

空港コンクリート舗装に生じる温度応力算定式の考案

国土技術政策総合研究所 主任研究官 坪川将丈

1. はじめに

空港コンクリート舗装の設計で考慮すべき応力としては、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自由な変形が版の自重や版と路盤との摩擦により拘束されることで発生する温度応力等がある。我が国の現行の空港コンクリート舗装の版厚設計法では、荷重応力の算出についてはWestergaardの中央部載荷公式を元にした影響図を電算化したプログラムが使用されている。一方、温度応力については、米国のポルトランドセメント協会（PCA）の研究¹⁾において、コンクリート版厚を最も影響の大きい交通荷重による応力に対して適切な安全率で設計すれば、荷重応力以外の応力に対しても十分安全な範囲であることがいわれており、米国陸軍工兵隊の実験²⁾等から、コンクリートの設計基準曲げ強度を、表-1 に示す設計反復作用回数に応じた安全率で割り、荷重応力がその強度（設計基準曲げ強度÷安全率）を上回らないような版厚を算出している。

表-1 空港コンクリート舗装構造設計に使用する安全率

設計反復作用回数	設計反復作用回数区分	安全率
3,000 回	M	1.7
5,000～20,000 回	N	2.0
40,000 回	O	2.2

近年では航空機の大型化や運行の多頻度化が進み、現行の設計法で考慮されていなかった大型航空機や交通量（反復作用回数）を設計条件として考慮しなければならない場合、荷重応力と温度応力を個別に算出し、コンクリート疲労曲線によりコンクリート版の疲労度を照査する疲労設計法が用いられるケースもある。この場合、従来用いられてきた安全率では、疲労の影響や荷重応力以外の応力の影響をまとめて考慮していることから、疲労設計法を用いる場合には、コンクリート版が曝される気象条件を考慮して、温度応力を算出する必要がある。

道路コンクリート舗装では、岩間³⁾が厚さ 20cm と 25cm のコンクリート版の長期観測結果を元に、温度応力式として(1)、(2)式を示している。

$$\text{版自由縁部} \quad \sigma = 0.35C_w \alpha E \theta' \quad (1)$$

$$\text{版中央部} \quad \sigma = 0.7 \frac{E \alpha \theta'}{2(1-\nu)} \quad (2)$$

ここに,

σ : 温度応力 (MPa),

C_w : そり拘束係数,

α : コンクリートの熱膨張率 ($1/^\circ\text{C}$),

E : コンクリートの弾性係数 (MPa),

θ' : コンクリート版上下面の温度差 ($^\circ\text{C}$),

ν : コンクリートのポアソン比.

しかしながら、空港コンクリート舗装のように厚いコンクリート版の場合、版深さ方向の温度分布が道路舗装と異なると考えられることから、そのまま適用できない恐れがある。また、空港コンクリート舗装の温度応力の長期観測結果についても例がない。

以上の背景から、コンクリート試験舗装の製作ならびに版の温度とひずみの長期観測を実施し、空港コンクリート舗装の設計に適用可能な温度応力式の検討を目的として研究を実施した。

2. 空港コンクリート舗装用温度応力式の検討

2. 1. 長期観測用試験舗装の製作

旧運輸省港湾技術研究所野比実験場において、コンクリート試験舗装を製作した。この試験舗装を製作する目的は、コンクリート版内部の温度とひずみの測定である。試験舗装の目地間隔は、現在の空港コンクリート舗装で最大である 8.5m とした。コンクリート材料としては、設計基準曲げ強度 5.0MPa の普通コンクリートを使用した。構造的には、設計航空機荷重を B-747 型機で代表される LA-1、設計反復作用回数を 20,000 回、路盤の設計支持力係数を $70\text{MN}/\text{m}^3$ (平板直径 750mm) としたので、コンクリート版厚は 42cm となった。また、版中央部には、版表面から 3cm, 21cm, 39cm の位置に温度測定機能付きひずみ計を埋設し、施工後からおよそ 1 年間にわたり、温度とひずみを 1 時間毎測定した。

2. 2. 温度応力の日変動の傾向

版上下面温度差が観測期間中に最も大きかった 8 月のある一日の温度応力と版上下面温度差の日変動を図-2 に示す。温度応力は「版上下面温度差に起因する曲げ変形が拘束されることで生じる曲げ拘束応力」と「版深さ方向の非線形温度分布に起因して生じる内部拘束応力」の各成分に分解して示した。版上下面温度差が最大となる 15 時頃に曲げ拘束応力は最大となるが、内部拘束応力はこの時点で圧縮応力であり、両者の和である温度応力としては 17 時頃に最大となっている。岩間はこのような曲げ拘束応力と内部拘束応力の時間差の存在を指摘しているが、内部拘束応力が曲げ拘束応力の -0.3 倍を超える日も少なくないことから、温度応力としては曲げ拘束応力の 0.7 倍程度としている。

