

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

大成建設(株) 土木設計部 正会員 ○広重 敬嗣 下村 泰造 天野 喜勝

1. はじめに

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) 事業であり、エプロンコンクリート舗装は構造物の耐久性、補修の容易性等を考慮した空港フル対応型の疲労度設計を実施している。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、継続的な維持管理業務の一環として、コンクリート舗装版の温度・ひずみを計測している。

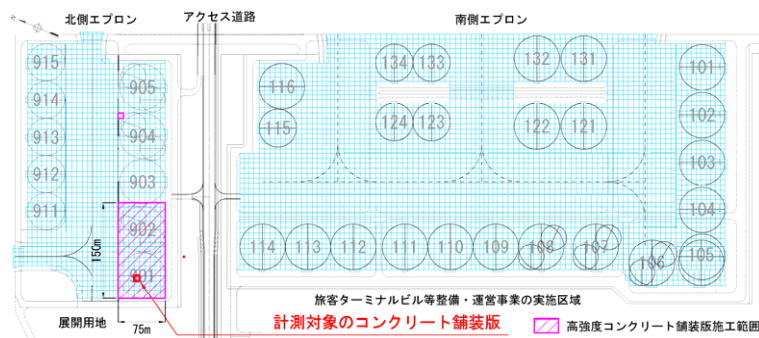


図1 コンクリート舗装版の施工範囲と計測位置図

ここで、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、コンクリート舗装版の温度変化に起因する温度応力を算出し、理論設計法に従い累積疲労度を算出する。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¹⁾が一般的に用いられてきた。それに対し、坪川ら^{2),3)}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。

本研究では、1年間を通じて計測した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、版縁部について得られた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。

2. 計測概要

コンクリート舗装版の計測位置を図 1 に示す。計測対象のコンクリート舗装版は、平面寸法 8.5m×8.5m、版厚 46cm であり、隣接する周囲のコンクリート舗装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。コンクリート舗装版の版中央部、版縁部には図 2 に示す配置によりひずみ計（測温機能付き）及び温度計を設置している。次に、計測対象としたコンクリート舗装版に関して、同配合にて事前に実施した室内試験結果を表 1 に示す。本研究では、当該コンクリート舗装版について、2009 年 5 月 26 日から 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。

3. 版中央部の温度応力特性

夏期のある一日について算出した、版中央部における版上下面温度差と曲げ拘束応力、内部拘束応力の日変動を図 3 に示す。図 3 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。次に、版中央部における 1 年間の計測より得られた、版上下面温度差の日最大値 θ' と、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の日最大値 σ の関係を図 4 に示す。図 4 より、版中央部における温度応力算定式は式 (1) のように整理され、温度応力の大きさを示す式中の比例係数は 0.49 となる。

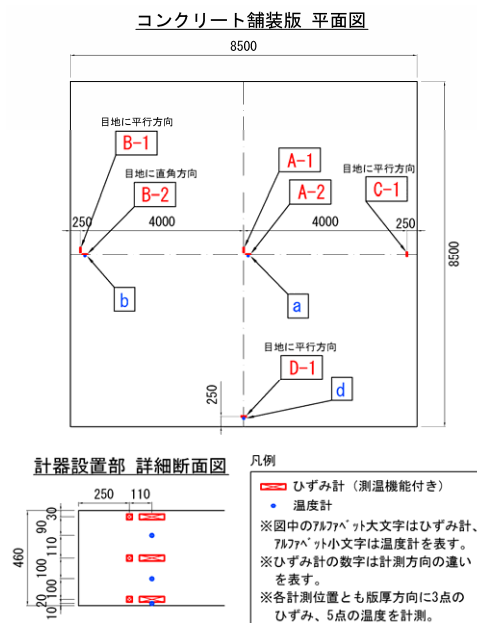


図2 コンクリート舗装版の計器配置図

表-1 コンクリートの室内試験結果

曲げ強度	6.7 N/mm ²
圧縮強度	59.5 N/mm ²
ヤング係数 E _c	39.9 kN/mm ²
ポアソン比 ν	0.22
線膨張係数 α	9.1 × 10 ⁻⁶ /°C

キーワード 空港コンクリート舗装, 温度応力, 疲労度設計

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株) 土木設計部 設計計画室 TEL03-5381-5420

$$\sigma = 0.49 \cdot \frac{\alpha \cdot E_c \cdot \theta'}{2(1-\nu)} \quad \dots (1)$$

この結果は、版厚 20cm 程度の道路コンクリート舗装版より得られた岩間による版中央部の温度応力算定式（比例係数 0.70）よりも 30 % 程度小さい。これは、版厚 $h = 0.46\text{m}$ とした場合の、坪川らによる版厚考慮型の温度応力算定式（式 (2)）と非常に良い一致を示すことから、版厚が大きいことにより、岩間式よりも内部拘束応力の非線形性が顕著になった結果であると考えられる。

$$\sigma = (-0.772h + 0.854) \cdot \frac{\alpha \cdot E_c \cdot \theta'}{2(1-\nu)} = 0.50 \cdot \frac{\alpha \cdot E_c \cdot \theta'}{2(1-\nu)} \quad \dots (2)$$

