

等価線形化法による制震補強設計法に関する研究

(その 1 制震補強設計法の概要と各層のダンパー量の算定方法)

Study on Seismic Retrofit Design Method of Energy Dissipation System by Equivalent Linearizing Method

Part 1 Outline of Seismic Retrofit Design Method and Calculation Method of Damper Shear Force at Each Floor

○歌田航己¹, 森本竜², 北嶋圭二³, 中西三和³, 安達洋⁴

* Koki Utada¹, Morimoto Ryu², Keiji Kitajima³, Mitsukazu Nakanishi³, Hiromi Adachi⁴

Abstract: This paper describes the outline of seismic retrofit design method and calculation method of damper at each floor.

1. はじめに

耐震性能に乏しい既存 RC 造建物にエネルギー吸収部材(制震ダンパー)を取り付け、耐震性能を向上させる制震補強構法が開発・実用化され、すでに 300 棟以上の補強事例があるものと推測される。特に近年、補強対象建物の高層化に伴い、制震補強事例が益々増加傾向にある。制震補強法はダンパーを配置することにより補強対象建物の減衰性能を向上させ、応答変位の低減を図る応答制御型の補強法である。したがって、制震構造における必要ダンパー量は、既存建物(無補強建物)の構造特性を等価 1 自由度系モデルに縮約して、1 自由度系モデルの応答変位が目標変位以下になる必要付加減衰量を評価し、等価線形化法を用いて必要ダンパー量を算定するのが合理的である¹⁾。そこで本研究は、等価線形化法に基づく制震補強設計法を提案し、既存建物(無補強建物)の強度と変形性能に見合った必要減衰性能を満足し、かつ、各層の層間変形角が一樣になるような各層の制震ダンパー量の算定方法について明確に示すことを目的とする。本報(その 1)では、制震補強設計法の概要と各層のダンパー量の算定方法を示す。

2. 制震補強設計法の概要

本研究で提案する補強設計法概念図を Fig.1 に、制

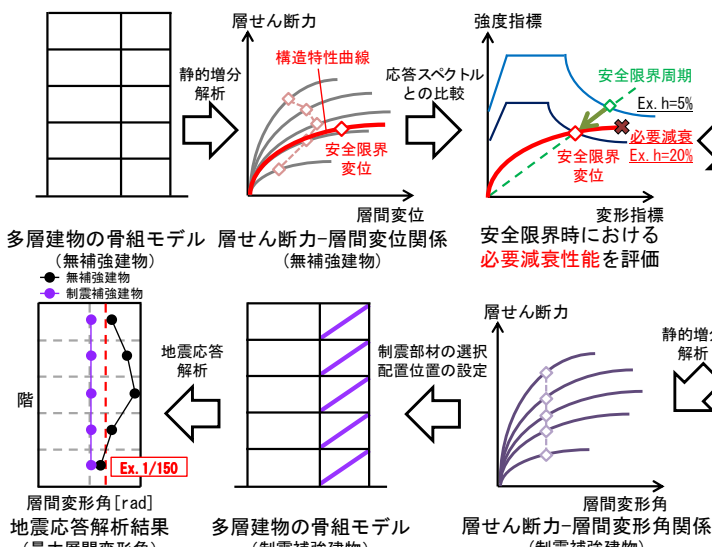


Fig.1 Concept of seismic evaluation method

震補強設計のフローを Fig.2 に示す。補強設計の主な手順は以下の通りである。

- ①既存建物(無補強建物)の強度と変形性能を、静的弾塑性骨組解析を実施し評価する。この時、必要に応じて既存建物の強度と変形性能の改善を図る。
- ②その結果を 1 自由度系に縮約して無補強建物の構造特性曲線(安全限界変位と安全限界周期)を評価する。
- ③安全限界周期の 1 質点弾性応答解析結果(設計用応答スペクトル)から、補強対象建物の応答変位が安全限界変位以下に抑えるための必要減衰性能と必要付加減衰量 (h_d)を算定する。
- ④1 自由度系における必要付加減衰量を得るための制震ダンパー必要量(Q_d/Q_f)と補強建物の必要ベースシア係数($R_C B$)を算定する。
- ⑤補強建物の必要ベースシア係数に基づき、制震補強建物の応答層間変形角が各層で一樣になるように配慮して、多層骨組各層の制震ダンパー量(Q_{di})を算定する。
- ⑥各層の制震ダンパーの設置本数と取付角度を考慮して、各層に取り付ける制震部材の性能を決定する。
- ⑦地震応答解析を実施し、補強対象建物の応答値が補強設計クライテリアを満足していることを確認する。

