

# IV - 240

## HFWDを用いた木まくらぎ検査の一手法

日本貨物鉄道株式会社 ○ 正会員 上浦 正樹

〃 正会員 高橋 顕

### 1. 研究の目的

JR貨物の所有する線路のうち木まくらぎは約240万本ある。この材料検査は現在目視によって外観を判断しハンマーなどの打音により支持力を判定する担当者の経験と勘が主体の検査方法である。そこで今回検査機械に基づき木まくらぎの良不良を客観的な数値で管理できる手法としてHFWD（ハンディ・フォーリング・ウェイト・デフリクトメータの略：FWDはアスファルト舗装の維持修繕のため舗装構成層の弾性係数を求めるもの、HFWDはその簡易型）を用いてたわみ測定を行い、弾性床土の有限はりの仮定による理論解析によりまくらぎの曲げ剛性（EI）から木まくらぎの良不良を判定することとした。

### 2. 理論モデルと曲げ剛性（EI）の算定方法

HFWDによりたわみをまくらぎ端部2か所、左右レール付近4か所、中央部1か所の計7か所で測定したたわみ曲線（A曲線）とする。次に木まくらぎの曲げ剛性（EI:kgfcm<sup>2</sup>）と道床バネとしてレール支持バネ係数（k:kgf/cm<sup>2</sup>）を用いて有限弾性床土のはり（図1）としてこの理論モデルによりたわみ曲線を求める（B曲線）。このA曲線とB曲線の差を平方して和を求める（残差平方和：RMSとする）。この曲げ剛性（EI）とレール支持バネ係数（k）を変えていくことでそれぞれのRMSを求め最小となる曲げ剛性（EI）を当該のまくらぎの値とする（逆解析）。

理論によるたわみ曲線を次の式で示す。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + ky = 0$$

これをラプラス変換する。（この解法は日本機械保線佐藤吉彦氏の示唆による）

$EI(S^4 Y - S^3 y(t) - S^2 y'(t) - S y''(t) - y'''(t) + kY) = 0$   
この $y(t)$ 以下の $t$ の関数は境界条件によって定める関数を示す。よって

$$Y = \frac{EI}{EI S^4 + k} (S^3 y(t) + S^2 y'(t) + S y''(t) + y'''(t))$$

ここで $\beta = \sqrt[4]{k/(4EI)}$ とすると次式となる。

$$Y = \frac{EI}{S^4 + \beta^4} (S^3 y(t) + S^2 y'(t) + S y''(t) + y'''(t))$$

次に上式を逆変換する。

$$y = y(t) \cos \beta x \cosh \beta x + y'(t) \frac{1}{2\beta} (\sin \beta x \cosh \beta x + \cos \beta x \sinh \beta x) + y''(t) \frac{1}{2\beta^2} (\sin \beta x \sinh \beta x + y'''(t) \frac{1}{4\beta^3} (\sin \beta x \cosh \beta x - \cos \beta x \sinh \beta x))$$

ここで $y(t)$ 等を定めればたわみ $y$ は求まる。

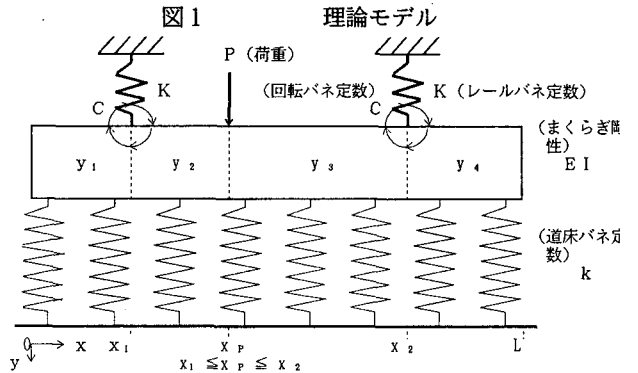
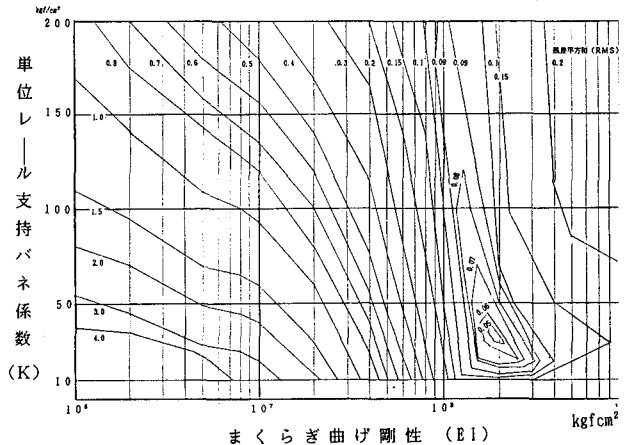


