

那覇空港増設に係る滑走路部の盛土転圧試験について

森 晴夫*・中野 則夫**・前里 尚***・菅野 雄一****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 業務執行理事

*** 内閣府 沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所 那覇空港新滑走路整備推進室 調査課長

**** 復建調査設計(株) 東京支社 第一技術部 地盤環境課 課長

那覇空港の滑走路増設事業は、平成32年3月の供用を目指しており、現在護岸整備等が行われている段階にある。埋立工事については、護岸と中仕切り堤が先行して完成した部分から速やかに実施されることとなっている。このため、平成27年度中に埋立造成時の地盤性状等を把握・評価するとともに、基本施設下の埋立造成に係わる仕様及び品質管理方法を定めておく必要がある。埋立造成は、水中の埋立部と気中の埋立部によって、その施工方法が異なるため、求められる要求性能に応じて品質管理の考え方について個々に整理しておく必要がある。

本報告では、気中の埋立部の盛土および基本施設下の転圧・締固め仕様について、転圧試験を通じて最適な仕様や品質管理方法について検討した結果を報告する。

キーワード：転圧締固め試験、品質管理、岩ズリ、海砂

1. はじめに

現在、那覇空港の2本目の滑走路の建設が平成32年3月の供用開始を目指して那覇空港滑走路増設事業として進められている。現空港の海側を埋立て、滑走路を増設する予定であるが、工期が厳しいため埋立後に地盤改良などの液状化対策を行っている時間的余裕が無いのが現状である。

そのため、滑走路等の基本施設直下等の重要な部分は、使用する埋立材に液状化を起こさない材料を用いることが想定されている。表-1に埋立材料としての考え方を示す。

那覇空港の滑走路増設事業は、護岸整備等が行われている段階にあり、埋立工事については、護岸と中仕切り堤が完成後、速やかに行われることとなっている。このため、平成27年度中に埋立造成時の地盤性状等を把握・評価するとともに、基本施設下の埋立造成に係わる仕様及び品質管理方法を定めておく必要がある。

表-1 埋立材料の考え方

区分	埋立材料としての考え方
滑走路・誘導路直下(水中)	液状化の可能性が低くかつ沈下の影響が少ない材料
埋立(水中)	液状化の可能性が低くかつ沈下の影響が少ない材料が望ましいが、最も土量が必要とする範囲のため、予定材料はいずれも原則受入れ可能とする。ただし、施工性の確保や沈下防止のため、受入基準による品質管理を行う
盛土・路体(気中)	空港土木工事共通仕様書の品質規定に基づく
路床(気中)	空港土木工事共通仕様書の品質規定に基づく

埋立造成は、水中と気中によって、その施工方法が異なるため、求められる要求性能に応じて品質管理の考え方について個々に整理しておく必要がある。

そこで、想定される埋立材料を用いて、材料の特性試験、現地での地盤性状試験及び転圧締固め試験を行った。ここでは、転圧試験を通じて最適な締固め仕様や品質管理方法について検討した結果を報告する。

2. 転圧試験

2.1 転圧試験の概要

(1) 転圧試験の目的

転圧試験の目的は、各埋立材料の現場における締固め特性(密度、支持力)の把握や気中部(路体、路床部)の施工仕様(施工機械、施工層厚、転圧回数)並びに品質管理方法を決定するために行う。転圧試験の対象材料は、岩ズリ(南部、北部:最大粒径300mm)、購入砂を対象とし、転圧試験は、転圧回数及び撤出し層厚を変えて行った。

なお気中部は、コスト削減や工期短縮などを目的として、空港土木工事共通仕様書(以下、共通仕様書)に規定されている1層の仕上がり厚さ(路体盛土30cm以下、路床盛土20cm以下)以上の層厚での盛土施工(いわゆる厚層施工)を目指した。

(2) 使用材料

転圧試験で使用した埋立材料は、岩ズリ(南部、北部)及び購入砂である。図-1に示す粒度分布より岩ズリ(南部、北部)は、礫分が多い材料である。また、購入砂は本島南部の海砂であり、比較的粒度が均質な

