

座屈拘束ブレースの簡易設計法に関する解析的検討

名古屋大学 学生員 中上 彩香
 名古屋大学大学院 正会員 葛西 昭
 名古屋大学大学院 フェロー 宇佐美 勉

1. 緒言

地震時に構造物に生じる応答を減少させる方法の一つに、構造物内にエネルギー吸収部材を導入して、構造系全体の応答を制御する制震の考え方がある。これは、制震部材の塑性変形によりエネルギー消費を図り、早期の降伏によってその制震効果が発揮されるものであり、地震時における犠牲的な部材となり得る¹⁾。また、地震動のレベルによっては、主構造物に大きな損傷が生じないので、この部材を取り替えることによって、供用期間を継続させることができる。本研究では、このような制震部材のうち、座屈拘束ブレースを土木構造物に取り付けることを想定し、ブレースの剛性と強度を簡易に設定する方法を提案することを目的としている。本提案設計法は、荷重の加わる方向に対して、副部材であるブレースと主構造物が並列的に結合される構造形式であれば、様々な部材に適用可能な方法である。図1に本提案設計法の簡単なフローを、図2に解析モデルの概念図を示す。

2. 提案設計法の概要

本手法は、座屈拘束ブレースを取り付けることによって、定めた目標変位内に、地震時に構造物に生じる最大応答変位を収めることでまとめられる。ここでいう目標変位とは、ブレースを取り付けた際の目標とする応答変位量のことであり、設計法はそれを達成するために必要とされるブレースの諸パラメータを定めるための簡易手法である。本設計法では、設計を簡便にするため、ブレースの荷重-変位関係を完全弾塑性型と仮定して取り扱う。よって、設計時の未知量は、ブレースの初期水平剛性 k_{Brace} 及び強度(降伏荷重) $H_{y)Brace}$ の2つである。初期水平剛性推定法としてはエネルギー一定則と変位一定則を用いた。以下に各推定法の概要を述べる。

(1) エネルギー一定則を用いた推定方法

この方法では、図3のように主構造物(ブレースを取り付けない構造)の荷重-変位関係における最大応答変位点までのエネルギー吸収量と、ブレース付き構造物の荷重-変位関係における目標変位点までのエネルギー吸収量とが等しくなるようにダンパー系の未知量を定める考え方である。

(2) 変位一定則を用いた推定方法

変位応答スペクトルを利用し、目標応答変位に対応する固有周期 T を求める。そして、式(1)を用い、ブレース付き構造物全体系の初期剛性 k_{Total} を求める。

$$T = 2\pi \sqrt{m/k_{Total}} \quad (1)$$

主構造とダンパー系は並列結合であるため、式(2)からブレースの初期水平剛性 k_{Brace} が求められる。

$$k_{Total} = k_{Frame} + k_{Brace} \quad (2)$$

図4に概念図を示す。また、降伏荷重 $H_{y)Brace}$ はブレースが震度法設計では降伏せず、主構造より早期に降伏する条件から求められる。

3. 設計法の適用例

本提案法を門形ラーメン橋脚に適用し、その妥当性の検証を行う。妥当性の検証には、推定されたブレースを含む構造物の弾塑性地震応答解析による最大応答変位と目標変位との相関から判断する。

①対象とした門形ラーメンは、高さ 11m、幅 9.7m、構造パラメータとしては、幅厚比パラメータ $R_f = 0.35$ 、補剛材剛比 $\gamma/\gamma^* = 3.5$ 、板厚 35mm、アスペクト比 $\alpha = 0.5$ としている。使用鋼材は SM570 である。

②①で定義したラーメン橋脚の Pushover 解析を行い荷重-変位関係、強度および変形能を求める。

③②の結果から、終局点の水平変位 $\delta_{u)Frame}$ より、目標とする応答変位を決定する。ここでは、 $1.0\delta_{u)Frame}$ 、 $0.75\delta_{u)Frame}$ 、 $0.5\delta_{u)Frame}$ の3パターンを用意した。

