

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：24402

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656325

研究課題名(和文) 梁型構造物の終局耐震性能評価法

研究課題名(英文) Estimation method of ultimate seismic resistance capacity for long span beams

研究代表者

谷口 与史也(Taniguchi, Yoshiya)

大阪市立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30254387

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円、(間接経費) 300,000円

研究成果の概要(和文)：土木や建築分野に用いられる梁型立体構造が設計者が設定する限界指標に至る地震動の最大入力加速度を時刻歴応答解析を用いずに、既設新設を問わずに評価できる手法の検討を行った。その結果、静的弾塑性解析から得られる初期降伏時と限界変形時のひずみエネルギー、ひずみエネルギーの内訳、固有振動特性、そして地震動の速度応答スペクトルなどの情報を用いることにより精度よく限界指標に至る入力加速度の予測が可能となった。その成果により、構造物の静的荷重変形関係を詳細に調べることによって、サイトの地震波が定まれば構造物の終局耐震性能が容易に予測できるようになった。

研究成果の概要(英文)：As for ultimate seismic resistance capacity of long span structures, an estimation method considering the potential energy is discussed as for plane lattice beams and double-layer cylindrical lattice roofs. The method presented can be done with the information of static nonlinear behavior, natural periods and velocity response spectrum of seismic motions, that is, any complicated nonlinear time-history analysis is not required. The value estimated can be modified with the properties of strain energy absorption and the safety static factor.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造、材料

キーワード：終局耐震性能 限界変形 限界耐力 地震入力エネルギー 静的吸収エネルギー

### 1. 研究開始当初の背景

重層型建築構造物の耐震性能については、部材の累積塑性率から算定したエネルギー吸収能力と地震入力エネルギーの関係から構造物の損傷の度合いなどを評価する方法で一定の成果があげられている。一方、大スパン構造を初め橋梁などに用いられる梁型構造物については、地震荷重に対する応答値から耐震性能を判定しており、地震動の再現期間を2段階に設定し、1次設計、2次設計という手法をとっている。基本的には重層構造物の耐震性能評価に導入されているような塑性仕事は考慮されていないと言える。その主な理由は2点考えられる。第1点は塑性範囲を考えた保有耐力そのものが重要な社会基盤構造に馴染まないということ、第2点は重層構造物に見られる一定の保有耐力が現れないか、あるいはどの状態を保有耐力と見なしてよいか定まっていなかったということである。

また地震時の構造物の応答評価にはエネルギーの釣合いに基づく手法がしばしば用いられてきた。早くは Housner の提案した速度応答スペクトルから見積もった地震入力エネルギーと等値の塑性変形能力を有するように構造物を設計するリミットデザインが挙げられる<sup>1)</sup>。その後、加藤、秋山によって、損傷に寄与するエネルギーとして、Housner の地震入力エネルギーから弾性振動エネルギー分を差し引いたものを定義し、小数の質点系へのエネルギー入力が数値解析により考察されている<sup>2)</sup>。その後、エネルギー指標を用いた研究として、多田らは高層建物上に設置された二層立体ラチス平板を対象として、静的弾塑性挙動より定まる内部吸収エネルギーを定義し、その最大値が動的崩壊の尺度となりうることを示している<sup>3)</sup>。さらに発展して、空間構造物を動的崩壊に至らしめる地震動レベルの予測法に関して、谷口らは平面ラチスアーチと二層屋根型ラチスシリンドラーを対象として、鉛直荷重下での静的荷重変形関係より終局状態を表す限界耐力と限界変形を定義し、その終局状態に至るまでの静的吸収エネルギー値と弾性限界時のその値を用いた外挿法による予測法を提案している<sup>4)</sup>。本課題では、その際に提案されている予測法に用いられている統計値を力学的根拠に基づいて算出する方法を検討する。梁型構造物の動的崩壊地震動レベルの相違は、終局状態に至る際のひずみエネルギーの吸収特性の差異と共に、自重の効果が考えられるので、初期降伏荷重などの固定荷重に対する比を静的安全率と定義し、その効果を調べる必要があると考えた。

1) George W. Housner, Limit Design of Structures to Resist Earthquakes, Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, Berkley, California, pp.5-1 - 5-13, 1956.

