

レベル2地震動発生時における空港施設の変形照査について

独立行政法人港湾空港技術研究所

正会員 山崎浩之

国土交通省関東地方整備局

下司弘之、古土井健、齋藤泰之

復建調査設計㈱

正会員 ○藤井照久、山田和弘、石川雅也

1. まえがき

近年の大地震の多発を契機に、公共施設の耐震化についての国民の関心は非常に高く、東京国際空港においてもレベル2地震動に対応した施設の耐震強化を進めているところである。本報告では、比較的深部に細粒分の多い非改良の液状化層が存在する場合について、地震時及び地震後の変形照査を行い、施設の耐震性能への影響についての検討を報告するものである。

2. 対象地盤および検討方法

検討断面は、図-1 に示すとおりであり、上部にはエプロンが整備される予定である。このうちレベル2地震動時に液状化の発生が予想されたのはBs、As1、Ac2-1層であった。このうちAc2-1層は、図-2 に示すように大半が細粒分で占められており、塑性指数が15以下のシルトである。そのため、ここではAc2-1層の透水係数が小さいこと、液状化試験結果より地震時に極端な剛性低下は発生しないこと、また液状化対策をBs、As1層で実施すれば上位に非液状化層が10m以上あることなどから、Bs、As1層について対策を施し、Ac2-1層について対策を施さない場合について液状化の影響検討を行うこととした。

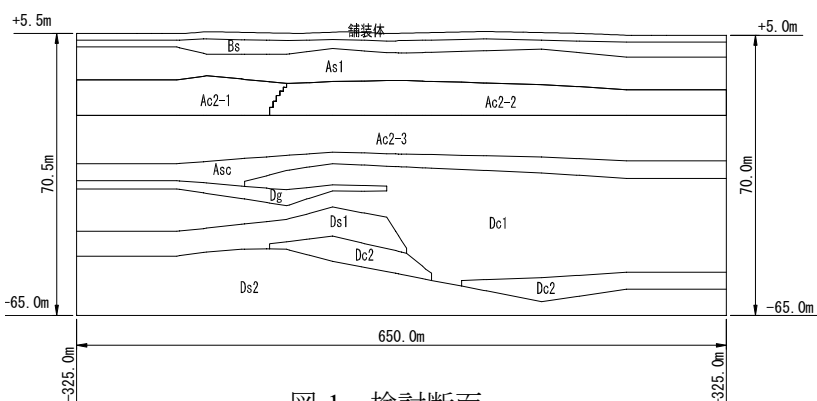


図-1 検討断面

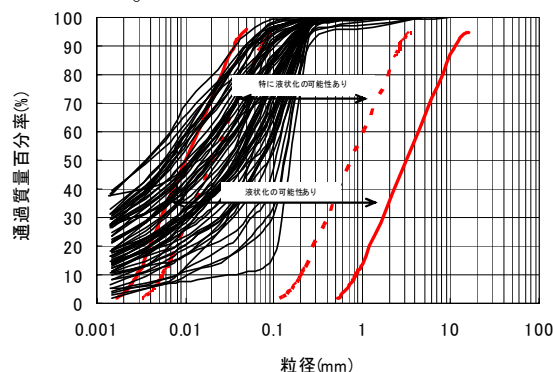


図-2 Ac2-1層の粒径加積曲線

検討にあたっては、港湾空港構造物の耐震性能評価ではFLIPが最も用いられているが、FLIPでは液状化後の過剰間隙水圧の消散過程およびこれに伴う地盤変形を考慮することができないため、これらの問題を検討するために近年開発されたFLIPDIS¹⁾を用いた。FLIPDISは、FLIPの解析結果に基づき、応力・浸透を連成したBiotの多次元圧密方程式を、有限要素法を用いて解析することにより地震終了後あるいは地震継続時間中の過剰間隙水圧の消散（移動）およびこれに伴う沈下、変形の予測を行うものである。FLIPDISで利用できる土の構成式²⁾は間隙水圧比Rに基づく指数関数からヤング係数Eを次式により定義している。

$$R = 1 - \sigma_m / \sigma_{m0}, \quad E = E_0 (\sigma_{m0} / \sigma_{ma})^{1/2} / (\text{EXP}(aR - b) + 1.0)$$

