

大分空港の耐震性の検討

風野裕明*・池内章雄**・岸良安治***・澁谷浩平****・梅崎康浩*****

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任調査役

** (財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

*** (財) 沿岸技術研究センター 九州支部 調査役

**** (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

***** 国土交通省 九州地方整備局 別府港湾空港整備事務所長

大分空港における、レベル1, レベル2地震動に対する、地震後の被害想定を行うため、詳細な土質調査結果のある各ボーリング位置での液状化判定及び空港の外周護岸部を中心に FLIP による地震応答解析を実施し、空港基本施設の耐震性能について検討を行なった結果を報告する。

キーワード：耐震性能評価, 液状化, 被害想定

1. はじめに

大分空港は国東半島の東端に位置し、昭和46年に2000mの滑走路で供用が開始され(旧空港部)、その後、昭和57年に北側への延伸(500m)、昭和63年に南側への延伸(500m)がされている(延伸部)。このため、図-1に示すように、旧空港部は起伏の少ない基盤岩(花崗岩)上に位置するのに対して、南北の延伸部は基盤岩が傾斜し、液状化層厚も急激に変化しているという特徴があり、耐震性能の評価にあたっては、旧空港部と延伸部の違いを考慮した。

旧空港部の範囲は、基盤岩(花崗岩)の起伏も少ないことから、地震時および地震後の変形の大半は過剰間隙水圧の消散によるものと想定される。また、その際に発生する地盤の凹凸は地盤性状のバラツキが主たる原因と考えられる。このため旧空港部内の被害想定は、過去に実施されたボーリング箇所毎の一次元地震応答解析による液状化判定と石原らの方法を組み合わせた方法により地点毎の沈下量を算定した。

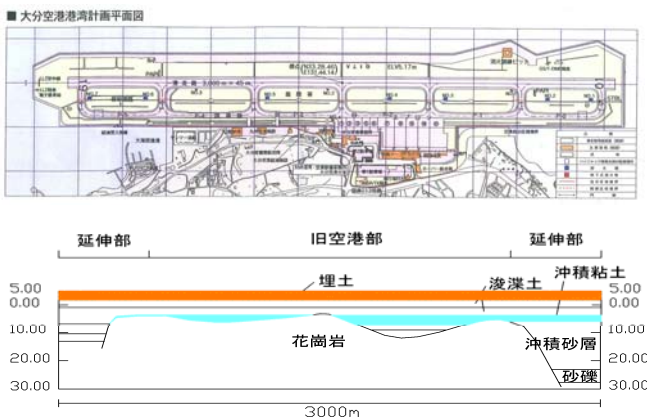


図-1 大分空港平面図・断面図

延伸部の範囲は、基盤岩が急激に深くなる方向に向かって、地盤の側方流動が発生し護岸部等の施設に被害を与える可能性が予想される。このため FLIP による地震時変形解析を行い、その結果から滑走路、誘導路、エプロン部等の基本施設にどの程度の被害が発生するかを予測した。

2. 検討条件

2.1 地震波形

図-2に検討に用いたレベル1及びレベル2地震波形の例を示す。レベル2地震においては、
 内陸型：別府-万年山断層帯(別府湾-日出断層帯東部)
 : 石鎚山脈北縁西部-伊予灘断層帯
 : M6.5直下地震
 海溝型：南海地震
 を対象に検討を実施した。

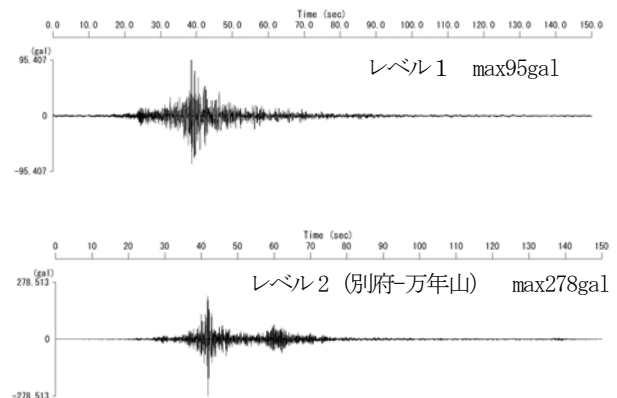


図-2 地震波形

2.2 地盤条件

表-1及び図-3に滑走路断面での土層構成・既往土質調

査位置を示す。当該地の地層は上位より、埋土層(b), 浚渫土層 (s1, s2), 沖積層(ac1, ac2, as1, ac3, as2), 洪積層(dc1, dc2, dvs, dg), 基盤層 (Grw, Gr) により構成される。旧空港部では基盤上 10~15m の層厚, 延伸部では 15~30m 程度の層厚となっている。

