

高根第一ダムの基礎処理について

中部電力株式会社 高根水力建設所 堀口晋作

1. まえがき

中部電力では、木曾川水系飛騨川の最上流に、揚水発電による34万kWの高根第一発電所を建設した。この上池となる高根第一ダムは、高さ133m、ダム頂長276mのアーチ式ダムである。本文は、高根第一ダムにおいて行われたダム基礎処理工事の概要を述べ、つぎにこの処理工事のうち、特に興味深い点について、御報告したい。

2. ダムサイトの地質概要

ダムサイトの地形は、V字型渓谷であって、兩岸とも堅岩がほゞ露出している。岩質は、古世層のチャートで堅硬緻密であるが、特に右岸で層理が発達している。層理面は、厚さ1~3cm程度の頁岩質の薄層を挟んでいるが、地表面を除いて母岩に十分密着している。ダム地点で認められた断層の数は22本であったが、大部分の断層は、玢岩の岩脈が基岩のチャートを縫った結果生じたものであって、そのため走行傾斜ともに複雑に変化している。これらの断層群の中でダムに直接大きな影響があると認められたものは、H.O.C.Gの各断層であって、このうち、H.O.Cは玢岩の岩脈で、ダムの岩着面を直接上下流に不規則に横切っている。G断層は右岸のダム着岩部下方に潜在するチャートの破碎帯である。この破碎帯は、EL 20mに基底を有し、頂部 EL 110mとの間にあって上流端は貯水池内に露頭しているが、その巾を0~15mと複雑に変化させながら、ダムの岩着部下方の地山内で消滅している。基岩の物理的諸数値は 表-1 のようである。

3. 基礎処理工事の概要

表 - 1

ダムを築造した場合の地山に対するダムおよび貯水池からの力学および水理学的影響に対する種々なる検討については既発表の参考文献(1)、(2)を参照されたい。

こゝでは、処理工事の概要を述べる。

(1) 1次コンソリデーショングラウト工事

1次コンソリデーショングラウト工事は

静弾性係数	$67 \sim 77 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$
動弾性係数	$300 \sim 500 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$
粘着力 (層理に平行)	$5 \sim 12 \text{ kg/cm}^2$
(層理に直角)	$50 \sim 60 \text{ kg/cm}^2$
内部摩擦角 (層理に平行)	$40 \sim 45^\circ$
(層理に直角)	$45 \sim 55^\circ$

深さ1~2mのキャップロックを残して掘削した時点において、EL1000m~EL1060mまでの間の、特にダム応力の大きな着岩部に対し、平均12mの深さまで行った。孔の間隔は5mで総延長5297m、注入セメント量は1m当り25.6kgであった。

(2) 2次コンソリデーショングラウト工事

ダムコンクリート打設に伴い、上下流フィレット部より着岩部全域にわたり岩着面より深さ平均10mまでを対象としてコンタクトグラウトをかねてボーリンググラウトを行った。孔間隔は同じく5mで総延長13086m、m当りセメント注入量10.4kgであった。

(3) カーテングラウト工事

ダムの下半部は、上流面に近接した査査廊から、上半部は上流フィレット上から、いずれもシングルシリーズで

行い、孔間隔 1.6 m 毎に 100~120 m の長孔セメントグラウトと、その間に 2~4 m 間隔の平均深さ 50 m のセメントグラウトを行った。右岸については、更に G 破碎帯と薄い地山を補うために、ダムカーテングラウトの前面にもう一枚のカーテングラウトを行った。m 当り注入セメント量は 1.45 kg で、総延長 19050 m に達し、透水テストの結果はいずれの箇所においても 1 ルジオン以下であった。

(4) O. H. C 断層処理工事

ダムの岩着部の上下流端には断層沿いの止水柱を入れ、岩着部は平均 3 m 深さでコンクリートによる置換えをダムコンクリート打設前に行い、ダム底部の不連続による応力の集中を防ぐためにはダムコンクリート内に軌条を配筋した。一方ダム本体は応力の緩和をはかるためにこの部分で最大 10 m の拡巾を行っている。

