

鉄道車両逸脱防止壁に作用する衝撃力に関する基礎的研究

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法の確立を目的とした基礎的考察を行なった。

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・角速度（地面との間に滑動はないものと仮定）を設定した。

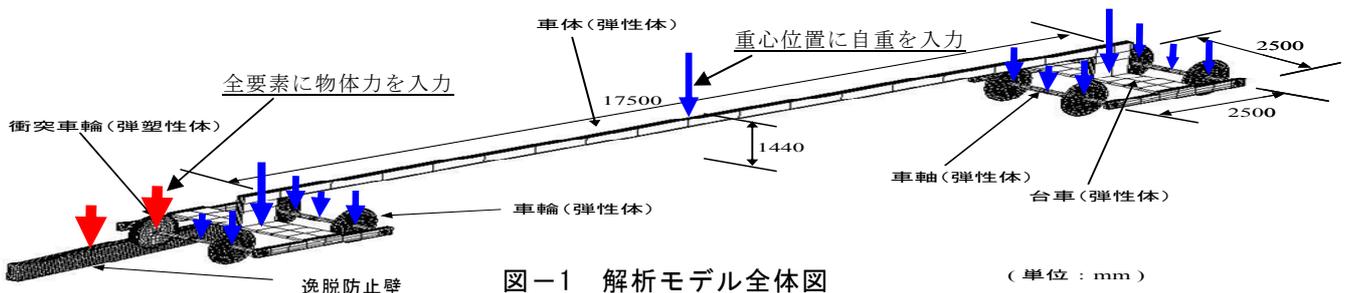


図-1 解析モデル全体図

(単位: mm)

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 300N/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 30N/mm^2

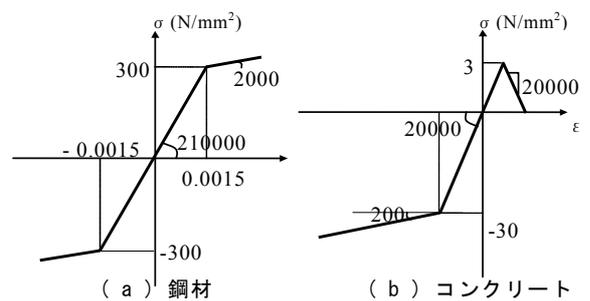


図-2 応力-ひずみ関係

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 3N/mm^2 とし、それ以降は引張軟化を考慮し、軟化勾配には 20000N/mm^2 の値を仮定した。なお、鉄筋要素とコンクリート要素の境界面では、完全付着を仮定した。

3. 解析方法

図-3は衝突部位付近を拡大したものである。本研究では、鉄道車両の逸脱防止壁への衝突速度を 50km/h (13.9m/s)、入射角度を 1 度と仮定した。計算結果から発生衝撃力を評価するために、車輪の衝突を受ける防止壁内の衝突箇所近傍の節点(車輪と接触した要素を構成する節点)に作用する衝撃力の総和を算出した。

一方、逸脱防止壁の変位には、衝撃力の評価対象とした衝突箇所近傍の節点変位の平均値を用いた。

4. 解析結果および考察

図-4 は、逸脱防止壁に車輪が衝突した際の衝撃力-時間関係を示したものである。この図より、逸脱防止壁と衝突車輪は 15msec の間に 3 回の衝突と離反を繰り返していることがわかる。本解析で用いた車両モデルは、車体本体を簡易な線形弾性体でモデル化しているため、車体の剛性や慣性が強く影響すると思われる 2 回目以降の衝突については、実現現象を忠実に再現できているとは限らないことから、本解析では 1 回目の衝突のみ (0~6msec の間) を考察の対象とした。

図-5 は、車輪が衝突した箇所の衝撃力-時間関係を示したものである。この図より、最大衝撃力は約 30kN となった。車両重量や衝突速度 50km/h (13.9m/s) の値から考えると、重錘落下実験等の他の衝突現象に関する研究で報告されている衝撃力に比べて、本解析で得られた衝撃力はかなり小さい値を示しているが、これは衝突する車両が 1 両のみであることおよび車両の入射角度が 1 度と小さく、車体の進路変更に要する力積が小さいためであると考えられる。

図-6 は、逸脱防止壁の衝突箇所における変位-時間関係を示したものである。この図より、最大変位は 2.6mm となった。変位応答は衝突時間 3msec の間に最大変位が発生した後に明確な残留変位を示しており、今回の解析対象である逸脱防止壁には局所的な塑性変形が発生していることが認められる。

