

講演概要 路盤陥没等発生時の取扱いに関する判断基準等の考え方

柏木 将幸¹・高橋 政善²・島津 優³
堀 雄一郎⁴・内藤 孝和⁵・熊倉 孝雄⁶

^{1,2,4}正会員 JR東日本 構造技術センター（〒151-8512 東京都渋谷区代々木2丁目2番2号JR新宿ビル4階）

E-mail: masa-kashiwagi@jreast.co.jp

³正会員 JR東日本コンサルタンツ株式会社 ICT事業本部

⁵正会員 JR東日本 水戸支社 設備部設備土木課

⁶正会員 JR東日本 東京支社 施設部保線課

これまでJR東日本では、路盤陥没等発生時にまくらぎ下面が一部でも見える状態であれば運転中止する対応としていた。そのため、列車の走行に影響のない陥没にも関わらず長時間運転中止した事象が多発していた。そこで、試験や解析等を実施し、バラスト軌道での路盤陥没等発生時における取扱いに関する判断基準等の考え方を定めた。また、TC型省力化軌道¹⁾についても試験等を行い、同様に考え方を定めた。

Key Words: cave-in of roadbed, ballasted track, TC-type low maintenance tracks, track twist, operation control

1. はじめに

これまでJR東日本では、路盤陥没等発生時は、その規模や発生場所に応じて運転規制を行っていたが、現行の取扱いは経験的に決められたものであり、安定輸送に影響する場合があった。本稿では、試験等を行い判断基準の考え方を定めた。

2. 過去の路盤陥没事例分析

これまでの当社における路盤陥没発生時の取扱いでは、「陥没の直径が1m以上」または「まくらぎ下が見える」場合については、運転中止としていた。

2008年度～2015年度のJR東日本管内において発生した路盤陥没等172事象について分析すると、全体の79%が

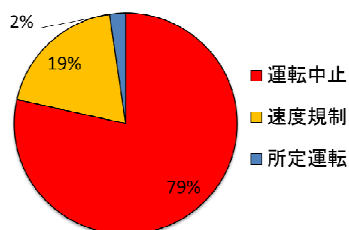


図-1 過去の路盤陥没事象

運転中止の対応であった（図-1）。そのうち「陥没の直径が1m未満」と小さいものの「まくらぎ下面が見える」ことにより運転中止となったものは59%であり、これまでの取扱いに従い運転中止となった事例には比較的小規模な陥没（図-2）が多く含まれていた。

3. バラスト軌道における実物大軌道による荷重載荷試験

陥没の大きさと列車走行による軌道変位の関係を把握するため、試験軌道においてまくらぎ下のバラストを取り除くことで陥没を再現し、その箇所を実物大軌道試験装置で定点載荷した際の軌道変位量を取得した。



図-2 運転中止となった路盤陥没の例

(1) 試験条件

a) 測定項目/载荷位置

陥没した際に懸念される軌道変位はレール沈下量であるため、载荷する左右レールの沈下量を合計6箇所で測定した(図-3)。载荷位置は沈下量が最も大きくなると考えられる陥没再現箇所の中央の左右2点とした。

b) 载荷荷重

载荷荷重は静的荷重とし貨物機関車輪重($P_0=83\text{kN}$)を基本として速度衝撃率 i ($i=1+0.5V/100$: 継目軌道)²⁾を加算した(最大速度130km/hを想定し、最大荷重136kN)。

c) 試験軌道の構造

試験軌道は、本線の一般的な有道床軌道として下記構造とした。

- ・ レール種別: 50Nレール
- ・ まくらぎ種別: PR5H型
- ・ まくらぎ間隔: 39本/25m

d) 陥没再現範囲

線路長手方向にはまくらぎ2本~4本の範囲、線路直角方向には25%, 50%, 75%, 100%の範囲で道床を除去し、レール最大沈下量(高低)と左右レールの沈下量差(水準)を測定した(図-4)。

e) その他

今回の試験にあたっては、試験軌道に路盤部を再現できないため、路盤が健全であり支持力が保たれているとの前提で試験を行った。

(2) 試験結果

先述の条件で線路方向と直角方向のバラスト除去率を変化させて各試験を実施し、レール沈下量を測定した。なお、同一ケースで2回の試験を実施し、それぞれの測

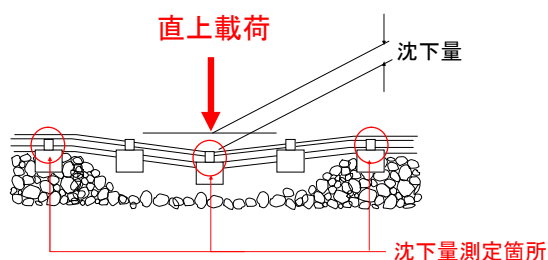


図-3 軌道沈下量の測定箇所(左右計6箇所)

