

## 大内ダムの基礎処理

## FOUNDATION TREATMENT OF OHUCHI DAM

渡 辺 邦 男\*

By Kunio WATANABE

## 1. ダムの概要

大内ダムは、電源開発(株)が阿賀野川上流部(福島県)に建設中の下郷揚水発電所(最大出力 100万 kW)の上池ダムである。下池としては、建設省が建設する大川ダムの貯水池を利用する計画である。計画の位置を図-1に示す。

大内ダムは中央コア型ロックフィルダムであり、その概要は次のとおりである。

形式:中央コア型ロックフィルダム

高さ:102 m

堤頂長:340 m

堤体積: $4.45 \times 10^6 \text{ m}^3$ 

満水位:EL 792 m

利用水深:30 m

総貯水量: $19 \times 10^6 \text{ m}^3$ 

図-2~4に、ダムの平面、標準断面、縦断面を示す。

本計画の建設工事は、昭和53年3月に着手し、現在工事中であるが、ダム工事は58年にほぼ完了した。湛水開始は昭和62年に予定されている。

## 2. ダム基礎の地質

計画地域はいわゆるグリーンタフ地域に入っており、先第三紀の堆積岩類とそれを不整合に覆う第三紀の凝灰岩が分布している。大内ダムはこの凝灰岩の分布域に位置しており、基礎岩盤はすべて凝灰岩である。

河床から左岸側には、基礎岩盤を覆って押し出し堆積物と呼ばれる未固結の第四紀の堆積物が分布している。その厚さは約30~40 mであり、凝灰岩の角礫および同質のシルト、粘土の混合物である。

河床にはほぼダム軸と直交する断層が存在している。この断層に付随する破碎帯は幅約10 mであり、角礫混じりの粘土状である。この断層を境にして、岩盤の状態が非常に異なっている。

左岸側の岩盤は、断層の影響で圧砕を受け、ほとんど全域にわたって亀裂が細かく発達し、風化が進行して劣化しており全般に軟質である。この岩盤の状態は、亀裂が発達しているが粘土をあまり挟まないものと、亀裂が細かく発達し粘土を多く挟在するものに大別される。

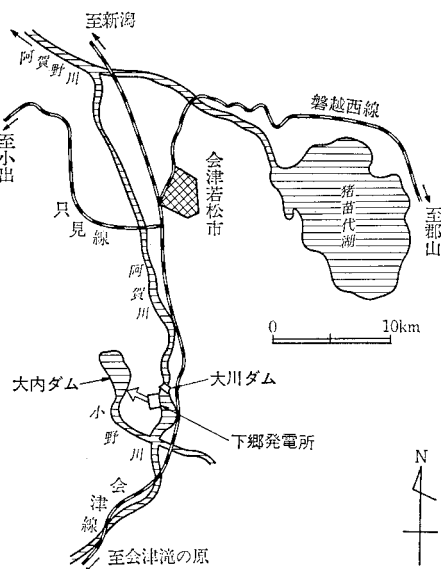


図-1 計画地点位置

\* 電源開発(株)建設部 設計室長代理  
(〒100/東京都千代田区丸の内 1-8-2)

