

盛土施工の効率化と品質管理向上技術に関する研究③

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 25

担当チーム：地質・地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：佐々木哲也、石原雅規、山木正彦

【要旨】

近年、河川堤防や道路盛土などの土工構造物の洪水や地震動の作用に対する性能向上が求められ、設計の高度化が図られてきている。浸透や地震動の作用に対する土工構造物の性能は、よい土をよく締固めることで向上するが、盛土の施工に関しては要求性能や土質に関係なく一律の締固め管理基準値が設定され、設計で想定する強度と施工管理基準との関連が必ずしも明確になっていない。

過去本研究において、高品質な盛土を施工するための新たな締固め管理基準値の作成を目的に、細粒分含有率 f_c の異なる種々の盛土材料を使用し、異なる締固め度のもと圧密非排水三軸圧縮試験（以下 CUB 試験）および透水試験を実施した。その結果、締固め度の上昇により非排水強度（ ϕ' 、 q_{max} ）は上昇し、透水係数は低下すること、その傾向は細粒分含有率によって異なり、細粒分含有率が低い土質材料では強度増加が、細粒分含有率が高い土質材料では水密性向上が顕著であることなどが示された。

平成 24 年度は、実際に本研究成果が現場に反映されることを念頭に、新たな締固め度管理基準値及び空気間隙率管理基準値の具体的な提案を目的とし、全国の河川土工現場の情報を収集し、整理・分析を行った。その結果、細粒分含有率が比較的高い土質において空気間隙率管理を導入することで、締固め度管理基準値を 90%に向上させることは可能であること、併せて空気間隙率管理においては含水比の管理が重要であることなどを明らかにした。

キーワード：土工、締固め度、空気間隙率、細粒分含有率

1. はじめに

締固めは盛土の品質を大きく支配する重要な要素であり、安定して所要の機能を発揮できる盛土構造物を構築するためには、できるだけ良い材料をよく締め固め、かつ表面水や浸透水等の水の処理を十分に行うことが基本となる^{1),2),3)}。

現状の「道路土工—盛土工指針⁴⁾」や「河川土工マニュアル⁵⁾」においては、幾度かの改訂を経て締固め度 D_c 90%以上を施工管理の一つの目標とし、土質に応じて空気間隙率 V_a 管理が選択可能となっているが、公共土木工事で一般に使用される「品質管理基準及び規格値⁶⁾」は、土質によらず D_c 85%以上（砂置換法の場合）が目安となっている。これは、以前は十分な転圧能力を有した機械を準備することが困難であった、日本各地には種々の土質が存在するが土質によっては高い締固め度を発現させることが困難であった、多くの場合この締固め度で問題が生じなかった、ことなどが理由として挙げられる。しかし 2011 年東北地方太平洋沖地震を契機に、今後想定さ

れる首都直下地震や南海トラフを震源とする大規模地震に対すべく、土構造物においてもその性能向上が求められている。

また、詳細な計画・設計段階ではある程度土質材料を想定して設計しているが、実際の現場では建設発生土を積極的に利用することが望ましく当初の想定と土質が異なることが多く、そのため、設計と施工がリンクしていないことが多いという課題も残されている。

以上のような背景から、締固め管理基準の高度化を図るとともに、それを確実に達成するための品質管理法を高度化する必要が求められている。

本研究テーマにおいて、過去、土質に着目し、種々の力学試験を実施してきた。その結果、締固め度の上昇により非排水強度（ ϕ' 、 q_{max} ）は上昇し、透水係数は低下すること、その傾向は細粒分含有率によって異なり、細粒分含有率が低い土質材料では強度増加が、細粒分含有率が高い土質材料では水密性向上が顕著であること⁷⁾などが示された。また細粒分含有率が比較的高い土質に