(5) シーム処理グラウト工事

その他の顕著なシームに対しては、コンクリート打設前に夾雑物を洗い出してセメントと置き換えた。

(6) G 破碎帯止水工事

貯水池側露頭面には平均厚さ 1 m の保護コンクリートを張り、内部はダム基底下部に大規模なセメントグラウトを行って、止水と破碎帯の耐圧力増加を計るとともに、ダムカーテンに相当する部分にはケミカルグラウトを行った。総セメント注入量は 3458 ton に及び、ケミカルグラウト部は 0.5 m 間隔深さ 40 m で行った結果、ルジオン値は 5 ルジオン以上から 0 ルジオンに改良することが出来た。

4. カーテングラウト位置で行った透水テストについて

ダム基礎処理工事に先立って図-1に示すように、カーテングラウト位置に沿う透水テストを行った。これはカーテングラウト工事の設計に対処するためであったが、このテストを通じて興味ある事柄が生じたので、報告したい。

図 - 1

透水テストは、1 ステージ 5 m の長さ

にとったステージ方法によって行い、

圧力は最高 50 kg/cm² までとり、1

ステージ毎の平均のルジオン値を求め

た。この透水テストにおいて、各ステージ

毎に圧力とルジオン値の関係を求め

た一例をあげると、図-2のようであ

った。ここで注目したいのは注入圧

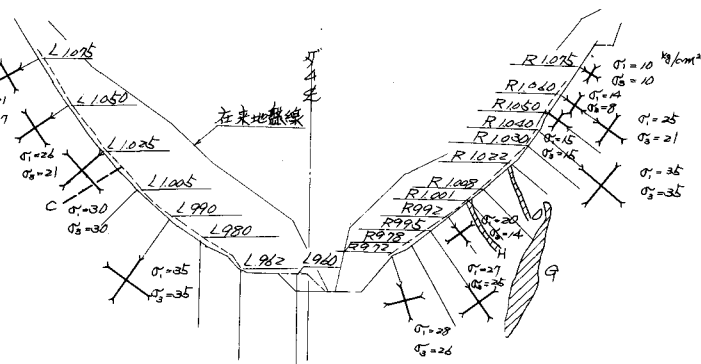
がある値まで上昇すると急に注入量(

ルジオン値)が増加し、その注入量が

ある量に達すると注入圧が急激に下降

することである。Scheidegger の Hydraulic fracturing の資料から、初期地圧を求める方法⁽³⁾によれば、ボーリング孔の一部に流体を送り込んで圧力を高めて行くと、流体圧は、図-3のように推移する。圧力はしだいに高まっていくが、地層がついに破壊すると流体は破壊面に流れ込み、流体圧は急激に下り、破壊面を開いておくのに十分な値にとどまる。いま破壊に達したと考えられる圧力を P_c とし、残留圧力を P_f とする。 σ_1 σ_2

を孔に直角方向の一次二次の主応力とし、 σ_3 を孔方向の主応力とした場合



1) $P_f < \sigma_3$ のとき

$$P_f = \sigma_2 \quad (1)$$

$$3\sigma_2 - \sigma_1 - 2P_c = -S \quad (2)$$

$$P_c \leq \sigma_3 + S \quad (3)$$

2) $P_f = \sigma_3$ のとき

$$P_c - P_f = S \quad (4)$$

ここに S は岩盤の引張強度

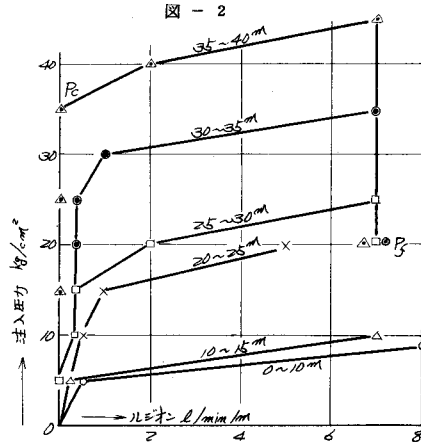
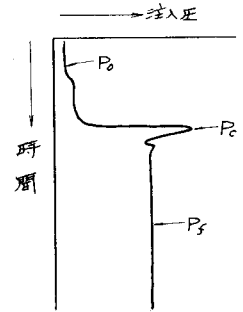


図 - 3



以上の考え方を、当ダムで行った透水テストの結果に適用してみる。

ボーリング孔の串孔速度と採取されたコアから判断して、岩石の強度 S は孔の深さに関係なくほぼ一定と考えると、図-2の形状から、Sheideggerの方式の1)の場合が適用されることが分る。1)の場合において P_c の値が孔の深さに伴って増加していることは孔の深さに応じて、 σ_3 が増加していることが認められ、式(1)、(2)より P_f が変化しないとすれば、 σ_2 は変化しないことになり、 σ_1 は P_c の増分の2倍だけ深さに応じて増加することが認められる。以上のような考え方の上に立って、ダムサイトの地山応力を試算してみると図-1に併記したような数値が得られた。

