

# 天ヶ瀬アーチ ダムの堤体と基礎

石 井 文 雄\*  
佐 々 木 才 朗\*\*

## 1. はしがき

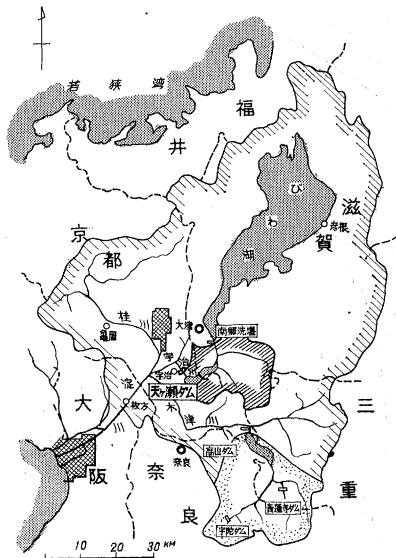
天ヶ瀬ダムは、淀川水系宇治川上流に総工費 66 億円余をもって、建設省直轄で施工中の特定多目的ダムで、ダムサイトの計画高水流量 1360 m<sup>3</sup>/sec を 220 m<sup>3</sup>/sec に低減させて、宇治から大阪に至る淀川沿川大産業地帯の洪水被害を防止すると同時に、この地域に最大 92 000 kW の電力（関西電力KK施工）と、24 000 t/日の水道用水（京都府施工）を供給するものである。

昭和 32 年開発に着手し、39 年 3 月 23 日一部貯水を開始し、現在計画満水位から 9.5 m 下りの高さまで貯水を終った。

### 〔貯水池諸元〕

流域面積 4 200 km<sup>2</sup> (琵琶湖をのぞけば 352 km<sup>2</sup>)  
 湛水面積 1.88 km<sup>2</sup>  
 総貯水量 26 280 000 m<sup>3</sup>  
 有効貯水量 20 000 000 m<sup>3</sup>  
 内 治水 20 000 000 m<sup>3</sup>  
 (制限水位によるもの 9 680 000 m<sup>3</sup>)

図一 天ヶ瀬ダム位置図



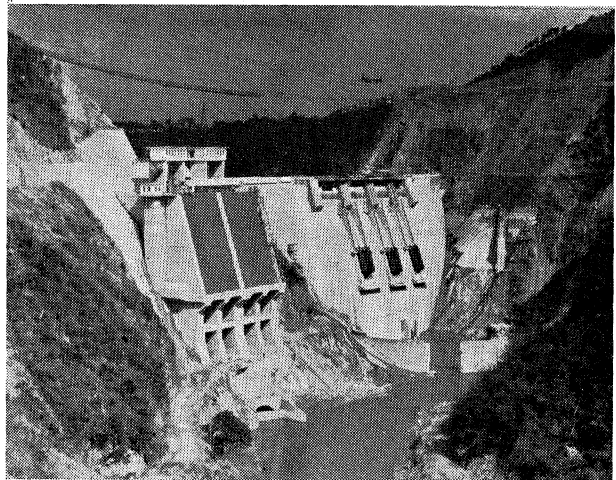
(予備放流によるもの 10 320 000 m<sup>3</sup>)

発電 13 480 000 m<sup>3</sup>  
 水道 600 000 m<sup>3</sup>

### 〔ダム諸元〕

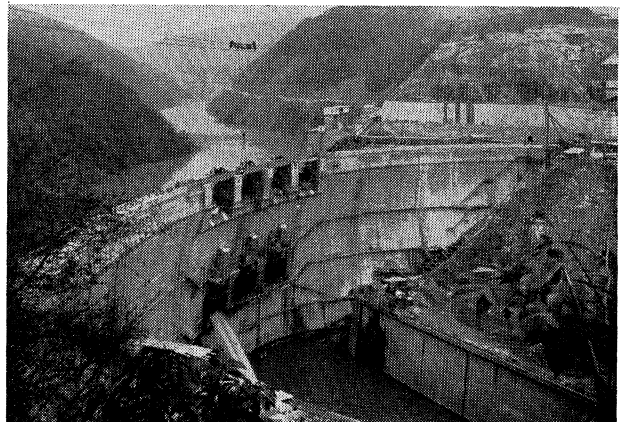
ダム形式 ドーム型単心等厚アーチ  
 堤 高 73 m  
 堤 頂 長 254 m  
 堤 体 積 164 500 m<sup>3</sup>  
 (本体 99 000 m<sup>3</sup>, サドル 22 600 m<sup>3</sup>, 減勢池など 42 900 m<sup>3</sup>)

