空港コンクリート舗装版の温度応力特性と 疲労度設計への適用

広重敬嗣¹·坪川将丈²·下村泰造³·土方遍⁴·福田慎治⁵

¹正会員 工修 大成建設株式会社 土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1) E-mail: hrskiz00@pub.taisei.co.jp

²正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 空港研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)
 ³正会員 工博 大成建設株式会社 土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1)
 ⁴正会員 工 大成建設株式会社 羽田 PFI 作業所 (〒144-0041 東京都大田区羽田空港 2-6-3)
 ⁵正会員 工 大成建設株式会社 羽田 PFI 作業所 (〒163-0606 東京都大田区羽田空港 2-6-3)

空港コンクリート舗装の構造設計においては、版に生じる温度応力を考慮する必要がある.近年、空港コンクリート舗装では、版厚が厚く温度応力特性の非線形性が大きいことから、道路舗装の設計に用いられてきた温度応力式に比べ、応力が小さくなることが版中央部で定式化されている.本研究では、東京国際空港国際線地区の曲げ強度 5.5N/mm²の高強度エプロンコンクリート舗装において、1年間を通じた温度・ひずみの計測結果より、版中央部のみならず版縁部における温度応力特性を解析し、版縁部での温度応力式の特性を確認した.また、その結果を用いて版縁部における累積疲労度を計算し、疲労度設計の適用を確認した.

Key Words : airport concrete pavement, high-strength concrete, thermal stress, fatigue analysis

1. はじめに

空港コンクリート舗装に適用されるコンクリートは設計基準曲げ強度 5.0N/mm²を標準としている.しかしながら東京国際空港国際線地区のエプロン舗装においては、大きな不同沈下が予測される箇所に設計基準曲げ強度 5.5N/mm²の高強度コンクリートを適用している¹⁾.これは高強度コンクリートを適用することにより、コンクリート版の累積疲労度を小さくし、疲労耐久性を確保することで、ひび割れによる損傷を低減することを目的としている.

一般に、空港コンクリート舗装の疲労度設計において は、航空機荷重により発生する荷重応力と、コンクリー ト版の温度変化による変形が版の自重及び路盤との摩擦 により拘束されることで生じる温度応力を算出し、舗装 設計施工指針²⁾等で示されている理論設計法に従い、累 積疲労度を算出する.ここで、コンクリート舗装版に生 じる温度応力については、岩間の提案式³⁾が一般的に用い られてきた.しかしながら、空港コンクリート版に発生 する温度応力が累積疲労度に及ぼす影響が比較的大きい ことから、坪川ら^{4,5}は版厚の厚い空港コンクリート舗装 においては版厚方向の温度分布の非線形性が大きく、内 部拘束応力が大きくなることに着目し、版中央部におけ る温度応力が従来の岩間の提案式で算出された温度応力 よりも小さくなることを定式化している.

一方,東京国際空港国際線地区エプロン部は,「東京国 際空港国際線エプロン等整備等事業」による PFI (Private Finance Initiative)事業により,現在,25.5 年間の維持管 理段階に入っており,エプロンコンクリート舗装の健全 性についても,継続的な維持管理業務の一環として維持 管理を実施している⁹.また,高強度コンクリート舗装の 適用性を確認し,適切な維持管理計画遂行のために,厚 さ46cmの高強度コンクリート舗装版の温度・ひずみを計 測している.

本研究では、2009年6月から2010年5月までの1年間 を通じて計測された高強度空港コンクリート舗装版の温 度・ひずみ特性データをもとに、版中央部のみならず版 縁部における温度・ひずみ分布特性を検討し、既往の研 究で提案されている版中央部における温度応力式との整 合性を確認した.また、得られた版縁部での温度応力を 疲労度設計へフィードバックし、疲労度設計の妥当性を 確認した.

以下,本論文においては,設計基準曲げ強度 5.0N/mm² の標準的なコンクリートを普通コンクリート,設計基準 曲げ強度 5.5N/mm²のコンクリートを高強度コンクリー トと呼ぶこととする.

2. 温度・ひずみ計測と温度応力の算定

(1) 計測概要

東京国際空港国際線地区エプロンにおける高強度コン クリート舗装の施工範囲と、本研究において計測の対象 としたコンクリート版の位置を図-1に示す.計測対象の コンクリート版は、平面寸法 8.5m×8.5m、版厚 46cm で あり、隣接するコンクリート版に四方を囲まれた位置に 存在し、周囲の版とはダウエルバー(直径 42mm,長さ 800mm, ダウエルバー間隔 400mm) にて連結されている.

