

空港アスファルト舗装の被災時応急復旧用材料

八谷好高¹・殷 建軍²・室園正徳³

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長（〒239 横須賀市長瀬3-1-1）

² 工博 運輸省港湾技術研究所土質部滑走路研究室客員研究員；中国西安公路交通大学公路系講師

³ 運輸省港湾技術研究所土質部滑走路研究室研究員

地震により空港アスファルト舗装に生ずる、ひび割れ、段差・陥没といった破損に対する応急復旧システムを確立することが社会的に強く要請されている。本論文ではシステム構築の前段となる基本方針の策定と材料の選定について論じている。まず、基本方針について明らかにしたあと、復旧用材料に関わる現状調査によって予備選定をし、そして、それらの特性を室内試験で詳細に把握することによって最終的な材料の選定を行っている。その結果、主要空港、地方空港を対象とした段差・陥没補修用材料としては、それぞれ、粉末アスファルト加熱混合物、樹脂系常温混合物の適用性が高いこと、ひび割れ補修用材料としてはアスファルト系常温注入材料が適していることが認められた。

Key Words: airport, asphalt pavement, earthquake, urgent repair, fault, pothole, crack

1. はじめに

道路、鉄道が“線”であるのに対して、空港が“点”であることから、地震災害時における航空輸送の重要性が高く認識されている。地震により空港舗装が被る被害は、アスファルト舗装のひび割れやひび割れ部の段差・陥没といったものである¹⁾。ひび割れについては、これを放置しておく、舗装内に雨水などが浸入して路床・路盤を軟弱化させ、最終的には舗装を破壊させるまでに至るので、材料を注入するなどしてふさぐ必要がある。段差・陥没は、航空機の運行に直接影響を及ぼすので、平坦性を回復するために直ちにパッチングをしなければならない。何れの場合も、まず、応急的に復旧がなされ、その後全面的な補修がなされることとなろう。

ひび割れ、段差・陥没を補修するためには、加熱アスファルト材料が用いられることが多い。しかし、被災時にはアスファルトプラントが倒壊するといった理由により材料が出荷されないばかりでなく、施工機械や人員の点からも、従来型の補修工法が期待できなくなるおそれも強い。この状況に対処するためには、空港事務所等に材料を常備しておき、最低限の設備・人員により迅速に復旧することが必要になろう。

このようなことを背景にして、ひび割れ、段差・陥没といった地震災害時に空港アスファルト舗装に生ずる破

損に対する応急復旧システムの開発に着手した。本論文では、全体システムの前段にあたる基本方針の策定と材料の選定について論じている。具体的には、まず、基本方針について明らかにしたあと、補修用材料に関わる現状調査・室内試験によって予備選定をし、そして、それらの材料特性を室内試験で詳細に把握することにより最終的な材料の選定を行っている。

2. 応急復旧方策

わが国の空港ネットワークは、東京、大阪といった主要空港を中心とするハブアンドスポークシステムをとっている。地震災害時における空港の重要性についてはこれらの間で差がないものの、就航便数、舗装面積等を考えると、被災時における空港の補修方策については、迅速・大量補修が要求される主要空港とそれ以外の地方空港に分けて検討するほうが合理的であろう。

ひび割れと段差・陥没のうち、より迅速な対応が求められる後者の補修方法については、この考え方に従って以下のように二つの具体策について検討することにした。

①主要空港対象：簡易機械施工、すなわち、常置可能な小型装置を使用する施工方法（工法-1）

②地方空港対象：人力施工、すなわち、スコップ等のみで作業可能な施工方法（工法-2）

したがって、工法-1用材料としてはある程度まとまった数量が容易に製造できること、工法-2用材料としては少ない労力で製造可能なことが要求されるが、空港内に備蓄された材料により製造可能で、破損箇所を直ちに応急復旧可能となるものでなければならないことは共通している。このほか、両者に対して共通に要求される事項としては、以下のものが挙げられる。

