

沖合人工島上の空港舗装版の耐震性評価

東條 義一¹ ・ 清宮 理²

¹学生会員 早稲田大学大学院理工学研究科 (〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1)

²フェロー会員 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 (〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1)

沖合人工島での海上空港が計画・建設されているが、空港は大規模地震後に救援隊や救援物資の拠点となるので、地震後においても空港機能の保持が求められている。今回エプロン（駐機場）と滑走路を対象にレベル1とレベル2の地震動を対象に地震応答計算を行い、水平せん断振動による被害状況の推定を行った。解析モデルでは、舗装版を平面要素に表層地盤と舗装版間をばね要素に置換した。人工島地表面の変位波形を SHAKE により計算しこれを伝播速度 1000m/sec で舗装版の下端のばねより強制入力して、舗装版に生じる応力度と目地部の残留開きを計算した。今回計算の対象とした海上空港では、レベル2の地震動に対して舗装版にひび割れが生じ目地部に 0.5cm 程度の残留が残るものの、航空機の運行をきたすことは少ないと判断した。

Key Words : Airport Runway and Pavement , Dynamic Response Analysis , joint, FEM

1. まえがき

1994 年に起きた阪神・淡路大震災では高速道路や鉄道の橋脚が大きな被害を受けた。このように輸送経路が寸断されると緊急物資や救助隊の活動拠点としての機能に支障をきたす。また空港は地震が起きた場合、離着陸や救援活動に影響の内容にし、被害を最小限に抑える必要がある。また被害を受けたとしても迅速な復旧作業が求められる。一般的に沖合人工島の海上空港は軟弱な埋め立て地盤上に建設されており、地震時において大きな応答を示すと考えられる。しかし、空港施設は今まで大規模な地震により大きな被害を受けた事例が少なく、施設の社会的 중요度が増大する中で地震時の挙動⁽¹⁾が十分把握されていない。そこで海上空港のエプロン舗装版と滑走路を対象に、レベル1およびレベル2の地震時にどのような挙動を示すか調べるために、有限要素法汎用プログラム SOLVIA を用いて地震応答解析を行った。

2. 解析方法と計算モデル

今回の計算モデルでは、水平方向のせん断振動による滑走路と舗装版の動的挙動を対象とする。表層地盤の液状化や地震動の上下成分による影響は考慮していない。滑走路と舗装版の両施設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仮定し、表層地盤と滑走路および舗装版は別個にモデル化を行う。有限要素法を用いる際には、舗装版と滑走路を PLANE 要素に置換する。表層地盤は一様な成層地盤であると仮定し、一次元地震応答解析プログラム SHAKE により地表面の応答変位を求めてこの変位を PLANE 要素の下端に取り付けたばね要素の端部に入力する。滑走路のモデルを図-2に、また滑走路断面のモデルを図-3に示す。滑走路モデルは幅 80m、長さ 3300m の広さで一つの要素を 20m×30m の大きさでメッシュ切りを行い 440 個の総要素数である。

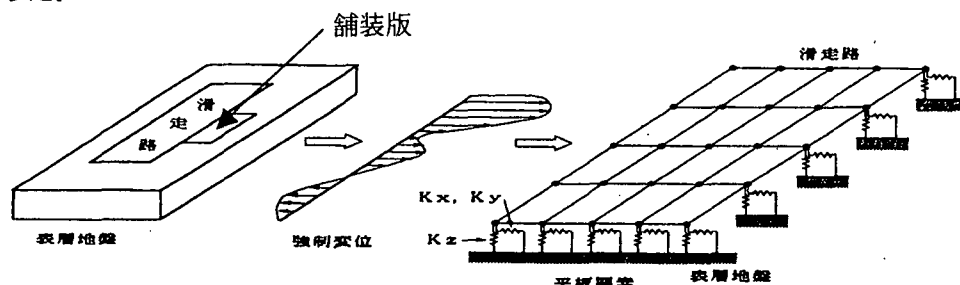


図-1 計算モデル

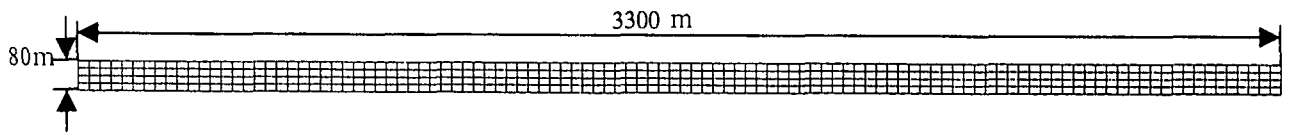


図-2 滑走路モデル (平面)

