

## 鉄道路線における路盤陥没の原因調査及び対策効果

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○森本 宏  
 東日本旅客鉄道(株) 小川 隆貴  
 東日本旅客鉄道(株) 中村 充

## 1. はじめに

栃木県小山市を中心とする当社の路線において火山灰台地上の素地区間であつて路盤陥没が多発した箇所が存在する。周辺環境として当該区間の下り線側には当社別路線が並走し、上り線側には一部水路が並行している区間がある。(写真-1・2) その延長は約 11km あり、1997 年～2007 年までに合計 39 回の路盤陥没が発生した。これまで長年に亘り、地盤調査・室内土質試験等を実施して路盤陥没発生メカニズムを推定し、路盤注入による対策工を 2005 年～2018 年にかけて実施してきた。対策工施工から 15 年以上が経過した区間もあることから、対策済み箇所において、2021 年よりあらためて注入効果の持続性を調査した結果及びこれまでの路盤陥没に対する取組みについて報告する。

## 2. 路盤陥没発生メカニズム

## (1) 地質と地盤調査結果

路盤陥没多発区間は、西側の思川、東側の鬼怒川にそれぞれ沿って発達した台地に位置する。この台地を構成する主な地質は、段丘礫層と関東ローム層（鹿沼土層や火山灰質粘土層）である。

路盤陥没発生位置と発生回数の関係を図-1 に示すが、図示のとおり A 駅以北の水路が並行している箇所において路盤陥没が多発した。図-2 は最も路盤陥没が多発した 83k570m 付近の地質断面図であり、上層から順に盛土(B)旧表土層（黒ぼく土層 F）、第 1 ローム層（Lm1）、鹿沼土層（Kp）、凝灰質粘土層（Lc）、第 2 ローム層（Lm2）が堆積している。鹿沼土層は赤城山噴火による降下軽石で構成されており、栃木県南部の当社路線沿線には 100cm 程度の層厚を成している。鹿沼土層の土質諸数値の特徴として、間隙比が他の層と比べて大きな値を示しており軌道下の鹿沼土層の細粒分が流出している可能性があることが推測される。

## (2) 地下水調査

路盤陥没の挙動には水の影響があると考え、地盤調査と併せて地下水関係の調査も実施した。当該箇所での断面図（図-2）より、夏期の地下水位は鹿沼土層より上にあり、軌道直下付近では年間で最大 1.2m 程度の水位変動があることも分かった。また、水頭差から上り線から下り線の方へ動水勾配が読み取れ、流速が早くなることが推測された。

## (3) 室内動的載荷試験

繰り返し列車荷重と地下水の介在によってロームと鹿沼土がどのような挙動を示すかの推定を目的として室内動的載荷試験を実施した。A ケース（冬期を模擬して上層のロームと下層の鹿沼土の境界に水位を与えたもの）

キーワード 路盤陥没 地下水位 水分浸透

連絡先 〒330-0853 埼玉県さいたま市大宮区錦町 397 番地 2 東日本旅客鉄道(株) 大宮土木技術センター TEL. 048-642-8502



写真-1 路盤陥没多発区間の全景



写真-2 路盤陥没の発生状況

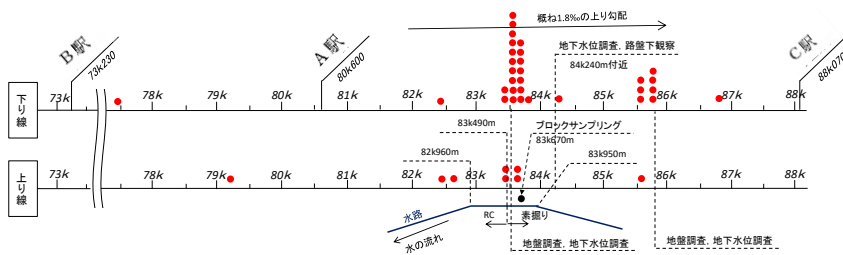


図-1 路盤陥没の発生回数と発生位置の関係

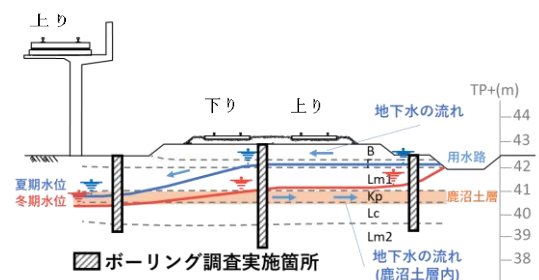


図-2 路盤陥没多発箇所の断面図(83k570m 付近)

・B ケース（夏期を模擬して動水勾配を与えたもの）の2 ケースとした。試験終了後の供試体を写真-3 に示す。A ケースでは载荷後まで変形は生じなかったが、B ケースでは下層の鹿沼土上面の粒子が潰れて破砕した。また、上層のロームが大きな体積変化をせず沈下したことから、動水勾配がある場合には鹿沼土を押し潰し、ロームが鹿沼土に食い込むような挙動をすることが分かった。

