

土路盤上省力化軌道における軌道変状要因の評価と対策

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○柿崎 慎介

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 石井 浩一郎

1. はじめに

JR 東日本（以下、当社）で開発・導入した土路盤上に敷設する省力化軌道（TC 型省力化軌道：以下、TC 軌道）は、高い剛性とその省メンテナンス性により、首都圏における軌道状態の良化に大きく貢献している。

その一方、局所において軌道変状が繰り返し発生する現状がある。変状は「軟弱路盤」が要因とされるが、要因を定量的な指標により示すことは出来ていない。本稿では、今後敷設する土路盤上 TC 軌道における軌道変状発生リスクを低減することを目的に、軌道変状が発生する要因及び影響度の定量化へ取り組み、その対策案の提言を行った。

2. 想定される変状メカニズム

(1) 設計標準・設計思想に基づく仮説

鉄道構造物等設計標準・同解説（省力化軌道用土構造物）には、省力化軌道敷設時に確保すべき支持力として「路盤反力係数 K30 値」が示され、その下限値は 70MN/m^3 とされている。しかし、この下限値は新設線を想定しており、既設線に対して敷設を行う TC 軌道の設計思想では、K30 値は「経年の列車荷重によるバラストのめり込みによって表層路盤は 70MN/m^3 以上に改良されていると見なせる」¹⁾とされている。つまり、仮に K30 値が下限値を下回っているとすれば、軌道変状の要因となる可能性があると言える。

(2) 既往研究に基づくメカニズム

既往研究²⁾では軌道変状発生メカニズムとして以下プロセスが示されている（概念図：図1）。

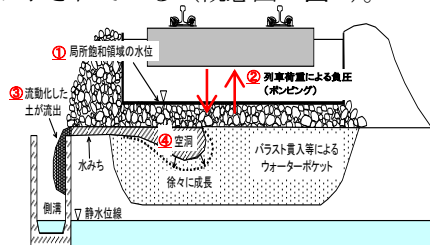


図1 軌道変状メカニズム

- ① 地下水位上昇による路盤面の滞水が起因となり、
- ② 列車の繰返し荷重によって路盤中水圧変動が生じ、
- ③ 路盤表面の土の骨格構造が破壊され泥土化し、泥土が流出することにより水みちが発生し、
- ④ 水みちが空洞へと成長し、軌道変状となる。

地下水位（路盤面の滞水）及び、路盤土の物性（泥土・流土化のしやすさ）が影響するとされており、これら要因要素を定量的に表し、現状で発生している軌道変状の傾向との相関を示すことが出来れば、これに基づく対策を検討することが可能であると考えた。

3. 要因項目の調査

前述の想定メカニズムを基に、軌道変状要因項目の調査として以下の調査（対象16箇所）を行った。

(1) 路盤反力係数（K30 値）の測定

舗装道の健全度診断や盛土の締固め管理等に用いられる落下重錘式のたわみ測定装置（小型 FWD）を活用し、K30 値の測定を行った。

(2) 路盤土の物性に関する調査

TC 軌道の直近部において路盤土試料のサンプリングを行い、各種試験により物性値の把握を行った。具体的な試験は、密度試験、粒度試験、含水比試験、液性限界・塑性限界試験、透水試験を行っている。

(3) 地下水位に関する調査

地下水位の影響をより正確に把握するため、リアルタイムに水位変化を把握可能である絶対圧水位計「S&DL mini」（株式会社 応用地質）を用いて測定を行った。

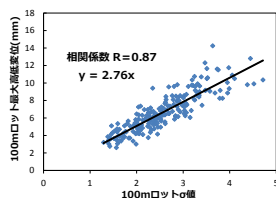
4. 要因要素と軌道変状傾向の相関分析結果

軌道変状傾向を表す指標には、「高低変位 100m ロット σ 値の年間進み」を用いた。今回の調査対象線区ではロット内最大変位が σ の 2.76 倍で推定可能であり（図2）、この回帰式及び、補修対象となる変位を高低目標値 15mm、敷設時の仕上がり σ 値を 1.26mm（90%が高低変位 $\pm 2\text{mm}$ に収まるときの σ 値）、補修周期を当初の設計思想 10 年に 1 度を「健全」と仮定を行い、「年間 σ 値進み (mm)」による各ロットの健全・非健全の境界値を以下により定義した。

$$\text{健全箇所の年間 } \sigma \text{ 値進み} < ((15 / 2.76) - 1.26) / 10 \\ < 0.42\text{mm/年}$$

調査を行った 16 箇所における要因調査結果と軌道変状傾向との相関分析の結果（上位 3 項目）を表 1 に示す。

キーワード 省力化軌道、土のコンシステンシー限界、軟弱路盤、噴泥指数 A' 、塑性指数 I_p 、地下水位
連絡先 〒114-8550 東京都北区東田端 2-20-68 8F TEL 03-5692-6136

図2 最大変位と σ 値の関係(N=178)

結果から、降雨後の地下水位の高さと軌道変状傾向に相関性があるということが言える。当社ではTC 軌道敷設前に排水設備の整備を検討・実施しており、この対策は妥当性があると言える。一方、仮説を立てた支持力の不足や土の物性値等とは相関性がないという結果となった。

