

# 空港舗装における無筋コンクリートの温度応力挙動について

## BEHAVIOR OF THE EXPANSION INDUCED THERMAL STRESS IN CONCRETE PAVEMENT OF THE AIRPORT APRON

野上富治\*・桜井達朗\*\*・浜 昌志\*\*\*

Tomiharu NOGAMI, Tatsuro SAKURAI and Masashi HAMA

Cracks nearby an expansion joint of the apron at Tokyo International Airport has been a problem for airplane. The cracks indicated that they were thermal stress cracks. Then, measurement of temperature, strain, and joint displacement were carried out. Thermal stress analysis based on these data was performed in order to identify a cause of the cracks. This paper presents the cracking mechanism was made clear by the examination.

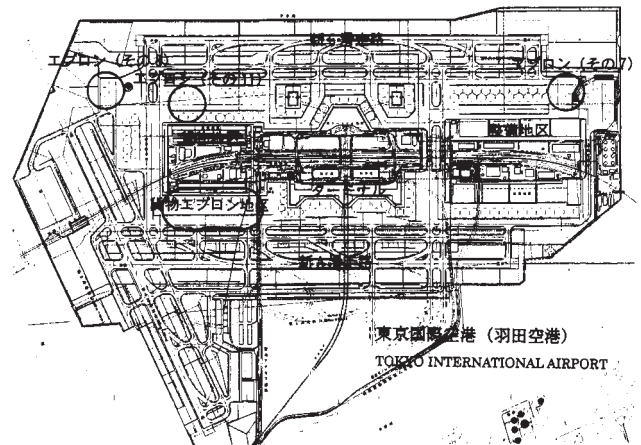
*Key Words* : airport, apron, concrete pavement, thermal stress, crack

### 1. はじめに

東京国際空港（羽田空港）のエプロン舗装部は、当空港の航空輸送、旅客機能の位置付けより、1区域10スポット以上を有するといった規模を示している。そのような大きな範囲に対して、施工上もしくはコンクリート版の性状より当空港では、120mを標準として膨張目地が設けられている。

膨張目地はコンクリート舗装の最大の弱点であるので、その設置間隔をできるだけ大きくすることが望ましいとされている。当空港ならびに、関西国際空港においては、その膨張目地周辺に線状クラックが生じており、補修が行われたものとなっている<sup>1)</sup>。当空港で目地部の破損が認められた区域は図-1に示す西側貨物エプロン、洗機地区、整備地区エプロンである。コンクリートの目地部の破損については、舗装下部の条件、目地部の荷重伝達不足、温度応力による破損といったことが既存資料<sup>2)</sup>により考えられる。

現在のコンクリート版設計においては、温度応力はその推定が難しいために、空港舗装では輪荷重による応力で版厚を設計し、温度応力の影響はコンクリート強度の安全率に含めて処理している。本エプロンのコンクリートの設計曲げ強度は4.9N/mm<sup>2</sup>(50kgf/cm<sup>2</sup>)であるが、現行設計法にお



※エプロン（その11）は動態観測位置として記載

図-1 エプロン目地部の破損位置

ける設計安全率は2.0（設計カバレッジの区分N）となっている<sup>3), 4)</sup>。

整備地区エプロン（エプロンその7）においては、膨張目地部が接して上部が角欠けするような破損が夏期に見られ、その影響は温度応力によるものが深く関わっていると考えられた。その状況に対して、平成8年度にエプロン舗装等工事（その11）の無筋コンクリート舗装版（NC舗装版）に、ひずみ計、継目計といった測定機器を埋設して、夏期におけるエプロンの挙動を測定した<sup>5)</sup>。

本報告は、その測定データから得られた知見を基に、その挙動を温度応力解析にてシミュレーションし、エプロン設計への一提言を行ったものである。

\* 運輸省第二港湾建設局  
 \*\* 中央研究所 開発研究部  
 \*\*\* 首都圏事業部 地盤構造部

## 2. 空港におけるコンクリート舗装について

エプロン舗装等工事（その11）における設計・施工条件を以下に示す。コンクリート版厚は46cmである。

### (1) 設計・施工条件

- 設計荷重：LA-1（B-747-400）
- 設計反復作用回数：20,000回
- 路盤の支持力
- 設計支持力係数 $K_{75} = 70\text{MN/m}^3$ （7.0kgf/cm<sup>3</sup>）
- 設計基準曲げ強度：材齢28日で4.9(50kgf/cm<sup>2</sup>)N/mm<sup>2</sup>
- 縦横方向の目地間隔：7.5mを標準としている。
- 目地間隔、目地板

膨張目地間隔は設計上25mmとしていたが、施工上では上部GL-20mmまでを目地間隔30mmとして施工した。目地内には上部GL-20mmに注入目地材、その下部に目地板を挿入している。注入目地材、目地板は空港土木工事共通仕様書<sup>6)</sup>の品質規格を満足したものをを用いており、具体的には以下の物性の目地板を用いた。

#### 発泡体系目地板

復元率	90%以上
1/2圧縮強度	0.7N/mm <sup>2</sup> (7.0kgf/cm <sup>2</sup> )以上
はみ出し量	4mm以下

### (2) 破損事例

当空港における破損事例として図-1に示す区域の内、貨物エプロン地区（エプロンその1）、エプロンその7での破損を以下に示す。

#### 1) 貨物エプロン地区

貨物エプロン地区は平成4年2月～11月にコンクリート打設（NC、版厚38cm）が行われ、平成5年5月に破損が認められた。破損箇所は膨張目地周辺にて2月～4月に施工された位置であった。本破損位置はターミナル施設供用に向けて、速やかに打ち換え（膨張目地から左右に50cm分打ち換え）による補修が行われた。当時の記録が定かではないが、膨張目地間隔25mmで設置したものが、舗装上部にて11mmまで圧縮されていたようである。

#### 2) エプロンその7

エプロンその7では、平成6年10月～2月にかけてコンクリート打設が行われ、平成7年夏に破損が認められた。破損の状態例を写真-1に示すが、膨張目地の角欠けや注入目地材のはみ出しが認められている。

