

山陽新幹線におけるロングレール高温時の運転取扱ルールの改正について

西日本旅客鉄道（株） 正会員 ○鈴木 洋平
 西日本旅客鉄道（株） 正会員 前田 洋明
 西日本旅客鉄道（株） 高谷 博文

1.はじめに

山陽新幹線の、ロングレール温度（以下レール温度）による運転取扱ルールについては、国鉄時代のルールを踏襲しており、レール温度60℃で運転中止する等、在来線と比較しても過度に安全側の基準となっている懸念があった。加えて近年、温室効果ガスの影響による地球温暖化が進んでおり、H13年度に最高57℃に達したことも考慮すれば、近い未来に運転中止レール温度の60℃に達する可能性も否定できなかった。そこで今回、理論的、実験的な検討を行い、新たなルールへ見直した。以下に概要を述べる。

2.現行ルールの問題点

- (1)在来線では適用している沼田理論を、新幹線では適用していない。
- (2)50T レールを対象とした基準であり、60kg レールを前提とした場合、レール横剛性等の面で安全側に過ぎる。
- (3)抵抗力に影響があると考えられる動的な道床挙動（あおり、道床振動加速度等）を評価していない。
- (4)徐行速度に対する妥当性が明確でない。

3.改正の考え方

(1)沼田理論による座屈強度の算出

沼田理論の略算式にレール軸力とレール温度の関係式を代入し、測定道床横抵抗力（実際に測定した道床横抵抗力・以下測定抵抗力）に対する座屈レール温度を算出する式を導く。

$$P_{\min} = 3.63J^{0.383}(g \times 10^2)^{0.535}N_j^{0.267} \dots\dots\dots \textcircled{1} \text{【最低座屈強さの沼田理論略算式】}$$

$$P_{0\min} = 0.8P_{\min} \dots\dots\dots \textcircled{2} \text{【最低座屈強さに 20\%の余裕を見込む】}$$

$$g = 43(\text{本}) / (25(\text{m}) \times 10^2) \div 2 \times (g_0 \times 10^2) = 8.6 \times 10^{-1}g_0 \dots\dots \textcircled{3} \text{【1本引き抵抗力を m 毎に換算】}$$

$$P_t = EA \beta (t - t_0) = 1.86(t - 20) \dots\dots\dots \textcircled{4} \text{【設定温度を 20℃と仮定してレール軸力を算出】}$$

P_t :レール軸力(k N) E :ヤング率($2.1 \times 10^4 \text{kN/cm}^2$) A :レール断面積(60kgレール 77.5cm^2)
 β :線膨張係数($1.14 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$) t :レール温度(℃) t_0 :設定温度(℃) P_{\min} :最低座屈強さ(k N)
 J :レールの横剛性(60kgレール 512cm^4) g :道床横抵抗力(k N/cm)(以下抵抗力) $P_{0\min}$:実効最低座屈強さ(kN)
 g_0 測定抵抗力(kN/本) N_j :軌きょうの曲げ強さ(新幹線 102 形は 1.25~1.44 であるが安全側の 1.25 とする)

①~④式より、

$$t = 16.7g_0^{0.535} + 20 \dots \textcircled{5} \quad \text{ここで算出されるレール温度 } t(\text{℃}) \text{ が、座屈温度である。}$$

(2)動的な道床の挙動による抵抗力の低減率(以下動的低減率)の評価

あおりによる動的低減率は、まくら木を 3mm 吊り上げた状態と、吊り上げていない状態の測定抵抗力の比較から、速度とは関係せず、一律約 30%程度であると確認されている。また、道床振動加速度による動的低減率は、室内試験により、速度と相関して道床振動加速度が増加し、抵抗力も低減することが確認されている(表-1 参照)。

表-1 抵抗力の低減率

列車速度	あおりによる低減率①	道床振動加速度による低減率②	道床横抵抗力の低減率 {1-(1-①/100)×(1-②/100)} × 100
70km/h	△30%	△2%	△ 3 1 %
300km/h		△19%	△ 4 3 %

(3)徐行基準

表-1 の値を⑤式の g_0 に乗じて、測定抵抗力毎の座屈レール温度を 70km/h、300km/h 各々の速度毎に算出し、図-1 へ図示した。ここでは、列車速度 70km/h、300km/h それぞれのラインを超過するレール温度で、座屈の恐れがあることを示している。また、現改比較は表-2 に示す。

①抵抗力が 9kN/本以上の場合

従来の基準では、推定される最悪の条件でも抵抗力は 9kN/本を確保できることや、想定されるレール温度上昇

キーワード 新幹線、ロングレール、レール温度、運転規制、座屈

連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田二丁目 4 番 24 号 西日本旅客鉄道(株) 鉄道本部 施設部 新幹線 Tel06-6376-6101

量に対する発生軸力に耐えうる抵抗力が 9kN/本であること等から、9kN/本を正常な道床状態であるのか否かの目安としていた。今回も、この 9kN/本を目安として、70km/h ラインを超過する 64℃以上を運転中止、300km/h と 70km/h のラインで挟まれている 60～63℃の間を 70km/h 徐行とした。この結果、列車運転可能なレール温度域が、従来の 59℃から 63℃へ拡大した。なお、管理上は若干の余裕を鑑みて、11 k N/本を管理基準と定めている。

