

B-8

等価線形化法における縮約1自由度系の主架構のベースシア係数と多自由度系の層せん断力に関する検討  
 Consideration of regarding base shear coefficient of mainframe of the equivalent single DOF system and of layer shear force of multi DOF system in Equivalent Linearizing method

○亘健太朗<sup>1</sup>, 村上航太<sup>1</sup>, 山崎康雄<sup>2</sup>, 北嶋圭二<sup>3</sup>, 中西三和<sup>3</sup>, 安達洋<sup>4</sup>

\*Kentarou Watari<sup>1</sup>, Kouta Murakami<sup>1</sup>, Yasuo Yamazaki<sup>2</sup>, Keiji Kitajima<sup>3</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>3</sup>, Hiromi Adachi<sup>4</sup>

Abstract: This paper is about Consideration of regarding base shear coefficient of mainframe of the equivalent single DOF system and of layer shear force of multi DOF system in Equivalent Linearizing method.

1. 研究背景および目的

本研究は、北嶋研究室で提案している等価線形化法による制震構造設計法(以下、制震構造設計法)に関するものである。先行研究<sup>[1]</sup>では制震構造設計法を用いて設計スタディーを実施し、有効性・適用性を確認している。現状の制震構造設計法は静的荷重増分解析を行う際、 $A_i$ 分布に基づく外力分布を用いており、その結果から得られた変形分布を1次モードと仮定して等価1自由度系に縮約し、制震構造物に必要な減衰性能とベースシア係数を算定している。しかし、RC造系建物は外力が加わるとひび割れや主架構の降伏、柱のせん断破壊などにより建物の剛性が変化することで時々刻々と1次モードが変化する(Fig.1)。また、制震構造設計法は、制震化後の建物の変形分布が各層目標層間変形角一様になるよう設計している。これを考慮して、各層層間変形角が一様時の変形分布を用いて縮約1自由度系の構造特性値を評価し、ベースシア係数の算定をするのが合理的である。

そこで、本研究は建物の変形分布に応じた縮約1自由度系における主架構のベースシア係数の合理的な算定方法を把握することを目的とし、簡易的な2質点系

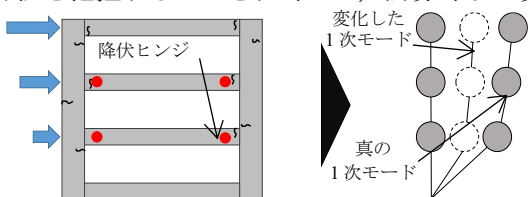


Fig. 1 Change in primary mode due to external force

Table1 Each calculation formula

CASE	$Q_B$	$C_B$
①	$Q_B$	$\frac{Q_B}{W_1}$
②	$\frac{\sum Q_i \times \delta'_i}{S_d}$	$\frac{\sum Q_i \times \delta'_i}{\sum W_i \times C_i / C_B \times \delta'_i}$
③	$\beta \sum \delta_i P_i$	$\frac{Q_B}{W_1}$

$Q_B$ : ベースシア  $P_i$ : 各階外力  $\delta_i$ : 相対変位  
 $m_i$ : 各階質量  $Q_i$ : 層せん断力  $\delta'_i$ : 層間変位

$$S_d = \frac{\sum m_i \cdot \delta_i^2}{\sum m_i \cdot \delta_i} \quad (1)$$

$${}_1M = \frac{(\sum m_i \cdot \delta_i)^2}{\sum m_i \cdot \delta_i^2} \quad (2)$$

$$S_a = \frac{Q_B}{{}_1M} \quad (3)$$

モデルを用いた検討を行う。

2. 検討方法および2質点系モデル概要

本検討は、実際の建物を想定して弾性および弾塑性範囲の2質点系モデルとし、制震構造設計法で想定される変形分布における縮約1自由度系のベースシア係数の算定方法を把握するために行う。検討方法を以下に示す。はじめに、2質点系モデルの変形分布を想定し、その変形分布から等価1自由度系に縮約し、構造特性値(代表変位  $S_d$ 、ベースシア加速度換算値  $S_a$ )およびベースシア係数を各算定方法で比較する。次に、縮約1自由度系のベースシア係数を用いて、2質点系モデルの層せん断力を求め、元の層せん断力が得られているか確認する。想定する変形分布は3つとし、(a)弾性1次モードの外力分布から求まる変形分布、(b) $A_i$ 分布に基づく外力分布から求まる変形分布、(c)各層層間変形角が一様の変形分布を用いた。また、縮約1自由度系におけるベースシアおよびベースシア係数の算定方法も3ケースとし Table1 に示す。各ベースシア係数

