

戦-3. 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 23

担当チーム：材料地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：佐々木哲也、森啓年、榎本忠夫、山木正彦

【要旨】

締固めは盛土の品質を大きく支配する重要な要素である。実際、豪雨・地震による盛土の被災事例の調査結果や模型実験によれば、締固め不足と排水不良が被災の主要因であることがわかってきた。

近年の豪雨や地震による道路盛土や河川堤防の被災を受けて、それらに求められる性能が高まってきている。例えば、常時、降雨、地震時に所定の性能を確保した設計を行うことが、改訂された道路土工盛土工指針では明記されたことから、設計思想を施工や監督検査まで確実に継承する施工管理手法の確立が求められている。しかし、道路盛土、河川堤防にかかわらず現行の締固め管理基準値は、重要度や土質に関係なく一律の締固め管理基準になっているため、設計で想定した要求性能や強度と必ずしもリンクしていない。そのような観点から、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ある。

平成 21 年度は土質毎の締固め度と強度等の関係把握を目的に一連の三軸圧縮試験を実施した。その結果、細粒分含有率の高低によりその関係が異なることを示した。また、実際の土工現場での調査結果より、転圧回数の増加により締固め度は上昇すること、現場の締固め度におけるばらつきの程度を確認した。

キーワード：土工、締固め度、三軸試験、試験施工

1. はじめに

道路盛土や河川堤防にかかわらず、締固めは盛土の品質を大きく支配する重要な要素である。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特に重要となる¹⁾。

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い。そのため、設計と施工がリンクしていないことが多いのが現状である。また、現行の締固め管理基準値は、重要度や土質に関係なく一律の締固め管理基準になっているため、設計で想定した道路盛土及び河川堤防の要求性能と必ずしもリンクしていない。そのような観点から、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ある。

平成 21 年度は、土質毎の締固め度 D_c と強度定数（粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ など）の関係を把握するために、4 種類の土質材料を用いて一連の三軸圧縮試験を実施した。

また土工現場における試験施工と本施工の調査を実施し、転圧回数と締固め度の関係や締固め度のばらつき等を整理した。

2. 室内三軸圧縮試験

2.1 試験概要

平成 21 年度は、せん断中の間隙水圧を測定する圧密非排水三軸圧縮試験（CUB 試験）と圧密排水三軸圧縮試験（CD 試験）を実施した。これらの試験で得られる土の強度定数は、CD 試験では ϕ_d 及び c_d 、CUB 試験では ϕ' 及び c' （有効応力表示）、 ϕ_{cu} 及び c_{cu} （全応力表示）である。なお上記強度定数は、最大主応力差を破壊とみなし算出している。

主な試験条件を表-1 に示す。三軸圧縮試験における供試体は、最適含水比に調整した土試料を用いて、締固め試験結果を基に初期密度が所定の締固め度となるように突固め法により作製した。飽和化を図り、所定の有効拘束圧まで等方圧縮後、排水三軸圧縮を開始した。せん断時のひずみ速度は 0.1%/min、背圧は 200kPa とした。

本研究で使用した試料は、江戸崎砂、能登半島地震

表-1 試験条件

試料	三軸圧縮試験				締固め試験
	供試体サイズ(mm)		初期締固め度(%)		
	直径	高さ	CUB	CD	
A	50	100	82, 85, 90		A-c
B	100	200	85, 90, 95, 100	90, 95, 100	A-b
C	50	100	85, 90, 95	-	A-a
D					

(2007) により崩壊した能登有料道路盛土から採取した盛土材料、茨城県美浦町で採取された山砂、山砂に霞ヶ浦浚渫土を混合して細粒分含有率を調整した試料（それぞれ試料A、B、C、D）である。各試料の物理特性を表-2に、粒径加積曲線を図-1に示す。試料A、Cは似たような特性を持っており、細粒分含有率 F_c は10%以下の貧配合の材料である。試料Bは良配合で細粒分含有率 F_c が非常に高く、採取後の自然含水比は大きな値であった。試料Dは $F_c=30\%$ 程度になるように粒度調整した良配合の材料である。

