

D滑走路における埋立部の性能設計に対応する陸上盛土の転圧施工

護岸・埋立()工区 ○河村 健輔

護岸・埋立()工区 小倉 勝利

護岸・埋立()工区 川端 利和

護岸・埋立()工区 堺谷 常廣

キーワード：山砂，盛土，締固め・転圧，品質管理

1. まえがき

埋立部における揚土2工は、リクレーマ船により埋立材を陸揚げしダンプ運搬後、陸上盛土を造成する工種となる。揚土1工までは、水面下での埋立材の水中投入による埋立地の造成であったが、揚土2工（陸上盛土）は、滑走路および誘導路などの空港基本施設の路体盛土としての性能が必要であることから、転圧締固めによる強固な支持地盤を造成する。

本論文では、陸上盛土において使用する主材料である千葉県産の山砂の締固め特性を整理し、陸上盛土に先立ち実施した転圧試験結果を踏まえ、陸上盛土の品質管理方法について説明する。また、本工事において得られた品質管理結果についても整理する。

2. 揚土2工の概要

2-1 工事概要

図-1に埋立部の断面図を示す。護岸背面と中仕切堤の間に管中混合処理土を施工し、中仕切堤背面には埋立材を水中投入した後、これらの上部に陸上盛土を施工する。最大施工層厚は、第一航路側の滑走路端部（100年後の基準高さ A.P.+17.1m）で約20mとなる。

陸上盛土の工事概要を以下に示す。

- ・施工期間：2009年4月～2010年2月
- ・施工土量：約1100万m³（最盛期：約200万m³/月，約8万m³/日）
- ・施工機械：リクレーマ船（埋立材の滑走路島への揚土）
 ホイールローダ（埋立材の積み込み）
 ダンプトラック（埋立材の運搬）
 ブルドーザ（埋立材の敷き均し）
 振動ローラ（埋立材の転圧締固め）

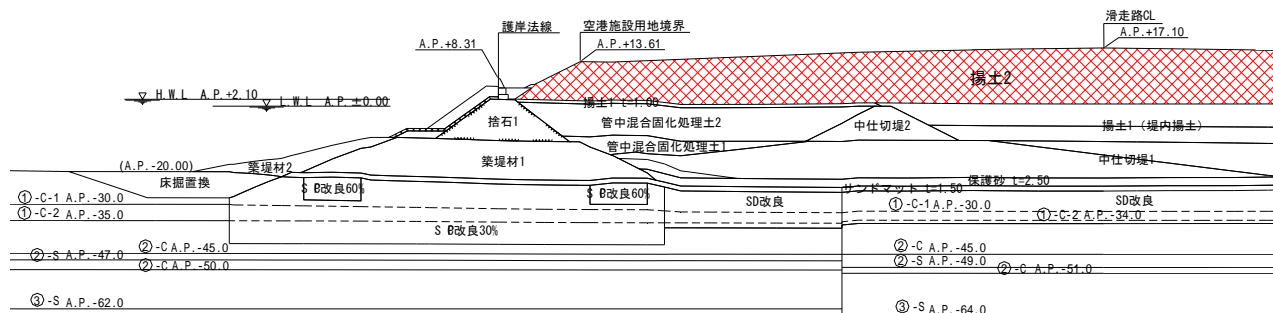


図-1 埋立部の断面図



リクレーマ船



ホイールローダ (15m³級)



ダンプトラック (50t 級)



ブルドーザ (40t 級)



振動ローラ (350kN 級)

写真-1 揚土 2 工の施工機械

2-2 必要性能

揚土 2 工の陸上盛土は、滑走路および誘導路などの空港基本施設の路体盛土としての機能を有する必要がある。したがって、主に、以下の 3 点の性能が要求される。

安定性を有すること (十分なせん断強度を有し、滑り破壊が発生しないこと)

長期間にわたる有害な圧縮沈下が発生しないこと (特に降雨や水位上昇にともなう水浸時)

地震時に液状化が発生しないこと

これらの性能を満足するためには、一般に、最適含水比 W_{opt} 付近の施工含水比で締固め度 (Dc) が 90% 以上となるよう転圧締固めを行う。空港土木工事共通仕様書および本工事の要求水準にも Dc 90% が品質管理基準として記載されている。Dc 90% が基準となる背景は、例えば、既往の文献^{1),2)}において、締固め度とせん断強度および圧縮時の変形係数との関係性から、 W_{opt} において Dc=90% 付近で材料の力学的特性が変化する変曲点が現れ、せん断強度および変形係数が増大する。液状化に関しても、Dc 90% は十分に密な状態であるため十分な液状化抵抗性を有している。

なお、Dc の算出において使用される最大乾燥密度 d_{max} は、JIS A 1210 に拠る突固め試験³⁾で算定する。この試験においては、A~E 法と 5 種類の突固め法を用いる。A~C 法は標準締固めに対応する Standard Proctor と呼ばれ締固め仕事量は $E_c=550\text{kJ/m}^3$ である。D~E 法は重締固めに対応する Modified Proctor と呼ばれ締固め仕事量は $E_c=2500\text{kJ/m}^3$ である。通常の路体では、A~C 法の標準締固めによる d_{max} を用いるが、本工事では、空港滑走路という構造物の重要性を考慮し、重締固めである D~E 法による d_{max} とする。

3. 使用材料の転圧締固め特性

3-1 使用材料の土源

陸上盛土材としては、千葉県上総地区で産出される山砂を主材料とし、代替材として一部で岩ズリや幹旋土 (建設発生土) なども使用する計画である。主材料となる千葉県上総地区の山砂は、富津市~君津市~木更津市~袖ヶ浦市付近で産出される。地層区分では、南側の富津市~君津市付近で産出される山砂は上総層群に分類され、北側の木更津市~袖ヶ浦市で産出される山砂は下総層群に分類される。これらの山砂は、1 土源当たりの出荷量が 1~10 万 m^3 /月の約 30 土源からなる。

3-2 山砂の材料特性

約 30 の土源からなる山砂の材料特性のばらつきを確認する目的で事前に一斉室内土質試験を実施した。その結果を図-2～図-4 に示す。なお、図中凡例の山砂 A～C は後述の転圧試験を実施した材料である。粒度分布 (図-2) については、大きなばらつきはなく、細粒分・礫分をほとんど含まなく砂分が卓越した均等粒径の典型的な砂質土である。締固め曲線 (図-3) については、多少のばらつきがあり、 d_{max} で $1.45 \sim 1.80 \text{g/cm}^3$ に分布している。この d_{max} のばらつきについては、粒度特性との関連性から中砂分 (粒径 $0.25 \sim 0.85 \text{mm}$) の含有量が多くなると d_{max} が大きくなる傾向がある。図-4 は Dc と締固めエネルギーの相関図である。修正 CBR 試験において 3 種類の締固め回数による乾燥密度からそれぞれの締固めエネルギーと Dc を計算し双曲線近似をしたグラフであり、締固め易さの指標の一つとなる。なお、締固めエネルギーは式-1 により計算される。畠・建山らの式⁴⁾ (式-2) を引用すると、修正 CBR 試験の締固めエネルギーは起振力 170kN 級の振動ローラとはほぼ同程度となる。室内締固め回数 (N) と現場転圧回数 (N*) との相関係数は 3.0 程度であり N=24 回では N*=8 回となる。図-4 から、Dc=90% となる締固めエネルギーは $E_{90} = 150 \sim 650 \text{kJ/m}^3$ となる。これは、室内締固め回数で N=6~24 回となり現場転圧回数では N*=2~8 回に相当する。

