		
計	880''	530''		
布設費	0.88 <sup>円</sup> × 85 <sup>円</sup>	75''		
注入管費合計		605''	1m <sup>3</sup> 當	0.17 <sup>円</sup>
720,000m <sup>3</sup> に対し		122,400''		
注入費行費				
機械費 (50kg/□cm 機 1 臺, 70kg/□cm 機 1 臺)		9,500 <sup>円</sup>		
セメント費 (接手全面積に厚み 0.05cm として, 12,000袋, @ 1.10 と假定)		13,200 <sup>円</sup>		
労力費 9,360 <sup>人</sup> @ 2 <sup>円</sup>		18,720''		
電力費, 雑費, 足場其他		6,580''		
注入費行費計		48,000''		
即 注入管費		122,400''		
費 行 費		48,000''		
○セメント注入費計		170,400'' <sup>円</sup>	1m <sup>3</sup> 當	0.24 <sup>円</sup>
冷 却 費		474,400''	混凝土 1m <sup>3</sup> 當	0.66''
注 入 費		170,400''	同	0.24''
◎總 計		644,800 <sup>円</sup>	同	0.90''

混凝土単價 1m<sup>3</sup> 當假に 13,圓とせば冷却並注入費は 7% に相當するを知る。

次に上記 15m ブロックの時 (A) と、堤軸に直角に 15m 間隔の収縮接手を入れ平行の接手を設けざる場合 (B) との工費差を比較すれば (見込費算出詳細省略)

(B) 注入管費 (A)ノ場合ノ堤軸ト直角ナル注入管は	44,000 <sup>円</sup>
接手に対するセメント注入費は	71,000''
型枠費は (A) 0.53/m <sup>3</sup> × 720,000m <sup>3</sup> =	381,000 <sup>円</sup>
(B) 0.35/m <sup>3</sup> × 720,000m <sup>3</sup> =	252,000''

費 目	(A). 15m×15mブロック式	(B). 15m 伸縮接手式	差 額
冷 却 費	474,400 <sup>円</sup>	— <sup>円</sup>	— <sup>円</sup>
注 入 費	170,400''	71,000''	100,000''
型 枠 費	381,000''	252,000''	129,000''
計	1,025,800''	323,000''	702,800''

即柱状ブロック式にて施工する時は、在來の伸縮接手式工法より約 703,000 圓の増額を必要とす。

#### iv) 施工接手の區別

施工接手は其目的により次の三種と見做すべし。

a) 伸縮接手; b) 収縮接手; c) 單なる施工接手。

此區別は一見明瞭の如くにして、其實甚だ混同し易きを以て、接手を考ふるに當りては先づ a), b), c), の何れに屬するかを見定むるの要あり。

a) は堰堤上部高欄壁の如く、四季氣温に支配され伸縮するものにして、自由に伸縮せしむべきやう接手は間隙を残し置くを適當とし、之にアスハルト又はセメント等を填充するは誤れり。最近米國に於ては堰堤上部バラベットの伸縮繼手は間隙を 1 吋位開口のまゝとす。而して此場合接手の角の損傷を防ぐ爲には施工に注意すべき事、又は角に L 鐵を用ふるも可なり。漏水を嫌ふ場所に伸縮接手を設くる時は水止金物のみを以て防水し、間隙を填充するは好ましからず。

b) は前述堤軸に直角又は平行なる接手の如きものにして、主として収縮に對する施工接手なり。之等の接手は内部温度低下し、乾燥の度進むに従ひ堤塊の収縮したる後は、氣温の影響を多少受くと雖殆ど伸張することなく、従つて一旦開口したる接手は閉塞する事無きものなり。故に施工に當りては収縮を自由に免すべく、其間隙は後之を填充し堰堤を一體たらしむるを可とす。堤軸に直角なる接手を普通伸縮接手と云ふは誤りにして収縮接手と改むべきものならむ。

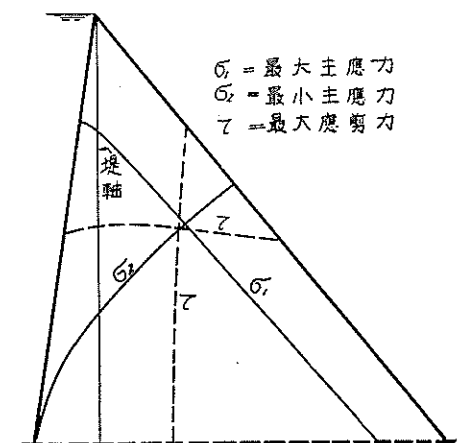
c) 此施工接手は單なる施工上の接手なり。a), b) も亦夫々の目的に應ずる施工接手なりと雖、c) は單純なる施工接手なりとす。故に a), b) の如く自由に伸縮を免す考慮を要せざるものなり。堰堤の水平接手、又は水平層中の垂直目地の如き之なり。之等は混凝土施工の便宜に過ぎざるを以て施工接手の工法は既設部に密着せしむるを必要とす。然れ共實際に當りては此區別は困難なる場合多く、水平層中の垂直目地の如く單なる施工接手の目的にて入れたるものも、収縮により往々開口する事なしとせず。従つて之に對しては収縮に對する考慮を拂ひ、目地を主應力線に沿ひて配置する事も一方法なるべし。要は接手の主目的を明かにし、夫々適當なる工法を撰定せざるべからず。

