

常時および地震時におけるバラスト軌道の変形挙動解析

(財) 鉄道総研 正会員 ○浅沼潔 同 正会員 関根悦夫 同 正会員 片岡宏夫 同 正会員 曾我部正道

1. はじめに

バラスト軌道に対する地震時の脱線・逸脱防止対策が鋭意検討・実施されている一方で、これらの対策が講じられるバラスト軌道自体の変形挙動については不明な点が多いのが現状である。そこで、本研究では、直線ロングレール区間の地盤上のバラスト軌道を対象として、はじめに、常時の温度変化に対する座屈安定性について静的解析により検討を行った。次に、本解析結果を初期条件とした地震時動的解析により、バラスト軌道の変形挙動について検討を行った。

2. 解析モデルおよび解析方法

バラスト軌道の解析モデルを図-1に、解析条件を表-1に示す。解析モデルの軌道延長は300mとした。道床横抵抗力は図-2(a)の特性を有する非線形ばね要素でモデル化した。地震時の道床横抵抗力特性は、同図(b)に示すように、加振開始時から地表面入力加速度最大時まで最終道床横抵抗力を所定の値に線形減少させることによりモデル化した。軌道変位(通り)は、新幹線軌道工事標準示方書(営業線)及び同解説¹⁾に示される、直ちに補修が必要とされる値4mm(静的値)を半波長10mの半正弦波

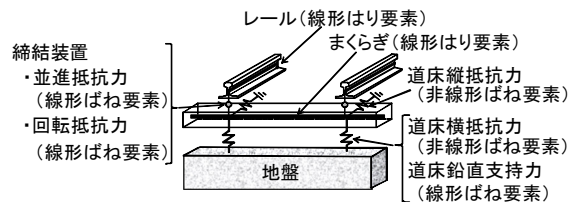
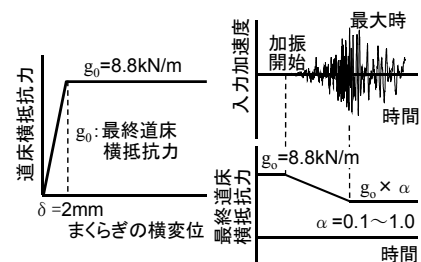


図-1 バラスト軌道のモデル化

表-1 解析条件

線形	直線(ロングレール区間)
レール種別	60kg レール
まくらぎ種類	ポストテンション式PCまくらぎ(4H)
最終道床横抵抗力	$g_0=8.8\text{kN/m}$
温度変化量	常時解析: $0\sim 210^\circ\text{C}$ 地震時解析: 40°C

曲線によりモデル化し、解析モデル中央に設定した。最終道床横抵抗力(g_0)は、一般区間に対して示される必要最小値8.8kN/mを基準として表-1に示す値に変化させた。動的解析に用いる入力地震動は、G3地盤(普通地盤)の地表面設計地震動²⁾とし、L1地震動(最大加速度188gal)、L2地震動スペクトルI(最大加速度446gal、以下、L2S I地震動)およびL2地震動スペクトルII(最大加速度975gal、以下、L2S II地震動)を用いた。数値解析は既開発の軌道座屈安定性解析ツール³⁾を用いて行った。静的解析は、座屈点以降の挙動を追うために弧長増分法により、動的解析は、静的解析結果を初期条件として、解析モデルの線路直角方向に地震動を入力して直接積分法(Newmark β 法)による時刻歴動的解析法により行った。



(a) 常時 (b) 地震時

図-2 道床横抵抗力のモデル化

3. 解析結果

3.1 常時におけるバラスト軌道の座屈安定性

レールの温度変化量と線路直角方向水平変位(以下、レール横変位)の関係を図-3に示す。一般に、レール温度変化量が最低座屈強さに相当する温度変化量($t_{\min}$)以下であれば座屈は生じないが、座屈発生温度($t_{\max}$)に達すると飛び移り座屈を生じる。実際の軌道の場合は、敷設条件に加わる外乱によって $t_{\min}\sim t_{\max}$ 間で座屈は生じる。同図から、最終道床横抵抗力が2.6kN/m($=g_0\times 0.3$)を下回ると $t_{\min}$ が 40°C (レール設定温度の条件から想定される最大温度変化量⁴⁾)を下回るため、外乱によって座屈を生じる場合があると言える。

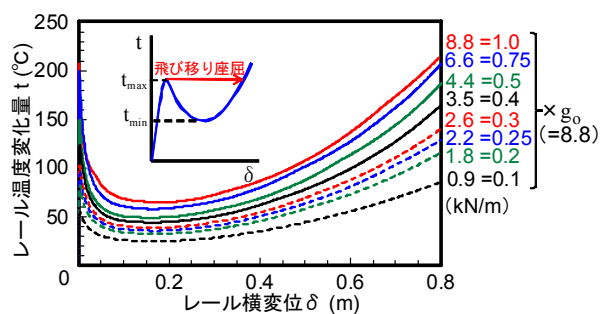


図-3 レールの温度変化量と横変位の関係

3.2 地震時におけるバラスト軌道の変形挙動

L2S II地震動を例として、レール横変位の時刻歴変化を図-4に示す(入力地震動の時刻歴変化を併記)。同キーワード バラスト軌道、道床横抵抗力、座屈、残留変位、地震、温度変化

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 構造力学 TEL:042-573-7290

図から分かるように、最終道床横抵抗力が 2.2kN/m ($=g_0 \times 0.25$) 以下になると、入力加速度が最大となる時点付近でレール横変位は大きく増加する傾向を示す。