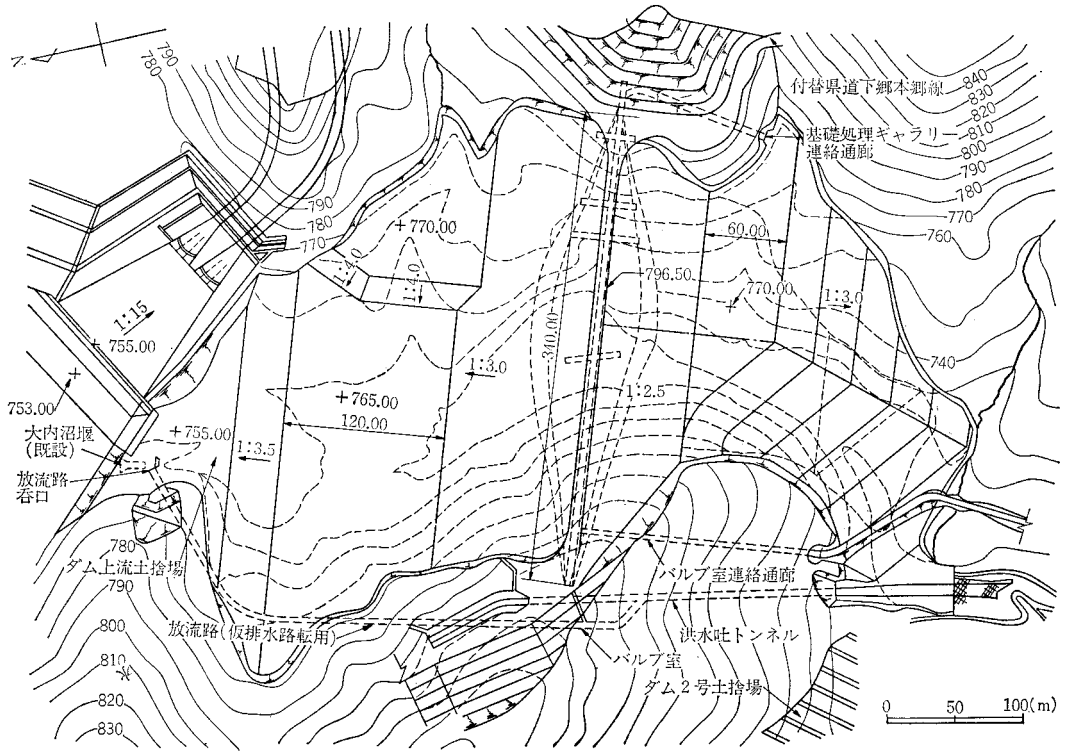


図-2 ダム 平面

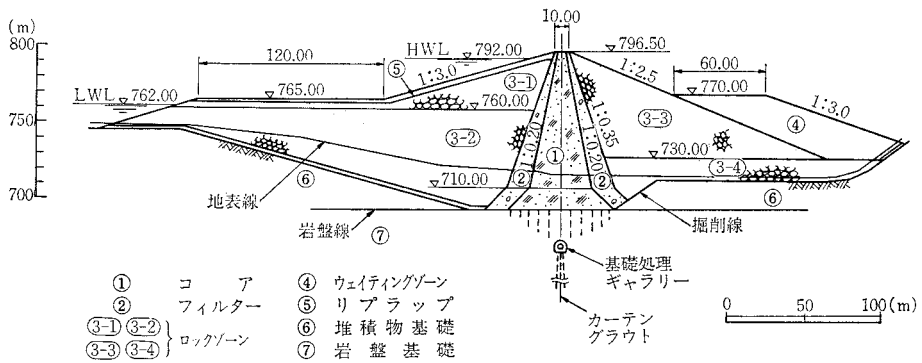


図-3 ダム 標準断面

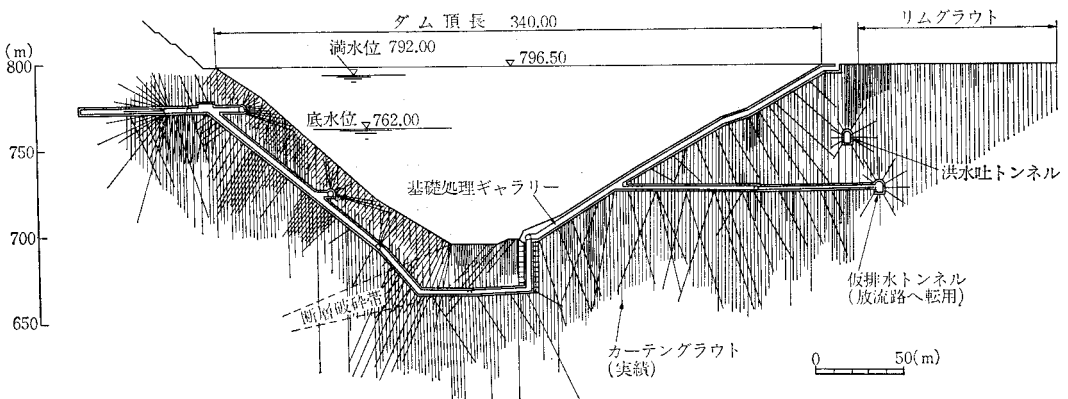


図-4 ダム 縦断面

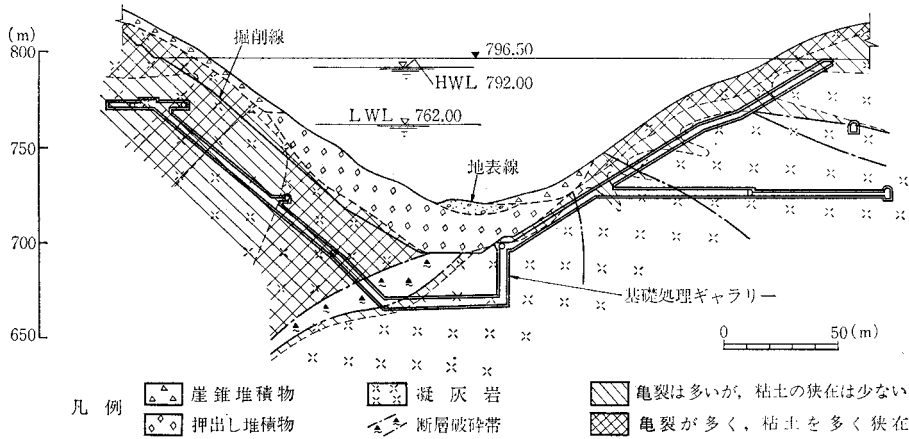


図-5 ダム地質縦断面

表-1 ダム基礎地盤の性質

地盤名	比重	乾燥密度 (t/m <sup>3</sup> )	内部摩擦角 (度)	変形係数 (kg/cm <sup>2</sup> )	透水係数 (cm/s)
押し堆積物	2.69~2.72	1.7~2.0	16~37 (掘削後 28~37)	500~600 (降伏荷重 130~160 t/m <sup>2</sup> )	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-4</sup>
右岸凝灰岩	2.64~2.71	2.1 (平均)	—	7000~8500	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-2</sup>
左岸凝灰岩	2.70~2.72	2.0 (平均)	—	500~3800	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-6</sup>
河床断層破砕帯	2.68	1.9 (平均)	—	500~2400	10 <sup>-6</sup>

右岸側の岩盤は左岸側ほど断層の影響を受けておらず、表層の風化した部分を除いて亀裂はあるが堅硬である。図-5 にダムの地質縦断面を示す。また、各地盤の諸性質を表-1 に示す。

### 3. 基礎処理方法の検討

ダムの基礎処理は、通常、グラウチングによって行われるが、前述したような断層破砕帯を含めた左岸側の地盤に対しては、グラウチングによる処理がかなりむずかしいと考えられた。このため、左岸側の地盤を対象として、遮水を目的とした試験グラウチングを実施して、次のような結果を得た。

- ① 押し堆積物は、十分な遮水性を得ることは困難である。
