

## 電磁波レーダ探査による覆工巻厚調査結果と濁音範囲の相関について

西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 正会員 ○鈴 将彦, 尾中 亮太  
西日本高速道路(株) 坂東 誉浩

## 1. 背景と目的

中国地方の高速道路のトンネルについて、定期点検の結果等を基に様々な調査、試験および評価・解析が行われ、変状原因や対策工に関わる知見が蓄積されつつある。これらの知見の多くは、矢板工法や外力の影響による変状に対するものが多く、設計や施工に起因（以下、「内因」と表記）する変状に対する調査データや知見は少ない。本報告は、NATMにおいて発生した内因による変状の中で、覆工巻厚に関連性がある濁音箇所に着目し、H28 から H30 の3年間で実施した電磁波レーダ探査による覆工巻厚調査結果と、打音調査時に濁音が確認された範囲（以下、「濁音範囲」と表記）との相関について報告するものである。

## 2. 対象トンネルの概要

今回、調査を実施したトンネル諸元を表-1に示す。調査対象トンネルのほとんどが、NATM導入(1987年頃～)初期に施工されたものであり、濁音箇所数からわかるように、打設・養生等が高度化した1998年以降のトンネルについては、延長に対して濁音箇所数が少ない状況である。なお、今回は濁音範囲と覆工巻厚の相関関係を分析するため、空洞箇所は対象外としている。

表-1 トンネル諸元

| 施工   | 供用年    | TN 数 | 総延長(m) | 濁音箇所 | 調査箇所 |
|------|--------|------|--------|------|------|
| NATM | 1989 年 | 4    | 6,066  | 51   | 31   |
|      | 1990 年 | 2    | 2,279  | 16   | 11   |
|      | 1991 年 | 1    | 711    | 15   | 15   |
|      | 1992 年 | 1    | 2,257  | 8    | 7    |
|      | 1993 年 | 7    | 3,366  | 86   | 48   |
|      | 1996 年 | 1    | 651    | 10   | 2    |
|      | 2004 年 | 1    | 4,093  | 6    | 2    |
|      |        | 17   | 23,164 | 192  | 116  |

## 3. 調査概要

調査は写真-1に示すような濁音箇所に対し、電磁波レーダ探査（レーダ仕様：900MHz）とドリル削孔により実施した。電磁波レーダ探査範囲（以下、「探査範囲」と表記）は、図-1に示すように、濁音箇所を中心に上下50cm間隔で探査測線を設定し、濁音部の前後1mの延長を調査した。また、削孔後は、カメラによる内部観察および覆工巻厚の測定を実施し、電磁波レーダ探査結果から覆工巻厚を推定するためのキャリブレーションを行った。



写真-1 濁音箇所状況

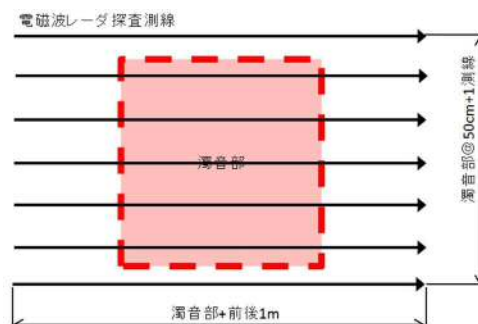


図-1 電磁波レーダ探査範囲

## 4. 調査結果

## 4.1 覆工巻厚コンター図

電磁波レーダ探査とドリル削孔調査の結果から、覆工巻厚の状況を確認した。なお、ドリル削孔調査については、電磁波レーダ探査の結果から、探査測線上で覆工巻厚が最も薄い箇所と20cm程度の箇所、30cm程度の箇所の計3箇所を削孔し、内部観察により実際の覆工巻厚を確認した。図-2に覆工巻厚コンター図の一例を示すが、濁音（不良音）箇所は覆工巻厚が20cm以下の範囲で確認されている。