計測対象のコンクリート版は、2009年5月26日に打設 し、打設時から2010年5月21日までの約1年間、温度・ ひずみの計測を実施している.

次に、コンクリート版に設置したひずみ計(測温機能 付き)及び温度計の設置位置を図-2に示す.版各部の挙 動を調べるために、計測器は版中央部、版縁部及び中間 部に設置している.計測位置とひずみ計 No.の対応を表-1 に示す.

(2) 高強度コンクリートの材料物性値

計測対象のコンクリート版に使用した高強度コンクリ ートの示方配合を表-2に示す.

また、本配合により作成した供試体による、室内試験 結果を表-3に示す. 高強度コンクリート舗装版の設計基 準曲げ強度 5.5 N/mm²に対し、実曲げ強度は 6.7 N/mm² であり、十分な強度が発現している.



図-2 計測器配置図

(3) 既往の研究と温度応力の算定手法

コンクリート版に発生する拘束応力は、図-3に示すように軸方向拘束応力、曲げ拘束応力、内部拘束応力の3 成分に分けることができる.軸方向拘束応力は版の軸方向の伸縮が路盤との摩擦や隣接版により拘束されること による応力、曲げ拘束応力は版上下面の温度差による版の曲げ変形が自重等により拘束されることによる応力、内部拘束応力は版内部の深さ方向の温度分布が非線形になることにより発生する応力である.

軸拘束応力は引張応力になる場合の大きさが小さいこと,曲げ拘束応力が大きくなる温度上昇期には圧縮応力 となるため,無視しても安全側であることから,設計上 は考慮しない⁴⁾.したがって,温度応力としては曲げ拘束 応力と内部拘束応力を足し合わせたものを考慮する.

温度応力を構成する曲げ拘束応力及び内部拘束応力に ついては、既往の研究⁴⁾を参考として、下記に示す方法に より算出した.

- (a) 1日のうちで版厚方向の温度差が最小になる基準時 刻からの実ひずみ変化量,温度変化量を求める.
- (b) 版厚方向に3点のひずみ測定点における実ひずみ変 化量について、2次曲線化した版厚方向の実ひずみ分 布を描く. 同様に、温度測定点における温度変化量 に線膨張係数を乗じることで算出される温度ひずみ (拘束を受けない場合の自由なひずみ)分布を2次 曲線として描く.ただし、温度については版厚方向 に5点の計測データを基に、最小二乗法より求めた2 次近似曲線である.この実ひずみ及び温度ひずみの2 次曲線より、版下面における値を外挿する.
- (c) 実ひずみ分布及び温度ひずみ分布について、2次曲線の左右の面積が等しくなるように1次近似直線(コンペンセイションライン)を描き、版下面における値を外挿する.2次曲線と1次直線の差分が内部拘束成分となる.さらに、1次直線を曲げ拘束成分と軸拘束成分に分解する.
- (d) 実ひずみの各成分から温度ひずみの各成分をそれぞ れ差し引くことで各拘束ひずみ成分を求め、これに ヤング係数を乗じることで各拘束応力成分を求める. 以上の温度応力算定手法に基づき、岩間³⁾は版厚 20~ 25cmの普通コンクリート舗装版を用いた温度・ひずみの 計測結果より、版中央部における温度応力算定式として (1)式を提案している.

$$\sigma_t = 0.70 \cdot \frac{\alpha \cdot E_c \cdot \theta'}{2(1-\nu)} \tag{1}$$

ここに、 σ_i :版中央部における温度応力 (N/mm²)、 α :

コンクリートの線膨張係数 (1/°C), E: コンクリートの

ヤング係数 (N/mm²), θ :版上面温度から下面温度を差 し引いた版上下面温度差 (°C), v:コンクリートのポア ソン比である.

また,岩間³は版縁部についても温度応力算定式として(2)式を提案している.

$$\sigma_t = 0.35 \cdot C_w \cdot \alpha \cdot E_c \cdot \theta' \tag{2}$$

ここに、 σ_{c} :版縁部における温度応力 (N/mm²)、 C_{u} :

そり拘束係数(表-4)である.