- ② 岩盤の強度(限界圧力)が小さく、特に地表付近においては岩盤が変位し易く、注入圧力を高くできない。
- ③ 亀裂に粘土を挟んでおり、さらに注入圧力を高くできないので注入による効果はかなり低い。しかし注入間隔を密にすればなんとか効果が期待できる。
- ④ ボーリングの孔壁が崩壊し易く、特に地表付近においては、パッカーセットが困難である。
- ⑤ 孔壁の保持と入念な注入を行う方法としてスリーブグラウト方式が考えられ、この適性について試験を行った。その結果、スリーブグラウチング方式を

適用することが可能であり、その効果もやや良好であった。

グラウチング以外の処理方法として、不透水性のブランケットを設ける方法、コンクリート地中壁を設ける方法等があげられるが、いずれも、現実的かつ問題のない方法とは考えられなかった。

これらの結果に基づいて、基礎処理は次のような方法で実施することとした。

ロックフィル部においては、押し堆積物表層の強度の小さな部分を除去するにとどめ、他の部分は残置して基礎とした。コア部においては、押し堆積物および岩盤の強風化部を除去する。

遮水性に対する処理は、断層破砕帯を含め、左・右岸ともグラウチングで行う。

断層破砕帯および左岸の岩盤はダムの荷重によって変形することが考えられたが、検討の結果、変形量は最大で 15 cm 程度であると推定された。また、断層が低角度であるため、不同沈下を生ずるような傾向も示さなかった。このような状態であれば、コアが十分追従できると判断され、変形に対する特別な処理は実施しないこととした。

グラウチング用のギャラリーをダム軸に沿って設ける。右岸側は基礎の変形が無いと考えられるので基礎表面に設けた。一方、左岸側は、基礎の変形が予測されるので、変形の影響が少ない深さの地下に設けた。また、左岸においては、高い圧力での注入ができないため十分な効果が得られなかったり、ダムの荷重によって変形しその影響による再処理を必要とすることが考えられた。これに対して、ギャラリー内部から幅広い処理が確実に実施できるように、左岸側に 3 本、断層破砕帯の右岸側に 1 本、ダム軸に直交し、コア敷幅とほぼ同じ長さのギャラリー(クロスギャラリー)を設けた。