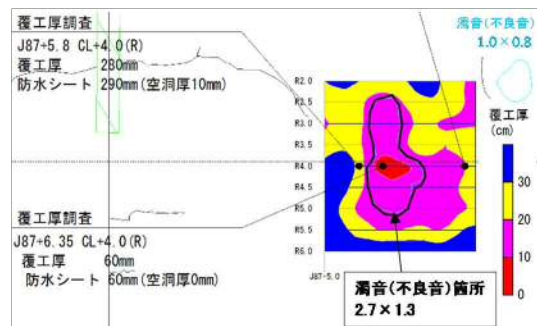


図-2 覆工巻厚コンター図

キーワード NATM, 覆工巻厚調査, 電磁波レーダ探査

連絡先 〒733-0037 広島市西区西観音町 2-1 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) TEL082-532-1433

4.2 覆工巻厚と濁音範囲の関係

電磁波レーダ探査の測線毎に、10cm ピッチで覆工巻厚を算出し、探査範囲における濁音範囲と覆工巻厚の状況を確認した。図-3に覆工巻厚データシートの一例を示しているが、表中上部に記載している R2.0 から R5.5 の表示はそれぞれの探査測線を示している。また、表中左側に記載している追加距離とは、探査測線上の距離を示しており、表中の値は探査測線上における 10cm 毎の覆工巻厚 (cm) を示している。なお、表中の着色部については、打音調査による濁音範囲を示しており、今回の報告では、H28 から H30 の3年間で実施した覆工巻厚調査結果の全データシートから、覆工巻厚別に探査範囲と濁音範囲（着色部）のデータ数の集計を行った。集計結果を表-4に示す。また、探査範囲内におけるデータ数のうち、打音調査によって濁音が確認された範囲のデータ数の割合（以下、「濁音認識率」と表記）のグラフを図-4に示す。なお、覆工巻厚が 20cm 以上の箇所は、濁音が認識されなかったため、今回は 20cm 以下のデータを集計している。集計結果によると、覆工巻厚が 10cm 以下の箇所については、測定位置の若干の誤差による認識漏れと思われる箇所もみられたが、90%の濁音認識率となり、おおむね高い相関となった。また、覆工巻厚の増加に伴い濁音認識率は下がってきており、覆工巻厚が 15cm 以上になると濁音認識率は 50%以下と大きく低下している。

4.3 ひびわれによる影響

ひびわれ発生による濁音範囲への影響を把握するため、ひびわれ発生状況別に濁音認識率の比較を行った。図-4のグラフからわかるように、ひびわれを伴う場合、若干ではあるが、ひびわれが発生していない場合に比べ濁音認識率は高くなっている。したがって、ひびわれ発生による大きな影響は確認できなかったが、多少なりとも濁音範囲に影響を及ぼしていることが考えられる。

5. まとめ

覆工巻厚調査結果から得られた覆工巻厚と濁音範囲の相関における知見を以下に示す。

- (1) 濁音が確認された箇所はすべて覆工巻厚が 20cm 以下の箇所であり、覆工巻厚が厚いほど濁音認識率が低下し、覆工巻厚が 15cm 以上になると濁音認識率は 50%以下と低い結果となった。また、覆工背面と防水シートの間隙の有無による濁音認識率への影響も考えられるため、今後検証を行っていく。
- (2) ひびわれを伴う場合、若干ではあるが濁音認識率が高くなっているため、ひびわれの発生が多少なりとも濁音範囲に影響を及ぼしていることが考えられる。

