

下釜ダムでは思えない基礎地盤に対して止水処理及び積極的な基礎支持力の改良を目的として大量のセメントグラウトを行っているが、これを合理的に行い確実な効果をあげるために工事の試行錯誤の中から経験的法則性を見いだし、工法と判断に改善を加えながら施工を進めている。その過程において得られたグラウトの注入特性についてのべるものである。

1 地質とグラウト工法の特徴

下釜ダムは筑後川上流支川津江川に建設中の多目的ダムで、高さ98m、堤頂長248mのアーチダムである。ダムサイトの地質は全体的に堅硬な岩質であるが比較的開口性で割目が発達しておりグラウトによる一体化効果が期待できる。地質分布は地表部分を覆う下釜熔岩と両岸のかぶり30~80mより深部に存在する小竹熔岩の二種類の安山岩よりなっており、その構成状態と力学的性質を加味した工学的評価からこれをA~D級の4階級に区分しているが、特に左岸下^岸部熔岩中の破碎帯で改良を行うと重要な下釜CDゾーンと、両熔岩の母岩変質部(Fault)の改良については最も意を注いでいる。

基礎岩盤改良の目標としては、止水処理を目的とする場合は普通透水度 1Lu (ルダオン)以下とされておりこれは直接的に把握できるので確実性があるが、力学的改良補強を目的とする場合には岩盤の力学性状の把握自体が大抵みであり、グラウトによる改良の期待性や効果を具体的に評価する面でも不確かさがあつて具体的な信頼性に乏しい実状であつた。これに対し下釜ダムでは数多くの現地試験を行つて全体的地質性状の分布を求め、更にグラウトによる力学的改善の見通しを得てそれに適するグラウト工法の基本を本工事に適用したものである。現在計画しているコンソリグラウトは総計52000m、カーテングラウトは14500mでそのうち約40%の施工を終わっている。

グラウト工法としては、岩盤の改良補強の目的からは単位各種当りの岩盤にできる限りのセメントを注入することであり、施工上からは注入の手段であるボーリング数量をできるだけ少くして各孔の注入効率を上げてゆくことが施工の効率及び経済性において重要な課題である。工法上の特徴の主なものをあげる。

① グラウトの範囲 広範囲に亘るグラウト領域を位置的工法的な区分をし、コンソリを1次、2次、特殊の3区分とし別にカーテングラウトを行う。1次コンソリは堤敷表面に対して行い2次コンソリの1次孔的役割を果たさせるためにもあつて予め配管した各孔毎のパイプから環体コンクリート打上り10~20m後に5~7%の可成り高い圧力で注入する。標準深さ5m間隔5mとし注入は各孔の透水率、リークの状態によつて施工順序、方法を定めている。2次コンソリはダム敷全面の分布応力の欠きい範囲20~35mをカバーし堤敷部の地表に近い範囲の透水を防ぐためにも大きい効果をもっている。列間隔3mで堤内から放射状に施工し圧力は5~30%とする。特殊コンソリは左岸深部に存在する母岩変質部(F₄)と下釜熔岩内CDゾーンの改良補強を主眼として行うもので三本の作業坑より列間隔3mで放射状に行う。圧力は10~35%とする。カーテングラウトは地質分布と岩盤の透水度を考慮し

て位置と範囲を計画し、河床部で深さ50m、両翼は接触変位部を含み傾斜まで拓けている。

b 注入圧力と単位注入量 注入濃濃度 注入圧力は注入効率に対する影響が最も大きいので施工安全範囲で地質に見合ったできるだけ高い圧力とすべきで、本工事では現地試験等によつて地表からの深さ1m当り1% 最大50%までの昇圧を行うものとする。また単位注入量%と注入濃濃度は圧力と相互関連があり岩盤の性状やミルクの受入れ状態によつて適性なものを与えられる。