### 4. グラウチング計画

岩盤の状態および試験グラウチングの結果から、地表付近におけるグラウチングによる改良効果は低いと考えられた。このため、コア着岩部を拡幅して浸透流路を長くし、この部分を含めたコア敷全面にブランケットグラウチングを実施し、コア敷中央にダム軸に沿って3列のカーテングラウチングを配置した。

ブランケットグラウチングは、右岸において2.5m、左岸において2.0m千鳥に配置することを標準とした。深さは外側で5mとし、右岸においては中央部のコア敷幅の1/3の範囲に対して、また、左岸においては中央部のコア敷幅の2/3の範囲に対して、10~25mと長

くしてカーテングラウチングの補強を計った。断層部においては、中央部の幅20mの範囲に対して、破碎帯下部の堅岩まで到達させ、破碎帯内部および下部の境界付近を十分に処理することとした。

カーテングラウチングは、標準として、すべて2m千鳥に配置した。外側の2列は標高に応じてその深さを15~25mとし、中央列は最大深さ60mを標準とし、基礎の状態に応じて増減させる。

グラウチングによる遮水性の改良目標は、ブランケットで10ルジオン、カーテンで3ルジオン程度とした。

ブランケットグラウチングは、すべてダムの盛立て前に地表から実施した。また、左岸側の地表からギャラリーまでのカーテングラウチングも地表から実施した。これ以外のカーテングラウチングは、ダムの盛立てが進行