これらの破損で共通している点は、冬場施工を行い、翌年夏期に破損に至ったということである。破損は夏季において膨張目地が圧縮されていることや、注入目地材のはみだしから、コンクリート版の冬期から夏期にかけての温度差による膨張に起因した温度応力が考えられる。膨張目地

を有するような大規模なエプロンは、我が国においてあまり多くはないと思われるが、破損が確認されている当空港、関西国際空港に共通していることは、第1種空港といったエプロンの規模と海上埋立空港といった点である。

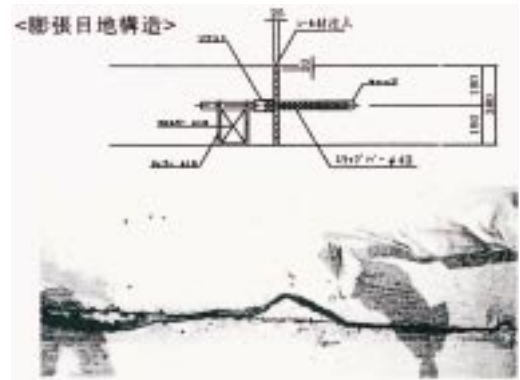


写真-1 破損の状態例

## 3. エプロン温度応力観測

エプロン舗装等工事（その11）での測定は、図-2に示す位置において、膨張目地に面して表-1に示す測定を行った。測定は平成8年3月下旬のコンクリート打設（冬場施工）から、平成9年1月下旬までの測定を行った。測定期間における外気温変化は最大36℃、最低2℃程度を示すものであった。また、膨張目地で囲まれた版の平面積は、冬場1月と夏場8月で夏場は冬場に比べて1.0028倍に膨張していた。なお、測定期間において、当エプロンの破損は認められなかった。

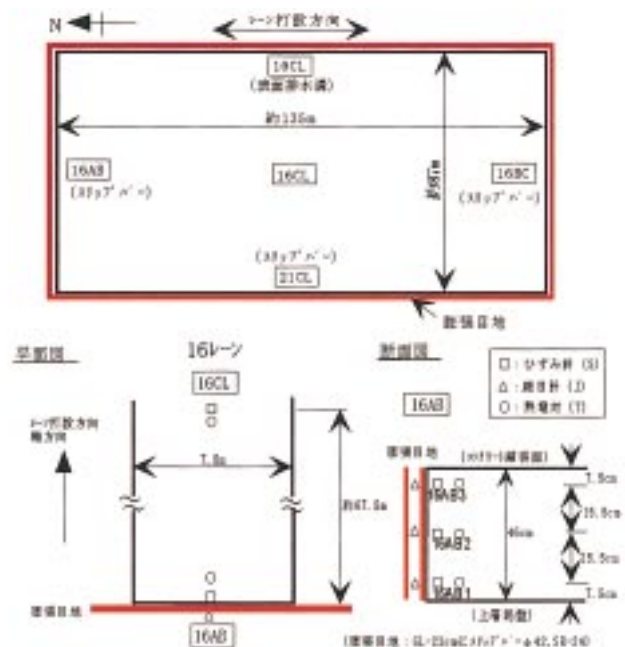


図-2 測定位置関係図

表 - 1 計測内容

測定機器	諸元	測定単位	測定頻度
ひずみ計観測	KM-100B	$\times 10^{-4}$ 圧縮ひずみ：- 引張ひずみ：+	1996.3.18 ~ 6.9 ：2時間ピッチ観測
継目計観測	BJ-50AT	mm コンクリート膨張：- コンクリート収縮：+	6.10 ~ 1997.1.12 ：30分ピッチ観測
熱電対観測	CC 0.65		

測定データの整理は、短期データ整理、長期データ整理に分けて、以下の観点で行った結果を示す。

短期データ整理

- ・季節別温度勾配
- ・舗装温度とひずみの関係
- ・舗装温度と継目の関係

長期データ整理

- ・舗装温度とひずみの関係
- ・舗装温度と継目の関係

なお、測定結果は、図 - 2 の観測位置における16AB (16レーンのAB地点) の軸方向における結果を示すものとし、同位置は2月22日にコンクリート打設が行われている。

(1) 短期データ整理

1) 季節別温度勾配

コンクリート版内の温度変化を夏期(7/30)のデータにて表した結果を図 - 3 に示す。図 - 3 に示すように版上下にて温度は異なり、上部は日変動として10 程度あるのに対して、下部は3 程度の变化となっている。また、これらの温度の深度分布は、二次曲線で近似され、夏期では

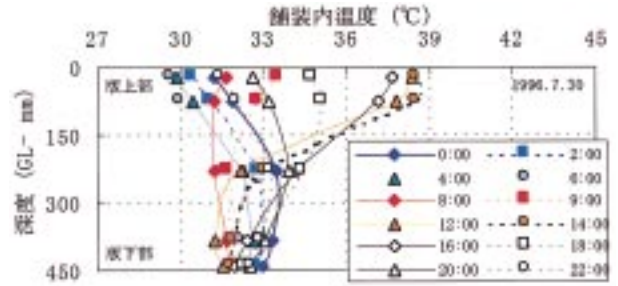


図 - 3 コンクリート版内の温度変化 (7/30)

16時～18時で温度勾配が逆転する結果となった。

季節別の14:00における深度方向分布は図 - 4 に示す通りであり、夏期と冬期では25 程度の違いが認められる。

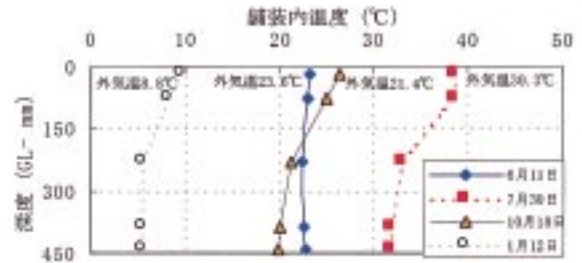


図 - 4 季節別コンクリート版内の温度変化 (14:00)

2) 舗装温度とひずみの関係

夏期(7/18)、冬期(1/9)のデータを用い、日変化におけるひずみ(S記号)と同一深度における舗装内温度(T記号)の関係を図 - 5 に示す。温度上昇に伴って、ひずみは圧縮側へ移動し、日変動は舗装上部が大きいことが分かる。

