

## ダムグラウチングの新たな位置づけとそれに伴う問題点

寺 戸 康 隆\*

## 1. はじめに

グラウチング工法あるいは注入工法は、それが一専門分野の特殊工法であることもあってか、従来一般の土木建築技術者には必ずしも十分になじまれたものではなかったように思われる。それでも、近年ダムやトンネルなどの重構造物、あるいは高層建造物や地下構造物などの工事においては、大なり小なりこの工法が浸透しているのは事実であろう。しかし、その場合、この工法の本質に対する関係者の科学的理解がどの程度であるかについては、グラウト技術者の立場からみると心細い限りである。周知のとおりグラウチングとは、セメント、粘土、ベントナイトおよび化学溶液など、あるいはこれらの混合物——物理学的にはニュートン流体としての物性もちうるものであろうが——をせん孔した孔からポンプで基礎地盤ないしは基礎岩盤中に圧送（注入）し、材料による置換や、化学反応などの過程をへて、対象物の圧縮化、一体化、強化、水密化を図る所作を意味する。この技術は、ダム関係についてみれば、今世紀初頭に導入されて以来、急速に進歩発展してきたし、近年いわゆる薬液注入工法で示されるように、都市土木建築の地盤改良工法としても飛躍的な発展・普及をみせてきている。この注入なるものは、ほかのアートと同様、人類が開発し、はぐくんできたものであるが、いま自然界についてみれば、温度、圧力および時間的条件は異なれ、地殻の形成過程でのマグマのへい入、ケイ酸塩や炭酸塩の浸透、分解、沈殿、凝結といった一連の現象そのものは天然の注入であったとも考えられ、この意味では人類の出現にかかわりなく、地球の生成以来営々と続いてきた出来事でもあったわけである。グラウチング技術がそもそも鉱山に端を発したといわれるのは、それが資源採掘に伴う出水処理などの必要性から開発されたわけであろうが、地球科学から分化した鉱床学とあわせ考えると、因縁深いものが感ぜられる。

グラウチング技術あるいはその工学の母体は、概してまずボーリングやポンプなどの機材に関する技術、つぎに対象物の性格を探索する学問、最後に注入する材料の

\* 正会員 技術士 日本グラウト工業（株）

工学の3つの部門から成り立っているということができよう。したがって、グラウチングの技術が、地質学、化学、岩盤力学、地下水理学、土木工学、土質工学、材料力学といった学問や工学の発展にうながされ、それらに呼応して発展してきたことは自明である。また、この技術を開花し発展させた直接の動機は、いうまでもなく社会的要求に基づく建設技術の発展にほかならない。

人類は、最初のうちは、社会的施設あるいは土木構造物をつくるのに、経験や英知によってそれに適した場所を選択してきたが、自然がそのままの状態では計画にそぐわなくなったとき、自然を改造・強化する術を見い出し、これを発展させてきたわけであろう。

一般に自然を改造あるいは改良する場合、積極的にダイナミックに改造する、いわゆる土木的行為と、比較的になじむ方法で手を加える行為とがあるが、地盤（岩盤）改良工法あるいは、そのうちのグラウチング工法は後者に属しよう。このことは、改良結果を一つの形造られた実体として検証することが困難な一面をもつために、一般的には信頼性の低い技術として受けとめられているようでもある。それは、しいていうならば、合理的思考の過程を、でき上った実体の評価の根拠ともしている。

ダムグラウチング技術も、わが国ですでに数十年（少なくとも30年以上）の歴史をもち、基礎工事面では、程度の差こそあれ、必ずといってよいほど採用されてきている——ちなみに最近の中規模以上の既設ダムのグラウト工事費のダム工事費に対する比率をみると、公的資料やコストに数量を乗じた金額による試算では、一部の例外を除いておおむね3%から20%程度の範囲にある——今日、ある意味では、一つの転換期を迎えているようにさえ思える。というのは、グラウチング技術の位置づけが、ダムの立地条件やダムの基礎の状況の変化と無縁ではあり得ないからである。

## 2. ダムの需要とダム関連工学の多様化

最近、ダム関係の技術者の間で、官民を問わず、“地質的に問題のある地点にダムを建設せざるを得なくなってきた”ということがしばしば話題にされている。

アメリカ合州国のダム技術者である L.F. グラントは 1964 年の論文で、1963 年時点で建設中のダムをみると以前に比べて好適地に恵まれなくなり、ダムの地質状況は複雑化し、グラウチングなどの基礎処理の技術は、これに対応できる内容のもでなければならぬと述べている。この傾向は世界の先進工業国に共通したものと受けとめることができるが、わが国についてみれば、かけがえのない国土を国民的立場で効率的に総合利用する考えにも合致する。