- ① 通常の表層用材料程度の強度特性を有するもの
- ② 施工後短時間で交通解放可能なもの
- ③ 広範囲の自然条件下で製造・施工可能なもの
- ④ 倉庫等で数年間保管可能なもの
- ⑤ 本復旧までの間十分な耐久性を有するもの
- ⑥ 通常の補修工事においても利用可能なもの

具体的に検討すべき項目は、骨材・バインダの材料物性、力学特性、硬化特性、施工性、貯蔵性といったものである。

段差・陥没ほど迅速さが必要とはされないひび割れの応急復旧策については、材料の製造やひび割れ部の切削作業を必要とせず、空港内に備蓄されている材料をそのままひび割れに注入する方法を考えた。これは主要空港、地方空港によらず同一とした。この材料については以下の特性が要求される。

- ① 製造済みで現地でそのまま使用可能なもの
- ② アスファルト混合物との付着性が良好なもの
- ③ ひび割れに直接注入可能なもの
- ④ 交通開放時期、保存性、耐久性等が段差・陥没補修用材料と同等のもの

具体的な検討項目は、材料物性、ひび割れ充填性、付着性、硬化特性、施工性、貯蔵性である。

このような要求性能を満足する材料を見出すために、図-1に示すフローに従って試験研究を実施した。まず、市場調査、文献調査により、今回の目的に適合する材料を数種類選定する（一次選定）。段差・陥没補修用材料については概略室内試験により候補を1、2種類に絞り込む（二次選定）。そして、詳細な室内試験を行って、段差・陥没補修（工法-1、工法-2）ならびにひび割れ補修用材料を選定する（最終選定）。

3. 段差・陥没補修用材料

段差ならびに陥没を応急的に復旧する場合に使用する材料について、図-1に示したフローに従って検討した。以下では、その結果を市場・文献調査、概略室内試験、詳細室内試験の順にまとめる。

(1) 市場・文献調査

検討の対象となる材料についてその概要を示したのち、主要なものについて詳述する。

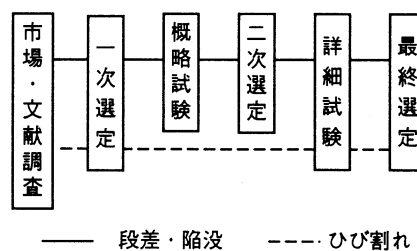


図-1 応急復旧用材料開発のフロー

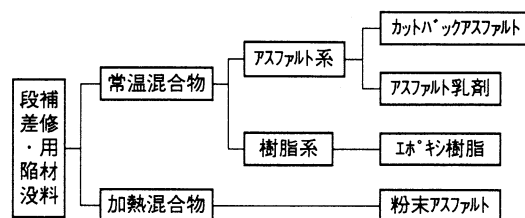


図-2 段差・陥没補修用材料の分類

a) 概要

現在市販されている材料のうちで本研究の目的に適合すると思われるものは、そのほとんどがカットバックアスファルトを使用した常温混合物である。この特徴については以下のようにまとめられる。

- ① 貯蔵可能で必要量を現場に運んで補修できる
- ② 施工時の温度管理が不要で使いやすい
- ③ 小規模の補修に対しては経済性に優れている
- ④ 加熱アスファルト混合物に比べ安定性に劣る

そのため、常温混合物は暫定的に使用される場合が多いものの、最近では樹脂を用いた高強度の常温混合物が開発されている。このほか、粉末アスファルトを用いた加熱混合物の製造も可能となっている。

以上のような背景を踏まえて、本研究の目的に適合すると思われる段差・陥没補修用材料を分類すると図-2のようになる。

b) アスファルト系常温混合物

アスファルト系常温混合物には、カットバックアスファルトを用いるもの、アスファルト乳剤を用いるものの2種類がある。

段差・陥没補修用材料として使用されることの多いカットバックアスファルト常温混合物は、溶剤が完全に蒸発するまでは強度が小さいものの、施工は容易で、接着性・耐久性に優れている。また、貯蔵期間は1～2箇月のものが多いが、6箇月～1年が可能なものもある。

