

# 釧路沖地震における滑走路のひび割れ解析

清宮 理<sup>1</sup>・古川 巖<sup>2</sup>・村上 晋二<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 正会員 工博 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)

<sup>2</sup> 株式会社 エス・イー・エイ 技術部 (〒111 東京都台東区寿 2-10-13)

<sup>3</sup> 株式会社 エス・イー・エイ 技術部 (〒111 東京都台東区寿 2-10-13)

兵庫県南部地震を契機に空港施設の大規模地震に対する耐震性の評価手法の開発が望まれている。地盤の振動による舗装版の有限要素法による評価手法を筆者らは提案しているが、この手法の妥当性については検証が今までなされていない。釧路空港の滑走路では釧路沖地震において滑走路に何本かのひび割れが生じた。この事例を対象に地震応答計算を実施しひび割れ発生の有無について検討した。舗装版目地のばね定数は載荷試験の結果を使用している。計算によると滑走路に生じたひび割れをよく再現できることが判明し計算法の有効性が検証できた。また兵庫県南部地震クラスに対しても滑走路にはひびが入るが破壊までには至らないことが推定された。

*Key Words: Dynamic Response Analysis, Airport Runway, Material Non-Linear, Crack, Pavement*

## 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。大規模な地震発生後には緊急物資や救助隊の活動拠点としての機能も求められる。このため空港施設では地震時の安全性の確保と地震後の機能保持が大切である。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、地震時の挙動が十分把握されていない。施設の社会的重要度の増大の中で耐震性の評価が十分なされていない。著者らは、有限要素法

による動的非線形計算手法により地盤のせん断振動（液状化は考慮していない）による舗装版の挙動について計算手法を開発してきた。この手法の妥当性を検証するために釧路沖地震における釧路空港滑走路のひび割れ状況を再現することにした。

## 2. 釧路空港の状況と地震被害

釧路空港は釧路市街地より北西 22km の丘陵地帯に建設されており、滑走路の全長 2300m 幅が 45m である。エプロンの面積は 51 千 m<sup>2</sup> である。滑走路

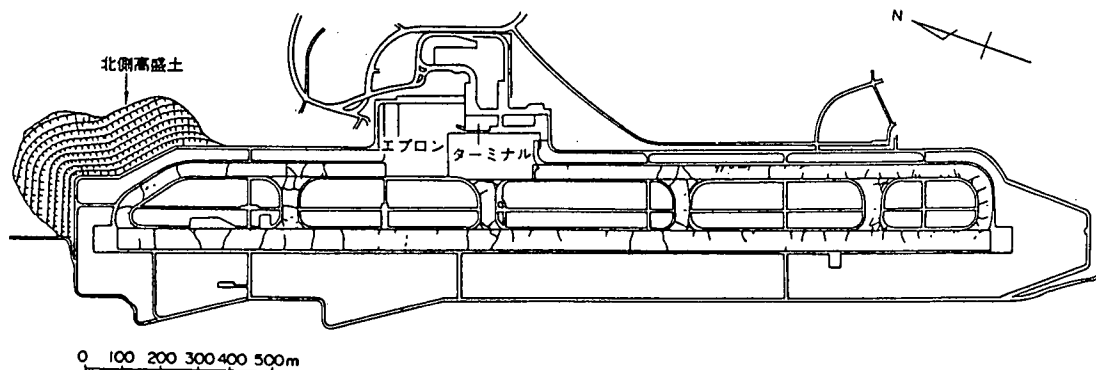


図-1 滑走路・誘導路のクラック状況図

はアスファルトでエプロンはコンクリート版である。滑走路中央部のアスファルトの厚さは71cm(オーバーレイしている)でこの下に路盤(20cm程度)と路床(40cm程度)とが存在する。滑走路のアスファルト版は、目地がなく連続している。コンクリート版の厚さは23-38cmであり、この下に路盤(48cm程度)と路床とが存在する。7.5m四方のコンクリート版には鉄網が配置されている。コンクリート版では温度応力の吸収や施工間隔などを考慮して目地部が設けられるが、この目地部には長さ55cmのスリッパが配置されており伸縮自由となっている。1993年釧路沖地震では、図-1に示すように滑走路、誘導路などに50-100m間隔に多数の貫通ひび割れが生じた。ひび割れ幅は、1-3mmであった。釧路空港では加速度計、間隙水圧計による地震観測が行われており、地震時に-39.7mの地中で284Gal、滑走路北端にある盛土部(高盛土部分)の法肩面地表で590Galの最大加速度が記録された。地中部での加速度記録を図-2に示す。