#### v) 施工接手の入れ方に関する考察

接手を堤軸に平行に設くるは最大剪力の方向と一致するが故に不合理なること前項に述べたる如し。理論的に云はゞ接手は内部應力の剪力零なる面に設くるを理想的とすべし。故に接手は主應力の方向線に一致せしむれば其方向には剪力零なる故何等不安を作はず。第四圖は満水時に於ける主應力並に最大剪力の方向線を示す。主應力の方向に近き接手は理想的とし、之に 45° の爲す方向 (點線) は最大剪力の方向と一致する故最悪とす。而して前段 c) の單なる施工接手としては最大主應力の方向に直角に接手を設くるを合理的とすべく

b) の収縮接手としては成る可く自由に収縮を免すを可とするため最大主應力線に平行、即最小主應力の方

第 四 圖  
貯水池満水時ノ應力方向線



向に直角なる方向にに接手を設くるを適法とすべし。此故に施工上最都合好き垂直及水平に近き面が最大剪力の方向と一致することは理論上最悪の方向と云ふべく、堰堤技術上根本的悩むと云はざるべからず。殊に堰堤の趾部に近き處に於ては最大應剪力は最大主應力の 1/2 なる故普通の三角形の断面に於て假に高さ 110m, 最大主應力 32kg/cm<sup>2</sup> なる如き場合に於て、最大剪應力は 16kg/cm<sup>2</sup> となる故安全率著しく減少するを以て趾部に近く垂直の接手を設くる事は出来得る限り避くるを安全とす。

水平接手も亦考慮を要する問題にして、此接手は上流面より下流面に達し居る故若し接手の施工不完全にして水の滲入あらば最大剪力の方向に滑動せんとする傾向を助長すべし。(此水平に近き最大剪力の面を Gleitflächen 即滑面と云ふ)さればとて第四圖に示せる實線の方向に接手を設くる事は施工上不可能なり。従つて水平又は垂直に或は之等に近く施工接手を置くことは止むを得ざることにして、唯應剪力最大値に近き點、即満水時を考慮する時下流面附近に於ては成るべく實線の方向に近く接手を設くべく、又垂直接手の止むを得ざる場合はブレーキジョイントとして剪力に對抗する以外に方法無しとす。

第五圖は堰堤の下流面又は堤趾に近く接手を設くる場合は實線の如く成るべく主應力線の方向に設くべく、點線の如くすべからざるを示す。

vi) 傾斜接手

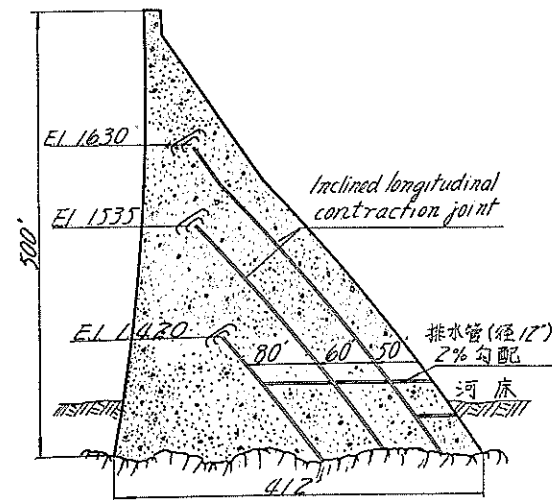
上述の如く最大荷重の主應力の方向に平行なる傾斜接手は堰堤の内部應力に對し最合理的にして内部収縮龜裂を避くる安全且つ適切なる収縮接手なり。此方向は剪力零なる故に接手の兩側の部分には相對的運動の傾向を生ぜず。

混凝土の膨張、収縮は接手を開閉せしむると雖、堰堤の應力には殆ど或は全然影響を及ぼさず。High

Multiple Arch 及 Ambursen Dam の Buttress に於て主應力の方向に平行に起りたる龜裂は荷重の或條件の下に發生したりと云はるゝが、龜裂發生後數回の満水にも拘らず堰堤の安全なりしは之を證するに足ると云はる。

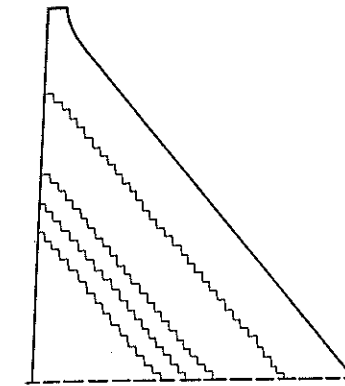
主應力の方向に平行なる接手の 1 例として San Gabriel Dam の設計に行はれたるものを次に示すべし。此案は後變更せられ遂に實行せられざりしが、第六圖に示す如く下流面に平行なる 3 列の傾斜接手を設くる計畫なりき。之は堤軸に直角の接手には keyway を設け其咬合せにより全堰堤を傾斜せる柱の 1 系統と

第六圖 San gabriel dam 設計畫圖



して働く如く考案せられたり。傾斜柱は略 50' x 60' の水平断面を有し、他の柱が同じ高さに打たれる迄収縮の一部が起り得る様に隣接せる柱より先に數リフト打上ぐる事となしたり。San Gabriel に提案せられたる如き傾斜接手に對し Jacobson 氏は此の如き工法を高堰堤に試むるは不可なりと論じたり。即若し此傾斜接手が開口するならば、其接手より下流側の部分は荷重の爲に中央近くに龜裂が入るか或は堰堤の頂部を上流側に彎曲せんとする column 或は strut として作用し、斯くして水平面に張力を生ずと述べたり。

