

港湾技研資料

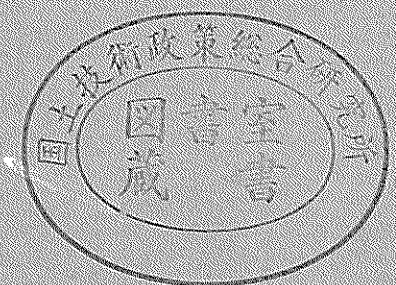
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No.925 Mar. 1999

FWDによる空港アスファルト舗装の構造評価システム

八 若 大 廣 今 高 室 阿	谷 月 野 田 井 橋 園 部	好 岳 修 道 泰 正	高 晴 由 紀 男 修 徳 寛
--------------------------------------	--------------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

運輸省港湾技術研究所



目次

要旨	3
1. はじめに	4
2. 評価基準の策定	5
2.1 既往のひずみ規準	5
2.2 現行CBR設計法との対応	7
2.3 新しい破壊規準の策定	9
2.4 安定処理路盤を用いた場合の破壊規準	11
3. 破壊規準に基づく構造評価	13
3.1 ひずみ規準による舗装の構造評価法	13
3.2 走行前データによる検証	14
3.3 走行載荷試験結果の構造評価	16
3.4 層厚の増加にともなうひずみの変化	18
4. たわみによる構造評価	19
4.1 たわみ規準の設定	20
4.2 たわみ規準の検証	21
4.3 ダイナフレクトによる評価基準との比較	23
5. 非破壊評価システムの提案	23
6. 結論	24
7. おわりに	24
参考文献	24
付録	25

Structural Evaluation System for Airport Asphalt Pavements with FWD

Yoshitaka HACHIYA *
Takeharu WAKATSUKI **
Nobuyoshi ONO **
Michinori HIROTA **
Yasuo IMAI ***
Osamu TAKAHASHI ****
Masanori MUROZONO ****
Hiroshi ABE *****

Synopsis

This paper deals with a nondestructive structural evaluation system for airport asphalt pavements with FWD (Falling Weight Deflectometer). The system was developed in accordance with the current airport asphalt pavement structural design method to be closely related with the overlay design method following the structural evaluation. The paper consists of three major parts. First, a structural parameter of each pavement component is assigned so that the measured deflections coincide with the calculated ones on the pavements designed in accordance with the current method. Second, the criterion on strains in both the surface course and subgrade, and the maximum deflection are established. Finally, the criterion are verified by investigating the deflections measured on various pavements.

The main conclusions are as follows.

- (1) Criterion on the strains of layers in airport asphalt pavements are developed for the structural evaluation in case of both granular base course and asphalt stabilized base course. They are for the design aircraft of LA-1 and LA-12 and for the design coverages of 5,000, 10,000, 20,000, and 40,000.
- (2) The structural evaluation consists of the following four steps: i) the estimation of layer elastic moduli by backcalculating from the measured deflection bowls, ii) the convert of the above moduli to those fitted to the design, iii) the calculation of strains for the design aircraft, and iv) the comparison of the above strains with the strain criteria particular to the design aircraft and the design coverages.
- (3) In the deflections measured on the experimental pavements, they do not vary with the load repetitions in the non-trafficked area but increase with the load repetitions in the trafficked area. The thickness of overlay, which will be generally necessary if the strains exceed the criteria, might be determined to satisfy the criteria.
- (4) The nondestructive structural evaluation system for airport asphalt pavements are developed. In the system, the rough evaluation of the structure is first conducted based on the maximum FWD deflections, the detailed evaluation will be then conducted based on the strains if necessary, and the overlay thickness will be finally determined.

Key Words: airport, asphalt pavement, structural evaluation, nondestructive test, FWD

* Chief, Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division, Port and Research Institute, Ministry of Transport
(1-1, Nagase 3, Yokosuka 239-0826, Japan, Phone: +81 468 44 5026, Fax: +468 44 4471, E-mail: hachiya@cc.phri.go.jp)

** Former Trainee, Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division (Japan Airport Consultants, Inc.)

*** Former Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division

**** Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division

***** Member, Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division

FWDによる空港アスファルト舗装の構造評価システム

八 谷 好 高*
若 月 岳 晴**
大 野 修 由**
廣 田 道 紀**
今 井 泰 男***
高 橋 修****
室 園 正 徳*****
阿 部 寛*****

要 旨

空港アスファルト舗装の非破壊構造評価システムとして実荷重条件に近いFWD (Falling Weight Deflectometer)を用いる方法について検討した。基本的には、構造評価のあとに続くオーバーレイ設計法と関連づけるため、現行構造設計法との整合性を取る形での整備を図った。具体的には、まず空港アスファルト舗装構造設計要領に基づいて設計された舗装でのFWDによるたわみの計算値が実測値と整合するように舗装各層の力学定数を算定し、これに基づいて、路床CBR、交通量等が異なる場合のひずみならびにたわみ規準を算定した。そして、種々の構造、荷重履歴を有する舗装においてFWDによるたわみ測定を実施し、この規準の妥当性について検証した。

主要な結論は以下のとおりである。

- (1)空港アスファルト舗装のひずみに基づく構造評価規準を策定した(上・下層路盤とも粒状材を用いた場合、上層路盤にアスファルト安定処理材を用いた場合の2とおり)。これは、設計航空機荷重がLA-1, LA-12で、設計カバレッジが5,000, 10,000, 20,000, 40,000回の場合である。
- (2)構造評価は、①実測たわみ曲線の逆解析による各層弾性係数の推定、②表・基層弾性係数の設計条件に対応するものへの変換、③設計荷重に対するひずみの計算、④設計荷重・設計カバレッジに対応したひずみ規準との比較といった手順により実行可能となる。
- (3)試験舗装でのたわみ測定では、非走行箇所における変化はほとんどないものの、走行箇所においてはひずみの増加する状況が認められた。このような構造評価の結果として規準値を超えるひずみが計算されたときにはオーバーレイが必要となるが、その場合には上記の規準値を満足するようにその厚さを決定すればよい。
- (4)上記の研究を総括して、空港アスファルト舗装の構造評価システムとして、まずFWD最大たわみに着目した概略評価を行い、これで問題があると判定された場合にひずみ規準に基づく詳細評価を行って必要に応じてオーバーレイ厚を算定するという方法を開発した。

キーワード：空港、アスファルト舗装、構造評価、非破壊試験、FWD

* 運輸省港湾技術研究所土質部滑走路研究室長

(〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1, 電話：0468-44-5026, Fax：0468-44-4471, E-mail：hachiya@cc.phri.go.jp)

** 前土質部滑走路研究室研修生(日本空港コンサルタンツ株式会社)

*** 前土質部主任研究官

**** 土質部主任研究官

***** 土質部滑走路研究室

1. はじめに

わが国における近年の航空需要の伸びには、たとえば輸送人員数で見れば、20年前の3倍、10年前の2倍に達するなど、驚くべきものがある。これは、航空機の運航回数が20年前、10年前のそれぞれ1.5倍、1.2倍となっていることから、運航回数の増加も寄与していることは間違いないものの、航空機の大型化によって可能になっていると考えられる。航空機の大型化は舗装に対する荷重そのものの増加を、また運航回数の増加は舗装に対する載荷回数の増加を意味することになる。

舗装は他の構造物に比較すると補修や補強が容易であること、作用する荷重としては交通荷重が支配的であることから、その設計には疲労設計法が採用されている。そのため、このような荷重条件の変化は疲労寿命を低下させることにつながるため、何らかの舗装構造強化策を取ることが必要となろう。アスファルト舗装の場合、これは通常オーバーレイにより対処される。この方法による舗装の構造強化策においては、既存舗装の現状調査を行ってその構造状態を把握した上で、オーバーレイ厚を決定するという過程が重要な位置を占めている。

舗装の構造調査方法には従来より解体調査と非破壊調査がある¹⁾。前者は、文字どおり、舗装から試料を採取してその力学特性を調べたり、CBR試験や平板載荷試験といった現位置調査により力学特性を調べるものである。ところが、実際には、時間的ならびに経済的な制約によりこの方法を採用することは難しく、後者、特に荷重に対する舗装の応答をたわみとして測定する方法が多用されるようになってきている。

このようなたわみ測定装置には、低速移動荷重方式、振動荷重方式、衝撃荷重方式のものがある。空港アスファルト舗装の場合には振動荷重方式であるDynalectが従来より用いられている¹⁾が、わが国への導入台数が少ないこともあってか実務にはあまり使用されていなかった。さらに、空港コンクリート舗装を対象として衝撃荷重方式のフォーリングウエイトデフレクトメータ (FWD)による調査法が整備されたり²⁾、わが国におけるFWDの導入台数が20数台になるなど、実質的にFWDが非破壊試験装置の標準となっている³⁾こともあって、本研究ではFWDによる非破壊調査法を採用することとした。

たわみ測定装置により得られたたわみを用いて舗装の構造解析を行う方法としては、たわみをそのまま用いるものが数多く発表されている。たとえば、Dynalectによる空港アスファルト舗装の構造評価法では健全部とひび割れ部の間に境界値(基準値)を設け、最大たわみがそ

れを超えていれば補修が必要と判断されるようになって¹⁾いる。そして補修をオーバーレイによる場合には、その厚さはオーバーレイ後のたわみが基準値に等しいかそれ以下となるように決定すればよいとしている。これと同様の方法、すなわち最大たわみに着目して舗装構造全体の状態を評価する方法は米国ユタ州においても採用されている。また、FWDによる道路アスファルト舗装を対象にして阿部らが提案した構造評価法では、 D_0 ならびに $D_0 - D_{150}$ (添字はたわみセンサの荷重中心からの距離(cm))を用いることにより、舗装構造全体が評価可能となっている⁴⁾。このほか、たわみ測定装置では複数のたわみが得られることを利用して、舗装内で問題のある層を特定する方法も提案されている。たとえば、上記の阿部らによる方法では、 D_0 、 $D_0 - D_{150}$ のほかに、 $D_0 - D_{20}$ 、 D_{150} も用いて、表・基層、路盤、路床といった特定の層の構造状態を判断することも可能となっている。

これらのたわみに着目する方法は、複雑な計算を必要としないという利点を有するものの、使用材料が異なったり、舗装厚が大きく異なったりといった場合には対応が難しくなる恐れがある。そこで、これに代わる方法として、たわみから舗装各層の力学特性値を推定する、いわゆる逆解析法が開発されている。これは、舗装厚が既知であることが前提ではあるが、最近では精度の良い結果が短時間の計算により得られるようになって²⁾いる。

空港においては建設時期や補修履歴が施設・箇所により異なること、また、たとえ設計条件が同一であっても舗装の厚さが全施設で同一とはならないことから、空港アスファルト舗装を対象にする場合には後者の方法を採用するほうが合理的であると考えた。具体的には、舗装構造を一般的に用いられている多層弾性体としてモデル化し、たわみの逆解析により力学特性として各層の弾性係数を求める方法を用いることにした。

わが国の空港アスファルト舗装の構造設計法が礎を置く米国陸軍工兵隊 (CE)法は、基本的にはカルフォルニア州道路局で研究開発されたCBR設計法を空港舗装へ適用したものである⁵⁾。この方法では、航空機の交通量が5,000カバレッジに相当するアスファルト舗装厚が式

(1)により算定されるようになって¹⁾いる。これ以外の交通量に対しては荷重繰返し係数 f ($= 0.23 \log C + 0.15$, C : カバレッジ)を用いて舗装厚が増減されるようになっている。

$$t = \sqrt{\frac{P}{8.1 CBR} - \frac{A}{\pi}} \quad (1)$$

ここに、 t : 舗装厚 (in) ,

P: 荷重 (lb) ,
 A: 接地面積 (in²) .

しかし、近年では交通荷重の増大や良質材料の入手難から安定処理材を使用しなければならないなど、CBR法開発の過程で考えた事項が当てはまらない状況となっていることに加え、CBR法では舗装施設の管理上必要なパフォーマンスについての情報が得られないこともあって、弾性理論による設計法も整備されている⁶⁾。このことは、アスファルト舗装を多層弾性体とみなすことによって、構造設計と構造評価を同一の視点から実施できるようになることを意味している。

本資料は、このような観点から構築したFWDによる空港アスファルト舗装の構造評価方法についてまとめたものである。まず、現行の構造設計法と等価な多層弾性体モデルの設計規準を策定・検証し、次にFWD最大たわみに注目する簡易評価法について検討している。そして、最後に両者を統合する形で、空港アスファルト舗装の非破壊評価法をまとめている。

2. 評価規準の策定

空港アスファルト舗装構造の評価法を設計法と結びつけるためには、両者に共通の規準を設定することが必要となる。これについては、アスファルト舗装の理論的構造設計で一般的に採られている方法を踏襲し、アスファルトコンクリート層下面水平ひずみ (ϵ_x) と路床上面垂直ひずみ (ϵ_z) を採用することにした。これらのひずみでみた破壊規準に関する既応の研究成果をまとめた上で、これらの空港アスファルト舗装に対する適応性について検討した。その結果、空港アスファルト舗装に適した規準値を新たに策定する必要が生じることとなった。

2.1 既応のひずみ規準

アスファルト舗装は、その表面にわだちぼれやひびわれが発生し、それが過度になると破壊したと一般的にはみなされる。そこで、アスファルト舗装の理論的設計法では、前者については路床上面の垂直ひずみを、後者についてはアスファルトコンクリート層下面の水平ひずみを制御するという方法が採用されている。

路床上面垂直ひずみの破壊規準として図-1のようにまとめられたものがある⁷⁾。これらはいずれも舗装に対する載荷試験の結果として得られているものであり、空港のほか道路の舗装を対象にしたものも含まれている。図中のPeattieによる規準はカリフォルニア州道路局により

開発されたCBR設計方法を解析することにより導かれたのである⁸⁾。また、Chouらが示した規準は、Barkerらと同様に、試験舗装に対する載荷試験結果に基づいて非線形有限要素法を用いて導かれたものである(図-2)⁹⁾。Hicksらは、30を超える区画の試験舗装結果を解析することにより図-3に示す規準を示した(6人の主観的評価に基づく)¹⁰⁾。このほか、Barkerらは、この路床ひずみ規準が後述のアスファルトコンクリートの場合ほどではないが、変形係数といった材料の力学特性に依存することも指摘している⁷⁾。

