

# 論 說 報 告

第 24 卷 第 5 號 昭和 13 年 5 月

## 有 峰 堰 堤 の 施 工 法 に 就 て

會 員 工 学 博 士 石 井 穎 一 郎\*

**要 旨** 本論は富山縣有峰堰堤の施工法に關する研究にして、2. 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、3. は内部温度及乾燥のため收縮龜裂を發生すること、收縮による応張力、龜裂の實例と反對説、筆者の意見を述べ、4. は龜裂防止の施工法にして、セメントの問題、重力堰堤内部応力の分布、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、結局従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。5. 有峰堰堤の施工法は従來の如き堤軸に直角なる收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。

### 1. 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、新たに水力發電所を建設すると共に、既設下流數發電所の効率を増嵩せしめ、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つあり。此處に築造せらるべき有峰堰堤は高さ 355 尺、長さ 1056 尺のコンクリート造重力堰堤にして、現在本邦に存する最高の堰堤より高きこと更に約 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 の築造に邁進しつつあり。筆者は昭和 11 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、經濟的構作物建設に於て、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。

而してコンクリート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遡つて堰堤応力の理論に觸れ、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。

### 2. コンクリート堰堤の内部温度

コンクリート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、其の傾向は堰堤の高さの増大に伴ひ益々多からむとす。

\* 日本電力株式會社取締役技師長及富山縣電氣局技術顧問。

龜裂の主因はコンクリート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変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コンクリート堰堤に於て實測されたる内部温度の上昇は(コンクリート打込當時の平均氣温より上昇したる温度)表-1の如し。

表-1.

堰堤名稱	上昇温度 °C	備 考
小 牧	30	打込當時 10 日間平均氣温以上
小 屋 平 (黒部川)	30	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	
Ariel	39	
Schluchsee	31	
Bleiloch	31	

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体 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 に於てさ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コンクリート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 日にて大体上昇を終り 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。其の 55°C を示したる處は堤頂より 60 尺下の中心部にして 8 月の暑中施工し、當時平均氣温 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 なりしは最注目値すと云ふべし。之れ夏季に於ては平均氣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、且つコンクリート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継がれ、かく内部に熱を蓄積せしむべき条件重複するが爲に 55°C 又は 65°C の處さへ推察せられたる所にして、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。

温度上昇とコンクリート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 1 回國際大堰堤會議提出日本論文集に邦譯を掲げたるが、茲に其の一部を掲ぐれば圖-1 の如く

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

茲に T: 打込後の平均氣温よりの温度上昇 (°C)

d: コンクリート表面よりの深さ (呎)

なる式にて表さる。

此の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ほゞ

一定し約 30°C なり。故に若し或堰堤を 50×50 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。

内部温度の持続は図-2 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コンクリート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、貯水池水位の変化、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 3 年を要すと云はれ、小牧堰堤に於ては水和熱の大体放散したるべしと思はるゝ迄約 3 年を要したり。故に彼の Boulder Dam の如きは若し人為的冷却法を採用せざりしならば内部温度の継続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。

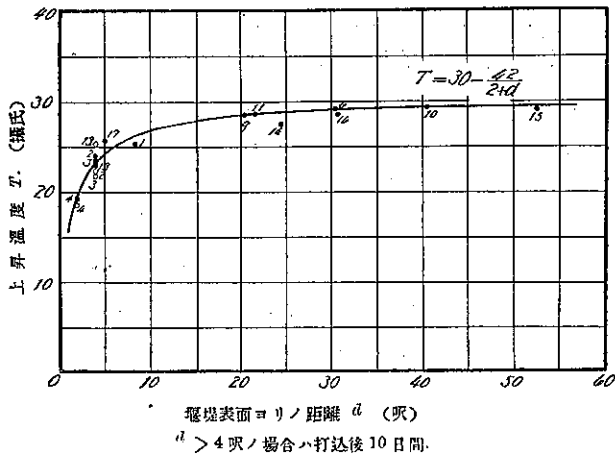
之等の實例により有峰堰堤の内部温度を想像せんに、普通セメントを使用するとし、施工法を在來の工法通り堰堤の長手に於てのみ接手を設くるものとし、且つ其の間隔を 50 呎とせば、1 ブロックの中心が表面よりの距離は左右兩面より各々 25 呎にして、上下流表面よりは、假に頂部より 300 呎下に於ては各約 140 呎の深所にあるを以て、中心附近に於ける温度上昇は最高 30°C と見込みて大差なかるべく、又夏季コンクリート打込温度は 24°C と認めらるゝを以て内部最高温度は 54°C 内外、或は 60°C に達すること亦想像し得らるべし。

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ゝも尙數年の年月を要すと想像せらる。

### 3. 收縮龜裂

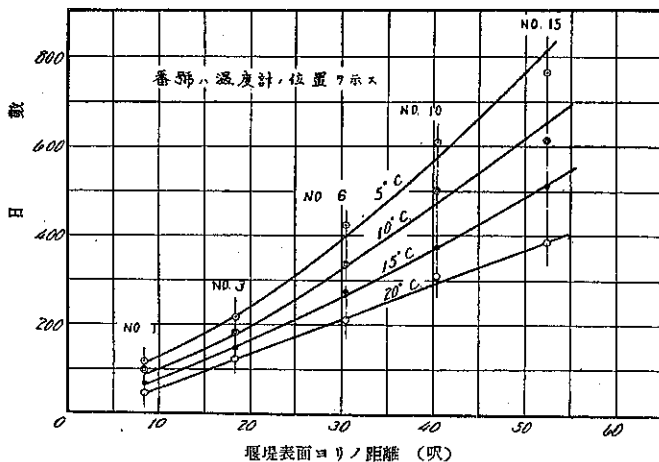
大堰堤に於ては其の中心部は殆ど断熱状態に置かれ、こゝに莫大なる熱量を蓄積し、爲に温度著しく上昇して 60°C 前後に達すること前述の如し。従つてコンクリートの容積は膨脹す。やがて月日の経過するに従ひ水和熱は次第に放散し、コンクリートの乾燥即ち水分の蒸發と、外氣温度の低下、並に貯水による冷却等のために堰堤は

図-1. 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



d > 4 呎ノ場合ハ打込後 10 日間。

図-2.



