

§ 要 旨

下筈ダムでは設計から要求された基礎岩盤の補強改良と止水処理を、10万 m におよぶセメントグラウチングによって行なうよう設画が立てられ、それを全体として効率的な施工を行なうためとくに補強改良に対してはグラウチング効果を最大限に発揮させるために高圧注入工法が採用された。しかし本工法のメリットを十分に発揮させるためには、地山の安全性の確保を第1の前提条件として岩盤の注入特性の変化を十分把握してゆく必要がある。本報はこのような背景のもとにおいて高圧注入工法を追求した過程で、得られた岩盤の注入特性について2, 3の検討を加えたもので要旨次のとおりである。

1. 岩盤のグラウチング特性値 (Lu 値, Kg/m , $Kg/m/Lu$ 値) は各注入孔の間でその値が広い範囲に亘って分布しており、施工管理上からはその分布の全体的変化を把握することが重要な意味をもっている。注入特性の表現法としてはその代表値とともに特性値の累加度数分布図が非常に効果的であった。この累加度数曲線はいずれの岩質に対しても対数型の正規分布に近似する性質をもっていることが明らかとなった。

2. 注入特性値は、注入圧力とその外の注入手法および地質の性状によって大きな変化を示す。注入手法の選定は高圧注入の効果を高めるために重要な役割を果たす。また Lu 値の改良性の限界は地質によって異なる値をもつものと推定されるがそれには割目の構成状態の地質毎の違いが影響しているものと推測することができる。

3. 地山の挙動の連続的実測は高圧注入の安全管理のため欠かすことのできないものである。

§ 岩盤の注入諸特性

1. 注入特性を評価する要素として我々は従来一般に使われてきた透水性ルジオン値 (Lu , 単位は $10^{-5} cm/s$ に相当する) と単位孔長当り注入セメント量 (Kg/m 値) の平均値表示による外に、注入効率の比較に便利なものとして単位ルジオン単位長当り注入量 $Kg/m/Lu$ 表示と、これらの測定値の全体的分布を表わす孔数の累加度数分布図の表示法を案出した。測定値は全てボーリング孔 (径 46 mm 標準長 5 m) によるもので累加度数分布例を図1, 2に、代表値による比較例を図3に示す。

上記の注入諸特性値は一般的にも図1, 2に見るような広い範囲に分布する性質をもっているが施工管理上からはこの分布の全体的性状変化に注意する必要があることに気がついた。それは広い範囲に分布している各孔の特性値は透水性からの性質上も注入手法などの外的作用に対してもそれぞれ非常に違った性質を示し、岩盤全体として均一な改良を行なうために全体の性質の把握が必要であるからである。そのために各特性値を横軸とした孔数の累加度数分布の表示を用いた。例えば施工限度の管理には Lu 値分布の値の大きい部分が、また注入効率の評価では Kg/m か $Kg/m/Lu$ 分布カーブの全体の傾斜の比較がポイントになる。なお図1, 2から分布カーブはS字型を示していることが認められ、対数正規型の分布に従う性質のあることが示唆される。これが他のダムサイトについても一般的

に云えるとするれば、岩盤の割目性状と関連させて特性値の物理的意味を解明するうえで重要な性質といえるのではないだろうか。また分布図の性状から特性の代表値としては分布の中央値か対数平均値が適当なものと思われる。

