

土木 むかし

その(2) ダムの話

前田建設工業(株) 横浜支店 土木部長
西本哲二

前回ではダムの概要、概略について述べてきたが、今回は「フィルダム」を取り上げる。

人類が狩猟や魚を採取して生活していたころは、飲料水や生活雑用水として自然の川あるいは湧水をそのまま利用するだけであったが、定着して農耕を始めるようになると、各所に溜池をつくり、水を安定的に利用できるようにした。これがダムの始まりである。これらのダムは、すべて土や岩で築造されたフィルダムであった。

このように人類は水を飲料、生活用水、灌漑用水として利用してきたが、近代の産業革命以降、新たに工業用水や動力として水力発電への利用が始まり、水利用は多様化、大量化していった。また、商工業が盛んになり都市部に人口が集中するようにな

ると、洪水から人命・財産を守る必要性が高まり、洪水調整の役目も担うようになった。

しかし、18世紀にセメントが発明されて以来、19世紀後半以降にはコンクリートダムの築造が盛んになり、まだ工学的な裏づけがなく、旧来の経験工学的な手法に頼らざるを得ないフィルダムの築造は、大規模ダムではほとんど見られなくなっていった。本格的でしかも大規模なフィルダムの築造は、土質力学、土質工学が発展し、その成果がダム築造に応用され、工学的な手法が採用されるようになる1940年以降まで待つ必要があった。

フィルダムの特徴

フィルダムは、ロック・砂礫・土質材料等を盛り立てて築造するダムの総称で、コンクリートダムと対比して用いられる。堤体の大部分を構成する材料の種類、特にその粒径により区分して、ロックフィルダム、アースダムに分類することもあるが、最近では、遮水機能に着目し、均一型・ゾーン型・表面遮水壁型に分けられる(次頁図表1)。

また、その特徴として次の4点が挙げられる。

- ① コンクリートダムに比べて基礎岩盤の強度が小さくても建設が可能
- ② ダム地点付近で得られる自然材料を利用できること
- ③ 材料に応じた堤体構造を考え、経済的に、しかも高い安全性を有した設計が可能
- ④ 施工の機械化率が高く、工程に応じた最適機械が投入可能

このようにフィルダムには、ダムサイト近くに適切な盛立材料があれば、合理的にしかも安全性に優れたダムを築造することができる大きな利点がある。ダムの材料は、その所要の品質の確保は無論のこと、必要な量(賦存量)の確保もきわめて重要である。コンクリートダムと異なり、あくまでも性状のバラツキが大きい自然の材料を使用するため、計画時の調査はもちろんのこと、着手後直ちにシステ

図表1 フィルダムの分類

名称	略図	概要
均一型ダム		① 細粒の土質材料 ② ドレーン
ゾーン型ダム		① 透水性材料 ② 半透水性材料 ③ 遮水材料
表面遮水壁型ダム		① 遮水壁 ② 透水性材料

出典 (旧)建設省『建設省河川砂防技術基準(案)』(山海堂、1997年)より抜粋

マチックに立坑等を掘り、その性状、賦存量の調査を実施する必要がある。

必要な材料特性には含水量、粒度、重量等が挙げられる。現場で得られる材料で盛立試験を実施し、所要の物性値を満足する適切な転圧機種、転圧回数、撒きだし厚さを決定する。わが国で自然に得られる土質遮水材料は、気候が多雨多湿であることから湿潤側であることが多く、原石山でのトレンチ掘削による排水促進、廃棄風化岩等の乾燥材のブレンド混合、またはストックパイルによる圧密排水促進により、含水量の低下を図る場合も多い。また、均一型やゾーン型では、ゾーン間の速やかな排水(フィルター)機能および土粒子の流出(パイピング)防止機能が重要なため、グリズリや破碎プラントで粒度調整を行うこともある。

わが国は1年を通じて気象の変動が大きい、季節や天候を考慮した盛立材料の事前のつくり込みが重要であり、施工技術者には設計者に要求されることと同様の技術知識と総合的な判断を要求されることが多い。

