

強震動による高架橋被災時の列車事故について

京都大学大学院 学生員 永井克実
 京都大学工学研究科 正会員 清野純史

1. はじめに

過去の大地震においては鉄道施設の被害が多く報告されており、特に、1995年の兵庫県南部地震では、鉄道橋の桁の落下あるいは崩壊が32ヶ所で発生した¹⁾。幸いにも、鉄道橋の桁が落下あるいは崩壊した箇所に走行する列車が落下するような事故は今まで報告されていないが、このような事故がひとたび起これば、大惨事となることは明らかである。そこで本研究では、上述した列車事故が発生した場合の車内の人的被害について検討する。

2. 解析手法

本研究では解析の対象を全て剛体とし、列車-軌道部は図-1のように、そして車両内部は図-2のようにモデル化する。列車は6面体の車両を両端ヒンジの梁要素により連結したもので表現し、軌道部については、走行路の一部が矩形に欠落したものを考えている。さらに車両内部では人を均質な球要素で表す。また、解析手法として個別要素法(DEM)²⁾を用いるが、要素の頂点を適当な半径の1/8球、辺を1/4円柱と仮定することで、接触状態を球と球、球と面、球と円柱、円柱と円柱の4つのパターンに分類し、要素間の接触判定を簡便化している。

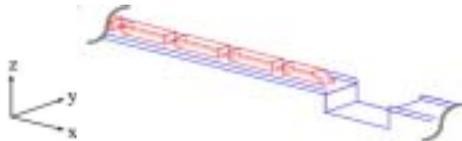


図-1 列車-軌道部モデル

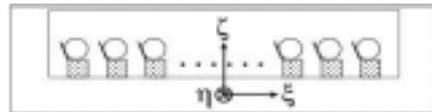


図-2 車両内部モデル(2次元表示)

3. 解析諸元の決定

(1) 解析要素の諸元(図-3,4) 車両のモデルとしては新幹線のぞみ700系車両を対象にし、高架橋のモデルは山陽新幹線の標準高架橋を対象としてその諸元を与えた。また、通常の走行時に対しては非常ブレーキによる効果表現し、軌道に直角な方向に570gal以上の加速度が作用すると車両は脱線する³⁾ものと仮定した。人のモデルである球要素の諸元は、接触パラメータ決定の際に参考とした実験での被験者の体格から決定した。

(2) 接触パラメータ(表-1,2) 車両の接触パラメータについて、垂直方向のばね係数 K_n の1次剛性は実際の鉄道車両の圧縮試験より得られた値⁴⁾を用い、2次剛性は簡便のため0としている。なお、降伏変位は4.0mmである。垂直方向の減衰係数 C_n については、自動車の固定壁前面衝突実験⁵⁾の際の跳ね返り速度を基にその値を求め、動摩擦係数 μ は、兵庫県南部地震で脱線した列車の平均減速度から決定した。ただし、接線方向のばね定数 K_s については接触する2要素のもつ材料特性の違いを考慮している。また、人の接触パラメータについて、垂直方向のばね係数 K_n は、簡易な人体圧縮試験で得られた荷重～変位関係⁶⁾から決定し、接線方向のばね係数については計測が困難なため、垂直方向の値に0.05を乗じた⁶⁾。減衰定数に関しては臨界減衰²⁾を採用している。

(3) 人的被害の検討に用いる指標(図-5) 人的被害の検討は、自動車の分野でよく用いられている胸部最大衝撃加速度(胸G)と頭部傷害基準値HICを組み合わせて用いることにより行う⁷⁾。

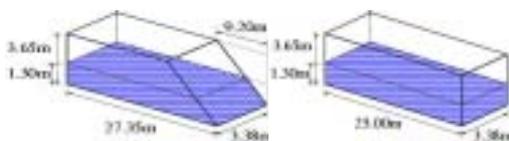


図-3 車両モデル

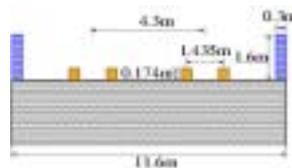


図-4 高架橋モデル



図-5 乗員傷害の評価区分

キーワード: 地震被害, 高架橋被災, 列車事故, 人的被害, 個別要素法

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科 土木システム工学 Tel: 075-753-5133 Fax: 075-762-2005

4. 解析諸元の妥当性の検証

3.で決定したパラメータを用いて得られる人的傷害値の妥当性について検証するために自動車アセスメント⁷⁾との比較を行った。中間車1両を試験と同じ速度55km/hで固定壁に衝突させた結果、胸GおよびHICの平均値はそれぞれ85.7G、1023であった。一方、エアバッグの装備率が低かった1994年度の結果を見ると、胸Gで59.0G、HICで796となっている。以上より、本シミュレーションによる結果の方が大きな値となっているが、試験ではダミーにシートベルトが装着されていること等を考慮すると、現実的な結果が得られているものと判断できる。

