

電磁波レーダ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 with electromagnetic

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 ○正員 安倍 隆二(Ryuji Abe)
 (国研) 土木研究所 寒地土木研究所 正員 上野 千草(Tigusa Ueno)
 (国研) 土木研究所 寒地土木研究所 正員 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プリスタリング現象が複数の空港で確認されている。プリスタリング現象とは、表層と基層間が剥離し、舗装体内部の水分による飽和水蒸気圧の力、表層が盛り上がる現象である。この現象の影響により空港閉鎖になった事例がある。プリスタリング対策工法の検討を行う際には、プリスタ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、プリスタ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. 電磁波レーダによる測定方法

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、道内の空港において現地調査を実施した。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1,600MHz、測定深度は500mm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-1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。

電磁波レーダは、比誘電率の異なる境界面で電磁波が反射する原理を利用しており、境界面までの深さ d は、比誘電率 ϵ_r および反射時間 t を用いて式(1)から求めることができる。

$$d = \frac{V \times t}{2} = \frac{CO}{2 \times \sqrt{\epsilon_r}} \times t \quad (1)$$

ここで、

d : 境界面までの深さ (m)

V : 媒質中の電磁波の伝達速度 ($= CO / \sqrt{\epsilon_r}$ m/s)

CO : 真空中の電磁波の伝達速度 ($= 2.997 \times 10^8$ m/s)

t : 反射時間 (s)

ϵ_r : 比誘電率

式(1)を用いることにより、層間剥離や水分が残留している位置を推定することが可能となる。また、比誘電率の異なる2種類の物質の境界面からの反射強度 R は式(2)から求めることができる。

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (2)$$

ここで、

R : 反射強度

ϵ_{r1} : 上層の比誘電率

ϵ_{r2} : 下層の比誘電率

式(2)を用いることにより、上層の比誘電率が下層と比較し高い場合は、電磁波レーダの反射強度のピーク値がプラス方向になり、上層の比誘電率が下層と比較し低い場合は、反射強度のピーク値がマイナス方向になる。なお、今回使用した電磁波レーダは、パルス幅が1 (nsec、 1×10^{-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。空気は1、水は81、アスファルト混合物は5程度、金属は ∞ 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。

電磁波レーダから得られた測定波形の評価方法を図-3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、層間剥離および水分の影響による反射波の波形のピーク値との比により評価した。層間剥離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評価した。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。

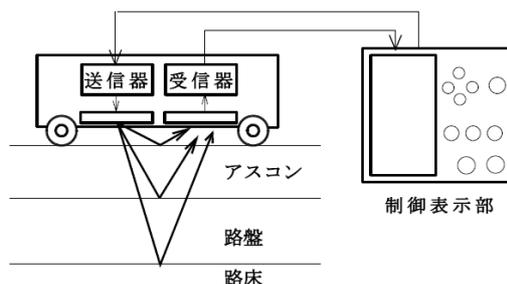


図-1 測定原理の概略図

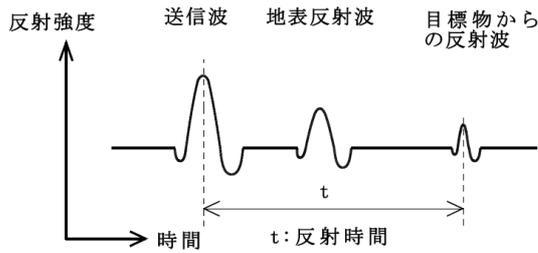


図-2 送信波と反射波

表-1 比誘電率の概略値

材料	比誘電率
アスファルト混合物	5程度
空気	1
水	81
金属	∞

表-2 調査項目

	試験項目	調査内容
①	電磁波レーダによる非破壊試験	コア採取箇所の電磁波レーダによる、剥離箇所や水分の把握
②	打音検査	舗装体内の層間剥離を把握
③	水分量試験	無水のコアカッタによりコア採取後、室内試験で水分量を測定
④	無水コアの状況撮影	無水コアの写真撮影