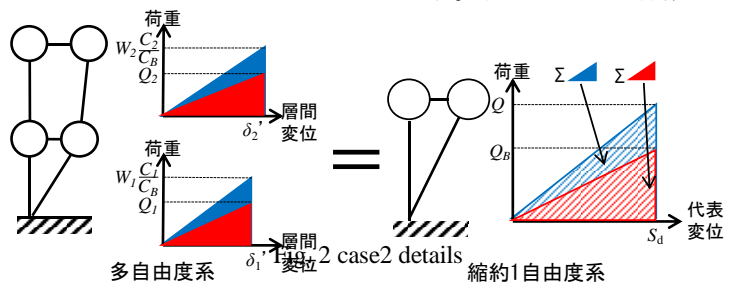


Table 2 2mass model specifications

層	$m_i$	$W_i$	$k_i$
[-]	[ton]	[kN]	[kN/m]
2	1.00	9.81	100
1	1.00	19.62	200

$h_i$	T	$\alpha_i$	$A_i$
[m]	[sec]	[-]	[-]
3.00	0.82	0.50	1.43
3.00		1.00	1.00

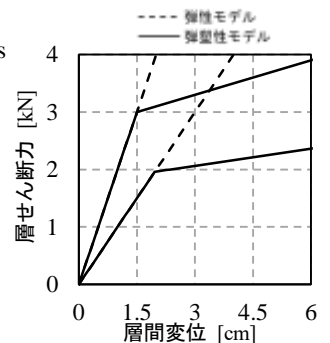


Fig.3 2mass model skeleton curve

1: 日大理工・院(前)・海建 2: 西松建設株式会社 3: 日大理工・教員・海建 4: 日大・名誉教授

の算定方法の概要を以下に示す。①は多自由度系のベースシアを建物全重量で除すことで求める。②は縮約1自由度系と多自由度系でポテンシャルエネルギーを一致させる考えに基づき、多自由度系における各層の変形分布時および標準層せん断力係数  $C_0=1.00$  で変形分布に到達する時のポテンシャルエネルギーの比から求める(Fig.2)。なお、②のベースシアは各層の変形分布時のポテンシャルエネルギーの総和を秀句約1自由度系の代表変位で除すことで求める。③は変形分布時の外力と刺激関数から求まるベースシアを建物全重量で除すことで求める。縮約1自由度系における有効質量  $iM$ 、構造特性値は限界耐力計算に基づき (1), (2), (3)式を用いる。

検討に用いる2質点系モデル概要を以下に示す。なお、2質点系モデルの諸元(Table2)は同様とし、各骨格曲線を Fig.3 に示す。弾塑性モデルは降伏耐力が2層で1.96 kN、1層で3.00 kNとし、降伏後の剛性は初期剛性に対し0.1倍した値とした。

### 3. 検討結果

**a) 弾性モデル** 想定した変形分布( $C_B=0.200$ )から、縮約1自由度系における各値の算定結果を Table3 に示す。(a)の変形分布では①, ②, ③の算定方法において、縮約1自由度系のベースシアおよびベースシア係数の値は一致した。このことから、真の1次モードであればいずれの算定方法も同じ結果が得られる。(b)および(c)の変形分布の場合、ベースシアは①と②, ③で値に差異が生じた。②と③のベースシアが一致する理由は、想定した変形分布を1次モードと仮定していることか

ら、代表変位の逆数が刺激関数の値となり、内力と外力の釣合い関係になるからである。このことから、②と③では構造特性値が一致し、①とは差異が生じる(Fig.4)。ベースシア係数については①と②の値が同一であった。なお、ベースシア係数が一致するのは、②の算定方法において多自由度系における各層の変形分布時および標準層せん断力係数が1.00で変形分布に到達する時のポテンシャルエネルギーの比は多自由度系のベースシア係数を算定しているからである(Fig.5)。

**b) 弾塑性モデル** 弾塑性モデルでは外力の影響により時々刻々1次モードが変化することから、(b)と(c)の変形分布を用いた場合の結果を示す。(b)はどこかの層が層間変形角  $1/50$  rad に到達した時とし、(c)は各層層間変形角が  $1/50$  rad 時の変形分布とした。縮約1自由度系の各算定結果を Table4 に示す。なお、弾性モデルの検討結果から②と③で構造特性値が一緒のことから①と②の結果のみを示す。Table4 より、弾性モデル時と同様にベースシア係数は一致し、ベースシアでは差異が生じたため、構造特性値も差異が生じることが分かる(Fig.6)。

