

トンネル覆工コンクリート充填検知手法への RI 水分計の適用性検討

(株)竹中土木 正会員 ○安藤慎一郎 同 角 拓郎 同 鎌田 英志
 (株)竹中工務店 正会員 三井 健郎 井上 和政

1. はじめに

トンネル二次覆工コンクリートの天端アーチ部施工は、打設口 1ヶ所からの吹上げ打設で行われるのが一般的である。狭隘な当該部分へのコンクリート充填不良を防止するため、所要のワーカビリティを確保したコンクリートの連続打設とともに、検出ピンやセンサを用いた装置による充填検知手法が適用されてきた¹⁾。しかしながら、これら各装置の設置位置は充填不良が想定される部分に限られ、その検知範囲は限定的であった。

本報では、覆工コンクリートの連続的・短時間・広範囲での充填検知を可能とする手法として、中性子線を線源とするラジオアイソトープ（以下 RI という。）水分計の適用性を検討したので結果について報告する。

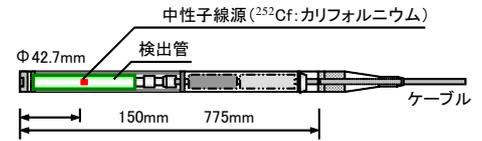


図 2-1 測定装置(挿入型 RI 水分計)

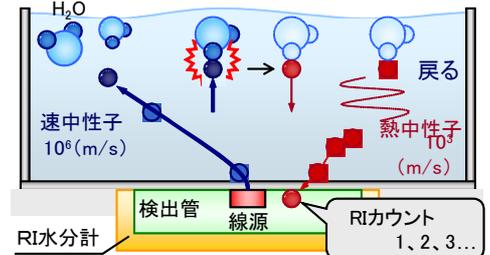


図 2-2 測定原理

2. 覆工コンクリート充填検知手法の発想

本研究で用いた測定装置は、図 2-1 に示す中性子線を線源とする挿入型 RI 水分計である。本器は、使用にあたっての資格は不要であり、人体への危険性も少ない装置である。

RI 水分計を覆工コンクリート充填検知に適用する発想は、図 2-2 に示す通り、線源から放出された速中性子が水素原子と衝突して減衰され、熱中性子となって戻ってくる測定原理を応用したものである。

水分量は、検出管でカウントする熱中性子の戻り数(以下、RI カウントという)によって間接的に測定できるため、コンクリート中の水分量に関わるコンクリート厚さや空洞の大きさ・有無は、RI カウントの変化から検知できると想定し(図 2-3 参照)、さらに装置を移動することによってその位置特定も可能になると考えた。

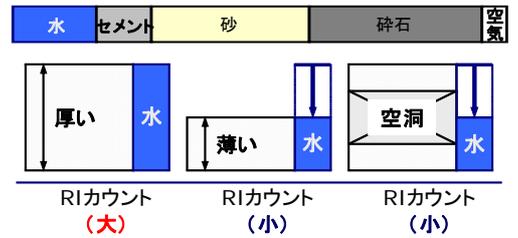


図 2-3 測定方法の発想

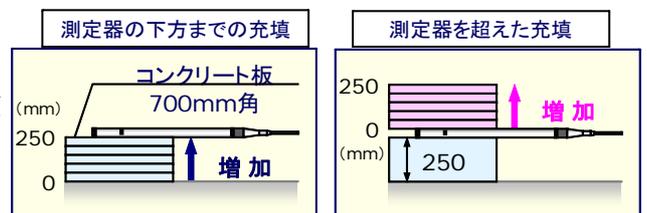


図 3-1 実験方法

3. 実験概要

3.1 覆工コンクリート設計厚さ確認手法の検討

1)実験方法

実験は、図 3-1 に示す通り、覆工コンクリート打設に準じて設置した挿入型 RI 水分計に対して、コンクリート版(700mm×700mm×厚さ 50mm)を下方から積み重ね、コンクリート厚さ毎(0mm~500mm)に RI カウントを測定して行った。RI カウントの測定時間は 3 分間とした。

2)使用材料・コンクリート配合

使用したコンクリート配合は、トンネル覆工コンクリートの特記仕様に準じて設定した。使用材料およびコンクリート配合を表 3-1、表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

項目	略号	仕様
セメント	C	普通ポルトランドセメント M社製 密度 3.16g/cm ³
細骨材	S	陸砂(茨城県神栖市産) 表乾密度 2.59g/cm ³ , 粗粒率 2.50, 吸水率 1.93%
粗骨材	G	碎石(栃木県岩舟町産) 表乾密度 2.66 g/cm ³ , 実積率 60.0%, 吸水率 0.66%
混和剤	Ad	AE 減水剤標準型(I 種)F 社製

表 3-2 コンクリート配合

配合	設計基準強度	G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
24-12-20N	24	20	56.2	46.8	165	294	844	987	2.94
特記仕様	18	—	60 以下	—	—	270 以上	—	—	—

キーワード RI, ラジオアイソトープ, 充填検知, トンネル覆工コンクリート

連絡先 〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1 竹中技術研究所 建設技術研究部 材料部門 TEL0476-47-1700

3.2 天端アーチ部空洞確認手法の検討

1) 実験方法

実験は、図 3-2 に示す覆工コンクリート天端アーチ部を模擬した鋼製型枠(設計厚さ 300mm+余掘 100mm=全厚 400mm)を用いて、表 3-2 に示すコンクリートの打設直後に行った。挿入型 RI 水分計は、覆工コンクリートの設計厚さ確保の観点からガイドパイプを介して余掘部に配置し自由に移動できるようにしている。またガイドパイプ上には天端アーチ部に発生した空洞を模擬し発泡スチロール(大きさ:300・600mm 角, 厚さ:30・50mm)を設置した。