注入される地山の安全度については 連続注入量の積の増加と共に低下してゆくものと考えられこれは岩盤の動きの観察によつてある目安はえられるが本工事では注入位置によつて3000~10000ℓを制限注入量としている。

c 注入機械として可変容量型グラウトポンプと単路式配管 圧力目録記録を併用して注入圧力と単位注入量をポンプで調整して注入管理を容易にむかふ合理的に行うことができ、また中央プラント方式によつてミルク製造と輸送を集中管理することによつて大量工事において品質の均一性と施工の能率合理化をはかるよう考慮した。

d 注入方法 2次 特殊、カーテングラウト孔の注入順序はスプリットスペース方式で5m毎のステージグラウトを行つて次第に圧力をあげてゆく方法を選び、同時に次数の進みと平行して注入効率と透水性の変化を逐一追跡してゆくことによつて注入特性の分析が容易に行いけるようにしている。透水テストは全孔の約4%を対象として各ステージのグラウト前に行われる。

e その他の注入管理としては 注入材料、注入液品質の管理、安全性管理のため地山動きの観測を下げ振り ロッドによる岩盤変位や浮上り測定により行うこと、グラウト効果を透水テスト、弾性波測定により確認する等行い効果をあげている。

2 注入特性と注入効果

注入特性分析の要因としては (1) 岩盤区分別 注入圧力別、注入順序別の注入特性と透水度改善特性 (2) 注入工法に対する特性比較 (3) その他注入テクニックの細部の特性比較(例えば注入方法、穿孔法、孔間隔方向、施工効率 等) がある。主な特性についてのべる。

a 透水性 図5からグラウト前の全般的透水性はバラツキが大きく不均一である。平均的には16~27Lu でかなり大きく、うち小竹は最も大きく下釜Cは小さい。下釜とFは類似性を示す。各孔の透水履歴は一般的に下釜とFは圧力増加と共にLu は増す傾向にあつて注入しやすい形態で小竹はその逆の傾向を示すものが多い。

b 注入圧力に対する注入量とLu 改善特性 注入特性においても下釜 Fと小竹との性格的特徴が表われている。下釜、Fは圧力10%程度以上で極めてよく入り、中でも下釜CはLu 当注入量が最も大きく効率のよい事を示している。また20%以上の圧力になると各孔の注入量が平均化して増加し特にⅢ法で顕著であつて注目すべき特徴である。全般的にミルクの走り過ぎの傾向も伺はえるが次数毎の注入量、その递减率、Lu 改善度からみて満足できる結果である。小竹は圧力25%以上ではじめて注入量増加が認められるが経済的に効率が悪く、また低注入孔と過大注入孔が明確に区別できる。これらの事から下釜、Fは本工法の適用性及び効率共に適当なものであるが、小竹は効率が悪いことと十分処理するには尚工法又は計画の変更追加が必要なることが伺える。

c 注入工法に対する特性 注入工法は現在Ⅲ法までを適用している、そのうち特徴的な工法は

表1のとおりでⅠ法は吐出量を $\times$ にして長

表1 注入工法

工法	標準注入圧	単位注入量	注入濃度と注入時間
Ⅰ法	地山の50% 1mにつき1%	6 g/m	配合に8, 1:6, 1:4, 1:2, 1:1, 濃度切替注入圧は12時間
Ⅱ法	同上	2	同 40分
Ⅲ法	下峯熔岩 同上 小竹熔岩 1律 5% up	標準圧力で3 それ以下で6~3	Ⅰ法と同 制限注入量で中断し再注入