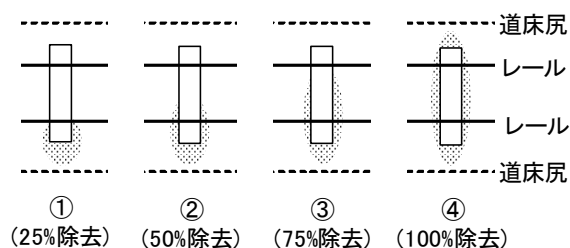


図-4 線路直角方向の陥没再現範囲

定の最大値で評価した。

a) 試験まとめ

試験結果は以下のとおりであるが、ここでは、最も変位量の大きかったまくらぎ4本分の陥没時について示す(図-5, 図-6)。

- ・ 道床除去率25%, 50%, 75%においては、レール最大沈下量と左右レール沈下量差が比例的関係に増えていく。
- ・ 道床除去率100%では左右レールが同時に沈下するため、75%を超えた沈下量の増加は見られない。また、道床除去率100%では沈下量差は小さい。

b) 試験結果の考察

仮に路盤が健全で崩れる危険性がなく、かつ既存の軌道変位がないという条件で、試験結果を当社の著大軌道変位発生時の取扱いに準じて評価すると、まくらぎ2本~3本分の陥没では運転規制に至らず、まくらぎ4本分では想定速度130km/hで運転中止に至ることが分かった(図-5, 図-6)。

4. バラスト軌道における許容される陥没の大きさの検討

3章の試験結果をもとに、平面線形ごとに許容される陥没の大きさ(まくらぎ本数)の検討を行った。図-7に陥没まくらぎ本数とレール沈下量の関係を示す。

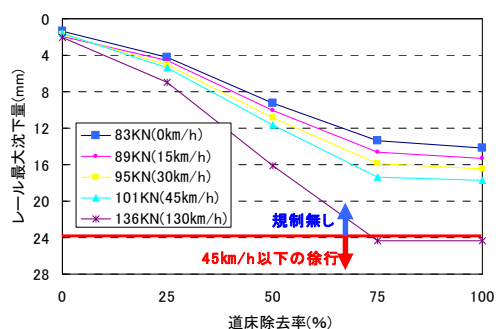


図-5 まくらぎ4本分の陥没時のレール最大沈下量(高低)と運転規制の関係

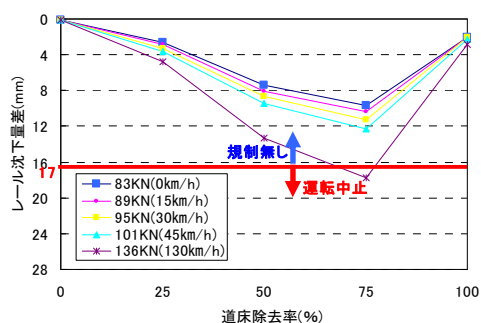


図-6 まくらぎ4本分の陥没時のレール沈下量差(水準)と運転規制の関係

(1) 直線の場合

試験結果では、まくらぎ3本までの陥没であれば走行可能との結果であるため、許容される陥没の大きさは、まくらぎ3本までとする（図-7）。

(2) 緩和曲線の場合

緩和曲線では、カントの通減のため構造的平面性変位が存在する。そこで、許容される陥没の大きさを検討するため、試験結果に構造的平面性変位を考慮した。

緩和曲線中の構造的平面性変位の最大値は、最大軸距4,570mm、最小カント通減率1/400の場合11.4mmとなる。

ここで、平面性変位による運転規中止値からカントの通減量（緩和曲線中の構造的平面性変位の最大値）を引くと、 $17\text{mm}-11.4\text{mm}=5.6\text{mm}$ となる。

