

岩塊盛土の今昔

古 屋 弘

盛土に用いる土については、施工が容易で、盛土の安定を保ち、かつ有害な変形が生じないような材料を用いることが原則である。しかし、経済性や環境に対する配慮も含め、盛土材料としては可能な限り現地発生土を利用する必要もある。今回取り上げる岩塊は、土工にとっては施工上の考慮を行わなければならない材料の一つであり、最大粒径および粒度分布に注意することにより、工作物の埋め戻し、構造物の裏込めをはじめ、ロックフィルダム、道路などの路体、空港の高盛土造成などの工事に適用されてきた。さらに近年では、施工機械の大型化と高性能化により、盛土の要求性能を確保しつつ厚層化による施工の効率化も実現している。

本報では、岩塊盛土の特徴と施工方法に関して、「岩塊盛土の今昔」と題して利用の変遷を概説し、近年の岩塊盛土の施工方法を紹介する。

キーワード：土工、岩砕盛土、岩塊、転圧

1. はじめに

近年では新しいインフラ整備の勢いは弱まってきてはいるが、新たな道路や鉄道路線建設なども進められている。それらは高規格なものとするため線形を維持することが求められ、山間部では橋梁やトンネルの施工が多くなってきている。このような場所では、切盛りが多く、長大トンネル掘削にともない発生する岩砕なども、発生土の有効利用の観点から盛土材料としての適用が求められている。しかし岩塊は通常の盛土材料の粒度特性とは異なり、大粒径で粒度分布が悪い材料であることが多く、敷均しや締固め作業が難しく取り扱いにくい材料でもある。一方で岩塊は、使用に関して留意しながら施工を行うことにより、軟岩材料を除いて盛土としてできあがった時には安定性が高いことが特徴である。例えば、岩塊材料を用いて盛土を施工する場合、図-1に示すようなゾーニング盛土を行ったり、リップラップへ大塊を用いたりすることも行われている。この際前者では、盛土部では岩塊の最大粒径を制限するとともに、出来るだけ小割にして施工を行う事を基本とし、また、リップラップでは岩塊の隙間を細粒土で埋めるなど盛土の密度を高めるための施工の工夫を行い、安定性の高い盛土を施工することを基本としている。

岩塊盛土は、上記のような施工場所の要件から以前よりも扱う機会が増えつつあるが、これらの実現には、

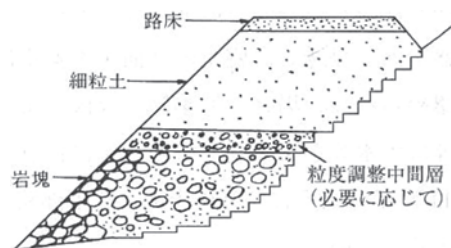


図-1 岩塊の有効利用の例（盛土体への利用の一般例）

施工機械を含む施工の高度化が果たした役割は大きい。さらに、近年の災害に対する復旧工事では「強化復旧」（現状有している機能以上の性能で復旧する）が実施され、岩塊盛土の性能の特長を生かし（現地発生土の有効活用という観点とともに）、高機能な盛土造成にも寄与できる可能性も高い。このためには、岩塊盛土に関しては、計画から設計・施工、維持管理まで入念な検討を行い、有効に活用することが重要である。

2. 岩塊盛土の施工の特徴

土工においては、経済性のみならず環境保全の観点から、現地発生土を有効に利用することが望まれている。この発生土の利用の目安に関しては、詳細な工学的な判断によることはもちろん重要であるが、参考文献1)に示されるように第1種または第2種建設発生土に分類され²⁾、その性状やコーン指数などにより判定し、この結果により適用用途を決定することが多

