

(152) 空港内滑走路の耐震性評価手法の開発

運輸省港湾技術研究所 正会員 清宮 理
同上 正会員 藤澤孝夫

1. まえがき

空港施設は、今日物流と旅客の拠点として非常に重要な施設である。陸上に新たに空港を建設することが困難な場合、沖合に人工島を建設して空港を建設する。東京国際空港や関西国際空港にこの例を見ることができる。これら沖合の空港は軟弱な海底地盤上に建設されることから表層地盤の圧密による不等沈下とともに地震時の大きな変状の発生が予測される。地震時の安全性の確保と地震後における機能維持が大切であり、地震後には緊急物資や救援隊の活動拠点としての機能も求められる。空港施設は今まで大規模な地震による大きな被害を受けた事例が少なく地震時の挙動が十分把握されていなく、また施設の社会的重要度の増大のなかで耐震性の評価は十分なされていない状況といえる。ここでは沖合人工島の空港舗装版を対象に耐震性の評価手法を提案し、1、2の計算事例を紹介する。

2. 滑走路の構造

図-1の左図に示すように滑走路の構造は、表層地盤上に路床と路盤を造成しその上に舗装版を置く。舗装版は、鉄筋コンクリート、アスファルトもしくはプレストレストコンクリートで製作される。滑走路では、この舗装版の長さが2500m幅が60mにおよぶ。駐機場の舗装版も平面的にかなりの広さである。舗装版の厚さは通常20～50cmである。鉄筋コンクリート舗装版では0.65%の鋼材が舗装版表面より1/3の箇所に配置される。舗装版には、5～15m間隔に施工目地が、100～200m間隔に膨張目地が設置されている。施工目地は、スリップバーにより伸縮が自由となっている。一方アスファルト舗装は連続して製作され施工目地は設置されていない。

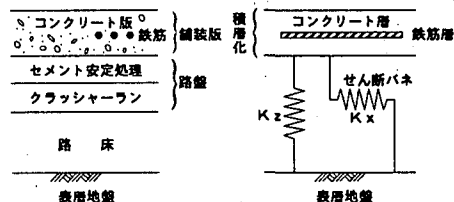


図-1 滑走路の構造とモデル図

3. 今までの地震での滑走路の被害状況

今までの大規模な地震では、1964年新潟地震⁽¹⁾で新潟空港の滑走路が致命的な被害を受けている。新潟地震では、液状化によりコンクリート製舗装版の盛り上がりやアスファルト舗装版の亀裂が報告されている。1978年宮城沖地震での仙台空港およびロマブリータ地震でのオークランド空港とサンフランシスコ空港では、液状化による噴砂やアスファルト舗装版の亀裂が報告されている。1968年日向灘地震、1968年十勝沖地震、1971年サンフェルナンド地震、1995年兵庫県南部地震などでは、地震被害がほとんど報告されていない。滑走路の地震による変状は、舗装版の盛り上がりや沈下、亀裂やひび割れ、目地の開き、舗装版の蛇行、噴砂などに分類できる。被害の主要因は、滑走路基礎地盤の液状化と表層地盤のせん断振動である。

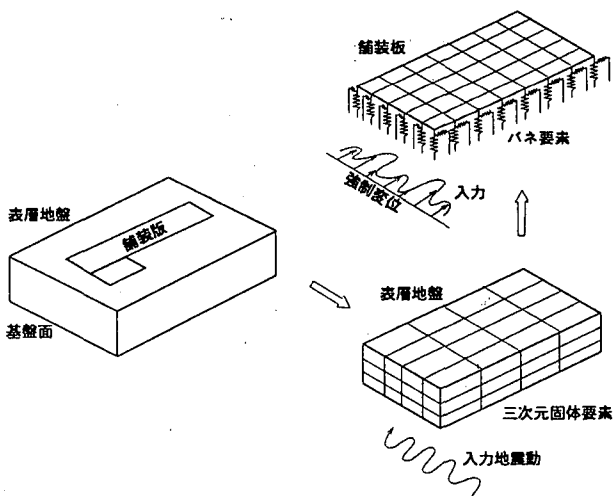


図-2 計算モデルの概要

4. 計算モデル

今回の計算モデル⁽²⁾は、舗装版が表層地盤の水平せん断振動によりどの程度の断面力と変形が計算されるか調べるため作成する。液状化と上下動による影響は考慮していない。舗装版は表層地盤全体から比較すると薄い膜状であり表層地盤の振動性状にはほとんど影響を与えないと考え、計算モデルとして表層地盤と舗装版と別個に作成する。