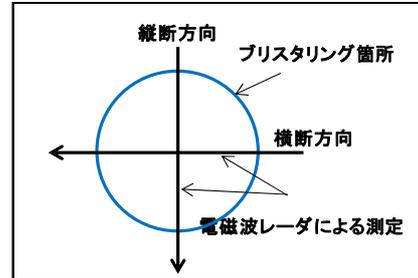


図-4 電磁波レーダの測定方法

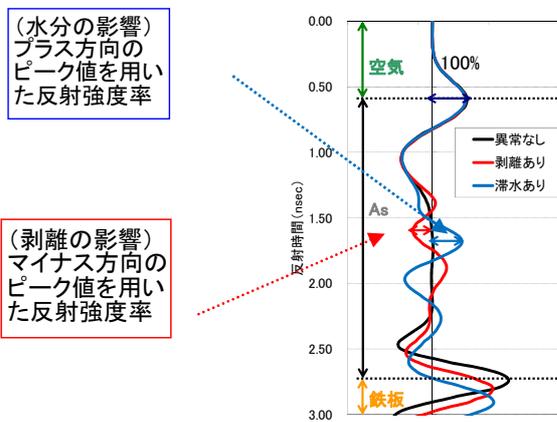


図-3 測定波形の評価方法

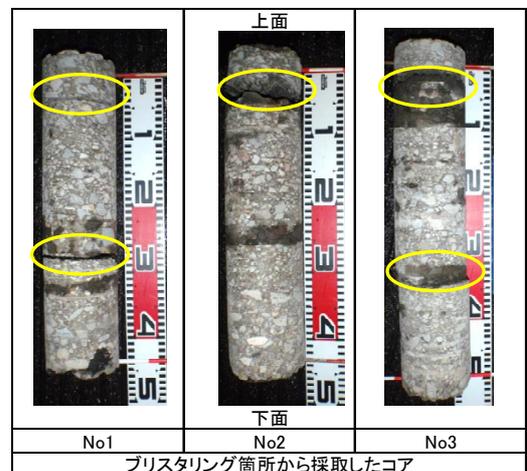


写真-1 無水コアの状況 (No1~No3)

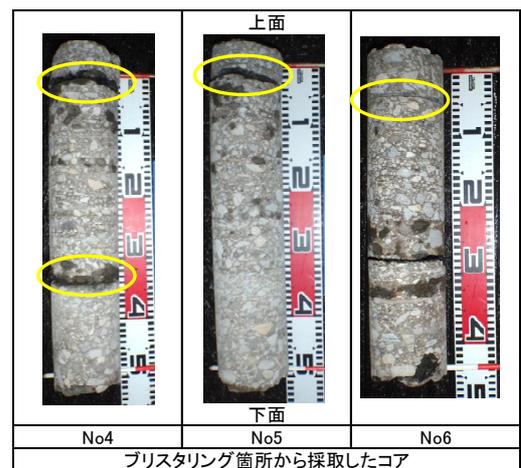


写真-2 無水コアの状況 (No4~No6)

3. 現地調査

(1) 調査方法

道内空港のプリスタリングが発生した取付誘導路において電磁波レーダを用い現地調査を実施した。現地調査では、実際の水分の分布状況や層間剥離の状況を把握するため、無水のコアカッタを用いたコア採取（以下、無水コア）による調査、電磁波レーダを用いた非破壊試験による水分と層間剥離の探査、および打音検査を実施した。現地調査で採取した無水コアは、室内試験で水分量を測定した（表-2）。

電磁波レーダの測定方法を図-4に示す。プリスタリング箇所の中心部を通過させ、横断方向および縦断方向に各々1m測定した。無水コアの採取位置はプリスタリング発生箇所の中心部から採取した。現地調査箇所の選定方法は、プリスタリング発生箇所の内、打音検査で異音が生じた箇所を選定し調査を実施した。

(2) 調査結果

写真-1、2に無水コアの状況を示す。この写真はコア採取直後の撮影である。黄色の実線で囲われた箇所は層間剥離が発生していた位置である。No1~No6の無水コ

アは、全てのコアが表層と基層間に層間剥離が発生していた。No1、No3、No4のコアは表面から深さ30~40cmの位置で層間剥離が見られた。無水コアの状況を確認すると、層間剥離位置付近や層間位置付近に水によ