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

徐々に収縮を起すに至るべし。而して収縮は當然張力を生じ、之がコンクリート自体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 の時に施工せられたるコンクリートが 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の地點の年平均気温、假に 12°C に冷却するものとして、55°C-12°C=43°C の温度変化を受くることとなり、假に乾燥のための収縮無しとするも、此の冷却による応張力 ( $\sigma$ ) は

$$\sigma = 43 \times 0.00001 \times 150000 = 64.5 \text{ kg/cm}^2$$

と概算し得るを以て、假令此の温度変化の一部分が施工後堤体内の Initial compressive stress として負擔され居り、 $\sigma$  が 64.5 kg/cm<sup>2</sup> より幾分小なりとするも龜裂の危険性は否む能はざるべし。若し 30°C の温度上昇の内 15°C だけ initial compressive stress により負擔されたりと假定するも、

$$\sigma = (43 - 15) \times 0.00001 \times 150000 = 42 \text{ kg/cm}^2$$

となり尚龜裂の危険存在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、且つ此の内 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、

$$\sigma = \{(15 + 20 - 10) - 12\} \times 0.00001 \times 150000 = 19.5 \text{ kg/cm}^2$$

となり龜裂發生の傾向著く減ずべし。これ堰堤の如き大塊コンクリート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の人為的冷却、或は骨材冷却の思想の起る所以なりとす。

堰堤の収縮は乾燥による影響亦大なり。コンクリートの乾燥による収縮は實驗に徴すれば施工後數年後に於て 1 m に付き 0.4~0.5 mm 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断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、堰堤により其の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。堰堤の表面に於ては乾燥は著しく、表面にのみ現はるゝ細龜裂は之に因るもの多し。之が實證は撒水の充分なりし處に少く、撒水を怠りたる處に多きを以て知るべし。

堰堤は底部に於て岩盤に固定さるゝ爲其所に於けるコンクリートは収縮により張応力を生じ龜裂の發生を見ることあり。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。

一般に堤堰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、即ち堰堤の長さの方向の接手を設くる方法なりとす。此の工法はコンクリートの打方にも都合良きため最普通の工法となりたり。而して其の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。小收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尚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。然れども大体論として 60~50 呎が總ての點より見て適當ならむと思はる。此の程度に接手を設くる時は、たとへ表面に生ずる毛狀龜裂は止むを得ずとするも、堰堤を横断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、断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断面積増大するに従ひ、益々其の傾向を増さんとす。茲に於てか收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、設く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 Grand Coulee Dam は其の適例なりとす。柱狀ブロックの贅否に付ては後段詳述すべし。

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。即ち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。之が爲米國に於ては最近施工の堰堤は何れも 1 回打上りの高さ（以下リフトと稱す）及次層打継迄の時間を制限するに至れり。之に對し T. G. Tripp 氏は氏の経験より收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收縮龜裂を伴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、従つてリフト及打継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、又接手断面に生じた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断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。之れ監査廊は其の構造及工法より考ふるに堤体の他の部分より早く冷却を起すを以て此處に收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断するは可なりとするも、一般に堤体内に廊孔を設くることは堤体の他の部分と不均齊の收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小數に止むべきを筆者は望むものなり。

St. Francis Dam の缺潰後其の殘骸の断面上に垂直又は下流面にほぼ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。此の事實は横断面に現れたる龜裂の實證と云ふべし。Ifenny 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。

以上收縮龜裂の理論及實例を述べたるが、堤体内部に起る收縮龜裂に關しては反對説をなす者もありとす。以下其の代表的のものを擧ぐべし。

A. J. Wiley 氏は堤軸に平行なる收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 に收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收縮龜裂を生ずとの證據にはならずと。多くの厚さ大なる arched gravity dam に收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体なり (practical monolithic)。之は收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 に於ては此の事が圧力試験により明瞭となりたりと。Gallery 其の他外氣に接する所は急速冷却と乾燥とに依り急激に收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 Nootzi 氏が axial crack なりと考へたるものは實に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收縮龜裂（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。然れ共堰堤の横断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、上下洗面の如く急激の乾燥、冷却無きを以て上下洗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。其の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断ずるの早計なるは前述の如く、此の點 Wiley 氏と筆者の意見一致する處なり。筆者の經驗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、上下洗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、工事中に現るゝ龜裂はコンクリート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し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の失敗を繰返さざる様、コンクリートの施工方法、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ず。

#### 4. 龜裂防止施工法

##### (a) セメント

コンクリート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ゝ考へらる。所謂低熱セメント之なり。低熱セメントは大別してポートルランド系のもの、混合セメント系のものとの2種とす。何れにせよ此の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に非常に有益なること云ふ迄も無し。筆者は其の完成を望むて止まざるものなりと雖、本邦に於ては其の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、發熱其の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、長期に至りては其の温度上昇は普通ポートル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コンクリートの plastic flow 即ち荷重による漸増変形の問題なりとす。此の問題は最近漸く斯界の注意を引くに至りたるが、加州大学 R. E. Davis 氏、其の他 2 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コンクリートは其の小なるものより flow 大にして、又同一水セメント比を有するコンクリート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、粗粒低熱ポートル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 大なる事を指摘せる事にして、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。

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。

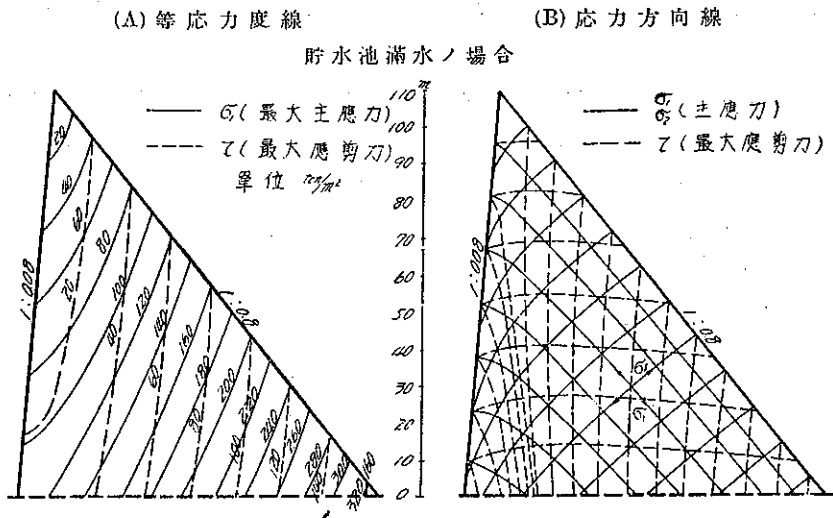
##### (b) 重力堰堤内部応力の分布

圖-3 は有峰堰堤の満水時に於ける内部応力図にして、(A) の實線は最大主応力の、點線は最大応剪力の各等応力度線を示す。而して堤趾に於ける応剪力が  $160 \text{ t/m}^2$  に達することは注意に値す。

