

# 那覇空港滑走路増設に係る埋立技術検討について

大川 衛人\*・白井 博己\*\*・田中 貴之\*\*\*・山田 和弘\*\*\*\*

\* 前（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 調査役

\*\*\* 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 第一調査係長

\*\*\*\* 復建調査設計(株) 地盤環境部 地盤環境課 課長

那覇空港滑走路増設事業において、用地は埋立により造成されることになるが、埋立材は、購入砂(海砂)及び岩ズリ、浚渫土、公共残土等を用いることを予定している。また、同滑走路増設事業は短期間での完成が求められており、埋立後に液状化対策として地盤改良を行う時間的な余裕が無い状況にある。

本検討においては、埋立材料の物理特性、力学特性を把握するとともに埋立時から液状化対策を行うための技術的検討を行った。すなわち、液状化や圧密沈下が懸念される埋立原地盤及び地盤を対象に圧密沈下及び液状化の検討を行い、滑走路・誘導路の耐震性および圧密沈下について検討を行った。

キーワード：耐震検討、埋立計画、圧密沈下、岩ズリ、液状化

## 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。現空港の海側を埋め立て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。

また、平成28年度中にも本格的な埋立が開始される予定である。本検討は、こうしたことを踏まえ埋立造成に係る技術的な課題のうち滑走路・誘導路部を対象に耐震性及び圧密沈下の面から技術的検討を行ったものである。

本検討の主な目的は、那覇空港滑走路増設事業に係る新設滑走路の耐震性に着目した埋立造成に対する技術検討を実施することである。検討条件とする地震動は、H23年度に設定されたL1地震動としているが、その前提を以下に述べ、全般的な共通項目についてまとめる。

空港施設の耐震性能について、空港土木施設耐震設計要領(H20.7)によると、以下の通りとされる。

「空港土木施設の設計にあたっては、空港に求められる機能に応じた耐震性能を確保するとともに、この機能に拘わらず、レベル1地震動、レベル2地震動それぞれに対し、以下の基本的な耐震性能を有するものとする。」

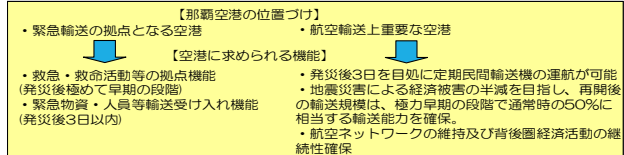
①レベル1地震動に対して、航空機の運航に必要な機

能に影響を与えないこと

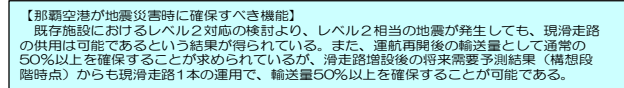
②レベル2地震動に対して、人命、財産または社会経済活動に重大な影響を与えないこと

上記に対し、那覇空港の検討経緯について、図-1に示すとおり。新設滑走路においてL1地震動を検討条件とした理由としては、L2相当の地震が発生しても、現滑走路の供用は可能であるという結果が得られているためである。

① 地震に強い空港のあり方検討委員会(平成19年4月) 国土交通省航空局



② 那覇空港防災拠点のあり方に関する検討会(平成20年3月) 国土交通省大阪航空局



③ 那覇空港滑走路増設技術検討委員会(本業務)

増設滑走路についてはレベル1地震動における耐震性能を満足するよう各種施設の設計を実施することとする。

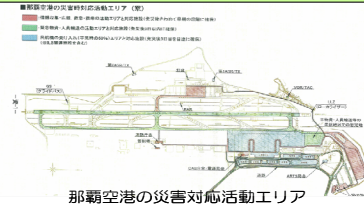


図-1 那覇空港の検討経緯

従って、運航再開後の輸送量として通常の50%以上を確保することが求められているが、滑走路増設後の将来需要予測結果から現滑走路1本の運用で、輸送量50%以上を確保することが可能である。

今回の整備計画における対象となる施設並びに施設

別の条件（要求性能，基準）は，表-1 および表-2 のとおりである．とりわけ基本施設は，航空機の運航に直接関係する施設であることから，想定される自然状況，利用状況等を勘案して安全性に配慮するものとする．

表-1 対象施設一覧

施設名称	施設諸元等	基本施設	付帯施設
滑走路	2700m	○	
過走帯	60m×2	○	
着陸帯	幅 300m	○	
滑走路安全区域	長さ 240m×幅 300m	○	
誘導路	幅 30m	○	
誘導路帯	幅：誘導路端+40m	○	
場周・保安道路			○
排水施設	幹線排水・表面排水		○
消防水利施設			○
場周柵			○
航空保安施設用地	LLZ, GS, VOR/DME 用地		○