3. 耐震性能の検討

3.1 液状化及び沈下量の検討

既往の土質調査結果を用いて、基盤入力波形により液状化の判定を行った。液状化判定位置は、空港全域の地盤の液状化特性を把握できるように土質調査位置毎に、「埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版)」¹⁾に則り実施した。

レベル1地震動とレベル2地震動では、加速度の最大値および地震動波形(地震継続時間含む)が大きく異なる。

表-1 土層区分

地質時代	土質・地質名	記号	N 値 (平均N 値)	層厚(m)	記 事
新 新 世	埋 土	b	1~28 (13)	0.80~ 4.85	まさ土起源の砂質土主体。
	第1浚渫土 (砂)	s1	7~27 (14)	1.00~ 5.20	概ねN 値10以上の砂質土で、細砂~粗砂。
	第2浚渫土 (砂)	s2	0~14 (5)	1.30~ 6.00	概ねN 値10未満の砂質土で細砂~中砂および火山灰質砂を含む。
	沖積第1 粘性土層	ac1	0~6 (2)	0.60~ 3.20	軟質な粘性土で砂分を多く混入する。土質は砂質シルト~砂混じり粘土。
	沖積第2 粘性土層	ac2	1~3 (1)	3.20~ 3.30	軟質な粘性土で概ね均質である。一部、ブロック状に砂を挟む。
	沖積第1 砂質土層	as1	2~28 (10)	0.40~ 13.40	細砂~中砂主体で、若干のシルト分を含む。貝殻断片を少量含む。
	沖積第3 粘性土層	as2	5~7 (6)	3.20~ 3.30	概ね均質な粘性土。貝殻断片を少量含む。やや硬い粘性土。
	沖積第2 砂質土層	as2	20	1.20	No.8だけ確認され、レンズ状に薄く分布する塊状細り砂。
	沖積第1 粘性土層	dc1	11~15 (13)	1.70	固結した火山灰質シルトで、軽石や細砂を挟む。コアは両手で折れる程度。
	沖積第2 粘性土層	dc2	50 以上	1.90	固結した火山灰質シルトで、dc1層よりも固結度高くN 値50を示す。
更 新 世	火山灰質 砂層	dvs	19	2.20	軽石混じり砂~火山灰質砂。一部、砂礫を挟む。
	沖積 礫質土層	da	50 以上	0.10~ 3.50	砂礫~玉石混じり砂礫。基質はシルト混じり砂で、礫層は花崗岩礫や安山岩礫が多い。
	強化 花崗岩	Grw	18~35 (25)	1.00~ 2.20	調査地の基盤層である。風化を強く受け、まさ土状を呈す。
中 生 代	風化 花崗岩	Gr	50 以上	-	軟岩相当で、コアはハンマー打撃で容易に砕ける程度。

加速度の最大値の違いは、従来の液状化判定法でも考慮されているものの地震動波形の影響は従来の液状化判定法では考慮されていないため、地震動レベルの違いが明瞭に現れないことがある。このため、地震動波形の影響を考慮することができる山崎らにより提案されている「地震動波形の影響を考慮した液状化の予測・判定に関する提案」²⁾に基づく液状化の判定、及び累積損傷度理論に基づく詳細な液状化判定を実施した。

具体的な検討方法は、まず従来法及び山崎らの方法により液状化に対する1次判定を行い、この際に図-4に示す等価加速度と等価N 値による液状化の予測・判定図において判定「II」, 「III」に分類された土層については、累積損傷度理論¹⁾に基づく詳細な液状化判定を実施した。

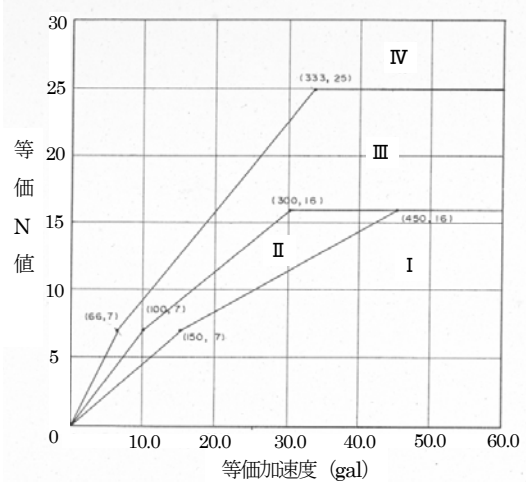


図-4 等価加速度と等価N 値による液状化の予測・判定図

また、液状化による沈下量については、液状化層における液状化に対する安全率(F_L 値)と体積ひずみ (ϵ_v) との関係(図-5)を用いた石原の方法を用いて、液状化判定の実施位置毎に液状化による沈下量を算定し、土質、成層条件による沈下量のばらつきを把握し、被害想定図作成に反映した。