又図-3 (B) の實線は最大及最小主応力の、點線は最大応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応力に至大の關係を有し、實際の応力分布の状態は之と異なるべしと雖、未だ不明なるを以て茲には本図により考察を進むべし。

図-3. 有峰堰堤内部応力図



(c) 施工接手の入れ方

1) 堤軸に直角の垂直接手: 此の接手は最も一般に採用せらるゝ工法にして且つ其の間隔を 50~60 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の方向の接手のみにて施工可能なるべし。而して其の高さ何程迄を可なりとすべきかは一樣に決定し難く困難なる問題と云ふべし。此の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変形又は変位することなく、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応力を生じ、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体性を無視する事なれば、凹凸は矢張り設くることとし、凹凸部の長さを大とし、従つて其の数を少くし、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。此の點に付ては諸家の研究發表を望むや切なり。



図-4. 接手水平断面略図



接手の上流端に挿入する水止金物は銅板を最良とす。小收に於ては厚さ  $1/4''$  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、小收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鑲付けせしめたるも、形状複雑なるためコンクリート打込の際に銅板を歪め、鑲付けの離脱したる爲と判断せられたり。Z 形は経験なきも相隣れるブロック変位したる場合切断の恐れあるべし。此の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、施工目地等よりの漏水と異り、堰

堤の安全に無關係なるやに思はるれ共、コンクリート類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 50×50 呎 (標準) 柱状に打上る。而して一同打上り高、即ち 1 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。即ち前者は堰堤の前後の deformation に對して一体性を要求するため、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応力分布に對し堤体の一体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礎目式に打上ぐるを以て常に先に打上げらるゝ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、假に内部温度上昇 30°C 近く 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 圖-2 の如し。いはんや實際に於ては引続き基礎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。故に此の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 10 m 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。即ち此の場合先づ第 1 夏には基礎筋に一つ飛に仕上り、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、即ち第 2 夏の初期迄 9 ヶ月餘経過することになり、大体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 2 夏には前年打残されたる部分を基礎筋に打上げざるべからず。之等は周圍取囲まれたる穴は打込まれ放熱の機會少き上に来るべき冬季には、之等は雪によりて冷却せらるゝ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礎筋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、其の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しく、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 2 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.; 其の他前者と同様

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なる 2~3 個の施工接手を入れリフトは約 3 m に打上げたり。又特に上流





面に稠密なるコンクリート層を打ち、其の下流には堰堤全長に亙る空隙を残し置き、且つ此等空隙を主応力線と一致せしめ、此の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コンクリートにて蔽ふ目的なりと云ふ(図-10 参照)。

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

Ceresole Reale Dam: 堤軸に直角の収縮接手を 25 m 間隔とし、平行の接手を 24 m とし、こゝに 1 m 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 2.1 m~17.5 m とし、平行の接手を 18 m~16 m~23 m...等とし、高さを 3 段又は 4 段としてブレーキジョイントに疊築しつゝあり。此の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(図-11 参照)。

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、上下流面に亙りて廣くコンクリートを連続打込むことは一回打上の敷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ばブロック式工法、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。圖-3 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。此の點より見る時は柱狀式ブロック工法は最進歩したる工法と一般に認めらると雖、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 に於ては此の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  狀 key way を設け且つブロックの収縮による周囲空隙にセメント注入を行ひ、全堰堤を一体的ならしむるに苦心したり。而し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。即ちコンクリート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気グラインダーにて磨きをかけ平滑に仕上ぐる。普通施工接手に行はるゝ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着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。即ち柱狀式ブロック工法は堰堤施工上最厭ふべき最大応剪力の方向に接手を設くることにより、上記補強策を講ずるも尙応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% の応剪強を得るためには莫大の費用を投じ、非常に手數のかゝ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空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 2 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、又収縮龜裂防止の點よりしてはブロック式より他の手段は見出し得ざるべし。殊に Boulder は其の現場を視察するに、兩岸狭く峭ちたる大岩壁の間に全堰堤を massive なる一体として楔狀に造り上げたるものにして、此の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 に於ては能く其の得點を利用し、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 4300 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の安全性は理論的に Boulder に及

はずと云ふべし。但し後者は其の高さ前者より低く、しかもコンクリート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、之亦此の堰堤に適當なる工法と云ふべきか。

目下工事中の塚原堰堤は其の施工法上述の如くブロック式を採用したり。此の堰堤に於てはコンクリート打込に當り、先に打上げたる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継ぐこととす。ブロック周囲は全く垂直にして前記米國堰堤の如く 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、出來得べくば接続塊を密着せしめたまき希望を以て特に表面を新鮮なる粗面仕上げとして打継ぎたるものにして、尙且つ萬一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. を超ゆるが如き處に於ては莫大な經費を投じ、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伴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の價值甚だ少しと云ふと雖、こは理論的のことにして、塚原の場合決して其の不合理的を責むべきに非ず。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コンクリートを施工し、たとへ單なる施工接手の意味にせよ 卒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。此の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の堤趾に近きものは、堤体中最大値の応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  $15 \times 15$  m と假定し、高さ 15 m に對する工費を算出すべし。冷却管は径 1" 引拔鋼管を水平に 1.5 m 毎に、上下間隔を 1.5 m 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 1.8 m 間隔に、平行の接手には約 1.5 m 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 (径 1 呎)	$5000^{\text{尺}} \times 0.130 = 1500^{\text{尺}}$	重量	1.753 <sup>t</sup>
伸縮継手	$100^{\text{継}} \times 0.080 = 80^{\text{尺}}$	同	0.097 <sup>尺</sup>
材料費計	1580 <sup>尺</sup>	同	1.85 <sup>尺</sup>
布設費	$1.85^{\text{尺}} \times 0.085 = 160^{\text{尺}}$		
冷却管費合計	1740 <sup>尺</sup>		
コンクリートブロック体積	$15 \times 15 \times 15 \text{ m} = 3375 \text{ m}^3$		
故に 1 m <sup>3</sup> 當り	0.52		
有峰堰堤全体積 720 000 m <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)	3500 <sup>尺</sup>
導水路費 (鉄管及布設費)	21 000 <sup>尺</sup>
水槽費 (左右兩岸 2ヶ所分)	4 000 <sup>尺</sup>
給水管費	40 000 <sup>尺</sup>

