

最近の空港アスファルト舗装の 損傷と改良工法について

久保 宏¹・八谷好高²・長田雅人³・平尾利文⁴・浜 昌志⁵

¹フェロー会員 工博 北海学園大学工学部土木工学科教授（〒064-0926 札幌市中央区南26条西11-1-1）

²正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 空港施設研究室長（〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1）

³国土交通省中部地方整備局名古屋港湾・空港整備事務所（〒455-0847 名古屋市港区空見町38）

⁴北海道開発局港湾空港部空港課（〒060-8511 札幌市北区北8条西2丁目）

⁵正会員 日本工営（株）名古屋支店（〒460-0008 名古屋市中区栄2-6-1）

空港アスファルト舗装では近年、従来の主たる損傷項目であったひび割れや流動わだち掘れ以外の損傷が認められ、2000年7月には名古屋空港滑走路端部の一部において運航に支障が生じるような損傷が発生した。各地域の拠点となる滑走路では、運用条件が厳しく、対策工を施す上での制約も厳しい。本報文は名古屋空港、新千歳空港を例にとり、最近の空港アスファルト舗装の損傷例、対策工の考え方について紹介するものである。損傷としては、ブリストリング現象や、混合物剥離などが認められ、これらの損傷は供用してから数年経過した後のオーバーレイ工事後に確認できた。改良工法では、1層施工厚の厚層化、耐久性向上、施工性改善の3点が最近の対策傾向であり、採用した対策工の考え方を報告する。

Key Word : airport, asphalt pavement, distress, blistering, repair

1. はじめに

我が国の空港舗装は新規建設から維持・更新の時代へ転換しており、今後は滑走路やエプロンの補修や改良工事の割合が高まるものと推察される。大半の我が国の滑走路は1本で供用しているため代替性がなく、各地域の拠点となる空港は過酷な利用条件で運用されている。著者らは名古屋空港、新千歳空港の舗装損傷に対する対策工検討を近年実施しており、損傷事例を紹介するとともに、その検討を通じて得た対策工の考え方について報告する。

今回取り上げた名古屋空港、新千歳空港の舗装損傷では、舗装内水分などが原因となり、夏季に滑走路でブリストリング現象が発生したという共通点がある。前者の空港では2000年7月に滑走路南端で表層材が部分的に剥れるといった事象¹⁾、後者においてはブリストリング現象以外にもアスファルト混合物の剥離現象が生じており、いずれも大規模な改良工事が近年実施された^{2),3),4)}。名古屋空港の損傷例のように、直接運航を妨げる可能性のある損傷は、対策工を行う上で優先度が高いと考えられ、今後の予防保全を踏まえた維持管理を行う上でも、これらの損傷に対する現時点での評価や対策工の考え方を取りま

とめておく必要がある。

2. 名古屋空港の舗装損傷

名古屋空港の航空運航上問題となった損傷状況は写真-1に示すように、表層5cmが離陸時の航空機水平荷重などによってめくり上げられた結果であり、航空関係者にとって衝撃的な事象であった。



写真-1 名古屋空港滑走路の損傷

剥れが生じた場所は2年前に補修した箇所であり、離陸に向けて航空機が滑走路に進入する位置、離陸に向けて加速を始める位置である。本事象後の調査の結果、当位置周辺では表層部の空隙率が2%程度に低下しており、舗装内には水分が含まれていた。また、

剥れた位置周辺には直径 30 cm 程度以下の膨らみが目視で数箇所確認でき、**図-1** に示すようなグルーピングの変形も部分的に確認できた。



図-1 グルーピングの変形例

本事象の発生メカニズムは、航空機の繰返し载荷に伴い表層アスファルト混合物の空隙率が低下し、補修以前に舗装面として供用していた箇所のひび割れなどに残留した舗装内水分が積み重ねられた補修履歴により蓄積し、その含有水分が夏季の温度変化で蒸気化して、不透気化した表層を押し上げたと推定した。剥れた位置は誘導路との交差部付近、離陸に向けて加速を開始する付近であることを鑑みると、ブリスタリング現象で表層と基層の接着が弱くなっていた箇所に、水平荷重が作用することで表層材が飛ばされたと推定した。

