

# 電磁波レーダを用いたトンネル覆工検査車の検証

松 沼 政 明・鈴 木 尊

新幹線トンネルの覆工コンクリートの健全性を検査するため、至近距離からの目視検査とハンマーによる打音検査が行われている。これらの検査は、膨大な延長のトンネルに対して、実施に多大な労力を要し、また判定に個人差が大きく精度にばらつきが生じやすいのが実情である。

そこで、JR東日本ではマルチパス方式レーダを搭載したトンネル覆工検査車 Concrete Lining Inspection Car (略称、CLIC) を開発し、平成16年7月より新幹線トンネルに導入している。既設の新幹線トンネルにおいてCLICを用いた調査を実施した結果、打音検査では、検査者の判断のばらつき等により、検出が困難な覆工内部の不良箇所についても、検出できることが確認された。JR東日本では延長約400kmにわたる新幹線トンネルに対し、CLICによる調査を進めている。

キーワード：トンネル、覆工、レーダ、維持管理、検査

## 1. はじめに

新幹線トンネルの覆工の剥離・剥落に対する詳細な検査は、高所作業車等を使った至近距離からの目視と、必要により打音検査を実施しているが、これらの検査は判定に個人差が大きく、また膨大な労力を要しているのが実情である。そこで、JR東日本では、新しい検査手法として、新幹線トンネルの覆工検査の一部に、マルチパス方式レーダを搭載したトンネル覆工検査車 Concrete Lining Inspection Car (以下、CLIC) を用いた検査を導入した。現在配備されているのは、1号機(平成16年7月導入)、2号機(平成17年7月導入)、3号機(平成22年4月導入)の3両である。

## 2. トンネル覆工検査車の仕様

### (1) トンネル覆工検査車 (CLIC) の概要<sup>1)~4)</sup>

CLICは、電磁波レーダを用いることで、打音検査に替わり非破壊でトンネルの覆工コンクリート内部状況を確認できるモーターカー形式の検査車両であり<sup>5)</sup>、新幹線軌道を自走することができる(写真-1、表-1)。

検査車両は、アンテナ装置、アンテナ支持装置、走行車両、解析装置により構成されており、アンテナ装置には3基の電磁波レーダが搭載されている。レーダは、マルチパスレーダ(以下MPAレーダ)であり、その特徴、および計測仕様の概要を、以下に示す。

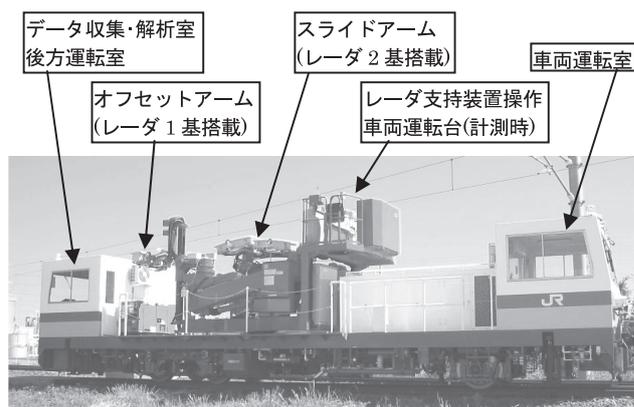


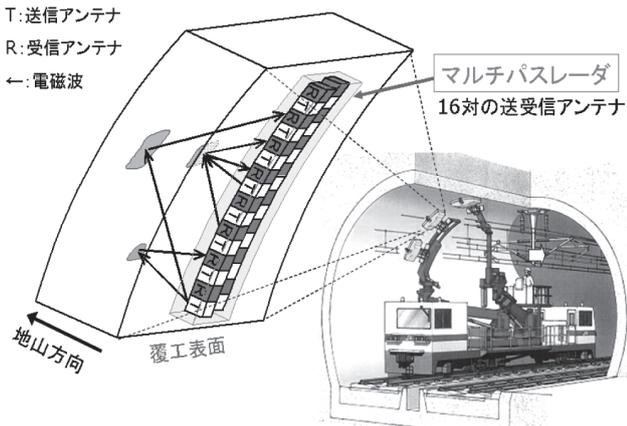
写真-1 CLIC全体像<sup>1)</sup>

表-1 検査車両の主な仕様等

項目	仕様等
車両タイプ	新幹線保守用車(自走式モーターカー)
車両形状	全長15.05m、全幅3.35m、全高4.00m 重量32.9t
計測対象	フル規格新幹線の複線円形断面トンネル
計測範囲	新幹線車両限界+外方200mmの範囲内に落下する可能性のある覆工面
計測方法	14分割したトンネル覆工面を、片線ずつ3基のレーダ(1基の幅1m)により複数回に分けて計測する。計測時の走行速度は最高3.5km/h