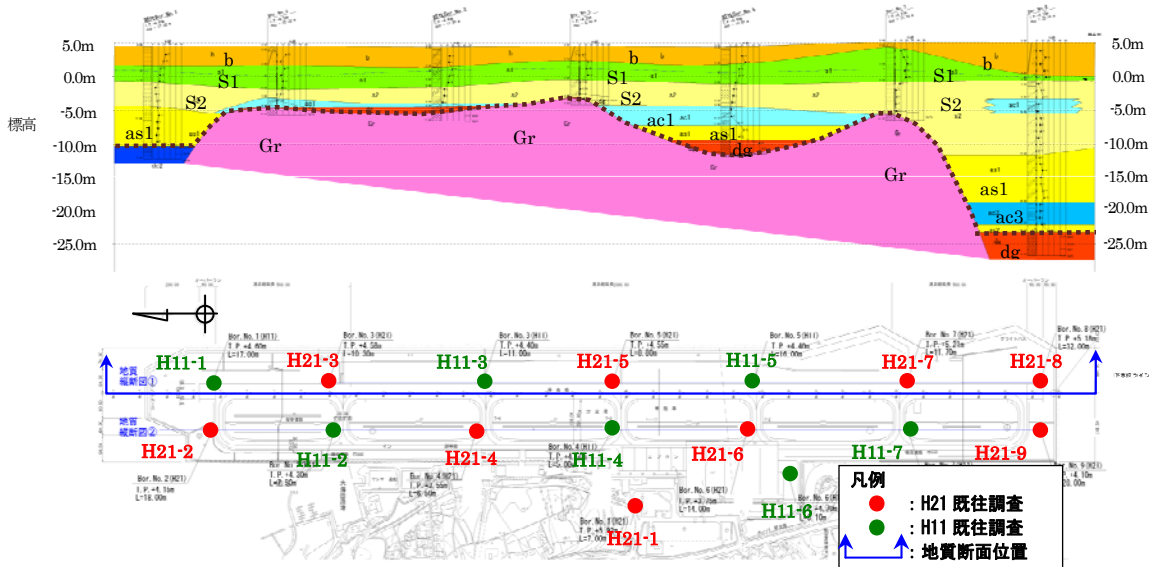


図-3 既往土質調査位置及び滑走路断面図

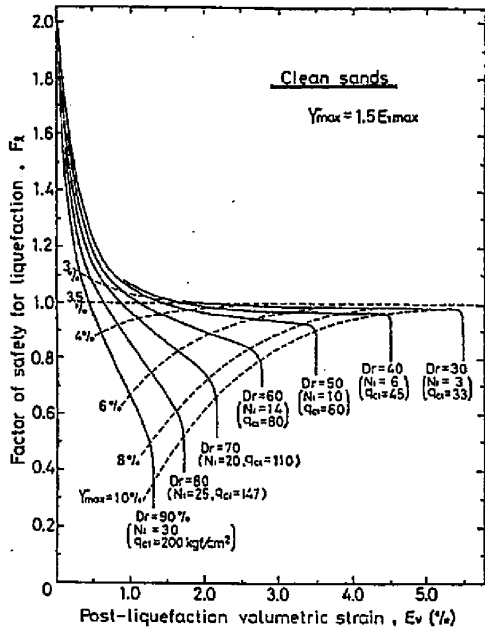


図-5 $F_L \sim \epsilon_v$ の関係図

3.2 地震応答解析

液状化の判定結果に基づき、二次元有効応力地震応答解析プログラム FLIP による各断面方向の時刻歴地震応答解析を行い、液状化による滑走路舗装等へ与える影響について検討を行った。地震時変形照査は、6断面（滑走路縦断方向断面①、取付誘導路縦断方向断面②・③、エプロン縦断方向断面④、滑走路直近護岸方向断面⑤・⑥）について実施した。図-6にFLIPモデル例を示す。

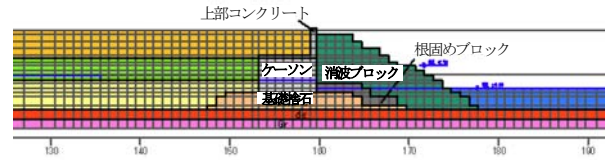


図-6 FLIP 解析モデル例 (護岸部)