表-2 施設別条件一覧

施設名	要求性能	基準
滑走路	航空機が安全かつ効率的に離着陸できること。	長さ 2700m 幅 60m 最大縦断勾配 0.8%、1.0% 最大横断勾配 1.5%
着陸帯	航空機が滑走路から逸脱した場合に航空機の損傷を軽減にとどめること。 安全な着陸復行を行うことができること。	長さ 滑走路の両端に+60m 幅 滑走路中心線から 150m以上 最大縦断勾配 1.5% 最大横断勾配 2.5%、5.0%
誘導路	航空機が安全かつ効率的に走行することができること。	幅 30m 最大縦断勾配 1.5% 最大横断勾配 1.5%
誘導路帯	航空機が誘導路を支障なく走行できること。	幅 誘導路端+40m位置
場周・保安道路	予想される利用状況に応じ、車両の安全かつ円滑な通行等が確保できること。	幅：対象車両の走行軌跡によって設定。（場周 5.5m、保安 4.0m）
排水施設	降雨等によって生じる空港用地内の地表水により、空港機能に支障が生じないこと。	排水基準に基づき降雨量より設定
消防水利施設	航空機の火災に適切に対処するための能力を有していること。	
場周柵	外部から人・車両等がみだりに立ち入らない様にすること。	H=1.8m+0.45m 及び返し付
航空保安施設用地	航空機の航行を援助するための施設の機能が十分に果たせること。	GS 用地：縦断勾配±1.5% 横断勾配-1.5～0% LLZ 用地：縦断勾配-1.5～0% 横断勾配-3～+1% VOR/DME 用地

## 2. 埋立材の土質特性

### 2.1 概要

那覇空港滑走路増設事業の埋立に用いる埋立材について土質データの資料収集・整理を行い，現状で入手し得る埋立材に対し材料試験を行った．今回は，岩ズリの物理的性質を中心に試験を実施した．現状で想定している埋立材料の候補については表-3 に示す．表中の数量は，基本計画で示されている数値である．

表-3 予定理立材料候補一覧

材料	土量(m <sup>3</sup> )
購入砂	3,800,000
岩ズリ	4,300,000
浚渫土	300,000
公共残土	1,200,000
空港事業残土	300,000
その他	未定

想定している埋立材と土質性状の確認方法は幾つか

ある．基本的には，土質材料区分で考えた場合，粘性土および礫質土は液状化の可能性が低いと考え，一方，砂質土および残土関係は液状化の可能性が高く耐震性能への影響が大きいものとし，滑走路直下の埋立材としては使用しない方針で検討を進めた．

また，岩ズリについては，埋立荷重や地震外力に対する変形特性を推定するため，粒度試験（JIS A 1204），礫の最小・最大密度試験（JGS 0162），比重・吸水率試験，圧縮強度試験，大型圧縮試験を実施した．試験に用いる岩ズリは，本島北部 1 箇所，本島南部 3 箇所です料採取した．

### 2.2 材料試験

#### (1) 埋立材の粒度特性

粒度試験による物理特性を図-2 に示す．粒徑加積曲線を見ると，岩ズリについては，その大部分が液状化する可能性がある範囲の外側に位置し，粒徑が 1~2 mm を下回る範囲では通過百分率が 10~20% 程度となるため，液状化しない材料と判断できる．一方，公共残土と浚渫土についての粒度特性は互いにやや異なるが，いずれも岩ズリに比べ，粒度の小さなものがより多く含まれている傾向を示し，通過百分率 20~60% の粒徑が液状化する傾向がある範囲に含まれる．造成時の堆積状態が緩い場合には，マトリクス（大きな岩石の間隙を埋める細粒）が液状化する可能性があると考えられる．特に，公共残土はばらつきが多い材料であるため，サンプリング箇所を増やして，材料特性を把握する必要がある．