第七圖



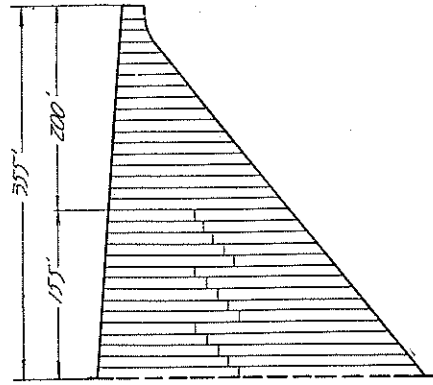
傾斜接手の考案は實行上不可能なれ共前掲第五圖中實線にて示したる如き局部的に採用されたる實例は Bull Run Dam 及 Ariel Dam の gravity abutment に於て行はれたり。即上流面より中央部迄は水平とし下流面近く傾斜接手を設け、不安定なる滑面を避けたり。主應力線に平行なる施工接手を造る事の實行不可能なるは前述せる通りなるが(局部的には別として)然らば其線に沿ひて階段狀に打上げたならば如何との考案は當然起るべき問題ならむ。第七圖は其假想圖にして階段は最大主應力の方向に沿ひたるものとす。かゝる工法は収縮に應ずる施工接手として一見合理的なる如く思はるゝも、施工甚だ困難にして高さの進むに従ひ何回にも分ち打上ぐるを要し、たとへ實行し得たりとするも、結局垂直又は水平の無数の不連続接手の集合と同様の結果に陥るべし。いはんや階段の各角々に應力の局部集中を來す龜裂發生の恐れなしとせず。多大の困難を排してかゝる工法を採用する程の効果無かるべしと思考す。

普通行はるゝ堰堤を二期に分ちて施工する嵩上の方法は主應力の方向に沿ひて接手を設くるを以て上記の例と同様に合理的らしく思はるれ共、材齡異なる新古混凝土の強度及び収縮の相違による龜裂の發生、階段の角々に於ける龜裂發生の傾向、或は古混凝土に漏水有る時之を完全に集め排水する事の困難による嵩上部に對する水壓の存在等好んで採用すべき施工法に非ず。若し嵩上の必要ある時は米國オシヤネツシー堰堤に行はれ居る如く上置混凝土に冷卻法を用ひ、或は新古混凝土間に空隙を残し置き後にて填充して、新古収縮の差異を生ぜしめざる等特種の工法を必要とすべし。

vii) 水平接手に於ける縦目地

施工接手の各種工法に就て考察を進むる時は結局在來の水平接手として層々疊築するを實際に於ては穩當なる案とすべし。而して低き堰堤に於ては一層一回に施工すること容易なりと雖高堰堤に於ては一層一回連続施工容易ならず。此故に水平層の中に諸所堤軸に平行なる垂直の施工接手を設くるの止むなきに至るべし。若し垂直目地を設けるとせば必ずブレーキジョイントとし、且つ下流面附近に於て之を絶対に禁すべきものとす。出来得るならば主應力線に平行に不連続目地を統一一致したし。又此場合各垂直目地にセメント注入の不可能なる云ふ迄も無きを以て之等の接手は完全に表面を抜き取り、充分清掃し、出来得る限り打繼ぎ混凝土と密着せしむるより外無かるべし。かくして尙萬一其目地に龜裂の生ずるも止むを得ずとする外無かるべし。(第八圖)

第 八 圖



Grimsel 堰堤に於ては水平層の二三の點に垂直の間隔を残し置き後に充填したること上記の如しと雖 (第九圖), 同一層にて材齡を異にするものを特に造る必要あるまじと思考す。寧ろ多少の設備を厭はず, 勞力と時間を惜むことなく, 一層一回に打上ぐるを可とすべし。

有峰堰堤に於ては最大断面の下部に於て一平面を厚さ 1m に連続仕上ぐるものとせば 90m (長) × 15m (巾) × 1m (厚) = 1,350m<sup>3</sup> (225立坪) なる故に, 2cub. yd, ミサキー 4 臺使用, 1バツチ 3 分と假定, 1 日 11 時間仕事すとせば, 220 立坪, 即 11 時

間内外にて多量層を打上げ得べし。従つて之より上層を一層一回仕上げとすること容易なるべし。且つ出來れば上流より下流に向ひ緩漫なる登り勾配を設け滑動に安全性を與へたし。或は又水平施工とせば下流面に近く約 45° の傾斜を附すること (第五圖實線の如く)

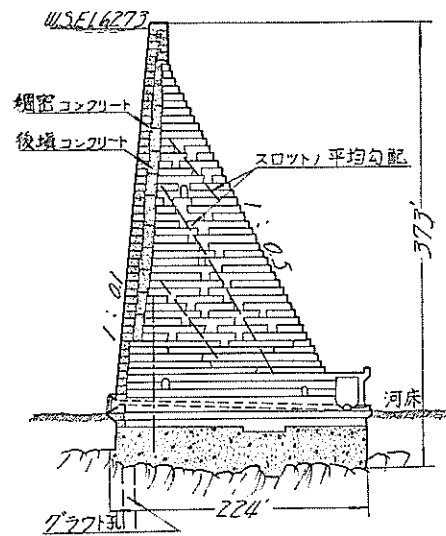
も一法なるべし。尙出來得べくば夏季酷熱の候に於ては晝間作業を廢し夜間混凝土施工を敢行すべく, 龜裂發生の傾向に對しては極力養生を完全にして防禦するの外無かるべし。

viii) リフトの厚さ。

リフト即一回打込の厚さも亦收縮龜裂に關し考慮さるべきものなり。Henny 氏は溫度低下の理由を以てブロックを連続打次ぐ時の厚さは 4'~4 1/2' に制限し, 且築造速度を緩にすべしと提案せり。薄きリフトは熱を放散せしなるには好都合なれ共同時に龜裂の原因たる冷却及乾燥を急激に速進することにもなるを以て薄きにも程度ある筈なり。Wright 氏はリフトを薄くすることは Cold joint の數を多くするのみにて, 之による利益を疑問視し居れり。氏も亦薄きリフトは溫度低