3.3 検討結果及び被害想定図

(1) レベル1地震動に対する検討結果

図-7に検討結果及び被害想定図を示す。

滑走路部では、H11-3地点を中心とする縦断方向の延長500m程度の滑走路中央付近の範囲($x=750m \sim x=1,250m$)において地盤全体として液状化し、過剰間隙水圧の消散に伴う最大16cm程度の沈下量が発生する。一方、誘導路部においては、脱出誘導路 T-6 および平行誘導路のうち H21-2 地点から延長250m程度の空港北側先端付近の範囲($x=0m \sim x=250m$)において地盤全体として液状化し、過剰間隙水圧の消散に伴う最大39cm程度の沈下量が発生する。

以上から、滑走路全延長のうち、H11-3地点を中心とする縦断方向の延長500m程度の範囲及び脱出誘導路 T-6 と、平行誘導路のうち H21-2 地点から延長250m程度の範囲($x=0m \sim x=250m$)が使用不可能になると想定される。

水平方向の変位量は滑走路、各誘導路にわたって最大でも1cm程度であり、外周護岸の側方流動による被害は見られない。

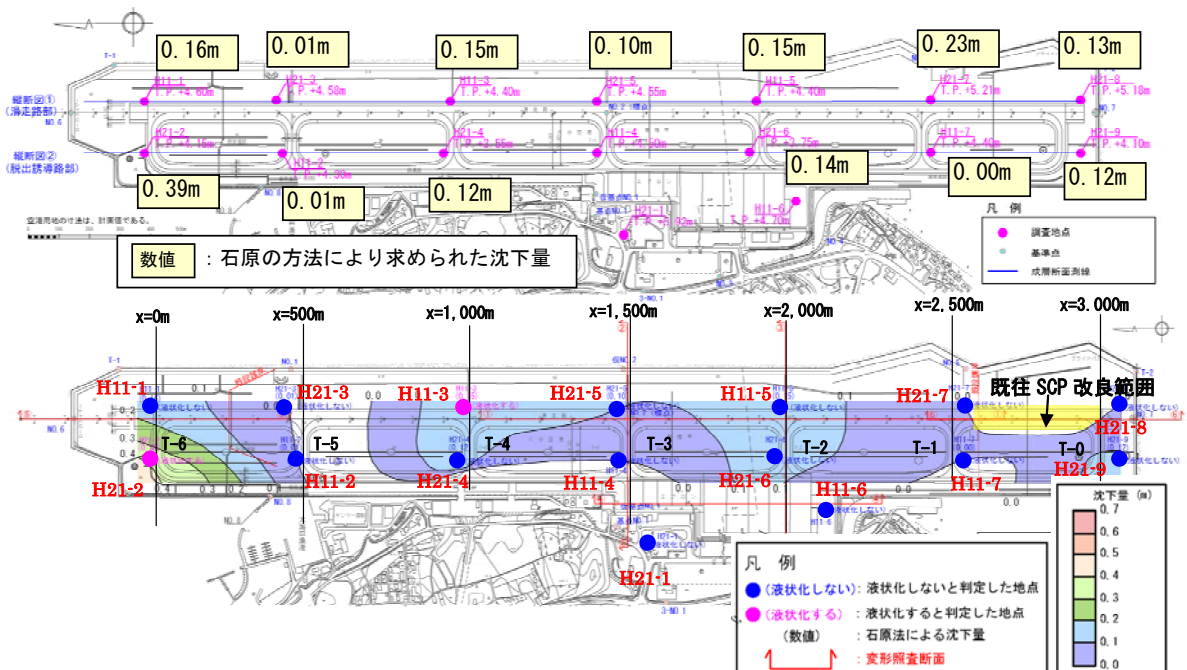


図-7 検討結果及び被害想定図 (レベル1地震動)

(2) レベル2地震動に対する検討結果

レベル2地震動のうち、最も被害の大きい別府-万年山断層に対する検討結果及び被害想定図を図-8に示す。

滑走路部においては、H21-7 および H21-8 地点付近における既往の SCP 改良範囲では、改良効果(改良後 N 値 ≥ 15)が確認されており、地盤全体として液状化しない。既往の SCP 改良範囲(x=2,630~3,000m)以外の滑走路全延長にわたる範囲(x=0~2,630m)で地盤全体として液状化する。過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量は、滑走路北側の延伸部(H11-1 地点付近:x=0~235m)で最大となり 38cm 程度発生する。その他の範囲(x=235~2,630m)では 10~19cm 程度発生する。

