

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

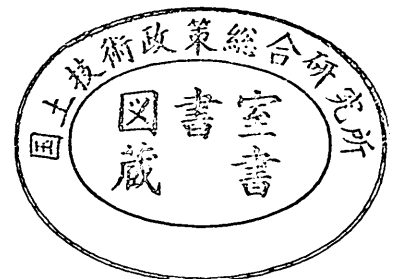
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 22

NO. 4

DEC. 1983

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I)

第22巻第4号 (Vol. 22, No. 4), 1983年12月 (Dec. 1983)

目 次 (CONTENTS)

1. 直立壁に作用する衝撃波圧の発生機構に関する一考察
.....高橋重雄・谷本勝利・鈴木諭司..... 3
(Generation Mechanism of Impulsive Pressure by Breaking Wave on a
Vertical Wall
.....Shigeo TAKAHASHI, Katsutoshi TANIMOTO and Satoshi SUZUMURA)
2. 矢板壁の控え直杭に関する実験的研究
.....高橋邦夫・荘司喜博.....33
(Experimental Study on Vertical Anchor Piles of Sheet Pile Wall
.....Kunio TAKAHASHI and Yoshihiro SHOJI)
3. 大型三軸圧縮試験による捨石材のせん断特性に関する考察
.....荘司喜博.....59
(Study on Shearing Properties of Rubbles with Large Scale Triaxial
Compression Test
.....Yoshihiro SHOJI)
4. コンクリート舗装上のアスファルトかさ上げの荷重分散効果とかさ上げ厚算定法
.....八谷好高・福手 勤・佐藤勝久・林 洋介..... 121
(Structural Evaluation of Asphalt Concrete Overlays on Concrete
Pavements and Calculation Methods of Overlay Thicknesses
.....Yoshitaka HACHIYA, Tsutomu FUKUTE, Katsuhisa SATO and Yosuke HAYASHI)
5. 深層混合処理工法による格子式改良地盤の地震時挙動
.....風間基樹・稲富隆昌・今村俊博..... 141
(Observation and Analysis of Seismic Response of Grid Type Improved
Ground by Deep Mixing Method
.....Motoki KAZAMA, Takamasa INATOMI and Toshihiro IMAMURA)
6. 係留船舶の動揺計算法とその評価
.....上田 茂・白石 悟..... 181
(Method and its Evaluation for Computation of Moored Ship's Motions
.....Shigeru UEDA and Satoru SHIRAISHI)

4. コンクリート舗装上のアスファルトかさ上げの荷重分散効果とかさ上げ厚算定法

八 谷 好 高*
福 手 勤**
佐 藤 勝 久***
林 洋 介*

要 旨

コンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ舗装の荷重分散効果を試験舗装に対する載荷試験により評価した。その結果に基づいて、既設コンクリート版がまだ十分版機能を有す場合のアスファルトかさ上げの厚さ算定法を示した。主要な結論を以下に示す。

- (1) かさ上げ舗装のたわみやコンクリート版のひずみは、かさ上げ厚の増加につれて減少する。このたわみ、ひずみの大きさは、縁部>目地部>版中央部となっており、既設コンクリート舗装の目地がかさ上げ後の舗装にも影響を及ぼしていることが認められた。
- (2) コンクリート版の目地部のひずみは、かさ上げ後においても荷重伝達率の小さなものほど大きな値を呈している。荷重伝達率が60%以下ではコンクリート版のひずみにはあまり変化がみられない。
- (3) 繰返し載荷試験結果は、アスファルトコンクリートのスティフネスを7,000kgf/cm²とすれば多層弾性理論により説明できる。また、この多層弾性理論によれば、スティフネスがある値以上になると、かさ上げ舗装は複合版としての挙動を示すようになることがわかった。
- (4) 既設コンクリート版がまだ十分版機能を有す場合のアスファルトかさ上げの厚さ算定法として、多層弾性理論によるものと、複合版としての有限要素解析によるものを示した。両者には、既設コンクリート舗装の目地の荷重伝達機能の影響も取込んだ。これらによれば、我国の現行の設計法によるものよりも小さなかさ上げ厚となる。

* 土質部 滑走路研究室

** 前土質部 主任研究官 (空港舗装構造担当)

*** 土質部 滑走路研究室長

4. Structural Evaluation of Asphalt Concrete Overlays on Concrete Pavements and Calculation Methods of Overlay Thicknesses

Yoshitaka HACHIYA*

Tsutomu FUKUTE**

Katsuhisa SATO***

Yosuke HAYASHI*

Synopsis

A structural capacity of asphalt concrete overlays on concrete pavements has been evaluated by loading tests on the test pavements. Concrete pavements, which have four types of joints, have been overlaid by asphalt concretes and then two types of loading tests have been carried out. Based on their results, two calculation methods of thicknesses of asphalt concrete overlays on concrete pavements, of which slabs can fulfill their function as slabs, have been developed. One is by multi-layered elastic theory, and another is by finite element method as composite pavement. Both take into consideration the effect of efficiency of load transfer of joint in existing concrete slabs (E_{ff}) to overlay thicknesses. As a result, the following conclusions were obtained.

- (1) Deflections of overlay pavements and strains in concrete slabs decrease with increase of overlay thickness. Moreover, E_{ff} affects behaviors of overlay pavements, so the deflections and strains vary with the positions in a slab. That is, in the order of decreasing they are both as follows; at edge>at joints>at interior.
- (2) The smaller E_{ff} the joint has, the larger the strains at the joints in concrete slabs in overlay pavement become. The variation of the strains is markable within rather larger E_{ff} , but under 60% of E_{ff} it is much smaller.
- (3) The strains in asphalt concrete layer and concrete slab in repetitive loading tests are in good agreement with multi-layered elastic theory using 7,000kgf/cm² as a stiffness of asphalt concrete layer. Using this theory, it appears that in the case of stiffness of asphalt concrete beyond a certain value, asphalt concrete overlay with existing concrete slab can be treated as composite pavement.
- (4) Overlay thicknesses by proposed calculation methods are extraordinarily thinner compared with those by the present method in Japan.

*Member of Runways Laboratory, Soils Division

**Former Senior Research Engineer, Soils Division

***Chief of Runways Laboratory, Soils Division

目 次

要 旨	121
1. ま え が き	125
2. 試験舗装および試験結果の考察	125
2.1 試験舗装の製作と載荷試験	125
2.2 試験結果の考察	127
3. コンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ厚算定法	130
3.1 概 説	130
3.2 多層弾性理論によるかさ上げ厚算定法	131
3.3 複合版舗装としての有限要素解析によるかさ上げ厚算定法	134
3.4 既存のかさ上げ厚設計法との比較	136
4. 結 論	139
5. あとがき	139
参考文献	139

1. まえがき

近年の航空需要の増大は、航空機の大型化、運行回数の増加を招いている。それに対処するために、地方空港においては滑走路の延長が図られている。それと同時に、空港に乗り入れる航空機の大型化は必然的に舗装厚の増加に結びつき、このような場合にはかさ上げにより舗装厚を増やすことが一般的である。

舗装にはコンクリート舗装とアスファルト舗装の2種類があるが、両者の設計の考え方は大幅に異なっている。コンクリート舗装では荷重が載荷されることによりその表層であるコンクリート版下面に生ずる曲げ引張応力が許容値を上回らないようにコンクリート版厚を決定するもの、すなわち、コンクリート版の版作用により荷重を支持しようとするものである。これに対してアスファルト舗装では、舗装面に載荷される荷重を表・基層および路盤で分散させることにより路床に伝播する荷重応力が許容値以下に減少するように舗装厚を設計するものである。そのため、一般的には、路床強度、対象荷重等が同じ場合にはアスファルト舗装の方が舗装厚が大きくなる。

コンクリート舗装上のコンクリートによるかさ上げやアスファルト舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げは、既設舗装の表層と同一の材料によりかさ上げをする場合であり、かさ上げ厚の設計にも既設舗装を設計した時と同一の方法を踏襲すればよい。また、アスファルト舗装上のコンクリートによるかさ上げも、既設舗装面を路盤面とみなすことによりコンクリート舗装の設計法が適用できる。これらに対して、コンクリート舗装上にアスファルトコンクリートによりかさ上げする場合の設計の考え方には、既設コンクリート版の状態に応じて2通りがあるものと思われる。すなわち、クラックなどのために既設コンクリート版に版としての作用が期待できない場合には、既設版を路盤の一部とみなしてアスファルト舗装の設計法を適用し、一方、既設コンクリート版が版として十分に機能できる場合には、コンクリート版に生ずる曲げ引張応力がかさ上げにより減少することに着目してコンクリート舗装として設計するものである。

コンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げの設計法として、我国の空港舗装の場合には、既設コンクリート版の状態によらず前者、すなわちコンクリート版を路盤の一部とみなしてかさ上げ厚を決定するものを採用している¹⁾。これに対し、米国のFAA (Federal Aviation Administration)の基準²⁾では、既設

コンクリート版の状態によらず、基本的には後者の方法、すなわちかさ上げによるコンクリート版の曲げ引張応力の減少に着目した設計法を採用している。このように両者の設計法には大幅な違いがみられるが、前述のように路床強度が同一の場合はアスファルト舗装の方がコンクリート舗装よりも大きな舗装厚を必要とするために、コンクリート版が健全な場合にはかさ上げによる版の曲げ引張応力の減少に着目した設計法が合理的であると考えられる。

また、空港コンクリート舗装は多数の正方形あるいは長方形のコンクリート版が何らかの荷重伝達装置によって結合されたものであり、目地の荷重伝達機能に応じて載荷によりコンクリート版に生ずる曲げ引張応力も変化する事がわかっている³⁾。したがって、合理的なかさ上げ厚設計法とするためには、目地の荷重伝達機能を考慮に入れる必要があることになる。

