

S2-2-3

溶接部の状態が乗り心地評価に与える影響と

その改善策に関する検討

[土] ○中川 正樹 (東海旅客鉄道㈱) [土] 三輪 昌弘 (東海旅客鉄道㈱)

Influence of Welding Point Irregularity for Riding Comfort Evaluation and the Improvement Method
Masaki Nakagawa, Member (Central Japan Railway Company)
Masahiro Miwa, Member (Central Japan Railway Company)

For management of riding comfort of Tokaido Shinkansen line, equivalent sensibility filter which transformed from the ISO-2631 is applied to develop effective and efficient track maintenance. However, this filter is not always fitted to human sense in case of irregular vibration like railway vehicle. Therefore we studied about relation between riding comfort and frequency of vehicle vibration which was based on field test on Tokaido Shinkansen vehicle and we found the more suitable relation than ISO-2631. In this paper, firstly we introduce the point which should maintain for the good riding comfort using from the new evaluation method which we found and introduce the result of the investigation point successively.

キーワード：乗り心地管理、列車動揺、判別分析、接着絶縁継目 (IJ)、三次 (現場) 溶接

Keyword : a management of riding comfort, railway vehicle vibration, discriminant analysis, glued-insulated joint, third welding

1. はじめに

現在の東海道新幹線における乗り心地管理は、人間の振動に関する感覚を考慮した「乗り心地レベル」と呼ぶ指標により行われており、現在は左右方向の乗り心地の向上に特に力をいれて取り組んでいる。¹⁾この「乗り心地レベル」は、人間の振動に対する感覚を考慮している点の特徴であり、この感覚にはISO-2631「振動暴露レベル」をベースとした等感覚曲線が用いられている。²⁾等感覚曲線を用いた「乗り心地レベル」の算定には、一般に3±2分の作用時間が推奨されている。

一方、乗り心地向上を目的とした軌道整備を行うには、「区間」の乗り心地評価とともに、乗り心地を悪化させる動揺を発生させる「地点」も特定する必要がある。現在は軌道狂いから列車動揺を予測 (例えば左右の乗り心地の場合、通り狂いから列車の左右動を予測) した後、その動揺に等感覚曲線を作用させ、その後乗り心地レベルを算定する際には、一般に「短時間乗り心地レベルまたは乗り心地レベルの瞬時値」といわれる、振動の作用時間を2秒間としたデータを算定している。しかし左右方向の振動に対する乗り心地、つまり左右動揺については、軌道狂いとの相関が上下方向よりも低いことが既知となっていること、さらに用いている等感覚曲線は一定の長い時間の間で印象に残る周波数を強調しているとも考えられ、「地点」を特定することを目的とする場合には、必ずしも現在の方法が適し

たツールであるかどうかは不明な点もある。

そこで筆者らは、乗り心地上要注意となる「地点」の特定を目的とした手法を、新幹線営業列車からデータを獲得し提案した。³⁾本研究では、提案した手法を用いて特定した点について、現地調査を行った結果と推定される原因、さらに改善策を検討した結果について報告する。

2. 乗り心地上要注意となる点の特定法

筆者らは複数の営業列車に被験者として乗車し、体感による乗り心地評価を実施した。これは要注意と感じた瞬間に手押しのマーカーを押した結果と、同時に行った列車の動揺測定結果から、発生する動揺と乗り心地評価の間にあるルールを見つけ出すために行ったものである。

2.1 評価手法の検討

得られた動揺を特定の周波数帯に分類し、手押しによる乗り心地評価結果 (以下、マーキング調査結果と記す) との関係を実験分析により検討した。

その結果、要注意となる現行の等感覚曲線で重みづけが高い0.5~1Hzの周波数帯の振動は、地点を特定する上では必ずしも評価の優劣を決める鍵とはならない可能性のあることが確認された。一方、人体に作用する振動は、評価を行う上で独立に作用するとされている現行の等感覚曲線に対して、特定の複数の周波数帯が、評価結果に互いに影響し合う可能性を確認することもできた。図2-1に、1~2Hz

