# 座屈拘束ブレースの最適特性の入力地震波に対する感度に関する一検討

長崎大学	学生会員	〇池末	和隆	長崎大学	学生会員	FARHAT FADI
長崎大学	正 会 員	中村	聖三	長崎大学	フェロー	高橋 和雄

### 1. はじめに

座屈拘束ブレース(以後 BRB とする)は,適用が容易で安価であることから, 建築構造物を中心に制震ダンパーとして多く用いられる.しかしながら,BRBの 特性や設置場所をシステマティックに最適化する方法はまだ確立していない.そ うした状況に対して,FADIら<sup>1)</sup>は既設構造物の耐震補強に用いる場合を対象に, 遺伝的アルゴリズム(以後 GA とする)を用いて BRB の特性の最適解を決定する 設計法を提案した.本研究は,その方法により決定される BRB の最適特性が, 同種地盤の3波の入力地震波でどのように変化するかを検討するものである.

#### 2. 動的解析

#### 2.1 解析モデル

モルタル

解析モデルは,2次元の3層1スパンラーメンであり,図-1に示すように要素 分割する.使用鋼材は骨組み要素がSM490で,BRB要素はSS400を使用する. 質量は集中質量系とし,その設置点および値を図-2に示す.耐震補強に用いる BRBには図-3に示すような断面を想定し,その特性(コアプレート厚)は各層 で異なってもよいものとする.解析モデルの主なモードを図-4~6,固有振動数 を表-1に示す.



図 - 3 BRB 断面 図 - 4 1 次モード 図 - 5 2 次モード 図 - 6 3 次モード 2 2 留転条件

### 2.2 解析条件

汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を用いて解析を行う.材料非線形はファ イバーモデルにより考慮し,構成則は図 - 7 に示すようなバイリニア型移動硬化 則とする.2次勾配は,骨組要素に対して E/100,BRB 要素に対して E/60 とする. 終局ひずみは,骨組要素,BRB 要素それぞれに対して $\varepsilon_y$ ,20 $\varepsilon_y$ とする.数値積分 には Newmark  $\beta$ 法( $\beta$ =0.25)を用い,応答計算の積分時間間隔は0.01秒とする. 減衰はh=0.02のレーリー減衰とする.



図 - 7 応力 - ひずみ関係

#### 2.3 入力地震動

入力地震動は,道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編<sup>2)</sup>より規定された地震動のタイプ 2・1 種地盤の 3 波(兵庫県南部地震(NS 成分) Type211,兵庫県南部地震(SW 成分) Type212,稲川(NS 成分) Type213) とし,解析モデルの面内方向に入力する.なお,耐震補強前の構造が十分塑性化するよう,入力地震動は 3 波とも加速度を2倍に増幅して用いた.

#### 3. 最適化方法

BRB1, BRB2, BRB3のコアプレートの断面積(2500mm<sup>2</sup>~25000mm<sup>2</sup>)を設計変数とする.全 BRB に対



図 - 1 解析モデル

20000kg

20000kg

図 - 2 集中質量系モデル

表 - 1 固有振動数

BRB設置後 モード 振動数(Hz)

1.919

5.848

9.463

1次

2次

3次

•-----14000kg

Ó

する使用鋼材体積の総和を目的関数とする.制約条件は構造物の安全性であり,BRB(i),骨組部材(ii)のそれぞれに対して次式のように設定する.

$$g_1(x) = \max_{1 \le i \le B} \left( \frac{|\mathcal{E}_{\min}|_{B_i} - \mathcal{E}_{u,B}}{\mathcal{E}_{v,B}} \right) \le 0 \qquad (i) \qquad g_2(x) = \max_{1 \le i \le B} \left( \frac{(\mathcal{E}_{abs.max})_{M_i} - \mathcal{E}_{u,M}}{\mathcal{E}_{v,M}} \right) \le 0 \qquad (ii)$$

ここに,添字BはBRB,Mは骨組要素を表し, $\varepsilon_{min}$ は最小ひずみ, $\varepsilon_{abs,max}$ は絶対値での最大ひずみ, $\varepsilon_u$ は終局 ひずみ, $\varepsilon_v$ は降伏ひずみである.

最適化方法として GA を用いる.設定したパラメータを表 - 2 に示す.最適化の詳しい手法については, 参考文献<sup>1)</sup>を参照されたい.

### 4. 動的解析における塑性化状況

図 - 8 は BRB を設置していない状態で動的解析を行い塑性化した要素を表す.3 波ともほぼ同じ場所が 塑性化したため, Type211 に対する結果のみを示している.発生した最大ひずみは 1.2*ε*, 程度であった.図 - 9,10 は最小断面積の BRB を設置した状態で動的解析を行い塑性化した要素を表す.Type212 と Type213 に対しては,骨組要素が塑性化していないことがわかる.



### 5. 最適化結果

現段階ではType212に対する最適解のみが得られている.図-11 に示すように,最適解は急速に収束し,終了条件2を満たして解析は 終了した.得られた目的関数の最小値は0.05789m<sup>3</sup>であった.BRB1, BRB2,BRB3の最適断面積を図-12に示す.いずれも0.0025m<sup>2</sup>とな っており,これは設定した最小断面積である.図-9,10に示したよ うに,最小断面積のBRBを設置した場合,Type211では骨組要素の一 部が塑性化し,Type212とType213ではBRB以外塑性化していないこ とから,入力地震動によって異なる最適解が得られることが予測さ れる.

## 6. **あとがき**

本文ではType212に対する最適解のみを示したが,今後,Type211 とType213の最適解を得て感度の有無を検討し,講演当日報告する予 定である.

#### 参考文献

- FARHAT FADIら: Application of Genetic Algorithm to Optimization of Buckling Restrained Braces for Seismic Upgrading of Existing Structures, 土木学会第62回年次学術講演会,2007
- 2) (社)日本道路協会:道路橋示方書·同解説,平成14年3月