表一 1 岩塊材料による盛土の留意点

分類	主な岩種	材料特性	使用にあたっての検討項目	施工上の留意点
硬岩	火成岩類 花崗岩, 石英斑岩, 流紋岩, せん緑岩, 玄武岩, 石灰岩など	・せん断抵抗角が大きい ・透水性が良い ・産出時の最大粒径が大きい ・材料が分離しやすい ・密度管理が困難 ・植生が困難	・小割にしない場合, 岩の 施工部位, および施工方 法を検討 ・周辺での施工実績の調査	・一層あたりの撒出し厚は最大粒径の1~1.5倍とする ・材料分離を起こさない敷均し方法を検討 ・大きな岩塊は, 盛土下部やのり面に集めるなどの工夫 (ゾー ニング: 図一1 参照) ・適切な施工機械の選定 (施工厚に見合った締固め機械を検討) ・岩塊上の盛土上部に細粒材を用いる場合, 粒度調整層を設ける (図一1 参照) ・締固めは振動ローラを基本とし, 締固め管理は特に入念に行う ・試験施工により施工方法を決定する (品質規定併用の工法規定)
中硬岩・ 風化岩	変成岩類 (堅岩・ぜ い弱岩に含まれない もの), 片岩, 片麻岩, 粘板岩など	・産出時にぜい弱岩の判定 が必要	・岩のスレーキング試験 ・岩の破碎試験	・締固めは振動ローラを基本とする ・締固め度による管理が実施可能
軟岩, 風 化軟岩	第三期の堆積岩, 泥 岩, 頁岩, 凝灰岩, 砂岩など	・スレーキングするものが 多い (泥岩, 頁岩, 凝灰 岩) ・盛土後の圧縮性を考慮し た計画が必要 ・pHの低いものが多く植 生が困難	・露頭している岩の風化状 況の確認 ・岩のスレーキング試験 ・岩の乾湿繰り返し試験 ・岩の破碎試験 ・周辺での施工実績の調査	・破碎転圧を行う事を基本とし, 大型振動ローラ, タンピング ローラなどによる入念な転圧を行う ・締固め管理は空気間隙率 (15%以下が基本) とする ・十分排水対策を検討する ・高盛土では極力利用しないことが基本であるが, やむを得ず 使用する場合は, 沈下による支障が生じにくい構造または補 修にしやすい構造を検討する ・擁壁背面, 構造物・バックスカルパートの裏込箇所には用い ない

い。岩塊に関しては、これらの基準により最大粒径および粒度分布に注意することにより、工作物の埋め戻し、構造物の裏込めをはじめ、さまざまな工事に適用されてきた。しかし、例えば泥質岩砕の締固め特性に及ぼす粗粒分の影響評価などの問題も挙げられており³⁾、施工時の取り扱いには十分な注意が必要である。

このため、岩塊を盛土材料として利用する場合は、母材である岩の種類に留意して施工方法を決定する必要がある。岩塊を盛土に利用する場合の施工の留意点を以下に記述するとともに、表一1にまとめる。

(1) 硬岩による岩塊

硬岩の岩塊そのものの性状は、転圧時の破碎や気象による細粒化などの変化が起きにくいいため、安定した材料であるといえる。一方でこのような性質から、採取時・産出時の岩塊の最大粒径が大きく、近年では1層の仕上がり厚が30cm以上となるように計画することが多い (日本においてロックフィルダムに使われる岩塊の最大粒径は約2m)。施工時には敷き均し圧の目安を最大粒径の1.0~1.5倍とすることが多く、後述する厚層締固め固めを用いることもある。施工時には大小の粒径が混じり合うことが多く、敷均し時に礫だまりができ空隙ができやすいことから、材料分離を起こさないようにブルドーザやバックホウで丁寧に敷き均すとともに、隙間への土砂充填も必要に応じて実施する必要がある。

岩塊盛土に対して一般に言えることであるが、大型の振動ローラを用いて入念に転圧を行う必要があり、使用機械および転圧回数などを含めた施工方法は試験

施工により決定する必要がある。

(2) 硬岩よりやや弱い岩塊 (中硬岩) および風化岩

施工時に転圧破碎する岩であり、基本的には硬岩の施工に準じる。入念な施工を行うことにより安定性の高い盛土を造成できる材質である。岩塊の中では扱いやすい材料であると言える。