と 2~4Hz の左右動揺について、判別分析で得られた結果を示す。なお判別分析に用いたデータは得られた動揺データを、特定の周波数帯ごとにそれぞれ 2 秒間の標準偏差 σ で表したものである。

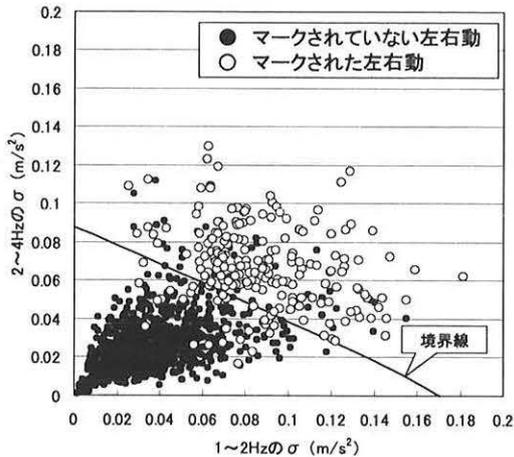


図 2-1 マーキング箇所の分布と判別用境界線

2. 2 提案する評価手法

乗り心地を評価するツールとして、図 2-1 で得られた判別用境界線を一次曲線と近似し、1~2Hz の左右動揺の 2 秒間の標準偏差を x 、2~4Hz の左右動揺の 2 秒間の標準偏差を y 、提案する乗り心地評価指標を m とした時、

$$m = 0.53x + y \quad (x > 0, y > 0) \dots\dots\dots (1)$$

で判別用境界線は近似でき、この m が 0.09 を超えたときに、乗り心地要注意と評価されるとした。

3. 推定式を用いた要注意箇所の特定

評価式を用いて、新幹線電気軌道総合試験車(以下、マヤ車と記す)の左右動揺データの評価を行い、要注意箇所の特定を行った。図 3-1 に今回要注意箇所として現地調査を行

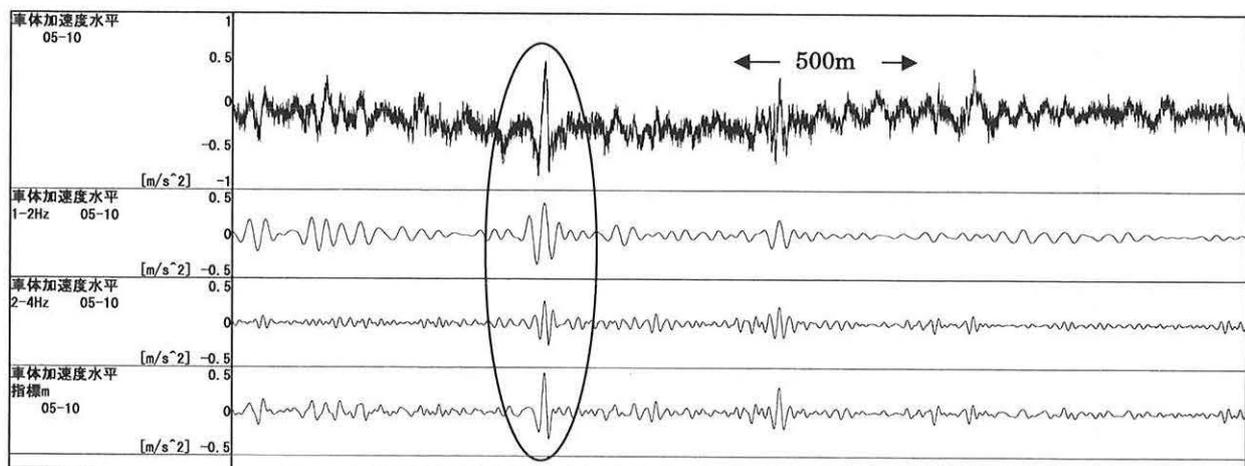


図 3-1 指標 m と動揺の関係

う区間を含む左右動揺、指標 m 算定の基となる 1~2Hz、2~4Hz の動揺成分、そして(1)の x 、 y に 1~2Hz、2~4Hz の動揺成分を用いて算定した指標 m の瞬時値を示す。