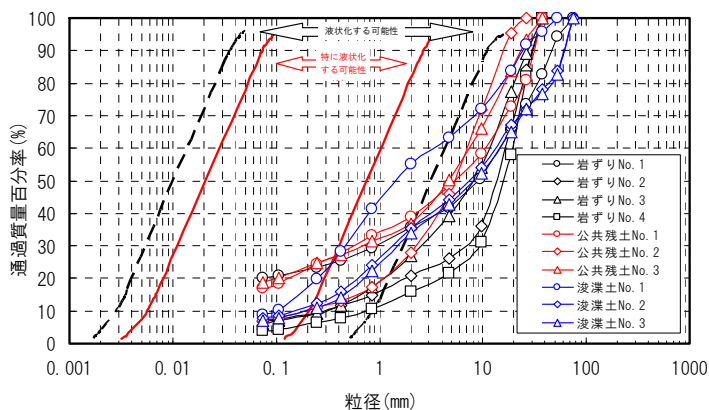


図-2 粒徑加積曲線

#### (2) 岩ズリの検討

岩ズリに関しては液状化する材料ではないと判断されるものの，2011 東北地方太平洋沖地震では揺すり込み沈下が確認されていることに留意が必要である．

岩ズリの試験結果を表-4 に示す．これによると岩ズリの最大密度試験前後の粒度分布の変化を粒子破碎率は 4.7%~7.8% であったが，直径 30 cm のモールドを用いた大型圧縮試験での破碎率は 1.5% と小さい値になった．

表-4 岩ズリの試験結果

試料	北部		南部				港空研資料(No1278) 単純せん断試験試料		
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.2(大型 圧縮試験)	(常陸那 A)	B(千葉)	C(C-40)	
十粒子の密度( $g/cm^3$ )	2640	2702	2699	2700	—	2777	2646	2739	
水分含有率(%)	64.4	79.3	73.1	84.2	78.5	93.8	85.7	69.1	
細粒含有率(%)	20	6.6	6	3.8	6.8	1.6	5.3	3.0	
Uc	—	59.5	36.5	26.7	55.8	6.7	31.3	30.0	
D <sub>50</sub> (mm)	9.18	13.8	8.19	16.6	12.5	22.5	15.9	6.2	
最大密度( $g/cm^3$ )	2153	1920	1961	1826	—	2100	1628	2254	
最小密度( $g/cm^3$ )	1.684	1.387	1.465	1.311	—	1.514	1.259	1.798	
最小間隙比 $e_{min}$	0.226	0.408	0.376	0.479	—	0.322	0.625	0.215	
最大間隙比 $e_{max}$	0.567	0.948	0.843	1.060	—	0.834	1.102	0.523	
粒子破砕率(%)	6.8	7.8	4.7	7.8	1.5	—	—	—	
吸水率(%)	—	4.170	3.390	4.340	—	—	—	—	
見かけの比重	—	2.640	2.673	2.631	—	—	—	—	
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	—	49.9	—	—	—	—	—	—	
	—	35.7	—	—	—	—	—	—	

### 3. 滑走路の検討

#### 3.1 滑走路の耐震性照査

地震による航空機の走行性に関わる地盤の変化及び地盤支持力について、海底地形や地層分布を踏まえ、滑走路縦断方向に一次元地震応答解析を行い、沈下等を算定し、耐震性を評価した。対象地震動については、レベル1地震動とした。滑走路縦断方向の地表面沈下量については、SHAKEの結果から算定される体積ひずみに基づくものとして算定式(式-1)を提案して検討した。埋立層は、地震時最大せん断ひずみにより地震時の揺すり込み沈下及び液状化後の沈下量、在来地盤に対しては液状化後の過剰間隙水圧消散に伴い生じる残留沈下量を求めた。