図-3に滑走路の縦断面図とそのモデル化を示す。滑走路はアスファルト舗装であり厚さは17cmである。その下には路盤としてアスファルト安定処理、碎石セメント安定処理が存在し、路盤と表層地盤の間には路床としてマサ土セメント安定処理が存在する。モデル化においてはアスファルト版と路盤を積層化し、路床を路盤と表層地盤を連結するばねと仮定する。このアスファルト舗装版の物性値を表-1に示す。アスファルトは引張応力の上限を 90 tf/m^2 とし、それ以上では引張破壊が生じるとした。

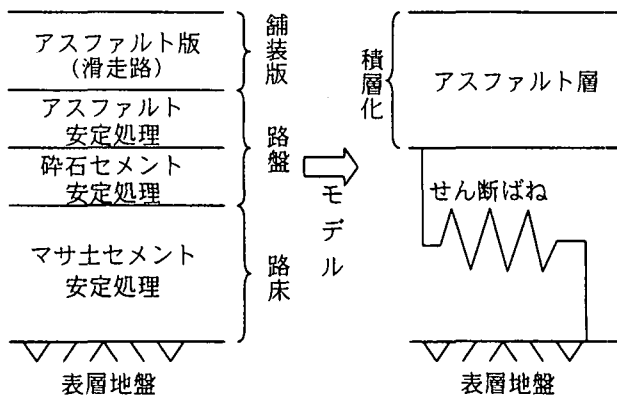


図-3 滑走路の縦断面図とそのモデル

表-1 アスファルト舗装版の物性値

	層厚 (m)	ヤング率 (tf/m^2)	ポアソン比
アスファルト	0.17	5.0×10^5	0.35
アスファルト安定処理	0.15	4.5×10^5	0.35
碎石セメント安定処理	0.20	2.3×10^4	0.30
マサ土セメント安定処理	0.64	1.6×10^5	0.30

アスファルト版と表層地盤間の路床をばねにモデル化するには以下の図-4のように考え水平方向せん断弾性係数 K を求めた。

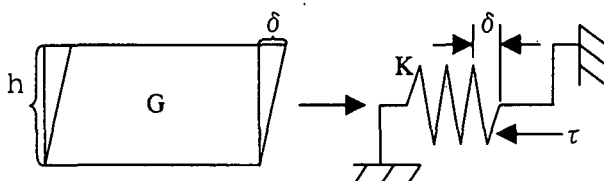


図-4 路床の水平方向せん断弾性係数

$$\tau = \gamma G = \frac{\delta}{h} G = \delta \frac{G}{h} \quad (1a)$$

$$\therefore K = \frac{G}{h} \quad (1b)$$

次にエプロン舗装版のモデルを図-5に示す。また、表-2に示す舗装版の断面も滑走路モデルと同様にモデル化を行う。舗装版は大きさが $150\text{m} \times 540\text{m}$ で一つの版は $15\text{m} \times 15\text{m}$ であるので全体では180個の要素数である。コンクリートはバイニリヤー型の材料非線形性を考慮し、引張応力の上限を 300 tf/m^2 とする。

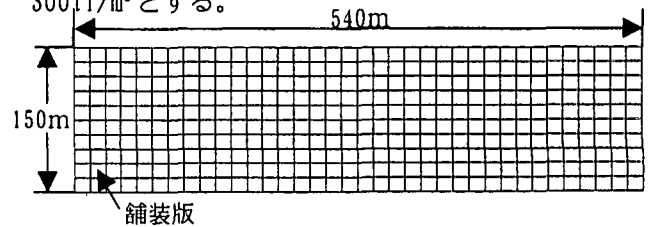


図-5 舗装版モデル (平面)

表-2 コンクリート舗装版の物性値

	層厚 (m)	ヤング率 (tf/m^2)	ポアソン比
コンクリート	0.42	3.5×10^6	0.15
碎石セメント安定処理	0.15	2.3×10^4	0.30
マサ土セメント安定処理	0.40	1.6×10^5	0.30