本試験において、水準変位の最大値が5.6mm以下となるのは、まくらぎ2本までの陥没（5.5mm）であった。これより、本試験によるまくらぎ2本までの陥没での水準変位の最大値（5.5mm）＜カント通減量を除いた平面性変位の運転中止値（5.6mm）となり、まくらぎ2本ま

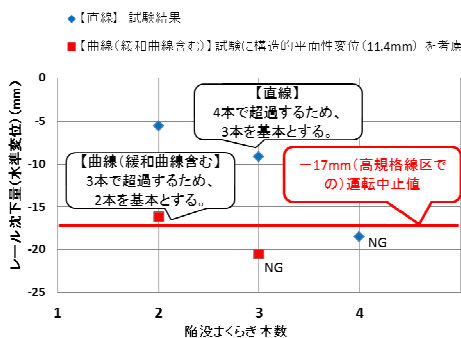


図-7 陥没まくらぎ本数とレール沈下量の関係

表-1 運転中止としない陥没範囲のまくらぎ本数

線形条件	直線	曲線（緩和曲線含む）
基本となるまくらぎ本数	3本	2本
初期軌道変位に対する余裕を考慮	2本	1本
脱線防止ガード設置の場合	3本	2本

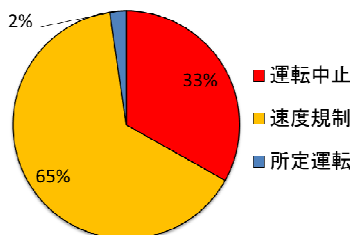


図-8 今回検討した陥没発生時の判断基準を適用した場合のシミュレーション

でなら緩和曲線中であっても運転中止値に達しない。以上より、緩和曲線において許容される陥没の大きさは、まくらぎ2本までとする（図-7）。

(3) 円曲線の場合

円曲線については構造的平面性変位がないため、許容される平面性変位は直線と同等である。しかし、現場において緩和曲線のみ取り扱いが異なると運用が煩雑となる可能性がある。そこで、取扱い誤り防止のため、緩和曲線の場合の基準値を円曲線にも適用することとした。

(4) バラスト軌道における判断基準検討

以上の検討結果より、許容される陥没の大きさ（基本となるまくらぎ本数）は、直線では3本、曲線（緩和曲線含む）では2本とした。

(1)～(3)で求めた許容される陥没の大きさに、初期軌道変位に対する余裕と保安設備である脱線防止ガード敷設の有無を考慮し、運転中止としない陥没範囲のまくらぎ本数を決定した。

- ・初期軌道変位に対する余裕を考慮し、基本となるまくらぎ本数から1本減らした本数を運転中止としない陥没範囲のまくらぎ本数とする。

- ・上記に対して、脱線防止ガードが設置されている場合、運転中止としない陥没範囲のまくらぎ本数を1本増やす。上記について表-1に示す。

(5) バラスト軌道における判断基準のまとめ

(4)において検討した陥没発生時の判断基準を用いて、過去の陥没事象を再判定した結果を図-8に示す。

これまでは全体の79%が運転中止となっていた（図-1）のに対し、今回検討した判断基準を適用すると運転中止は全体の33%に削減される。

5. TC型省力化軌道における許容される陥没の大きさの検討

TC型省力化軌道は、バラスト軌道をセメント系でん充材で固めた直結系軌道である。当社の首都圏線区において敷設が進められているが、このTC型省力化軌道において路盤陥没等が発生した場合の運転取扱いが暫定的なものであった。そこで、TC型省力化軌道を対象として、路盤空洞の規模に対して列車走行時のでん充層に発生する応力とレール変位を数値シミュレーションで算出し、さらに実物大軌道による載荷試験により実測することで列車走行安全性に関する評価を行った。この結果に基づき、TC型省力化軌道の場合の陥没等発生時の判断基準の考え方を定めた。

