

半たわみ性材料による空港コンクリート舗装の急速補修

八谷好高¹・市川常憲²

¹ 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所土質部滑走路研究室 (〒239 横須賀市長瀬 3-1-1)

² 正会員 (株) 日本空港コンサルタンツ業務本土木技術部 (〒140 東京都品川区東品川 2-2-8)

半たわみ性材料による空港コンクリート舗装の急速補修工法を開発するために、室内試験ならびに現地試験を実施した。室内試験では、半たわみ性材料を構成するセメントミルクおよびアスファルト混合物の性状について検討した。現地試験では、室内試験に基づいて選定された材料を用いて試験施工を実施し、載荷試験を行った。

その結果、以下に示す知見が得られ、半たわみ性材料による急速補修工法の実用性が検証された。

- (1) セメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度を高くすることで、早期交通解放が可能となる。
- (2) 改質アスファルトを用いることにより航空機荷重に対する耐荷性が確保できる。

Key Words : fast rehabilitation, concrete pavement, overlay, cement treated asphalt mixture, laboratory test, experimental pavement

1. はじめに

空港におけるコンクリート舗装の補修工事は時間的に厳しい条件の下で行われなければならないことから、使用可能な材料も限られたものとなる。すなわち、養生時間が極めて短いアスファルトコンクリートあるいは速硬性セメントコンクリートといったものが用いられるのが一般的である。しかし、前者は耐流動性、後者は施工性の点で問題があるため、供用中のコンクリート舗装の補修は、それを計画すること自体が難しい状況にある。

コンクリート舗装を補修する場合、既設コンクリート版が板構造としての機能をまだ十分に保持している場合には、オーバーレイ工法を考えることが合理的である。その場合にも、使用材料については上記の点があてはまり、耐流動性に優れていて、しかも施工性にも優れている材料を見出すことは難しい。

そこで、半たわみ性舗装の表層部分に使用されている材料、すなわち半たわみ性材料に注目して、これを用いた空港コンクリート舗装の急速オーバーレイ工法の可能性について検討することにした。この材料は、アスファルト混合物中の空隙にセメントミルクが充填された構造となっており、通常のアスファルトコンクリートと同じように施工できるため、施工時間が短くてすむばかりでなく、大量施工も可能であると考えられる。

2. コンクリート舗装の急速補修工法の検討

(1) 半たわみ性材料による補修

空港コンクリート舗装の補修を行う場合、その方法には次のようなものがある¹⁾。

- ① アスファルトによるオーバーレイ
- ② コンクリートによるオーバーレイ
- ③ コンクリート舗装による打換え

これら3種類の特徴は次のようにまとめられる。まず、アスファルトによるオーバーレイ工法は、施工時間が短く、オーバーレイ厚が比較的薄くすむ場合に最適である。次に、コンクリートによるオーバーレイ工法は、アスファルトによるオーバーレイ工法に比べて施工期間が長くなることから、空港舗装施設がある程度の期間閉鎖できる場合に適用可能となる。そして、打換え工法は、既設舗装の解体も必要となるので、コンクリートによるオーバーレイ工法以上に、施設が長期間閉鎖可能な場合にのみ適用できる。

このことから、補修に伴う空港舗装施設の閉鎖期間を短縮するためには、既設舗装があまり破損していない時点で工事が実施できるオーバーレイ工法が必要となる。しかし、材料として養生期間が少なく済むアスファルトコンクリートを用いると荷重の繰返し作用により大きな塑性変形が生ずることとなるため、この材料は航空機が低速走行するエプロンには適さない。そこで、耐流動

性に優れているとされる半たわみ性材料に注目して、空港コンクリート舗装用のオーバーレイ材料としての可能性について検討した。

空港舗装の場合、コンクリートを用いたオーバーレイでは、オーバーレイ層と既設コンクリート版の付着程度によって、付着、直接、分離工法の三種類があるのに対して、アスファルトによるオーバーレイではオーバーレイ層と既設版との間に十分な付着があると考えられている¹⁾。今回対象とした半たわみ性材料は、最初にアスファルト混合物を敷設してから、混合物中の空隙にセメントミルクを充填する形式であるから、付着程度はアスファルトコンクリートによるオーバーレイと同等であるとみなしてよいものと考えられる。したがって、オーバーレイ厚は、コンクリートオーバーレイで上下層の付着が十分あると考えられるときの算定式¹⁾が使用できよう。

(2) 急速補修工法の開発方針

空港では補修工事を夜間に行わなければならないことがほとんどであるので、補修工事の施工時間ならびに交通解放時間の短縮化についてまず検証しなければならない。また、空港舗装であることから、道路を通行する車両と比較して格段に重量のある、航空機荷重に対する材料ならびに構造の安全性についても検証しなければならない。

前者を実現するためには、まず、現状では50℃以下と規定されている²⁾セメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度を上げることを考える必要がある。母体アスファルト混合物の温度がこの規定温度に低下するまでの時間は施工時期によって異なり、夏期において2~3時間、冬期においては1~2時間程度であるので、この点が短縮できれば、施工時間が実質的に増加することとなる。しかし、その場合でも普通セメントを用いれば強度の観点からみて早期交通解放は難しいこととなるので、良好な流動性ならびに十分な流動性保持時間を有し、しかも十分な早期強度をも有するようなセメントミルクが必要となる。

以上の要求事項を満足する半たわみ性材料を開発するために、まず、この材料について以下の点に着目した詳細な検討を室内試験により行い、次に、その材料を用いて実際に施工を行って、今回考えた急速補修工法の適用性を確かめることにした。