砂である。

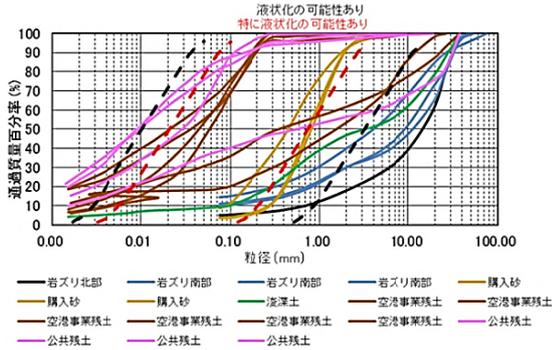


図-1 粒度分布

(3) 試験概要

転圧試験の断面図、平面図を図-2 に示す。本試験では、厚層施工を想定し、仕上がり厚を 40cm, 60cm, 80cm として転圧試験を実施した。ちなみに、関西国際空港の転圧施工の事例では、粒径 30cm 以下の砂岩、泥岩を材料とし、転圧回数は、8 回転圧、層厚 60cm と規定された。東京国際空港 D 滑走路の転圧施工の事例では、山砂、岩砕材を材料とし転圧回数 8 回、路体部で層厚 90cm、路床部で層厚 50cm と規定された。

転圧試験に用いた機械を図-3 に示す。転圧は、350kN 級振動ローラで実施した。また、転圧回数は 2 ~ 10 回までを重点的に行い、最大 16 回まで実施した。

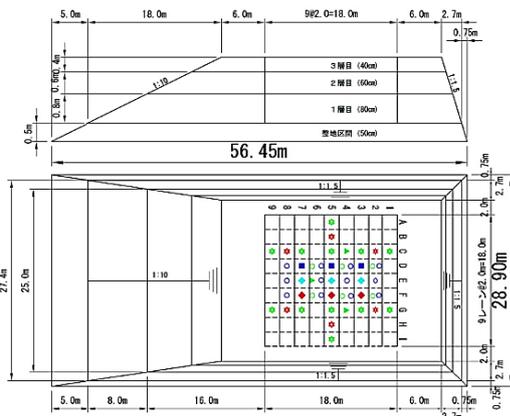


図-2 転圧試験の断面図、平面図

表-2 計測項目

計測項目	記号	測定点数	測定転圧回数	測定点数
乾燥密度 (締固め度)	2孔式RI	○	0,2,4,6	126点
	自動走査式SRID	○	8,10,16	252点
	水置換/砂置換	▲	3点	9点
沈下	地表面沈下計測	☆	0,2,4,6	252点
	基盤沈下計測	☆	8,10,16	126点
強度	平板載荷試験	■	3点	45点
	CBR試験	◆	2,4,6,8,10	45点
	小型FWD試験	◆	3点	45点



図-3 転圧試験使用重機

(4) 計測項目

転圧試験では、乾燥密度、沈下及び地盤強度を測定した。計測した項目と測定回数を表-2 に示す。

① 乾燥密度(締固め度)の測定

乾燥密度の計測は、図-4 に示す深度方向の密度を測定する 2 孔式 RI、地表面付近の密度を測定する SRID および水置換、砂置換により行った。ただし、2 孔式 RI は、測定フレーム設置による計測手間を考慮すると、試験施工には適用できるが、実施工では適用することは難しい。実際に、関西国際空港及び東京国際空港 D 滑走路の工事においても、2 孔式 RI は試験施工では使用されているが、実施工では、自動走査式 RI と 1 孔式 RI が使用されている。

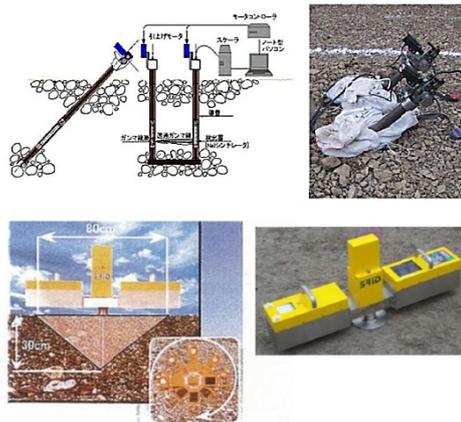


図-4 2孔式RI(上図)、自走式SRID(下図)