写真一 ダム上流面と発電所取水口 (湛水開始前)



写真二 一部湛水後の全景

(貯水位 EL. 66.50 m, 第3オリフィス放水中)



\* 正会員 建設省土木研究所ダム部長  
 前天ヶ瀬ダム工事事務所長  
 \*\*正会員 天ヶ瀬ダム工事事務所長

図-2 天ヶ瀬ダム平面図

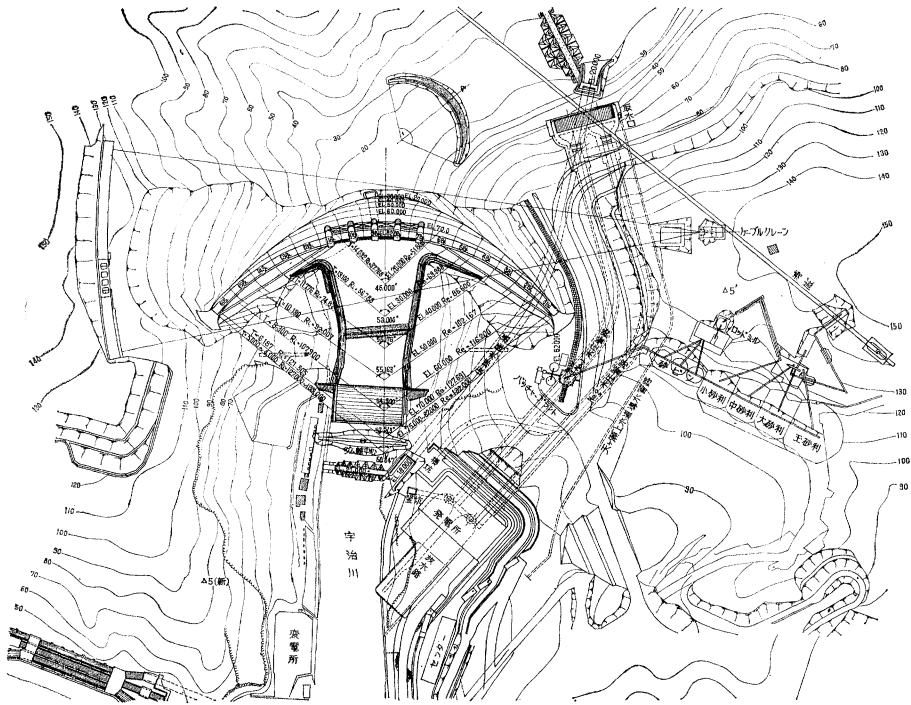


図-3 ダム下流面図

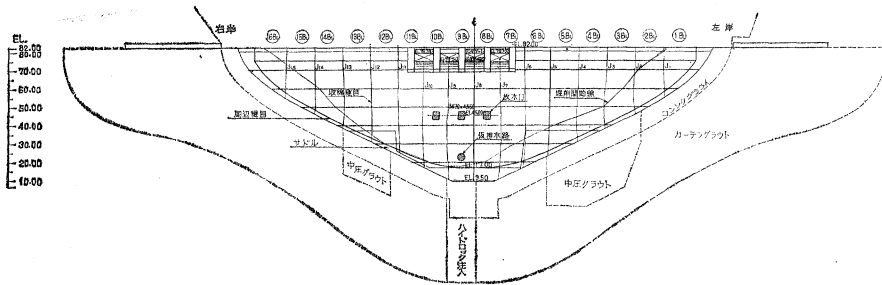
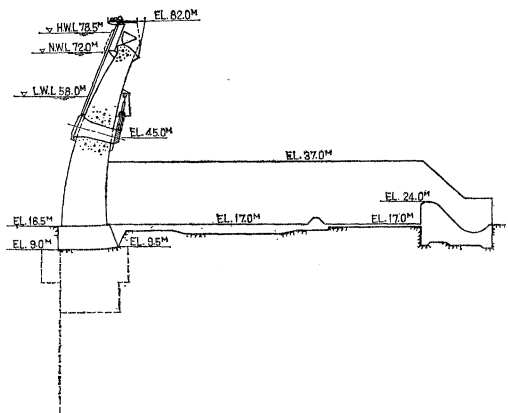


