

新千歳空港における 土木施設の耐震対策について —震災時における空港の役割—

札幌開発建設部 千歳空港建設事業所 ○高橋 哲美
山口 和良
札幌開発建設部 空港対策官付 水上 一生

新千歳空港は、平成24年の乗降客数が1,700万人を超え、国内第3位の利用者を有する北海道の空の玄関口である。平成17年度には国土交通省航空局において「航空輸送上重要な空港」として、全国13空港の1つに選定され、災害時の拠点空港として位置付けられている。

本報文では、現在、新千歳空港にて実施している災害拠点空港としての役割を果たすための耐震化事業を報告する。

キーワード：耐震化、災害対策、危機管理

1. はじめに

平成16年の新潟中越地震以降、災害発生後における空港の役割・機能の重要性が改めて認識され、国土交通省航空局では空港輸送上重要な空港を全国13の空港を拠点空港として選定し¹⁾、これらの空港を中心に耐震化に向けた整備を行っている。新千歳空港もその一つとして位置づけられ耐震化の整備を進めているところである。

現在、新千歳空港は、国内線が約1,740万人、国際線が約130万人と、合わせた乗降客数が約1,870万人となり、歴代2位となった（平成25年速報値）。年間約950万人が利用する世界第2位の羽田線を中心とした国内線だけではなく、台北線をはじめとする国際線の乗降客数が平成24年度から17%以上の伸びを示し、道外とを結ぶ重要な交通基盤の一つとなっている。

また国内線ターミナルがエンタテインメント施設や商業施設を拡充し、平成23年7月15日にリニューアルオープンした。航空機利用者はもちろん、地域住民も楽しめる空間として利用されており、地域経済へも大きく寄与している。

このような重要な役割を果たす新千歳空港が災害により長期に機能を停止することは、社会活動に大きな影響を与えてしまうこととなる。また、災害時には救援活動の拠点となることから、地震による被害を最小限に抑え、いち早く復旧させなければならない空港として耐震性の向上を推進している。

本報文では、新千歳空港における耐震化の検討から現在までの整備状況について、報告するものである。

2. 災害時に新千歳空港が担うべき役割

国土交通省航空局では、平成17年、18年の2カ年に渡り「地震に強い空港のあり方検討委員会」を開催し、地震災害時に空港に求められる役割や、空港の耐震性向上の基本的考え方等が議論された。

この内容を踏まえ、国内の拠点空港として位置付けられた新千歳空港では、地震災害時に緊急輸送拠点としての役割を果たすために必要となる今後の施設整備や関係機関との連携強化に向けた対策の方向性を定めることを目的として、平成21年に東京航空局を中心として「新千歳空港防災拠点計画」がまとめられた。

(1) 発災後、新千歳空港に求められている機能

「新千歳空港防災拠点計画」では、次の通り、発災後、新千歳空港においてそれぞれの段階で確保すべき機能が示されている。

a) 救急・救命活動等の拠点機能（発災後極めて早期の段階）

初動対応として被災地の被災状況の確認等、情報収集を行うとともに、孤立地域等における要救助者の救出活動、そして新千歳空港を拠点とした重篤患者の広域医療搬送のため、回転翼機の駐機・発着機能、空港の管理・保安機能の確保を必要としている。

b) 緊急物資・人員等輸送受け入れ機能（発災後3日以内）

輸送機等の物資・人員輸送のため、航空機の離着陸に必要な機能として滑走路、平行誘導路・末端取付誘導路など必要な誘導路と駐機場、空港アクセス道路・構内道

路等陸路輸送機能を確保する。

c) 航空ネットワークの維持及び背後圏経済活動の継続性確保（発災後3日を目標）

極力早期の段階で、民間航空機の輸送能力を確保するための機能として発着及び駐機機能、計器着陸に必要な機能などの航空保安機能、輸送旅客数に対応可能な利便提供機能や空港アクセス機能などの旅客利便関連機能を確保する。

(2) 活動対象範囲

活動対象範囲は、図-1のように新千歳空港を起点に半径100kmの範囲（空港から被災地までヘリコプターによる輸送を前提とした範囲）において発生する地震被害を活動対象とする。

(3) 他空港との連携

航空局「地震に強い空港のあり方検討委員会」では同一圏域内（目安として上記の半径100km圏内）に複数の空港が存在する場合においては、空港相互の役割分担をすることとしている。