② 地盤強度の測定

地盤強度に関しては、平板載荷試験、CBR 試験および図-5 に示す地盤強度を簡便に測定できる小型 FWD 試験を行った。

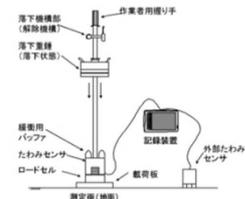


図-5 小型FWD

③ 地盤沈下の計測

撒きだし層厚がどの程度圧縮するかを把握するため、地表面の沈下計測、基盤の沈下計測を行った。

2.2 転圧試験結果の概要

転圧試験結果について、圧縮率、乾燥密度(締固め度)、地盤強度の概要を示す。

(1) 圧縮率

圧縮率は、圧縮量を撤出し層厚で除した値である。購入砂の層厚 80cm の場合の転圧回数と圧縮量を図-6 に示す。購入砂の圧縮率は転圧とともに大きくなった。同様に岩ズリ(南部)、岩ズリ(南部)とも同じ傾向であった。撤出し層厚に対する圧縮率は 9 ~ 12% であった。

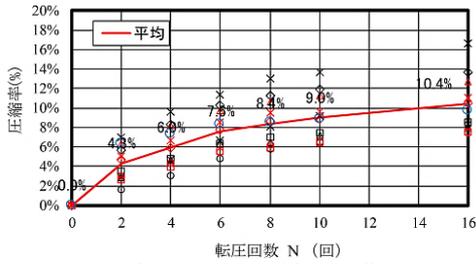


図-6 転圧回数と圧縮率 (購入砂)

(2) 乾燥密度 (締固め度)

購入砂の転圧回数と地表面付近の乾燥密度の関係を図-7に、2孔式RI 深度方向の乾燥密度の変化を図-8に示す。地表面の乾燥密度は転圧回数とともに増加している。また、乾燥密度は地表面付近ほど大きく、深くなるほど小さく、転圧回数とともに増加している。この傾向は岩ズリ(南部), 岩ズリ(北部)とも同様の傾向を示した。

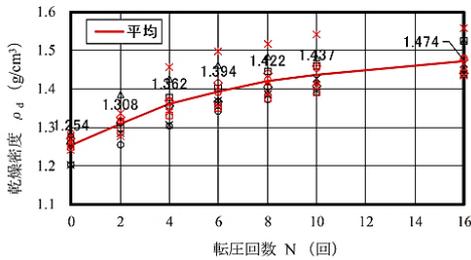


図-7 転圧回数と乾燥密度 (購入砂)

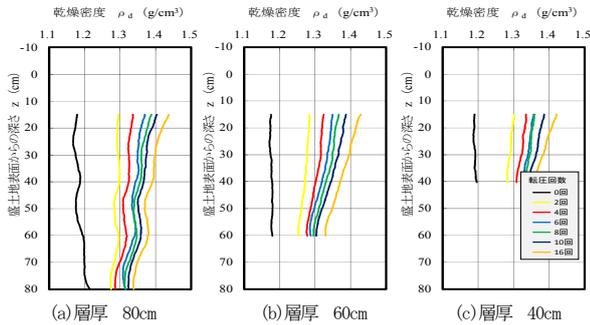


図-8 深度方向の乾燥密度 (購入砂)

(3) 地盤強度

① 小型FWD試験

層厚80cmの場合の小型FWD試験で得られた転圧回数と地盤反力係数(K_{FWD})の関係を図-9に示す。購入砂は、この結果では転圧4回目ぐらいから比例的に増加している傾向が見られる。

岩ズリ(北部)は、購入砂と同様に転圧回数とともに地盤反力係数が増加する傾向を示しているが岩ズリ(南部)は転圧回数による増加の傾向が見られなかった。

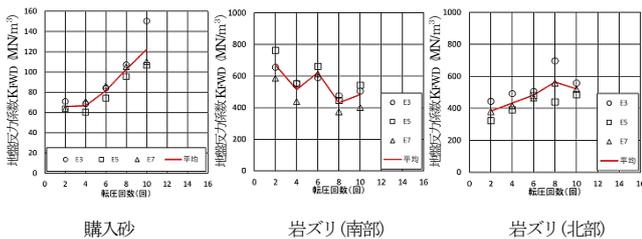


図-9 転圧回数と地盤反力係数 K_{FWD} (層厚 80cm)