アスファルト乳剤常温混合物は以前から数多く使用されているものの、分解・硬化が遅く、強度発現までに長い時間を必要とするとの欠点があった。しかし、最近になって分解・硬化が比較的速いものが開発されている。

以上の調査結果に基づき、概略室内試験に供すべき材料として、カットバックアスファルト常温混合物2種類（A、Bと称す）、アスファルト乳剤常温混合物1種類を選定した。

c) 樹脂系常温混合物

樹脂系常温混合物に使用されている樹脂は、エポキシ、メタクリル酸メチル、ポリウレタン、ポリエステルなどである。このうち、本研究の目的に適合するものは、硬化収縮特性、接着性、施工性を考慮するとエポキシであると考えられる。エポキシ樹脂常温混合物は、主剤、硬化剤、骨材を混合することによって製造され、強度発現時間は20℃で1時間未満である。この材料についても概略室内試験用に1種類を選定した。

d) 加熱混合物

通常の加熱アスファルト混合物は、規模の大きなアスファルト加熱溶融設備が必要となるため、本研究の条件には適合しない。これに対して、粉末アスファルトを用いれば加熱混合物が比較的容易に製造可能となる。しかし、これによれば比較的規模の大きい補修が可能となる反面、被災時においても使用できる簡易製造機械を準備しておく必要があるため、この材料は主要空港を対象とした補修、すなわち、工法-1に限定すべきものと考えられる。これについても概略室内試験に供した。

段差・陥没の応急復旧を対象とした備蓄可能な材料として、上記の市場・文献調査に基づいて選定した5種類の特徴をまとめると、表-1のようになる。

(2) 概略室内試験

(1)に示した市場調査ならびに文献調査により選定した5種類の段差・陥没補修用材料について、マーシャル安定度試験を行った。

a) 試験方法

マーシャル安定度試験用供試体は、空港アスファルト舗装構造設計要領²⁾に記されている突固め回数75回の条件にて作製した。供試体作製時の温度は5、20℃の2種類である。

作製した供試体は、引き続き同じ温度にて所定の時間(1, 5, 24時間)養生し、その温度を保持したまま試験に供した。マーシャル安定度試験の方法は舗装試験法便覧³⁾に記されている方法に準じている(供試体の養生方法、試験温度は除く)。なお、粉末アスファルトを用いる場合は、170℃にて供試体を作製後、5、20℃に保った恒温室内にて養生し、24時間経過後試験に供した。

b) 試験結果

温度が20℃の場合のマーシャル安定度の経時変化について図-3に示した。アスファルト系常温混合物は、乳剤を用いたものが比較的大きなマーシャル安定度を有するものの、いずれも9kNという材料規格²⁾は満足しない。これは時間が経過しても同様である。これに対して、樹脂系常温混合物は、作製後1時間経過後には極めて大きな値を示していることがわかる。

寒冷期を想定して実施した5℃の温度条件下において

表-1 予備選定された段差・陥没補修用材料

材 料	貯蔵 期間	製 造	敷 設	転 圧	養 生	交通 開放	気象 条件
アスファルト系常温混合物							
カットバックアスファルト A	3-6箇月	◎	○	○	◎	◎	◎
カットバックアスファルト B	1年	◎	○	○	◎	◎	◎
アスファルト乳剤	3箇月	○	◎	◎	△	○	×
樹脂系常温混合物	3-5年	○	◎	○	△	◎	◎
粉末アスファルト加熱混合物	-	△	◎	○	◎	◎	○

