振れを伴う1層構造物の最適強度分布と損傷分布

THE OPTIMUM STRENGTH DISTRIBUTION AND THE DAMAGE DISTRIBUTION
IN ONE-STORY STRUCTURES INFLUENCED BY TORSION

島崎 大*, 秋山 宏**

Dai SHIMAZAKI and Hiroshi AKIYAMA

In this paper, elastic-plastic dynamic response analysis of one story vibrational models with eccentricity are carried out. From results of analyses, it was concluded that in eccentric structures having the optimum strength distribution which can be obtained by means of modal analysis no damage concentration occurs in specific structural planes. In structures having general (not optimum) strength distribution, damage concentration can be estimated by applying the parameter p_u , which indicates the difference between the actual strength distribution of the structure and its optimum strength distribution.

Keywords : torsional vibration, eccentricity, optimum strength distribution, damage distribution

振れ振動, 偏心, 最適強度分布, 損傷分布

1 序

偏心を有する構造物は、地震時に建物全体が振れることにより、特定構面あるいは特定部材への損傷集中がおき、これが構造物全体の崩壊・大破の原因となる可能性がある。過去の地震被害の中にも、振れによるものと思われる被害が報告されており、耐震設計上の配慮が必要とされる。

このような状況から、振れを伴う構造物の耐震性能を、立体架構の応答性状から検討しようと試みた研究は数多い。秋山・東は1981年に施行された新耐震設計法における、偏心率 Re による必要保有水平耐力の割増率 F_e についての検討を行っている¹⁾。また、尾崎・小豆畑らはせん断-ねじれ耐力比 eR を提案し、これを指標とした損傷予測を試みている²⁾ほか、大綱・村上是、1層1軸偏心系の弾性解析をもとに、ねじれ成分の特性について考察している³⁾。これらの研究は無偏心構造物を基準として、振れによる損傷集中構面の損傷の度合いのみに着目して層ごとの強度の割増率について検討しているが、振れを伴う構造物の総合的な耐震性能を評価する手法は確立されてはいないのが現状である。

地震動をエネルギーとしてとらえた場合、構造物への地震による入力エネルギー量は振れの度合いに影響されないことが既に明らかにされている⁴⁾。このことから、振れ振動を把握するうえでは、振れによる構面ごとの損傷分布の変化を支配するパラメータを明らかにすることが非常に重要であるといえよう。

上述のパラメータに関しては、弾性時の偏心の度合・強度の不釣り合いなどに着目して、既に様々なものが提案されているが、本研究においては、振れを伴う弾塑性応答では弾性時の偏心と強度のバランスとの関係が支配的であるという考え方に基づいて、せん断型の多層平面骨組において既に提案されているような、各層の損傷を均一化させる最適降伏せん断力係数分布⁵⁾を、振れを伴う立体架構にも設定しようと試みた。強度の適正配分という点に関しては、同様の研究として、佐武の研究⁶⁾が挙げられるが、扱うモデルが不整形状を有する構造物に限定されており、一般的な振れ振動モデルによる損傷分布については言及されていない。

本研究では、最適強度分布の設定の妥当性を確認するとともに、偏心構造物の振れ振動特性を評価するのに適切であると考えられ

* 東京大学大学院 大学院生
** 東京大学工学部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Univ. of Tokyo
Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

る1層2×2構面1軸偏心構造物を対象とした解析を行い、最適強度分布を基準として、せん断型平面骨組と同様の手法により、振れによる損傷分布を評価した。

そして、この損傷分布の評価を基に、振れによる損傷集中を等価な強度低下で表し、損傷集中の予測精度という形で既往の研究との比較を行うことで、その有効性を確認する。

2 最適強度分布の設定

最適強度分布の設定方法の概要は以下の通りである。

最適強度分布が入力レベル、強度レベルに依存しない形で設定できるならば、入力レベルを下げるか強度レベルを上げると構造物の損傷はゼロになることから、最適強度分布は弾性振動系のせん断力分布に一致する。