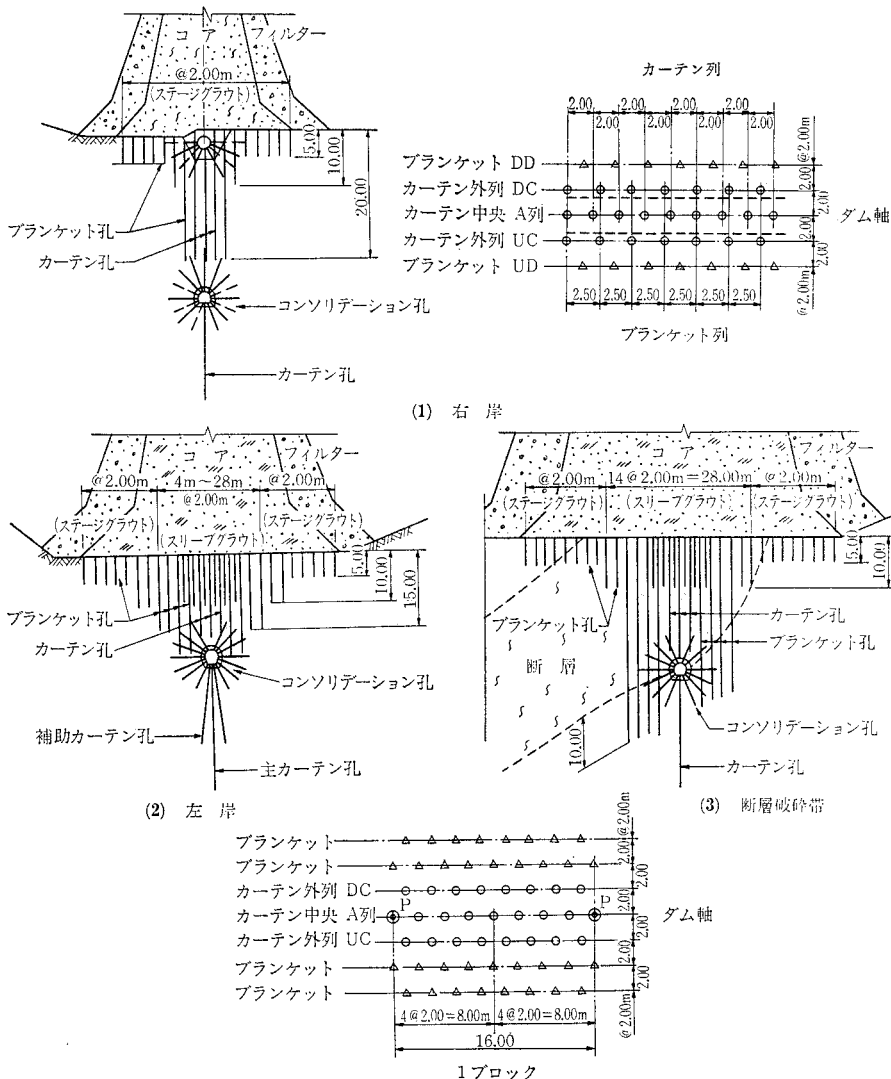


図-6 グラウチング標準パターン

してから、ギャラリー内から実施した。ギャラリー周辺については、2m 間隔で 5m の範囲についてコンソリデーショングラウチングを行った。

左岸側の地表から実施する深さ 10m 以上の孔については、孔壁を保護するとともに、入念な注入を行うためにスリーブグラウチング方式を採用した。

図-6 にグラウチングの標準パターンを示す。

岩盤の状態から、グラウトミルクの地表へのリークが相当あるものと予想された。この防止対策として、コア基礎全面に、厚さ 10cm のモルタル吹付けを実施した。さらに、これを強化し、グラウチングの効果を向上させる目的で 1m 千鳥に深さ 1.5m の地表処理グラウチングを実施した。

## 5. 施 工

### (1) 注入設備

グラウチングの総延長は 10 万 m 以上になり、さらに、左岸側においては注入ステージ間隔の小さいスリーブグラウチング方式を採用するので、その注入作業量は非常に多くなる。この注入作業を迅速・確実に実施するための自動化・省力化を行い、工事管理の強化を計るとともに、工事全体の質を向上させるために、全自動中央集中制御方式の注入プラントを導入した。このプラントでは、注入ミルクの混合、所要濃度ミルクの作成、濃度の切換え、注入現場へのミルクの搬送などの作業を集中・自動的に制御する。また、注入管理もプラントから集中して実施する。

左岸側の岩盤は、軟質なためグラウチングによって基

礎が変位し易い。このため、約 50m<sup>2</sup> に 1 か所の割合で地盤変位計を設置し、この記録を中央プラントの制御室に集め、注入作業の管理に利用した。

### (2) 注入材料

注入材料は主としてフライアッシュセメントを用いたが、左岸側においては、注入効果を高める目的で、ベントナイトを添加した。

ベントナイトを添加することによってミルクのブリージングを小さくすることができる。しかし、それによってミルクの粘性が大きくなり、好ましくない。このミルクにコンクリートの減水剤を添加すると、粘性は小さくなる。しかし、あまり多量に減水剤を添加すると、ブリージングが増加する。このような関係を勘案して、セメントに対してベントナイト 4%、減水剤 0.25% を添加して使用した。

### (3) 注 入

スリーブグラウチング以外は、すべてフォアステップのステージ方式で注入した。ステージ長さは 5m を標準としたが、左岸側では、孔壁崩壊のためかなりの部分を 2.5m 以下で実施しなければならなかった。

スリーブグラウチングは、1m に 3 個の割合で注入口を設けた。注入は、注入圧力によるスリーブパイプの曲がりや破損を起こし、パッカーの移動に支障をきたす傾向があったので、孔底からバックステップで行った。

施工順序は、最初、地表処理グラウチングを実施し、次いで、パイロット孔、ブランケット、カーテングラウチングの順に実施した。

パイロット孔は、カーテングラウチングの中央列に

表-2 注 入 基 準

名 称	右 岸	左 岸
注 入 方 式	ステージグラウト	ステージグラウト (トンネル) スリーブグラウト (明 り)
注 入 材 料	フライアッシュセメント (B) 種	フライアッシュセメント (B) 種 : 1 ベントナイト : 0.04 減 水 剤 : 0.0025
配 合 切 換 え	C : W = 1 : 5 にて 400 l 注入し 1 : 2 に切換え C : W = 1 : 2 にて 400 l 注入し 1 : 1.5 に切換え C : W = 1 : 1.5 にて 400 l 注入し 1 : 1 に切換え C : W = 1 : 1	ステージグラウト 右岸と同様 スリーブグラウト C : W = 1 : 2 の一定配合で注入
注 入 完 了 基 準	ステージグラウト 注入量がほとんどなくなってから最終圧力を 30 分間維持して注入量がない場合	ステージグラウト 右岸と同様 スリーブグラウト 注入量がほとんどなくなってから最終圧力を 5 分間維持して注入量がない場合
注 入 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> ) H : パッカー深度 (m)	P = 1.0 H ≤ 30	P = 0.6 H ≤ 20
注 入 速 度	Q <sub>max</sub> = 30 l/分/st	ステージグラウト Q <sub>max</sub> = 20 l/分/st スリーブグラウト Q <sub>max</sub> = 5 l/分/バルブ