わが国の近代化施工の歴史

わが国のフィルダムが近代的な土質理学の理論を取り入れ、ダムの基礎および築堤材料の物理的、力

学的試験を行い、基礎および材料の性質を把握して合理的に設計し、大型機械を駆使して施工できるようになったのは第2次大戦以後のことである。戦前は技術者の勘や経験により設計され、機関車・トロッコ・ウィンチ・簡易索道など、わずかな機械を使用するだけでほとんどは人界戦術であった。

戦後はじめてつくられた近代的なダムは、昭和28(1953)年に完成した石測ダム(建設省、H=53m)、ついで昭和29(1954)年に野反ダム(東京電力、H=44m)が完成している。これらはいずれも鉄筋コンクリートによる表面遮水壁型ダムである。続いて、農林水産省の発注により山王海、西郷、羽鳥の各ダム(アースフィルダム)が築造された。この間に土工事は戦前の機関車を中心とする工法から、パワーショベルとダンプトラックの組合せによる工法に変わった。

土質遮水壁を用いた大規模なゾーン型フィルダムは、土質材料が湿潤側で最適含水比による施工が困難であると考えられ、なかなか採用されなかった。しかし、ストックパイルによる含水比調整管理や品質管理手法等の米国からの技術導入および大量の輸入大型重機械の駆使により、昭和35(1960)年に御衣ダム(電源開発、H=131m)が完成した。これ以降、本格的なロックフィルダムの時代が始まった。そして、重機械のさらなる大型化による土工事能力の向

図表2 ダム大型重機械の推移

ダム名	盛立完了年	堤体積 (千 m ³)	主運搬機械	主積込機械	土質遮水材		ロック材	
					層厚 (cm)	締固機	層厚 (cm)	締固機
御母衣	1960	8,095	22tDT	4.5m ³ 電気ショベル	20	20t シープスフートローラ	—	4 mの高さより投石後 モニターによる射水締固
九頭竜	1967	6,135	30DT	4.5m ³ 電気ショベル	20	20t シープスフートローラ	100~ 400	30DT & 36t ブルドーザ
高瀬	1978	11,586	35tDT	9m ³ ホイールローダ	30	13t 振動ローラ	100	13.5t 振動ローラ
手取川	1978	10,050	45tDT	9m ³ ホイールローダ	20	30t タンピングローラ	100	18t 振動ローラ
玉原	1981	5,440	45tDT	9m ³ ホイールローダ	20	30t タンピングローラ	100	13.5t 振動ローラ
栗山	1985	2,517	45tDT	9m ³ ホイールローダ	20	30t タンピングローラ	120	13.5t 振動ローラ
八汐	1985	2,037	45tDT	10m ³ ホイールローダ	—	—	120	13.5t 振動ローラ
奈良俣	1988	13,259	80tDT	10m ³ ホイールローダ	30	18t 振動ローラ	100	18t 振動ローラ
上日川	1996	4,115	45tDT	12m ³ ホイールローダ	20	30t タンピングローラ	150	18t 振動ローラ
南相木	2003	7,368	90tDT	12m ³ ホイールローダ	30	18t 振動ローラ	150	18t 振動ローラ

写真1 高瀬ダム盛立機械稼働状況



上や、振動ローラ等の起振力アップによる撒きだし厚さの増厚により高速施工が可能となり、高瀬、手取川、奈良俣ダムと1,000万 m³以上の堤体積の大型ロックフィルダムが相次いでつくられるようになった(図表2、写真1)。

技術の変遷および最近の技術動向

前述したようにわが国の土質遮水材は、気候の関係上、湿潤側である場合が多くしかもそのバラツキが大きいことから、単体で質・量とも満足する材料を確保することは難しい。最近では、原石山風化岩等を乾燥材として添加混合し含水量調整することが、通常、行われている。