下には好都合なるを承認すれ共, 反つて冷却及乾燥を急激に速め其結果收縮龜裂の發生を憂慮したり。然し此懸念は次のリフトを打つ迄に濕氣を保持することにより解決さるゝ問題にして養生を充分になし得ば其心配無かるべし。露出の時間長くなり工事の季節的の中止ありたる場合にすら, 濕氣を保つ事に注意する時は頂部表面に皆て龜裂を見たること無しと稱する技術者もあり。一般にリフトを薄くすれば施工に手數かゝり, 築造速度に影響を及ぼし, 工費の嵩むは免れざることを以て實際家には注意を要すべき問題なりとす。Wilson Dam の築造に於てリフトの厚さを 12' より 6' に減少したるに 25% 工程遅延し, 又堰堤の長さの大なる場合にはリフトを薄くすることは好都合なるも, 打方費は増額したりと云ふ。此堰堤に於ては型枠は travelling crane により取扱はれたる故 12' の厚さに型枠を保持することは比較的容易なりし

第 九 圖



Grimsel dam / 断面

なり。故にリフトを 6' に減少することは可りの費用を増し, 其利益は疑問視されたる次第なり。

最近の實例として Boulder 及 Grand Conlee 其他米國の有名なる堰堤は概ねリフトは 5' に規定せらるゝこと前述の如し。筆者亦上記堰堤の如くブロック式の施工に於ては 5' は適當のものと思われ共, 然ればとて如何なる場合にも同じ規定を適用するは餘りに囚はれたりと思推す。例せば有峰を假に柱状ブロック式によらず, 在來の伸縮接手工法によるとせば, 混凝土設備の免す範圍に於て, 又邦人の取扱易き型枠の大きさにより適當のリフトを採用すべく, 又下方の面積廣き部分と上方狭き部分とは異なるリフトを用ひ差支へなしと考ふ。唯餘りに厚く又は薄きは避くべく特に注意すべきは充分の養生を實行すべきことなりとす。從來我國堰堤施工には主として混凝土養生に藁を以て覆ひ, 之に撒水する方法を採りたるが, 之が實行に當りては藁の費用を惜み, 或は多數貯藏し難き等の事情により, 必要の際は中譯的に少數の藁を表面に散布し, 撒水も設備不完全の爲め申譯的のもの多き傾向なしとせず。云ふ迄もなく混凝土施工は理論, 研究を等閑に附す可からざるは勿論なりと雖, 要は百の議論より一の實行にありとす。上記 Grimsel 堰堤は頗る研究的に施工せられ, 單に文獻による時は學者の賛歎に値ひする所なるべしと雖, 之が實際は漏水多く決して完全の出來榮へと云ひ難しと云はれ, 堰堤施工の困難を現實に立證す。吾人堰堤技術者として混凝土工程困難なるものではなく, 同時に之程榮しきものなし。此内一見最容易にして最等閑に附され勝ちのものを養生なりとす。寧ろ不經濟にして表面を汚し勝なる藁に代ふるに撒水設備を完全にし之を實行するに如かざるに非ずや。但し季節的の中止の際藁等にて被覆するは望ましきことなり。打上り面に龜裂の生じた場合は概ね毛細狀龜裂なる故グラウトの効果乏しきを例とす。かゝる場合下層龜裂が上層に延びざる様, 次リフト中下層龜裂の上部に鐵筋を入れ豫防するも一方法なるべし。

a) 鐵筋による龜裂防止法

鐵筋を龜裂防護に用ふるは上記の如くリフト中の一部の龜裂又は堤體內廊孔の周圍等何れも局部的の用に止まる。

之を以て乾燥に依る收縮, 並に溫度低下に依る收縮に對し龜裂を絶無になさんとせだ莫大の鐵筋量を要して重力堰堤に於ては經濟的に實行不可能なり。例へば 15m × 15m × 1.5m ブロックに於て收縮のみによる龜裂を無くするために要する鐵筋量は次の如し。下記式は Proceedings of A. S. C. E. vol 58. に示されたる連續的鐵筋コンクリート構造物の直線的膨張及收縮に適用さるべきのにして, 1 ブロックが上下のブロックと關係なく, 鐵筋にて左右のブロックと連絡すと考へたる故實際とは相異し, 唯目安を見出すに止まる。

$$L = \frac{(S'c)^2}{np^2qu (ZEc - S'c)}$$

$$L = \text{接手間の距離} = 15m$$

$$p = \text{鐵筋比} = \frac{As}{Ac}, \text{As} = \text{鐵筋の面積}, \text{Ac} = \text{混凝土の面積。}$$

$$S'c = \text{混凝土の極張強} = 21kg/cm^2 \text{ とす。}$$

$$q = \frac{\sum o}{As} = \frac{10}{3} \text{ (12mm 鐵筋を使用するものとす)}$$

$\Sigma o =$  鐵筋圓周

$u =$  附着應力  $= 21\text{kg/cm}^2$

$Z =$  混凝土の收縮係數  $= 0.5 \times 10^{-3}$  と假定

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 10$$

之より  $P = 0.0022 = 0.22\%$  即堤軸に直角に、水平に、混凝土の厚み 1.5m に付き 12mm 鐵筋を 3cm 間隔に配置するを要するを知る。但し堤軸に直角の接手を設くるものとし、従つて之に平行の鐵筋を不要とす。