以上の方法により、試行錯誤を繰り返すことなく制震

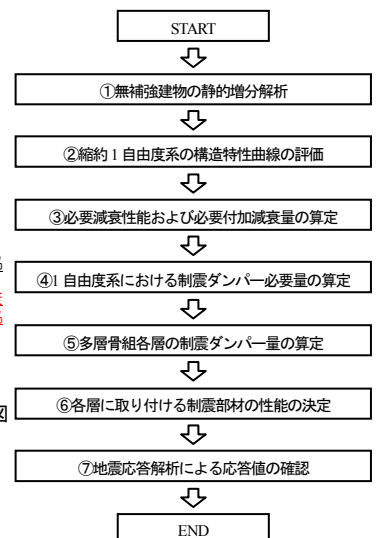


Fig.2 design flow of seismic response control

1: 日大理工・院(前)・海建 2: 日大理工・学部・海建 3: 日大理工・教員・海建 4: 日大名誉教授

補強設計が可能となる。なお、本研究での検討では、各層のダンパー量算定時に静的な減衰の評価方法を用いて付加減衰量を確認する。

3. 各層の制震ダンパー量の算定方法

1 自由度系における完全弾塑性型の履歴特性を有する履歴系制震ダンパーの付加減衰量(h_d)は、制震ダンパー負担せん断力(Q_d)と主架構負担せん断力(Q_f)の比(Q_d/Q_f)から式(1)により算定できる(Fig3)²⁾。この(Q_d/Q_f)が 1 自由度系における制震ダンパー必要量となる。 (Q_d/Q_f) は式(1)を変形した式(2)より算定し、補強建物の必要ベースシア係数(${}_R C_B$)は式(3)により算定する。

$$h_d = \frac{1}{4\pi} \frac{E_d}{E_f} = \alpha \times \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu_d}\right) \times \frac{Q_d}{Q_f} \quad (1)$$

$$\frac{Q_d}{Q_f} = \frac{h_d}{\alpha \times \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu_d}\right)} \quad (2)$$

$${}_R C_B = \left(1 + \frac{Q_d}{Q_f}\right) \times C_B \quad (3)$$

h_d : 付加減衰量, E_d : ダンパーの履歴消費エネルギー,
 E_f : 主架構ポテンシャルエネルギー, μ_d : ダンパー塑性率,
 Q_f : 目標変形角到達時の主架構負担層せん断力,
 Q_d : 制震ダンパー負担層せん断力,
 ${}_R C_B$: 補強建物の必要ベースシア係数, C_B : 主架構のみのベースシア係数

文献 3 では主架構のみのベースシア係数(C_B)をどこかの層が目標層間変形角に達した時のベースシア係数で算定した。実務的にはその方法で問題ないと考えるが、補強建物の主架構の変形分布が無補強時と異なるため、1 自由度系で求めた必要付加減衰量と多自由度系の補強建物の減衰量が必ずしも一致しないという矛盾があった。そこで本研究では、1 自由度系における付加減衰量(式(1))と多自由度系における付加減衰量(式(4))が同一である(Fig3)という条件を加えて、必要ベースシア係数(${}_R C_B$)を算定することとした。なお、便宜的に各層の付加減衰量(h_{di})は 1 自由度系と同様に式(5)にて表せるものとする。

$$h_d = \frac{1}{4\pi} \frac{\sum_{i=1}^N E_{di}}{\sum_{i=1}^N E_{fi}} = \frac{\sum_{i=1}^N E_{fi} \times h_{di}}{\sum_{i=1}^N E_{fi}} \quad (4)$$

$$h_{di} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{di}}{E_{fi}} = \alpha \times \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu_{di}}\right) \times \frac{Q_{di}}{Q_{fi}} \quad (5)$$

