

制震補強建物の耐震性能評価法に関する研究

その1 耐震性能評価法の提案と検討対象建物の必要減衰性能の算定

Study on Seismic Capacity Evaluation Method of Buildings Retrofitted by Energy Dissipation System  
Part1 Proposal of Seismic Capacity Evaluation Method and Calculation of Required Damping Capacity

天羽 祥太<sup>1</sup>, 市原 寿人<sup>2</sup>, ○北嶋 圭二<sup>3</sup>, 中西 三和<sup>3</sup>, 安達 洋<sup>3</sup>  
Shota Amo<sup>1</sup>, Hisato Ichihara<sup>2</sup>, \*Keiji Kitajima<sup>3</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>3</sup>, Hiromi Adachi<sup>3</sup>

This paper shows outline of proposal of seismic capacity evaluation method and Calculation of required damping capacity on the examine building.

1. はじめに

1.1 研究背景および研究目的 近年, 建物の耐震性能の向上のため, 履歴系ないしは粘性系ダンパーで補強を行う制震補強が増加している. これら制震補強建物の耐震性能の評価法は, 時刻歴地震応答解析を実施し評価するのが一般的である. これは, 補強対象建物がある特定された入力地震動に対し, 補強設計目標変形以下となっていること, すなわち, 補強設計クライテリアを満足していることを確認することで, 制震補強建物の耐震安全性を評価するという方法である. しかし, この方法のみでは, 地震応答解析の信頼性の確認や, 制震補強建物の強度・変形性能および減衰性能等の一般的な耐震性能の指標が評価されているわけではないので, 補強前建物と補強後建物の比較や, 制震補強工法による補強建物と在来補強工法による補強建物の耐震性能の比較が容易に行えない.

そこで本研究では, 制震補強建物の耐震性能を, 地震応答解析による応答値のみで評価するのではなく, 強度性能, 変形性能, および減衰性能等の一般的な耐震性能指標を用いて評価・表示する方法を提案し, その評価方法の有効性について確認することを目的とする.

1.2 研究方法および研究内容 本研究で提案する耐震安全性の評価方法の概念図を Fig.1 に示す. まず, 補強前建物(以下, 無補強建物)の強度性能(耐力)と変形性能(安全限界変位)を, 静的弾塑性骨組解析を実施し評価する. 次に, その結果を1自由度系に縮約し構造特性曲線を評価し, 設計用応答スペクトルとの比較から, 安全限界変位時の必要減衰性能を算定する. すなわちこの方法は, 建物の応答は周期と減衰より評価可能であるという応答スペクトル法の考え方<sup>1)</sup>を基本としており, 無補強建物の安全限界周期と必要減衰性能をまず評価しておき, 補強建物が必要とされる減

衰性能を保有しているか否かを評価することにより耐震安全性を判定するという方法である.

ここで課題となるのが, 弾塑性挙動をする建物さらには制震ダンパーが取り付けられている制震補強建物の保有減衰性能をどのような方法で評価するかということである. 既往の研究では複素固有値解析を行いモード減衰を評価する方法<sup>2)</sup>などが提案されているが, 実務レベルで複素固有値解析が普及しているとは言えず, 簡易な方法で保有減衰性能が評価できれば実用的である.

そこで本研究では, 漸増定常加速度波形を入力する時刻歴応答解析(以下, 定常応答解析と称する)を実施し, 安全限界変位レベルでの縮約1自由度系の建物の定常履歴曲線を抽出して保有減衰性能を評価する方法を提案した. この方法を用いれば, 一般的な制震補強設計ツールである時刻歴応答解析により, 無補強建物および補強建物の減衰性能が評価可能となる. さらに, 制震補強で用いられる制震ダンパーが, 変位依

