

半たわみ性材料による空港アスファルト舗装の補修設計

八谷好高¹・坪川将丈²・董 勤喜³

¹ 正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

² 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室

³ 正会員 Ph.D 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室 (運輸施設整備事業団)

空港アスファルト舗装を半たわみ性材料を用いたオーバーレイにより補修する場合の設計法を明らかにした。まず、半たわみ性材料の力学特性ならびに表層への適用性を明らかにするために各種室内試験を実施してから、この材料を用いたオーバーレイの施工性を検証するために試験施工を実施し、航空機荷重に対する舗装構造としての安全性を検証するために航空機荷重による繰返し載荷試験を実施した。これら一連の試験により本工法の空港への適用性を確認した。最終的には、この材料を用いたオーバーレイの構造設計法として、多層弾性理論を用いた計算により得られるひずみを層に応じて1.1~1.2倍した値に注目して厚さを算定する方法をまとめた。

Key Words: cement treated asphalt mixture, rehabilitation design, airport, aircraft, ground service equipment

1. はじめに

大型航空機が就航している国際空港や国内幹線空港の誘導路に用いられているアスファルト舗装では、わだちぼれのような過大な変形が生ずる事態も一部みられる。これは、中・小型航空機が就航している空港のエプロンやGSE通行帯等に用いられているアスファルト舗装においてもみられる。

これを供用しながら補修する場合の材料としては、コンクリートは変形抵抗性に優れているが、施工に長期間を要するため、適当ではない。これを可能とする、すなわち変形抵抗性に優れ、しかも工事に伴う施設閉鎖期間を短縮可能な材料としては、高速道路の料金所等道路で一部使用されている半たわみ性材料がある。これは、アスファルト舗装の弱点である流動性の改善を図るとともに、コンクリート舗装の弱点である長期養生時間の短縮化を可能とするものである。

筆者らは、この半たわみ性材料を用いて空港アスファルト舗装をオーバーレイにより補修する場合の技術的方策について検討してきた。今までに、半たわみ性材料の力学特性を明らかにするための室内試験¹⁾と、これを用いたオーバーレイの施工性ならびに航空機荷重に対する舗装構造としての安全性を検証するための試験施工²⁾を実施している。

室内試験においては、母体アスファルト混合物の配合、一層施工可能厚、交通開放可能時間、繰返し載荷に対する挙動について調べた。また、試験施工においては、この半たわみ性材料を用いたオーバーレイ工法の施工性について検討するとともに、航空機荷重を用いた載荷試験を行うことによりこの構造の荷重支持特性について検討した。

本研究では、これらの研究成果に基づき、空港アスファルト舗装を半たわみ性材料によりオーバーレイする場合の構造設計法を開発した。対象とする舗装区域として、航空機が使用する誘導路・エプロンのほか、航空機が使用しないランプ車両通行帯・機材置場の2つを考えている。以下では、まず、上述の参考文献 1), 2)に記した研究成果に今回得られた知見を加えて、半たわみ性材料自体の表層に用いる上での性能、ならびに舗装構造設計をする際に必要となる性能についてまとめる。そして、オーバーレイ厚設計の基本方針を論じたあと、設計例を示す。

2. 半たわみ性材料のオーバーレイ工法への適用性

室内試験と実規模大の試験施工について概要を示したのち、それらの結果を統括して半たわみ性材料の空港舗装表層材料としての性能を検証する。

表-1 母体アスファルト混合物の配合

配合	安定度 (kN)	空隙率 (%)	アスファルト
M-1	3.5以上	23	改質
M-2	3.5以上	25	改質
M-3	3.0以上	27	改質
S	3.0以上	25	ストレート

表-2 母体アスファルト混合物の層厚

厚さ (mm)	層数・厚さ(mm)
50	1層・50
100	1層・100
150	2層・50 (上) +100 (下)
200	2層・100 (上) +100 (下)

表-3 セメントミルクの配合

水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)		
	セメント	水	凝結遅延剤
40	1,330	532	2.66

(1) 試験の概要

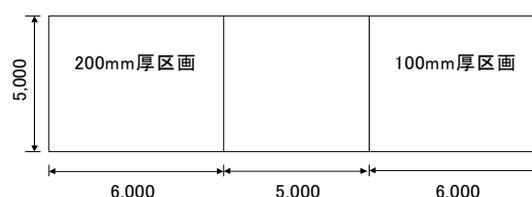
a) 室内試験¹⁾

室内試験には、母体アスファルトコンクリートとして表-1に示す配合、表-2に示す層厚のものをを用い、セメントミルクとして表-3に示す配合のものをを用いた。セメントミルク注入時の母体アスファルトコンクリートの温度としては20℃（標準）、50℃（舗装施工便覧³⁾ 記載）、80℃とした。

