

IV-251

有限要素解析による動的及び静的狂いの相互関係

JR西日本 正会員 山脇 浩
 東京大学 正会員 家田 仁

1. はじめに

軌道狂いの測定は、高速軌道検測車を使用した動的測定と手検測や吉池式などの軽量機による静的測定とに大別できる。動的及び静的狂いについての従来の研究としては、昭和40年前後のデータを用いて統計的に検討したものが紹介されている¹⁾。また、両者の違いを“浮きまくらぎ”に着目して、仮想的な正弦波形の狂いについて理論的に検討した研究がある²⁾が、狂い値の領域や対象とする狂い波形という点では、さらに検討を要する。また、現場に目を向けると、浮きまくらぎ状態が存在すると著しく道床横抵抗力が減少し、座屈の安全性が低下したり、列車走行時には道床に対して衝撃的な荷重を及ぼす等の問題があり、動的及び静的狂いの相互関係について検討することは非常に重要である。

そこで本研究は、高低狂いに着目し、両者の違いを“浮きまくらぎ”の効果として捉え、有限要素法を用いて解析することを試み、さらに実測データへの適用も含め両者の相互関係について検討した。

2. 有限要素法による解析方法

図-1上段に示すような現場状況をモデル化するため、中段のように軌きょうを梁と考え、それを軌道パッド、まくらぎ及び道床というバネ系で支えるという骨組み基本構造を考えた。ある区間の動的原波形 $S_0(i)$ の上に、いま仮想的に重さがゼロの軌きょうCD(無載荷時原波形)が梁として2点 X_1 , X_2 で支えられているとする。このとき柱部材のバネ係数は X_1 点, X_2 点を除き非常に小さい。この仮想的な梁の $k_1 \sim k_n$ の各点に自重(密度 ρ)に相当するまで徐々に荷重をかけていくと、それに伴い梁は徐々に下方に変形していく。この梁の任意の点が動的原波形に接した時には、その点のバネ係数を硬く(バネ係数 $E=1.0 \times 10^{20} \text{ kgf/cm}^2$)して、所定の荷重 $p_n (= \rho \cdot l; l=1\text{m})$ に達するまで解析を繰り返すことにより静的原波形 $S_s(i)$ が計算できる。下段は、演算終了時の状態図である。この基本モデルをもとに有限要素法による解析プログラムを作成した。

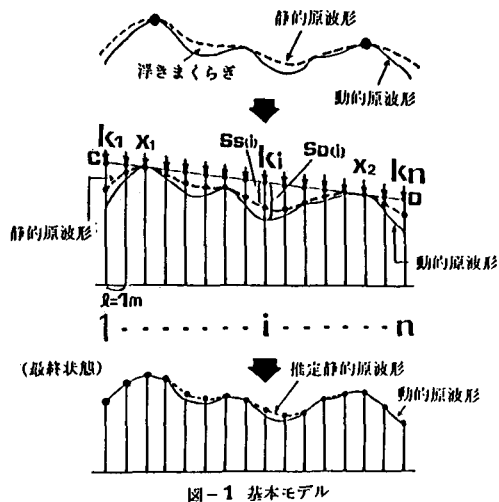


図-1 基本モデル

次に、本有限要素解析が正しく実行するかどうか、まず解析の結果との比較を行った。解析の結果としては、文献-2)で提案されている浮きまくらぎ・モデルによる値を適用した。比較した結果、この解析の結果とよく合致し、演算を離散化した有限要素解析によっても解析の結果とよく適合する解が得られることが明らかとなった。

3. 実測データへの適用と分析

昭和61年6月18日及び9月30日の二回にわたりマヤ34による検測に合わせ、同日手検測(10m弦)による1mピッチ間送り測定を国鉄大阪鉄道管理局神戸保線区内で行った(軌道状態により良・中・悪の3箇所を選定した)。有限要素解析では、動的原波形を入力するのでマヤ34による動的測定(10m弦)により得られたデータ(磁気テープ)を原波形に復元する必要がある。そこで以下のようなデータ処理を行った。A/D変換→1mサンプリング→位置合わせ→逆フィルターを用いた原波形への復元処理(復元波長範囲6m~70m)。なお、手検測により得られたデータも同様の手順で静的原波形に変換した。入力データは、軌道状態良・中・悪3箇所について各々レール延長180mずつ、つまりデータ総数としては1mサンプリング・データ540点分を考えた。有限要素解析の結果得られた推定静的原波形に動的原波形をあわせてプロッ

トすると図-2のようになる。この図-2の点線に手検測による静的原波形を重ね合わせ比較検討したところ、手検測はマヤ34ほど精度が期待できないため重なり具合の判断が難しいところではあるが概ね合致していた。なお、レール溶接部の影響はほとんど見られなかった。原波形の重ね合わせ作業を行ったところ図-3に示す3パターンに

