

S1-2-5. 高速列車の短区間乗心地レベルを考慮した軌道管理

[土] ○小野 重亮 (JR 東日本)

Track Management of High-speed Trains Considering Short-section Ride Quality  
Shigeaki ONO (East Japan Railway Company)

To maintain slab track, it is important to evaluate precisely the influence of maintenance length corresponding to each track irregularity. The author proposed an index "short-section ride quality" using vehicle dynamic response and ride quality correction. Next, the author defined the time-integral of the second power of vehicle body acceleration, and an index of ride quality improvement as the difference of those time-integrals. Then the relation between track maintenance length and the amount of ride quality improvement was analyzed. Finally the effect of track maintenance of each section was quantified.

キーワード：軌道整備、車体振動加速度、乗心地、FFT、振動暴露レベル

Keywords : Track Maintenance, Vehicle Vibration Acceleration, Ride Quality, FFT, Vibration Exposure Level

1. はじめに

新幹線における乗心地向上のための軌道管理手法として、乗心地レベル予測値<sup>1)2)</sup>が提案され実施されている。スラブ軌道はスポット的な整備であり、個々の軌道変位に対応した軌道整備の施工区間の適切な設定といったミクロな評価がより重要であるため、それに対応した短区間乗心地評価を提案し、軌道整備の効果を論じる。なお本論文では上下運動を取り扱う。

2. 乗心地予測・評価手法

車両運動シミュレーションモデルから上下方向の応答関数を求め、線型応答解析を行った。詳細は次章で述べる。次いで修正 ISO2631 式により乗心地補正 (図 1) を施した車体振動加速度を算出した。今回用いた具体的な計算方法は、軌道変位の FFT 変換 (区間長 4096m、サンプリング間隔 1m) → 応答関数を乗ずる → 乗心地補正関数を乗ずる → FFT 逆変換、の手順で行った。

さらに、乗心地補正車体振動加速度を 2 乗し、移動平均することにより、短区間における乗心地評価値を求めた。これの対数が乗心地レベルである。

軌道整備の評価は、[車体振動加速度]<sup>2</sup>の時間積分 (これの対数表示が単発暴露振動) の差で行った。

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

$I_{VE}$  = [車体振動加速度]<sup>2</sup>の時間積分

$\alpha(t)$ : 軌道整備前の車体振動加速度 (乗心地補正済)

$T$ : 乗心地評価時間 (0 ~ T)

これを対数表示したものが単発暴露振動レベルである。

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

$L_{VE}$ : 単発暴露振動レベル

$$I_{Vref} = 10^{-10} \text{ (ms}^{-2}\text{)}^2 \cdot \text{s}$$

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

$I'_{VE}$  は軌道整備後を示す

$\Delta I_{VE}$ : 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 ( $\text{ms}^{-2}$ )<sup>2</sup> · s

$\Delta I_{VE}$  は振動暴露レベルの差で、乗心地評価区間の取り方によらない不変量である。また、十分離れた軌道整備の効果は、単純に加算することが可能である。したがって、乗心地改善量の指標として適切である。

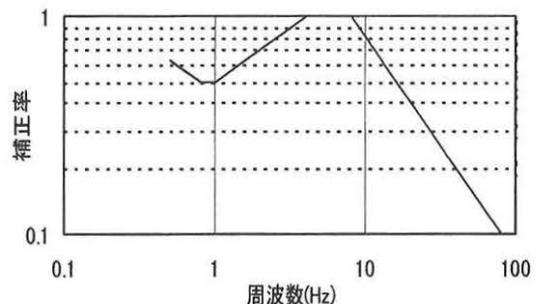


図 1 上下振動に関する乗心地補正

3. 車体上下振動応答関数

新幹線高速車両のマルチボディ車体運動シミュレーションから求めた周波数ごとの応答倍率 (台車直上における車体振動加速度/軌道変位) を、実測と比較して図 2 に示す。中立位置における線型解析による周波数応答倍率を薄線で、実軌道変位から直接シミュレーションで時刻歴解析した結果に基づく周