建設省の調査によれば、わが国における昭和 60 年の水需要をまかなうためには、今後中規模以下も含めて全国に約 580 か所のダムなどの水資源開発施設を建設する必要があるとみられているが、経済予測や、農業用水の合理化、工業用水の回収利用といった施策の展望は、今後の情勢いかんでは変わりうるし、場合によっては水需要あるいはダム建設の必要数は大幅に上回る可能性さえ予想される。このことは、決して日本列島を改悪するといった一面的発想だけで受けとめるべきでなく、一つの重大な現実的認識ではなからうか。今後、この程度か、これに近いダムを建設するうえでは、いままで以上にさまざまな問題に直面するであろうし、ダムサイトの地質に関する問題点は多くなり、複雑化するであろうことは想像にかたくない。

一般に、コンクリートダムの基礎岩盤の設計安全率は、せん断摩擦安全率が 4 以上となっているが、今後、設計条件を満足させるためには、岩盤の評価と掘削置換などの基礎処理工法の検討や、その管理がさらにシビアに追求されてくるであろうし、一方では従来、設計段階でダムの安定計算上、厳密な数値として考慮され得なかった地下水理学的的安全性——パイピングや許容ないしは基準漏水量といった現実的課題として残されている要素——についても、十分な関心と考慮が払われてくるものと思われる。とくに後者については、グラウチング技術は、それによってでき上がった目的物を構造主体の一部としてみなされるだけのより重要な効果を確保することはもとより、その前提として、多くの技術的改善を果たしていかなければならないであろう。ところで、ダム基礎の評価や設計・施工について学問的ないしは工学的体系からみると、従来の土木工学や基礎工学、あるいは最近の岩盤力学を主体にした体系に加えて、新たな視点で、地質学、土質工学や地下水理学といった学問的ないしは工学を今後より積極的に包括し、これを有機的に組み合わせ総合化する必要性に迫られてくるのではなからうか。この方向は、ダム建設に関連してダムが自然環境に及ぼす影響、例えば上流域の予想以上の堆砂現象や下流の川底低下現象、湛水域内の地すべりや崩壊の発生、ダム周辺の大気や生態系の変化といった一連の事象に対応した学問

的とらえ方が要求されてきていることと無関係ではなくダム建設一つをとってみても、関連する諸科学を結集、駆使することが社会的要請となっているといっても過言ではなからう。その場合、個々の施工を担当する専門業者には、工学的分野において専門を生かすだけの建設的な寄与と役割が課されるであろうし、これらを総合する建設コンサルタントや総合建設業者には、高度な技術的判断が迫られるのは必然のようである。

### 3 ダム基礎の多様化と専門技術が生み出すもの

水の需要は、単に経済成長や人間活動の現況だけから考えられるべきでなく、人間活動と環境の合理的調和を踏まえた長期展望のもとに評価されることは当然であろう。しかし、それにしても、ダム建設の必要性は前述したとおり高まってきている。これには、もちろん利水目的のほか、治水、防災的目的をも包含している。

ダムの数の増加や、多目的化、大型化、さらには効率化に伴って、今後のダムサイトの自然的条件は多様化するきざしにある。そのうちでもユニークな前兆としてはいままでとかく回避されがちであった、いわゆる軟岩と称する新第三紀層や、これ以新の砂礫層、砂質土層、粘性土層あるいはシラスなどの火山灰層といった第四紀層を基礎とする箇所が漸増してくることをあげることができよう。また、河口堰、河口湖や湖沼開発などにおけるダムサイト、あるいは一昨年東京都が構想を発表した都市部の地中ダムといったサイトのほとんどすべては、上記の第四紀層を基盤としているのである。もちろん、ダム自身のタイプも、一つには基盤の地質の状況に対応して、応力のより小さいフィルダムが近年とみに多くなってきている。

一方、欧米先進諸国ではすでに砂礫層を基礎とする大規模なダム施工例は枚挙にいとまがないが、その代表例としては、フランスの Serre Ponçon ダム（高さ 129.5 m、1960 年完成）やカナダの Mission ダム（高さ 60 m、かさ上げ）やアラブ連合の High Aswan ダム（高さ 111 m、1971 年完成）などがあげられる。Mission ダムや High Aswan ダム下の砂礫層に対するグラウト孔の深度は 150 m ないしはそれ以上であり、グラウト総延長は後者では 23 万 1000 m にも及ぶ——ダムや基盤のタイプは異なるが、わが国の黒部ダム（高さ 186 m、1963 年完成）におけるグラウト総延長は、わが国で最も長く 17 万 m である。ダム工事費に対するグラウト工事費の比率は、概算ではあるが、High Aswan と黒部のいずれも、5% 前後にある。総貯水量は前者で 1640 億 m<sup>3</sup>、後者で 2 億 m<sup>3</sup> である。

