

報 告

[2170] 軟弱地盤上の空港コンクリート舗装の構造特性試験

正会員○横田 弘 (運輸省第二港湾建設局)

塩崎正孝 (運輸省第二港湾建設局)

田中政典 (運輸省第二港湾建設局)

朝倉光夫 (運輸省第二港湾建設局)

1. はじめに

東京国際空港(羽田)では、空港機能の拡張と空港環境の改善を目的として、沖合展開事業が現在実施されている。事業は昭和59年に開始され、平成8年頃には新しい空港が名実ともに完成する。完成後の空港の平面計画を図-1に示す。事業は、3段階に分けて実施され、現在第二期工事のピークを迎えている。

本事業は、東京湾の廃棄物処理場跡地の不均一な超軟弱地盤上で進められており、きわめて地盤条件が悪い。このため、平成3年度に工事着手となる約100haの西側ターミナル地区エプロン舗装では、建設中および供用開始後の不同沈下の発生が避けられない。今回のエプロンの設計においては、不同沈下量をシミュレーションにより定量化し、これに対して構造上有利となる舗装種別の選定と発生応力の評価を行った。また、不同沈下発生後の勾配修正などの維持補修の方法の確実性についても検討した。今回は、これらを実証確認するため、現場において大規模な試験舗装を実施したので、この結果を報告する。

2. 舗装設計の考え方

エプロン供用後の地盤沈下や部分的な不同沈下が舗装構造に与える影響については、現行の設計要領[1]では考慮されていない。そこで、これらの不同沈下を定量的に推定し、舗装構造への影響を評価することを試みた。舗装構造の選定フローを図-2に示す。

2.1 不同沈下の定量化

不同沈下が空港舗装に及ぼす影響として問題となるのは、舗装構造の破損および空港機能を維持するために必要な基準勾配が満足されなくなることである。今回の検討では、空港建設現場で観測された沈下データを統計的に解析し、不同沈下シミュレーション[2]を適用して不同沈下量の推定を行った。この結果、当地区で発生する可能性のある最大の不同沈下は30mの区間で沈下量が14cmに達することがわかった。この不同沈下の状況を三次曲線とみなすと、想定される最大不同沈下量に対応する曲率半径は1,000m程度となる[3]。

2.2 コンクリート舗装

設計の考え方

現行設計法では、脚載荷時に版に発

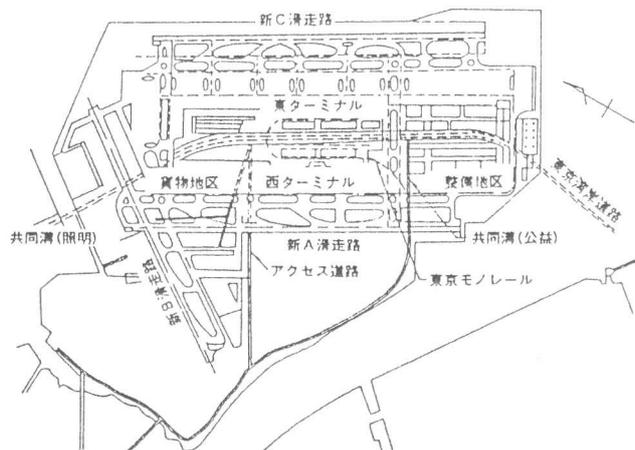


図-1 東京国際空港沖合展開事業の概要

生する応力をウェスターガードの中央載荷公式[4]により算定しているが、実際には脚荷重以外にも温度応力、繰返しによる疲労などについても考慮しなければならない。これらの影響は安全率の中に包括的に取り込まれていたが、今回の設計では、限界状態設計法の概念と「耐用期間中（供用

開始後10年間）の構造破壊に起因する補修が不要な断面」という考え方を取り入れた。

具体的には、供用後10年間に発生する不同沈下量を求め、各舗装版に発生する応力と耐荷力から版の破壊確率を算定し、この値が基準値以下となるように標準版厚を設定する。舗装版に発生する応力は不同沈下および航空機脚荷重を用いて算定する。舗装版の耐荷力は、温度応力、自重、クリープなどの影響を考慮し、コンクリートの許容曲げ強度を低減して求める。両者の値から単位面積当たりの発生ひびわれ長さ（クラック度）を算定し、クラック度の大きさから版の破壊確率を算定する。さらに、舗装構造を選定するにあたり、エプロンの諸条件、特にエプロン利