(3) 軟岩, 風化軟岩

岩塊の分類⁴⁾で規定されている第三期以新の堆積岩 (泥岩, 頁岩, 砂岩など) のほか、風化した蛇紋岩, 圧碎岩, 風化結晶片岩, 凝灰岩, 変成した安山岩など、膨潤性およびスレーキングを起こす材料が多く、施工において最もやっかいな岩塊である。これらの材料は産出時 (切土部で地山から崩した時点) には強度も大きいですが、スレーキングなどにより、盛土完了後に大きな圧縮沈下を起こすこともあり、さらにこのスレーキングに起因して地震時に崩壊した事例もある。このため、これらの材料を使用する場合は、材料採取場所においてできるだけ小粒径になるように掘削や産出方法を検討すること、また薄層まき出しでタンピングローラや大型振動ローラ等で転圧破碎を行い、空隙ができる限り小さくなるような施工方法を用いる必要がある。また、乾湿の繰り返しにより細粒化が促進されることから⁵⁾、降雨対策や排水処理を入念に行う必要がある。

3. 従来の岩塊盛土の施工

岩塊盛土は、従来は施工機械 (特に締固めに用いる

転圧機)に起因する転圧効果や施工性から、30 cm 以下に小割りし、30 cm 以下の仕上がり層厚になるように盛土することが一般的であった。これは、1960 年代後半までは大型の振動ローラが存在せず(自走式の大形振動ローラが国内で生産され始めるのは1980 年代以降)、起振力 50 kN クラスの振動ローラ、または運転質量 150 kN クラスのタイヤローラが用いられていたためである。なお、一部では被牽引式の大きなローラも用いられていたようであるが、後年、取り扱いの容易な自走式ローラに取って代わられた。

ところで、岩塊盛土と言えばフィルダムの施工であるが、1950 年代、現在のような大型機械も少なかった時代には、様々な工夫で施工を行っていた。日本で初の本格的ロックフィルダムである石淵ダム(岩手県、堤高 53.0 m、1945 年着工・1953 年竣工:ただし、竣工では小測ダム(岐阜県、堤高 18.4 m、1951 年竣工)が先)では、岩石を投石してこれを高圧水で締め固めてダム本体を盛り立てる、投石・射水による施工が行われた。岩塊の締め固めもさることながら、当時は掘削機や運搬設備も現在のような大型機械が無かったことから、施工の苦勞が偲ばれる。この小測ダムの成功を経て、御母衣ダム(岐阜県、堤高 131.0 m、1957 年着工・1961 年竣工)では、石淵ダムと同様に投石・射水による施工で、最大粒径 2.0 m の岩塊の堤体施工を行った。1960 年代に着工したフィルダムでは、大型の機械が登場し、投石によらず現在のような締め固め方法での岩塊盛土の施工に代わっていったが、道路土工など一般盛土への岩塊の適用に関する基準などは、締め固め機械の進歩と相まって 1980 年代以降に提案されることとなる。1960 年代までの主なダム盛土に関して、表一 2 にまとめる。

4. 機械施工の進歩に伴う岩塊盛土手法の変遷

岩塊盛土の利用は、経済発展とそれに伴う社会イン

フラ整備に伴い、造成や道路工事などで必要性が高まり、特に山岳部での造成において解決しなければならない課題であった。高度成長期には建設需要も大きく、空港や高速道路の整備が急速に進み、それに伴う土工の増加で、必然的に岩塊を取り扱う必要があったからである。1980 年代後半からは、建設機械の高性能化と大型化が進み、特に掘削・積込み、運搬機械の大型化が著しく進み、施工能力が飛躍的に増大していった。さらに締め固め機械も 1990 年代に巨大振動プレート(例えば図一 2 参照)や、転圧力 300 kN 級のローラが出現し(SV160DV:酒井重工業株、1996 年)、岩塊盛土の施工における品質確保にも目処が付きつつあった。しかし、フィルダムでの岩塊の取り扱いとは異なり、一般的な土工では締め固めの層厚規定は旧来のままであり、200 kN 級の振動ローラを用いた場合を想定し、仕上がり層厚 30 cm を設定することが多かった。



図一 2 1990 年に開発された巨大振動プレート⁵⁾

このような施工能力と設計・施工管理要領の不整合を調整すべく、当時の日本道路公団は 1983 年に岩塊・転石を取り扱う場合の考え方に関して基準化を図った⁶⁾。ここで盛り込まれたのは、岩塊の大きさに起因する盛土の厚層化で、盛土の要求性能を満たしつつ仕上がり層厚を厚くするための各種試験と検討が行われ⁷⁾、振動ローラの転圧力(自重+起振力)を 320 kN 級に限定することにより、仕上がり層厚 60 cm の厚層転圧を許容し、岩塊の適用範囲を広げた。表一 3 には、現在、東・中・西日本高速道路株で実施されている施