波数応答倍率を点線で示した。後者は空気ばねなど台車ばね系の非線型性の影響を考慮しているが、結果に大差なかった。今後本論文では軌道変位に依存しない値として、線型解析結果を用いる。

両者とも車体を剛体として解析しており、実測と比較して、車体運動の領域である 6Hz 以下でよく一致している。これ以上の周波数では、車体の弾性振動の領域になり、軌道変位との相関は明確になっていないため、ここでは車体運動領域での乗心地を対象とする。

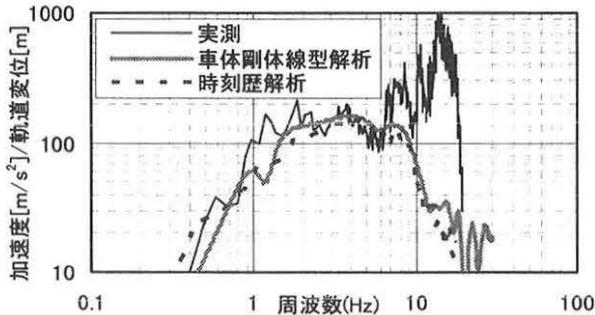


図2 上下振動の応答特性

#### 4. 軌道整備と車体振動、乗心地の関係解析方法

新幹線の実軌道変位(区間長 4096m)について、こう上による高低変位整備を模擬し、車体振動乗心地を予測した。40m 弦高低変位あるいは 20m 弦高低変位が 5mm を超過する箇所を整備対象とした<sup>3)</sup>。走行速度は 360km/h とした。[車体振動加速度]<sup>2</sup> の 20m、100m 移動平均と、整備対象箇所を図 3 に示す。0.1 [m/s<sup>2</sup>]<sup>2</sup> が乗心地レベル 90dB に対応する。乗心地レベルが大きい箇所が整備対象箇所として選定されていることがわかる。

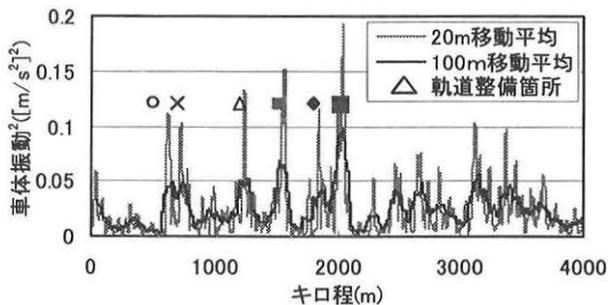


図3 車体振動乗心地予測と  
今回軌道整備対象として抽出された箇所

個々の軌道変位に対する整備延長と、車体振動加速度低減量の関係を図 4 に示す。軌道整備延長が大きいほど、車体振動加速度低減量は増大するが、増大幅は減減する傾向が認められる。

図 4 において、施工延長に対して軌道整備効果の小さい箇所、大きい箇所を判別できる。図 3 と対比すると、当該箇所の乗心地レベルが大きい順と必ずしも一致していない。これは、当該箇所の「整備しやすさ」をあらわしているものと考えられる。

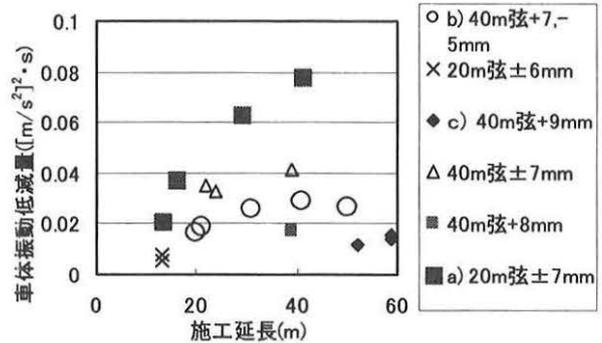


図4 軌道整備の施工延長と車両振動低減効果

図 5 a) b) および c) に、この例を示す。復元変位、40m 弦高低変位、20m 弦高低変位、乗心地補正車体振動加速度、20m 平均車体振動乗心地の順に、それぞれ 1) ~ 5) に示す。