図-2に示すように人工島の表層地盤全体を固体要素に置換する。基盤面より加速度入力を行い時々刻々の表層地盤表面の応答変位を計算する。この際表層地盤の非線形性は、地震応答計算プログラムSHAKEにより、表層地盤のせん断剛性の低下と減衰率を求め等価線形として評価する。鉄筋コンクリート舗装版は積層化した平板要素を用いる。図-1の右図に積層化した平板要素の断面を示す。表層地盤のせん断振動により主に面内力が舗装版に生じる。コンクリート、鉄筋及びアスファルトは図-3に示す材料非線形性を考慮する。アスファルトの力学特性は気温や載荷速度に大きく影響されるが、今回は気温15度程度で載荷速度は通常の載荷速度よりやや早い場合を想定して設定する。滑走路と表層地盤とはバネで連結されていると仮定する。このバネは路床と地盤との剛性から求めることができる。またこのバネのせん断力が最大摩擦以上となったら降伏すると仮定する。バネのモデルを図-4に示す。

バネ定数は空港コンクリート舗装構造設計要領⁽³⁾より設定する。施工目地も図-5に示すようにバネに置換する。このバネは、施工目地の軸方向とせん断方向とをモデル化する。今回用いた材料特性と施工目地の剛性は、別途実施した載荷試験より得られた値を参考に設定する。舗装版下部のバネの端部から、表層地盤のみの3次元モデルで求めた地表面の強制変位を入力して舗装版に生じる断面力と目地の開きなどを計算する。

バネ定数は空港コンクリート舗装構造設計要領⁽³⁾より設定する。

施工目地も図-5に示すようにバネに置換する。このバネは、施工目地の軸方向とせん断方向とをモデル化する。今回用いた材料特性と施工目地の剛性は、別途実施した載荷試験より得られた値を参考に設定する。舗装版下部のバネの端部から、表層地盤のみの3次元モデルで求めた地表面の強制変位を入力して舗装版に生じる断面力と目地の開きなどを計算する。

5. 計算条件の設定

図-6に示す東京国際空港の埋め立て地に長さ3000mおよび

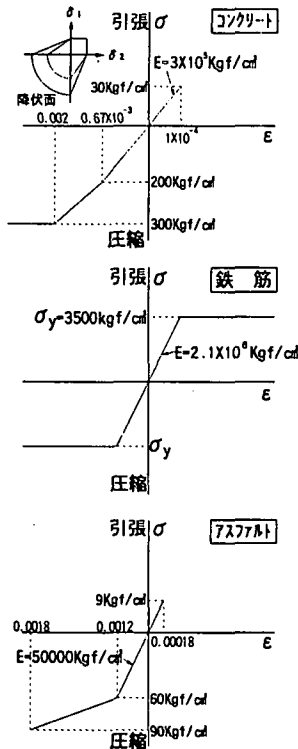


図-3 各材料の非線形特性

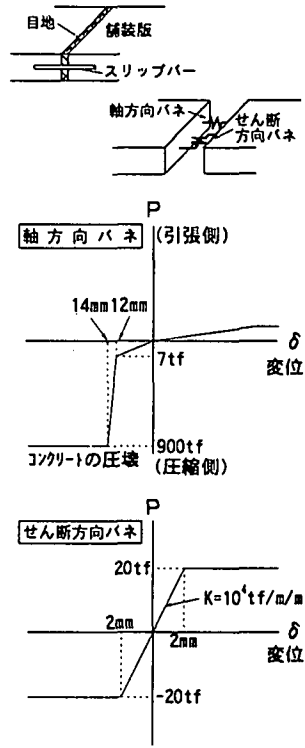


図-5 目地構造と非線形特性

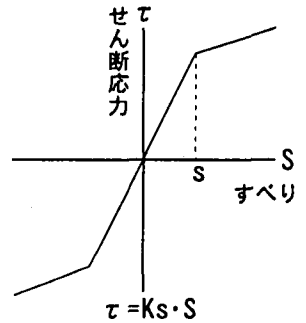


図-4 表層と舗装版のバネ

表-1 各舗装版の物性値

	層厚 L (m)	ヤング率 E (tf/m²)	ポアソン比 ν
鉄筋層	0.00286	2.1×10^7	0.30
コンクリート層	0.437	3.0×10^6	0.167
下層路盤	0.460	3.0×10^6	0.30
路床	1.000	1.0×10^4	0.40
アスファルト	0.170	5.0×10^5	0.35
アスファルト安定処理	0.150	5.0×10^7	0.35
路床	2.000	1.0×10^4	0.40