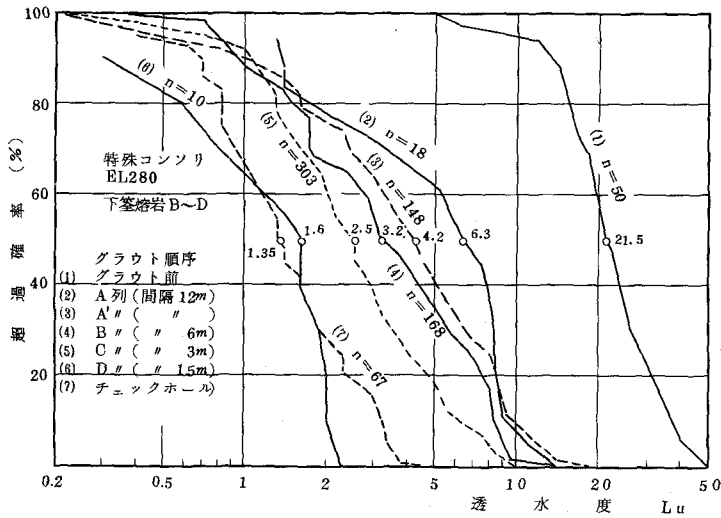


図1 施工順序別透水度度数分布図

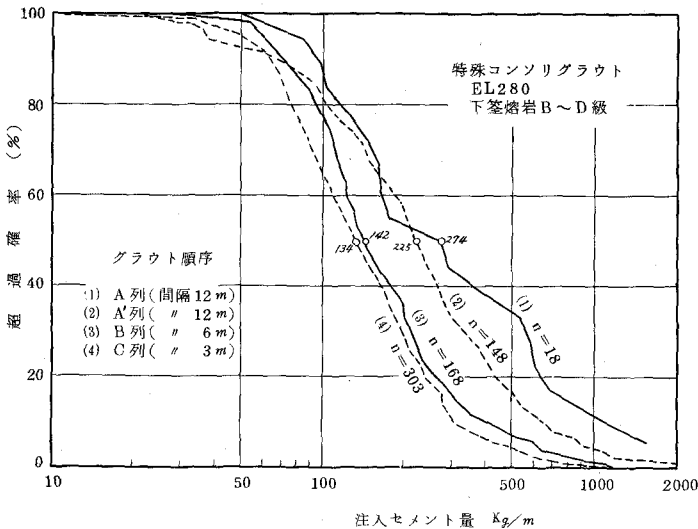
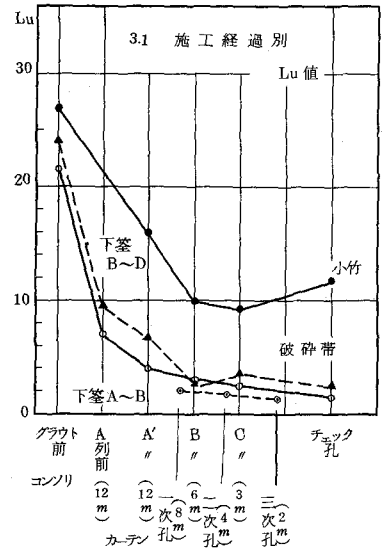


図2 施工順序別注入セメント量度数分布図

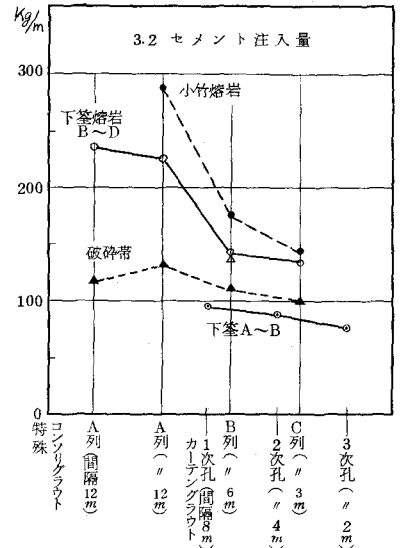


図3 岩種別施工順序別注入特性図

2. 一般にセメントグラウティングでは透水度の大きい部分に比し小さい部分ではその改良度がよくない傾向があると考えられているが、ラムダムに分布する Lu 値については図1のように注入の進行とともに曲線全体が平行的に値の低い方に漸次移行している。これは Lu 値の大きい部分も小さい部分も同じ割合で値が減少していることを示し施工条件によって若干の変動があるにしてもどの岩質に

ついても認められており、この分布がむらのない岩盤改良を行なうための管理のポイントになるものである。

図3ではLu値の改良効率が岩質によってかなり異なることが認められ、注入量についても単位Lu当りでは大きい開きがある。また同図の特殊コンソリでは注入の最終段階C列でも100~140 Kg/mの注入量がありなお注入孔追加が有効なことを示しているが、セメント注入の場合でのLu値改良度の限度は岩質状態の違いによって異なる値をとるものであることを推測することができる。そしてこのように直観的に分類した地質区分でもその注入特性値に大きな差を表わしていることは、それぞれの岩質での割目の構成状態が明らかに異質のものであることを裏付けているとみなされるであろう。