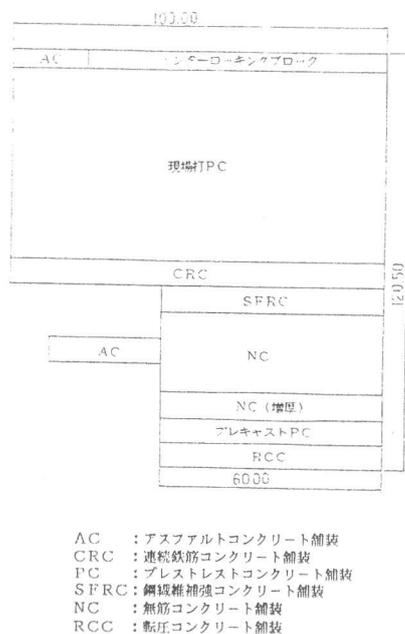


図-3 試験舗装の平面配置

- AC : アスファルトコンクリート舗装
- CRC : 連続鉄筋コンクリート舗装
- PC : プレストレストコンクリート舗装
- SFRC : 繊維補強コンクリート舗装
- NC : 無筋コンクリート舗装
- RCC : 転圧コンクリート舗装

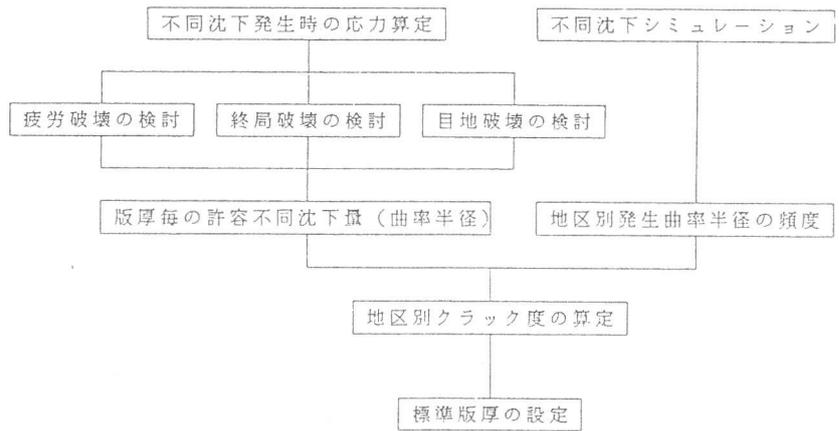


図-2 舗装設計のフロー

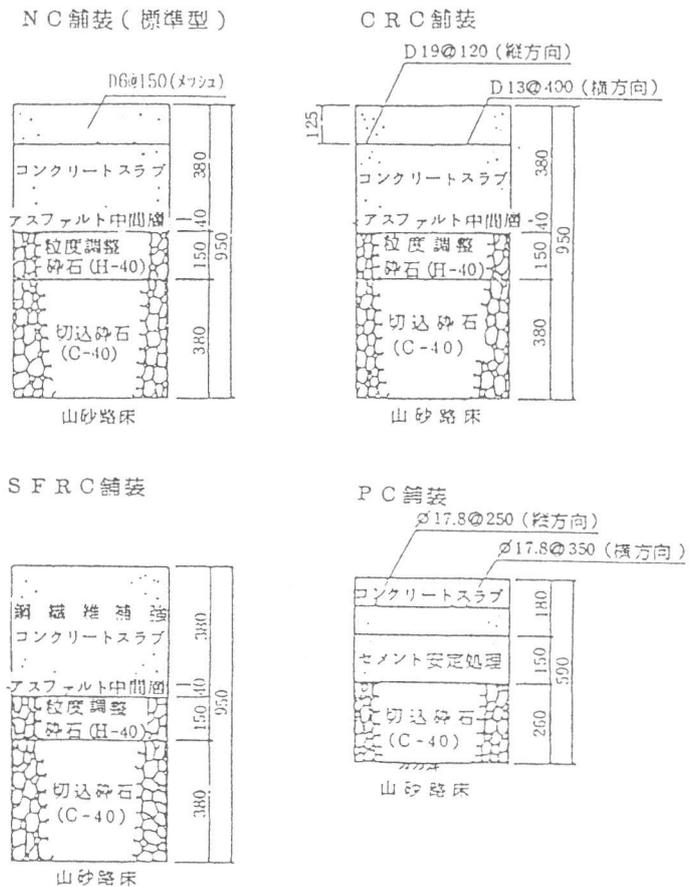


図-4 試験舗装の代表断面

表-1 舗装構造の安定性と維持補修

舗装構造	構造安定性と維持補修工法
N C	発生応力が基準強度に達するとひびわれが発生し、最終的に版が二分されて構造破壊に至る。目視による破壊防止は困難である。補修（勾配修正）はS F R C、R C Cなどを用いた薄層嵩上げによる。
S F R C	ひびわれ発生後も鋼繊維によるひびわれ拡大防止効果のために若干は構造的に耐えられるため、構造安定性は高く、目視による破壊防止は可能であると言える。補修はN Cと同様である。
C R C	収縮ひびわれの発生により版の打設方向の不陸に対しては十分に沈下に追従でき、構造安定性は高い。ただし、供用後比較的早期ではひびわれの発生が粗であるため、応力の集中により幅広いひびわれが発生し、破壊に至る可能性がある。また、版の打設方向に直角の方向の不陸に対しては、N Cと同程度の構造安定性であると考えられる。補修はN Cと同様である。
P C	構造安定性は高く、羽田沖展地域で発生する程度の沈下に対しては、構造的に耐えられると考えられる。補修はリフトアップ[5]による。

表-2 主要な試験項目

分類	試験項目	測定等の概要
構造特性試験	① 不同沈下試験	不同沈下による各種舗装版および目地部に生じるたわみ、応力を測定