このことから新千歳空港は災害時の情報収集や重危篤患者の搬送等において札幌飛行場（丘珠空港）と機能を分担することとしている。

3. 新千歳空港耐震化の基本的な考え方

新千歳空港では、前述の「災害時に新千歳空港が担うべき役割」を実現する手段について、平成19年度から20年度にかけて北海道開発局を中心に「新千歳空港耐震技術検討委員会」を開催し、耐震化に向けた技術的検討を行った。

(1) 想定地震の選定

耐震化検討の前提とする地震は、「活動対象範囲」の考え方を基に新千歳空港から概ね100km圏内において被害発生が予想される地震を抽出し、地震の種類、位置、大きさ及び対象地域までの距離から、被災規模が大き

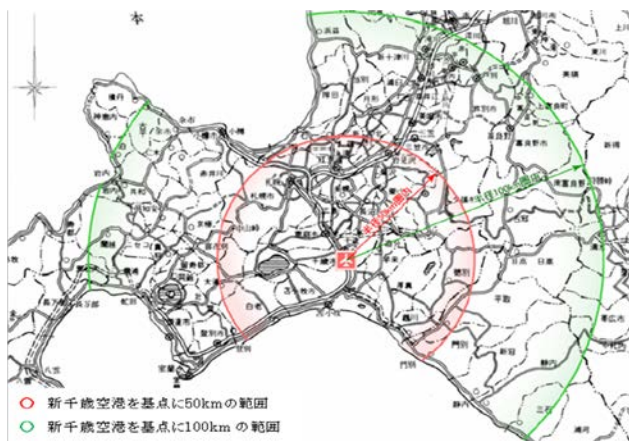


図-1 活動対象範囲

なる「石狩低地東縁断層帯 主部及び南部」（図-2）を想定地震として設定し、比較検討の上「石狩低地東縁断層帯 南部」を耐震性能の照査に使用することとした。

(2) 被災想定

新千歳空港防災拠点計画では、「石狩低地東縁断層帯」における地震による被災を想定しており、その被災規模は兵庫県南部地震と同程度になるものと想定している。なお、この想定地震では石狩平野を中心に震度6強以上になることが予測されている。

(3) 新千歳空港における災害時必要施設規模と要求性能

第2章で示したように、発災後3日以内には輸送機等の物資・人員輸送のため、航空機の離着陸に必要な機能として滑走路、平行誘導路・末端取付誘導路など必要な誘導路と駐機場、空港アクセス道路・構内道路等陸路輸送機能の確保が必要となる。

基本施設である滑走路、誘導路及びエプロンは基本的に土木構造物であるが、図-3のように基本施設の地下には交差物件であるトンネルや函渠等の施設構造物が埋設されている箇所もある。

またこれらの構造物は施設規模だけでなく、その施工方法も多様である。このため各施設における耐震性の照査では、レベル1地震動に対して航空機の通常運航等に必要な機能に著しい影響を与えないことや、レベル2地震動に対しては旅客や従業員などの利用者の人命に重大な影響を与えないこと、また社会経済活動に重大な影響を与えないことを基本的な考えとした。

a) 滑走路・誘導路

現在、新千歳空港では3,000mの滑走路が2本（A滑走路、B滑走路）供用されている。この内、A滑走路は発災直後における着陸帯として緊急物資輸送に使用することとしている。また、着陸後の航空機の導線は、平行誘導路であるD誘導路とその取付誘導路を走行することとなるため、これら施設についての要求性能（設計限界値）を設定する必要がある。