表層材料はストレートアスファルト 60/80 の密粒度アスファルト混合物であった。事後調査による舗装内温度の測定結果からは、**図-2** のように舗装表面から 2cm 下で 60℃ といった舗装内温度を観測し、夏季においてアスファルトが流動しやすい環境であったといえる。一方、舗装表面から 8cm 下では 2cm 下と比較して、気温に対する舗装内温度勾配が緩くなっていること、最大舗装内発生温度が低いことが確認できる。

空港舗装は面的に広大で日射を遮るものがないため、舗装内温度も高くなりやすく、かつ当空港のように市街地内の内陸地に位置している場合、温度上昇も大きいものと思われる。結果として打換え後、早期に表層混合物の空隙率が低下し、表層部の不透気化につながったと考える。

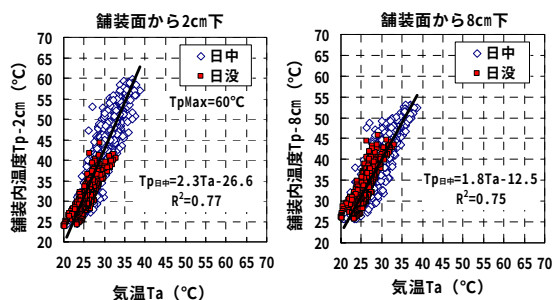


図-2 夏季の舗装内温度と気温の関係例

3. 新千歳空港の舗装損傷

新千歳空港 A 滑走路の損傷で特徴的であった事象は、**図-3** に示すように、アスファルト混合物の剥離や層間剥離が多く見られた点であった。特に施工目地位置の混合物の剥離が顕著であり、供用中の施工目地の開きなどから雨水浸入・蓄積したものと推定した。また、名古屋空港同様に夏季に舗装面にブリスタリング現象である膨らみが認められた。当滑走路は 1999 年にオーバーレイ工事を行い、2000-2001 年の夏季にブリスタリング現象が起きたことを鑑みると、舗装内部に残留した水分があり、航空機繰返し荷重により表層空隙率が低下したことで、夏季にブリスタリング現象が生じやすくなっていたのではないかと考える。1999 年のオーバーレイ工事では表層にストレートアスファルト 80/100 の密粒度アスファルト混合物を用いている。

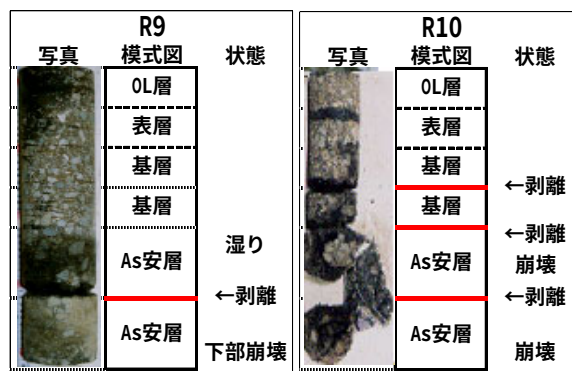


図-3 混合物の剥離状況例

当空港のような寒冷地に区分される空港でもブリスタリング現象が生じるということは、条件がそろえば我が国のいずれの空港でも同現象が発生してもおかしくないといえる。また、寒冷地空港においては、冬季の凍結融解、気温の低下に伴いアスファルト混合物の応力緩和性能が低下し、施工目地が開きやすくなるといった特徴もあるといえる。

4. 最近の空港アスファルト舗装損傷の特徴

名古屋空港、新千歳空港の調査結果から最近の空港アスファルト舗装の損傷特徴を整理した。従来から認められた劣化・老化に伴うひび割れや、わだち掘れ以外の損傷が、運用の多様化や、舗装面付近に残留した水分がこれまでの補修履歴によって舗装内に蓄積したことから発生したと考えられる。両空港の調査で得られた、空港アスファルト舗装損傷の特徴をまとめると次のようになる。

- ① 名古屋空港,新千歳空港とも打換え工事やオーバーレイ工事が行われてから,比較的早期にブリスタリング現象が生じた。
- ② ブリスタリング現象が生じた条件を整理すると,表層空隙率の低下,舗装内含有水分の存在,夏季による舗装内温度の上昇といった組み合わせが挙げられる。
- ③ 舗装内含有水分は過去に供用していたときの施工目地の開口部や,ひび割れから浸透した雨水が残留していたものと考え。
- ④ 舗装内に水分が残留している場合,アスファルト混合物は剥離しやすい環境下にあるといえる。既存文献⁵⁾に示されるように,混合物剥離が生じる要因である水分,大きな交通荷重,舗装温度上昇が確認できた。
- ⑤ 混合物剥離や水平荷重作用,ブリスタリング現象の影響で,層間剥離が認められ,特にオーバーレイ層と既存層の境界はタックコート養生時間が十分確保できないことなどから,弱点になりやすい。