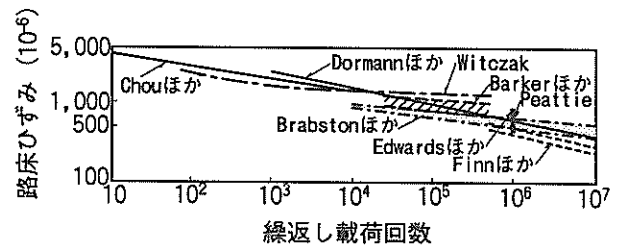


図-1 路床上面垂直ひずみの破壊規準

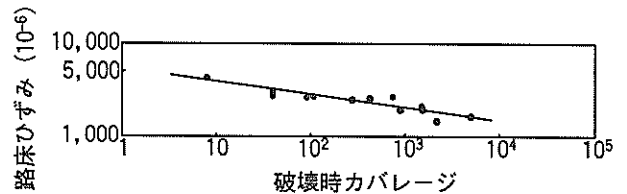


図-2 Chouらによる路床ひずみ規準

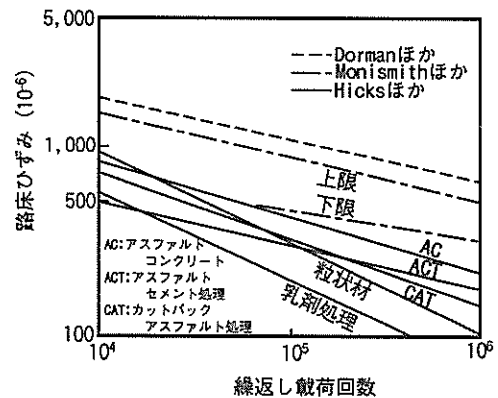


図-3 Hicksらによる路床ひずみ規準

Barkerらはアスファルトコンクリート層下面のひび割れが舗装の破壊を意味すると考えた。このひずみ規準については室内試験により求めることとしているが、何らかの理由により不可能な場合にはHeukelomらの方法を用いることとしている(図-4)¹¹⁾。同様の研究はPellによっても行われており、サンドアスファルトについての疲労曲線が得られている¹²⁾。これに対して、試験舗装を解析することによるアスファルトコンクリート層のひずみ規準がいくつか示されている。まず、KinghamはAASHO道路試験結果を多層弾性理論により解析することにより図-5のひずみ規準を示している¹³⁾。また、Hicksらは、路床ひずみ規準開発時と同様の試験舗装の解析結果から、図-6のような規準を示している。さらに、Chouらも図-7に示す規準を示している。

アスファルト舗装の理論的設計法では、上記のように、舗装を多層弾性体とみなす手法を採用している。この場合、アスファルト舗装の表・基層部分を構成するアスファルトコンクリートは、その力学特性が温度と荷重速度に応じて変わってしまう材料であることから、舗装の使用条件に応じてそれを合理的に決定する必要がある。ここでは、温度としてダイナフレクトを用いた方法で標準としている20℃を採用することにした。また、荷重速度としては、空港舗装を対象とした米国の設計法で用いられている滑走路、誘導路・エプロンの、それぞれに対する周波数、10Hz、2Hzを踏襲した。

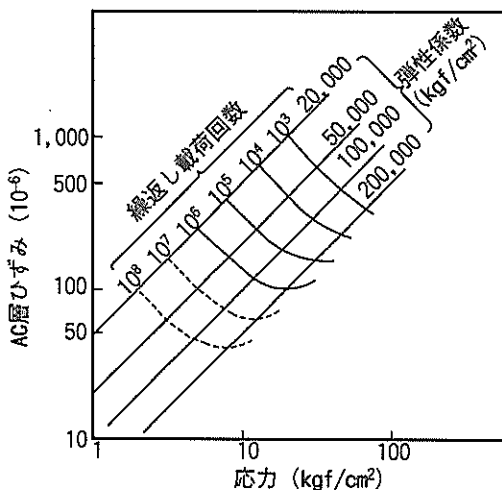


図-4 室内試験によるAC層ひずみ規準 (Heukelomら)

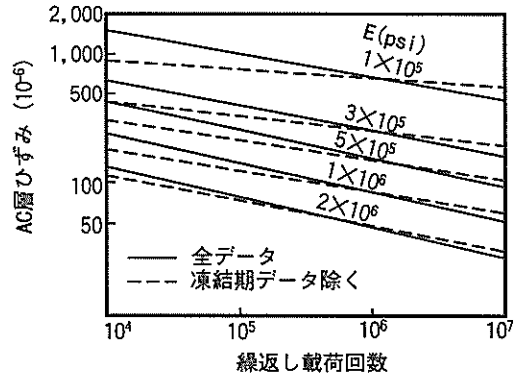


図-5 試験舗装によるAC層ひずみ規準 (Kingham)

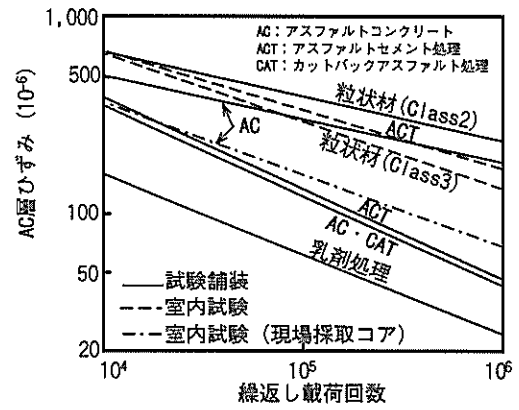


図-6 試験舗装によるAC層ひずみ規準 (Hicksら)

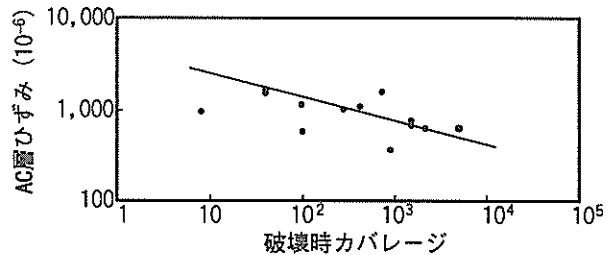


図-7 試験舗装によるAC層ひずみ規準 (Chouら)

アスファルトコンクリートのスティフネス(弾性係数)は、Heukelomらの示した方法に従って求めることにした。具体的にはvan der Poelのノモグラムからアスファルト単体のスティフネスを求めてから、アスファルトコンクリートのスティフネスを算出するという手法を用いた。具体的には、アスファルトの品質として、空港舗装で一般的に使用されているものの規格、すなわち針入度70(1/10mm)、軟化点48℃を用い、アスファルト量を5.8%とすると、アスファルトコンクリートのスティフネ

スは周波数2, 10Hzのそれぞれで, 2.5kN/mm^2 , 5.2kN/mm^2 という値が得られる。

これらの値を用いて, 以上で得られた既応の研究成果に関する知見を総合すると, 図-8のような破壊規準が得られる。

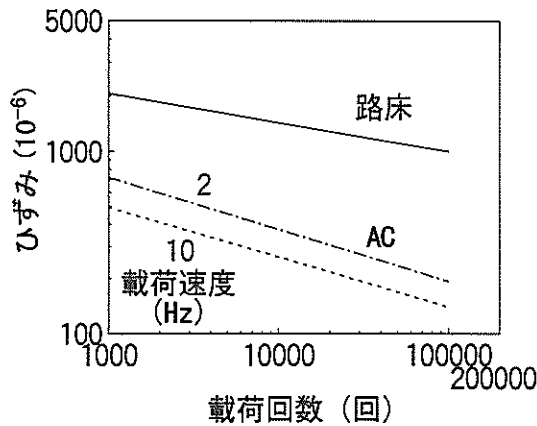


図-8 既応の研究成果に基づいた破壊規準

このような構造を有する舗装に設計荷重が載荷された場合のアスファルトコンクリート層ならびに路床ひずみは, いずれも車輪直下において最大値を示すことがわかった。その例として, 図-9に設計カバレッジ20,000回の場合の路床ひずみを示した(路盤弾性係数 200N/mm^2)。路床CBRの値によらず車輪直下でひずみは最大となっている。

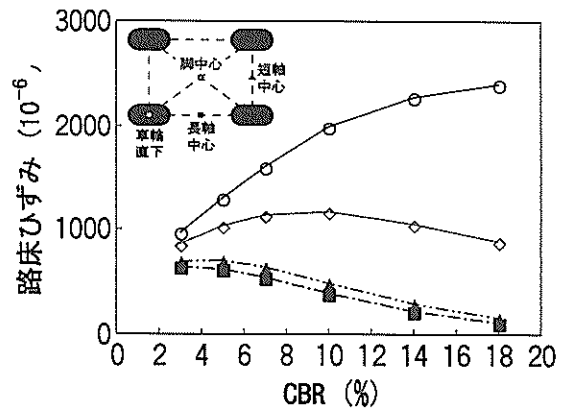


図-9 各計算位置における路床ひずみの違い

2.2 現行CBR設計法との対応

わが国の空港アスファルト舗装は, 上記のように, CBR法に従って設計されている。ここでは, このようにして設計された舗装に対する既往の研究による破壊規準の適用性について検討した。これを行うにあたり, 現行の空港アスファルト舗装の設計法では, 路盤に粒状材料を用いる場合の舗装厚が求められるようになっていることから, ここでも舗装構造としてはアスファルトコンクリートからなる表・基層, 粒状材路盤, 路床の3層構造のものを検討の対象とした。

計算条件として, 設計荷重をLA-1 (B-747-400), 設計カバレッジを5,000, 10,000, 20,000, 40,000回の4種類, 路床CBRを3, 5, 7, 10, 14, 18%の6種類とした。このような条件に対して舗装厚は54~268cmとなる。

解析に用いる舗装各層の弾性係数のうち, 表・基層については温度 20°C , 周波数2Hzと仮定して推定された 2.5kN/mm^2 を, 路床についてはCBRの100倍 (kgf/cm^2 単位)を用いた。これに対して, 粒状材路盤の弾性係数については, 推定方法として一般的なものがないため, 比較的広範囲の値を仮定することにした。なお, 各層のポアソン比として0.3をとり, 舗装表面から6m以深には基盤層 (7kN/mm^2)を仮定した。

この車輪直下点におけるアスファルトコンクリート層ならびに路床のひずみを, 上記の条件に対して設計された舗装構造について算出し, 2.1で示した既応の研究に基づく破壊規準の適用性について検討した。具体的には, 粒状材路盤の弾性係数を変化させてアスファルトコンクリート層ひずみ (ϵ_f), 路床ひずみ (ϵ_v)を計算した。

路床CBRが10%の場合の ϵ_f , ϵ_v に関する解析結果を図-10, 図-11に示す。同様に, 路床CBRを3~18%の範囲で種々に変えた場合の解析結果を, 図-12 (3%), 図-13 (5%), 図-14 (7%), 図-15 (14%), 図-16 (18%)に示す。CBR設計法によって求められた舗装構造における ϵ_f , ϵ_v が上記の破壊規準に合致するためには, 通常いわれている粒状材の弾性係数の範囲 ($100\sim 300\text{N/mm}^2$)に比べ, かなり大きい値が必要となることわかる。これは, CBR設計法に従って決定された舗装構造を上記の破壊規準に基づいて評価すると舗装構造の強化が必要なることを意味するので, この破壊規準を空港アスファルト舗装の構造評価基準として用いることは困難であろう。