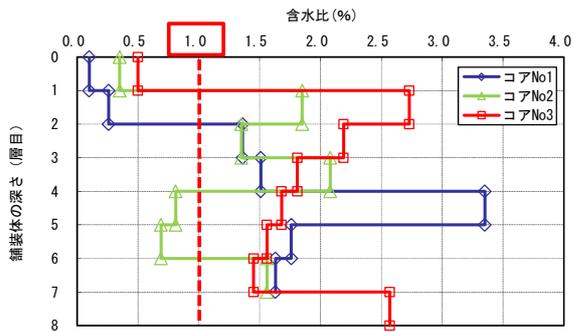


図-5 無水コアの含水比

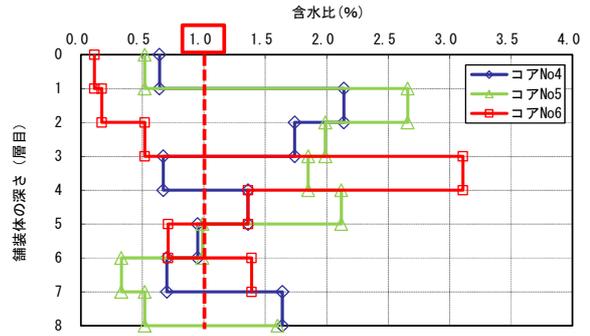
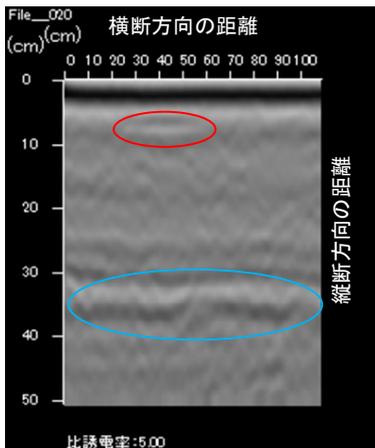
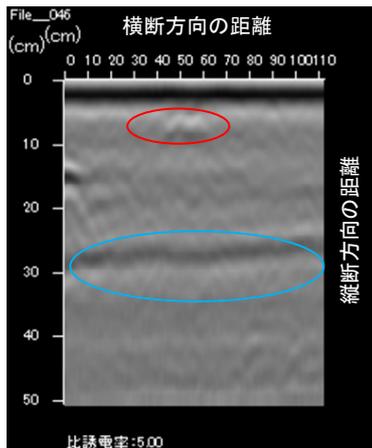