図 3-2 トンネル天端アーチ部模擬試験体

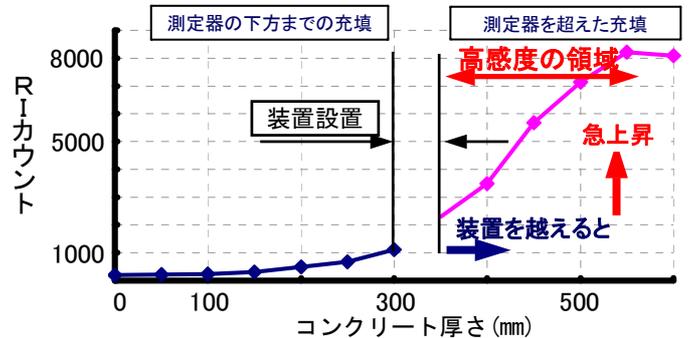


図 4-1 コンクリート厚さと RI カウントとの関係

2) RI カウント測定方法

RI カウントの測定は、コンクリート打設前を初期値(型枠, 吹付けコンクリート, 背面地山等の影響を除去)として、挿入型 RI 水分計を 100mm 間隔で 10 秒毎に移動しながら行った。

4. 実験結果

4.1 覆工コンクリート設計厚さ確認手法の検討

図 4-1 は RI 水分計装置の RI カウント測定結果を示す。下方から吹き上げるコンクリート打設を想定したコンクリート厚さの増加とともに RI カウントは増加した。装置の下方 300mm までは漸増であるが、装置を超えた後は大きな変化を示している。これは、コンクリート高さが装置を越えたときの RI カウントの変化を読み取ることでコンクリート設計厚さの確認が容易であり、天端頂部付近に発生した空洞は高感度領域で検知できることを示している。RI 水分計装置の設置位置を設計厚さ直上とすることで、設計厚さの確認が可能と判断した。

4.2 天端アーチ部空洞確認手法の検討

図 4-2 は空洞の検知結果を示す。空洞の大きさはグラフ形状、厚さは RI カウントの減少割合から判別可能であることが分かった。ここで、空洞がない場合のカウントに対する空洞が発生した場合のカウントの比率を RI カウント比とすると、空洞の大きさ・厚さは図 4-3 に示す RI カウント比との関係に整理できた。空洞検知にあたっては大きさをグラフ形状から推定し、大きさと RI カウント比から図 4-3 を用いて厚さを導出できる。大きさ 300mm 角, RI カウント比 $8400/10000=0.84(84\%)$ の例では、厚さ 30mm を導出でき、空洞規模特定への適用性を確認できた。

5. おわりに

実験の結果、設計厚さ (300mm) および余掘部空洞 (大きさ 300mm 角×厚 50mm 程度) 検知が可能であり、1 スパン 10.5m 当りの計測時間は 20 分程度であることを確認できた。トンネル覆工コンクリート充填検知手法への RI 水分計の適用性に向けて一定の評価ができたと考える。今後は、検知精度の向上とともに、空隙確認後の再充てん方法の検討を進める予定である。

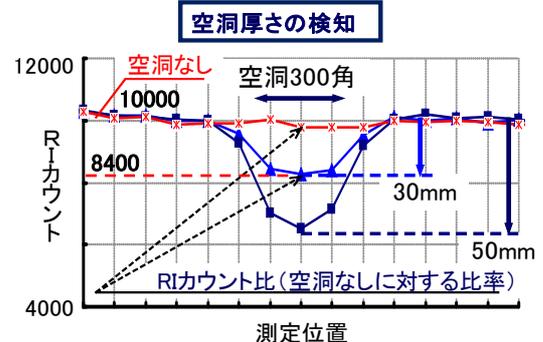
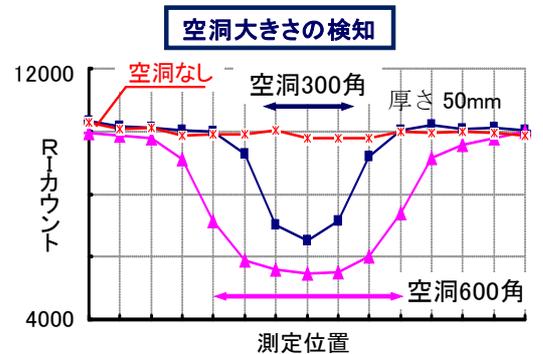


図 4-2 空洞の大きさと RI カウントとの関係

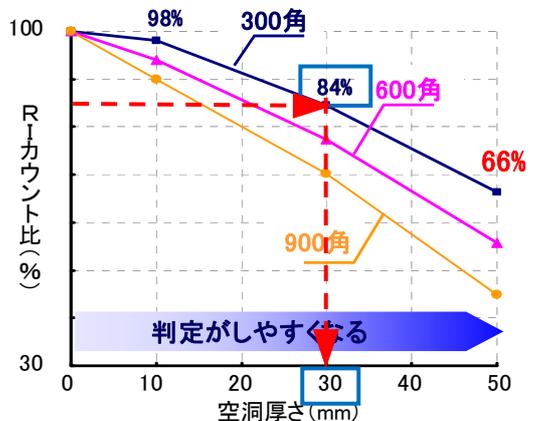


図 4-3 空洞大きさ・厚さと RI カウント比

〔参考文献〕 1)日本鉄道建設業協会；最近のトンネル覆工コンクリート施工技术の動向と課題, pp14, H17.6