表-1 車両の接触パラメータ

μ		0.28
C_s (kN·sec/m)		0.00
C_n (kN·sec/m)		2.32×10^4
K_s (kN/m)	車両-軌道部	5.04×10^5
	車両-車両	4.54×10^5
K_n (kN/m)		1.21×10^6

5. 列車被災時の人的被害

車両数16両、先頭車および最後尾車の乗員65名、中間車の乗員100名、落橋区間30m、橋の高さ10mという条件を想定し、兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で記録された加速度時刻歴の3成分を入力した。まず、列車の速度が変化したときの列車の挙動については、速度が80km/hを境に車両同士の衝突が全体に及ぶようになり、速度150km/hを境に車両同士が大きく横方向にずれた状態で衝突するようになることが分かった。次に、車両内部の解析により人的傷害値について以下のような傾向が見られた。落下する1両目では、通路に投げ出されて前方に滑った後に車内設備と激しく衝突する人や、1両目後部の落下の際に床と激しく衝突する人が存在し、様々な状況で人的傷害値が大きくなる危険性がある。一方、落下しない車両では、通路に投げ出された人は車両衝突時に車内設備に衝突しない可能性があるために平均的に傷害値が軽減された。最後に全体的な人的被害について考察を行う。図-6より、列車の速度変化に対しては、速度80km/h以下ではほとんどの人の評価が「A」より安全側となるが、その割合は90km/h以上で大きく減少する。なお、この速度は列車の挙動が遷移する速度とほぼ一致している。さらに、図-7より、車両ごとに乗員傷害評価が「A」より安全側になる人の割合を見ると、被害の小さい車両は順に3両目、4両目、2両目となっている。逆に12両目が最も被害が大きく、次いで1両目で被害が大きい。以上より、1両目を除く前方の車両で人的被害は小さくなるが、これは前方の車両ではより大きく横方向にずれた状態で車両同士が衝突し、車両に作用する加速度が軽減されるためと考えられる。

表-2 人の接触パラメータ

C_s (N·sec/m)	8.04×10^2
C_n (N·sec/m)	3.59×10^3
K_s (N/m)	2.52×10^3
K_n (N/m)	5.05×10^4

6. 結論

本研究により、列車事故時の人的被害は列車の挙動が遷移する速度80km/hを境に増大し、また、1両目を除く前方車両で人的被害が小さくなることが分かった。

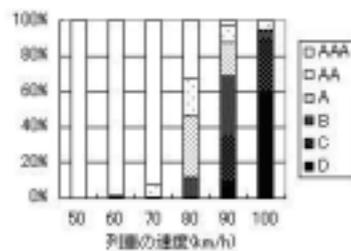


図-6 速度が変化したときの乗員傷害評価の割合

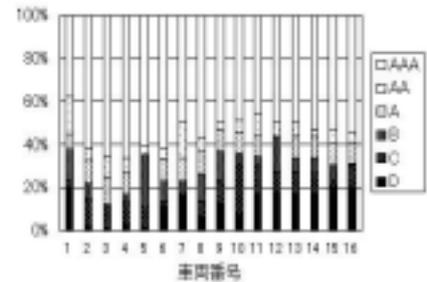


図-7 速度が変化したときの各車両の乗員傷害評価の割合

参考文献： 1) 阪神・淡路大震災鉄道復興記録編纂委員会. よみがえる鉄路 - 阪神・淡路大震災鉄道復興の記録 -. 運輸省鉄道局, 1996. 2) 木山英郎, 藤村尚. カンドルの離散剛要素法を用いた岩質粒状体の重力流動の解析. 土木学会論文報告集, 第333号, pp. 137-146, 1983. 3) 宮本昌幸. 車両の脱線メカニズム. 鉄道総研報告, Vol. 10, No. 3, pp. 31-38, 1996. 4) 筒井善康, 山川宏, 宇治田寧, 鈴木康文. 鉄道車両の衝突安全性向上に対する構造最適化(第2報). 日本機械学会 Dynamics and Design Conference '99 講演論文集, 1999. 5) John F.Kerkhoff, Stein E.Husher, Michael S.Varat, Alison M.Busenga, and Kevin Hamilton. An Investigation into Vehicle Frontal Impact Stiffness, BEV and Reported Testing for Reconstruction. SAE Transactions Journal of Passenger Cars, Vol. 102, pp. 1456-1484, 1993. 6) 清野純史, 三浦房紀, 瀧本浩一. 被災時の群衆避難行動シミュレーションへの個別要素法の適用について. 土木学会論文集, No. 537, 1-35, pp. 233-244, 1996. 7) 自動車アセスメント(自動車安全情報). 自動車事故対策センター, 2002.