地震動に対しての設計限界値は、例えば滑走路の場合、

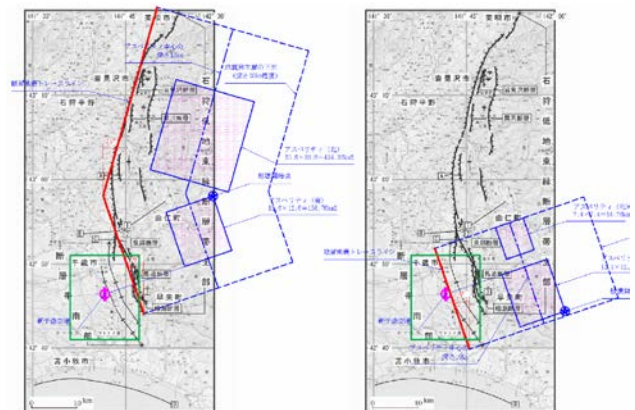


図-2 石狩低地東縁断層帯（左：主部、右：南部）

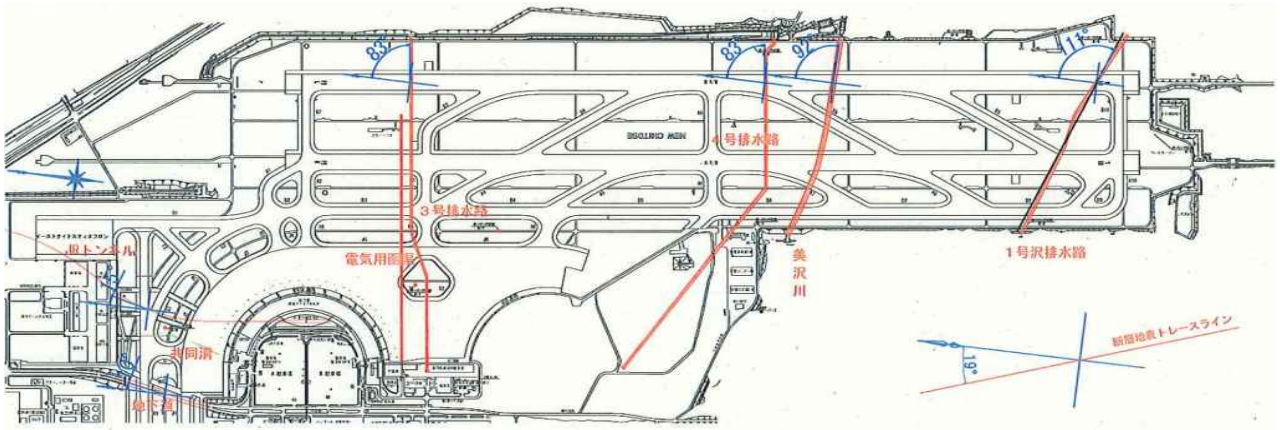


図-3 滑走路及び誘導路下の埋設構造物

末端から滑走路長の1/4以下の部分は縦断勾配0.8%以下、それ以外は1.0%以下。横断勾配は1.5%以下と、航空法施行規則に基づく「規定勾配」を満足することとした。

また滑走路の舗装面については短期間で復旧可能な程度のひび割れまでを許容することとした。

b) 構造物（地下トンネル、排水路函渠など）

対象となる構造物は、滑走路や誘導路の下部に配置されている土中構造物であり、被災を受けた場合、復旧のための補修補強は困難である。またこれら構造物自体が破壊されると構造物自体の機能を損なうのみならず、直上の滑走路や誘導路等を沈下させ、航空機の運航に支障を与えることとなり、人命に対して重大な影響を与える懸念がある。

このため耐震化に向けた要求性能は、レベル2地震動において、①構造物の浮き上がりや損傷に影響を与える地盤の液状化は許容しない、②構造物材の応答がせん断力や曲げ耐力などの保有断面耐力以下である、とした。

4. 施設の耐震性照査

地震動における地盤振動や埋設構造物への影響を適切に評価するには、地盤の動的変形特性だけでなく構造物の非線形特性も含めたモデルを構築し、それらの相互作用を適切に考慮する必要がある。

地盤のモデル化および地震波設定手法の詳細については、紙面の都合により割愛するが、工学的基盤から地表までの地盤及び埋設構造物を一体に2次元FEMでモデル化し、FLIPによる動的解析方法を行うことで、地震時における変位だけでなく間隙水圧上昇による液状化の影響を反映できる手法をとった。

(1) 対象地震動の設定

解析に使用するレベル1、レベル2の地震動は、2007年4月施行「港湾施設の技術上の基準・同解説」（改定港湾基準）に基づき検討した結果、詳細法により次のように設定した。

a) レベル1地震動

過去に発生した地震記録である地震カタログデータや新千歳空港で観測している強震観測データ等を基に、確率論的地震危険度解析により様ハザードフリーエ振幅適合波を求める手法²⁾により地震動波形を求めた。

