

鉄道車両逸脱防止壁の耐衝撃性能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

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、入射角度の違いによって衝突挙動にどの程度の影響があるかを把握するために、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た。車体重量については乗車人員（約4t）も考慮に入れて等分布荷重で入力した。台車、車軸、車輪の重量は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。また、図-2に示すように、車体と台車はバネ要素によって連結しており、より実現象を再現することに努めた。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。

2.2 材料特性

図-3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。なお、車体の材料特性は鋼材の10倍とし、実挙動の再現に努めた。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 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、引張域については引張強度を 3N/mm^2 とし、それ以降は 20000N/mm^2 の軟化勾配を有する引張軟化を考慮した。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。

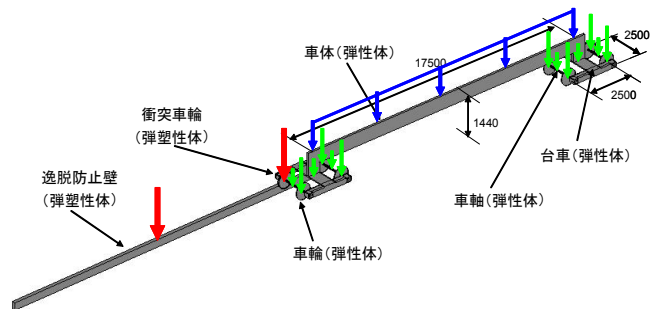


図-1 解析モデル全体図

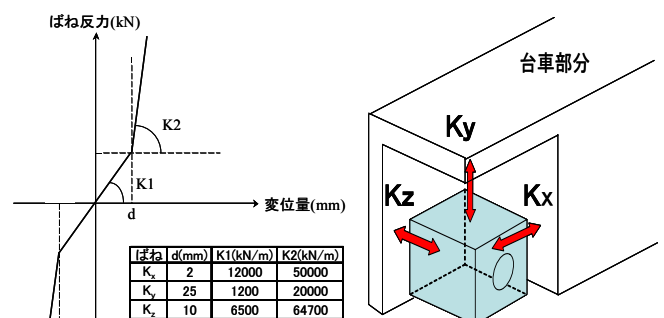


図-2 車体と台車の連結部位およびバネ定数

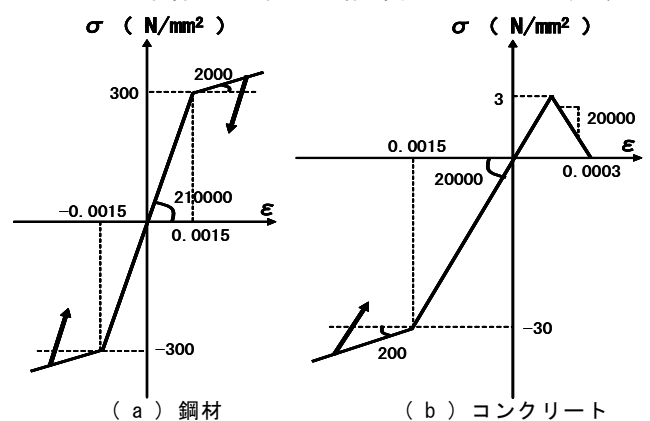


図-3 応力-ひずみ関係

3. 解析方法

図-4 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列車速度を 270km/h、入射角度を 0.8, 0.5 度とした。発生衝撃力は壁衝突部位近傍の節点に作用する接触力の総和によって評価した。また、図-5 に示すように、車輪底部が壁上面よりも高い位置に跳ね上がり、かつ入射角度を保っている場合は、逸脱を防止できない可能性があるかと判定した。

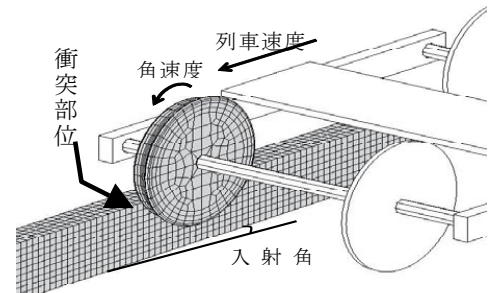


図-4 衝突部位付近拡大図

4. 解析結果および考察

図-6(a) および図-6(b) にシミュレーション正面図（入射角度 0.8 度）を示す。これらの図から衝突車輪底部が壁よりも高い位置に跳ね上げられ、かつ、車体は入射角度を減じつつも、依然として角度を保っていることが確認できる。このことから、入射角度 0.8 度の場合、壁は車両の逸脱を十分に防止できない可能性があるかと推測できる。図-7(a) および図-7(b) にシミュレーション正面図（入射角度 0.5 度）を示す。これらの図から車輪底部は壁よりも高い位置に跳ね上げられつつも、車体の入射角度は離散角度に転じていることが分かる。よって、入射角度 0.5 度の場合、壁は車両の逸脱を防止できる可能性があるかと判定した。