3. 表1は岩種、工法毎の注入圧力効果をみたものである。Kg/m/Lu値は全般的に注入圧力の影響をうけていることは明らかであるが、同時に岩種や注入手法によっても大きな影響をうけ、時には圧力効果を減殺してしまうほどであることが伺われる。すなわち注入圧力の効果を十分発揮させるためには附随した注入テクニック（ミルク濃度、注入送出量を主体とした）の適切な選択が重要な役割りを果たしていることを念頭におくべきである。

4. 表1でLu~Kg/m値の相関性を見ると、その相関係数がかなり高い値を示す岩種（均質度が比較的よいとみなされる下笠焙岩A B級と小竹焙岩）と低い値を示す岩種（下笠B~D級、破碎帯で均質度の低い）があるといえるようだ。岩質の均質度が高いことは当然割目の構成状態（割目密度と間隙巾の組合せ分布）も比較的均等でそのため全体としてLu値 $\propto$ （一定の間隙巾分布と密度） $\propto$ （有

表1 下笠ダム注入特性表

特殊コンソリグラウト							カーテングラウト（下笠焙岩A~B級）						
岩質	注入圧力	資料数	Lu	Kg/m/Lu	Lu-Kg/m 相関係数	(Kg/m)=a(Lu) ^b a b	工法	注入圧力	資料数	Lu	Kg/m/Lu	Lu-Kg/m 相関係数	(Kg/m)=a(Lu) ^b a b
下笠焙岩B~D級	15	-	-	-	-	-	II系	25	111	26 12~120	39 14~132	0.63**	535 0765
	20	51	36 13~86	42 19~148	0.368**	955 0362		30	70	27 11~120	40 18~108	0.713**	481 0861
	25	146	32 08~112	59 10~312	0.169	- -		35	-	-	-	- -	-
	30	224	33 08~93	47 10~324	0.198*	- -		40	104	17 09~95	54 16~187	0.700**	584 0827
	35	192	24 08~92	64 12~353	0.160	- -		45	52	15 10~40	44 18~177	0.565**	415 1291
小竹焙岩	15	-	-	-	-	-	X系	50	-	-	-	- -	-
	20	-	-	-	-	-		15	74	11 04~27	23 9~79	0.614**	257 0527
	25	19	88 20~258	35 12~875	0.595**	- -		20	52	14 06~34	27 13~85	0.477**	326 0516
	30	40	114 17~183	24 6~158	0.561**	513 0698		25	53	12 05~27	46 19~116	0.486**	463 0770
	35	106	111 16~192	25 7~193	0.305**	699 0529		30	113	16 07~40	77 28~214	0.650**	786 0968
破碎帯	15	29	24 11~160	17 5~88	0.169	- -	系	35	44	12 05~28	77 24~218	0.223	- -
	20	53	47 11~159	31 6~176	-0.016	- -		40	93	12 05~32	83 32~280	0.339**	892 0730
	25	74	21 08~118	60 7~281	0.217	- -		45	122	15 08~47	81 24~284	0.422**	1067 0389
	30	81	46 10~154	32 7~359	0.275*	- -		50	79	13 08~31	107 34~415	-0.021	- -
	35	89	80 18~120	23 6~110	-0.064	- -							