勞力費	24 000円		
動力費	2 500''		
其の他	5 000''		
實行費合計	<u>100 000''</u>		
即ち 冷却費	374 400''		
實行費	100 000''		
○ 冷却工費計	<u>474 400''</u>	コンクリート 1 m <sup>3</sup> 當	<u>0.66円</u>

セメント注入費：—注入管（径 1/2'' ガス管）—Riser（径 1/2''），Feeder（1 1/2''），Return（1 1/2''），Tee，Elbow，Exp. Coupling，Grout stop，Leakage stop 等一切を含む。

注入管費：—	重 量	金 額		
堤軸に直角の接手	289 kg	187円		
同 平行 同	572 kg	333''		
其の他	19''	10''		
計	380''	530''		
布設費	0.88 <sup>3</sup> × 85円	75''		
注入管費合計		<u>605''</u>	1 m <sup>3</sup> 當	<u>0.17円</u>
720 000 m <sup>3</sup> に対し		<u>122 400''</u>		

注入實行費：—				
機械費（50 kg/cm <sup>2</sup> 1 臺，70 kg/cm <sup>2</sup> 1 臺）	9 500円			
セメント費（接手全面積に厚み 0.05 cm として，12 000 袋，@ 1.010 と假定）	13 200円			
勞力費 9 360円 @ 2円	18 720''			
電力費，雜費，足場其の他	6 580''			
注入實行費計	48 000''			
即ち 注入管費	122 400''			
實行費	48 000''			
○セメント注入費計	<u>170 400''</u>	1 m <sup>3</sup> 當	<u>0.24円</u>	
冷却費	474 400''	コンクリート 1 m <sup>3</sup> 當	0.66''	
注入費	170 400''	同	0.24''	
◎總 計	644 800円	同	0.90''	

コンクリート単價 1 m<sup>3</sup> 當假に 13 円とせば冷却並注入費は 7% に相當するを知る。

次に上記 15 m ブロックの時 (A) と，堤軸に直角に 15 m 間隔の收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表-2 の如し（見込費算出詳細省略）。

(B) 注入管費{(A)の場合の堤軸と

表-2

直角なる注入管}は 44 000円

接手に對するセメント注入費は 71 000円

型枠費は

(A) 0.53/m<sup>3</sup> × 720 000m<sup>3</sup> = 381 000円

(B) 0.35/m<sup>3</sup> × 720 000m<sup>3</sup> = 252 000''

即ち柱狀ブロック式にて施工する時は，

在來の伸縮接手工法より約 703 000 円の増額を必要とす。

費 目	(A) 15 × 15 m ブロック式	(B) 15 m 伸縮 接手式	差 額
冷 却 費	474 400円	—円	円
注 入 費	170 400	71 000	
型 枠 費	381 000	252 000	
計	1 025 800	323 000	702 800

iv) 施工接手の區別： 施工接手は其の目的により次の3種と見做すべし。即ち a°) 伸縮接手； b°) 收縮接手； c°) 單なる施工接手。

此の區別は一見明瞭の如くにして、其の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。

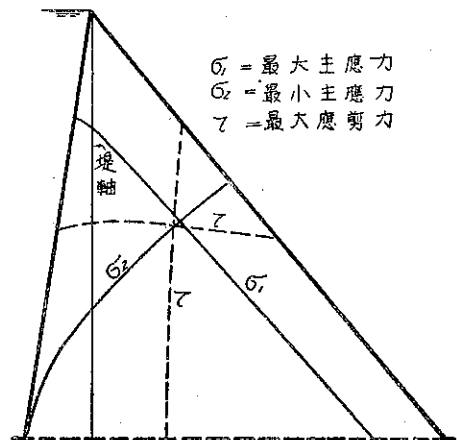
a°) は堰堤上部高欄壁の如く、四季氣温に支配され伸縮するものにして、自由に伸縮せしむべきやう接手は間隙を残し置くを適當とし、之にアスファルト又はセメント等を填充するは誤れり。最近米國に於ては堰堤上部パラベットの伸縮継手は間隙を1吋位開口のまゝとす。而して此の場合接手の角の損傷を防ぐ爲には施工に注意すべき事、又は角に山形鋼を用ふるも可なり。漏水を嫌ふ場所に伸縮接手を設くる時は水止金物のみを以て防水し、間隙を填充するは好ましからず。

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、主として收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收縮したる後は、氣温の影響を多少受くる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收縮を自由に免すべく、其の間隙は後之を填充し堰堤を一体ならしむるを可とす。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收縮接手と改むべきものならむ。

c°) 此の施工接手は單なる施工上の接手なり。a°), b°) も亦夫々の目的に応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。此等はコンクリート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の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、收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收縮に對する考慮を拂ひ、目地を主応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選定せざるべからず。

v) 施工接手の入れ方に關する考察： 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応力の剪力零なる面に設くるを理想的とすべし。故に接手は主応力の方向線に一致せしむれば其の方向には剪力零なる故に何等不安を伴はず。圖-5 は満水時に於ける主応力並に最大剪力の方向線を示す。主応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応力の方向に直角に接手を設くるを合理的とすべく b°) の收縮接手としては成る可く自由に收縮を免すを可とするため最大主応力線に平行、即ち最小主応力の方向に直角なる方向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、堰堤技術上根本的僞み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応剪力は最大主応力の 1/2 なる故普通の三角形の断

圖-5. 貯水池満水時の応力方向線



面に於て假に高さ 110 m, 最大主応力  $32 \text{ kg/cm}^2$  なる如き場合に於て, 最大剪応力は  $16 \text{ kg/cm}^2$  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, 此の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 (此の水平に近き最大剪力の面とほぼ平行に堰堤の理論上滑面 Gleitflächen と稱する面あり)。

さればとて図-5 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, 唯応力最大値に近き點, 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。

図-6. 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応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応力の方向に平行なる傾斜接手は堰堤の内部応力に對し最合理的にして内部收縮龜裂を避くる安全且つ適切なる收縮接手なり。此の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。

コンクリートの膨脹, 收縮は接手を開閉せしむると雖, 堰堤の応力には殆ど或は全然影響を及ぼさず。high multiple arch 及 ambursen dam の buttress に於て主応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。

主応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。此の案は後変更せられ遂に實行せられざりしが, 図-7 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。之は堤脚に直角の接手には keyway を設け其の咬合せにより全堰堤を傾斜せる柱の 1 系統として働かしく考案せられたり。傾斜柱は略  $50 \times 60'$  の水平断面を有し, 他の柱が同じ高さに打たれる迄收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 Jakobson 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。即若し此の傾斜接手が開口するならば, 其の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。傾斜接手の考案は實行上不可能なれ共前掲図-6 中實線に

