

巨視的超音波法による空洞充填竣工検査技術の検討

日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所
日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所
日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所
日本コムシス（株）社会基盤事業本部

正会員　○笹沢　信也
正会員　入江　浩志
正会員　吉田　安克
綿古里　晃

1. 背景および目的

NTTの通信用シールドトンネルは一次覆工(鋼製セグメント)と二次覆工(無筋コンクリート)から構成されている。一次覆工は覆工構造の主体としてトンネルに作用する荷重に耐えるよう設計されており、二次覆工は一次覆工の防食・防水、セグメントの補強、蛇行修正等の役目を果たしている。

二次覆工コンクリート打設時にトンネル天井部にコンクリート未充填箇所が発生するケースがあり、その空洞部に被圧した地下水が作用した場合、コンクリートのひび割れ・出水等の悪影響を及ぼすことが懸念される。それを未然に防止するため、空洞部に流動性モルタルを充填する工事を行っている。しかし、充填後の二次覆工厚さの計測は充填部を削孔するしかないため巨視的超音波法を用いて非破壊で計測する方法を検討した。

2. 巨視的超音波法の概要

本実験に用いた巨視的超音波法の計測原理について述べる。コンクリート材料は気泡や骨材等の超音波散乱要因を多く含むことから、一般的なパルス反射法では計測対象からの反射波を捉えることが難しい。そこで、一定時間内に超音波探触子を移動させながらパルス波を連続入射し、受信探触子の位置が変化しても反射波到達時間が変わらない反射波のみを抽出する超音波計測原理を用いた。

3. 実験方法および結果

本実験は、供試体および現用シールドトンネルで、コンクリートとモルタルを二層に重ね合わせた厚さを計測するものであり、各々の詳細について以下に述べる。

(1) 供試体実験

実験用供試体を図-1に示す。供試体寸法は現用トンネルで想定される既設二次覆工コンクリート厚さ、空洞厚さを基に決定した。コンクリート打設一週間後、モルタルを打設

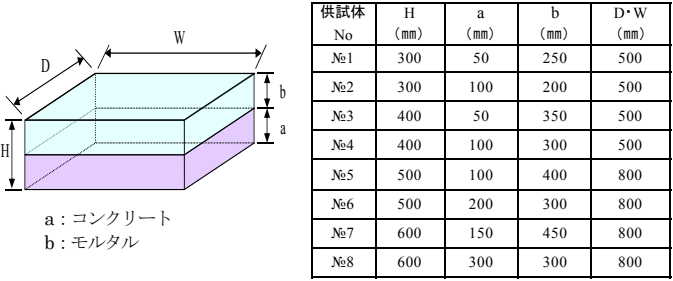


図-1 供試体概要

し二層の供試体を作製した。

計測の概略を示す。超音波探触子にはジャパンプローブ社製の広帯域超音波探触子を用い、発信・受信ともに外径寸法φ90mm(中心周波数500kHz)を使用した。超音波探触子をコンクリート表面に設置し、反対面からの反射波の到達時間を計測した。内部音速は供試体打設時に同バッチの円柱供試体を作製した後、透過法により計測した各々の音速を式-1に代入して求めたものを使用した。

$$\bar{V} = \frac{V_a V_b (a + b)}{(a V_b + b V_a)}$$

a : コンクリート厚さ
b : モルタル厚さ
Va : コンクリート音速
Vb : モルタル音速

(式 - 1)

図-2 に計測で得られた反射波波形の一例を示す。コンクリートとモルタルの境界面、反対面からの反射波を明瞭に捉えることができ、境界面における超音波の散乱・減衰は計測には支障にならない程度であった。また、現場で想定される最大コンクリート厚さ600mmの計測においても、振幅は小さくなるが読取りは可能であった。表-1 は超音波計測値と実測値の結果であり、最大誤差 2.8%(14mm)の計測が可能であった。

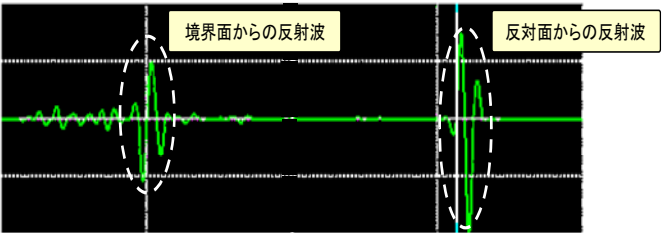


図-2 反射波形の一例 (覆工厚600mm)

表-1 供試体実験結果

	超音波計測値 [mm]	実測値 [mm]	誤差 [mm][%]
No1	304	303	1 (0.3)
No2	306	303	3 (1.0)
No3	414	405	9 (2.2)
No4	406	402	4 (1.0)
No5	515	501	14 (2.8)
No6	519	505	14 (2.8)
No7	615	605	10 (1.7)
No8	610	603	7 (1.2)

