

新千歳空港における火山灰土に対する FLIP の解析条件の設定について

北海道開発局 札幌開発建設部 千歳空港建設事業所 法人会員 本間 久雄
 (現 稚内開発建設部 稚内港湾事務所 法人会員)
 北海道開発局 札幌開発建設部 千歳空港建設事業所 法人会員 伊東 敦史
 (株) 日本空港コンサルタンツ 正会員 久野 了史
 (株) 日本空港コンサルタンツ 正会員 ○亀井 慎一郎

1. はじめに

新千歳空港は、北海道の道央における大規模地震発生時の災害支援活動、航空輸送ネットワークの維持、背後圏経済活動の維持に対する拠点としての役割を果たすため、災害時に必要な空港機能を踏まえ、空港施設の耐震性能の確保が求められている。新千歳空港においては、平成 19、20 年度に、「新千歳空港防災拠点あり方検討委員会」、「新千歳空港耐震技術検討委員会」が設置され、空港施設の耐震性能確保のための検討が行われてきた。本報告は、「新千歳空港耐震技術検討委員会」で検討された、FLIP (Finite Element Analysis Program for Liquefaction Process、運輸省港湾技術研究所) を用いた火山灰土の地震応答解析のパラメータ設定、残留沈下量の算定方法および空港基本施設への影響検討を通して得られた知見について報告するものである。

2. 新千歳空港の地盤特性

新千歳空港周辺の地形は、台地部とそれが浸食された沢地形部に大別できる(図-1)。台地部の地質は、上位より、樽前・恵庭系火山灰(Ta・En)、支笏火砕流堆積物(Spfl)、支笏降下火砕堆積物(SpfaP)、ローム(SpLm)、支笏降下スコリア(SpfaS)、支笏火山灰二次堆積物(Spr)および洪積砂層(Ds)の多層から構成されている。空港南側には、沢地形が形成されており、その底部には火山灰混じり腐植土(Avp)が堆積し、沢部は盛土(火山灰土)により造成されている(図-2)。

土質調査の結果、最も厚く堆積する Spfl 層は N 値が 1 ~ 50 以上と大きなバラツキが確認された。N 値 20 で区分し土質特性を整理すると、S 波速度、液状化強度等で傾向に差異が確認できたため、Spfl 層は N 値 20 を境に上位を Spfl(1)、下位を Spfl(2)と区分した。また、Spfl(2)、SpfaP は、液状化強度試験の結果、サイクリックモビリティの傾向を示す。

キーワード：液状化、空港、基本施設、火山灰土、地震
 応答解析、耐震性能照査
 連絡先：〒066-0012 千歳市美々
 北海道開発局 札幌開発建設部 千歳空港建設事業所
 TEL : 0123-24-7111