本報告はまだ十分に版機能を果たすことのできるコンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げにおいて、かさ上げ層の果たす荷重分散効果を明らかにするとともに、このようなかさ上げを実施する場合の設計の考え方について考察したものであり、コンクリート舗装の目地の荷重伝達機能の違いが所要かさ上げ厚に及ぼす影響についても言及した。その手法は、試験舗装を製作して実施した載荷試験結果の解析ならびに理論解析である。2.では載荷試験結果について考察し、3.ではかさ上げによるコンクリート版の応力の減少に着目した理論解析により合理的なかさ上げ厚算定法について述べている。

2. 試験舗装および試験結果の考察

本章は、コンクリート舗装上にアスファルトコンクリートによりかさ上げた舗装の挙動を実験的に明らかにする目的で実施した試験舗装の製作ならびに載荷試験と試験結果について述べたものである。2.1では試験舗装と載荷試験について記し、2.2では載荷試験の結果について考察を加えた。

2.1 試験舗装の製作と載荷試験

試験舗装は当研究所の原型載荷実験槽に製作された。図-1に示すように路盤支持力係数 K_{11} が平均 8.8kgf/cm^3 である粒度調整碎石路盤上に $4.25\text{m} \times 4.25\text{m} \times 27\text{cm}$ のコンクリート版を4枚打設した。このコンクリート舗装の4箇所の目地はのこみぞ目地、かぎ型目地および2種類のスリッパ目地(スリッパの直径 32mm , 38mm)の4種類であり(図-2)、各目地の荷重伝達率に関する試験³⁾を実施した後、図-3に示すようにアスファ

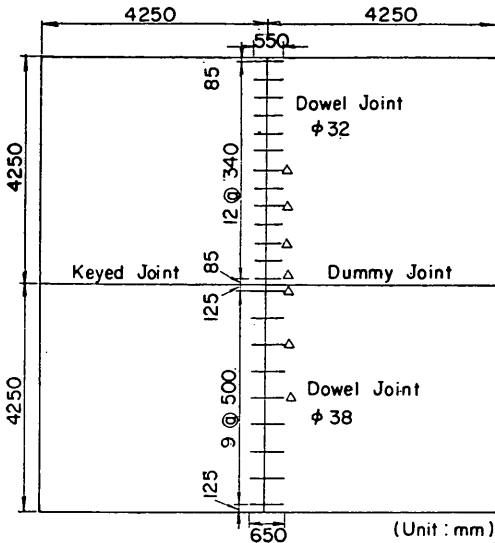


図-1 試験舗装平面図

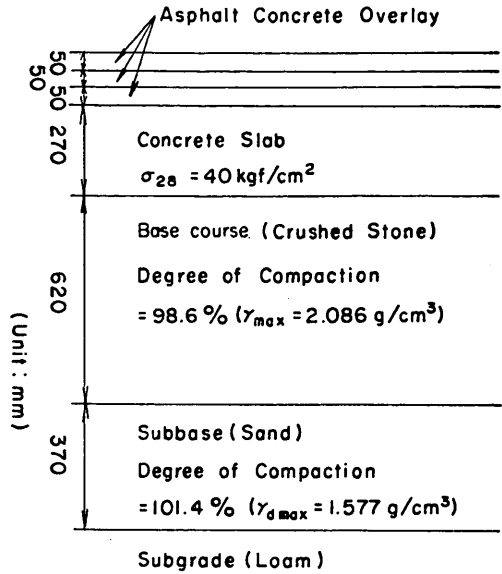


図-3 試験舗装断面図

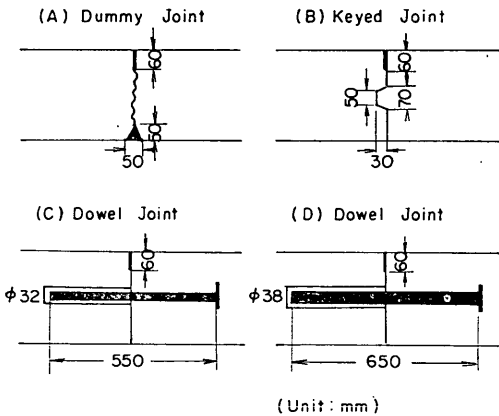


図-2 目地構造

ルトコンクリートによるかさ上げを実施して載荷試験を行った。

アスファルトコンクリートによるかさ上げは5 cmずつ3回実施し、そのたびごとに、すなわち5, 10, 15 cm厚のかさ上げ舗装上で載荷試験を実施した。かさ上げ層は上下層の付着を確保するためにアスファルト乳剤を散布した上で舗設された。このかさ上げに使用したアスファルトコンクリートの材料特性を表-1に示す。

コンクリート版の4箇所目地の目地幅を、のみぞ目地、かぎ型目地、φ32スリップバー目地、φ38スリップバー目地それぞれにつき、2.84, 2.07, 19.45, 19.15

表-1 アスファルトコンクリートの材料特性

	1層め	2層め	3層め
アスファルト量 (%)	5.61	5.52	5.54
粒 度 (%)	20mm	100	100
	13	98.2	98.0
	5	64.4	63.8
	2.5	43.8	42.9
	0.6	26.6	25.8
	0.3	18.0	18.6
	0.15	9.8	10.8
	0.074	5.6	6.1
安定度 (kgf)	← 1,075 →		
フロー値 (1/100 cm)	← 30~31 →		
空 げ 率 (%)	← 3~3.3 →		
飽 和 度 (%)	← 80~82 →		
舗 設 厚 (mm)	53.3	49.9	51.5

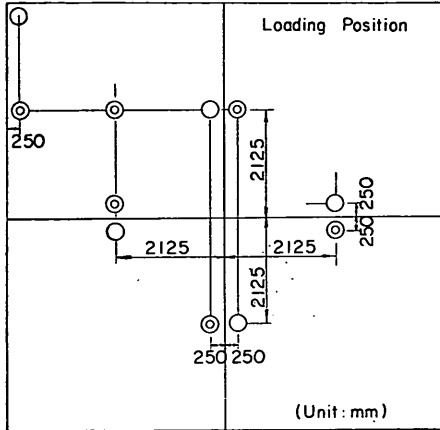
mmとしてかさ上げを実施した。式(1)で定義される各目地の荷重伝達率 E_{JJ} は、それぞれ、64, 37, 81, 74%であった。

$$E_{JJ} = \frac{d_2}{(d_1 + d_2)/2} \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここに、 d_1 , d_2 はそれぞれ目地をはさんで載荷側、非載荷側のコンクリート版のたわみである。

載荷試験としては、静的載荷試験と繰返し載荷試験の2種類を実施した。静的載荷試験では、直径40cmの鋼

製の板の下に厚さ1cmの硬質ゴム板を敷いて舗装に最大16tfの荷重を加えた。これをかさ上げ厚5, 10, 15cmの時点で実施した。繰返し載荷試験では、直径45cmの硬質ゴム板を介して舗装に荷重を加えた。これはかさ上げ厚が15cmの時に実施し、30tfの荷重（緑部では15tf）を周期2秒で10,000回載荷した。これらの試験位置を図-4に示す。



○ : Static Loading Test
 ⊙ : Static and Repetitive Loading Tests

図-4 載荷試験位置

載荷試験時の舗装の挙動を観測するために種々の計器を舗装に設置したが、コンクリート版の上、下面には埋込み型棒状ひずみ計を設置した。また、アスファルトコンクリート層のひずみを計測するために、5cmのかさ上げが実施されるたびにその表面にひずみゲージを貼付けた。さらに、スリッパーにもひずみゲージを貼付けてその挙動を観察した。

2.2 試験結果の考察

2.1で述べたように載荷試験として静的載荷試験と繰返し載荷試験の2種類を実施したが、ここではまず静的載荷試験の結果について述べ、次に繰返し載荷試験の結果を記すことにする。

静的載荷試験の結果としては、舗装のたわみ、ひずみ、目地の荷重伝達率ならびにスリッパーのひずみに注目した。図-5にはかさ上げ厚が舗装の最大たわみに及ぼす影響を示してあるが、版中央部、縁部、隅角部ともにかさ上げ厚の増加にともなうたわみが減少することがわかる。また、コンクリート舗装の目地のたわみに及ぼすかさ上げ厚の影響を調べたものが図-6であるが、どの目地のたわみも縁部と版中央部におけるたわみの

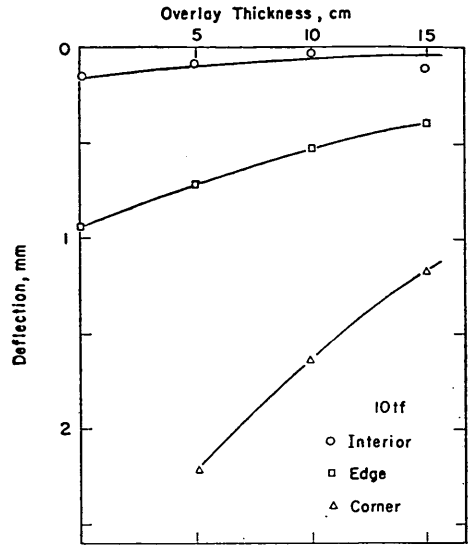


図-5 かさ上げ厚と最大たわみの関係

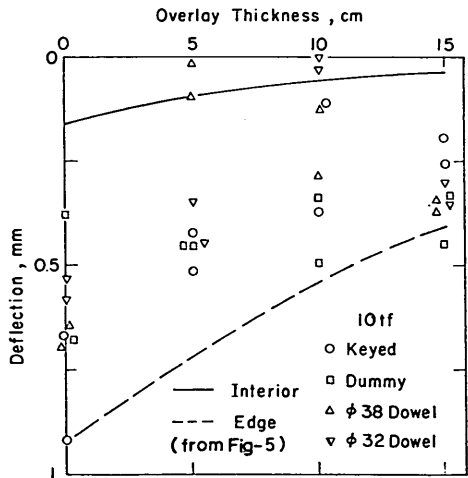


図-6 かさ上げ厚と最大たわみの関係（目地部）

中間に位置することが認められ、試験位置によらずかさ上げによって舗装のたわみが減少することがわかる。

次にかさ上げ厚がコンクリート版の最大ひずみに及ぼす影響をみよう。図-7は版中央部、縁部、隅角部の最大ひずみを、また図-8は目地部における最大ひずみ（目地に沿った方向）を示しているが、前述のたわみと同様にコンクリート版のひずみに関してもかさ上げの効果が認められ、かさ上げ厚の増加につれてひずみが減少していくことがわかる。