- ① 母体アスファルト混合物の空隙率、強度
- ② セメントミルクの流動性、強度
- ③ 半たわみ性材料の強度、変形特性

室内試験では、まず基礎試験として、常温でセメントミルクを注入するとの条件で、セメントミルクの材質について検討した。ここでは、補修工事が完了してから交通解放するまでの時間として、90分と3時間の二種類の

場合を検討対象とした。その結果、セメントミルクの材質を改良するだけでは早期交通解放が難しいということがわかったので、次に、開発試験として高温注入型材料について検討した。ここでは、母体アスファルト混合物の温度が上記の規定温度にまで低下しないうちにセメントミルクを注入することによる凝結促進を考えている。さらに、アスファルト混合物の材料や配合を変えて試験を行い、耐荷性に優れた母体アスファルト混合物を見出した。

後者の航空機荷重に対する材料・構造の安全性については、試験施工により確認した。この試験施工は室内試験により決定されたセメントミルクならびに母体アスファルト混合物を使用し、セメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度を50℃と80℃の2種類に変えて行った。製作した試験舗装に対して各種載荷試験を行って、経時変化ならびに繰返し載荷に対する挙動を調べた。

3. 材料開発に係わる検討

本章では室内試験の状況について示す。まず、試験方法を記したあと、この工法に適した急硬性セメントミルクの開発、高温注入の可能性、そして混合物としての耐荷性について詳述している。

(1) 試験方法

a) セメントミルク

セメントミルクの試験としては、流動性試験と強度試験を実施した。前者は、セメントミルクの母体アスファルト混合物に対する浸透性、ならびにセメントミルクの製造から注入作業が不可能となるまでの時間、すなわち流動性保持時間を把握する目的で実施した(Pロード使用)。後者は、補修工事終了後の交通解放時間を明らかにする目的で実施した。具体的には、JIS R 5201 に準じて、曲げ強度および圧縮強度を測定したほか、JIS K 6301 に規定されているショア硬度試験を実施した。これらの試験は、基本的には、20℃の温度条件下で実施している。

b) 半たわみ性材料

半たわみ性材料の性状については、曲げ試験、ホイールトラッキング試験³⁾ならびにショア硬度試験によって検討した。曲げ試験は、供試体の寸法が幅50mm、長さ300mm、高さ50mmで、載荷方法がスパン長200mm、中央載荷方式、載荷速度10mm/minという条件で行い、曲げ強度と破断ひずみを求めた。ショア硬度はa)と同様の方法により測定した。

試料の作製は次の手順によった。まず、アスファルト混合物を型枠(幅300mm、長さ300mm、高さ50mm)内に敷き均して、所定の空隙率が得られるように転圧する。そして、この母体アスファルト混合物の温度が所定の温度まで下がった時点でセメントミルクを注入する。この

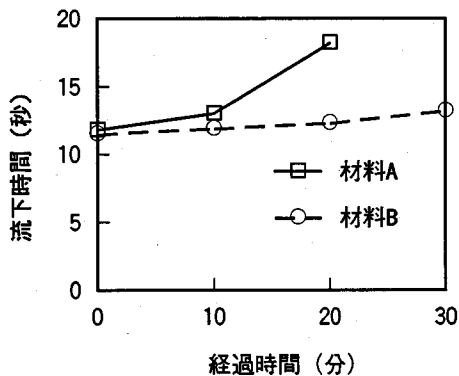


図-1 セメントミルクの流下時間

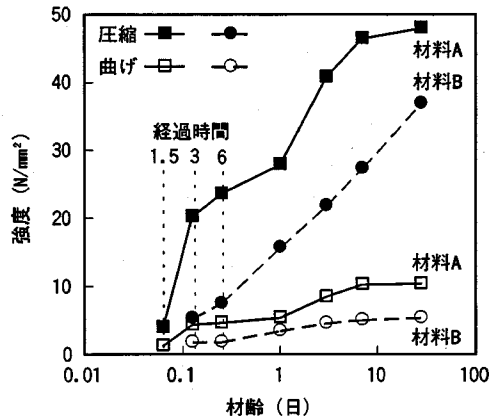


図-2 セメントミルクの強度

場合、セメントミルクは、振動テーブル台に置いた母体アスファルト混合物の表面に流し込み、全体を加振することにより混合物中の空隙に浸透させた。このときの注入時温度としては、20、40、60、80℃を設定し、試験の目的に応じて適切なものを選定した。セメントミルク注入後、試料を20℃に保った恒温室内にて所定の期間養生した。

(2) 急硬性セメントミルクに係わる検討

早期交通開放を可能ならしめる急速補修工法においては、セメントミルクが重要な項目であると考えられたので、その点についてまず検討した。ここでは、交通開放可能な時間として二種類（施工後90分と3時間）を想定し、これを満足できるようなセメントミルクを選定した（それぞれ、材料A、Bと称す）。セメントミルクには既存の超速硬性セメントを用いることとし、前者にはカルシウムフルオロアルミネート系のものを、後者にはカルシウムサルホアルミネート系のものを用いた。なお、それぞれの水セメント比は36.9%、36.8%であった。

a) セメントミルクの流動性と強度

図-1はセメントミルクの流下時間が時間の経過につれて変化する状況を示したものである（温度条件20℃）。材料A、Bのどちらも時間の経過とともにセメントミルクの粘性が増し、流下時間が大きくなっていることがわかる。なかでも、材料Aは10分を超えるあたりから急激に流下時間が増大しているのに対し、材料Bでは、30分が経過した後も流下時間は混合直後と比べて2秒程度増えただけで、流動性が十分保持できていることがわかる。

