

道床横抵抗力に関する一考察

JR 西日本 正会員 海老田 佳孝

1. はじめに

列車脱線に繋がりがねないレール張り出しを発生させないように線路を管理・保守することは、保線に携わる者の重要な業務の一つである。酷暑期の万が一のレール張り出しに備え、効率よく、適切なレール張り出し警備(夏期特別巡回)を実施することは、極めて重要と言える。しかしながら、レール張り出し警備については、場所(スポット)毎に徒歩巡回を実施しているため、多大な人工を要しながらその効果が不明確であり、しかも迅速性に欠けるという問題もある。そこで今回、各所で実施した道床横抵抗力測定結果から考えられる、より効率的な張り出し警備について考察する。

2. 道床横抵抗力試験結果

近年の地球温暖化に伴い、夏期におけるレール温度も年々上昇傾向にある。レール張り出しを防止するため、特にロングレール区間においては大量の道床散布を実施し、十分な道床肩幅や余盛をつくっている。そこでその効果と実態を把握するため、当社管内各所でまくらぎ引き抜き試験を実施した。当社管内のロングレール区間の一般的な道床横抵抗力を把握することを前提に実施したため、道床肩幅400mm、道床余盛100mm、PCまくらぎ区間からランダムに測定箇所を選出した。その結果を図-1

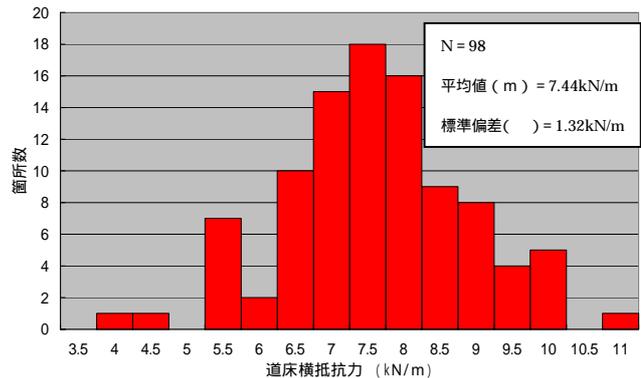


図-1 道床横抵抗力頻度分布図

に示す。この結果は、一本引き道床横抵抗力試験の換算値より算出してあり、その70%を実効値として計上している。道床横抵抗力は7.5kN/mを中心に分布しており、60kレールで管理すべき道床横抵抗力5.0kN/mを大幅に上回っていることがわかる。平均値(m)は7.44kN/m、標準偏差(σ)は1.32kN/mであった。これらの測定結果は、ある程度の測定誤差を含んでいると考えられるものの、従来の安全度判定に用いる道床横抵抗力よりもかなり大きな値といえる。ここで所定の道床横抵抗力5.0kN/m(60kレール)における道床横抵抗力比(i)を1.0とした時、試験結果平均値7.44kN/mにおける道床横抵抗力比(i)は1.48となる。また平均値(m) - 標準偏差(σ) = 6.12kN/mにおける道床横抵抗力(i)は1.22となり、道床横抵抗力比(i)についてもこれまでの管理値よりも大きいことがわかる。

3. LR区間における検討

ロングレール区間では安全度(σ)が1.0以上1.2未満箇所においては、レール温度50(一律)が張り出し警備発令温度となっている。しかしながら、安全度(σ)と許容レール温度(T_a)の関係は、式-1、式-2を用いて改めてより細かく算出した結果、換算付加温度(T)および道床横抵抗力比(i)からさらに細かく定めることができる。(表-1)

$$\text{安全度}(\sigma) = 1.2 \cdot i^{0.535} \cdot 1 / (1 + T / t_{N_{\max}}) \cdots (\text{式-1})$$

$$\text{許容レール温度}(T_a) = T_{\max} - (1 - \sigma / 1.2) \cdot (T + t_{N_{\max}}) \cdots (\text{式-2})$$

i: 道床横抵抗力比 T_{max}: 予想最高レール温度[] T: 換算付加温度[]

t_{N_{max}}: 35 設定温度はT_{max}よりこれ以上低くないとする温度[]とする

例えば表-1より、道床横抵抗力比(i) = 1.0の時(60kレール所定の時)安全度(σ)が1.00~1.20における許容レール温度(T_a)は53.0~60.0の幅があるが、現行は一律でレール温度50で張り出し警備を発令している。このとき、安全度(σ)が1.10の箇所は57.0で発令しても現行と同様の安全度を保つことができるといえる。また、2.で述べたとおり、道床横抵抗力測定結果の平均値(m) - 標準偏差(σ)

キーワード 道床横抵抗力、張り出し警備、有限要素法解析

連絡先 〒530-8341 大阪府北区芝田2-4-24 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 TEL 06-6375-8960

における道床横抵抗力(i)は1.22(1.2)を用いると、あくまで机上レベルではあるが、現行管理の道床横抵抗力(i) = 1.0における安全度()が1.00の箇所は表-1より56.6 発令、安全度()が1.09(1.10)以上の箇所は60 発令とすることも可能ではないかと考えられる。

4. 定尺区間における検討

LR 区間と同様に、定尺区間においても道床横抵抗力を把握するため、代表箇所として小浜線(道床肩幅 400mm、木まくらぎ区間)において引き抜き試験を実施した。その結果、道床横抵抗力は5.6kN/mを中心に分布しており、遊間管理上で区分する諸条件の道床横抵抗力2kN/m~4kN/mを上回っていることが分かった。平均値(m)は5.67kN/m、標準偏差()は1.41kN/mであった。(いずれも70%実効値により評価)