かさ上げする前のコンクリート舗装の目地の荷重伝達

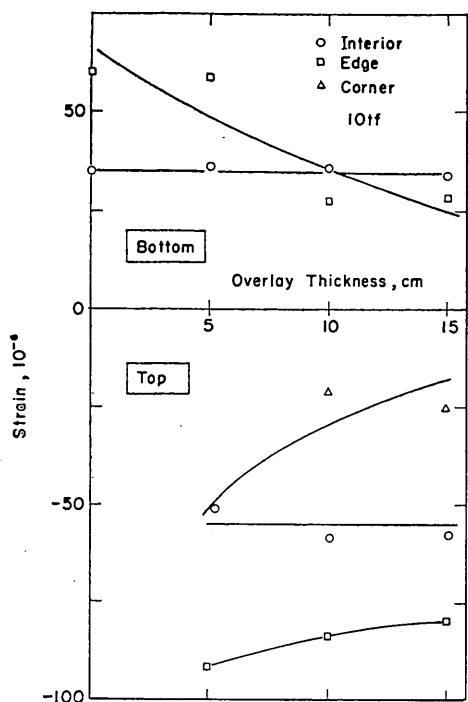


図-7 かさ上げ厚とコンクリート版の最大ひずみの関係

機能に関する試験から得られたこと、すなわち目地部におけるたわみやひずみは目地の荷重伝達機能により変化する、荷重伝達機能の劣るものほどたわみやひずみが大きな値を示すこと²⁾は、かさ上げした後の舗装についてもいえることが図-5~8からわかる。

かさ上げ厚の増加によりコンクリート版表面の最大ひずみが減少していく様子も載荷試験の位置別に示したものが、図-9である。この図では横軸として既設コンクリート舗装の目地部におけるかさ上げ前の荷重伝達率をとっている(版中央部、縁部の荷重伝達率はそれぞれ100, 0%となる)。この図から、かさ上げ後のコンクリート版のひずみも、かさ上げ前のコンクリート舗装の目地の荷重伝達率の影響を受けることが明らかである。さらに、目地の荷重伝達率が60%程度以下では、コンクリート版のひずみがその違いによってほとんど変化しないことがわかる。これは後述の計算結果からも認められることである。以上のように既設コンクリート舗装の目地の荷重伝達率によってコンクリート版に生ずるひずみも変化することがかさ上げした後の舗装についても認められたことから、かさ上げ厚の設計に際しては、この点を考慮に入れなければならないものと思われる。

既設コンクリート舗装自体の目地の荷重伝達率は本質

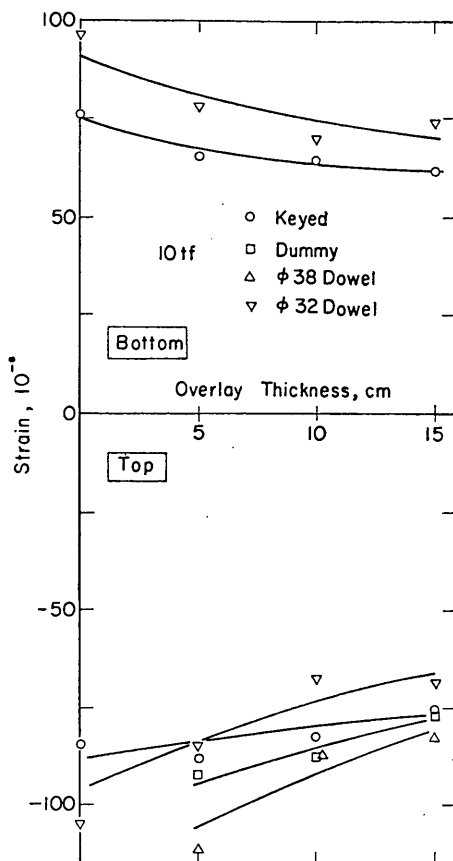


図-8 かさ上げ厚とコンクリート版の最大ひずみの関係(目地部)

的にかさ上げによっては変化しないが、かさ上げ層を含めた舗装全体としてみると後述のように式(1)で定義される荷重伝達率が増加する。そこでこれを見かけの荷重伝達率と呼び、これとかさ上げ厚との関係を示したのが図-10である。かさ上げにともなって各目地部の見かけの荷重伝達率が増加していくことは、図-6, 8に示したたわみやひずみの関係から推察されるとおりである。またかさ上げ前は37~81%と異なっていたコンクリート舗装の目地の荷重伝達率も、かさ上げされることによって各目地部の見かけの荷重伝達率における差が小さくなっていく傾向がみられる。これは、荷重がアスファルトコンクリートのかさ上げ層で分散され、その層を通して載荷されない方の版にも荷重が伝達されるためであろう。このようにかさ上げによって各目地部における見かけの荷重伝達率が増加することは、載荷重によって生ずる目地部の段差が減少することを意味し、ひいてはリフレクションクラックが発生しにくくなることを示唆しているも

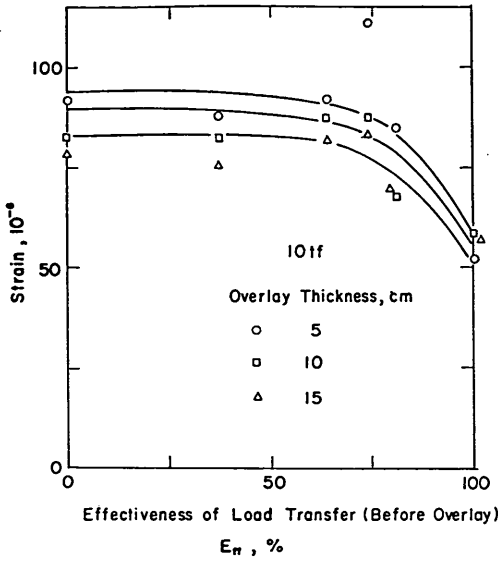


図-9 荷重伝達率がコンクリート版の最大ひずみに及ぼす影響

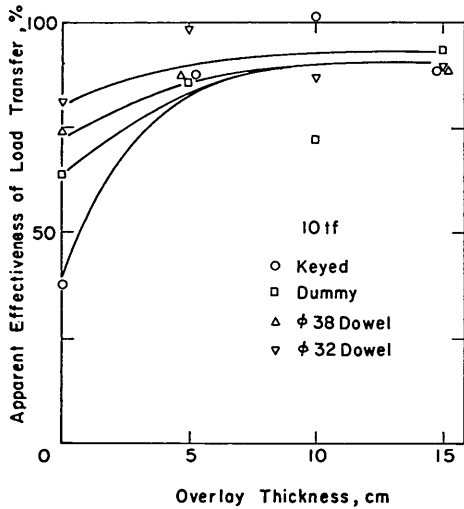
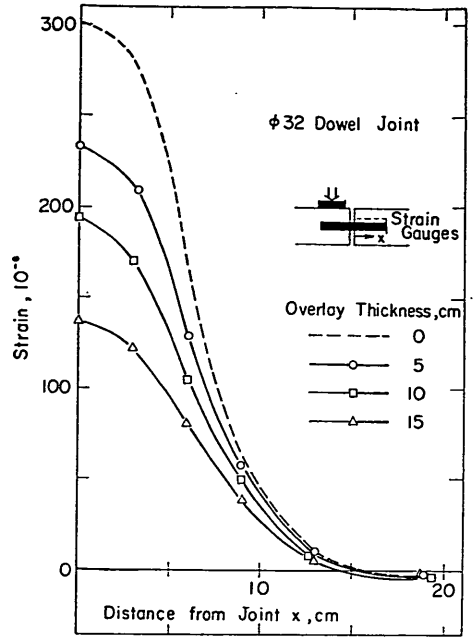


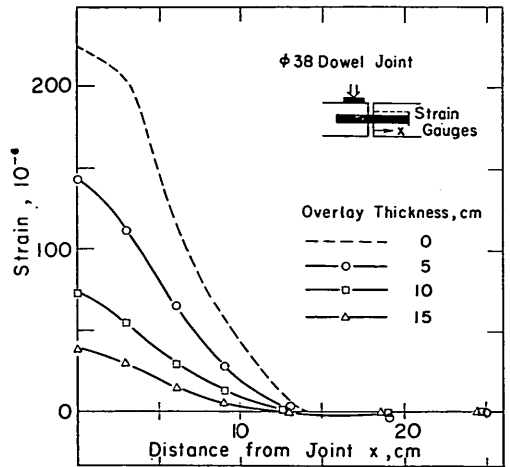
図-10 かさ上げ厚と見かけの荷重伝達率の関係

のと思われる。

次に、 $\phi 32$ 、 $\phi 38$ スリップバー目地部における載荷試験で得られたスリップバーのひずみ分布を図-11に示す。両目地部ともかさ上げ厚の増加につれてスリップバーのひずみが小さくなっていることがわかる。かさ上げ厚が15cmの時のものをかさ上げ前のものと比較すると、 $\phi 32$ 、 $\phi 38$ スリップバー目地のそれぞれで最大ひずみが約