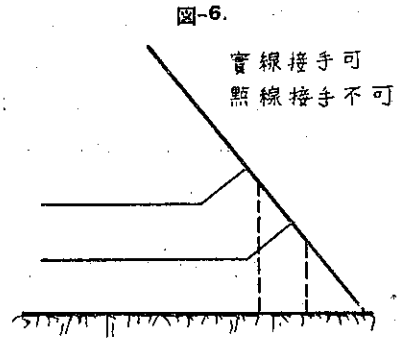
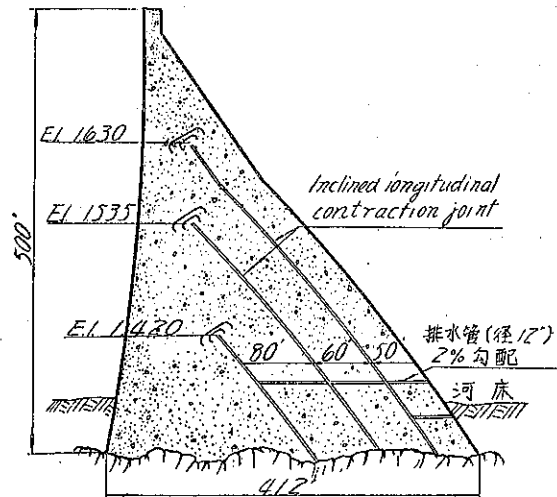


図-6.

實線接手可  
點線接手不可

図-7. San Gabriel Dam 設計圖



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 Jakobson 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。即若し此の傾斜接手が開口するならば, 其の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。傾斜接手の考案は實行上不可能なれ共前掲図-6 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。主応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)然らば其の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。図-8 は其の假想図にして階段は最大主応力の方向に沿ひたるものとす。かか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、施工基が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なるべし。いはんや階段の各角角に応力の局部集中を來す龜裂發生の恐れなしとせず。多大の困難を排しかる工法を採用する程の効果無かるべしと思考す。

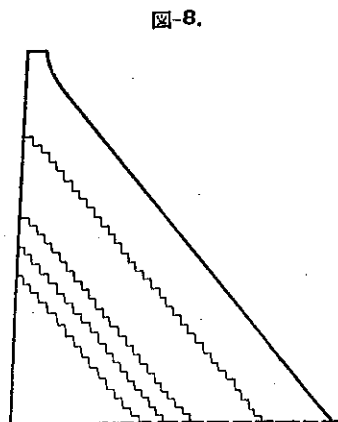


図-8.

普通行はるゝ堰堤を2期に分ちて施工する嵩上の方法は主応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、材齡異なる新古コンクリートの強度及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、或は古コンクリート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圧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ッシー堰堤に行はれ居る如く上置コンクリートに冷却法を用ひ、或は新古コンクリート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ざ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案を進むる時は結局在來の水平接手として屢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1層1回に施工すること容易なりと雖高堰堤に於ては1層1回連続施工容易ならず。此の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、若し垂直目地を設くるとせば必ずブレイキジョイントとし、且つ下流面附近に於て之を絶対に禁ずべきものとす。出來得るならば主応力線に平行に不連続目地を統一したし。又此の場合各垂直目地にセメント注入の不可能なるは云ふ迄も無きを以て之等の接手は完全に表面を缺き取り、充分清掃し、出來得る限り打継ぎコンクリートと密着せしむるより外無かるべし。かくして尙萬一其の目地に龜裂の生ずるも止むを得ずとする外無かるべし(図-9)。

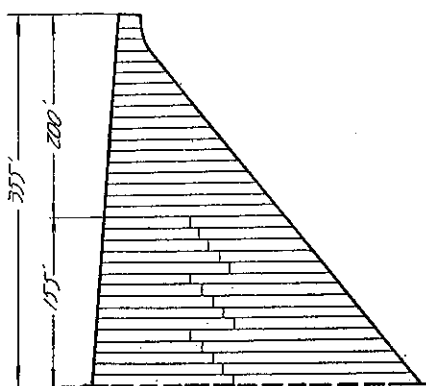


図-9.

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て充填したること上記の如しと雖(図-10)、同1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、1層1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(幅)×1m(厚)=1350m<sup>3</sup>(225立坪)なる故に、2 cub. yd. ミサキー4臺使用、1バッチ3分と假定、1日11時間仕事とせば、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1層1回

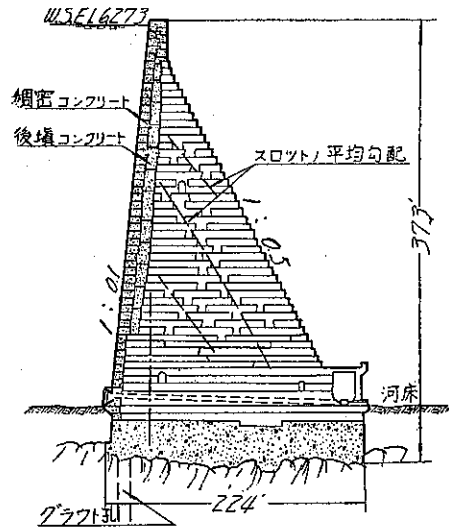
仕上げとすること容易なるべし。且つ出来得れば上流より下流に向ひ緩慢なる登り勾配を設け滑動に安全性を與へたし。或は又水平施工とせば下流面に近く約  $45^\circ$  の傾斜を附すること(圖-6 實線の如く)も一法なるべし。尙出来得べくば夏季酷熱の候に於ては晝間作業を廢し夜間コンクリート施工を取行すべく、龜裂發生の傾向に對しては極力養生を完全にして防禦するの外無かるべし。

viii) リフトの厚さ: リフト即ち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 氏は温度低下の理由を以てブロックを連続打次ぐ時の厚さは  $4' \sim 4\frac{1}{2}'$  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むるには好都合なれ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 居れり。氏も亦薄きリフトは温度

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の結果收縮龜裂の發生を憂慮したり。然し此の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の心配無かるべし。露出の時間長くなり工事の季節的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當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なる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。此の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なり。故にリフトを  $6'$  に減少することは可成りの費用を増し、其の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 Coulee 其の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  $5'$  は適當のものと信ずれ共、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狀ブロック式によらず、在來の所謂伸縮接手式工法によつてとせば、コンクリート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コンクリート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、必要の際は申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。云ふ迄もなくコンクリート施工は理論、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讚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来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。吾人は堰堤技術者としてコンクリート工程困難なるものではなく、同時に之程樂しき

圖-10.