	② 静的載荷試験1 (不同沈下対応)	沈下時に各舗装版の中央あるいは端部に載荷し、各舗装版および目地部に生じるたわみ、応力を測定
	③ 静的載荷試験2 (走行試験対応)	沈下時に原型走行車の走行後、荷重を載荷し、各舗装版および目地部に生じるたわみ、応力を測定
	④ 非破壊試験	F W Dを用いて舗装版のたわみを測定
維持補修試験	① 嵩上げ載荷試験	嵩上げコンクリートの種類(S F R C、R C C、ブロック)および嵩上げ厚さ(5cmおよび10cm)の相違による影響などの検討
	② P C版リフトアップ試験	リフトアップ時にジャッキ周辺の舗装版に生じるたわみ、応力などを測定、および複数回のリフトアップの可能性の検証

用頻度と補修の制約条件を考慮し、勾配修正に要する費用を考慮したライフサイクルコスト、補修に要する期間と確実性、版の構造の安定性などを総合的に評価する。

3. 試験舗装の概要

3.1 試験舗装体の構造

舗装構造を検討するに際しては、アスファルトと比較してわだち掘れが少ないコンクリート舗装を基本とした。試験舗装の平面配置および試験舗装体の構造の代表例を図-3および図-4にそれぞれ示す。今回試験を実施したコンクリート舗装は、N C舗装、P C舗装、C R C舗装およびS F R C舗装であり、各舗装種別ごとの特徴は表-1にまとめるとおりである。

3.2 試験項目

試験舗装で解決すべき課題は、不同沈下発生時における舗装版の構造安定性および維持補修方法の確立である。これらを解明するための主要試験項目を表-2に示す。

4. 試験結果と考察

4.1 不同沈下の発生状況

平成元年9月から不同沈下を発生させるためのプレロードを行った。N C舗装でのコンクリート打設時(平成元年7月)からの沈下の状況を図-5に示す。最終的には曲率半径5000m程度の不同沈下が発生した。当初は、2.1で示したように曲率半径1000m程度までの不同沈下を発生させる計画であったが、プレロード以前に圧密がかなり進行した結果、緩い条件下での試験とならざ