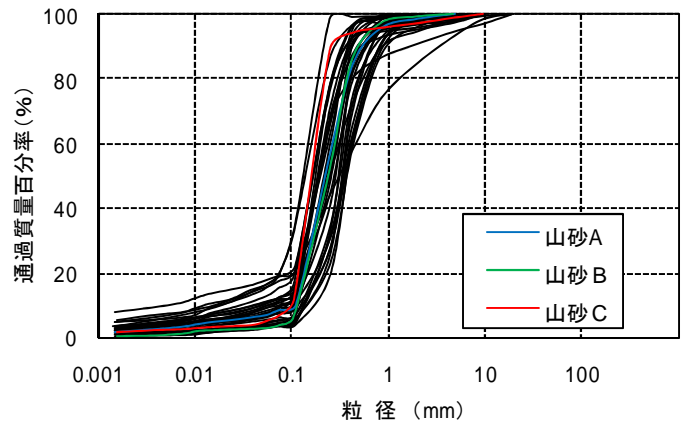


図-2 山砂の粒度曲線

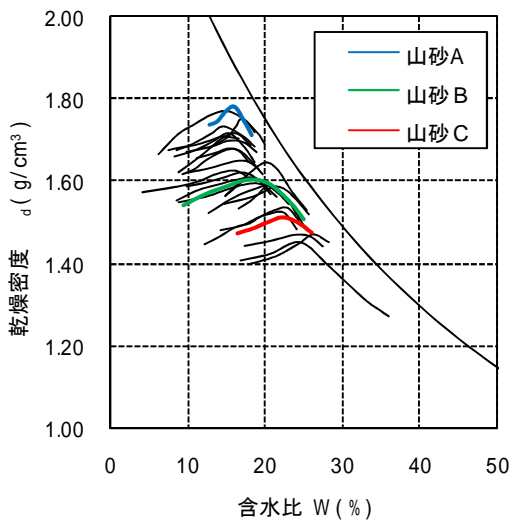


図-3 山砂の締固め曲線

$$E = \frac{W_R \times H \times N_B \times N_L}{V} \quad \text{式-1}$$

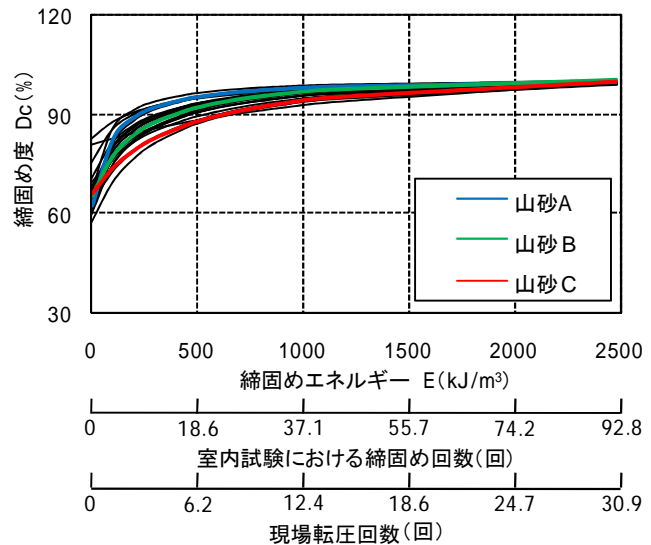


図-4 山砂の締固めエネルギー

$$W_R \times H \times C \times \left(\frac{W}{L} + \frac{F}{L} \right) \quad \text{式-2}$$

- ここで、 W_R : 室内締固め試験におけるランマー重量 (44.1N)
 H : 室内締固め試験における落下高さ (0.45m)
 N_B : 室内締固め試験における締固め回数 (回)
 N_L : 室内締固め試験における層数 (3層)
 V : 室内締固め試験におけるモールド容積 (0.002209m^3)
 C : 相関係数 (0.18) W : 振動ローラの重量 (170kN 級では 100kN)
 F : 振動ローラの起振力 (170kN) L : 振動ローラの車輪幅 (2.1m)

3-3 山砂の締固めと力学特性

既往の研究^{1),2)}および仕様書・要求水準から、空港路体盛土の必要性能を満足するためには、 D_c 90%が基準となる。そこで、千葉県上総地区の山砂においても D_c 90%で必要性能が満足されるのかを代表材料(山砂 B) を用いて検証した。その結果を図-5～図-7 に示す。図-5 は W_{opt} における D_c とせん断強度の関係であり $D_c=80\%$ 付近で変曲点を迎えせん断強度が増大する。図-6 は W_{opt} における D_c と圧縮応力の関係であり $D_c=80\%$ 付近で変曲点を迎え圧縮応力が増大する。 D_c 90%であれば、圧縮性は小さく水浸によるコラプス沈下も 1%程度であることが確認できる。図-7 は相対密度 (D_r) と D_c との相関を示したグラフである。 D_r は、JGS 0161 で基準化されている砂の最大・最小密度試験から算出される。この試験は、乾燥砂の入った容器を振動させ間接的な振動締固めを行う。一方、 D_c は含水比を変えた湿潤砂を用いて、砂面上に直接ランマーを落下させる突固め試験から求まる。したがって、 D_r と D_c の算定に用いる最大密度は異なる。一般に、液状化の判定には D_r を用い、 D_r 60%であれば密詰状態であり液状化の可能性は低いとされている。図から $D_c=90\%$ における D_r は、平均で 100%、最低でも 60%は確保している。

以上から、千葉県上総地区の山砂においても、既往の研究などと同様に、 W_{opt} 付近で D_c 90%であれば、空港路体盛土に必要な①安定性、非圧縮性、③液状化抵抗性の性能を十分に満足すると考えられる。