5. 自記流量圧力記録計を用いたグラウト工について

従来、グラウト工の現場管理用に開発されている測定計器は、圧力記録計、岩盤変位記録計等であって、現場管理に最も必要な注入量を測定する計器は開発されていなかった。その理由はセメントミルク等の懸濁液の流量を連続的に正確に測定することが困難であつたためである。

当建設所ではこの点に着目し、グラウト工施工中に瞬間流量と圧力を同時記録させてその瞬間瞬間における合理的な施工管理を行うとともにこれらの記録計のみを一ヶ所に集合させることにより一人によって多くの施工ヶ所を集中管理することに成功した。開発した流量記録計は北辰電機製の電磁流量計をセメントミルク測定用に改造したものである。

この原理は、ファラデーの導体が磁界中を運動する場合磁界の強さ B と導体の速度 V とのベクトル積 $[BV]$ に比例した電圧が発生するという電磁誘導の法則を用いたものである。強さ B ガウスの磁界中に内径 D cm の絶縁性のパイプをその軸方向が磁界と直交するよう設け、その中を平均流速

図 - 4

V cm/sec の液体が充満して流れる場合、両者に直角な方向(電極)

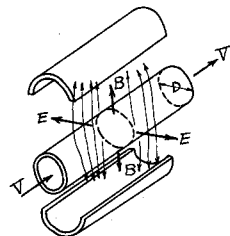
に $[BV]$ に比例する電圧が発生する。電極間距離を D cm とすれば

発生起電力 E は

$$E = B \cdot DV \cdot 10^{-8} \text{ volt}$$

流量を $Q \propto \text{sec}$ とすると $V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$ から

$$E = \frac{4B}{\pi D} Q \times 10^{-8} \text{ volt}$$



当建設所では、前述のようにダム右岸に内蔵しているG破砕帯の大規模な処理工事を短時間に施工するにあたり、工事の迅速と施工管理を容易にするために8台のグラウトポンプに8ヶの流量計を接続し、これを集中管理するため記録計のみを800m離れた現場事務所に設置した。

得られた記録ダイヤグラムは 図-6 のようである。

参考文献 (1) 「高根第1ダムおよび高根第1発電所の主機」 発電水力 1694

(3) 「土木技術者のための岩盤力学」土木学会編

(4) [Instrumentation in Rock Grouting for Portage Mountain Dam]

Foundation treatment at Takane NO.1 dam

Shinsaku Horiguchi

The Chubu Electric Power Company has recently constructed 340 MW underground pumped-storage station at the upper stream of the Hida River, one of the Kiso River. Takane NO.1 dam is a thin arch structure with the height of 133 M and a crest length of 276 m.

This paper describes the foundation treatment of the dam and some interesting problems that were encountered during the work. The dam site is forming a narrow V shaped valley, consisting of chert which derives from Paleozoic era. The chert has bedding planes, but the rock itself is relatively hard. Geological investigation showed, however, that the foundation included some dykes of porphirite (mainly H. O and C dyke) and a fractured zone of chert (G) in the right bank foundation.

For the treatment of H. O and C dykes, concrete dental works were performed with the depth of 3 m along contact surface and at each upstream and downstream ends concrete columns were inserted as water-stops and at the same time abutment of the dam on the dykes was partially widened in order to decrease the stress on the dykes.

Water test performed in both banks prior to curtain grouting derived that Lugeon value remarkably increased when grouting pressure reached certain level and then grouting pressure rapidly dropped down at certain Lugeon value. By analyzing these behaviors according to Dr. Scheidegger's data of hydraulic fracturing, we could assume approximate initial stress of the dam foundation.

We could say that it was successful to use magnetic flowmeters in cement grouting for G.

It led us to more scientific and concentrated management for grouting works with the work speeded up.

Process and behavior during cement grouting for the zone were satisfactorily observed through these flow meters. It is hoped that flowmeters would be used more extensively to obtain characteristics of foundation.

Takane Hydraulic Construction Office Chubu Electric Power Co.