

## 鉄道車両逸脱防止壁に作用する衝撃力の評価に関する基礎的考察

九州大学大学院 学生会員 ○深澤 仁 正会員 園田佳巨 正会員 曾我部正道

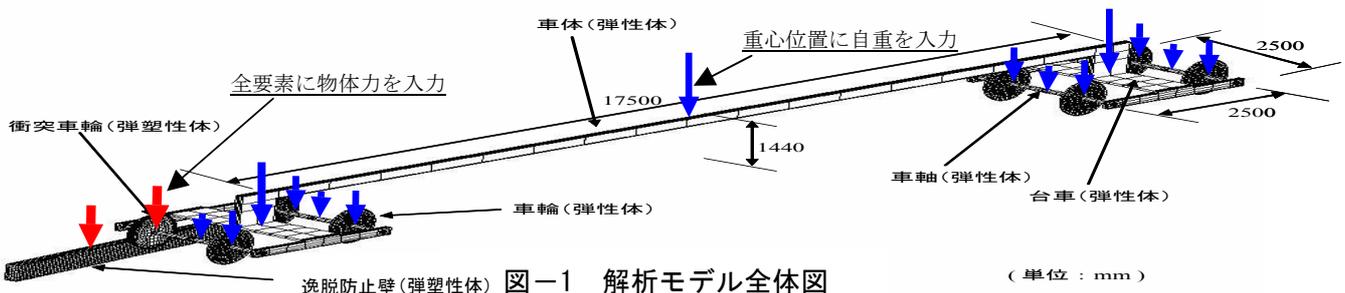
### 1. 緒言

不測の事態によって生じる可能性がある鉄道車両の脱線事故に対して、その被害を最小に抑えるための手段の一つとして、レール外側に鉄筋コンクリート製の逸脱防止壁を設ける工法がある。本装置を用いて鉄道車両の逸脱を防止し、円滑に車両の進行方向を修正・誘導するためには、鉄道車両の衝突時の挙動を熟知するとともに、逸脱防止壁の耐衝撃性能を正確に把握することが重要である。本研究は、脱線した鉄道車両の車輪が鉄筋コンクリート製逸脱防止壁に衝突した場合に生じる衝撃力や衝突箇所の変位を把握するために、3次元弾塑性有限要素解析による数値シミュレーションを試みたもので、逸脱防止壁の耐衝撃設計に適用可能な衝撃力評価方法について基礎的な考察を行なった。

### 2. 解析モデルの概要

#### 2.1 解析条件

図-1 に解析モデル全体図を示す。車体、台車、車軸、車輪の重量は、それぞれ実車重量値を参考にして決定し、各重量をそれぞれの部位における重心位置に鉛直集中荷重として入力した。なお、衝突解析の精度向上のため、衝突車輪と逸脱防止壁については詳細な要素分割を行い、その自重は各要素に対して物体力として与えた。逸脱防止壁内の鉄筋にはトラス要素を用い、それ以外の列車車両部分と逸脱防止壁内コンクリート領域には8積分点を有するソリッド要素を用いた。車輪の初期条件として、全ての車輪に車両の速度から換算される並進速度・角速度（地面との間に滑動はないものと仮定）を設定した。



#### 2.2 材料特性

図-2 に、本解析で用いた構造材料の応力-ひずみ関係を示す。列車車両の衝突車輪以外の箇所は弾性体としてモデル化した。衝突車輪と逸脱防止壁（鉄筋を含む）については弾塑性体としてモデル化した。鋼材の材料特性として、降伏強度を  $300\text{N/mm}^2$  とし、それ以降は初期剛性の  $1/100$  の剛性でひずみ硬化するものと仮定した。また、逸脱防止壁のコンクリート材料については、圧縮強度を  $30\text{N/mm}^2$  とし、それ以降は初期剛性の  $1/100$  の剛性でひずみ硬化する材料特性を与えた。また、引張域については引張強度を  $3\text{N/mm}^2$  とし、それ以降は引張軟化を考慮し、軟化勾配には  $20000\text{N/mm}^2$  の値を仮定した。なお、本研究ではコンクリートの圧壊は考慮していない。

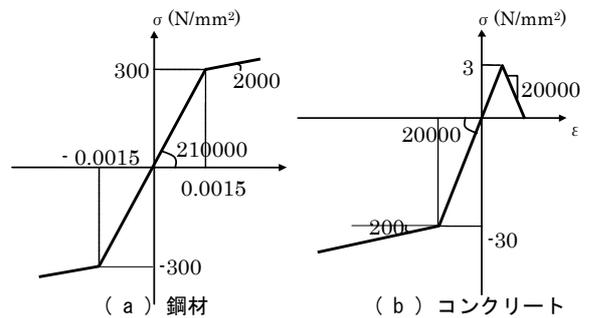


図-2 応力-ひずみ関係

### 3. 衝撃力評価方法

本研究では、図-3 に示すような逸脱防止壁に対して真横に衝突する水平衝突と、図-4 に示すような鉄道車

キーワード 衝撃力, 逸脱防止壁, 非線形有限要素法

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 Tel/Fax 092-802-3370

両に列車速度および入射角度を与えた実現象に近い斜め衝突の2通りを考えた。水平衝突は、水平衝突実験の既往の実験値と解析値を比較することで解析結果の定量的精度を確認した。斜め衝突は、実現象を想定した逸脱防止壁の耐荷力特性と衝撃力を把握することを試みた。また、逸脱防止壁に衝突車輪が接触した際に生じる接触力と、衝突車輪の加速度応答に質量を乗じて求めた衝撃力を比較することで、接触力を衝撃力として適用することの妥当性を検証した。