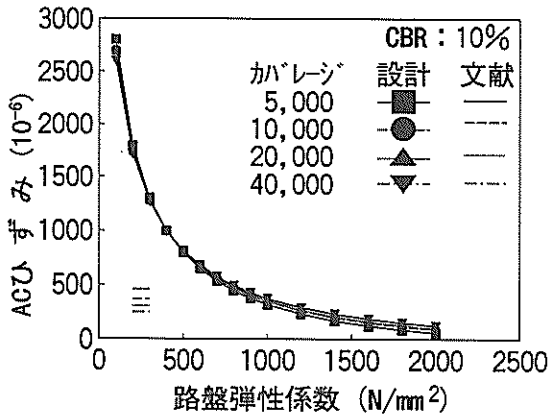


図-10 路床CBR10%時のAC層ひずみ

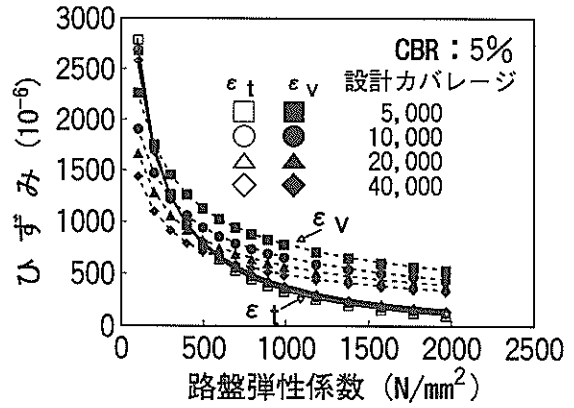


図-13 路床CBR5%時のひずみ

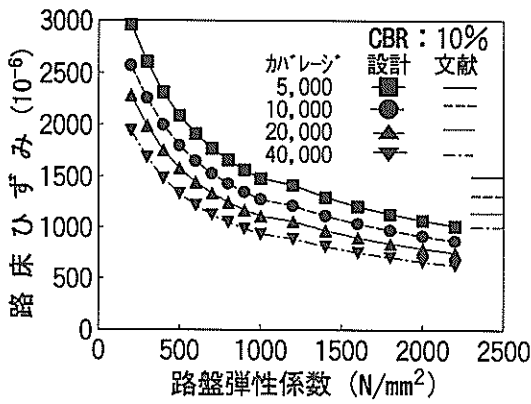


図-11 路床CBR10%時の路床ひずみ

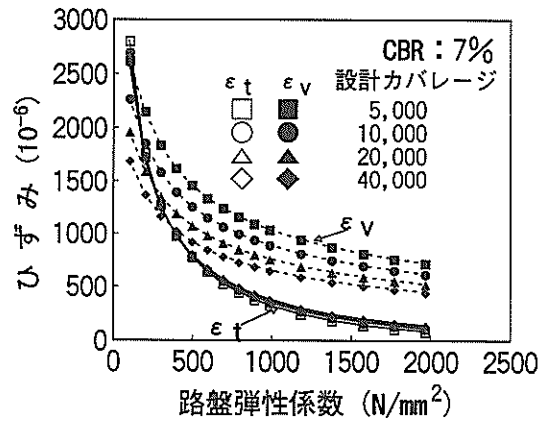


図-14 路床CBR7%時のひずみ

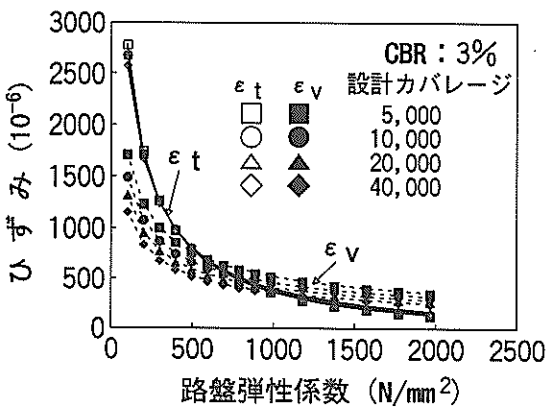


図-12 路床CBR3%時のひずみ

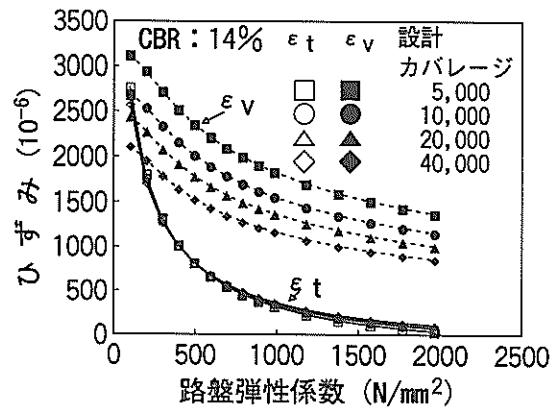


図-15 路床CBR14%時のひずみ

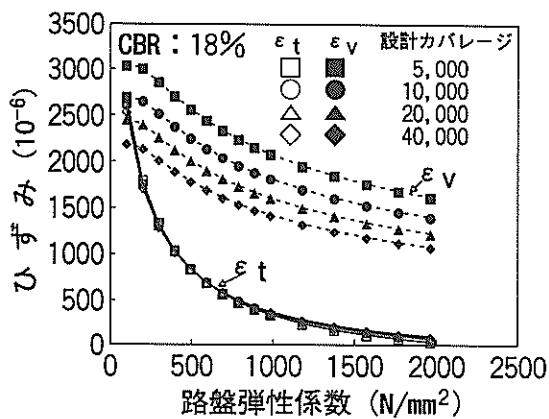


図-16 路床CBR18%時のひずみ

2.3 新しい破壊規準の策定

2.2の結果を受けて、空港アスファルト舗装を対象とした新たな破壊規準について検討することとした。具体的には、試験舗装を製作して載荷試験を行い、その結果に適合する破壊規準、すなわち、アスファルトコンクリート層ならびに路床のひずみを見出すことを試みた。

舗装としてはアスファルトコンクリートによる表・基

層、粒状材路盤、路床という3層構造を有する2種類の試験舗装(1-A, 1-B)を製作した。具体的な構造は、図-17に示すとおりであり、路床CBRは共に10%、カバレッジは試験舗装1-Aでは20,000回、試験舗装1-Bでは5,000回の条件で設計されたものである(設計荷重 LA-1)。これらの舗装上でのFWDによるたわみ測定は、荷重200kNで行った。たわみは荷重直下のほか、荷重中心から30、45、60、90、150、250cm離れた7点のものである。

破壊規準は以下の手順によって検討した。

- ①FWDたわみに対して多層弾性理論を用いた逆解析手法(LMBS¹⁴⁾)により舗装各層の弾性係数を求める。ここでは、各層のポアソン比を2.2で用いた値とし、弾性係数を未知数としている。
- ②表・基層、路床の弾性係数としては2.2で使用した値、路盤の弾性係数としては①で得られたものを使用して、多層弾性理論(BISAR)により設計荷重が載荷された場合のひずみを計算する。
- ③②の場合で、路盤の弾性係数として一般的に用いられている100~500N/mm²としたときのひずみを計算する。
- ④②において得られたひずみの代表値を求め、これと合致するときの路盤の弾性係数が破壊規準策定時に用いるべき値となる。

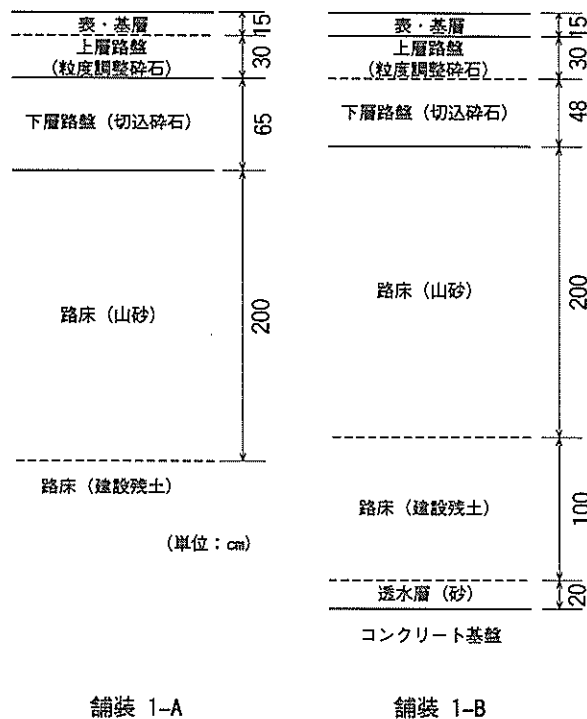


図-17 試験舗装構造

以上の手法により得られた試験舗装1-A, 1-Bに対する結果を図-18および図-19に示す。この図から、実測たわみに基づいて計算されたアスファルトコンクリート層、路床ひずみは、両方とも路盤の弾性係数として300N/mm²を仮定した場合の設計ひずみに相当していることがわかる。

ここに示したCBR10%以外の場合についてはデータがないことから、ここで決定された路盤の弾性係数として300N/mm²を用いて、路床CBR、カバレッジを種々に変えた場合のひずみに関する破壊規準を求めた。それを図-20、図-21に示した。

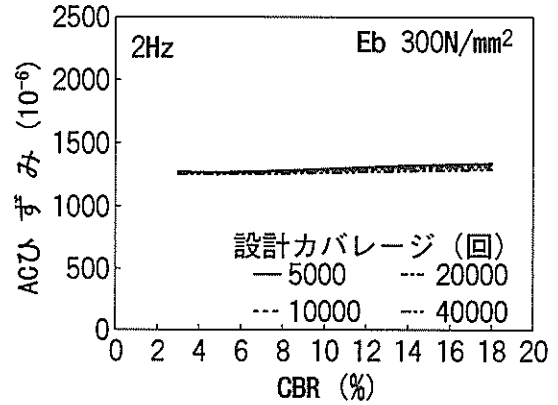


図-20 ϵ_t の破壊規準 (2Hz)

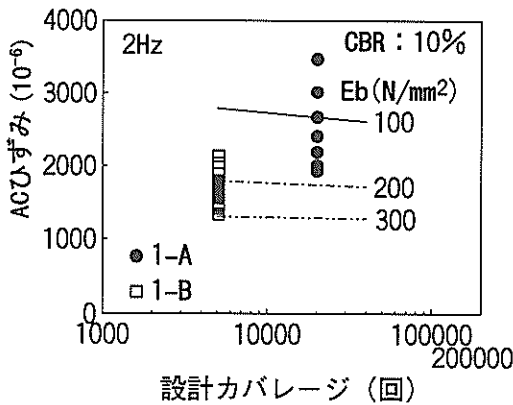


図-18 CBR10%時の ϵ_t 破壊規準

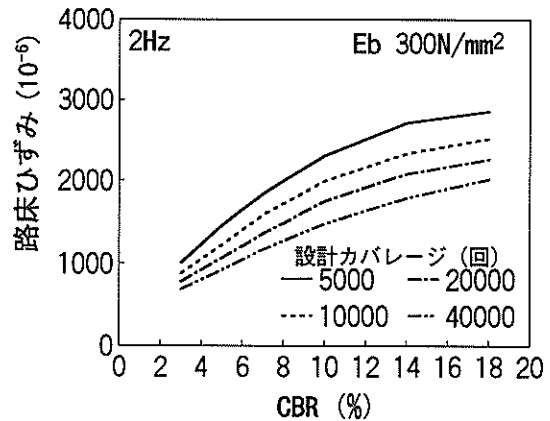


図-21 ϵ_v の破壊規準 (2Hz)

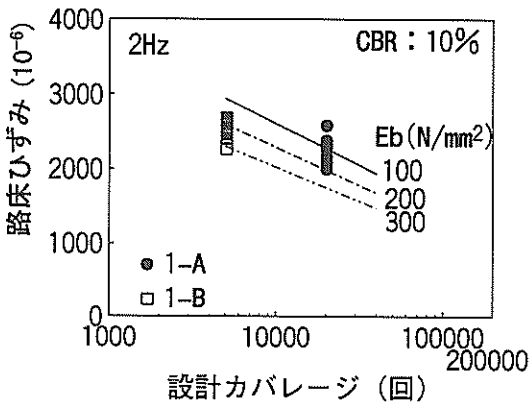


図-19 CBR10%時の ϵ_v 破壊規準

周波数10Hzとした場合についても、2Hzの場合と同様に計算した。図-22、図-23に路床CBR10%で載荷速度10Hzの場合におけるひずみに関する破壊規準を示す。これらの図から、破壊規準としては、路盤の弾性係数が300N/mm²程度とした場合のものに相当していることがわかる。したがって、周波数10Hzの場合についても路盤弾性係数を300N/mm²と設定して破壊規準を作成した(図-24、図-25)。

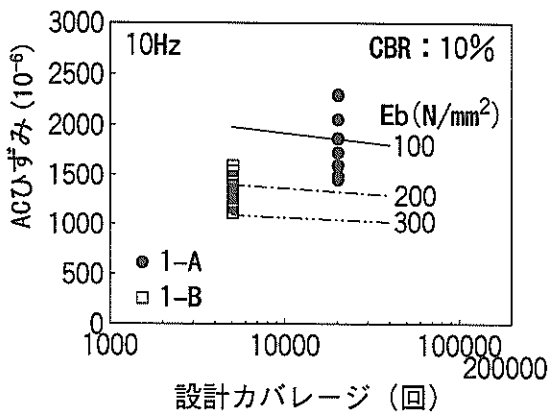


図-22 CBR10%時の ϵ_t 破壊規準 (10Hz)

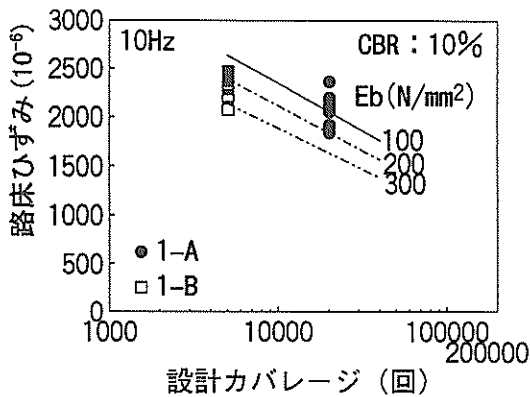


図-23 CBR10%時の ϵ_v 破壊規準 (10Hz)

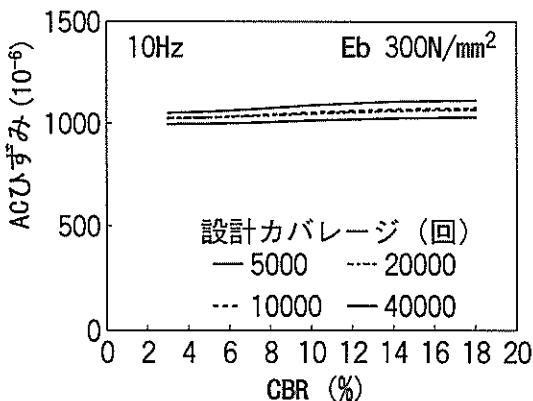


図-24 ϵ_t 破壊規準 (10Hz)

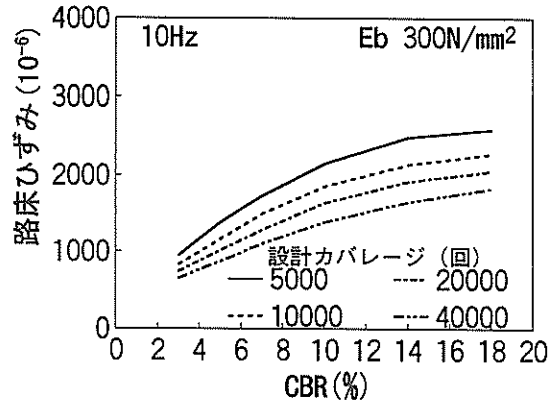


図-25 ϵ_v 破壊規準 (10Hz)

2.4 安定処理路盤を用いた場合の破壊規準

現行の空港アスファルト舗装構造設計では、大型航空機を設計荷重とした場合にはアスファルト安定処理上層路盤を用いることが原則となっている。この場合の舗装構造は、一般に、アスファルト混合物からなる表・基層ならびにアスファルト安定処理層、粒状材下層路盤、路床による3層構造となる。破壊規準については、粒状材路盤を用いた舗装と同一のもの、すなわちアスファルト混合物層（上層路盤）下面水平ひずみ (ϵ_t) ならびに路床上面垂直ひずみ (ϵ_v) を採用した。

アスファルト安定処理路盤を用いた場合も、粒状材路盤と同様に車輪直下において ϵ_v が最大値を示すことが図-26から明らかとなっているので、以降の解析ではこの点の値を用いている（設計荷重 LA-1、設計カバレッジ20,000回、粒状材弾性係数 200N/mm²）。破壊規準を作成する手順は粒状材路盤の場合と同様であり、6種類の試験舗装上でFWDにより測定したたわみデータを用いた。試験舗装は路床設計CBR10%、設計カバレッジ20,000回の条件で設計され、その構造は図-27のようになっている。