4. 版縁部（目地に平行方向）の温度応力特性

版中央部に対する整理と同様に、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、内部拘束応力の日変動を図 5 に、版上下面温度差の日最大値 θ' と温度応力の日最大値 σ の関係を図 6 に示す。図 6 の整理より、版縁部における温度応力算定式は、式 (3) のように整理され、比例係数は 0.28 となる。

$$\sigma = 0.28 \cdot \alpha \cdot E_c \cdot \theta' \quad \dots (3)$$

この結果は、岩間による版縁部の温度応力算定式（比例係数 0.35）よりも 15 % 程度小さく、版中央部において、岩間式より 30 % 程度小さい値が得られている結果と一致しない。そこで、版縁部の岩間の温度応力式は版中央部式と比較し、境界条件の違いから $1/(1-\nu)$ の項が除外されたものであると解釈し、版厚を考慮した版縁部の温度応力式の推定を行い、版中央部と版縁部とで結果が一致しない理由について検討を行った。坪川らによる版中央部における版厚考慮型の温度応力算定式から、版縁部における版厚考慮型の温度応力算定式を推定すると、式 (4) のように表される。ただし、式中において版厚は $h = 0.46\text{m}$ 、そり拘束係数は計測結果より $C_w = 1.01$ としている。

$$\sigma = (-0.772h + 0.854) \cdot \frac{C_w \cdot \alpha \cdot E_c \cdot \theta'}{2} = 0.25 \cdot \alpha \cdot E_c \cdot \theta' \quad \dots (4)$$

本研究の計測結果より推定された版縁部の温度応力式（比例係数 0.28）は、上記検討より推定した温度応力算定式（比例係数 0.25）に比べ 1 割程度大きい。このように、計測結果と版厚考慮型温度応力算定式が一致しない原因は、版厚が大きいコンクリート舗装版の版縁部においては、ダウエルバーによる拘束効果の影響が大きく表れていることが考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 版中央部について、本研究の計測結果より算出した温度応力は、既往の版厚考慮型の温度応力算定式と非常に良い一致を示し、実施工のコンクリート舗装版においても版厚考慮型の温度応力算定式の適用性が確認された。
- ・ 版縁部における温度応力は、版中央部に比べ版厚が厚いことによる温度応力の低減効果が約 1 割小さい。これは、隣接版との間に設置したダウエルバーによる拘束効果の影響であると考えられる。

また、紙面の都合上、詳細の検討内容は割愛したが、版縁部における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、版中央部により疲労度設計を実施しても問題がないことを確認している。

参考文献 1) 岩間：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. 2) 坪川・水上・江崎・八谷：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. 3) 坪川・水上・八谷・亀田：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.

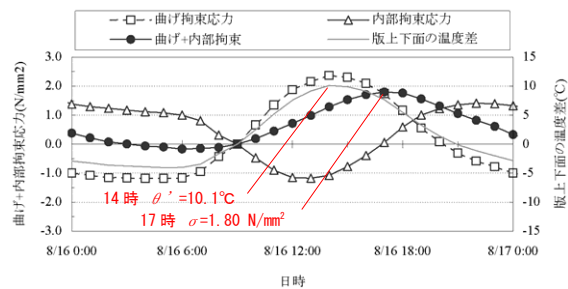


図 3 版中央部の温度応力の日変動

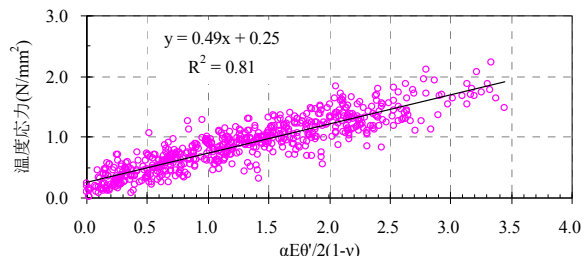


図 4 版中央部の版上下面温度差と温度応力の関係

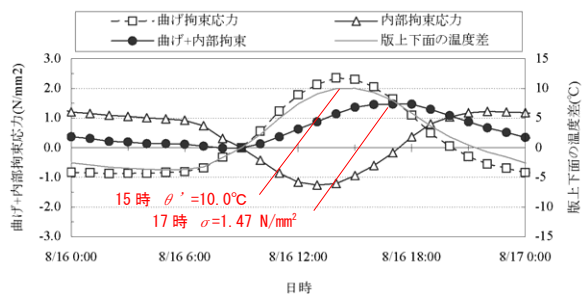


図 5 版縁部の温度応力の日変動

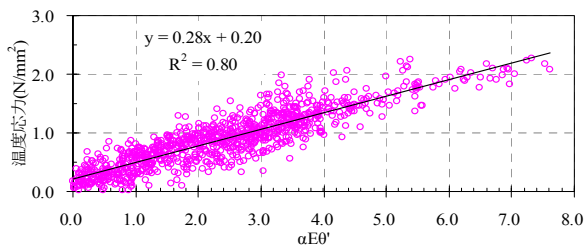


図 6 版縁部の版上下面温度差と温度応力の関係