圧縮強度および曲げ強度の測定結果を図-2に示す（試験温度20℃）。これから、圧縮強度と曲げ強度のどちらにおいても材料Aが材料Bを上回っていることがわか

る。材齢にともなう強度発現状況を見ると、材料Aは材齢3時間までに強度が急激に増加するのに対し、材料Bではそのようなことはなく、強度は徐々に発現していることがわかる。

流動性について、アスファルト舗装要綱に示されている標準値（流下時間：10～14秒）と比較すると、材料Aにおいては20分経過時にこの規定から逸脱するのに対して、材料Bにおいては30分が経過してもこの範囲に入っていることがわかる。また、強度について諸機関の基準^{4) 5)}と比較すると、材料Aにおいては3時間程度、材料Bにおいては1日程度の材齢で、基準値（曲げ強度：2N/mm²以上、圧縮強度：10N/mm²以上）に到達することがわかる。

b) 半たわみ性材料の力学性状

半たわみ性材料は、セメントミルクを母体アスファルト混合物中の空隙に浸透させることによって作製される。この母体アスファルト混合物について、今回の試験ではアスファルト舗装要綱や日本道路公団の半たわみ性舗装施工要領（案）⁶⁾を参考にして、混合物の空隙率23%、マーシャル安定度2.5kN以上となることを目標として配合設計を行った（最大粒径13mmの骨材ならびにストレートアスファルト60-80を使用した）。これに基づいてアスファルト混合物を作製し、上記の2種類のセメントミルクを注入した（注入時のアスファルト混合物の温度は20℃である）。

試験としては、材齢が7日となった時点で曲げ強度試験およびホイールトラッキング試験を行った。表-1はその結果を示したものである。曲げ強度でみるとセメントミルクの場合と同様に、材料Aを用いたものが材料Bと比べて6割程度高いことから、半たわみ性材料の場合もその強度発現にはセメントミルクの性状が大きく影響することがわかる。しかし、この場合は、材料Bにおい

表-1 半たわみ性材料の力学性状

材料	曲げ試験		ホイールトラッキング試験		
	曲げ強度 (N/mm ²)	破断ひずみ (×10 ⁻³)	動的安定度 (回/mm)	変形率 (mm/min)	圧密変形量 (mm)
A	4.82	8.3	21,000	0.0020	0.33
B	3.08	8.0	28,000	0.0015	0.60

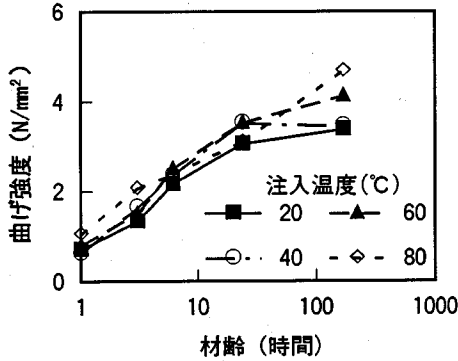


図-3 注入時温度と曲げ強度

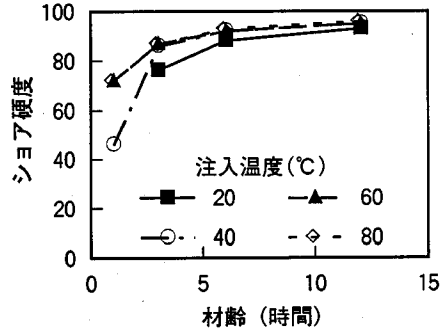


図-4 注入時温度とシヨア硬度

でも曲げ強度自体は各機関の基準値を満足している。また、ホイールトラッキング試験結果をみると、曲げ強度とは逆に、材料 B を用いたもののほうが変形抵抗性が若干高くなっているものの、動的安定度自体は材料 A においても 21,000 回/mm 程度と極めて大きい。

c) 早期交通開放に適するセメントミルク

以上のように、セメントミルク注入作業の施工性を向上させるためにはセメントミルクの流動性保持時間を長くすることが有利となる反面、セメントミルクの強度発現を早めるにはできるだけ流動性の低い材料を用いることが有利となることがわかった。

流動性保持時間を確保する方策としては、セメントミルクに凝結遅延剤を用いることを試みた。その結果、凝結遅延剤量を増加することによりセメントミルクの流動性保持時間は長くなり、材料 A においても凝結遅延剤を 0.05% から 0.1% に増加すると 30 分程度は十分確保できることがわかった。その反面、添加量の増加につれて強度は低下し、凝結遅延剤を 0.05% から 0.1% に増加すると、材齢 90 分における圧縮強度は 1N/mm² と 1/4 以下になってしまった。

セメントミルクの配合を変えずに強度発現時間を短縮する方策としては、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を高くすることを考えた。具体的な結果を示すと、材料 B において、注入温度を 20℃ から 30℃ に増加すると、流動性保持時間は 20 分程度にまで低下するものの、圧縮強度は、材齢 3 時間で 8N/mm² と、3 割程度増加することがわかった。

以上のことから、セメントミルク注入作業の施工性を確保し、しかも早期強度も高めるための方策としては、凝結遅延剤量を多くした配合のセメントミルクを用いたうえでセメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を上げることが考えられる。そのためには、アスファルト混合物の温度が高い状態でセメントミルクを注入した場合でも、ゲル化を生じないようなセメントミルクを選定する必要がある。

