

# 非破壊試験による空港舗装体の劣化診断技術に関する一検討

Examination concerning deterioration diagnosis technology of airport pavement by nondestructive test

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○正員 安倍 隆二(Ryuji Abe)  
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 正員 上野 千草(Tigusa Ueno)  
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 木村 孝司(Takashi Kimura)

## 1. はじめに

北海道内の空港においては、舗装体に含まれている水分、層間剥離、外気温、およびアスファルト混合物の空隙等の影響によるブリストリング現象が複数の空港で確認されている(写真-1)。ブリストリング対策工法の検討を行う際には、ブリストリング発生箇所の範囲や個数の把握、採取コアを用いた舗装体のマーシャル安定度試験による強度評価、舗装体に含まれる水分量、層間剥離の有無等を調査し、舗装体の健全度の調査を行うのが、一般的である。

このため、ブリストリング発生箇所の範囲や個数の把握を行う方法として打音検査、赤外線サーモグラフィ、目視による調査方法が用いられている。ただし、現在利用されている調査方法は、舗装体内部の状況までは把握できる調査方法とはなっていない。本報告では電磁波レーダによる探査技術を用い、空港舗装体内部の劣化診断技術の一手法としての適用可能性を検討した。

## 2. ブリストリング現象

ブリストリング現象とは、表層と基層が層間剥離し、舗装体内部の水分による飽和水蒸気圧の力により舗装が持ち上がる現象である。写真-2 に道内の空港においてブリストリング現象が発生した箇所から採取した無水コアの写真を示す。層間に水分が残留していることや層間剥離が発生していることが確認できる。

過去の事例では、名古屋空港の表層がブリストリング現象により層間剥離が発生し、航空機のジェットエンジンの風圧により表層が大規模な範囲で剥がれ、空港閉鎖になった事例がある。そのため、空港基本施設を管理する中で、ブリストリング対策は重要な項目である。

## 3. 電磁波レーダによる試験方法および試験条件

電磁波レーダによる空港舗装体内部の劣化診断技術の適用可能性を検討するために、室内試験を実施した。室内試験で使用した電磁波レーダの仕様は、ハンディタイプの測定機器であり、アンテナ周波数 2,600MHz、測定深度は 400mm まで可能な機種を使用した。

電磁波レーダによる探査の測定原理の概略図を図-1 に示す。電磁波レーダは、電磁波を送信器から地中に向けて放射(以下、送信波)し、反射した電磁波(以下、反射波)を受信アンテナで受信する測定原理を利用している。図-2 に示すように送信波の一部は地表面で反射されるが、残りは地中に入り、周囲と比誘電率が異なる反射物質の境界面で反射され、再び地表に戻り、受信器に到達する。反射波の波形についても比誘電率の異なる材料の組み合わせにより異なる波形を示す特徴がある。



写真-1 道内空港で発生したブリストリング現象



写真-2 ブリストリングが発生した採取した無水コア

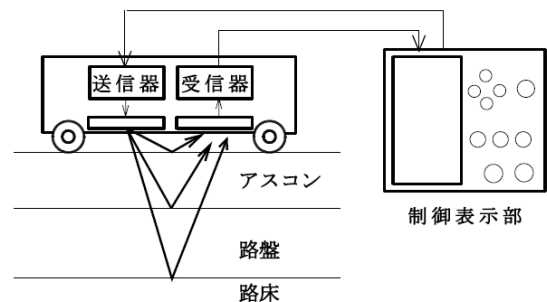


図-1 測定原理の概略図

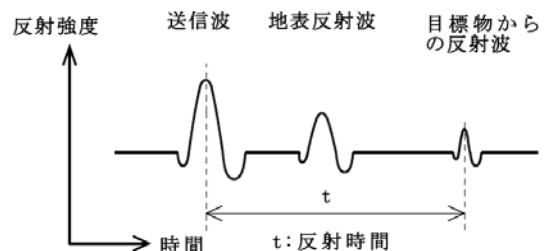


図-2 送信波と反射波

なお、今回使用した電磁波レーダは、パルス幅が 1 ナノ秒 (nsec、 $1 \times 10^{-9}$  秒) 前後のパルス状の電磁波を用いた。

表-1 に比誘電率の概略値を示す。空気の比誘電率は 1、水は 81、アスファルト混合物は 5 程度、金属は $\infty$ である。表に示す材料の反射波の電波速度は金属が一番早く、水、アスファルト混合物、空気の順になる。

