

IV-57 貨車の衝突試験に基づく車止めの変位量などの計算手法について

（財）鉄道総合技術研究所 正員 西村昭彦[○]神田 仁
日本貨物鉄道株式会社 正員 上浦正樹 三枝長生 妹尾 聡

1. はじめに

車止めは、車両が過走するのを防止するために軌道の終端に設置されるものであり、この設計は構内作業の安全、後方の建造物の保護のために重要である。しかし、その設計法¹⁾については十分に確立されているとは言い難い。そこで、JR貨物の隅田川駅で車止めの衝突試験が実施され、その解析結果を参考にコンクリート製車止め（以下、制走堤と呼ぶ）の変位量等を推定する手法を検討したのでここに報告する。なお、試験の概要及び衝撃力の解析については、「制走堤等の強度に関する実車試験と解析²⁾」にて記述している。

2. コンクリート製制走堤

制走堤は、後方に建造物、高築堤、切取等がある場合で、車両が停止位置を誤れば重要な損害を及ぼす箇所を保護するために設置され、相対的にかなり強固な構造である。試験に用いられた制走堤は図1に示す大きさで、重量は約21tである。

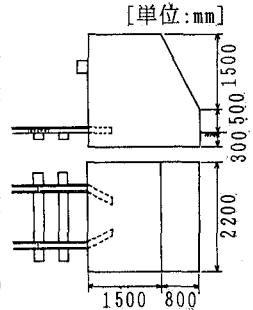


図1 制走堤諸元

3. 制走堤の変位量等の計算方法

制走堤を、地盤のせん断バネと水平バネ(K_h)、回転バネ(K_r) およびレールと道床、マクラギの縦抵抗バネ(K_R)とレールの曲げ剛性に因る鉛直バネ(K_b)に支持された剛体と仮定し、衝突の圧力により水平変位及び回転を生じたときのつり合い式を考える(図2)。また、各バネは非線形性を考慮する。

3.1 圧力およびバネ定数の値とつり合い式

(1)圧力(P) 衝突による圧力は、衝撃力を算定する解析手法³⁾に基づき、式(1)から得られる最大衝撃力 P を用いる。

$$P = 0.4 \times \lambda^{2/5} \cdot V^{8/5} \cdot W^{2/3} \quad (1)$$

ここに、 P (tf)、 V :衝突速度(m/sec)、 W :貨車重量(tf)
なお、ラーメの定数(λ)は試験の解析結果²⁾から定めた。

(2)地盤バネ(K_h, K_r) 弾性範囲では基礎標準⁴⁾に定められた値を採用する。

(3)レール等の引張りバネ(K_R) 図3において、マクラギと道床の縦抵抗力を α (tf/m)とし、点A(破断点)での破断荷重を P_b (tf)、破断ひずみを ϵ_b とする。レール固定点から破断点までの距離は $\mathcal{L} = P_b / \alpha$ で表されるので、固定点から距離 x の箇所でのひずみ $\epsilon_x \times dx$ を0～ $\mathcal{L}$ で積分すると破断点での変位量 δ が求められる。

$$\delta = \int_0^{\mathcal{L}} \frac{P_x}{EA} dx = \int_0^{\mathcal{L}} \frac{\alpha}{EA} x \cdot dx = \frac{\alpha \mathcal{L}^2}{2EA} \quad (2)$$

このとき、 $K_R = P_b / \delta$ であるから(2)式を代入し整理すると、

$$K_R = \frac{2\alpha}{\epsilon_b} \quad (3)$$

となり、(3)によってレール等のバネ定数が表される。

(4)レールの鉛直バネ(K_b) 図4のように、レールが両端固定の条件で δ 変形したとすると、 K_b は次式で与えられる。

$$K_b = \frac{12EI}{\mathcal{L}^3}$$

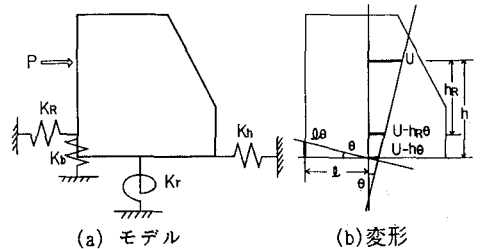


図2 解析モデル

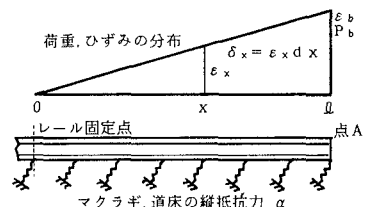


図3 レール引張りバネのモデル

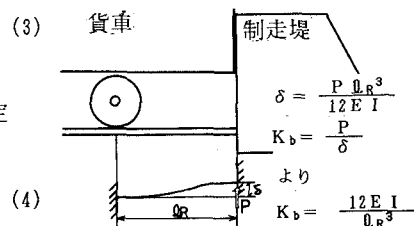


図4 レール鉛直バネのモデル

(5)力のつり合い式 以上の値を用いると、図2において力とモーメントのつり合いにより次式が成立する。

$$P = K_R(u - h_R \cdot \theta) + K_h(u - h \cdot \theta) \quad (5)$$

$$P \cdot h = K_R \cdot \theta + K_R(u - h_R \cdot \theta)(h - h_R) + K_b \cdot l \cdot \theta \quad (6)$$