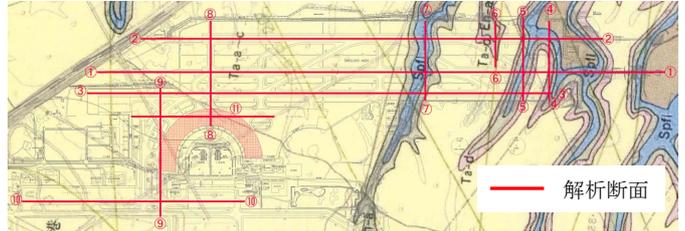


図-1 新千歳空港周辺の地質平面図と解析断面

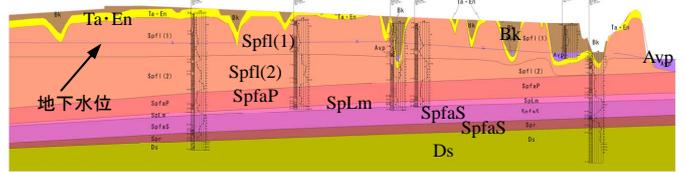


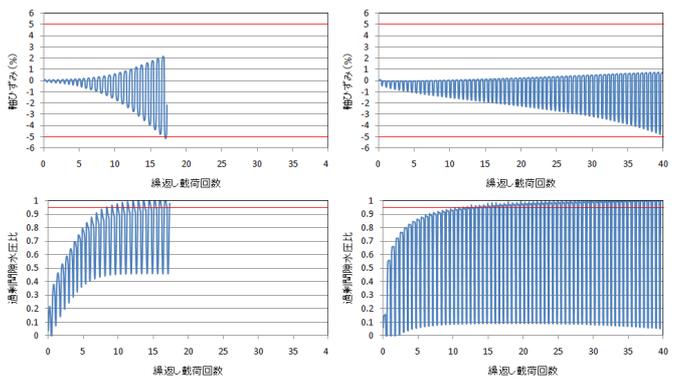
図-2 推定土層断面図 (①-①断面)

3. 解析条件の設定

地震応答解析の解析コードには、有効応力法に基づく地震応答解析プログラムである FLIP を用いた。

基盤入力波形は、レベル 1 地震動では最大加速度 73gal、レベル 2 地震動は石狩低地東縁断層帯・南部で最大加速度 391gal である。

液状化パラメータは、液状化強度の他、細粒分含有率、深度を考慮し、各土層の特性を代表する平均的な試験データに基づいて設定することとした(表-1)。Spfl(1)層と SpfaP 層の液状化強度試験結果を図-3 に示す。同図のとおりに、SpfaP 層ではサイクリックモビリティの傾向が確認できる。また、Spfl(2)層でも同様の傾向が確認されたことから、液状化パラメータの設定にあたっては、過剰間隙水圧比と軸ひずみに着目して詳細にフィッティングを行った。



(a) Spfl(1)層

(b) SpfaP 層

図-3 液状化強度試験結果

表-1 解析用地盤物性値一覧

土層	N値	Vs (m/s)	γt (kN/m ³)	Fc (%)	hmax	液状化パラメータ					
						ϕ_p	S1	W1	P1	P2	C1
Bk	7	160	15.5	19	0.24	32	0.005	24	0.5	0.5	3.5
Avp	5	190	12.0	55	0.21	—	—	—	—	—	—
Ta-En	3.5	190	15.5	19	0.16	28	0.005	45	0.6	0.7	3.2
Spfl(1)	5	300	15.5	31	0.13	28	0.005	4.5	0.6	0.8	1.7
Spfl(2)	20	425	15.5	31	0.13	28	0.005	8	0.7	0.8	3.0
SpfaP	12	275	15.0	11	0.10	28	0.005	20	0.5	0.6	2.6
SpLm	20	300	17.0	23	0.11	—	—	—	—	—	—
SpfaS	36	400	18.5	8	0.10	—	—	—	—	—	—
Spr	23	240	17.5	56	0.10	—	—	—	—	—	—
Ds	57	450	19.0	11	0.13	—	—	—	—	—	—

4. 空港基本施設の耐震性能照査結果

(1) 沈下量の算定

レベル2地震動に対する地震応答解析結果を図-4に示す。過剰間隙水圧比は Spfl(1)、Spfl(2)で 1.0 程度まで上昇し、次いで SpfaP で 0.8 程度まで上昇するが、Spfl(2)と SpfaP の最大せん断ひずみは 1.5%程度と Spfl(1)と比べて小さくなっている。火山灰土の液状化特性を踏まえると、サイクリックモビリティの挙動を示す Spfl(2)層以深では、従来の過剰間隙水圧比に応じた沈下量の算定方法では沈下量を過大に評価することが懸念された。そこで、せん断ひずみに着目した沈下量の算定方法の検討・整理を行った。

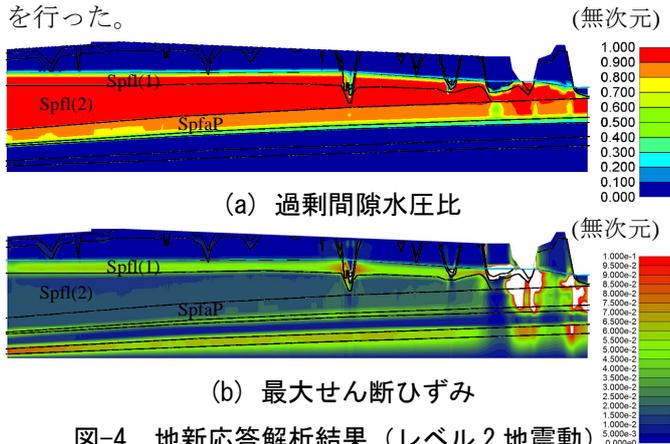


図-4 地新応答解析結果 (レベル2地震動)