表一 2 1950 ~ 1960 年代の主なダムの盛土方法

ダム名	場所	ダム 堤体高 (m)	盛立・締め固め方法	最大粒径	着工/竣工年
石淵ダム	岩手県	53	投石・射水	—	1945 / 1953
御母衣ダム	岐阜県	131	投石・射水 リフト高 4 m	約 2 m	1957 / 1961
九頭竜ダム	福井県	128	ブルドーザ転圧 撒出し厚 1 m	約 60 cm	1962 / 1968
大津岐ダム	福島県	52	110 kN 振動ローラ (起振力 350 kN) 撒出し厚 1.5 m	約 1 m	1965 / 1968

表一3 NEXCO における施工管理方法 (概要)

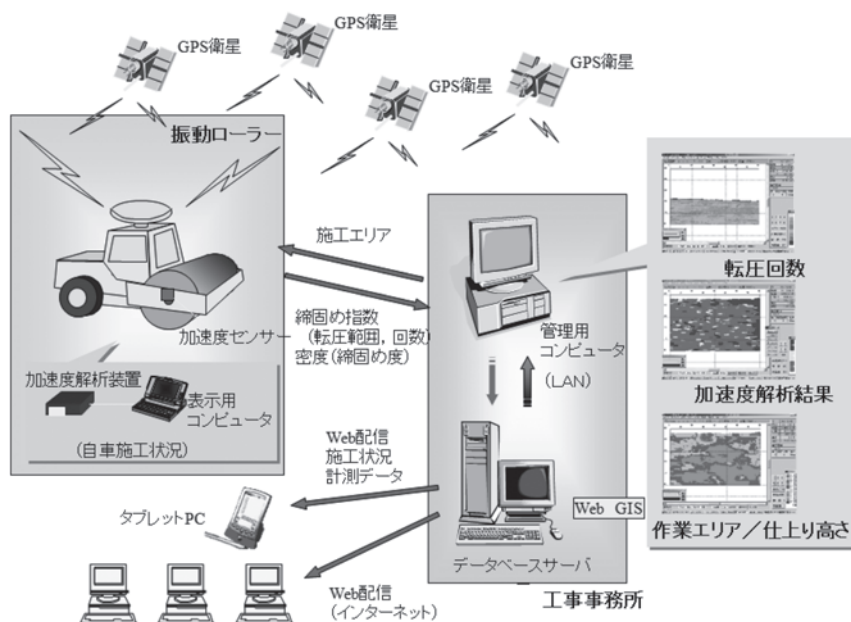
区分	標準盛土 (標準締め機械)	厚層盛土 (大型締め機械)	備考
ローラ転圧力 (自重+起振力)	200 kN 級	320 kN 級	
一層仕上がり厚さ (路体部)	30 cm 以下	60 cm 以下	
土質条件	全ての土質	土砂 C・D および脆弱 岩以外の土質	岩塊盛土の場合 工法規定方式
品質管理：締め度測定 試験施工 (施工前転圧試験)	表面透過型 RI 計器	2 孔式 RI 計器+ 表面透過型 RI 計器	
品質管理：締め度測定 日常管理試験	表面透過型 RI 計器	表面透過型 RI 計器	GNSS 管理 (転圧軌跡管理) を 用いる場合もある
締め密度の条件	施工層内の平均密度が基準値を 満足	1/2 下層部の平均密度が基準値 を満足	

工管理方法の概要をまとめる⁸⁾。

ところで、岩塊盛土では粒径により、一般的な材料による盛土施工の品質管理で実施されている砂置換法などによる密度管理を適用できない場合が多い。さらに最大粒径が大きいことから、室内で実施する土の締め試験 (JIS A 1210) と現場との整合を取ることが困難な場合がある。このために、試験施工を行い「特別規定値」として施工仕様を決定することが多い (品質管理併用工法規定方式)。施工管理においては、この特別規定値による工法規定と水置換 (JGS1612) や RI などを用いた密度管理を実施することが一般的である。近年では、この工法規定の担保として、表一3 中にも記したが GNSS (Global Navigation Satellite Systems) を用いた転圧回数管理システムの導入や、一部で振動ローラの加速度応答を用いた施工管理が実施されている。

