

地震時の吸収エネルギー分布に着目したドーム型曲面の局所操作による形状最適化

正会員 〇中村 卓史*
同 佐藤 淳**

地震応答解析 形状最適化 エネルギー分布
ドーム型曲面

1. はじめに

本研究は、地震時に骨組が吸収するエネルギーに着目し、時刻歴応答解析から得られた構造全体における地震時の吸収エネルギー、主に累積塑性ひずみエネルギーの分布を基に、局所的な形状操作により、想定するエネルギー分布が得られる形状まで変形を行うことで、吸収エネルギー分布を目的関数とした形状最適化を目指すものである。地震時の吸収エネルギー分布について形状最適化を行う事例は存在せず、吸収エネルギー分布に基づくことで新たな指標による形態創生が期待できる。本報告では、形状最適化手法として提案するためにどのようなモデルや地震波を設定することが望ましいかの検討を行い、研究の大枠を定義し、今後の検討への方針を示す。

2. 地震波の入力方法に関する検討

2-1. 検討概要

アーチ型の単純な形状を有する骨組構造モデルを用いて地震波の設定方法を検討する。地震波による入力エネルギーは、最大吸収エネルギーの速度換算値 V_E 、および V_E を縦軸、一次固有周期 T を横軸に表したエネルギースペクトルを用いて評価する。解析モデルはピン支持、スパン 20[m]、ライズ 20[m]の放物線に近似させたアーチに奥行き 10[m]をもたせたモデルとした。図 2-1 には解析モデル図、図 2-2 には本検討で使用した地震波のエネルギースペクトルを、また、表 2-1 には解析諸元を、表 2-2 には本検討で使用した地震波諸元を示す。本検討では、観測波の位相特性を用い、観測波のエネルギースペクトルを包括するような、バイリニア型のエネルギースペクトルを示すように作成した¹⁾²⁾³⁾5つの模擬地震波を入力した。各地震波のエネルギー入力が等しくなるように、ある一次固有周期までは線形増加、それ以降は V_E が 400[cm/s]となるように設定し作成した。

2-2. 検討結果および考察

図 2-3(A)、(B)、(C)、(D)、(E)には各地震波入力時の累積塑性エネルギーの分布を示す。全ての地震波を比較すると、エネルギーの集中部位は大きくは変化せず、アーチの左右に分散する分布を示すことが確認できた。このことから、地震波による分布の違いは地震波の波形ではなく、エネルギー入力に依り決定づけられることが確認できた。ここで、本検討のような単純な形態をもつモデル

ルについて、地震波の波形に依らずほぼ同様の分布を示すことは、本研究の提案する手法についても、本検討と同様の地震波の設定方法により、地震波の影響を小さくすることが可能であると考えることができ、注視すべきはエネルギー入力のみである。

表 2-1 解析諸元

| | |
|-----------|-----------------|
| 使用断面[mm] | H-300×300×10×15 |
| スパン[m] | 20 |
| ライズ[m] | 20 |
| 座屈長さ[m] | 5 |
| 一次固有周期[s] | 1.14 |
| 継続時間[s] | 40 |
| 刻み時間[s] | 0.02 |
| 履歴型 | 初期剛性比例型 |
| 減衰定数[%] | 0.02 |

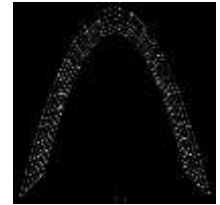


図 2-1 解析モデル

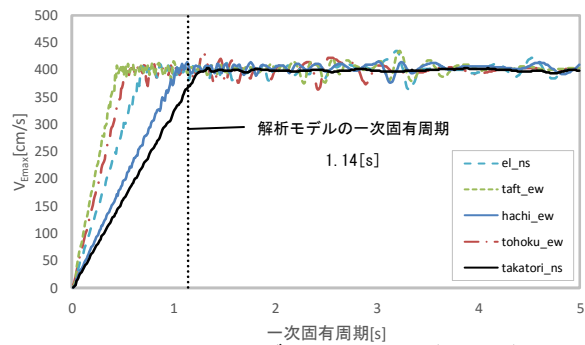
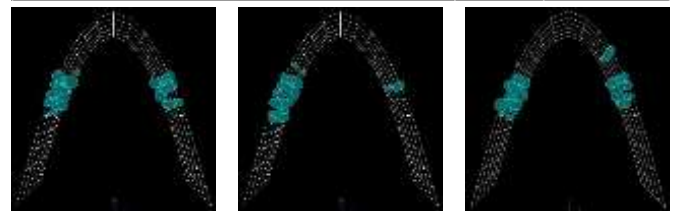