ブリスタリング現象に着目すれば,米国ではサウスカロライナ州やフロリダ州,バージニア州南部の空港,オーストラリア西部の空港で確認されている⁶⁾。これらの事例ではブリスタリング現象と混合物剥離現象が併発しているものもある。我が国で供用中大規模に同現象が確認されたのは名古屋空港が初めてであったが,これを契機に新千歳空港をはじめ類似した損傷もいくつか報告されてきている。

このような海外空港報告や,これまでの名古屋空港における調査結果^{1),7)}を踏まえると,以下の評価値がブリスタリング現象が生じやすい状態であるかの目安に利用できると考える。

- 表層空隙率 2.5~3.0%以下
- 表層透水係数 10^{-7} cm/sec 以下
- 舗装内含有水分(炉乾燥含水比) 1.0%以上
- 表・基層間の層間接着強度 1.0N/mm^2 以下

なお,名古屋空港舗装で行った層間接着強度は,採取コアの層間を挟んだ引張強度試験(試験速度 100mm/min ,試験温度 20°C)から求めたものである。ここでいう層間接着強度 1.0N/mm^2 以下の評価値は,改良後の供試体から得られた試験値及び航空機荷重が載荷された場合の 5cm 下のせん断強度等から目安としたものである。

図-4 は名古屋空港において,後記する対策工を行った後の 2001 年夏季にコア採取により混合物性状変化を調査した結果である。改良位置と未改良位置

では空隙率や透水係数の低下傾向が異なっていることが確認できる。

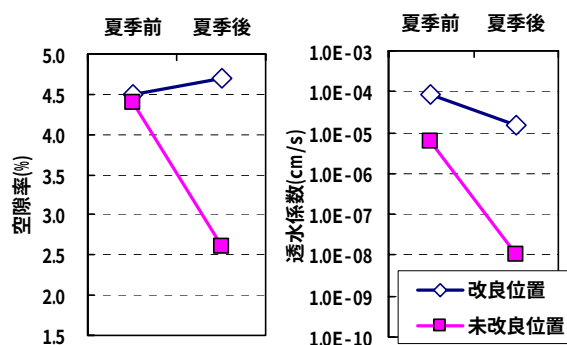


図-4 表層混合物性状の変化例

この場合,改良位置とは 2001 年 2,3 月に改良工事を実施した箇所であり,未改良位置とは,2000 年夏季段階では比較的健全であったため 2001 年 2,3 月には改良工事を実施していない箇所である。しかしながら,未改良位置は 2001 年夏季にブリスタリング現象に伴う路面膨れが多数みられたため,夏季の応急処置や同年度冬季に追加の改良工事を行った。以上の経緯を踏まえれば,今回提示している評価値の目安は比較的現地状況を踏まえたものではないかと考える。なお,未改良位置のブリスタリング現象発生箇所の含有水分量は 1.3%程度,層間接着強度は 0.2N/mm^2 程度であった。

次に打換え後やオーバーレイ後の舗装に損傷が生じたことに着目してみる。空港舗装の特徴としては,通常,代替の滑走路等がないため,損傷が生じて補修を行う上で制約が多いといったことが挙げられる。例えば,名古屋空港では改良工事の施工可能時間が $22:00 \sim 6:00$,新千歳空港では $22:30 \sim 6:00$ であるといった制限に加え,7:00 頃の始発便までには交通解放温度にまでアスファルト混合物の温度を低下させなければならない。

このような損傷や制限事項を踏まえて,名古屋空港,新千歳空港でとった対策工法の考え方を次章で紹介する。

5. 供用中の空港アスファルト舗装補修例

これまでの空港アスファルト舗装の補修工法は,機材の大型化や交通量の増大に対応するために,オーバーレイ工事が主として行われてきている。これらは構造的な損傷や設計条件の増大に対応したものであり,非破壊試験を基本としたオーバーレイ厚設計法が定められている⁸⁾。機能的損傷に対しては,路