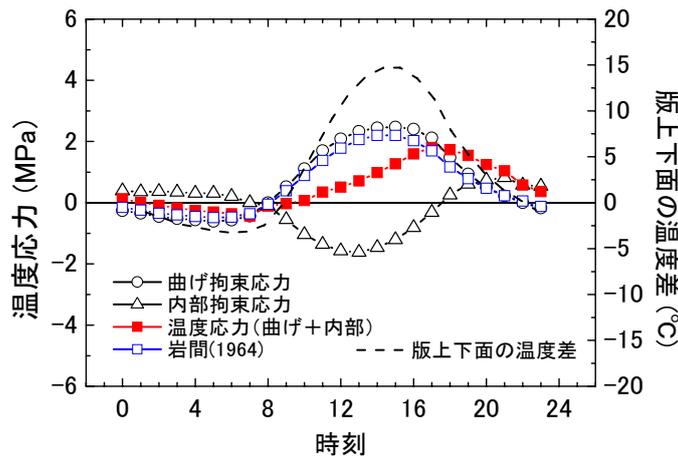


図-2 版上下面温度差と温度応力の日変動

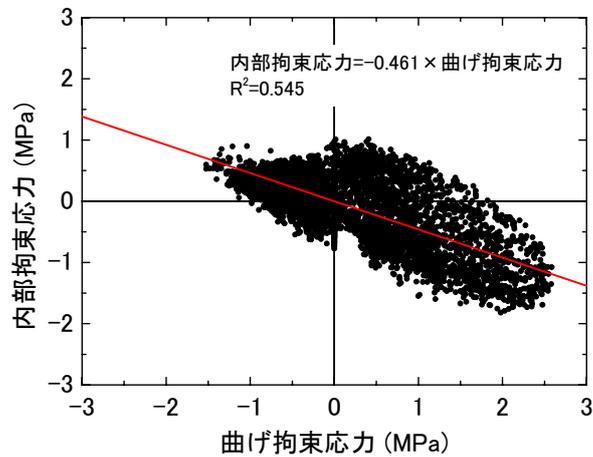


図-3 内部拘束応力と曲げ拘束応力の関係

そこで、空港コンクリート舗装における曲げ拘束応力と内部拘束応力の割合について検証した。図-3 に一年間の毎時間の曲げ拘束応力と内部拘束応力の関係を示す。曲げ拘束応力に対する内部拘束応力の相関を見ると、その割合は-0.46であり、版厚 42cm の試験舗装の場合は、道路舗装の場合と比較して、曲げ拘束応力に対して内部拘束応力が大きいことがわかる。これは、版が厚い場合には、薄い場合と比較して、気温の上昇や日射により熱せられた舗装表面の温度が内部に伝導するのに時間がかかることから、コンクリート版深さ方向の温度分布が非線形となり、内部拘束応力が大きくなるのが原因と考えられる。

2. 3. 温度応力式の検討

試験コンクリート舗装の中央部における一年間の温度とひずみの測定結果による、毎日の版上下面の最大温度差（正の最大値と負の最大値）と最大温度応力（引張応力の最大値と圧縮応力の最大値）との関係を図-4 に示す。図-2 に示

したとおり，版上下面の温度差が最大となる時刻には温度応力は最大にはならないが，最大温度応力と版上下面最大温度差との間には非常に強い相関があり，最大温度応力は版上下面最大温度差を説明変数とする一次式で近似できることがわかる．この近似式を，岩間が提案した温度応力式と同様の形に改めたのが，(3)式である．

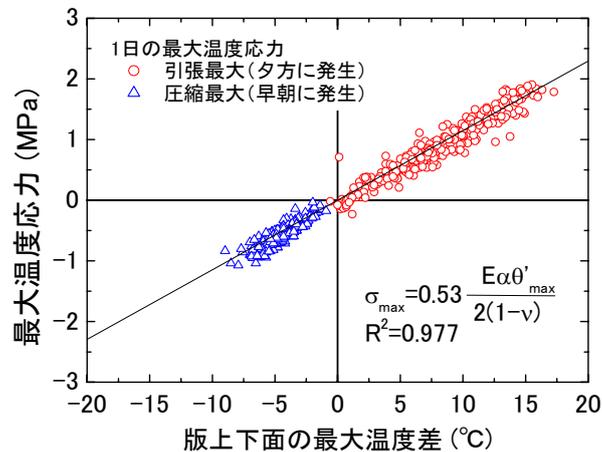


図-4 最大温度応力と版上下面最大温度差の関係

$$\text{版厚 } 42\text{cm の場合 } \sigma = 0.53 \frac{E\alpha\theta'}{2(1-\nu)} \quad (3)$$

(2)式，(3)式からわかるとおり，版厚が 42cm の空港コンクリート舗装の版中央部における温度応力は，岩間の温度応力式により算出したものよりも 25%程度小さいことがわかる．これは，図-2 に示したとおり，版厚が厚い場合，特に曲げ拘束応力が大きくなる午後では，内部拘束応力が圧縮側に大きくなることが原因で，引張曲げ拘束応力が低減されるためと考えられる．

3. 結論

空港コンクリート舗装のように版厚が厚い場合は，曲げ拘束応力に対して内部拘束応力が大きく，温度応力が低減する傾向がある．また，温度応力は版上下面温度差を説明変数とする一次式により精度良く推定可能である．

参考文献

- 1) U.S. Army : Rigid Airfield Pavement, Air Force, TM5-824-3, 1958.
- 2).Portland Cement Association : Design of Concrete Airport Pavements, 1973.
- 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.