(3) 注入温度に係わる検討

ここでは、上記の検討結果に基づき、セメントミルクを母体アスファルト混合物に注入する際のアスファルト混合物の温度の違いが、半たわみ性材料の力学性状に及ぼす影響について検討する。母体アスファルト混合物は、空隙率 23%、マーシャル安定度 2.9kN となる配合のものを用いた。材料として最大寸法 13mm の骨材とストレートアスファルト 60-80 を用いて配合設計を行った結果、最適アスファルト量として 3.4% が得られた。母体アスファルト混合物を作製後、その温度が 20, 40, 60, 80℃ に低下した時点でセメントミルクを注入することによって、半たわみ性材料の試料を作製した。セメントミルクにはカルシウムフルオロアルミネート系のセメント (2) の材料 A) を用い、水セメント比を 36.9% とした。

図-3は、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を変えた場合の、半たわみ性材料の曲げ強度を示したものである。強度は、注入時の母体アスファルト混合物の温度が高い場合 (特に 80℃ で若材齢時) に大きい値を示していることから、温度の違いが強度に及ぼ

表-2 半たわみ性材料の配合

配合設計目標値		骨材配合率 (%)			アスファルト		アスファルト混合物
空隙率 (%)	安定度 (kN)	6号砕石	粗目砂	石粉	種類	添加量 (%)	安定度 (kN)
20	2.9	80	17	3	ストレート 60-80	3.6	3.92
23	2.9	85	12	3	ストレート 60-80	3.4	3.09
	改質 II 型				3.4	3.78	
26	2.9	90	7	3	ストレート 60-80	3.2	2.54
	3.4				改質 II 型	3.2	3.29

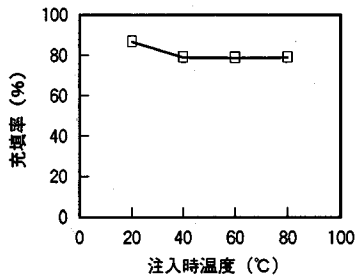


図-5 注入時温度と充填率

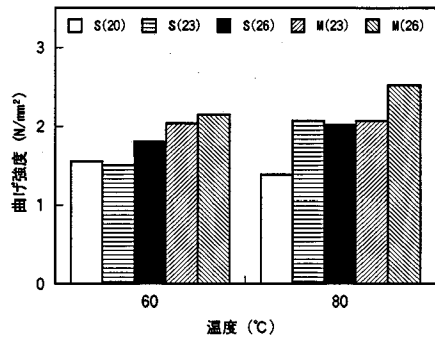


図-6 半たわみ性材料の曲げ強度

す影響は明らかであるといえよう。このほか、破断ひずみについては、初期材齢においては注入温度の違いが顕著で、温度が低ければ破断ひずみも大きいものの、6時間程度が経過すれば注入温度によらずほぼ一定値になっていることがわかった。

セメントミルクのショア硬度の経時変化を示した図-4からも、セメントミルクの硬化程度は注入時のアスファルト混合物の温度の影響を受けることが確認された。材齢初期では、温度が60°C以上であれば温度が40°Cの場合と比べるとショア硬度が1.6倍となっていること、20°Cの場合にはセメントミルクが硬化していないことがわかる。

なお、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を変えた場合の空隙充填率は、図-5に示すように、いずれの場合も80%程度と高い値を示していることもわかった。このことから、ここで用いたセメントミルクの浸透性は、アスファルト混合物の温度が高い場合でも良好であることが確認された。

(4) 耐荷性に係わる検討

ここでは、半たわみ性材料として、空港舗装に適した耐荷力の大きいものを得るための方策について検討する。母体アスファルト混合物については、諸機関の規格を参考にして、空隙率を三種類(20, 23, 26%)とし、マーシャル安定度が2.9kNまたは3.4kN以上となるものを考えた。アスファルトは、一般的なストレートアスファルト60-80のほかに、改質アスファルトII型も用いた。骨材については、最大粒径13mmのものを採用した。セメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度は60°Cならびに

80°Cとした。

上記の目標とする空隙率とマーシャル安定度を満足するアスファルト量として表-2に示すものが得られた。ストレートアスファルト60-80と改質アスファルトII型を用いた場合で同じ空隙率での安定度を比べると、後者のほうが2~3割高い値を示していることがわかる。ただし、空隙率を26%とした場合の安定度についてみれば、どちらのアスファルトを用いても目標とするマーシャル安定度は得られないことがわかる。

図-6は母体アスファルト混合物に用いたアスファルトの種類および空隙率の違いによる半たわみ性材料の曲げ強度(材齢3時間)を示したものである(図中のS, Mはそれぞれ、ストレートアスファルト, 改質アスファルトを意味し、()内の数字は空隙率(%)である)。この図から、母体アスファルト混合物の空隙率が高いほど、半たわみ性材料の強度が高くなる傾向が認められる。また、母体アスファルト混合物単体では空隙率が小さい場合ほど曲げ強度が大きい、半たわみ性材料になるとそれが逆転していることもわかる。これは、母体アスファルト混合物の空隙が多い場合ほどセメントミルクの量が多くなるため、結果として強度も増加することになるからであると思われる。アスファルトの種類の違いについてみれば、空隙率が同じ場合は改質アスファルトII型を使用することにより、母体アスファルト混合物のみならず、半たわみ性材料としても曲げ強度が増加することがわかる。