具体的には、次頁写真2のように積層仮置を行って重機で切り崩し混合し、均一な土質遮水材を確保する。平成17(2005)年に完成した南相木ダム(東京電力、H=136m)では、採取場から得られる材料の品質(粒度、含水比)に応じて湿潤材と乾燥剤の混合比(層厚)の変更を5層ごとに行い、仮置全体が均一になるように平均値管理を実施した。しかし、

まだ層間ごとのバラツキがあるため、重機によるスライス混合を行い、切崩後の材料のバラツキが小さい均一な材料を造りこむことができた。

目覚しい進歩を遂げる品質管理手法

また、所要の物性値が確保されているか確認する品質管理手法の進歩もめざましいものがあった。ダム盛立ての品質管理として、盛立前に盛立材料として使用してもよいか、盛立後は所要の物性値を満足しているか、決められたロット（日、層、盛立量）ごとに試験して確認をする。土質遮水材の場合は盛立面に穴を掘り、砂置換法により密度、含水量を測定するが、試験に労力と時間を要し、物性値が満足できなければ次層の盛立てができず、試験の簡便化が施工能率向上の大きな課題であった（写真3）。

昭和47（1972）年ごろから、表面型 RI（ラジオアイソトープ）密度・水分計が使用されるようになり、労力や試験時間の短縮が大幅に向上した。この方法は、線源より放出された高速の中性子が、土中の水素原子により減速され、遅い熱中中性子になる性質を利用して水分量を求めるものである。また同時に、 γ 線が地中を通過するとき、土粒子に衝突して散乱する性質を利用して土の密度も求められる（写真4）。

しかし、この表面型 RI は固定式のため測定容積が小さく、粗粒材の混合率により測定値のバラツキが発生する欠点があった。これを補正するため、同じ地点で向きを 90° ごとに換え、その平均値を測定値としてきた。最近では、浮上式の検出器が自動的に 360° 回転し、補正の必要のない自動走査式 RI 密度計（SRID）が使用されるようになった。これによりバラツキが平均化された値を自動的に求めることが可能になった（次頁写真5）。

ロック材の締固管理は、盛立面に穴を掘る水置換法により行われてきたが、土質遮水材以上に多くの労力と時間を要することから、必然的に測定頻度も少なく“点管理”となり、結果的に安全側に管理せざるを得ない欠点があった。