わかれた。原波形が判っていればこれを2回微分することによりレール曲げ応力が計算出来る（ $\sigma = E I d^2 s / dx^2 / Z$ ）。そこで動的原波形と推定静的原波形とが合致していない箇所（図-3

（II），（III）の状態）の中から任意に28点（浮きまくらぎ状態13点，レールくせ状態15点）抽出し，それぞれの状態の極小点における曲げ応力を推定したところ概ね図-4（b）に示すような正規分布に従っていることが明らかとなった。これから図-4（a）に示すような曲げ応力とそれぞれの状態と判別した場合の誤判別確率との関係を求めた。

レールくせ状態と判別した場合の誤判別確率との関係を求めた。レールくせ状態が比較的低位の曲げ応力レベルで発現している傾向が注目される。レール曲げ応力の値により静的時の軌きようは完全弾性状態（1）（動的=静的），完全弾性状態（2）（浮きまくらぎ）及びレールくせ状態（塑性的性質が現れる）のいずれかにあるものと考えられる。この関係を示すと図-5のようになる。

4. 結論及び今後の課題と応用

以上の検討により以下の結論が得られた。

- (1) 本有限要素解析により，動的原波形を用いて静的原波形を推定することが出来る。なお，10m弦波形も推定出来るのは言うまでもない。
- (2) レール曲げ応力が小さい場合には，モデルで推定した静的波形と実測波形は斉合し浮きまくらぎ状態となっていることが確認されたが，レール曲げ応力が大きくなると，本来浮きまくらぎ状態となっているべき箇所で，実測波形がむしろ動的波形に合致してくる場合があることが明らかとなった。これは，レールくせ状態によるものと考えられる。今後は，データ数を増やして検証を進める必要がある。

本研究の応用としては，動的及び静的狂いの相互関係を分析することにより，以下のような面に用いることが出来ると考えられる。(1)座屈防止という点で，軌きようをどのような構造にすれば浮きまくらぎ状態をなくせるか，(2)浮きまくらぎはどういうところで発生するのか，(3)レールくせを防ぐには，どんな軌道状態に整備しておけばよいのか，などが挙げられる。

<参考文献>

- 1)宮下邦彦：軌道狂い管理（1），鉄道線路32-9，昭和59年9月，日本鉄道施設協会
- 2)家田，平田，抱山：異種測定方式による軌道狂い測定値の相互関係，鉄道線路34-6，昭和61年6月，同上

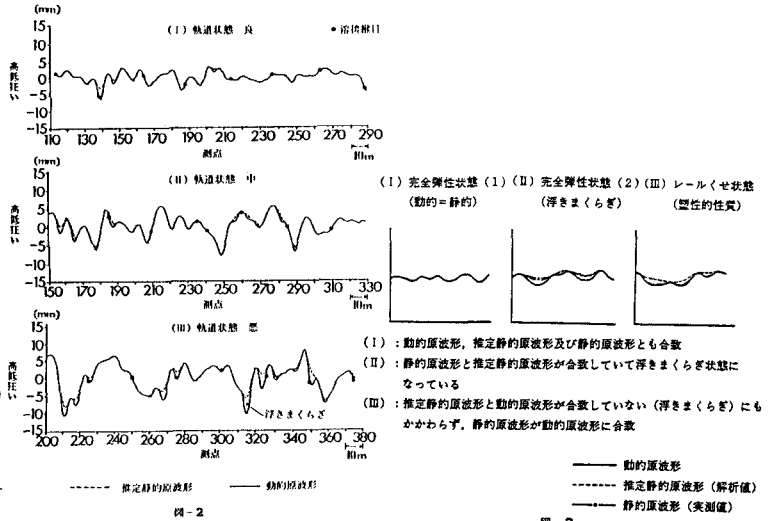


図-2

レールくせ状態としたときの誤判別確率 (I) と軌きようの誤判別確率 (II) との誤判別確率 (III)

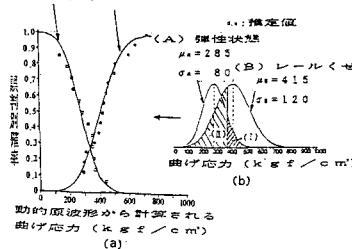


図-4

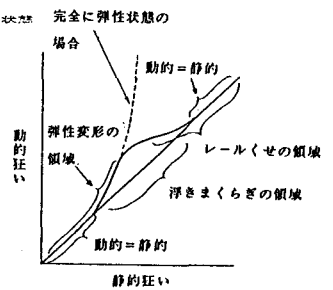


図-5