◎非常に良 ○良 △やや悪 ×悪

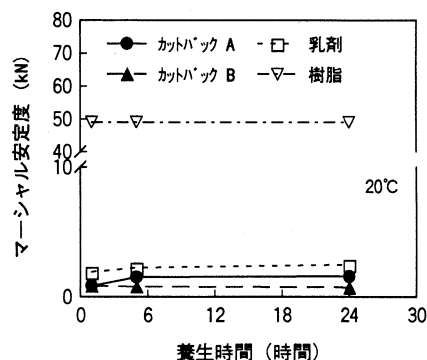


図-3 20℃におけるマーシャル安定度

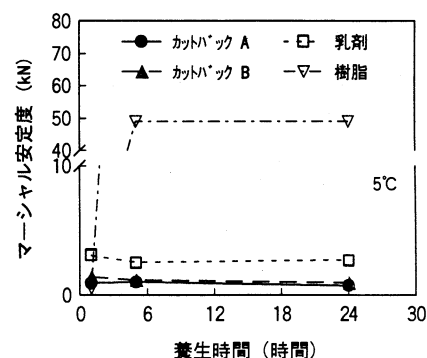


図-4 5℃におけるマーシャル安定度

は、アスファルト系常温混合物は20℃の場合に比較すると若干大きめの値を示すものの、上記の空港舗装の規格に適合するまでには至らない(図-4)。樹脂系常温混合物は、供試体作製後1時間程度では強度発現が不十分であるが、5時間が経過すれば十分な強度を示すようである。

以上の結果から工法-2用材料として適していると判断される樹脂系常温混合物について、施工後の交通開放時期を明確にするために、温度 0、5、10、20℃において養生時間を1、2、3、5時間としたときのマーシャル安定度を測定した(図-5)。これより、温度が0℃では2~3時間、5℃では1~2時間経過すれば供用可能となること、10℃以上では1時間未満でも供用可能であることがわかる。

工法-1用材料である粉末アスファルトを用いた加熱混合物のマーシャル安定度を図-6に示す。マーシャル安定

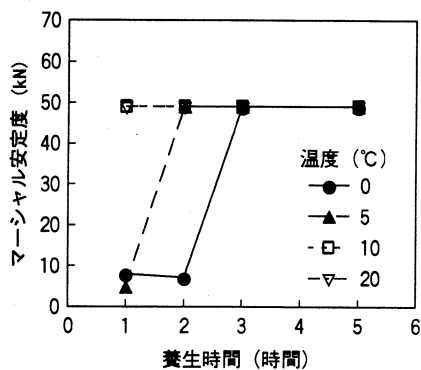


図-5 マーシャル安定度の経時変化
(樹脂系常温混合物)

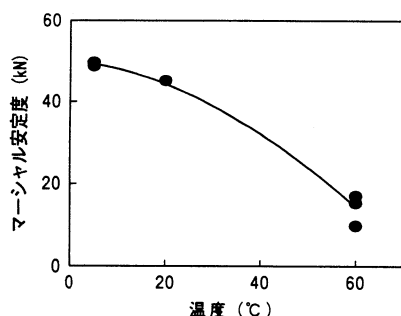


図-6 温度によるマーシャル安定度の違い
(粉末アスファルト加熱混合物)

度は、60℃の温度においても規格値である9kN以上となっていることから、この材料は強度でみれば十分なものであることが認められる。

(3) 詳細室内試験

(2)の概略室内試験の結果、工法-1用材料として粉末アスファルトを用いた加熱混合物、工法-2用材料として樹脂系常温混合物の適用性が高いことが認められたので、この材料の性状について詳細な検討を加えることにした。

a) 試験方法

試験としては、曲げ試験とホイールトラッキング試験を実施した。

曲げ試験は、幅50mm、長さ300mm、厚さ50mmの供試体を用い、中央1点載荷方式により実施した(樹脂系常温混合物の材齢は7日)。このときの載荷速度は1, 100mm/minの2種類で、試験温度は5, 20, 40℃の3種類であった。樹脂系常温混合物については、施工後の時間経過に伴う性状変化を調べることを目的として、施工後1, 3, 6, 24時間の時点においても試験を実施した(温度20℃, 載荷速度100mm/min)。

ホイールトラッキング試験は、舗装試験法便覧に準拠して60℃の温度において実施した(材齢7日)。このほか、樹脂系常温混合物については、施工後の経時変化を調べるために、1, 3時間経過後にも試験を実施している(供試体作製ならびに試験時の温度は20℃)。