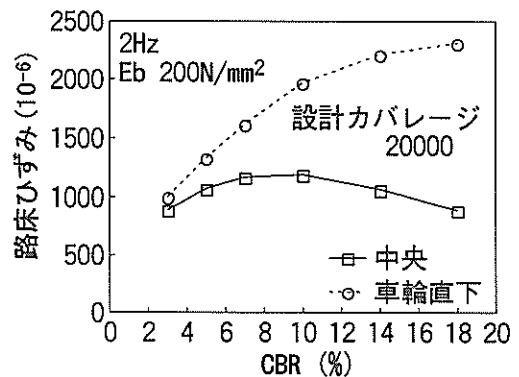
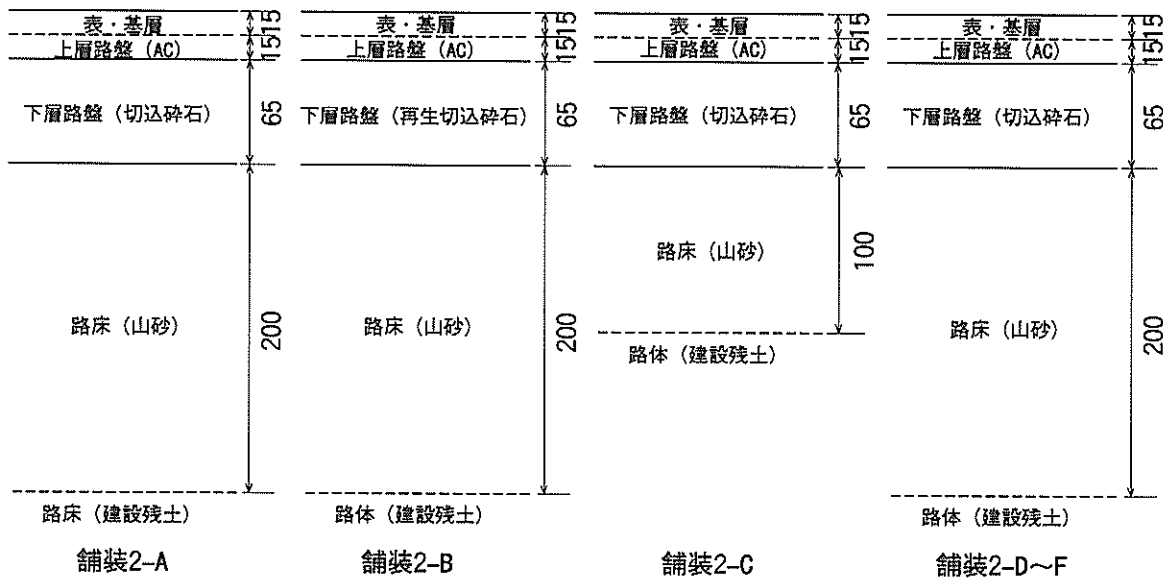


図-26 ϵ_v の計算位置による違い



注1) AC：アスファルトコンクリート
 注2) 舗装2-D～Fにおいて表・基層は、それぞれ3,2,1層施工である。

(単位：cm)

図-27 アスファルト安定処理路盤を有する試験舗装の構造

2.3で示した粒状材路盤の場合と同様の手法により行ったひずみに関する破壊規準の検討結果を図-28, 図-29に示す(周波数2Hz)。

これから、 ϵ_t , ϵ_v の破壊規準は、下層路盤の弾性係数として、それぞれ、 200N/mm^2 , 300N/mm^2 を仮定した場合のものに相当していることがわかる。そこで、ここで得られた下層路盤の弾性係数を使用して破壊規準を設定したところ、図-30, 図-31に示す結果が得られた。

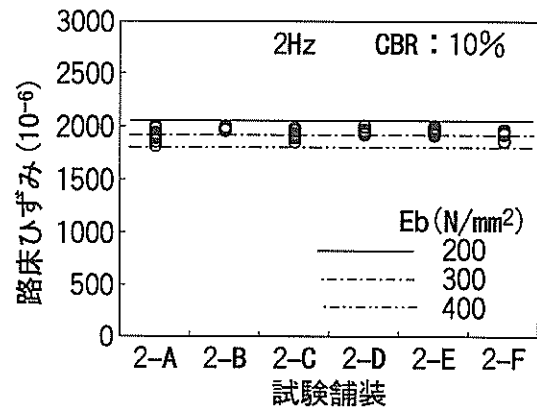


図-29 CBR10%時の破壊規準 (ϵ_v)

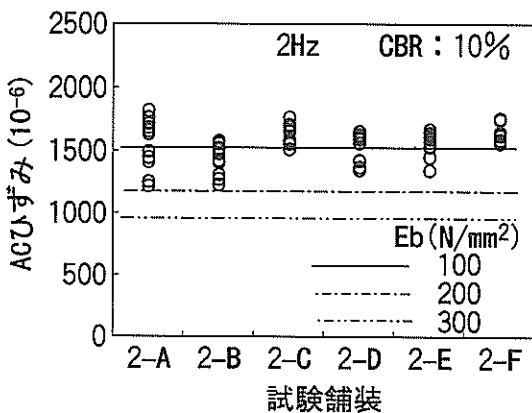


図-28 CBR10%時の破壊規準 (ϵ_t)

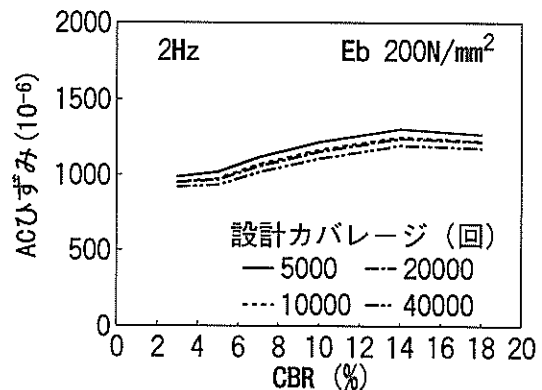


図-30 ϵ_t の破壊規準 (アスファルト安定処理路盤・2Hz)

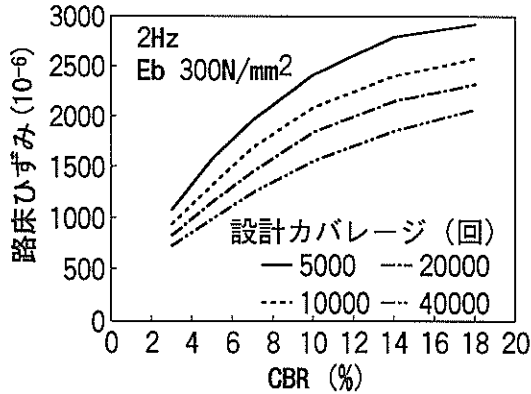


図-31 ϵ_v の破壊規準 (アスファルト安定処理路盤・2Hz)

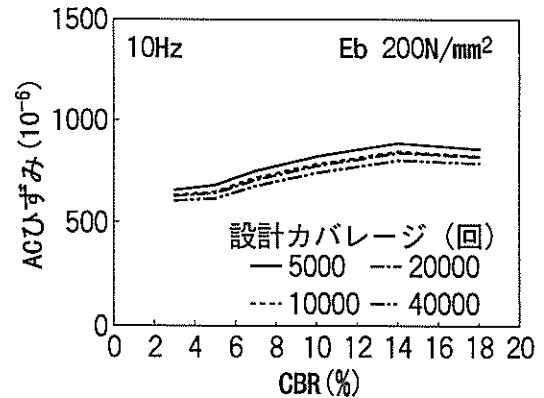


図-34 ϵ_t の破壊規準 (アスファルト安定処理路盤・10Hz)

周波数10Hzにおける破壊規準も、2Hzの場合と同様の手法により求めることが可能であり、図-32、図-33にその結果を示してある。これらの図から、 ϵ_t 、 ϵ_v の破壊規準は、下層路盤の弾性係数として、それぞれ、200N/mm²、500N/mm²を仮定した場合の破壊規準に相当していることがわかる。この弾性係数を使用して求めた破壊規準は図-34、図-35のようになる。

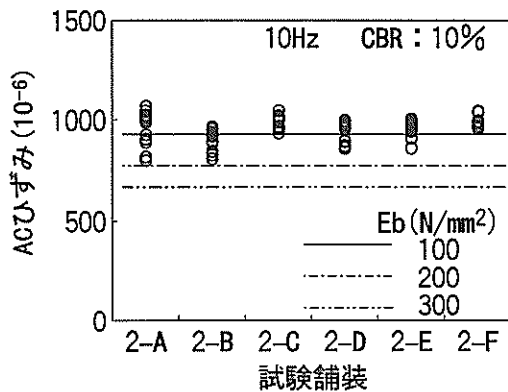


図-32 CBR10%時の破壊規準 (ϵ_t)

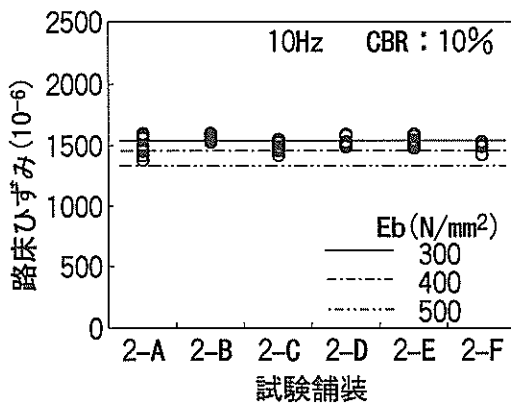


図-33 CBR10%時の破壊規準 (ϵ_v)

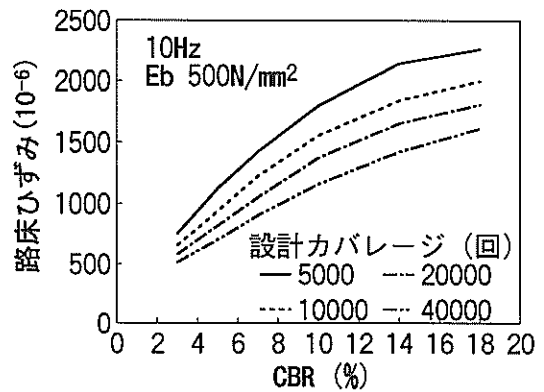


図-35 ϵ_v の破壊規準 (アスファルト安定処理路盤・10Hz)

3. 破壊規準に基づく構造評価

前章に示したように、路盤に粒状材、アスファルト安定処理材を用いた場合の空港アスファルト舗装の破壊規準として、アスファルトコンクリート層下面水平ひずみ (ϵ_t) と路床上面垂直ひずみ (ϵ_v) を採用し、その値を設定した。本章では、実際の舗装における多数の測定データを解析することにより、その検証を行っている。

3.1 ひずみ規準による舗装の構造評価手法

FWDにより測定されたたわみを用いたアスファルト舗装の構造評価手法をフローチャートで示せば図-36のようになる。

①FWDたわみを逆解析することによりアスファルトコンクリート層、粒状材路盤および路床における弾性係数を求める。このときには多層弾性理論を用いた逆解析法を使用する。

②アスファルトコンクリートの力学特性は載荷速度ならびに温度の影響を受けることから、①で求められたアス

ファルトコンクリートの弾性係数を周波数2および10Hz, 温度20℃という標準状態のものに換算する必要がある。その方法は、以下のようなものである。

i) アスファルトコンクリート層の平均温度は、気温と舗装表面温度からアスファルトコンクリート層の内部温度を推定する丸山ら¹⁵⁾の方法により推定する。ここでは、140mm厚のアスファルトコンクリート層の中央部（深さ 70mm）の位置の温度を平均温度としている。なお、気温が不明な場合には、気温と天候から舗装表面温度を推定する秋山¹⁶⁾の方法を用いて、舗装表面温度から逆算する。

ii) アスファルトコンクリートの弾性係数の温度と載荷時間による変換については、温度と載荷時間が複素弾性率に及ぼす影響を定量化した笠原ら¹⁷⁾の実験式(2)式を用いて行った。

$$E(2/10,20) = E_{FWD} \times \frac{E_{lab}(2/10,20)}{E_{lab}(FWD,T)} \quad (2)$$

ここで、

$E(2/10,20)$: E_{FWD} を周波数2または10Hz, 温度20℃のときへ変換した値

E_{FWD} : FWDたわみの逆解析により得られるアスファルトコンクリート層弾性係数

$E_{lab}(2/10,20)$: 室内試験による周波数2または、10Hz, 温度20℃のときのアスファルトコンクリート層弾性係数

$E_{lab}(FWD,T)$: 室内試験によるFWD載荷時間, 温度T℃のときのアスファルトコンクリート層弾性係数

③周波数, 温度を標準状態のものとしたときのアスファルトコンクリート層弾性係数, ①で求めた粒状材路盤および路床弾性係数を用いて多層弾性理論により ϵ_t , ϵ_v を求める。

④逆解析による路床弾性係数を100で除すことにより (単位: kgf/cm²) 路床CBRを求め (単位: kgf/cm²) , 2. で示した破壊規準と比較する。

3.2 走行前データによる検証

(1) 粒状材路盤を有する舗装

2.でまとめた破壊規準策定時に使用したデータを用いて、上記の構造評価法について周波数2Hzの場合の検証を行った。その結果を図-37, 図-38にまとめた(それぞれ, ϵ_t , ϵ_v)。逆解析により得られた路床弾性係数から推定されたCBRとしては設計CBR (10%) 近傍の値が得られている。 ϵ_t , ϵ_v とも、推定された値は、測定ご

とに異なっており、分散が大きいものとなっていることがわかる。平均値で見ると、試験舗装1-Aの場合は破壊規準とほぼ一致するものの、試験舗装1-Bにあつては ϵ_t が若干小さな値となっている。

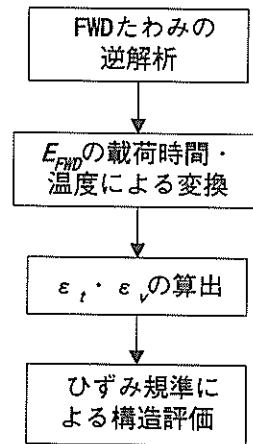


図-36 構造評価のフローチャート

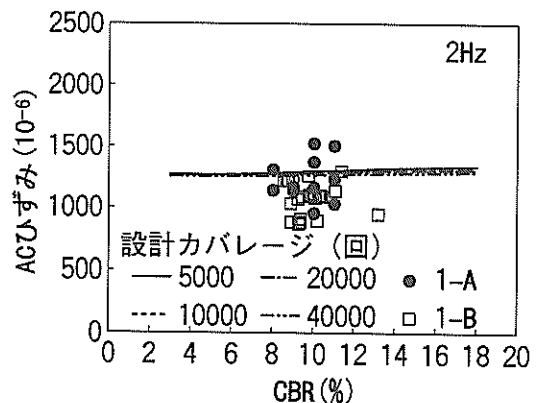


図-37 ϵ_t の検証 (2Hz)

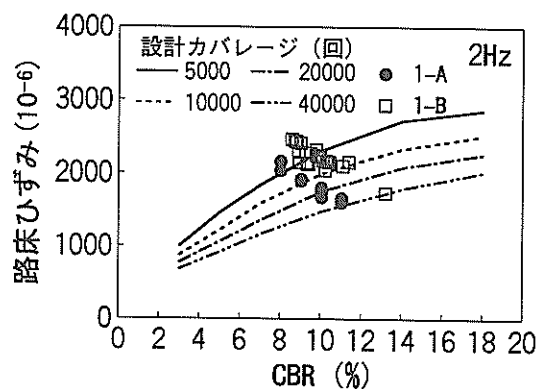


図-38 ϵ_v の検証 (2Hz)

