

那覇空港滑走路用埋立材料の改質処理方法の検討について

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

** 前 (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

平成 31 年 12 月の開港を目指して那覇空港の滑走路増設事業が進められている。現在、護岸工事がほぼ完成し、Ⅱ、Ⅲ工区では埋立工事が先行して行われている段階にある。土工量は約 1,000 万 m^3 と大規模であり、かつ急速な埋立施工が要求されている。平成 27 年度埋立技術検討委員会により、埋立材料(岩ズリ等)の効率的な施工方法に関する技術的知見が得られたが、その一方では現在の施工工程による材料調達面から基本施設直下に岩ズリを全面投入する事が厳しくなることが予想されるため、粘性土を主とする公共残土、空港残土の活用の可能性を確認する必要性が発生した。このため空港施設の性能を満足するための材料改質及び急速施工を可能にする地盤造成技術の検討を行った。

本報告では、公共残土、空港残土の活用に向けて材料の改質方法および転圧方法について、室内試験・転圧試験を通じて検討した結果を報告する。

キーワード：滑走路、改質、転圧試験、公共残土、空港残土、固化材、岩ズリ、購入砂

1. はじめに

那覇空港滑走路増設事業に係る埋立工事に向けて、空港近くに仮置きしている公共残土や空港残土(以降、残土)の活用の可能性を確認するため、空港施設の性能を満足するための改質方法および施工方法の検討を行った。改質土は、図-1 の気中部(DL+3.0m 以上)の滑走路及び誘導路下部への使用を前提として検討した。改質土の転圧試験において、当初は空港施設の性能を満足するための評価の一つとして、空港土木工事共通仕様書(以降、共通仕様書)に定められている締固め度(RI 計測、 $D_c=92\%$ 以上)を路床部の目標値とした。改質土の転圧試験を行っている中で、目標値を満足するように転圧回数を増やしたり加振するなど行ったが、所要の締固め度を満足することが難しいことが判明した。このため有識者による委員会及び国土技術政策総合研究所の意見を踏まえて、今回の転圧試験の目標を、締固め度から強度(CBR)重視に変更した試験を実施し、

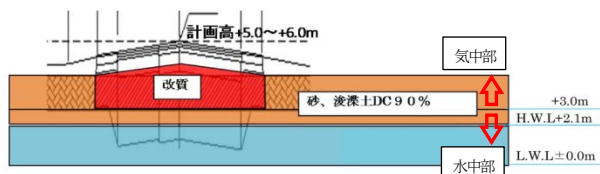


図-1 滑走路横断面図 (気中部と水中部)

転圧方法、品質管理方法を提案した。検討の流れを図-2に示す。

有識者等からのヒアリングでは、「①CBRの発現が確認できれば、厳密に締固め度92%を満足する必要はない。②共通仕様書は標準であり、各空港の特性や材料の状況に応じて適切な管理方法を定めることができる。③改質土の適切な締め固めを行い、所要のCBRが確保できるよう管理を行った場合、航空機の载荷による大きな圧密沈下は想定しなくてもよい。」との意見であった。

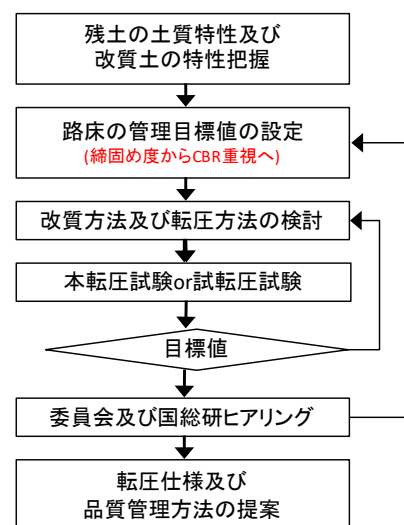


図-2 検討の流れ

2. 改質材について

2.1 空港残土、公共残土の物理特性

使用する残土（約 60 万 m^3 ）は、図-3 の箇所に置きされているもので、図-4 に粒度分布、図-5 に土質特性を示す。各地山で区画 2、区画 5、区画 9 を代表区画として土質特性を確認した。区画 2 と区画 5 の残土は、沖縄在来の特産土でニービと呼ばれ、砂岩風化土を主体とし、細粒分含有率（ F_c ）は 64% 程度で粘性土に分類される。またスレーキング率も 90% 以上と高い。区画 9 の残土は、沖縄在来の特産土で島尻層群泥岩（クチャ）で、 F_c は 93% 程度で粘性土に分類される。スレーキング率は 90% 以上と高い。残土の粒度分布などバラツキがあるものの区画 5 及び区画 9 の 2 種類を代表として分類した。また、区画 5 及び区画 9 の残土は、表-1 に示すように空港の路床材料で使用するために必要な修正 CBR が基準値（10%）以下で改質が必要である。