次に溫度降下のみに對する收縮龜裂を防ぐには

$$L = \frac{(S/c)^2}{np^2qu (ETEc - S/c)}$$

$E, T,$  以外の符號は前公式と同様とす。

$E =$  溫度降下  $1^\circ\text{C}$  に就ての單位收縮  $= 0.67 \times 10^{-5}$

$T =$  溫度降下…… $30^\circ\text{C}$  と假定

$p = 0.14\%$ , 即上記と同様の方法にて 12mm 鐵筋を 5cm 間隔に配列するを要す。

次に收縮と溫度降下が同時に起るとすれば、

$$L = \frac{(S/c)^2}{np^2qu [(ET+Z) E_c - S/c]}$$

より  $P = 0.18\%$  即混凝土  $1\text{m}^3$  當り鐵筋量 14.208kg を要す。鐵筋 1ton 230 圓とせば、混凝土  $1\text{m}^3$  當り所要鐵筋價格 3.50 圓 (立坪當 21 圓) なり。有峰堰堤の混凝土總量  $720,000\text{m}^3$  に對し、鐵筋總額 2,520,000 圓を要す。假に此半數を要すとすも其行はれざる事云ふを待たず。

#### e) 骨材の Precooling

夏季混凝土を豫め人為的に冷却し置き之を混合せば、冬季施工の混凝土と同様の結果となり、内部溫度の低下に最有效なるべく、且つブロック式工法に用ひらるゝ混凝土冷却よりも全塊を均等に冷却し得る利益あり。此思想は内部溫度の上昇に對し當然起るべき問題なりと雖、筆者は未だ其實施せられたる例を聞かず。此考は徹底せりと雖大量の混凝土を經濟的に施工する場合かゝる工法が果して可能なりや？ 茲に之が方法、費用、水量等に付き些か研究を試み參考に供せんとす。而して此方法は自然の河水、アンモニヤ法による冷却水、又之等の組合せによる法等種々考へらるべきも、自然河水のみにて冷却する時は非常に大量の河水を要し且つ効果少きを知りたるが故に、結局次の四案に付き比較研究を試みたり。

〔第一案〕 アンモニヤ冷却水に依る骨材の冷却 (冷却後使用済の水は捨つ)

〔第二案〕 アンモニヤ冷却水に依る骨材の冷却 (冷却後使用済の水は清澄して循環使用す)

〔第三案〕 骨材の冷却を二期に分ち

(1) 自然河水に依る冷却 (或溫度迄)

(2) アンモニヤ冷却水に依る冷却 (其溫度以下)

(骨材冷却後使用済の水は捨つ)

〔第四案〕 骨材の冷却を二期に分ち

(1) 自然河水に依る冷却 (或溫度迄)

(2) アンモニヤ冷却水に依る冷却 (其溫度以下)

(骨材冷却後使用済の水は循環使用す)

有峰堰堤地點に於ける氣溫並に和田川の水溫

月	氣 溫		水 溫
	月 最高 平均	月 最低 平均	
6月	23.6°C	10.3°C	11.8°C
7月	26.5 "	14.2 "	14.4 "
8月	27.9 "	16.2 "	16.1 "
9月	26.2 "	11.4 "	15.3 "
10月	16.2 "	3.3 "	9.4 "
11月	10.2 "	-1.5 "	6.2 "
12月	4.8 "	-4.2 "	3.5 "

骨材の溫度は氣溫と多少相異すべしと雖、上表より有峰に於ける盛夏8月の骨材の溫度を  $23^\circ\text{C}$  とし、和田川の水溫を  $16^\circ\text{C}$  と假定し以下計算の根據とす。

〔第一案〕  $3^\circ\text{C}$  のアンモニヤ冷却水を使用して骨材を  $5^\circ\text{C}, 6^\circ\text{C}, 7^\circ\text{C}$  及  $8^\circ\text{C}$  に冷却し、使用済みの水は捨つ。

今骨材の空隙を砂利及砂共に  $40\%$  と假定し、又

$t_a =$  骨材の最初の溫度

$t =$  骨材を冷却したる後の溫度

$t_w =$  冷却水の溫度

$V_w =$  骨材を  $t_a$  より  $t$  に冷却するに必要な水量

$V_a =$  骨材の容量

$\gamma =$  骨材の比重  $= 2.6$  とす

$c =$  骨材の比熱  $= 0.2$  とす

$Q_1 =$  骨材が  $t_a$  より  $t$  に冷却の際放出する熱量

$Q_2 =$  水が  $t_w$  より  $t$  に上昇の際吸収する熱量とする時は

$$Q_1 = 0.6 V_a \times \gamma \times C \times (t_a - t)$$

$$Q_2 = V_w \times (t - t_w) \text{ にして}$$

$Q_1 = Q_2$  なる故

$$V_w \times (t - t_w) = 0.6 \times 2.6 \times 0.2 \times (t_a - t) V_a$$

之より次式を得

$$V_w = 0.312 \frac{(t_a - t)}{t - t_w} V_a$$

依つ第一案に於ては

$V_w$  = 骨材を冷却するに要するアンモニア冷却水の1日12時間の所要量 (m<sup>3</sup>)

$V_a$  = 骨材の1日12時間に於ける使用量 = 2,500 m<sup>3</sup>

$t_a$  = 骨材の最初の温度 = 23°C

$t$  = 骨材を冷却したる温度 = 5°C, 6°C, 7°C, 8°C.

