

その他の外部資金による研究開発

- 1 鋼構造におけるダンパーを耐震要素として用いる設計法に関する研究 Study on seismic design method of steel structure using dampers

(研究期間 平成 14～15 年度)

建築生産研究グループ
Dept. of Production Engineering

西山 功
Isao Nishiyama

Current seismic design method can only accept the use of dampers for seismic elements in the time history analysis. Very recently a new seismic design method based on energy concept was presented from the Ministry of Land, Infrastructure and Transport for public review. This research gives the basis for the energy based seismic design method especially of utilization of dampers.

【研究目的及び経過】 ハウスナー博士により約半世紀前に示された耐震設計におけるエネルギー理論は、秋山(文献 1)による損傷配分則の提案により多層構造へと道が開かれた。その後、鉄骨造特有のノーマルバイリニア以外の履歴特性への適用性の検討、履歴型ダンパー付き架構への適用性の検討(文献 2)等が行われる一方で、応答変位を精度よく評価すべくエネルギー入力率(文献 3)に関する検討へと展開しているが、実用に供せる一般化には至っていない。

そこで、独立行政法人建築研究所及び国土交通省国土技術政策総合研究所とが協力して、エネルギー理論を一般化して実用的な耐震設計法とするための検討を開始した。ここでは、(1) ノーマルバイリニア以外の履歴特性への適用性の検討により鉄筋コンクリート造や木造など鉄骨造以外の構造にも適用できる、(2) 中地震において降伏を許容する履歴型ダンパーを適用範囲に取り込む、ことが重要な課題となった。

本研究では、上記のエネルギー理論に基づく耐震設計法を構築する中で、ダンパーを耐震要素として用いる上で不可欠な基礎資料を得るために、時刻歴応答解析によるパラメトリックスタディを実施し、履歴型ダンパーの塑性率と累積塑性変形倍率との関係を検討したものである。

【研究内容】 表 1 に地震波および解析モデルの諸元を示す。地震波は、図 1 に示す設計用速度応答スペクトル(文献 1 における損傷に寄与するエネルギーの速度換算値に相当)に一致するようにその加速度レベルを調整した。

解析モデルは 1 質点系モデル(減衰定数 0.02)とし、主架構の降伏点割線剛性により評価した固有周期は 0.1～2.0 秒間を 0.1 秒刻みとする 20 ケース、主架構の履歴特性はノーマルバイリニア、ノーマルバイリニアとスリップの混合(スリップ成分の強度比率を 75%、ノーマルバイリニア成分とスリップ成分の剛性寄与率はそれぞれ 50%)、スリップ、修正武田(文献 4)の 4 種類、そしてノーマルバイリニアの履歴型ダンパーはそれぞれ 4 種

類の剛性および強度とした。架構(主架構+履歴型ダンパー)の強度レベルは、等価な降伏せん断力係数で評価して 0.2、0.25、0.3、0.35、0.4、0.45、0.5、0.55、0.6、0.8 の 10 種類とした。

【研究結果】 履歴型ダンパーの付かない架構の解析結果(エルセントロ波)における主架構の塑性率(μ)と累積塑性変形倍率(η : 定義は文献 1 参照)との関係を図 2 に示す。 μ と η の関係は、塑性変形の累積の程度を表す数値(n)を介して(1)式で関係付けられる。

$$\eta = 2n(\mu - 1) \quad (1)$$

図 2 に示されるように、ノーマルバイリニアの架構では、 $0.5 \leq n \leq 3.0$ の範囲でばらついた。スリップの架構では、理論上 $0.5 \leq n \leq 1.0$ であり、解析結果もこれに一致した。修正武田の架構では、両者の中間的な結果であった。本報告では、八戸波、神戸波による解析結果を示していないが、概ね同様の傾向であった。

履歴型ダンパーの付く架構の神戸波に対する解析結果の内、主架構の塑性率が 1.0 以下であった結果において履歴型ダンパーに着目した μ と η の関係を履歴特別に図 3 に示す。この図より、比較的履歴型ダンパーの η が小さい範囲では、 $2 \leq n_d \leq 10$ の関係が成立していた。また同様に、エルセントロ波に対する解析結果を図 4 に示す。この図よりやや履歴型ダンパーの η が大きい範囲では、 $5 \leq n_d \leq 20$ の関係が見られる。

一方、主架構の塑性率が 1.0 以上となる場合に関しては、主架構に塑性変形を生じている間の履歴型ダンパーに生じる η_d は(2)式で表せる。

$$\eta_d = \frac{\delta_{fy}}{\delta_{dy}} \eta_f \quad (2)$$

主架構の履歴特性がノーマルバイリニア以外の履歴特性に関しても形式的に(2)式が適用できるものとして、修正武田の履歴特性の場合の結果(神戸波)に関して、 η_d を差し引いた残りの履歴型ダンパーの η を、主架構の降伏変位に対応する履歴型ダンパーの μ に対してプロットして図 5 に示す。

等価な降伏せん断力係数が 0.35 以上では、概ね

$5 \leq n_d \leq 20$ であり、0.35 未満ではやや大きな値であった。
 ただし、 n_d と δ_{dy} は履歴型ダンパーの累積塑性変形倍率と降伏変位、 n_f と δ_{fy} は主架構の累積塑性変形倍率と降伏変位を示す。

[まとめ] 各種履歴特性、履歴型ダンパー付き架構を対象とした時刻歴応答解析によるパラメトリックスタディを実施し、主架構および履歴型ダンパー部分における塑性率と累積塑性変形倍率の関係を検討し、ダンパーを耐震要素として用いる設計法の構築において基本となるエネルギー理論に基づく耐震設計を行う上で重要となる塑性変形の累積の程度を表す数値 (n 、 n_d) に関する資料を得た。