(a) $\phi 32$ スリップバー

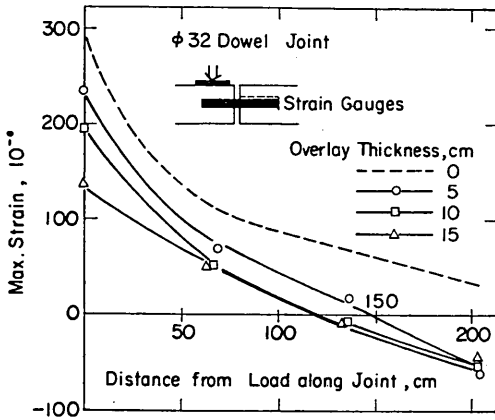


(b) $\phi 38$ スリップバー

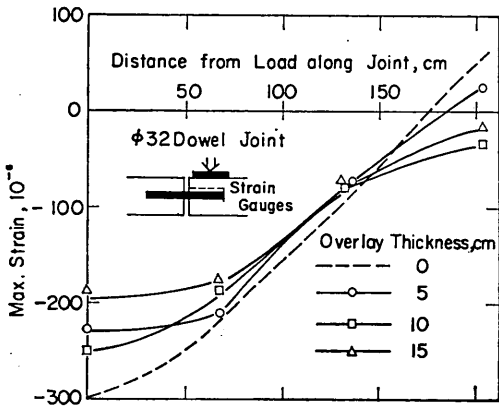
図-11 スリップバーのひずみ分布

50、20%となっているが、これもまた、かさ上げ層によって荷重が非載荷側の版へかなり伝達されていることを示しているものと思われる。

また、図-12は $\phi 32$ スリップバー目地におけるスリップバーの最大ひずみを目地に沿った方向について示したものである。これから、かさ上げをすることによって目地に沿った方向のどの位置においてもスリップバーのひず



(a) 非載荷側の版のスリッパ



(b) 載荷側の版のスリッパ

図-12 スリッパの最大ひずみ分布

みが減少することがわかり、かさ上げ舗装ではかさ上げ層が荷重伝達に大きく寄与していることがスリッパのひずみからも確認された。

繰返し載荷試験の結果として図-13に繰返し載荷試験で得られたアスファルトコンクリート層とコンクリート版の弾性ひずみを示した。これに用いた値は載荷回数が100, 300回の時点のもの平均値とした。これから中央部載荷のものが最も小さく、縁部載荷のものが最大となっていることがわかる。(ただし縁部載荷の場合は荷重が15tfと他のものの1/2となっているので、ここでは実測値を2倍してプロットしてある)。また、目地部のものは両者の中間に位置していることもわかり、静的載荷試験で得られたものと同じ傾向である。

3. コンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ厚算定法

3.1 概 説

コンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ厚の設計の考え方には、1.で述べたように2種類があり、我国の空港舗装設計法は既設コンクリート舗装がまだ十分に版として機能する場合でも版とは考えないでアスファルト舗装の一部とみなしてかさ上げ厚を算定するものである。本章では、既設コンクリート版が版としての機能を果たすことのできる場合にアスファルトコンクリートを用いてかさ上げをする際のより合理的なかさ上げ厚算定法として、かさ上げによるコンクリート版の曲げ引張応力の減少に着目したものを示すことにする。

我国の空港コンクリート舗装の設計法は無限大の広さ

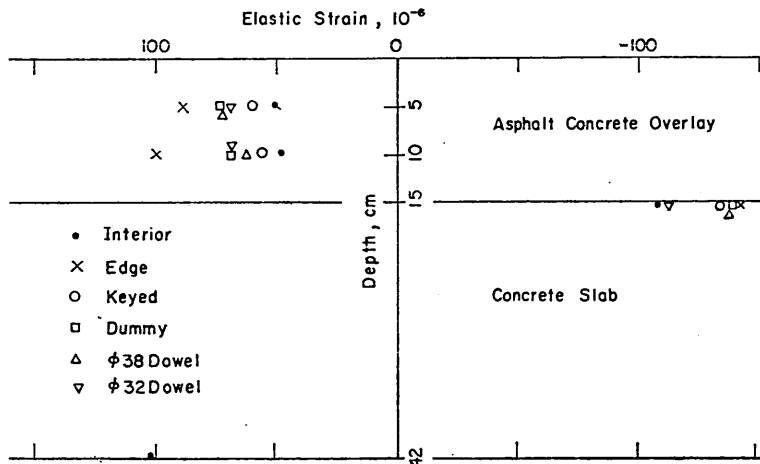


図-13 舗装断面内のひずみ分布

をもつコンクリート版に荷重が載荷された場合に対する中央部載荷公式に基づいているが、コンクリート舗装には必ず目地が存在し、しかもこの目地が開くにつれてコンクリート版に発生する応力が増加するため、設計で考慮した値を上回る応力が目地部で発生することになり、規定の安全率を確保することが困難となることが明らかにされた³⁾。このことは今回実施したコンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ舗装に関する実験でも認められ、2.で述べたようにコンクリート版に発生するひずみの大きさは縁部>目地部>中央部となっており、目地部ではやはり中央部よりも大きなひずみが発生することがわかった。

既設コンクリート版が版として機能することが十分に期待できる場合には、図-9に示したようにかさ上げの効果を既設コンクリート版の応力(ひずみ)の減少として捕えることが可能となる。この場合、舗装構造を理論的に解析する方法としては、以下の2通りが考えられる。

- ① 多層弾性理論の適用
- ② 複合版舗装(Composite Pavement)と考えるの有限要素解析の適用

①の多層弾性理論を適用する場合の問題点としては、この理論が舗装各層は水平方向に無限広さであるという状態を仮定している点である。このためにコンクリート舗装の設計法として多層弾性理論を用いている例は少ない。したがってこの方法によりかさ上げ舗装を解析するためには、何らかの手段によって既設コンクリート舗装の目地の荷重伝達機能を計算に取込む必要があるが、ここでは目地の荷重伝達率に応じてコンクリート版の弾性係数が見かけ上減少するものとしてそれを捕えた。また、この方法によれば、②の有限要素法では算定できない舗装内部のひずみ分布が把握できるという利点があり³⁾、今回の試験結果の解析にはこれを使用した。

②の複合版舗装と考える場合は、まず上下層の弾性係数の違いを上下層の部材幅の違いとみなして中立軸に関する断面2次モーメントを計算し、これと同一の断面2次モーメントとなるようにコンクリート版としての換算厚を求める。そして、これを用いて目地の荷重伝達率を考慮できる有限要素法によって荷重による曲げモーメントを算出して、コンクリート版のひずみを計算することによりかさ上げ舗装の解析をするものである。

上述の基本的な考え方に基づき、3.2では多層弾性理論によるかさ上げ厚算定法を示し、3.3では複合版の有限要素解析によるものについて述べる。さらに、3.4では、これらの方法によるものと、我国の現行法によるものならびにFAAの方法によるものとの比較といったこ

とについて検討する。

3.2 多層弾性理論によるかさ上げ厚算定法

前述のように多層弾性理論は舗装各層が水平方向に無限大の広がりをもつとの仮定に基づいているが、実際のコンクリート舗装は目地によって区切られており、その目地の荷重伝達機能に応じて版に発生する応力が変化することがわかっている。ここでは、目地の荷重伝達機能を見かけ上コンクリート版の弾性係数が減少するものとして計算に取入れることにする。

そこで、既設コンクリート版の目地の荷重伝達率と多層弾性理論で用いるコンクリート版の見かけの弾性係数とを結びつける必要がある。そのためにまず、今回試験を実施したコンクリート舗装を有限要素解析した結果から目地の荷重伝達率とコンクリート版に発生する最大ひずみの関係を求める。次にコンクリート版の弾性係数を種々に変えて Westergaard の中央載荷公式⁴⁾あるいは有限要素解析による計算を実行して版中央部に荷重が載荷された場合に発生するコンクリート版の最大ひずみを算出し、コンクリート版の弾性係数と最大ひずみの関係を求める。そして両者を組み合わせることによって、すなわちコンクリート版のひずみを媒介として、目地の荷重伝達率とコンクリート版の弾性係数の関係を求めると、この弾性係数が多層弾性理論において目地の荷重伝達率に応じて使用するコンクリート版の見かけの弾性係数となる。これを示したのが図-14である。この図では、縦軸として、目地のある場合のコンクリート版の見かけの弾性係数(E^*)と目地がない場合(版中央部)の弾性係数(E)との比(E^*/E)をとっている。この図から、かぎ型目地、のこみぞ目地、 $\phi 38$ スリップバー目地、 $\phi 32$ ス

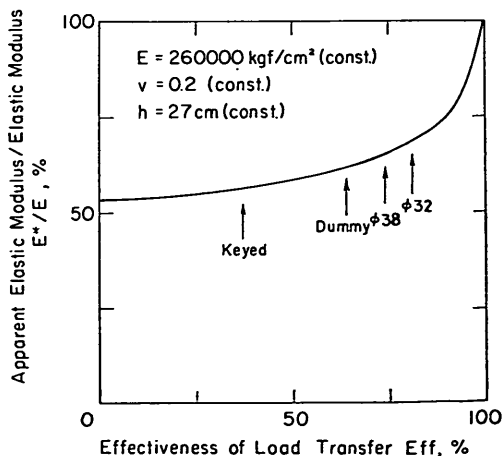


図-14 コンクリート版の見かけの弾性係数

リップバー目地のそれぞれに対して、 E^*/E は56, 62, 65, 68%となることがわかる。試験舗装のコンクリート版の E は実測から260,000kgf/cm²であるので、各目地部の見かけの弾性係数は150,000, 160,000, 170,000, 180,000kgf/cm²となる。

次にアスファルトコンクリートによるかさ上げ層のスティフネスを算出する。その手法は、既設コンクリート版の弾性係数として260,000kgf/cm²を用い、アスファルトコンクリート層のスティフネスを種々に変えて多層弾性理論を適用することによって今回の試験舗装を解析し、アスファルトコンクリート層のひずみ分布が载荷試験で得られたものとほぼ等しい結果となるものをアスファルトコンクリート層のスティフネスとした。その際に使用する実験値としては、荷重が大きいこと、どの目地部に対しても载荷条件の等しいことから繰返し载荷試験時のもの(図-13)を用いた。その結果、図-15に示すよ