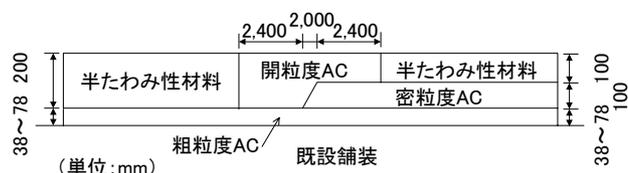
実施した試験は、ホイールトラッキング試験、曲げ試験、繰返し曲げ試験である。このほか、母体アスファルトコンクリートの密度やセメントミルクの充填率も測定した。

b) 試験舗装²⁾

試験舗装としては、半たわみ性材料の層厚を100mmと200mmとする幅5m、長さ6mの区画を既設アスファルト舗装上に2区画設けた（図-1）。既設舗装はオーバーレイされたアスファルトコンクリート表・基層（厚さ230mm）を有する空港用舗装である。半たわみ性材料の母体アスファルト混合物としては室内試験に基づいて最適と判断された表-1に示すM-2を用い、セメントミルクは母体アスファルト混合物の温度が80℃の時点で注入した。なお、200mm厚の区画では、母体アスファルト



a) 平面図



b) 断面図

図-1 試験舗装

コンクリート混合物は厚さ100mmで2層施工し、セメントミルクは2層目施工後に注入した。品質は母体アスファルト混合物の空隙率、セメントミルクの充填率を計測することにより検証した。

この舗装上で大型ジェット航空機であるB-747の主脚荷重（一脚）を1,000回まで繰返し走行させることにより、舗装構造の耐荷性能を調べた。これは施工後一週間の時点で開始した。繰返し走行荷前後にはFWDによる荷重試験を実施して、250kNの荷重に対する舗装の応答を調べた。また、繰返し走行荷による表面性状の変化についても調べた。このほか、半たわみ性材料層に設けた目地周辺での半たわみ性材料と既設アスファルトコンクリート層との間の付着状況についても調べた。

(2) 材料の配合・製造と施工

半たわみ性材料の母体アスファルト混合物としては、アスファルトとして改質II型アスファルトを、骨材として最大粒径20mm、空隙率25%の配合を用い、マーシャル安定度が3.5kN以上となる（供試体作製時の突固め回数両面50回）ものが必要である。なお、室内試験時の最適アスファルト量は3.1%であった。

セメントミルクは、超速硬セメント、水、凝結遅延剤を混合したもの（水セメント比40%）であり、凝結遅延剤は20℃の温度条件下において30分の作業時間が確保できる量が必要である。フロー値は製造後30分経過時で10～14秒を目標としている³⁾。なお、凝結遅延剤はセメントに対して質量比で0.2%、フロー値は室内試験時は12.1秒であった。

セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の内部温度は、急速補修を可能とするために80℃とした。これは従来50℃が一般的であったが、転圧直後において

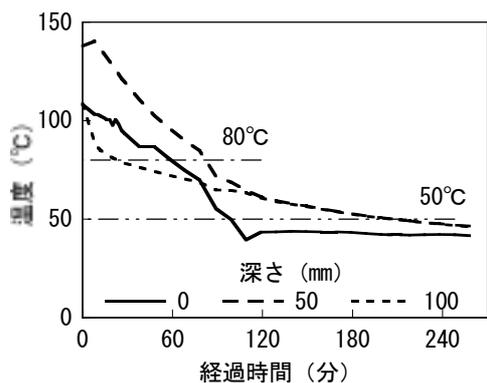


図-2 アスファルト混合物の温度変化 (100mm厚)

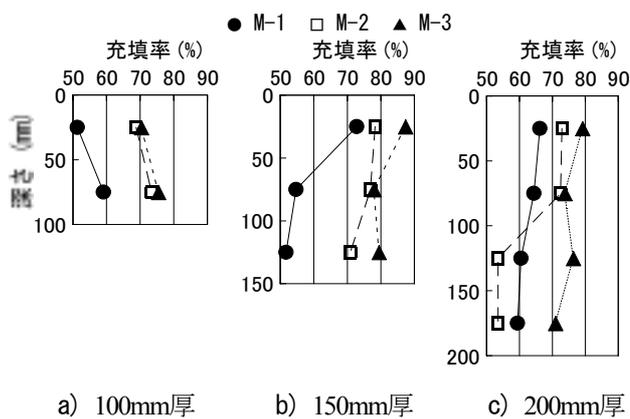


図-4 充填率の層厚方向分布¹⁾

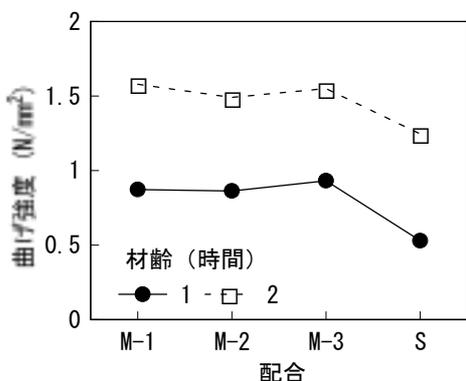


図-3 材齢による曲げ強度の違い¹⁾

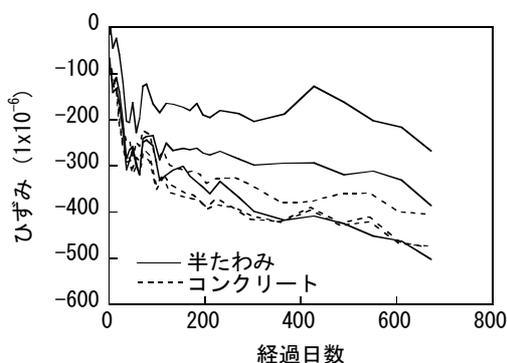


図-5 半たわみ性材料の収縮量²⁾

140°Cを超える温度が50°Cに低下するまでには層厚100mmの場合であっても180分程度必要となることが試験施工により確認された。これに対して、80°Cに低下するまでにはその半分の90分程度、層厚200mmの場合でも180分程度でよいことから、後述の一層施工可能厚も考えてこの温度を採用した。図-2は母体アスファルト混合物の温度が転圧終了後に低下する状況を示してある(層厚100mm)。