面性状調査として PRI (Pavement Rehabilitation Index, 舗装補修指数) を定めているが, 評価項目がひび割れ率, わだち掘れ, 平坦性といった項目であり, ブリスタリング現象のような損傷は巡回点検で確認せざるを得ないものとなっており, 空港管理者の負担が大きくなっている. 参考ではあるが, 米国の空港舗装の路面調査は PCI (Pavement Condition Index, 舗装状態指数)⁹⁾で, アスファルト舗装では 16 項目の破損項目に分けて路面評価を行うものとなっている. PCI にはブリスタリング現象を直接示してはいないが, Swell といった名称で凍結融解による路面膨れを損傷項目として定義している. 名古屋空港ではブリスタリング現象の発生を確認するために, 人海戦術による打音調査を実施しており, その調査の妥当性検証や今後の調査手法設定を目的に赤外線調査を試験的に試みている¹⁰⁾. 調査手法が異なるため定量的な評価は十分ではないが, 図-5 に示すように定性的には両手法によるブリスタリング検出結果は良好な相関を示している. また, 損傷が進行過程である層間剥離や混合物剥離を FWD などの非破壊調査で見極めるのは困難であり, コア採取を併用した調査が必要と考える. このように, 今回のような損傷に対する対策工を検討するには, 従来の PRI 調査項目以外についても種々の調査が必要といえる.

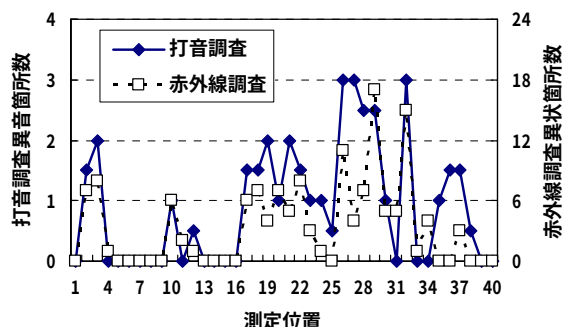


図-5 打音調査と赤外線調査の異状箇所数検出例

本題の補修対策工のキーワードとしては, 1 層施工厚の厚層化, 混合物の耐久性向上, 施工性の改善が挙げられ, この 3 項目について名古屋空港, 新千歳空港で検討した結果概要を報告する. なお, 対策工概念の模式図として図-6 に名古屋空港の例を示す.

(1) 1 層施工厚の厚層化

現在の空港アスファルト舗装の表層は最大粒径 20 mm もしくは 13 mm の密粒度アスファルト混合物であり, 1 層施工厚は 4~7 cm と定義されている. 一方, 国土技術政策総合研究所の研究¹¹⁾や QRP 工法(急速舗装修繕工法)¹²⁾では 1 層施工厚の増大や, 施工厚を

増大させた大粒径アスファルト混合物の耐久性向上の有効性を示している.

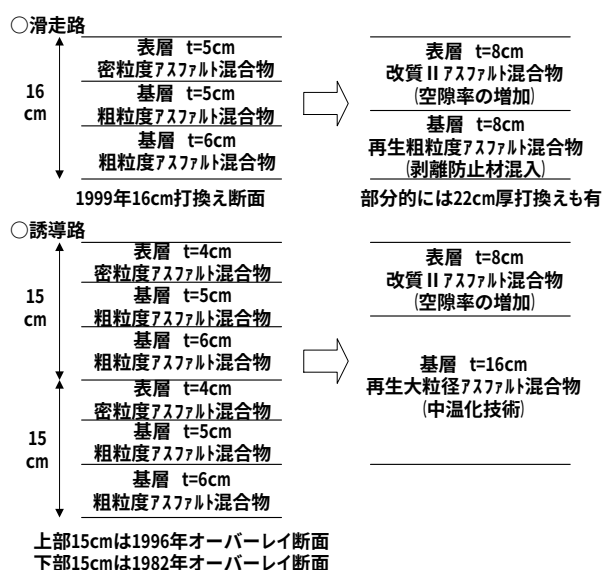


図-6 対策工概念図

名古屋空港では 16 cm の切削・打換えを行ったが, 基準どおりに行う場合, 3 層施工となり施工上の弱点となる深度方向の施工界面を多く作ることになる. そのため, 当空港では 16 cm の改良厚に対し, 8 cm の 2 層施工を行っている. その際には後記するが, アスファルト混合物の合成粒度の改善などを図り配合仕様を設定している. なお, 供用中の空港では日施工量が限定されることから, 8 cm 厚となっても市中アスファルトプラントの能力内での施工が可能となる.