図-4 ダム標準断面図



## 2. ダムの構造および水理設計

### (1) ダム形状の設計

天ヶ瀬ダムはドーム型アーチで、周辺継目ならびにサドルを採用した。

ダム本体は対称型とし、十数種類の基本形状の中から第1次形状を定め、完全半径方向調整法で電子計算機による応力解析を行なうとともに、京都大学工学研究所において小型油圧ジャッキによる石膏製縮尺 1/100 の模型実験を実施した。

その結果、応力状態はほぼ満足であったが、さらに改善を加えて第2次形状とし、さらに基礎掘削の進捗にともなって最善のシートを得るように修正して最終形状を決めた。

### (2) ダムの応力、耐荷力、安全率

図-5 (a) 上流面主応力図

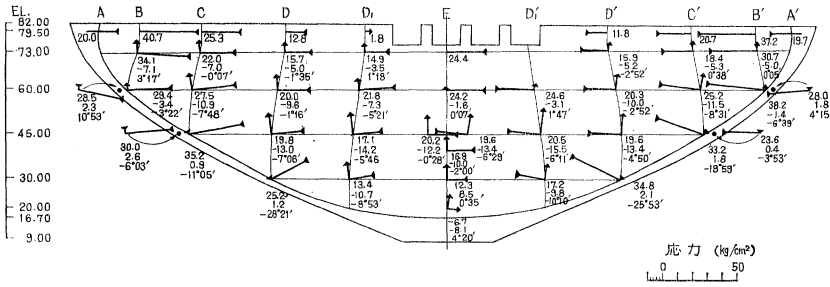
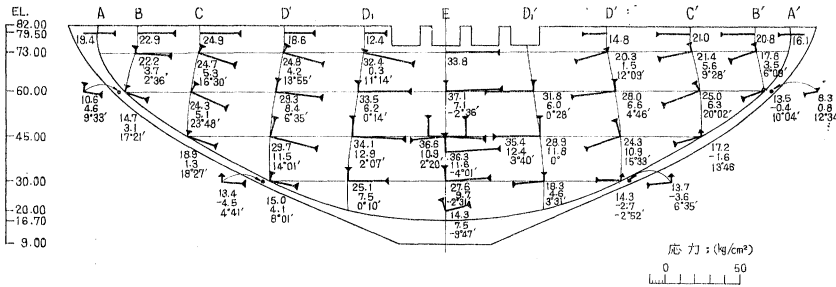


図-6 (b) 下流面主応力図

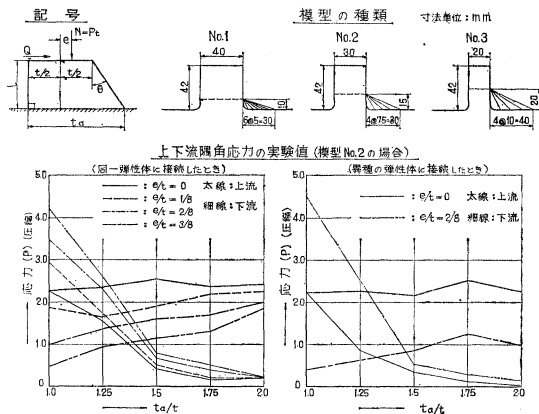


本ダムの最終形状に関する地震荷重をふくめ、自重と温度荷重をふくまない応力状態を、模型実験によって求めた図-5 (a), (b) によれば、最大圧縮応力は  $40 \text{ kg/cm}^2$  程度で、水平アーチ方向には局部的なもの以外は引張応力は発生していない。

また、鉛直片持ばり方向の引張応力は、自重を全部片持ばり支持として計算すると、 $-8 \text{ kg/cm}^2$  程度で十分安全と考えられる。さらにダムの最終的な耐荷力を調べるため破壊実験した結果、ダム本体の総合安全率は破壊開始荷重に対して 7.07, 最大荷重に対して 7.59 に達した。

他方サドルの形状決定の指針として数種の  $E_C/E_R$  について光弾性実験を行なった結果、サドルの拡幅ハンチの勾配は  $30^\circ$  程度まで有効なこと、岩盤応力の調整のた