オーバーレイ後の早期交通開放性を確保するための材質規定と考えられる母体アスファルト混合物のアスファルトの種類については、材齢1, 2時間における曲げ強度、破断ひずみ、変形係数を調査した結果に基づいて決定した(セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物温度は80°C)。図-3は母体アスファルト混合物を4種類に変えた場合の曲げ強度である。改質アスファルトを用いた配合の曲げ強度は、材齢1時間で0.9N/mm²程度、材齢2時間で1.5N/mm²程度となっているのに対し、ストレートアスファルトを用いたものは、材齢1時間でそれらの60%程度、材齢2時間でそれらの80%程度の値となるにすぎない。このことから、今回目標とした早期交通開放を可能とするためには改質アスファルトを用いる必要があることがわかる。

一層施工可能厚を決定するための規定である母体アスファルト混合物の空隙率については、セメントミルクが母体アスファルト混合物の空隙を充填する割合、すなわち充填率の層厚方向分布に注目した。この場合、母体アスファルト混合物の一層施工厚は転圧の点から最大で100mmとせざるを得ないので、層厚が150mm, 200mmの場合は、その厚さの母体アスファルト混合物を二層に分けて施工したのち、上層表面にセメントミルクを流す方法を用いた(セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物温度は80°C)。

図-4には早期交通開放性の観点から必要となった、改質アスファルトを使用した場合の結果を示した。これから、全体的に空隙率が小さいほど充填率も小さくなっている傾向が認められる。また、施工厚による違いをみれば、施工厚が150mmを超えると下部のほうは充填率が低くなり、平均的には層が厚くなると充填率は低くなることから、セメントミルクを注入できる層厚、すなわち一層施工可能厚としては100mmを上限とした。半たわみ性材料層として、これ以上の厚さが必要となるときには、所要厚になるまで、100mmを最大厚として層ごとに母体アスファルト混合物を敷設してから

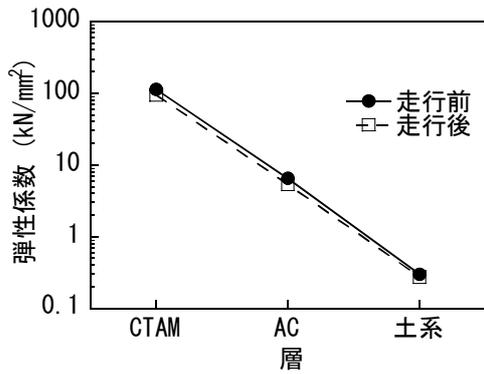


図-6 走行載荷前後の弾性係数 (100mm厚区画)

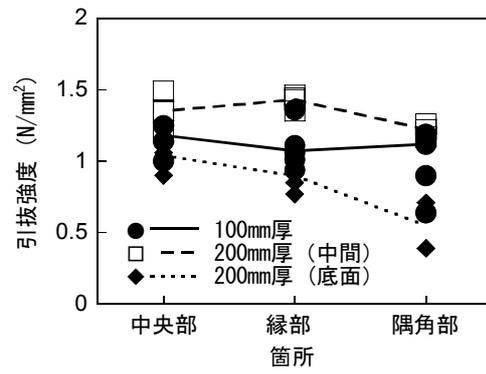


図-8 箇所による引抜強度の違い²⁾

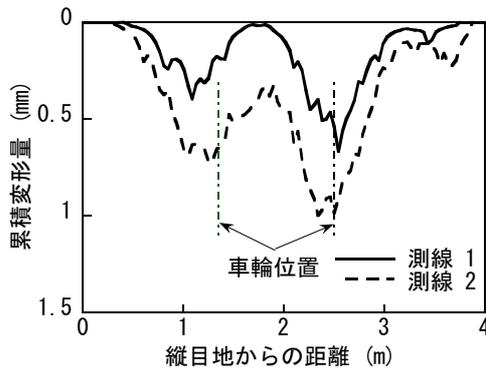


図-7 累積変形量の横断方向分布 (100mm厚区画)

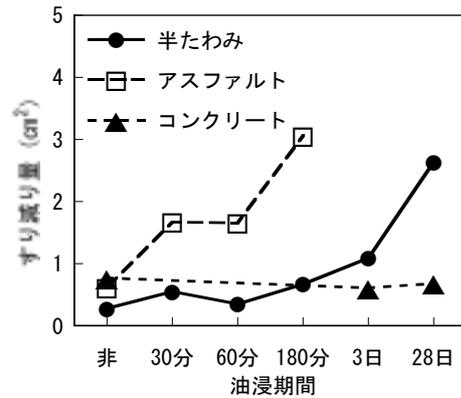


図-9 油浸期間とすり減り量

セメントミルクを注入していく必要がある。

母体アスファルト混合物の敷設、セメントミルクの注入後、半たわみ性材料層には目地を設ける必要がある。これは、セメントミルク注入後の時間経過に伴う収縮量の変化を示した図-5 (室内試験結果) からわかるように、半たわみ性材料は舗装用コンクリートほどではないにしても、施工後の乾燥収縮が大きいという問題に対処するためである⁴⁾。目地間隔としては、試験施工で用いた6m (層厚200mm) の場合で他の部分にひび割れ等の発生がみられなかったことから、この程度を目安に考えてよいものと思われる。なお、コンクリート舗装の目地間隔についてはコンクリート版厚の21~25倍以下にするとといったこともいわれている⁵⁾が、下層との付着程度が異なることから、これをそのまま半たわみ性材料の場合に適用することは難しい。