2) 加藤勉, 秋山宏, 強震による構造物への

エネルギー入力と構造物の損傷, 日本建築学会論文報告集, 第235号, pp.9-18, 1975.9.

3) 多田元英, 米山隆也, 建築物の屋上に設置された2層立体トラスの鉛直地震応答性状, 日本建築学会構造系論文集, 第452号, pp.77-86, 1993.10.

4) 谷口与史也, 福島理沙, 屋根型ラチスアーチ・シリンドラーの耐荷性能と動的崩壊地震動レベルの関係, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第658号, pp.2189-2196, 2010.12.

### 2. 研究の目的

土木および建築分野での橋梁, 屋根などの主架構に用いられる梁型立体骨組構造が動的崩壊あるいは限界指標に至る入力地震動レベルを終局耐震性能と定義して, その終局耐震性能を詳細な時刻歴応答解析を実施せずに容易に評価できる方法を考案する。

用いる手法は, 速度応答スペクトルによるモーダルアナリシスと静的弾塑性解析のみである。本課題では, 特に終局耐震性能に及ぼす静的安全率の効果を明らかにすることを主な目的とする。静的安全率は構造物の初期降伏荷重, 座屈荷重などの固定荷重に対する比率を表す。その他のパラメータには静的荷重モード, 構造モデルの靱性特性, 構造物の固有周期と入力波の震動特性などである。

### 3. 研究の方法

梁型立体骨組構造の終局状態として限界変形と限界耐力の指標を導入し, その限界値に対応して, 重層構造物では考慮する必要のない自重, 固定荷重による位置エネルギーを考慮した構造物の静的吸収エネルギーを新たに耐震性能指標として導入する。構造物が終局状態に至るまでのひずみエネルギーから上記のポテンシャルエネルギーを差し引いたものが構造物の静的に吸収可能なエネルギーと考え, この静的吸収エネルギーの最大値が終局耐震性能指標となる。しかし構造物の形式によっては取り扱う範囲で最大値に至らない場合があるので, 本課題では限界変形時のひずみエネルギーを終局耐震性能指標として用いている。

構造物の静的弾塑性解析を静的吸収エネルギーの最大値に至るあるいは限界変形に至るまで実施する。初期降伏時の構造物のひずみエネルギー, 限界変形時の構造物のひずみエネルギーとその内訳となる弾性ひずみエネルギーと塑性仕事による消費エネルギーの情報を入手する。

次に適当な地震動を入力加速度を漸増させながら与えて, 構造物が初期降伏する時点と限界変形時点での構造物のひずみエネルギーを調べる。

この限界変形時のひずみエネルギーと初期降伏時のひずみエネルギーの比率は, 動的な効果が無ければ両解析で得られた値は一

致するはずである。しかし、実際には地震応答時の方が限界変形時のひずみエネルギーは大きくなっている。そこで、この効果は構造物の塑性仕事によるものであることは容易に判断できるので、静的弾塑性解析において限界変形に至る塑性仕事の全ひずみエネルギーに対する比率を補正項として用いる。その結果、補正項に対して一定の係数値を乗じると地震応答時と静的解析の結果が一致する。次に、この係数値と静的安全率の関係を統計的に調べる。

以上の作業を構造物の架構形式、地震動の種類、静的安全率をパラメータとして実施して結論を導く。

#### 4. 研究成果

大スパン構造に用いられる梁型立体ラチス構造の動的崩壊および限界変形に到達する地震動の入力加速度を、静的な荷重変形特性から推定する研究を実施した。具体的に用いる主な手法は、速度応答スペクトルによるモーダルアナリシスと静的弾塑性解析である。静的弾塑性解析では構造物の静的吸収エネルギーとエネルギー吸収特性などの情報を得る。また固定荷重が動的崩壊に影響すると考えて、初期降伏荷重の固定荷重に対する比である静的安全率をパラメータとして導入した。