図の中の楕円で囲む箇所が、現地調査の対象とした、指標 m の最も大きい区間である。

4. 現地調査

調査箇所の概要を図 4-1 に示す。現地は半径 3000m、カント 180mm の円曲線区間で、曲線は左カーブ、特定された区間内には接着絶縁継目(以下、IJ と記す)が 1 組敷設されている。IJ と一般レールとの溶接は 4 箇所ともガス圧接である。調査にあたっては、レールの照り面の変化に特に注意した。なぜなら照り面の変化を、車輪とレールの接触の関係が急に変化していることを示す重要な指標と考えたからである。

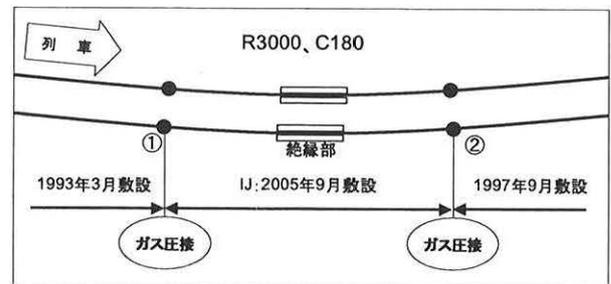


図 4-1 現地状況図

4. 1 目視調査結果

調査対象とした曲線の調査を行った結果、IJ と一般レールとの溶接部(以下、三次溶接部と記す)の照り面において、急激な変化を確認することができた。図 4-2 に図 4-1 の溶接部①を、図 4-3 に同じく溶接部②の状況を示す。この急激な変化は曲線外軌側のみに見られるものであり、内軌側について、変化は全く見られなかった。



図 4-2 照り面の変化①



図 4-3 照り面の変化②

4. 2 凹凸測定結果

三次溶接部を中心に 2m ストレッチで凹凸測定を実施した。溶接部①の結果を図 4-4、同じく溶接部②の結果を図 4-5 に示す。溶接部①について、当該箇所は三次溶接部の踏面が 0.75mm 凸であった。溶接の仕上がり基準は 1m ストレッチで +0.3mm、-0.1mm である。2m ストレッチで 0.75mm 凸という値は、年 2 回行われる連続凹凸測定で定められている凹凸状況確認の参考値 ($\pm 0.4\text{m}/2\text{m}$: 連続凹凸チャート) を超えているが、凹凸の曲率が同じと仮定した場合の 1m ストレッチの値は 0.19mm (図 4-6 参照: 図中の A : B = 4 : 1) であり、仕上がり基準は十分に満たされていることがわかる。また溶接部②では図 4-5 に示すように踏面の凹凸は非常に小さいが、逆にレールの 13R 部に 1.1mm の凹が確認された。仕上りの確認については、判定する弦長を 2m にすれば厳しく管理できるとも考えられるが、一方で弦を長くすればするほど、バラストの状態などの外因の影響も凹凸測定の結果に影響しやすくなると考えられるため、検討が必要と考えられる。