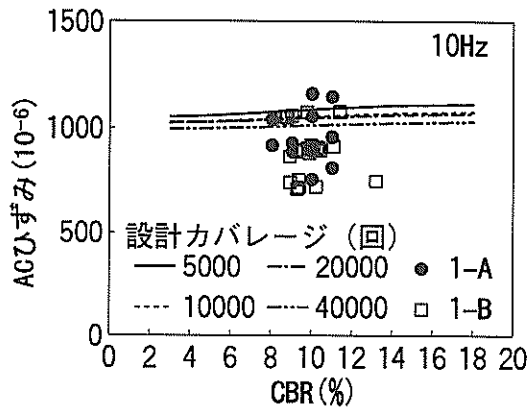


図-39 ϵ_f の検証 (10Hz)

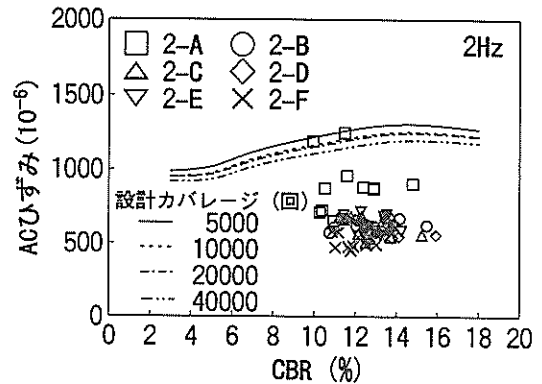


図-41 ϵ_f の検証 (2Hz)

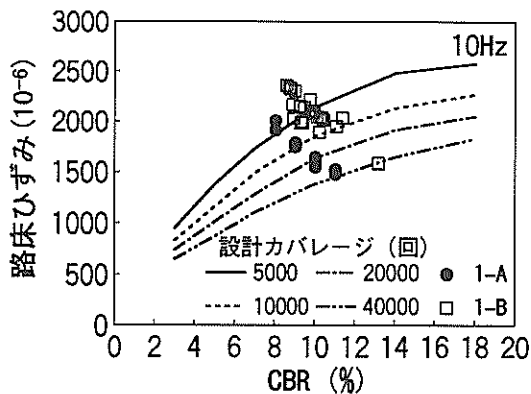


図-40 ϵ_v の検証 (10Hz)

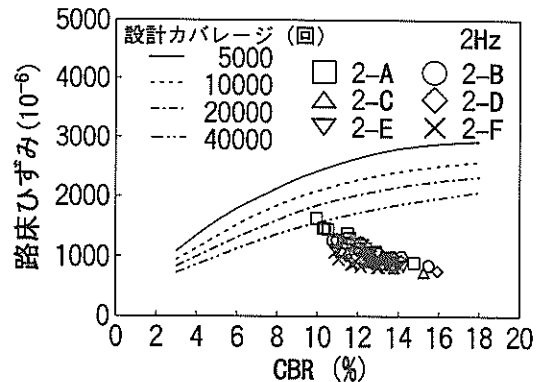


図-42 ϵ_v の検証 (2Hz)

周波数が10Hzの場合も、上記の2Hzの場合と同様の傾向を示していることが、図-39、図-40からわかる (ϵ_f , ϵ_v)。

(2) アスファルト安定処理路盤を有する舗装

路盤にアスファルト安定処理材を用いた場合についても、破壊規準策定時に使用したデータを用いて構造評価法の検証を行った。周波数2Hzの場合のアスファルトコンクリート層ならびに路床のひずみについて図-41、図-42にまとめた。同様に、周波数10Hzの場合を、図-43、図-44にまとめた (それぞれ ϵ_f , ϵ_v)。全体的にみて、破壊規準よりも小さな値が得られていることから、2.で設定した破壊規準は安全側となっていることがわかる。

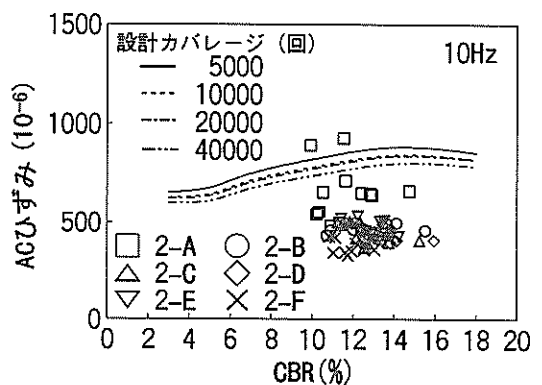


図-43 ϵ_f の検証 (10Hz)

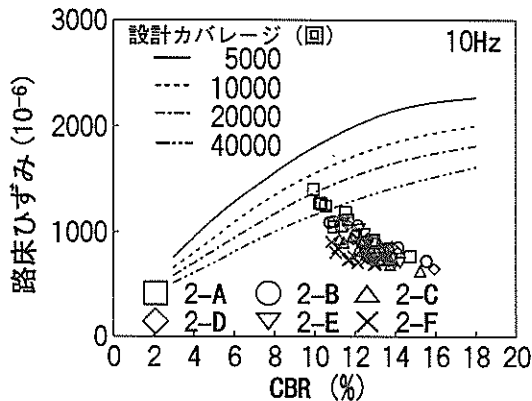


図-44 ϵ_v の検証 (10Hz)

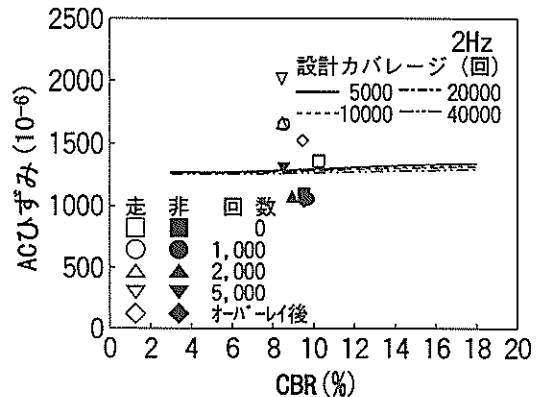


図-45 走行にともなう ϵ_f の変化 (2Hz)

3.3 走行載荷試験結果の構造評価

粒状材路盤を用いた1-A試験舗装区画とアスファルト安定処理路盤を用いた試験舗装では、設計航空機荷重LA-1に相当する脚荷重を有する原型走行荷重車を10,000回まで走行させて、舗装の性状変化を調べている。特定の走行回数時にはFWDによるたわみ測定を行っているため、このデータを使用して各走行回数時の ϵ_f 、 ϵ_v を求め、その値に注目して構造評価を行った。粒状材路盤を用いた舗装においては、走行5,000回後にオーバーレイが行われているので、その場合についても上記と同様に構造評価を行った。

(1) 粒状材路盤を有する舗装

試験舗装1-A区画における走行載荷試験で得られた各走行回数時ならびにオーバーレイ後の ϵ_f 、 ϵ_v を図-45、図-46に示す(周波数 2Hz)。両者とも、走行部と非走行部における差が明確であり、また走行部においては走行回数の増加につれてひずみも増加しており、走行載荷の影響が顕著にみられることがわかる。走行5,000回後に行ったオーバーレイによる補修効果をみると、 ϵ_f においては破壊規準でみると40,000回以上に相当するまで回復している。また、 ϵ_v でも未走行時と同程度にまで回復しており、オーバーレイによる効果が現れている。

周波数10Hzの場合についても、 ϵ_f 、 ϵ_v を図-47、図-48に示すように、2Hzの場合と同様の結果が得られている。

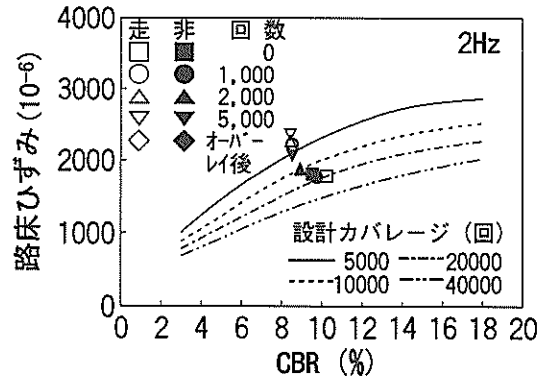


図-46 走行にともなう ϵ_v の変化 (2Hz)

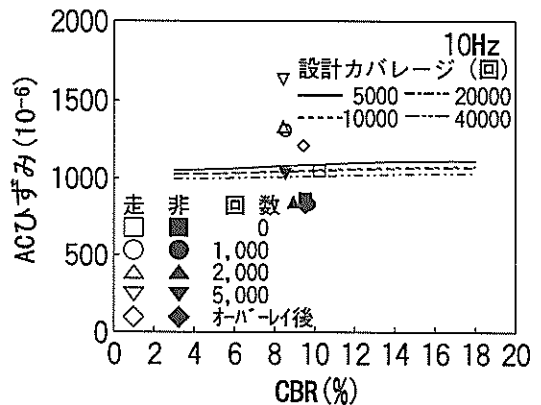


図-47 走行にともなう ϵ_f の変化 (10Hz)

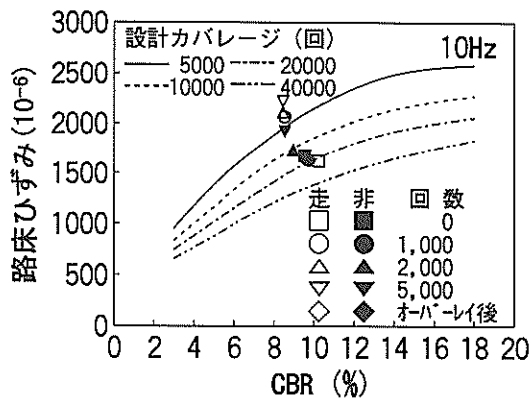


図-48 走行にともなう ϵ_v の変化 (10Hz)

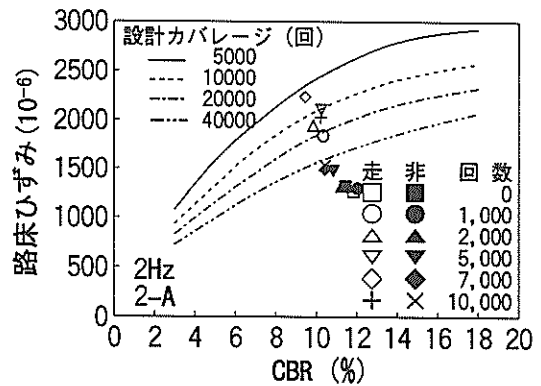


図-50 走行にともなう ϵ_v の変化 (2Hz)

(2) アスファルト安定処理路盤を有する舗装

ここでは、路盤材としてアスファルト安定処理材を用いた試験舗装のうちから、2-A区画における載荷試験データを取り上げて構造評価法の検証を行う。

各走行回数におけるFWDたわみデータを使って計算した ϵ_t 、 ϵ_v を、周波数2Hzの場合について図-49、図-50に示す。この場合も、粒状路盤と同様に、走行載荷の影響が顕著になっている。走行載荷試験前にはひずみの値が十分小さかったものの、試験開始後早い時期に設計カバレッジに対応する規準値を超えるまでになっていることがわかる。

周波数10Hzの場合についても、図-51、図-52に示すように、周波数2Hzの場合と同様の結果が得られている。

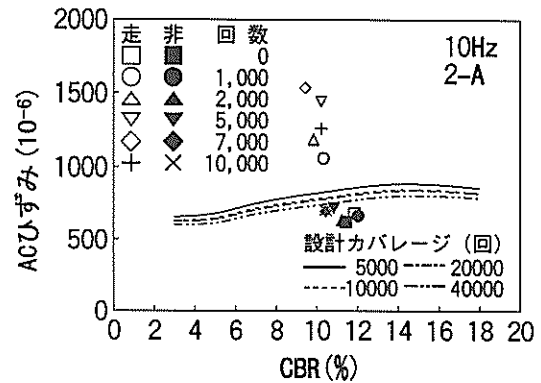


図-51 走行にともなう ϵ_t の変化 (10Hz)

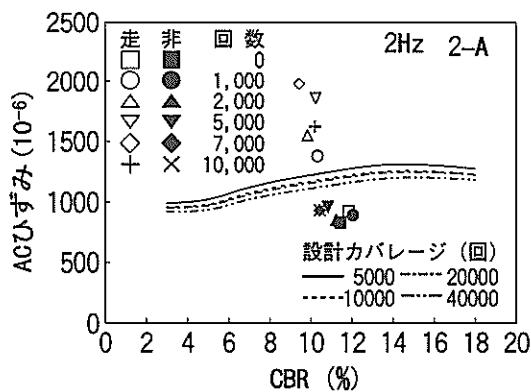


図-49 走行にともなう ϵ_t の変化 (2Hz)

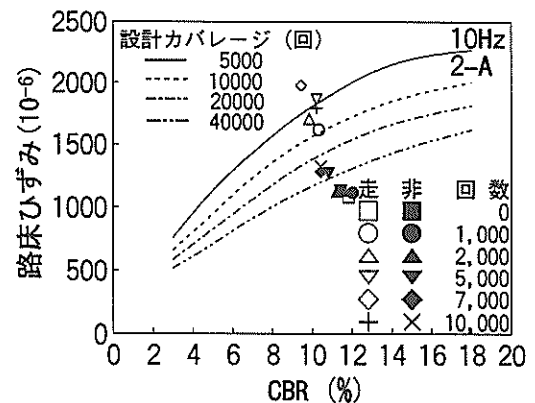


図-52 走行にともなう ϵ_v の変化 (10Hz)

3.4 層厚の増加にともなうひずみの変化

3.3で示した粒状材路盤を有するアスファルト舗装に対する構造評価法の検証では、繰返し走行により ϵ_r 、 ϵ_v が増加すること、オーバーレイによりそれらが減少することがわかった。この点を詳しく検討するために、アスファルトコンクリート層の構築段階（上層路盤、基層、表層上）でFWDによるたわみ測定を行っている。このときに用いた舗装構成を図-53に示した。

まず、上層路盤、基層、表層という各造成段階における舗装構造をそれぞれ既設舗装とみなして3層構造として解析した。各造成段階におけるFWDたわみの解析結果として、 ϵ_r 、 ϵ_v を図-54と図-55（2Hz）、図-56と図-57（10Hz）に示す。いうまでもなく、造成が進むにつれて、すなわちアスファルトコンクリート層厚が増加するにつれて、ひずみは減少していき、規準値よりもかなり小さな値となることがわかる。