$t_w$  = アンモニア冷却水の温度 = 3°C (37.4°F)

他の冷却工業を調査の結果  $t_w = 3°C$  を最適と認めたり。

t	$V_w$
5°C	7,020m <sup>3</sup> /12時間 = 5.9 cub. ft/秒
6°C	4,420 " = 3.7 "
7°C	3,120 " = 2.6 "
8°C	2,340 " = 2.0 "

混凝土混和用水量; 2立方碼ミツキサー4臺使用各1回練時間を3分とせば(2立方碼ミツキサー4臺使用, 各1回練時間を……) 1日12時間の混凝土量は

$$2 \text{ cub. yd} \times 4 \times \frac{60}{3} \times 12 = 1,920 \text{ cub. yd} = 1,468 \text{ m}^3$$

混凝土 1m<sup>3</sup> 當り混和水量 170kg とすれば

$$170 \text{ kg} \times 1,468 = 249,560 \text{ kg} \approx 250 \text{ ton}$$

故に

t	骨材冷却水量 + 混和水量
5°C	7,270噸
6°C	4,670 "
7°C	3,370 "
8°C	2,590 "

混凝土打方は晝間12時間連続施工と假定す。従つて冷却機は1日12時間単位となる。

冷却水を通す管及骨材貯蔵ビンに於ける熱損失を40%とす。自然河水 16°C (60.8°F) を 3°C (37.4°F)

に冷却する場合1日12時間に於ける全冷却力は次式にて算出せらる。

$$\text{全冷却力} = (\text{骨材冷却水量} + \text{混和水量}) \text{噸} \times 2.2 \times 1,000 \times (60.8 - 37.4) \times 1.4 \text{ 俚單位 B. T. U.}$$

t	全冷却力
5°C	523,963,440 B. T. U. = 3,639 冷却噸
6°C	336,576,240 " = 2,337 "
7°C	242,882,640 " = 1,687 "
8°C	186,666,480 " = 1,296 "

茲に B. T. U. とは 1lb の水を 1°F 上昇せしむるに要する熱量にして, 1 B. T. U. = 1 K. cal × 3,968 なり。

冷却力1噸の熱量 = 144,000 B. T. U./12時間,

(12時間に 2,000lb の水を溶かす熱量)

最大冷却力 250 冷却噸のアンモニア壓縮機を使用すれば

t	臺數	價格 (1臺 40,000 圓とす)
5°C	14.6	584,000圓
6°C	9.4	376,000 "
7°C	6.8	272,000 "
8°C	5.2	208,000 "

アンモニア所要量, (單位1冷却噸に就き所要量約 10kg)

t	アンモニア所要量	價格 (50kg を 16.5 圓とす)
5°C	36,390kg	約 12,000圓
6°C	23,370 "	7,700 "
7°C	16,870 "	5,600 "
8°C	12,960 "	4,300 "

故に第一案各冷却温度に對する全金額は

t	全金額
5°C	596,000圓
6°C	383,700 "
7°C	277,600 "
8°C	212,300 "

[第二案] 3°C のアンモニア冷却水を使用して骨材を 5°C, 6°C, 7°C, 及 8°C に冷却し, 使用済みの水は沈澄池に導き清澄して循環使用する。混凝土混和水は骨材用冷却機とは別の機械にて冷却す。

前式により

t	$V_w$ (骨材冷却用水)
5°C	7,020m <sup>3</sup> /12時間
6°C	4,420 "
7°C	3,120 "
8°C	2,340 "

冷却水を通す管, ビン等に於ける熱損失を 40% とす。5°C (41.°F), 6°C (42.8°F), 7°C (44.6°F), 8°C (46.4°F) 迄上昇したる水を再び 3°C (37.4°F) に冷却する場合1日12時間に於ける骨材の全冷却力は次式により算出す。全冷却力 = 骨材冷却用水量噸 × 2.2 × 1,000 × (t°F - 37.4) × 1.4 B. T. U.

$$t^{\circ}\text{F} = 41^{\circ}, 42.8^{\circ}, 44.6^{\circ}, 46.4^{\circ}\text{F 夫々}$$

t	全冷却力
5°C	77,837,760 B. T. U. = 541 冷却噸
6°C	73,513,440 " = 511 "
7°C	69,189,120 " = 480 "
8°C	64,864,800 " = 450 "

16°C (60.8°F) の自然河水を 3°C (37.4°F) 迄冷却する時 1 日 12 時間に於ける混和水の全冷却力は  
 $250 \times 1,000 \times 2.2 \times (60.8 - 37.4) \times 1.1 = 14,157,000 \text{ B. T. U.} = 98 \text{ 冷却噸}$

但し冷却水を通す管の熱損失を 10% と假定す。

t	骨材冷却力 + 混和水冷却力
5°C	639 冷却噸
6°C	609 "
7°C	578 "
8°C	548 "

最大冷却力 250 冷却噸のアンモニア壓縮機を使用せば

t	臺數	價格	アンモニア所要量	價格
5°C	2.6	108,000 圓	6,390kg	約 2,100 圓
6°C	2.4	96,000 "	6,090 "	2,000 "
7°C	2.3	92,000 "	5,780 "	1,900 "
8°C	2.2	88,000 "	5,480 "	1,800 "

故に第二案各冷却温度に對する全金額は

t	全金額
5°C	110,100 圓
6°C	98,000 "
7°C	93,600 "
8°C	89,800 "

但し混和水用機械費をも含む。

[第三案]

冷却を二期に分ち

(i) 16°C の自然河水を使用し 23°C の骨材を 19°C に冷却す。

前記  $V_w$  を見出す式に於て、

$V_w =$  骨材を 19°C 迄冷却するに要する自然河水の 1 日 12 時間に於ける所要量 ( $\text{m}^3$ )

$V_a =$  骨材の 1 日 12 時間に於ける使用量 = 2,500  $\text{m}^3$

$t_a =$  骨材の最初の温度 = 23°C

$t =$  河水に依り冷却したる温度 = 19°C

$t_w =$  自然河水の温度 = 16°C

然る時は  $V_w = 1,040 \text{ m}^3 / 12 \text{ 時間} = 0.9 \text{ cub. ft/秒}$

(ii) 自然河水にて 19°C に冷却したる骨材を、更に 3°C のアンモニア冷却水を使用して 5°C, 6°C, 7°C 及 8°C に夫々冷却す。(使用済の水は捨つ。)

