

研究種目：若手研究(A)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19686030
 研究課題名（和文） 振動暴露時の人体動的応答と心理的応答の関係の究明と
 その振動性能評価への応用
 研究課題名（英文） Relation between dynamic and subjective responses of human
 subjects exposed to whole-body vibration and its application
 to the evaluation of vibration environment
 研究代表者
 松本 泰尚 (MATSUMOTO YASUNAO)
 埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号：90322023

研究成果の概要（和文）：

本研究では、人間が振動を受けた際の身体の動的応答を用いて、振動不快感に代表される心理的応答の定量的評価・予測法を構築することを目的とした。まず、振動台を用いた被験者実験により、鉛直・水平それぞれの振動を受けた際の被験者の身体の動き、および不快感を測定し、それらの定量的な関係について検討した。つぎに、振動を受けた際の人体の力学的な挙動を予測する数値モデルを構築し、それを用いて動的応答を予測することで、振動不快感評価に繋げる方法を示した。

研究成果の概要（英文）：

The objective of this study was to develop an evaluation and prediction method of subjective responses of people exposed to whole-body vibration based on their dynamic responses. Experiments involving human subjects were conducted to understand the relation between dynamic responses and discomfort caused by vibration in the vertical and the horizontal directions, respectively. A mathematical model to predict the dynamic response of the human body was then developed so that the evaluation of vibration discomfort could be made based on dynamic responses predicted for any input motions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	13,000,000	3,900,000	16,900,000
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	18,500,000	5,550,000	24,050,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：振動評価, 振動不快感, 人体振動, 人体動特性, 全身振動

1. 研究開始当初の背景

(1) 土木構造工学の分野において「人間」が研究テーマとして注目されることは、これま

でほとんどなかったが、快適な生活環境を創出する社会基盤整備の重要性は増しており、また構造物の性能設計法・性能評価法の確立

に向けた要求性能の設定などとも関連し、今後、人間に着目した研究成果は、土木工学の分野においても有用性を増すと云える。

(2) 構造物の使用性能や、日常の生活環境に関連して、振動に対する人間の応答は、それが直接的に性能や環境の評価につながることから、応答の定量的な評価が求められる。この要求に答える現行の方法としては、国際規格 ISO2631 シリーズに規定されている人間の知覚あるいは不快感に基づく振動の評価法が挙げられる。しかし、この評価法については、近年、各種の問題点が指摘され、改訂の要望が出されている。

(3) 研究代表者は、これまでの研究で、全身が振動に暴露される際の人間の応答特性、特に、i) 動的応答（構造物としての人体の振動応答）と ii) 心理的応答（知覚の有無や振動不快感の度合い）に着目し、被験者を用いた振動実験、および数理モデルによる理論的検討により、新たな知見を得てきた。

2. 研究の目的

(1) 振動暴露時の人の心理的応答は、動的応答に起因する 2 次元的な応答であるとの仮説のもと、人体の動的応答と心理的応答との定量的関係を解明する。

(2) 振動暴露時の人体の動的応答予測のための数理モデルを構築し、(1)の成果をもとに、予測した動的応答から心理的応答を予測・評価する方法を構築する。

3. 研究の方法

(1) 目的(1)に対しては、被験者を用いた振動実験を実施した。実験には、本研究費で整備した被験者実験用に設計・製作された加振装置を用いた。加振装置は、鉛直・水平各単軸のみの加振が可能な装置であり、実験は、鉛直方向の振動に対する実験と、水平方向の振動に対する実験それぞれを実施した。それぞれの実験での実験条件を以下に示す。

① 鉛直振動実験

・被験者

性別・人数：男性 12 名
年齢：21～32 歳（中央値：24 歳）
身長：165～179 cm（中央値：170 cm）
体重：50～73 kg（中央値：63 kg）
姿勢：立位・椅座位

・入力振動

波形：正弦振動
振動数：5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25 Hz
大きさ（実効値）：0.25, 0.5, 1.0, 1.5 ms^{-2}

継続時間：5 秒

② 水平振動実験

・被験者

性別・人数：男性 12 名
年齢：22～25 歳（中央値：23 歳）
身長：167～184 cm（中央値：175 cm）
体重：59～97 kg（中央値：66 kg）
姿勢：立位・椅座位

・入力振動

波形：正弦振動
方向：前後, 左右
振動数：2, 3.15, 4, 5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16 Hz
大きさ（実効値）：0.25, 0.5, 1.0 ms^{-2}
継続時間：5 秒

両実験において、被験者には、「基準振動」と「試験振動」を 2 秒の間隔をおいて連続して与えた。これは、被験者が感じる振動による不快感を、基準振動による不快感に対する試験振動による不快感を、100（基準振動による不快感）に対する相対値としてマグニチュード推定法により測定する方法を採ったためである。さらに、被験者が振動を受けた際に不快に感じる身体部位について回答を求めた。基準振動としては、両実験で用いた振動数帯の中央付近の振動数とし、鉛直振動の実験では 12.5 Hz、水平振動の実験では 6.3 Hz を用いた。基準振動の大きさ（実効値）は、試験振動のそれと等しいものを用いた。

