

S1-4-3

軌道整備の乗心地改善効果の実測

[土] ○小野 重亮 (JR 東日本)

Full-scale Measurement of Track Leveling in Terms of Ride Quality

Shigeaki Ono, Member of JSCE (East Japan Railway Company)

As a means of quantifying the reduction of vehicle body acceleration with track leveling, the author has proposed to use Vibration Exposure Level, and analyzed the relation with track leveling plans, using vehicle dynamic analysis. On the other hand, within the range of vehicle body elastic vibration, the relation between vehicle vibration and track condition is not clear. Hence the author compared the effect of track leveling, using full-scale data before and after, with the result of analytical prediction.

キーワード：軌道高低整備、車体上下振動、乗心地、振動加速度パワー、単発振動暴露レベル、車体振動加速度低減量

Keywords: track leveling, vertical acceleration of the vehicle body, ride quality, vibration acceleration power, vibration exposure level, amount of reduction of vehicle vibration acceleration

1. はじめに

乗心地からみた軌道整備は車体剛体振動を念頭に置いたもので、車両運動の応答解析で効果を予測することが可能である。一方で車両床上における振動加速度は、車体弾性振動など、より高次のモードの寄与も無視することができず、車体剛体振動の低減だけを期待すると乗心地改善効果は限定される¹⁾。そこで、軌道整備による乗心地の変化を計算と実測と比較した。

本論文では、高低変位と上下振動の関係を対象とする。

2. 軌道整備効果の振動暴露レベルによる評価

著者は、軌道整備の乗心地改善効果を、修正 ISO2631 式により乗心地補正を施した車体振動加速度の 2 乗 (以下、「振動加速度パワー」と称する) の時間積分の差で評価することを提案した²⁾。車体振動加速度パワーの時間積分は乗客が乗車中に受ける振動加速度の総量であり、これを対数表示したものが単発振動暴露レベルである。図 1(a) は車体振動加速度、図 1(b) は車体振動加速度パワーの、軌道整備前後の変化を概念的に示す。車体振動加速度パワーは、軌道状態を評価する延長 (この場合は 20m) で移動平均している。軌道整備の効果は、図 1(b) のグラフにはさまれた部分 (着色部分) の面積に対応する。

$$I_{VE} = \int_0^T \{ \alpha(t) \}^2 dt$$

I_{VE} = [車体振動加速度]² (振動加速度パワー) の時間積分

$\alpha(t)$: 車体振動加速度 (乗心地補正)

T : 乗心地評価時間 (0 ~ T)

これを対数表示したものが単発振動暴露レベルである。

$$L_{VE} = 10 \log (I_{VE} / I_{VEref})$$

L_{VE} : 単発振動暴露レベル

$$I_{VEref} = 10^{-10} \text{ ([m/s}^2\text{)]}^2 \cdot \text{s})$$

$$\Delta I_{VE} = I_{VE} - I'_{VE}$$

I'_{VE} は軌道整備後、 I_{VE} のないものは軌道整備前を示す

ΔI_{VE} : 今回提案する軌道整備の効果指標

車体振動加速度低減量 ([m/s²]² · s)