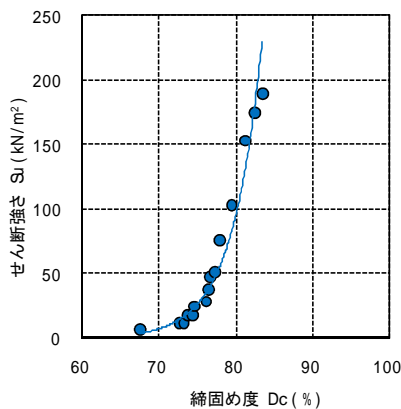


図-5 山砂のせん断強さ

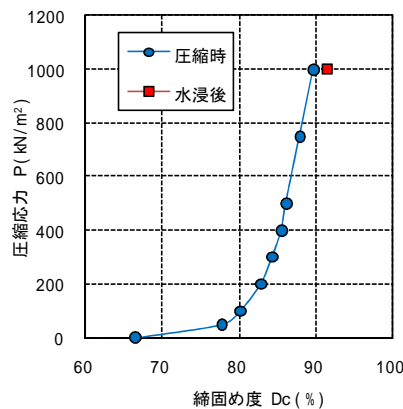


図-6 山砂の圧縮性

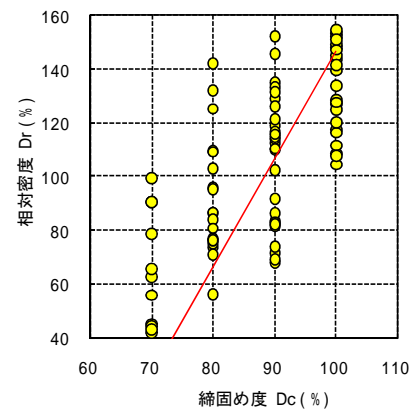


図-7 山砂の D_c と D_r の関係

4. 転圧試験

4-1 転圧試験の概要

(1) 試験の目的

転圧試験の目的は、以下の項目を確認する目的で実施した。

- 山砂の現場転圧締固め特性（密度、支持力）の確認
- 施工仕様（施工機械、施工層厚、転圧回数）の確認
- 本工事における品質管理方法の確認

(2) 使用材料

転圧試験は、以下に示す選定根拠で、図-2～図-4 に示される山砂 A～C の 3 種類の材料で行った。

- <山砂 A> 締固め曲線が上位、締固めエネルギーが小さい、上総層群
- <山砂 C> 締固め曲線が下位、締固めエネルギーが大きい、下総層群
- <山砂 B> 代表的な中間材料

(3) 試験層厚

深度方向の締固め効果は材料の粒度分布などの特性による。一般に、材料の締固め特性は A～D の 4 種類に分類⁵⁾される。パターン A は含水比が高く転圧には不向きな粘性土で現れる挙動であり、パターン C・D は密度勾配が大きい傾向を示す礫質土で現れる挙動である。パターン B は密度勾配が少なく転圧による密度増加は初期に大きい傾向を示す砂質土で典型的な挙動であり、転圧による深度方向の密度勾配が緩やかな密

度増加となり、深部までの締固め効果がある。千葉県上総地区の山砂は図-2に示したように典型的な砂質土であることからパターンBの挙動になることが予測される。そこで、90cm層厚の厚層化施工の可否を確認する目的で、敷均し層厚100cm、仕上げ層厚90cmという試験層厚で転圧試験を実施した。また、転圧を行う施工機械は、深部まで十分にエネルギーが伝搬するように、国内最大級の振動ローラである起振力350kN級の振動ローラを使用した。

(4) 試験平面図および計測項目

転圧試験は図-8に示すように20m×24mを2mメッシュで区切り、各メッシュ内で図に示すと通りの各種計測を行った。計測項目は表-1に示すように、沈下量、密度、強度などを偶数回の転圧回数毎に実施した。強度試験は、平板載荷試験、現場CBR試験の他に、小型FWD試験やSFWD⁶⁾試験などの動的載荷試験も実施した。密度計測については、RIによる計測を主として行い、従来より行われている地表面RI、2孔式RIとともに、本工事の品質管理計器として新規開発した1孔式RIも使用した。1孔式RI(図-9)は、90cmの厚層化施工の際に90cm層厚の下層部の密度の計測を容易に短時間で計測可能な計器である。散乱型のRI計器であり、測定中心から半径15cmの球状の範囲内の平均的な乾燥密度を計測することが可能である。

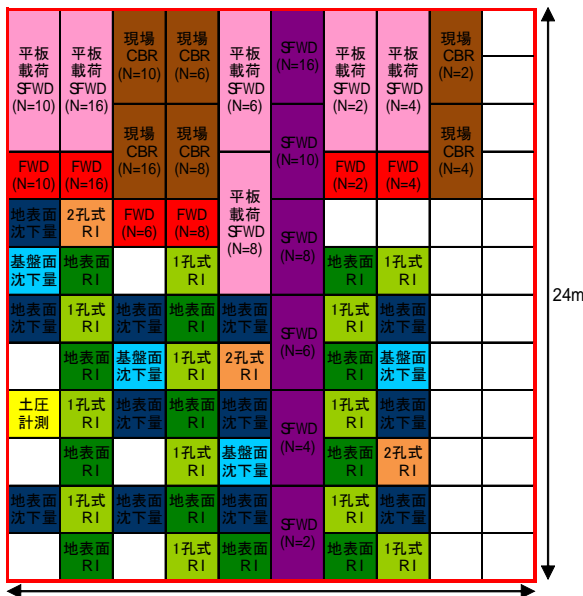


図-8 転圧試験の平面図

表-1 転圧試験の計測項目

試験項目		転圧水準(回)	測点数	総測点数
沈下量	地表面沈下量	0、2、4、6、8、10、16	12	84
	基盤面沈下量	0、2、4、6、8、10、16	4	28
密度	地表面RI	0、2、4、6、8、10、16	12	84
	1孔式RI	0、2、4、6、8、10、16	12	84
	2孔式RI	0、2、4、6、8、10、16	3	21
強度	平板載荷試験	0、2、4、6、8、10、16	3	21
	現場CBR試験	0、2、4、6、8、10、16	3	21
	小型FWD試験	0、2、4、6、8、10、16	3	21
	SFWD試験	2、4、6、8、10、16	6	36
土工	土工計測	0、2、4、6、8、10、16	1(3深度)	21

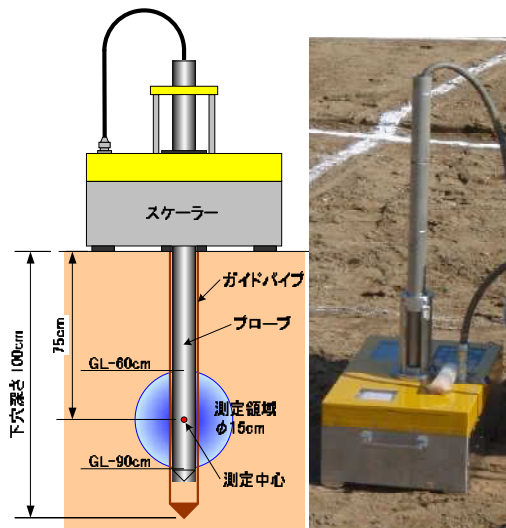


図-9 1孔式RI計器

4-2 転圧試験結果

(1) 圧縮率

図-10に圧縮率の計測結果を示す。圧縮率は(地表面沈下量-基盤沈下量) / 敷均し層厚で算出した。すべての材料で転圧が進むにつれて圧縮率は大きくなるが、転圧回数N=6~8回程度で変曲点があり収束する傾向が確認された。