ここで、 σ_{m0} は初期状態（地震発生前）での平均有効主応力、 σ_{ma} は基準平均有効拘束圧、 a 、 b は入力パラメータである。

本検討では、パラメータ a 、 b の決定にあたっては、液状化試験後に過剰間隙水圧の消散試験を実施し、その試験の結果に、フィッティングすることにより決定した。その結果の一例を、図-3 に示す。

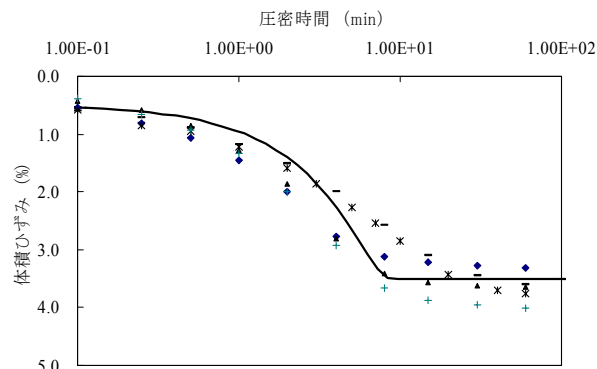


図-3 体積ひずみ～圧密時間関係 (Ac2-1)

キーワード：液状化解析、過剰間隙水圧、消散解析、体積圧縮係数、舗装勾配

連絡先（東京都千代田区岩本町三丁目 8-15 F G E X 岩本町ビル・TEL:(03)5835-2631・FAX:(03)5835-2632）

図-4 および図-5 は、対策しない場合および対策した場合（Bs、As1 層のみ締固め工法）の地盤の変形図および勾配を示している。図中には、地震前の地表面形状、地震直後の変形図、地震後 1 日および 1 ヶ月経過した後の変形図、勾配を示している。また、比較のため石原ら³⁾が提案しているせん断ひずみ～体積ひずみ関係から一次元的（深度方向）に沈下量を算出した結果もあわせて示している。これらの図より、対策しない場合、対策した場合ともに液状化層が比較的水平的な堆積構造をしているため地震中（非排水条件）には大きな残留変形は認められない。このため、地震直後は対策しない場合、対策した場合ともにエプロンの許容勾配（1%）を保っている。次に、対策しない場合の地震後の過剰間隙水圧の消散に伴う沈下に着目すると、FLIPDIS による結果では水平方向に起伏が大きく（沈下量が 5～30cm）発生し、対策しない場合では許容勾配を超える箇所が多数発生し、性能を維持できないことが明らかとなった。一方、一次元的に沈下を考えた場合には液状化層がほぼ水平に堆積しているため、どの位置においても沈下は 15cm 前後とあまり起伏がない結果となった。このように両方で差異が生じた理由として、FLIPDIS では地表面標高の違いで生じる過剰間隙水圧の差により、水圧分布、消散過程が二次元的に変化が生じているためと考えられる。したがって、現実的には対策しない場合には FLIPDIS のような変形が生じるものと考えられる。また、対策後の変形量、勾配を比較すると Bs、As1 層を対策することにより液状化層がなくなる範囲ではほとんど舗装体表面に沈下が生じず、Ac2-1 層の対策を施していない範囲に関しても舗装体表面の沈下は 5cm 程度（透水係数が小さいために地震後 1 日後であれば 0～2cm 程度）と少ない。また、全域において地震後に許容勾配を超えることなく性能を保持できることが確認された。