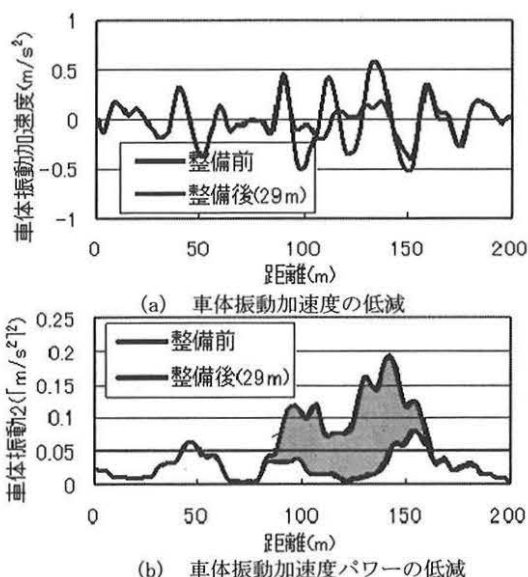


図1 車体振動加速度低減量の概念

ΔI_{VE} は、軌道整備箇所相互の距離が離れ、影響し合わなければ、加算が可能である。この概念を図2に示す。

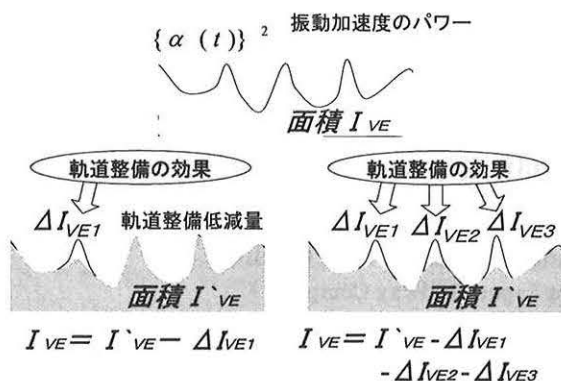


図2 振動低減量の加算

3. 評価方法

3.1 データの取得と処理

軌道変位・車体振動加速度の測定時期を表1に示す。

表1 軌道変位・車体振動加速度の測定時期

軌道変位	車体振動加速度
2004.7.23	2004.7.29
2004.10.26,28	2004.10.13
2004.12.8,9	2005.01.11

(2)軌道変位データ

通常 East-i は車上で偏心矢を 10m 弦に変換し、地上で 10m 弦データを処理している。しかし今回は、車上 10m 弦出力に伴う打ち切り誤差や、10m 弦で検測倍率が 0 となる波長(5m など)の点から、精度を上げるために East-i の偏心矢データを直接復元処理(帯域: 3~150m)した。

(1)車両振動加速度データ

実車両の乗心地測定は、東北新幹線営業列車(最高速度 275km/h)の、東京方最後部車両運転台の台車上で行った。

自動動揺計が取り付けられている編成を選び、速発パルスとキロ程信号を合わせて収録した。

本論文では、軌道変位・車体振動加速度とも、0.25m でサンプリングしたものを使用している。また、走行速度は 270km/h 前後の区間を選定した。

3.2 車体振動加速度の予測

車両運動シミュレーションモデル(SIMPACK)における線型応答解析から、高低変位に対する上下振動加速度の応答関数(複素数)を求め、解析を行った。車体は剛体とした。応答関数の振幅と、実測²⁾との対比を図3に示す。車体剛体振動の範囲である低周波領域では、整合性がある。なお今回は、実車両の測定位置に合わせて進行方向後寄り台車上の振動加速度応答を用いることにより、実測とのより良い一致を得ている。

車体振動加速度の実測との対比例を図4に示す。車両運動解析では網羅していない高周波成分を除き、おおむね再

現できている。

本論文で使用了車体振動加速度と軌道変位は、同一日に測定されたものではない。軌道管理システムにより、この間は高低軌道整備が行われていないことを確認している。

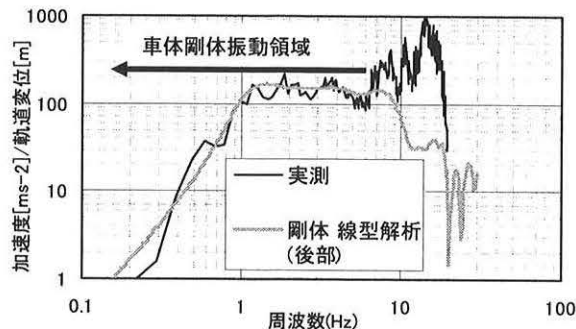


図3 上下振動の応答特性

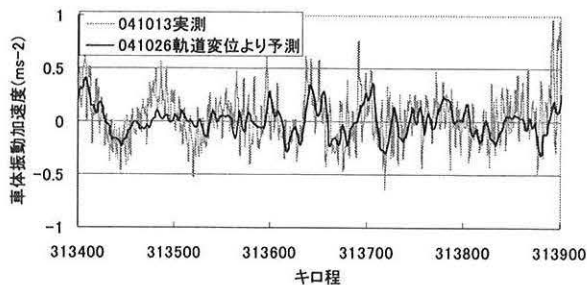


図4 車体振動加速度の実測と予測

3.3 乗心地補正

車両振動加速度の実測値および予測値について、修正 ISO2631 式により乗心地補正を行った。具体的には、区間 1024m で FFT 変換し、振幅を補正して、FFT 逆変換を行った。さらにこれを 2 乗して 20m 移動平均値を算出した。20m は軌道管理システムにおける区間評価延長の一つである。

4. 結果

4.1 ケース 1

軌道整備前後の軌道変位(復元)を図5に、実車体振動加速度(細かい変動を除去するため 5m 移動平均した)を図6に示す。軌道整備内容は 40m 弦スラブレール面整正である。軌道整備区間において、軌道変位と車体振動加速度が、ともに低減している。