以上より、半たわみ性材料の曲げ強度を高めるために

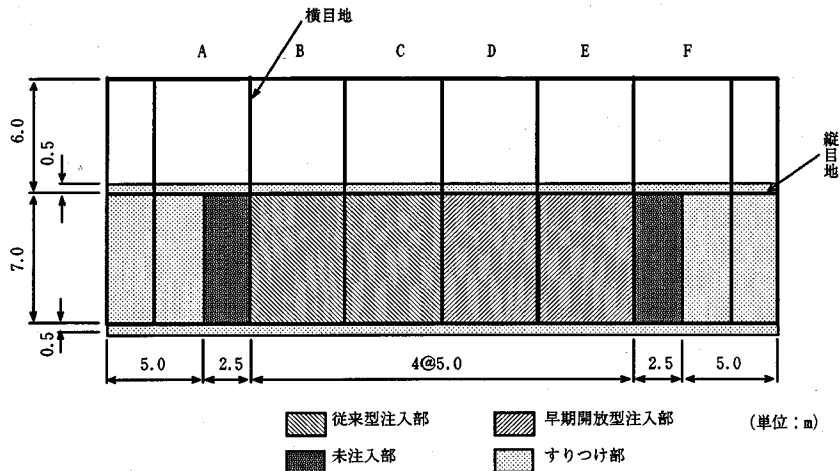


図-7 試験施工平面図

は、母体アスファルト混合物の空隙率を大きくし、アスファルトとして改質アスファルトⅡ型を用いることが必要となる。一連の結果を各機関の基準と比較すると、今回行った試験条件では、材齢 3 時間においては母体アスファルト混合物の空隙率を 23~26%とし、アスファルトとして改質アスファルトⅡ型を用い、そしてセメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を 80℃とすると、これを満足できることがわかった。このほか、材齢 6 時間では母体アスファルト混合物として改質アスファルトⅡ型を使用した場合は、空隙率を 20~26%のいずれとしても基準を満足するが、ストレートアスファルト 60-80 を用いた場合には、空隙率を 20%とすると目標強度に達しないこともわかっている。なお、破断ひずみについてはいずれの場合も基準を満足している。

4. 試験施工

本章では、3.に記した半たわみ性材料について一連の室内試験の結果を受けて実施した試験施工ならびに載荷試験の状況について示す。

(1) 試験舗装

a) 試験舗装の計画

試験舗装は、平成 7 年 1 月に運輸省港湾技術研究所野比実験場の既設コンクリート舗装上に施工された。この試験施工に供された部分は、図-7に示す平面図の B~E の 4 区画である。各区画は 2 枚のコンクリート版から成っているが、幅 7m、長さ 5m のレーンでのみオーバーレイが実施された。

この既設コンクリート舗装⁷⁾は、コンクリート版 450mm、アスファルト中間層 40mm、粒度調整碎石層

150mm からなる構造を有している。路盤作製時の支持力係数 K_{75} (粒度調整碎石上) は $7.8 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ であった。

このコンクリート舗装上に厚さ 50mm の半たわみ性材料によるオーバーレイを実施した。この半たわみ性材料については、使用材料、配合等を室内試験に基づいて選定した。アスファルトとしては改質アスファルトⅡ型を、骨材としては最大粒径 13mm のものを用いた。母体アスファルト混合物については、空隙率 23%、マーシャル安定度 3.4kN を目標に配合設計を行った結果、最適アスファルト量として 3.5%が得られた。また、セメントミルクとしては、室内試験と同様にカルシウムフルオロアルミネート系のもの (3.2)の材料 A) を用いた (水セメント比 40%)。このセメントミルクはアスファルト混合物の温度が 80℃ (D, E 区画)、50℃ (B, C 区画) に低下した時点でアスファルト混合物に注入された。

b) 試験舗装の施工

施工状況については以下のようにまとめられる。

既設コンクリート版内にひずみ計を設置した後、舗装表面全体をコンプレッサーで入念に清掃してから、タックコートとしてゴム入りアスファルト乳剤 ($0.4/\text{m}^2$) を散布した。このような処理をすることにより、オーバーレイ層と既設版間の付着力はアスファルト混合物層間と同程度のもの⁸⁾が得られることが室内試験により確認されている。表-3には接着強度³⁾を示してある。

そして、その上に母体アスファルト混合物を敷設した。このアスファルト混合物の安定度は、配合設計時の 4.98kN から 4.57kN と 0.4kN 程度低い値となったことが確認されている。アスファルト混合物の施工にあたっては、通常のアスファルト舗装と同様に、アスファルトフィニッシャ、マカダムローラの機械編成で行った。目標転圧回数は、当初、各区画とも 10 回としていた。こ

表-3 アスファルト混合物層との接着強度⁹⁾

表面処理方法	タックコート	接着強度 (N/mm ²)
ショットブラスト	PK-4	0.43
	PK-R	0.63
	なし	0.60
金ごて仕上げ	PK-4	0.46

れに対し、B、C区画では10回の転圧ができたが、D、E区画では母体アスファルト混合物の表面温度がセメントミルク注入時の目標温度となった時点で転圧を終えたため、6回しか行えなかった。その結果、空隙率は前者で24%、後者では24.9%となった。

この母体アスファルト混合物の温度が所定の値にまで低下したことを確認した後、セメントミルクを流し込んだ。セメントミルクは、プレミックスタイプの超速硬セメント、凝結遅延剤、水をグラウトミキサーで混合することにより製造された。凝結遅延材の添加量は、施工時の気温が10℃程度であったため、セメントの質量に対して0.05%とされた。製造直後のセメントミルクの流下時間を確認した結果、3回の平均で11.3秒と、室内試験時と比べると1秒程度小さい結果が得られた。また、セメントミルクの強度については、材齢3時間で曲げ強度2.56N/mm²、圧縮強度6.33N/mm²と、室内試験と比べて2割程度低下していることがわかった。