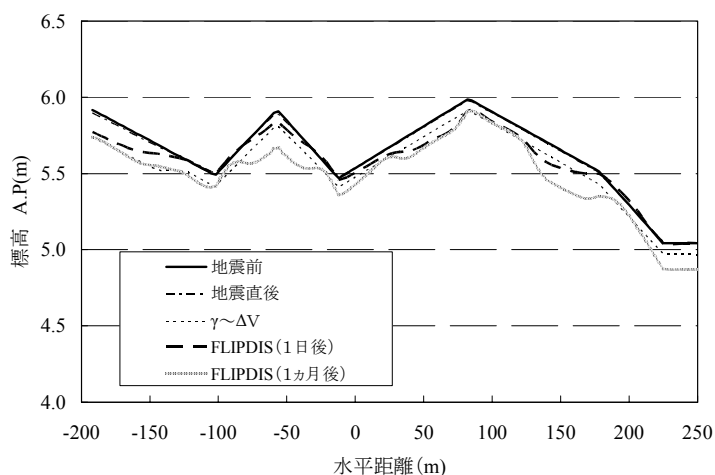


図-4(a) 対策しない場合の地盤変形図

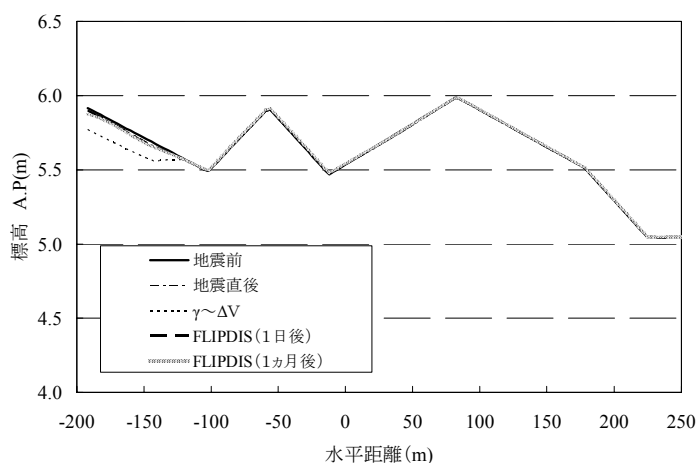


図-4(b) 対策した場合の地盤変形図

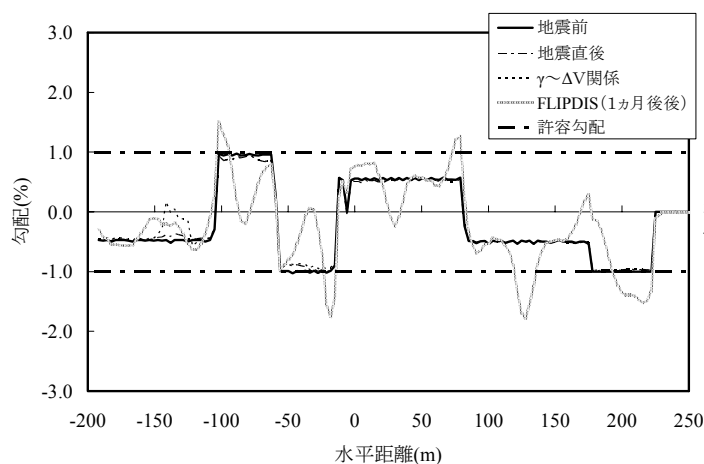


図-5(a) 対策しない場合の舗装体の勾配

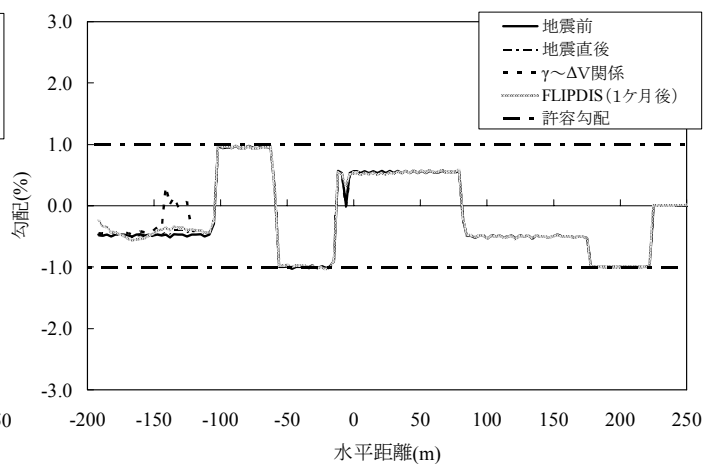


図-5(b) 対策した場合の舗装体の勾配

参考文献

- 1) FLIP 研究会資料：FLIPDIS-FLIP の解析結果を用いた間隙水圧の消散・浸透及び応力～変形連成解析プログラム，舞鶴工業高等専門学校・建設システム工学科，平成 16 年 6 月，<http://www.ptmsg.net/product/flipdis/index.html>.
- 2) 上原精治ら：排水条件を考慮した液状化時の砂の体積圧縮係数について（その 2），第 33 回地盤工学研究発表会，pp.723-724，1998.
- 3) Ishihara, K.: Evaluation of settlement in sand deposit following liquefaction during earthquake, Soils and Foundation Vol.32, No.1, pp173-188,1992.