

京都大学大学院教授
京都大学大学院助教授
京都大学工学部

フェロー 土岐憲三
正会員 清野純史
学生員 ○永井克実

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震をはじめとして、過去の大地震において鉄道施設の被害が報告されている。また、日本の鉄道は日々多くの人が利用し、現在は高速化が進んでいる。こういった状況のなかで、ひとたび事故が発生すると大惨事となりがねない。

そこで本研究では、強震動により鉄道橋の桁が落下あるいは崩壊したときに走行中の列車がそこに落下するような場合を考え、このときの列車の3次元挙動を個別要素法を用いた数値解析により求める。

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3次元でモデル化する。列車は直方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。なお、車両は図1の右から1両目、2両目、…とし、以後辺ABおよび辺CDを落橋部分の隅角部、Lを落橋区間、Hを橋の高さと呼ぶ。

また、解析手法として個別要素法(以下DEMと略す)¹⁾を用いる。解析は3次元で行なうため、自由度は並進3+回転3の6自由度である。DEMを用いることにより、接触力は物体が接触したときに発生させる仮想のばねとダッシュポットを介して伝えられる。したがって、列車と軌道部との接触は全て、図2のように剛体の頂点と面との接触と考えることができる。

3. パラメータの決定

車両のモデルとして、本研究では新幹線のぞみ300系車両²⁾を考えることにする。なお、車両の重心は車両上部が客室になっていることを考慮し、図3の斜線部の空間の中央にあるものとしている。また、簡便のため、連結部は図4のように直線で表し、連結部のひずみが1%を越えると連結部は切れるものとする。なお、新幹線の多くは16両で編成されていることから、本研究においては16両編成の列車を解析の対象とする。

DEMでは、要素間に仮想のばねとダッシュポットおよびスライダーを設けて数値解析を行なうため、ばね定数、減衰係数、動摩擦係数の値をそれぞれ決定する必要がある。しかし、現時点ではこれらの値を理論的に決定することはできず、実験により求めなければならない。

垂直方向の減衰係数 C_n および垂直方向のばね係数 K_n はKerkhoffらの自動車の固定壁前面衝突実験³⁾より、衝突時間と衝突前後での運動エネルギー比が実験結果と一致するように $C_n = 1.29 \times 10^3 (\text{kN} \cdot \text{sec}/\text{m})$, $K_n = 4.88 \times 10^4 (\text{kN}/\text{m})$ と決定した。

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するため、軌道部はコンクリート、車両は鉄と仮定し、それぞれのポアソン比から次式により決定した。

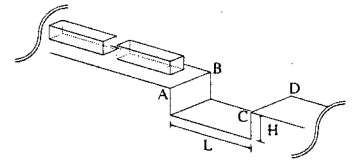


図1: 列車-軌道部モデル

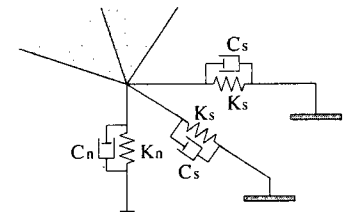


図2: ばねとダッシュポットのモデル

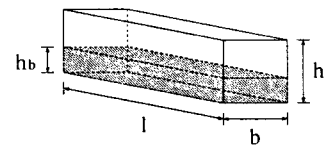


図3: 車両モデル

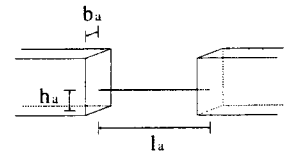


図4: 連結部モデル

表1: 車両諸元

$m(\text{ton})$	44.375
$l(\text{m})$	25.0
$b(\text{m})$	3.38
$h(\text{m})$	3.65
$h_b(\text{m})$	1.50
$l_a(\text{m})$	0.50
$h_a(\text{m})$	1.00
$b_a(\text{m})$	1.69

$$K_s = \frac{K_u}{2(1+\nu)} \quad (1)$$

接線方向の減衰係数 C_s については過大な減衰力が要素に作用するのを防ぐため、本研究では0としている。

また、解析時間間隔 Δt は列車の挙動が安定するように $1 \times 10^{-4}(\text{sec})$ として解析を行なった。

4. 解析結果

落橋部分として、落橋区間は30mと60mの2ケース、橋の高さは兵庫県南部地震で被災した橋梁の平均的な高さである10mと、これを $\pm 5\text{m}$ 変化させた3ケースの計6ケースを検討の対象とした。

