

鉄道車両防護壁の耐衝撃性能評価に関する解析的研究

九州大学 学生会員 ○綿島理晃
九州大学大学院 正会員 園田佳巨
鉄道総合技術研究所 正会員 曾我部正道

1. 目的

近年、鉄道車両が速度超過や突風、地震などの不測の事態により脱線した場合、停止するまでの間に軌道を逸脱し、車両横転や転覆あるいは高架橋からの落下などの大惨事を招く恐れがある。このような事故の安全対策の一つとして、図-1に示すような逸脱防止システムが考えられる。図-1のシステムの場合、車体に逸脱防止ガイドを取り付け(①逸脱防止ガイド)、次にレールの外側に逸脱防止装置を設置し(②逸脱防止装置)、さらにその外側に、鉄筋コンクリート製の防護壁(③防護壁)を設置する3段階の防止装置が設けられている。この中で、車両の高架橋からの落下を防止するために設けられるRC防護壁については、車体との衝突を想定した耐衝撃性能を把握することが重要である。そこで、本研究では、地震動により脱線する鉄道車両に対する防護壁の耐衝撃性能を評価することを目的として、平面ひずみ状態を仮定した二次元弾塑性衝撃応答解析を行った。

2. 解析モデルおよび解析条件

図-2に解析モデル全体図を示す。本研究で対象としたモデルは、4積分点を有する平面ひずみ要素で構成され、奥行き長を150mmと設定した。解析モデル全要素に対して自重を物体力として与え、乗車人員等については考慮していない。図-3に防護壁モデルの詳細を示す。防護壁は弾塑性体でモデル化し、RC構造としている。本解析で防護壁に用いた材料特性を図-4に示す。主鉄筋は降伏強度を 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。スターラップに関しては、設計上の壁において150mm間隔で1本配置されていることを考慮し、体積換算を行い、主鉄筋の1/10の剛性とした。コンクリートの引張側の軟化勾配は、要素寸法に依存する破壊エネルギーの値より 2500N/mm^2 とした。圧縮側については、降伏強度を 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ものと仮定した。図-5に車両の材料特性を示す。鉄道車両(車体、台車、輪軸)に関しては弾性体とした。また、車体部分はアルミ、それ以外は鋼材とした。

車体と台車の間には、図-6に示すように緩衝ばねを考慮している。ばね特性については、初期の

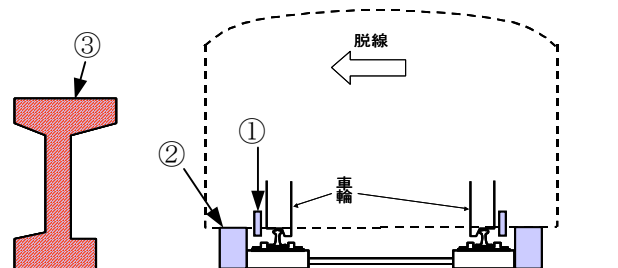


図-1 逸脱防止システム

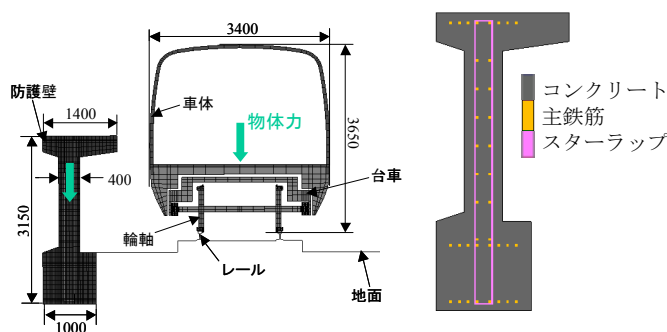


図-2 解析モデル全体

図-3 防護壁モデル

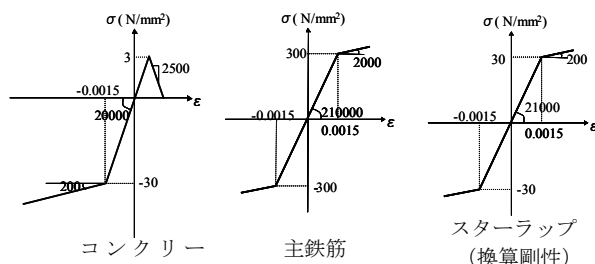


図-4 防護壁の材料特性

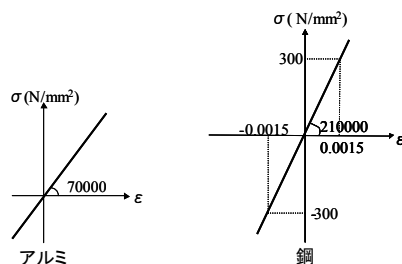


図-5 車両の材料特性

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-7 参照)。

本解析では、地震動を想定し、地面(剛体面)に強制変位を与えた。入力地震波形は図-8 に示すように、新潟中越沖地震時で観測された左右振動(EW)および上下振動(UD)を考慮した波形となっている。