a) は軌道整備効果最も大きい例で、20m 弦変位が + とも 5mm を超過している。図 3 に示すように軌道整備前の乗心地レベルも最も大きい。その理由として、振動に関する感覚補正が 4-8Hz で最大となること、車体振動応答も 2-6Hz で最大となることが挙げられる。

b) は軌道整備効果が中程度の例で、40m 弦高低変位が + とも 5mm を超過しているが、整備延長の点から一側のみを整備した。40m 弦変位が残存しても、図 5 a-4 にみるように加速度の 1 波を除去できた。施工延長は 31m と 41m の例を示す。後者は、40m 弦高低変位の +5mm ピークと、その左側にある最初のピークの間をこう上するものであるが、図 5 a-5 にみるように、31m 整備より車体振動乗心地に与える効果は小さい。

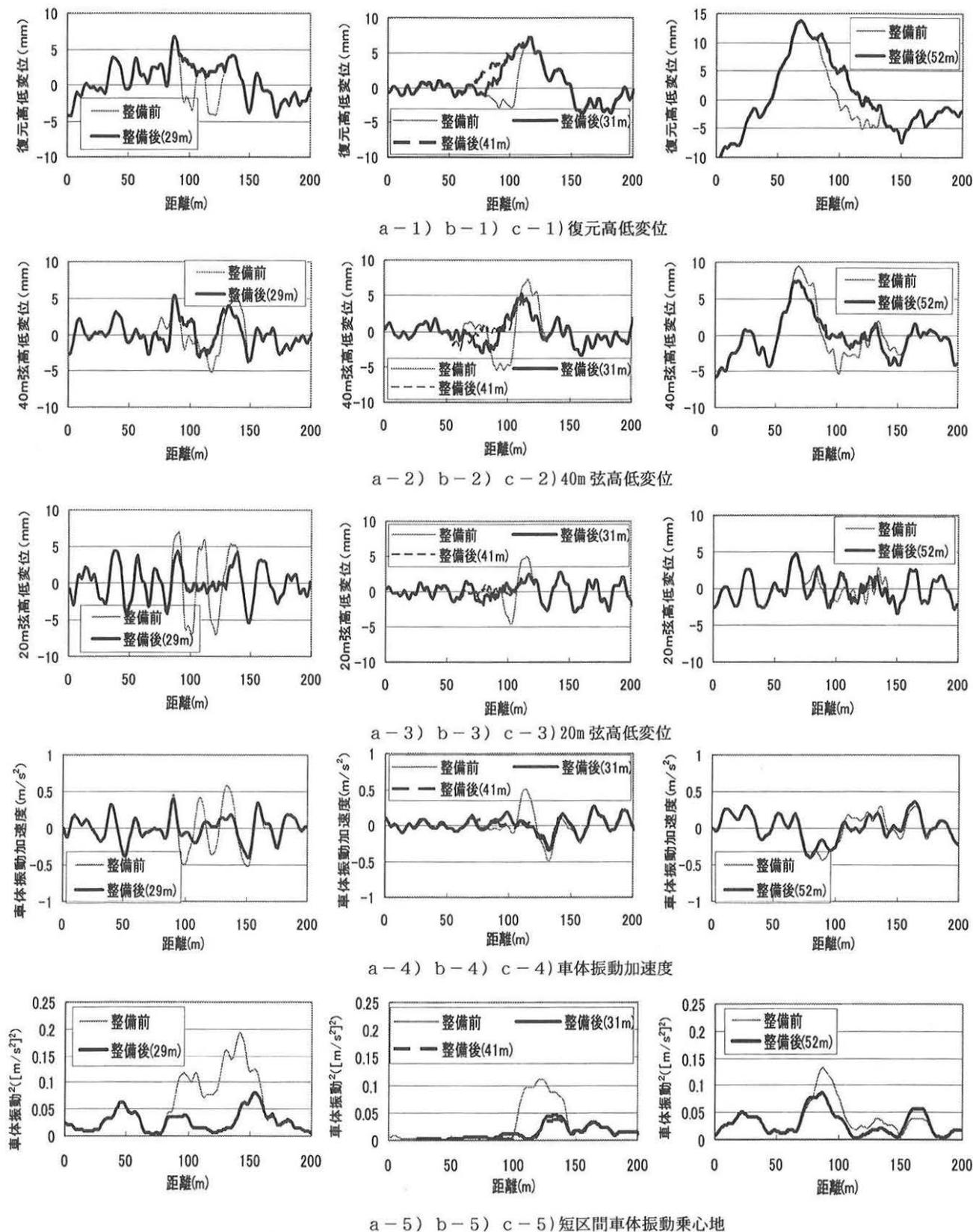
c) は軌道整備効果が小さい例で、40m 弦高低変位が +9mm に達し、図 3 に見るように乗心地レベルも大きい。非常に波長が長かつ「凸」であるため、次の 40m 弦変位との間をこう上しても、十分車体振動を低減することができない。