よって、最適強度分布は、等価速度応答スペクトル（ V_E スペクトル（図1参照））を用いたモーダル・アナリシスにより以下のよう求めることができる。ここで、 V_E は入力エネルギーの速度換算値であり、 E を構造物への総入力エネルギー、 M を構造物の総質量として、

$$V_E = \sqrt{\frac{2E}{M}} \quad (1)$$

で表される。

1) 振動系への総エネルギー入力 E は各次モードに対して入力されるエネルギーの和となる。

2) i 次モードに対して入力されるエネルギー E_i は i 次の刺激係数 β_i と i 次固有周期とを用いて、

$$E_i = \beta_i^2 \frac{1}{2} M \{V_E(T_i)\}^2 \quad (2)$$

と表される⁹⁾。ただし β_i は文献⁷⁾で定義されたものを用い、 $\sum \beta_i^2 = 1$ となるよう規準化した。また、 $V_E(T_i)$ は固有周期 T_i に対応する V_E の値を示す。

3) 各次モードへの入力エネルギー E_i がすべて構面の変形によって吸収されたと考えて、各構面のせん断力の最大値を求める。

4) 第 i 次モードにおける第 j 構面のせん断力の最大値を $\hat{Q}_{ij}$ とす

ると、第 j 構面の弾性時のせん断力の最大値は、以下のように近似できる⁹⁾。

$$\hat{Q}_j = \sqrt{\sum_i \hat{Q}_{ij}^2} \quad (3)$$

5) 第 j 構面の強度を Q_j とすると、最適強度分布は以下のように与えられる。

$$\frac{Q_j}{\sum Q_j} = \frac{\hat{Q}_j}{\sum \hat{Q}_j} \quad (4)$$

3 1層1軸偏心構造物の最適強度分布

構造物は多構面を有するのが一般的であるが、多構面骨組を不用意に扱うことは現象をいたずらに複雑にするだけであり、振れ振動特性を把握するには適さない。このため、従来から振れ振動特性を評価するモデルとして、2×2構面モデルが多く用いられており、一般の構造物をこのモデルに置換する方法も提案されている²⁰⁾。

また、2軸偏心構造物の応答は、2つの独立した1軸偏心構造物の応答の2乗平方和で大きな推定が可能であるという指摘があることを考慮し⁹⁾、本報では振れ振動による損傷配分を大局的にとらえるという観点から、完全弾塑性型の履歴特性を持つ1層2×2構面1軸偏心構造物を対象として弾塑性応答解析を行うこととする。

3.1 解析モデル

解析モデルは図2に示すような2×2構面1層1軸偏心構造物である。床面は矩形であり、質量偏心はないものとする。また、振れを無視した並進時の弾性1次固有周期 T は、 x 、 y 各方向とも、

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} = 1.0 \text{ sec} \quad (5)$$

とする。ここで K は構造物の総剛性を表す。

系の総強度は、 x 方向の降伏せん断力係数を α として、

$$\alpha = \left(\frac{Q}{Mg} \right) = 0.2 \quad (6)$$

とした。なお、地動入力 x 方向のみとし、直角方向である y 方向は弾性に留まるものと仮定する。

このとき、構造物の振動特性を決定するパラメータは、第 Xi 構

図1 V_E スペクトル

図2 解析モデル

面の剛性を k_i 、強度を q_i として、

- 1) x 方向の剛性分布 k_0/K
- 2) 辺長比 b/a
- 3) x 方向の強度分布 q_0/Q

の3つとなる。なお、強度・剛性については、

$$K = \sum_i k_i, Q = \sum_i q_i \quad (7)$$

なる関係式が成立する。

前述の3つのパラメータのうち、1)2)が決定すると、それに対して前述の手法により、最適強度分布を求めることができる。そこで、本報では、解析パラメータとして、1)および2)を採用し、それぞれを series A および series B と呼ぶことにする。各 series の諸元は以下の通りである。

series A (解析パラメータ： x 方向の剛性分布)

床面形状は正方形 ($b/a=1$) とし、剛性分布を、

$$k_0/K = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$$

の範囲で変化させた。これらをそれぞれ model A01, A02, A03, A04, A05 と呼ぶことにする。図3にモード解析の一例を示す。1次モードは x 方向並進主体の振れモード、2次モードは y 方向並進モード、3次モードは1次モードと同様の振れモードであるが、回転成分が支配的である。これらのモデルに対して、前述の最適強度分布を求めた。表1に最適強度分布の一覧を示す。なお、ここで用いた

