

# 土木 むかし

## その (3) ダム の話

前田建設工業(株) 土木本部 土木技術部 設計技術グループ 副部長  
伊藤節男

今回は、ダムの一形式であるフィルダムの技術動向などについて述べた。今回は少し視点を変えて、ダムの基礎岩盤に対するグラウチングの技術動向の変遷を考えてみたい。

ダムグラウチングとは「地下に建設するダム」といわれるほど、ダム建設のなかでも重要な工事のひとつである。ここでいうダムグラウチングとは、ダムの基礎岩盤に存在する亀裂や空隙などにセメントミルクやモルタルなどを充填してダム基礎岩盤の止水性や強度の向上をはかることを目的としており、土木工事においては、地盤注入工法に分類される(次頁図表1を参照)。

地盤注入工法は、直接には目視することのできない地盤中の改良のため、他の土木工事とは異なり不

確定要素が多く、設計や施工およびその評価手法などにおいて難しい面が少なくない。こうした課題をいかに克服していくかということが、地盤注入工法の技術の発展に深く関与しており、今なお、その技術向上の目的となっている。

### ダムグラウチングとは

では、地盤注入工法のうち、ダムグラウチングについて、(財)日本ダム協会のホームページ (<http://www.soc.nii.ac.jp/jdf/>) にある「ダム事典(用語・解説)」を引用して説明したい。

一般に、グラウチングとは、セメントミルクやモルタルを空隙などに充填することをいい、グラウトということもある。ダム建設では、基礎地盤の改良などのため、セメントミルクを用いてグラウチングが行われ、その主な種類は次のとおりとなっている(18頁図表2)。

#### ① カーテングラウチング

ダムの基礎岩盤にカーテン状にグラウチングすることによってグラウトカーテンを形成する。これによって、遮水性を高め、貯水池からの漏水を防ぐようにする。通常、ダムの直下や両翼部でこの作業は行われ、またカーテングラウチングのうち、ダム堤体敷きの外側の部分はリムグラウチングと呼ばれる。