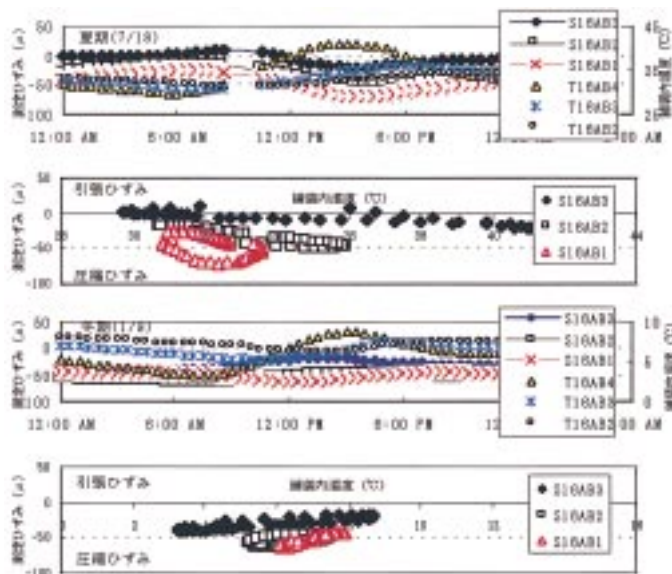


図 - 5 舗装温度とひずみの関係



### 3) 舗装温度と継目の関係

夏期(7/18)、冬期(1/9)のデータを用い、日変化における継目変位(J記号)と同一深度における舗装内温度(T記号)の関係を図-6に示す。温度上昇に伴って版膨張(目地圧縮)側へ移動し、日変動でも舗装上部は1mm程度変位していることが分かる。

## (2) 長期データ整理

### 1) 舗装温度とひずみの関係

観測期間におけるひずみ(S記号)と同一深度における

温度(T記号)との関係を図-7に示す。夏場に向って圧縮ひずみ(マイナス)側への移動、舗装上部におけるデータの変動が確認できる。

また、コンクリート舗装版の上下面の温度差によって生じるそり拘束応力 $\epsilon^{(7), (8)}$ を、今回の各時間における版上下の温度差を当てはめた結果、そり拘束応力 $\epsilon = 1.6 \sim -0.7(16 \sim -7\text{kgf/cm}^2)\text{N/mm}^2$ といった値が得られた。今回、曲げ強度 $4.9\text{N/mm}^2(50\text{kgf/cm}^2)$ に対する安全率は2.0であることから、許容値内( $2.5\text{N/mm}^2$ )にあることが確認できる。