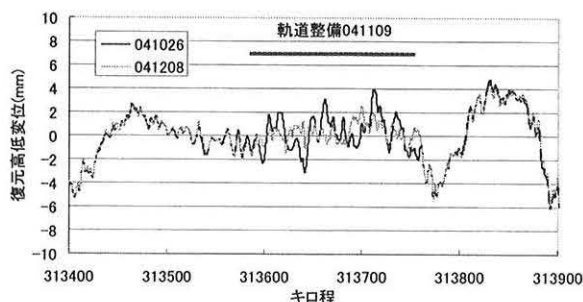


図5 軌道整備前後の軌道変位(復元)

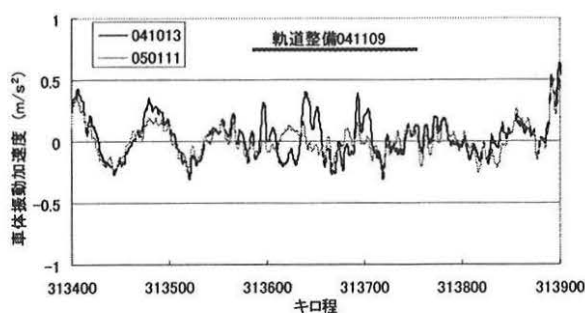


図6 軌道整備前後の車体振動加速度（実測）

軌道整備前後の、車体振動加速度パワー（20m 移動平均）を図7に示す。軌道整備前後の復元高低変位から、車両応答解析より予測した、車体振動加速度パワー（20m 移動平均）を図8に示す。軌道整備区間で、明確な低減が認められる。予測の方が、全体としては小さめである。

キロ程 313500m と 313800m の間で軌道整備の効果を評価すると、予測と実測でそれぞれ $0.0259[\text{m/s}^2]^2 \cdot \text{s}$ 、 $0.0411[\text{m/s}^2]^2 \cdot \text{s}$ となり、予測より実測が大きかった。

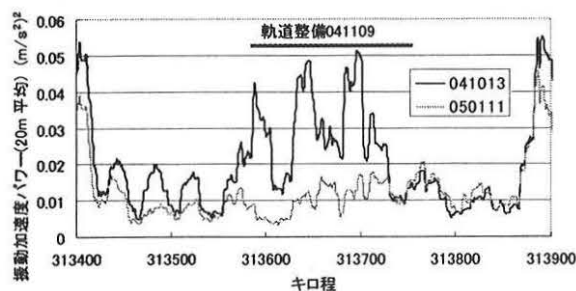


図7 車体振動加速度パワー（実測）の変化

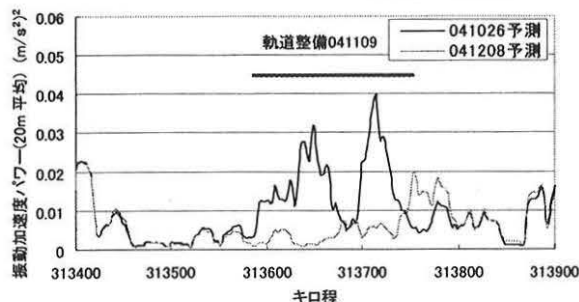


図8 車体振動加速度パワー（予測）の変化

4.2 ケース 2

軌道整備前後の軌道変位（復元）を図9に、実車体振動加速度（5m 移動平均）を図10に示す。軌道整備内容はむら直し（バラスト）である。軌道整備区間において、軌道変位と車体振動加速度が、ともに低減している。

軌道整備前後の、車体振動加速度パワー（20m 移動平均）を図11に示す。軌道整備前後の復元高低変位を解析して求めた、車体振動加速度パワー（20m 移動平均）を図12に示す。軌道整備区間で、明確な低減が認められる。解析の方が、全体としては小さめである。

キロ程 446550m と 446700m の間で軌道整備の効果を評価すると、予測と実測でそれぞれ $0.0112[\text{m/s}^2]^2 \cdot \text{s}$ 、 $0.0158[\text{m/s}^2]^2 \cdot \text{s}$ となり、予測より実測が大きかった。