それでは、わが国において、何故にこの種の砂礫層基礎のハイダム例が稀有なのであろうか。それは、国土の80%が山間地であるためだろうか。あるいは、河川勾配や河況係数が大きすぎるためだろうか。あるいは、そこまでの必要性がなかったためだろうか。もちろん、わが国で大型のフィルダムが本格的に築造され出したのは1960年代に入ってからであり、出発点では欧米先進国に比べておよそ20年のへだたりがあり、経験をとくに重要視しなければならないダム施工にとっては、一つにはこのような時代的ずれがあるのかもしれない。もっとも、第四紀層の基礎におけるグラウチングを科学的かつ工学的に評価するには、多くの不確定要素を解明していかなければならず、ダムの基礎の安定性に対して少なからず問題点が残されていることは否定できない。ごく最近になって、施工中の二、三の例、例えばしろがねダムや船明<sup>ふねあかり</sup>ダムの例をみることができ、一般に、前記のような基礎の問題に対応していくには、何といっても、まずこの問題に対してさまざまな分野の多くの技術者が関心を払うことであり、それによってこそシビアな基礎の評価と、安全でより効果的な基礎処理工法、およびその適切な品質管理や施工管理の進歩発展がうながされるであろうし、これに伴い、この種の基礎に対する設計安全率の見方も、よりシビアなものになっていくであろうと思われる。また、この過程でもたらされる技術的効果は、単にダム建設の範囲にとどまらず、例えば最近、構想が具現化するきざしをみせている都市部の地中ダムやこれに関連した地盤沈下対策、あるいは沖縄県下の離島の利水対策としての石灰岩中の地下ダムといった方面にも少なからず貢献できるといえよう。工法的にみれば、環境と建設との調和および遮水性と変形性の和合といった観点から、自然になじむ工法としてのグラウチング工法は、その他の、とくに電気化学的地盤凝結法などの地盤改良工法とならんで、有意義な特質を多分にもちうるように思える。もっとも、この工法自体も少なからず問題点、例えば効果や信頼性や、薬液使用の場合の耐久性や公害性といった問題点をはらんでおり、さらに科学的に解明していかなければならないことは論を待たない。ここで重要なことは、新たな基礎に対する処理工法の検討と採用にあたっては、既存の通念にとらわれず、国民的立場で、企業者、調査者、設計者、施工者および施工

管理者、さらには学識経験者との間に密接な対話と信頼関係が確立していることであろう。

#### 4 専門業としての責任体制の明確化

従来、グラウト工事はダム関係のみならず、都市土木の場合でも専門業者に依頼しているのが大部分であるが、発注者から元請、さらに実際の施工者に至るまでの受注機構がかなり複雑であり、その責任体制およびそれに伴う対価の支払方式についても疑問の多いことは十分にうかがえるところである。ここで注意しなければならないのは、前述したとおり、今日のように工事の規模が大きくなり、加えて作業環境や対象地盤の状況が複雑化・多様化し、種々の工法——それも専門的知識と技術を必要とする工法——が採用され、また、新たに開発導入されなければならない状況下では、元請は物理的にも専門業者を総括・管理することや、発注者との交渉に重点を置かざるを得なくなっており、安全性に欠かすことのできない高度の技術的判断が、ややもするとなおざりになりかねない傾向がみられつつあることである。この場合、元請は技術的判断やそれに伴う責任については実際の施工者にゆだねざるを得ない状況にあるが、反面、実際の施工者は必ずしもこれに十分に応じられるだけの体制をそなえていない面があることである。ましてや、前述した第四紀層を基礎とするすう勢に十分に安全に対応するには、これに見合った姿勢が必要となろう。そのためには、発注者も元請も専門業者も区別なく、今後のすう勢を真摯に受けとめて、お互いに請負形式とそれに付帯する責任体制の明確化、および仕事に対する適正な利潤の分配といった問題について、きたんなく、より積極的に対話と研究を果たしていく必要があるのではなからうか。もっとも、不確定要素を多分にもち、「やってみなければわからない」といった現場も少なくないことは事実であろうし、仕事の性質上、そういう要素が一部では本質的に含まれているのも見逃せないであろうことから拙速に事をおし進めるべきではないが、今日、再び原点にたちもどり、新たなグラウチングの位置づけとその役割および科学技術的評価と適正な経済査定などの問題点を基本的に煮詰め直す段階にあるように思えてならない。

(1974.1.17・受付)

## ダム基礎岩盤グラウチングの施工指針

A 5・78 900 円 会員特価 800 円 (〒 90 円)

## ダム基礎岩盤グラウチングの施工実例集

A 4・348 13 000 円 (〒 300 円)