(1) TC型省力化軌道に関する研究³⁾

a) 数値シミュレーションによる条件

TC型省力化軌道（電車線区用）において、てん充層下部に空洞が発生したことを想定して解析モデルを構築し、てん充層内に発生するひずみとレール変位量を算出した。

b) 空洞を模擬した実物大軌道試験

試験体中央部の左右レールに徐々に荷重を負荷し、てん充層に発生するひずみとレールおよびてん充層の変位を測定した。試験終了後、空洞を広げた条件で同様に荷重載荷試験を実施した。

c) 試験結果

TC型省力化軌道下に空洞が発生した場合、てん充層に発生する応力は空洞長さ1500mm程度まではてん充層の使用限界（ 1.1N/mm^2 ）以内（図-9）であるが、それ以上の場合にはてん充層に微小なクラックが発生し、レール変位も2mm以上に増加する結果となった。しかし、レール変位は空洞長さが2000mmでも4mm程度にとどまり、列車の走行安全性に直ちに影響を及ぼす値ではない結果となった（図-10）。

(2) TC型省力化軌道における判断基準検討

a) 陥没範囲が2mを超える場合は「運転中止」とする

てん充層の健全性に影響を与える陥没規模である2mを超える場合は、てん充層の破壊の可能性があるため「運転中止」とする。

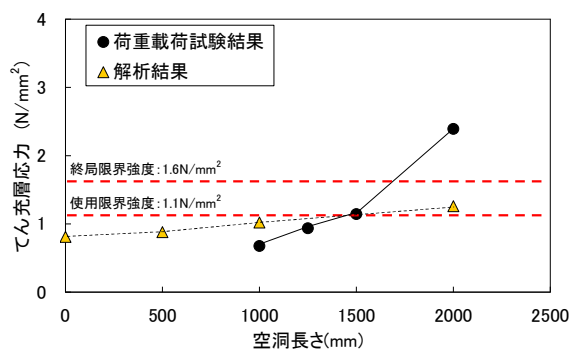


図-9 てん充層の発生応力の測定結果（ひずみ計②）

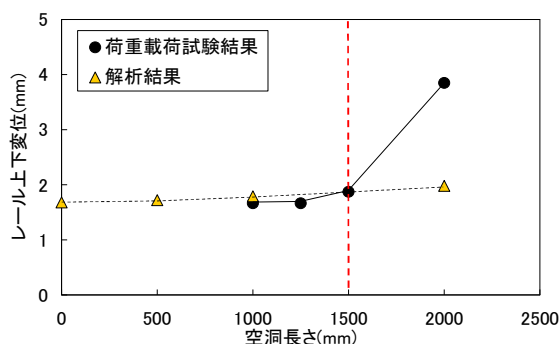


図-10 レール変位の測定結果

b) 陥没範囲が1m～2mの場合は、「速度規制」とする

陥没範囲が1m～2mの場合は、走行安全性に影響はないものの、てん充層にクラックが生じる可能性があるため安全率を考慮して「速度規制」とする。

c) 陥没範囲が0～1m以内の場合は「通常運転・監視」とする

陥没範囲が0～1m以内であれば、列車の走行安全性に影響を及ぼさないため「通常運転・監視」とする。

6. おわりに

最後に本検討結果の適用事例を示す。2017年9月に、直線区間の道床内において直径800mm、深さ400mmの陥没が発生した（図-11）。まくらぎ下が見えているため、これまでは運転中止となるところ、本検討結果を適用し、列車を徐行で通過（動揺等異常なし）させ、輸送障害を最小限にとどめている。

今後も本検討結果の適用事例を分析し、必要により路盤陥没等発生時の取扱いの見直しを検討することで、さらなる安全・安定輸送の確保に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 新版軌道材料編集委員会：新版軌道材料，pp.450-454，株式会社鉄道現業社，2011。
- 2) 佐藤 吉彦他：線路工学，pp.205，社団法人 日本鉄道施設協会，1987。
- 3) 熊倉 孝雄，堀 雄一郎：路盤空洞発生時における既設線土路盤省力化軌道の評価，鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 18巻，pp.99-100，2011。

(2018.4.6 受付)

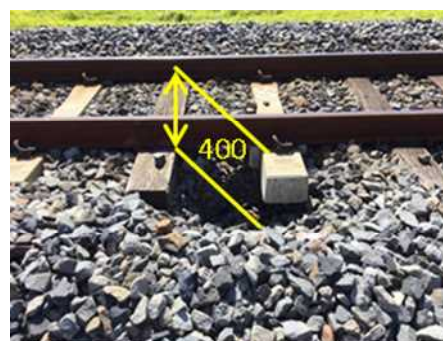


図-11 本検討結果の適用により徐行措置となった陥没