孔の中断くり返し注入を行う方法である。

注入特性はⅢ法が最もよい結果を表わしている。しかし最近の傾向として透水度がすぐでかなり改善された領域では1:4程度の比較的濃度の高いミルクを押しこむ方法が低濃度に比して高圧で注入セメント量が多い傾向が見られている。これは地盤内の脱水作用が遅いため飽和状態になるための現象と考へることもできる。

d くり返し注入工法 規数のごく浅い範囲の1次コンソリでは圧力注入量共に大きい制約をうけるのでこれを補う方法として、注入制限に達した場合の水押しを十分行つて時間を置いて再注入を行う工法が注入量80%とかなりよい効率であつた。ミルクのリークレ孔に対する水押しについても同様で、低圧コンソリでもかなりの効果が期待できる工法である。

e 作業効率と注入効率 作業時間からみるとⅢ法は2%程度で従来の工法の2倍以上の長時間を要しているが時間当り注入量は40%/m 前後で大差がないので総注入量としては従来の2倍以上にも達しているものと推定される。これは注入エネルギー(圧力 $\times$ 単位時間注入量)と比例的な関連があり、作業効率にも注入効率にもⅢ法は良好な結果を示している。

f 透水度と弾性波による改良効果 特殊コンソリの一部施工完了後の透水度は下峯は3 Lu 以下であつたがFは2~13 Lu、小竹は8~15 Lu で小竹はいま一歩の感である。また弾性波速度は約800 測線の値として表2のとおり下峯では期待以上の値を得ている。弾性波速度と他の力学的性状例之は静弾性値との関連についてはグラ

表2 弾性波速度

	グラウト前	グラウト後	岩石速度(参考)
下峯熔岩部	1.6~2.7 km/s	3.2~4.0 km/s	4.1 km/s
小竹熔岩部	0.9~1.4	2.1~2.5	3.5

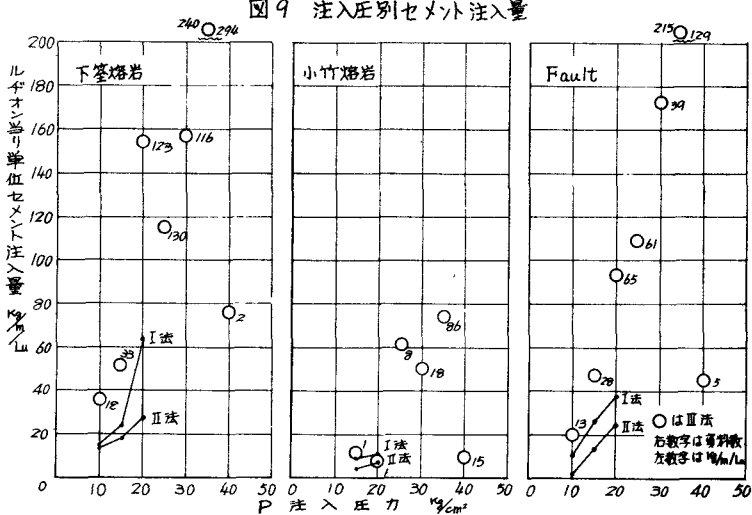
ウト試験で得られた値として $E_s = 27000$ 部が45000部に改良された場所では弾性波は2.0 km/sから3.0 km/sに増

大し、尚剪断抵抗としては7部が10%程度となつてゐる。このことから弾性波の改良がかなりよい事は強度的改良もかなり期待してよいものと考へてよい。現地試験により最終的に確認することも考へている。

g 安全管理

安全管理としての地山の動きの制限量は一律に

図9 注入圧別セメント注入量



定められべきものではなく、対象となる位置や構造物との関連と動きの変化によって判断すべき性質のもので、迅速正確な観測と判断を行うことによつて適切な措置をとる必要性を痛感している。