(3) 表層材料としての性能の検証

FWDによる載荷試験により得られたたわみ曲線を逆解析することにより、各層の弾性係数を推定した結果、両区画とも繰返し走行載荷の影響は大きいとはいえず、この程度の繰返し走行に対しては十分な耐荷性を有することが認められた。図-6には施工厚100mmの場合における

解析結果を示す。なお、計算手法等は3. (2) で詳述した多層弾性理論によるものと同一である。

横断方向にみたときの表面累積変形量として100mm厚の場合を図-7に示した。これから、わだちぼれは最大1mm程度で、補修が必要とされるまでにはなっておらず⁶⁾、繰返し走行載荷の影響はみられないことがわかった。

図-8に示した施工後3年半経過時に実施した直接引抜試験⁷⁾結果から、施工厚200mm区画では中央部>目地部>隅角部となっており、特に隅角部では中央部の半分程度となっていることがわかった。しかし、この場合であっても他の事例⁸⁾で報告されている程度の値 (0.4~0.5N/mm²) は得られている。なお、施工厚100mmの場合ならびに200mmで一、二層間の境界面における付着状況は良好であることがわかる。

給油時にもれる等して表面に油類が付着した場合の半たわみ性材料の耐油性について検証した。その方法は供試体を所定の期間ガソリンに浸してから、ラベリング試験に供するというものである。これにはクロスチェーンを用いた往復チェーン型試験装置⁷⁾を用いた (試験温度は20℃に変更)。その結果として得られたすり減り量が油浸時間につれて変化する状況について図-9にまとめた。

半たわみ性材料では、油浸期間の増加につれてすり減

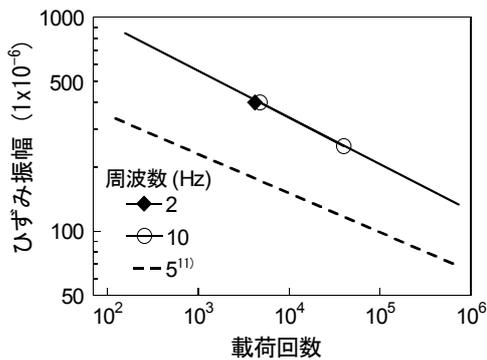


図-10 ひずみ振幅と破壊時の载荷回数

り量が増加する傾向はみられるものの、油浸期間28日の場合でもアスファルトコンクリートの油浸期間3時間における値までにはなっていない。以上のように、半たわみ性材料の耐油性は、コンクリートには及ばないものの、アスファルトコンクリートよりはるかに良好なことから、この材料のエプロンやGSE通路への適用には何ら問題のないことが確認された。

3. 半たわみ性材料を用いた補修設計

半たわみ性材料を用いた空港アスファルト舗装のオーバーレイの構造設計法を構築するためには、既設ならびにオーバーレイ舗装の評価・設計指標を選定し、次にその計算方法を開発し、そして規準値を決定することが必要となる。補修設計においては、これに従って評価・設計指標を計算し、それが規準値を満足するようにオーバーレイ厚を決定するという手順を経ればよい。

(1) 評価・設計指標の選定と規準値の決定

構造設計法を考える場合、この舗装形式をコンクリート舗装ではなく、アスファルト舗装とみなすことが妥当であるとわかっている²⁾。そこで、空港アスファルト舗装ならびに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オーバーレイを施す場合⁹⁾、¹⁰⁾に用いられている、各層のひずみに注目する方法をここでも採用することにした。具体的には、半たわみ性材料層については上・下面の水平ひずみ、既設アスファルト舗装についてはアスファルトコンクリート層上・下面の水平ひずみと路床上面の鉛直ひずみに注目するのである（以下では、それぞれのひずみの最大値を単にひずみと称する）。

オーバーレイされた場合の舗装の層構成としては、既設舗装がアスファルトコンクリート層、粒状材料層（路盤）、路床の三層から成るものとし、その上に半たわみ性材料層がある四層構成とみなした。こうすることによ

表-4 三次元FEMによる逆解析弾性係数

载荷位置	位置	100mm厚区画			200mm厚区画		
		CTAM	AC	土系	CTAM	AC	土系
中央部	I-1	45.8	7.07	0.170	49.8	5.93	0.177
	I-2	48.3	4.58	0.163	45.9	4.86	0.187
	I-3	43.1	7.87	0.168	30.2	4.50	0.181
	I-4	57.1	5.88	0.159	46.5	5.19	0.185
	平均	49.0	6.40	0.170	43.0	5.10	0.180
縁部	E-1	50.2	8.16	0.202	97.4	6.98	0.206
	E-2	64.0	6.93	0.190	64.1	4.36	0.218
	平均	57.0	7.50	0.200	81.0	5.70	0.210
隅角部	C-1	54.4	5.23	0.266	59.2	6.07	0.245
	C-2	61.5	5.49	0.256	59.8	4.93	0.237
	平均	58.0	5.40	0.260	60.0	5.50	0.240

(単位：kN/mm²)

り、既設アスファルト舗装構造の評価ならびに設計規準として、FWDによる空港アスファルト舗装の非破壊構造評価時に用いたもの⁹⁾が使用可能となる。なお、この方法では、アスファルトコンクリート層と路床のそれぞれに対して、設計CBRならびに設計カバレッジに応じて規準値であるひずみの値が変化するようにになっている。