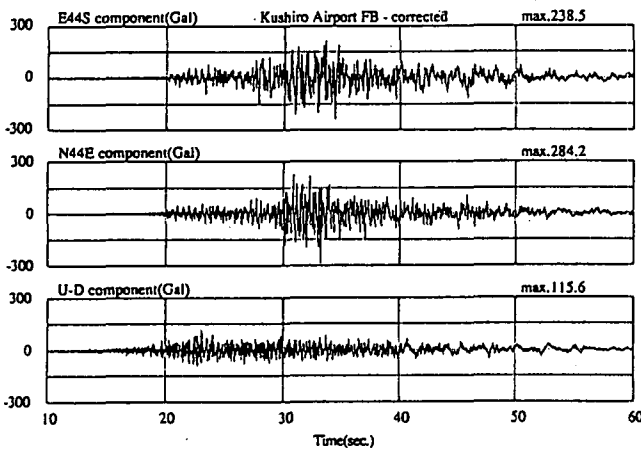


図-2 基盤の加速度時刻歴

### 3. 計算モデル

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ほとんど影響を与えないと仮定し、図-3に示す計算モデルを表層地盤と舗装版を別個に作成する。釧路空港の台地部分を個体要素に置換し、基盤面より加速度入力を行い表層地表面の時刻歴の応答変位を計算する。表層地盤の材料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

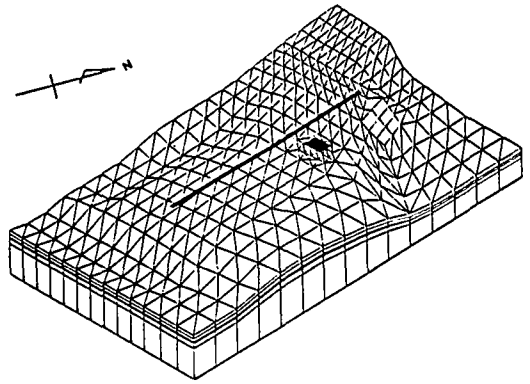


図-3 計算モデル

率を求め等価線形として評価する。舗装版は積層化した平板要素を用いる。舗装版には主に面内力が計算される。舗装版の構成材料であるアスファルト及びコンクリートの材料非線形性を図-4のように考慮するが、ただし鉄網を考慮せず無筋コンクリートとして扱った。舗装版と表層地盤とはバネで連結されているとする。このバネ定数は路床の地盤剛性から計算し、このバネは最大摩擦力以上のせん断力が計算されたとき滑ると仮定する。施工目地もバネに置換する。このバネ定数は別途行った載荷試験より設定する。表層地盤のみの3次元モデルで計算された地表面の応答変位を強制変位として舗装版の下端のバネより入力して、舗装版の断面力や目地の開きなどを計算する。

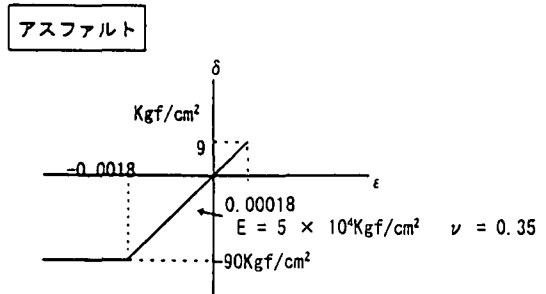
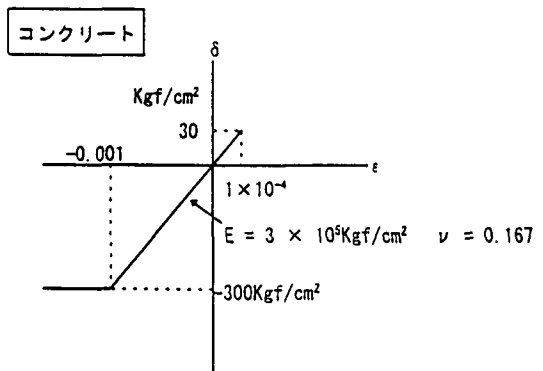


図-4 舗装版の材料非線形性

	層厚 (m)	単重 ( $\text{tf}/\text{m}^2$ )	ポアソン比	せん断波速度 (m/s)
Lm層	7.2	1.6	0.49	310
Tog層	10.4	1.9	0.34	400
Dv層	4.6	1.9	0.47	400
Kg層	15.6	2.2	0.45	500
Ks層	97.6	2.1	0.45	500
基盤	-	2.1	0.45	600