ものなし。此の内一見最も容易にして最も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處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。但し季節的中止の際筵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る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。かか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鉄筋を入れ豫防するも一方法なるべし。

#### (d) 鉄筋による龜裂防止法

鉄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体内廊孔の周圍等何れも局部的の利用に止まる。

之を以て乾燥に依る収縮、並に溫度降下に依る収縮に對し龜裂を絶無になさんとせば莫大の鉄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  $15 \times 15 \times 1.5$  m ブロックに於て収縮のみによる龜裂を無くするために要する鉄筋量は次の如し。下記式は Proceedings of A. S. C. E. vol 58. に示されたる連続的鉄筋コンクリート構造物の直線的膨脹及収縮に適用さるべきものにして、1 ブロックが上下のブロックと關係なく、鉄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。

$$L = \frac{(S_c')^2}{np^2qu(ZE_c - S_c')}$$

$L$ : 接手間の距離 = 15 m

$$p = \frac{A_s}{A_c} \text{ : 鉄筋比, } A_s \text{ : 鉄筋の面積, } A_c \text{ : コンクリートの面積。}$$

$S_c'$ : コンクリートの極張強 = 21 kg/cm<sup>2</sup> とす。

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

$\sum o$ : 鉄筋円周

$u$ : 附着応力 = 21 kg/cm<sup>2</sup>

$Z$ : コンクリートの収縮係数 =  $0.5 \times 10^{-3}$  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、コンクリートの厚み 1.5 m に付き 12 mm 鉄筋を 3 cm 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、従つて之に平行の鉄筋を不要とす。

次に溫度降下のみに對する収縮龜裂を防ぐには

$$L = \frac{(S_c')^2}{np^2qu(BTE_c - S_c')}$$

$B, T$  以外の符號は前公式と同様とす。

$B$ : 溫度降下 1°C に就ての單位収縮 =  $0.67 \times 10^{-5}$

$T$ : 溫度降下...30°C と假定

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

次に収縮と溫度降下が同時に起るとすれば、

$$L = \frac{(S_c')^2}{np^2qu[(B'T + Z)E_c - S_c']}$$

より  $P = 0.18\%$  即コンクリート 1 m<sup>3</sup> 當り鉄筋量 14.208 kg を要す。鉄筋 1 t 230 円とせば、コンクリート 1 m<sup>3</sup> 當り所要鉄筋價格 3.50 円 (立坪當 21 円) なり。有峰堰堤のコンクリート總量 720 000 m<sup>3</sup> に對し、鉄筋總額 2 520 000 円を要す。假に此の半數を要すとすも其の行はれざる事云ふを待たず。



(e) 骨材の Precooling

夏季混凝材を豫め人為的に冷却し置き之を混合せば、冬季施工のコンクリートと同様の結果となり、内部温度の低下に最有効なるべく、且つブロック式工法に用ひらるゝコンクリート冷却よりも全塊を均等に冷却し得る利益あり。此の思想は内部温度の上昇に對し當然起るべき問題なりと雖、筆者は未だ其の實施せられたる例を聞かず。此の考は徹底せりと雖大量のコンクリート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。而して此の方法は自然の河水、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4案に付き比較研究を試みたり。

〔第1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2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る)

〔第3案〕 骨材の冷却を2期に分ち

- (1) 自然河水に依る冷却 (或温度迄)、(2) アンモニヤ冷却水に依る冷却 (其の温度以下)
- (骨材冷却後使用済の水は捨つ)

〔第4案〕 骨材の冷却を2期に分ち

- (1) 自然河水に依る冷却 (或温度迄)、(2) アンモニヤ冷却水に依る冷却 (其の温度以下)
- (骨材冷却後使用済の水は循環使用する)

有峰堰堤地點に於ける氣温並に和山川の水温

骨材の温度は氣温と多少相異すべしと雖、表-3より有峰に於ける盛夏8月の骨材の温度を23°Cとし、和山川の水温を16°Cと假定し以下計算の根據とす。

〔第1案〕 3°Cのアンモニヤ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

- $t_a$ : 骨材の最初の温度
- $t$ : 骨材を冷却したる後の温度
- $t_w$ : 冷却水の温度
- $V_w$ : 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
- $Q_1 = 0.6 V_a \times \gamma \times C \times (t_a - t)$
- $Q_2 = V_w \times (t - t_w)$  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

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

表-3.

月	氣 温			水 温
	月最高平均	月最低平均	平均	
6月	23.6°C	10.3°C	17.0°C	11.8°C
7月	26.5	14.2	20.4	14.4
8月	27.9	16.2	22.1	16.1
9月	26.2	11.4	18.8	15.3
10月	16.2	3.3	9.8	9.4
11月	10.2	-1.5	4.4	6.2
12月	4.8	-4.2	0.3	3.5

依つて第 1 案に於ては

$V_w$ : 骨材を冷却するに要するアンモニヤ冷却水の 1 日 12 時間の所要量 ( $m^3$ )

$V_a$ : 骨材の 1 日 12 時間に於ける使用量 =  $2500 m^3$

$t_a$ : 骨材の量初の温度 =  $23^\circ C$

$t$ : 骨材を冷却したる温度 =  $5^\circ C, 6^\circ C, 7^\circ C, 8^\circ C$ .

$t_w$ : アンモニヤ冷却水の温度 =  $3^\circ C (37.4^\circ F)$

他の冷却工業を調査の結果  $t_w = 3^\circ C$  を最適と認めたり。

$t$ ( $^\circ C$ )	$V_w$	$t$ ( $^\circ C$ )	$V_w$
5	$7020 m^3/12 \text{ 時間} = 5.9 \text{ cub. ft/秒}$	7	$3120 m^3/12 \text{ 時間} = 2.6 \text{ cub. ft/秒}$
6	$4420 \text{ " } = 3.7 \text{ "}$	8	$2340 \text{ " } = 2.0 \text{ "}$

コンクリート混和用水量; 2 立方碼ミツキサ 4 臺使用各 1 回練時間を 3 分とせば (2 立方碼ミツキサ 4 臺使用, 各 1 回練時間を...) 1 日 12 時間のコンクリート量は

$$2 \text{ cub. yd} \times 4 \times \frac{60}{3} \times 12 = 1920 \text{ cub. yd} = 1468 m^3$$