今回の例では、波長が短かつ「凹」の場合は軌道整備しやすく、波長が長かつ「凸」の場合は施工延長に比して効果が小さいという傾向が確認された。

なお復元変位は、縦曲線を含んでいるため、復元波長に応じた擬似変位が重畳されるが、これらを含んで計算しても、乗心地補正において 0.5Hz 以下はカット、0.5Hz 近傍の低周波域では重みが小さいので、この影響は少ないと考えられる。具体的な波形については文末に考察する。なお今回のケーススタディでは、縦曲線に近接した軌道変位は整備対象としなかった。

#### 5. 軌道整備延長と乗心地の関係

検討した全区間(延長 4096m)について、軌道整備延長に対し、乗心地低減効果が最大となる施工範囲の組合せを選んだ。車体振動加速度低減量との関係を図 6 に、乗心地レベルとの関係を図 7 に示す。乗心地レベルは実際のものより小さいが、これは今回のモデルで車体弾性振動の影響を考慮していないことによるものと理解される。



a) 効果が大きい例

b) 効果が中程度の例

c) 効果が小さい例

図5 軌道整備、車体振動加速度、車体振動乗心地の関係解析結果

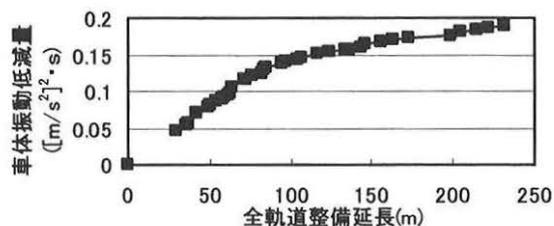


図6 全軌道整備延長と車体振動低減量

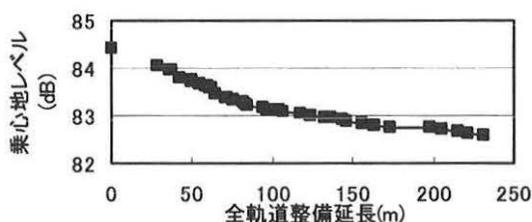


図7 全軌道整備延長と乗心地レベル

軌道整備箇所の内訳を図8に示す。「40m 弦+9mm」、「40m 弦+8mm」は、全軌道整備延長が大きい場合に限って施工される。これは、図4に示すように整備の効果が小さいことによると理解される。