まず、落橋区間が30m、橋の高さが10mの落橋部分について速度を変化させたときの列車の挙動の違いを調べた。なお、速度を20km/h以下にすると列車は落下せずに停止した。速度が30~70km/hでは車両の衝突は前方の車両に限られる。速度が80~90km/hになると、1両目が落橋部分に衝突した後に後続の車両が順次前の車両に衝突する。したがって、この間は各車両が圧縮を受けたような状態となる。そのため、2両目以降は前の車両から大きな反力を受け、進行方向とは逆向きに跳ね返される(図5)。速度が100km/h以上になると1両目が落橋部分の隅角部と衝突することで1両目と2両目は上方への加速度を受けて飛び上がる(図6, 図7)。

次に、落橋区間や橋の高さが変化したときの列車の挙動を調べた。落橋区間を30mとして橋の高さを変化させてみると、1両目と2両目が飛び上がる、速度が100km/h以上のときは橋の高さの影響を受けないために列車の挙動は全く同じとなった。さらに落橋区間が60mと長い場合についても考察を行なった。この場合、1両目が落橋部分の隅角部と衝突しないために、1両目と2両目の飛び上がりは回避できるが、その他の車両で飛び上がる可能性が高くなる結果が得られた。例えば、落橋区間60m、橋の高さが15mで、列車の速度が100km/hのときには4両目と5両目が飛び上がっている(図8)。

5. 結論

本研究により、列車の挙動は上述のように速度により分類できることが分かった。また、落橋部分が変化したときの列車の挙動の違いについても上に示すとおりである。

最後に、本研究では列車が落橋部分に対して直角に落下する場合のみの検討を行なったが、今後、脱線・転覆などを考慮した3次元挙動についても検討を行なう予定である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 大脇博善. 新幹線のぞみ白書. 新潮社, 1994.
- 3) 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.

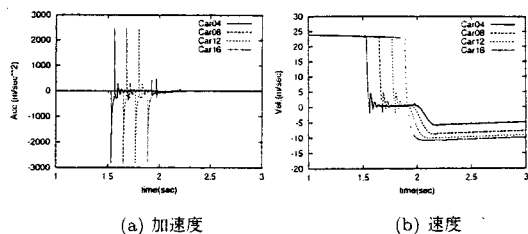


図 5: 車両の挙動 (速度 90km/h, 落橋区間 30m, 橋の高さ 10m, x 方向)

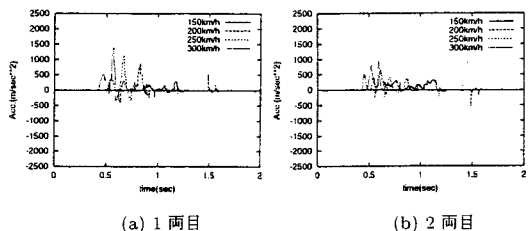


図 6: 車両の受ける加速度 (速度 150~300km/h, 落橋区間 30m, 橋の高さ 10m, z 方向)

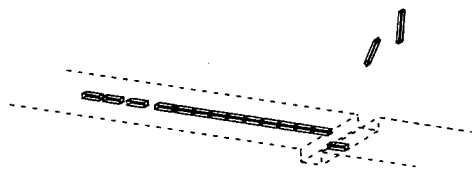


図 7: 列車の挙動 (速度 200km/h, 5 秒後, 落橋区間 30m, 橋の高さ 10m)

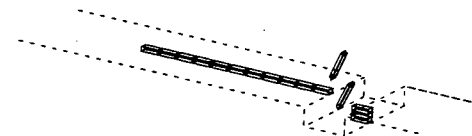


図 8: 列車の挙動 (速度 100km/h, 6 秒後, 落橋区間 60m, 橋の高さ 15m)