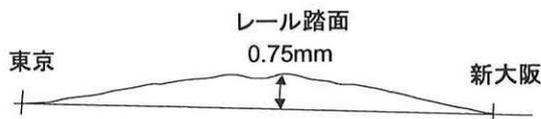


図 4-4 溶接部① 凹凸測定データ

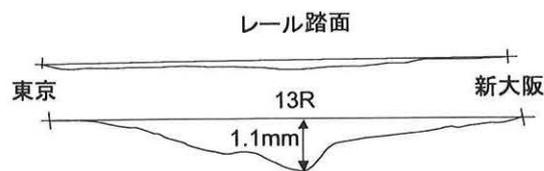


図 4-5 溶接部② 凹凸測定データ

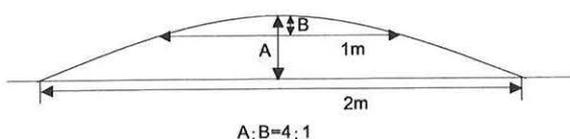


図 4-6 1m ストレッチと 2m ストレッチの関係

4. 3 レール断面測定結果

三次溶接部を中心に、100mm ごとにレール断面測定を実施した。ここで注目したのは、レール断面形状の違いの影響である。つまり図 4-1 に示すように列車進行方向手前の一般レールは敷設後 12 年が経過している。また列車進行方向で IJ よりも先のレールも敷設後 8 年が経過している。一般レールと IJ では共用する期間が異なることから、磨耗している断面に新品断面を持つ IJ をつなぐことは必然的に発生する。断面測定の結果のうち、溶接部中心からそれぞれ 400mm 離れた箇所の一般レール断面と IJ の断面を図 4-7 に示す。この図において、一般レールと IJ の断面の違いは、踏面で約 2mm、13R 部で約 3mm であった。調査の箇所数が少ないため、調査箇所数を増やし、断面形状の変化が乗り心地に影響するということの裏づけを行うことが必要であると共に、この差をいかにして滑らかに処理するかについても検討が必要であると考えられる。

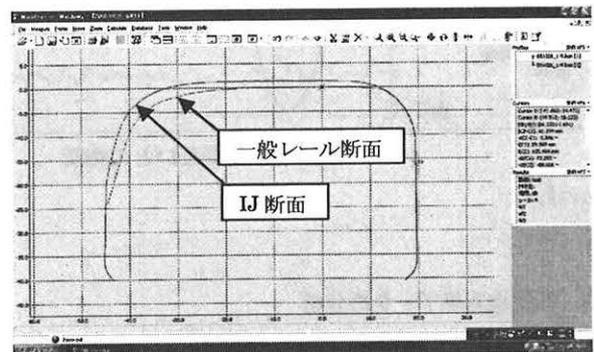


図 4-7 レール断面の比較

4. 4 改善策の検討

今回確認した箇所の改善策の検討を行う。溶接部の改善策は一般に削正と矯正が考えられるが、現在の東海道新幹線における溶接部の状況改善を目的とした工種は削正のみである。

まず現行実施されているレール削正について考察を行う。東海道新幹線では、上下線計 1000km に対して、1 回/年のレール削正を 48 頭式のレール削正車により行っている。この削正の目的はスポット的な削正ではなく、全線における転動音の減少や傷の除去などを目的としており、局所的な状況改善のために投入されているものではない。

一方、現在局所的な削正として用いられているのが、一頭式による削正である。これはレール踏面のみの削正となるが、少なくとも踏面については、スペノ投入前に大きな凸部を削正しておくことで、状況の改善が見込めると考える。しかし溶接部②にあるような、13R 部の凹凸については、一頭式でも削正することができないことから、その発生頻度を確認し、相当数の場合については管理方法を含めた検討が必要になると思われる。