(1) 盛土の情報化施工 (工法規定による転圧回数管理システム)

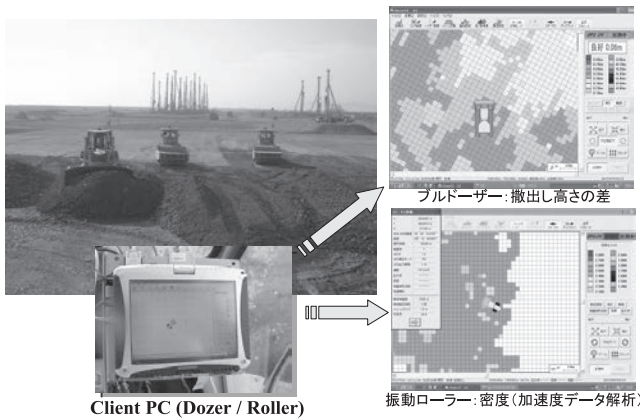
盛土の締め管理における情報化施工として、図一3 に示す TS・GNSS を利用した締め管理システムが挙げられる。TS (Total station), GNSS による測位法を用いて締め機械の走行軌跡を計測し、盛土地盤全体の転圧回数を管理するシステムであり、その原理と特徴を表一4 に示す。このシステムでは、締め機械に搭載したパソコンの画面に、規定の密度を得るために必要な所定の転圧回数 (工法規定に従い、事前の試験盛土施工により求めておく) に到達するまで、現時点での転圧回数を段階ごとに色分けしてリアルタイムに表示する。図一4 にこの管理画面の一例を示す。盛土地盤全体においてこの処理を行うことにより、所定の転圧回数に達していないエリアをオベ



図一3 TS・GNSS を利用した締め管理システムの構成図

表一 4 TS・GNSS を利用した締固め管理システム

	TS を利用した締固め管理システム	GNSS を利用した締固め管理システム
原理	重機にプリズムを設置し、作業領域外の視通の良い場所に設置した自動追尾式のトータルステーションで重機（プリズム）を追尾、重機の位置情報を取得。一般的には 300 m 程度の範囲で利用。	重機に設置した GNSS (GPS) にて重機の位置情報を取得。補正情報を必要とし、現場に基地局の GNSS を設置するか、仮想基準点 (VRS) を利用する必要がある。一般的に基準局から 2 km 以内が望ましい。
重機の位置情報の取得場所	重機外の TS にて取得。位置情報を重機内の管理システム (PC) に無線または屋外 LAN にて転送。	重機に搭載した GNSS にて位置情報を取得し、データを車載の管理システム (PC) に転送。
転圧管理方法	軌跡管理 / メッシュ管理 (メッシュを通過回数に応じて色分け表示し転圧回数と通過場所を表示)	



図一 4 締固め管理図の画面の例

レータがその場で把握できるシステムで、面的な締固め管理が可能であるとともに、品質の担保（工法規定遵守の確認）が行えることから、工法規定を採用することの多い岩砕盛土において重要な品質管理のシステムとなりつつある。

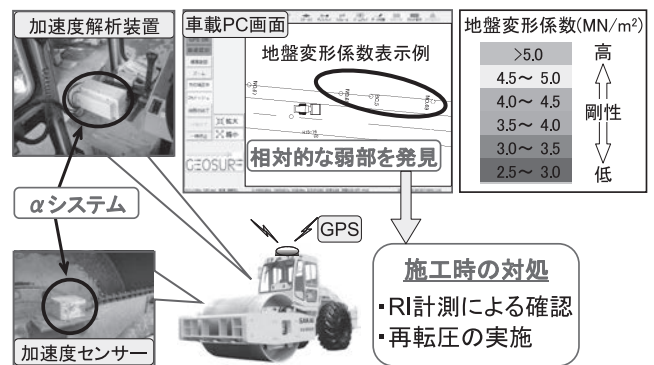
(2) 振動ローラ加速度応答法の活用

岩塊盛土のような粗粒材料を用いた盛土の品質管理は、前述のように工法規定を基本として、一定の盛土毎に水置換や RI などで密度管理を実施することが一般的である。しかし、特に水置換法などは作業自体が大がかりで数多く行えないため、品質の確認はロット数の少ない抽出サンプルで行うこととなる。また、試験に時間がかかるため、試験結果を現場施工にフィードバックすることは事実上困難である。