(2) 締固め度

図-11~図-12に1孔式RIおよび2孔式RIによる締固め度の結果を示す。N=0回では下層部においては、Dc<90%であり、転圧とともにDcも上昇しN=4回で全深度でDc 90%となり、N=6~8回程度で変曲点があり収束する傾向がある。2孔式RIの結果から深度方向の密度勾配をみると、90cm全深度にわたり転圧効果が確認され、緩やかな密度勾配でありパターンBの典型的な砂質土の挙動をよく表現している。1孔式RIについても2孔式RIと比較して、よい精度で計測できることが確認できその適用性を評価できた。なお、1孔式RIとその他のRI計器との比較・検証の詳細については文献^{7),8)}を参照されたい。

(3) 強度

図-13～図-16 に平板載荷試験，現場 CBR 試験，小型 FWD 試験，SFWD 試験の計測結果を示す。平板載荷試験，現場 CBR 試験などの静的載荷試験では，転圧により多少の強度増加は確認できるが，ばらつきも大きく評価が難しい。一方，小型 FWD 試験，SFWD 試験などの動的載荷試験では，転圧による強度増加が確認でき，変曲点や収束する傾向も，圧縮率や締固め度と同様に N=8 回程度である。表面部は大きな振動力で乱され，その影響で静的載荷試験の結果にばらつきが見られ，一方，動的載荷試験は，瞬間的な反力を評価するため，表面部の乱れの影響は受けにくいと考えられる。

4-3 転圧試験のまとめ

千葉県上総地区の山砂は典型的な砂質土あることから，深部方向の密度勾配は緩やかであり，350kN 級の起振力の振動ローラにより 90cm 層厚の施工が可能であることが確認できた。また，Dc 90%を満足するためには，転圧回数 N=4 回で十分だが，圧縮性，締固め度，強度から，転圧回数 N=8 回で変曲点を迎え収束する傾向があり，N=8 回以上の転圧で安定した性質の盛土の造成が可能であることも確認できた。