ただし、空港コンクリート舗装においては、航空機荷 重により版下面において引張応力が生じる. コンクリー ト舗装版に対して問題となるひび割れは引張応力に起因 するものであるため、構造設計を行う際は、航空機荷重 による引張応力と温度変化により生じる引張応力を足し 合わせたものを考慮するため、ここで検討を行う温度応 力は全て版下面の応力である.

(4) 温度応力算出時の基準時刻の設定手法

各時刻における温度応力は、基準時刻からの実ひずみ 変化量、温度変化量により算出する.その際、筆者らは、 版上下面温度差だけでなく、版内部の温度分布の非線形 性についても着目し、基準時刻を設定する手法を用いた.

ここで、版内部において考えられる温度分布パターン を図-4に示す.版上下面温度差が小さい時刻は、版内の 温度勾配が小さく、版上下面温度の平均値と版中央深度 の温度との差が小さい時刻は、版内の温度の非線形性が 小さいと判断される.従って、一日の全時刻において、 版上下面温度差と、版上下面温度の平均値と版中央深度 の温度との差を調べることで、温度勾配及び温度分布の 非線形性が最も小さくなる時刻を基準時刻とした.ただ し、温度勾配が最小となる時刻と温度分布の非線形性が 小さくなる時刻が一致しない場合は、「版上下面温度差 + (版上下面温度の平均値一版中央深度の温度)」が最小 となる時刻を基準時刻として選定するものとした.



図-3 コンクリート版に生じる各応力成分の模式図

表-4 そり拘束係数の例

収縮目地間隔(m)		5.0	6.0	7.5	8.0	10.0	12.5	15.0
拘束係数 Cw	温度差が正の場合	0.85	0.91	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98
	温度差が負の場合	0.40	0.55	0.73	0.78	0.90	0.93	0.95



図-4 コンクリート版内において考えられる温度分布パターン

以上の手法により、1ヶ月を上・中・下旬の10日間毎 に分け、一律の基準時刻を設定して版上下面温度差と温 度応力の関係について検討を実施した.本設定手法の妥 当性については3.(1)b)において後述する.

3. 高強度空港コンクリート舗装版の温度応力特性

(1)版中央部の温度応力

a)版上下面温度差と温度応力の日変動

日中の版上下面温度差が大きくなり、版下面の温度応 力が大きくなる夏期のある一日について、版中央部(計 測位置 A-2)における版上下面温度差と曲げ拘束応力、 内部拘束応力の変動を図-5 に示す.

図-5より、曲げ拘束応力は版上下面温度差の変動に対して同位相で変動しているのに対して、内部拘束応力は版上下面温度差とは逆位相であることがわかる.

また、図中には曲げ拘束応力と内部拘束応力の和として表される温度応力を併せて示しているが、版上下面温度差と3時間の遅れで最大値を示しており、このことは坪川ら⁴によっても確認されている.

b) 温度応力式(岩間式³⁾) との比較

版中央部 (計測位置 A-1, A-2) における 1 年間の温度・ ひずみ計測より得られた,版上下面温度差の日最大値 θ' (ただし,(1)式との比較のために図の横軸は $\alpha \cdot E_c \cdot \theta'$ 2(1- ν)

し、 *θ* 以外は固定値で表-3 の値を用いた)と温度応力の 日最大値の関係を、図-6 に示す.

既往の研究により提案されている温度応力式では、温 度応力が版上下面温度差の一次関数にて表され、基準時 刻からの版上下面温度差の増分がゼロであれば温度応力 がゼロとなることが確認されている.しかし、今回の計 測データでは版上下面温度差がゼロであるにもかかわら ず 0.25N/mm²の温度応力(図-6の切片部分)が発生する 結果が得られた.しかし,版上下面温度差と温度応力の 関係で線形関係が確認されており,理論的には版上下面 温度差がゼロであれば温度応力もゼロとなることから, この切片部分については,基準時刻を10日間毎に一律に 設定したことが原因であると考えられる.一年間の温度



応力について、「基準時刻を10日毎に一律に設定した場 合」と「基準時刻を毎日設定した場合」の差を検証した ところ、両データ整理方法における回帰式の傾きは同程 度であること、前者に比べて後者の切片部分は小さいこ と、図における縦軸の温度応力の値については差が小 さく、横軸の版上下面温度差の差が大きいことが確認 された.以上のことから、温度応力の算定にあたって 10日間毎に一律に設定した計算上の基準時刻が、版内 の温度勾配及び温度分布の非線形性が最小となる実際 の基準時刻と一致しない影響は、図におけるプロット が主に横軸方向にスライドした結果が回帰式の切片部 分として表れたものと考えられる.よって以降の検討 では、データ整理簡略化のため、切片部分を無視し、 回帰式の傾きのみに着眼して整理することとした.