#### (4) 路盤陥没発生メカニズム推定

検証結果から、路盤陥没発生メカニズムを下記のように推測した。

① 間隙比が大きく脆弱な鹿沼土層が存在する区間において、鹿沼土層より地下水位が高いことや、素掘り構造の水路からの水が供給で水頭差が生じる。この水頭差によって生じた動水勾配により、流速が早くなり、パイピングが生じる。鹿沼土層の細粒分が抜けて空隙が大きくなり、ローム層の細粒分が流出する。

② 水位変動と列車荷重による過剰間隙水圧の繰り返し作用を受け、空隙が拡大して空洞に進展する。

③ 空洞に上層の土粒子が入り込み、進展する。

④ 後に軌道を支える道床バラストが落下に至る。

#### 3. 対策工

まず、中長期対策実施までの応急対策として強制振動工及び降雨規制（時雨量40mm、連続雨量160mm）を実施をして、中長期対策として第1次対策（2005年～2007年）では鋼矢板締切注入工法、第2・3次対策（2008年～2018年）では細粒分の逸散防止を図る目的で遮水壁を噴射注入し、空隙が多い線路直下にはCBを割裂注入する浅層攪拌注入工法を実施した。（図-4）

#### 4. 対策効果の検証

第2次対策区間の初期（2008年）に施工した箇所を対象にチェックボーリングによる対策効果持続検証を実施した（写真-4）。同箇所のCB注入の効果確認を目的とし、施工直後に採取したコアと比較すると、フェノールフタレイン溶液による着色が薄くなっているものの、鹿沼土層の上・下端に注入による脈状固形物が確認できた。

#### 5. 対策を不要とした区間の調査

中長期対策完了後、対策を不要とした区間を対象に予防保全として強制振動工を実施しているが、A 駅前後の3区間でH型鋼の挿入を確認した箇所とシルト層が部分的に窪んでいる箇所が一致した。今後は強制振動工に加えて、路盤への注入による対策を検討する。

#### 6. おわりに

路盤陥没が多発した箇所を対象として、地盤調査と地下水調査から路盤陥没発生メカニズムの推定を行った。そして、約13年間に及ぶ対策工と地下水位の低下により、路盤陥没の発生リスクを大きく低減させ、2007年以降は発生していない。今後も一部区間の継続的な維持管理も含め、より一層の安全安定輸送の確保に努めていく所存である。

#### 【参考文献】

- 1) 中村 宏ほか：東北本線間々田～小金井間の路盤陥没に関する調査・試験および挙動の考察、STRUCTURAL ENGINEERING DATA, No.42
- 2) 岩沢 一平ほか：東北本線間々田～小金井間の路盤陥没対策、STRUCTURAL ENGINEERING DATA, No.43
- 3) 水野 光一郎ほか：路盤・路床陥没箇所における地下水と土粒子の挙動に関する考察、地盤工学研究発表会、2008 年

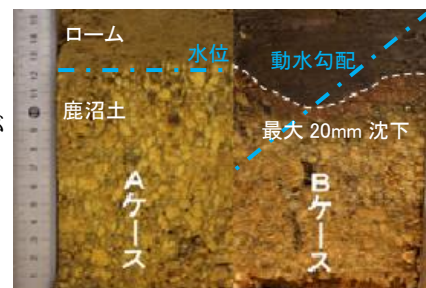


写真-3 試験終了後の供試体

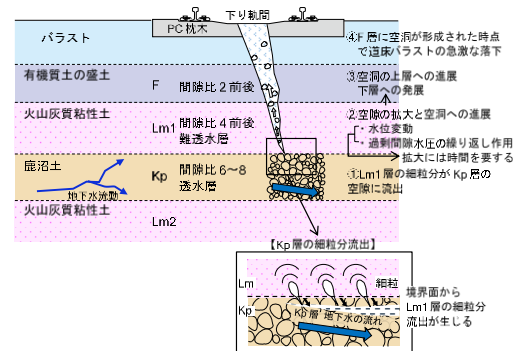


図-3 路盤陥没発生メカニズムの推定図

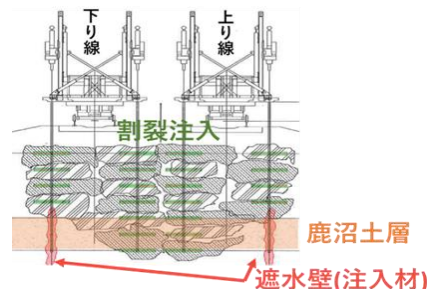


図-4 第2・3次対策（浅層攪拌注入工法）



写真-4 チェックボーリング結果