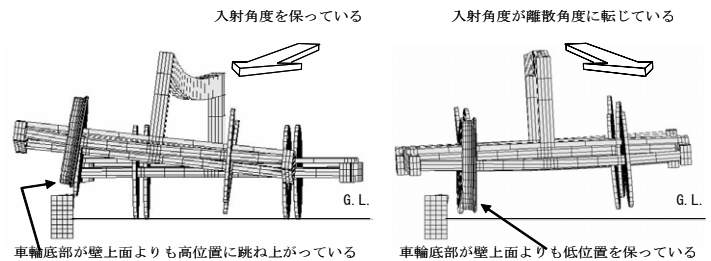


図-5 逸脱防止壁の性能評価要領

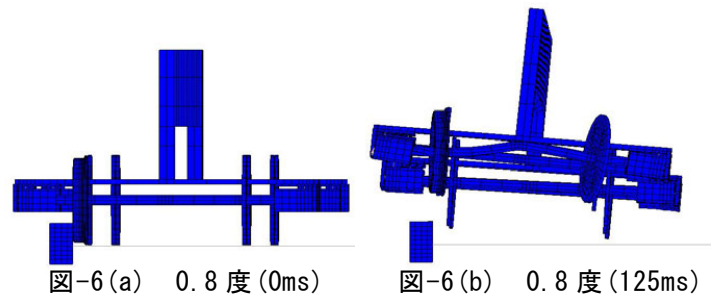


図-6(a) 0.8度(0ms)

図-6(b) 0.8度(125ms)

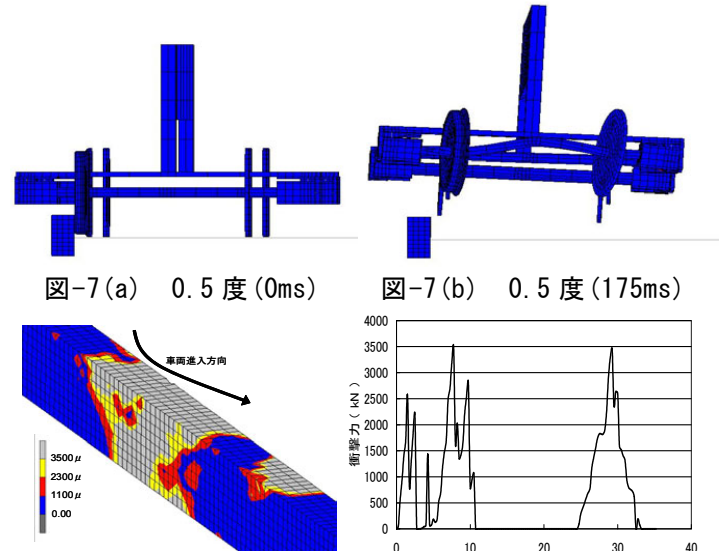


図-7(a) 0.5度(0ms)

図-7(b) 0.5度(175ms)

入射角度 0.8 度の場合、壁の相当塑性ひずみ分布を図-8 に示す。図中の白色部分の領域は、相当塑性ひずみが 3500 μ を越えている部分であり、圧壊等の破壊が生じる可能性がある領域と考えた部分である。さらに、壁に車輪が衝突した際の発生衝撃力を図-9 に示す。図より、最大衝撃力が 3500 kN に達していることが分かり、逸脱防止壁には局所的に圧壊等の破壊が生じるものと推測される。

5. 結論

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 入射角度 0.8 度の場合、車体は入射角度を減じつつも、壁よりも高く跳ね上げられるため、壁は車両逸脱を防止できない可能性があるかと推測される。また、発生する最大衝撃力は 3500 kN 程度に達し、壁は局所的に圧壊される恐れがある。
- ② 入射角度 0.5 度の場合、車体は壁よりも高く跳ね上げられるが、入射角度が離散角度に転じるため、壁は車両の逸脱を防止できる可能性があるかと推測される。

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（衝突速度 270km/h、入射角度 0.8, 0.5 度）を想定してシミュレートした。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と考える。なお、本研究の解析を進めるにあたり、鉄道総合技術研究所・構造力学研究室より助言を戴きました。ここに記して謝意を表します。

図-8 相当塑性ひずみ分布

図-9 発生衝撃力