図-3 に室内試験の試験方法を示す。プリスタリング現象による剥離や水分に着目した室内試験を実施した。室内試験では、最下面に比誘電率が $\infty$ である鉄製のプレートを敷き、下面の境界面が分かりやすいような構造とした。表層は空港舗装で一般的に使用される密粒度アスコン 20F を用い、供試体番号①～③の表層と基層は、供試体を交換できるように層間が接着していない状態で試験を実施した。④～⑤の供試体は①～③と比較するために表層と基層が接着した供試体を用い試験を実施した。

室内試験の試験条件を表-2 に示す。試験番号 1-1～3-5 までは、舗装体に含まれる水分の影響を把握する目的で実施し、試験番号 4-1～4-3 は層間剥離の影響把握、試験番号 5-1～6-2 はクラックや空洞の影響を把握するために実施した。

電磁波レーダから得られた測定波形の評価方法を図-4 に示す。測定波形は空気と表層の境界で反射された表面

波を 100%とし、層間剥離、空洞、および水分による反射波の波形のピーク値との比率を反射強度率とした。層間剥離や空洞による反射波の波形のピーク値はマイナス方向、水分によるピーク値はプラス方向を用いた。また、測定した反射波の測定画像についても併せて評価した。

#### 4. 室内試験の結果

室内試験から得られた反射波形や反射波の測定画像から層間剥離や水分の影響を把握した。

##### (1) 層間剥離の影響

室内試験における剥離厚さ  $t=1 \sim 3\text{mm}$  の層間の剥離厚さについては、プラスチックのプレートを層間に挟み層間厚さを調整した。

図-5 に反射波の測定画像を示す。赤色の破線で囲まれた範囲は、層間剥離が発生していない箇所を示し、黄

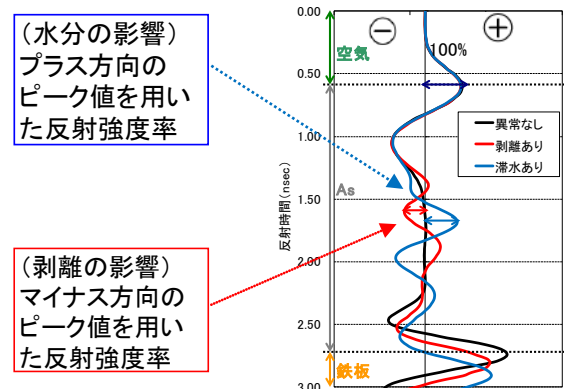


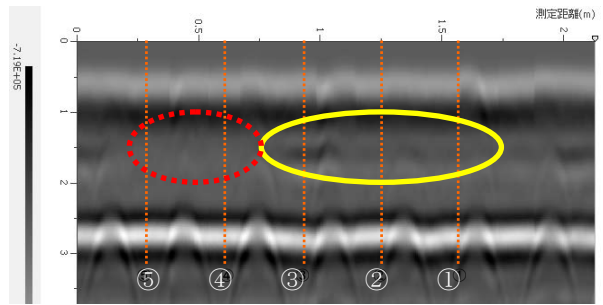
図-4 測定波形の評価方法

|             |       | L=30.0cm |    | L=30.0cm |    | L=30.0cm |    | L=30.0cm |    | L=30.0cm |    |
|-------------|-------|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|
|             |       | ①        | ②  | ③        | ④  | ⑤        | ⑥  | ⑦        | ⑧  | ⑨        | ⑩  |
| 密粒度アスコン20F  | t=5cm |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 基層          | t=5cm |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 鉄製のプレート     | t=2cm |          |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
| 表層と基層間の剥離状態 |       | 剥離       | 剥離 | 剥離       | 接着 | 接着       | 接着 | 接着       | 接着 | 接着       | 接着 |

