

# 奈川渡ダムの岩盤試験について

東京電力 取締役建設部長 水越達雄

## I 概 要

奈川渡ダムは、信濃川最上流部の梓川とその支流の奈川との合流点において、東京電力が90万kWの揚水発電を計画している梓川開発工事（安曇水殿新竜島発電所新設工事）のかなめをなすダムである。ダムは高さ155m、頂長367mのアーチダムであつて、これにより、総貯水量123,000,000m<sup>3</sup>の貯水池が作られる。

ダムサイトは、主として花崗岩からなり、高所にはホルンヘルスが分布している。花崗岩には、河流にほぼ平行した急傾斜の断層が顕著に認められ（図-1）、またこれら断層にほぼ平行な節理系および水平に近い節理系が発達している。したがつて、このダムサイトにアーチダムを建設するに当つては、詳細な地質調査が行なわれ、工事着手までに設けられた調査横坑は、延52.0m、ボーリング孔は延8,080mに達している。さらに岩盤力学的観点から基礎岩盤に関する各種試験が実施されており、近々それらの結果が纏まるので、ここにその概要を報告する。

なお現場では、現在仮設備工事およびダム本体の堀削が実施されている。

## II 岩盤試験の種類、方法および経過

### 1. 岩盤の変形特性に関する試験

#### (1) ジャツキによる変形特性の測定試験

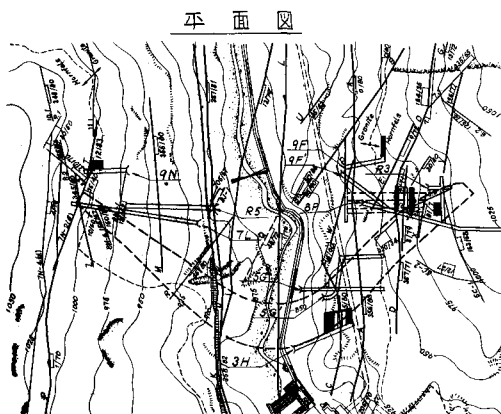
150tのピストンジャツキを使用して計34ヶ所において試験が行なわれた。試験の結果、基礎岩盤の弾性係数は、30,000kg/cm<sup>2</sup>～120,000kg/cm<sup>2</sup>の範囲と考えられる。さらに岩盤のクリープ特性を明らかにするために、4ヶ所（EL.853, EL.930）において、長期持続荷重（約6ヶ月間）による変形の測定が行なわれた。（今後さらに数ヶ所追加の予定）。

#### (2) 弾性波試験

ダムサイト全域にわたつて、弾性波速度の測定が行なわれた。試験の結果、弾性波速度は2.5～4.0km/sec程度であつた。

#### (3) ボーリングコアによる試験

図-1 奈川渡ダム現地試験概要図



横断面図

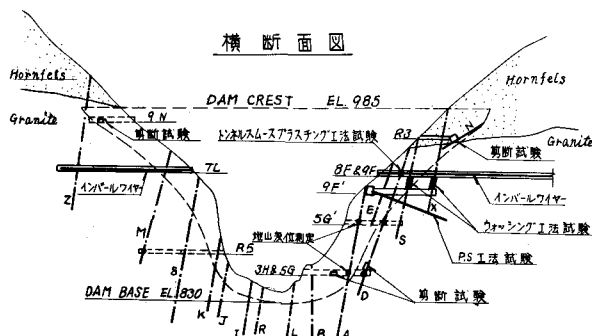
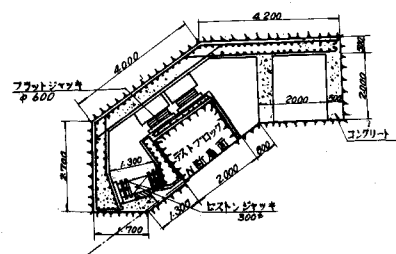


図-2 現地断層断試験装置図



基礎岩盤から採取したボーリングコアを用いて、岩盤の弾性係数の測定が行なわれ、花崗岩では  $250 \times 10^3 \sim 700 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、ホルンフェルスでは  $550 \times 10^3 \sim 750 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$  程度の値が得られた。