において、空気間隙率管理を行う際は併せてその含水比管理も重要となること⁸⁾などを示した。

平成 24 年度は、実際に本研究成果が現場（品質管理基準及び規格値⁶⁾）に反映されることを念頭に、新たな締固め度管理基準値及び空気間隙率管理基準値の具体的な提案を目的とし、全国の河川土工現場の情報を収集し、整理・分析を行った。各地方整備局には平成 21 年～23 年（3 箇年分）に実施された河川土工の試験施工情報及び施工管理情報の収集を依頼し、近年の通常の土工において得られる締固め度や空気間隙率を把握し、適切な管理基準を検討した。

2. 調査内容

今回収集したデータは、転圧機械、転圧回数を決定するための試験施工を実施した現場においては、試験施工結果一式（使用した転圧機械、転圧回数と得られた締固め度がわかる資料、盛土材の物理・力学試験結果）とし、試験施工を実施していない現場においては、施工管理結果（使用した転圧機械、盛土の転圧回数、盛土の密度試験結果、盛土材の物理・力学試験結果）とした。

収集できた現場数は延べ 991 現場である（同一現場でも年度をまたぐ工事はそれぞれカウントしている）。このうち、砂置換による密度管理を行っている現場数は 810 箇所、RI を用いた密度管理を行っている現場数は 181 箇所であった。なお「品質管理基準及び規格値」では砂置換法による場合締固め度管理基準値は平均 D_c85 以上、RI を用いた場合平均 D_c90 以上となっている。

なお本調査において、締固め度を算出するために実施する締固め試験方法は A、B 法⁹⁾に対象を限定している。

3. 調査結果

3.1 砂置換による密度管理実施現場

3.1.1 締固め度の現況

砂置換法による密度管理結果の詳細を図 1 に示す。締固め度 D_c85 以上が管理基準値であるため全ての結果は D_c85 以上を満足しており、 D_c90 を境にその件数が増えているようである。そこで D_c90 を指標にその割合を示したのが図 2 である。6 割以上の現場で D_c90 以上が得られていることがわかる。管理基準値は D_c85 以上としているが、実際は多くの現場で D_c90 以上を得ていることがわかる。次いで、 D_c90 以上の現場と $D_c85\sim90$ の現場での土質の違いを見るために、図 3 に各々の土質の分類を示す。なおここでの分類は地盤工学会基準「土の工学的分類方法⁹⁾」を基に礫質土、砂質土、粘土・シルトの

3 つの分類とし、改良を行っている場合、改良土と分類している。両図より、土質割合に顕著な違いは見られないが、 $D_c85\sim90$ の現場で若干細粒分の割合が大きい傾向が見受けられる。

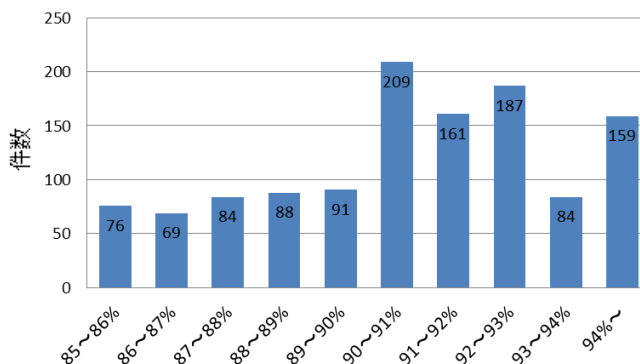


図 1 締固め度の頻度 (砂置換法)

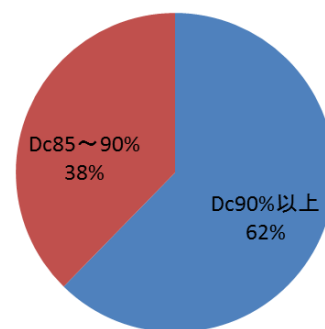


図 2 締固め度の割合 (砂置換法)