セメントミルクの注入作業としては、まず、セメントミルクをグラウトミキサーから母体アスファルト混合物の表面に直接排出し、ゴムレーキですばやく広げて、振動ローラによりアスファルト混合物の空隙に浸透させた。施工時期が冬期のため母体アスファルト混合物の温度が急激に低下することが懸念されたので、注入作業は30分以内に終了することを目標として行われた。セメントミルクの浸透量は13l/m²であった。

アスファルト混合物の空隙中にセメントミルクが十分に浸透した後、セメントミルクが硬化する前に舗装表面の余剰分をゴムレーキで取り除いた。なお、B、C区画においては、硬化し始めた段階でデッキブラシを用いて表面を粗面に仕上げた。表-4に示したポータブルスキッドテストによるすべり摩擦抵抗値(BPN)をみると、デッキブラシで舗装表面を粗面に仕上げることは特別な処理をしない場合よりもいくぶん効果的であるが、余剰セメントミルクを取り除くだけでも十分であることが認められた。

なお、セメントミルク注入後1時間程度が経過した時点で、B、C区画の境界上とD、E区画の境界上のオーバーレイ層全厚にわたってカットによる切込みを入れた。なお、C、D区画の境界にはカットを入れずに、リフレクションクラックの発生状況を観察した。

表-4 表面処理方法とすべり抵抗性

表面処理方法	区画	BPN
デッキブラシ	B	71
	C	70
ゴムレーキ	D	68
	E	71

施工後4日目に切り出した供試体を用いて測定した半たわみ性材料の曲げ強度は、現場施工においても室内試験と同様に、高温時(80℃)で注入した場合ほど高い値を示していた。また、現場施工時の充填率は、いずれも80%程度と高い値を示していることが確認された。

(2) 載荷試験

試験舗装に対して2種類の載荷試験を実施した。一つは、オーバーレイ後の半たわみ性材料の硬化程度を把握するためのものであり、交通開放時期を判断するために必要となる。もう一つは、航空機荷重の繰返し走行が舗装に及ぼす影響を評価するためのもので、繰返し載荷に対するオーバーレイ舗装の耐久性を把握するために必要となる。

載荷試験として、具体的には、FWDによる載荷を行って、舗装面でのたわみを測定したほか、一部ではこの載荷により生ずるひずみをコンクリート版に埋め込んだひずみ計を用いて測定した。このときの試験箇所は、B~E各区画の版中央部、ならびにB・C、C・D、D・E区画の境界となる目地部である。なお、FWDの荷重は196kNとした。

a) 経時変化試験

この試験では、半たわみ性材料によるオーバーレイの効果を調べるために、オーバーレイ前後の舗装のたわみとコンクリート版のひずみを測定した。オーバーレイ前はたわみとひずみの両方を測定できたが、オーバーレイ後は時間的な制約からたわみを中心とした測定となった。施工後の測定については、半たわみ性材料によるオーバーレイの力学的挙動を詳細に調べるために、施工後1、2.5、4、6、24時間が経過した時点で実施した。なお、24時間経過時にはコンクリート版のひずみも測定した。

このほか、母体アスファルト混合物にセメントミルクを注入した後、1、2、3、4時間経過した時点で、室内試験と同様な方法でショア硬度計によるセメントミルクの硬さ測定を行った。

b) 繰返し走行載荷試験

原型走行荷重車による走行載荷試験は、施工後24時間経過してから3日間にわたって行った。この走行は、原型走行荷重車の車体下部に取り付けた、載荷試験用の脚(B-747型航空機の主脚と車輪が同一配置)の車輪

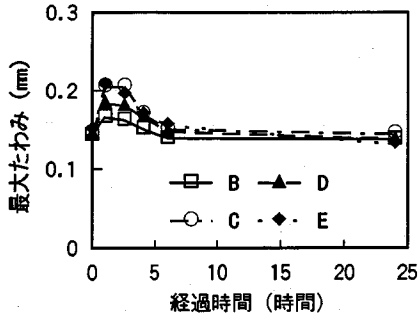


図-8 FWDによる最大たわみ (版中央部)

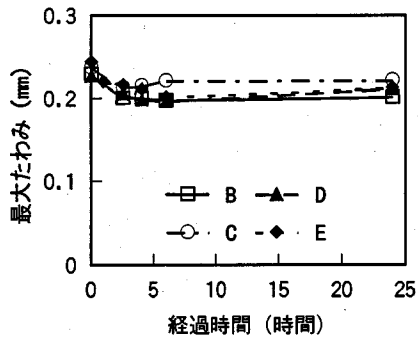


図-9 FWDによる最大たわみ (目地部)

(910kN, 一輪) がレーン中央部のコンクリート版に埋設されたひずみ計の直上を通過するようにして行った。走行回数は最大で 1,000 回とし、所定の走行回数 (100, 200, 500, 1,000 回) における横断方向のわだちばれ量を測定した。さらに、1,000 回の走行載荷が終了した時点で、FWD を用いて舗装面のたわみとコンクリート版のひずみを測定した。

(3) 経時変化の状況

a) たわみ

図-8には、コンクリート版中央部における FWD 最大たわみの経時変化を示してある。オーバーレイ前のたわみと比較すると、施工直後 (1 時間経過時) では、最大で 4 割程度たわみは増加するが、時間の経過とともにその差は小さくなり、6 時間経過した時点では施工前とほぼ同程度かそれ以下となっていることがわかる。これは、高温のアスファルト混合物がコンクリート版表面に敷設されることから、深さ方向に正の温度勾配が生じ、そのために、版中央部では見かけ上コンクリート版と路盤の間に空隙が生じて、施工直後にはたわみが大きくなったからである。