図1 岩盤岩級別注入量

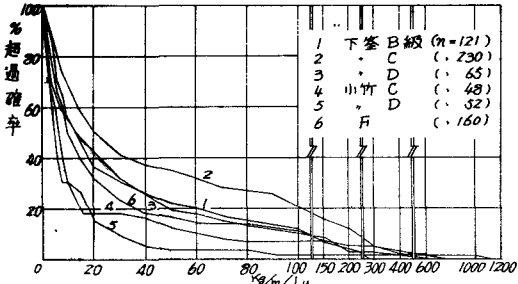


図5 岩盤岩級別処理域 Lu 値

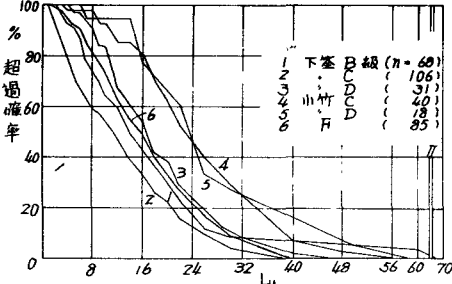


図2 EL265,EL280特殊コソリ 下釜熔岩注入圧別注入量

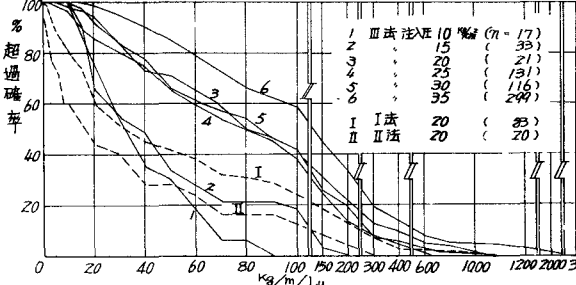


図6 EL280特殊コソリ 下釜熔岩注入順別 Lu 値

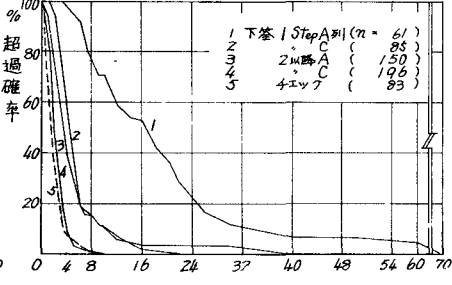


図3 EL265 & EL280 特殊コソリ 小竹熔岩注入圧別注入量

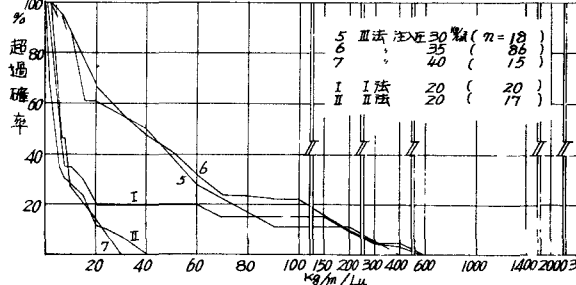


図7 EL280特殊コソリ 小竹熔岩注入順 Lu 値

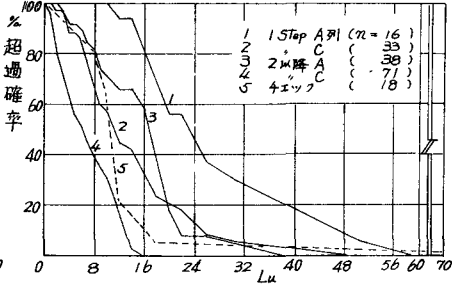


図4 EL265 & EL280特殊コソリ FAULT 注入圧別注入量

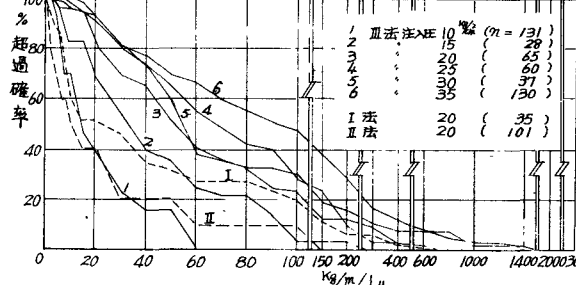


図8 EL280特殊コソリ FAULT 注入順別 Lu 値