るを得なかった。コンクリート版と路盤との間の空隙は、明確には認められなかった。

PC舗装，CRC舗装およびSFRC舗装に関してもNC舗装とほぼ同様の結果が得られた。したがって以後の考察では，NC舗装での結果について主に述べる。

4.2 不同沈下発生時の版の挙動

不同沈下発生前，最終不同沈下状態（曲率半径約5000m程度）およびこれらの途中の2段階の合計4段階の異なる不同沈下状況下で載荷試験を行った。図-6に航空機荷重に相当する脚荷重載荷によりコンクリート版に生じたひずみ量を示す。沈下の進行に伴ってコンクリート版と路盤との間に空隙が生じた場合には，版のひずみが大きくなる。試験では，不同沈下が進行したにもかかわらず，脚荷重載荷による発生ひずみ量には大きな変化が見られなかった。しかし，不同沈下が大きくなり，試験の最終状態に近づくにつれて，ひずみ量は若干増加する傾向を示した。また，平板載荷によっても，図-7に示すように，これらとほぼ同様の結果が得られた。つまり，NC舗装は不同沈下にはほぼ追従して明確な空隙は発生せず，このことは水平傾斜計による測定からも確認された。

また，FWD（Falling Weight Deflectometer）試験結果より解析した路盤・路床の弾性係数およびコンクリート版の目地間の荷重伝達率は，不同沈下量にかかわらずほとんど一定であった。

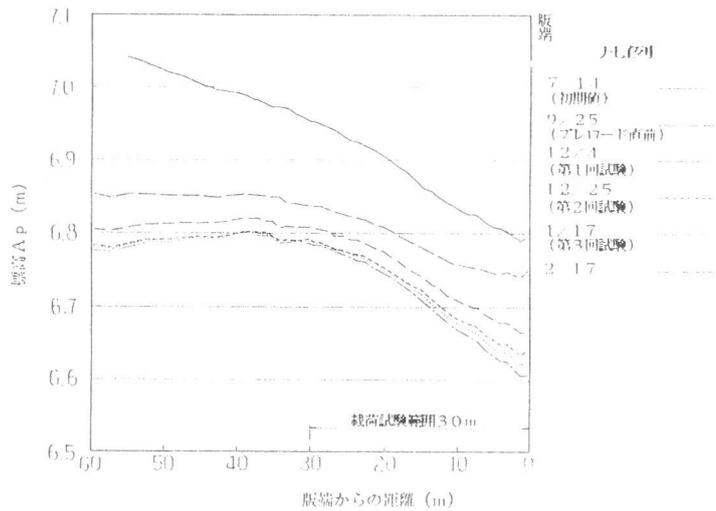


図-5 沈下量の変化（NC舗装）

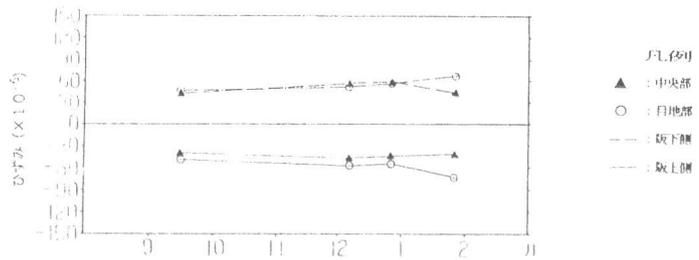


図-6 脚荷重載荷により版に発生するひずみ

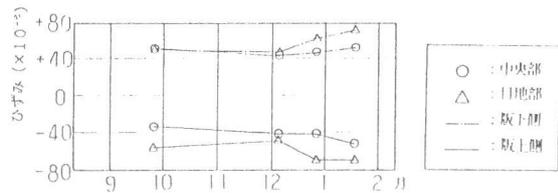


図-7 平板載荷により版に発生するひずみ

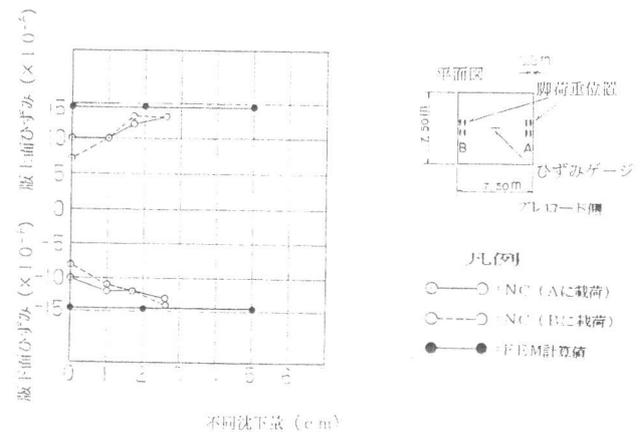


図-8 不同沈下による版中央のひずみ

脚荷重載荷によりNC舗装のコンクリート版に発生するひずみの評価をFEM解析により行った。解析は舗装構造をウインクラ地盤上にある平板にモデル化して実施し、目地部はせん断バネに置換した。解析結果と実測結果を図-8に示す。不同沈下量の小さい範囲ではあるが、両者のオーダーは一致した。

4.3 繰り返し(走行)試験

曲率半径が5000m程度の不同沈下状態において、走行回数0, 1000, 3000, 5000回時点で脚荷重載荷試験を行い、コンクリート版のひずみを測定した。この結果を図-9に示す。走行回数が増加してもコンクリート版に発生するひずみはほぼ一定となった。また、FWD試験から得られたコンクリート版の目地間の荷重伝達率もほとんど変化を示さなかった。すなわち、繰り返し載荷によってコンクリート版の構造特性が大きく変化することはなかった。

4.4 温度変化によるひずみ

コンクリート版の上部および下部での温度とひずみ量の測定結果を図-10に示す。版の上下部が同温度となる時点(9月30日午前10時)を基準とし、版の上部が最高温度を記録した午後2時までの変化量で比較した。版の上下部でのひずみ量の差は最大で 17.5×10^{-6} となった。一方、これに対応する温度差 7°C によって発生する自由膨張ひずみは、版の線膨張係数を $1 \times 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$ と仮定すると 70×10^{-6} となる。両者の差 52.5×10^{-6} が拘束されたひずみであると考えられる。つまり、約 9.2 kgf/cm^2 の曲げ応力が発生したことになる。設計では岩間の式[6]が用いられており、これによれば温度差 7°C に対する温度応力は約 8.1 kgf/cm^2 となる。岩間の式は、比較的版厚の小さい道路舗装などに適用されてきたが、空港舗装のように版厚の大きな場合でも適用可能であることが確認された。

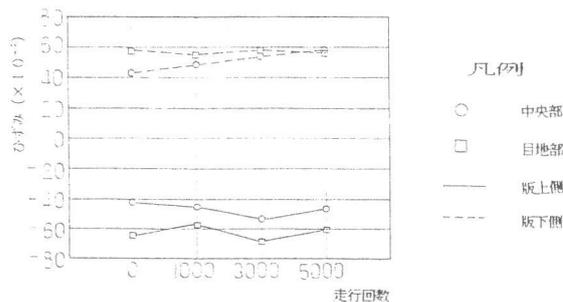


図-9 脚荷重載荷による版のひずみ

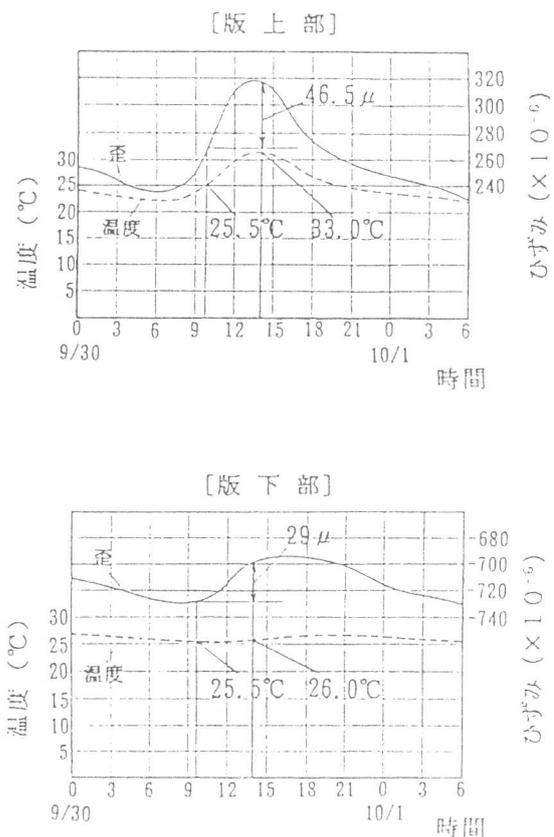
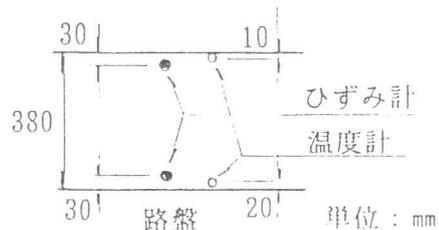


図-10 温度とひずみの日変化



4. 5 維持補修性能

薄層嵩上げを施したNC舗装について、コンクリート打設後から約1年間観測を実施した。その結果、表-2に示すいずれの嵩上げ条件下でもひびわれの発生

はなく、路面の状況は極めて良好であった。コンクリート版と嵩上げ材とのずれ変位の経時変化を図-11に示すが、ほぼ一定の値を示した。また、5000回の荷重走行試験を行った後もひびわれの発生は見られず、FWDによるたわみ量の測定結果もほとんど変化が見られなかった。

PC舗装のリフトアップによる補修を繰り返し実施した。この際、片面は付着力が大きく、他面は付着力が小さい特殊なシートを使用した。その結果、PC版と路盤との剥離は良好で、グラウトの注入も問題なく行えた。また、リフトアップ時に版に発生する応力は許容値内であった。現場でこのリフトアップを3回実施できた[5]。

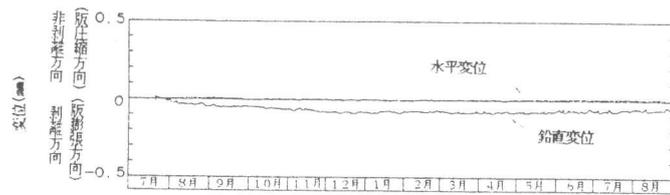


図-11 嵩上げ版変位の変化

5. 結 論

今回の報告は、現場での試験施工の一次解析のみにとどまったが、曲率半径5,000m程度の不同沈下に対する舗装体の挙動および維持補修工法に関して以下のことが明らかとなった。

- (1) PC舗装、CRC舗装のみならずNC舗装はいずれも地盤の不同沈下にはほぼ追従した。その際、空隙の発生は明確に認められなかった。
- (2) 繰り返し荷重が作用しても、舗装体の構造特性および舗装版目地間の荷重伝達特性に大きな変化は見られなかった。
- (3) 版の厚い空港コンクリート舗装の温度応力の算定においても、従来より道路舗装で用いられている岩間の式を適用することの妥当性が確認された。
- (4) コンクリート舗装の維持補修に、薄層嵩上げを行うことの可能性が実証された。また、PC舗装についても、複数回のリフトアップが可能であることが実証された。

本報告を取りまとめるに当たって、運輸省港湾技術研究所土質部八谷好高主任研究官のご助言とご協力を賜りましたことに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 運輸省航空局：空港コンクリート舗装構造設計要領，pp.18-26，1977
- 2) 奥村樹郎・土田 孝：土質定数のばらつきを考慮した不同沈下の推定，港湾技術研究所報告第20巻3号，pp.131-168，1981.9
- 3) 土田 孝・小野憲司・長尾 毅：不同沈下のシミュレーションとその空港舗装設計への適用，第23回土質工学研究発表会，pp.371-374，1988
- 4) Westergaard, H.M. : New Formulas for Stresses in Concrete Pavements of Airfields, Transactions of ASCE, Vol.113, pp.425-444, 1948
- 5) 八谷好高，上中正志，早田修一，森 好生：PC舗装のリフトアップ工法の現場実証試験，港湾技研資料No.689，19p.，1990.12
- 6) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，pp.221-224，1984.2