

論文の内容の要旨

論文題名： 遮水性盛土の品質管理の合理化・高度化に関する研究

氏 名： 坂本 博紀

本論文はフィルダムの遮水ゾーンのような大規模な遮水性盛土の品質管理を合理化・高度化するための、新たな品質管理法についてとりまとめたものである。

近年、我が国では、少子高齢化や建設予算減少等の理由により、建設業界における「人手不足・熟練者不足」が進んでおり、将来にわたり社会資本の継続的供給と適切な機能維持を図るために、品質の確保・向上とともに一層の生産性の向上が求められている。

一般土工では全球測位衛星システム（Global Navigation Satellite System, GNSS）を用いた転圧回数管理による盛土の品質管理が導入され、さらには振動ローラの応答加速度から得られる地盤剛性指標（Soil Stiffness Index, SSI）と GNSS を関連付けた、定量的かつ連続的な締固め管理（Continues Compaction Control, CCC）による品質管理も試みられている。

遮水性盛土の品質管理においても、現場密度試験や現場透水試験等による従来の抜取検査型の品質管理は、時間が掛かり施工効率を下げるとともに、実務的に対応可能な数量は限定されて盛土全体の品質把握が困難なことから、一般土工と同様に間接的でも迅速・面的な品質管理が望まれている。

しかし、以下の相互に関連する三つの基本的な課題が解決されていないことから、フィルダムの遮水ゾーンの建設では、GNSS 等を利用した面的な施工管理記録は参考情報として取り扱われており、従来の品質管理試験の代替手法としては位置づけられていなかった。

- 1) 締固め土の乾燥密度・透水係数・地盤剛性等の工学的特性は、締固め度・飽和度と高い相関がある。しかし、従来は締固め度と含水比の管理が中心であり、特に含水比管理は $1E_c$ での最適含水比を下限とする場合が多く、比較的高い含水比で施工管理される傾向にあった。現場の締固めエネルギーレベル（Compaction Energy Level, CEL）が $1E_c$ より大きい場合には、 $1E_c$ の最適含水比よりも乾燥側でも飽和度と締固め度は十分に高く物性が改善される含水比の範囲が存在する。近年、転圧機械の性能向上により、 $1E_c$ よりも高い現場のCELが実現可能になっているが、従来どおりに $1E_c$ の最適含水比を管理下限値とすると、高い現場CELによる締固め状態の改善が実現しにくい。
- 2) 遮水性盛土の品質管理において、品質の一様性や局所異常の有無を定量的に把握するには、地盤剛性指標SSIの面的管理を行うCCCの導入が考えられる。しかし、SSIの下限値管理に基づく従来のCCCでは、①高飽和度状態では締固めエネルギーの上昇に伴うSSIの変化が小さくなり、盛土含水比が高い程その傾向が顕著になる、②最適含水比よりも乾燥側ではSSIと透水係数がともに急増するため、SSIの下限値管理では遮水性能の管理はできない、③SSI・密度・透水係数・含水比の関係に対する土質とCELの影響が不明確である、といった根本的な課題があり、従来のCCCは遮水性盛土のような粘性土の締固めへの適用は困難とされてきた。

3) 遮水性盛土の品質管理へのCCCの本格的な適用実績はみあたらず、CCCによる連続的かつ大量のデータを用いて盛土の遮水性能を評価するための、具体的分析方法や管理フローの事例がないため、実務への適用検討時には、これらの管理法についても整理を行う必要がある。

本研究の実務フィールドであった小石原川ダム建設では、前述した遮水性盛土の締固め管理における諸課題を解決し、より高度で合理的な締固め管理を実現するための新たな品質管理法を考案して、実施工へ適用した。この結果、小石原川ダムでは従来のロックフィルダムと比べて高い品質を確保するとともに、大規模な遮水性盛土の品質管理へのCCCの導入を世界で初めて実現し、効率的な品質管理を実現した。本研究は、考案した品質管理法の検討プロセスと実施工での品質管理記録の解析結果の再整理を行い、公表することで公益に資することを目的とする。

本論文の構成と概要を以下に示す。

第1章 本研究の背景と関連する既往の研究とそれらの課題を示し、本研究の目的と論文構成を示した。

第2章 乾燥密度と含水比の管理を中心にした既往の品質管理法の有する課題の整理を行うとともに、それらの課題を解決するために考案した「現場の締固めエネルギーと飽和度を考慮した締固め管理法」の理論を示した。さらに、考案した管理法に基づき、実施工における品質管理領域を設定する具体のプロセスを示すとともに、実施工での管理記録の解析結果から、考案した管理法の有効性を示した。