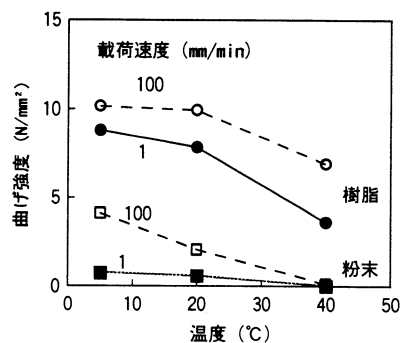


図-7 曲げ強度と温度

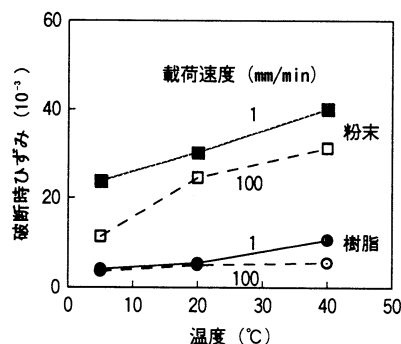


図-8 破断時ひずみと温度

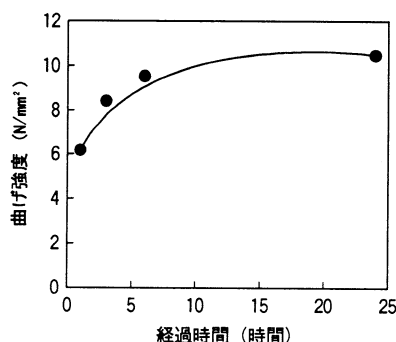


図-9 曲げ強度の経時変化 (樹脂系常温混合物)

b) 試験結果

図-7に曲げ強度が温度に応じて変化する状況をまとめた。樹脂系常温混合物、粉末アスファルト加熱混合物とも、温度が高いほど、また、載荷速度が低いほど、強度も小さくなるのがわかる。後者は、前者よりも強度が小さく、しかも一般的な空港用表層加熱アスファルトコンクリートよりも若干小さい⁴⁾。なお、破断時のひずみは、樹脂系常温混合物のほう³⁾が極めて小さくなっている(図-8)。

樹脂系常温混合物の曲げ強度が施工後の時間経過に伴って変化する状況を図-9に示した。曲げ強度としては、施工後6時間経過すると最終強度にほぼ近い値が得られ、1時間程度でも最終強度の60%程度の値が得られている。

ホイールトラッキング試験の結果として60℃の温度条件下における動的安定度をみると、樹脂系常温混合物が48,000回/mm、粉末アスファルト加熱混合物が1,200回

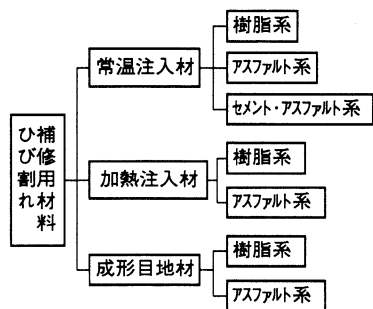
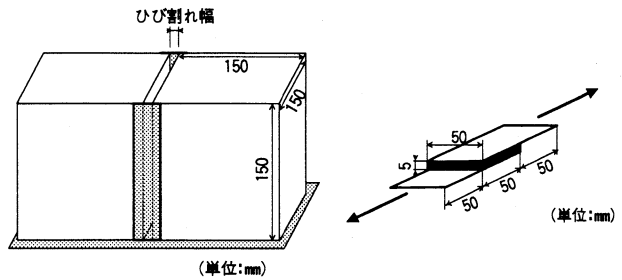