一方、誘導路部においては、脱出誘導路 T-2, T-5, T-6 で地盤全体として液状化する。平行誘導路のうち H21-2 地点と H11-2 地点及び H21-6 地点で地盤全体として液状化する。過剰間隙水圧の消散に伴う最大 43cm 程度(H21-2 地点付近)の沈下量が発生する。

水平方向の変位量は滑走路、誘導路にわたって最大でも 3cm 程度であり、外周護岸の側方流動による被害は見られない。

以上より、滑走路全延長のうち、既往の SCP 改良範囲以外の範囲(x=0~2,630m)については、使用不可能になる

ものと想定される。同様に、誘導路部においては、脱出誘導路 T-2, T-5, T-6, 平行誘導路のうち H21-2 地点から H11-2 地点の全範囲(x=0~470m)と H11-2 地点から延長 250m 程度の範囲(x=470~740m)及び H21-6 地点を中心とする延長 500m 程度の範囲(x=1,750~2,250m)が使用不可能になるものと想定される。

4. おわりに

本論文は、平成 22 年度に実施した「大分空港耐震化検討調査」業務の成果をもとに作成した。検討にあたって関係各所の方々から多大なご指導、ご協力をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 運輸省港湾局監修, (財) 沿岸開発技術研究センター: 埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), 1997.
- 2) 山崎浩之, 江本翔一: 地震動波形の影響を考慮した液状化の予測・判定に関する提案, 港湾空港技術研究所報告, 第 49 巻, 第 3 号, pp. 79~109, 2010.

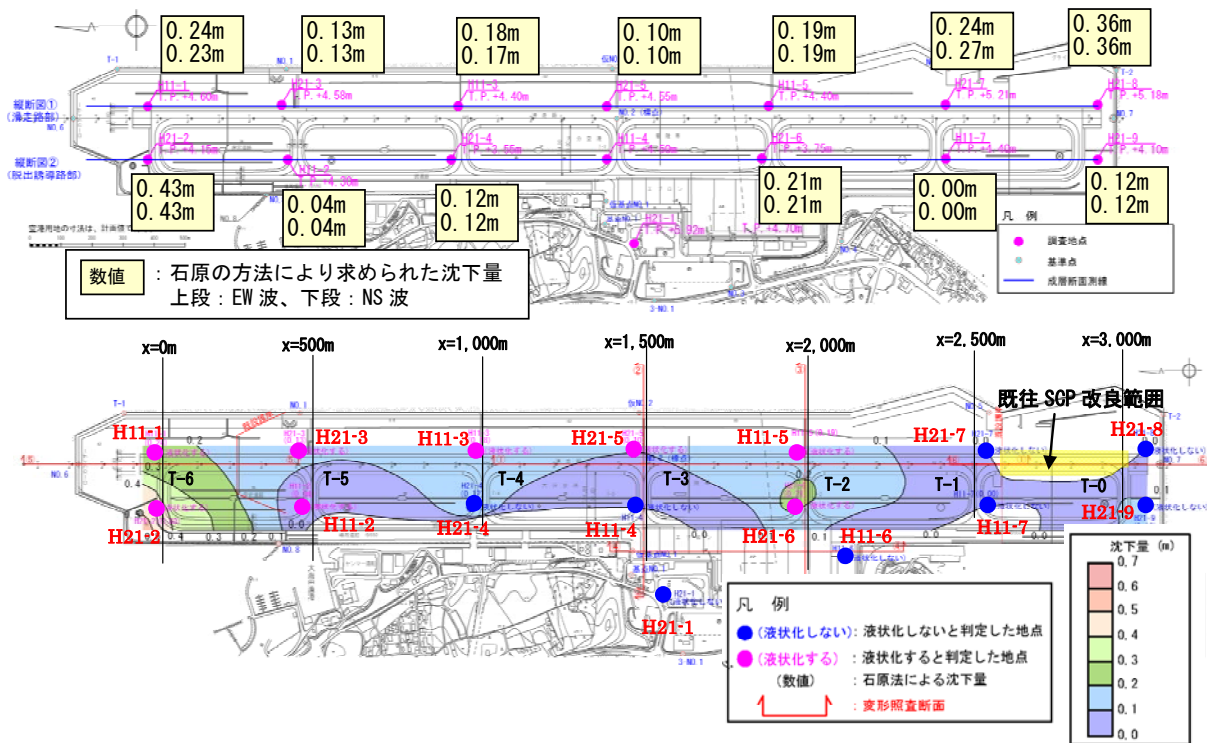


図-8 検討結果及び被害想定図 (レベル2地震動)