図-6 サドルの形状とその応力状態



めにはその高さを大きくするのが好ましいことなどがわかった。実験資料の一例を図-6 に示す。

続いてコンディット周辺応力の状態を把握するため、縮尺 1/200 の模型を用いた 3 次元光弾性実験を行ない、曲げの影響をふくめた応力状態を考察して必要な補強を行なった。

### (3) 洪水吐と減勢工

洪水放流設備として放水管 3 条と堤頂越流型余水吐を設け、また、これらからの放流水に対する減勢機構として、副ダムによる水貯池を設け、水叩部の中ほどに  $45^\circ$  傾斜

シルを置いた。また副ダムにはバケット型水叩き減勢工を採用した。これらの余水吐および減勢工は建設省土木研究所篠崎分室で水理模型実験を実施し、種々検討を加え満足すべき水理機能を発揮せしめるようにした。

## 3. 岩盤の特性とその改良

### (1) ダム サイトの地質

ダム サイトは大部分古生層の硬砂岩でおおわれているが、河床部など一部に不規則に粘板岩が介在する。地層は河身にほぼ平行で左岸側へ急傾斜する。おもな断層その他の分布は図-9のごとくで、河床部には相当いちじるしい断層があった。

左岸はアバットもかなり厚く、きれつは多いが浸透水以外にほとんど問題はなく、右岸はアバットの地形がやせ気味のうえ、流水盤であるため若干の検討を必要とした。

### (2) 岩盤テスト

基礎岩盤の処理については格別の注意をほらい、岩盤そのものも本体構造と同一視する観点から、種々のテストを実施したが、代表的なものを以下に述べる。

#### a) グラウトによる $E_R$ の改良試験

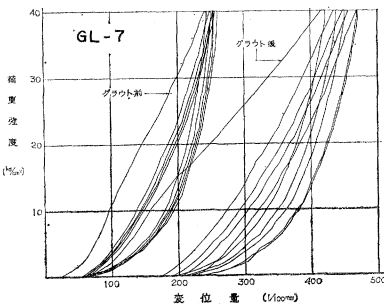
両岸試掘横坑内に 11 カ所を選び、アーチ推力方向に 100 t ジャッキ 2 台による静的載荷法で  $E_R$  の測定を行なったところ、下部で  $90\,000 \text{ kg/cm}^2$ 、上部で  $20\,000 \text{ kg/cm}^2$  程度の結果を得たが、岩片の  $E_R$  は各測点とも  $800\,000 \text{ kg/cm}^2$  程度であること、最初の載荷時の荷重変位曲線の勾配  $E_V$  と、2 回目以降の勾配  $E_S$  とは相当に値が異なっ

いることなどから、 $E_R$  の値はおもにきれつや節理などに支配されていることがはっきりわかるので、グラウトによってどの程度これを改善できるかテストを行なって見た。

上記の 11 ヲ所のうち 6 点を選び、1 点当り 8~12 本、深さ 8 m のボーリング孔に 20~100 kg/m のセメント注入を行なって、前と同じ方法で  $E_R$  を測定し注入前のこれと比較してみると、10~15%  $E_R$  の増加が認められた。

この場合当初  $E_R$  の値が 30 000~60 000 kg/cm<sup>2</sup> の範囲のものが改善の度合いが大きいようである。代表的な荷重変位曲線の変わり方を図-7 に掲げたが、グラウト後の  $E_V$  の値がグラウト前の  $E_S$  の値とほぼ等しくなっていることは興味深い。

図-7  $E_R$  とコンソリ効果



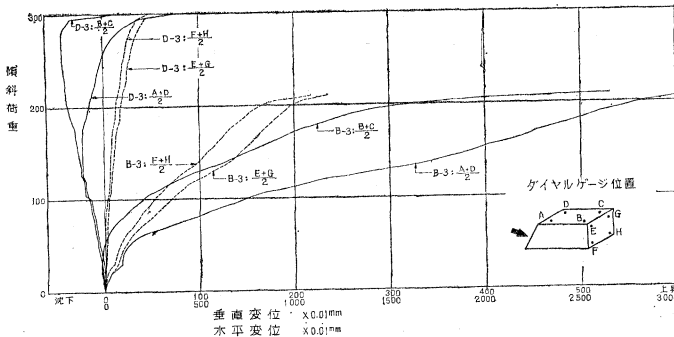
**b) 岩盤せん断試験** 右岸横坑内に 16 ヲ所の測点(うち 4 点は砂岩-C 群, 他は粘板岩で 4 点ずつ 3 群すなわち, 地層面に沿ってせん断したもの-D 群, 地層面に直交するせん断面で走行に直角にせん断したもの-B 群, 同じく走行に平行にせん断したもの-A 群)を選び, ブロックシャー法(ブロックの大きさ 60 cm×60 cm)で試験を行なった。