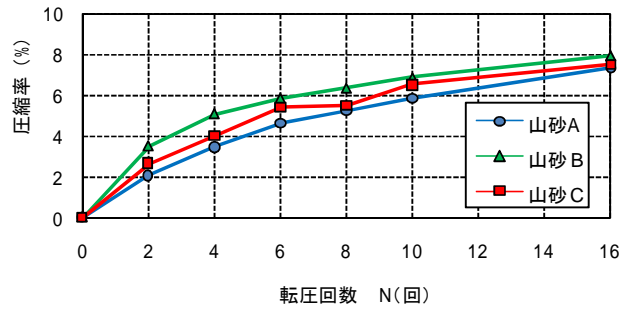


図-10 圧縮率の計測結果

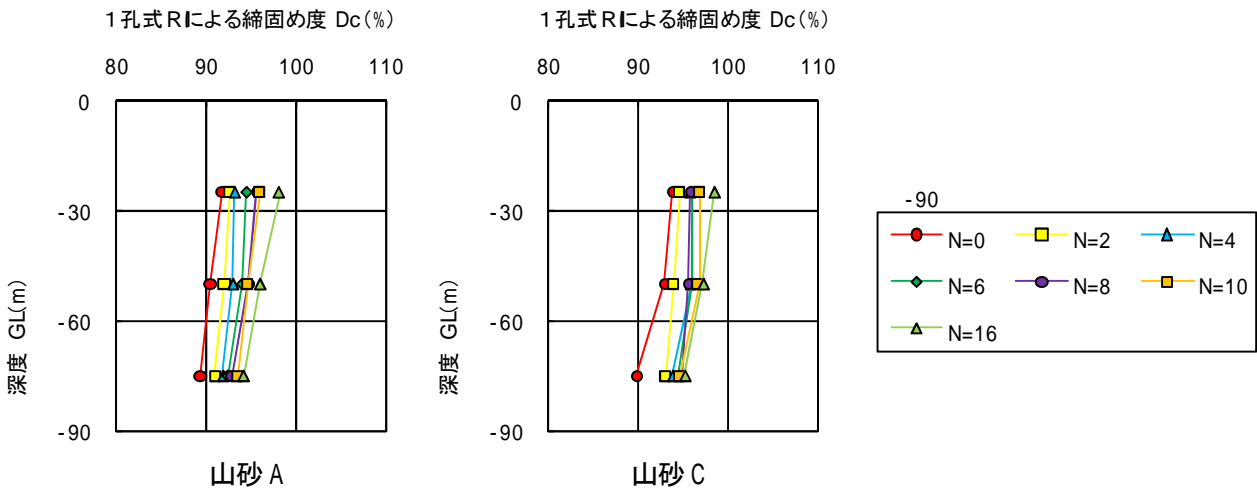


図-11 1孔式 RI による Dc の計測結果

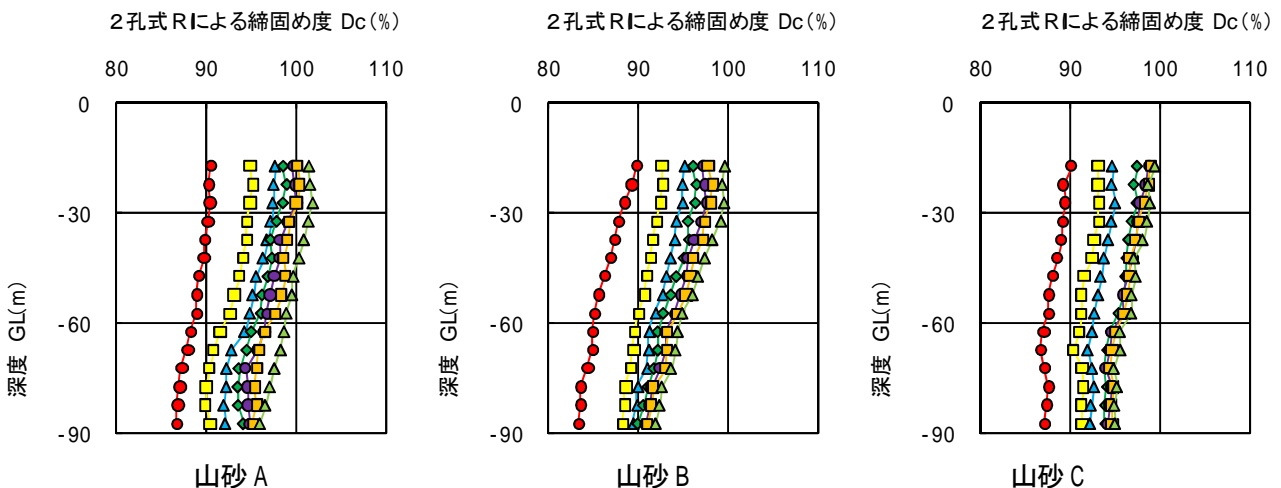


図-12 2孔式 RI による Dc の計測結果

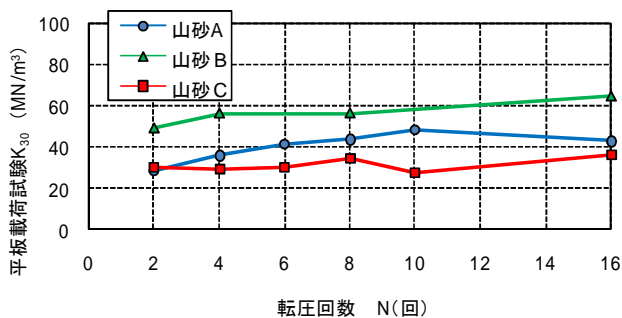


図-13 平板載荷試験による地盤反力係数の計測結果

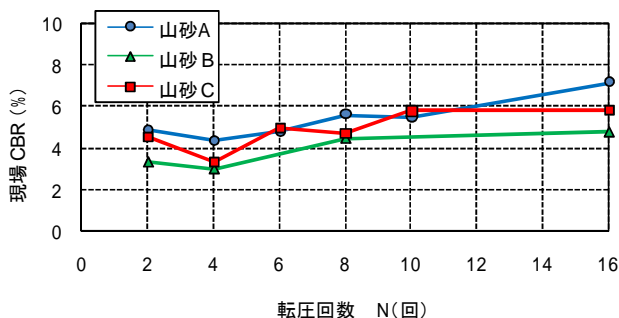


図-14 現場 CBR の計測結果

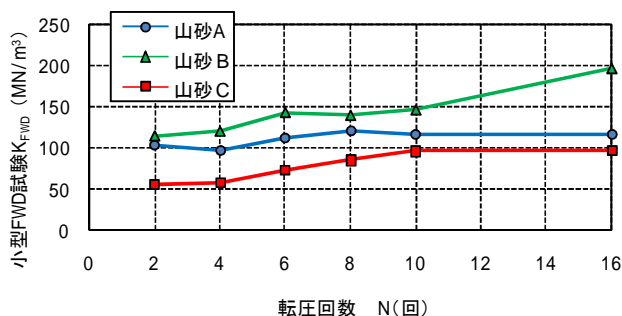


図-15 小型 FWD 試験による地盤反力係数の計測結果

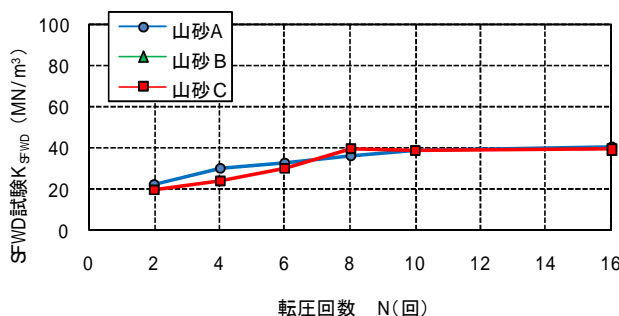


図-16 SFWD 試験による地盤反力係数の計測結果

5. 陸上盛土工の品質管理

5-1 品質管理方法

品質管理方法は、本工事における特徴である大量急速施工を考慮して策定した。前述したが、陸上盛土工は最盛期で約 200 万 m^3 /月、日当たりで換算すると約 8 万 m^3 /日の施工土量である。一方、供給する側となる千葉県上総地区の土源の出荷量は 1~10 万 m^3 /月と大小さまざまな規模である。そのため、施工土量を確保するためには、土源毎の区別は難しく、積出港での仮置き～運搬船への積み込み～空港島への揚土の各段階において複数土源の材料が混合することになる。また、本工事は設計施工一括発注方式であり、従来の仕様設計ではなく性能設計であることも特徴であり、路体盛土の性能を確認することも重要となる。

以上のことを踏まえて、本工事における陸上盛土工の品質管理は、表-2 に示す定期管理、日常管理という 2 つの管理方法で実施している。一般的には、RI 等による密度管理を主として日常管理で行うが、本工事では、材料が混合し区別することが困難であり材料の基準密度が不明となるため、密度管理は、定期管理で実施し、その際に試料採取して材料の特性を確認する。また、定期管理では、転圧試験でその適用性を確認した 1 孔式 RI を用いて、90cm の下層部にお

表-2 品質管理方法

管理種別	項目	基準値	試験方法	計測点数	頻度
定期管理	締固め度 Dc	Dc 90%	RIによる 土の密度試験	10点/回 3深度/点	4回/月
	最大乾燥密度 d_{max}	—	突固めによる 土の締固め試験	3点/回 (表層部の 試料を採取)	
	土粒子密度 s	—	土粒子の密度試験		
	自然含水比 W_n	—	土の含水比試験		
	粒度分布	—	土の粒度試験		
	最大・最小密度 d_{max} ・ d_{min}	—	砂の最大密度・ 最小密度試験		
	修正 CBR CBR	—	修正 CBR 試験		
	支持力係数 K_{FWD}	K_{FWD} 65MN/ m^3	小型 FWD 試験	10点/回	
日常管理①	転圧回数 N	N ≥ 8回	GPSによる 軌跡管理	転圧全エリア	毎日
	仕上層厚 t	$t_{average}$ 90cm			
日常管理②	支持力係数 K_{FWD}	K_{FWD} 65MN/ m^3	小型 FWD 試験	1点/2 00 m^2	毎日

ける密度計測も実施する。日常管理では、施工方法を規定することで、品質を間接的に保証するとともに、小型動的載荷試験（FWD）を使用し、路体盛土の支持力・剛性を把握することで性能を確認する。なお、小型動的載荷試験（FWD）における地盤反力係数の管理基準値は、転圧試験における N=8 回時の計測結果をもとに $K_{FWD}=65\text{MN/m}^3$ と設定した。 $K_{FWD}=65\text{MN/m}^3$ はポアソン比 $\nu=0.3$ として換算すると変形係数は $E_{FWD}=18\text{MN/m}^2$ となる。転圧試験結果より山砂における変形係数と現場 CBR の相関係数は $n=6.0\sim 7.0$ となることから、現場 CBR=2.5%程度 の管理基準値に相当することになる。空港土工では現場 CBR 2.0%が支持力を有する地盤と見なされることから、この管理基準値は妥当な値である。

5-2 品質管理試験結果

陸上盛土工については現在施工中であるため、品質管理試験結果は 2009 年 8 月末までの結果を報告する。

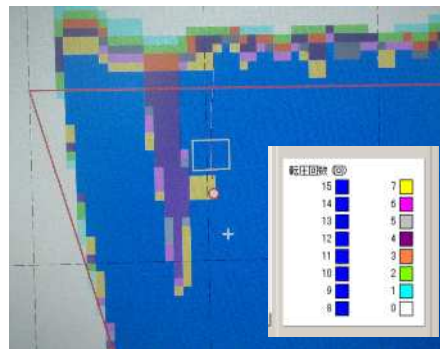
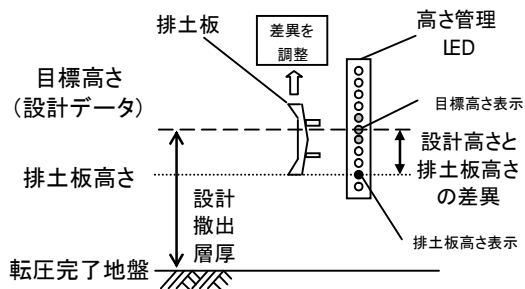
(1) 日常管理①