L2S II 地震動、最終道床横抵抗力 $2.2, 1.8\text{kN/m}$ ($=g_0 \times 0.2$) の場合を例として、加振後のレール横変位の分布を図-5 に示す。同図より、最終道床横抵抗力が 1.8kN/m の場合はモデル中央でピーク値 220mm に達する波形を示すこと、 0.4kN/m の差であるが 2.2kN/m の場合は 1.8kN/m のそれに比べてレール横変位は小さい値に収まることが分かる。

各地震動に対する最終道床横抵抗力と加振後のレール横変位の関係を図-6 に示す（無加振の結果を併記）。L1 地震動および L2 S I 地震動の場合は、最終道床横抵抗力が 1.8kN/m 程度を下回ると、また、L2S II 地震動の場合は、 2.6kN/m ($g_0 \times 0.3$) を下回るとレール横変位が急増することが分かる。

L2 S II 地震動の加速度振幅を線形に変化させた地震波で加振した場合の地表面最大入力加速度と加振後のレール横変位の関係を図-7 に示す。同図から、最終道床横抵抗力が 3.5kN/m ($g_0 \times 0.4$) 以上であれば地表面最大入力加速度が 8m/s^2 以上に達してもレール横変位は 1mm 以下の小さい値に収まること、最終道床横抵抗力が 2.6kN/m 程度以下になると最大地表面入力加速度の大きさによってレール横変位は大きく増加することが分かる。これは、前述の静的解析で得られた最終道床横抵抗力 3.5kN/m に対する $t_{\min}$ ($=43.6^\circ\text{C}$) は温度変化量 40°C を上回るため地震動を受けてもレール横変位に大きな変化は生じないが、最終道床横抵抗力 2.6kN/m に対する $t_{\min}$ (38.2°C) は 40°C を下回るため地震動の大きさによってレール横変位は急増すると考えられる。

以上のように、最終道床横抵抗力等の条件に基づいて静的解析で求められる $t_{\min}$ と地震時に想定される道床横抵抗力の低下の程度を基に、バラスト軌道が地震時に大きな残留変位を生じるか否かを概ね評価できるものと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた主な結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 本解析条件の範囲では、常時の温度変化量 40°C に対して最終道床横抵抗力が 2.6kN/m 程度まで低下すると敷設条件に加わる外乱によって座屈を生じる場合がある。
- (2) 最終道床横抵抗力が 3.5kN/m 程度以上確保されていれば地表面最大入力加速度が 8m/s^2 以上に達してもレール横変位は小さい値に収まる。
- (3) 静的解析で求められる最低座屈強さに相当する温度変化量と地震時に想定される道床横抵抗力の低下の程度を基に、バラスト軌道が地震時に大きな残留変位を生じるか否かを概ね評価できる。

5. おわりに

今後は、バラスト軌道が車両から受ける地震時横荷重の影響について検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 日本鉄道施設協会：新幹線軌道工事標準示方書（営業線）及び同解説，1995.8
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），1999.10
- 3) 浅沼潔他：バラスト・ラダー軌道の座屈安定性に関する解析的検討，鉄道総研報告，Vol.20，No.11，pp.41-46，1996.11
- 4) 佐藤吉彦他：軌道の地震時における座屈安定性の検討－新幹線の場合－，鉄道技術研究報告，No.1334（施設編第584号），1987.1

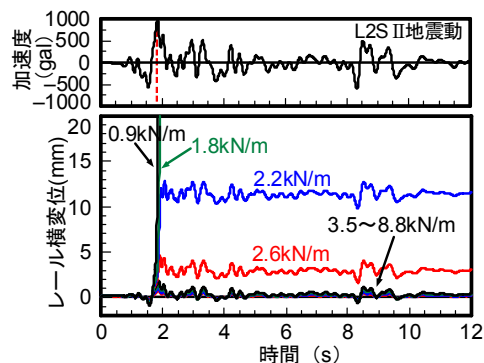


図-4 レール横変位の時刻歴変化

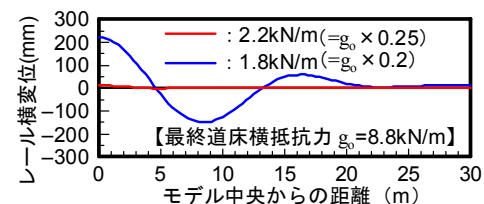


図-5 加振後のレール横変位の分布

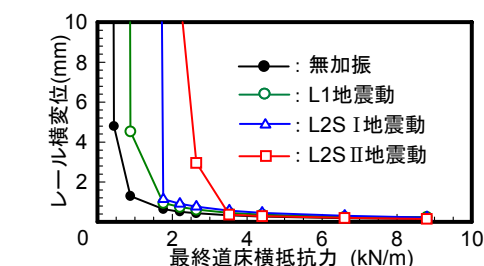


図-6 最終道床横抵抗力とレール横変位の関係

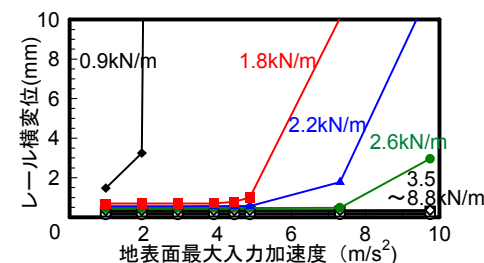


図-7 地表面最大入力加速度とレール横変位の関係