| 追加距離 | R2.0 | R2.5 | R3.0 | R3.5 | R4.0 | R4.5 | R5.0 | R5.5 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| (m)  | 覆工厚  | 覆工厚  | 覆工厚  | 覆工厚  | 覆工厚  | 覆工厚  | 覆工厚  | 覆工厚  |
| 0.3  | 31   | 27   | 25   | 27   | 38   | 39   | 31   | 36   |
| 0.4  | 31   | 28   | 27   |      |      | 36   | 28   | 33   |
| 0.5  | 32   | 29   | 28   |      |      | 32   | 24   | 31   |
| 0.6  | 31   | 27   | 26   |      |      | 29   | 22   | 29   |
| 0.7  | 31   | 25   | 23   |      |      | 25   | 20   | 27   |
| 0.8  | 30   | 23   | 21   | 22   | 28   | 22   | 18   | 26   |
| 0.9  | 29   | 21   | 20   | 19   | 21   | 20   | 17   | 25   |
| 1.0  | 27   | 18   | 18   | 16   | 14   | 17   | 15   | 24   |
| 1.1  | 27   | 17   | 17   | 15   | 11   | 17   | 16   | 22   |
| 1.2  | 26   | 16   | 16   | 14   | 9    | 16   | 17   | 20   |
| 1.3  | 26   | 15   | 14   | 13   | 7    | 15   | 16   | 20   |
| 1.4  | 26   | 15   | 12   | 12   | 7    | 13   | 15   | 20   |
| 1.5  | 26   | 15   | 10   | 12   | 9    | 11   | 14   | 20   |
| 1.6  | 27   | 16   | 12   | 13   | 9    | 11   | 15   | 20   |
| 1.7  | 28   | 18   | 14   | 14   | 9    | 12   | 15   | 19   |
| 1.8  | 29   | 20   | 15   | 16   | 9    | 13   | 16   | 20   |
| 1.9  | 30   | 22   | 17   | 19   | 9    | 14   | 17   | 21   |
| 2.0  | 31   | 24   | 18   | 22   | 10   | 15   | 18   | 21   |
| 2.1  | 34   | 25   | 21   | 25   | 11   | 15   | 17   | 22   |
| 2.2  | 37   | 26   | 24   | 29   | 12   | 16   | 16   | 22   |
| 2.3  | 38   | 27   | 25   | 29   | 13   | 17   | 16   | 22   |
| 2.4  | 37   | 28   | 22   | 27   | 14   | 18   | 17   | 21   |
| 2.5  | 36   | 29   | 20   | 25   | 15   | 19   | 18   | 20   |
| 2.6  | 33   | 28   | 20   | 23   | 14   | 18   | 17   | 20   |
| 2.7  | 29   | 26   | 19   | 21   | 14   | 17   | 15   | 20   |
| 2.8  | 27   | 25   | 19   | 20   | 13   | 17   | 15   | 21   |

図-3 覆工巻厚データシート

表-4 集計結果

| 覆工巻厚    | 探査範囲<br>(データ数) |            | 濁音範囲<br>(データ数) |            | 濁音認識率<br>(濁音/探査範囲) |            |
|---------|----------------|------------|----------------|------------|--------------------|------------|
|         | ひびわれ<br>無し     | ひびわれ<br>伴う | ひびわれ<br>無し     | ひびわれ<br>伴う | ひびわれ<br>無し         | ひびわれ<br>伴う |
| 20cm    | 420            | 557        | 131            | 185        | 31%                | 33%        |
| 19cm    | 418            | 550        | 131            | 185        | 31%                | 34%        |
| 18cm    | 379            | 618        | 122            | 239        | 32%                | 39%        |
| 17cm    | 384            | 649        | 149            | 284        | 39%                | 44%        |
| 16cm    | 355            | 629        | 160            | 307        | 45%                | 49%        |
| 15cm    | 347            | 645        | 173            | 313        | 50%                | 49%        |
| 14cm    | 338            | 606        | 186            | 299        | 55%                | 49%        |
| 13cm    | 285            | 593        | 170            | 369        | 60%                | 62%        |
| 12cm    | 283            | 574        | 176            | 392        | 62%                | 68%        |
| 11cm    | 222            | 502        | 149            | 377        | 67%                | 75%        |
| 10cm 以下 | 929            | 1,958      | 824            | 1,786      | 89%                | 91%        |

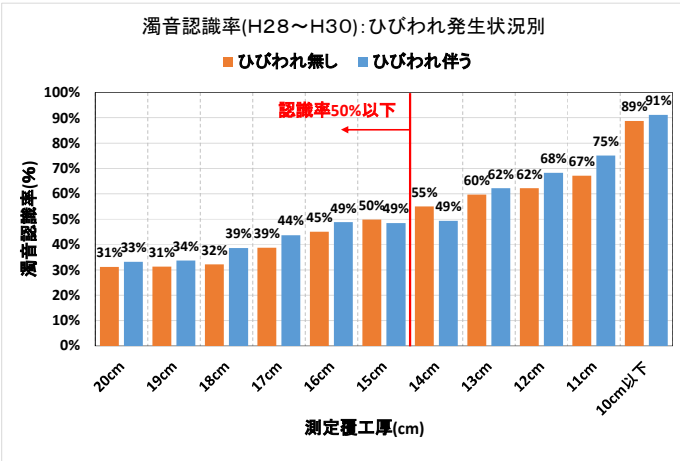


図-4 濁音認識率(ひびわれ発生状況別)