以上のことから、建物の変形分布に応じた主架構のベースシア係数の算定方法は②が妥当である。

### 4. まとめ

本研究では建物の変形分布に応じた縮約1自由度系における主架構のベースシア係数の合理的な算定方法を把握した。

### 参考文献

[1] 北嶋, 歌田ほか: 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, 日本コンクリート工学年次論文集 Vol.39, No.2, pp.7-12, 2017

Table 3 Results of Elastic model

(a)弾性1次 ( $\delta_1=1.96\text{cm}, \delta_2=4.73\text{cm}$ )						(b) $A_i$ 分布 ( $\delta_1=1.96\text{cm}, \delta_2=4.77\text{cm}$ )						(c)各層層間変形角一様 ( $\delta_1=1.96\text{cm}, \delta_2=3.92\text{cm}$ )					
case	$Q_B$ [kN]	$C_B$ [-]	$S_d$ [cm]	$iM$ [ton]	$S_a$ [m/sec <sup>2</sup> ]	case	$Q_B$ [kN]	$C_B$ [-]	$S_d$ [cm]	$iM$ [ton]	$S_a$ [m/sec <sup>2</sup> ]	case	$Q_B$ [kN]	$C_B$ [-]	$S_d$ [cm]	$iM$ [ton]	$S_a$ [m/sec <sup>2</sup> ]
①	3.92	0.200	3.92	1.71	2.30	①	3.92	0.200	3.95	1.70	2.30	①	3.92	0.200	3.26	1.80	2.18
②	3.92	0.200	3.92	1.71	2.30	②	3.94	0.200	3.95	1.70	2.31	②	3.53	0.200	3.26	1.80	1.96
③	3.92	0.200	3.92	1.71	2.30	③	3.94	0.201	3.95	1.70	2.31	③	3.53	0.180	3.26	1.80	1.96

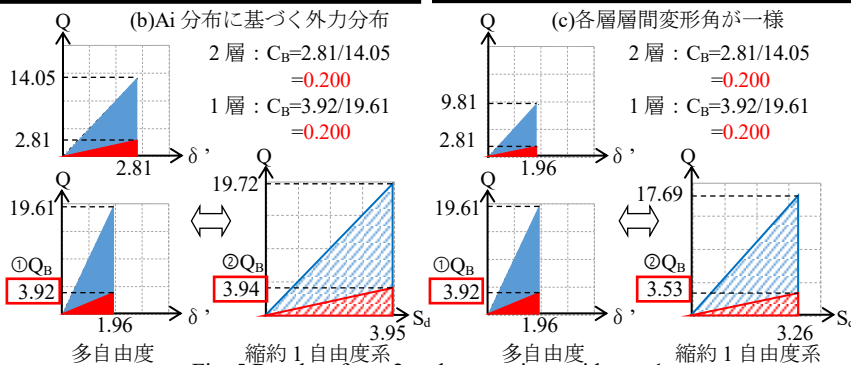


Fig. 5 Results of case2 and comparison with case1

Table4 Results of Elasto-plasticity model

(b) $A_i$ 分布 ( $\delta_1=3.01\text{cm}, \delta_2=9.01\text{cm}$ )						(c)各層層間変形角一様 ( $\delta_1=6.00\text{cm}, \delta_2=12.00\text{cm}$ )					
case	$Q_B$ [kN]	$C_B$ [-]	$S_d$ [cm]	$iM$ [ton]	$S_a$ [m/sec <sup>2</sup> ]	case	$Q_B$ [kN]	$C_B$ [-]	$S_d$ [cm]	$iM$ [ton]	$S_a$ [m/sec <sup>2</sup> ]
①	3.30	0.168	7.51	1.60	2.06	①	3.90	0.199	10.00	1.80	2.17
②	3.21	0.168	7.51	1.60	2.01	②	3.76	0.199	10.00	1.80	2.09

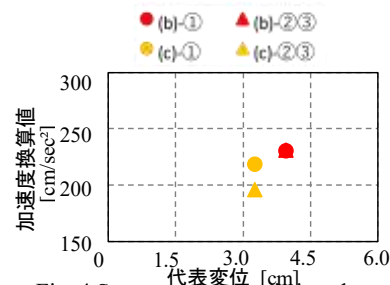


Fig. 4 Structure characteristic value

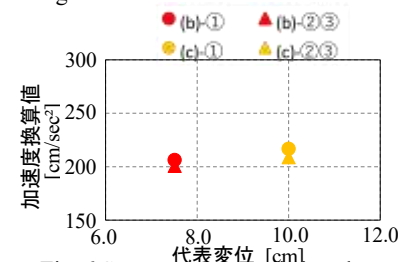


Fig. 6 Structure characteristic value