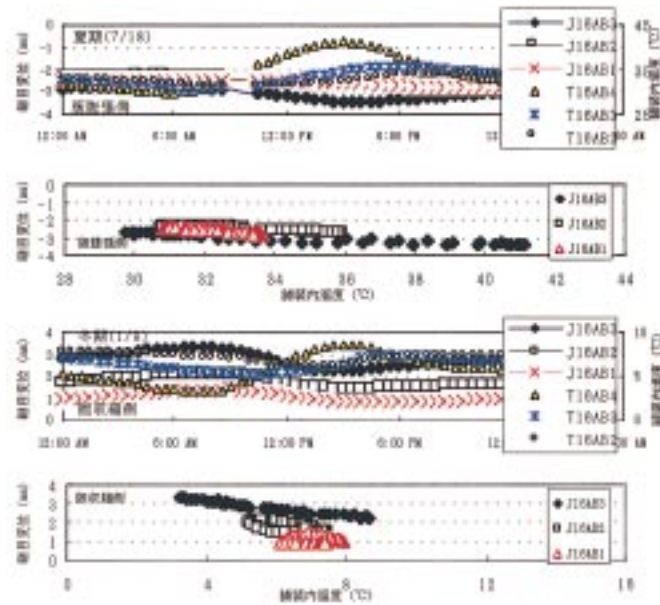


図-6 舗装温度と継目の関係

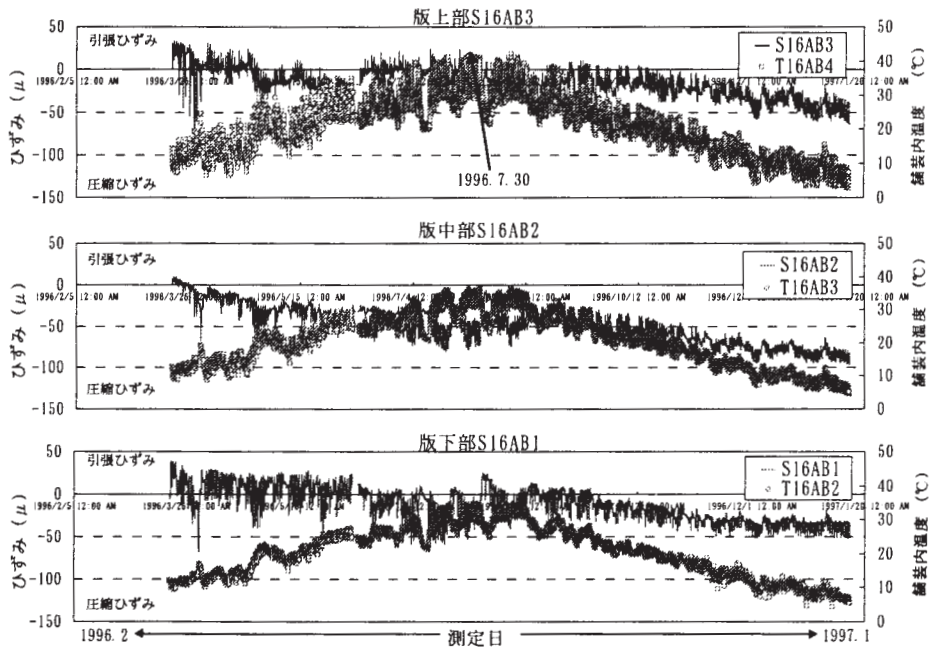


図-7 舗装温度とひずみの関係

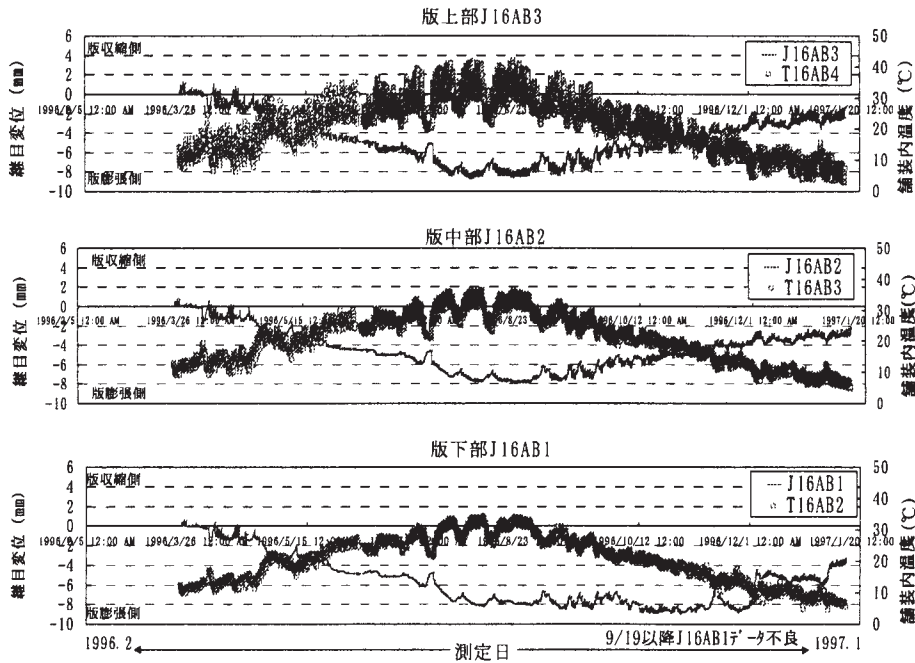


図 - 8 舗装温度と継目変位の関係

2) 舗装温度と継目の関係

観測期間における継目変位（J記号）と同一深度における温度（T記号）との関係を図 - 8 に示す。夏場に向って版膨張（目地圧縮：マイナス）側への移動が確認できる。版上部において、最大値として版収縮方向には1.22mm、版膨張方向には - 8.72mmの値が観測された。なお、版下部のJ16AB1は9/19以降のデータは異常値となっている。

継目変位は、夏期は版膨張（目地圧縮）、冬期は版収縮が認められ、版上部で年間7.5～8.5mm程度の目地圧縮が認められた。また、日変動でも1mm程度は測定された。

(3) 温度応力観測総括

観測結果より得られた知見は以下のとおりである。

温度上昇に伴い、コンクリート版のひずみは圧縮側に移行する。補足ではあるが、コンクリート版は図 - 9 の模式図に示すように、温度上昇時にはそり変形を起こそうとするが、コンクリート版の自重の影響から、版上部ではその逆の圧縮ひずみを示す<sup>8)</sup>。舗装内の温度深度分布は二次曲線で概ね近似できる。舗装内の温度は、外気温によるだけでなく、日射量等を考慮する必要がある。

(4) 施工上から考えられる版破損

解析を行うに当たり、これまでの道路建設で示されている施工に対する記述、材料に関する記述を整理した。

道路舗装の目地部における破損は、図 - 10 に示すように目地部にモルタルなどの混入によって生じたり、目地材の垂直施工不良によっても生じる<sup>8), 9)</sup>。このことは、目地材の材料特性において目地材の強度よりも、目地にかかる応力を均等に受けることが目地材に求められることと考えられる。

道路舗装での膨張目地には、セメントコンクリート舗装要綱<sup>9)</sup>に示される材料規定において、ほとんどが板目地（木材）を用いている。

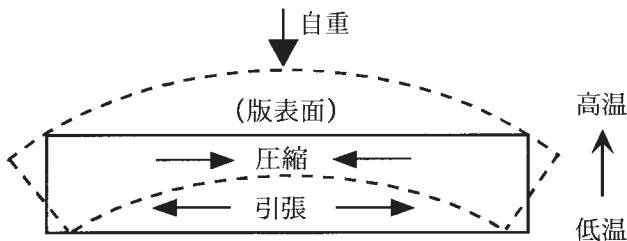


図 - 9 温度上昇に伴う版変形模式図

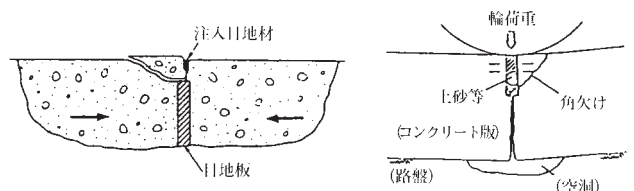


図 - 10 施工上からくる目地破損

## 4. 温度応力解析

### (1) 解析内容

解析手法は、温度履歴解析は外気温および日射の影響による吸熱、放熱過程を考慮した、有限要素法による2次元非定常熱伝導解析により行い、温度応力解析は有限要素法による平面ひずみ状態での2次元熱応力解析により行う。

解析検討手順としては、第一ステップとして、計測結果(温度、ひずみ、継目変位)による挙動を再現できるような、妥当な解析モデルを数日間の短期間変動解析(時間単位計算)より構築する。第二ステップとしては、構築されたモデルを用いて、1年間程度の長期間変動解析(日単位計算)を実施し、ひびわれ発生メカニズムの検討を行う。