図-6の整理より、版中央部における温度応力算定式は、 (3)式として求められる.

$$\sigma_{ie} = 0.49 \cdot \frac{\alpha \cdot E_c \cdot \theta'}{2(1-\nu)} \tag{3}$$

この結果は、版厚が20cm 程度の道路舗装より得られた 岩間による版中央部の温度応力算定式((1)式)よりも 30%程度小さい.これは、坪川ら⁴によっても指摘され ているが、内部拘束応力の非線形性が、版厚が厚いこと によりさらに顕著になった結果であると考えられる.

一方, 坪川ら⁵は, 版中央部について, 版厚の影響を考 慮した温度応力算定式((4)式)を提案している.

$$\sigma_{ie} = (-0.772h + 0.854) \cdot \frac{\alpha \cdot E_c \cdot \theta'}{2(1 - \nu)}$$
(4)

ここに, h:コンクリート版厚 (m) である.

(4)式より,本研究における版厚h=46cmを代入すれば, $\alpha \cdot E_c \cdot \theta'$ により正規化された温度応力算定式の係数は 2($1-\nu$)

0.50となり、図-6に示す計測結果と非常に良い一致を示す結果となった.

c)曲げ拘束度の確認

版中央部と後述する目地部の拘束状態の差を比較 するため、坪川ら⁵による研究と同様に曲げ拘束度によ る検証を行った.曲げ拘束度は(5)式で定義される⁵.

$$R_{M} = \frac{\Phi_{TM} - \Phi_{M}}{\Phi_{TM}} \tag{5}$$

ここに, $R_{_{\!M}}$:曲げ拘束度, $\Phi_{_{\!M}} \cdot \Phi_{_{\!T\!M}}$:実ひずみ変化量 と温度ひずみ変化量の版深さ方向分布から求めたコンペ ンセイションラインの傾きである.

図-7 に、日最大温度応力発生時刻における版中央部の 曲げ拘束度の度数分布を示す.図-7の結果より、版中央 部の曲げ拘束度は平均0.97であり、曲げ変形の拘束は完 全拘束(曲げ拘束度1.00)に近いことがわかる.

(2)版縁部(目地に平行方向)の温度応力

a)版上下面温度差と温度応力の日変動

夏期のある一日について,版縁部(計測位置 B-1)にお ける版上下面温度差と曲げ拘束応力,内部拘束応力の変 動を図-8に示す.

版縁部(目地に平行方向)における版上下面温度差と 曲げ拘束応力と内部拘束応力の変動は版中央部と同様の 傾向を示しており,曲げ拘束応力は版上下面温度差と同 位相,内部拘束応力は逆位相である.さらに温度応力は 版上下面温度差と2時間の遅れで最大値を示している.

b)曲げ拘束度の確認

版中央部と同様に(5)式に従い、版縁部(目地に平行方 向)における曲げ拘束度を算出し、度数分布を図-9に示 す.図-9より、版縁部における曲げ拘束度の平均値は1.01 であり、版中央部での曲げ拘束度0.97よりも若干大きい が、概ね1.00程度となった.このことから、版縁部にお いても、ほぼ完全拘束状態となっていることが分かる.

表-4 に示す岩間の拘束係数よりも大きくなった理由としては、本研究における版厚 46cm での観測結果は、ダウエルバーの抵抗が岩間の実施した実験結果よりも大きくなったと考えられる.



223

c)温度応力式(岩間式³⁾)との比較

版縁部(計測位置 B-1, C-1, D-1)における1年間の 温度・ひずみ計測より得られた,版上下面温度差の日最 大値と温度応力の日最大値の関係を図-10に示す.ただし, (2)式との比較のために,図-10の横軸はα·E_c·θ[·]として

いる. また、そり拘束係数 C_w は、実測データより得られた拘束係数として C_w =1.01とした.

