

IV-408

3次元有限要素法による砂利を用いた列車止めの動的解析

東急建設(株) 正会員○野沢 勝利
 日本イーエスアイ(株) 新関 浩
 東急建設(株) 正会員 石川 雅美
 東急建設(株) 白仁田和久

1. はじめに

鉄道において列車の暴走を防止するために側線や停車場の終端部には車止めが設置される。バネやオイルダンパーを用いた比較的高価な装置では、列車暴走時の制動性能などが定量的に把握でき、安全性が確認されている。これに対して、砂利盛を用いた車止めは構造が単純でほとんどメンテナンスが必要なく経済的である。しかしながら、その制動性能については昭和31年に鉄道技術研究所が行った実験¹⁾²⁾を除いては他に報告例がみあたらず、未だ十分に確認されているとは言えない。実験によって砂利の制動性能を評価しようとすれば極めて大掛かりな装置が必要となり、現実的には難しいものとなる。そこで本検討では、数値解析によって砂利の挙動を表現し、エネルギー吸収性能を評価する事を試みた。解析には要素どうしの接触、衝突を考慮した3次元有限要素法を使用した。

2. モデル化

図1のように幅1m、高さ1m、長さ5mの砂利盛を想定し、ある程度の大きさをもつ個々の独立した要素として表す方法を試みた。通常、軌道に敷設される砂利の粒径は2cm~6cm程度であるが、このような無数にある砂利の粒子を個別の要素として計算することは現実的に不可能である。そこで砂利盛を20cmごとに分割し、図2のように個別の26面体の要素を625個生成して表現することにした。それぞれの要素は独立しており、要素どうしの接触や要素の形状に依存したかみ合い等を扱うことができる。計算において、各要素に与える物性は表1に示すように密度、弾性係数、ポアソン比、そして要素間の摩擦係数である。

以上のようにモデル化した砂利盛に対して列車が衝突した場合の挙動を解析する。なお、便宜上列車は球体で表した。砂利の手前にある箱状のものは列車の軌道からの極端な逸脱を防ぐための列車誘導装置である。

3. 解析結果

列車の質量40t(1両編成程度)、初速度10km/hとして計算した結果を図3に示す。この図から列車の衝突に対する砂利の挙動がよく表れていることが分かる。すなわち、衝突の直後には列車誘導装置に押さ

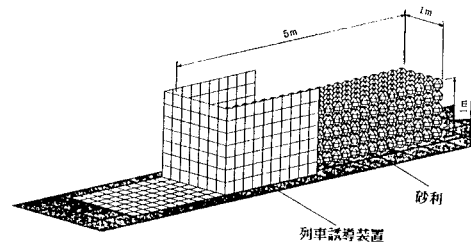


図1 解析モデル

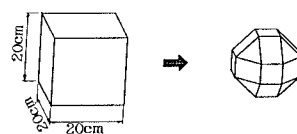


図2 26面体要素

表1 砂利モデルの物性

密度 (kg/cm ³)	弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比	摩擦係数
2.4×10^{-3}	2.5×10^5	0.2	0.5

キーワード：有限要素法，車止め，衝突，動的解析

〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 渋谷地下鉄ビル内，TEL 03-5466-5187，FAX 03-3797-7547

れた一部の要素が衝突して跳ね上がり、0.5秒の時点では砂利が崩れてこぼれはじめる。その後、砂利盛全体が列車誘導装置にすくわれながら移動を続ける。1.0秒後には列車誘導装置の反対側にまで、砂利の一部がまわり込んでいる現象が認められる。