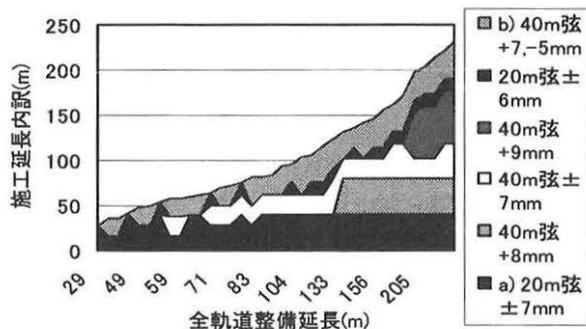


図8 軌道整備箇所の内訳

## 6. まとめ

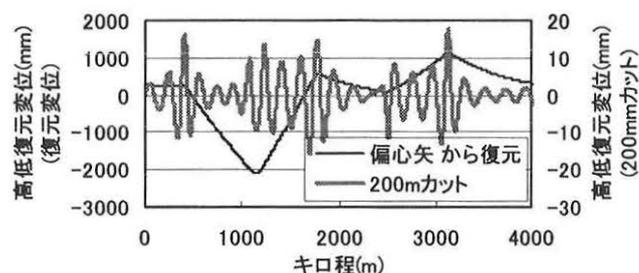
- ・車体振動加速度の2乗を、短区間で移動平均した指標を提案し、軌道変位と乗心地変動との関係を明らかにした。
- ・軌道整備の前後で、車体振動加速度の2乗を時間積分した量を、軌道整備の効果とし、施工延長との関係を明らかにした。
- ・軌道整備延長と、車体振動加速度の低減が最大となる施工範囲の組合せの関係を求めた。

## 付 縦曲線の影響

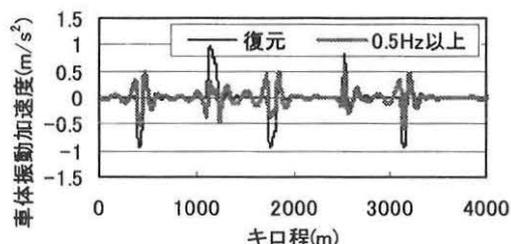
高速域において縦曲線の乗心地への影響を考慮するに際し、縦曲線を除去しない場合は復元処理に用いるフィルタ(ハイパス)の影響が出るため、それらについて考察する。

付図1は、他区間における計画上の縦曲線(半径15000m)および、200m以上の波長をカット(200mハイパス処理)した波形を示す。縦軸はそれぞれ左軸と右軸である。200mカット波形には、擬似変位が認められる。なお、絶対縦断線型をFFT処理し、空間周波数領域でハイパス処理を行うと、FFT逆変換のとき始終点で擬似変位が生じるため、今回は偏心矢を求めそれを復元処理した。そのため、縦曲線の間でも復元波形がわずかに曲線となっている。

付図2に、これらから計算した車体振動加速度を示す。200mカットは、360km/hにおいて0.5Hzに対応する。0.5Hzハイパスフィルタにより擬似変位が生じている。

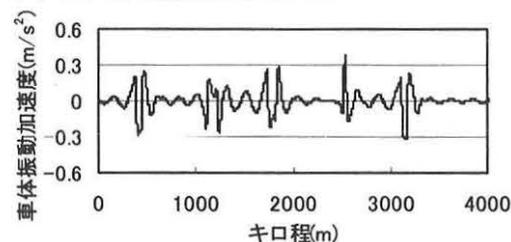


付図1 縦曲線および200mカット



付図2 縦曲線から計算した車体振動加速度および0.5Hzハイパス

付図3に、乗心地補正した車体振動加速度を示す。0.5Hzでカットするので、結果は同じである。



付図3 乗心地補正した車体振動加速度

## 参考文献

- 1) 窪野代男：T4 導入後の乗り心地管理、新線路、pp.28-31、平成14年8月
- 2) 永沼泰州：正矢法から脱却した東海道新幹線の乗り心地管理、新線路、pp.26-18、平成11年9月
- 3) 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