図-10の整理より、版縁部における温度応力算定式は、 (6)式として求められる.

$$\sigma_{te} = 0.28 \cdot \alpha \cdot E_c \cdot \theta' \tag{6}$$

この結果は、岩間³による版縁部の温度応力算定式((2) 式)よりも15%程度小さい.これは、岩間による版縁部 の温度応力算定式が、版中央部と同様に、版厚 20cm 程度 のコンクリート版に対しての検討結果であるのに対して 本研究は版厚 46cm であり温度分布の非線形性が大きく、 圧縮側に作用する内部拘束応力も大きいためであると考 えられる.しかしながら、版中央部においては、岩間式 に比べ30%程度小さい値が得られているのに対し、版縁 部においては、その半分程度の15%の低減率となった. そこで、筆者らは、版厚を考慮した版縁部の温度応力特 性について推定を行い、両者を比較検討することとした.

d)版縁部(目地に平行方向)の温度応力推定式

岩間ら³による版中央部および版縁部の温度応力式の 相違については、以下の2点が挙げられる.

- 版縁部式にはポアソン比に関わる項がない.これは、
 版中央部と版縁部の境界条件の違いにより、理論上
 版縁部についてはポアソン比の項が考慮されない⁷⁾.
- 版縁部については、拘束係数を考慮する.これは、 版中央部では完全拘束状態と考えて拘束係数を便宜 的に C_w=1.00 と解釈できるが、版縁部においては完全 拘束状態とならないので、拘束程度を低減している.
 上記の関係から、版縁部の温度応力式は版中央部式か
- ら1(1- ν) を除外したものであると解釈できる.そこで,

坪川ら⁵の版厚考慮型温度応力式から版厚を考慮した版 縁部の温度応力式を推定すると,(7)式の通りとなる.

$$\sigma_{ie} = \left(-0.772h + 0.854\right) \cdot \frac{C_w \cdot \alpha \cdot E_c \cdot \theta'}{2} \tag{7}$$

(7)式に本研究での版厚 h=46cm, C_w=1.01 を代入すれば,

$$\sigma_{ie} = 0.25 \cdot \alpha \cdot E_c \cdot \theta' \tag{8}$$

のように,推定できる.

本研究の計測結果より推定された温度応力式((6)式) は、上記の検討より得られた温度応力算定式((8)式)に 比べ1割程度大きい値となっている.この原因について は、前述したように本研究におけるダウエルバーの抵抗 が岩間の実験結果よりも大きく出ていることが考えられる.

(3)版縁部(目地に直角方向)の温度応力

a)版上下面温度差と温度応力の日変動

夏期のある一日について,版縁部(計測位置 B-2)にお ける版上下面温度差と曲げ拘束応力,内部拘束応力の変 動を図-11に示す.

図-11より、版中央部及び版縁部(目地に平行方向)と は異なり、曲げ拘束応力は版上下面温度差の変動に対し て逆位相で変動し、発生応力度も他の場所に比べて小さ なものとなっている.一方、内部拘束応力は版中央部及 び版縁部(目地に平行方向)と同様に、版上下面温度差 とは逆位相で変動していることがわかる.

図中には曲げ拘束応力と内部拘束応力の和として表される温度応力を併せて示しているが、上述した理由から 内部拘束応力が卓越するため、版上下面温度差と温度応 力は逆位相で変動している.

版縁部(計測位置 B-2)における1年間の温度・ひずみ 計測より得られた,版上下面温度差の日最大値と温度応 力の日最小値(圧縮応力)の関係を図-12に示す.ただし, (2)式との比較のために,図-12の横軸は_{C_w·α·E_c·θ}とし

ている. ただし, 表-4より C_w=0.95とした.

図-12の整理より,版上下面温度差と版下面における圧縮応力としての温度応力は同位相にて変動していることがわかる.このことから,版縁部(目地に直角方向)は,版中央部や版縁部(目地に平行方向)と同じメカニズムにより挙動しているが,拘束条件の違いにより温度応力の値が異なって現れているものと推測される.



4. 疲労度設計における検証

(1) 疲労度設計手法の概要

東京国際空港国際線地区のエプロン舗装に適用した疲労度設計手法の概要^{6,8,9}は以下の通りである.

東京国際空港国際線地区エプロン舗装の設計手法は、 羽田II・III期設計の考え方を踏まえ、さらに「舗装設計 便覧¹⁰」に示される理論設計手法を導入している.本研 究の対象となる高強度コンクリート舗装は、版厚 46cm、 標準目地間隔 8.5m であり、コンクリート舗装版内に発生 する応力については、不同沈下を考慮した2次元平板 FEM を使用して、航空機荷重および自重による応力を算 定後、版上下面の温度差によって生じる温度応力を加算 する手法としている.また、コンクリート版は目地部で 地盤沈下に追従すると仮定して設計を実施している.