前式に於て

$V_w =$  19°C の骨材を 5°C~8°C に冷却するに要するアンモニア冷却水の 1 日 12 時間の所要量 ( $\text{m}^3$ )

$V_a =$  骨材の 1 日 12 間使用量 = 2,500  $\text{m}^3$

$t =$  アンモニア冷却水に依り冷却されたる骨材の温度 = 5°C, 6°C, 7°C, 8°C

$t_a =$  自然河水に依り冷却されたる骨材の温度 = 19°C

$t_w =$  アンモニア冷却水の温度 = 3°C

然る時は

t	$V_w$ (骨材冷却用水)
5°C	5,460 $\text{m}^3$
6°C	3,380 "
7°C	2,340 "
8°C	1,716 "

コンクリート混和水は 1 日 12 時間の使用量 250 噸

t	骨材冷却用水量 + 混和水量
5°C	5,710 噸
6°C	3,630 "
7°C	2,590 "
8°C	1,966 "

水管、ビン等熱損失 40%, 16°C の河水を 3°C 迄冷却する時、1 日 12 時間に於ける全冷却力は

全冷却力 = (混和水量 + 骨材冷却水量) 噸  $\times 1,000 \times 2.2 \times (60.8 - 37.4) \times 1.4 \text{ B. T. U.}$

t	全冷却力
5°C	411,531,120 B. T. U. = 2,858 冷却噸
6°C	261,621,360 " = 1,817 "
7°C	186,666,480 " = 1,296 "
8°C	141,693,552 " = 984 "

最大冷却力 250 冷却噸アンモニア壓縮機を使用せば

t	臺數	價格	アンモニヤ所要量	價格
5°C	11.4	456,000圓	28,580kg	9,400圓
6°C	7.3	292,000 "	18,170 "	6,000 "
7°C	5.2	208,000 "	12,960 "	4,300 "
8°C	3.9	156,060 "	9,840 "	3,200 "

故に全金額は

t	全金額
5°C	465,400圓
6°C	298,000 "
7°C	212,300 "
8°C	159,200 "

〔第四案〕

冷却を二期に分ち

(i) 16°C の河水にて 23°C の骨材を 19°C に冷却す。前同様に

$$V_w = 1,040\text{m}^3/12\text{時間} = 0.9\text{cub. ft/秒}$$

(ii) 19°C に冷却したる骨材を 3°C のアンモニヤ冷却水にて更に 5°C, 6°C, 7°C, 8°C に夫々冷却す。

(使用済の水は骨材が一旦河水にて清浄され居る故、其儘循環使用す。) 第三案と同様に

t	V <sub>w</sub>
5°C	5,460m <sup>3</sup>
6°C	3,380 "
7°C	2,340 "
8°C	1,716 "

混凝土混和水は骨材冷却用とは別の冷却機にて冷却す。水管、ピンの熱損失 40%, 5°C, 6°C, 7°C, 8°C 迄夫々上昇したる水を再び 3°C 迄冷却する時、1日 12時間に於ける骨材の全冷却力は

$$\text{全冷却力} = \text{骨材冷却用水量噸} \times 1,000 \times 2.2 \times (t_F - 37.4) \times 1.4 \text{ B. T. U.}$$

但し t<sub>F</sub> = 41.°F, 42.8°F, 44.6°F 46.4°F 夫々

t	骨材の全冷却力
5°C	60,540,480 B. T. U. = 420 冷却噸
6°C	56,216,160 " = 390 "
7°C	51,891,840 " = 360 "
8°C	47,567,520 " = 330 "

混和水 1日 12時間 250 噸を 16°C より 3°C 迄冷却する 1日 12時間の全冷却力は

$$250 \times 1,000 \times 2.2 \times (60.8 - 37.4) \times 1.1 = 14,157,000 \text{ B. T. U.} = 98 \text{ 冷却噸.}$$

t	骨材冷却力+混和水冷却力
5°C	518 冷却噸
6°C	488 "
7°C	458 "
8°C	428 "

最大冷却力 250 冷却噸アンモニヤ壓縮機を使用せば

t	臺數	價格	アンモニヤ所要量	價格
5°C	2.1	84,000圓	5,180kg	約 1,700圓
6°C	2.0	80,000 "	4,880 "	1,600 "
7°C	1.8	72,000 "	4,580 "	1,500 "
8°C	1.7	68,000 "	4,280 "	1,400 "

故に全金額は

t	全金額
5°C	85,700圓
6°C	81,600 "
7°C	73,500 "
8°C	69,400 "

上記結果を總括し次表を得。

冷却したる骨材による混凝土の温度及其費用

骨材温度		°C	5.	6.	7.	8.	28. 冷却せず
※	8月に於けるコンクリート練上り温度	°C	6.6	7.2	7.7	8.3	24.0
	50' ブロック中心ノ温度上昇	"	30.	30.	30.	30.	30.
	最高温度	"	36.6	37.2	37.7	38.3	54.
△	温度應力	kg/cm <sup>2</sup>	42.9	43.8	44.6	45.5	69.
冷却設備置費	第一案	圓	596,000圓	383,700圓	77,600圓	212,300圓	—
	第二案	"	110,100 "	98,000 "	93,600 "	86,800 "	—
	第三案	"	465,400 "	298,000 "	212,300 "	159,000 "	—
	第四案	"	85,700 "	81,600 "	73,500 "	69,400 "	—