その結果、解析に用いる地震波形は図-4(1)であり、最大加速度は73galとなった。

b) レベル2地震動

地震の震源パラメータ（震源断層の特性を規定するもの）を基に、経験的サイト増幅特性、位相特性を考慮した強震動計算手法^{3),4),5)}を用いて地震動波形を求めた。

レベル2地震動では断層直交方向（N71E）が最大となり、その最大加速度は391galとなった。地震波形を図-4(2)に示す。

(2) 耐震性照査

新千歳空港における耐震照査において、前述したようにレベル1地震動の最大加速度に対し、レベル2地震動の最大加速度は非常に大きいものとなった。このため耐震照査の考え方としては、レベル2地震動に対して要求性能を満足させることを条件とした。

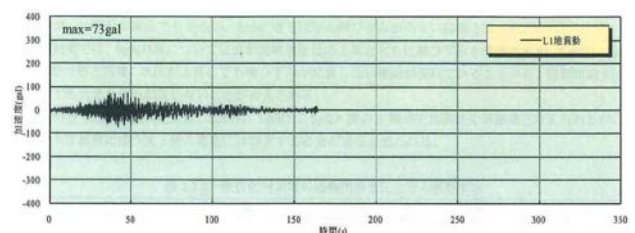


図-4(1) レベル1地震動の加速度時刻歴波形

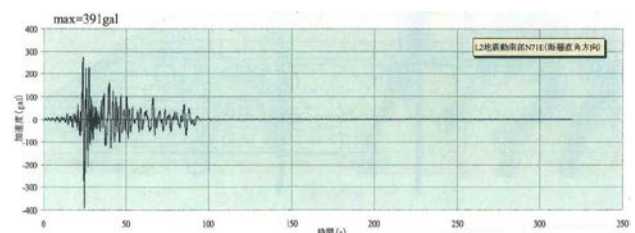


図-4(2) レベル2地震動の加速度時刻歴波形

図-5に耐震性照査の解析位置、図-6に代表土層としてA滑走路地層断面図を示す。空港敷地の大部分は火山噴出物を主体とした火山灰層(Spf1)によって形成された台地となっており、図-5における水色の部分は元々の地形が沢地形となっている。空港建設時において、この沢地形の部分では函渠により水の流れを確保した上で、盛土又は埋立てにより現地盤まで造成した箇所となっている。解析のモデル作成に当たっては、空港の現況地盤高の確認、微地形区分上の確認およびSpf1層(支笏火砕流堆積物)の解析上の地層区分として細分化等を行い、モデル化した。

ここでは基本施設の代表的な解析例として、A滑走路における解析結果を示す。なお、構造物自体の照査結果は、参考文献⁶⁾に事例を記しているため省略する。

a) A滑走路縦断の評価

地層断面図に基づいて作成した土質モデル(図-7)を基に、各液状化対象層の過剰間隙水圧比とせん断ひずみの検討を行った結果、Spf1層の地下水位(図中、水色のライン)以下で過剰間隙水圧が大きくなり、液状化が生じる判定となった。このためFLIPによる解析では、滑走路の規定勾配を確保するために過剰間隙水圧消散に伴う沈下量の算定に留意する必要があるが生じた。