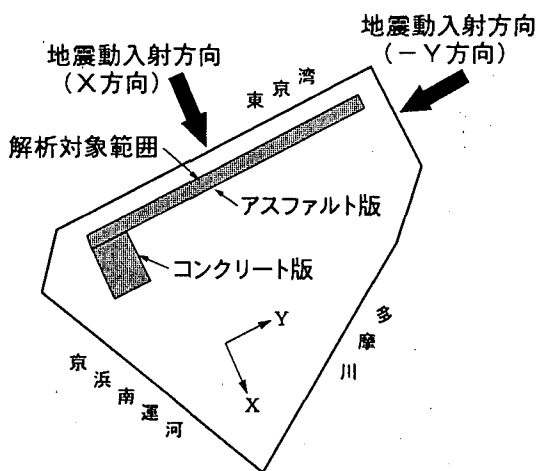


図-6 計算モデル

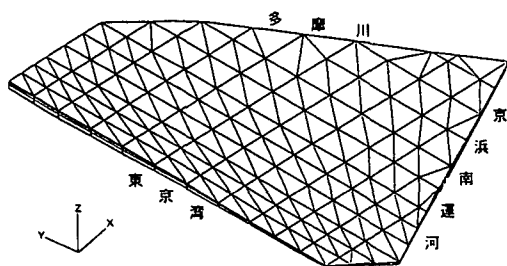


図-8 表層地盤の要素モデル

表-2 表層地盤の物性値

	層厚 (m)	単重 (tf/m ³)	せん断波速度 (m/s)
Bs層	5.5	1.8	182
As ₁ 層	7.0	1.8	174
Ac ₂ 層	12.0	1.6	114
Dc層	26.5	1.7	174
基盤	—	1.8	340

ポアソン比は0.49、減衰定数は0.1で一定。

Bs層は各地点同じとし、その他は層厚の比例配分とする。

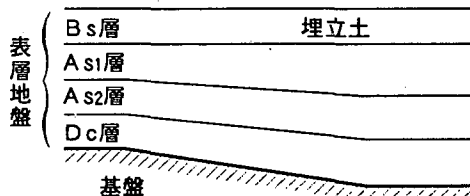


図-7 地盤条件の取扱い

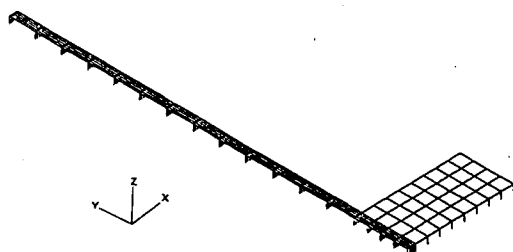


図-9 舗装版の要素モデル

幅60mのアスファルト舗装版と長さ750mおよび幅400mの鉄筋コンクリート舗装版を建設すると仮定する。これら使用材料の物性値を表-1に示す。表層地盤の条件を表-2と図-7に示す。ここでは軟弱な粘土層が深く堆積し多摩川の河口に向かって基盤(洪積層)が深くなっている。試算としての計算モデルを図-8および図-9に示すが表層地盤の固体要素数は876個、舗装版の平板要素数は100個である。想定地震動としてレベル1とレベル2の2種類を設定する。レベル1は従来での耐震設計で想定していたもので、材料特性は弾性と設定しかつ入力地震波は八戸で最大加速度(基盤面)を150Galに設定する。レベル2は、今回の兵庫県南部地震規模を想定したもので、ポートアイランド基盤(-79m)で取得された加速度記録をそのまま用いた。この波形の最大加速度は、679Galである。またコンクリート、アスファルト、表層地盤などの材料特性を非線形と設定する。また加振方向は、滑走路軸方向と軸直角方向で見掛け上の伝播速度をレベル1では1000m/sとレベル2では無限(位相差なし)とする。

6. 計算例

レベル1：表層地盤の固有振動数は、1次が0.384Hz、2次が0.420Hz、3次が0.441Hzと比較的低く、表層地盤の層厚が厚い多摩川の河口付近で振動モードが大きい。計算結果の一例を図-10に示す。コンクリートに計算される引張応力度は、756tf/m²でありひびわれの発生は予測されるもののコンクリートが圧壊するほどではなかった。アスファルト舗装版には亀裂が入るほどの引張応力度は計算さ