既往の研究によると、砂に対してはせん断ひずみ 8%程度まではせん断ひずみと体積ひずみが比例関係にあることが示されているが¹⁾、火山灰土に対する知見は見当たらない。そこで、新千歳空港における火山灰土に対するせん断ひずみと体積ひずみの関係を明らかにするため、液状化強度試験をさらに追加して実施し、軸ひずみ両振幅 DA=10%までの試験と、試験終了後の排水量の測定を行った。この試験結果を基に、せん断ひずみと体積ひずみの関係をプロットしたグラフが図-5である。いずれの土層でもバラツキは見られるものの、砂における既往の研究成果¹⁾と同様に、せん断ひずみが 8%程度までは、せん断ひずみと体積ひずみの間に比例関係が成立し、8%以降は体積ひずみの増加傾向が弱まっていることが判った。

そこで、せん断ひずみ 8%を上限として、せん断ひずみと体積ひずみの関係から過剰間隙水圧消散に伴う沈下量を算定することとした。

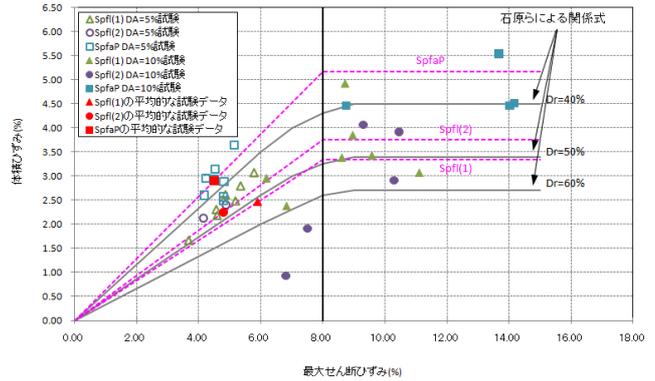


図-5 せん断ひずみと体積ひずみの関係

(2) 空港基本施設への影響検討

沈下量の算定結果に基づいて、残留変形後の滑走路・誘導路の勾配、舗装のひずみ、舗装の限界曲率半径²⁾(クラックの発生)を算定し、基本施設の耐震性能照査を行った。その結果、盛土により造成された沢部において規程勾配を逸脱する不陸が生じる結果となった。想定される被災箇所を事後復旧で対応する場合、規程勾配を満足するためには、1箇所当たり数百m規模の舗装のすりつけが必要となる上に、被災時に必要資機材を大量に調達することは困難であることから、災害時の早期に求められる機能を確保するためには、事前対策が必要と判断された。

5. おわりに

本報告は、FLIPでの適用実績の少ない火山灰土を対象とした地震応答解析を取り扱ったものであり、液状化パラメータの設定、沈下量の算定にあたって、火山灰土の特性を考慮し、地盤のひずみに着目して行った点に特徴がある。現在、新千歳空港においては、これらの成果に基づき、耐震性確保に向けた対策が進められている。本報告の成果が火山灰土を対象とした耐震検討に寄与できれば幸いである。なお、本報告は、「新千歳空港耐震技術検討委員会」の審議結果に基づくものであり、井合委員長、三浦副委員長をはじめとする各委員のご指導・ご助言により得られた成果である。この場を借りて感謝の意を表するものである。

【参考文献】

1) Kenji Ishihara and Mitsutoshi Yoshimine: Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Vol.32, No.1, pp.173-188
 2) 土田孝、小野憲司：数値シミュレーションによる不同沈下の予測と空港舗装設計への適用、港湾技術研究所報告、Vol.27、No.4、pp.123-200