④その目標応答変位を満足するブレースの初期水平剛性 k_{Brace} および強度(降伏荷重) $H_{y)Brace}$ を求める。その方法として、先ほど示した(1)エネルギー一定則、(2)変位一定則を用いる。(1)では、ブレースに鋼材 SM490 を用い、初期水平剛性比 k_{Brace}/k_{Frame} を 1.0 と仮定して、それぞれの目標応答変位を満足する強度(降伏荷重) $H_{y)Brace}$ を決定した。(2)では求めた初期水平剛性 k_{Brace} から震度法設計に従いブレースの降伏応力範囲を

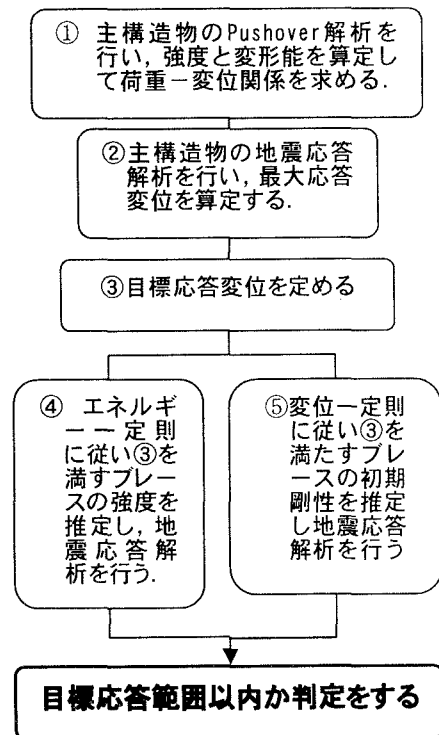


図1 ブレースの簡易設計のフローチャート

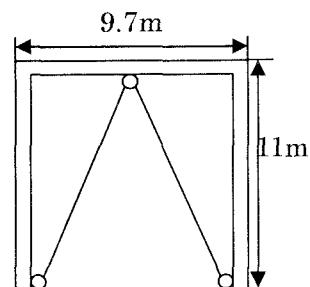


図2 対象構造物のイメージ図

定め、鋼材を決定する。ここでは目標応答変位 $1.0 \delta_{u)Frame}$, $0.75 \delta_{u)Frame}$, $0.5 \delta_{u)Frame}$ に対しそれぞれ SM490, SS400, SS400 が求まった。

⑤主構造物およびエネルギー一定則、変位一定則より決定したパラメータを持つブレースをつけた全体系の構造物に対して弾塑性地震応答解析を行う。ここでは、入力地震動として、独立行政法人土木研究所が提案しているⅡ種地盤用の Level2 TypeⅡ地震動である、兵庫県南部地震において観測された JR 鷹取駅観測地震動 (NS 成分) を減衰定数 $\xi = 0.05$ の場合の加速度応答スペクトルが標準加速度応答スペクトル S_{II0} に一致するように、振幅特性を調整して、直下型の地震動に対応したもの (jrt-ns-m) を用いた。構成則としてラーメン橋脚には名古屋大学で開発された修正 2 曲面モデル²⁾、ブレースには完全弾塑性型の応力-ひずみ関係を用いる。

4. 適用例に対する結果及び考察

図 5 に目標変位を $1.0 \delta_{u)Frame}$ とした場合の弾塑性地震応答解析結果のうち、橋脚頂部水平変位時刻歴を示す。縦軸は、水平変位をラーメン橋脚の降伏変位で除し、横軸は時刻を示している。また、実線はブレース導入前の応答で、点線がエネルギー一定則による成果、一点鎖線が変位一定則による成果である。この図より、エネルギー一定則の方が応答値を大きく低減する効果があることがわかる。この結果を目標変位との相関で表したのが図 6 である。図 6 において、縦軸は最大応答変位をラーメン橋脚の終局変位 $\delta_{u)Frame}$ で除し、横軸は目標変位をラーメン橋脚の終局変位 $\delta_{u)Frame}$ で除している。図中の点線は目標変位と最大応答変位が一致した場合を示しており、これより下側にプロットされる場合は、目標変位内に応答が収まったことを示している。図 6 によると、エネルギー一定則に従った場合、目標変位に比べてかなり応答値が収まっていることが分かる。これは、ブレースの剛性が変位一定則に比べて大きいことに起因している。一方変位一定則に従った場合には、目標変位を上回る場合があるものの比較的よく推定できる方法であることが読みとれる。また、ブレースの剛性の大小は橋脚基礎への負担に大きく影響を及ぼす。そこで、ラーメン橋脚の強度がブレースを導入することでどの程度上昇するのかをまとめたものが図 7 である。縦軸はラーメン橋脚とブレースでの全体系における最大水平荷重 $H_{max)Total}$ をラーメン橋脚のみの最大水平荷重 $H_{max)Frame}$ で除し、横軸は図 6 と同様である。この図より、変位一定則に従った場合、強度の上昇は比較的小さく、基礎に対する負担増は極力抑える