各舗装版の間には目地部が設けられており、目地部にはスリップバーが配置されている。モデル化⁽²⁾をする際にはこのスリップバーを舗装版と舗装版を結ぶばねと仮定し、図-6のように軸方向ばねとせん断方向ばねに置換する。スリップバーは圧縮力には抵抗するが引張力には抵抗しない構造である。目地部の軸方向ばねの非線形特性を図-7に示す。

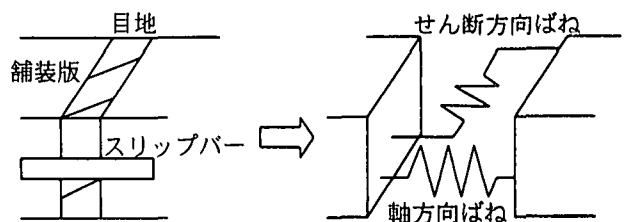
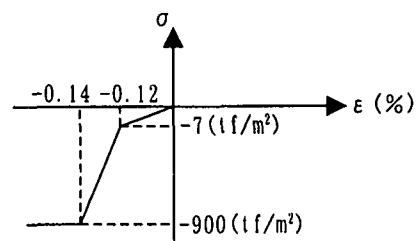


図-6 スリップバーのモデル化



圧縮

図-7 軸方向ばねの材料特性

3. 計算ケース

入力地震波はレベル1の八戸波（最大加速度 232gal）とレベル2のポートアイランド波（最大加速度 514gal）とし、これを一次元地盤応答解析プログラム SHAKE により地表面での強制変位波形に置換した。入力地震波を図-8、図-9に示す。八戸波の最大変位は 18.69cm、ポートアイランド波の最大変位は 24.18cm である。この2つの地震波を滑走路および舗装版の地盤ばねに、左端部より右に向けて伝播速度 1000(m/sec) として入力する。

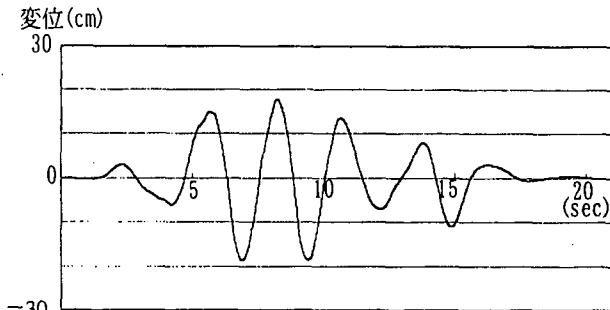


図-8 レベル1の入力地震波(八戸波)

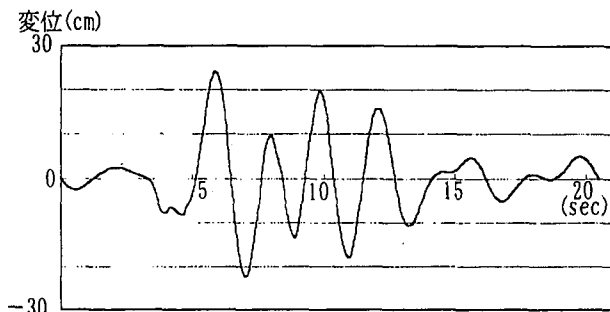


図-9 レベル2の入力地震波(ポートアイランド波)