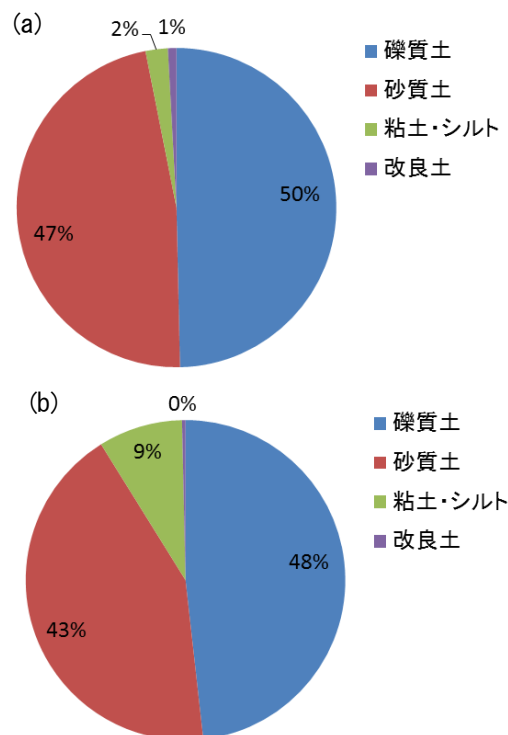


図 3 土質分類 (a) D_c90 以上 (b) $D_c85\sim90$

表1 河川土工マニュアル⁵⁾における土質分類

粗粒質	砂質土I	砂質土II	粘性土
$Fc < 15\%$	$15\% \leq Fc < 25\%$	$25\% \leq Fc < 50\%$	$50\% \leq Fc$

以下はこれらの結果を基に、河川土工マニュアルに示されている管理基準に則して考察を加える。

3.1.2 締固め度管理基準値に関する考察

河川土工マニュアルでは、土質を表1のように細粒分含有率 Fc で分類し、表2のような管理基準を設定している。以下、本調査において入手したデータで、締固め度 $Dc90\%$ 未達の現場に着目し議論を進める。

$Dc90\%$ 未達かつその築堤材の Fc が半別できるデータを抽出し (件数 48)、その土質を河川土工マニュアルの分類に従い整理したのが図4である。半数以上は粗粒質か砂質土Iに分類され、比較的粗粒な材料が使用されていることがわかる。さらにその粗粒質、砂質土Iを使用した試験施工結果を整理したのが図5である。図より Dc にピークが現れ転圧回数を増加させても Dc の上昇が見られないケースもあるが、10件中8件で転圧回数を増加もしくは適切な回数を転圧することで $Dc90\%$ 以上に到達していることが確認できる。 $Dc90\%$ 以上を得られていない2ケースや、かろうじて $Dc90\%$ を満足したケースは、施工含水比がやや高いケース、築堤材選定時の含水比と施工時の含水比が大きく異なるなど土質の変化が生じていた可能性が考えられるケースであった。このことは、土質に応じ、適切に含水比を設定することで、比較的粗粒な材料では基本的に $Dc90\%$ 以上の確保は可能であることを示している。

次いで、得られた Dc が 90% 未達でその土質が砂質土II、粘性土であったケースに着目する。これらの土質は、転圧回数を増やしても顕著な Dc の増加が見られない、そもそも高い Dc が得られない⁸⁾ など施工上問題となることが多い。そこでこれらの土質に対しては、河川土工マニュアルでは Va 管理を導入している。図6は、 $Dc90\%$ 未達であった砂質土II、粘性土の河川土工マニュアルにおける Va 管理基準の上限値を境界とした割合を示している。図より、限られたデータ数ではあるがいずれの土質も半数程その基準より高い Va となっている。それらの Va と含水比の関係を図7に示す。横軸は施工時の含水比 Wn と最適含水比 $Wopt$ の差を $Wopt$ で除した値である。図より Va の定義上当然だが、含水比が高くなるほど Va が小さくなり、 Wn が $Wopt$ より2割ほど高くなると Va 管理基準を満足するような傾向が見受けられる。 Dc 管理が可能

表2 河川土工マニュアル⁵⁾における管理基準

	管理基準値			施工含水比
土質分類	締固め度 Dc	空気間隙率 Va	飽和度 Sr	
粗粒質および砂質土I	平均90%以上	—	—	(※2)
砂質土II	— (※1)	15%以下	—	
粘性土	—	2%以上10%以下	85%以上95%以下	