ことが可能である。なお目標変位を小さく設定するほど、強度が上昇することには注意しておく必要がある。

5. 結言

本研究の成果をまとめる。

(1)座屈拘束ブレースの簡易初期剛性推定法を提案した。

(2)本研究で対象とした門型ラーメンに対しては、エネルギー一定則よりも変位一定則を適用することで、目標変位に近く、また基礎構造物の強度の増加に影響の少ない最適なブレースの剛性および強度を推定することが可能である。

参考文献

- 1)加藤基規, 宇佐美勉, 葛西昭: 座屈拘束ブレースの繰り返し弾塑性挙動に関する数値解析的研究, 構造工学論文集 Vol.48A(2002)pp641-648
- 2)Shen,C,Mizuno,E,Usami,T: A Generalized Two-Surface Modal for Structural Steel under Cyclic Loading,Structural Eng./Earthquake Eng.,Proc of JSCE, Vol.10,No.2,pp59s-69s,1993.7.

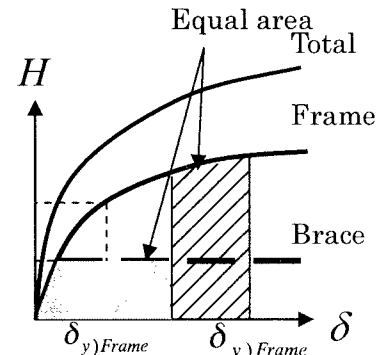


図 3 エネルギー一定則の概念図

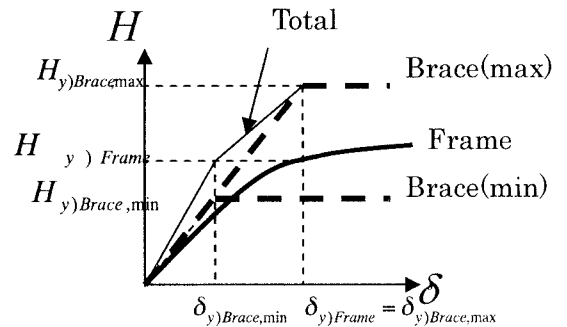


図 4 変位一定則の概念図

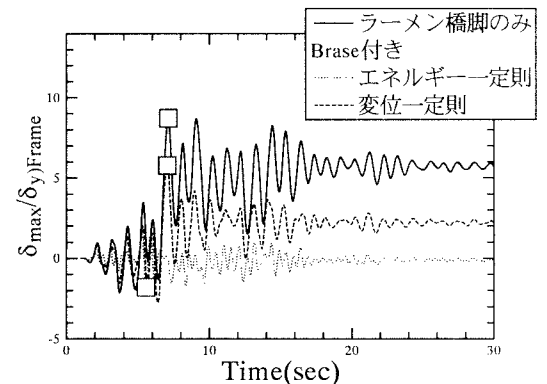


図 5 応答変位の比較

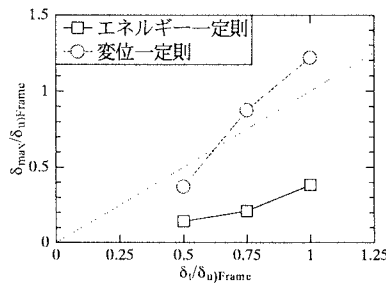


図 6 変位の比較

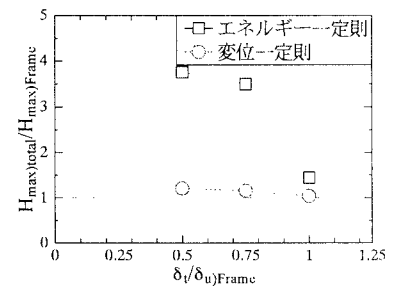


図 7 強度の比較