そこで、振動ローラの施工中に、振動ローラに取り付けた加速度センサーから各種のデータを取得し、それを締め固めた土の品質管理に利用する試みが研究され、1980年に Thurner and Sandstrom により本格化した⁹⁾。我が国でも 1980 年頃から検討が進められ^{10), 11)}、地盤の剛性を計測する技術は確立されていた。しかし当時は広い現場内の位置座標を特定する技術がなかったため、実用化には至らなかった。1990 年代後半になると、GNSS を用いた位置特定技術と結びつけることにより、実用技術として現場での導入が検討されるよう

になった^{12) ~ 14)}。

一例として、2000 年初期に藤山・古屋らが開発した振動ローラ施工時の剛性管理を行うことのできる「 α システム」¹⁵⁾を紹介する。図一 5 にこの加速度応答法を用いた適用事例を示す。当初この手法は一部の工事における品質管理に用いられてきたが、一般的な品質管理が密度管理を基本とすることから普及には至らなかった。しかし、道路設計の性能規定化や ICT の導入による高度な管理と品質の向上の要求により、2005 年以降、再び脚光を集めつつある。この手法は面的な品質管理を実施することができることで、施工中に相対的な弱部を発見でき、再転圧を速やかに実施することも可能となり、盛土の品質確保に関する信頼性の向上が期待できるから、空港造成や道路（舗装を含む）の盛土施工に使われるようになりつつある。



図一 5 加速度応答法の適用例：「 α システム」

5. 近年の岩塊盛土におけるトピックス

このように、近年ではトンネルズリなどの岩塊盛土が積極的に行われるようになった反面、それらに起因する問題も発生するようになった。これは自然に含まれる重金属類が、掘削時や盛土施工時に溶出し環境に悪影響を及ぼし、「自然由来重金属」と呼ばれる問題である。重金属そのものの毒性のほか、降雨などによる溶出に起因して酸性水も問題の一つとして挙げられる。これらの原因となる主な重金属類は、ヒ素、鉛、

フッ素, ホウ素で, 人為的原因による重金属汚染とは異なる特徴を持っている。例えば人為汚染は, 一般的に汚染源で濃度が高く, そこから離れるに従って濃度が低下するが, 自然由来の重金属類は, 地層全体にわたって広く分布していることから, トンネル工事などのズリを利用する場合にこれらの地層にあたることもあるので, 対策に留意が必要である。例えば, 硫化鉱物を含む地質でトンネルなどの掘削工事を行うと, 地山内部の硫化鉱物が空気と水に触れて酸化し酸性水が発生することがあるが, これは硫化鉱物の代表的なもので黄鉄鉱(パイライト)が原因である。

このような自然由来の重金属類を含む岩石や土砂を対象に切り盛り土工事を行う場合には, その特性に応じて安全性を評価し, 必要な対策を実施することになる。安全性の評価は短期リスク試験と長期リスク試験で行い, この結果により基準を大幅に超える岩材料に関しては廃棄処分をする必要がある。しかし対策により封じ込めが可能な場合では, 長期間水と空気に触れると酸性水が発生するような岩石に対して, 土砂の受入地で締め固めや被覆などを行って雨水を浸透させないよう, 急激な酸化を防ぐ方法などを採用すれば, 盛土材として使用することが可能となる。また, 中和作用のある土砂と一緒に埋め立てることで, 酸性水が発生してもすぐに中和させる方法も用いられている。さらに, 遮水シートで包んで道路盛土内に封じ込める方法も採用されることになった。

もう一つの話は数値解析に関する最近の動向である。今まで岩砕盛土に関する数値解析は, モデル化や膨大な計算量と物理量の決定の難しさから, 力学特性を数値解析手法で定量的に評価することは困難であるとされてきた。また, これは一般盛土にも当てはまることであるが, 不連続岩塊の集合体の巨視的挙動を表現しようとしても, 工学的にどれだけの精度で現場のデータを再現できるかについては常に現場技術者だけでなく, 研究者の間でも疑問視されてきた。