図4にこの計算より求めた列車の移動距離 x_1 (m) と砂利のエネルギー吸収量 E_{ab} (t・m) の関係を示す。この図において x_1 が 0 m から 0.5 m 付近の間では、ほぼ線形に近い形状であり、その勾配はおおよそ $2.0 \text{ tf} \cdot \text{m} / \text{m}$ である。また、 x_1 が 0.5 m 付近以降では E_{ab} の増加が極端に少なくなるが、これは砂利全体が動き出すことによって、その制動性能が失われるためである。衝突前の列車の運動エネルギーは $E = 1/2 \cdot w / g \cdot v^2 = 15.7 \text{ tf} \cdot \text{m}$ である。ここで砂利盛の長さが十分にあり、砂利のエネルギー吸収性能が線形の状態を保持すると仮定すると、この解析から推測される列車の制動距離は $15.7 / 2.0 = 7.9 \text{ m}$ となる。また、昭和31年に鉄道技術研究所が実際の車両を用いて行った衝突実験¹⁾²⁾では、列車の運動エネルギー E と列車の制動距離 x の関係について次のように提案している。

$$x = 0.106 E^{0.875} \quad (\text{車両重量 } 40 \text{ tf}) \quad \text{式 (1)}$$

この式より列車の制動距離は $x = 0.106 \times 15.7^{0.875} = 1.2 \text{ m}$ となり、解析から予測した距離の $1/6.6$ 程度となる。この差は主に実際には砂利の複雑な表面形状により起こるインターロッキング等の現象が、この解析で表せていないことに起因しているのではないかと考えられる。

4. おわりに

本検討では3次元有限要素法により鉄道における砂利を用いた車止めの動的解析を試みた。砂利のモデルをある程度の大きさの個別の要素とすることにより、列車の衝突に対する砂利の挙動を表現できた。

今後は、既往の実験結果¹⁾²⁾のシミュレーション等を行い解析の妥当性を検証し、実際に車止めの設計に反映させていきたいと考えている。

なお、本研究を行うにあたり貴重なアドバイスならびにご協力をいただいた日本イーエスアイの安藤浩平氏に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鉄道技術研究所：可動式車止め装置の実物試験報告書，依頼試験 6-146，昭和31年2月
- 2) 鉄道技術研究所：鉄道技術研究所速報，No. 63-14，車止めならびに安全側線の実験的研究（第1報），昭和38年1月

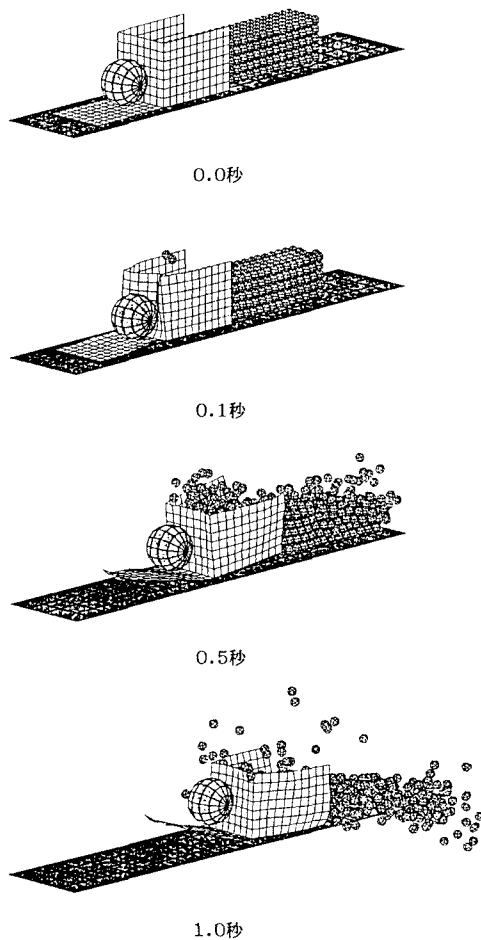


図3 計算結果

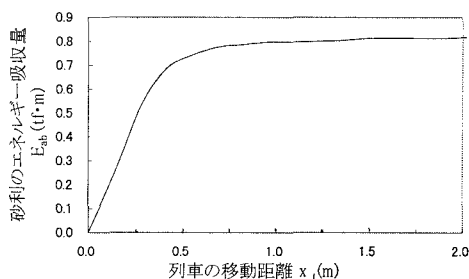


図4 砂利のエネルギー吸収量