ブリスタリング現象に視点を移すと, 従来の表層厚を 5 cm から 8 cm 厚とすることで, 図-2 から判るように, 最上に位置する界面近傍の温度が低下することになり, ボイル・シャルルの方式に当てはめるとブリスタリング発生確率を減らす結果が得られる.

施工界面の付着にはゴム入りアスファルト乳剤を適用したり, 散布前にできるだけ水分揮発するような加温, 散布前に切削路面をヒーターで加熱する, 指触判定で水分蒸発を確認するなどの施工上の細やかな対策も付加している.

(2) 混合物の耐久性向上

アスファルト混合物の骨材合成粒度については, SHRP や QRP 工法などの粒度範囲を参考に耐久性向上を図っている. 表層部は骨材飛散やグルーピング設置などの観点から未だ最大粒径 20 mm としているが, 基層部以下には大粒径アスファルト混合物を適用している. 大粒径アスファルト混合物は流動わだち掘れが問題となる誘導路においての適用が最も適していると考えられ¹¹⁾, 最大粒径 30 mm として適用している. 名古屋空港, 新千歳空港で採用した大粒

径アスファルト混合物の合成粒度は、従来の基層粒度範囲に比べて粗粒側で設定している。

なお、名古屋空港では誘導路に大粒径アスファルト混合物を基層として 16cm 厚で適用し、新千歳空港では施工目地部を帯状に 16+26cm 厚で適用するといったシックリフト工法を採用している³⁾。

耐久性の向上を図るためにバインダーの選定も行っている。名古屋空港、新千歳空港では、極力空隙率の保持、塑性流動に伴う変形に対抗するために、改質アスファルトⅡ型を採用している。また、名古屋空港では従来の表層空隙率より約 1%空隙率を増加させた 4.5%の空隙率を通気性向上のために設定した。

舗装内に水分が残留している場合、その層を撤去することが前提となるが、空港制限事項により全ての水分を含んだ層を撤去しきれない場合もある。名古屋空港では混合物剥離が認められたこと、改良していない深部には未だ水分が残留している層があることを踏まえ、基層部には剥離防止材を混入するといった対策もとっている。

(3) 施工性の改善

供用中の空港では、最終便の滑走路利用が終了した段階から、対策位置への入場、施工着手を行い、早朝のランウェイチェック前に施工位置を清掃し、退場する必要がある。供用中の空港であるため、日中の運航に支障がでないように、現状復旧するか、すりつけ工事を行った上で暫定解放するといった手法がとられる。

水分を含んだ層を撤去するためには工種に切削工が加わり、同一日に切削工、敷均し、転圧工を行う必要があり、最も大きな問題として、始発便までに交通解放しなければならないということが挙げられる。特に厚層化処理を行ったり、改質アスファルトを用いると、温度低下時間が長くなる傾向が出てくる。その反面、温度低下の時間確保するために日施工量を極端に減少させ、平坦性を低下させることも望ましくない。

そのため、名古屋空港では一部の施設、新千歳空港では改良した施設全域に対して、中温化技術³⁾を用いた施工を採用している。中温化技術の採用に当たっては、同工法を採用することで材料費が増加することから、施工制限事項、施工時期などを踏まえた日施工延長などを精査した上で適用可否を判断する必要がある。

また、施工目地からの雨水浸入が問題となったことから、新千歳空港では図-7 のように、アスファルトフィニッシャー(W=7.5m)を4台並べてホットジョイント施工を行うといった施工上の細目を付加している²⁾。



図-7 新千歳空港ホットジョイント施工状況例

6. まとめ

名古屋空港、新千歳空港を例にとり、最近の空港アスファルト舗装の損傷事例、対策工についての調査・検討から得られた一考察を以下に示す。

- ① オーバーレイ工事、打換え工事を行う際には、既設舗装の舗装内含有水分について確認することが望ましい。
- ② ブリスタリング現象といった路面性状調査項目以外の損傷も生じており、巡回点検時には航空機走行位置周辺を中心に、路面性状の変化（路面膨らみ）を調査する視点も必要である。
- ③ ブリスタリング現象が発生した場合、直径 30cm 程度以下の膨らみが路面で確認できるが、その箇所をハンマーでたたくことでその存在が確認できる。
- ④ ブリスタリング現象の予防保全としては、表層空隙率、舗装内含有水分を調査する手法が挙げられる。
- ⑤ 今回の改良工事における対策工のキーワードは 1 層施工厚の厚層化、混合物の耐久性向上、施工性の改善であり、大粒径アスファルト混合物や改質アスファルト、中温化技術などが具体的なものである。
- ⑥ 施工上の細目として、タックコートの材料選定・養生、ホットジョイント施工など、舗装の弱点となる箇所の対処を極力付加する必要がある。