半たわみ性材料層の設計規準としては図-10に示したひずみ振幅と破壊回数の関係図が利用できる。これは幅400mm、高さ40mm、長さ400mmの供試体を用いて、支点間隔300mm、载荷点間隔100mmの二点载荷によるひずみ制御方式で行った繰返し曲げ試験の結果である。ひずみ波形は正弦波（両振り、周波数2Hz）、温度は20℃である。この図からアスファルトコンクリート層、路床の場合と同様に、設計カバレッジに応じて設計ひずみを求めればよい。なお、今回用いた材料は、他に報告されている試験結果¹¹⁾と対比すると、試験方法が同一でないので明確ではないが、耐荷性はいく分大きくなっていると推定される。

(2) 評価・設計指標の計算

舗装構造の評価・設計指標として採用した各層のひずみを計算する場合、アスファルト舗装において一般的に用いられる多層弾性理論は、半たわみ性材料層には目地を設けることから、そのままの形では使用できない。このひずみの計算は三次元有限要素法（FEM）によれば可能であるが、多層弾性理論がその使用方法・計算時間等の点で有利であるので、ここではこれを使用して縁部ならびに隅角部に载荷されたときのひずみを算定できるように工夫することにした。

まず、試験舗装の構造評価として、走行载荷試験後に実施したFWDによるたわみの測定結果を逆解析することにより、舗装各層の弾性係数を推定した。ここで用いた手法は、上記の二種類であり、FEMならびに多層弾性理

表-5 多層弾性理論による逆解析弾性係数

位置	100mm厚区画			200mm厚区画		
	CTAM	AC	土系	CTAM	AC	土系
I-1	107	5.85	0.159	87.2	4.37	0.177
I-2	79.5	4.42	0.143	74.4	3.72	0.178
I-3	112	5.85	0.163	59.8	2.98	0.186
I-4	98.7	5.32	0.138	78.6	3.94	0.174
平均	99.0	5.40	0.150	75.0	3.80	0.180

(単位：kN/mm²)

表-6 三次元FEMによる舗装各層最大ひずみ

荷重位置	100mm厚区画			200mm厚区画		
	CTAM	AC	土系	CTAM	AC	土系
中央部	15.0	64.0	251	27.2	73.5	271
縁部	15.7 (18.6)	59.1 (69.8)	239 (281)	27.6 (27.5)	93.0 (108)	294 (345)
隅角部	20.0 (14.2)	64.8 (69.1)	239 (305)	19.5 (19.5)	66.1 (76.8)	249 (308)

(単位：1×10⁻⁶)

表-7 多層弾性理論による舗装各層最大ひずみ

区画	CTAM	AC	土系
100mm厚	29.8	91.9	315
200mm厚	39.7	95.0	329

(単位：1×10⁻⁶)

論を利用したものである。前者¹²⁾は半たわみ性材料層の目地を考慮するために、中央部、縁部、隅角部荷重に対して用いた。これに対して、後者¹³⁾は中央部荷重のものに対して適用した。両者の計算条件は同一であり、次のような簡略化を図っている。すなわち、舗装を半たわみ性材料層（CTAMと称す）、アスファルトコンクリート層（ACと称す）、路盤以下（土系と称す）の三層からなるとみなし、表面から6mの深さに剛性層（FEMの場合は固定節点）を設けた。各層の間には付着があるものとし、ポアソン比を0.3と一定とした。

FEMを用いた逆解析結果を表-4に示す。AC、土系の弾性係数は、荷重位置によらずほぼ一定と安定した結果となっている。また、CTAMについても、FEMが目地の影響を考慮できることもあって荷重位置による差はほとんどみられない。多層弾性理論による逆解析結果を示した表-5を上記のFEMによる解析結果と比較すると、CTAMはFEMのほうが小さいものの、ACではそれが逆になっていること、土系では両者に差がみられないことがわかる。

逆解析により得られたこれらの各層弾性係数を平均した値を用いて、航空機荷重が荷重された場合の各層最大ひずみを計算した。これらは上記の構造評価・設計指標

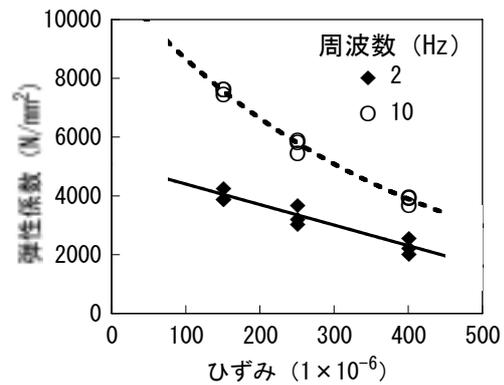


図-11 繰返し荷重試験時の弾性係数¹⁾

であり、CTAMとACについては（上面あるいは下面）水平方向、土系については上面鉛直方向のものに注目した。計算方法としては逆解析時に用いた順解析方法をそのまま使用した。その結果を表-6（FEM）、表-7（多層弾性理論）に示す。前者では（ ）内にFWDによる中央部荷重の結果を逆解析した弾性係数を使用して計算した、縁部と隅角部に航空機荷重が荷重されたときのひずみの値も示してある。いずれにしても、荷重位置が縁部あるいは隅角部のほうが中央部よりひずみの値は大きくなっていること、解析法が異なってもひずみの値自体は大きくは異なることがわかる。荷重位置が異なる場合の各層におけるひずみを中央部荷重のものに対する比でみると、CTAM、AC、土系のそれぞれで1.2、1.2、1.1倍となっている（平均値）。