図-10 ひび割れ補修用材料の分類



a) 充填性試験 b) 引張せん断試験

図-11 ひび割れ補修用材料に関する試験

表-2 ひび割れ補修用材料の性状

項目	樹脂系			アスファルト系
	ポリウレタン系	ポリサルファイト系	シリコン系	
作業性	△～○	△～○	△～○	○～◎
耐熱性	△～○	△～○	○～◎	△
耐候性	△	○	○	○
耐久性	△	△	○	△
浸透性	○	○	×	◎
付着性	○	○	○～△	◎
耐油性	○	◎	×	×
耐水性	△	○	○	◎
耐薬品性	×～○	△～○	○～◎	○

◎非常に良 ○良 △やや悪 ×悪

/mmとなっている。後者についてはアスファルト舗装要綱⁵⁾に示されている流動対策用材料としての規格を満たすまでには至らないが、空港舗装の応急復旧を対象としたものとしては十分であると思われる。なお、樹脂系常温混合物について温度20℃で施工後1,3時間における動的安定度を測定した結果からは非常に高い値が得られており、この材料によれば施工後短時間での供用開始が可能であると考えられる。

以上の検討結果を総括すれば、段差・陥没補修用材料としては、主要空港、地方空港のそれぞれを対象とした場合、粉末アスファルトを用いた加熱混合物、樹脂系常温混合物が適しているとまとめられる。

4. ひび割れ補修用材料

ひび割れを応急復旧する場合に使用する材料については、市場・文献調査により選定した2種類の材料を室内試験に供し、最終的に1種類を選定した。

(1) 市場・文献調査

ひび割れ補修用注入材料を、その使用形態で分類すると図-10のようになる。このうち、本研究の目的に適合すると考えられる樹脂系、アスファルト系の常温注入材料の性状を比較したものが表-2である。これから、アスファルト系材料は樹脂系材料と比較すると、浸透性、付着性、耐水性といった点で優れていることがわかる。

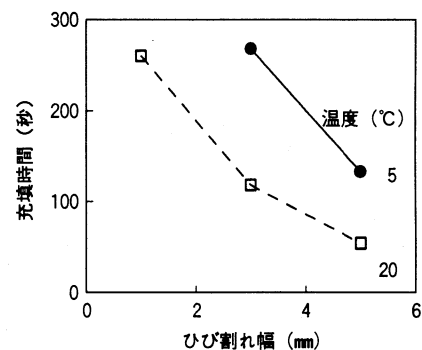


図-12 充填時間

室内試験に供するものとして、アスファルト系材料から1種類、樹脂系材料からは作業性が良く、比較的接着性もあると思われるウレタン系のものを1種類選定した。選定したアスファルト系材料は、加熱注入材料と比較してはるかに優れた浸透性を有しており、施工後短時間で交通開放が可能であるほか、ゴム成分を有しているため接着性に優れている。また、選定したウレタン系材料は、一液性のため計量や混合の手間が必要なく、作業性に富み、しかも接着性にも優れている。

(2) 室内試験

上記の市場・文献調査により選定した2種類の常温注入材料、すなわち、アスファルト系材料とウレタン系材料に対して、充填性試験と引張せん断試験を実施した。

a) 試験方法

充填性試験の方法は、図-11 a)に示すように、2個の亚克力製の箱を、両者の間に1, 3, 5mmの隙間ができるように並べ (ひび割れに相当)、そして、注入材料を、各材料ごとの指定の方法に従って、隙間上部から充填するというものである。試験結果は隙間が全部充填されるまでに必要となる時間として得られる。なお、試験時の温度は5, 20℃の2種類を用いた。

引張せん断試験は、2枚のスレート板の間に材料を充填し、十分に固化した後にスレート板を両方に引張るというものである (図-11 b))。この試験は、温度が5, 20℃、載荷速度が1mm/minの条件で実施した。

b) 試験結果

充填性試験の結果を図-12に示した。ウレタン系材料

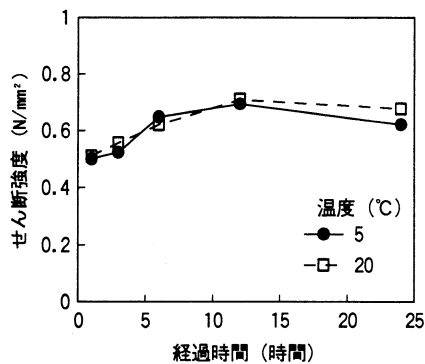


図-13 引張せん断強度

は流動性がほとんどなく、今回対象としたひび割れ補修用には不适当であったので、ここではアスファルト系材料のみを示してある。充填時間は、ひび割れ幅が小さいほど、温度が低いほど、長くなることがわかる。このことから、幅が小さいひび割れについては、冬季の場合、この方法では対応が難しいものと思われる。