7. おわりに

名古屋空港は 2004 年 1 月（第 1 段階は 2001 年 2、3 月施工）、新千歳空港は 2002 年 6-8 月（2003、2004 年も実施）施工で切削・打換え工事の対策工を行い、現状に至っている。両空港とも対策後においてもブリスタリング現象に着目した維持管理、追跡調査を行っており、再発防止に向けて監視・管理をしている。維持・補修工事頻度が増加していく中で、補修サイク

ルが短くなってきている傾向もあり,適切な補修対策工の選定が必要である.今回,報告した一連の検討結果に基づく対策工は,現状にて比較的良好な路面性状を維持している.そのため,同様の損傷が生じた場合,今後の空港アスファルト舗装の補修対策工選定においては有効な対策案になりえるものではないかと考える.

しかしながら,ブリストリング現象のような新たな損傷項目や,補修履歴が蓄積した舗装に対する点検方法や対処方法については,今回報告した内容の有効性を十分確認していく必要があり,不確実な事項に対してはモニタリングを通じて効果を検証していく必要がある.

謝辞:本報文は名古屋空港,新千歳空港で行われた委員会,検討会での検討結果を中心に取りまとめた.ご尽力頂いた大阪航空局,東京航空局,北海道開発局を始めとする各委員,関係者に対して,ここに記して謝意を表します.

参考文献

- 1) 長田雅人,佐野一三,浜 昌志:空港舗装のブリストリング現象,舗装,Vol.38,No.3,pp.3-7,2003
- 2) 大田 勲:名古屋空港ブリストリング対策について,航空局,第2回空港技術報告会資料, pp.212-222,平成13年11月
- 3) 松本浩史:新千歳空港滑走路改良工事における大粒径中温化アスコンの適用について, 航空局,第3回空港技術報告会資料, pp.270-289,平成14年11月
- 4) 安部隆二,岳本秀人,衛藤謙介:新千歳空港舗装体の劣化原因調査および対策工法の検討,第8回舗装工学論文集,2003.12
- 5) 谷本誠一:アスファルト混合物のはく離に関する試験舗装とその観測結果,舗装, Vol.6,No.5,pp.13-19, 1971
- 6) (社)日本道路建設業協会:アスファルト舗装のブリストリング,道路建設,1988.3
- 7) 大田 勲ほか:空港舗装のブリストリング現象の一考察,土木学会第57回年次学術講演会V-009,pp.17-18,平成14年9月
- 8) 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,pp.169-183,2000.11
- 9) ASTM D 5340-03:Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys
- 10) 本多宗隆:名古屋空港赤外線カメラによるブリストリング調査について, 航空局,第3回空港技術報告会資料,pp.86-96,平成14年11月
- 11) 高橋 修,八谷好高,阿部 寛:空港舗装における大粒径アスファルト混合物の表・基層への適用性,第4回舗装工学論文集,pp.187-197,1999.12
- 12) 建設省中国地方建設局中国技術事務所:QRP 工法設計・施工技術指針(案),平成6年2月

DISTRESS AND REPAIR METHOD OF AIRPORT ASPHALT PAVEMENT IN RECENT YEARS

Hiroshi KUBO, Yoshitaka HACHIYA, Masahito NAGATA,
Toshifumi HIRAO and Masashi HAMA

Distress other than cracking or rutting has been often seen recently at airport asphalt pavement such as Nagoya Airport. In such major local airports, both operating condition and working hours are severely restricted. This report introduces the distress and repair method of airport asphalt pavement, by taking Nagoya Airport and New Chitose Airport for example. At both airports, blistering, segregation etc. were found a few years after the overlay construction, and thick lift construction, increase of durability and improvement of workability have been adopted as the countermeasures.