現在の遊間管理では、安全率を最低座屈強度(Pt)を用いて算出しており、最低座屈強度は、式-3を用いて求めることができる。

$$R/R_0 \text{ の場合 } Pt_2^* = 3.63J^{0.383} g^{0.535} Nj^{0.265} \dots \text{(式-3)}$$

今回、道床横抵抗力を測定した区間は、現在の遊間管理区分の -2 にあたり、道床横抵抗力測定結果の平均値(m) - 標準偏差() = 4.26kN/mを用いると、最低座屈強度(Pt)は、表-2のように計算できる。いずれも、最低座屈強度は大きくなり、その差 Pt(tf)から温度換算値を T()を求めると、約9 程度の安全度をもっているといえ、現在よりも約9 高い59 発令とすることも可能ではないかと考えられる。また、軌きょう剛性を高めることによるレール張出しに対する検討を、フリーズを用いた有限要素法解析により検討した。(図-2)接点数や拘束条件に制限があることから、構造体をシンプルなモデルに置き換えて計算し、大まかなモデルの変形挙動を捉えることを目的とした。比較にはモデル中央部のたわみ量を用いた。一例として、レールを補強した場合の解析結果を表-3に示す。表中に示す断面2次モーメント比とは、単純はりに等分布荷重が作用するときのたわみ量は断面2次モーメントに反比例することから、レール本数2本を基準に補強1・2本の場合の断面2次モーメント比を算出したものである。断面2次モーメント比は軌きょう剛性の比として扱うことができると考えられるので、式-3にあてはめて計算すると、最低座屈強度が増加しレール張出しに対する優位差がいえる。

5. おわりに

レール張り出し警備をより効果的に実施するために、今回得られた道床横抵抗力の実測データとこれまでのロングレール理論・遊間理論を用いてシミュレーションした結果、その可能性を十分有することが確認できた。しかし、今回の検討内容を実際の管理面に反映するには、さらなる現場データの蓄積やシミュレーション、解析等より慎重な検証が必要不可欠と考える。今後、より安全性を高めるため構造強化を含めた更なる検討を加えていきたいと考える。

表 - 1 安全度と許容レール温度

安全度()										許容レール温度(Ta)									
換算付加温度(T)	道床横抵抗力比(i)									換算付加温度(T)	道床横抵抗力比(i)								
0.0	1.49	1.44	1.38	1.32	1.28	1.26	1.23	1.20	1.18	0.0	68.5	66.9	65.3	63.6	62.7	61.8	60.9	60.0	59.5
1.0	1.45	1.40	1.34	1.29	1.26	1.23	1.20	1.17	1.15	1.0	67.5	65.9	64.3	62.6	61.7	60.8	59.9	59.0	58.5
2.0	1.41	1.36	1.31	1.25	1.22	1.19	1.17	1.14	1.12	2.0	66.5	64.9	63.3	61.6	60.7	59.8	58.9	58.0	57.5
3.0	1.37	1.32	1.27	1.22	1.19	1.16	1.13	1.11	1.09	3.0	65.5	63.9	62.3	60.6	59.7	58.8	57.9	57.0	56.5
4.0	1.34	1.29	1.24	1.19	1.16	1.13	1.11	1.08	1.06	4.0	64.5	62.9	61.3	59.6	58.7	57.8	56.9	56.0	55.5
5.0	1.30	1.26	1.21	1.16	1.13	1.10	1.08	1.05	1.04	5.0	63.5	61.9	60.3	58.6	57.7	56.8	55.9	55.0	54.5
6.0	1.27	1.23	1.18	1.13	1.10	1.08	1.05	1.02	1.01	6.0	62.5	60.9	59.3	57.6	56.7	55.8	54.9	54.0	53.5
7.0	1.24	1.20	1.15	1.10	1.08	1.05	1.03	1.00	0.99	7.0	61.5	59.9	58.3	56.6	55.7	54.8	53.9	53.0	52.5
8.0	1.21	1.17	1.12	1.08	1.05	1.03	1.00	0.98	0.96	8.0	60.5	58.9	57.3	55.6	54.7	53.8	52.9	52.0	51.5

表 - 2 最低座屈強度の比較

区分	曲線半径	道床横抵抗力	軌きょう剛性	60K	50N	40N
-2	1,000 R	300kg/m	1.0	70	60	52
	500 R < 1,000			68	58	51
	300 R < 500			63	54	49
-2	1,000 R	426kg/m	1.0	86	73	63
	500 R < 1,000			84	72	63
	300 R < 500			81	70	61

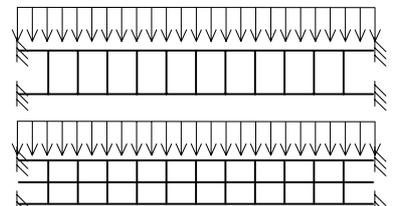


図 - 2 解析モデルと荷重条件

表 - 3 解析結果(モデル中央部)

補強本数	たわみ量(mm)	断面2次モーメント比
0	3.10 (1.000)	0.00 I
1	1.51 (0.487)	2.05 I
2	1.08 (0.348)	2.87 I