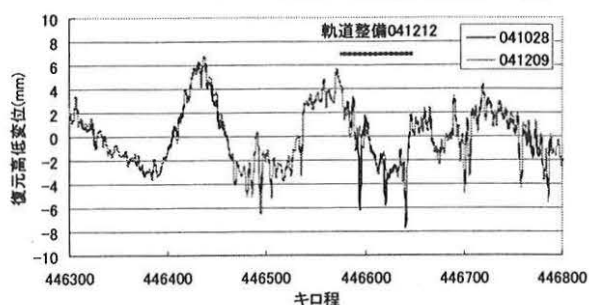


図9 軌道整備前後の軌道変位（復元）

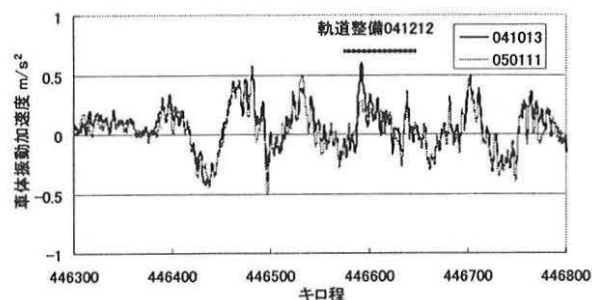


図10 軌道整備前後の車体振動加速度（実測）

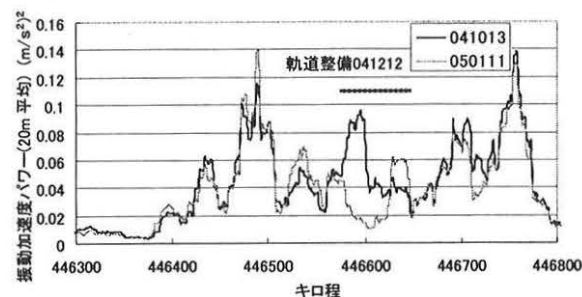


図11 車体振動加速度パワー（実測）の変化

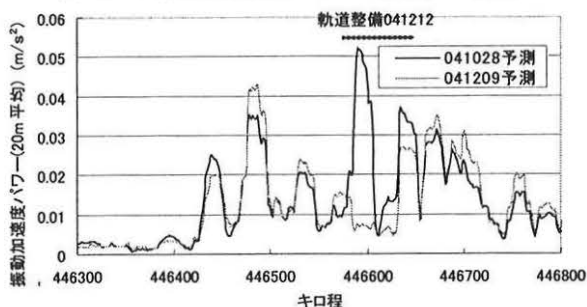


図12 車体振動加速度パワー（予測）の変化

4.3 ケース 3

軌道整備前後の軌道変位（復元）を図13に、実車体振動加速度（5m 移動平均）を図14に示す。軌道整備内容は40m 弦スラブレール面整正である。

振動加速度に再現性が認められない。当該区間はトンネル内であることから、トンネル内に特有の車両左右動が、上下動を引き起こしたものと推定される。

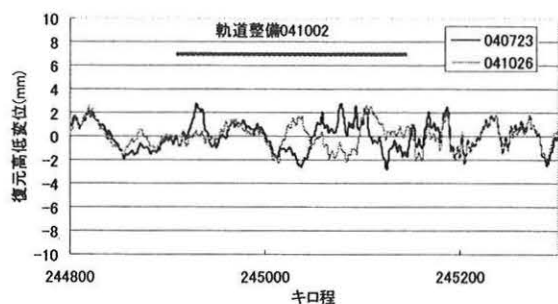


図 13 軌道整備前後の軌道変位 (復元)

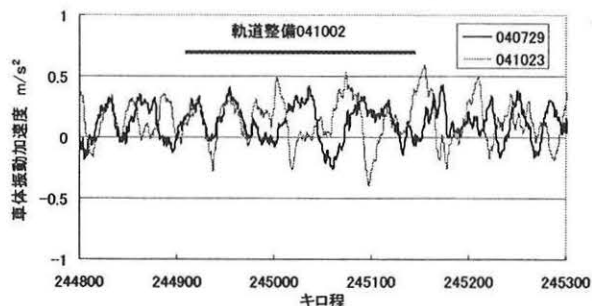


図 14 軌道整備前後の車体振動加速度 (実測)

4.4 考察

ケース 1 およびケース 2 について、車体振動加速度パワーの低減率に着目して、対数スケールで比較する(図 15、図 16)。特に図 16 において、上下の幅すなわち低減比は実測と予測でほぼ同程度であることが示される。ケース 1 は 40m 弦整備で、車体剛体振動の低減が主であり、ケース 2 はむら直して、短波長すなわち高周波の振動が低減されたものと理解される。したがって、動的モデルで把握できない高次の振動を含む全体に対して、車両動的モデルによる低減比と同程度低減される場合があることが判明した。