さらに作業時間帯という限られた時間の中で、断面の異なるレールの溶接自体を精度よく行う技術の確立も必要と

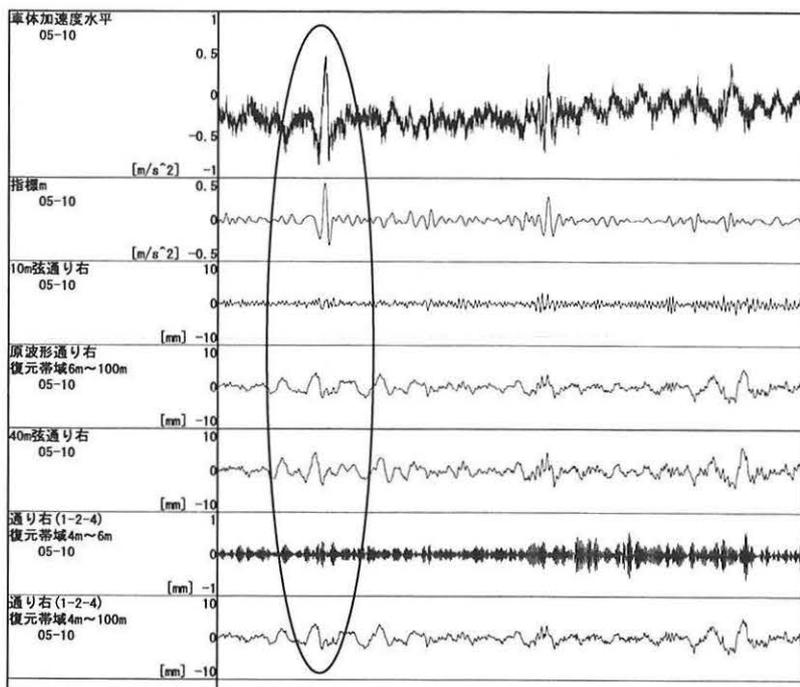


図 5-1 軌道狂いと的相关

思われる。

5. 軌道検測車データの分析

照り面の変化や 2m ストレッチで確認したレールの局所的な状態変化を、軌道検測車の測定データから捕らえることができる可能性について検証を行った。マヤ車の通常出力とされる 10m 弦通り狂い、復元原波形（復元帯域 6m～100m）、40m 弦軌道狂いの項目に加え、現在の復元帯域よりもさらに小さい 4m～6m の通り狂いを加えたものを、左右動揺とともに図 5-1 に示す。

図より、乗り心地要注意箇所として今回現地調査を行った箇所（図中の楕円）について、他の箇所と比較して特徴的な狂いが見られないこと、従来より乗り心地評価を行うための指標として用いられている 40m 弦通り狂いにおいても特徴が確認できないなど、現在の出力項目では、今回調査対象とした箇所を乗り心地要注意箇所として特定することが困難であることがわかる。溶接部の仕上がりや異なるレール断面を接合したこと起因する溶接部付近の狂いは、非常に短い波長の狂いであると考えられるが、現在マヤ車で用いている差分法で測定可能な狂いは、高低狂いで 3m 程度、通り狂いで 4m 程度であるため、その把握には別の手段を検討する必要があると思われる。

6. まとめ

筆者らが提案した実測の動揺を用いた新たな乗り心地評

価指標を用いて、東海道新幹線における乗り心地評価を行った結果、乗り心地に影響する地上側の要因の一つとして溶接箇所を挙げた。

この溶接部については、車輪とレールの接触面であるレールの照り面に急激な変化が見られるとともに、2m ストレッチによる凹凸測定では削正基準を超える凹凸が確認された。しかしこれらの状況を現在のマヤ車の出力データから確認することは困難であることを確認した。さらにこれまでの乗り心地指標といえば長波長軌道狂いであったが、今回のような衝撃的な動揺発生地点を特定するために、地上側の短波長狂いと乗り心地に影響を与える車両動揺の関係について検討する必要性があるといえる。

7. 今後の課題

今回用いた乗り心地要注意点特定用の指標は、実車を用いた乗り心地調査結果から求めたものであるが、被験者がまだ少ないため、指標の一般化を図るために、より多くの被験者による調査を行う必要がある。方法としては、当社研究施設内のシミュレータの使用が挙げられる。このシミュレータは、40Hz までの振動を再現できる性能を有しており、同じ動揺を複数の被験者に対して作用させることができる点でも非常に有効なツールと考えている。

また三次溶接の仕上がり精度については、作業環境やレール断面の異なるレールを溶接するということから、工場や保守基地内での溶接よりもさらに技術者の経験と勘による影響が大きいと考えられる。作業時間帯という限られた時間の中で、経験や勘に頼る部分を極力減らし、誰が行っても一定以上の精度で仕上げることができるまでに機械化することも課題となると思われる。また仕上がり確認を行うための基準とその後の削正基準で用いる弦の長さが異なるなどの実態があることから、溶接部管理の方法の検討についても今後は必要になると思われる。

【参考文献】

- 1) 窪野代男：「線路部門 小特集 東海道新幹線における乗り心地向上対策」, 日本鉄道施設協会誌, 2002. 11
- 2) 永沼他：「新幹線車両の動特性を考慮した軌道管理手法」, RTRI REPORT, Vol. 9, No. 12, 1995. 1
- 3) 中川他：「乗り心地試験結果の判別分析による左右乗り心地評価法」, 第 60 回土木学会年次学術講演会, 4-073, 2005. 9