引張せん断強度について図-13にまとめた。強度が、施工開始後、時間の経過とともに徐々に増加していく傾向がみられる。また、温度による強度の差はほとんどみられない。なお、ここで得られた強度の値は、タックコート用アスファルト乳剤と比較しても大幅に異なるものではないと推定される⁶⁾。

以上のことから、ひび割れ補修用材料としては、アスファルト系のものが適しているものとまとめられる。

5. 結論

地震により空港アスファルト舗装に生ずる恐れのある破損を補修する場合の材料に関して、以下に示す主要な結論が得られた。

(1) 段差・陥没補修用には、簡易機械施工による主要空港用ならびに人力施工による地方空港用のものの二種類

とするシステムを考えた。これに対して、ひび割れ補修用には、空港規模によらずに適用可能な常温材料によるシステムを考えた。

(2) 主要空港、地方空港における段差・陥没補修用材料については、それぞれ、粉末アスファルト加熱混合物、樹脂系常温混合物の適用性が高い。これらは、特に、強度発現の点で優れている。

(3) ひび割れ補修用材料としては、特に充填性の点で優れているアスファルト系常温注入材料が適している。

6. おわりに

以上で述べた室内試験結果に基づいて、地震により空港アスファルト舗装に生ずる恐れのある破損に対する応急復旧用材料を選定した。しかし、これらはここで考えている被災時応急復旧システム用材料としての要求性能を完全に満たすものではなく、補修不可能な破損が残ってしまうおそれもある。今後は、この点をさらに検討するとともに、試験施工も実施して、所期の目的を達成する所存である。

参考文献

- 1) 大野修由, 八谷好高: FWDによる空港アスファルト舗装の補修方法の評価, 土木学会第51回年次学術講演会講演集第V部, pp.38-39, 1996.
- 2) 運輸省航空局: 空港アスファルト舗装構造設計要領, (財)航空振興財団, 78p., 1990.
- 3) (社)日本道路協会: 舗装試験法便覧, 1069p., 1989.
- 4) Sato, K., Hachiya, Y. and Abe, Y.: Changes in Properties of Asphalt Concretes due to Aging, Mini-Workshop on Paving in Cold Areas, Canada/Japan Science and Technology Consultations, pp.85-116, 1987.
- 5) (社)日本道路協会: アスファルト舗装要綱, 324p., 1993.
- 6) Hachiya, Y., Sato, K.: Effect of Tack Coat on Bonding Characteristics at Interface between Asphalt Concrete Layers, 8th International Conference on Asphalt Pavements, Vol.1, pp.349-362, 1997.

MATERIALS FOR URGENT REPAIR OF EARTHQUAKE INDUCED DAMAGES IN AIRPORT ASPHALT PAVEMENTS

Yoshitaka HACHIYA, Jianjun YIN and Masanori MUROZONO

It is strongly required to establish an urgent repair system for earthquake induced damages such as cracks, faults and potholes in airport asphalt pavements. This paper discusses both the buildup of the system framework and the selection of materials as its first part. First, the framework was developed. Then, based on this, the possible materials were preliminary selected, and finally the materials suitable for the system were decided. As a result, the following conclusions were obtained: (1) As a material for repairing faults and potholes, hot mixed asphalt material with pulverized asphalt, cold mixed polymer material is applicable to major airports, local airports, respectively. (2) Cold asphalt material is appropriate for sealing cracks.