図-3 残土の採取場所

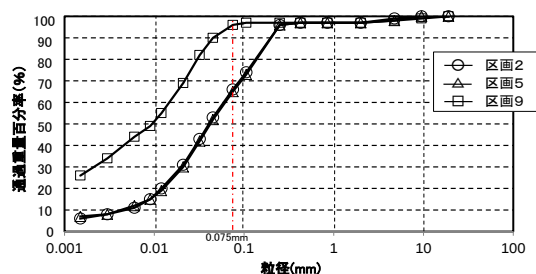


図-4 残土の粒度分布



図-5 残土の土質特性

2.2 改質試験結果

残土の改質は、表-1 に示すように消石灰や普通セメント及び購入砂を添加する方法とし、その改質効果を確認するために室内試験を行った。表-1 に設計 CBR、修正 CBR、スレーキング率を示す。消石灰や普通セメントを固化材として添加した場合は、少量の添加量で修正 CBR が 10% を超え、設計 CBR も十分に大きいことが確認できた。このため現場の添加量は、最小添加量¹⁾とし、消石灰 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 、セメント $50\text{kg}/\text{m}^3$ とした。しかし、購入砂のみを混合する場合は、混合割合を増加させても修正 CBR は 10% 前後と小さい値となった。

また、現場の転圧試験で所要の締固め度を満足できないことから購入砂や岩ズリを混合し、図-6 のように粒度分布の勾配を緩やかに改善し CBR 試験を行った。

表-1 改質試験ケースと結果

対象残土	添加材	添加量 (kg/m^3)	設計 CBR (%)	修正 CBR (%)	スレーキング率 (%)
区画 5	—	0.0	2.0	5.8	99.2
	消石灰	18.2	20.8	39.0	98.1
		36.4	36.7	61.6	6.4
		54.6	42.2	67.7	2.3
		18.2	8.7	37.4	98.7
	普通セメント	36.4	30.9	50.5	34.3
		54.6	34.9	106.9	15.3
		479.0	2.7	9.3	99.2
		957.0	9.7	10.1	98.6
		1436.0	18.8	11.0	99.0
区画 9	—	0.0	5.0	2.2	98.8
	消石灰	16.6	33.0	13.6	99.1
		33.2	56.7	41.5	94.6
		49.8	83.7	53.7	86.5
		99.6			77.5
	普通セメント	16.6	25.1	9.4	99.0
		33.2	39.4	20.3	94.6
		49.8	65.1	30.9	79.9
		100.8			36.8
	購入砂	423.0	6.1	7.0	98.0
		845.0	8.1	9.4	99.4
		1268.0	11.2	10.2	99.2

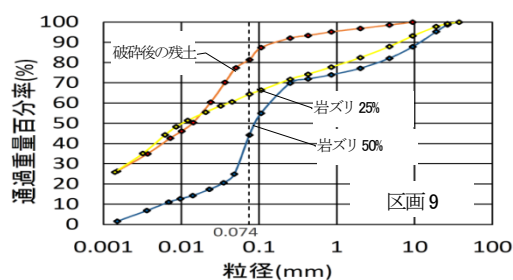
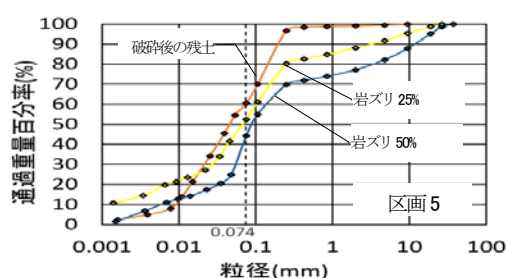


図-6 粒度改善(岩ズリ混合の場合)

粒度改善した配合での強度変化（修正 CBR）を図-7 に示す。修正 CBR は、区画 5 及び区画 9 とも購入砂 50% 及び岩ズリ 50% を混合し、消石灰、セメントを加えたものはいずれも 10% 以上となった。