表-2 各試料の物理特性

試料	ρ_s (g/cm ³)	D_{50} (mm)	U_c	I_p	F_c (%)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	w_{opt} (%)	w_n (%)
A	2.657	0.228	2.91	NP	6.9	1.604	16.7	-
B	2.746	0.0419	-	16	57.7	1.384	31.6	39.5
C	2.689	0.173	1.38	NP	9.5	1.685	18.2	-
D	2.698	0.125	15.5		33.5	1.640	20.2	

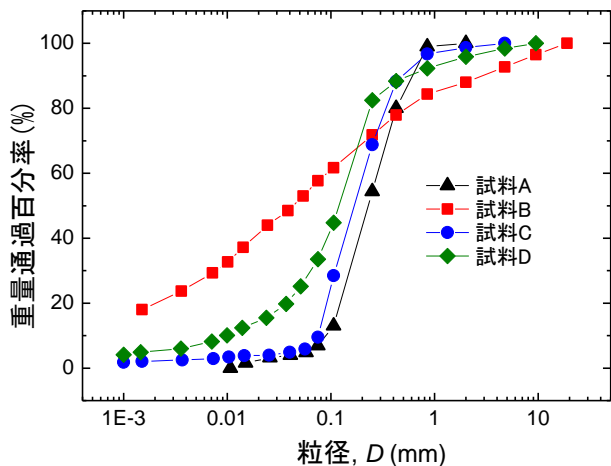


図-1 粒径加積曲線

2. 2 排水条件と非排水条件における強度の比較

それぞれの試料における初期締固め度、三軸圧縮試験の結果得られた強度定数、試験時拘束圧を表-3に示す。

図-2に、試料A、Bにおける初期締固め度あるいは初期空気間隙率と初期有効拘束圧が50kPaの時の最大軸差応力の関係を示す。細粒分含有率が低い試料Aでは $D_c=$

85%程度、細粒分含有率が高い試料Bでは $D_c=95\%$ 程度を超えると非排水強度の傾きが急激に大きくなり、 D_c がより高くなると非排水強度の方が排水強度よりも大きくなることが分かる。この現象は、沢埋め盛土等の水の影響を受けやすく地震時に飽和状態にあることが想定される盛土で、地震時に非排水状態にある場合には、耐震性に対する締固めの意義はさらに大きくなることを示唆している。同様な現象が文献2)でも紹介されている。

また、試料Aと試料Bともに締固め度の増加に伴って強度が増加している。しかし、細粒分含有率が高い試料Bの方が締固め度がより高い段階になってからから強度が増加する傾向がある。すなわち、細粒分含有率が高い試料Bでは、かなり密に締め固めないと強度が増加しない。一方、細粒分含有率が高い盛土材料では、一般に空気間隙率あるいは飽和度による締固め管理が行われている。初期空気間隙率と最大軸差応力の関係を見ると、細粒分含有率が高い試料Bでは空気間隙率10%程度以下で強度が増加している。ただし、空気間隙率の値は盛土材料の含水比に依存するため、盛土設計で必要となる強度を確保するためには空気間隙率と含水比の両者を規定する必要がある。今後、強度に及ぼす含水比の違いの影響について検討する必要がある。

表-3 室内土質試験結果一覧

試料	初期締固め度 D_c (%)	CD試験		CUB試験				拘束圧 (kPa)						
		c_d (kN/m ²)	ϕ_d (°)	全応力		有効応力								
				c_{cu} (kN/m ²)	ϕ_{cu} (°)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)							
試料A	82	2.5	32.6	0	10.8	0	19.3	50						
								100						
								200						
	85	1.1	33.9	0	10.8	0.4	22.2	50						
								100						
								200						
90	2.5	35.7	25.9	18.7	0.1	35.7	50							
							100							
							200							
試料B	85	-		0	14.3	0	31.5	50						
		90	2.6					33.3	11.3	12.2	3	31.3	30	
													50	
	95	8.1	33.9	24.1	11.8	8.5	31.5	50						
								100						
								200						
試料C	85	-	-	-	-	-	-	50						
								90	81.6	9.6	17.2	28.0	-	80
														110
	95	184	12.4	5.94	35.3	-	-	220						
								440						
								40						
試料D	85	-	-	-	-	-	-	50						
								90	10.9	15.2	0	36.3	-	80
														160
	95	57	13.8	0	37.1	-	-	60						
								120						
								240						
-	-	-	-	-	-	-	-	80						
								160						
								320						