※1: 締固め管理が可能な場合は砂質土 (粗粒質および砂質土I含む) の基準を適用可
 ※2: 締固め曲線において目標となる締固め度が得られる含水比

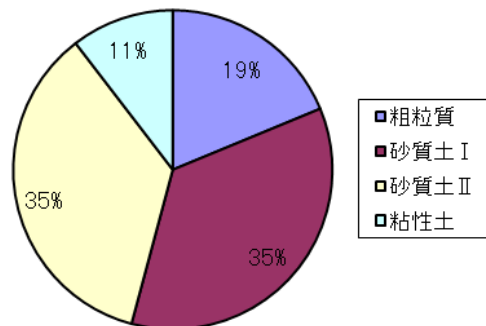


図4 $Dc90\%$ 未達であった現場の土質分類 (河川土工マニュアルの土質分類による)

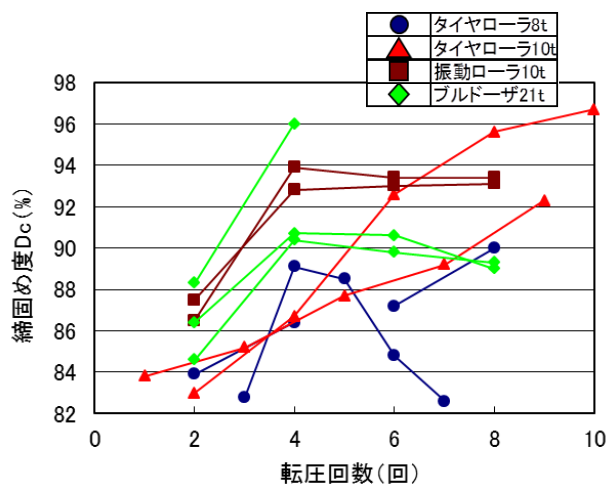


図5 粗粒質、砂質土Iの Dc と転圧回数

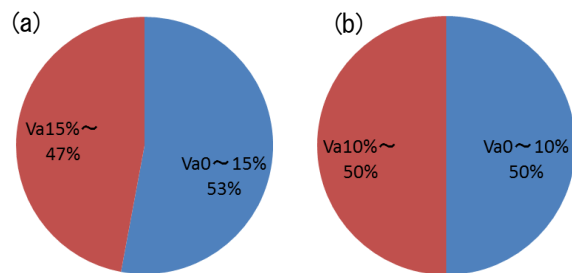


図6 $Dc90\%$ 未達の砂質土II、粘性土の Va (a) 砂質土II (b) 粘性土

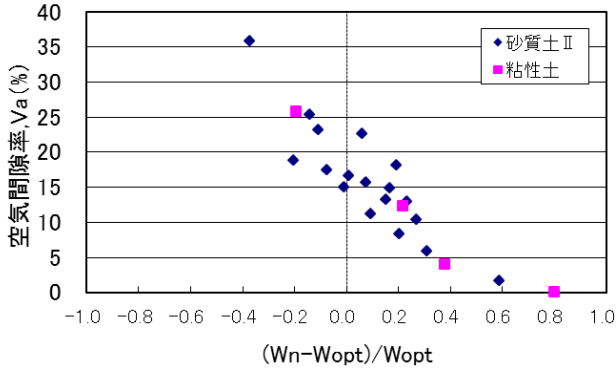


図7 Dc90%未満の砂質土Ⅱ、粘性土の Va と含水比の関係

な場合その管理を許容しているため、適切な含水比のもと施工すれば、これら比較的細粒な土質でも、河川土工マニュアルにおける Dc、Va 管理基準を満足することは可能と思われる。

ただし、そもそも Va 管理基準は、通常の施工によって得られた Va の実績から設定されているのが現状である。Va 管理の目的は、締め固めた土の強度、変形特性を考慮しつつ浸水に対する土の性質の恒久性の確保（浸水に伴う強度低下、体積収縮（コラプス）の防止等）を目的としているが、まだ不明瞭な点も多く、今後更なる検討が必要と考える。