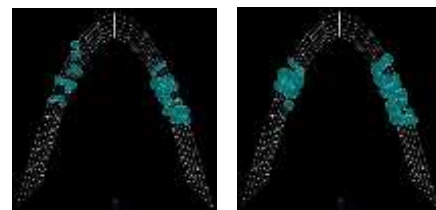
図 2-2 エネルギースペクトル (h=0.02)

表 2-2 入力地震波諸元

| 使用した観測波 | 略称 | V_E [cm/s] |
|----------------------------------------|-------------|--------------|
| 1940年Imperial Valley地震El Centro観測波南北成分 | el_ns | 400.1 |
| 1952年Kern County地震Taft観測波東西成分 | taft_ew | 400.2 |
| 1968年十勝沖地震八戸港湾観測波東西成分 | hachi_ew | 400.3 |
| 1978年宮城県沖地震東北大学工学部建築学科棟1F観測波東西成分 | tohoku_ew | 400.2 |
| 1995年兵庫県南部地震JR鷹取駅観測波南北成分 | takatori_ns | 400.1 |



(A) el_ns (B) taft_ew (C) hachi_ew



(D) tohoku_ew (E) takatori_ns

図 2-3 吸収エネルギー分布図

3. 地震時の吸収エネルギー分布に着目した形状最適化

3-1. 検討概要

いくつかの単純な形状を有する骨組構造モデルを用いて、地震時の吸収エネルギー分布の傾向を例示し、以後の検討の方針を示す。表 3-1 には入力地震波諸元を、図 4-1(A)、(B)、(C)には解析モデル図を示す。解析モデルはスパン 20[m]、ライズ 20[m]の懸垂線に近似させたアーチに奥行き 10[m]をもたせたアーチモデル、このアーチを回転させて得られた底面直径 20[m]、高さ 20[m]のドームモデル、最大スパン 20[m]、最大高さ 20[m]の HP シェルモデルとした。また、形状操作による傾向を把握するために、アーチ、ドームモデルでは上部と支持部を、HP シェルモデルでは中央部をそれぞれ局所的に操作したモデルを作成した。使用断面、座屈長さや解析条件は表 2-1 と同様とする。図 4-2 には本検討で使用した地震波のエネルギースペクトルを示す。本検討では、十分な塑性ヒンジの生成を得るために、地震波を 150[cm/s]に基準化した上で、各モデルの一次固有周期をエネルギースペクトル上での値が最も大きくなる一次固有周期になるようそれぞれのモデルのヤング率を調整し、一次固有周期を変更した上で解析を行った。

3-2. 検討結果および考察

図 3-3 には各モデルの累積塑性ひずみエネルギー分布を示す。全てのモデルを通して傾向を考察する。上部を操作したモデルでは、操作した部分を避けるように分布が変化し、アーチモデルではより上部へ、ドームモデルでは下部へと移動している。支持部を操作したモデルではアーチモデル、ドームモデルともに支持部に分布が集中している。HP シェルモデルでは中央部の高さが下がるにつれて分布が分散している。以上のことから、局所的な剛性の向上と、初期形状における全体の剛性を把握することで、エネルギーを集中させるか分散させるか、またどの方向に操作するかを選択できることがわかる。また、これによりエネルギー集中位置の操作が可能であるとすれば、モデルの最終的な崩壊形状を誘導でき、より安全な崩壊形状をもつ形態を作成できる可能性があると考えられる。