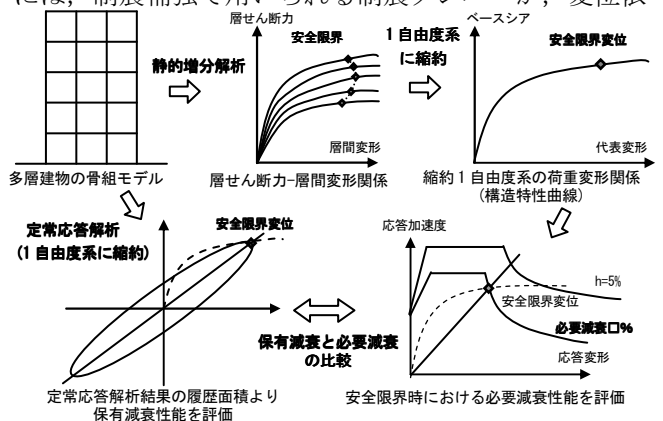


Fig.1 Conceptual diagram of evaluation method on seismic safety

Table 1 Classification of seismic damper

力学機構	制震部材
変位依存型ダンパー (履歴系ダンパー)	鋼材ダンパー
	鉛ダンパー
	摩擦ダンパー
速度依存型ダンパー (粘性系ダンパー)	オイルダンパー
	粘性ダンパー
	粘弾性ダンパー

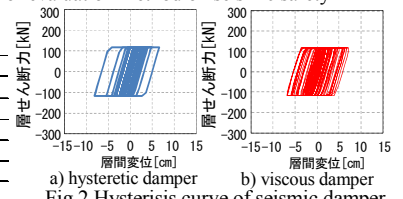


Fig.2 Hysteresis curve of seismic damper

1 : 日大理工・院 (前)・海建 Graduate Student, Nihon Univ. 2 : 東京ソイルリサーチ Tokyo Soil Research.Co.

3 : 日大理工・教員・海建 Prof. Nihon Univ. Dr. Eng.

存型の履歴系ダンパーの場合や速度依存型の粘性系ダンパーの場合でも、無補強建物と同じ方法で減衰性能が評価可能となる。制震ダンパーの分類<sup>3)</sup>を Table 1 に、履歴系および粘性系ダンパーの典型的な履歴曲線を Fig.2 に示す。

本研究では、まず 2 階建て RC 造建物を検討対象として、提案した評価方法について詳細に検討し、その有効性を確認する。

## 2. 2 階建て建物に対する検討

**2.1 建物概要** 検討対象建物は、Fig.3 に示す 2 層 2 スパンの純フレーム RC 造建物<sup>4)</sup>とし、解析モデルは、Fig.3 b)に示す網掛けで囲われた 1 構面のみを平面フレーム解析モデルとした。解析モデルの諸元を Table 2 に示す。柱・梁のみの純フレームモデルを無補強建物、Fig.3 a)に記す 2 箇所にダンパーを配置した建物を制震補強建物とする。履歴系ダンパーによる補強建物では、制震ダンパーとして鋼材ダンパーを想定し、降伏耐力は建物重量の 1 割に、初期剛性は目標層間変形角 1/100rad で塑性率が 5 となるように設定した。履歴特性は、ノーマルバイリニアモデルを採用した。粘性系ダンパーによる補強建物では、制震ダンパーとしてリリーフ付付きオイルダンパーを想定し、履歴系ダンパーとほぼ同等の性能を持たせるために、履歴系ダンパーの降伏耐力と同じ荷重のリリーフ荷重を設定し、初期剛性も履歴系ダンパーと同じ値を設定した。解析モデルは、Maxwell モデルを採用した。ダンパー諸元を Table 3 に示す。

**2.2 入力地震動** 2 階建て建物の検討用地震動の大きさは、限界耐力計算と同様に応答スペクトルで定義することとした。応答スペクトルは工学的基盤における標準応答スペクトルを第 2 種地盤の略算法による地盤増幅率を考慮し、さらには本検討対象建物が 2 階建てであることによる低減係数(0.85)を考慮して作成した。時刻歴応答解析用の入力地震動波形は、上記応答スペクトルにフィッティングした位相特性の異なる模擬地震動を 4 波(EI-Centro-NS 位相(ELNS), Hachinohe-NS 位相(HANS), Kobe-NS 位相(KONS), ランダム位相(RAND))を作成した。入力地震動諸元を Table 4 に、入力地震動の応答スペクトルを Fig.4 に示す。