3.2 RI 計器による密度管理実施現場

次いでRI計器を用いた密度管理に関して考察する。

RI計器を用いた場合その締め固め度管理基準は現行では平均Dc90%以上である。この平均90%以上を目標とした場合、実際にどの程度のDcが得られているか、改訂にあたり管理基準としてどの値が妥当かを検討した。そこでここではNEXCOで用いられているRI管理基準値Dc92%を指標として議論する。

図8は、対象とした現場の全管理単位数（2974）において、平均Dcが92%未満であった管理単位数の割合である。図より、現状では平均Dcの目標は90%であるが、結果としてほとんど現場で平均Dcは92%以上となっていることがわかる。

図9は、各管理単位において得られたDcの頻度分布である。先にDc92%以上が大半を占めていることを示したが、その内訳をみると90%後半半の割合が高いことがわかる。また同一箇所においてRI による計測および砂置換による計測が実施された現場の結果を整理したものが図10である。特異な点もあるが比較的良い相関が確認できる。た

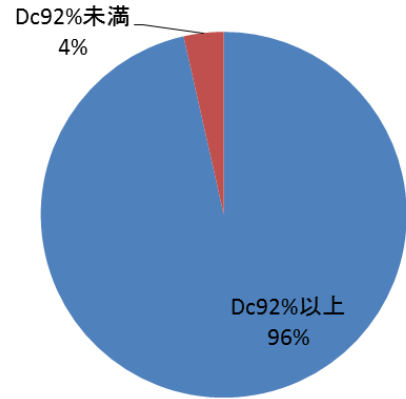


図8 Dcの現状 (RI 計器)

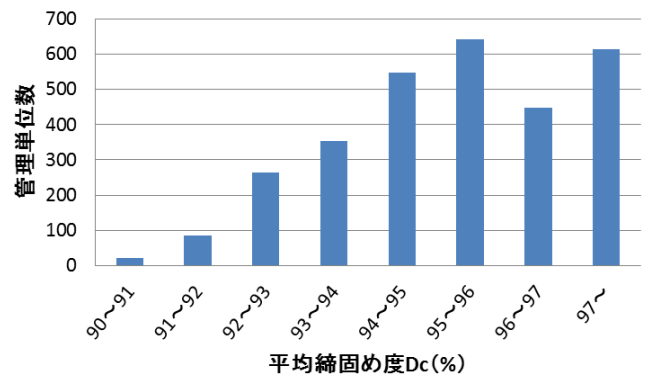


図9 締め固め度の頻度 (RI 計器)

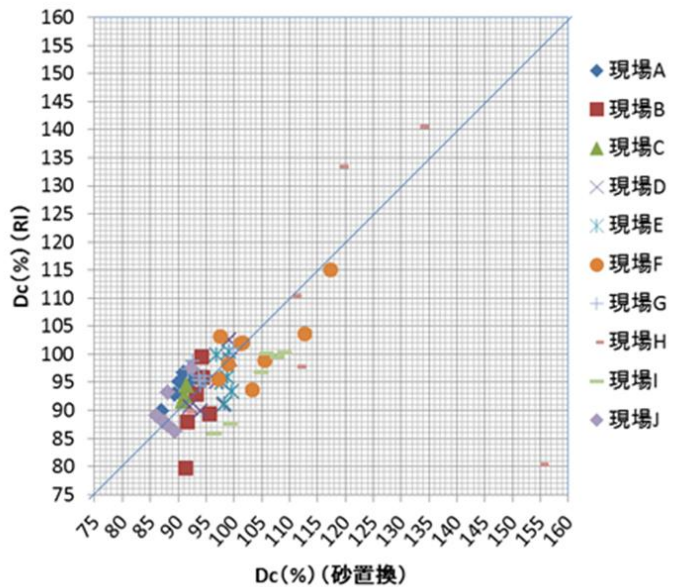


図10 RI 計器と砂置換法による計測結果の関係

だし各現場でみると縦に延びている傾向があることから RI 計測の方が結果のバラツキが大きいことも見て取れる。

これらの結果より、今後継続的な検討が必要であると考えられるが、砂置換による締固め管理基準値を5%上昇させること、RI計器の結果のばらつき、を考慮し現段階でRI計器による管理基準値を2%上昇させ平均92%とすることは、実現性、盛土の質の向上等の観点から妥当と思われる。