被験者が振動に暴露されている間、振動加速度を加振台および被験者身体の複数の箇所測定した。身体での測定点は、鉛直振動実験では、前額部、頸部、胸部、腰椎部の計 4 箇所、水平振動実験では、前額部、胸部、腹部、腰椎部、大腿部、脛部、上腕部の計 7 箇所とし、各測定点の皮膚に直交 3 方向の測定が可能な小型加速度計を貼付した。加振台での加速度の測定は、加振方向のみとした。(2) 目的(2)に対しては、(1)の被験者実験の結果および研究代表者の過去の研究結果に基づき、本研究で対象とした振動数の範囲内での動的応答を適切に表すことができることを条件に、可能な限り自由度が少ない数理モデルを構築することを検討した。このような数理モデルの構築のため、本研究では、マルチボディダイナミクスに基づく汎用機構解析ソフトウェア RecurDyn を使用した。

モデル構築に際しては、本研究での実験条件では、人体の動的応答が、加振方向を含む鉛直面で卓越することから、2 次元のモデルとした。モデルのパラメータについて、質量、慣性モーメント、および重心等の位置は、既往の文献を参考に定めた。一方、剛性と減衰のパラメータに関しては、生体における身体部位の剛性や減衰特性の測定が現段階では極めて困難であることから、既往の文献からは参考となるデータは得られなかった。そこで、モデルで計算された動的応答と実験での測定結果とを比較することにより決定した。なお、人体の構成要素が持つと考えられる非

線形性や、筋機能を考慮すると、モデルの剛性と減衰の決定においては、非線形性を考慮すべきである。しかし、本研究では、簡単のため、また筋運動を含めた人体構成要素の動的な条件下での非線形性に関する知見が無いことから、線形バネおよびダンパーを用いた。

4. 研究成果

(1) 実験結果の例として、鉛直振動実験において測定した、座位被験者の頭部鉛直方向振動伝達率と不快感のマグニチュード推定との関係を、図1に示す。ここで、頭部鉛直方向振動伝達率は、前額部で測定された鉛直方向の加速度と加振台の鉛直方向の加速度との比を、各振動数に対して求めたものである。さらに、図では、不快感のマグニチュード推定の際に基準として用いた振動数における振動伝達率を基準とし、振動伝達率をそれとの比で示すことで、不快感と振動伝達率それぞれに対する数値を直接比較できるようにしている。図より、条件によりばらつきはあるものの、頭部振動伝達率と不快感との相関は概ね良いことが分かる。したがって、実験で対象とした鉛直振動で振動数5~25Hzの範囲内では、頭部振動伝達率に基づき、不快感を予測することができる可能性が示されたものと言える。

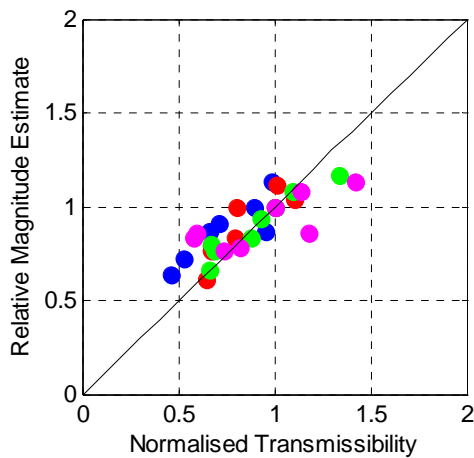


図1 鉛直振動暴露時の座位での頭部鉛直振動伝達率と不快感のマグニチュード推定との関係。振動数8種類(5~25Hz)及び振幅4種類(青:0.25 ms⁻² r.m.s.; 赤:0.5 ms⁻² r.m.s.; 緑:1.0 ms⁻² r.m.s.; 桃:2.0 ms⁻² r.m.s.)の結果。全被験者の中央値。

つぎに、水平振動実験の結果の例として、座位被験者の振動伝達率と不快感のマグニチュード推定との関係を図2,3に示す。図2は前後方向、図3は左右方向の振動に対する結果である。水平振動の場合、不快感との相関が高い振動伝達率となる1箇所のみ測定点を特定できなかったため、不快を感じる身体部

位に関する被験者の回答を用いて、振動数により対象とする測定点を変えることにより、図2,3に示す結果を得ている。図より、水平振動の場合、図1に示した鉛直振動の場合に比べて、振動伝達率と不快感の相関は高くないものの、前後・左右いずれの場合に対しても、一定の相関は見られることが分かる。したがって、水平振動の場合についても、実験で対象とした振動の条件の範囲内では、動的応答から不快感のある程度定量的に予測することができるものと考えられる。

