

鉄道車両の衝突に対する鋼製逸脱防止装置の耐衝撃性能に関する解析的研究

九州大学大学院 学生会員 ○ 瀧上 翔太

九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

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、車輪が脱線した際にそれ以上逸脱しないようにレールの外側に鋼製逸脱防止装置(以下、鋼製ガードと称する)を設置する工法が考えられる。これらの装置を用いて鉄道車両の逸脱を防止し、進行方向を修正するためには、十分な耐衝撃性能を有する構造形式を採用する必要がある。そこで、本研究では鋼製ガードの耐衝撃性能を評価することを目的として、3次元弾塑性衝撃応答解析により、衝突時の鉄道車両の挙動と鋼製ガード構造の破損状況に関する定量的な考察を試みた。本研究で対象とする鋼製ガードは、複数の鋼製部材をボルト接合により締結する構造形式で、その耐衝撃性能はボルトの衝撃耐力に大きく依存すると考えられることから、主として各ボルトの破断可能性について解析的に検討した。

2. 解析モデルの概要

2.1 解析対象

図-1に解析モデル全体図を示す。車体、台車、輪軸、車輪に関しては弾性体とし、実車重量を車体には等分布荷重で与え、台車、輪軸、車輪には各部位の重心位置に鉛直集中荷重として与えた。衝突車輪と鋼製ガードに関しては、衝突解析の精度を向上させるために忠実に形状をモデル化し、弾塑性体として、その自重は各要素に対して物体力として与えた。衝突車輪は実物の車輪形状を元にモデル化し、直径921mm、幅125mm、重量4800Nの鋼材とした。車輪の初期条件として、車両が等速度運動をすることを前提に換算した並進速度および角速度(地面と車輪との間に滑動は無いものと仮定)を、車輪自体が回転運動で変形を生じないように全節点に対して入力した。また、輪軸と台車の間には接線方向、鉛直方向、法線方向にそれぞれ K_x 、 K_y 、 K_z の緩衝ばねを挿入している。ばね特性については、初期のばね定数 K_1 が、所定の変位量 d に達すると、台車と輪軸が接触することを考慮して K_2 に増大する非線形ばね特性を与えた(図-2参照)。図-3に鋼製ガードの断面図を示す。鋼製ガードは、複数の部材をM16、M20、M27の3種類のボルトにより締結する構造となっており、各ボルトに表-1に示す設計ボルト軸力を入力した。

2.2 材料特性

図-4に構造材料の応力-ひずみ関係を示す。車両については、衝突車輪以外の部分は弾性体としてモデル化している。衝突車輪

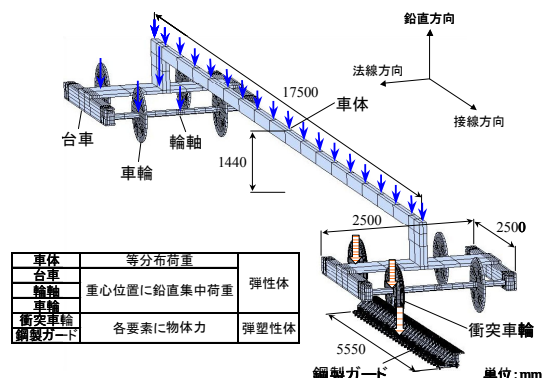


図-1 解析モデル全体図

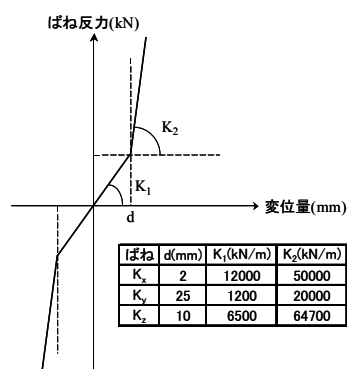


図-2 ばね特性

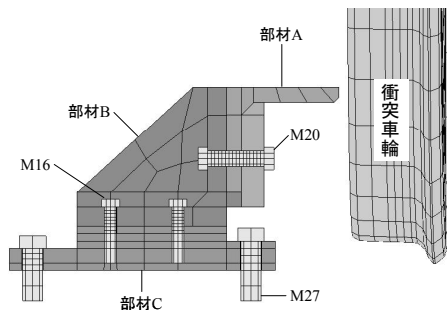


図-3 鋼製ガード断面図

表-1 設計ボルト軸力

ねじの呼び	α	σ_y (N/mm ²)	A_{be} (mm ²)	N (kN)
M16	0.8	940	157	118
M20			245	184
M27			459	345

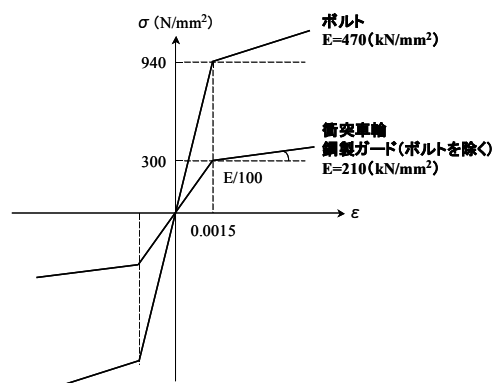
算定式: $N = \alpha \cdot \sigma_y \cdot A_{be}$ 

図-4 応力-ひずみ関係

と鋼製ガード(ボルトを除く)の鋼材の材料特性については、降伏強度 300 N/mm^2 、弾性係数 210 kN/mm^2 とした。ボルトの材料特性は、JIS 規格の六角ボルトの強度区分を参考に、比較的に剛性が高い強度区分 10.9(降伏強度 940 N/mm^2 、弾性係数 470 kN/mm^2 、破断ひずみ 9%) のボルトを採用した。なお、降伏後の硬化特性については、全ての鋼材で初期剛性の 1/100 の剛性でひずみ硬化するものと仮定した。