ここで、「降雨後の地下水位の高さ」による影響度が大きいという結果から、地下水位が高くなりやすい切取区間、高くなりにくい盛土区間によって傾向が異なるという推測のもと、調査箇所を土構造別に分類し、相関分析を行った。その結果を表2、3に示す。

この結果から、TC 軌道の軌道変状要因は画一的に表すことは出来ないが、盛土・切取の土構造の分類により影響度の大きい要因を抽出できることが分かった。

表2 相関分析結果(盛土)

順	要因項目	相関係数
①	塑性指数 I_p	0.94
②	液性限界 W_L	0.63
③	含水比 W_n	0.51

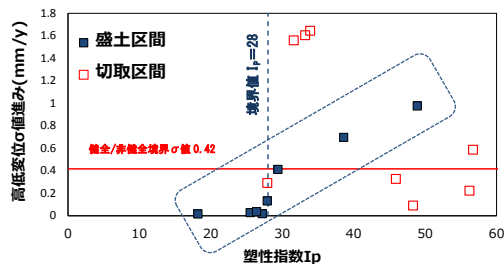
表3 相関分析結果(切取)

順	要因項目	相関係数
①	噴泥指数 A'	0.97
②	透水係数 k	-0.83
③	塑性指数 I_p	-0.59

5. 考察

(1) 盛土区間における分析結果に対する考察

塑性指数 I_p の相関図を図3に示す。健全・非健全の境界値と定義した年間 σ 値進み0.42を考慮すると、塑性指数 $I_p=28$ が健全・非健全の境界となる。塑性指数 I_p は一般的な性質として、大きい値を取るほど、強度低下が著しく、小さい値ほど泥土化が生じやすいとされている。今回の調査結果からは、盛土区間では強度低下の性質が問題として顕在化していると考えられる。これは前述した既往研究のメカニズムとは見解が異なる結果である。

図3 σ 値進みと塑性指数 I_p の関係

(2) 切取区間における分析結果に対する考察

噴泥指数 A' の相関図を図4に示す。盛土区間と同様に年間 σ 値進み0.42を境界値とすると、噴泥指数 $A'=28$ が

健全・非健全の境界となる。噴泥指数 A' は土の塑性指数 I_p と液性限界 W_L により定まる指数で、大きい値となるほど、泥土化が生じやすい。従って、この相関関係は既往研究のメカニズムとよく合致する。また、泥土化・流出による空洞発生の確認のため、3次元レーダ空洞探査機による調査を実施した。結果、実際に空洞の発生を認め、メカニズムとの整合性が高いと言える。

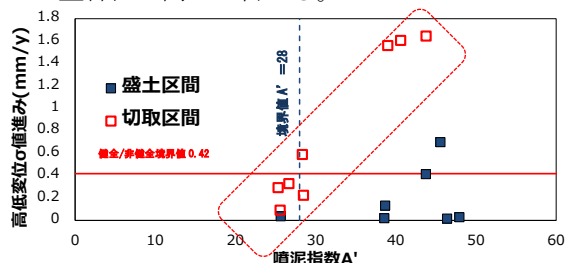
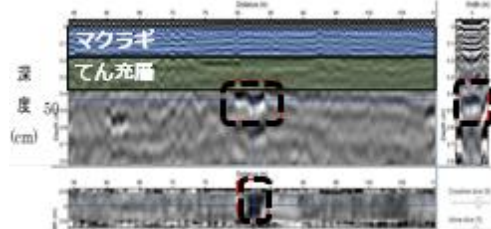
図4 σ 値進みと噴泥指数 A' の関係

図5 空洞探査結果

6. 今後の対策案

塑性指数 I_p の低下策には、土の安定処理（セメント・石灰等）が一般的に知られる。塑性指数 I_p が要因である盛土では、効果が見込むことが出来る。噴泥指数 A' 対策の要件は、同様に安定化処理が考えられるが、理論上、土に粘性を与える対策が望ましいと考えられる。塑性指数 I_p 、噴泥指数 A' いずれへの施工方法の具体化は出来ていないが、求められる要件が定まっていることから、検証余地があり、今後の課題となる。

7. まとめ

- (1) TC 軌道における軌道変状の発生要因として、盛土区間は塑性指数 I_p 、切取区間は噴泥指数 A' の影響度が大きいことを示唆した。
- (2) 非健全箇所が生じうる定量的指標（境界値）として、盛土区間では塑性指数 $I_p=28$ 、切取区間では噴泥指数 $A'=28$ を提案した。
- (3) 従来の地下水位対策に加え、盛土では塑性指数 I_p 、切取では噴泥指数 A' への対策により、軌道変状リスクを低減できる可能性を示唆した。

参考文献

- 1) 堀 光雄 (2001) : 営業線土路盤上に適用する省力化軌道の開発
- 2) 村本 勝巳、関根 悦男 (2006) : 鉄道営業線用省力化軌道下の粘性土路盤変状メカニズムとその防止対策
- 3) 村本 勝巳 (2008) : 粘性土路盤上に敷設された既設線省力化軌道の変状メカニズムと変状対策に関する研究