このような困難の局面の中でも, 近年では地盤力学の論理的解析手法が確立されつつある。これらの岩盤力学への応用の一歩として, 堆積軟岩の岩砕盛土のスレーキングによる地盤の沈下と地震時挙動を数値解析で評価する研究が行われるようになり^{16), 17)}, 注目を集めているとともに, 実務へのフィードバックが期待されている。

6. おわりに

岩塊盛土はフィルダムの施工を中心に, 古くから技

術者が挑戦し, 施工経験や施工機械の発達など実績の積み重ねにより, 高品質な構造物の施工を可能とした。しかし, 岩塊盛土の元となる岩石の種類は様々であり, それにより施工工法を十分に検討する必要がある。そのためには, 先人の知恵や経験を参考に, 新しい手法(工事機械や施工管理手法, 解析手法も含む)を取り入れ, 経済的かつ高品質なものを造ることを目標としなければならない。また, 環境問題や今回は触れなかったが維持管理・メンテナンスなど様々な課題も残されている。

今後も岩塊盛土の施工や維持管理を工学的課題として認識し, 技術者がさらに知恵を出す必要性を痛感した次第である。

JICMA

【参考文献】

- 1) (獨)土木研究所: 建設発生土利用マニュアル(第3版), 2004.
- 2) 国土交通省令 59号, 60号, 平成13年3月29日.
- 3) 小特集: 岩塊を用いた盛土の諸問題, 土と基礎, Vol.32, No.7, pp.3-60, 1984.
- 4) 木村敏雄・速水格・吉田鎮男: 日本の地質, 東京大学出版会, pp.180, 1993.
- 5) 石原公明・麻生公裕・苗村康造・谷口利久: 牽引式マンモスパイロタンパー工法の開発, 平成元年度建設機械と施工法シンポジウム, 1990.
- 6) 日本道路公団: 設計要領第一集, 1983.
- 7) 益村公人・三嶋信雄・三浦清一: 厚層締め固めによって生じる道路盛土内の密度勾配と圧縮沈下挙動に及ぼす影響, 土木学会論文集, No.672, VI-50, pp.155-167, 2001.
- 8) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株): 設計要領, 第一集, 2009.
- 9) Thurner H. and Sandstrom A.: A New Device For Instant Compaction Control, Proceedings International Conference on Compaction, Vol.2, pp.611-614, 1980.
- 10) 嶋津見臣, 見波潔, 中田公基, 嶋田功, 足立賢一: 振動ローラによる盛土の締め固めに関する調査, 土木研究所資料第2184号, pp.37-76, 1985.
- 11) 建山和由・藤山哲雄・西谷誠之: 締め固め施工における振動ローラの振動挙動に関する考察, 土木学会論文集 No.544, III-37, pp.231-237, 1996年.
- 12) 北村佳則, 西尾貴至, 内山恵一: ローラ振動加速度応答を用いた盛土品質評価, 2003, 第25回日本道路会議.
- 13) 北村・藤岡・内山他, ローラ加速度応答法を用いた道路路床の品質管理に関する研究(その2), 第39回地盤工学研究発表会, pp.1345-1346, 2004.
- 14) 月本行則: 米国における舗装の締め固め管理技術の動向とICT技術の活用, 建設の施工企画, 2010.8, pp.34-38, 2010.
- 15) 藤山哲雄・古屋弘: 振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発, 平成16年度近畿地方整備局管内技術発表会, (2004.7).
- 16) 中野正樹, 中井健太郎: 初期構造が第三紀泥岩の粘土化に及ぼす影響, 応用力学論文集 Vol.6, pp.419-426, 2003.
- 17) 中野正樹, 中井健太郎: 粘土化のしやすさの異なる第三紀泥岩粉碎砕石集合体の一次元圧縮挙動, 応用力学論文集 Vol.7, pp.419-426, 2004.

【筆者紹介】

古屋 弘(ふるや ひろし)
 (株)大林組
 技術研究所 生産技術研究部
 主席技師