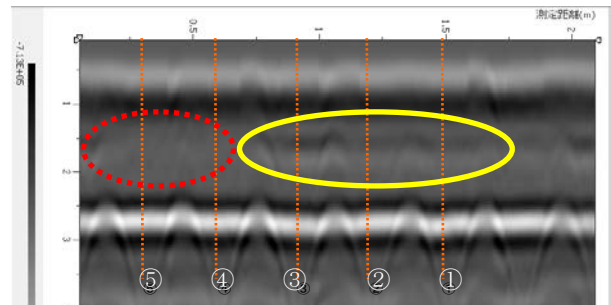
図-3 室内試験の試験方法

表-2 室内試験の試験条件

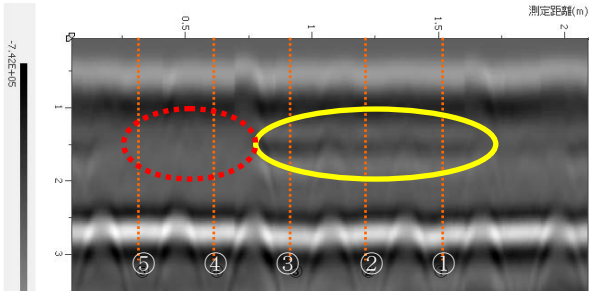
| 試験番号 | 試験条件      |                    | ①          | ②          | ③          | ④  | ⑤  | 水浸の条件                     |
|------|-----------|--------------------|------------|------------|------------|----|----|---------------------------|
|      | 層間の剥離状況   |                    | 剥離         | 剥離         | 剥離         | 接着 | 接着 |                           |
| 1-1  | 基層部の含水比   | 含水比(%)             | 0          | 0          | 0          | 0  | 0  | 粗粒：水浸0分                   |
| 1-2  |           |                    | 0.2        | 0.2        | 0.2        | 0  | 0  | 粗粒：水浸30分                  |
| 1-3  |           |                    | 0.3        | 0.3        | 0.3        | 0  | 0  | 粗粒：水浸2日間                  |
| 2-1  |           |                    | 0          | 0          | 0          | 0  | 0  | SMA：水浸0分                  |
| 2-2  |           |                    | 0.4        | 0.4        | 0.4        | 0  | 0  | SMA：水浸30分                 |
| 2-3  |           |                    | 1.0        | 1.0        | -          | 0  | 0  | SMA：水浸2日間                 |
| 3-1  | 基層部の含水比   | 含水比(%)             | 0          | 0          | 0          | 0  | 0  | 排水性：水浸0分、供試体①は排水性と密粒の2層構造 |
| 3-2  |           |                    | 0.8        | 2.0        | 1.6        | 0  | 0  | 排水性：水浸30分                 |
| 3-3  |           |                    | 0.8%+水50g  | 1.0%+水50g  | 1.0%+水50g  | 0  | 0  | 試験番号3-2に水50g注入            |
| 3-4  |           |                    | 0.8%+水100g | 1.0%+水100g | 1.0%+水100g | 0  | 0  | 試験番号3-2に水100g注入           |
| 3-5  |           |                    | 0.8%+水150g | 1.0%+水150g | 1.0%+水150g | 0  | 0  | 試験番号3-2に水150g注入           |
| 4-1  | 表層と基層間の剥離 | 厚さ(mm)             | 1          | 1          | 1          | 0  | 0  | 粗粒：水浸0分                   |
| 4-2  |           |                    | 2          | 2          | 2          | 0  | 0  | 粗粒：水浸0分                   |
| 4-3  |           |                    | 3          | 3          | 3          | 0  | 0  | 粗粒：水浸0分                   |
| 5-1  | 基層部のクラック  | クラック幅(mm)          | 1          | 2          | 3          | 無し | 無し |                           |
| 5-2  |           |                    | 1          | 2          | 3          | 無し | 無し | クラック箇所の注水                 |
| 6-1  | 基層部の空洞    | 縦(cm)×横(cm)×深さ(cm) | 2×2×3      | 3×3×3      | 無し         | 無し | 無し |                           |
| 6-2  | 基層部の空洞    | 縦(cm)×横(cm)×深さ(cm) | 2×2×3      | 3×3×3      | 無し         | 無し | 無し | 空洞箇所の注水                   |



