

## 開削トンネル周辺のゆるみに対する工法選定と対策について

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○栗林 健一  
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 狩野 正  
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 岩崎 浩  
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 猿谷 賢三

### 1. はじめに

開削トンネル上部で地表面の沈下が報告されてきた。空洞の存在が確認されるごとに、砂やセメントベントナイト (CB) を充填する対策を実施してきたが、一部の対策済み箇所のごく近隣において、地表面の沈下が報告されていた。そこで、詳細な地盤の調査をもとに恒久的かつ経済的に優れた対策工法の選定を行い、対策を実施した。本報告では、恒久対策の選定と対策について報告を行う。

### 2. トンネル概要

対象のトンネルは、開削工法により建設された箱型トンネルである。立川段丘上に位置し、地質は関東ローム層及び武蔵野層砂礫からなる。試掘の結果、側壁外側にH型鋼及び横矢板が残置されていたことから、土留め壁を外型枠として側壁コンクリートの打設が行われたと想定される。なお、土被りは2.0mから3.0mの範囲であった。

### 3. 充填対策工法の選定

#### 3.1 充填対策工法の基本方針

空洞が確認されるごとに、砂やCBを充填する対策を実施してきたが、一部の対策済み箇所のごく近隣において、地表面の沈下が報告されていた。そこで、選定される充填対策の基本方針は、地盤条件を把握した上で、恒久的かつ経済的な工法とした。充填フローを図1に示す。

#### 3.2 地盤条件の把握

地中探査やスウェーデン式サウンディング試験などの空洞調査により、空洞や緩み層がトンネル側壁部に確認された。そこで、地盤調査 (試掘・機械ボーリング・標準貫入試験)、地下水位調査 (現場透水試験、流速流向試験、水位観測) を実施した。

表1に、地盤調査結果の一例を示す。トンネル側壁脇 (側壁より0.5m) と原地盤 (側壁より10m) でのボーリング調査結果 (N値) を比較すると、原地盤では-3.5m以深でN値32~50と比較的大きな値を示したのに対し、トンネル側壁脇では0~-8.0mまでN値2~8と低い値であった。トンネルの側壁背面の地盤はゆるんでいる可能性が考えられる。

#### 3.3 充填材料の選定実験

浸透性に優れた恒久グラウトは、ゆるみ層への充填実績は高いものの、CBと比較すると経済性に劣る。そこで、地盤条件を考慮した実験により、経済的に優れた充填材料の選定を行った。

実験では、土 (山砂・碎石) を敷き詰めた小型土槽 (ドラム缶200l) に、直径30cm分の材料を充填し、

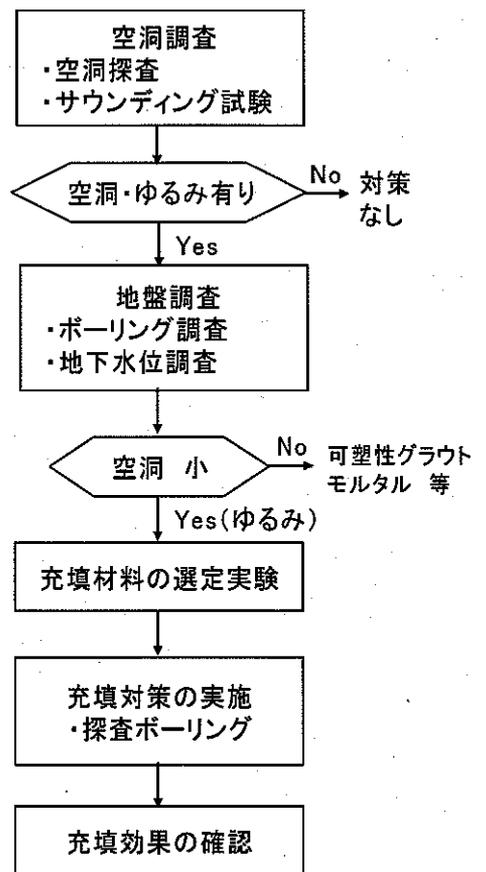


図1 充填対策フロー

表1 地盤調査結果の一例

| 調査項目                |                              | 調査結果             |          |         |
|---------------------|------------------------------|------------------|----------|---------|
| 試掘<br>ボーリング<br>標準貫入 | 原地盤                          | G.L. 0.0m~-3.5m  | N値 2~5   | ローム層    |
|                     |                              | G.L. 3.5m~-10.4m | N値 32~50 | 玉石混じり砂礫 |
|                     | 側壁より<br>0.5m付近               | G.L. 0.0m~-8.0m  | N値 2~8   | ローム層・砂礫 |
|                     |                              | G.L. 8.0m~-10.4m | N値 50    | 玉石混じり砂礫 |
| 地下水位                | G.L. -15.35m (トンネル躯体より-7m以深) |                  |          |         |

