

前後振動が立位人体の姿勢保持へ及ぼす影響に関する研究

(株) 日本構造橋梁研究所 正会員 ○齊藤 徹郎

埼玉大学工学部 正会員 松本 泰尚

産業安全研究所（研究当時、現所属：産業技術総合研究所） 正会員 吉見 雅行

1. はじめに

仮設足場などの揺れやすい構造物上では、建設機械や風などに起因する水平振動によって、建設工事作業者がバランスを崩し、作業に支障がでたり、転倒事故といった安全上の問題が生じたりする。こうした問題への対策を効果的に行うためには、振動環境下での人体の応答特性を把握する必要がある。人間の転倒事故に着目した既往の研究¹⁾では、水平振動に対する立位人体の姿勢保持能力は、横方向よりも前後方向の方が劣ることが報告されている。そこで本研究では、前後振動に対する立位姿勢保持のメカニズムを解明することを目的とし、被験者を用いた振動実験及びモデルによる解析を行った。

2. 突発的水平振動に対する応答測定²⁾

本研究では、特に突発的な前後振動に対する応答特性を解明することを目的とし実験を行った。実験に用いた入力振動波形は、1自由度振動系のインパルス応答波形とした。加振条件として、振動数(1.6, 2.5, 4.0Hz)、減衰定数(0, 0.02)、初期位相(前方向, 後ろ方向)を変化させた。振幅は既往の研究³⁾で示された人間の転倒限界速度(23.87kine)を基準振幅とし、その0.7, 1.0, 1.4倍とした。被験者の身体8箇所(頭, 首, 肘, 腰, 太腿, 膝, 足首)及び振動台の振動面の1箇所にLED発光体を取り付け、これら9箇所の測定点の3次元座標をカメラの画像から算出した。

測定結果の一例として、図1に同一の加振条件で行った3回の試行での頭の変位時刻歴を示す。図より、加振開始直後の応答では、異なる試行で同様の傾向が見られ、人間が突発的な振動に対して受動的な性格の強い応答をしていると推察できる。しかしその後の応答では、試行により異なる応答が見られる。

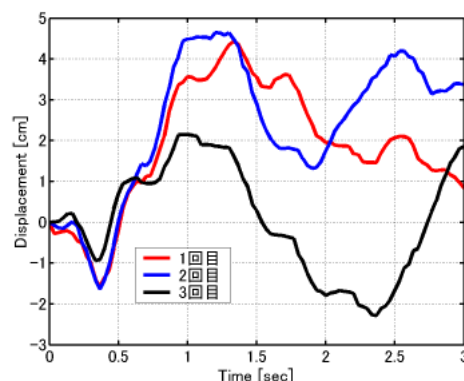


図1 異なる試行での頭の変位時刻歴波形（振動数2.5Hz、減衰定数0.02、基準振幅）

3. 立位人体モデル

測定結果の理論的考察を行うためモデルを構築した。各測定点での測定結果から、上半身、大腿、下腿、足をそれぞれ剛体と仮定し、腰、膝、足首をそれぞれ回転ばね及び回転ダンパーと仮定してモデル化した(図2)。図3に、実験で用いた入力振動に対するモデルの応答解析結果と測定結果のうち、腰での回転角のフーリエスペクトルの比較を示す。図より、モデルにより測定結果の加振振動数成分は良く表せていることがわかるが、1.0Hz以下の低い振動数成分では差異が認められる。

4. 重心運動の推定

実験で測定した各測定点の変位時刻歴を、モデルにおいて対応する部位の変位とすることで、人体の重心位置の時刻歴を算出した。図4に重心の絶対変位及び足首の変位(床面とほぼ同様)に対する相対変位のフーリエスペクトルを示す。図より、絶対変位と相対変位の両方で1.0Hz以下に卓越振動数が見られる。また、相対変位のみで加振振動数での卓越成分も見られる。

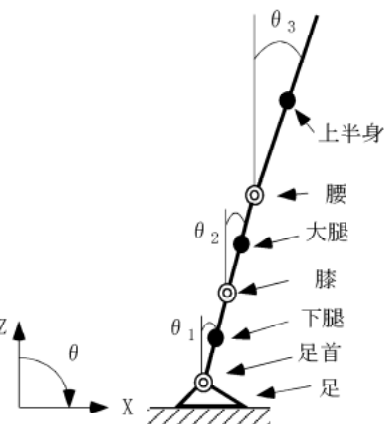


図2 人体動的応答モデル

キーワード 水平振動, 立位姿勢保持, 人体動的応答モデル, 重心運動, 振動実験

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 TEL:048-858-3557 FAX:048-858-7374

5. 加振開始条件の異なる水平振動に対する人体の応答測定

前述の実験では、計測時間が短いなどの問題があったため、追加実験を行った。ここでは、測定結果とモデルによる解析結果の考察から、重心運動に着目した。加振開始1秒間にテーパーをかけた振動を用いて、突発的な振動（テーパーなし）と比較した。前述の実験と異なる加振条件は振幅（0.25, 0.5, 1.0 倍）と減衰定数（0, 0.05）である。また、床面静止時での人間の応答も測定し、振動暴露時との比較を行った。

図5に、足首の測定点に対する重心運動の相対変位の入力振動各周期での軌跡長の例を示す。図より、4周期めまでの加振開始直後では、テーパーなしの方が軌跡長は長かったことがわかる。つまり、振動が突発的な場合の方が、重心動揺が大きいことを示す。しかし、その後の応答では、テーパーの軌跡長への顕著な影響は見られない。従って、突発的な振動が与える重心動揺への影響は加振開始直後の応答のみであることが言える。図6に床面静止時の重心運動のフーリエスペクトルを示す。図より、振動に暴露されていないときでも1.0Hz以下に卓越振動成分が見られる。

6. 考察

振動する床面に対する重心の相対変位のフーリエスペクトルに、絶対変位では見られない加振振動数での卓越成分が見られることから、人間は前後振動に対して重心位置を移動しないように立位姿勢を保持していると言える（図4）。

また、床面静止時でも重心動揺があることから、立位姿勢がもともと不安定な姿勢であることがわかる（図6）。一方、図3と図4を比較すると、重心運動の卓越振動数は、腰での回転角の測定結果で見られた1.0Hz以下の卓越振動数と一致する。従って、前述のモデル解析結果で得られなかった1.0Hz以下の振動数成分は、不安定な立位姿勢による重心動揺に相当するものと推察でき、これをモデル化するには能動的な機構を考慮する必要がある。

7. まとめ

本研究で用いた実験条件の範囲では、突発的に起こる前後振動に対して、人間は加振開始直後では受動的な性格の強い応答を示し、その後の応答では、1.0Hz以下の振動数での重心動揺を伴いながら、絶対的な重心位置を変化させないように立位姿勢を保持していることが推察できた。また、振動の突発性は、加振開始直後の応答には影響を与えるが、その後の応答への影響は少ないことが分かった。

参考文献

- 1) 永田久雄：急加速刺激を加えた場合の立位姿勢の安定性に関する基礎的研究，人間工学，26(4)，173～180，1990.
- 2) 斉藤徹郎，吉見雅行，松本泰尚：突発的水平振動に対する人体の応答測定実験，土木学会講演概要集，2003. 9.
- 3) 大嶋勝利，永田久雄：建設工事における風による構造物の揺れと作業性・安全性に関する研究，土木学会論文集，No. 651/IV-47，117-128，2000. 6.

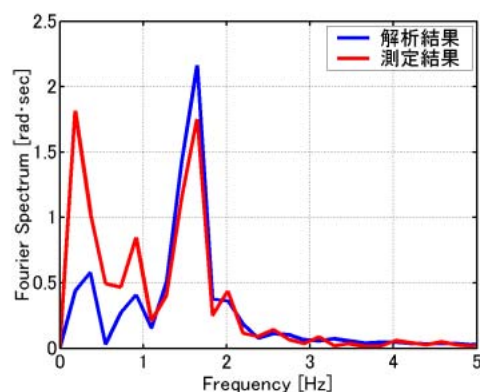


図3 モデルによる解析結果と測定結果の腰での回転角のフーリエスペクトル（振動数1.6Hz，減衰なし，基準振幅）

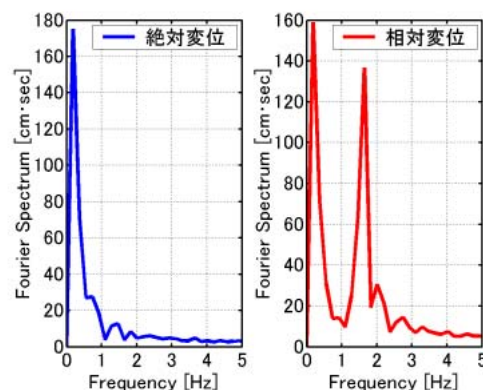


図4 重心運動のフーリエスペクトル（左図：絶対変位．右図：相対変位．振動数1.6Hz，減衰なし，基準振幅）

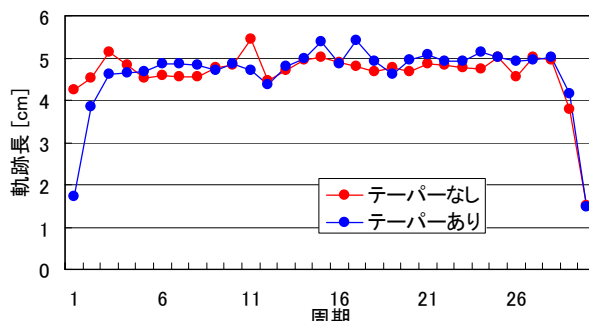


図5 周期ごとの足首の測定点に対する相対変位の重心運動の軌跡長（振動数2.5Hz，減衰なし，基準振幅）

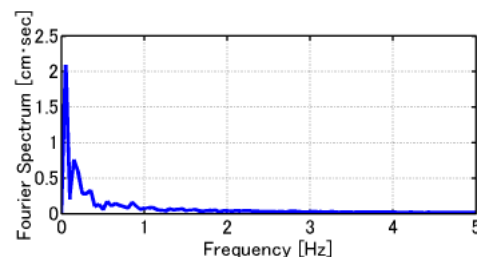


図6 床面静止時の重心運動のフーリエスペクトル