図3 弾性モード形 (model B05)

V_E スペクトルは El Centro NS 成分の減衰 10% におけるものである。

series B (解析パラメータ：辺長比)

剛性分布を $k_0/K=0.4$ に固定し、辺長比を、

$$b/a = 1/5, 1/2, 2/3, 1, 3/2, 2, 5$$

の範囲で変化させた。これらをそれぞれ model B01, B02, B03, B04, B05, B06, B07 と呼ぶことにする。これらのモデルに対しても同様に最適強度分布を求めた。これも、表1に示す。

3.2 解析方法

応答解析は1方向のみの入力で行った。入力地震波は、El Centro NS 成分であり、加速度倍率を 0.5 ~ 2.25 の間で複数設定した。応答解析は線形加速度法により、時間刻みは 0.002 秒である。なお、減衰は考慮していない。

3.3 解析結果の評価方法

各構面への損傷を振れを無視した1質点系の累積塑性変形倍率 η_n に対する振れ系の累積塑性変形倍率 η の割増率 χ で評価する。ここに、

$$\chi = \frac{\eta}{\eta_n} \quad (8)$$

である。また、完全弾塑性系においては、エネルギーの釣合いから、弾性振動エネルギーを無視すると、振れを無視した1質点系の累積塑性変形倍率 η_n は、以下のように表すことができる²⁰⁾。

$$\eta_n = \frac{A_E}{\alpha^2} \quad (9)$$

ここで、 A_E は入力エネルギーの無次元化量であり、入力エネルギーを E とすると、 $A_E = E / \frac{Mg^2T^2}{4\pi^2}$ である。以下、 X_i 構面の累積塑性変形倍率を η_i 、その並進系に対する割増率を χ_i とする。

図4に、各構面の累積塑性変形倍率 η_i と A_E/α^2 との関係の一例を示す。これより、入力レベルが損傷分布に影響を与えないという最適強度分布設定の際の仮定の妥当性が確認できる。そこでこれらの結果を最小2乗法により原点を通る直線で近似し、各モデルの各構面に対して、式(8)、(9)で得られる値を χ_i とした。

表1 モデル諸元

model	A01	A02	A03	A04	A05	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07
辺長比												
b/a	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0.5	0.67	1.0	1.5	2.0	5.0
剛性分布												
k_0/K	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
k_1/K	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
最適強度分布												
q_0/Q	0.215	0.342	0.422	0.471	0.500	0.405	0.428	0.444	0.471	0.498	0.514	0.536
q_1/Q	0.785	0.658	0.578	0.529	0.500	0.595	0.572	0.556	0.529	0.502	0.486	0.464

3.4 最適強度分布設定の妥当性

表2, 図5に最適強度分布下での各モデルの累積塑性変形倍率の割増率 χ_i を示す。特定構面への損傷の集中は並進系からの累積塑性変形倍率の割増率で, 最大1.23倍であり, 概ね各構面の損傷は均一であるとみなせる。このことから, 最適強度分布の設定が有効であることが確認できる。

4 一般の強度分布下における損傷配分の評価

最適強度分布を基準として考えると, 一般の強度分布下において, 損傷は最適強度分布下での強度を下回る構面へ集中することとなる。

そこで, 最適強度分布に従わない任意の強度分布を持つ構造物の損傷配分について検討するため, 前述の series A, B 全てのモデルに対し, 強度分布を,

$$q_0/Q = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$$

の範囲で変化させた計108モデルに関して, 応答解析を行う。

ここで, 第 i 構面の降伏せん断力係数 α_i を, 文献2)と同様に,

$$\alpha_i = \frac{2q_i}{Mg} \quad (10)$$

とし, 降伏せん断力係数分布を第 i 構面の降伏せん断力係数の層全体の降伏せん断力係数に対する比 α_i/α で定義する。

そして, 系が最適強度分布に従う場合の降伏せん断力係数分布 α_i/α を最適降伏せん断力係数分布と呼び, $\bar{\alpha}_i$ と表すことにす

ば, 実際の強度分布の最適強度分布からの「ずれ」の度合いを表す指標として,

$$p_i = \frac{\alpha_i/\alpha}{\bar{\alpha}_i} \quad (11)$$

がとれる。

図6にこの p_i と χ_i との関係を示す。図6(a)は剛性分布をパラメータとした場合であり, 図6(b)は辺長比をパラメータとした場合である。いずれの場合も p_i と χ_i との関係は同様の傾向を示している。このことから, 振れによる損傷集中の度合いには, もっぱら当該構造物の強度分布の最適強度分布からのずれの度合いが支配的な影響を与えるといえる。 p_i と χ_i とには概ね,