このことから、舗装構造の評価・設計指標である各層ひずみを計算する方法としては多層弾性理論を使用し、縁部・隅角部という荷重条件に対応するために、計算値を上記のように層に応じて1.1～1.2倍することにより求めるといったものを採用することにした。なお、この解析では、粒状材路盤と路床を土系として一層とみなしてその上面でのひずみに注目したが、実際には路床は路盤の下方に位置することから、荷重位置の影響は小さいものと思われるが、安全側を考慮してこの方法を用いている。

(3) オーバーレイ厚の算定

a) 半たわみ性材料弾性係数の設計用値

前述の航空機荷重に対する舗装各層のひずみを計算するときには、各層弾性係数の設計用値が必要となる。ここでは、FWDによるアスファルト舗装構造評価システムで用いている方法を踏襲して、温度20℃、周波数2Hz（誘導路・エプロン対象）の場合のものを使用することとした。

既設アスファルト舗装各層の弾性係数としては、上記の構造評価システムにおいて算定されるものをそのまま用いることが可能である。半たわみ性材料の場合、実

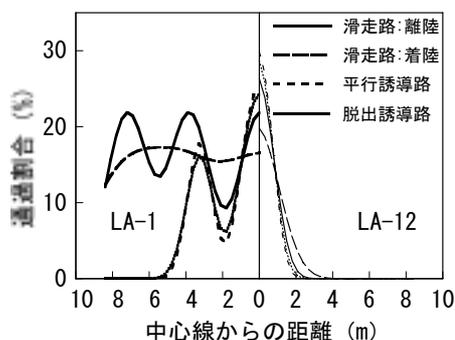
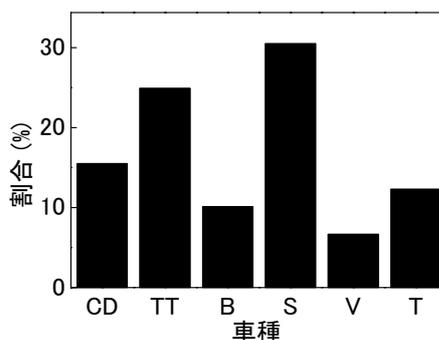


図-12 航空機主脚車輪の横断方向位置分布



CD:コンテナ・トレー, TT:トイングトラクタ, B:バス
S:乗用車, V:バン, T:トラック

図-13 ランプ車両の車種別交通量

表-8 設計繰返し载荷回数

設計荷重	設計カバレッジ			
	5,000	10,000	20,000	40,000
LA-1	5,000	10,000	20,000	40,000
LA-12	10,000	20,000	40,000	80,000

舗装での測定数ならびに既往の室内試験データに限りがあることから、今回実施した室内試験結果に基づくことにし、設計交通量を設定してから図-10により対応するひずみ振幅を算定し、図-11から弾性係数を得るという手法を用いた。図-11には前述の室内繰返し曲げ試験において、荷重～変形関係がほぼ定常状態になる载荷回数1,000回時の値を使用している。

空港にアスファルト舗装が用いられる場合で、変形抵抗性が特に要求される箇所としては誘導路がある。また、基本的にコンクリート舗装が用いられるエプロンでも、小規模空港等一部アスファルト舗装が用いられている場合には、同様に変形抵抗性が求められる。このほか、ランプ車両通行帯・機材置場（以下GSE通路と称する）でアスファルト舗装が使用されている場合には、横断方向にみた車輪通過位置が集中するので、変形抵抗性が必要とされる。

航空機が使用する誘導路・エプロンとランプ車両が使用するGSE通路における舗装構造の設計には、いずれも交通量としてカバレッジが採用されているが、両者で交通荷重の横断方向通過位置の集中程度が異なることから、同一のカバレッジであっても繰返し载荷回数は異なったものとなる。このことは、半たわみ性材料の弾性係数も異なったものとなる可能性のあることを示唆している。そこで、以下では、誘導路・エプロンとGSE通路とに分けて考察することにする。

b) 誘導路・エプロン

航空機車輪位置分布については、過去の航空機の機種別の交通分布調査データに基づいて、正規分布と仮定し、そのピーク部分に注目するという载荷回数算定法を採用した。すなわち、設計カバレッジから現行設計法に従っ

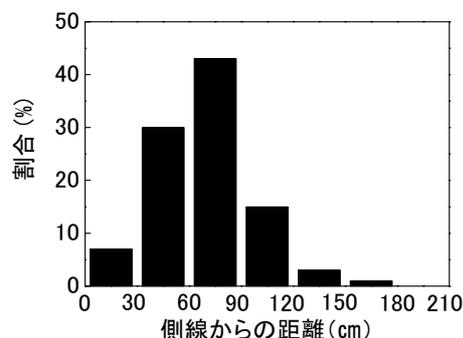


図-14 トーイングトラクタの横断方向車輪位置

て航空機数を逆算し、それに走行位置におけるピーク部分の割合を乗ずることによって計算した。

過去の調査で明らかにされた大型ジェット航空機（LA-1とLA-12）のノーズギアの横断方向走行位置分布¹⁴⁾から主脚車輪の走行位置分布を計算した結果を図-12に示した（車輪幅を30cmとみなした）。滑走路よりも誘導路において交通の集中程度が大きいことはいうまでもなく、正規分布のピークに相当する車輪通過割合はLA-1で25.2%、LA-12で29.3%となっている。この値を用いて設計カバレッジに対応する設計繰返し载荷回数を計算すると、表-8のようになる。