ここに、 u :衝突点の変位量, h_R :レール中心から衝突点までの高さ, h :地表面から衝突点までの高さ
 θ :回転角, l :制走堤前面から回転軸までの距離

3.2 各バネの上限値

各バネ値の上限値は次の値とする。

表1 計算に用いた実車試験の諸条件

(1)水平バネ 底面の土の摩擦力と背面土の受働土圧を
 考える。($P_{max1} + P_{max2}$)

$$a) \text{底面摩擦 } P_{max1} = N \tan \phi_1 + C_1 \times A \quad (7)$$

ここに、 N :制走堤の重量, ϕ_1 , C_1 :底面下の内
 部摩擦角, 粘着力, A :底面積

$$b) \text{受働土圧 } P_{max2} = 1/2 \times \gamma \cdot (h + 2z_0') \cdot h \cdot K_p \quad (8)$$

ここに、 γ :単位体積重量, K_p :受働土圧係数
 z_0' :粘性土の自立高さ, h :根入れ深さ

(2)回転バネ 限界転倒モーメントとする。

$$M_{max} = B \cdot N / 2 \quad (9)$$

ここに、 B :載荷方向底面幅, N :制走堤重量

(3)レールの引張りバネ P_{Rmax}

試験では継目板ボルトが破断したため、継目板
 拘束力+ボルト曲げ抵抗力を上限値とする。

3.3 計算の考え方

3.1, 3.2の値を用いて、(5), (6)式により荷重 P に対
 する u と θ を求める。地盤のバネは上限値に達した以
 降は抵抗力は一定とし、レールは破断したものとして
 抵抗力は0とする。これらに基づいて、実車試験の諸

条件(表1)により計算した荷重-変位曲線を図5の実線で示す。また、最大抵抗力を上回る荷重に対する変
 位量の計算は、地震応答などで用いられる等価エネルギーの考え方をを用いる。すなわち図5に示すように弾
 性として計算した▨の部分と▨の部分の面積が等しくなるとして x を求める。

4. 実車試験結果への適用

図5で[I]は全てのバネが弾性範囲にある状態、[II]は最初に回転バネが塑性化して M_{max} (一定) となり、
 レールバネと水平バネが弾性範囲にある状態、[III]はレールが破断し、水平バネも同時に塑性化した後の状
 態を示している。実車試験の結果、衝突速度 $V=3.9\text{ km/h}$ のケースでは $P=49.04\text{ (tf)}$ であり(点A)、この時の
 変位量は $u=11.9\text{ (mm)}$ と求められる。さらに $V=26.1\text{ km/h}$ のケースでは $P=481.78\text{ (tf)}$ であるから $u \approx 890$
 (mm) と求められる。試験結果²⁾では前者が11(mm)、後者が770(mm)であった。いずれも試験結果よりは若干大
 きめの値であるが、良い適合性を示している。

5. おわりに

以上述べたように、ラーメの定数を用いた衝突の理論³⁾により衝撃力を求め、その力が地盤とレールのバ
 ネの変形に置き変わるとして変位量を求める手法の有効性が確かめられた。ラーメの定数、バネ定数の定め
 方には未だ議論の余地があるものの、この手法を設計に適用することは十分可能であると考えられる。

参考文献 1) 印南, 原田, 松井: 鉄道技研報告 No. 406, 1964. 4 2) 妹尾他: 第46回土木学会全国大会, 1991. 9

3) 土木学会編: 振動便覧(衝撃の現象). 4) 日本国有鉄道編: 建造物設計標準解説, 土木学会, 1986. 3

底面下地盤のN値	30	制走堤重量 (N)	20.68 (t)
側面地盤のN値	5	底面地盤の土質定数 $\{\phi_1; C_1\}$	$45^\circ; 1.0\text{ (tf/m}^2\text{)}$
道床縦抵抗力 (α)	4 (tf/m)	制走堤底面積 (A)	5.06 (m ²)
鋼の破断ひずみ (ε)	3000×10^{-6}	土単位体積重量 (γ)	1.6 (tf/m ³)
レール (B: kg/cm ²) (40N) $\{l: \text{cm}^4\}$	2.1×10^8 / 1278	粘性土の自立高 (Z_0)	$\phi = 30^\circ$ $C = 4.0$ $\tan(45^\circ - \phi/2)$ (tf/m ²)
貨車軸~車端間距離	$l_R = 2.2\text{ (m)}$	載荷方向底面幅 (B)	$2.3 \times 1.1\text{ (m)}$
衝突点高さ	$h = 1.32\text{ (m)}$	継目抵抗力 (P_{Rmax})	25 (tf/本)
レール中心~衝突点	$h_R = 0.95\text{ (m)}$		

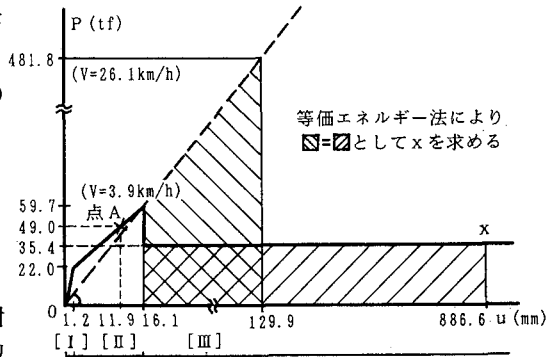


図5 実車試験の荷重-変位曲線