一方,疲労度設計における信頼度は、コンクリート材料の疲労強度に着目し、適切な疲労曲線を設定することで確保する方針とした.破壊確率については、空港施設の重要度からより高い信頼性を確保すべく5%とし、舗装設計便覧¹⁰に示されている破壊曲線を使用し、疲労度設計を実施している.累積疲労度の算定にあたっては、設計年数を当プロジェクトにおける維持管理期間である25.5年とし、表-5、表-6に示す設計対象航空機荷重及び機材別年間設計交通量を考慮した.

実施設計時においては、まず、同一の破壊確率のもと で版中央部、版縁部の両方に対して、岩間式³を用いて算 出した温度応力を加算し、累積疲労度を算出した結果、 疲労度設計については版中央部が支配的になることを確 認している.これは、前述したように目地部において地 盤沈下に追従すると仮定したことにより、沈下量により 発生するコンクリート版内応力は、版中央部で支配的に なったためと考えられる.そこで次に、版厚の厚い空港 コンクリート舗装における温度応力の非線形性を考慮し、 坪川ら⁴よる温度応力式を版中央部に適用し、上記、破壊 確率5%の元、疲労度設計を完了している.

(2) 疲労度算定結果及び考察

本研究における計測結果より得られた版縁部の温度応 力を使用して、東京国際空港国際線地区エプロン部舗装 に対して累積疲労度の算定を行った.本検討においては、 図-13 に示す2 脚縁部条件(横断方向走行位置分布の標 準偏差σ=50cm)での版内に生じる累積疲労度を算出し た.ここで、直線部ガイドライン走行部を想定して設計 を行っているのは、曲線部ガイドラインを走行中の航空 機はワンダリングが大きくなるためである.つまり、設 計上クリティカルとなるのは直線部ガイドライン走行部 であるため、図-13 のように各機材の脚を配置している.

表-5 設計対象航空機と荷重諸元⁷⁾

航空機の種類		A380クラス		Jクラス	Lクラス	Mクラス
		ボディギア	ウィングギア	B747-400	B777-200ER	B767-300ER
脚荷重	離陸	1,572	1,048	910	1,368	829
(kN)	着陸	1,084	723	657	893	664
輪荷重	離陸	262	262	228	228	207
(kN)	着陸	181	181	164	149	166
接地圧(N,	/cm²)	150.04	150.04	137.98	150.04	137.88
接地面積	離陸	1,747	1,747	1,649	1,520	1,503
(cm ²)	着陸	1,204	1,204	1,191	992	1,204
接地幅	離陸	34.7	34.7	33.7	32.4	32.2
(cm)	着陸	28.8	28.8	28.6	26.1	28.8
接地長	離陸	50.4	50.4	48.9	47.0	46.7
(cm)	着陸	41.8	41.8	41.6	38.0	41.8
接地半径	離陸	23.6	23.6	22.9	22.0	21.9
(cm)	着陸	19.6	19.6	19.5	17.8	19.6

表-6 機材別年間設計交通量7)

カテゴリー	国際線該当機材	荷重区分	年間離陸回数
A380 クラス	A380-800		3, 000
Jクラス	B747-400	廖昭志荷香	6, 000
Lクラス	B777-200ER	南即空间里	3, 750
Mクラス	B767-300ER		12, 250
	25,000		



図-13 2 脚縁部条件での航空機荷重位置

表-7 累積疲労度算定結果

(版厚46cm, 不同沈下量2.0cm, 破壊確率5%)

航空機荷重位置	累積疲労度(25.5年後)		
版中央部	0.46		
版縁部	0.30		

版厚 46cm,不同沈下量 2.0cm,破壊確率 5%での 25.5 年後の累積疲労度算定結果を表-7 に示す.

計測より得られた温度応力を疲労度設計へフィードバックした結果,破壊確率5%における版縁部での25.5年後(沈下量2.0cm)累積疲労度は0.30であり,版中央部での累積疲労度0.46に比べ小さい結果となる.以上より,版中央部と同じ破壊確率5%および実測した版縁部(目地に平行方向)での温度応力推定式を用いた疲労度設計結果も,岩間式³同様版中央部が厳しい結果となった.

5. 結論

本研究では、高強度コンクリートを用いた空港舗装の 温度応力特性を把握することを目的とし、年間を通じて 得られた計測値より版中央部および版縁部での温度応力 式を推定した.