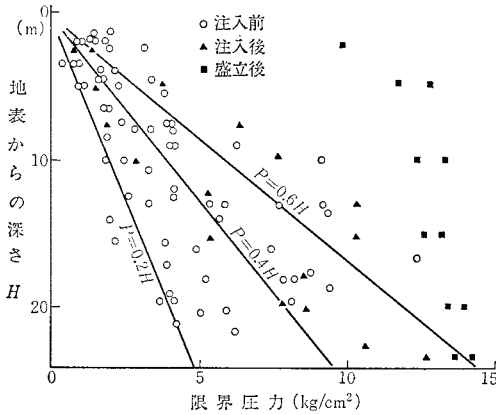


図-7 左岸断層破砕帯の限界圧力

16m 間隔で実施した。この孔は、カーテングラウチングの一部となるが、これによって得られた資料によって、施工範囲、注入圧力等の判断を行った。

注入は、表-2 に示す基準に従って実施した。右岸側においては、基準に示した圧力で注入できたが、左岸側は、岩盤が変位し易く、基準の圧力で注入できない所がかなりあった。特に地表付近においては、図-7 に示すように限界圧力が、地表からの深さを  $H$  m とすると、 $0.2H \sim 0.4H$  kg/cm<sup>2</sup> 程度であった。したがって、注入に際しては、注入位置付近における限界圧力よりも低い圧力で注入を開始し、変位および注入の状況を監視しながら徐々に昇圧し、できるだけ高い圧力まで昇圧するようにした。しかし、結果的に、地表から 20 m ぐらいの

深さまではミルクのリークや変位を生ずることが多く、 $0.2H$  kg/cm<sup>2</sup> 程度の圧力でしか注入できなかった部分が多かった。深さ 20 m 以上においては、地表の変位やミルクのリークも少なく、 $0.4H \sim 0.6H$  kg/cm<sup>2</sup> の圧力で注入できた。

左岸側における岩盤の変位は、注入圧力のほか、注入流量、注入ポンプによる圧力の脈動、ボーリングの送水圧力等にも影響された。したがって、注入流量は 1 m あたり 1 l/min 程度で注入する場合が多かった。注入ポンプによる圧力の脈動に対しては、注入管路の途中に容量 100 l 程度のエアタンクを取り付け軽減を計ったがこれは効果的であった。ボーリング時の送水圧力はできるだけ抑制した。また、同時に施工する孔の間隔が近いと岩盤の変位が助長されるので、6 m 以上の間隔を保った。

注入は 8 m 間隔で一次孔を実施し、順次中間挿法で進めた。注入効果は、この進行に伴う注入状況の変化によって推察したが、最終的には透水試験を実施して確かめた。しかし、左岸側の地表付近においては圧力を加えて試験することができない部分が多く、無圧の井戸式の方法で実施した。

(4) 注入実績

総延長約 125 000 m のグラウチングを実施した。その総括を 表-3 および 図-8 に示す。

右岸は、地表付近においてミルクのリークが多く、ブランクettグラウチングの追加がやや多くなった。単位

表-3 施工数量総括

区 分	カ ー テ ン			ブ ラ ン ケ ッ ト			ギャラ リーコ ンソリ	スラッ シ ュ	右 岸 リグ ラウ ト	左 岸 リグ ラウ ト	合 計				
	ステ ー ジ 孔	スリ ー ブ 孔	計	ステ ー ジ 孔	スリ ー ブ 孔	計					ステ ー ジ 孔	スリ ー ブ 孔	計		
右 岸 側	計 画	ボーリング長 セメント量	12 966 433		12 966 433	8 509 354		8 509 354		3 360 706		24 835 443		24 835 443	
	追 加	ボーリング長 セメント量	1 672 246		1 672 246	3 937 127		3 937 127		1 478 149		7 087 160		7 087 160	
	計	ボーリング長 セメント量	14 638 412		14 638 412	12 446 301		12 446 301		4 838 536		31 922 380		31 922 380	
左 岸 側・断 層	計 画	ボーリング長 セメント量	13 622 408	4 780 135	18 402 337	3 996 129	26 827 204	30 823 194			2 541 115	20 159 316	31 607 194	51 766 241	
	追 加	ボーリング長 セメント量	6 408 199	2 359 105	8 767 174	— —	3 488 154	3 488 154			853 37	7 261 180	5 847 134	13 108 159	
	計	ボーリング長 セメント量	20 030 341	7 139 125	27 169 284	3 996 129	30 315 198	34 311 190			3 394 96	27 420 280	37 454 184	64 874 225	
合 計	計 画	ボーリング長 セメント量	26 588 420	4 780 135	31 368 377	12 505 282	26 827 204	39 332 229	14 472 175	13 025 76	3 360 706	2 541 115	72 491 288	31 607 194	104 098 259
	追 加	ボーリング長 セメント量	8 080 209	2 359 105	10 439 185	3 937 127	3 488 154	7 425 140	1 052 96	— —	1 478 149	853 37	15 400 165	5 847 134	21 247 156
	計	ボーリング長 セメント量	34 668 371	7 139 125	41 807 329	16 442 244	30 315 198	46 757 215	15 524 170	13 025 76	4 838 536	3 394 96	87 891 267	37 454 184	125 345 242