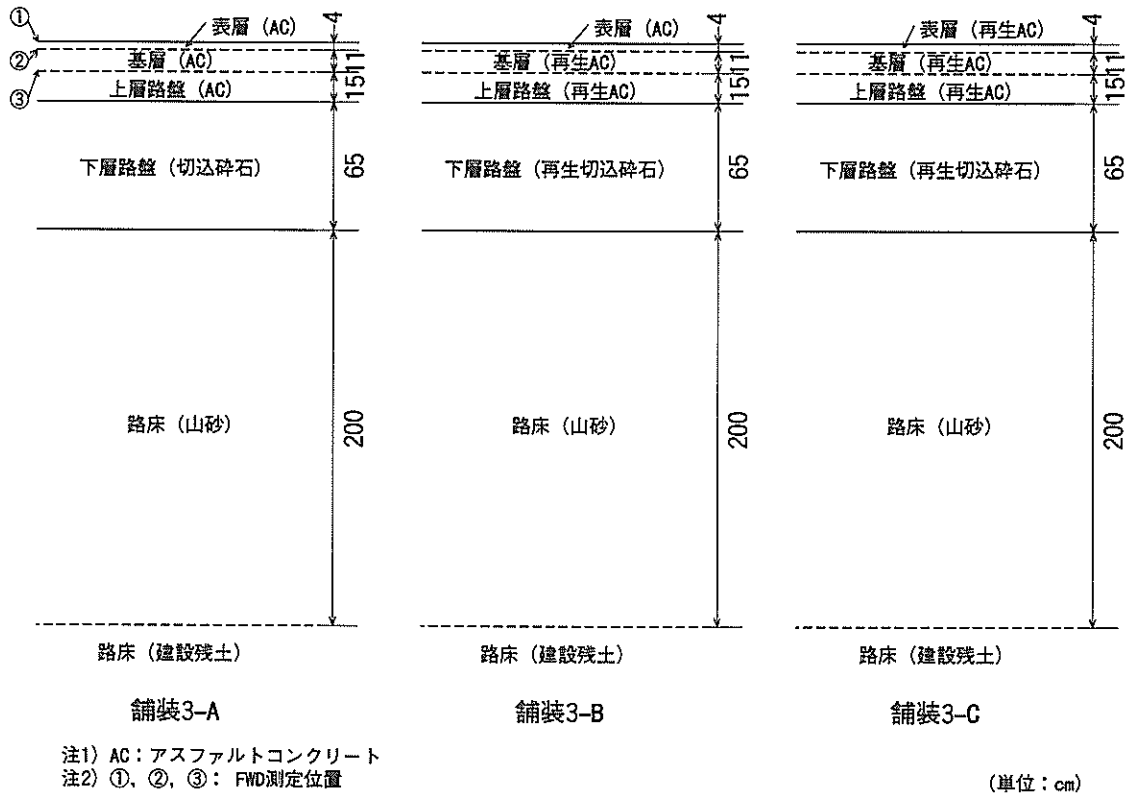


図-53 造成段階でたわみ測定を行った舗装構成

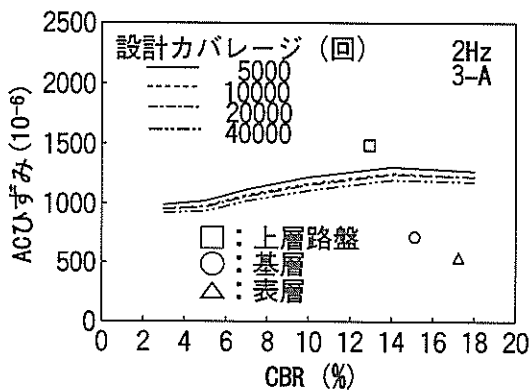


図-54 造成にともなう ϵ_r の変化 (2Hz)

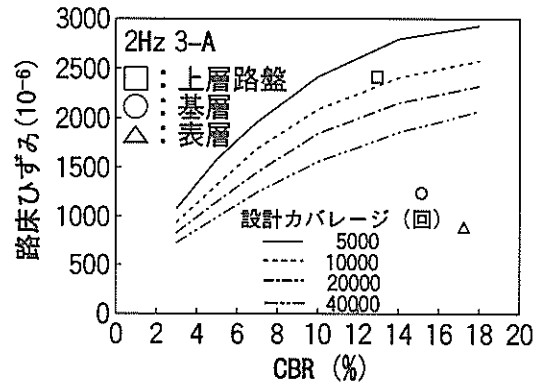


図-55 造成にともなう ϵ_v の変化 (2Hz)

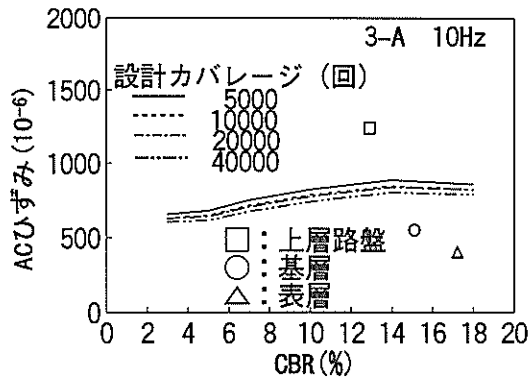


図-56 造成にともなう ϵ_f の変化 (10Hz)

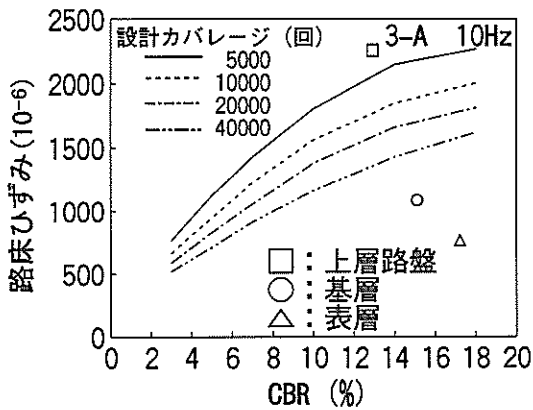


図-57 造成にともなう ϵ_v の変化 (10Hz)

この場合、上層路盤上での測定結果においてひずみが破壊規準を超えているので、新たに4層目としてアスファルトコンクリートオーバーレイ層を設定して ϵ_f 、 ϵ_v を計算することにした。オーバーレイ層厚を種々に変えて、 ϵ_f 、 ϵ_v を求め、これらのひずみが所定の破壊規準に合致するときが必要オーバーレイ厚となる。なお、オーバーレイ層の力学定数は、破壊規準を作成する際に用いたものと同様に、弾性係数は 2.5kN/mm^2 (2Hz)、 5.2kN/mm^2 (10Hz) を、ポアソン比は0.3を用いた。

この結果をオーバーレイ厚とひずみの関係としてまとめることにより、オーバーレイ厚設計曲線が得られた。図-58、図-59はそれぞれ、2Hz、10Hzの場合である。これらの図からオーバーレイ厚の増加によりひずみの値が減少していくことは明らかとなっている。設計カバレッジ20,000回に対応するものを求めると、荷重速度2Hz、10Hzの場合で、それぞれ70mm、100mmのオーバーレイが必要となることがわかる。同様に、設計カバレッジ5,000回に対しては、50mm、90mmとなることがわかる。

3. で示したように破壊規準が大きめの値に設定されていることもあって、アスファルトコンクリート層としての必要厚は図-53に示した新設設計時のものと比較すると小さなものになる。

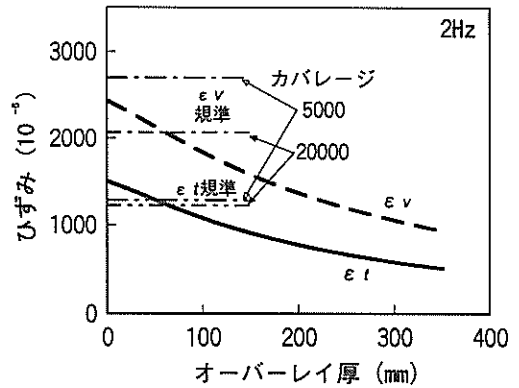


図-58 オーバーレイ厚とひずみ (2Hz)

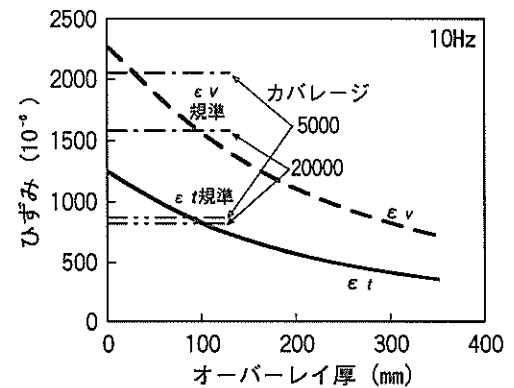


図-59 オーバーレイ厚とひずみ (10Hz)

4. たわみによる構造評価

空港アスファルト舗装の構造評価法として現時点で用いられているダイナフレクトによる非破壊評価法³⁾では、測定たわみ (DMD) を基準たわみと比較することにより、既設舗装の補修の必要性の有無の判断、そしてその後に引き続きオーバーレイ厚の算定をおこなうことができるようになっている。このようなたわみに注目した補修必要性の判断は現場で容易に行えることから、今回検討したFWDを用いた方法においてもひずみに注目した構造評価の前段に位置づけて、今回新たに開発した。

4.1 たわみ規準の設定

ここでもひずみによる破壊規準を作成したときに用いた手法を踏襲してたわみ規準を策定した。すなわち、3.ではアスファルトコンクリート層ならびに路床のひずみに注目したが、本章ではたわみに注目して計算を行った。

FWD荷重が載荷された場合に得られるたわみのうちで注目すべきものとしてダイナフレクトを用いた方法における最大たわみに相当する載荷板中心のたわみ D_0 を採用する。このときの荷重については200kN、粒状材路盤の弾性係数は、 ϵ_t 、 ϵ_v それぞれの破壊規準で用いている値のうち大きいほうの値を採用して規準を算定した。粒状材路盤を有する舗装について得られた結果を図-60にまとめた。同様に、アスファルト安定処理路盤を有する場合について図-61、図-62に示した（それぞれ2Hz、10Hz）。当然ではあるが、設計カバレッジが大きくなるにつれて D_0 が小さくなること、周波数の大きいほうが D_0 は小さくなることが明らかである。また、CBRが大きい場合には D_0 が小さくなるのがわかる。

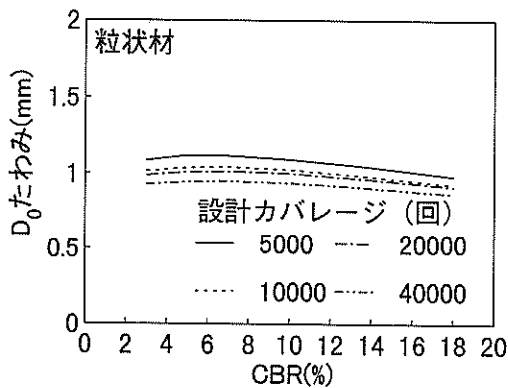


図-60 粒状材路盤の D_0 規準

上記のように求められたたわみ規準は温度が20℃の場合のものである。現場における測定時には温度がこれとは異なることがほとんどであることから、実測値を規準値と比較するためには、測定値を標準状態のもの（温度20℃）に補正しなくてはならない。そこで、実測値を標準状態のものに簡易に補正するためのノモグラフを作成した。その方法としては、ダイナフレクトの場合と同様に、種々の温度におけるたわみを計算し、これを標準状態時の計算たわみにより除したものを補正係数とする方法を用いた。すなわち、任意の温度におけるFWDによるたわみ測定値を標準状態におけるものに変換する場合には、この補正係数により除すことが必要となる。

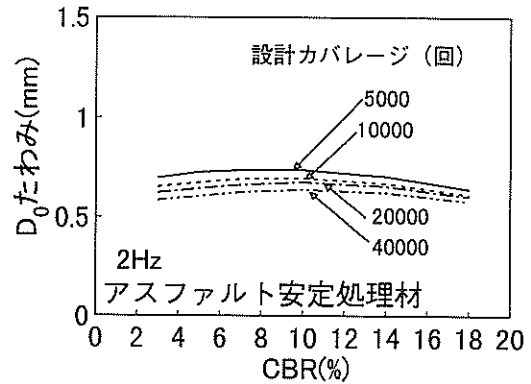


図-61 安定処理路盤の D_0 規準 (2Hz)

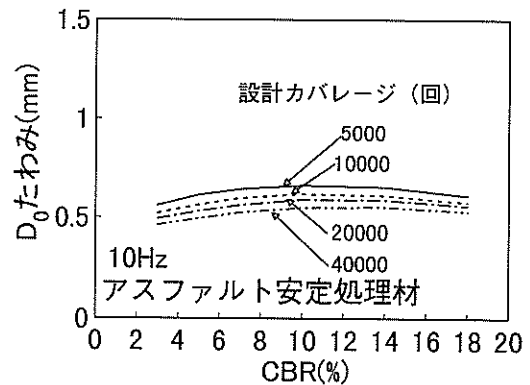


図-62 安定処理路盤の D_0 規準 (10Hz)

ここで用いた舗装構造は、ひずみ規準策定時と同様に、路床CBR10%、設計荷重 LA-1、設計カバレッジ20,000回、路盤として粒状材とアスファルト安定処理材を使用したもので、その構成は空港アスファルト舗装構造設計要領に従って決定された。各層の力学特性についてもひずみ規準策定時と同様の方法により決定された。このうち、アスファルトコンクリート層の弾性係数については、まずvan der Poel, Heukelomの方法で温度20℃に対して推定される値を基準として、温度が変化した場合のものを笠原の方法により求めている。FWDによるたわみ測定時に表面温度しか測定できない場合には、ひずみ規準算定時に使用した丸山ならびに秋山の方法を用いて表面温度からアスファルトコンクリート層の平均温度を推定した（図-63）。

以上のようにして求められたアスファルトコンクリート層の平均温度が標準温度と異なる場合の D_0 の補正係数を図-64に示す（粒状材路盤）。同様にアスファルト安定処理路盤の場合を図-65にまとめた（周波数 2Hz、