コンクリート材料は圧力依存性を示すことから必ずしも適切ではないが、本解析ではミーゼスの降伏条件を仮定した相当塑性ひずみを用いて防護壁の耐衝撃性能を評価した。応力の第1不変量が正のとき、その要素は引張域であると考え、そのときの相当塑性ひずみを引張ひずみと定義した。逆に応力の第1不変量が負のときの相当塑性ひずみを圧縮ひずみとした。

上述の相当塑性ひずみ(圧縮ひずみ、引張ひずみ)分布を用いて、圧縮破壊に関しては、コンクリートの圧縮ひずみが 3500μ を越えると、コンクリートは圧縮破壊する可能性があると考え、防護壁破壊の恐れがあるものとした。引張破壊に関しては、コンクリートの引張ひずみが 1250μ を超えると引張破壊する可能性があると考え、さらに鉄筋の相当塑性ひずみが 20%を超えると、鉄筋が破断し、防護壁が破壊される恐れがあると考えた。

3. 解析結果および考察

図-9 に圧縮ひずみ分布を示す。黒色部分は、コンクリートの圧縮ひずみが 3500μ を超える領域である。わずかに防護壁基部裏面に圧縮ひずみが 3500μ を超える部分があるが、破壊につながる可能性は小さいと考えられる。図-10 に引張ひずみ分布を示す。黒色部分は、コンクリートの引張ひずみが 1250μ を超える領域である。壁基部に引張ひずみが卓越していることが確認でき、一回目の衝突で基部コンクリートに引張破壊の発生が予想されるが、鉄筋の破断が生じる可能性がないことから、構造全体の破壊にはつながらないと考えられる。

4. 結論

今回の解析結果より、以下のことがわかった。

1) 車両が衝突する箇所近傍におけるコンクリートの圧縮破壊の可能性はなく、衝突箇所より壁基部の圧縮破壊に対する補強が優先することが認められた。

2) 1 回目の衝突時に壁基部のコンクリートが引張破壊する可能性があることがわかった。耐荷性能を向上させるには、壁基部に何らかの補強が必要であると考えられる。

今後は、3 次元的な車両衝突に対する検討を試みる予定である。

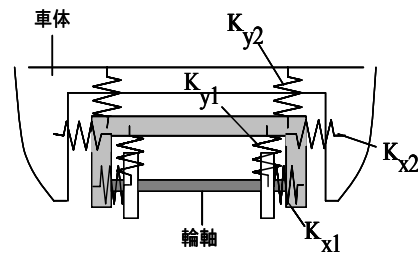


図-6 ばね配置図

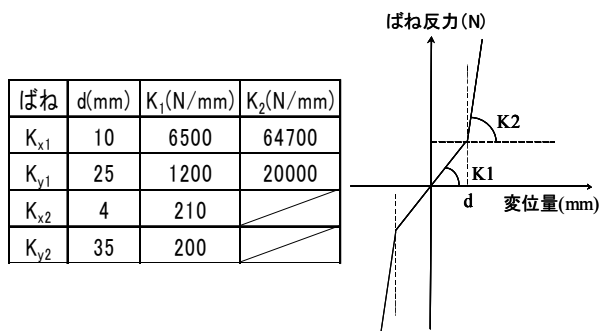


図-7 ばね特性

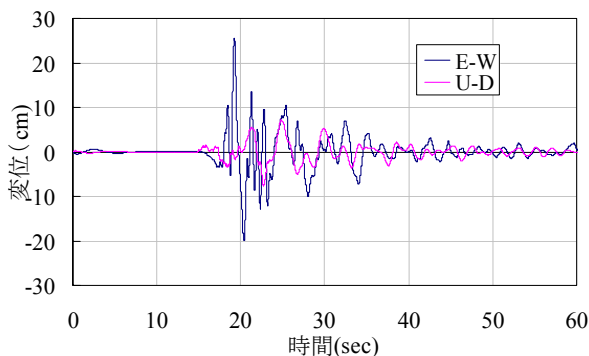


図-8 入力地震波形

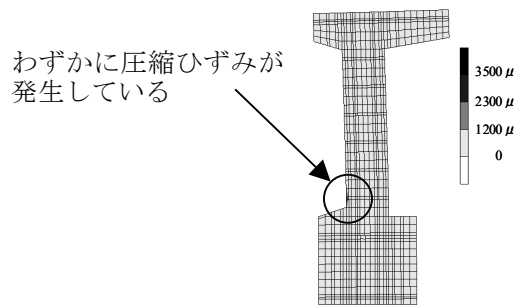


図-9 圧縮ひずみ分布

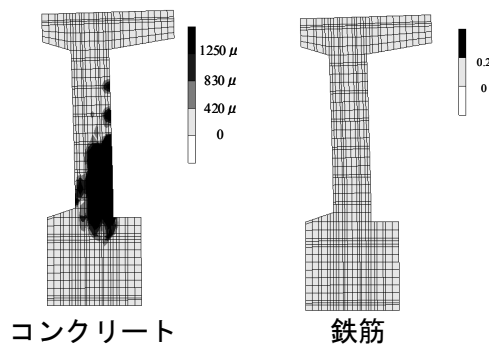


図-10 引張ひずみ分布