式-1、図-3 に提案式及び各調査地点における沈下量の比較を示す。

$$\varepsilon_{vmax} = (0.75 - 0.0036 Dr) \gamma_{max} \dots \text{(式-1)}$$

$\varepsilon_{vmax}$ :体積ひずみ  $Dr$ :相対密度  $\gamma_{max}$ :最大せん断ひずみ

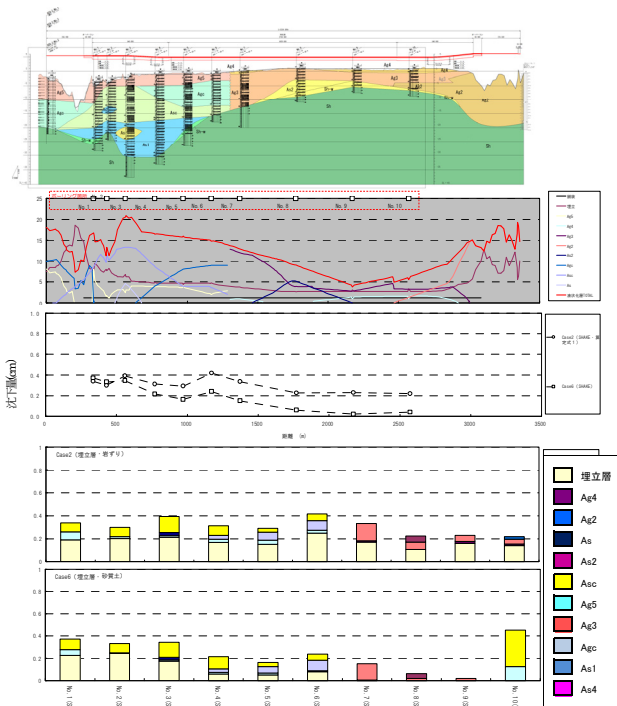


図-3 沈下量の比較

#### 3.2 護岸の流動変位に伴う滑走路への影響検討

滑走路横断方向において二次元地震応答解析 (FLIP) により、護岸の残留変形、側方流動の影響範囲を確認し、滑走路・誘導路への影響を評価した。

岩ズリで埋め立てた場合の解析結果を図-4 に示す。

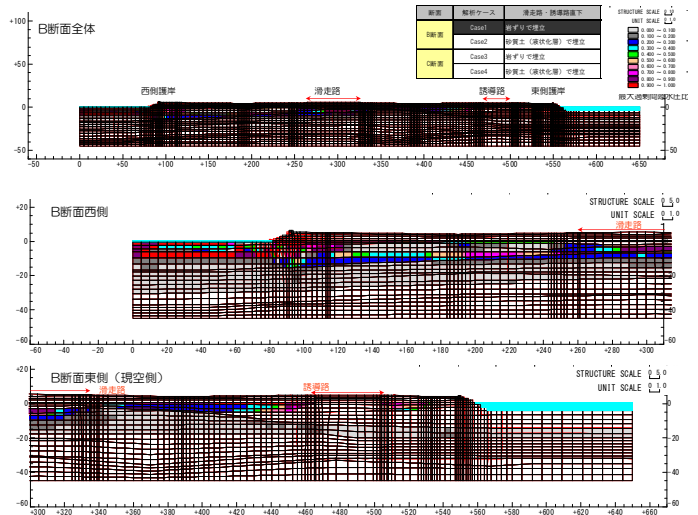


図-4 解析結果 (岩ズリで埋立)

横断方向の解析結果から、水深の浅い箇所では[水平変位 14 cm, 沈下量 10 cm]程度、外洋側では[水平変位 60 cm, 沈下量 30 cm]程度の残留変位が生じているが、滑走路等の基本施設への影響はないものと判断された。

#### 3.3 埋立荷重に伴う圧密沈下検討

埋立計画範囲の北側及び南側に堆積する粘土層のうち、特にAc層は軟弱かつ層厚の変化が大きいことから、埋立荷重(埋立層厚4~18m程度)に伴う圧密沈下や不同沈下が懸念される。厳しい平坦性が要求される滑走路・誘導路の要求性能を将来にわたり維持するために、供用後の残留沈下は極力低減しておく必要がある。このため、埋立造成に伴う在来地盤の一次元圧密沈下予測から、圧密沈下量、残留沈下量を算定し、滑走路・誘導路の規定勾配(縦断勾配)との比較により、沈下対策の必要性について検討を行った。(図-5)

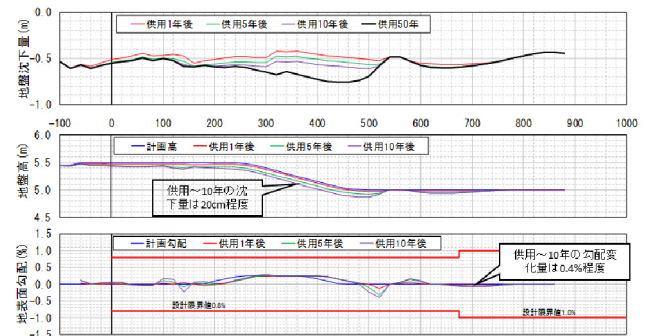


図-5 縦断方向の圧密沈下解析結果

その際、滑走路・誘導路直下の埋立には岩ズリ等の非液状化材を用いることから、埋立材の沈下は生じないも

のとして在来地盤の沈下量・沈下時間を算定した。その結果、供用後 50 年では最大 30 cm の沈下に留まる結果となった。(図-6)