4. まとめ

今回河川土工現場における一連の調査結果より、現段階で締固め度管理基準を現状より上昇させることは可能であるとの結論を得た。提案する新たな締固め度（空気間隙率）管理基準値を表3にまとめる。

ただし空気間隙率管理基準値に関しては、空気間隙率で管理された盛土の力学的・工学的意味が不明瞭なところもあるため、今後更なる検討が必要であり、現段階では河川土工マニュアルの基準値を採用することが妥当と思われる。

参考文献

1) 建設省土木研究所 機械施工部 土質研究室：盛土構造物の崩壊と対策に関する研究、土木研究所資料第 2017

号, 1983. 2) 大川寛, 杉田秀樹, 佐々木哲也, 水橋正典：山岳道路盛土の耐震対策に関する動的遠心模型実験, 第42回地盤工学研究発表会発表講演集, 2007. 3) 松尾修：道路盛土・河川堤防の設計と締固め、基礎工, 7月号, pp.172-175, 2009. 4) 日本道路協会：道路土工-盛土工指針, 2010. 5) 国土技術研究センター：河川土工マニュアル, 2009. 大木基裕, 舘山勝, 小島謙一：土質の異なる盛土材料の強度特性に及ぼす締固め度の影響について, 土木学会第59回年次学術講演会講演概要集, 2005. 6) 国土交通省関東地方整備局HP：品質管理基準及び規格値 (http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000007094.pdf), 2011.4. 7) 山木正彦, 森啓年, 佐々木哲也, 榎本忠夫：細粒分含有率に着目した締固めによるせん断強度向上および透水係数低下に関する調査：46回地盤工学研究発表会発表講演集, pp333-334, 2011. 8) 山木正彦, 佐々木哲也：土工における空気間隙率管理に関する一考察, 第47回地盤工学研究発表会発表講演集, pp15-16, 2012. 9) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説, 2009.

表3 提案された河川土工における新たな管理基準値

土質分類	管理基準値			施工含水比	
	締固め度 D_c		空気間隙率 V_a		飽和度 S_r
	砂置換法	RI計器			
粗粒質 ($F_c < 15\%$)	90%以上	平均92%以上	—	—	
砂質土 I ($15\% \leq F_c < 25\%$)					
砂質土 II ($25\% \leq F_c < 50\%$)	— (※1)		15%以下	—	
粘性土 ($50\% \leq F_c$)	— (※1)		2%以上10%以下	85%以上90%以下	

※1：締め固め管理が可能な場合は砂質土（粗粒質及び砂質土 I）の基準を適用可

※2：締固め曲線において目標となる締固め度が得られ、かつトラフィカビリティーが得られる含水比

EFFECTIVE CONSTRUCTION AND QUALITY CONTROL FOR EARTH STRUCTURES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2013

Research Team : Soil Mechanics and Dynamics

Research Team

Author : TETSUYA Sasaki

MASANORI Ishihara

MASAHIKO Yamaki

Abstract : Fill soil compaction construction and a technological standard are provided. However, the disasters etc. such as earthquakes and downpours and trouble by the passing age occur. These are thought for the problem to exist in neither an appropriate grasp nor a weak part of the quality being understood.

In 2012, the information was collected from the river earthwork spots all over the country for the purpose of the proposal of a new standard of quality control value, and arrangement and analysis were conducted. As a result, raising degree of compaction control standard to 90% clarified the possible thing, by introducing air content control standard in a soil property with comparatively high fine fraction content.

Moreover, in air content management, it was shown clearly that management of moisture weight percentage is important.

Key words : earthwork, soil compaction, air content, fine fraction content