表-1 岩盤のせん断抵抗

群	tan φ	C(kg/cm <sup>2</sup> )
A	1.29	20.7
B	1.24	13.3
C	1.46	20.7
D	1.41	9.2

その結果は表-1 に示すとおりで, せん断抵抗は次式で与えられ, D 群が最も弱いという常識的な結果が得

図-8 岩盤の荷重変位曲線(せん断テスト)



られた。

$$\tau = \sigma \tan \phi + C$$

B 群と D 群の荷重変位曲線の一例を 図-8 に掲げたが, この結果を観察すると岩盤のブロック積みの構造がうかがえて面白い。

### (3) 基礎の処理

**a) 断層処理** 基礎掘削は計画面上 50 cm まで荒取りし, 残余はサドル打設の直前に仕上げた。ダム敷内の断層その他はコンクリートで置き換え, グラウトで周辺を補強した。河床部軟弱層は補強プラグと断層グラウトの地上流面はカーテングラウト, 下流面は補助カーテングラウトでハイドロックを併用し, 軟弱部を封入して劣化を防いだ。

**b) コンソリデーショングラウト** 図-9 に示すパターンで堤敷から上流へ 3 m, 下流へ 5 m の範囲に施工した。注入孔は 3 m 格子に配置し, さらに中間孔を設け, 10 m 深さに 3 ステージにグラウトした。孔数 3 030, 注入長 22 430 m, m 当り注入量 28.8 kg であった。

**c) カーテングラウト** 堤敷部で 1.5 m, 左右岸リム部で 3 m 間隔一列配置とし, 河床部は上流側からアバット部は下流側から, 孔深は河床部で 55 m, 上部で 30 m とし, 10 m を一層とするステージ工法で注入した。

注入圧は 7.5~35 kg/cm<sup>2</sup> で, ベントナイトおよびポゾリスを添加したセメントミルクを使用し, 孔数 475, 注入長 21 155 m, m 当り注入量 45.8 kg を施工した。グラウトのみでアバットへの浸透水圧を低下させることはできないので, 両岸アバット内に排水横坑を掘り, 総長 400 m の排水用ボーリングを行なった(図-2 参照)。

**d) アバット補強** 先に述べた岩盤せん断試験の結果により左右岸アバットの安定を, ミューラーおよびフェルニユース法で検照したが, 目標安全率 4 に若干達しない部分が右岸にあったので, 約 6 000 m<sup>3</sup> のコンクリートを張り, 簡単な P S をかけて補強した。また, 右岸アバットのショルダーの一部が掘削中にやせたので, コンクリートで必要な程度に復旧した(図-2 参照)。

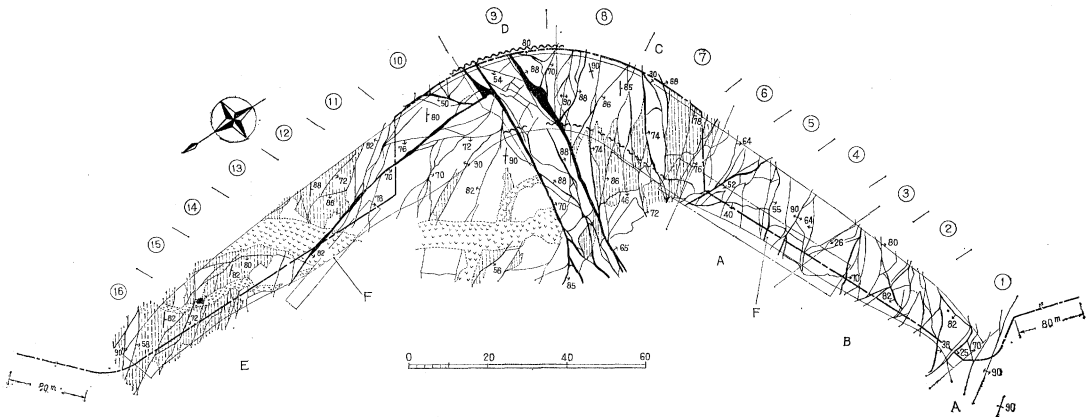
左岸アバットは全般的に目が多いので, 別に中圧コンソリを深さ 35 m で追加仕上げた。また左右岸標高 61 m 付近にカールソン型岩盤変位計を埋設した。