その結果、圧縮降伏して脆性型の静的弾塑性挙動を示すモデルは静的安全率が大きくなるにしたがって動的崩壊地震動レベルは上昇すること、引張降伏して靱性型となるモデルでは入力波、静的安全率に関わらず上昇が見られないことが分かった。さらに脆性型の動的応答時の上昇効果を詳細に調べた結果、塑性変形による消費エネルギーに因ることが確認できた。

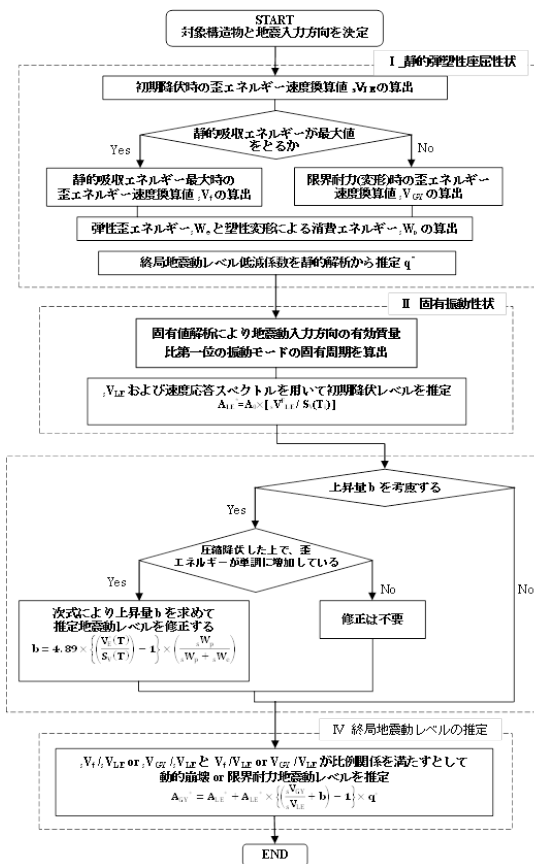
次に水平地震動の予測精度に及ぼす効果を調べるために柱付きの梁型構造を取り扱った。その結果、水平地震動を受ける場合は左右の繰り返し応答によりエネルギー吸収が高くなるので安全側の評価となることが分かった。

一方、最終的に必要な動的崩壊あるいは限界指標に至る地震動の入力加速度の評価については、構造物の静的吸収エネルギーを考慮するだけでは精度が良くないことが判明した。そこで、静的弾塑性挙動における変位とひずみエネルギー関係の塑性化後と弾性範囲の勾配の比率と、地震応答時の変位と最大入力加速度関係の塑性化後と弾性範囲の勾配の比率を比較した結果、相関が明らかとなった。

また、予測法において地震動の特性の違いによる効果は、速度応答スペクトルの代わりにエネルギー Spektral を用いることにより考慮できることが分かった。

以上の結果より、梁型立体ラチス構造の鉛直荷重による静的弾塑性解析を限界変形ま

で実施し、その際に得られるひずみエネルギーとその内訳の情報、塑性化前後のひずみエネルギーの増加率の変化、そして固有振動特性と地震動の速度応答スペクトルあるいはエネルギー Spektral を用いて、時刻歴応答解析を実施することなく、構造物が限界指標に至る地震動の最大入力加速度値を予測できることが可能となった。



#### 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2件)

(1) 谷口与史也: Ultimate Seismic Resistance Capacity for Long Span Lattice Structures under Vertical Ground Motions, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Structures, Vol.2013, Article ID 679859, 14pages, 2013. (査読有り)

(2) 谷口与史也, 松浦由紀: 平面ラチス梁の終局耐震性能に及ぼす静的安全率の効果, 日本建築学会構造系論文集, 第77巻 第674号, 603-609, 2012. (査読有り)

〔学会発表〕(計1件)

Kenta Tokuda, Yoshiya Taniguchi: Effect of Quasi-static Seismic Loads on Plane Lattice Frames with Columns, Proc. of IASS Symposium

2013, Poland, 2013年9月24日.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

大阪市立大学 大学院工学研究科 教授  
谷口与史也(Taniguchi Yoshiya)  
研究者番号：30254387

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

( )

研究者番号：