### (2) CLICに用いたレーダの特徴

CLICに用いたMPAレーダは、16個の送信アンテナと16個の受信アンテナを組み合わせることで、コンクリート覆工内部の異状箇所を3次元的に探査できる特徴がある(図-1)。



図一 マルチパスレーダの概要

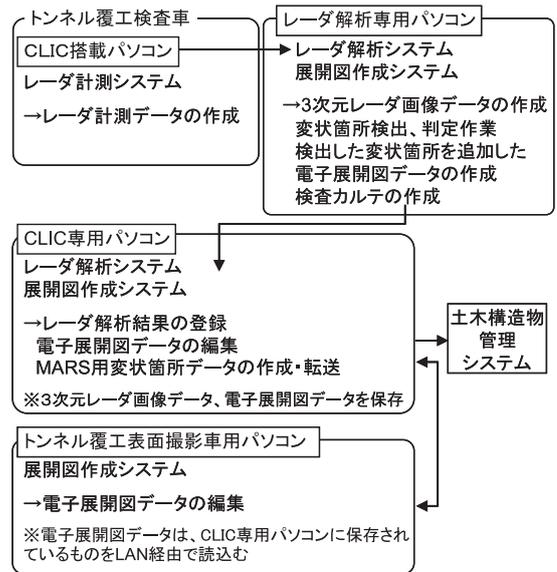
(3) 計測について

計測測線数は、MPA レーダ 1 基が測定できる幅が約 1.0 m、角度約 12 度であり、半断面で 7 測線、全断面で 14 測線である (図一 2)。半断面 7 測線を、3 基の MPA レーダにより、図一 2 に示すような 3 パターンで線路方向に 3 往復することで計測する。1 パターン当たりの計測速度は最大 3.5 km/h であり、半断面 7 測線の計測速度は約 200 m/h である。計測可能な覆工内部の異状は、ひび割れ、空洞、ジャンカ、浮き等である。計測深度は、空洞・ジャンカが覆工表面から 40 cm 以内、ひび割れ・浮きが 25 cm 以内である。但し、覆工コンクリートの状態により、多少前後する。

3. データ解析

(1) データ解析の流れ

トンネル覆工検査車に関するシステム構成を図一 3 に示す。トンネル覆工検査車に搭載されたシステムはレーダ計測システムとよばれ、レーダ計測データを作成する。

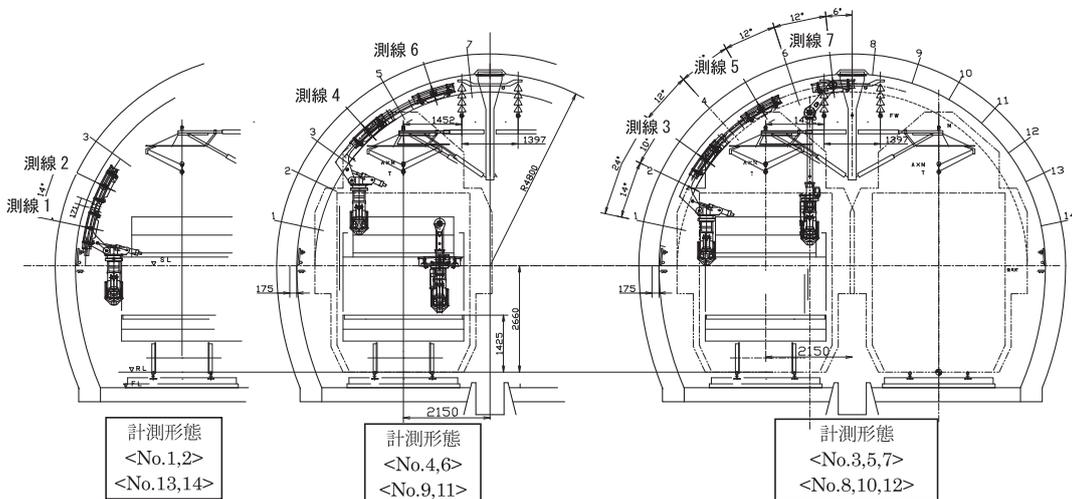


図一 3 トンネル覆工検査車に関するシステム構成

また、レーダ計測データは、レーダ解析システムおよび展開図作成システムにより、3次元データの作成、変状箇所検出、判定作業、検出した変状箇所を追加した電子展開図データの作成、検査カルテの作成を実施する。レーダ解析専用パソコンにより作成した3次元レーダ画像データおよび電子展開図データは、土木技術センターのCLIC専用パソコンに保存される。さらに、CLIC専用パソコン内の電子展開図データにより作成される変状箇所データが土木構造物管理システムに登録され、変状を確定するといった流れで、検査データとして確定される。