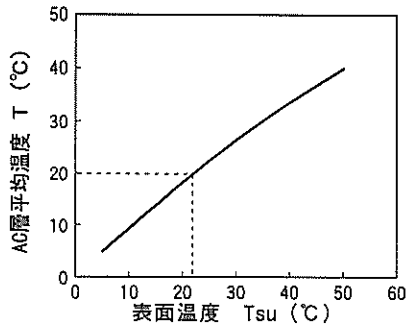


図-63 表面温度と層内平均温度

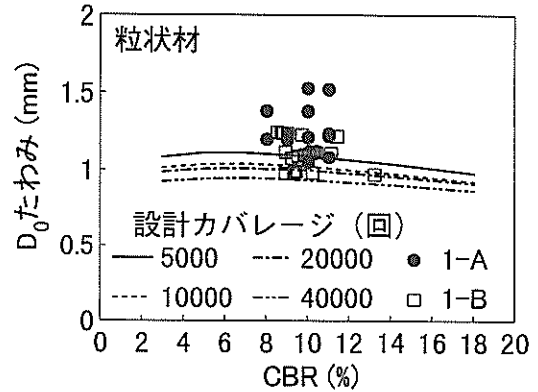


図-66 たわみ規準による構造評価 (2Hz)

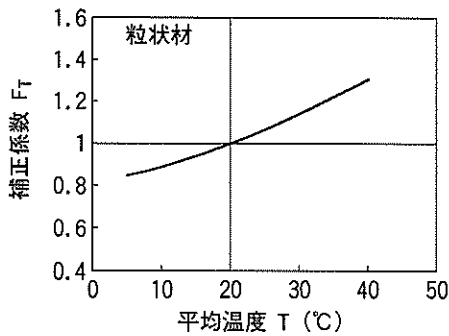


図-64 温度補正ノモグラフ (粒状材路盤)

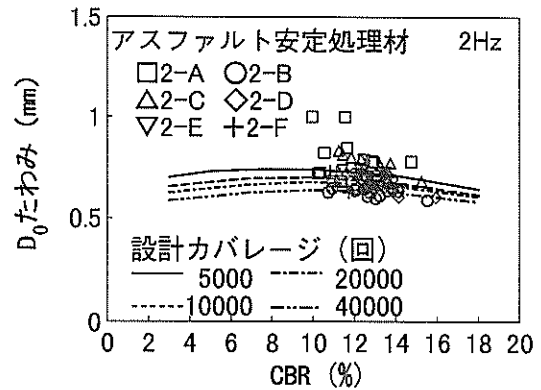


図-67 たわみ規準による構造評価 (2Hz)

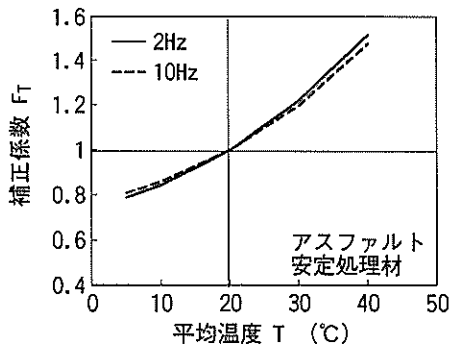


図-65 温度補正ノモグラフ (安定処理路盤)

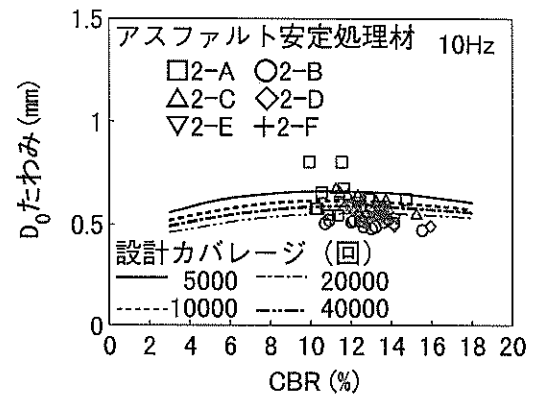


図-68 たわみ規準による構造評価 (10Hz)

10Hz) .

4.2 たわみ規準の検証

(1) 走行前データによる検証

粒状材路盤を有する試験舗装1-A, 1-Bについて, 上記のたわみ規準に基づいて行った構造評価結果を図-66に示した. 設計カバレッジが5,000回である1-B舗装では, いくつかのデータが設計カバレッジに相当するたわみ規準を上回っているものの, 平均値をみるとそれとほぼ近

い値を示している. 1-A舗装 (設計カバレッジ20,000回) については, 補正たわみがたわみ規準を全体的にはほぼ上回っていることがわかる.

アスファルト安定処理路盤を用いた舗装2-A~F (設計カバレッジ20,000回) について, たわみ規準による構造評価を図-67, 図-68に示す (周波数2Hz, 10Hz). 2-A

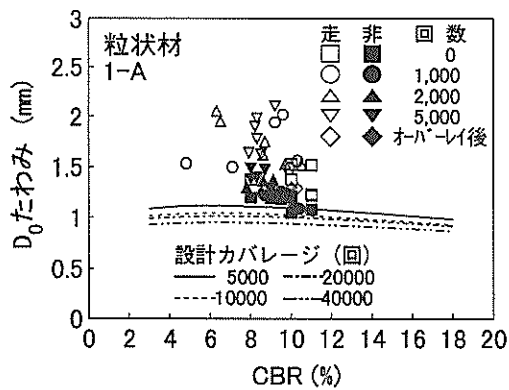


図-69 走行載荷時の構造評価 (2Hz)

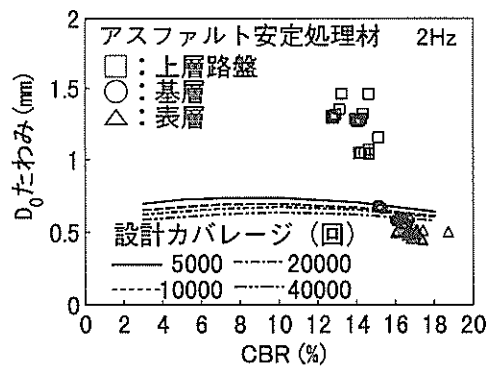


図-72 造成段階での構造評価 (2Hz)

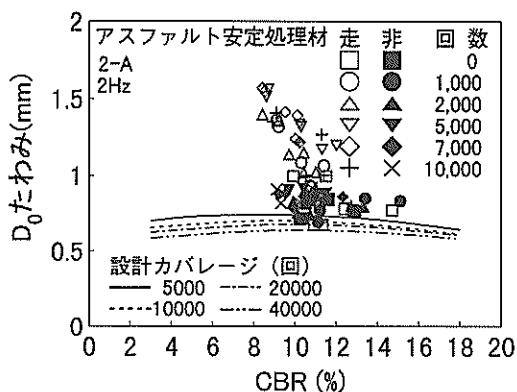


図-70 走行載荷時の構造評価 (2Hz)

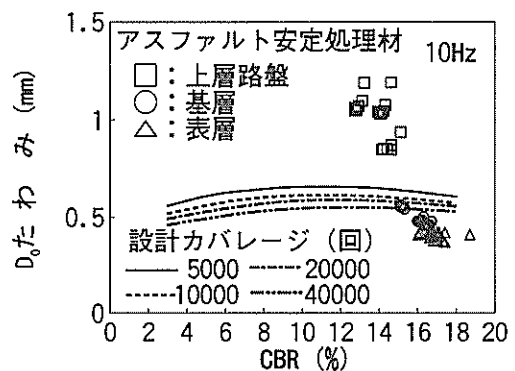


図-73 造成段階での構造評価 (10Hz)

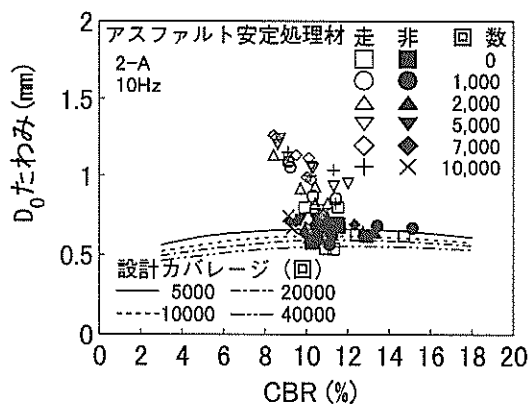


図-71 走行載荷時の構造評価 (10Hz)

舗装において数点のデータが規準値を上回っているほかは、平均値をみるとほぼ規準値に近いことがわかる。

(2) 走行載荷試験時の構造評価

走行載荷試験を実施した1-A舗装について、たわみ規準に基づく構造評価結果を図-69に示す。非走行部におけるたわみは、走行部におけるものよりも大きく、たわ

み規準の値に近い範囲に分布していることがわかる。全体としては、走行回数が増すにつれてたわみも増大する傾向があることから、走行載荷により舗装構造が大きく影響を受けている点がたわみに注目する評価法によっても判断可能であることがわかる。走行5,000回後に施工されたオーバーレイによる補修後の測定結果についてみると、施工前に比べたたわみが小さくなっていることから、補修による舗装構造の回復状況についてもたわみにより明らかにできる。

アスファルト安定処理路盤を用いた2-A舗装について、走行載荷試験時のたわみ規準に基づく評価結果を図-70、図-71に示す。周波数2、10Hzとも、粒状材路盤を使用した場合と同様の傾向、すなわち非走行部と走行部で評価が大きく異なること、しかも走行部では走行回数につれて舗装の構造に問題があると、たわみによって判定できることがわかる。

(3) 造成段階における構造評価

試験舗装の造成段階におけるFWDによるたわみ測定結果について、たわみ規準による評価を図-72、図-73に示す。造成段階でみると、基層造成後以降、規準たわみ

を下回るようになることがわかる。

4.3 ダイナフレクトによる評価規準との比較

以上のようにして求められたたわみ規準に基づくFWDによる構造評価法とダイナフレクトによるものとの比較・検討を行う。これを行うにあたっては、規準策定時に用いた舗装構造におけるダイナフレクトのたわみを計算する必要がある。すなわち、舗装構造の材料特性はそのまま、FWDによる荷重に変えてダイナフレクトによる荷重に対するたわみを計算するのである。この場合のアスファルト混合物の弾性係数は、ダイナフレクトの振動荷重の周波数である8Hzに対応するものとし、van der Poel, Heukelomの方法を用いて算定した。

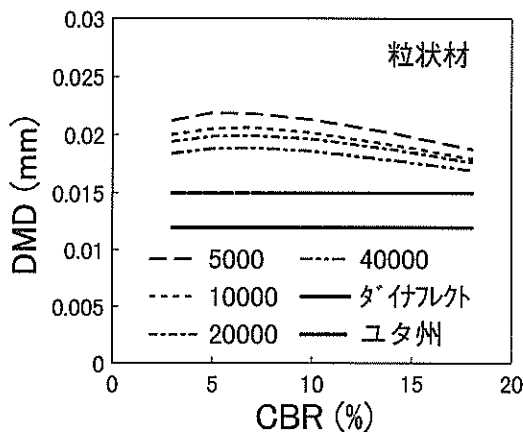


図-74 たわみ規準の比較 (粒状材路盤)

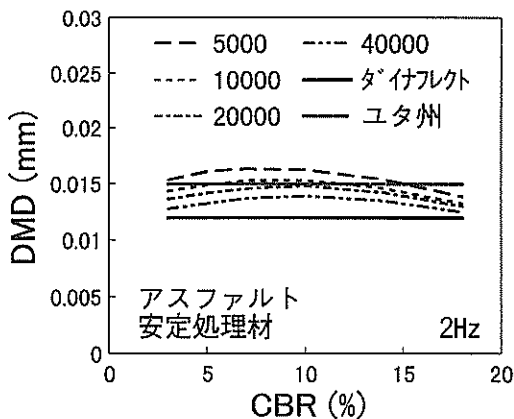


図-75 たわみ規準の比較 (安定処理路盤, 2Hz)

このようにして得られた計算値とダイナフレクトによる規準値、米国ユタ州で用いられている規準値とを対比したものが図-74 (粒状材路盤)、図-75、図-76であ

る (アスファルト安定処理路盤で、周波数はそれぞれ2, 10Hz)。このうち、粒状材路盤を用いた場合についてみると、計算値はダイナフレクトによる規準、ユタ州の規準よりも大きくなっており、ダイナフレクトによるものの2倍程度となっている。これに対して、アスファルト安定処理路盤を用いた場合は両規準とほぼ同程度の値となっていることがわかる。

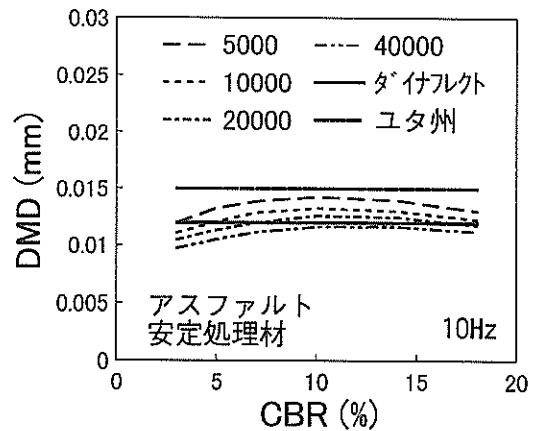


図-76 たわみ規準の比較 (安定処理路盤, 10Hz)

5. 非破壊評価システムの提案

以上の研究を総括して、FWDを用いた空港アスファルト舗装の構造評価法として、まずFWD最大たわみ D_0 に注目した概略調査を行い、構造的に問題があると判断された箇所についてアスファルトコンクリート層ならびに路床のひずみに注目して詳細調査を行うものを提案する。

このフローチャートを図-77に示す。

まずFWDによる実測値 (D_0) を、標準状態のものに補正する。このときには、荷重200kN、アスファルト混合物層平均温度20℃が標準となる。そして、補正たわみを、粒状材路盤の場合図-60に、アスファルト安定処理路盤の場合図-61 (2Hz)、図-62 (10Hz) に示した規準値と照合し、規準を満足しないようであれば、次のひずみ規準との照査へ進む。

この照査においては、実測たわみ曲線を逆解析することによって舗装各層の力学定数を推定し、アスファルト混合物の弾性係数を標準状態のものに変換した上で、アスファルト混合物層下面水平ひずみ (ϵ_t)、路床上面垂直ひずみ (ϵ_v) を算出する。そして、粒状材路盤の

舗装の場合、これを図-20、図-21 (2Hz時の ϵ_t 、 ϵ_v)、図-24、図-25 (10Hz時の ϵ_t 、 ϵ_v) と照査する。アスファルト安定処理路盤の場合は図-30、図-31 (2Hz時の ϵ_t 、 ϵ_v)、図-34、図-35 (10Hz時の ϵ_t 、 ϵ_v) と照査する。その結果、得られたひずみの値が規準値を超える場合には、図-58、図-59に示したオーバーレイ厚とひずみの関係を算出して、所要のオーバーレイ厚を決定すればよい。