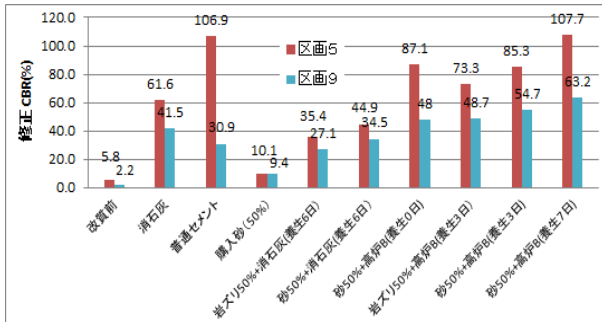


図-7 強度変化（修正 CBR の比較）

3. 現地転圧試験

3.1 質処理

(1) 改質処理方法

改質処理方法には、スタビライザーなどによる原位置混合方式、土質改良機などの中央混合方式がある。残土は、粘土分を多く含み、塊状（最大粒径 300mm 以下）のものも搬入されることも想定されるため、適用粒径や品質のバラツキに繋がる恐れがある。このため、混合前に粒度調整（破碎）が必要と考え、破碎+混合による改質方法を前提とし、適応粒径、施工単価、改質土の品質の安定性から図-8 に示す回転式破碎混合方式を選択した。回転式破碎混合方式は、土砂を高速回転するチェーンの衝撃力により破碎し、同時に添加材



図-8 回転式破碎混合方式

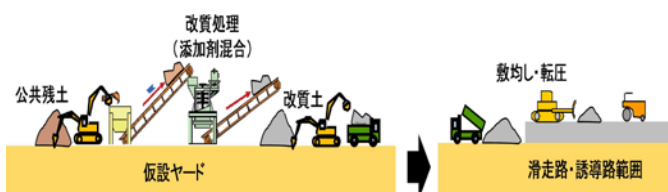


図-9 施工の流れ

との混合を行う。想定される施工の流れを図-9 に示す。

(2) 破碎混合状況

回転式破碎混合機を用いて、破碎した残土の状況を写真-1 に示す。図-10 の粒度分布に示すように破碎混合機を用いると、区画 5 では大粒径の礫は概ね破碎され、砂質土状になった。区画 9 残土では、大粒径の礫は概ね破碎されているが、5 cm 程度の礫は残った。



破碎前



破碎後

写真-1 残土の破碎状況

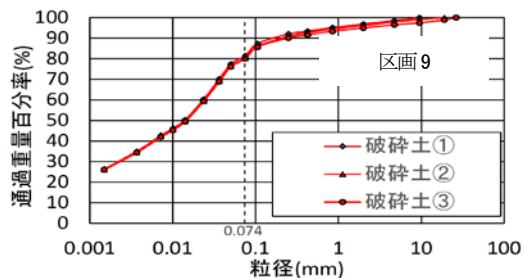
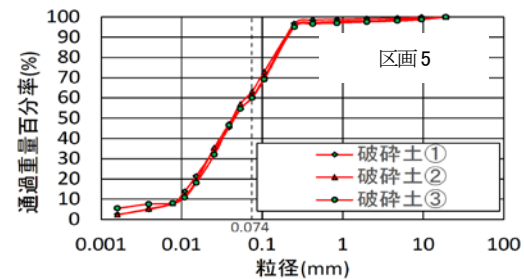


図-10 残土の破碎後の粒度分布

3.2 転圧試験

(1) 転圧試験について

転圧試験は、図-11 に示す範囲で破碎混合した改質土を厚さ 35cm で撒きだしてバックホウで整地し、厚さ 30cm 程度の盛土を作成する。その後、ローラで転圧し密度及び現場 CBR 等を計測した。

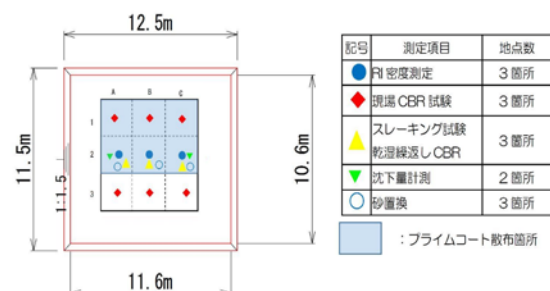


図-11 転圧試験実施例

表-3 区画5 転圧試験及びCBR 試験結果の整理

試験ケース		消石灰		高炉セメントB種	
		岩ズリ50%	購入砂50%	岩ズリ50%	購入砂50%
転圧試験結果	転圧回数	8回	16回	14回	6回
	現場 CBR ^{※1}	55.2%	19.8%	30.6%	63.5%
室内試験	締固め度	96.7%	91.7%	92.7%	95.5%
	CBR=20%での締固め度 Dc ^{※2}	86.8%	86.6%	88.1%	84.3%
転圧試験	転圧回数6回での締固め度 Dc ^{※3}	89.9%	88.0%	87.7%	95.5%