図2 EIとKの関係（良好なまくらぎ）



### 3 各係数の設定とRMSの算出

今回HFWDで測定した箇所の軌道構造は40N レール，木まくらぎ31本/25m，碎石道床でその厚さ15cmである．理論計算に必要な係数はこれらを基礎に設定した．

健全な木まくらぎの曲げ剛性としてケンパスが  $8.5 \times 10^8 \text{ kgfcm}^2$ ，カプールで  $5.3 \times 10^8 \text{ kgfcm}^2$  である．よって曲げ剛性の範囲として  $10^6 \text{ kgfcm}^2 \sim 10^9 \text{ kgfcm}^2$  とした．レール支持バネ係数としては浮きのない良好な道床では  $150 \sim 200 \text{ kgf/cm}^2$  である．しかし浮きがあると仮定すると  $10 \text{ kgf/cm}^2$  まで小さくなることが推定できるので  $K=10 \sim 200 \text{ kgf/cm}^2$  の範囲で演算することとした．

図3 E I と K の関係（不良なまくらぎ）

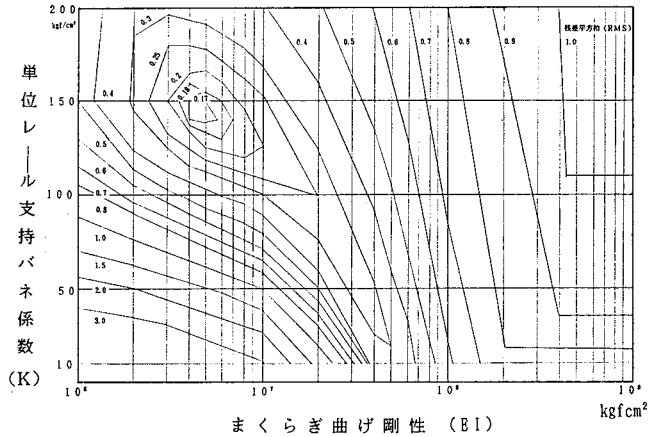


図4 実験値と理論値の比較（良好なまくらぎ）

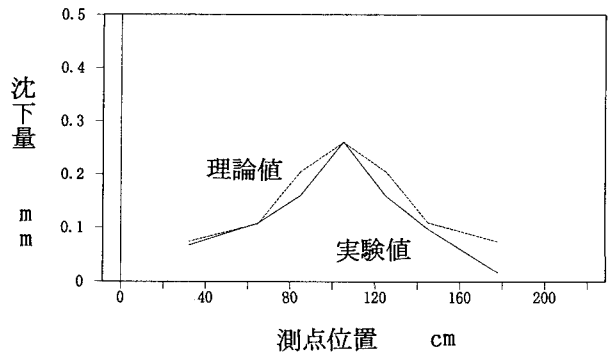
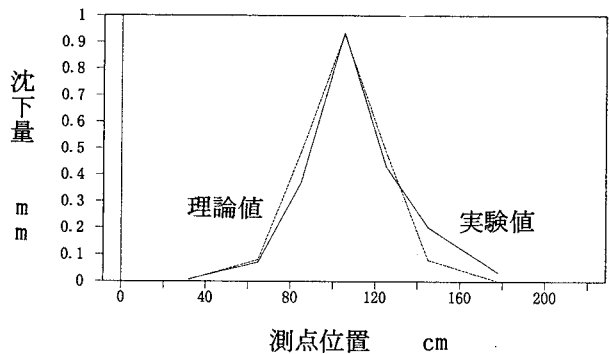


図5 実験値と理論値の比較（不良なまくらぎ）



実際の良好な木まくらぎと不良なまくらぎをHFWDによってたわみを求めA曲線を定める．一方以上の係数を用いてB曲線を算出し，A曲線とB曲線からRMSを算出し，同一の値をコンターで結ぶ．この結果を図2，図3に示す．

これらの図から良好なまくらぎでも不良なまくらぎでもRMSが収束する点は一点であることと良好なまくらぎでは曲げ剛性(EI)が  $10^8 \text{ kgfcm}^2$  程度であり不良なまくらぎでは  $10^6 \text{ kgfcm}^2$  程度であった．

最もRMSの小さい曲げ剛性を用いてB曲線を求めたものを図4，図5に示す．

### 4. 結論

以上から良好なまくらぎの曲げ剛性は従来から報告されている  $10^8 \text{ kgfcm}^2$  のオーダーでありHFWDによる逆解析で求める方法でも測定できることが明らかとなった．

また不良なまくらぎの曲げ剛性が  $10^6 \text{ kgfcm}^2$  であることから良好なまくらぎと有意差が認められ，HFWDによって木まくらぎの良不良の判定が可能であることが認められた．

〔参考文献〕

(1) 線路工学 佐藤吉彦他 1987 鉄道施設協会