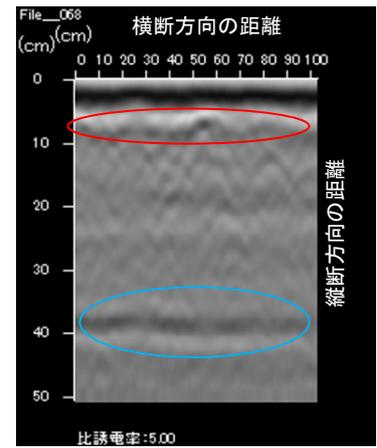
図-6 無水コアの含水比



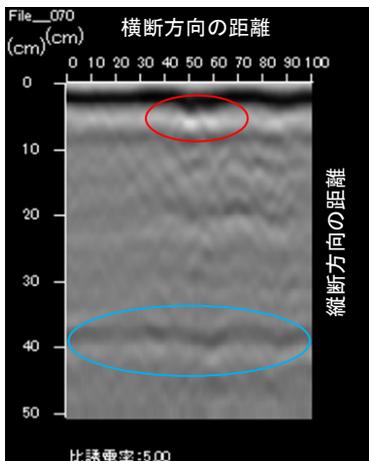
No1



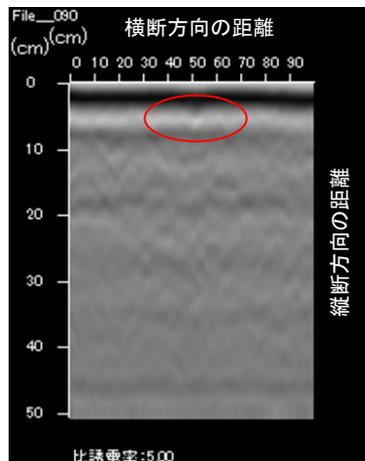
No2



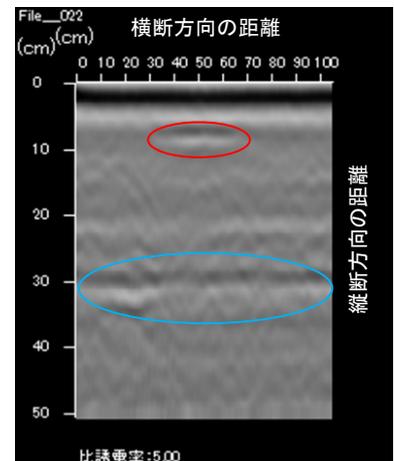
No3



No4



No5



No6

図-7 電磁波レーダによる測定画像

る濡れが多く見られた。図-5、図-6 に無水コアの含水比を示す。プリスタリングが発生する含水比の目安値は1.0%以上とされており、全てのコアがこの値以上の含水比を含んでいることが確認された。表層の直下の層である基層部（2層目）の含水比に着目すると、No2、No3、No4、No5のコアは含水比1.0%以上が含まれていた。

図-7 に電磁波レーダによる測定画像を示す。プリスタリングが発生した中心部の位置は、横断方向で50cmの位置となる。図-8 に電磁波レーダによる反射波形を

示す。以下に各コアの電磁波レーダによる評価を示す。

a) No1 コア

舗装表面～10cm の範囲内に黒と白の層が幅30cm程度あり、プリスタリングが発生していることが確認できた。また、深さ30～40cmの範囲内に黒、白、黒の層が見られる。無水コアや含水比から判断すると水分と層間剥離の影響と考えられる。反射波形に着目すると舗装表面から5cmの位置にプラス側のピーク値を持つ振幅が確認された。この位置は表層と基層部の層間の位置である。