コンクリート  $1 m^3$  當り混和水量  $170 \text{ kg}$  とすれば

$$170 \text{ kg} \times 1468 = 249560 \text{ kg} = 250 \text{ t}$$

故に

$t$ ( $^\circ C$ )	5	6	7	8
骨材冷却水量 + 混和水量 (t)	7270	4670	3370	2590

コンクリート打方は晝間 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  $16^\circ C (60.8^\circ F)$  を  $3^\circ C (37.4^\circ F)$  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。

$$\text{全冷却力} = (\text{骨材冷却水量} + \text{混和水量}) \text{ 噸} \times 2.2 \times 1000 \times (60.8 - 37.4) \times 1.4 \text{ 但單位 B. T. U.}$$

$t$ ( $^\circ C$ )	全冷却力	$t$ ( $^\circ C$ )	全冷却力
5	$523963440 \text{ B. T. U.} = 3639 \text{ 冷却噸}$	7	$242882640 \text{ B. T. U.} = 1687 \text{ 冷却噸}$
6	$330576240 \text{ " } = 2337 \text{ "}$	8	$186666480 \text{ " } = 1296 \text{ "}$

茲に B. T. U. とは 1 lb の水を  $1^\circ F$  上昇せしむるに要する熱量にして,  $1 \text{ B. T. U.} = 1 \text{ K. cal} \times 3968$  なり。

冷却力  $1 \text{ t}$  の熱量 =  $144000 \text{ B. T. U.}/12 \text{ 時間}$ ,

(12 時間に  $2000 \text{ lb}$  の氷を溶かす熱量)

最大冷却力 250 冷却噸のアンモニヤ圧縮機を使用すれば

$t$ ( $^\circ C$ )	5	6	7	8
臺數	14.6	9.4	6.8	5.2
價格 (円) (1 臺 40000 円とす)	584000	376000	272000	208000

アンモニヤ所要量, (単位 1 冷却噸に就き所要量約 10 kg)

$t$ (°C)	5	6	7	8
アンモニヤ所要量	36 390 kg	23 370	16 870	12 960
価格 (50kg を 10.5円とす)	約 12 000 円	7 700	5 600	4 300

故に第 1 案各冷却温度に對する全金額は

$t$ (°C)	5	6	7	8
全金額 (円)	596 000	383 700	277 600	212 300

〔第 2 案〕 3°C のアンモニヤ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。コンクリート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

$t$ (°C)	5	6	7	8
$V_{10}$ (骨材冷却用) $m^3/12$ 時間	7 020	4 420	3 120	2 340

冷却水を通す管, ピ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  $\times 2.2 \times 1 000 \times (t(°F) - 37.4) \times 1.4$  B. T. U.

$t(°F) = 41°, 42.8°, 44.6°, 46.4°$  夫々

$t$ (°C)	全冷却力 (冷却噸)	$t$ (°C)	全冷却力 (冷却噸)
5	77 837 760 B. T. U. = 541	7	69 189 120 B. T. U. = 480
6	73 513 440 " = 511	8	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% と仮定す。

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

最大冷却力 250 冷却噸のアンモニヤ圧縮機を使用せば表-4 の如し。

表-4.

$t$ (°C)	臺 數	價 格	アンモニヤ所要量	價 格
5	2.6	108 000 円	6 390 kg	約 2 100 円
6	2.4	96 000	6 090	2 000
7	2.3	92 000	5 780	1 900
8	2.2	88 000	5 480	1 800

故に第 2 案各冷却温度に對する全金額は

$t$ (°C)	5	6	7	8
全金額 (円)	110 100	98 000	93 600	89 800

但し混和水用機械費をも含む。

〔第 3 案〕 冷却を 2 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 ( $m^3$ )
- $V_a$ : 骨材の 1 日 12 時間に於ける使用量 = 2 500  $m^3$
- $t_a$ : 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  $V_w = 1040 m^3/12$  時間 = 0.9 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 のアンモニヤ冷却水を使用して 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ヤ冷却水の 1 日 12 時間の所要量 ( $m^3$ )
- $V_a$ : 骨材の 1 日 12 時間使用量 = 2 500  $m^3$
- $t$ : アンモニヤ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
- $t_w$ : アンモニヤ冷却水の温度 = 3°C

然る時は

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

コンクリート混和水は 1 日 12 時間の使用量 250 t

$t$ (°C)	5	6	7	8
骨材冷却用水量 + 混和水量 (t)	5 710	3 630	2 590	1 966

水管、ピン等熱損失 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

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

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

最大冷却力 250 冷却噸アンモニヤ圧縮機を使用せば 表-5 の如し。

表-5.

t (°C)	臺 數	價 格	アンモニヤ所要量	價 格
5	11.4	456 000円	28 580 kg	9 400円
6	7.3	292 000	18 170	6 000
7	5.2	208 000	12 960	4 300
8	3.9	156 000	9 840	3 200

故に全金額は

t (°C)	5	6	7	8
全金額 (円)	465 400	298 000	212 300	159 200

〔第4案〕冷却を2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淨され居る故、其の儘循環使用する)。第3案と同様に

t (°C)	5	6	7	8
$V_w \text{ (m}^3\text{)}$	5 460	3 380	2 340	1 716

コンクリート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

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

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

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

混和水 1日12時間 250t 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 (°C)	5	6	7	8
骨材冷却力 + 混和水冷却力 (冷却噸)	518	488	458	428

最大冷却力 250 冷却噸アンモニヤ圧縮機を使用せば

t (°C)	臺 數	價 格	アンモニヤ所要量	價 格
5	2.1	84 000円	5 180 kg	約 1 700円
6	2.0	80 000	4 880	1 600
7	1.8	72 000	4 580	1 500
8	1.7	68 000	4 280	1 400

故に全金額は

$t$ (°C)	5	6	7	8
全金額 (円)	85 700	81 600	73 500	69 400

上記結果を總括し表-6を得。

表-6. 冷却したる骨材によるコンクリートの温度及其の費用

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' ブロック中心の温度上昇 "	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
最 高 温 度 "	36.6	37.2	37.7	38.3	54.0	
△温 度 応 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	42.9	43.8	44.6	45.5	69.0	
冷却装置 設備費	第 1 案 (円)	596 000	383 700	77 600	212 300	—
	第 2 案 "	110 100	98 000	93 600	86 800	—
	第 3 案 "	465 400	298 000	212 300	159 000	—
	第 4 案 "	85 700	81 600	73 500	69 400	—