E_{di} : i 層のダンパーの履歴消費エネルギー,
 E_{fi} : i 層の主架構ポテンシャルエネルギー,
 h_{di} : i 層の付加減衰量, μ_{di} : i 層のダンパー塑性率,
 Q_{fi} : i 層の目標変形角到達時の主架構負担層せん断力,
 Q_{di} : i 層の制震ダンパー負担層せん断力,

ここで、陽なかたちで必要ベースシア係数(${}_R C_B$)を導出するために、1 自由度系におけるダンパー塑性率(μ_d)と各

層のダンパー塑性率(μ_{di})は同一であること、また各層の補強目標層間変形角(θ_i)は各層同一であることという 2 つの条件を加える。結果、式(1)における(Q_d/Q_f)が式(6)のように整理できる。ここで、各層の主架構ポテンシャルエネルギー(E_{fi})は式(7)で、各層の制震ダンパー負担層せん断力(Q_{di})は式(8)を用いて整理した。

$$\frac{Q_d}{Q_f} = \frac{\sum_{i=1}^N \left(E_{fi} \times \frac{Q_{di}}{Q_{fi}} \right)}{\sum_{i=1}^N E_{fi}} = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{di} \times h_i)}{\sum_{i=1}^N (Q_{fi} \times h_i)} = \frac{\sum_{i=1}^N (W_i \times {}_R C_B \times A_i \times h_i)}{\sum_{i=1}^N (Q_{fi} \times h_i)} - 1 \quad (6)$$

$$E_{fi} = \frac{1}{2} \times Q_{fi} \times \delta_i = \frac{1}{2} \times Q_{fi} \times h_i \times \theta_i \quad (7)$$

$$Q_{di} = (W_i \times {}_R C_B \times A_i) - Q_{fi} \quad (8)$$

δ_i : i 層の目標層間変形角時の層間変位, θ_i : i 層の目標層間変形角
 h_i : i 層の階高, W_i : i 層が支える重量, A_i : 層せん断力係数分布

したがって、1 自由度系で求めた必要付加減衰量を満足する多自由度系の制震構造建物のベースシア係数(${}_R C_B$)は、式(6)を変形した式(9)で表すことができる。また、各層の制震ダンパー負担層せん断力(Q_{di})は、式(8)に式(9)を代入した式(10)で算定することができる。

$${}_R C_B = \left(1 + \frac{Q_d}{Q_f}\right) \times C_B = \left(1 + \frac{Q_d}{Q_f}\right) \times \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{fi} \times h_i)}{\sum_{i=1}^N (W_i \times A_i \times h_i)} \quad (9)$$

$$Q_{di} = \left(W_i \times A_i \times \left(1 + \frac{Q_d}{Q_f}\right) \times \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{fi} \times h_i)}{\sum_{i=1}^N (W_i \times A_i \times h_i)} \right) - Q_{fi} \quad (10)$$

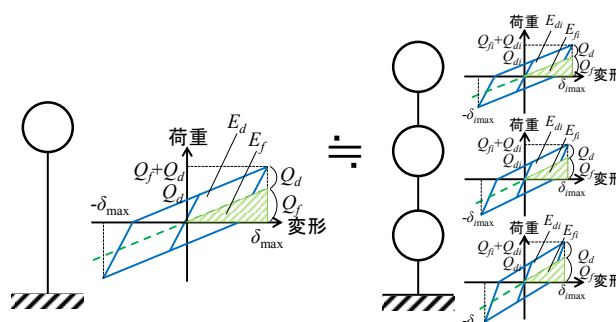


Fig. 3 Concept of single-degree of freedom system and multi-degree of freedom system with the presence of damper

[参考文献]

- 1) 日本免震構造協会：パッシブ制震構造 設計・施工マニュアル 第3版, 2013, 11
- 2) 北嶋圭二ほか：制震化されたRC造建物の耐震性能評価法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.889-894, 2006
- 3) 歌田航己ほか：等価線形化法による既存中層RC造系建物の制震補強設計法, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, pp.7-12,, 2017.7