減衰定数は0.05で一定。

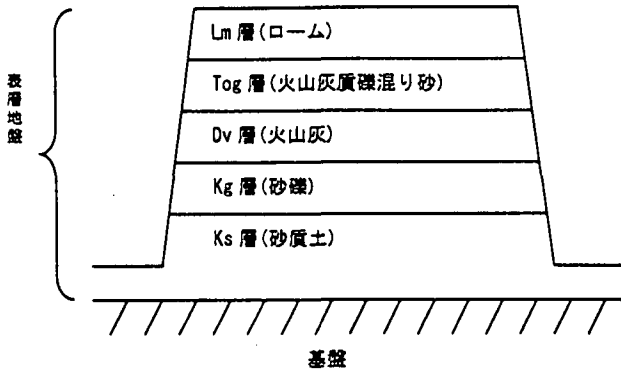
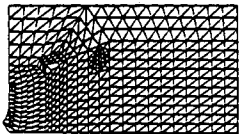
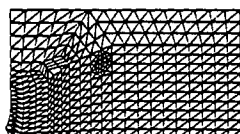


図-5 表面地盤の地盤構成

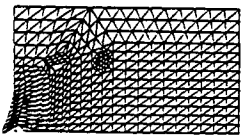
1次モード (0.579HZ)



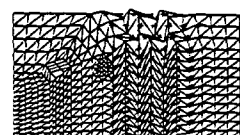
1次モード (0.228HZ)



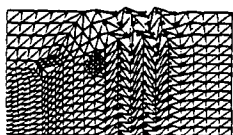
2次モード (0.666HZ)



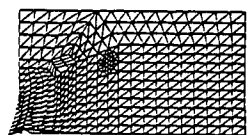
2次モード (0.248HZ)



3次モード (0.670HZ)



3次モード (0.254HZ)



(釧路波)

(ポーアイ波)

図-6 表面地盤の振動モード図

#### 4. 計算条件

表面地盤の地盤構成を図-5に示す。表面地盤での要素数は2980個、エプロンでの要素数は2834個、滑走路での要素数は570個である。入力地震波は、釧路沖地震での空港内の加速時計で取得された波形(釧路波)と兵庫県南部地震のポートアイランド基盤(-79m)で取得された加速度波形(ポーアイ波)である。釧路沖地震ではNSとEW成分をそのまま入力する。ポートアイランドの波形では、NS成分を滑走軸方向あるいは軸直角方向に波形倍率を掛けずに入力する。

#### 5. 計算結果

図-6に表面地盤の振動モード図を示す。釧路波の場合1次と2次振動は高盛土部分に生じ、固有振動数はそれぞれ0.58Hzと0.67Hzである。3次振動は滑走路中央部よりやや南側に生じ固有振動数は0.67Hzである。ポーアイ波の場合は1次が0.23Hz、2次が0.25Hz、3次が0.25Hzと近接しており、固有振動数は釧路波の1/2以下となり、表面地盤の非線形性がより顕著に現れている。高盛土部の最大水平変位は釧路波の17cmに対してポーアイ波の方は56cmで3倍以上の応答を示している。滑走路のアスファルト版応力は、釧路波によって滑走路の一部が引張強度(90  $\text{tf}/\text{m}^2$ )を超えておりひび割れの発生が予想される、ただしコンクリート版応力は小さくかつ目地の過大な開きは計算されておらず釧路沖地震での滑走路、エプロンの被害状況と良く一致した計算結果となった。また舗装版と表面地盤の間には最大摩擦力以上のせん断力が作用しすべりが生じていた。ポーアイ波によるとアスファルト版のひび割れ領域は増大するが、圧縮応力は-727  $\text{tf}/\text{m}^2$ で圧壊(-900  $\text{tf}/\text{m}^2$ )するまでには至らなかった。また釧路波と同様、エプロンのコンクリート版応力は低く無被害であった。そして目地にやや大きな開きが生じたがスリッパの引き抜かれやせん断破壊には至らなかった。