第3章 地盤剛性指標 SSI と含水比、乾燥密度、透水係数との関係における工学的特性を整理するとともに、室内試験に基づき締固めエネルギーレベル CEL と盛土材料の粒度等の土質がこれらの関係に与える影響について解析し、既存の「SSI の下限値管理に基づく締固め管理」の課題を示した。そのうえで、室内試験・現場盛立試験の結果に基づき考案した「地盤剛性指標の上下限値管理による遮水性盛土の締固め管理法」（以後、「SSI の上下限値管理法」）の理論と実施工における管理値の設定プロセスを示した。さらに、実施工での管理記録の解析結果から、考案した管理法の妥当性を示した。

第4章 国内外における既存のCCCの事例について、それらの特徴と遮水性盛土に適用するうえでの課題を整理した。そのうえで、第3章で示した「SSI の上下限値管理法」にローラ加速度応答法による指標を採用し、遮水性盛土のCCCを実務に適用するための諸検討と、実務における具体の管理事例を示した。また、品質管理記録の解析結果と今後の課題を示した。

第5章 2～4章に記した管理法と最新のICTを組み合わせることで実現した「遮水性盛土の総合的な品質管理法」について、実ダムにおける適用事例を示した。

第6章 本研究で提案する新たな締固め管理法を実務に適用する際の留意事項を示した。

第7章 本研究を通して得られた知見と今後の課題を総括して示した。

本研究により得られた主な結論を記す。

- 1) 「現場の締固めエネルギーと飽和度を考慮した締固め管理法」を考案した。考案した締固め管理法では飽和度の下限値を定めることで、従来の管理基準の許容範囲に含まれる可能性のあった締固めエネルギー不足により遮水性能が不足する状態を明確に排除した。また、飽和度の下限値と現場の締固めエネルギー(Compaction Energy Level, CEL)を考慮して含水比管理範囲定めることで、従来は慣用的に管理範囲から外されていた 1Ec の最適含水比よりも乾燥側の含水比での施工を許容した。考案した締固め管理法をロックフィルダムの遮水ゾーン建設に適用し、その品質管理記録を解析した。この結果、小石原川ダムでは従来の管理基準に基づき建設されたダム群と比べ高い品質が得られており、その要因は新たに許容した 1Ec の最適含水比よりも乾燥側における品質が高い(締固め度が高く、透水係数が低い)ことにあることを示した。
- 2) 室内試験および現場盛立試験に基づき、「地盤剛性指標 (Soil Stiffness Index, SSI) の上下限值管理による遮水性盛土の締固め管理法」(以後、「SSI の上下限值管理法」)を考案した。ローラ加速度応答法等の従来の管理法は SSI の下限値管理を行うものが主体で、遮水性盛土への適用が困難とされてきた。しかし、締固めエネルギーと盛土材の粒度等の土質が適切に管理されていれば、考案した管理法によって盛土の遮水性能を管理できることを示した。
- 3) 「SSI の上下限值管理法」を実務に適用するための具体の検討プロセス(管理値の設定、管理フローの設定、異常データの排除法、等)を、①SSI に変形係数を用いた抜取検査型の多点管理、②SSI にローラ加速度応答法の指標を用いた全量検査型の面的管理、の各段階で示した。特に②では、SSI の下限値管理では問題となりにくかった、極端に高い SSI 異常値の要因分析を行い、特定の条件下における振動ローラの基本振動数の変動に起因してローラ加速度応答法による SSI 記録に異常値が発生することを確認し、評価対象から除外できることを示した。
- 4) 「SSI の上下限值管理法」を適用した実ダムの品質管理記録※を解析し、現場の締固めエネルギーと粒度等の土質が適切に管理されている現場条件では、「SSI の上下限值管理法」によって現場透水係数を適切に管理ができることを確認した。

※ 適用期間は下記のとおり

- ① 現場試験(落球探査法)による多点管理：2018年4月～2019年4月(13カ月間)
- ② ローラ加速度応答法による面的管理：2019年5月～2019年7月(3カ月間)

- 5) 「SSI の上下限值管理法」の適用条件は 4) のとおりであり、材料管理が厳密に行われるフィルダムの施工では無理なく導入できる。一方、道路土工等の一般土工では締固めエネルギーの管理は可能であるが、盛土材の土質の管理は容易ではない場合が多く、「SSI の上下限值管理法」をそのまま適用することは出来ない。SSI に対する土質の影響の評価法を改善することで、一般土工にも適用範囲が広がる可能性があり、今後の課題である。

以上