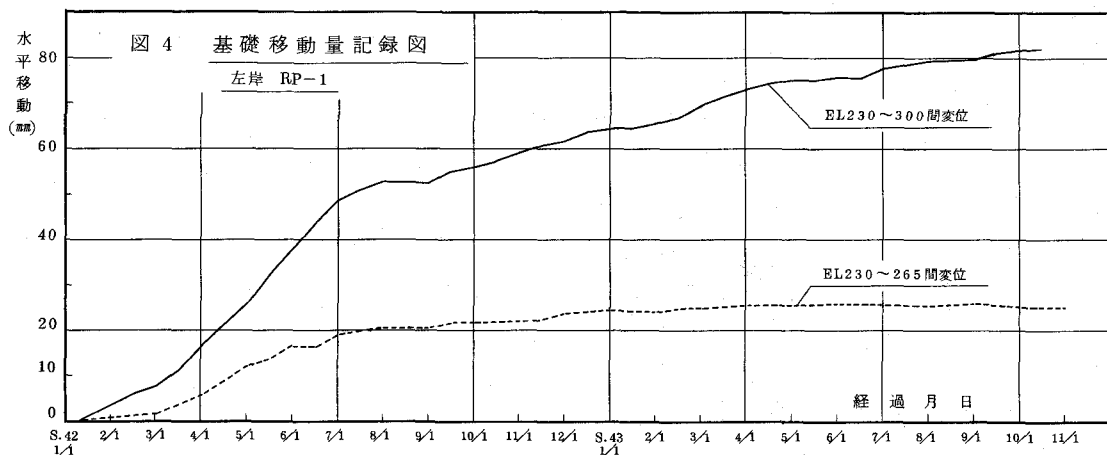
注) *, **, ***は5%, 1%, 0.1%の危険率で有意を示す。

効な空隙率) 二 (注入量) となり、不均質な岩盤では割目の構成も均質性がなくその結果相関性が低くなるものと想定される。なお相関性の高い場合 (k_g/m) = $a \cdot (Lu)^b$ と表わした式の定数 a , b , は圧力の増加に伴って傾向的变化を示していることも注目される現象である。

5. 岩質や工法による注入効率を比較するために我々は $k_g/m/Lu$ を用いている。これは k_g/m 値は概括的には Lu 値と比例的な関係にあるという観点に立ったもので、透水度の影響を除いて同一レベルで要因効果を比較できるように考慮したものであるが、上述の定数 b の値から解るように $k_g/m/Lu$ 値は Lu 値の関数となっていることから Lu 値が大きく異なる群間の比較の際には注意をする必要がある。

§ 注入の安全管理

高压グラウティングで特に重要な注入の安全性の確保について下釜ダムでは、可変容量注入ポンプ、自記記録などの注入手段を安全管理に重点をおいたシステムとするとともに岩盤下げ振り (RP), 岩盤変位形, 岩盤浮上りゲージを多数設け集中自記記録によって注入作業と直結し非常に効果をあげている。浮上りゲージは1次コンソリ, カーテングラウトの表層部の施工に使われ、直接流入圧力の制御に役立てている。堤敷グラウトは全て堤体打上り後に行なわれているので岩盤の動きには極めて慎重な監視を必要としている。



左岸特殊コンソリ領域内に設けられた2本のRPはかなり敏感な動きを示している(図4)。動きの原因としては、地山の掘削、特殊コンソリ、不良部の置換工、気象現象などが考えられるがその動きの分析から特殊コンソリの影響が大きいものとみることができる。とくに破碎帯に沿うミルクの走り過ぎに注意しなければならないようだ。我々はこのRPの累加変位の勾配の増減に着目して慎重に監視をつづけながら動きの加速されないことを安全性の指標として注入工程の管理を行っている。なお堤体打上りによる抑制効果がかなり効いていることも明瞭である。

グラウティングによる岩盤の動きは基礎全体の破壊につながるるのでその監視は極めて重要なことは論をまたないが、安全性を判断する基準については一概に定め得るものではない。ただ地山の動きが地山全体の耐荷力の減退に絶対的に影響を及ぼさないものであることを念頭においた経験的総合判断による必要があるといえることができる。

Cement Grouting For The Rock Foundation Improvement Of Shimouke Dam

Ken Soejima, Hidesuke Hanakago

Ministry of Construction

Several estimations carried out on response characteristics of bed rock to high-pressure cement grouting, and on grouting work control in Shimouke Dam with 98 metres height.

The high-pressure grouting are very effective to improve the condition of security of rock foundation and to work more economically. On the other hand, the safety control of foundation movement which might cause with particularly high pressure grouting is a most important work.

As the some factors to evaluate the grouting efficiency, we have chosen a permeability in Lugeon and a total cement volume grouted in each hole in Kg per hole length metres or in Kg/m per Lugeon. The values of each factor of every holes distribute over the wide range, and cumulative distribution curves of that values in each group which was classified by rock type and grouting technique usually approach the sigmoid shape of the logarithmic normal distribution. The median values of each factor and the shape of cumulative distribution curves in each group have large difference to various rock types, and are affected depend on various grouting technique which have been varied from mix density, mix discharge and grouting pressure.

For effective works the comparison of the values and the cumulative distribution curves of each group have been used usefully.

The Lu-Kg/m relation is described. It seems that each rock type have a particular correlation coefficient range, and that coefficient is varying with grouting pressure.