キーワード 地盤注入, 土層実験, 充填対策

連絡先 〒192-8502 東京都八王子市旭町1-8 JR東日本 八王子支社 TEL042-620-8564 E-mail: k-Kuribayashi@jreast.co.jp

表 2 充填材料の実験条件と結果

| Case | 充填材料              | 土層                     | 結果                                 |
|------|-------------------|------------------------|------------------------------------|
| ①    | CB                | 山砂<br>(Dr=40%)<br>≒ゆるみ | CBは、均等に浸透せず、弱点部と思われる箇所に集中する傾向があった。 |
| ②    | 恒久グラウト            |                        | 恒久グラウトは、比較的均等に浸透した。                |
| ③    | CB 先行注入<br>恒久グラウト |                        | 恒久グラウトが浸透した土は、Case②のそれに比べ強固であった。   |
| ④    | CB                | 碎石<br>≒空洞              | CBは、均等に浸透していた。                     |

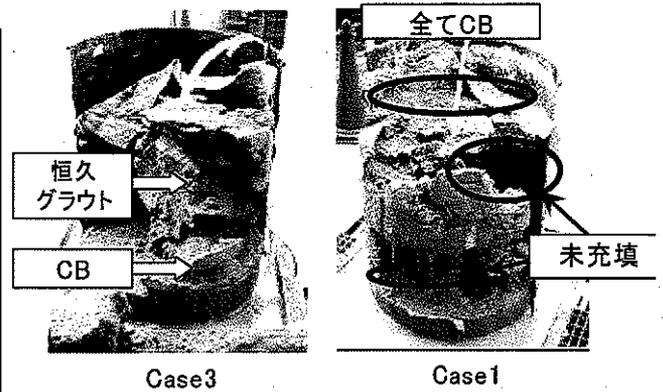


図 2 充填実験結果

その浸透具合を確認した。また、実験条件は、表 2 に示す充填材料とゆるみ度合い（土層）とした。充填材料は、ゆるみ層への浸透が可能な、CB と恒久グラウトとした。ゆるみ度合いは、ゆるみ層を模擬した相対密度 40% の山砂と、より大きなゆるみ度合い（空洞）を模擬した碎石を使用した。

実験結果を表 2 に示す。Case①～③では、ゆるみ層を模擬した山砂に対し充填を行った。CB の場合（Case ①）は、均等に浸透せずに未充填箇所が生じたが（図 2 の右図）、恒久グラウトの場合（Case②）は均等に浸透していくことが確認された。そこで、経済性を考慮し、CB を先行注入し、未充填箇所に恒久グラウトの充填を行った。図 2（左図）に示すように、良好な結果を得ることができた。比較的大きなゆるみ（空洞）を想定した碎石の場合（Case④）では、CB でも均等に充填されることが確認された。

これらの結果をもとに、充填材料は、比較的大きなゆるみ（空洞）が確認される箇所に対しては CB の充填を行い、ゆるみに対しては、CB を充填したのち恒久グラウトを充填する経済性に優れた工法を選定した。

4. 充填対策の実施

4.1 充填率

充填率は過去の実績など<sup>1)</sup>をもとに 55%（CB：35%、恒久グラウト 20%）とした。さらに、削孔注入により、削孔位置周辺の表層部にゆるみの発生が懸念されることから、急結 CB を 15% の充填を加えた。

4.2 充填度合い

地盤条件よって充填材料を選定するため、充填箇所それぞれの地盤条件の把握は必要である。そこで、削孔時に地盤状態の確認を把握すること可能なボーリングマシン（図 3）を使用した。ロータリーパーカッションに測定器が取り付けられているため、地盤条件を把握する目安となる送水圧・削孔スピード・削孔時間の測定が削孔時に可能である。充填前に探査した結果に比べ、充填後に探査した結果は、送水圧が高く、削孔スピードは遅く、削孔時間も長くなっていることから、確実に空洞に充填されていることが確認できた。



図 3 ボーリングマシン

4.3 増加強度

恒久グラウトの充填による強度増加について推定を行った。強度はシリカ含有量と相関<sup>2)</sup>があるとされている。シリカ含有量試験結果では、施工前が 4.8mg/g-dry に対し、施工後は 11.2mg/g-dry となっており、シリカ含有量増加量は 6.4mg/g-dry となる。そこで、強度とシリカ含有量の相関式より増加強度を算出すると、強度の増加 ( $qu = 5.24 \times 6.4 = 33.5 \text{ kN/m}^2$ ) が確認された。

5. まとめ

経済的に優れた効果的な充填対策を行うことができた。この結果を生かし、対策を進めるとともに、上部から施工できない箇所について、引続き検討を行い、確実な陥没対策を進めていきたい。

参考文献

- 1) 恒久グラウト注入工法, 山海堂, 米倉亮三・島田俊介・木下吉友, 2000年8月18日
- 2) 浸透固化処理工法技術マニュアル, 財団法人 沿岸開発技術研究センター, 2003年3月