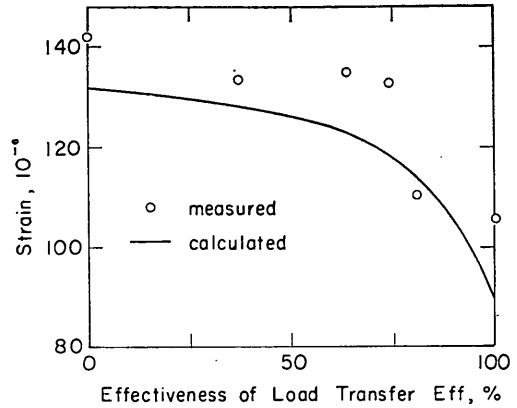


図-16 多層弾性理論による計算値と実測値(コンクリート版ひずみ)

りアスファルトコンクリート層の荷重伝達機能の優劣によるコンクリート版に発生する応力の違いは、この方法によりよく説明できることがわかる。

計算値が実測値よりも小さな値を示す理由としては、試験舗装のコンクリート版が有限長であるのにもかかわらず、このコンクリート版の中央部载荷の場合の弾性係数として供試体の圧縮試験から得られたものをそのまま用いたことにあるものと思われる。その例としてコンクリート舗装を有限要素解析した場合と多層弾性理論により解析した場合のコンクリート版のひずみを示そう。35cm厚のコンクリート版(10m×10m, $E=350,000\text{kgf/cm}^2$, $\nu=0.15$)が $E=1,500\text{kgf/cm}^2$, $\nu=0.3$ の弾性地盤で支持されている舗装の版中央部に等分布荷重(荷重強度12.5kgf/cm², 载荷面積40cm×40cm=1,600cm²)が载荷された場合を解析した結果では、コンクリート版の最大ひずみが有限要素法で 55×10^{-6} 、多層弾性理論で 51×10^{-6} となった。今回の試験に用いたコンクリート版の大きさは4.25m×4.25mであるので、この場合には両者の差はさらに大きくなるものと思われる。したがって多層弾性理論による結果を有限要素解析の結果と一致させるためには、中央部载荷の場合を多層弾性理論により解析するときでも供試体の圧縮試験から得られる弾性係数よりも小さな値を使用する必要があることになる。

以上の議論からわかるように、多層弾性理論による計算値を载荷試験で得られた実測値と一致させるためには多層弾性理論に用いるコンクリート版の見かけの弾性係数を版の大きさに応じて変えなければならないが、その煩雑さを避けるために、ここでは多層弾性理論による計算結果が実測値の傾向をよく表していることに注目し、中央部载荷の場合のコンクリート版のひずみを基準値と

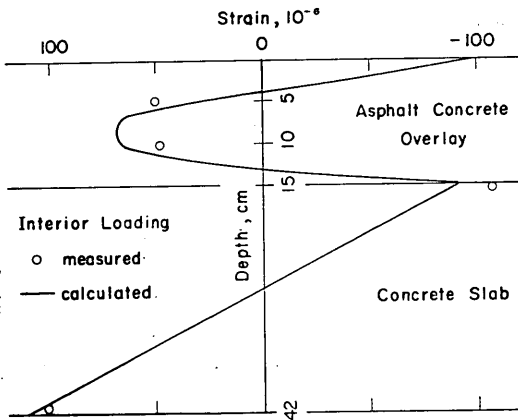


図-15 多層弾性理論による計算値と実測値(舗装断面内ひずみ分布)

うにアスファルトコンクリート層のスティフネスを7,000kgf/cm²とすれば実測値をよく説明できることがわかった。

そこで、アスファルトコンクリートのスティフネスを7,000kgf/cm²とし、前述の目地の荷重伝達率に応じたコンクリートの見かけの弾性係数を用いて多層弾性理論により計算した結果を図-16に示す。これは、かさ上げ厚が15cmの時点で実施した繰返し载荷試験におけるコンクリート版のひずみの実測値と計算値を示したものであるが、横軸にコンクリート舗装の目地の荷重伝達率を、縦軸にコンクリート版のひずみをとっている。計算値は実測値と完全な一致を示す訳ではないが、既設コンクリ

して、どの程度のかさ上げをすれば目地部のひずみがその基準値と一致するかという観点から以後の議論を進めることにする。

空港コンクリート舗装構造設計要領³⁾によれば、路盤の支持力係数は 7 kgf/cm^3 を標準とし、その場合のコンクリート版厚は対象荷重やその反復作用回数によって20～38cmとなっているが、ここでは最も大きな版厚である38cmを基準舗装厚と考えることにする。この38cmという版厚は設計荷重がB-747で代表されるLA-1で、設計反復作用回数が20,000カバレッジ（舗装のある点を車輪が通過する回数で、60m幅の舗装では航空機の交通量100回が1カバレッジに当たる）の場合に相当するもので、これを基準舗装厚とすることはかさ上げの時点で最も厳しい荷重条件に対処できる新設舗装を作ることと等価である。ただしここではかさ上げ前のコンクリート版の疲労程度は考慮していない。

次にかさ上げ厚設計の考え方を具体例で示そう。まず前述の基準舗装、すなわち上層がコンクリート版 ($E = 350,000 \text{ kgf/cm}^2$, $\nu = 0.15$, 版厚=38cm), 下層が支持力係数 7 kgf/cm^3 に対応する弾性係数を有する路盤 ($E = 1,600 \text{ kgf/cm}^2$, $\nu = 0.3$) からなる舗装に B-747-200 B の1脚 (脚荷重82.5tf) が載荷された場合を多層弾性理論により解析したところ、コンクリート版の最大ひずみは約 59×10^{-6} となった。次に、目地の荷重伝達率、コンクリート版厚、路盤支持力係数等を種々に変化させたコンクリート舗装上にアスファルトコンクリートによるかさ上げを実施したものの上に B-747-200 B の1脚が載荷された場合のコンクリート版のひずみを多層弾性理論により計算する。かさ上げ厚のみを変えた場合についてこの計算を実行し、コンクリート版のひずみが前述の 59×10^{-6} という基準値と一致すれば、そのときのかさ上げ

厚が所要かさ上げ厚となる。その1例として支持力係数が 7 kgf/cm^3 である路盤上に厚さ27cmのコンクリート版が舗装されている場合のかさ上げ厚とコンクリート版の最大ひずみの関係を図-17に示す。同じ版厚でも目地の荷重伝達率により所要かさ上げ厚が大きく異なることがわかる。

以上の手法による計算を支持力係数 7 kgf/cm^3 の路盤上にある種々のコンクリート版厚の舗装に対して実施することによって得られたコンクリート版厚とかさ上げ厚の関係を示したものが、図-18である。版厚が38cmであ

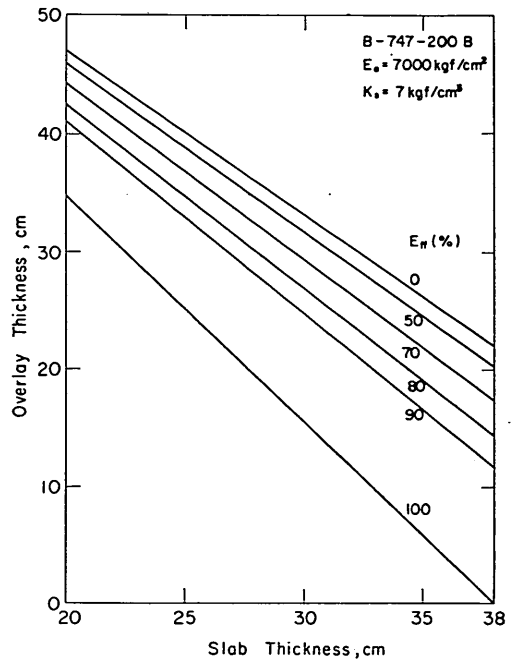


図-18 多層弾性理論によるかさ上げ厚

っても E_{II} の値によっては20cmものかさ上げが必要となることがわかる。また、図-14に示したように荷重伝達率の違いによる見かけの弾性係数の変化は荷重伝達率が大きい範囲で著しいため、その範囲での所要かさ上げ厚は荷重伝達率に非常に敏感であるが、荷重伝達率が小さくなるにつれて所要かさ上げ厚の変化も小さくなっていくことがわかる。

図-18は既設舗装の路盤支持力係数が 7 kgf/cm^3 の場合であるが、路盤支持力係数の違いがかさ上げ厚に及ぼす影響をみたのが図-19である。ここでは目地の荷重伝達率を100%としている。図-18においてみられたコンクリート舗装の目地の荷重伝達機能同様、路盤支持力係数も

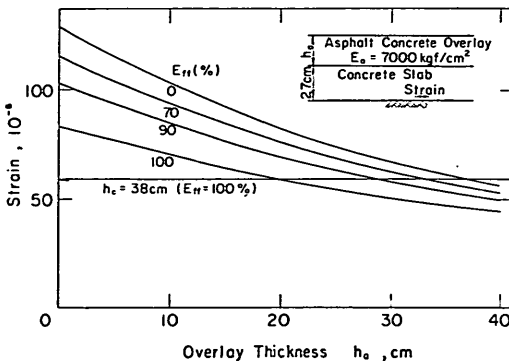


図-17 かさ上げ厚とコンクリート版の最大ひずみの関係

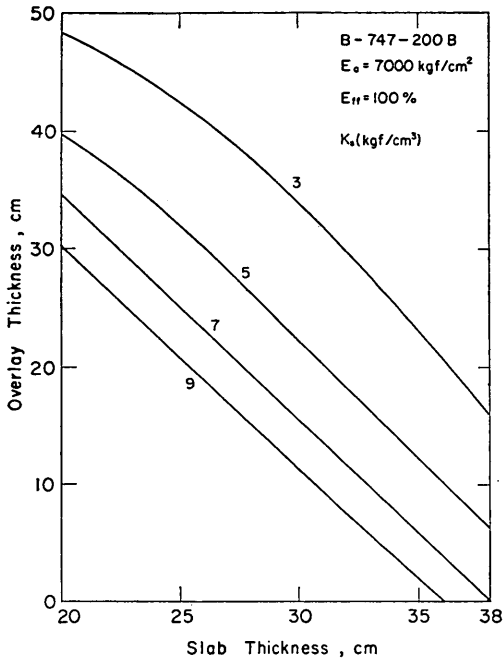


図-19 路盤支持力係数がかさ上げ厚に及ぼす影響

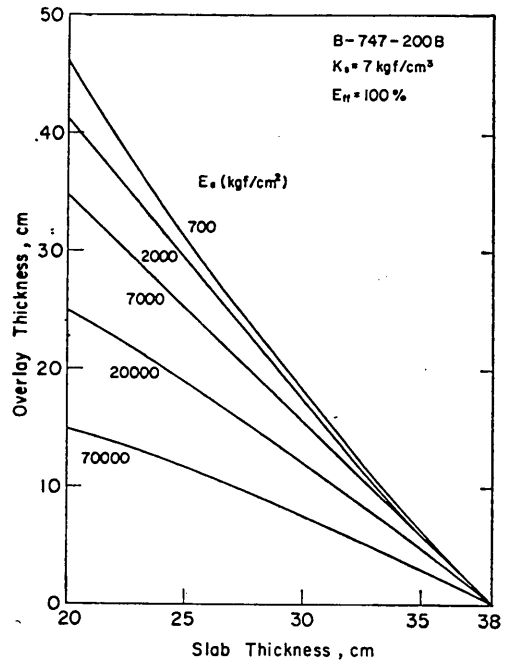


図-20 アスファルトコンクリート層のスティフネスがかさ上げ厚に及ぼす影響

所要かさ上げ厚に及ぼす影響の大きいことが認められる。したがって実際の空港舗装においてかさ上げを実施する際には、目地の荷重伝達機能や路盤支持力といった既設舗装の状態を正確に把握する必要のあることがわかる。

以上の議論はアスファルトコンクリート層のスティフネスを7,000kgf/cm²とみなした上でのものであるが、アスファルトコンクリートのスティフネスは温度ならびに載荷速度によって大きく変化することがよく知られている。このスティフネスの違いがかさ上げ厚に大きな影響を及ぼすことは図-20に示すとおりである。この図は目地の荷重伝達率を100%とし、アスファルトコンクリートのスティフネスを700~70,000kgf/cm²とした場合であるが、7,000kgf/cm²を基準に考えると、スティフネスが減少する場合に比べて増加する場合の方が所要かさ上げ厚に及ぼす影響は大きいようである。また、この7,000 kgf/cm²というスティフネスの値は米国のAsphalt Institute (AI) のアスファルト舗装の設計法⁹⁾において路床の許容ひずみを算定する際に使用するものと一致している。これらのことから今回はアスファルトコンクリート層のスティフネスを7,000kgf/cm²として解析を進めた。

3.3 複合版舗装としての有限要素解析によるかさ上

げ厚算定法

コンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ舗装を複合版舗装と考える場合には、前述のように上下層の弾性係数に応じて見かけ上部材幅が変化したものとして解析するのであるが、上下層の付着程度によって載荷条件が同一の場合でも断面内のひずみ分布が異なる⁷⁾。今回対象としたコンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ舗装では、通常既設コンクリート版上にアスファルト乳剤を散布した上でかさ上げ層を舗装するので、ここでは上下層がほぼ完全に付着しているものとして以後の解析を進める。

また、繰返し載荷試験における実測値(図-13)や多層弾性理論による計算値(図-21)からは、アスファルトコンクリート層のスティフネスが大きな値になるにしたがってアスファルトコンクリート層のひずみが圧縮側に入ってくるのがわかったので、スティフネスとして大きな値を採用することができれば、複合版としての取扱いが可能となるものと思われる。アスファルトコンクリートは温度や載荷速度によってその性状が大幅に変化するため、空港舗装でも、航空機が低速走行する誘導路や駐機するエプロンと、航空機が高速走行する滑走路ではその性状が異なることは明らかである。一般的に温度が

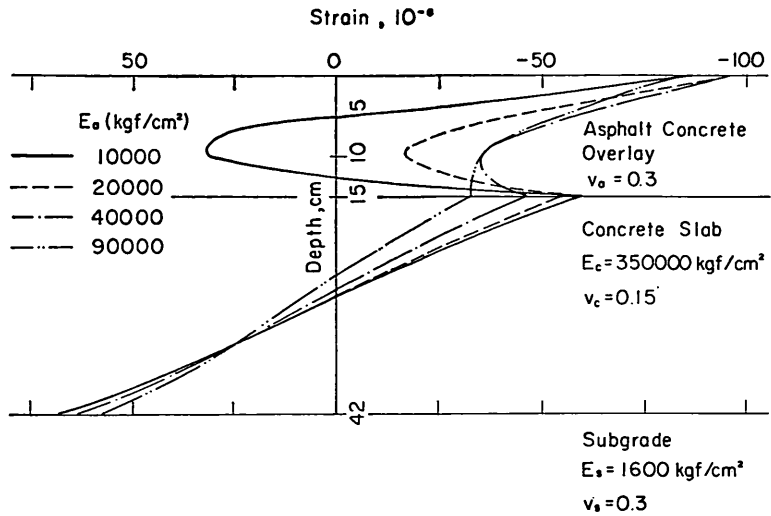


図-21 アスファルトコンクリート層のスティフネスが舗装断面内ひずみ分布に及ぼす影響

低いほど、また荷重速度の大きいほど、アスファルトコンクリートのスティフネスは大きな値を示すので、滑走路においてはアスファルトコンクリート層のスティフネスの値を大きくとることが可能となり、複合版舗装として解析することができるものと思われる。

複合版としての解析方法の概略を示そう。まず、図-22に上下層の付着が完全である場合の舗装構造断面に

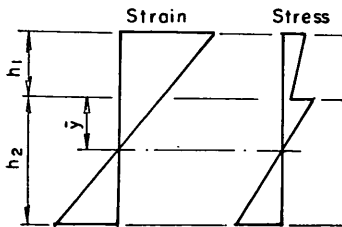


図-22 複合版のひずみと応力の分布

おける応力とひずみの分布を示す。軸方向のつり合い条件から、上下層の境界と中立軸との距離 \bar{y} は、

$$\bar{y} = \frac{h_2^2 - nh_1^2}{2(nh_1 + h_2)} \quad (2)$$

のように表される。ここに、 h_1 、 h_2 はそれぞれ上、下層厚、 n は上下の層の弾性係数比 (E_1/E_2) である。上下の層の弾性係数の違いを図-23のように部材幅の違いに置き換えた断面を考えると、その中立軸に関する単位幅当りの断面2次モーメントは、

$$I = \frac{(n^2h_1^3 + 4nh_1^2h_2 + 6nh_1h_2^2 + 4nh_1h_2^3 + h_2^4)}{12(nh_1 + h_2)} \quad (3)$$

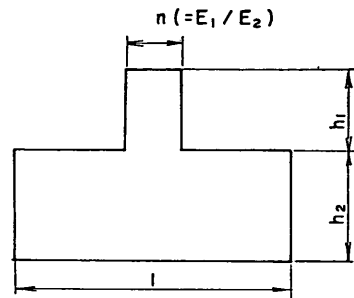


図-23 換算断面

と表される。これから等価単版厚 h^* は、

$$h^* = (12I)^{1/3} \quad (4)$$

となる。この h^* は複合版と等価な働きをする弾性係数 E_2 の均一版の厚さである。そしてこの h^* を用いて有限要素解析や荷重公式によって外力に対する曲げモーメントが得られ、中立軸からの距離に応じて曲げ応力も求められることになる⁸⁾。

3.2でも述べたように、コンクリート舗装では目地部で発生する応力が版中央部で発生する応力よりも大きいことから、目地の荷重伝達機能に応じてコンクリート版厚を設計するのが合理的である。それゆえ、複合版としての解析を行う場合にもその考え方に従って、目地の荷重伝達機能を計算に取込むことのできる有限要素法を用いることにした。

複合版としての有限要素解析によるかさ上げ厚算定法の考え方は3.2で述べた多層弾性理論によるものと同様

であり、基準舗装に荷重が載荷された場合のコンクリート版の最大ひずみを基準値として、既設コンクリート舗装上にどの程度のかさ上げをすればコンクリート版のひずみがこの基準値になるかというものである。基準舗装を支持力係数が 7 kgf/cm^3 の路盤上の縦 6 m ×横 6 m ×厚さ 38 cm のコンクリート版と考へ、版の中央部にB-747-200Bで代表される設計荷重LA-1の1脚が載荷された場合にコンクリート版に生ずる最大ひずみを基準値とした。そして既設コンクリート舗装上にアスファルトコンクリートを用いてかさ上げた舗装にLA-1が載荷された場合に生ずるひずみを上記の複合版としての解析法により算出し、コンクリート版の最大ひずみがこの基準値となるかさ上げ厚を求めればそれが所要かさ上げ厚となる。

滑走路等、航空機が高速走行する区域におけるアスファルトコンクリートのスティフネスとして、いま $20,000, 40,000, 90,000\text{ kgf/cm}^2$ を考へる。これは一般的なアスファルト舗装上を走行する航空機を速度 300 km/h とした場合、アスファルトコンクリート層の温度が、およそ、 $10, 20, 30^\circ\text{ C}$ の場合のスティフネスに対応する^{9), 10)}。これらのスティフネスを用いて算出したコンクリート版厚と所要かさ上げ厚の関係を中央部載荷の場合について示したのが図-24である。図-20に示した多層弾性理論によるものと同様に、アスファルトコンクリート層のスティフネスの違いによって所要かさ上げ厚が大幅に異なり、スティフネスが大きいほどかさ上げ厚が小さくてす

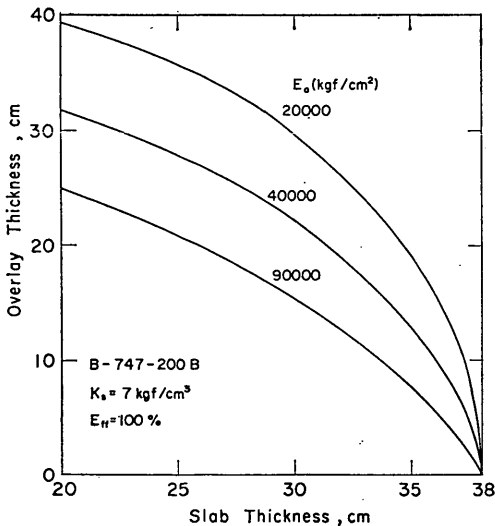


図-24 アスファルトコンクリート層のスティフネスがかさ上げ厚に及ぼす影響

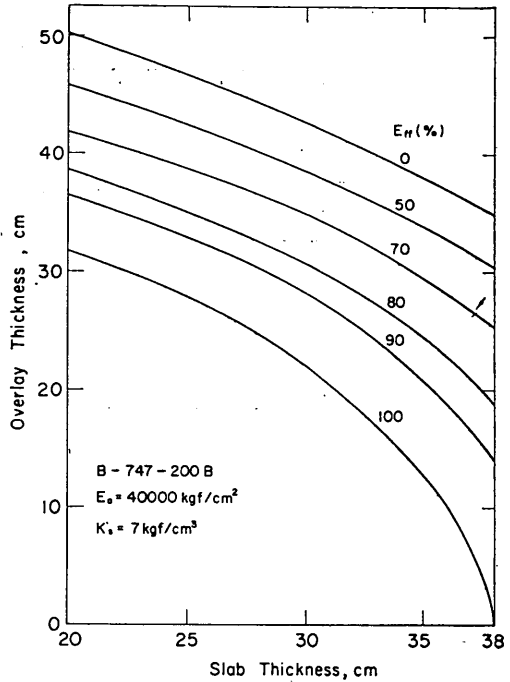


図-25 複合版としての有限要素解析によるかさ上げ厚

むことが認められる。

図-25は既設コンクリート舗装の目地における荷重伝達率を考慮したコンクリート版厚と所要かさ上げ厚の関係である。この場合の計算条件は、路盤支持力係数が 7 kgf/cm^3 、アスファルトコンクリート層のスティフネスが $40,000\text{ kgf/cm}^2$ である。コンクリート版厚が同一の場合でも、荷重伝達率の違いによって所要かさ上げ厚がかなり異なることが認められる。また、多層弾性理論によるものと同様に、この厚さの違いは荷重伝達率が大きい場合ほど顕著であることもわかる。

3.4 既存のかさ上げ厚設計法との比較

まだ十分に版として機能するコンクリート舗装上にアスファルトコンクリートを用いてかさ上げる場合のかさ上げ厚算定法として、3.2では多層弾性理論によるもの、3.3では複合版としての有限要素解析によるものの2種類を示した。本節では、既存の空港舗装かさ上げ厚設計法として、我国の空港アスファルト舗装構造設計要領とFAAのAdvisory Circularに記されているものを取り上げ、本報告で述べた方法と比較・検討する。

図-18に示した多層弾性理論による所要かさ上げ厚と図-25に示した複合版としての有限要素解析によるもの、ともに設計航空機荷重がB-747-200Bで代表されるLA-1でその設計反復作用回数が $20,000$ カバレッジであ

る場合を基準としているため、本節で示した設計例では既設コンクリート舗装のかさ上げ時の設計条件もこれと同一とした。具体的な設計例として3種類の既設コンクリート舗装を考える。路床、路盤条件は3者とも同一であり、路床の支持力係数が 2 kgf/cm^3 で、路盤は上層がセメント安定処理材、下層が粒度調整砕石からなるものとし、上、下層路盤面の支持力係数がそれぞれ $7, 4\text{ kgf/cm}^3$ であるとすると、空港コンクリート舗装構造設計要領から上、下層路盤厚はそれぞれ $15, 35\text{ cm}$ となる。既設舗装のコンクリート版厚を 20 cm (CASE 1), 27 cm (CASE 2), 34 cm (CASE 3)の3種類とする。

この3種類の既設舗装上にアスファルトコンクリートによりかさ上げする場合の所要かさ上げ厚を上記の4種類の方法によって算出した結果が表-2である。以下では

表-2 各種設計法によるかさ上げ厚

既設版厚(cm)	20	27	34
設計方法			
空港アスファルト舗装構造設計要領	91	84	77
多層弾性理論 ($E_a=7,000\text{ kgf/cm}^2$)	35	22	8
複合版としての有限要素解析 ($E_a=40,000\text{ kgf/cm}^2$)	32	26	15
FAA Advisory Circular	41	24	6
多層弾性理論 ($E_a=7,000\text{ kgf/cm}^2$)	29	16	4
複合版としての有限要素解析 ($E_a=40,000\text{ kgf/cm}^2$)	30	24	11

それぞれの方法についてその概略を述べる。

(1) 空港アスファルト舗装構造設計要領によるもの

この方法は、まず荷重条件と路床強度に基づいてアスファルト舗装を新設する場合の基準舗装厚を算出し、次に等価値を用いて既設コンクリート舗装のアスファルト舗装としての換算舗装厚を計算して、この両者の差を所要かさ上げ厚としている。そのためには、まず路床のCBRを求める必要があるが、空港コンクリート舗装構造設計要領に記載されている支持力係数 K 値と CBR との関係に基づいて支持力係数 2 kgf/cm^3 に対応する CBR を求めると約 2.5% となる。この路床条件でLA-1, $20,000$ カバレッジに対応する新設アスファルト舗装を設計すると、基準舗装厚が 260 cm となる。それぞれのCASEについて既設舗装の換算舗装厚を求めると、CASE 1~3 はそれぞれ $94.5, 108.5, 122.5\text{ cm}$ となるので基準舗装

厚との差は $165.5, 151.5, 137.5\text{ cm}$ である。そのうちの 15 cm を表・基層厚とすると残りは上層路盤となる。アスファルトコンクリートの上層路盤としての等価値は 2.0 であるので、結局所要かさ上げ厚はそれぞれ $91, 84, 77\text{ cm}$ となる。

(2) FAAの方法によるもの

FAAの方法は上記の我国の現行法とは対照的に、既設路盤上にコンクリート版を新設する場合の所要厚から既設コンクリート版の等価厚を差引いたものにある定数を乗じて所要かさ上げ厚としているが、その算定式は次式で表される。

$$t = 2.5(Fh - C_0 h_e) \quad (5)$$

ここに、 t はアスファルトコンクリートによる所要かさ上げ厚、 F は既設路盤の支持力と交通量に関する係数、 h は既設路盤上にコンクリート版を新設する場合の所要厚、 C_0 は既設コンクリート版の損傷の程度に関する係数、 h_e は既設コンクリート版厚である。

この設計例においては、路盤支持力係数と設計反復作用回数から $F=1.0$ となり、既設コンクリート版が版機能を果たすことができるとすると $C_0=1.0$ となる。また、ここでの荷重条件に対してコンクリート版を新設場合の所要厚を FAA の方法により算出すると 36.3 cm となるので、式(5)からCASE 1~3 の場合のアスファルトコンクリートによる所要かさ上げ厚を算出するとそれぞれ、 $41, 24, 6\text{ cm}$ となる。

(3) 多層弾性理論によるもの

図-18を用いて $E_{fj}=100\%$ の場合を考えると、CASE 1~3 のそれぞれに対して、 $35, 22, 8\text{ cm}$ が所要かさ上げ厚となる。

(4) 複合版としての有限要素解析によるもの

図-25を用いて $E_{fj}=100\%$ の場合を求めると、CASE 1~3 それぞれで $32, 26, 15\text{ cm}$ となる。

図-18と図-25は基準舗装を支持力係数 7 kgf/cm^3 の路盤上に 38 cm 厚のコンクリート版があるものとした場合の所要かさ上げ厚を示しているため、これからは(1)の我国の現行法に対応するものしか得られない。そこで FAA 法に対応するものとして(2)に示したように基準舗装を支持力係数 7 kgf/cm^3 の路盤上にある厚さ 36.3 cm のコンクリート版からなる舗装として、多層弾性理論ならびに複合版としての有限要素解析による方法により所用かさ上げ厚を算定すると、CASE 1~3 のそれぞれにつき、多層弾性理論によれば $29, 16, 4\text{ cm}$ となり、複合版としての有限要素解析によれば $30, 24, 11\text{ cm}$ となった。

以上のことから、空港コンクリート舗装上のアスファルトかさ上げ厚設計法として我国で用いているものは、

この種の舗装をアスファルト舗装とみなしてかさ上げ厚を算定するものであり、本報告で述べた他の方法とは全く異なった考え方であるため、それらに比べて非常に厚いかさ上げを必要とすることがわかった。

次に FAA の方法と多層弾性理論によるものならびに複合版としての有限要素解析によるものを比較しよう。表-2 の FAA の方法に関連するデータを図示すれば図-26 となる。これから、多層弾性理論によるものは、

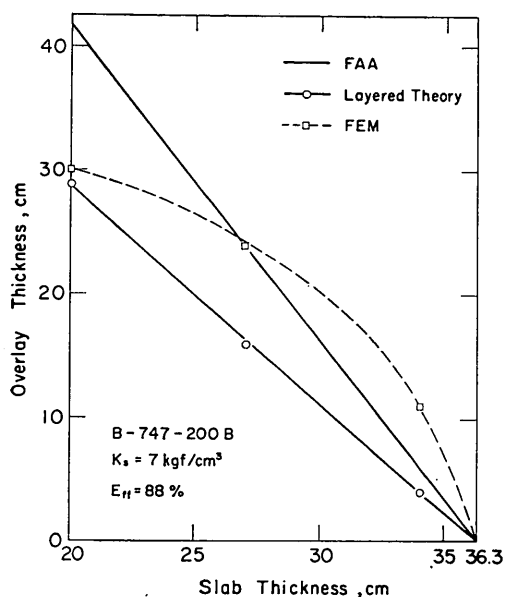


図-26 設計法によるかさ上げ厚の違い

FAA の方法と同じようにかさ上げ厚と既設コンクリート版厚の関係が直線で表されるが、かさ上げ厚そのものは一致していない。FAA 法では式(5)に示したように基準厚と既設版厚との差に 2.5 を乗じたものであるのに対し、多層弾性理論ではそれが 1.8 と FAA 法の約 2/3 になっている。この場合、図-20 に示したように、アスファルトコンクリート層のスティフネスを今回用いた $7,000 \text{ kgf/cm}^2$ よりも小さくすれば、FAA の方法によるかさ上げ厚と同じものが得られよう。

これに対し、複合版の有限要素解析によるものは、かさ上げ厚と既設版厚の関係が直線とはならず、既設版厚が大きい場合、すなわち基準版厚との差が小さい場合には FAA 法よりも厚いかさ上げが必要となる。

このように多層弾性理論と複合版としての有限要素解析によるかさ上げ厚が異なることは、基準舗装を支持力係数 7 kgf/cm^2 である路盤上の厚さ 38 cm のコンクリ-

ート版からなるものとした場合 (図-18 と図-25) でも同様である。

これは解析に使用したアスファルトコンクリート層のスティフネスが前者では $7,000 \text{ kgf/cm}^2$ 、後者では $40,000 \text{ kgf/cm}^2$ であるという違いの他に、使用した理論そのものに含まれている考え方の違いがある。その例としては、図-21 に示したように多層弾性理論ではアスファルトコンクリート層のスティフネスを $90,000 \text{ kgf/cm}^2$ としても層内の水平ひずみ分布は直線とならないが、複合版と考えればスティフネスの大小によらず水平ひずみ分布は直線で表されるものとしている点が挙げられる。そのために、図-20 に示したようにアスファルトコンクリート層のスティフネスを $70,000 \text{ kgf/cm}^2$ とした場合の多層弾性理論による所要かさ上げ厚は、複合版としての有限要素解析によるものよりも小さくなっている。

また、複合版としての有限要素解析では上層であるアスファルトコンクリート層が下層であるコンクリート舗装の目地上で連続していない、すなわち、切れているものとして計算が実行されているのに対して、多層弾性理論ではアスファルトコンクリート層が連続したものとしている点も挙げられよう。2. でも述べたように、このアスファルトコンクリートによるかさ上げ層は荷重を隣接版へ伝達する効果があるため、かさ上げ層にリフレクションクラックが入る可能性の小さい場合に複合版としての有限要素解析を適用すると、かさ上げ層の荷重分散効果を明らかに過小評価することになる。

本報告で示した 2 種類のかさ上げ厚算定法の考え方の特徴ならびに両者の違いは以上に述べたとおりであるが、これらを総合して、実際のかさ上げ厚設計に対する両者の適用性を示すと次のようになる。まず、気象条件が厳しくてアスファルトかさ上げ層にリフレクションクラックの発生する可能性の大きな場合には複合版としての有限要素解析によるかさ上げ厚算定法を採用する必要がある。次に、十分なリフレクションクラック防止策を講じたか、あるいは気象条件があまり厳しくないなど、リフレクションクラック発生の可能性が小さい場合には多層弾性理論による算定法が合理的である。ただし、アスファルトコンクリート層のスティフネスが比較的大きな値を示すと考えられる場合には、複合版としての有限要素法によるものも考慮に入れた上でかさ上げ厚を算定することが望ましいものと思われる。

両算定法の適用性についての概略は上記のようなものであるが、実際の設計に際しては現地の気象条件や荷重条件などの事前調査を十分に行った上でどちらの算定法を採用するか判断することが必要となる。

4. 結 論

コンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ舗装の挙動を実験的に把握し、多層弾性理論および複合版とみなしての有限要素解析によるかさ上げ厚算定法を示した。主要な結論を以下に示す。

- (1) 既設コンクリート舗装の版中央部、縁部、目地部とも、アスファルトコンクリートによるかさ上げ厚の増加につれて載荷重によるたわみやコンクリート版のひずみは減少する。また、たわみ、ひずみとも縁部>目地部>版中央部となっており、既設コンクリート舗装の目地の効果はかさ上げ後もあることが認められた。
- (2) コンクリート版の目地部のひずみは、かさ上げ後の載荷試験においてもコンクリート舗装の目地の荷重伝達機能の影響を受け、荷重伝達率の小さなものほど大きなひずみを呈している。またこのひずみは、荷重伝達率の大きなところほど変化が大きく、荷重伝達率が60%以下ではコンクリート版のひずみにはあまり変化がみられない。
- (3) かさ上げ厚の増加につれてコンクリート版の目地部におけるかさ上げ舗装の見かけの荷重伝達率は増加し、またスリップバーのひずみも減少することがわかり、かさ上げ層が荷重伝達に果たす役割の大きいことが認められた。
- (4) アスファルトコンクリート層のスティフネスを種々に変えて多層弾性理論により繰返し載荷試験の結果を解析したところ、スティフネスが約7,000kgf/cm²の場合に実測値と計算値がほぼ一致することが認められた。また、この多層弾性理論によれば、スティフネスがある値以上になるとアスファルトコンクリート層の水平ひずみが圧縮側に入ってきて、コンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ舗装を複合版舗装と考えることが可能となることもわかった。
- (5) 既設コンクリート版がまだ十分版機能を果たすことのできる時点でアスファルトかさ上げを実施する場合のかさ上げ厚算定法として、多層弾性理論によるものと、複合版としての有限要素解析によるものを導いた。(2)で述べたように既設コンクリート舗装の目地の荷重伝達機能はかさ上げた舗装についてもその挙動に影響を及ぼすことがわかったので、前者については荷重伝達率に応じて見かけ上コンクリート版の弾性係数を減少させることで、また後者については目地効果を考慮できる有限要素解析により

それを計算に取込んだ。

- (6) 本報告で示した算定法によれば、我国の現行法によるものよりもかさ上げ厚が小さく算定される。これらの方法によるかさ上げ厚は、アスファルトコンクリート層のスティフネス、既設コンクリート舗装の目地の荷重伝達率、路盤支持力係数等によって大きく異なるので、実際にかさ上げ厚を算定する際には、対象とする舗装の現状を正確に評価すること以外に、現地の気象条件や載荷条件を正確に把握する必要がある。

5. あとがき

コンクリート舗装上のアスファルトかさ上げにおいて既設コンクリート版がまだ十分版機能を果たすことのできる場合のかさ上げ厚算定法として2通りの考え方を示した。かさ上げ工事をする空港の気象条件や載荷条件によってアスファルトコンクリート層のスティフネスとして採用する値を決定し、リフレクションクラック発生の可能性を吟味した上で多層弾性理論によるものあるいは複合版としての有限要素解析によるもののどちらかを選択することにしたが、実際問題としては、どちらかの方法に統一するかあるいは舗装区域によって採用する方法を決める必要があるものと思われる。その点に関しては今後のデータの蓄積ならびに議論の進展を待つことにしたい。

舗装は他の土木構造物に比べてその設計寿命が小さいため、維持・補修は非常に重要な要素である。一般的な補修方法としてはかさ上げが多く用いられている。その設計法はまず既設舗装の評価をし、それらに基づいてかさ上げ厚を決定するものであるが¹⁾、かさ上げ実施後何年間その舗装を供用するのかといった点が非常に重要である。この報告では、コンクリート舗装上のアスファルトコンクリートによるかさ上げ舗装の解析に重点を置いたので既設舗装の評価やかさ上げ後の供用期間を考慮していないが、この点については当研究室が今回導入した舗装の非破壊試験機(Falling Weight Deflectometer)による舗装の調査結果や空港舗装 Data Bank System の整備による舗装性状の経年変化の調査結果を待つことにしたい。

(1983年9月28日受付)

参考文献

- 1) 運輸省航空局：空港アスファルト舗装構造設計要領，1976年，90p.
- 2) Federal Aviation Administration：FAA Advisory

- Circular, AC 150/5320-6C, 1978, 159p.
- 3) 福手 勤, 八谷好高, 山崎英男: コンクリート舗装の目地部における荷重伝達機能, 港湾技術研究所報告, 第21巻, 第2号, 1982年, pp. 207~236.
 - 4) たとえば, 福手 勤: 空港コンクリート舗装厚設計への電算プログラムの応用, 港湾技研資料, No. 262, 1977年, 20p.
 - 5) 運輸省航空局: 空港コンクリート舗装構造設計要領, 1977年, 105p.
 - 6) 福手 勤: 空港アスファルト舗装の構造設計における考え方と設計法の現状, アスファルト, 第22巻, 第119号, 1979年, pp. 37~49.
 - 7) Packard, R.G.: Structural Design of Concrete Pavements with Lean Concrete Lower Course, 2nd International Conference on Concrete Pavement Design, 1981, pp. 119~131.
 - 8) 福手 勤, 佐藤勝久, 八谷好高: コンクリート舗装の合理化に関する最近の試み, 昭和57年度港湾技術研究所講演会講演集, 1982年, pp. 85~128.
 - 9) 笠原 篤, 岡川秀幸, 菅原照雄: アスファルト混合物の動的性状とその舗装構造の力学解析への利用, 土木学会論文報告集, 第254号, 1976年, pp. 107~117.
 - 10) Shell International Petroleum Company Limited: Shell Pavement Design Manual, 1978, 332p.
 - 11) たとえば, 佐藤勝久, 福手 勤: ダイナフレクトによる空港アスファルト舗装強度評価とかさ上げ厚設計, 土木学会論文報告集, 第303号, 1980年, pp. 109~118.