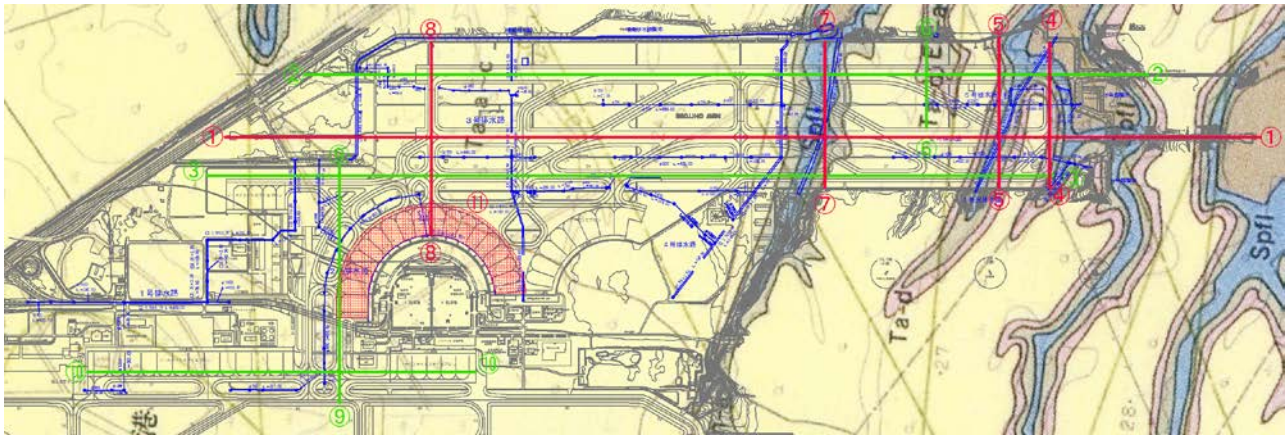


図-5 解析断面位置図

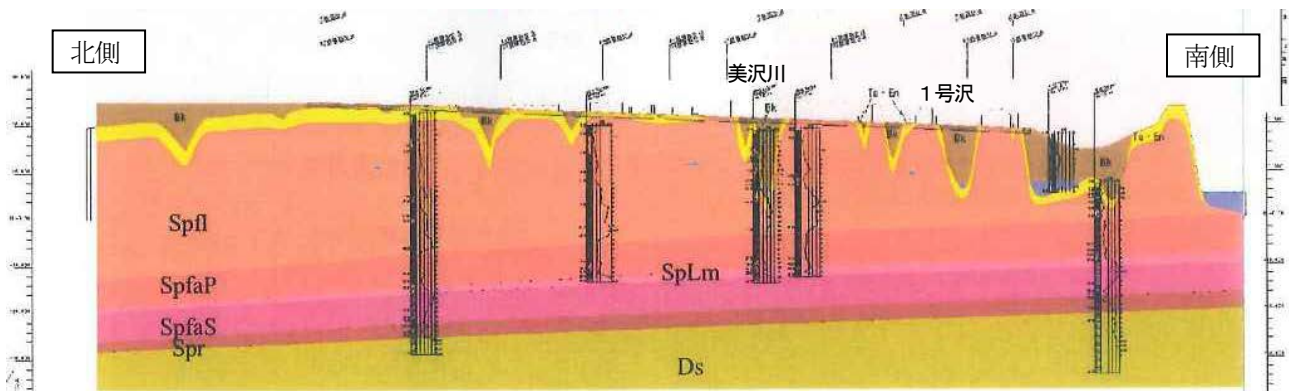


図-6 A滑走路 地層断面図(①-①断面)