本研究で得られた知見を以下にまとめる.

- (a) 高強度コンクリート舗装版中央部における温度応力 は、既往の研究から得られた普通コンクリート舗装 における版厚考慮型の温度応力式より得られる温度 応力と非常に良い一致が得られた。
- (b) 高強度コンクリート舗装版縁部(目地に平行方向) における温度応力は、岩間式より得られる値との比 較において、版中央部に比べ低減効果が小さい.し かしながら、これは岩間式における拘束係数による 影響と考えられ、隣接版との間に設置したダウエル バーによる拘束の影響であると考えられる.
- (c) 上記,版縁部(目地に平行方向)における曲げ拘束 係数の値は,版厚の厚い空港コンクリート舗装にお いては,概ね1.00程度であり,岩間の拘束係数より も大きい.
- (d) 高強度コンクリート舗装版縁部(目地に直角方向) における温度応力は、版中央部および版縁部(目地 に平行方向)とは拘束条件が異なっているため、日 温度変化と温度応力が逆位相の関係となり、結果と して、日最大の版上下面温度差と圧縮応力度が線形 関係となる。
- (e) 版縁部において実測された温度応力特性を疲労度設計へフィードバックした結果、不同沈下を考慮した当空港における疲労度設計では、破壊確率5%においても、累積疲労度が版中央部よりも小さくなり、版中央部が支配的となることが確認された.

6. おわりに

本研究では、東京国際空港国際線地区における高強度コ ンクリート舗装の温度応力特性について年間を通して得 られた計測結果より解析し、既往の研究で提案されてい た版中央部に加え、版縁部での温度推定式を考察した. 今後、同事業における維持管理を通してさらなるデータ の収集を行い、精度向上を図りたい所存である.

参考文献

- 伊藤友一,佐藤吉孝,竹田康雄:東京国際空港国際線エプ ロンコンクリート舗装における高強度コンクリートの適用, 第63回年次学術講演会,VI-347,pp.693-694,2008.
- 2) (社)日本道路協会:舗装設計施工指針(平成18年版),2006.
- 3) 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, No.111, pp.16-46, 1964.
- 4) 坪川将丈,水上純一,江崎徹,八谷好高:空港コンクリート舗装の温度応力に関する研究,国土技術政策総合研究所 資料, No.341, pp.1-38, 2006.
- 5) 坪川将丈,水上純一,八谷好高,亀田昭一:日温度変化に よる空港コンクリート舗装の温度応力に関する研究,土木 学会舗装工学論文集 第12巻, pp.157-164,2007.
- 6) 下村泰造,西澤辰男,吉永清人,福岡知久:疲労度設計法 を用いた空港コンクリート舗装の維持管理手法の検討,土 木学会舗装工学論文集 第12巻, pp.211-218,2007.
- Bradbury, R.D., "Reinforced Concrete Pavements," Wire Reinforcement Institute, Washington, D.C., 1938.
- 8) 下村泰造,加藤隆,竹田康雄:東京国際空港国際線地区に おける疲労度設計法を用いた空港コンクリート舗装の維持 管理手法の検討,第63回年次学術講演会,VI-351, pp.701-702, 2008.
- 9) 下村泰造:国際線エプロンにおける舗装設計の考え方~不
 同沈下を考慮した疲労度設計手法の適用~,東京国際空港
 D 滑走路建設工事 技術報告会(第三回),2007.
- 10) (社)日本道路協会: 舗装設計便覧(平成18年2月),2006.

A STUDY ON THERMAL STRESS DISTRIBUTION OF HIGH STRENGTH AIRPORT CONCRETE PAVEMENT AND APPLICATION TO FATIGUE ANALYSIS

Keiji HIROSHIGE, Yukitomo TSUBOKAWA, Taizo SHIMOMURA, Amane HIJIKATA and Shinji FUKUDA

Thermal stresses on airport concrete pavement shall be evaluated appropriately from the structural design point of view. In recent years, thermal stresses on airport concrete pavement are to be decreased in comparison with those on highway concrete pavement, considering non-linear properties of thermal stress distributions for thicker concrete pavement. In this report, thermal stress properties on marginal part of airport pavement is verified in addition to that on central part, which has been formulated at anamnestic studies. This study has been achieved by measuring thermal stress distributions over a year at International apron area of Tokyo International airport. In addition to the above-mentioned, the fatigue analysis is validated in terms of thermal stresses on marginal part.