[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) 例えば、小川厚治、平野智久：履歴型ダンパーの必要塑性変形性能に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第 558 号、pp.197-204、2002.8
- 3) 例えば、桑村仁ほか：地震動のエネルギー入力率スペクトルの特性（変位一定説とエネルギー一定説の調和）、日本建築学会構造系論文集、第 498 号、pp.37-42、1997.8
- 4) 東北大学工学部建築学科建築構造学研究室：鉄筋コンクリート骨組の弾塑性地震応答解析プログラム FRAME-D、1983.3

表 1 解析モデル

地震波	Hachinohe	EI Centro	Kobe
モデル	1質点系モデル		
減衰定数	0.02		
周期(second)	0.1, 0.2, 0.3, ... 2.0 (20ケース)		
強度レベル	0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.8		
主架構の履歴モデル	Normal Bilinear	混合	Slip / Modified Takeda
ダンパー	Normal Bilinearの履歴モデル(強度、剛性は下欄)		
$\alpha_d/(\alpha_d+\alpha_f)$	0, 5, 10, 20, 40%の5種類		
K_d/K_f	0.5, 1.0, 2.0, 3.0の4種類		

- *1 固有周期の算定は、降伏点割線剛性より評価
- *2 強度レベルは、等価な降伏せん断力係数として評価した。なお、履歴型ダンパーが付く架構では n_d と δ_{dy} として履歴型ダンパーの効果を評価した。
- *3 α_d および K_d は、履歴型ダンパーの降伏耐力および剛性、 α_f および K_f は、主架構の降伏耐力および剛性を示す。

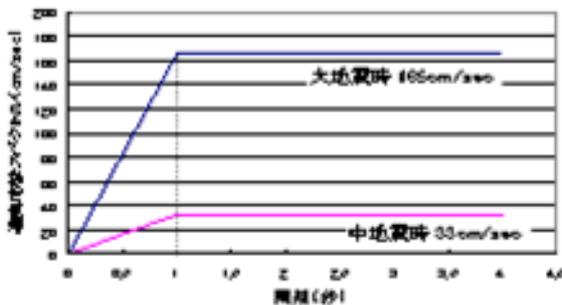


図 1 地震波作成に用いた設計用速度応答スペクトル

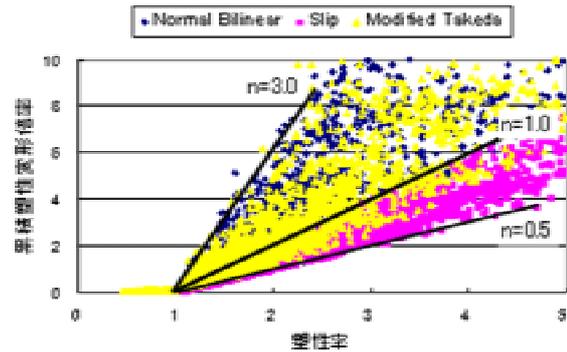


図 2 架構の塑性率と累積塑性変形倍率

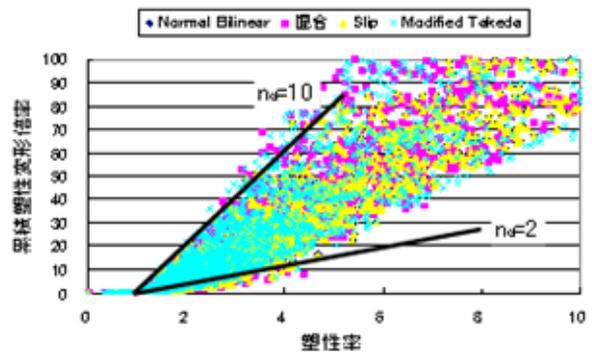


図 3 ダンパーの塑性率と累積塑性変形倍率（中地震）

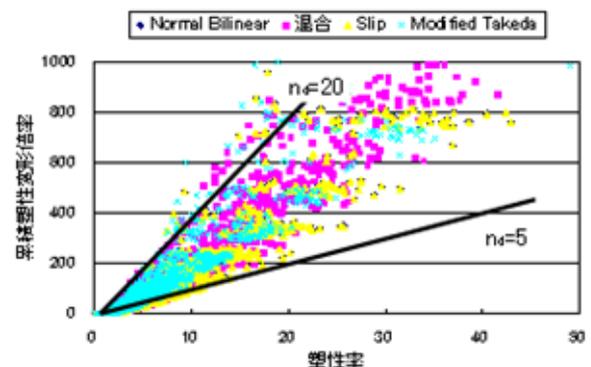


図 4 ダンパーの塑性率と累積塑性変形倍率（大地震）

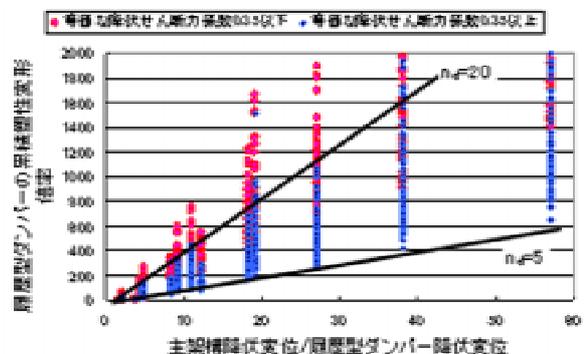


図 5 ダンパーの塑性率と累積塑性変形倍率
 (架構が降伏する場合)