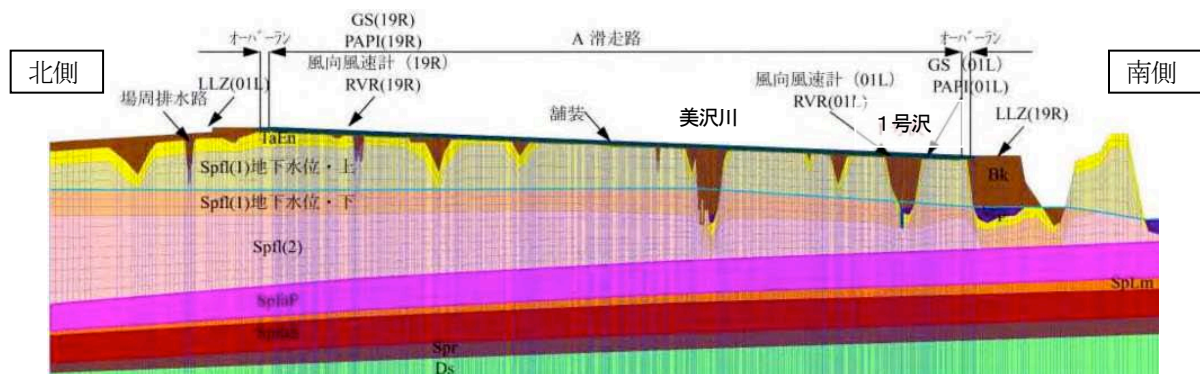


図-7 A滑走路土質モデル

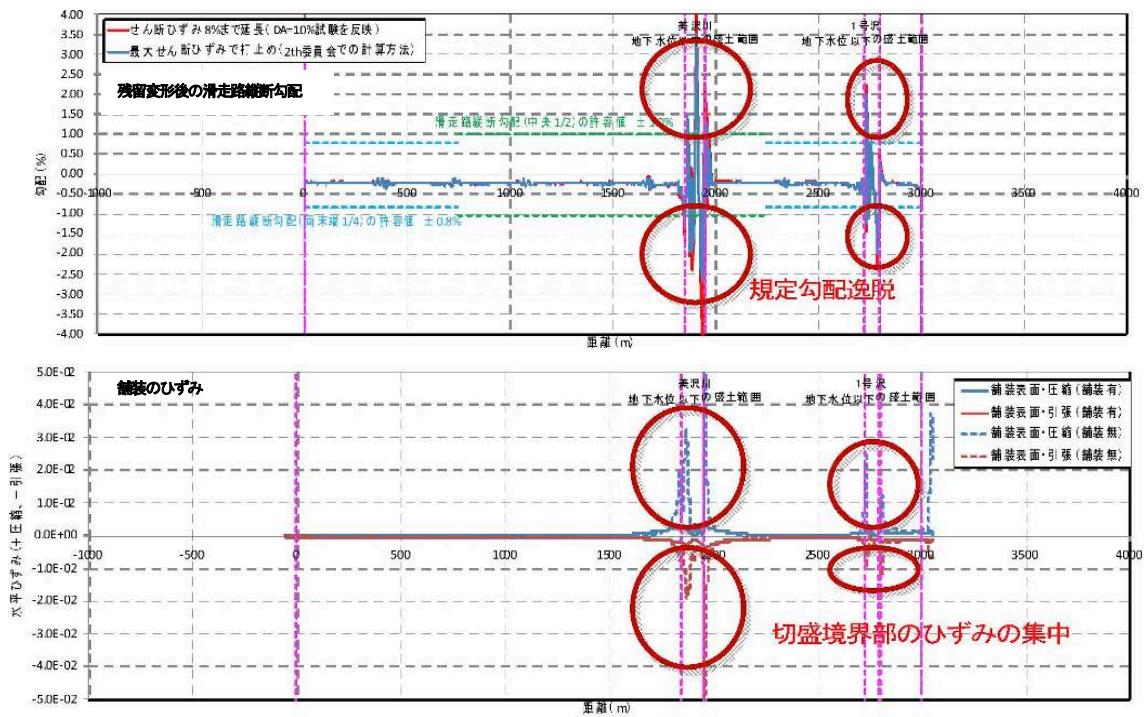


図-8 A滑走路におけるF L I P解析結果（レベル2地震動）

図-8は、レベル2地震動によるF L I Pの解析結果として、A滑走路縦断に対する地盤液状化による沈下の残留変形後の勾配および舗装のひずみについて示している。

耐震性照査結果として、美沢川函渠部では沈下量が最大64.3cm、勾配は3.5%となり、1号沢函渠部では沈下量が最大37.5cm、勾配は2.0%となり、規定勾配からの逸脱、切盛境界部の残留沈下によるひずみの集中により舗装に段差やクラック等のダメージが生じるなど、空港の運用に支障をきたす被害が発生する可能性が高い結果となった。

b) 構造物周辺の詳細検討（美沢川函渠周辺）

A滑走路縦断の耐震性照査の結果に基づき、構造物との交差部のうち美沢川函渠部及び1号沢函渠部において詳細な液状化対策工の検討を行った。

なお液状化対策工法は、新千歳空港において試験施工を実施して選定した浸透固化処理工法とし、その改良範囲は液状化しないものとパラメータ設定した上で、レベル2地震動に対するF L I P解析を行い、改良効果を確認した。

ここでは美沢川函渠周辺における液状化対策の検討を例として示す。

図-9は、液状化対策前における解析について図化したもので、上から順に土質モデル、解析結果として残留変形後の滑走路の縦断勾配と舗装のひずみを並べたものである。液状化対策前では函渠をはさんで縦断勾配が許容変形量である1.0%を大きく超え、舗装面のひずみも大きくなっており、舗装面に亀裂の発生が懸念されるものとなった。

図-10は、液状化対策後における解析結果を示したものである。土質モデルの設定では、液状化対策前における残留変形後の滑走路縦断勾配を許容値に納めるため、函渠周辺の地盤改良範囲を設定しており、その範囲は縦断方向へ函渠を中心としてそれぞれ30~40m、地下水位下約7mの深度とした。