カーテングラウチングは堤体や取付道路の上から扇状に施工することもあるが、範囲が広いときはトンネルを掘ってその中から施工する。

#### ② コンソリデーショングラウチング

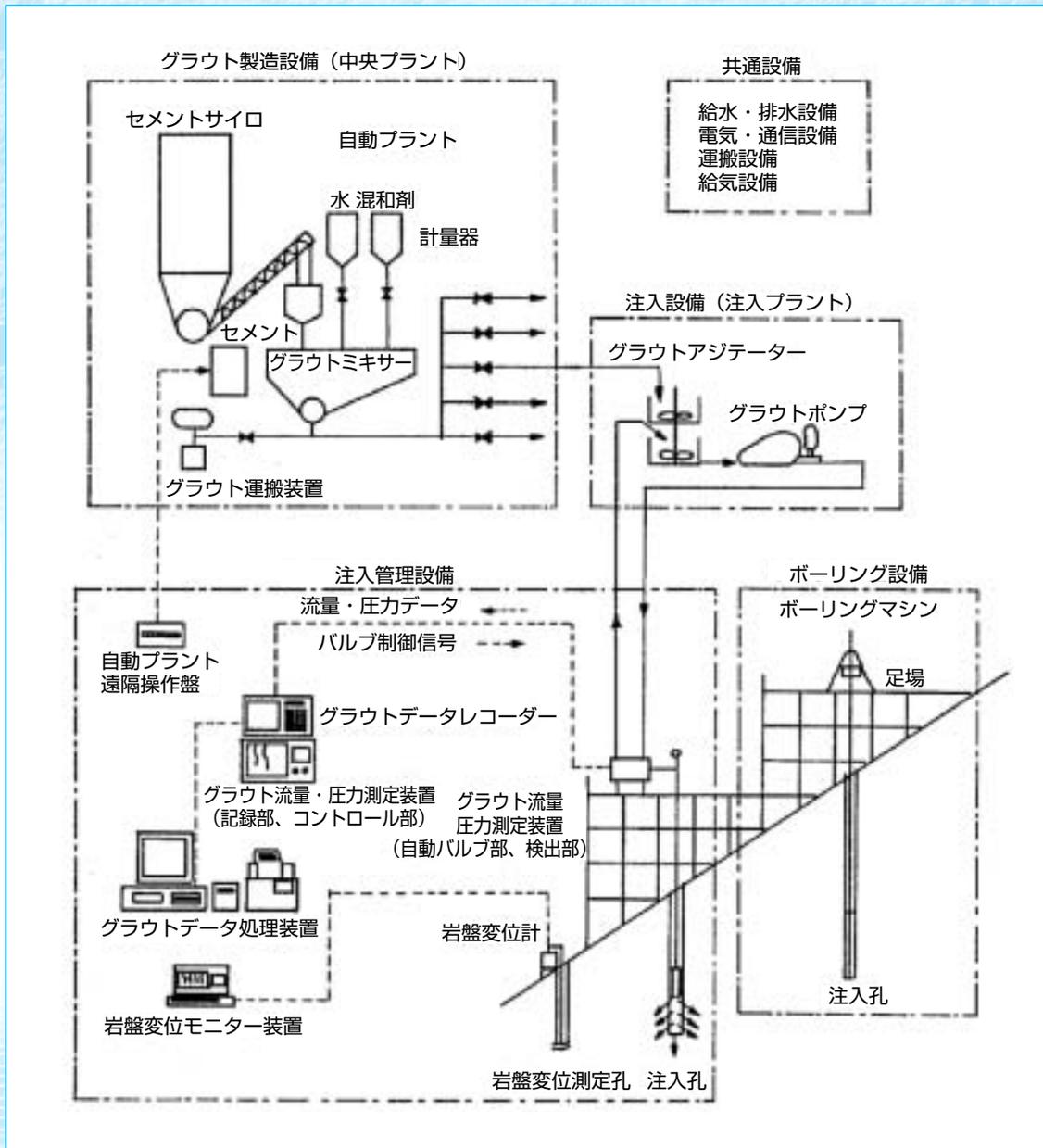
コンクリートダムの基礎岩盤について、地表からおおむね5~10mの比較的浅い範囲を対象に行われるグラウチングのことをいう。