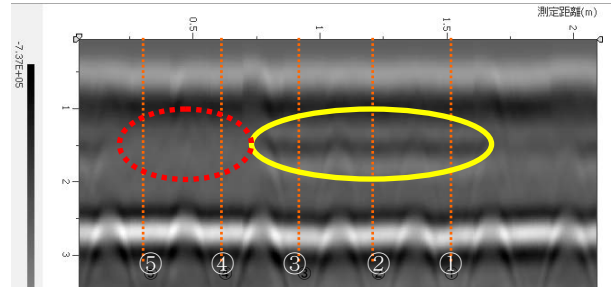
試験番号 1-1 : 層間剥離  $t=0\text{mm}$



試験番号 4-1 : 層間剥離  $t=1\text{mm}$



試験番号 4-2 : 層間剥離  $t=2\text{mm}$



試験番号 4-3 : 層間剥離  $t=3\text{mm}$

図-5 反射波の測定画像（層間剥離の影響）

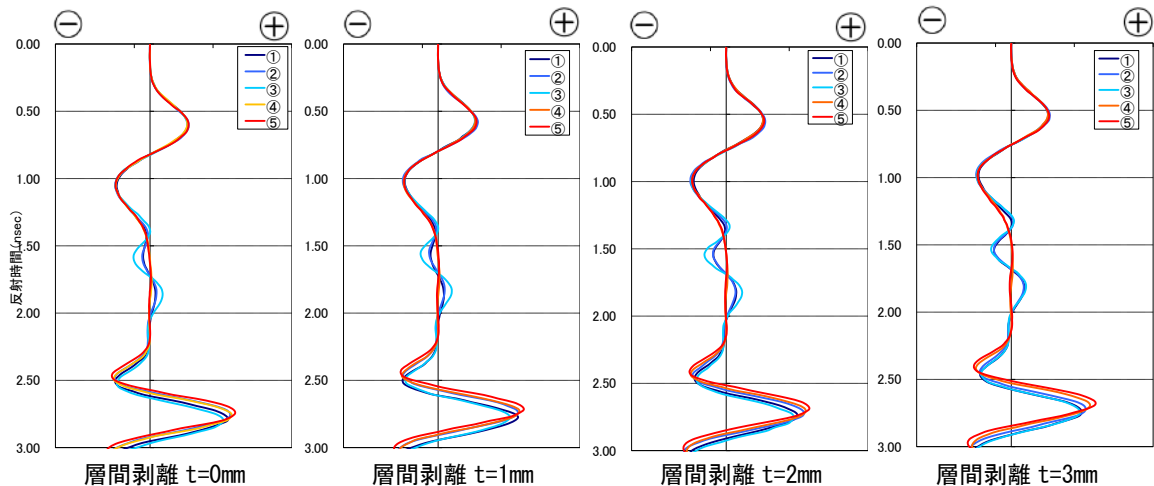


図-6 反射波の波形（層間剥離の影響）

色の実線で囲まれている範囲は、層間剥離している箇所を示している。制御表示部の測定画像の表示は波形のプラス側が白色、波形のマイナス側は黒色で表示される。黄色で囲まれている 1.50 nsec 付近の層間剥離が発生していない範囲は、黒色や白色の層は確認されず、均一な灰色の層となつて表示された。なお、プラス側の波形である地表反射波や鉄製のプレートとの測定画像は白色に表示された。層間剥離が発生している箇所は、波形のマイナス側である黒色に表示され、層間剥離が厚くなるに伴い、より明確な黒色の層が表示された。

図-6 に反射波の波形を示す。層間剥離の影響を受けている 1.50 nsec 付近の位置に着目すると、層間剥離が厚くなるに伴い、マイナス側に波形の振幅が大きくなっていることが確認できた。これは層間剥離している空気層の厚さが電波速度に影響を与えているためと考えられる。また、層間剥離が発生していない供試体の波形は概ね直線となっていることが確認できた。