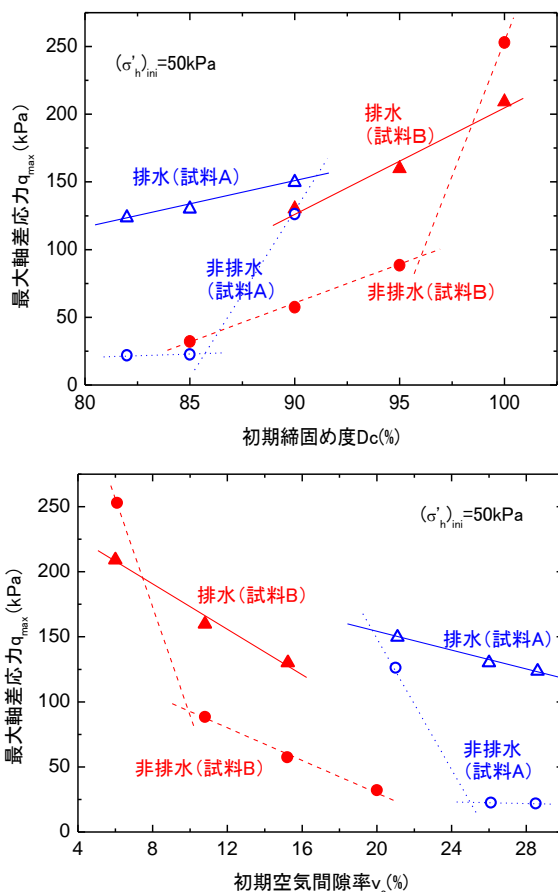


図-2 初期締固め度あるいは初期空気間隙率と最大軸差応力の関係

2. 3 強度定数に対する細粒分含有率の影響

CD、CUB 試験で得られた強度定数を用いて、初期締固め度と内部摩擦角及び粘着力の関係を示したものが図-3、4である。

ϕ_d については、細粒分含有率が低い試料Aでは締固め度とともに ϕ_d が増加傾向にあるが、細粒分含有率が高い試料Bでは締固め度によらずほぼ一定である。 c_d は、試料Aでは締固め度によらずほぼ一定であるが、試料Bでは締固め度の上昇とともに微増傾向にある。

同様に、 ϕ' 、 c' については、試料A、Cでは締固め度とともに ϕ' が増加しているが、試料B、Dでは $D_c=95\%$ 程度まで ϕ' は締固め度によらずほぼ一定であり、 c' は概ね締固め度によらずほぼ一定である。一方、全応力で表した強度定数 ϕ_{cu} 、 c_{cu} については、 ϕ_{cu} は試料B、C、Dでは締固め度の増加に伴う変化が明確ではないが、 c_{cu} は細粒分含有率の違いによらず増加する傾向が見られる。これは、締固め度の違いにより、ダイレイタンシー特性、間隙水圧の発現特性が異なるためと考えられる。