基礎岩盤の強度や変形性を改良することが主な目的であるが、遮水性の改良にもなる。

#### ③ ブランケットグラウチング

フィルダムの遮水ゾーンと基礎岩盤との連結部分で実施するグラウチングのことで、岩盤内の割れ目にセメントミルクを注入するなどして、遮水性を高める。

図表1 ダムグラウチングの概要図



出典 最新地盤注入工法技術総覧編集委員会編『最新地盤注入工法技術総覧』（産業技術サービスセンター、1997年）  
417頁

以上のように、ダムグラウチングはダムという重要構造物を支える基礎地盤を改良するため、

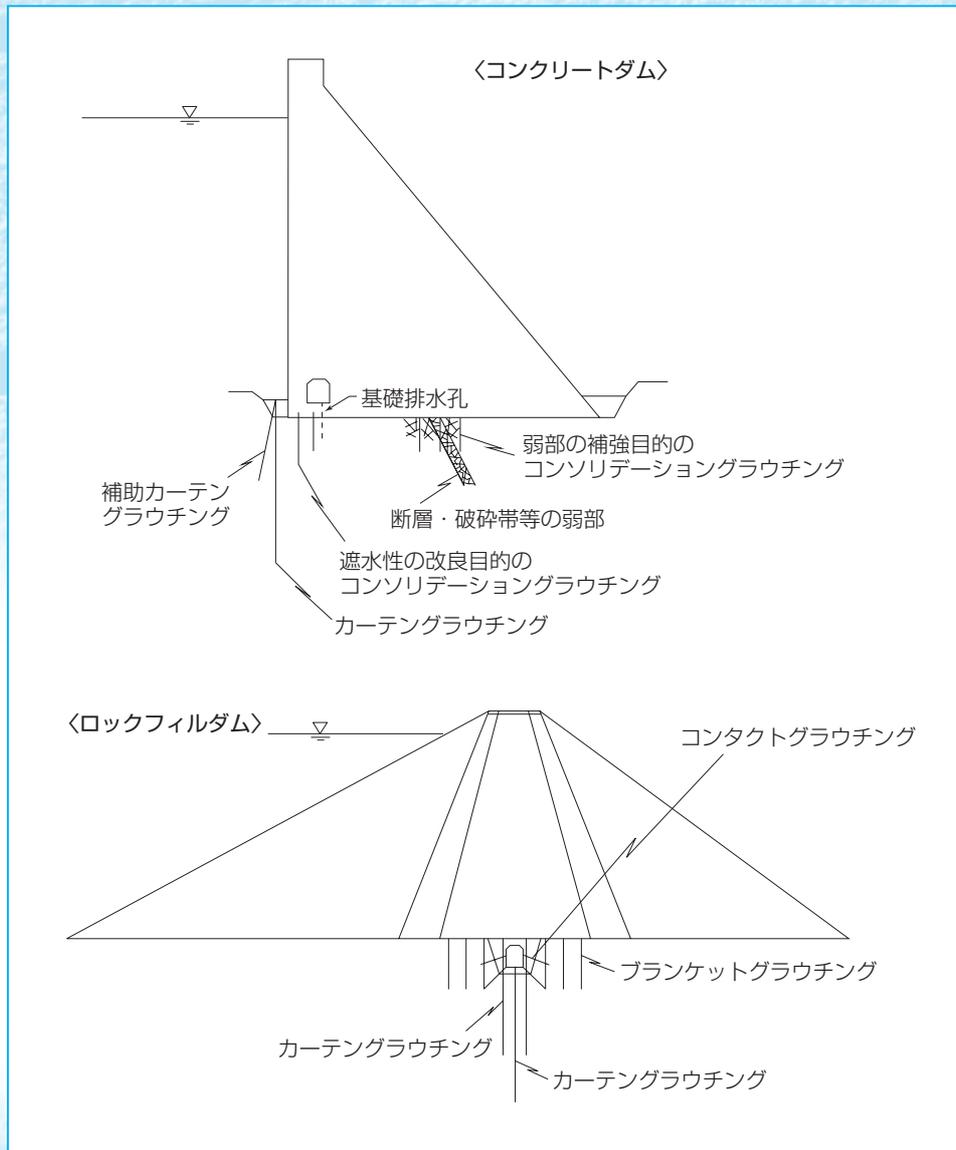
- ダムの荷重に耐える強さと耐久性
  - 水もれを防止する高い水密性
- が必要となる。また、
- 注入仕様(注入中の圧力、流量、注入材の配合など)が厳密に規定されていること
  - ダムの大規模化とともに工事数量が大きくなり、その工事費も膨大になる傾向にあること

などの特徴があり、これらの特徴は、ダム建設の変遷とその時代背景が大きく関与し、ダムグラウチングの課題として大きくクローズアップされている。

### グラウチングの歴史

ここでは、ダムグラウチングの技術動向を紹介する前に、まず、グラウチング（地盤注入工法）の歴史について少し話をしておきたい。

図表2 主なダムグラウチングの工種



出典 国土技術研究センター／編集『グラウチング技術指針・同解説』（大成出版社、2003年）7頁

地盤注入工法は、今から約170年前（1802年）にフランスのシャルウ・ベニールによって始められたといわれている。当初は、セメントグラウチングを主体とし、水門の補修、橋梁基礎の補強、立坑の沈下対策に適用され、次第にダムの基礎地盤に適用されるようになり、欧米において岩盤を対象としたダムグラウチングとして体系化されることとなった（次頁図表3）。同様に、1900年代の初頭にケミカルグラウト（水ガラスを使用した注入材）として、土質系地盤を対象としたいわゆる薬液注入工法が開発された。

一方、わが国のダムグラウチングは、戦後、欧米で体系化された技術を導入することから始まった。導入当初は、試行錯誤しながら施工していたが、わが国においてもその体系化が望まれるようになり、以下のような指針が順次制定され、わが国のダムグラウチングが体系化された。