② 現場CBR試験

層厚80cmの場合の転圧回数と現場CBRの関係を、図-10に示す。購入砂は転圧回数の増加とともにCBR値は大きくなっている。転圧2回で4.6%, 転圧10回で10%である。

岩ズリ(南部)は、ばらつきが大きい転圧回数とともに増加傾向にあった。岩ズリ(北部)は、ばらつきが大きい結果となった。

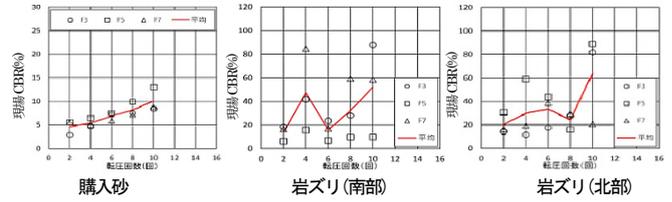


図-10 転圧回数と現場CBR (層厚 80cm)

③ 平板载荷試験

層厚80cmの場合の転圧回数と平板载荷試験(地盤反力係数 K_{30})の結果を図-11に示す。購入砂は、転圧回数とともに地盤反力係数が増加している。

岩ズリ(南部)の地盤反力係数は、転圧6回まで各測点間にばらつきがある。岩ズリ(北部)も同様なばらつき傾向が見られた。

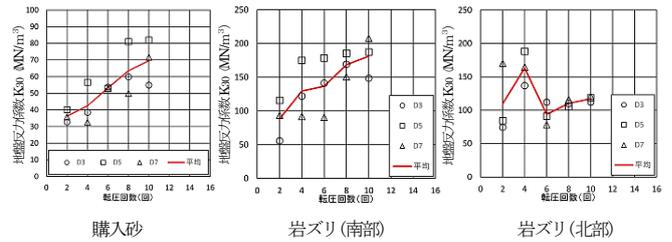


図-11 転圧回数と平板载荷試験 (地盤反力係数 K_{30})

2.3 転圧試験のまとめ

(1) RI 計器と置換法での乾燥密度の比較

RI 計器での乾燥密度の測定精度を確認するため、転圧16回完了後に置換法により乾燥密度を測定した。その結果は、表-3に示すとおりでありRI 計器での乾燥密度は置換法よりも若干小さいことが分かった。今回の材料では、RI 計器での締固め管理は締固め度を過大評価することはないと判断した。

表-3 RI 計器と置換法での乾燥密度の比較

盛土材・盛土層厚	乾燥密度 ρ_d (g/cm³)		2孔式RI 置換法	SRID 置換法	備考
	置換法	2孔式RI			
購入砂 80cm	1.572	1.428	1.474	0.91	2孔式RIは深度15~20cmの 平均値
購入砂 60cm	1.491	1.421	1.424	0.95	
購入砂 40cm	1.44	1.414	1.405	0.98	
岩ズリ(南部) 80cm	1.951	1.913	2.051	0.98	2孔式RIは全深度の平均値
岩ズリ(南部) 60cm	2.181	2.15	2.142	0.99	
岩ズリ(南部) 40cm	2.298	2.081	2.093	0.91	
岩ズリ(北部) 80cm	2.131	2.054	2.027	0.96	
岩ズリ(北部) 60cm	2.211	2.126	2.086	0.96	
岩ズリ(北部) 40cm	2.236	2.1	2.036	0.94	

(2) 締固め効果の評価方法

表-4に各試験の計測結果と転圧回数の関係の傾向を示す。結果よりSRIDは、材料に関係なく締固め効果を

安定的に測定できていたが、他の試験では全般的に、ばらつきが大きく安定的な関係を見い出せなかった。これより、転圧に伴う締め固め効果を評価する方法としてSRIDを採用することとした。

表-4 各試験の計測結果と転圧回数との関係

	SRID	小型FWD試験	現場CBR試験	平板載荷試験
購入砂	安定的に乾燥密度が測定される	増加傾向にあるがばらつきが大きい	ばらつきが大きい	ばらつきが大きい
岩ズリ南部	安定的に乾燥密度が測定される	ばらつきが大きく減少傾向	ばらつきが大きい	ばらつきが大きい
岩ズリ北部	安定的に乾燥密度が測定される	増加傾向にありばらつきは小さい	ばらつきが大きい	ばらつきが大きい
購入砂の事例				