半たわみ性材料によるアスファルト舗装のオーバーレイ工法は、アスファルト舗装では対応が困難な箇所への適用性が高いものの、設計期間として長期間を想定する必要性は大きくないと考えられる。そこで、設計カバレッジが5,000～10,000回の場合を想定すると、設計繰返し回数は表-8から5,000～20,000回となるので、弾性係数の設計用値は、a) で示したように、図-10と図-11から3kN/mm²となる。

c) GSE通路

半たわみ性材料層の弾性係数を決定するためには b) の航空機対象の場合と同様に、車両の横断方向走行位置

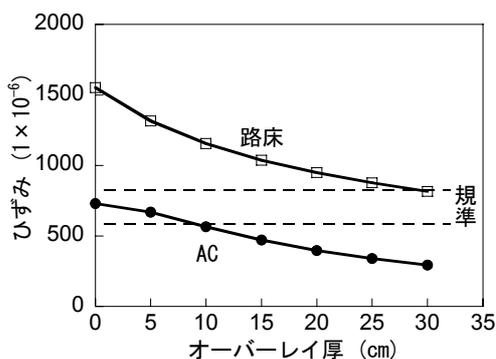


図-15 オーバーレイ厚とひずみ

分布を把握する必要がある。今までそのような調査が行われていないことから、供用中の空港ターミナルビル内にビデオカメラを設置してランプ車両通行帯を走行する車両の状況を24時間撮影・調査した。調査項目は車種と車輪の横断方向位置である（横断方向位置は30cm間隔で判読した）。

調査結果として、図-13に車種別交通量を示す。乗用車とトローイングトラクタの通行量が多いが、トローイングトラクタの輪荷重が最大なので、それに注目して車輪位置分布（横断方向）について調べた。その結果を示した図-14から全体の7割が幅60cm程度に集中していることがわかり、これに対して正規分布関数をあてはめるとピークにおける通過割合は44.4%となって、設計繰返し回数は10,000~40,000回となる。これから上記と同様の方法で弾性係数の設計用値を求めれば 3kN/mm^2 が得られるので、オーバーレイ厚の算定にはこの値を用いればよい。

d) 設計例

計算例として、誘導路・エプロンの既設舗装（AC12cm・粒状材54cm）上に半たわみ性材料によるオーバーレイを施すものを考えた。ちなみに、この舗装は、設計対象が中型ジェット機（LA-2）、設計カバレッジが10,000回、路床CBRが10%の条件に対応するものである。図-15には、AC、路床のひずみがオーバーレイにより変化する状況を示してある。これが図中に示した規準値と一致するときの厚さが所要オーバーレイ厚となるので、この場合には29cmとなる。実際の施工にあたっては、一層施工可能厚が10cmなので三層施工が必要になる。なお、このときのCTAMのひずみは 150×10^{-6} であり、図-9に示したひずみ振幅より小さい値となっている。

4. 結論

空港アスファルト舗装の半たわみ性材料によるオーバーレイ厚算定法に関して実施した、本研究の結論は次の

ようにまとめられる。

(1) 半たわみ性材料は改質アスファルト、超速硬セメントを使用すること、セメントミルク注入時の固体アスファルト混合物の温度を 80°C とすること、所定の間隔で目地を設けることにより、空港の誘導路・エプロンやGSE通路へ適用可能である。

(2) 半たわみ性材料によるオーバーレイの厚さは、多層弾性理論を用いて舗装各層のひずみを計算し、目地を考慮するためにそれらの値を1.1~1.2倍したものに注目して、これが規準値と一致するときのものを所要厚とすればよい。その場合、設計に用いる半たわみ性材料の弾性係数として、誘導路・エプロン、GSE通路のいずれに対しても 3kN/mm^2 を使えばよい。

5. おわりに

以上、空港アスファルト舗装の急速補修方法として半たわみ性材料によるオーバーレイの厚さ算定法をまとめた。空港では厳しい交通荷重条件を満足できる補修方法を採用するとともに、その工事を厳しい時間的制約のある中に行なわなければならないので、本工法においては改質アスファルト・速硬性セメントの使用、セメントミルクの高温時注入といったことが不可欠である。

半たわみ性材料によるオーバーレイ層には目地を設けなければならないことは本文中で述べたが、その間隔については、今後追加検討が必要であると考えている。また、10cmを超えるオーバーレイが必要となる場合には、施工効率を上げるとの観点から、一層施工厚を増加できるような工法についても検討していく必要があると考えている。

謝辞：この研究の一部は運輸施設整備事業団「運輸分野における基礎的研究推進制度」によって行われたものである。ご協力いただいた関係各所に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 八谷好高, 高橋 修, 坪川将丈, 鈴木 徹: 空港舗装を対象とした半たわみ性材料の力学特性, 土木学会, 舗装工学論文集, 第5巻, pp.67-75, 2000.
- 2) 八谷好高, 坪川将丈: 半たわみ性材料によるオーバーレイの現場試験施工, 土木学会, 舗装工学論文集, 第6巻, pp.209-217, 2001.
- 3) (社) 日本道路協会: 舗装施工便覧, 314p., 2001
- 4) Silfverbrand, j.: Whitetoppings - Swedish Field Tests 1993-1995, CBI report 1:95, 77p., 1995.
- 5) Ioannides, A.M.: Extension of Westergaard Solutions Using Dimensional Analysis, 2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements, pp.357-388, 1990.
- 6) 福手 勤, 佐藤勝久, 八谷好高, 山崎英男: 路面性状による空港舗装の供用性評価, 港湾技研資料, No.414, 20p.,