- 1972年 ダム基礎岩盤のグラウチング施工指針
- 1977年 ルジオンテスト施工指針
- 1983年 グラウチング技術指針
- 1984年 ルジオンテスト技術指針

図表3 世界の地盤注入工法の動向

年 代	動 向
1802年	フランスで水門基礎のパイピング補修に適用
1802年～1809年	フランスの水門、港の補修や建設にモルタルグラウチングが適用
1838年	レバー式のポンプにより、石造ダムにおける微細クラックに適用
1839年	ピストンポンプにより、橋梁基礎の補強に適用
1840年	石灰とセメントの混合材を水門補修で使用
1845年	アメリカで水路基礎にセメントグラウチングを適用
1856年～1858年	イギリスで水中のルーズな岩石を固化させるグラウチングを施工
1864年	ドイツで鉱山の立坑の1つにセメントミルクを注入
1869年	テムズ地下鉄のトンネルライニングの裏込めに石灰グラウトを注入
1876年	Thomas Hawksley によって、ダム基礎岩盤の割れ目にセメントグラウチングを施工
1882年	フランスの炭坑の立坑の沈下補修に適用
1884年	防波堤の延長工事にセメントグラウチングを適用
1891年	橋脚の基礎工事に於いて緩んだ基礎岩盤を固めるためにセメントグラウチングを施工
1892年～1893年	アメリカでパッカーを使用した水圧テストを実施
1893年	アメリカのダムで岩盤を対象とする大規模かつ体系的なグラウチング
1896年	エジプトでダムおよび水門の漏水対策に粘土、セメント、石灰の注入
1901年	アメリカのダムでグラウチングによる遮水が施工
1908年	イギリスのダムで著しい漏水対策、基礎地盤にグラウチング
1910年	アメリカの Estacada ダムのグラウチングが技術論文として ASCE に報告
1911年	イギリスの炭坑の立坑の沈下対策にケミカルグラウトが適用
1919年	アメリカのダムでアスファルトグラウチングが適用
1925年	Joosten がケミカルグラウトについて特許取得
1932年	Hoover ダムにおいてダムのグラウチングの体系化が図られる
1933年	透水基準としてルジオン値が使用された
1949年～1956年	アメリカの工兵隊で岩盤の割れ目のセメントグラウチングの研究
1958年	アメリカの土木学会でセメントおよび粘土グラウチングのシンポジウム
1982年	アメリカの土木学会でグラウチングに関する会議開催

出典 最新地盤注入工法技術総覧編集委員会編『最新地盤注入工法技術総覧』（産業技術サービスセンター、1997年）より抜粋

さらに、わが国の経済情勢が戦後の復興期を経て、高度経済成長期、経済安定期、バブル期と変化していくなかで、ダムの建設もその規模が大型化するとともに、地質条件に恵まれない地点でのダム建設が多くなった。そのため、ダムグラウチングの重要性が高まるとともに、その工事数量が増大していくこととなった。そこで、グラウチングの施工コストの軽減をはかることを目的にグラウチング技術指針の改訂版として、2003年にはグラウチング技術指針・同解説が制定された。これは、ダムの安全性を損わないことを大前提として、

