

鉄道車両用防護壁の耐衝撃性能評価に関する基礎的研究

九州大学 学生会員 ○綿島 理晃
九州大学 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危険性が指摘されている。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段階の防止装置が考えられている。この中で、車両の転覆や高架橋からの落下を防止するために設けられる防護壁については、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、乗車人員等の影響については考慮していない。また、鉄道車両(車体、台車、輪軸)に関して車体部分はアルミ合金、それ以外は鋼材とした。図-3に示すように、防護壁に関してはRC構造としている。解析モデル全体は弾塑性体でモデル化しており、各材料に用いた材料特性を図-4に示す。アルミ合金は降伏強度を 250N/mm^2 とし、それ以降はひずみ硬化するものと仮定した。鋼材は降伏強度を 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 1000N/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。また、車体と台車の間は、緩衝ばねで連結している。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。

本解析では、地震動を想定し、地面に強制変位を与えた。入力

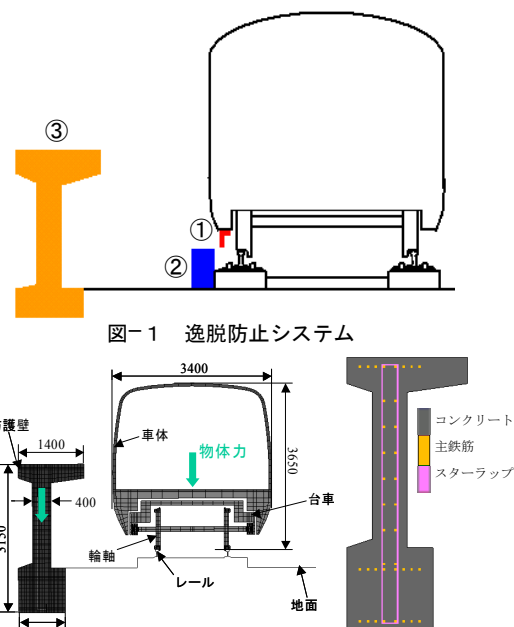


図-1 逸脱防止システム

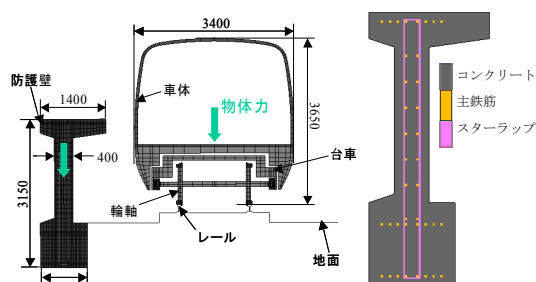


図-2 解析モデル全体図 図-3 防護壁モデル

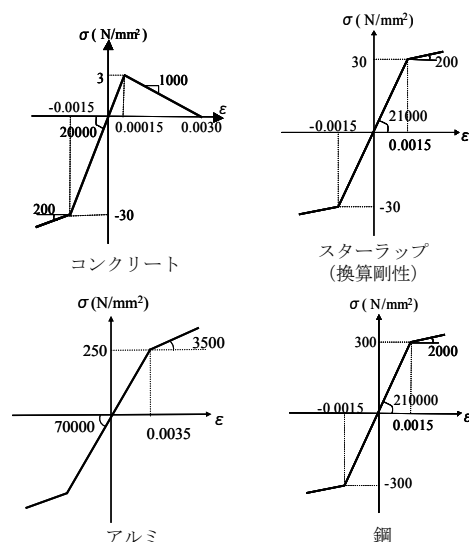


図-4 各材料の物性値

キーワード 耐衝撃性能評価, 鉄道車両防護壁, 非線形有限要素法, 地震動, 換算剛性

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番 Tel/Fax 092-802-337

地震波形は図-5に示すように、新潟中越沖地震時で観測された水平振動(EW)および鉛直振動(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りひずみと定義した。反対に第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。

上述の要領で評価した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、明確なひび割れが発生し応力伝達が不可能になる状態のひずみ値として 3000μ を引張破壊の判定値とし、鉄筋については相当塑性ひずみが20%を超えると破断し、防護壁が破壊される恐れがあると考えた。

次に、本解析で用いた防護壁を片持ちばりと仮定し、固有振動特性を把握するために固有値解析を行った結果を表-6に示す。また、車両の衝突により防護壁に発生する衝撃力を、周波数解析(離散フーリエ変換)した結果を図-7に示すことで、衝撃荷重による共振の可能性を推測した。

3. 解析結果および考察

図-8に圧縮ひずみをマイナス、引張りひずみをプラスで表示したひずみ分布図を示す。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。また、赤色部分は、コンクリートの引張りひずみが 3000μ を超える領域である。壁基部に赤色表示の領域が確認でき、鉄道車両の衝突で基部コンクリートに引張破壊が生じる可能性が高いことが認められるが、鉄筋の相当塑性ひずみは20%に達しておらず破断は生じないと考えられることから、構造全体の破壊には至らないことが予想される。また、表-6と図-7に示すように、全てのケースで衝撃力波形の周波数は、防護壁の1次固有振動数に近い値を示していないことから、本解析で条件とした $0.1\sim 1.0\text{ m/s}$ 程度の速度による鉄道車両の水平衝突によって防護壁が共振する可能性はほとんどないことが確認された。

4. 結論

本研究で明らかとなった知見を以下に示す。

- 1) 鉄道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無いが、壁基部のコンクリートに引張りひび割れが発生する可能性があることがわかった。鉄筋が破断しないことから、構造全体の破壊には至らないが、壁基部に何らかの補強を設けることが望ましいと考えられる。
- 2) 地震動により脱線した鉄道車両が、 $0.1\sim 1.0\text{ m/s}$ 程度の速度で水平衝突する場合には、防護壁が衝撃荷重と共振する可能性はほとんど無いことが確認された。

今後は、乗車人員の重量などを考慮した解析を行い、解析による照査精度の向上を図る予定である。

参考文献

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 2002年制定

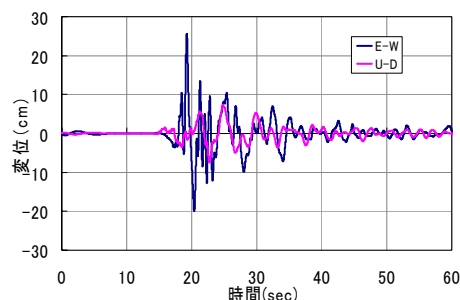


図-5 入力地震波形

表-6 防護壁の固有振動数

モード	防護壁		
	1次	2次	3次
固有振動数 (Hz)	23.1	116.7	220.9

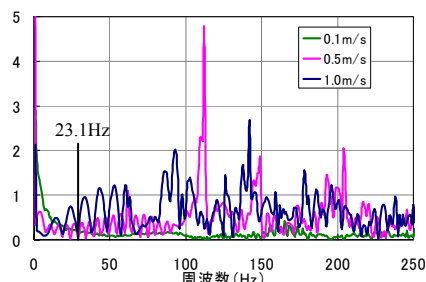


図-7 周波数解析(離散フーリエ変換)

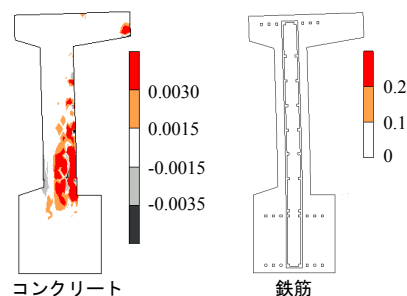


図-8 ひずみ分布(圧縮-引張同時表示)