図-7 に層間剥離による反射強度率を示す。接着した

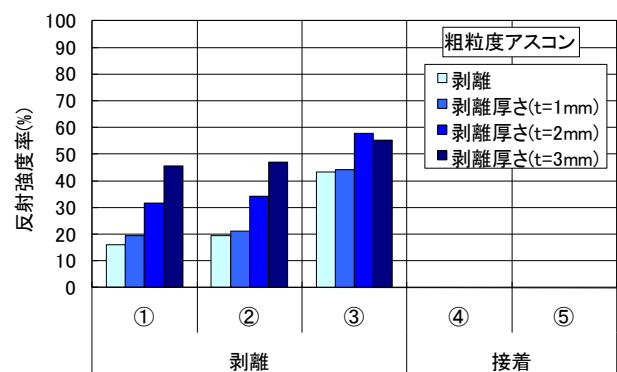


図-7 層間剥離による反射強度率

供試体番号④、⑤の反射強度率は0となり、層間剥離に影響する空気層の影響を受けていないことが分かる。層間剥離の生じている供試体番号①～③は剥離厚さが大きくなるに伴い、反射強度率が大きくなることを確認できた。

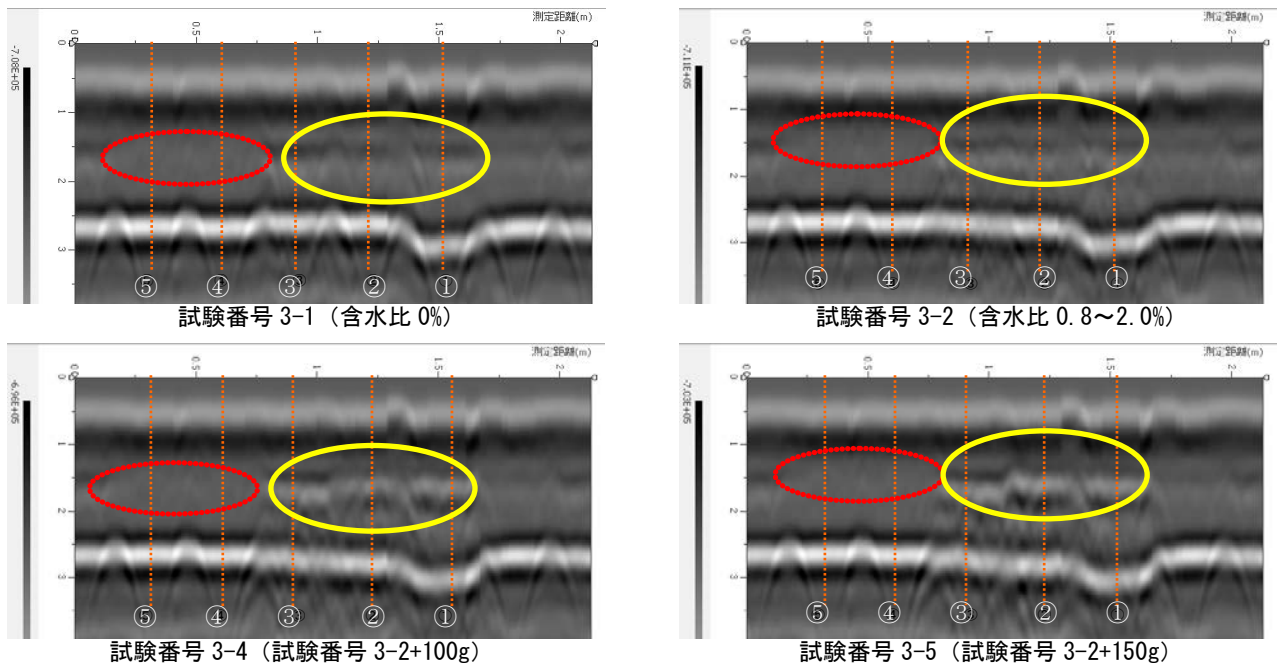


図-8 反射波の測定画像（水分の影響）

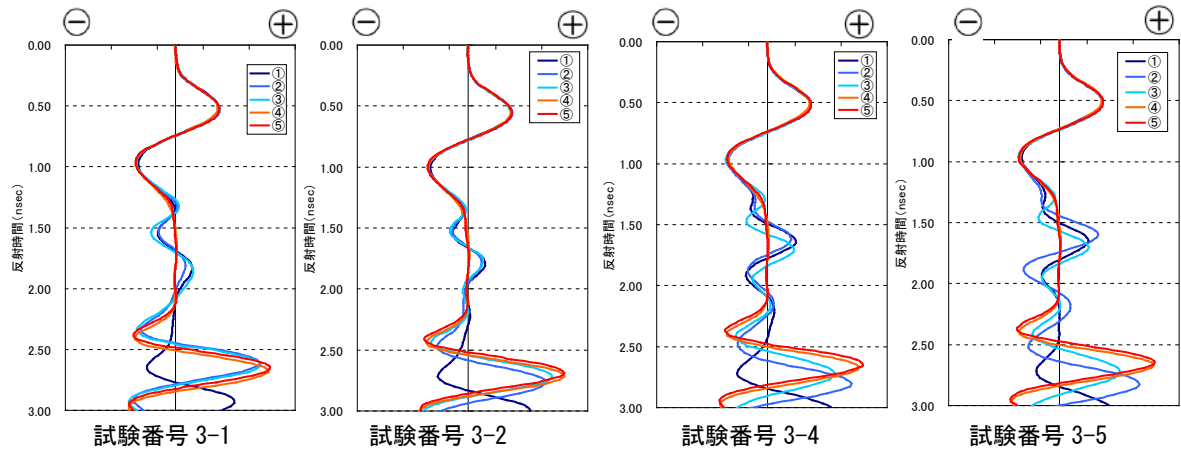


図-9 反射波の波形（水分の影響）

## (2) 水分の影響

図-8 に排水性舗装の供試体を用い、水分量を変動させた反射波の測定画像の試験結果を示す。試験では排水性舗装（供試体番号②、③）、排水性舗装と密粒度アスコン 13F が 2 層構造になった供試体（供試体番号①）を使用した。室内試験の結果、黄色の実線で囲まれた層間の測定画像が、含水比の増加に伴い、波形のマイナス側である黒色からプラス側の白色に変化していくことが確認できた。

