

氏 名	いちはし いちろう 市橋 一郎
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 649 号
学位授与の日付	平成 24 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専 攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学 位 論 文 題 目	実地震波の時間周波数特性を有する模擬地震波による弾塑性履歴系の最大変位のばらつきに関する研究
審 査 委 員	(主査)教授 曽根 彰 教授 森迫清貴 教授 小坂郁夫 准教授 増田 新

論文内容の要旨

本学位申請論文は非定常な地震動に対する構造物の弾塑性応答における最大変位のばらつきについて論じている。論文は全 4 章から成り立っている。

第 1 章では、本研究の意義と背景が述べられている。

第 2 章では、数値シミュレーションによって非定常模擬地震波入力に対するバイリニア型履歴特性を持つ 1 自由度系の応答における最大変位の変動係数を論じている。前半では周波数成分の卓越時刻が単調に変化するような時間周波数特性を任意に設定し、これに適合し、かつ同じ速度応答スペクトルに適合する模擬地震波群を合成して最大変位のばらつきの差を論じている。後半では、2011 年東北地方太平洋沖地震の時の築館での観測地震波の他、最近大きな最大加速度が観測された地震波 11 波を選び、これら地震波の時間周波数特性を与えてこれらに適合する模擬地震波群を合成して、これら非定常模擬地震波群に対するバイリニア型履歴特性を持つ 1 自由度系の最大変位の変動係数の傾向及び差を論じている。最大変位の変動係数は系の弾性周期によりばらつくこと、模擬地震波の最大振幅が復元力特性の降伏荷重に比べて大きくなるほど変動係数が大きくなる傾向が認められること、そして、異なる観測地震波の時間周波数特性の模擬地震波に対するそれぞれの最大変位の分散の間に有意差が認められる事が数値例で示されている。また、最大変位近傍での応答に次のような特徴がみられるなどを指摘している。即ち、変位応答は初期剛性から決まる固有周期の正弦波振動をしており、変位の最大値は正弦波振動の中心点のドリフト（塑性変位）が生じた直後付近で発生する傾向がある。塑性変位が生じる場合では降伏後は殆ど加速が見られない。塑性変位によるドリフトが生じる時点で変位の分散がステップ状に大きくなつて分散の最大値が生じる傾向がある。数値シミュレーション結果から、応答スペクトルに適合する模擬地震波を合成する際の弾塑性応答時の変位応答が大きくなる模擬地震波の選別法について提案をしている。

第 3 章では、確率統計理論によって非定常模擬地震波入力に対する線形 1 自由度系及びバイリニア型履歴特性を持つ 1 自由度系の最大応答量の変動係数を論じている。線形系については、スペクトル特性を有する定常ガウス過程入力に対する線形 1 自由度系のランダム応答における最大応答量の変動係数の算定式を、Kiureghian の結果を引用して導出し、算定式による結果と非定常

模擬地震波入力に対する数値シミュレーション結果と比較している。バイリニア系については、ホワイトノイズ入力に対する完全弾塑性型履歴特性を持つ 1 自由度系の非線形ランダム応答を、解を初等的な関数を用いて陽に表示することを目指して論じた既往研究を基に、スペクトル特性を有する定常ガウス過程入力に対する一般のバイリニア型履歴特性を持つ 1 自由度系の非線形ランダム応答について、最大変位の変動係数に着目して論じている。そして、複数の非定常模擬地震波入力に対する理論に基づく変動係数と数値シミュレーションによる変動係数を比較している。数値シミュレーションによる変動係数は模擬地震波によりかなりばらついているが、理論計算値はほぼ一定値となりシミュレーション結果より大きな値となっている。これは理論が定常理論のランダムウォークに基づいているためと考察している。

第 4 章は、本論文の結論であり、各章で得られた結果をまとめ、本研究の結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