- 1982.
- 7) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧, 1069p., 1988.
 - 8) 沖本晃次, 原田秀賢, 倉原良民：半たわみ性舗装を用いたコンポジット舗装, 舗装, 第26巻, 第5号, pp.9-14, 1991.
 - 9) 八谷好高, 高橋 修, 坪川将丈：FWDによる空港アスファルト舗装の非破壊構造評価, 土木学会論文集, No. 662/V-49, pp.169-183, 2000.
 - 10) Hachiya, Y., Sato, K. and Kawakami, A.: Thickness Design of Asphalt Overlays on Concrete Pavement, 7th International Conference on Design, Construction and Performance of Asphalt Pavements, Vol.1, pp.61-72, 1992.
 - 11) 井上武美：半剛性舗装混合物の力学特性, 舗装, 第17巻, 第2号, pp.17-23, 1982.
 - 12) Dong, Q., Hachiya, Y. and Matsui, K.: Determination of Layer Moduli for Large-Scale Pavement Structures Using Various Sensitivity Algorithms, 3rd International Symposium on 3D Finite Element for Pavement Analysis, Design and Research, pp.75-90, 2002.
 - 13) 松井邦人, 黒林 功, 西山大三：FWD試験による弾性係数推定の精度向上に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第3巻, pp.39-47, 1998.
 - 14) Hachiya, Y., Umeno, S., Sato, K. and Sugimura, M.: Influence of Aircraft Loading to Surface Characteristics of Airport Pavements in Japan, Mini-Workshop on Paving in Cold Areas, Canada/Japan Science and Technology Consultations, Vol.1, pp.209-240, 1993.

OVERLAY DESIGN WITH CTAM FOR AIRPORT ASPHALT PAVEMENTS

Yoshitaka HACHIYA, Yukitomo TSUBOKAWA and Qinxi DONG

Design method of overlay using cement treated asphalt material (CTAM) was developed for airport asphalt pavements, not only to reduce the time during which the facility is closed for pavement rehabilitation but to have high durability against heavy duty aircraft loadings. First, mechanical properties of CTAM are investigated in laboratory tests, and an in situ construction test was conducted. Based on these, the structural design method of overlay construction was finally developed by the use of multi-layered elastic theory in consideration of joints in CTAM.

-
- 1) 八谷好高, 高橋 修, 坪川将丈, 鈴木 徹: 空港舗装を対象とした半たわみ性材料の力学特性, 土木学会, 舗装工学論文集, 第5巻, pp.67-75, 2000.
 - 2) 八谷好高, 坪川将丈: 半たわみ性材料によるオーバーレイの現場試験施工, 土木学会, 舗装工学論文集, 第6巻, pp.209-217, 2001.
 - 3) (社) 日本道路協会: 舗装施工便覧, 314p., 2001
 - 4) Silfwerbrand, j.: Whitetoppings - Swedish Field Tests 1993-1995, CBI report 1:95, 77p., 1995.
 - 5) Ioannides, A.M.: Extension of Westergaard Solutions Using Dimensional Analysis, 2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements, pp.357-388, 1990.
 - 6) 福手 勤, 佐藤勝久, 八谷好高, 山崎英男: 路面性状による空港舗装の供用性評価, 港湾技研資料, No.414, 20p., 1982.
 - 7) (社) 日本道路協会: 舗装試験法便覧, 1069p., 1988.
 - 8) 沖本晃次, 原田秀賢, 倉原良民: 半たわみ性舗装を用いたコンポジット舗装, 舗装, 第26巻, 第5号, pp.9-14, 1991.
 - 9) 八谷好高, 高橋 修, 坪川将丈: FWDによる空港アスファルト舗装の非破壊構造評価, 土木学会論文集, No. 662/V-49, pp.169-183, 2000.
 - 10) Hachiya, Y., Sato, K., Kawakami, A.: Thickness Design of Asphalt Overlays on Concrete Pavement, 7th International Conference on Design, Construction and Performance of Asphalt Pavements, Vol.1, pp.61-72, 1992.
 - 11) 井上武美: 半剛性舗装混合物の力学特性, 舗装, 第17巻, 第2号, pp.17-23, 1982.
 - 12) Dong, Q., Hachiya, Y., Matsui, K.: Determination of Layer Moduli for Large-Scale Pavement Structures Using Various Sensitivity Algorithms, 3rd International Symposium on 3D Finite Element for Pavement Analysis, Design and Research, pp.75-90, 2002.
 - 13) 松井邦人, 黒林 功, 西山大三: FWD試験による弾性係数推定の精度向上に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第3巻, pp.39-47, 1998.
 - 14) Hachiya, Y., Umeno, S., Sato, K., Sugimura, M.: Influence of Aircraft Loading to Surface Characteristics of Airport Pavements in Japan, Mini-Workshop on Paving in Cold Areas, Canada/Japan Science and Technology Consultations, Vol.1, pp.209-240, 1993.