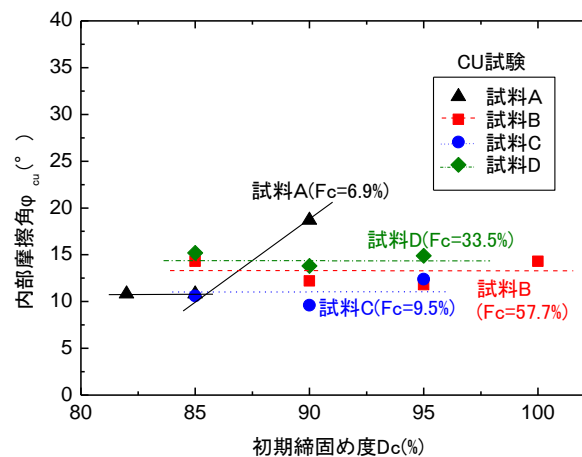
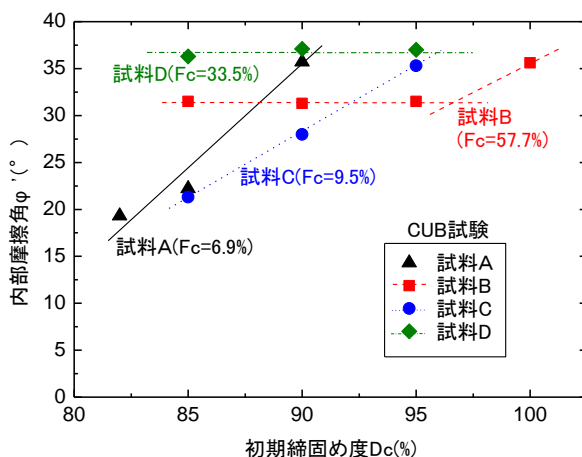
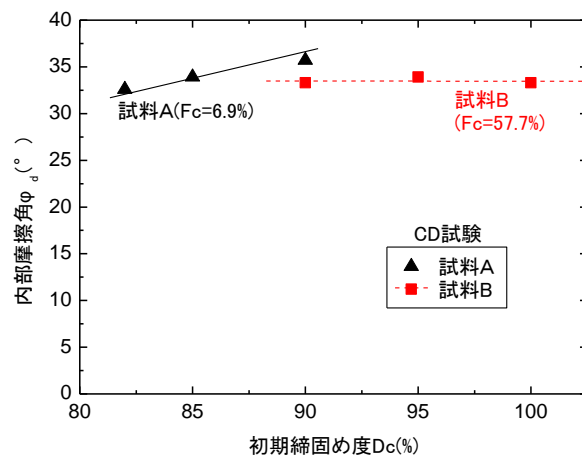


図-3 初期締固め度と内部摩擦角の関係

以上の結果は、強度定数と締固め度の関係は細粒分含有率の高低に影響を受け、盛土材料毎にその締固め効果が異なることを示唆している。つまり、細粒分含有率が高い盛土材料では、かなり高い締固め度まで締め固めない限り、締固め度の増加に伴う強度増加効果が低い傾向にあると言える。特に、細粒分含有率が高く自然含水比が高い粘性土等では規定の締固め度まで締め固めるのが難しく、このような盛土材料においては空気間隙率によ

り施工管理することが一般的であるが、このような材料の締固め程度と強度特性の関係について今後さらに検討が必要である。また含有される細粒分の塑性も強度定数に影響を及ぼすことが考えられることから、塑性指数などに着目した検討も併せて実施する。

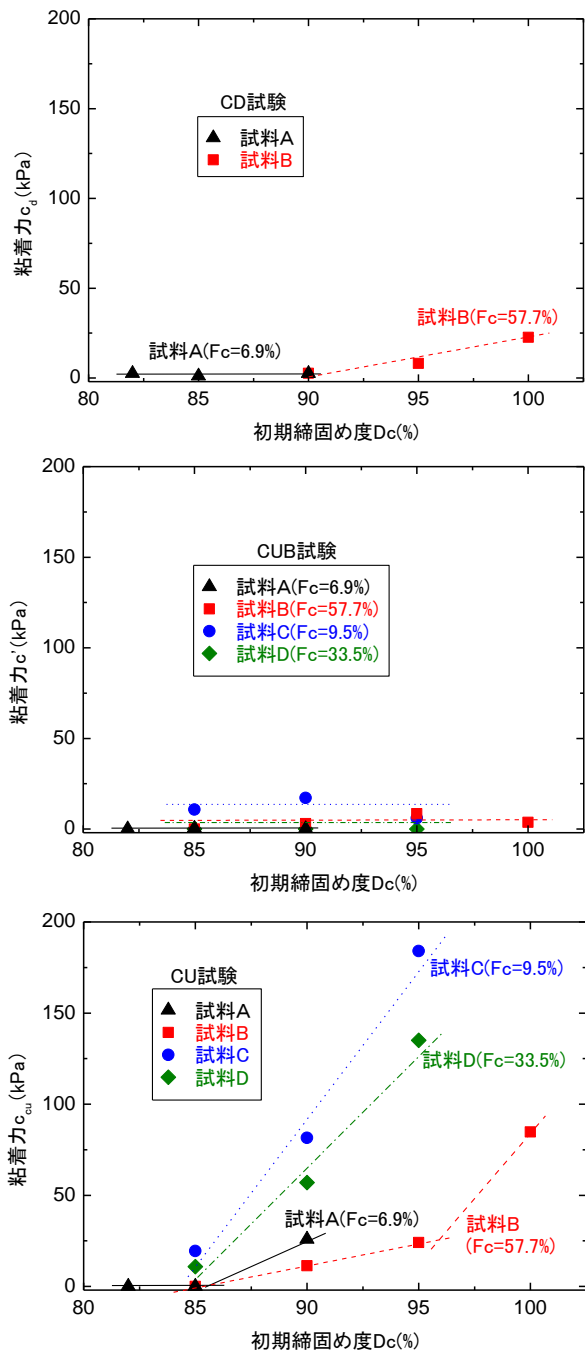


図-4 初期締固め度と粘着力の関係

3. 盛土現場調査結果

3.1 試験施工調査

ここでは実際の盛土施工における現場の試験施工に

よって得られた結果を紹介する。図-5はある現場における転圧回数と締固め度の関係を転圧機械毎に整理したものである。なお、ここで使用した土質材料はFc=17.1%の砂質土であり、三軸試験で使用した土質とは起源が異なるものであることに注意されたい。

図より転圧機械によってその傾向は異なるが、転圧回数の増加に伴い締固め度は確実に上昇しているのが確認できる。この結果はオーバーコンパクションが生じない土質であれば、転圧回数を増やすことによりある所定高さの締固め度を得ることは可能であることを示している。

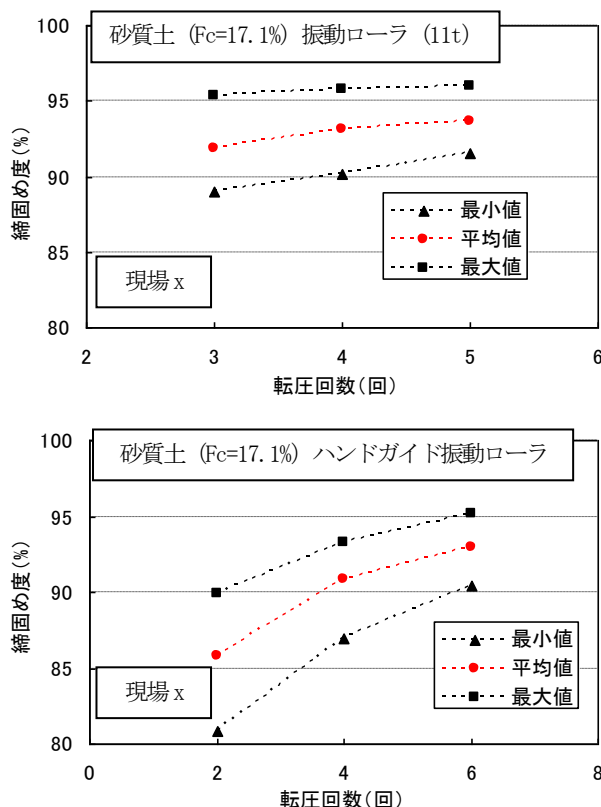


図-5 試験施工における転圧回数と締固め度の関係 (砂置換による計測)

3.2 本施工調査

ここでは実際の盛土の本施工時における転圧後の締固め度のばらつき等を調査した結果を示す。なおこの調査結果は先に示した試験施工調査を行った現場とは異なる現場の調査結果であり、対象となる土質は細粒分含有率が49.5%と高く、粘性土に近い砂質材料である。

図-6は、タイヤローラ (8t) で3回転圧されたある層において実施したRI計測によって得られた締固め度と自然含水比の結果で、締固め度の頻度分布を整理したものが図-7となっている。なお測点Noは図-8を参照され

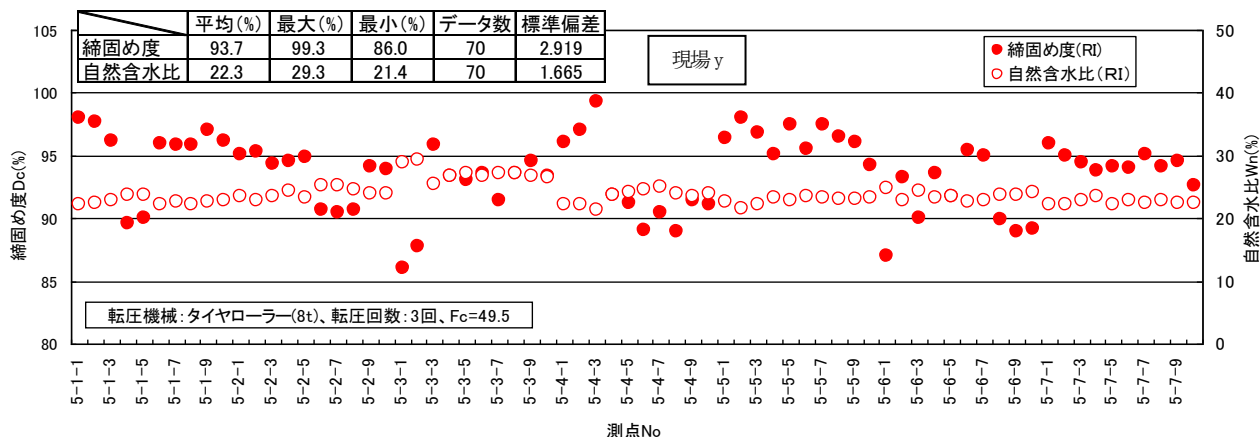


図-6 ある現場における測点毎の締固め度と自然含水比

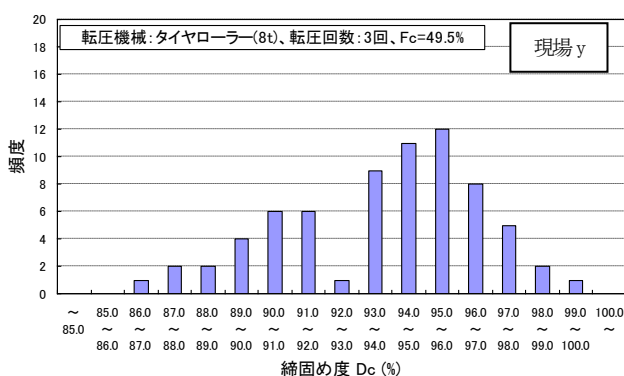


図-7 締固め度の頻度分布

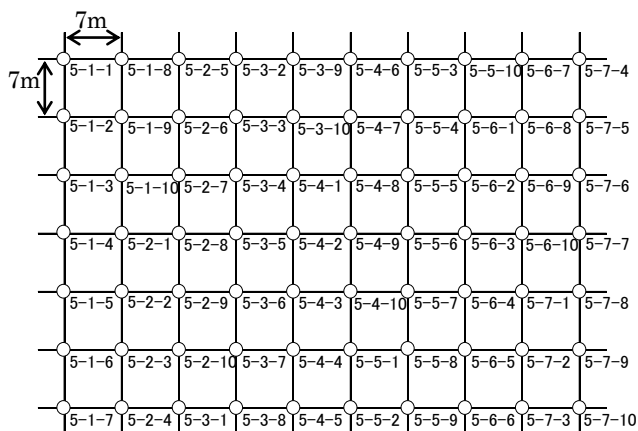


図-8 測点箇所

たい。これらの図より全ての測点で締固め度は85%以上となっていることが確認でき、平均で 93.7%と比較的高い締固め度を得ている。しかし同時にばらつきが生じていることも確認でき、最大の締固め度は99.3%、最小の締固め度は86.0%となっている。