(2) 現用シールドトンネルでの実験

実験を実施したシールドトンネルの内径は2950mm, 最大二次覆工コンクリート厚さ(設計)は300mmである. 計測箇所は天井部とし, 表-2に計測点の既設コンクリート厚さ, 空洞厚さ(モルタル注入孔削孔時に計測)を示す. (非破壊検査での導入を考えているため, 空洞部に完全にモルタルが充填できたかと仮定する.) 既設二次覆工コンクリートの音速 V_a は削孔時に計測した厚さと超音波到達時間から算出した. 空洞部に充填したモルタルの音速を計測することは不可能であることから, モルタルの音速 V_b は充填時に同バッチの円柱供試体を作製し, 透過法により計測した. 各々の音速を式-1に代入して求めた音速を超音波計測時の内部音速とし, 充填後の二次覆工厚さを計測した. 計測はモルタル硬化進行による影響を考慮し, 経過計測(モルタル充填後3・7・14・28・70日目)した. また, 充填後の二次覆工厚さの真値を確認するためドリル削孔しメジャーで計測した. (図-3)

図-4に超音波計測値と実測値を示す. 最大誤差は6.0% (17mm)であった.

表-2 計測点のコンクリート厚さと空洞厚さ

計測点No	既設コンクリート厚さ a (mm)	空洞厚さ b (mm)
No1	150	140
No2	130	160
No3	240	70
No4	260	50
No5	200	100

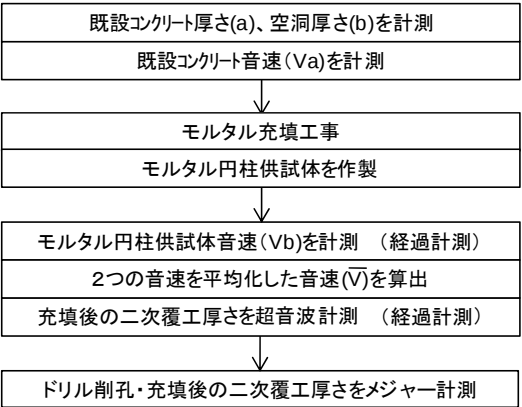
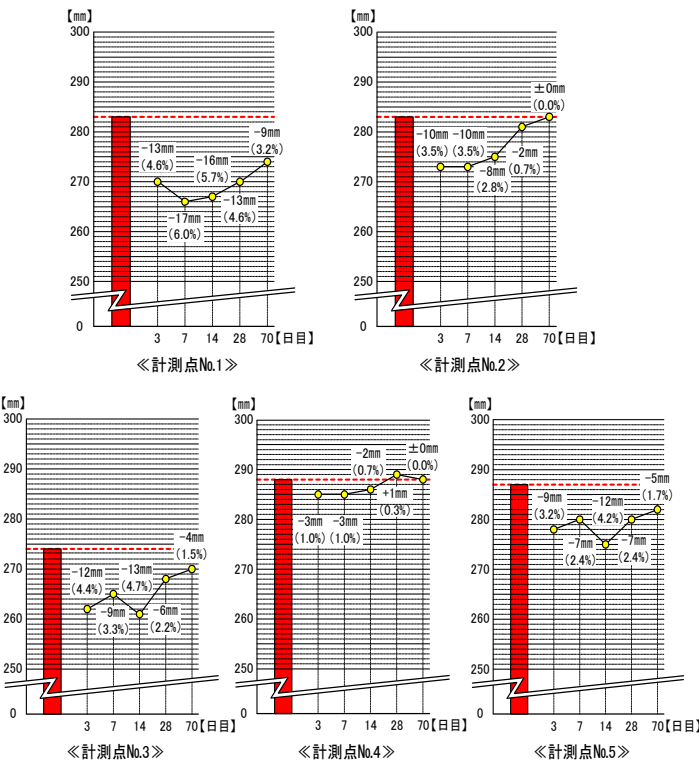


図-3 実験手順



【凡例】
・棒グラフ: 充填後の二次覆工厚さ (ドリル削孔後, メジャー測定)
・折れ線グラフ: 超音波計測値, 括弧内は真値に対する誤差

図-4 現用トンネルでの実験結果

4. まとめ

コンクリートとモルタルを重ね合わせた厚さを, 境界面における超音波の散乱・減衰の影響なく計測できたが, 計測誤差は最大6.0% (17mm)であった. 誤差が生じた要因としては以下のことが考えられる.

- (i) 式-1は空洞部にモルタルが完全に充填されたと仮定した音速算出式であるが, 実際には完全に充填できていない場合があり音速に誤差が生じる.
- (ii) 本実験では充填時に同バッチのモルタル円柱供試体を作製・音速計測し, モルタルの音速とした. しかしながら, 養生環境や容量の違いにより, その音速と実際に充填したモルタルの音速に相違が生じていると考えられる.

5. 今後の予定

今後は計測精度向上に向け本実験の誤差の要因を追加検証し, 充填後の非破壊検査導入を目指す. また, 二次覆工厚さの異なるトンネルについても計測を実施し, 本手法の適用可能性の検証を実施する.