日常管理①は、施工仕様として施工層厚および転圧回数を管理するために、施工機械に RTK-GPS を取り付け、施工位置、施工高さ等を記録する。一例として、写真-2 に示す。撒出し時の層厚・高さを確認しながら施工が可能となるようにブルドーザに GPS 機器を搭載し、予め登録してある撒出し層厚と排土板の高さを比較して、運転席に設置した高さ管理 LED に計画層厚と排土板高さの差異を表示する。オペレータは LED の表示を見ながら排土板の高さを上げ下げして調整し、必要な撒出し層厚を確保している。排土板高さ管理の精度は、2~3cm 程度であり、撒出し厚の管理として十分な精度を確保している。一方、転圧を行う振動ローラにも GPS を搭載し、転圧回数の履歴を記録することにより、転圧回数不足が発生しないように管理している。オペレータは、常に転圧回数の履歴画面を見ながら規定の回数転圧を把握する。転圧を行った位置の画面は、それぞれの転圧回数に応じて着色され、規定の回数以上転圧された位置は青く着色され転圧が完了したことが表示される。各位置の現在の転圧回数が一見して確認でき、転圧不足の発生をなくすることが可能であり、現場内に構築した無線 LAN により各振動ローラの転圧回数のデータが集積され、現場事務所においても転圧状況の確認が可能である。



GPS 搭載のブルドーザー

オペレータは高さ管理LEDで目標高さと排土板高さの差異を確認し、排土板を上下して設計撒出層厚を確保する



GPS 搭載の振動ローラ

写真-2 日常管理①の実施状況

(2) 日常管理②

日常管理②は、従来の密度管理に相当する頻度として 1 点/2000m² の頻度で実施している。小型動的載荷試験 (FWD) の試験結果のヒストグラムを図-17 に示す。試験結果は、正規分布を呈しており、管理基準値を上回り、平均値は 123.4MN/m³ である。これは、変形係数 E=34MN/m²、現場 CBR=4.8% に相当する支持力である。

(3) 定期管理

定期管理は、1 回/週および 1 回/層に相当する頻度として 4 回/月の頻度で実施している。定期管理の

試験方法は、図-18 に示す 2m × 2m × 10 メッシュの簡易的な試験エリアを造成し、1 孔式 RI による密度管理、小型動的載荷試験 (FWD) および試料採取による室内試験を実施する。密度管理については、10 点の各層の平均値が Dc 90% であることを管理する。図-19～図-21 に室内試験による材料の特性の結果を示す。グラフ中の黒実線が前述の図-2～図-4 に示される事前調査結果であり、事前調査と同様の材料が本工事でも使用されていることが確認できる。図-22 に 1 孔式 RI による密度管理結果 (Dc のヒストグラム) を示す。上層と下層の差は 3.0% 程度と転圧試験同様に緩やかな密度勾配であり、変動係数も 2.0% とばらつきもなく均質な Dc 90% の路体ができていることが確認できる。管理値 90% に対して数点下回っている値があるが、

個々のデータでは試験誤差の範囲内とも考えられ、変動係数も小さいことから盛土全体の性能は確保されている。なお、定期管理は図-18 に示す 10 点の平均値管理としている。図-23 に含水比と乾燥密度の関係を示す。図中の赤プロットは事前調査時における $d_{max} \sim W_{OPT}$ であり、黄プロットは定期管理時における $d \sim W_n$ である。図より、施工時含水比は W_{OPT} 付近もしくは若干乾燥側の状態であり含水比の変化はほとんどない。図-24 に 1 孔式 RI から求めた乾燥密度 d_d を用いて室内試験結果から算出した Dr と Dc の相関、図-25 に Dr のヒストグラムを示す。事前調査同様に Dc 90% で Dr 100% となっていることが確認できる。図-26 は定期管理時に実施した小型動的載荷試験 (FWD) 結果と 1 孔式 RI による Dc および d_d との相関を示す。ばらつきが大きく明確な相関性の評価は難しいが、 K_{FWD} が基準値以上であれば、Dc 90% となっていることが確認できる。また、Dc では基準密度が異なるため d_d での相関を調べると、 d_d が大きくなるほど K_{FWD} は大きくなる傾向は確認できる。

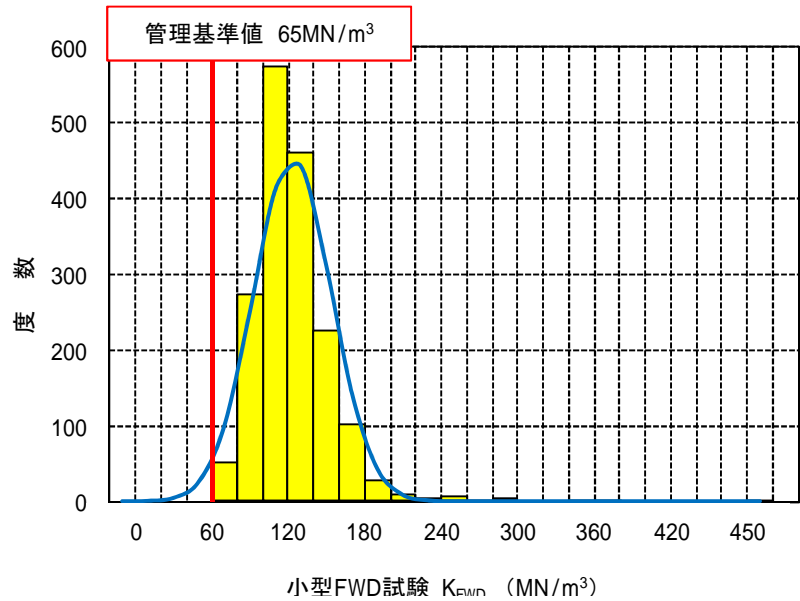


図-17 日常管理② (小型 FWD 計測結果)