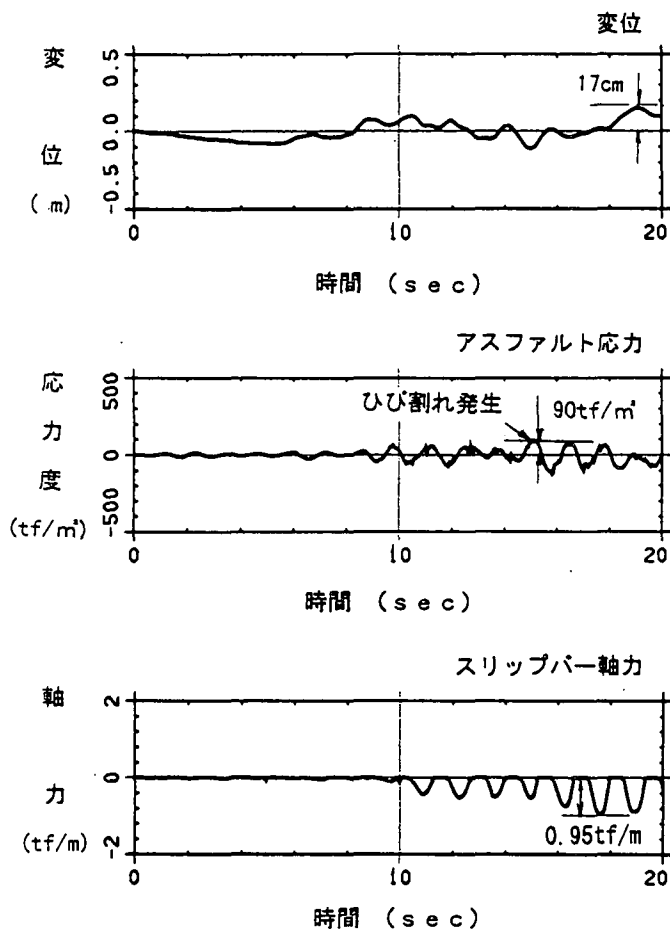


図-7 計算結果(釧路沖地震時)

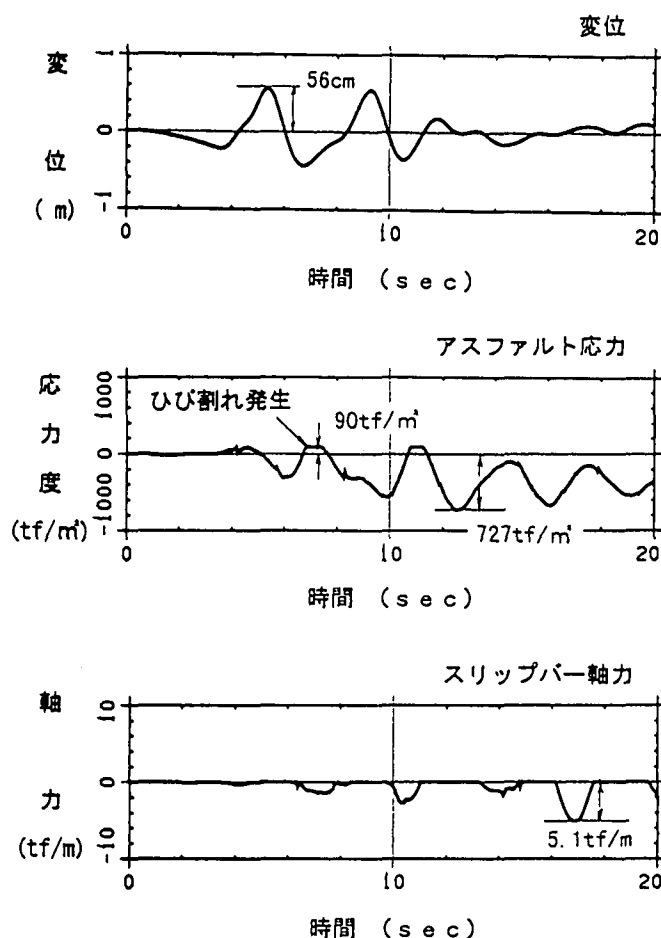


図-8 計算結果(兵庫県南部地震時)

## 6. 結論

空港内滑走路の耐震性評価手法として開発した舗装版の地震応答計算コードの妥当性を検証するために、釧路沖地震時に釧路空港の滑走路に生じたひび割れ状況のシミュレーション計算を行った。計算は滑走路に生じたひび割れをよく再現できることが判明し、本解析手法の有効性が検証できた。また、兵庫県南部地震クラスに対しても滑走路にはひびが入るが圧壊までには至らないことが推定された。

## 7. あとがき

今回の地震応答計算で釧路沖地震での滑走路の被害状況を再現できることが判明したが、今後アスファルト材料の物性値や非線形特性、路床の摩擦係数、表層地盤の液状化の影響など十分吟味していく必要がある。空港施設の耐震性評価に本

資料が役立てば幸いである。空港施設は滑走路のみならず各種の施設で構成されており耐震性の評価、必要に応じた補強方法の検討が今後必要となろう。釧路空港に関する資料提供や現地調査に便宜をはかっていただいた運輸省航空局及び釧路港湾建設事務所の関係者の方々に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 上田 茂 他：1993年釧路沖地震港湾施設被害報告、港湾技研資料、pp. 391-417、1993.12
- 2) 清宮 理、藤澤 孝夫：空港内滑走路の耐震性評価手法の開発、第23回地震工学研究発表会、pp. 545-548、1995.7
- 3) 空港コンクリート舗装構造設計要領、1990
- 4) 釧路空港パンフレット、生きている翼：釧路港湾建設事務所