図-9 は図-6 で示したデータをもとに含水比と乾燥密度の関係を整理したものである。図中にはA-c法で実施した締固め試験によって得られた締固め曲線も記している。この図より、原位置で得られた締固め度は含水比が高いほど低下する傾向が見受けられる。このことは締固め度がばらついた原因の一つとして、施工時の含水比が影響していることを示唆している。

この他、締固め度にばらつきが生じた原因として、土質、転圧機械、転圧回数などの影響も考えられるが、現段階では判断はできない。今後データを蓄積しその原因を究明していく。

4. まとめ

4.1 室内三軸圧縮試験

(1) 締固め度 D_c がある値を超えると、非排水強度の方が

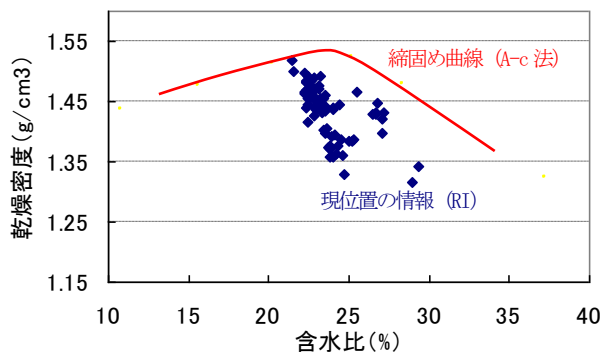


図-9 原位置における含水比と乾燥密度の関係

排水強度よりも急激に大きくなる。この現象は、沢埋め盛土等の水の影響を受けやすく地震時に飽和状態にあることが想定される盛土で、地震時に非排水状態にある場合には、耐震性に対する締固めの意義はさらに大きくなることを示唆している。

(2) 細粒分含有率の高低により締固め度と強度定数の関係が異なる傾向があり、細粒分含有率が高い盛土材料では、締固め度の増加に伴う強度増加があまり見られ

ない。

4. 2 土工調査

- (1) ある現場の試験施工結果より、転圧回数を増加させることで締固め度が確実に上昇することが確認できた。
- (2) ある現場における実際の締固め度を調査した結果、締固め度の下限値、平均値に問題はないが、ばらつきが確認された。そのばらつきの原因の一つに施工時の含水比の影響が考えられる。

4. 3 今後の課題

一連の土質試験により、締固め度と強度定数の関係は細粒分含有率の影響を受け変化することが確認された。今後も種々の土質について強度試験、透水試験を実施し、土質毎の締固め度と強度、透水係数の関係を網羅的に調べるとともに、細粒分含有率の高低のみならず対象となる土の塑性に着目した検討も行う。

また本報では土工現場の調査結果を紹介したが、今後

も原位置情報を収集、整理し、土工の現状を詳細に把握していく。

これら土質毎の締固め度と強度、透水性の関係および現場の詳細な調査結果を統合し、必要に応じ土質毎の締固め基準値の提案や、含水比の範囲など施工時の留意事項をとりまとめ、設計で想定した盛土構造物の要求性能を満足する実現可能な締固め管理の在り方を検討する。

参考文献

- 1) 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
- 2) 龍岡文夫：盛土の締固め管理と設計の共働の必要性、基礎工、7月号、pp. 32-39、2009

EFFECTIVE CONSTRUCTION AND QUALITY CONTROL FOR EARTH STRUCTURES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2011

Research Team : Soil Mechanics and Dynamics

Research Team

Author : TETSUYA Sasaki

HIROTOSHI Mori

TADAO Enomoto

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 2009, triaxial tests were carried out for purpose of understanding the relationship of soil strength and the degree of compaction. As a result, it was shown that the relationship varies with the level of fine fraction content. In addition, by the survey results of the field research of earthwork, those were confirmed that degree of compaction also increases number of roller compaction increases has been revealed, and degree of variability of compaction degree in the earthwork.

Key words : earthwork, degree of compaction , triaxial test, test banking