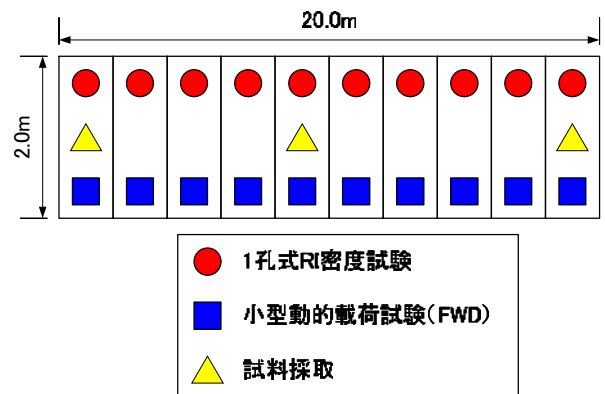


図-18 定期管理試験の実施平面図

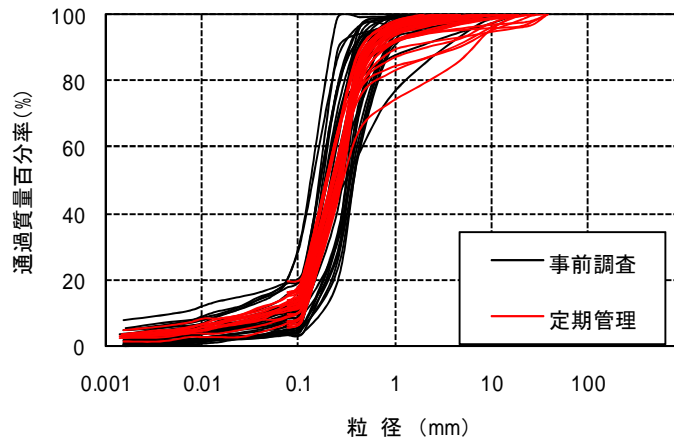


図-19 定期管理試験結果（山砂の粒度曲線）

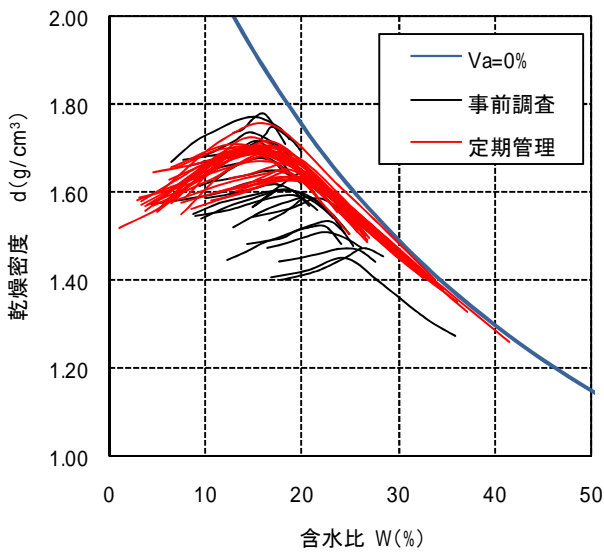


図-20 定期管理試験結果（山砂の締固め曲線）

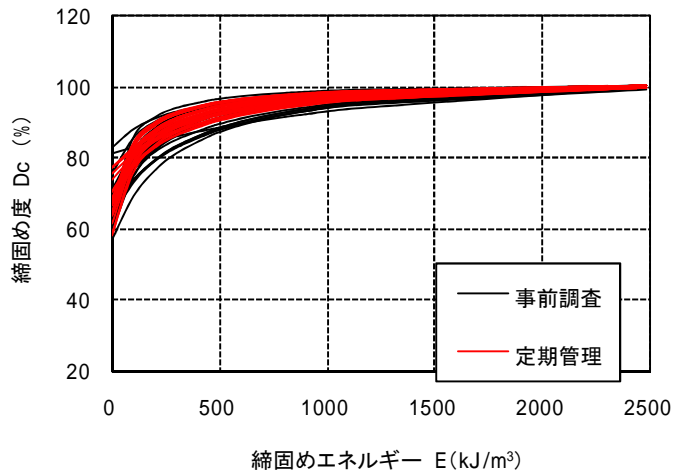


図-21 定期管理試験結果（山砂の締固めエネルギー）

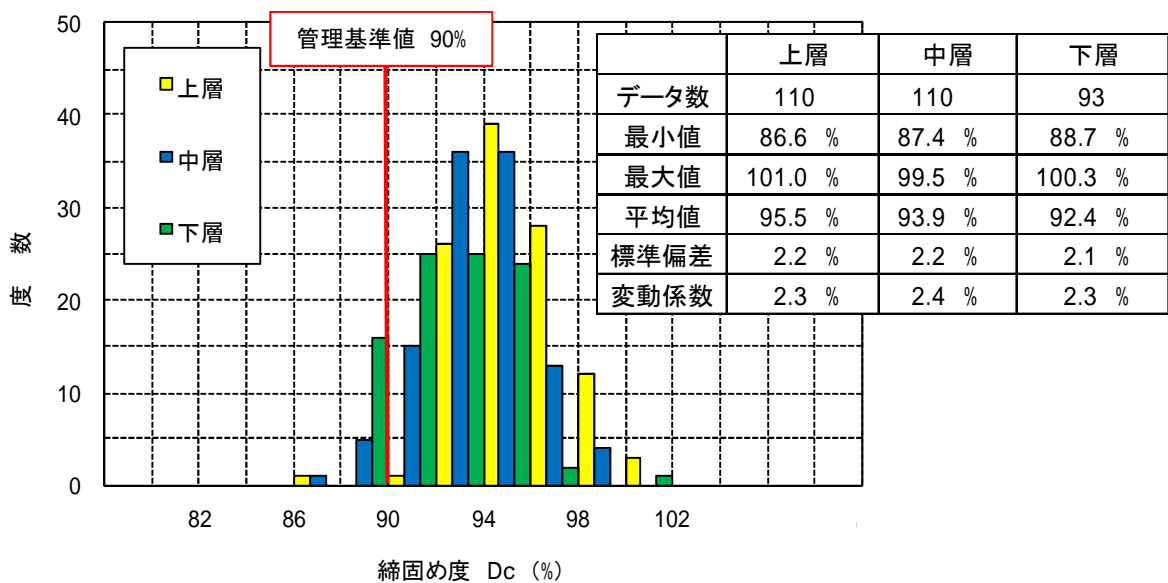


図-22 定期管理試験結果（1孔式RIによるDcの計測結果）

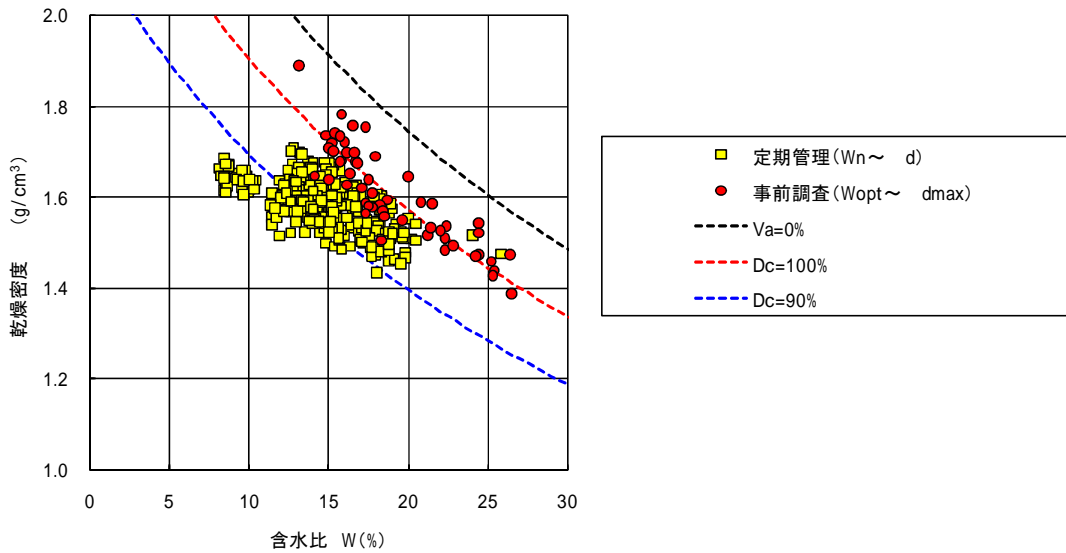


図-23 乾燥密度と含水比の関係

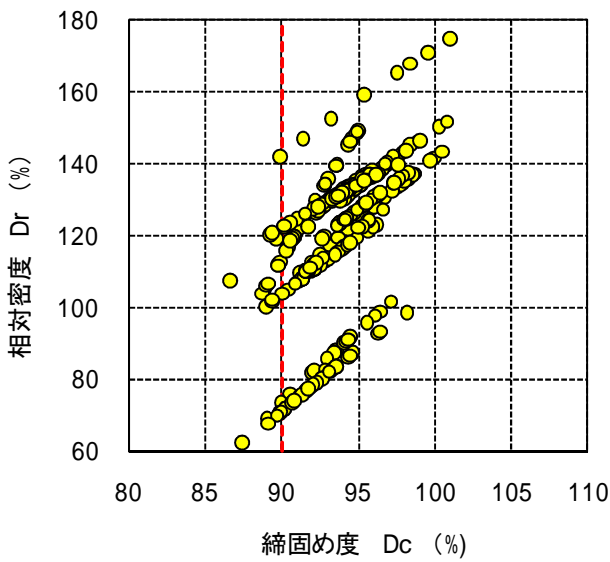


図-24 締固め度と相対密度の相関

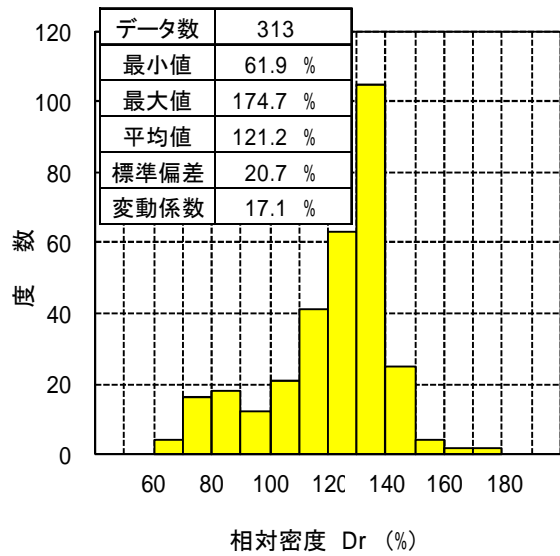
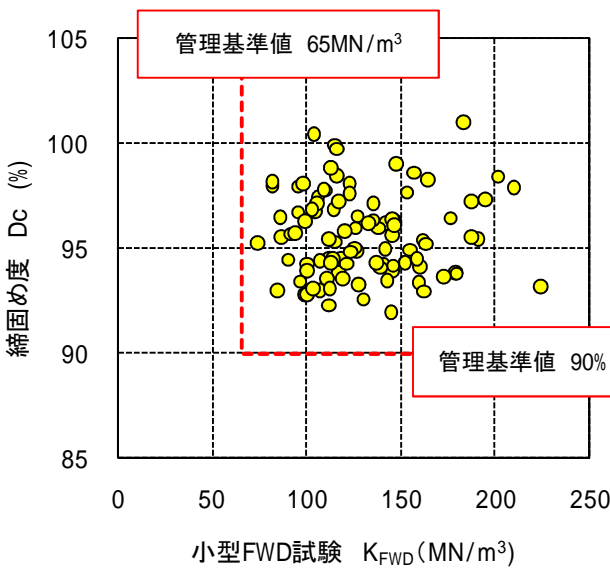
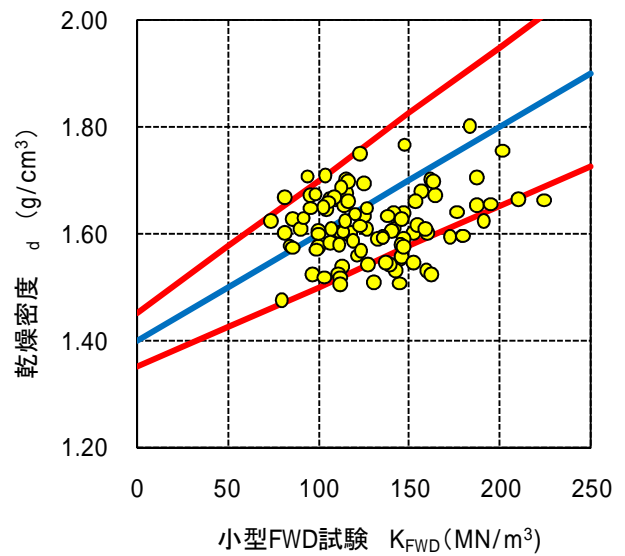


図-25 相対密度のヒストグラム



$K_{FWD} \sim Dc$ との相関



$K_{FWD} \sim d$ との相関

図-26 定期管理試験結果による支持力と密度の相関

6. おわりに