**2.3 無補強建物の静的増分解析** 無補強建物の静的増分解析結果を Fig.5 に、静的増分解析結果を限界耐力計算と同じ方法(式(1), 式(2))<sup>1)</sup>により 1 自由度系に縮約した荷重変形曲線(構

造特性曲線)を Fig.6 に示す。Fig.5 中の損傷限界とはどこかの部材が初めに降伏した時点(ステップ)を、安全限界とはどこかの層が 1/100rad を超えた時点(ステップ)として定義した。

解析の結果、1 自由度系に縮約した時の安全限界変位は 6.8cm であり、安全限界時の建物の等価周期(安全限界周期 Ts)は 0.82sec であった(Fig.6)。

$$S_d = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \delta_i^2}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \delta_i} \dots (1) \quad S_a = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \delta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^N m_i \cdot \delta_i\right)^2} \times Q_B \dots (2)$$

**2.4 検討対象建物の必要減衰性能の算定** 検討対象建物の必要減衰性能は、Fig.6 に示すように、1 自由度系に縮約された建物の安全限界周期における検討用地震動の応答スペクトル特性により評価することができる。すなわち、無補強建物の安全限界周期(Ts=0.82sec)の 1 質点弾性減衰系の応答値が、安全限界変位(6.8cm)となる減衰定数の大きさが必要減衰性能となる。必要減衰性能の算定結果を Table 5 に示す。必要減衰性能の算定結果は、入力地震動の位相特性の違いにより大きなばらつきが生じているが、その平均値は 33%であった。本研究では、この平均値を必要減衰性能の値として採用し、各入力地震動に対する値は参考値として併記することとした。

## 3. まとめ

以上、本報(その 1)では制震補強建物の耐震性能評価法の提案と検討対象建物の概要、必要減衰性能の算定について述べた。

参考文献 [1] 日本建築学会関東支部：「耐震構造の設計」,2003.7 [2] 石丸辰治：「対震設計の方法」,2008.7 [3] 日本建築学会関東支部：「免震・制震構造の設計」,2007.1 [4] 日本建築学会関東支部：「鉄筋コンクリート構造の設計」,2002.1

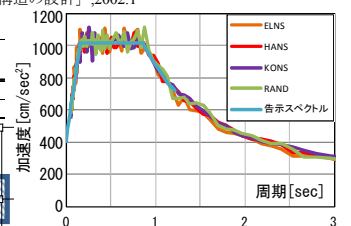
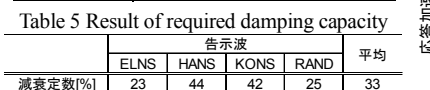
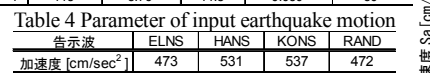
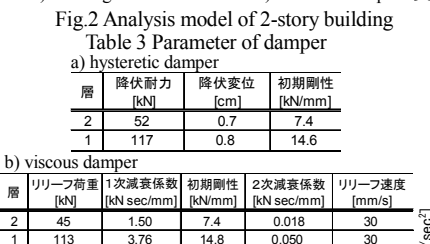
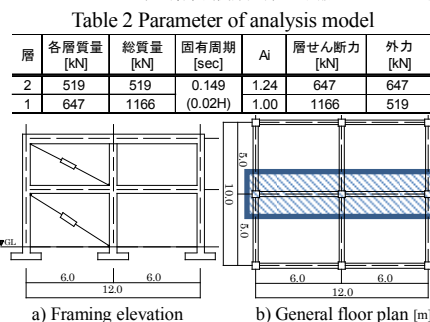


Fig.4 Response spectrum of input earthquake motion

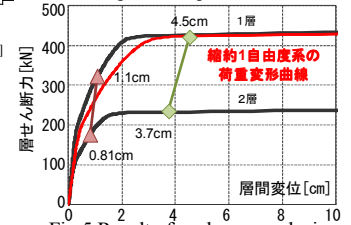


Fig.5 Result of pushover analysis

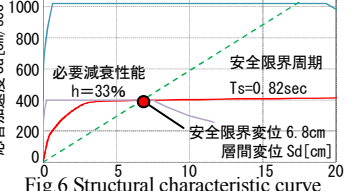


Fig.6 Structural characteristic curve