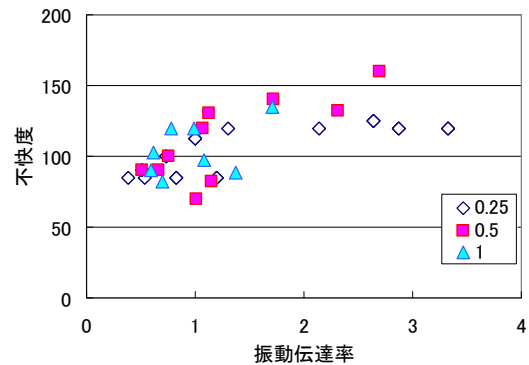


図2 前後振動暴露時の座位での振動伝達率と不快感のマグニチュード推定との関係。振動数9種類(2~16Hz)及び振幅3種類(0.25~1.0 ms⁻² r.m.s.)の結果。全被験者の中央値。

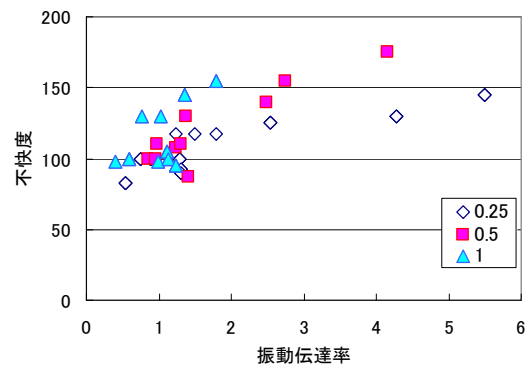


図3 左右振動暴露時の座位での振動伝達率と不快感のマグニチュード推定との関係。振動数9種類(2~16Hz)及び振幅3種類(0.25~1.0 ms⁻² r.m.s.)の結果。全被験者の中央値。

(2) 本研究で構築した、振動暴露時における人体の動的応答を予測する数理モデルの例を、図4に示す。図に示したモデルは、鉛直振動に対する椅座位人体の動的応答を予測するものである。モデルは、5つの剛体要素と、それらを連結する回転バネおよびダンパーと並進バネおよびダンパーにより構成したものである。5つの剛体要素は、頭部~胸椎中部、胸椎下部・腰椎上部、腰椎下部・腰部、腹部、臀部・脚部にそれぞれ対応させており、それに基づき慣性パラメータを決定した。

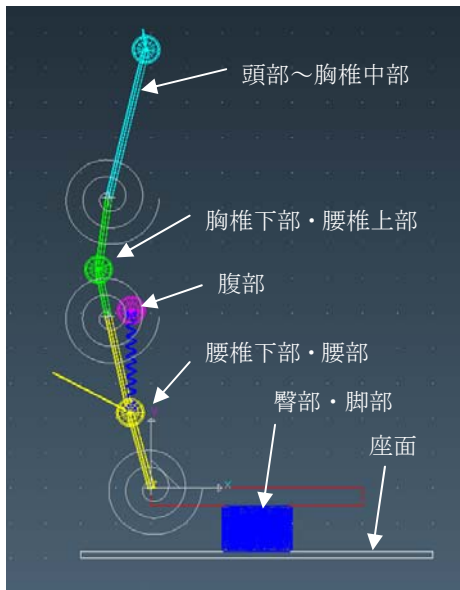


図4 鉛直振動暴露に対する座位人体の動的応答予測モデル

例えば、椅座位人体が鉛直振動を受ける場合、図に示したモデルに任意の座面振動を入力することで、その時の動的応答を算出することができる。この動的応答と、(1)で明らかにした動的応答と振動不快感との相関を用いて、振動不快感を定量的に予測することができる。

(3) 本研究では、基礎的な段階として、鉛直・水平それぞれ一方向の並進振動が入力される場合を対象に、2次元の動的応答に基づき振動不快感を予測する手法を検討したが、様々な振動環境の評価に適用するためには、この手法を3次元での応答に拡張する必要がある場合もある。

また、本研究で構築した方法は、異なる複数の振動環境に対して、相対的な振動不快感を予測・評価するものであるが、絶対的な振動不快感を予測・評価することが求められる場合もあり得るため、このことについてのさらなる検討も今後の展開として想定される。

なお、研究期間中には研究成果を学術論文等に纏めるための時間が十分に取れなかったため、研究期間後も引き続き、研究成果の発表を予定している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ① Matsumoto, Y., Subashi, G. H. M. J., An investigation of nonlinearity in the dynamic response of the seated body

exposed to sinusoidal whole-body vibration, The 4th International Conference on Whole-body Vibration Injuries, Montreal, Canada, 2009. 6.

- ② Matsumoto, Y., Subashi, G. H. M. J., Effect of vibration magnitude on discomfort and transmissibilities during exposure to vertical whole-body vibration in frequency range 5 to 25 Hz, The 16th Japan Conference on Human Response to Vibration, Yonago, Japan, 2008. 8.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://se.struct.civil.saitama-u.ac.jp/~str/english/Matsumoto.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 泰尚 (MATSUMOTO YASUNAO)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：90322023

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし