

## 基盤からの突き上げ入力による多層地盤上地表面物体の飛び跳ね現象に関する数値解析的検討

室蘭工業大学大学院 名誉会員 ○岸 徳光 室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人  
 神戸大学名誉教授 名誉会員 櫻井 春輔 室蘭工業大学大学院 正会員 瓦井 智貴  
 大阪市立大学名誉教授 フェロー 園田恵一郎

### 1. はじめに

今から 26 年前の 1995 年 1 月に発生した兵庫県南部地震は、震源の深さが 16 km 程度と浅く内陸直下型地震であり、建物や社会基盤施設に甚大な被害を及ぼした。

地震後の聞き取り調査では金庫や電車等の重量物が突き上げによってジャンプしたとする報告<sup>1)</sup>がある一方で、重量物は重力が作用していることから飛び跳ね等の現象は起きないとする考え方もある。

本研究では、このような現象を数値解析的に検証することを目的に、地下鉄大開駅中柱が倒壊した地点の地層を用い、地表面上に長い重量物を想定して幅 1 m、高さ 0.5 m、長さ 10 m で重さが約 40 ton の鋼材が置かれている場合に対して、基盤部に上方への強制的な突き上げ入力をした場合の過渡応答解析を試みた。なお、本研究では、入力継続時間を 5 ms とし、変位速度を 0.5 m/s から最大 4 m/s まで変化させた場合について検討を行った。

### 2. 数値解析の概要

図 1 には、数値解析モデルを示している。図示のように、解析では地表面から基礎岩盤上の多層地盤を考慮し、中央部に鋼材を配置して、幅方向と奥行き方向の対称性を考慮した四半分の断面をモデル化することとした。

境界条件に関しては、対称面の節点は法線方向変位を拘束している。また、地盤端部及び基礎岩盤部には無反射境界を設定している。なお、数値解析には自重を考慮し、スプリングバックを施している。減衰定数は、入力変位の継続時間が前述のように 5 ms であることより、鋼材の動的挙動への影響が小さいものと判断し、考慮していない。

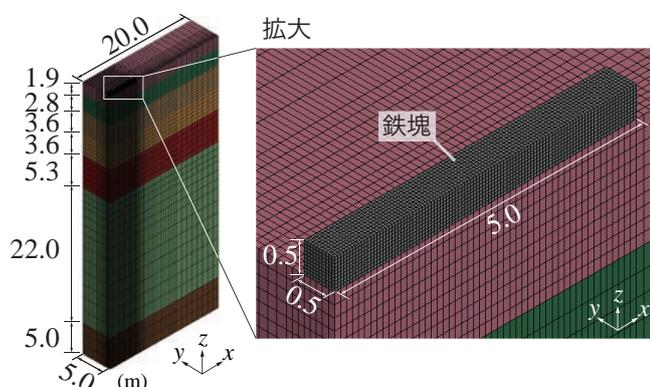


図 1 解析モデルの要素分割状況

鋼材は公称の物性値を有する弾性体と仮定した。地盤部に関しては、均一な層状であることから全て弾性的に挙動するものと仮定し、物性値は当時のボーリング調査結果に基づいてモデル化<sup>2)</sup>している。

数値解析は、図 2(a) に示しているように、強制変位による入力波動の周期を  $T_0$  とし、基盤レベルに同一速度で半周期に相当する時間 ( $T_0/2$ ) だけ上方に変位させる (変位量は  $A$  となる) ことにより行っている。従って、その時の変位速度  $V$  は、(b) 図のように  $V = 2A/T_0$  となる。

本研究では、このような条件下で、入力速度の大きさによる影響を検討するために、強制変位の継続時間 ( $T_0/2$ ) を  $T_0/2 = 5$  ms とし、変位速度  $V$  を最小  $V = 0.5$  m/s、最大  $V = 4$  m/s として種々変化させた場合について検討を行うこととした。なお、本数値解析は、構造解析用汎用コード LS-DYNA (Ver. R9) を用いて行った。

### 3. 数値解析結果及び考察

図 3 には、変位速度を変化させた場合の荷初期から 50 ms 間における基盤近傍と鋼材が設置されている地盤及地表面鋼材の上下端点を伝播する各過渡応答波形を比較して示している。鉛直方向変位波形より、鋼材が接している地表面とその直上の鋼材各節点の変位波形を見ると、地表面では入力初期から約  $t = 35$  ms 経過後に約 5 ms 程度の間、ほぼ一定値の変位分布を示している。しかしながら、鋼材の上下端節点ではその後も単調に増加していることから、鋼材は地表面から離れて上方に推移していることが分かる。

変位速度波形を見ると、鋼材設置の地表面では約  $t = 37 \sim 38$  ms 経過後に速度が零近傍の値を示しているが、鋼材の速度はほぼ一定値を示し上方に変位している状況が確認できる。

鉛直方向ひずみ波形からは、鋼材下縁で圧縮ひずみが

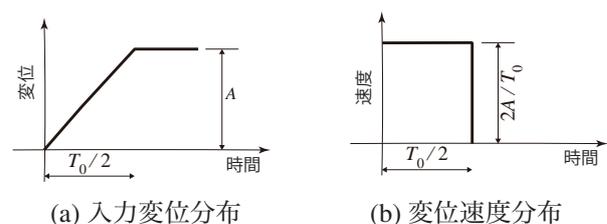


図 2 入力波形

キーワード：直下型地震、飛び跳ね現象、過渡応答、有限要素法

連絡先：〒 050-8585 室蘭工業大学大学院 もの創造系領域 TEL/FAX 0143-46-5241

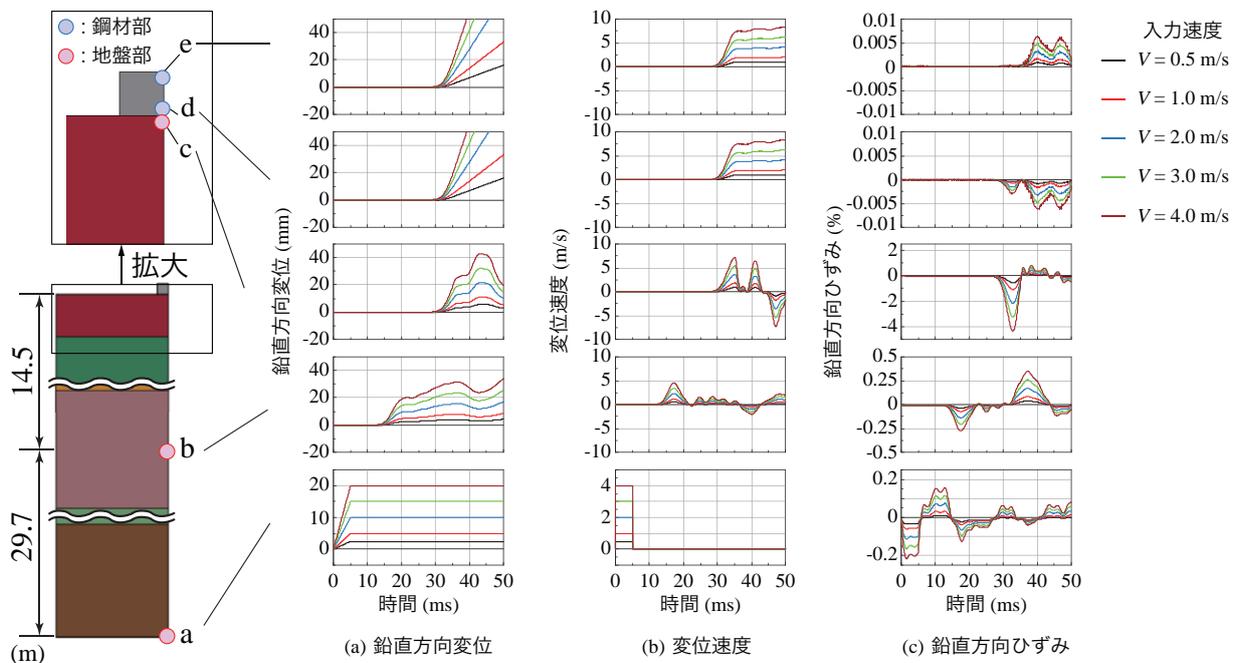


図3 各点における鉛直方向変位、変位速度、軸方向ひずみの時刻歴波形

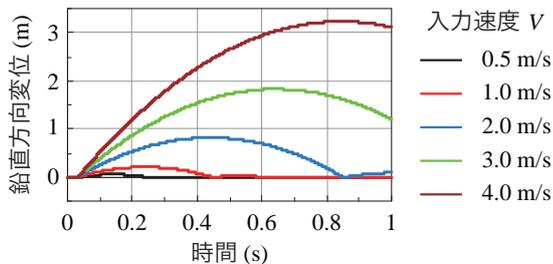


図4 鋼材の飛び跳ねの時間的な推移状況

発生しており、地盤から確実に圧縮波が伝播していることが分かる。その後、鋼材上表面では約  $t = 35$  ms 近傍で零ひずみを示していることから、下方からの圧縮ひずみを打ち消すように反射波としての引張ひずみが生成され、下方に伝播していることが推察される。

図4には、設定した各変位速度入力に対する1sまでの鋼材の飛び跳ねの推移状況を比較して示している。図より、変位速度の大きさに対応して飛び跳ねの高さも増加傾向にあることが分かる。変位速度が  $V = 2, 3, 4$  m/s で、最大飛び跳ね量はそれぞれ約 0.8, 1.9, 3.2 m 程度を示している。

また、鋼材には重力加速度も付加されていることにより、最大高さに達した後徐々に落下する状況が示されている。特に、変位速度が  $V = 2$  m/s の場合には、地盤に着地後リバウンドしている状況が確認できる。

図5には、各変位速度に対する、鋼材の最大飛び跳ね時の変位状況を拡大率を1として示している。図より、いずれの変位速度に対しても鋼材全体が同程度に飛び跳ねていることが分かる。以上より、重量物の場合においても、変位速度が  $V = 1$  m/s で 200 mm 程度飛び跳ねること

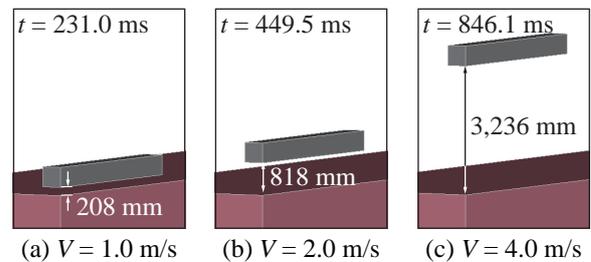


図5 最大飛び跳ね時における鋼材の変位状況

より、直下型地震時における突き上げによって重量物である金庫等の飛び跳ねは勿論のこと、電車も脱線する可能性のあることが示唆された。

#### 4. まとめ

本研究では、直下型地震時における重量物の飛び跳ね現象の再現解析を行うことを目的に、全重量が約 40 ton、幅 1 m、高さ 0.5 m、長さ 10 m の鋼材を地表面に設置し、基盤に継続時間が 5 ms で変位速度を種々変化させた場合の過渡応答解析を実施した。

その結果、変位速度が 0.5 m/s 程度の場合においても飛び跳ねの傾向を示し、変位速度の増加に対応して飛び跳ね量も大きくなるため、継続時間が 5 ms 等のごく短い時間での基盤の突き上げによっても金庫等の重量物の飛び跳ねや電車の脱線現象発生の可能性のあることが明らかになった。

#### 参考文献

- 1) 阪神・淡路大震災の調査報告(紀要特別号)資料:初期上下動の証言集, 1991年1月, 大阪市立大学工学部
- 2) 神戸高速鉄道東西線大開駅災害復旧の記録, 平成9年1月, 佐藤工業株式会社