上表中 ※ 練上り温度は、混凝土 1m<sup>3</sup> の配合をセメント 250kg; 砂利 1,000kg; 砂 450kg; 水 170kg; とし、セメント温度 t<sub>c</sub> = 22°C; 冷却したる砂、砂利温度を t<sub>s</sub>; 冷却したる混和水の温度を t<sub>w</sub>; 混凝土の練上り温度を t; セメント及骨材の比熱 = 0.2 とする時

$$250 \times 0.2 \times (t_c - t) = (1,000 + 450) \times 0.2 \times (t - t_s) + 170 \times (t - t_w)$$

より算出したり。

又 △ 温度應力は、t = ブロック中心最高温度と年平均気温 (8°C) との差; w = 混凝土の収縮係数、温度 1 度につき 0.00001; E = 混凝土の弾性係数 = 150,000kg/cm<sup>2</sup> として、温度應力 = t<sub>w</sub>E より算出せるものなり。



上表を検討するに第一案は最不經濟にして、第三及第四案は自然河水及冷却水と二回冷却を行ふを以て砂利、砂、ピンは2倍の容積を要し之亦實行し得ず。従つて第二案最經濟的なるを知る。依て假に第二案を採るとせば5°乃至8°の經費大差なきを以て最有效なる5°を採りたく、幸に堰堤附近の谷川より6<sup>m</sup>/秒取水し得るを以て第二案5°の場合を採用することとせん。實際に當りては上表經費の外に、導水管、水槽、給水管、ポンプ等の費用を要すべく之等大體見積額を11萬圓とせば、之が全經費約22萬圓となるべし。

次に考慮すべき問題は、かゝる方法を以て果して成功すべきや否やの懸念なりとす。即ち冷却水を骨材ピンの上より撒布することにより骨材を均等に冷却し得べきや、一旦冷却したるものが夏季運搬途中再び幾何上温すべきや、砂利は可なりとするも砂を浸水することにより、水セメント比を嚴守し得べきや等机上判断し難き種々の問題に遭遇す。故に此方法は試案としては興味深しと雖、愈々實行に當りては更に實驗に待つ必要あるべし。

#### IV. 結 論

上述の如く柱状ブロック式工法は堰堤内部應力の理論と矛盾するを以て採用すべきに非ず。然れ共米國二大堰堤の如き超高級のものにありては此工法によるより外無きを以て適當なる手段とすべしと雖、同時に此法は冷却及セメント注入を併用せざる時は其効果を擧ぐることは不能なり。

有峰堰堤に於ては普通の工法によるも施工可能なりと、柱状式によるとせば冷却及注入法を行はんとするも經濟的に不能なるのみならず、假に此工法を採るとするも、剪力に對する安全性は50%に減するを以て、寧ろ普通の工法なる堤軸に直角なる接手のみによる方法を適當なりとすべし。而して此工法に於て最も忌むべきは横斷面に現るゝ垂直の龜裂なりとす。然れ共此龜裂は發生の可能性有り云ふことにして、必然的に發生すと云ふに非ず。或論者は上述の如くかゝる龜裂はしかく容易に發生するものに非ずと論する者すらあり。假に發生したりとするも細心の注意を以て施工したる混凝土に多數の龜裂を生ずべしとは考へ能はざる處にして、其數極めて僅かなるべく、且つ1龜裂の延長が下流面より垂直に底面迄貫通するが如き事は想像し難しとす。假に全貫通の半分の深さ入りたりとするも剪力に對し尙50%の餘裕ありと云ふべく、若し貫通せるものを發見せる場合はセメント注入を以て充分補強するより外なかるべし。此故に有峰堰堤に於ては後者の工法即ち堤軸に直角なる接手のみによる工法を採用するを適當とすべし。

混凝土打上方は水平層とし第五圖の如く下流面の近くに於て45°の傾斜を附するか、又は全體一樣に緩漫なる爪先上り勾配を附するも可なり。一層は成るべく一回仕上げとするを可とし、其不可能なる場合は垂直目地を容すと雖、下流面附近に於て絶對之を禁止すべし。垂直目地は第八圖の如く横斷面より見て主應力線の方向に沿ひたる不連續的系統線を形成する様施工するを可とす。セメントの種類及混凝土の配合等は目下續行中の試驗を待つて慎重決定すべく、混凝土の硬練を使用すべきは勿論にして、其等の明細に關しては追て仕様書に詳記することとす。

本論を結ぶに當り今更乍ら堰堤の完全なる築造の困難なるを覺ゆ。堰堤は如何に理論的に研究すと雖、

内部應力の分布は施工方法と合致せざる難點あり。又如何に細心の注意を拂ひ工事を遂行すと雖、漏水の絶無、龜裂の根絶は容易に望み難しとす。かく感ずる時堰堤の絶對安全は斷面の決定以外に無きを知るべし。茲には斷面決定に關する議論を避け、有峰堰堤が踵に於て揚壓力1、趾に於て0としたる絶對安全の根據により、算定されたる容積が720,000m<sup>3</sup>にして、普通本邦に於て用ひらるゝ假定に基き算定されたる容積700,000m<sup>3</sup>を超ゆること僅か3%に過ぎざることを述べ以て本論を終る。

— 終 —

本文は堰堤施工に關する研究の發表と共に、有峰堰堤技術者の指針として記したるものなれば、此點一般讀者の御諒恕を乞ふ。尙本文起草に當り材料蒐集に助力されたる日本電力會社藤井雄之助君、大橋健一君及び富山縣電氣局藤原琢而君の勞を謝す。茲に掲げたる外國の例は Proceedings of A. S. C. E. 及び E. N. R. 等より取りたり。

— THE END —