(2) 判定の概要

CLIC 計測データを用いた覆工コンクリートの剥落判定は、反射領域の範囲に基づいて判定を実施する。まず、それぞれの反射領域の深さ範囲、反射領域の厚さ、反射領域の面積に着目して分類する。さらに覆工



図一 2 計測線の組み合わせ (半断面 3 パターンで計測)

表面状況，前回判定との比較を加味して分類し，判定を実施している。

また，検査の結果としての最終的な判定は，当該トンネルの構造的特徴，過去の検査・補修履歴，現地再確認結果などを基に総合的に判断するものとしている。

#### 4. 調査事例

##### (1) 対象トンネル

今回事例として挙げるトンネル断面は，新幹線複線断面であり，施工法は在来工法，主な掘削工法は，底設導坑先進上部半断面工法である。

##### (2) 調査方法

調査事例一覧を表一2に示す。事例Aについては，CLICによる調査結果の3次元画像を確認した後，コア削孔により覆工内部を調査することとした。また事例Bは，表面に一部ジャンカが認められた箇所であったため，その周辺をCLICで調査することとした。

表一2 調査事例一覧

CLIC 調査	コア削孔	打音検査	記事
事例 A	実施済	清音	下り線側
事例 B	-	濁音部有	変状箇所

##### (3) 調査結果 (事例 A)

###### a) CLIC の計測データ (事例 A)

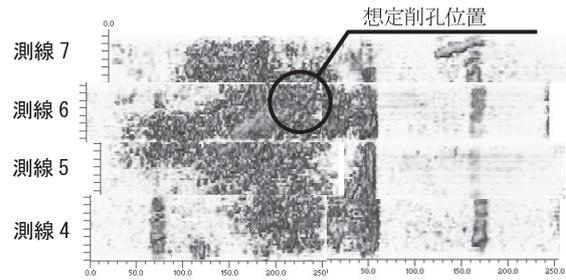
図一4，5は，事例AにおけるCLICによる測定結果(平面図，断面図)である。

図一4の縦軸がアーチに沿った線路直角方向の長さ，横軸が線路方向の距離である。反射がみられたのは，測線4～7におよぶ範囲であり，反射領域の面積は11.2m<sup>2</sup>である。

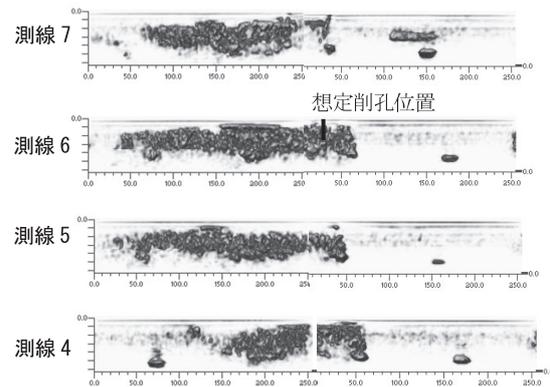
さらに，図一5の縦軸が深さ方向の距離，横軸が線路方向の距離である。図一5より，反射領域は，表層～深層にかけての，4～50cmの深さの範囲である。

###### b) 判定 (事例 A)

上記CLIC計測データに基づく検査カルテより抜粋した項目について表一3に示す。判定としての健全度判定ランクとしては，最も厳しいAランクとした。これは，表層～深層に剥落の注意を要する，厚さ・面積の大きな浮き，ジャンカ，空隙等がある可能性が大きいからである。この判定結果に基づく処置として，覆工に異状がある可能性が大きいと考え，個別検査を実施し，内部変状の詳細な確認を実施することとした。