図 17、図 18 に、6Hz ハイパスフィルター (HPF) をかけたものに関する軌道整備前後の変化を示す。a) 実測と b) 予測は、軌道整備前後の低減率(グラフ上では、差)がほぼ対応するが、縦軸が 10 倍異なることに注意されたい。これから、車体剛体振動領域にないと考えられた 6Hz 以上の周波数領域において、車体振動モデルによる低減予測量に対し、実測の低減量が 10 倍 (10dB) 近くの大きさであることが読み取れる。

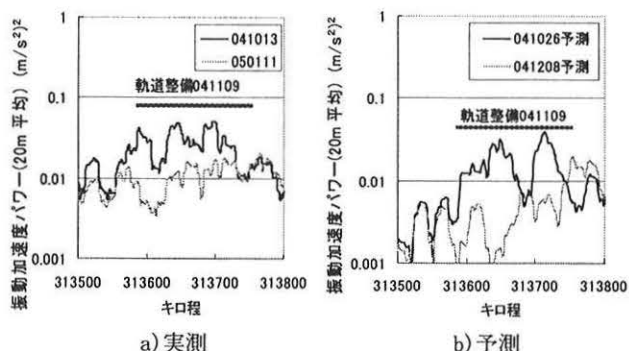
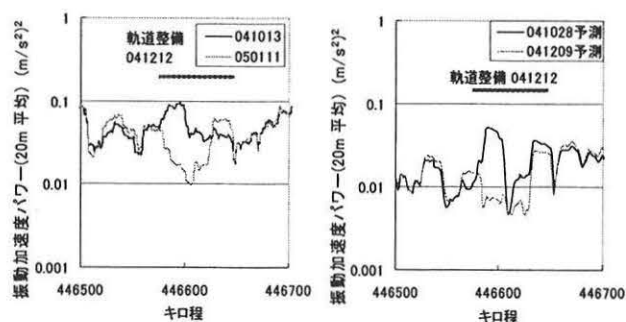


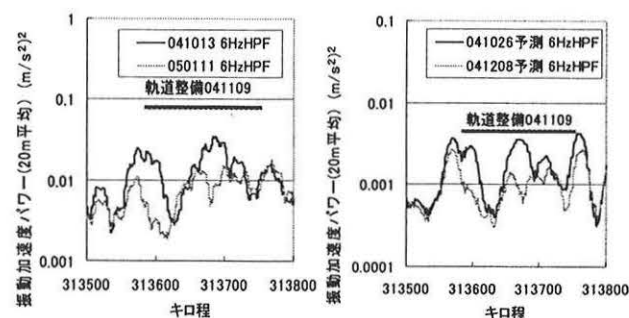
図 15 車体振動加速度パワーの変化(対数、ケース 1)



a) 実測

b) 予測

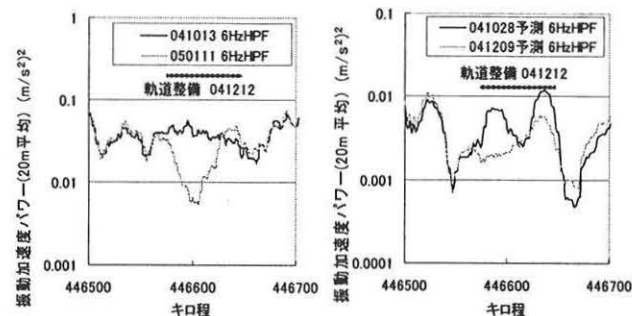
図 16 車体振動加速度パワーの変化(対数、ケース 2)



a) 実測

b) 予測

図 17 車体振動加速度パワー (HPF) の変化(対数、ケース 1)



a) 実測

b) 予測

図 18 車体振動加速度パワー (HPF) の変化(対数、ケース 2)

5. 結論

軌道整備の効果を振動加速度パワーの時間積分の低減量で評価すると、車両動的解析による予測よりも実測が上回っていた。車体剛体モデルで把握できない高次の振動についても、一定の効果があるものと判断される。

謝辞

車体振動加速度の測定、位置特定等は(財)鉄道総合技術研究所軌道管理研究室各位による。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 小野重亮、峰岸大介：走行試験から求めた車体振動特性に基づく軌道管理、J-Rail2003, pp.133-136、2003.12
- 2) 小野重亮：高速列車の短区間乗心地レベルを考慮した軌道管理 J-Rail2004, pp.283-286、2003.12