## 4. ダムのコンクリート

### (1) コンクリートの打設

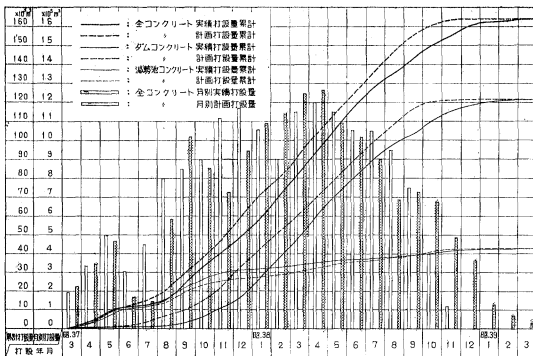
堤体コンクリートの打設速度は 1.5 m 1 リフトを 5 日, 半リフトを 4 日とし, 標高 30 m 以下のサドルは半リフト打設

図-9 地質とグラウトパターン



記号		記号	
	砂岩		ハイドロック施工位置(施工中)
	硬砂岩または砂岩粘板岩互層		コンプレッショングラウト孔配置区画
	粘板岩	A	鉛直 $1\frac{2}{3}/9m^2$
	珪岩	B	左岸側へ45°傾斜または鉛直面に垂直 $1\frac{2}{3}/4.5m^2$
	走向傾斜	C	右岸側へ60°傾斜 $1\frac{2}{3}/4.5m^2$
	断層とその傾斜	D	鉛直 $1\frac{2}{3}/4.5 \times 1\frac{2}{3}/2.25m^2$
	カーテングラウト施工位置	E	右岸側へ45°傾斜 $1\frac{2}{3}/9m^2$
	ハイドロック施工位置	F	中圧グラウト施工中

図-10 コンクリートの打設実績



とし、周辺継目の露出日数は10日以上とした。

また、本体上下流面にはパネル幅 1m の鋼製スライドフォームを、その他には木製型わくを使用した。

### (2) コンクリートの冷却とジョイントグラウト

堤体温度を最終安定最低温度まで過冷却するために、1次冷却に 5~8°C の冷凍水を、2次冷却には河水を使用した。

注入すべきジョイント面積 10 780 m<sup>2</sup> に対して、38 年 12 月上旬から最低グラウトリフトより、連続的にグラウトを実施して 39 年 3 月上旬完了した。

バント圧は結果的に 2~4 kg/cm<sup>2</sup> であった。グラウトゾーンは塩化ビニール製止水板を用いたが、セメントミルクのろう洩は皆無であった。

### (3) コンクリートの品質管理

ダムコンクリート基準配合は目標強度を 350 kg/cm<sup>2</sup> とし、最大骨材寸法 150 mm のときの単位セメント量 220 kg、w/c 48.6% で、80 mm のときのおおの 275 kg 46.9% とした。品質管理はかなり厳重な基準を設けたが、圧縮強度の変動も小さく管理実績は良好であった。

骨材原石山は砂岩を主とし、一部粘板岩をふくんでいたため、岩質別の混入許容率の基準をつくり、積込時に基準を越えないようできるだけ均等にしよう格別の注意を払った。骨材の製品歩留りは水洗いしないままの索道運搬量に対し製品量で 64% 程度であった。コンクリートの打設実績を図-10 に示した。

## 5. むすび

以上簡単に天ヶ瀬アーチダムの堤体構造と基礎についてのべたが、このほか洪水放流設備やダム操作管理設備に関しても、特別の考慮を払いダム機能の充実に努めた。

このダムは大阪・京都および大津に近いため、そのおよぼす影響がきわめて大きいことが特色でもある。また、本邦最初の本格的なコンクリートダムである、志津川ダムを水没させてしまったことは心残りである。

終りに各方面から賜ったご支援ご協力を厚く感謝する。

### 参考文献

- 1) 佐々木才朗・中尾一典・寒川重臣：天ヶ瀬ダムの施工，土木施工5巻6号 (1964.7.13・受付)