図一4 CLIC 調査事例 A 平面図



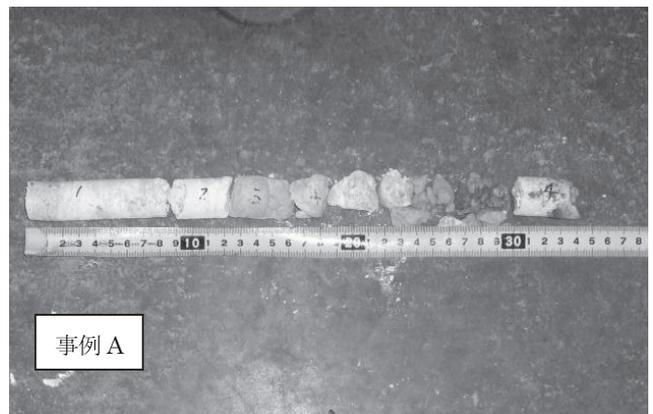
図一5 CLIC 調査事例 A 断面図

表一3 事例 A の検査カルテより

事例	測線 No.	レーダ計測による変状状況			覆工表面画像	判定ランク
		面積	深さ範囲	厚さ		
事例 A	4～7	11.2 m <sup>2</sup>	4～50 cm	46 cm	クラック 1 mm 1 本	A

###### c) コア削孔 (事例 A)

コア削孔を実施した位置は，図一4，5中，影が特に濃い部分の代表的な位置であり，印を記入した位置である。写真一2はコア削孔により得られたコアを撮影したものである。写真一2により，覆工表面から深さ9～30cmにジャンカ層がある。図一4，5において認められた影は，写真一2のコアジャンカ層と概ね対応していると考えられる。



写真一2 事例 A 削孔コア写真

d) 事例 A における対応

覆工内部のジャンカに対する対策工としては、注入工による一体化が考えられる。CLIC により影が認められた部分についても、打音による変状箇所と同様に、より詳細な調査を実施し、対策工を検討した上で早急に対策を進めていく。

(4) 調査結果 (事例 B)

a) 事例 B の変状について

事例 B においては、覆工表面に一部ジャンカがみられ (写真-3)、打音による濁音の範囲が認められたため、内部にジャンカが広がっていると考えられる。

工事誌によると、当該区間は、竣工時に既に打継目付近にジャンカが多く発生していた。施工には、コンクリートを圧送し、打設する工法が用いられた。施工継目間隔に対し、コンクリートを送る空気圧が強いため、継目付近でコンクリートにむらができてジャンカ状態になったという。つまり、この工法により、骨材とモルタルが分離しやすい状況であったことが、ジャンカの原因の一つと考えられている。



写真-3 事例 B (変状事例)

b) CLIC の計測データ (事例 B)

図-6, 7 は、事例 B における CLIC による調査の結果の平面図および断面図のデータである。図-6 に示す平面図のうち、反射領域の面積は、測線 8~11 において  $5.0 \text{ m}^2$ 、測線 7 において  $1.3 \text{ m}^2$ 、測線 3~4 において  $3.5 \text{ m}^2$  である。図-7 に示す断面図のうち、反射領域は、測線 8~9 において、深さ 10~50 cm、測線 8~11 にかけて深さ 4~45 cm、測線 7 において深さ 5~35 cm、測線 3~4 において深さ 10~40 cm である。

c) 展開図 (事例 B)