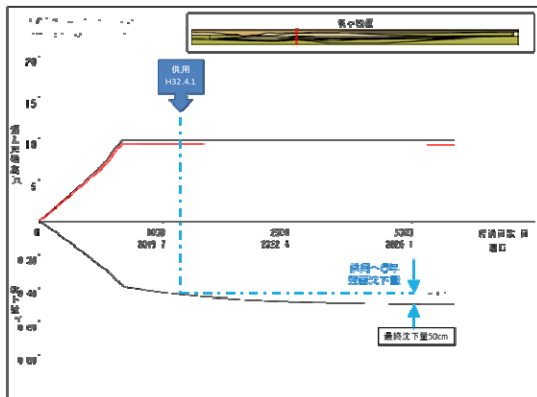


図-6 沈下量経時変化図

## 4. 検討結果の整理と今後の課題

### 4.1 検討結果の整理

#### (1) 滑走路の耐震性能について

SHAKE による解析結果に基づき、埋立層に岩ズリを用いた場合の揺すり込み沈下及び液状化層の過剰間隙水圧消散に伴う圧密沈下量を算出し、縦断方向の変形照査を行った結果、滑走路の規定勾配を満足することを確認した。また、一次元 FLIP を用いて、同様に縦断方向の変形照査を行った結果、滑走路の規定勾配を満足し、沈下量は 1cm 程度に留まることから、滑走路の変状は殆ど無いと判断された。

#### (2) 護岸の側方流動に伴う滑走路への影響

FLIP による滑走路横断方向の有効応力解析を 2 断面実施した。L1 地震動において、液状化層の過剰間隙水圧は液状化に至っていないこと及び護岸の側方流動に伴う背後地盤の影響範囲が滑走路、誘導路にまで及ばないことを確認した。また、L1 地震動であれば、材料の違いに拘わらず、同様な地盤流動範囲を示し、かつ滑走路・誘導路への影響は無いと判断された。L2 地震動についても同様な検討を行ったところ、滑走路端部への影響が認められた。一方、誘導路では、護岸の変位が大きく、護岸との距離が近いことから地盤の流動変形の影響を受けるとの結果を得た。

従って、L1 地震動では基本施設の耐震性は確保されており、問題ないと考えられるが、L2 地震動の場合では、埋立材料によっては、地盤変位に伴う損傷等のリスクが拡大する可能性があることから、可能な範囲で岩ズリ等、液状化が生じにくい材料を選択することが望ましいと考察した。

#### (3) 埋立荷重に伴う圧密沈下解析

埋立施工に伴う沈下量は最大 70cm 程度、このうち、最大 30cm 程度は供用後の残留沈下量として算定された。結果として、供用後に残留沈下は発生するものの、規

定勾配を満足することを確認し、対策工の必要性は低いと判断した。

### 4.2 今後の課題

#### (1) 埋立地盤(水中部)の材料特性・性状評価

本検討では基本施設下の用地造成については、耐震性の観点から岩ズリを用いるのが望ましいとの方向性が得られているが、岩ズリを含む埋立材の材料特性については、調達が確定次第把握していく必要があり、そのための材料試験は不可欠と考えられる。

また、埋立材料のうち、供給量の多い岩ズリと購入砂については、室内試験や文献等に基づきその土質特性を評価しているが、現地試験等を通じて実際に埋立造成された状態において地盤性状を確認し、設計及び検討の基礎データを得ることが望まれる。

#### (2) 埋立材料のゾーニング及び品質管理

岩ズリを滑走路・誘導路直下の埋立材として用いた場合の耐震性能や、施工上の課題等について整理した。今後は、施工方法や材料供給計画等を念頭におき、ゾーニングの実現度を高めていく必要がある。このため、材料試験および現地試験結果等を踏まえ、埋立地盤の性状について整理するとともに、施工工程、施工方法および材料供給との兼ね合いも考慮し、空港施設の要求性能を確保する上での効果的な埋立材のゾーニング及び埋立材料の受入れに際しての品質管理基準について策定することが必要である。

#### (3) 埋立地盤(気中部)の転圧・締固め仕様の検討

第VI工区は、平成 27 年度に他の工区に先行し、埋立を開始される計画である。水中部の埋立が完了次第、引き続き気中部の埋立施工、平成 29 年度には舗装部の施工が開始される予定である。このため、盛土及び舗装部基礎地盤+の転圧・締固め仕様について、現地転圧試験を通じて最適仕様や品質管理方法について検討を進める必要がある。

## 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する。

## 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。