れずまた施工目地にも大きな作用荷重は計算されなかった。

レベル2：表層地盤の固有振動数は、1次が0.238 Hz、2次が0.255 Hzと表層地盤の非線形性によりレベル1の場合よりも低くなっている。2、3の計算結果を図-11に示す。表層地盤の最大応答変位量は、レベル1が8.3 cm、レベル2が3.8 cmと4倍強の大きさとなった。コンクリートにはひび割れが生じるが圧壊までにはいたらず、また鉄筋も降伏しない計算結果となった。アスファルト舗装版には引張強度以上の応力度が計算され、ひび割れの発生が予測された。施工目地にはやや大きな開きが生じたが、スリッパバーの引き抜かれやせん断破壊には至らない計算結果となった。

7. 結 論

今回レベル1とレベル2に分けて表層地盤の水平せん断振動に対する滑走路の耐震性の評価を行った。材料特性を弾性と、設計基盤面での入力加速度を150 Galとしたレベル1の地震動に対して滑走路のコンクリートの部分に多少ひび割れが生じるが、施工目地やアスファルト舗装版への損傷は計算されなかった。材料特性を非線形とし、兵庫県南部地震レベルの地震動（入力地震波は、ポートアイランドの洪積層内で取得された加速度波形）に対してレベル1より約4倍程度の応答値を示し、施工目地にやや大きな開きが計算された。コンクリートとアスファルト舗装版にひび割れの発生が予測されたものの、コンクリートとアスファルト舗装版の圧壊や鋼材の破断までには至らない計算結果となった。

あとがき

今回の計算では入力条件（入力地震波、地盤条件、材料特性など）を十分に吟味し設定しておらず、得られた計算結果については概略の被害状況を予測するに止まっている。舗装版の耐震評価手法の適用性については今後さらに数値解析を進めるとともに、モデルの妥当性の検証のため被害事例の解析、模型実験などを通じて比較検討する必要がある。また数値計算について、(株)エスイーエイ(SEA)の村上晋二氏と古川巖氏のお世話になった。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- (1)第一港湾建設局：新潟空港災害復旧工事報告、昭和42年6月、pp.3-6
- (2)清宮理、藤澤孝夫：海上空港での舗装版の耐震評価手法の開発、第27回土質工学研究会、平成4年6月、pp.382-383
- (3)空港コンクリート舗装構造設計要領：運輸省航空局、1990年

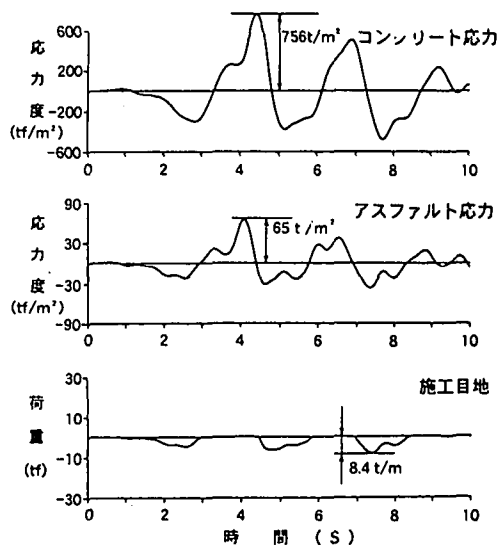


図-10 計算結果(レベル1)

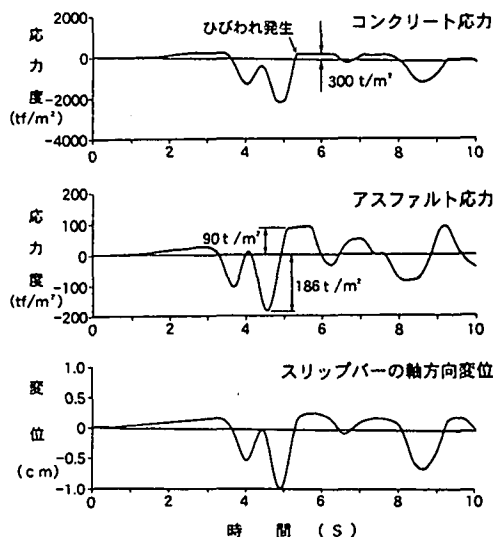


図-11 計算結果(レベル2)