本工事では、主材料である山砂の綿密な事前調査から現場転圧試験を行い、施工層厚 90cm という厚層化施工を実施している。また、品質管理結果からフィードバックを行い、空港路体盛土の性能を従来の Dc 評価とともに支持力性能の確認も行っている。2009 年 12 月現在、陸上盛土工の最終仕上げ作業に入っているとともに、滑走路・誘導路の路床工にも取りかかっている。路床工についても陸上盛土工と同様に、材料調査～転圧試験～品質管理を通して、50cm による厚層化施工および路床性能の確認を行っている。路床工の詳細については、別の機会に詳細を報告したい。

【参考文献】

- 1) 地盤工学会編：盛土の調査・設計から施工まで， pp.104-106.
- 2) 久楽勝行，三木博史ほか：礫まじり土の締固め度と圧縮時の変形係数の関係，第 20 回土質工学研究発表会， pp.971-972， 1985.5.
- 3) 地盤工学会編：土質試験の方法と解説， pp.252-265.
- 4) 畠昭治郎・建山和由ほか：振動ローラを用いた現場締固めにおける密度予測に関する研究，土木学会論文集，第 364 号， -4， pp.229-237， 1985.12.
- 5) 地盤工学会編：地盤調査の方法と解説， pp.560-561.
- 6) 長澤正明，龍岡文夫ほか：地盤剛性全自動評価システム（SFWD）による礫質盛土の地盤剛性評価，第 41 回地盤工学研究発表会， pp.1291-1292， 2006.6.
- 7) 河村健輔，林雅典ほか：層厚化施工に向けた 1 孔式 RI の開発，第 44 回地盤工学研究発表会， No.490， 2009.8.
- 8) 野口孝俊，河村健輔ほか：羽田 D 滑走路の盛土における現場での地盤剛性評価手法，第 54 回地盤工学シンポジウム， No.26， 2009.11.