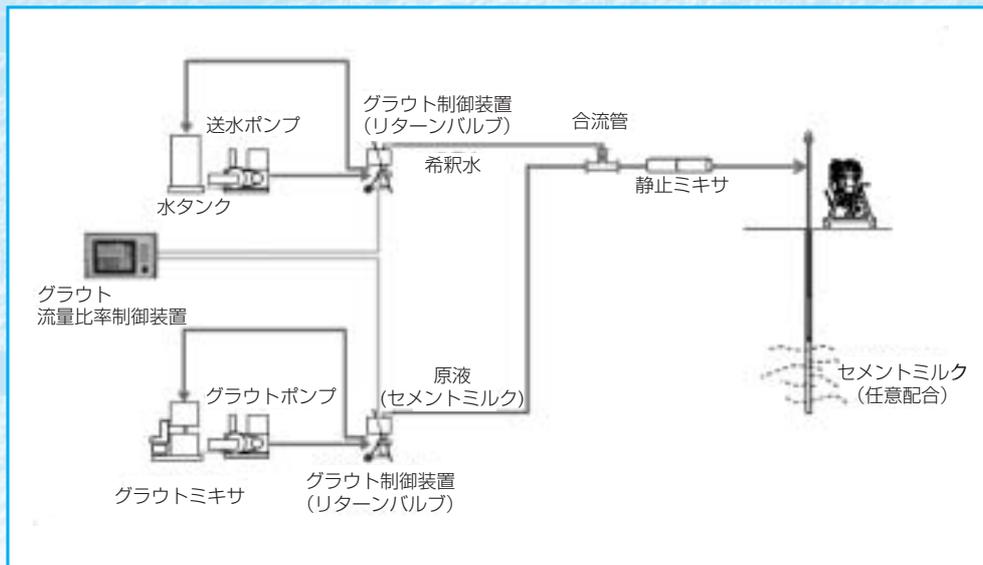
- ① グ라우チング本来の施工目的・施工範囲の明確化

- ② 基礎地盤の状況に適したグラウチングの実施
  - ③ 施工状況に応じたグラウチング仕様の継続的な見直し
- を柱としている。これによって、現場の技術者が個々のダムの特性を踏まえたうえで技術的な判断を行い、合理的なグラウチングを実施していくことができるようになった。

### 最近のダムグラウチングの技術動向

近年のダムグラウチングの技術動向は、グラウチング機械（ミキサー、ポンプ、プラントなど）の開発とともに進展してきた。さらに、ここ最近はコン

図表 4 Multi CO-MIX の概念



コンピュータに代表されるIT技術の導入により、グラウチング技術も大きく変わろうとしている。

#### (1) Multi CO-MIX

ダムグラウチングは、主にセメントミルクをダム基礎岩盤に、より効率的に注入することが望まれる。このため、注入中の圧力や流量、配合を制御パラメータとして注入されている。現行のシステムでは圧力や流量の連続的な変更は可能であるが、配合は一定量（バッチ単位）ごとでなければ変更は困難であった。そこで、配合も連続的に変更できるようにしたのがこのMulti CO-MIX（図表4）である。

Multi CO-MIXは、一定配合のセメントミルクと水の流量を連続的に制御して混合させることにより、配合の連続的な変更を可能にしている。これによって、リアルタイムに対象岩盤の状況に見合った圧力、流量、配合を設定することができ、効率的な注入およびグラウチング作業の合理化が達成される。

#### (2) グラウトインスペクターシステムNT

グラウチングは、工事の進捗に応じて、地質条件や改良状況が複雑に変化するため、定期的に施工情報の分析、計画の検証・見直しを行い、施工にフィードバックすることが求められる。また、グラウチングの工事数量の増大にともない、情報量（注入量、注入圧力などのグラウチングデータ）も膨大となり、これらの情報を効率よく管理する必要が生じ

てきている。そこで、IT技術を導入したグラウトインスペクターシステムNTが開発された。

グラウトインスペクターシステムNTは、インターネットを介してこれらの情報を発注者、建設コンサルタント、施工業者の間で共有化して、グラウチングの品質向上、工期短縮を目指したシステムであるといえる。

以上、2つの技術を紹介したが、そのほかにも動的グラウチング工法や高濃度－低圧注入型グラウチング工法などグラウチングの合理化を目指した多くの技術が開発されている。

\* \* \*

グラウチングは、地中の目に見えない地盤の改良を行うことから、完璧な効果を望むことが難しいのが現状である。そのため、今後とも設計、施工、評価技術のさらなる開発が望まれる。

#### 【参考・引用文献】

- 「ダム事典（用語・解説）」（日本ダム協会HP）
- 最新地盤注入工法技術総覧編集委員会編『最新地盤注入工法技術総覧』（産業技術サービスセンター、1997年）
- 飯田隆一『ダムの基礎グラウチング』（技法堂出版、2002年）
- 国土技術研究センター編『グラウチング技術指針・同解説』（大成出版社、2003年）