図-9には、目地部における FWD 最大たわみをまとめ

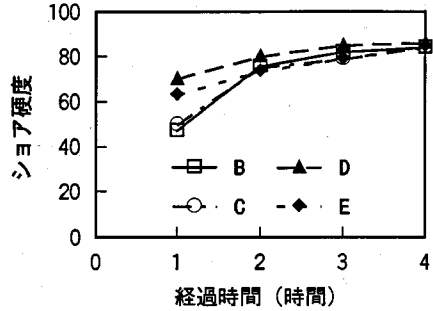


図-10 ショア硬度の経時変化

た。図-8 に示した版中央部の場合と比較すると、たわみ自体は目地部のほうが大きい⁹⁾が、経時変化をみれば、版中央部と目地部では反対の挙動を示していることがわかる。すなわち、版中央部では施工直後にたわみが増加したのに対し、目地部では減少する傾向を示している。

このたわみについて、全体的にみれば、目地部においてのみならず、版中央部においても FWD 最大たわみは施工後数時間経過後にはオーバーレイ前のものより小さくなる⁹⁾ことがわかり、オーバーレイの効果が明らかに認められる。しかし、従来型の B, C 区画と早期開放型の D, E 区画とではたわみの違いは明確になっていない。

b) ショア硬度

図-10には、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度を変えた場合の、セメントミルク注入後 1 時間ごとのショア硬度を示している。注入時の温度が高かった D, E 区画では、材齢初期においても大きいショア硬度が得られている。しかし、注入時の温度が低かった B, C 区画におけるショア硬度も、セメントミルクを注入してから 2 時間後には、D, E 区画における値と同程度にまで増加している。

半たわみ性舗装の交通開放時期の目安として、セメントミルクの圧縮強度で 4.9N/mm^2 という値が提案されている⁹⁾。この値がショア硬度では 60 程度に相当するといわれている⁹⁾ことから判断すると、D, E 区画においてはセメントミルク注入後 1 時間、B, C 区画では 2 時間程度で交通開放が可能と判断できよう。

(4) 繰返し走行載荷の影響

a) コンクリート版ひずみ

原型走行荷重車による繰返し走行載荷試験前後のコンクリート版の最大ひずみを図-11にまとめた (版中央部)。この図は、オーバーレイの施工前、母体アスファルト混合物にセメントミルクを注入してから 24 時間後、および 1,000 回の走行試験終了後の FWD に対するものである。

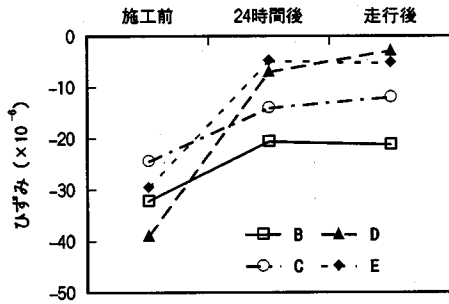


図-11 走行載荷によるひずみの変化 (版中央部)

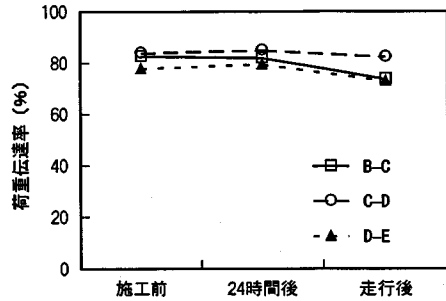


図-13 走行載荷による荷重伝達率の変化

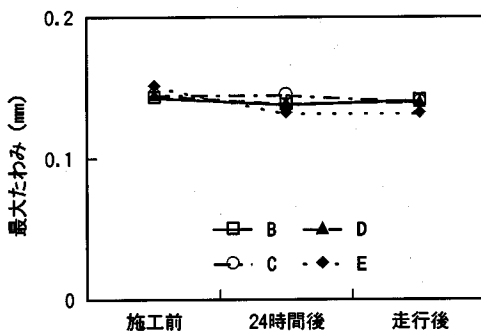


図-12 走行載荷によるたわみの変化 (版中央部)

表-5 最大わだちぼれ量

区画	走行回数 (回)			
	100	200	500	1,000
B	2	1	3	4
C	0	0	0	2
D	2	3	2	1
E	1	0	2	2

(単位: mm)

合の、それぞれ、載荷側、非載荷側の FWD たわみで、載荷板中心からの距離が 0, 450mm の点でのものである)。この図から、荷重伝達率は繰返し走行載荷の影響をあまり受けないことがわかる。

カットによる目地切りを行わなかった C, D 区画境界上では、750 回程度の繰返し走行載荷によりリフレクションクラックの発生が認められ、走行回数を重ねていくことよりそれが徐々に進行し、1,000 回の繰返し走行載荷終了時には幅 1~1.5mm、長さ 2m 程度にまで成長したことが確認された。このことから、リフレクションクラックを防止するためには、施工直後に既設コンクリート舗装の目地位置にカットを入れ、シール材を充填しておくことが肝要といえる。

d) 横断形状

繰返し走行載荷試験中の最大わだちぼれ量を表-5にまとめた。測定方法に起因するばらつきが多少あるが、わだちぼれは 1,000 回の走行終了時で 4mm (B 区画) が最大となっている。しかし、その場合でも、空港舗装の補修基準¹⁾からみれば、補修が必要となるほどのものではなく、半たわみ性材料によるオーバーレイは路面性状の面からみても満足できるものであることがわかる。