なお、設計荷重がLA-12の場合には付録に示した破壊規準を用いればよい。

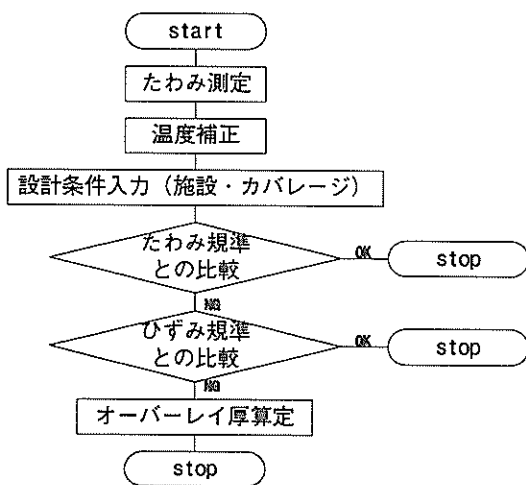


図-77 空港アスファルト舗装の構造評価のフロー

6. 結論

FWDを用いた空港アスファルト舗装の非破壊構造評価に関する一連の研究の結果、次のような結果が得られた。

- (1) 空港アスファルト舗装のひずみに基づく構造評価規準を策定した (上・下層路盤とも粒状材を用いた場合、上層路盤にアスファルト安定処理材を用いた場合の2とおり)。これは、設計航空機荷重がLA-1、LA-12で、設計カバレッジが5,000、10,000、20,000、40,000回の場合である。
- (2) 構造評価は、①実測たわみ曲線の逆解析による各層弾性係数の推定、②表・基層弾性係数の設計条件に対応するものへの変換、③設計荷重に対するひずみの計算、④設計荷重・設計カバレッジに対応したひずみ規準との比較といった手順により実行可能となる。
- (3) 試験舗装でのたわみ測定では、非走行箇所における

変化はほとんどないものの、走行箇所においてはひずみの増加する状況が認められた。このような構造評価の結果として規準値を超えるひずみが計算されたときにはオーバーレイが必要となるが、その場合には上記の規準値を満足するようにその厚さを決定すればよい。

(4) 上記の研究を総括して、空港アスファルト舗装の構造評価システムとして、まずFWD最大たわみに着目した概略評価を行い、これで問題があると判定された場合にひずみ規準に基づく詳細評価を行って必要に応じてオーバーレイ厚を算定するという方法を開発した。

7. おわりに

空港アスファルト舗装の非破壊構造評価法として、最大荷重200kNのFWDによる方法を今回取りまとめた。舗装は、補修を繰返しながらい続けられていくことのできる土木構造物であるが、従前より設計法と整合性の取れた形での評価ならびに補修方法が整備されていないのが大きな問題であった。本研究では、経験的なものである現行の空港アスファルト舗装構造設計法に対して多層弾性理論を適用して検討することにより、設計法と評価・補修法との整合を取ることにしたので、設計から補修まで一貫した考え方により実行できるものと考えている。

規準値の設定にあたっては、必ずしも数が多いとはいえない試験データに基づいているので、今後のデータの蓄積を待って積極的に改正していく所存である。また、アスファルトコンクリートの供用に伴う自然環境下での老化の影響についても今後の課題としたい。最後に、大半の試験舗装のデータは第二港湾建設局が東京国際空港の沖合展開事業のために実施した調査研究の成果を使用させていただいたものである。関係各位に対してここに深く謝意を表します。

(1998年11月30日受付)

参考文献

- 1) 運輸省航空局：空港舗装補修要領 (案)，95p., 1984.
- 2) 八谷好高，佐藤勝久，田中孝士：コンクリート舗装構造の非破壊評価法の開発－フォリングウエイトデフレクトメーターによる－，港湾技術研究所報告，Vol.26, No.2, pp.465-492, 1987.
- 3) (社) 土木学会土構造物および基礎委員会舗装機能の評価技術に関する研究小委員会：舗装機能の評価法，192p., 1992.
- 4) 阿部長門，丸山暉彦，姫野賢治，林 正則：たわみ

評価指標に基づく舗装の構造評価, 土木学会論文集, No.46/V-18, pp41-48, 1993.

5) Ahlvin, R.G.: Flexible Pavement Design Criteria, Proc. of ASCE, Vol.88, No. AT1, pp.15-33, 1962.

6) Department of the Army and the Air Force: Flexible Pavement Design for Airfields (Elastic Layered Method), 1989.

7) Barker, W.R., Brabston, W.N. : Development of a Structural Design Procedure for Flexible Airport Pavements, U.S.Army Engineer Waterways Experiment Station, S-75-17, 261p., 1975.

8) Peattie, K.R. : A Fundamental Approach to the Design of Flexible Pavements, International Conference of the Structural Design of Asphalt Pavements, pp.403 -411, 1962.

9) Chou, Y. T., Hutchinson, R. L., Ulery, H. H., Jr. : Design Method for Flexible Airfield Pavements, Transportation Research Record, No.521, pp. 1-13, 1974.

10) Hicks, R. G., Finn, F. N. : Prediction of Pavement Performance from Calculated Stresses and Strains at the San Diego Test Road, Asphalt Paving Technology, Vol.43, pp. 1-40, 1974.

11) Heukelom, W., Klomp, A. J. G. : Dynamic Testing as a Means of Controlling Pavements during and after Construction, International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, pp. 667-679, 1962.

12) Pell, P. S. : Fatigue Characteristics of Bitumen and Bituminous Mixes, International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, pp. 310-323, 1962.

13) Kingham, R. I. : Failure Criteria Developed from AASHO Test Data, Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. 1, pp. 656-669, 1972.

14) 姫野賢治, 井上武美: FWDによる舗装の診断, アスファルト, 第35巻, 第175号, pp.9-20, 1993.

15) 丸山輝彦・阿部長門・雑賀義夫・姫野賢治: FWDによる舗装の構造評価および補修設計システムの開発, 土木学会論文集, 第484号, pp. 61-68, 1994.

16) 秋山政敬: アスファルト舗装体の温度に関する調査研究, 土木学会論文集, 第246号, pp. 105-115, 1976.

17) 笠原 篤・菅原照雄: 不規則なひずみ波形に対するアスファルト混合物の動的応答に関する研究, 土木学会論文報告集, 第227号, pp. 123-132, 1978.

付録 LA-12の破壊規準

設計荷重がLA-12の場合の破壊規準を付録としてまとめた。舗装各層の力学定数については本文中に示したLA-1の場合と同一の値を用いている。

(1) ひずみ規準

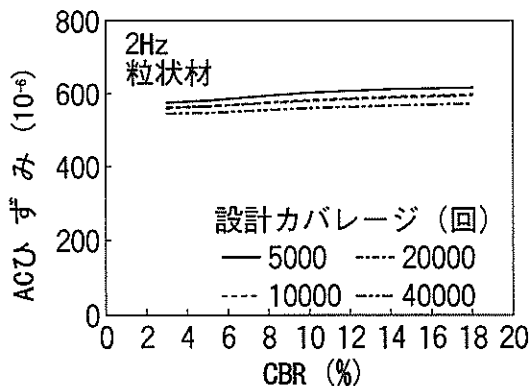


図-付1 AC層ひずみ規準(粒状材, 2Hz)

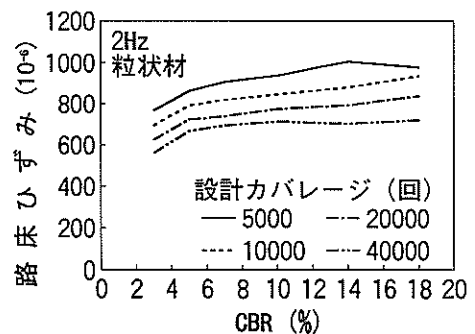


図-付2 路床ひずみ規準(粒状材, 2Hz)

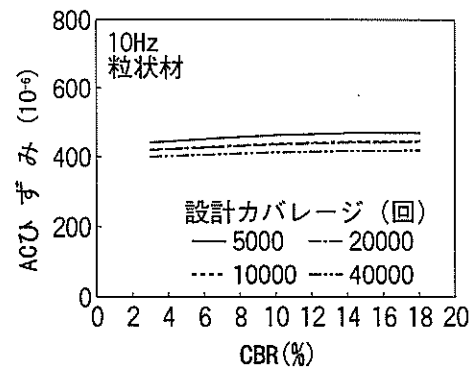


図-付3 AC層ひずみ規準(粒状材, 10Hz)

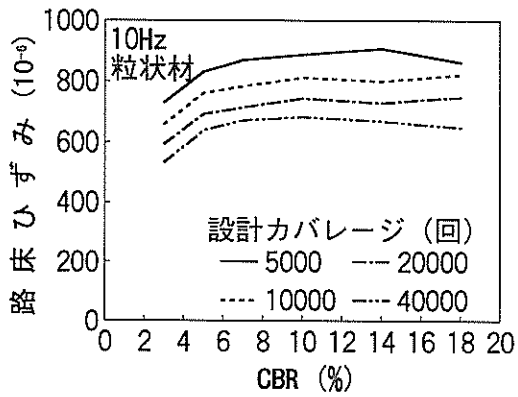


図-付 4 路床ひずみ規準 (粒状材, 10Hz)

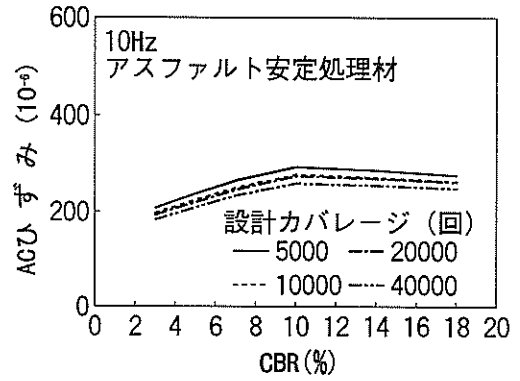


図-付 7 AC層ひずみ規準 (安定処理材, 10Hz)

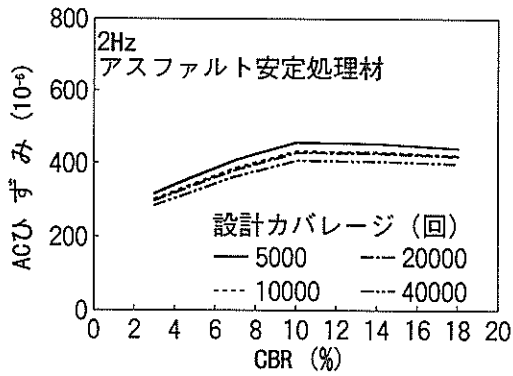


図-付 5 AC層ひずみ規準 (安定処理材, 2Hz)

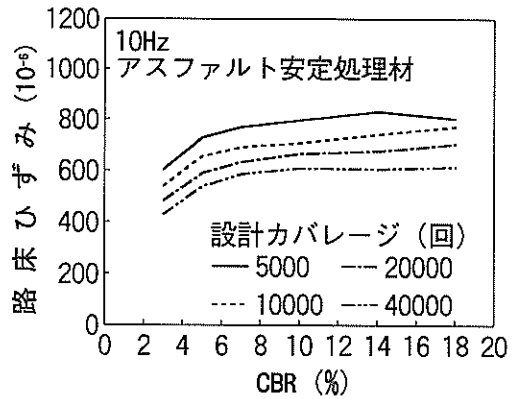


図-付 8 路床ひずみ規準 (安定処理材, 10Hz)

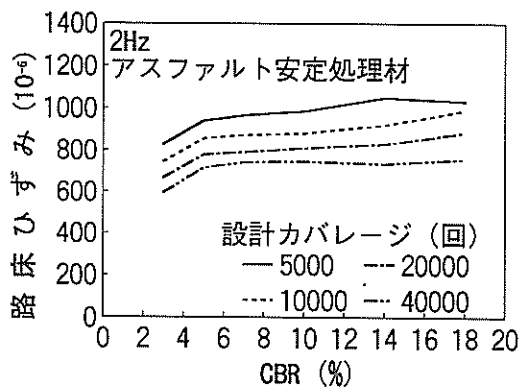


図-付 6 路床ひずみ規準 (安定処理材, 2Hz)

(2) たわみ規準

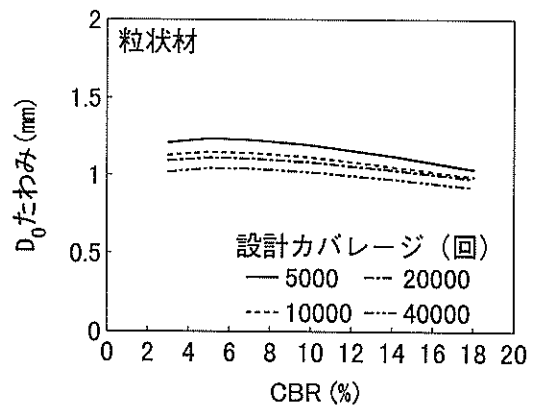


図-付 9 たわみ規準 (粒状材)

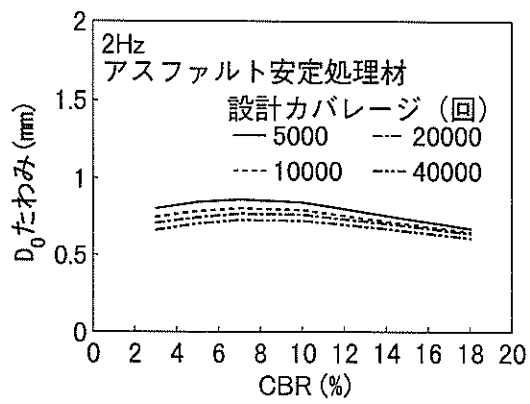


図-付 10 たわみ規準 (安定処理材, 2Hz)

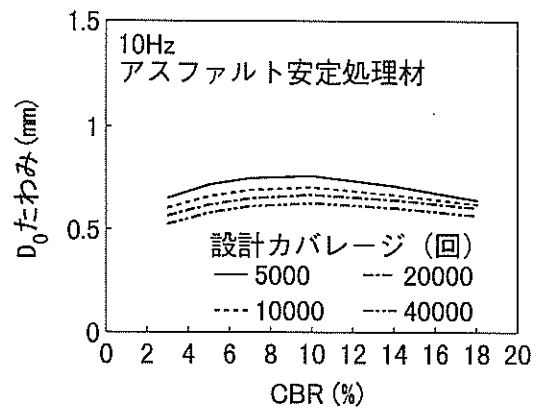


図-付 11 たわみ規準 (安定処理材, 10Hz)

港湾技研資料 No.925

1999.3

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 阿部写真印刷株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright ©(1999)by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。