3. 解析条件

本研究では、図-5 に示すように、鉄道車両がある入射角度を持って鋼製ガードに衝突する状態を想定し、鋼製ガードに対する入射速度を列車速度と定義する。また、考察対象は図-6 に示す赤枠部分で、衝突開始後、前輪部分が約 2.0m 通過する 11 個の鋼製ガードのボルトとした。表-2 に解析ケースを示す。

4. 解析結果および考察

本研究では、衝撃応答解析で求めたボルトの相当塑性ひずみが、強度区分 10.9 の破断ひずみである 9 % に達すると、破断する可能性があるものと仮定した。ただし本解析の結果は、ボルト内の最も大きなひずみを示す節点における判定であり、直ちにボルトが破断するというわけではない安全側の評価を行った。図-7 に M20 ボルトの相当塑性ひずみ-時間関係を示す。CASE1~CASE3 より、列車速度の増加に伴い、破断可能性のあるボルトの本数が増加し、全体的な応答ひずみも増大していることが確認できる。CASE1 の場合、相当塑性ひずみが 9%を超えるボルトが 6 本確認でき、衝突部位で大部分の M20 ボルトに損傷が卓越する恐れがある。また、CASE1 と CASE4 より、入射角度が僅かに 0.5° 減少すると、相当塑性ひずみが 9%を超えるボルトは存在せず、大幅にボルトの損傷が低減されていることが確認できる。M16 ボルトに関しては、列車速度の増加に伴い、全体的な応答ひずみが増大することが確認できたが、CASE1 の場合でも最大の相当塑性ひずみは 7%未満であり、CASE4 の場合には、3%未満であった。M27 ボルトに関しても、降伏ひずみには達しているが、最大でも 1%未満の相当塑性ひずみ分布であったので、今回の解析ケースにおいては破断の可能性はないと考えられる。

5. 結論

本解析により、列車速度の増加に伴い、各ボルトの全体的な応答ひずみは増大するが、鋼製ガードの上部構造を破壊して車両が逸脱してしまうほどの被害は生じなかった。鋼製ガードの構造上、車両の逸脱を防止するためには、M16 ボルトが十分な耐衝撃性能を有する必要がある。よって、ボルトの衝撃耐力に着目すると、車両の入射角度が重要な要因になると推測される。今後、さらに解析モデルを改良し、車輪と衝突部材との摩擦特性などを考慮した解析を行う予定である。

謝辞： 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。

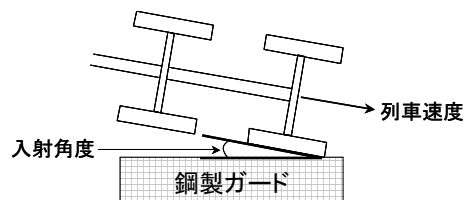


図-5 衝突モード

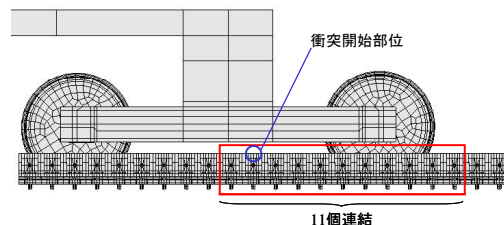


図-6 考察対象

表-2 解析ケース

解析ケース	入射角度($^\circ$)	列車速度(km/h)
CASE 1	0.8	270
CASE 2	0.8	200
CASE 3	0.8	150
CASE 4	0.3	270

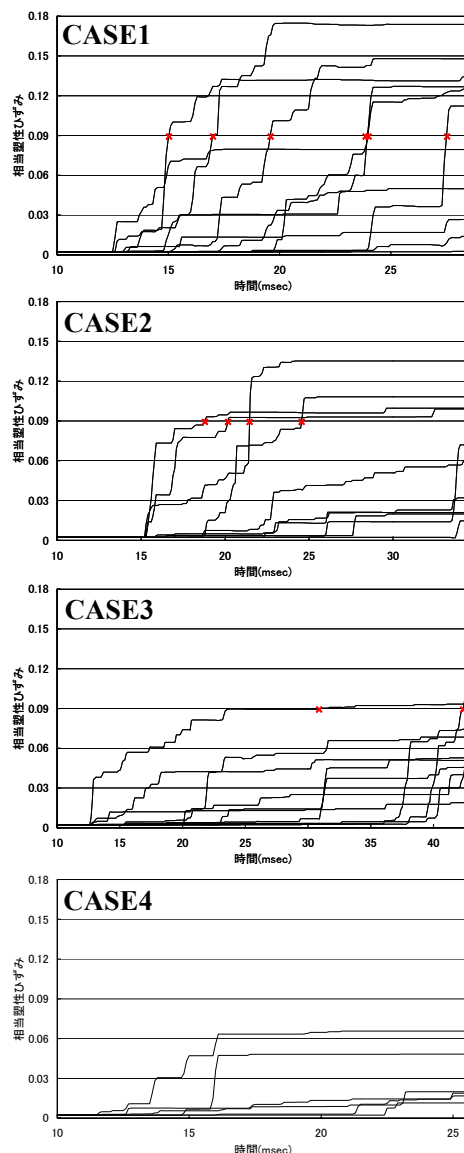


図-7 M20 ボルトの

相当塑性ひずみ-時間関係