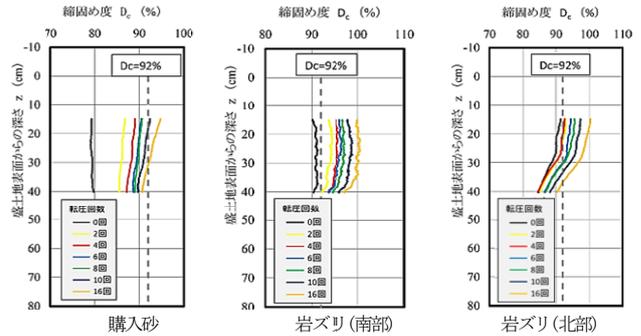


図-12 深度方向の締め固め度(層厚 40cm)

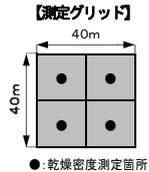
3.2 品質管理について

密度管理はSRIDによる地表面付近の乾燥密度の測定により実施することとし、その密度管理の測定は、40m×40m(1,600m²)のグリッドに4地点の頻度で行い、以下の管理基準により管理することを提案した。また、管理目標値(材料毎に設定したSRIDより計算される締め固め度)を下回った場合は、そのグリッドを2回再転圧することとした。

【管理基準】

左記の4地点で乾燥密度を想定し、以下の基準両方を満たすこと。

- ①4地点の平均値が管理目標値を満足
- ②2点以上が管理目標値を満足



(3) SRIDの計測値による深度方向の乾燥密度の評価
厚層施工を行う場合、下層部分でも所定の密度を確保する必要があるが、実際の工事においてはその密度を測定することは困難である。このため、表層の乾燥密度はSRIDの値を用い、深度方向の乾燥密度については、2孔式RIの乾燥密度の分布傾向により補正することとした。

3. 盛土工の転圧仕様及び品質管理について

3.1 転圧仕様について

(1) 締め固め度の評価方法

転圧試験から締め固め度の評価として、締め固め層の下端30cm厚さの平均的な締め固め度Dc30を求め、以下の2点両方を満足している場合に、十分な締め固め効果が発揮されていると評価した。

- ① 全6地点の乾燥密度の平均から求めたDc30が92%以上
- ② 各盛土の計測地点6地点のうち3地点以上が92%以上

(2) 転圧仕様

350kN級振動ローラ転圧における材料毎の締め固め度を満足する各層毎の最低転圧回数と地表面の締め固め度を表-5に示す。表中の網掛けは施工日数と施工費から有効な転圧を示す。また、各材料の層厚40cmの深度方向の締め固め度を図-12示す。ただし、購入砂の場合は、転圧回数が16回以上でないと転圧効果が得られないことから、共通仕様書に基づき仕上げ層厚(20cm, 30cm)で施工する必要がある(この場合、転圧回数は10回)。

表-5 層厚と最低転圧回数、締め固め度の関係

	層厚	最低転圧回数	地表面の締め固め度
購入砂	40cm	16回	92.5%以上
岩ズリ(南部)	80cm	10回	98.3%以上
	60cm	8回	96.5%以上
岩ズリ(北部)	40cm	2回	93.0%以上
	60cm	16回	100.0%以上
	30cm	4回	92.0%以上

4. 今後の課題

今回の転圧試験は、購入砂、岩ズリ(北部, 南部)について実施した。購入砂については、転圧効果が上がっていないことから、他の材料と混合するなど利用方法を検討する必要がある。また、埋立材料の供給量の不足への対応のために、今回の対象材料以外の公共残土・空港残土についても改質処理を行い有効活用の検討が必要である。

5. おわりに

本検討は、まだ埋立材料の品質・数量・調達について未確定な部分が多い中、一定の成果が得られたと捉えているが、引き続き検討しなければならない課題があり、それらについて検討を進めて行くことが埋立事業の円滑な進捗に寄与するものと考えます。

謝辞

本稿は、内閣府沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所発注の那覇空港滑走路増設埋立検討調査業務の成果の一部をまとめたものである。

調査にあたっては、那覇空港滑走路増設技術検討委員会(委員長:放送大学 池田先生)の各委員、沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。