4. まとめ

単純な形態における、累積塑性ひずみエネルギーの分布に着目した局所操作は、新たな形態を生成することができる可能性を有すること、また、地震時の吸収エネルギー分布に着目した形状最適化手法を確立するために必要な、適切な地震波の設定方法やモデルの操作方法を、ドーム型曲面をもつモデルを例として提案した。本検討では形状最適化の例示に過ぎないものの、本検討を土台として、複雑な形状における局所操作の方針を組み立てることが可能であり、本研究における大枠を示すことができた。

表 3-1 入力地震波諸元

| 入力地震波 | 略称 | V _{Emax} [cm/s] |
|--------------------------|-------------|--------------------------|
| 1995年兵庫県南部地震JR鷹取駅観測波南北成分 | takatori_ns | 851.3 |

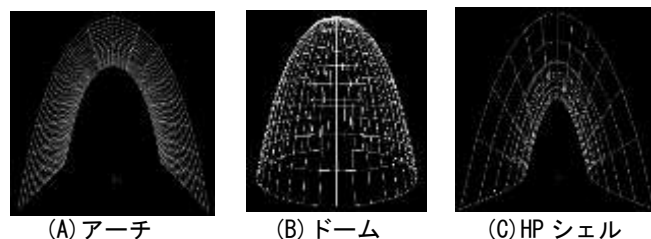


図 3-1 解析モデル

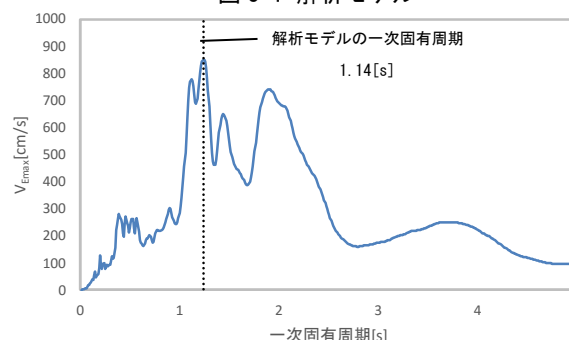


図 3-2 エネルギースペクトル (h=0.02)

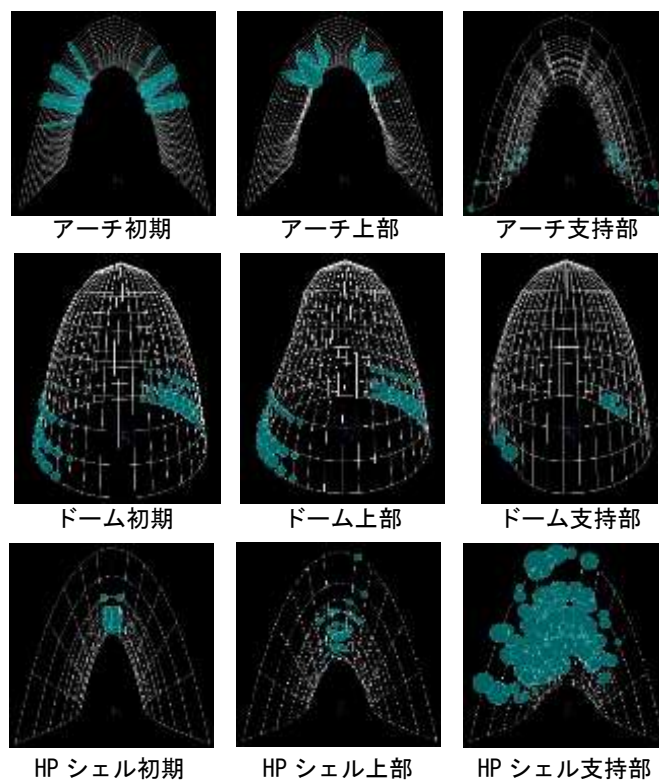


図 3-3 累積塑性ひずみエネルギー分布図

参考文献

- 1) 秋山宏, エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1999, 11
- 2) 松田泰治, 大塚久哲, 内藤伸幸: 地震入力エネルギーに基づく模擬地震波の作成について, 第 5 回地震時保有体力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム, 2002
- 3) 大崎順彦, 新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1994.5

*(株)山下設計 修士(環境学)

**東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授・博士(工学)

*Yamashitasekkei, M Envi.

** Assoc. prof, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Ph D.