## 2. 岩盤の強度に関する試験

### (1) 現地剪断試験

#### (a) 断層剪断試験

主要断層の機械的性質を明らかにするために、その代表的な断層 D (EL.853 花崗岩内) と N (EL.960 ホルンフェルス内) について現地剪断試験が行なわれた。(図-1, 2) (剪断面積 =  $2.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} = 4.0 \text{ m}^2$  のもの各2面, 計4面)。

現地試験結果は、室内試験結果と大差がなく大体  $\tau_0 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\phi = 20^\circ$  前後の値を示している。

#### (b) 岩盤剪断試験

ダム基礎岩盤の剪断強度、および力学的挙動を明らかにするために、基礎岩盤を代表していると認められる個所 (EL.853 花崗岩) において6個の供試体 (剪断面積 =  $1.0 \text{ m} \times 1.9 \text{ m} = 1.9 \text{ m}^2$ ) について、剪断試験が行われた。試験方法は、断層剪断試験の場合と類似のものであり、試験結果は花崗岩の場合、大体  $\tau_0 = 20 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\phi = 50 \sim 55^\circ$  であり、ホルンフェルスについては、 $\tau_0 = 20 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\phi = 45^\circ$  程度と考えられる。これらの値を他のダムサイトにおける試験結果と比較すれば、図-3に示す通りであつて、奈川渡ダムサイトの岩盤は、比較的高い剪断抵抗をもっているものと考えられる。

このほかジョイントが特に発達している個所 (EL.972 花崗岩) において、4個の供試体 (剪断面積 =  $0.6 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} = 0.48 \text{ m}^2$ ) について、補足試験が行なわれている。

#### (c) コンクリートと岩盤との付着強度試験

上述の岩盤剪断試験の実施箇所付近で、コンクリートと岩盤との付着強度試験が行なわれた (剪断面積は、 $1.2 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} = 1.8 \text{ m}^2$  のもの6個、 $0.6 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} = 0.48 \text{ m}^2$  のもの2個)。

試験方法は断層剪断試験の場合と類似のものである。試験の結果については、破壊が岩盤内において生じている点を考慮すれば、付着面における強度としては、上記岩盤強度を考えるのが妥当と考えられる。

なお、上記各試験において、供試体の近傍の岩盤中に配置されたジオホンにより供試体の破壊音が測定された。

### (2) 室内試験

#### (a) 断層材料の室内試験

主要断層より採取した不攪乱試料について、3軸圧縮試験が行なわれた。

#### (b) ボーリングコアによる試験

図-3 種々のダムサイトにおける岩盤の剪断摩擦抵抗

- ----- Granite (大印は奈川渡)
- ----- Diabase, Liparite, etc.
- ▲ ----- Sandstone, Clay slate etc.
- △ ----- Shale, Marls, Lignite

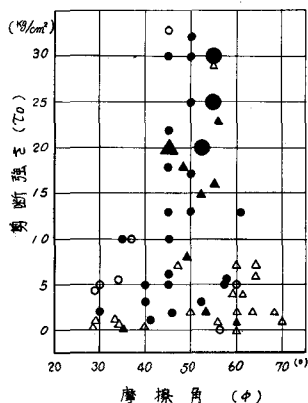
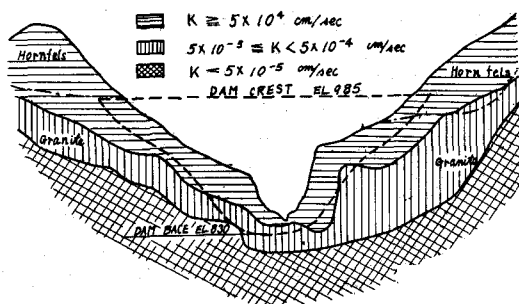


図-4 奈川渡ダム基礎岩盤透水係数



コアの圧縮強度は花崗岩の場合  $1,600 \sim 1,900 \text{ kg/cm}^2$ 、ホルンfelsでは  $1,500 \sim 2,900 \text{ kg/cm}^2$  であった。

### 3. 岩盤の透水性に関する試験

#### (1) 現地透水試験

##### (a) ボーリング孔による透水試験

ダムサイトの広範囲にわたる地質調査用ボーリング孔を用いて、岩盤透水試験が実施された（試験水圧は、 $10 \text{ kg/cm}^2$  を標準とした）。試験の結果によると、基礎岩盤の透水係数は、大体図-4に示す通りであつて、地表から数  $10 \text{ m}$  の間は  $10^{-3} \text{ cm/sec}$ 、以上の値が見られるが、深部では、 $10^{-4} \text{ cm/sec}$  以下となつている。また、断層部の透水係数は、断層材料によつて異なるが、現場試験の結果では各断層部とも、おおむね  $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$  あるいはそれ以下である。

##### (b) 断層部透水試験

主要断層の内、比較的巾の広い断層数箇所において、定水位注入法、オーガー孔法、水量差法および測壁法による現地透水試験が実施された。なお巾の狭い断層については、断層部のグラウチング試験の際にボーリング孔を用いて、透水試験が行なわれた。試験結果は  $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ cm/sec}$  程度あるいはそれ以下である。

#### (2) 断層材料室内試験

主要断層から採取した不攪乱試料について、透水試験および、圧密試験が行われた。

### 4. 岩盤の施工に関する試験

#### (1) 発破試験

##### (a) 断層処理用トンネルスムーズブラッシング工法試験

断層処理の方法として、一部トンネル工法を用いる必要があるので、トンネル掘削における発破の影響を極力少くするためのスムーズブラッシングに関する試験が行なわれた。試験は、使用火薬量、1回の掘進長、装薬孔のパターン等を種々に変え約 20 ケースについて行なわれ、測定は主としてボーリング孔内に埋設した歪計によつて行なわれた（図-5）。トンネルスムーズブラッシングの最適の方法は、地質によつてかなり巾が見られる。D断層沿いに行つた試験の結果では、図-6に示すパターンで1回の掘進長  $0.9 \text{ m}$ 、使用火薬量  $0.7 \text{ kg/m}^3$ （最外周孔の同一段発における火薬量約  $0.4 \text{ kg}$ ）が好結果を得ている。

図-5 トンネルスムーズブラッシング工法試験概要図

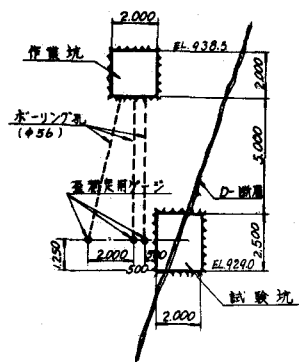


図-6 トンネルスムーズブラッシング工法における配孔

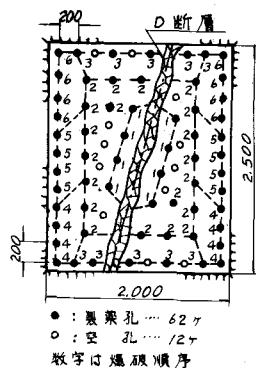
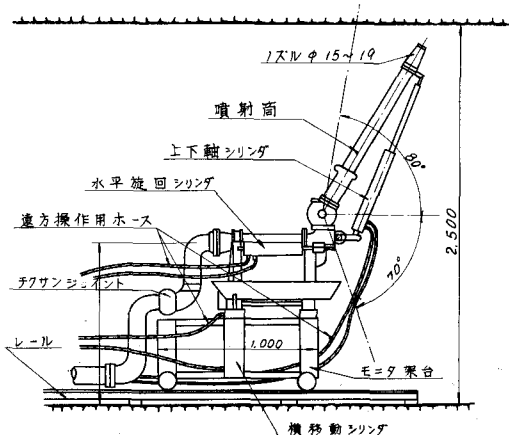


図-7 モニタ側面図



## (b) ダム基礎掘削発破試験

奈川渡ダムの本体掘削は、ベンチカットにより行なわれるが、基礎に与える発破の影響を明らかにし、掘削実施にあたって、ベンチ高、穿孔配置、使用火薬量等が適正に規制されるようにするために、発破試験が実施されている。現在までに、左岸の一部で試験が行なわれたが、今後掘削と併行して試験が行なわれる。

なお測定は、トンネルスームプラスティングの場合と同様主として歪計によつて行なわれる。

## (2) 断層処理用ウォッシング工法試験

断層の処理方法としては、種々の方法が考えられるが、一部断層材料をコンクリートで置換えることが計画されている。従来、コンクリート置換工事においては、断層部分に横坑や立坑（火薬を用いて）を掘削し、コンクリートを詰込む方法が採用されているが、奈川渡ダムにおいては、水力採炭で実績のあるモニタ（図-7）を用いて、断層材料を圧力水により洗出し、その部分にコンクリートおよびモルタルを填充する工法が計画されている。この方法は、奈川渡ダムで始めて行なわれるものであつて、これにより断層の周囲の岩盤は損傷を受けることなく、しかも経済的に断層処理が行なわれるので、この種の基礎処理工法としては画期的なものである。従つて、本格的施工に先立つて、現在この工法に関する現地試験が右岸S断層およびX断層について行なわれている（図-8・9）。

この試験のオノ段階として、ノズル圧が $1.5\text{ kg/cm}^2$ （ノズル径 $20\text{ mm}$ ）、使用水量約 $1.0\text{ m}^3/\text{min}$ の規模のもので、予備試験が行なわれたが、洗出しの有効範囲が十分でなかつたので、ノズル圧を大巾に上げることとし、オニ段階として、ノズル圧を $100\text{ kg/cm}^2$ （ノズル径 $17\text{ mm}$ 、使用水量約 $1.6\text{ m}^3/\text{min}$ とし、強力な噴流水による掘削試験が現在行なわれているが、この程度の規模で大体実用可能の見込みが得られている。ノズル圧 $100\text{ kg/cm}^2$

を得るためには、 $400\text{ kW}$ の多段タービンポンプが設備されている。なお掘削中の地山の変位を測定するために、インバールワイヤーおよび継目計が設置されている。掘削完了後は、コンクリートおよびモルタルを填充し、

図-8 ウォッシング工法試験概要図

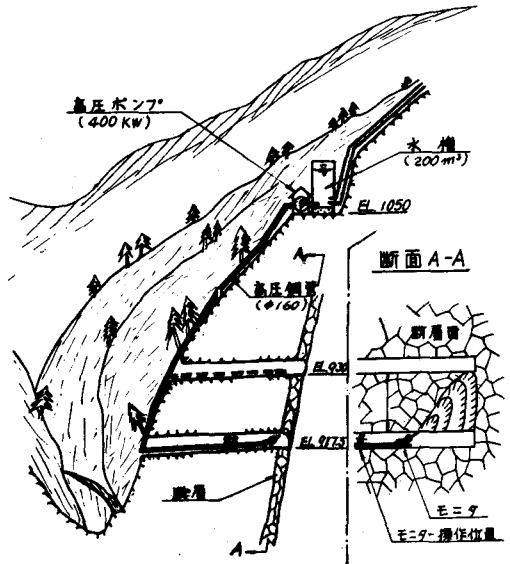
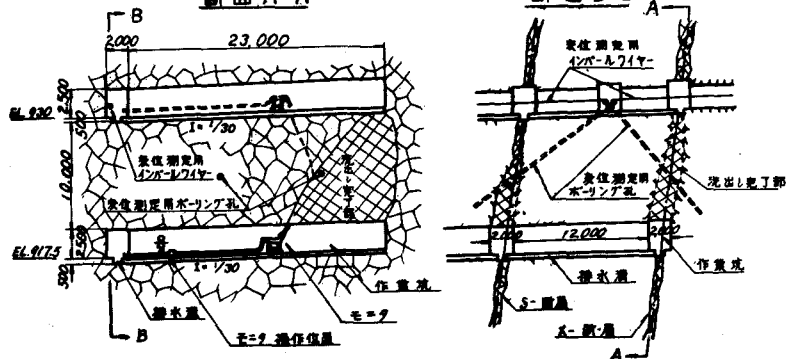


図-9 ウォッシング工法試験詳細図  
断面A-A



その硬化をまつて、この部分に調査用立坑および横坑を掘つて、処理状況を観察すると共に、コンクリートと岩盤の付着面の剪断試験を実施することとなつてゐる。

### (3) P.S工法試験

ダムアバットメントにおける岩盤の安定を改善するために、P.S工を実施することが計画されている。

この計画を実施するために、アンカーの引抜試験が行なわれ、またP.S工における地山のクリーブならびに鋼棒のリラクゼーションに関する試験が準備されている。アンカー引抜試験においては、横坑内（EL.850）から、実際に施工するときと同じ方向（20°傾斜）にボーリング（ $\phi = 150\text{ mm}$ ）が行なわれ、アンカー部は、深さ5mの位置より奥に設けられ（アンカーの長さは、1, 2, 4, 6 m）、300t ジャッキ2台が使用された。

なお引抜試験に先立つて、アンカー用モルタルの室内試験が行なわれた。またアンカー部周辺には歪計および変位計が設けられ岩盤の応力および変位が測定された。

鋼棒の緊張試験は、65m 2本、60m 2本、計4本について実施される。

## 6. その他

### (1) 基礎処理に関する室内模型実験

上述の主要断層を含む基礎岩盤に、ダムからの力が加えられた場合の岩盤内、特に断層周辺の応力状態を明らかにし、基礎岩盤の耐荷力を求め、さらに各種基礎処理方法を比較検討し、断層処理方法決定の資料とするために、焼石膏模型および光弾性模型による室内実験（2次元および3次元）が行なわれている。

### (2) 地山の挙動に関する測定

ダムの建設中および完成後の基礎岩塊の挙動を明らかにし、ダムの安定を確認するために基礎岩盤の中に継目計、歪計、インパルワイヤー等が設けられ（図-1）、その変位および歪の測定が行なわれる。そのほかピエゾメーターを用いて地下水位の測定も行なわれる。

## Ⅲ あとがき

上記各試験は、東京大学岡本教授、嶋教授および電力技術研究所関係各位の御指導、御協力と鹿島建設はじめ関係諸社の御協力を得て実施しているものであり、謝意を表する次第である。

Tests On Properties Of Foundation Rock And Method Of

Foundation Treatment At Nagawado Damsite

By

Tatsuo MIZUKOSHI

Director and Manager of Construction Department

The Tokyo Electric Power Co., Inc.

SYNOPSIS

Nagawado dam, a concrete arch dam 155 m high, is the most important structure of Azusa River Project having three hydraulic power plants 900,000 KW in total generating capacity and now under construction by the Tokyo Electric Power Co., Inc.

At the dams site, the bedrock of granite and hornfels has several faults running nearly parallel to the river with steep dipping and predominant joint systems as well.

In order to obtain technical information on the design of foundation treatment, various tests on mechanical properties of the foundation rock and on methods of foundation treatment have been carried out:

1. Deformability of rock
  - (a) In-situ tests by means of hydraulic jack and seismic method
  - (b) Laboratory tests using core samples
2. Strength of rock
  - (a) In-situ shear tests
  - (b) Laboratory tests using core samples
3. Permeability of rock

In-situ tests using bored holes
4. Properties of fault materials
  - (a) In-situ tests on shearing strength and permeability
  - (b) Laboratory tests on grading, water content, specific gravity, Atterberg limits, strength, consolidation and permeability
5. General blasting tests for excavation of dam foundation
6. Smooth blasting tests for excavation of tunnel in fault treatment
7. Tests on washing of fault material
8. Tests on prestressing of dam abutment

Washing of fault material with high pressure monitor, which was developed here by us for the first time, is a new way in dam engineering, and tests are being carried out successfully.

Besides the tests, lots of instruments such as strain meters, joint meters, displacemeters with invar wires and piezometers have been installed in tunnels to observe the structural behaviour of the dam abutment during construction and after the dam goes into operation.

Some model studies on foundation treatment are now under way with plaster and photoelastic models.