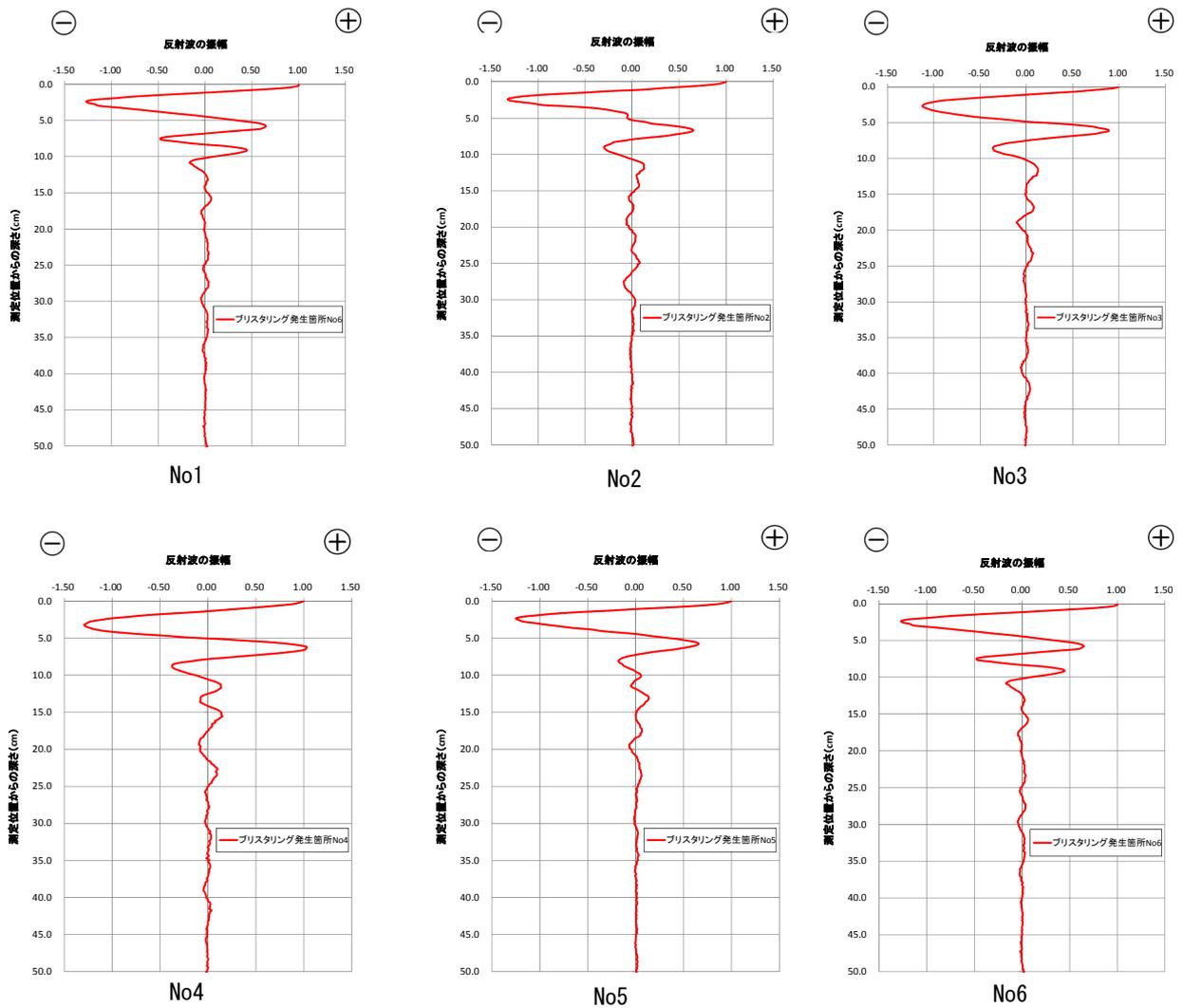


図-8 電磁波レーダによる反射波形

b) No2 コア

舗装表面～10cm の範囲内に白と黒の層が幅 20cm 程度あり、プリスタリングが発生していることが確認できた。深さ 20～30cm の範囲内に黒と白の層が確認され、無水コアや含水比から判断すると、水分の影響と考えられる。反射波形に着目すると、表面から 7cm 程度の位置にプラス側のピーク値を持つ振幅が確認された。

c) No3 コア

舗装表面～10cm の範囲内においてプリスタリングの中心部以外にも白と黒い層が確認され、表層と基層付近に剥離や水分の影響が広い範囲で及んでいると推察される。また、深さ 30cm 程度の位置に黒と白の層が見られ、無水コアや含水比から判断すると、剥離と水分の影響と考えられる。反射波形では、舗装表面から 7cm 程度の位置にプラス側のピーク値を持つ振幅が確認された。

d) No4 コア

舗装表面～10cm の範囲内でプリスタリングの中心部付近に白と黒い層が幅 10cm 程度確認された。深さ 40cm 程度の位置に黒と白の層が見られ、無水コアと含水比から判断すると、層間剥離と水分の影響と推察される。反射波形に着目すると、舗装表面から 7cm 程度の

位置にプラス側のピーク値を持つ振幅が確認された。

e) No5 コア

測定画像による評価では、プリスタリング箇所の中心部で舗装表面～10cm の範囲内にやや小さい画像の変化は見られるが、明確には分からない結果となった。反射波形に着目すると、舗装表面から 6cm 程度の位置にプラス側のピーク値を持つ振幅が確認された。

f) No6 コア

舗装表面～10cm の範囲内に黒と白の層が幅 30cm 程度あり、プリスタリングが発生していることが確認できた。また、深さ 30～40cm の範囲内に黒と白の層が見られる。無水コアや含水比から判断すると、水分と層間剥離の影響と考えられる。反射波形に着目すると、舗装表面から 6cm 程度の位置にプラス側のピーク値を持つ振幅が確認された。

4. まとめ

電磁波レーダを利用した非破壊調査を実施した結果、プリスタリングによる層間剥離箇所については、測定画像や反射波形により確認が可能で有り、電磁波レーダによる検知の可能性が確認できた。