#### 4. 解析結果および考察

##### 4.1 実験値との比較（水平衝突）

衝突速度 2.8km/h 時の解析結果を図-5 に示す。解析で求める接触力は、逸脱防止壁の接触部位の各節点に作用する反力を合算したものである。図より、接触力の最大値は約 350kN 程度であり、衝突車輪の加速度応答から求めた衝撃力の最大値は約 200kN となった。これらの水平衝突モードに関する解析より、実験値 270kN は接触力の最大値と衝突車輪の加速度応答から求めた衝撃力の最大値の中間的な値を示すことがわかる。接触力と加速度から求めた衝撃力で衝突初期の値に大きな相違が認められるが、この原因としては、接触力が実際に衝突・接触している領域に生じる力をもとに計算しているのに対し、車輪加速度は車輪全体で平均値を求めたために、衝突初期の起ち上がりを緩和させた可能性があると考えられる。衝突初期の起ち上がり以降は、両者は良く似た波形を示すことが認められる。これらの結果から、接触力と加速度から求めた衝撃力の両者を比較・検討することで、概ね実際の衝撃力を把握できるものと考えられる。

##### 4.2 実現象を試算（斜め衝突）

列車速度が 150km/h, 200km/h, 270km/h 時の発生衝撃力を接触力を用いて整理した結果を図-6

に示す。図より、列車速度が 270km/h 時には、衝突直後の最大値が 3400kN に達していることが確認できる。また、270km/h における相当塑性ひずみ分布（ミーゼスの降伏条件を仮定）を図-7 に示す。図の白色部分は、相当塑性ひずみが  $3500\mu$  を超過する領域であり、破壊の可能性がある部分である。これらの図から、逸脱防止壁の変形は、衝突箇所の近傍において卓越することが認められる。しかし、5ms までの間で破壊の進行は終了し、5ms 以降は鉄道車両が跳ね返されるために衝突部位の変形は進展しないことが確認できる。このことから、鉄道車両は逸脱防止壁に広範囲にわたり擦るように衝突し、軌道を修正されていくため、列車速度が 270km/h と高速の場合においても、広域的にその衝撃に耐え、鉄道車両を円滑に軌道修正できるものと推測される。

#### 5. 結論

以上の結果より、次のことが分かった。①逸脱防止壁に作用する衝撃力評価の一つとして、接触力を用いることが可能である。②列車速度 270km/h で衝突させた場合、逸脱防止壁は局所的に破壊する可能性があるが全体破壊に至らず、鉄道車両の軌道を修正できるものと推測される。

今後、逸脱防止壁の破壊（コンクリートの材料特性）を表現可能な材料モデルを用いることで、本解析で得られる衝撃力の定量的精度を改善する予定である。

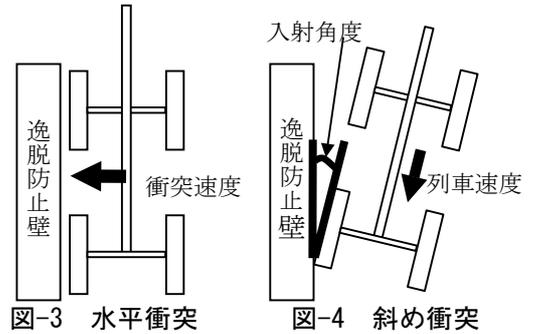


図-3 水平衝突

図-4 斜め衝突

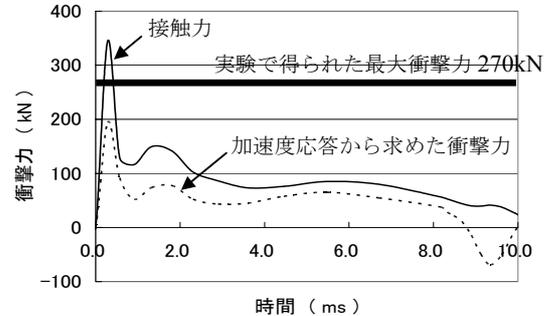


図-5 衝突速度 2.8km/h の解析値

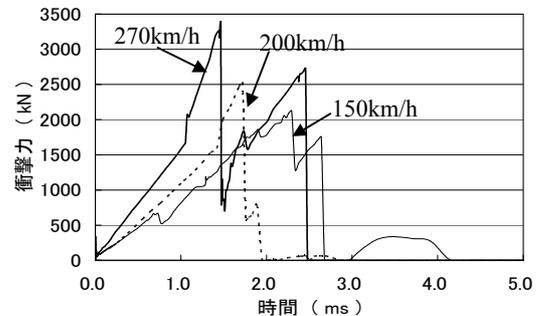
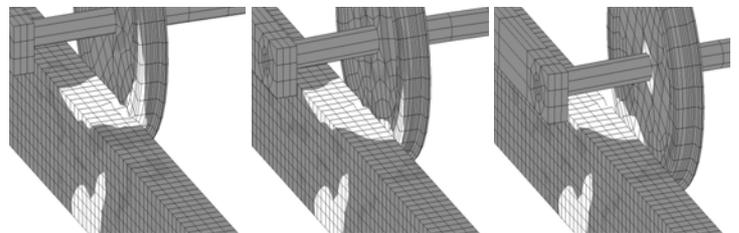


図-6 発生衝撃力



(1) 2ms 時 (2) 5ms 時 (3) 10ms 時

図-7 列車速度 270km/h の相当塑性ひずみ分布