南相木ダムでは、振動ローラーに加速度計を取り

写真2 切崩し混合状況



写真3 密度砂置換法



写真4 表面型 RI 密度計



図表3 締固管理システム概要図

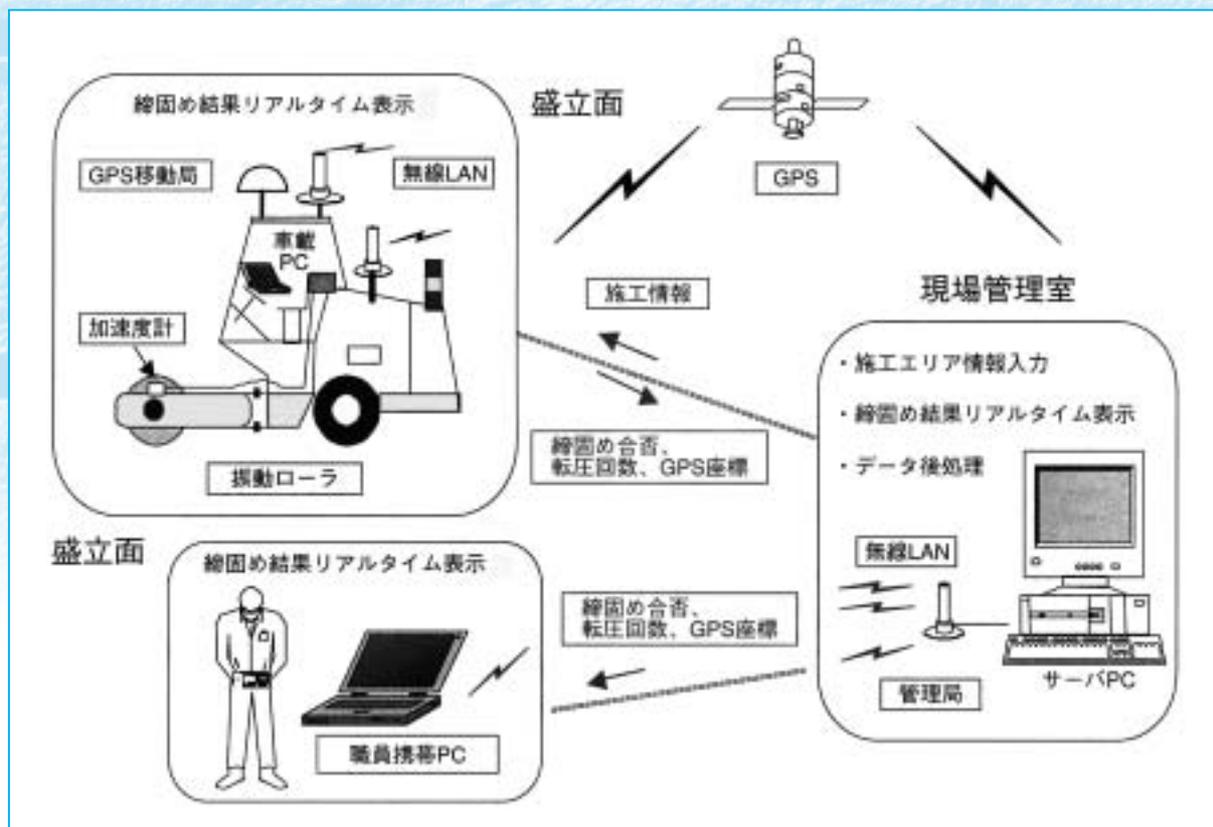
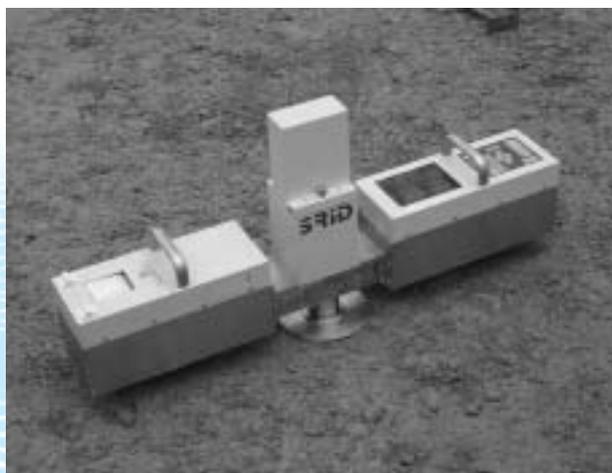


写真5 自動走査式RI密度計



つけ、振動ローラの加速度応答が地盤の締固めに
 応じて変化する現象を利用し、転圧中の振動ロー
 ラーの加速度データから密度を判定するシステムを
 採用した。この方法では、施工面全体にわたって品
 質を判定するため、従来の方法に比べ、高精度で効
 率的な盛立品質管理を行うことができた。したがっ
 て、これまでの管理頻度の少ない品質管理手法（水

置換法）では判断できなかった材料を、有効に活用
 することが可能となった。

また、加速度計、GPSと無線LANを組み合わせて
 締固管理システムを構築した（図表3）。これに
 より、現場内および十数km離れた現場事務所から
 でも、リアルタイムに締固状況が確認できるよう
 になった。また、振動ローラ運転席に設置している
 ノートパソコンで、オペレータが転圧軌跡、転圧回
 数、および転圧効果を直接視認できるため、転圧不
 足を未然に防止でき、結果的に効率の良い施工を行
 うことができた。

計測したデータは1か所で集積され、平面・断面
 上での内部摩擦角に分布、ヒストグラム等の後処理
 を行い、視覚的にも盛立仕上がり品質を確認するこ
 とが可能となった。

【参考文献】

- (旧) 建設省『建設省河川砂防技術基準（案）』
 （山海堂、1997年）
- 日本ダム協会『ダム年鑑』（日本ダム協会、2005年）