図-9 に示す反射波のプラス側の波形に着目すると、含水比が大きくなるに伴い、1.50 nsec 付近のマイナス側の波形の振幅が小さくなり、プラス側の波形の振幅が大きくなっていることが確認できた。

図-10 に水分の増加に伴う反射強度率を示す。室内試験の結果、含水比が 0%から 0.8~2.0%に増加するに伴い反射強度率は低下した。更に水を注入すると反射強度率が増加する傾向を示した。以上の結果から、ある一定の含水比を境に、反射強度率は低下から増加の方向に変化することが確認された。

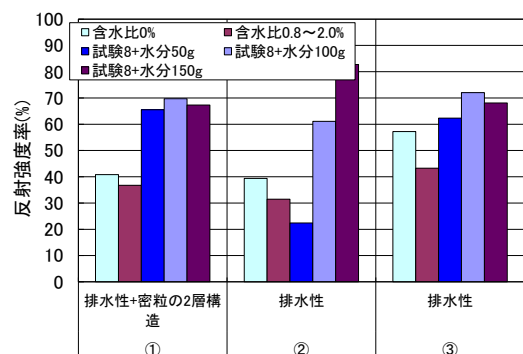


図-10 水分の増加に伴う反射強度率

## 5. まとめ

電磁波レーダを用いた室内試験の結果、測定画像を用いて、波形の振幅のプラス側に影響を与える水分量と波形の振幅にマイナス側の影響を与える空気層を測定画像や反射強度率から把握することができた。

今後は、現地調査を行う等のデータの蓄積を行い、適用の検討を行う予定である。