上表中 \* 練上り温度は、コンクリート 1m<sup>3</sup> の配合をセメント 250kg; 砂利 1000kg; 砂 450kg; 水 170kg とし、セメント温度  $t_c=22^{\circ}\text{C}$ ; 冷却したる砂、砂利温度を  $t_s$ ; 冷却したる溜池水の温度を  $t_w$ 、コンクリートの練上り温度を  $t$ 、セメント及骨材の比熱=0.2 とする時  
 $250 \times 0.2 \times (t_c - t) = (1000 + 450) \times 0.2 \times (t - t_s) + 170 \times (t - t_w)$

より算出したり。

又 △温度応力は、 $t$ =ブロック中心最高温度と年平均気温 ( $8^{\circ}\text{C}$ ) との差;  $\alpha$ : コンクリートの収縮係数、温度 1 度につき 0.00001;  $E$ =コンクリートの弾性係数=150 000 kg/cm<sup>2</sup> として、温度応力= $\alpha t E$  より算出せるものなり。

上表を検討するに第 1 案は最不經濟にして、第 3 及第 4 案は自然河水及冷却水と 2 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 2 案最經濟なるを知る。依て假に第 2 案を探るとせば 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 個/秒 取水し得るを以て第 2 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体見積額を 11 万円とせば、之が全經費約 22 万円となるべし。

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し上温すべきや、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。故に此の方法は試案としては興味深しと雖も實行に當りては更に實驗に待つ必要あるべし。

### 5. 結 論

上述の如く柱状ブロック式工法は堰堤内部応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 2 大堰堤の如き超高級のものにありては此の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、同時に此の法は冷却及セメント注入を併用せざる時は其の効果を擧ぐることは能はず。

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可能なるのみならず、假に此の工法を探るとするも、剪力に對する安全性は 50% に減ずるを以て、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。而して此の工法に於て最も忌むべき

は横断面に現る、垂直の龜裂なりとす。然れ共此の龜裂は發生の可能性有りと言ふことにして、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ずる者すらあり。假に發生したりとするも細心の注意を以て施工したるコンクリートに多數の龜裂を生ずべしとは考へ能はざる處にして、其の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。此の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。

コンクリート打り方は水平層とし圖-6 の如く下流面の近くに於て 45° の傾斜を附するか、又は全体一樣に緩慢なる爪先上り勾配を附するも可なり。1 層は成るべく 1 回仕上げとするを可とし、其の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。垂直目地は圖-8 の如く横断面より見て主応力線の方に沿ひたる不連続的系統線を形成する様施工するを可とす。セメントの種類及コンクリートの配合等は目下続行中の試験を待つて慎重決定すべく、コンクリート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、内部応力の分布は施工方法及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断面の決定以外に無きを知るべし。茲には断面決定に關する議論を避け、有峰堰堤が踵に於て揚圧力 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 720 000 m<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 700 000 m<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了る。

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、此の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方會社藤井雄之助君、大橋健一君及富山縣電氣局藤原琢而君の勞を謝す。又塚原堰堤圖面 圖-11, 12, 13 の挿入を承認されたる同技師長山本格君の御厚意を併せて謝す。茲に掲げたる外國の例は Proceedings of A. S. C. E. 及 E. N. R. 等より取りたり。

#### 附 記

本論を本會誌に掲載するに當り、塚原堰堤記事引用方を同工事技師長山本格氏に御承認を求めたるに御快諾あ

圖-11. 塚原堰堤平面圖

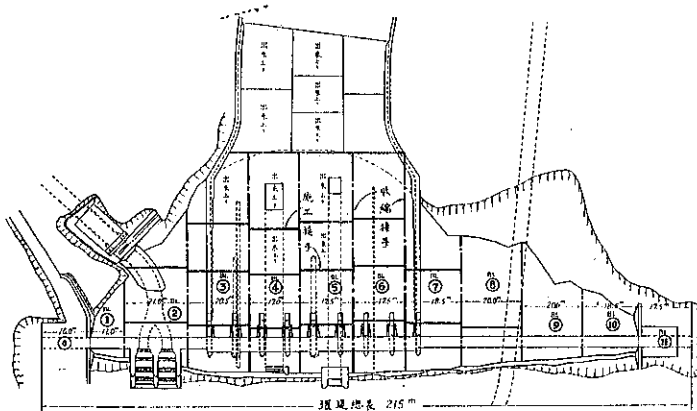


図-12. 塚原堰堤横断面図

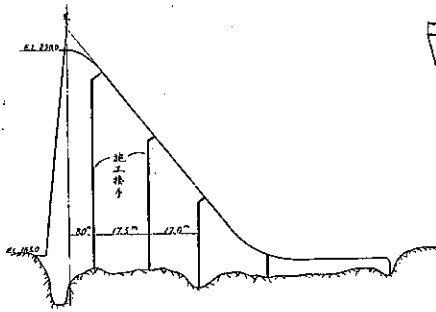
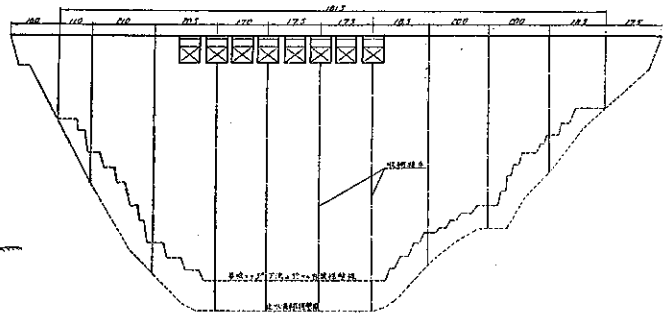


図-13. 塚原堰堤正面図



り。同時に次の御注意を賜りたるを感謝す。即ち拙稿 4. (c) ii) 塚原堰堤記事 (470 頁) 中「此の堰堤に於てブロック表面の欠取りとセメント注入設備とを併有したるは ……」に關し次の御申出ありたり。

(1) 塚原堰堤にてはブロックの面の内堰堤のクロスワイズには原則としてセメント注入をなさざるも唯だ伸縮接手附近特に金物とコンクリートとの取りつき附近より漏水ある虞もあり斯かる時には將來其の附近にセメント填充の意図にて設備せり。

(2) 右と直角なる方向の面及水平面にはチップングをなしフレッシュの面として次のコンクリートの打足をなす。斯くすれば充分の硬着力あるものと信ずるも施工時期も多少異なる等の關係にて萬一間隙を生ずることを慮りセメント注入をなすこととせり。