液状化対策後の解析結果では、残留変形後の縦断勾配が1.0%以下に収まっていることが見て取れる。新千歳空港では、同様の検討を各施設にて実施し、液状化対策範囲を設定している。

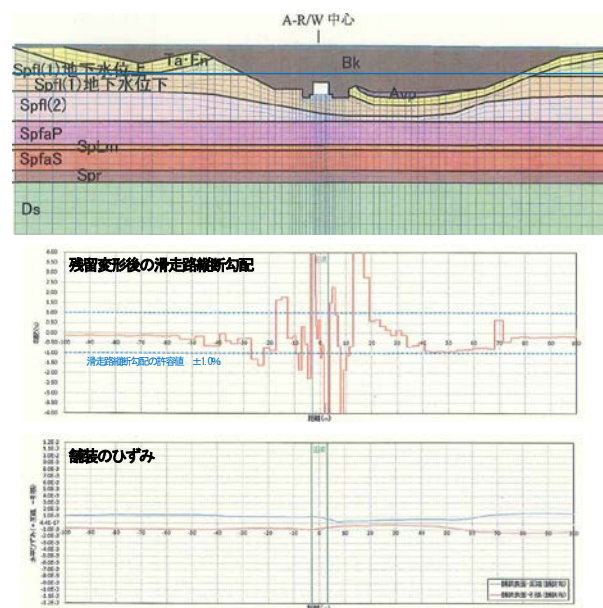


図-9 A滑走路と美沢川函渠との交差部の解析結果（液状化対策前）

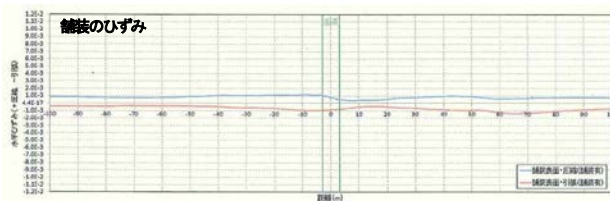
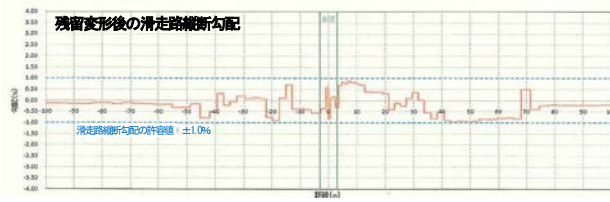
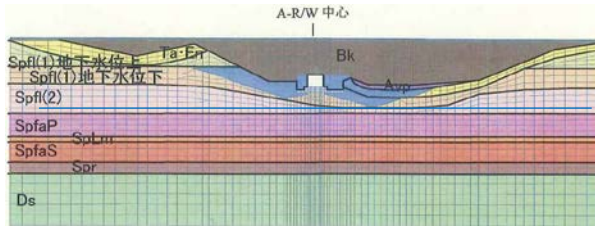


図-10 A滑走路と美沢川函渠との交差部の解析結果 (液状化対策後)

5. あとがき

現在、新千歳空港では大規模地震が発生しても空港の運用が継続できるよう、各施設における耐震照査を実施した上で、基本施設であるA滑走路及びD誘導路の液状化対策、その直下にある美沢川函渠と1号沢函渠の耐震補強の整備を進めているところである。



写真-1 液状化対策の実施 (A滑走路美沢川函渠部)

参考文献

- 1) 国土交通省東京航空局：新千歳空港防災拠点計画, 2009. 3.
- 2) 長尾毅, 山田雅之, 野津厚：フーリエ振幅と群遅延時間に着目した確率論的地震ハザード解析, 土木学会論文集, N0801/I-73, 2005.
- 3) 野津厚, 菅野高広：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法—内陸活断層地震及び海溝型地震への適用性の検討—, 港湾空港技術研究所資料, N01120, 2006.
- 4) 野津厚, 盛川仁：表層地盤の多重非線形降下を考慮した経験的グリーン関数法, 地震第2号, 第5巻, pp. 361-347, 2003.
- 5) 野津厚, 菅野高広：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法—因果性と多重非線形降下に着目した改良—, 港湾空港技術研究所資料, N01173, 2008.
- 6) 加藤幸輝, 青井晃樹：新千歳空港における土木施設の耐震対策について, 第9回空港技術報告会, 平成20年12月.