注：ボーリング長：m、セメント量：kg/m。

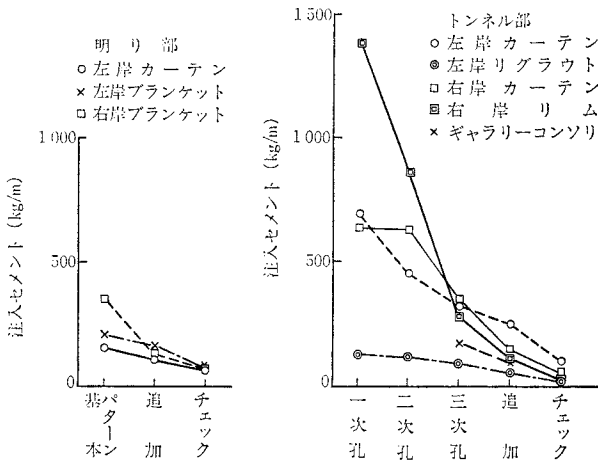


図-8 注入量実績

長さあたりの注入量は多かったが、注入効果は顕著であり、図-9 に示すように、カーテングラウチングでは、標準パターンの注入によって超過確率で 82% 程度が目標とする 3 ルジオン以下の値となった。

左岸側においては、標準パターンのグラウチングの実施によって、ブラケットグラウチングのルジオン値は、超過確率で 80% が目標とする 10 ルジオン以下の値と

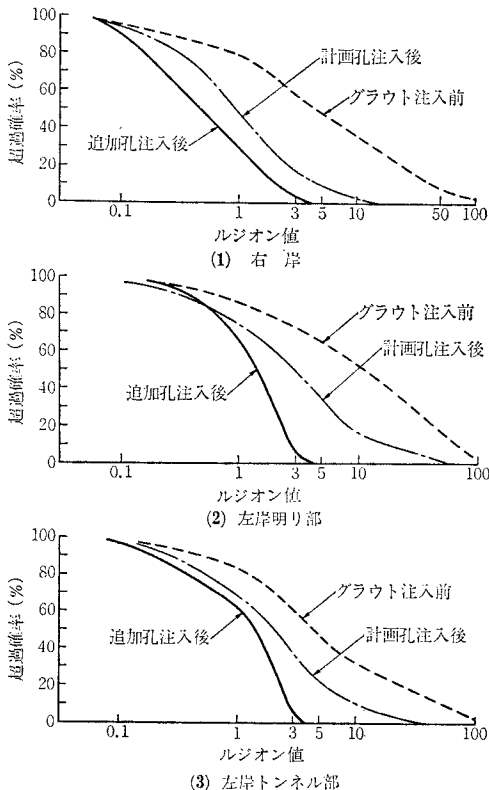


図-9 カーテングラウチング ルジオン値

なった。しかし、カーテングラウチングにおいては、図-9 に示すように、目標とする 3 ルジオン以下の値となったのは超過確率で 50~60% であった。これを目標値まで改良するために、地表付近においては、50 cm 間隔まで追加孔を実施しなければならなかった。

### 6. ダム荷重による影響

ダム盛立てによって基礎表面が 図-10 に示すように変位した。しかし、ギャラリーは、ほとんど変位しなかった。この変位による影響をチェックした。

その結果、左岸の河床から約 30 m 上部までは、すべて盛立て前よりルジオン値は小さくなり、さらに、限界圧力も 図-7 に示すように大きくなり、作用水圧以上の値となった。この部分は、図-5 に示すように粘土の挟在が多い所であり、圧密されて粘土が間隙をふさぎ、良好な状態になったものと推定された。

一方、上部においては、盛立て前より大きなルジオン値を示す部分が相当あった。しかし、限界圧力は作用水圧より大きくなった部分が多かった。この部分は 図-5 に示すように、粘土の挟在が比較的少ない所であるため、変位によって生じた間隙を粘土が十分満たす状態ではなかったものと考えられた。