当該範囲周辺の電子展開図データからの抜粋を図-8 に示す。図-8 により、打音による浮きの範囲の周

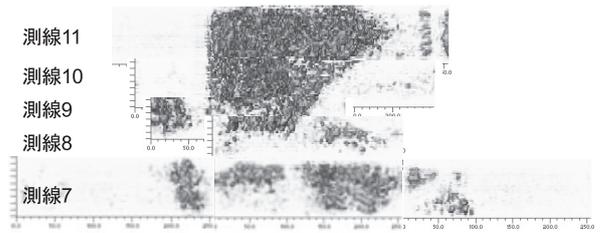


図-6 CLIC 調査事例 B 平面図

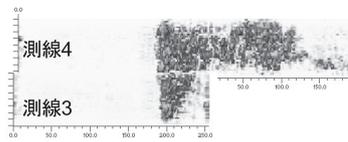


図-7 CLIC 調査事例 B 断面図

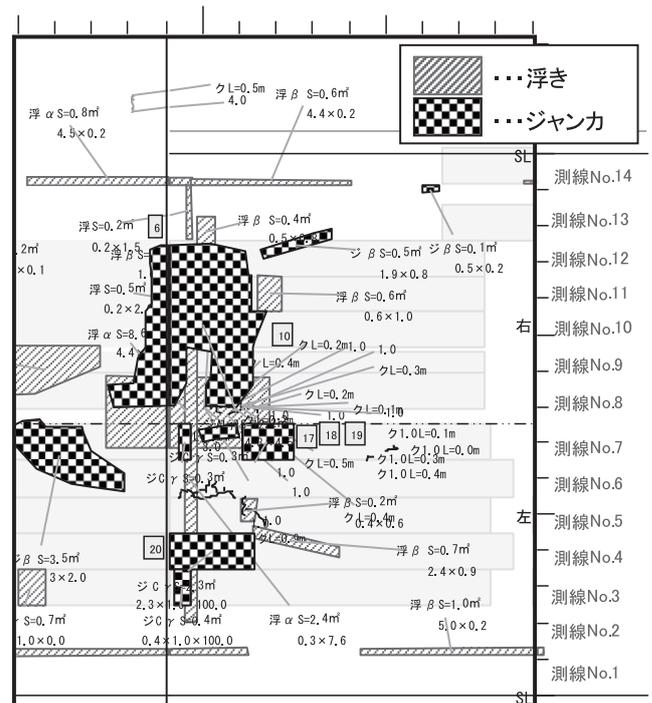


図-8 事例 B 周辺の電子展開図データより抜粋

辺に CLIC により検出したジャンカの範囲が広がっていることがわかる。

#### d) 判定 (事例 B)

事例 B のデータの検査カルテから抜粋した項目について表一 4 に示す。健全度判定ランクとしては、最も厳しい A ランクとした。これは、表層～深層に厚さ・面積の大きな浮き、ジャンカ、空隙等がある可能性が大きいからである。

表一 4 事例 B の検査カルテより

事例	測線 No.	レーダ計測による変状状況			判定 ランク
		面積	深さ範囲	厚さ	
事例 B	3~4	3.5 m <sup>2</sup>	10~40 cm	30 cm	A
	7	1.3 m <sup>2</sup>	5~35 cm	30 cm	A
	8~11	5.0 m <sup>2</sup>	4~45 cm	41 cm	A

#### e) 事例 B における対策工

事例 B は、一部表面にジャンカがみられた位置であることから、応急措置として、表面のジャンカの箇所を中心に、フラットバーおよび金網、あるいは FRP 板が施工された経緯がある。しかしながら、CLIC による調査の結果、ジャンカの深さや範囲が広範におよんでいることが確認できた。そこで、その範囲を対象に、当面の措置としてアラミド繊維シートの貼付けを実施した (写真一 4)。



写真一 4 事例 B アラミド繊維施工後写真

#### (5) CLIC により影が検出された箇所への対応

CLIC による影が検出された箇所への対応としては、コア削孔等による覆工内部の直接的な確認、必要により、変状に応じた対策工の実施等が挙げられる。今後、優先順位をつけて計画的に調査、対策を実施してゆくこととしている。

## 5. 検査の位置づけ

JR 東日本において、CLIC による調査対象のトンネル延長は、シールドや箱型トンネルを除いた約 350 km (平成 21 年度末現在) であり、このうち約 80 km の区間が調査済みである。なお、このほかに、八戸新青森間については、全延長について CLIC による調査が実施済みである。今後も引き続き、新幹線全トンネルでの調査を進めてゆく。

## 6. おわりに

- ① CLIC により影が検出された箇所についてコア削孔を実施したところ、影が検出された範囲に概ね対応したジャンカ箇所が存在した。CLIC により影が検出された範囲が、ジャンカや空洞等の覆工コンクリートの変状にほぼ対応している結果が得られた。
- ② レーダ技術を用いたトンネル覆工検査車による覆工内部調査を実施した結果、打音検査においては、検査者の判断のばらつきにより検出が困難な不良箇所についても、検出することができた。
- ③ 今回の検証により、CLIC による調査が、打音検査と同等以上の検査手法として有効であることが確認できた。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) 三宅浩一郎：トンネル覆工検査車の導入，新線路 Vol.59, No.12, pp.8-10, 2005.12
- 2) 森島啓行：トンネル覆工検査車の開発，日本鉄道施設協会誌 Vol.39, No.7, pp.530-532, 2001.7
- 3) 大澤裕之、赤井司：トンネル覆工検査車の導入，日本鉄道施設協会誌，Vol.42, No.12, pp.911-913, 2004.12
- 4) 秋山保行、田村隆志、森島啓行：トンネル覆工検査車の開発，土木学会年次学術講演会 講演概要集第 V 部 Vol.58, pp.845-846, 2003.9
- 5) 国土交通省鉄道局監修，(財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編 トンネル)，pp.107-111, 丸善，2009.1

#### 【筆者紹介】



松沼 政明 (まつぬま まさあき)  
東日本旅客鉄道(株)  
建設工事部 構造技術センター  
地下・トンネル構造グループ



鈴木 尊 (すずき たかし)  
東日本旅客鉄道(株)  
設備部 検査管理グループ