4. 解析結果

(1) 滑走路の解析結果

滑走路のアスファルト版応力の時刻歴応答を図-10に示す。この図から分かるように八戸波とポートアイランド波の地震の違いにより応答応力の大きさには差が

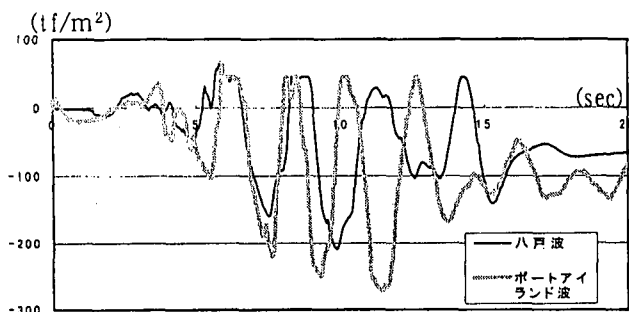


図-10 滑走路のアスファルト版応

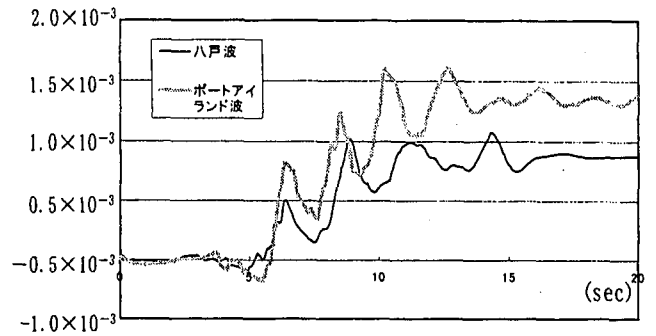


図-11 アスファルト版のひずみ

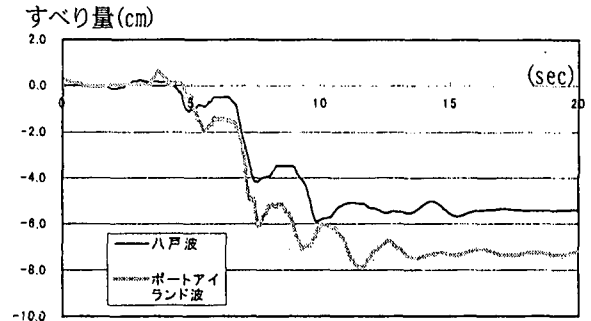


図-12 アスファルト版と地盤の相対すべり量

あるが両地震波で引張限界まで達しており、アスファルト版にはひび割れが発生している。しかし、圧縮側に関しては限界まで達しておらずアスファルト版の圧壊は発生していない。そのアスファルト版に発生するひび割れは図-11に示すアスファルト版の残留ひずみからポートアイランド波によるひび割れの方が大きいと判断できる。また、図-12に示すようにアスファルト版と地盤の相対すべり量は八戸波で6cm弱、ポートアイランド波では8cm弱であり、ともに地震波の進行方向とは逆に地盤はすべった。

(2) 舗装版の解析結果

舗装版のコンクリート応力の時刻歴応答を図-13に示す。八戸波とポートアイランド波の違いにより最大応力の大きさには約2倍の開きがあるが、引張限界までは達しておらずコンクリート版にはひび割れは発生しない。また、圧縮応力も小さくコンクリート版の圧壊も起こっていない。このことは図-14に示すコンクリート版のひずみからも分かり、アスファルト版と比較して発生するとひずみが小さく地震波通過後も残留ひずみが残らない。

図-15にコンクリート版と地盤の相対すべり量を示す。このグラフより地盤ばねは最大摩擦力まで達しており地盤は地震波と進行方向の逆にすべっているが、その大きさは地震波通過後にポートアイランド波でも0.7cm程度で八戸波はその半分と、かなり小さい値であった。