②抵抗力が 9kN/本未満の場合

単純に 300km/h と 70km/h ラインで挟まれた部分を 70km/h 徐行と定めた場合、従来のルールよりも低い温度で徐行となる。そこで、300km/h ラインの座屈レール温度に達する前に特別巡回を行い、実際にあおりが有るのか否かを目視確認した上で、徐行の要否を判断するルールとした。7.5kN/本未満の運転中止温度の場合も同様に、あおりの有無により、59℃か 60℃かを判断するよう定めた。この結果、従来のルールよりも幾分複雑となる反面、論理的なルールとなった。

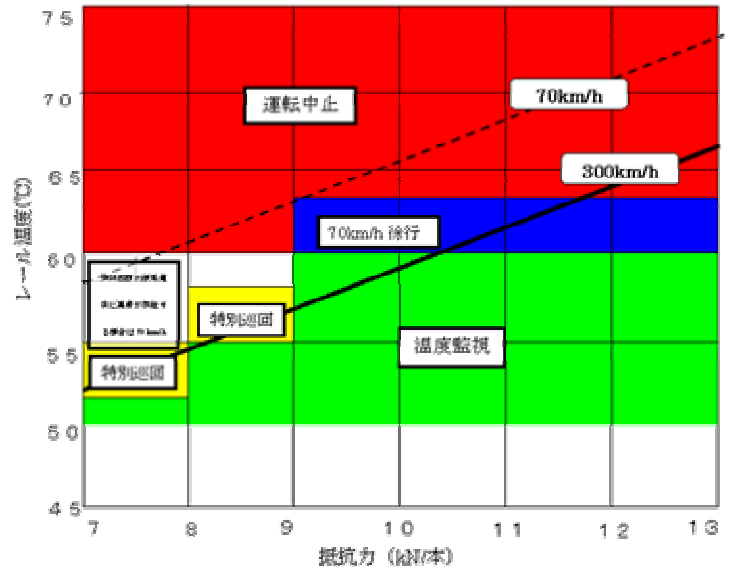


図-1 改正後のルール

表-2 現行ルールとの現改比較

抵抗力		温度観測開始	特別巡回発令	70km/h 徐行	運転中止
9kN/本以上の区間	従来	50℃	無し	無し	60℃
	改正	50℃	無し	60℃	64℃
8kN/本以上 9kN/本未満の区間	従来	50℃	55℃	無し	60℃
	改正	50℃	55℃	58℃※1	60℃
7kN/本以上 8kN/本未満の区間	従来	無し	50℃	55℃	60℃
	改正	50℃	52℃	55℃※1	60℃※2

※1 特別巡回の結果、動的にあおりが認められた場合は、70km/h 徐行とし、さも無ければ、特別巡回の継続とする。※2 7.5kN/本未満の場合で、特別巡回の結果、動的にあおりが認められた場合は、59℃で運転中止とする。それ以外の場合は、60℃を適用する。

4.安全上の考察

新ルールにおける安全上の余裕は以下の通り確保している。

- (1) 本引き抵抗力の管理基準は、11kN/本であるが、9kN/本を基準としてルールを策定したため、安全側となる。なお、今回のルール改正前に、軌道構造毎、構造物境界部ならびに軌道弱点箇所に対する抵抗力実測確認を行ったが、11kN/本未満の箇所は存在しなかった。また、道床を緩める作業を行った場合は、抵抗力の測定確認を行うことも再徹底している。
- (2) 在来線で実績のある沼田式を適用し、論理的なルールとなった。
- (3) 動的低減率を試験により、速度毎に求めた(表-1)。
- (4) パラメーターの取り方を、以下の通り安全側とした。
 - ① 軌きょうの曲げ強さは 102 型締結装置を適用しているが、岡山以西ではより剛性の高い高速型であるため、安全側となる。また、102 型の曲げ強さは、1.25～1.44 であるが、安全側の 1.25 を適用している (式①)。
 - ② 実効最低座屈強さは、20%の安全率を評価している (式②)。
 - ③ ロングレール設定温度は 20～30℃であるが、最も安全側となる 20℃を採用している (式④)。

5.今後の課題

本検討に則り、H14 年 5 月に山陽新幹線のルールを改正した。残る課題としては、スラブ軌道の基準の改正や、過大なあおりが生ずる恐れがあるバラスト軌道・スラブ軌道の構造境界部の軌道強化法の検討等があるが、引き続き鋭意取り組んでゆきたい。

参考文献 ・東海道新幹線における夏期ロングレール管理 名村明 新線路 1996 年 2 月号 pp4-7

・新幹線の軌道 松原健太郎 日本鉄道施設協会 1969 年 pp109-113

・60kg レールを含む各種レールの軌道座屈強さと座屈強さ略算式 佐藤吉彦等 1971 年 6 月 鉄道技術研究報告 No. 759