本学位申請論文では、主として実地震波の時間周波数特性を持つ非定常な模擬地震波入力に対するバイリニア型履歴特性を持つ 1 自由度系の応答における最大変位の変動係数が、次の二つの検討によって論じられている。(i) 異なる時間周波数特性を持つ複数の非定常な模擬地震波群を合成し、これらに対するバイリニア型履歴特性を持つ 1 自由度系の応答における最大変位の変動係数を数値シミュレーションによって求め、この結果を用いた変動係数の検討、及び、(ii) 確率統計理論による定常ガウス過程入力に対するバイリニア型履歴特性を持つ 1 自由度系の応答における最大応答量の変動係数の検討である。(i) については、兵庫県南部地震以降導入された重要構造物に対するレベル 2 設計地震動の信頼性の観点から、設計地震波の非定常性と弾塑性応答時の大応答の関係が重要であるにもかかわらず、これまでこの点を論じた研究は非常に少なく、実地震波が有する非定常性と弾塑性応答の関係は解明されていない。本学位申請者は実地震波が持つ非定常性をそのまま用いて模擬地震波を合成して弾塑性応答時のばらつきを求めその傾向を論じている。非定常性として取り上げた実地震波はいずれも大きな最大加速度が観測された内陸型地震及び海溝型地震を合わせ 11 波を取り上げている。また、最大変位に関連するパラメータについて工学的視点から一般的な範囲をカバーする様に選んでいる。従って数値シミュレーションによってはいるが得られた変動係数の大きさ、傾向の結果は一定程度の代表性を有しており、本検討は新規性及び工学的有用性を有している。(ii) については、これまで確率統計理論によるランダム過程入力に対するバイリニア型履歴系の統計的応答の研究は数多くなされているが、実地震波が有する周波数域非定常性を有するランダム過程入力に対するバイリニア型履歴系の応答を論じた研究はこれまでに無い。本申請者は既往の理論の中から、塑性変位をランダムウォークと仮定する理論を基にスペクトル特性を有するホワイトノイズ入力に対する一般のバイリニア履歴系の最大応答の変動係数の評価式を導出し、評価式から得られた結果と実地震波の持つ非定常性を有する模擬地震波に対する数値シミュレーション結果と比較をしている。本検討は新規性を有してはいるが、結果が直ちに工学的有用性を有しているところまで達してはいないが今後の近似理論の確立にむけての課題を明らかにした点は評価できる。

以上、本検討の内容には十分な新規性と工学的有用性を含んでいると認められる。なお、学位論文の基礎となった学術論文等は下記の 6 件であり、そのいずれも申請者が筆頭著者である。

- [1] Ichihashi I., Sone A., Masuda A., and Iba D., A Study of Elasto-plastic Response of Single Degree of Freedom System Using Artificial Ground Motions with Given Time-frequency Characteristics, *Proceedings of the ASME 2010 Pressure Vessels and Piping Division / K-PVP Conference*, PVP2010-25381, CD-ROM, pp. 1-7, (2010)
- [2] 市橋一郎, 射場大輔, 増田新, 曽根彰, 周波数非定常性を与えられた模擬地震波に対する弾塑性履歴系の応答, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.13, pp. 567-576, (2010)
- [3] Ichihashi I., Masuda A., Iba D., Sone A., Response of Elasto-plastic Structure Excited by Artificial Earthquake Ground Motion with Given Non-stationary Time-frequency Characteristic, *Journal of System Design and Dynamics*, Vol. 5, No. 2, pp.344-359, (2011)
- [4] 市橋一郎, 曽根彰, 増田新, 模擬地震波群に対する弾塑性履歴系の最大応答の変動に関する検討, 日本機械学会 [No. 11-2] Dynamics and Design Conference 2011 CD-ROM 論文集, 論文 No. 514, pp.1-9, (2011)
- [5] 市橋一郎, 曽根彰, 増田新, 実地震波の時間周波数特性を有する模擬地震波によるバイリニア履歴系の最大応答量のばらつきの検討, 日本機械学会論文集 (C 編) 第 78 卷, 第 788 号, pp.1055-1071, (2012)
- [6] 市橋一郎, 曽根彰, 増田新, 野間樹木, 実地震波の時間周波数特性を有する模擬地震波による弾塑性履歴系の最大応答量のばらつきに関する検討, 構造工学論文集, 日本建築学会, Vol. 58B, pp. 105-116, (2012)