第一ステップでの妥当な解析モデル構築のための留意点としては、以下の点が挙げられる。

- ・日射量の影響
- ・コンクリート版と路盤との接合状態
- ・目地板の弾性係数等

### (2) 解析モデル、物性の設定

解析対象は、図-11に示すとおり、長辺となる施工軸方向に着目して、16AB-16CLとする。

解析モデルは、隣り合うコンクリート版を対象としたハーフモデルとする。温度履歴解析モデル概念図は図-12に示し、温度応力解析モデル概念図は図-13に示す。

コンクリート、路盤、路床、目地板の物性値諸定数は、既往の文献資料を参考に、表-2、表-3のとおりとする。

その他、長期間変動解析では打設当初の断熱温度上昇を考慮する。

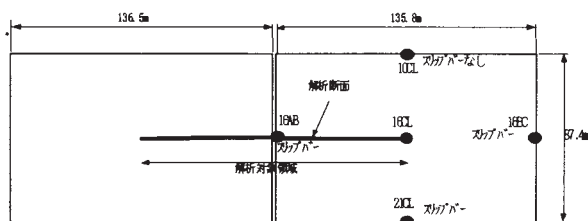


図-11 解析対象

外気温、日射量のデータは、過去5年間の気象データを用い、日射量の影響を温度に等価変換した相当外気温として扱う。

$$T_e = \alpha / f \times I + T_{out}$$

$T_e$ ; 相当外気温、 $\alpha$ ; 日射吸収率、 $f$ ; 表面熱伝達率、 $I$ ; 全天日射量、 $T_{out}$ ; 外気温

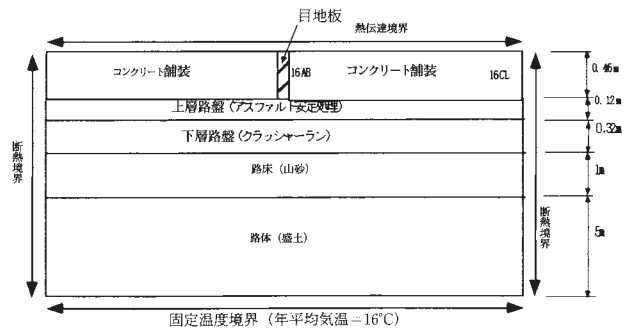


図-12 温度履歴解析モデル概念図

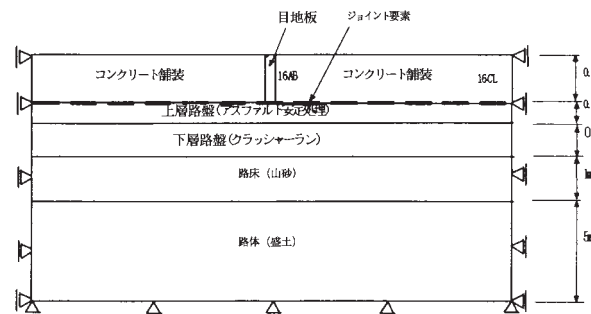


図-13 温度応力解析モデル概念図

表-2 熱定数

	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	比熱 (kJ/kg·°C)	熱伝導率 (W/m·°C)	熱膨張係数 (1/°C)
コンクリート舗装	2,350	1.05	2.56	14
上層路盤 (アスファルト安定処理)	2,300	0.92	0.74	-
下層路盤 (クワッチャラン)	2,040	1.59	1.60	-
路床 (山砂)	1,740	1.09	1.10	-
路体 (盛土)	1,900	1.21	2.11	-
目地板 (ポリマ質発泡体)	480	1.88	0.13	14

表-3 弾性定数

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	熱膨張係数 (1/°C)
コンクリート版 (短期)	-	34,000	0.15	10.0×10 <sup>-6</sup>
コンクリート版 (長期) (若材令時からの硬化過程考慮)	$f'c(t) = L / (4.5 + 0.95t) \times f'c(91)$ $a=4.5, b=0.95$ $f'c(91)=48.1$	$E_c(t) = \psi(t) \times 4,700 \times \sqrt{f'c(t)}$ $\psi(t)=0.73$ (材令3日まで) $\psi(t)=1.0$ (材令5日以降)	0.15	10.0×10 <sup>-6</sup>
上層路盤 (アスファルト安定処理)	-	$E_x=780, E_y=34,000$	0.35	20.0×10 <sup>-6</sup>
下層路盤 (クワッチャラン)	-	$E_x=200, E_y=34,000$	0.3	-
路床 (山砂)	-	$E_x=100, E_y=34,000$	0.3	-
路体 (盛土)	-	$E_x=22, E_y=34,000$	0.4	-
目地板 (ポリマ質発泡体)	-	1.4	0.49	77.0×10 <sup>-6</sup>
コンクリート版と上層路盤の接合モデル (ジョイント要素)	垂直方向剛性: $k_n = E_c(1-\nu)/(1+\nu)(1-2\nu) = 36,000\text{N/m}^2$ ( $E_c=34,000, \nu=0.15$ ) 接線方向剛性: $k_s = G = E_a/2(1+\nu) = 780/2(1+0.35) = 300\text{N/m}^2$ 粘着力: $C = 0.0\text{N/mm}^2$ 、内部摩擦角: $\phi = 56.3^\circ$ (路盤摩擦係数=1.5)			

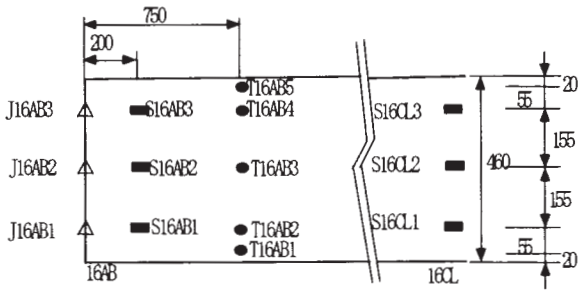


図 - 14 計測器配置図

(3) 短期間変動解析による検討

夏期(7月)、秋期(10月)、冬期(1月)の季節毎の3日間を、検討対象期間として、計測値と解析値の時間別の履歴の比較を行い、妥当な解析モデルを構築する。

温度履歴解析については、境界条件となる外気温に日射の影響を考慮した相当外気温に着目し、そのパラメーターである日射吸収率の適切な値を検討する。

温度応力解析については、コンクリート版と路盤の接合状態、目地板の弾性係数等に着目し、妥当な解析モデルの構築を図る。

計測値と解析値の比較方法は、次に示すとおりである。計測配置は図 - 14に示す。

- ・ 温度：T16AB1～T16AB5の計測値と解析値について、対象期間の最初の値を0として比較する。
- ・ 継目変位：J16AB1～J16AB3の計測値と解析値について、対象期間の最初の値を0として比較する。正は目地が開く方向で、負は閉じる方向とする。
- ・ 全ひずみ：コンクリート版の伸縮挙動を捉えるため、S16AB1～3とS16CL1～3の差分の計測値と解析値について、対象期間の最初の値を0として比較する。正が

引張ひずみ(膨張)、負が圧縮ひずみ(収縮)となる。  
 検討の結果、温度については、日射吸収率を7月では0.4、10月では0.3、1月では0.2と設定すれば、図 - 15に示すように計測値と解析値はよく合うことがわかった。T16AB1～5が計測値で、AT16AB1～5が解析値である。

継目変位、全ひずみについては、コンクリート版と路盤の境界面を不連続性として取り扱い、ジョイント要素によりモデル化すると、図 - 16、17に示すとおり、挙動を定性的に表わすことができることがわかった。計算によると、夜から昼へと温度上昇するに伴い版の上面が膨張しそり変形となり、目地付近から10～20mの範囲でジョイント要素の鉛直剛性に引張が生じ切断された状態となった。J16AB1～5が継目変位計測値で、AJ16AB1～5が継目変位

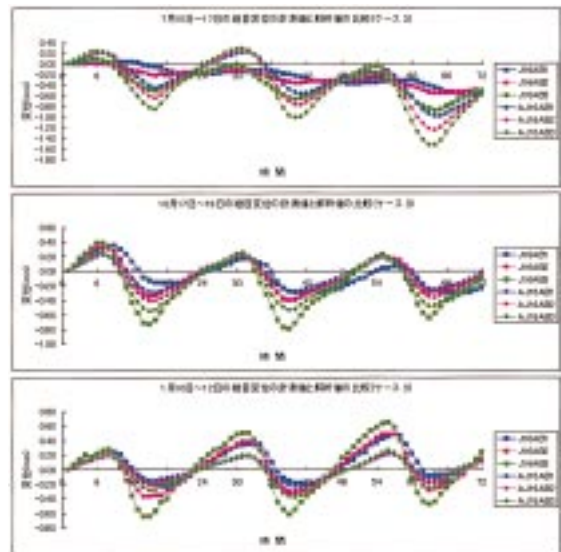


図 - 16 継目変位の計測値と解析値の比較

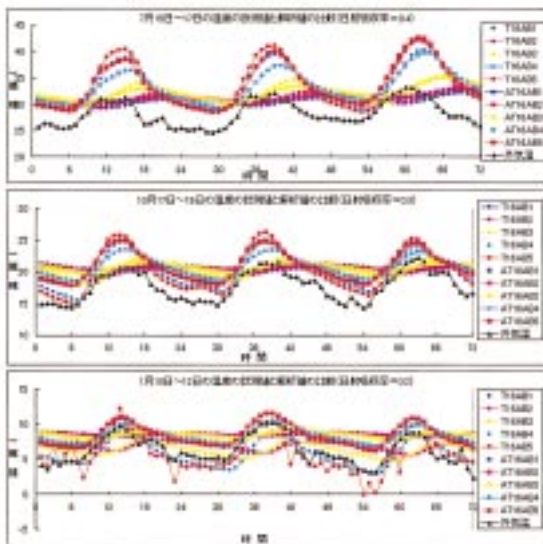


図 - 15 温度の計測値と解析値の比較

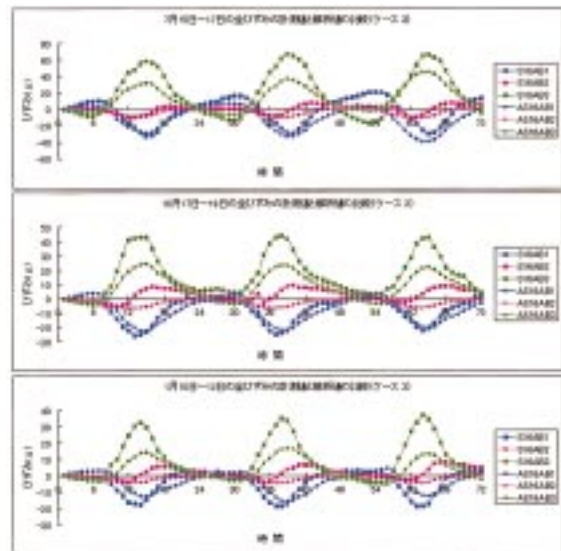


図 - 17 全ひずみの計測値と解析値の比較



解析値である。S16AB1～5が全ひずみ計測値で、AS16AB1～5が全ひずみ解析値である。

さらに、継目変位挙動等を解析により定量的に再現する上で、目地板の弾性係数の値に着目した。そこで、夏期の検討対象期間の最終日（7/17）を抽出し、継目変位の日変動の計測データから、目地板の弾性係数を逆解析により同定したところ、当初設定した1.4N/mm<sup>2</sup>(14kgf/cm<sup>2</sup>) から4.3N/mm<sup>2</sup>(44kgf/cm<sup>2</sup>)となり、図-18に示すようによく合うことがわかった。秋期（10/19）、冬期（1/12）においても検討したところ、同様な結果を得ることができた。

このように、コンクリート版と路盤の境界面をジョイント要素でモデル化し、さらに目地板の弾性係数を適切な値にするとコンクリート版の温度応力挙動を定量的に再現することができる。

そして、目地板の弾性係数は、継目変位つまり圧縮ひずみ（=継目変位/目地板幅25mm）の状態により変化するものと推測し、6/10～6/16、7/1～7/17、10/3～10/19、1/1～1/12の各日に対して、逆解析により目地板の弾性係数を同定する。同定された弾性係数と圧縮ひずみの相関式（相関係数=0.83）を次式および図-19に示す。

$$E(N/mm^2) = 0.156 \times e^{10.889 \times \text{圧縮ひずみ}}$$

以上の検討結果から、次に示す事項を解析モデルに考慮

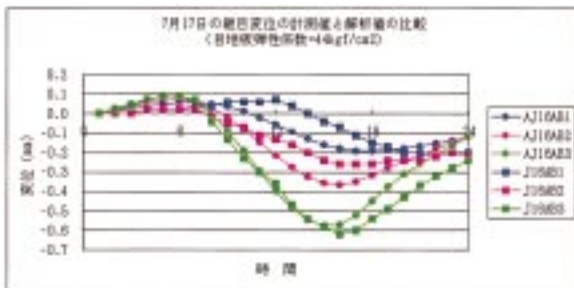


図-18 継目変位の計算値と解析値の比較（逆解析）

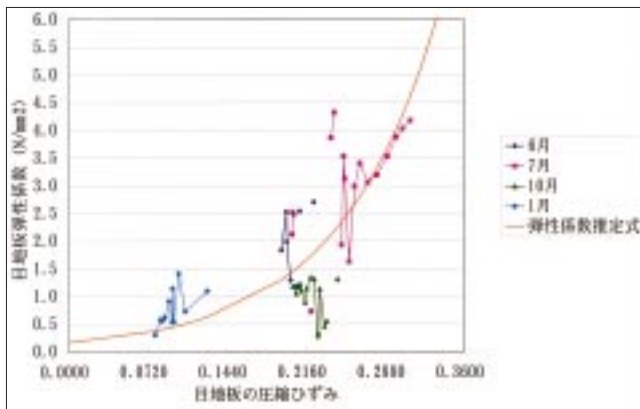


図-19 目地板の圧縮ひずみと目地板の弾性係数の相関図

すれば、温度履歴および温度応力解析挙動を精度良くシミュレーションすることができると考える。

- ・温度境界条件は、外気温に日射の影響を考慮した相当外気温を用いる。
- ・温度応力解析モデルは、コンクリート版と路盤の境界面をジョイント要素でモデル化する。
- ・目地板の弾性係数は、圧縮ひずみとの関数で表す。

#### (4) 長期間変動解析による検討

上記の検討による解析モデルを用い、長期間変動解析により、種々の条件を設定し、ひびわれ発生メカニズムの検討を行う。変状原因の因子として、外気温（過去5年間（1992～1996年）の最大年振幅）、打設時期、コンクリートの版長、目地板幅、コンクリートの版厚について想定した。

よって、検討ケースは、表-4に示すとおりとした。

表-4 検討ケース

ケース	打設時期	コンクリート版の長さ	目地板幅	版厚	目地内の異物混入	外気温モデル	備考
ケース1	2月	120.0m	25mm	46cm	なし	平均年振幅SIN波近似	基本ケース
ケース2	2月	120.0m	25mm	46cm	なし	最大年振幅SIN波近似	外気温の影響
ケース3-1	5月	120.0m	25mm	46cm	なし	平均年振幅SIN波近似	打設時期の影響
ケース3-2	8月	120.0m	25mm	46cm	なし	平均年振幅SIN波近似	#
ケース3-3	11月	120.0m	25mm	46cm	なし	平均年振幅SIN波近似	#
ケース4-1	2月	40.0m	25mm	46cm	なし	平均年振幅SIN波近似	コンクリートの版長の影響
ケース4-2	2月	120.0m	25mm	46cm	なし	平均年振幅SIN波近似	#
ケース5-1	2月	120.0m	20mm	46cm	なし	平均年振幅SIN波近似	目地板の影響
ケース5-2	2月	120.0m	30mm	46cm	なし	平均年振幅SIN波近似	#
ケース6-1	2月	120.0m	25mm	30cm	なし	平均年振幅SIN波近似	コンクリートの版厚の影響
ケース6-2	2月	120.0m	25mm	38cm	なし	平均年振幅SIN波近似	#
ケース7	2月	120.0m	25mm	46cm	あり（表面部）	平均年振幅SIN波近似	目地内の異物混入の影響

ケース7の異物混入は、その箇所での目地板の弾性定数をコンクリートとして現わす。

図-20に長期間変動解析の一例としてケース1の結果を示すが、実測継目変位に近似していることが確認できた。

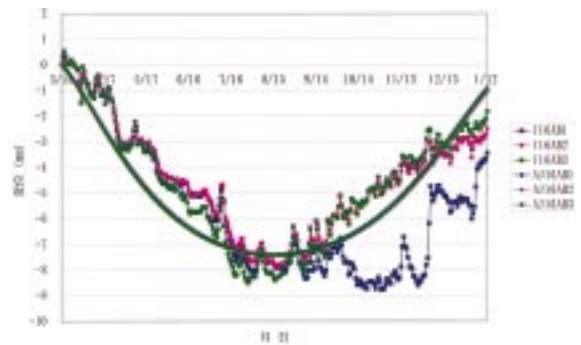


図-20 継目実測変位と解析結果（ケース1）の比較

コンクリートの強度を曲げ強度試験結果から推定して、圧縮強度 = 48.1N/mm<sup>2</sup>(490kgf/cm<sup>2</sup>)、引張強度 = 3.0N/mm<sup>2</sup>(31kgf/cm<sup>2</sup>)、せん断強度 = 6.1N/mm<sup>2</sup>(62kgf/cm<sup>2</sup>)とする。

解析の結果、ひびわれ発生に対して最も影響のある応力は、せん断応力で次に引張応力であった。目地近傍に着目して、各ケースの最大せん断応力を図-21に示す。

その結果、比較的に影響の度合いが大きかったものは、



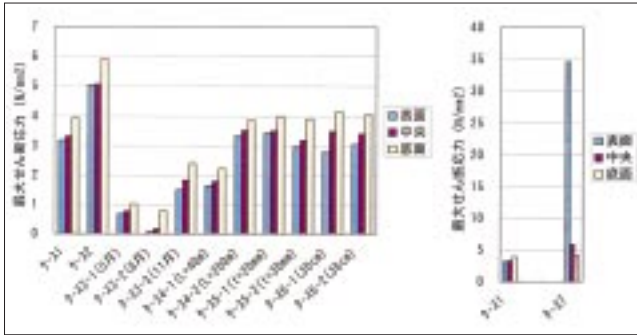


図 - 21 各ケースの目地近傍の最大せん断応力の比較

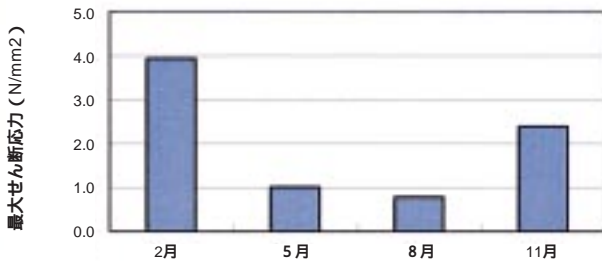


図 - 22 打設時期と最大せん断応力との関係

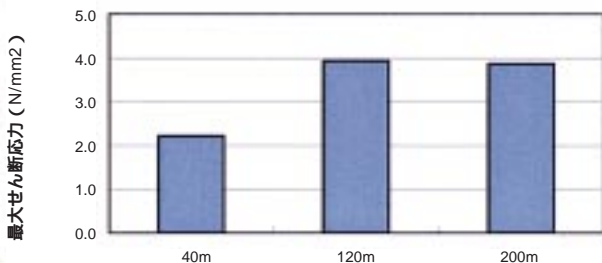


図 - 23 コンクリートの版長と最大せん断応力との関係

外気温、打設時期であり、コンクリートの版長を極端に短くすることで効果があることがわかった。打設時期及びコンクリートの版長と最大せん断応力との関係は、図 - 22 ~ 23 に示すとおりであった。

また、ケース7のように目地内に異物が混入すると、その箇所での応力集中が生じ、破壊に至る応力が発生することがわかった。

**(5) 解析結果**

本解析で得られた知見を以下に示す。

空港コンクリート舗装設計要領に示される膨張目地設置間隔100 ~ 200m、算定される舗装厚30 ~ 46cmでは、目地部に生じる温度応力の違いは大差ない。また、目地間隔は狭くなるほど、発生応力は大きくなる傾向を示すが、20 ~ 30mmの間では破壊に至らな

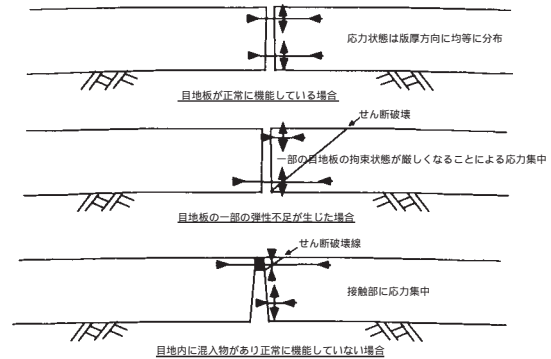


図 - 24 ひびわれ発生メカニズムの概念図

い範囲の挙動を示すものとなった。温度応力解析で、最も破損に直結するものは、せん断応力となったが、表面部 中央部 底面部といった順で発生応力は大きくなった（比率としては、表面部を1.0とすると、中央部1.05、底面部1.24程度となる）。

せん断応力増加に影響のある項目は、外気温の増減と打設時期であり、具体的には外気温振幅が激しく、冬期に施工することでの条件が厳しいものとなる。外気温振幅（温度差）を激しくすると、目地板の圧縮ひずみは40%以上となり、破損に至らない他検討ケースでは40%以下の圧縮ひずみとなっている。目地部に異物が混入したものとして、目地部のせん断応力を求めた場合においても版破壊は再現することが可能となった。（図 - 24）

目地板の圧縮ひずみ、弾性係数は版上下において異なってくるため、本解析では目地上部の目地開口幅が30mmとなっていることから、破損に至る条件は再現できなかったが、局所的な圧縮ひずみ増大による応力集中によって破損に至る可能性もある（図 - 24）。

**5. 現状設計・施工に対する提言（案）**

挙動データ、施工上留意事項、解析結果を踏まえた現状設計・施工に対する提言（案）を以下に示す。

コンクリート版に膨張目地を有す必要があると判断した場合は、冬期施工（12 ~ 3月）に際して、膨張目地間隔を広げることで版端部に生じる応力の低減効果が望まれるため、膨張目地間隔を30mm程度に広げる等の対処を行う。

施工上、目地板変形状態（目地の垂直施工不良）での施工を避けるとともに、目地間にコンクリート、モルタル等の異物が混入しないように留意する。セメントコンクリート舗装要綱では、目地は目地板よりやや広めに施工し、かつ目地板の上部にコンク

リートが残らないように十分清掃することが大切であると記されている。

## 6. おわりに

今回の挙動解析において、コンクリート版膨張目地部破損を再現するためには、極端な外気温変動（年間温度差37程度）、目地内の異物混入により再現できた。また、目地板の物性の与え方が本解析のポイントとなり、目地板の圧縮ひずみ（目地板の圧縮ひずみによる弾性係数の変化）によっても破損が考えられた。

したがって、目地板の物性が破損メカニズムの推定に当たって重要なパラメータとなり、応力を均一に伝達すること、版上下において異常な応力集中を起こさない程度の圧縮ひずみ（40～50%以上程度）に抑えることが重要となる。また、今後の課題として、解析上設定した目地板の圧縮ひずみに対する弾性係数の変化の関係が解析のポイントとなったことから、実際の目地板の材料特性上における応力-ひずみ関係（高い拘束状態での急激な弾性係数の増加）が懸念される<sup>10), 11)</sup>。

なお、本年度改定された「空港舗装構造設計要領」<sup>12)</sup>

には、膨張目地の開口幅は膨張目地の間隔、コンクリート版の施工時期等によって適宜変わり得るものであると追記されている。

## 参考文献

- 1) 関西国際空港株式会社：NC舗装版のひび割れ補修工法（セメント系）について、第32回空港土木工事報告会、平成9年10月
- 2) 運輸省航空局：空港舗装補修要領（案）、昭和59年3月
- 3) (財)航空振興財団：空港コンクリート舗装構造設計要領1990、運輸省航空局監修
- 4) 土木学会：舗装工学
- 5) 運輸省東京空港工事事務所：平成8年度東京国際空港エプロン舗装挙動調査報告書、平成9年3月
- 6) (財)港湾空港建設技術サービスセンター：空港土木工事共通仕様書、運輸省航空局監修、平成8年4月
- 7) 八谷好高、上中正志：空港コンクリート舗装の目地・ひびわれ部の挙動、港湾技研資料、NO.710、1991
- 8) 福田萬大：講座・舗装の維持修繕9コンクリート舗装：舗装26-1、1991
- 9) (社)日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱、pp.156-158
- 10) 岩間 滋：コンクリート舗装の構造設計に関する実験的研究、土木学会論文集第111号、1964年
- 11) 蒔田ら：最近のコンクリート舗装用目地材料について、第11回日本道路会議論文集、1973年
- 12) (財)港湾空港建設技術サービスセンター：空港舗装構造設計要領、運輸省航空局監修、平成11年4月