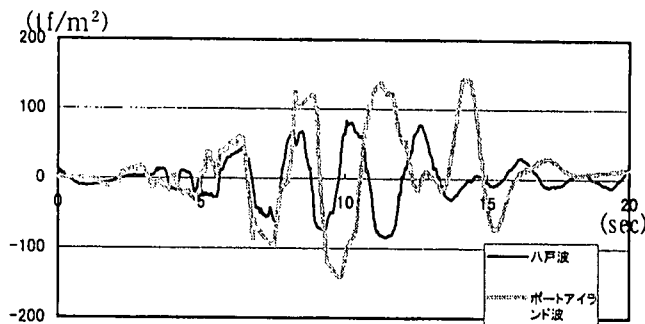


図-13 舗装版のコンクリート版応力

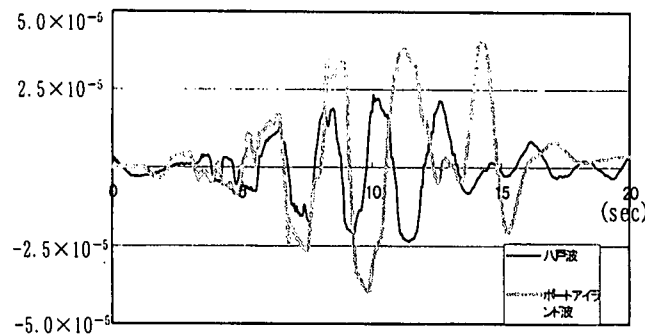


図-14 コンクリート版のひずみ

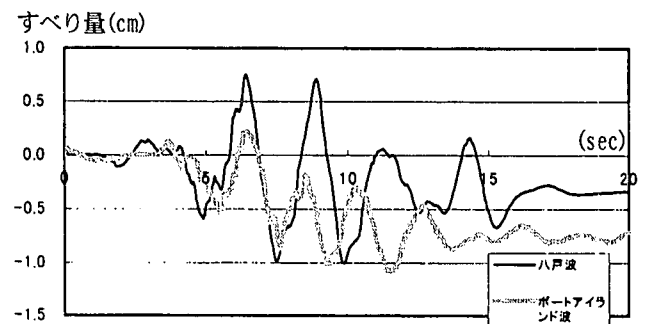


図-15 コンクリート版と地盤の相対すべり量

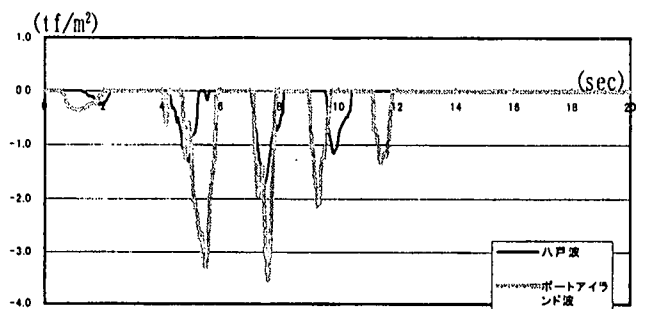


図-16 スリッパの軸方向応力

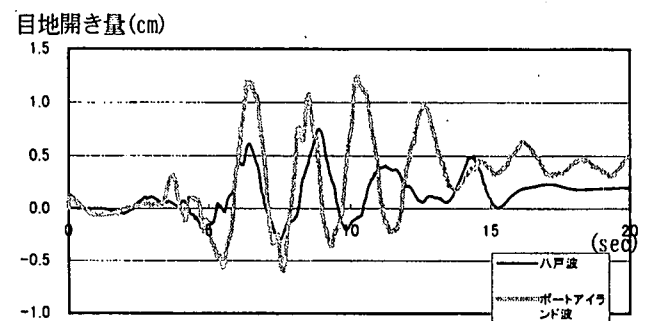


図-17 スリッパの目地開き量

図-16にスリッパの軸方向応力を、図-17にスリッパの目地開き量を示す。スリッパは前述のとおり引張方向には抵抗をしないので、目地部分が引張応力を受けるとそれが目地部の開き量となって出てくる。つまり、図-16で引張応力を受けているときに図-17のように目地部が開いている。この図より八戸波、ポートアイランド波ともにスリッパは地震波の通過中に徐々に開いていくことが分かる。八戸波は0.25cm、ポートアイランド波が0.5cmの開きが地震波通過後に残留した。しかし、目地部の開きによるスリッパの引き抜きや圧縮による破壊は起こっていない。舗装版全体で考えると、舗装版は地震時に目地部が少しずつ離れていく現象となる。

5. まとめ

今回はレベル1とレベル2の地震波によるアスファルト製の滑走路とコンクリート舗装版の時刻歴応答の違いを有限要素法により解析した。両レベルとも滑走路にはひび割れが発生するが、舗装版にはひび割れが発生しないという結果が得られた。これは舗装版間の目地部に埋め込まれたスリッパの効果による。地震後の目地部の残留開きは、ポートアイランド波で最大で0.5cmと小さく航空機の運行に直ちに影響を与えるものではないと判断された。

参考文献

- (1) 清宮理、村上晋二、古川巖：釧路沖地震における滑走路のひび割れ解析、第24回地震工学研究発表会、pp.837-844, 1997.7
- (2) 清宮理、藤沢孝夫：コンクリート製空港舗装版目地部の力学特性、港湾技研資料、No.870, June, 34p, 1997