5. 結論

空港コンクリート舗装の急速補修方法として半たわみ性材料を用いたオーバーレイ工法について検討した結果、以下の結論が得られた。

この図から、まず、セメントミルクを注入してから 24 時間後のひずみは、オーバーレイ前の値よりも明らかに小さくなっていることがわかる。また、セメントミルク注入時の母体アスファルト混合物の温度が高い早期開放型 (D, E 区画) のほうが、従来型 (B, C 区画) と比べて、ひずみの低下が顕著である。このことから、オーバーレイの効果が明らかに認められる。また、繰返し走行載荷終了後のひずみは、試験前と比べても増加するようなことはなく、半たわみ性材料の耐久性は十分であるものと考えられる。

b) たわみ

図-12には、施工前、施工 24 時間後および繰返し走行載荷試験終了後の FWD 最大たわみを示した (版中央部)。これによると、ひずみほど顕著ではないが、オーバーレイ後ならびに繰返し走行載荷試験終了後でたわみがいく分減少する傾向がみられる。なお、セメントミルク注入時のアスファルト混合物の温度が違っても、最大たわみにはあまり差はないようである。

c) 荷重伝達率

次に、図-13は目地部の荷重伝達率の変化を示したものである。ここで、荷重伝達率は、 $d_2 / \{(d_0 + d_2) / 2\} \times 100 (\%)$ で定義される (d_0, d_2 は、載荷板を目地近傍に置いた場

(1) セメントミルク注入作業の施工性を確保し、しかも早期交通開放を可能とするためには、早期強度の高いセメントミルクの硬化速度を凝結遅延剤によって調整したうえで、アスファルト混合物が比較的高温の状態ではセメントミルクを注入しなければならない。

(2) 半たわみ性材料による 50mm 厚のオーバーレイ舗装の試験施工により、舗装面のたわみ、コンクリート版のひずみがオーバーレイ後に減少していることから、ここで考えたオーバーレイ工法が既設コンクリート舗装の構造強化に対して有効であることが確認された。

(3) ショア硬度でみると、高温時(80℃)注入の場合は施工してから 1 時間後、低温時(50℃)で 2 時間後には交通開放可能と判断されるものの、FWD たわみからは両者の違いが明確ではなく、いずれも注入後 3 時間程度ではほぼ一定値となることから、この時点で交通開放可能と判断できる。

(4) 1,000 回の繰返し走行載荷試験前後の舗装たわみ、コンクリート版ひずみを版中央部と比較すると、いずれにおいても繰返し走行載荷の影響は見られないことから、半たわみ性材料の耐久性は十分であると考えられる。

(5) 一連の試験研究を総括すれば、施工後 3 時間程度での交通開放を目標とした、半たわみ性材料を用いた空港コンクリート舗装の急速オーバーレイ工法の特徴は次のようにまとめられる。

① セメントミルクとしては、製造後 30 分程度の間流動性が確保でき、しかも曲げ強度では材齢 3 時間で 2N/mm^2 に達するような材料を使用する。

② 母体アスファルト混合物としては、改質アスファルトを使用し、空隙率が 23%程度となるようなものを用いる。

③ セメントミルクは、アスファルト混合物の温度が 80℃に低下した時点で注入する。

6. おわりに

以上、空港コンクリー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工法をまとめた。空港では厳しい時間的制約のほか、厳しい交通荷重条件をも満足しなければならないので、速硬性セメント・改質アスファルトの使用、高温時注入といったことが不可欠である。

本来この材料は、アスファルト舗装の表層部分に使用されるものであり、今回対象としたようなコンクリート舗装の補修材料として適用した事例はまれであろう。わが国の空港において、この種の材料を本格的に用いた事例はないが、今回行った一連の試験研究によりその実用性が確認できたので、空港コンクリート舗装の急速補修工法として今後使用されることが期待される。

なお、第二著者は運輸省港湾技術研究所研修生として本研究に参画した。

参考文献

- 1) 運輸省航空局：空港舗装補修要領（案），95p., 1984.
- 2) (社) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，324p., 1993.
- 3) (社) 日本道路協会：舗装試験法便覧，1069p., 1989.
- 4) 鈴木 徹，奥平真誠：半たわみ性舗装に関する試験（その 1），舗装，第 29 巻，第 6 号，pp.29-35，1994.
- 5) 鈴木 徹，奥平真誠：半たわみ性舗装に関する試験（その 2），舗装，第 30 巻，第 2 号，pp.36-41，1995.
- 6) 日本道路公団：半たわみ性舗装施工要領（案），40p., 1990.
- 7) 八谷好高，佐藤勝久，田中孝士：コンクリート舗装の新しい目地構造の開発，港湾技術研究所報告，第 26 巻，第 1 号，pp.115-140，1987.
- 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) 鈴木 徹，加藤裕康，奥平真誠：半たわみ性舗装における交通開放時期の一管理手法，道路建設，4/4，pp.66-70，1992.

(1996.3.22 受付)

FAST REHABILITATION METHOD WITH CEMENT TREATED ASPHALT MIXTURES FOR AIRPORT CONCRETE PAVEMENTS

Yoshitaka HACHIYA and Tsunenori ICHIKAWA

The fast rehabilitation method of the airport concrete pavement is tried to develop by using cement treated asphalt mixtures (CTAM) as the overlay material. In a laboratory, the strength gaining property and the fluidity retaining ability of the cement milk and the strength of CTAM were examined. In a field test, an experimental overlay project using CTAM selected through the laboratory test was constructed.

As a result, main conclusion are obtained as follows:

- 1) The period can be shortened by increasing the temperature of the asphalt mixture at the cement milk injection.
- 2) The durability of CTAM against the aircraft load can be assured by using modified asphalt.