岩盤の変形係数についても調べたが、その結果を 図-12 に示す。変形係数も限界圧力と同様にグラウチングによってはあまり大きくならないが、ダムの荷重によって大幅に増大した。ここではルジオン値の大きくなった部分について行ったリグラウトは、クロスギャラリーが効果的に利用された。

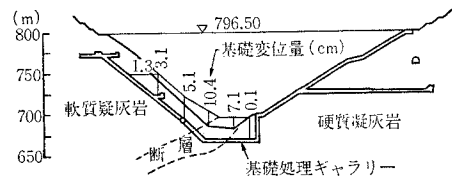


図-10 基礎の変形量

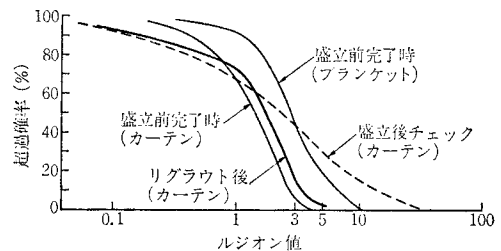


図-11 左岸リグラウチング ルジオン値

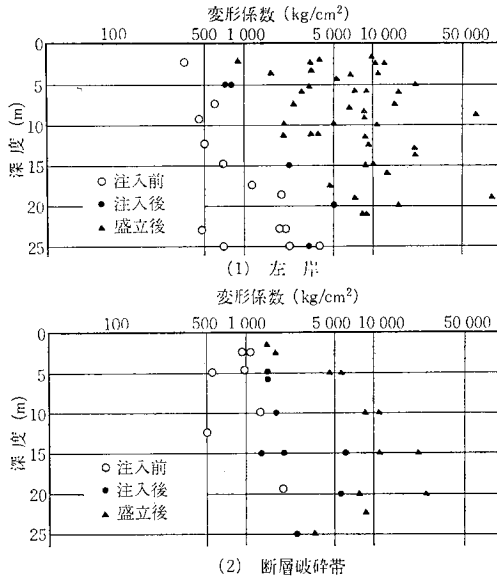


図-12 変形係数の変化

によってその方法は異なり、それぞれにおいて技術的な問題点も異なる。大内ダムの左岸側のような軟質な基礎をグラウチングで処理する場合、高い圧力で注入できないので、注入方法や注入材料についての工夫が必要である。

さらに、軟質な基礎では、ダムの荷重によって変形することが考えられるので、この影響をチェックし、必要に応じて適切な処理ができるよう、あらかじめ配慮しておくことが重要と考える。

参考文献

- 1) 土木学会編：ダム基礎岩盤グラウチングの施工指針。
- 2) 柴田 功・藤井敏夫：ダム基礎岩盤のグラウチング，日本大ダム会議第5回ダム技術講演討論会，1973年3月。
- 3) 西田 孜・金沢紀一・星野延夫：凝灰岩上のダム基礎，土と基礎，Vol. 28 No. 7, 1980年。
- 4) 西田 孜・伊藤達次：大内ダム 基礎処理用全自動グラウトプラント，建設の機械化，1980年9月。
- 5) 西田 孜・渡辺邦男・岩下 修：全自動グラウトプラントを用いたセメントミルクの配合と注入，セメントコンクリート，No. 413, 1981年7月。
- 6) 渡部 雅・渡辺邦男：大内ダムの設計と施工について，電力土木，No. 185, 昭和58年7月。

(1984.12.6・受付)

あとがき

ダムの基礎処理は、その地点の地質やダムの形式など

PC技術を中心に  
新しい環境づくり、国土開発に  
大きく貢献しています。

 **ピー・エス・コンクリート株式会社**

取締役会長 上村 正二

取締役社長 近藤 希賢

本 社 〒100 東京都千代田区丸の内三丁目4番1号(新国際ビル) ☎(03)(216)1981代  
 東京支店 〒102 東京都千代田区九段北四丁目1番3号(日本ビル九段別館) ☎(03)(262)6101代  
 大阪支店 〒530 大阪市北区西天満二丁目6番8号(堂島ビル) ☎(06)(363)2221代  
 福岡支店 〒810 福岡市博多区中洲5丁目6番20号(明治生命館) ☎(092)(291)2244代  
 仙台支店 〒980 仙台市一番町二丁目1番1号(振興相互銀行ビル) ☎(0222)(23)8121代