図-7 は、3msec 時の相当塑性ひずみ分布を示したものである。図中の黒色部分の領域は、相当塑性ひずみが 3500μ を越えている部分であり、局所的に圧壊等の破壊が生じる可能性があることが推測される。

5. 結論

本研究では 1 ケースのみであるが、鉄道車両の逸脱防止壁に対する衝突現象のシミュレーションを行なった。本研究で得られた成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 衝突速度 50km/h (13.9m/s)、入射角度 1 度で車両 1 両が逸脱防止壁に衝突する場合、最初の衝突で衝突箇所に発生する最大衝撃力は 30 kN 程度、最大変位は 2.6mm 程度となることが推測された。
- (2) 今回の衝突条件 (車両 1 台、衝突速度 50km/h、入射角度 1 度) で、解析対象とした鉄筋コンクリート製逸脱防止壁には、衝突箇所近傍に局所的に圧壊等の破壊が生じる可能性があることが推測される。

今回は、列車が脱線した際の逸脱防止壁への車輪の衝突現象を 1 ケースのみ (衝突速度 50km/h、入射角度 1 度) をシミュレートした。今後、衝突速度や入射角度をパラメータとした解析を行い、総合的な評価をする必要がある。

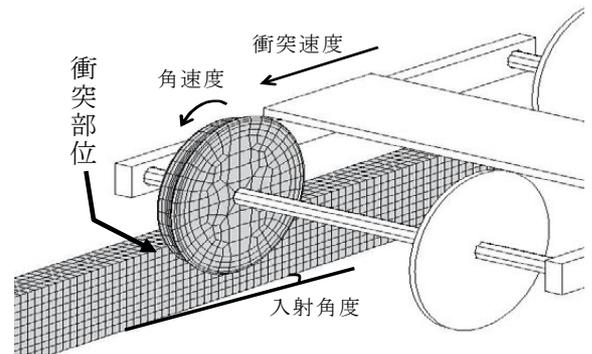


図-3 衝突部位付近拡大図

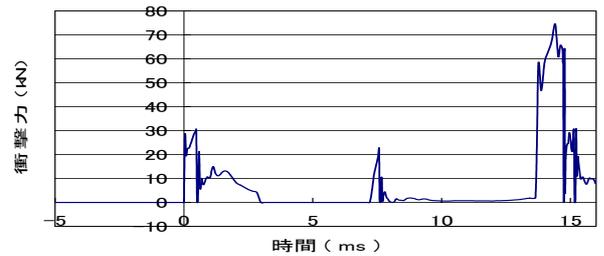


図-4 15msec の間の衝撃力-時間関係

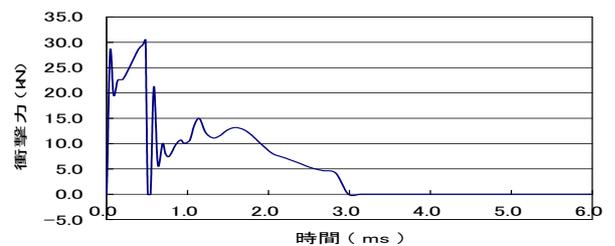


図-5 衝撃力-時間 関係

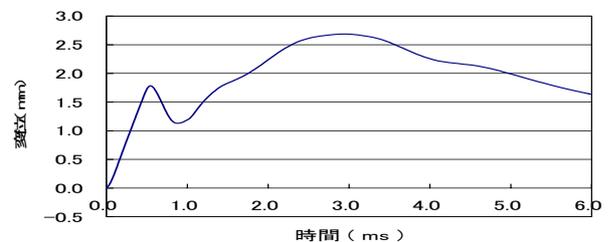


図-6 変位-時間 関係

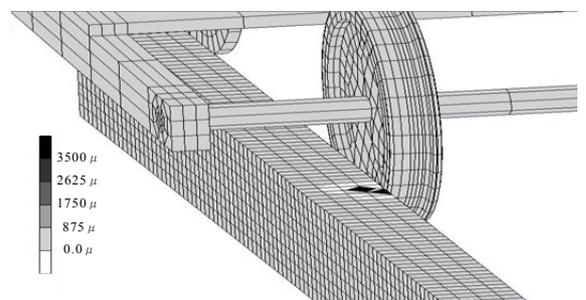


図-7 3msec 時の相当塑性ひずみ分布