表-4 区画9 転圧試験及びCBR 試験結果の整理

試験ケース		消石灰		高炉セメントB種	
		岩ズリ50%	購入砂50%	岩ズリ50%	購入砂50%
転圧試験結果	転圧回数	6回	8回	6回	6回
	現場 CBR ^{※1}	22.3%	68.3%	45.1%	39.8%
室内試験	締固め度	94.9%	95.3%	91.1%	94.6%
	CBR=20%での締固め度 Dc ^{※2}	90.6%	85.1%	88.2%	89.4%
転圧試験	転圧回数6回での締固め度 Dc ^{※3}	94.9%	91.4%	91.1%	94.6%

※1 転圧試験結果の締固め度はSRIDでの測定結果。現場 CBR はプライムコート散布箇所試験値である。
 ※2 室内試験の CBR=20%に対応する締固め度については、SRID で計測した現場の締固め度と比較するため、SRID と砂置換法（直接法）での締固め度の差の平均値（2.5%）を加えている。
 ※3 転圧試験結果から読み取った転圧回数6回での締固め度

(3) SRID と砂置換での乾燥密度の比較

転圧試験では密度の精度を確認するため、砂置換法でも直接密度を測定した。図-13 に砂置換より求めた締固め度と SRID での締固め度の関係を示す。SRID は砂置換よりも締固め度は平均 2.5%と高く計測されることが分かった。

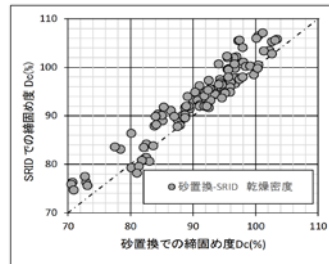


図-13 SRID と砂置換密度

4. 施工管理方法について

(1) 改質土の作成及び撤出し・転圧方法

本空港に有効な残土の改質及び転圧方法を表-5 に示す。改質土の破碎混合方法は回転式破碎混合機とし、添加材については、消石灰は高炉セメント B 種よりも高価であること、養生期間が6日間であり施工工程への影響が大きいことから高炉セメント B 種を選定し、購入砂または岩ズリを 50%混合する方法とした。撤出し厚を 30cm とし、転圧方法は大型振動ローラで6回転圧とし5回目以降を加振することとした。

(2) 施工管理方法

改質土の施工管理は、1600m² (40m×40m) 毎に4箇所の頻度で SRID を用いて締固め度を測定し、① 4 点の平均値が管理目標値を満足し、かつ② 2 点以上が管理目標値を満足であれば次工程へ進む方法とした。管理目標値を満足しない場合は、その箇所を2回再転圧

することとし、①を満足できれば次工程とした。表-6 に現場 CBR20%以上を満足する締固め度の管理目標値を示す。

表-5 残土の改質及び転圧方法

改質土の作成	
改質・混合施工機械	回転式破碎混合機
添加材・添加量	高炉セメントB種(50kg/m ³)
混合材料	購入砂50%または岩ズリ50%
撤出し・転圧施工方法	
締固め施工機械	大型振動ローラー
撤出し厚	30cm(仕上り層厚25cm程度)
転圧回数	6回を標準
転圧施工	転圧5回から加振

表-6 現場 CBR20%以上を満たす目標締固め度

残土	混合材	管理目標値 (締固め度Dc)	圧縮量(圧縮率) <参考値>
区画5	岩ズリ50%	89%以上	3.5cm (11%)
	購入砂50%	85%以上	2.5cm (8%)
区画9	岩ズリ50%	89%以上	5.0cm (16%)
	購入砂50%	90%以上	4.0cm (13%)

※改質土は、高炉セメントB種を50kg/m³添加する。(添加量は残土乾燥重量に対し約5%である。)

※圧縮量(圧縮率)は転圧回数6回での撤出し層厚30cmに対するものである。

※締固め度はSRIDでの計測値

※転圧撤出しすることなく存置する場合、路床への雨水の浸入低減のため、プライムコートを塗布する。

5. 留意事項及び課題

今後、本施工前に、現場 CBR と締固め度(転圧回数)を確認すること、また、本施工では一定の頻度で現場 CBR の確認を行うことが必要である。さらに、添加材で高炉セメント B 種以外のものを用いる場合や撤出し層厚を厚層化する場合には、試験施工を行い所要の性能を満足できれば可能と考えられる。

6. おわりに

本検討は、まだ埋立材料の数量・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、それらの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られる。

謝辞

本報告は、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。検討にあたっては、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。

参考文献:

- 1) セメント石灰による地盤改良マニュアル(日本石灰協会)、セメント系改質材による地盤改良マニュアル(セメント協会)