$$\chi_i = p_i^n \quad (12)$$

なる関係があることが認められよう。解析結果から, 式(12)の n は概ね2~3程度であることが分かる。

式(12)は振れによる損傷集中を評価したものであると考えられるから, この式を用いることで, 振れを伴う1層構造物の損傷配分を以下のように導くことができる。

第 i 構面の塑性歪みエネルギーを W_{pi} とすると, 構造物全体の塑性歪みエネルギーを W_p は以下のように与えられる。

$$W_p = \sum W_{pi} \quad (13)$$

また, 第 i 構面の降伏変形を δ_{vi} とすると,

$$W_{pi} = q_i \delta_{vi} \eta_i \quad (14)$$

が成立する。ここで, $k_i = \kappa_i K$ とすれば, 式(5)より,

$$\delta_{vi} = \frac{q_i}{k_i} = \frac{q_i T^2}{4\pi^2 M \kappa_i} \quad (15)$$

図4 加速度倍率の変化による η の変化の一例

図5 最適強度分布下での累積塑性変形倍率の割増率 χ

表2 累積塑性変形倍率の割増率

model	A01	A02	A03	A04	A05	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07
累積塑性変形倍率の割増率												
χ_0	0.67	0.74	0.83	0.93	1.01	1.01	0.95	0.95	0.93	0.92	0.89	0.77
χ_1	1.02	1.03	1.08	1.03	1.01	1.00	1.04	1.03	1.03	1.02	1.05	1.23

であり、式(10)(15)を式(14)に代入して、

$$\begin{aligned} W_{pi} &= q_i^2 \cdot \frac{T^2}{4\pi^2 M \kappa_i} \cdot \eta_i \\ &= \frac{\alpha_i^2 M^2 g^2}{4} \cdot \frac{T^2}{4\pi^2 M \kappa_i} \eta_i \\ &= \frac{M g^2 T^2}{4\pi^2} \cdot \frac{1}{4\kappa_i} \cdot \alpha_i^2 \eta_i \end{aligned} \quad (16)$$

よって、 W_{pi} を $\frac{M g^2 T^2}{4\pi^2}$ で除した無次元化量 A_{pi} を用いれば、構面ごとの損傷分布は以下のように表せる。

$$\begin{aligned} \frac{A_{pi}}{A_p} &= \frac{\frac{1}{4\kappa_i} \alpha_i^2 \eta_i}{\sum_j \frac{1}{4\kappa_j} \alpha_j^2 \eta_j} \\ &= \frac{\frac{\alpha_i^2}{\kappa_i} \eta_i}{\sum_j \frac{\alpha_j^2}{\kappa_j} \eta_j} \end{aligned} \quad (17)$$

最適強度分布下での損傷分布は、式(17)に $\alpha_i = \bar{\alpha}_i \alpha$ を代入し、

η_i が i によらず一定であることを考慮すれば、

$$\frac{A_{pi}}{A_p} = \frac{s_i}{\sum_j s_j} \quad (18)$$

$$s_i = \frac{\bar{\alpha}_i^2}{\kappa_i} \quad (19)$$

と求めることができる。

また、一般の強度分布下においては、式(17)に

$\eta_i = \chi_i \eta_n$, $\alpha_i = p_i \bar{\alpha}_i \alpha$ を代入することで、

$$\frac{A_{pi}}{A_p} = \frac{\frac{p_i^2 \bar{\alpha}_i^2 \alpha^2}{\kappa_i} \chi_i \eta_n}{\sum_j \frac{p_j^2 \bar{\alpha}_j^2 \alpha^2}{\kappa_j} \chi_j \eta_n}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{\bar{\alpha}_i^2}{\kappa_i} p_i^2 \chi_i}{\sum_j \frac{\bar{\alpha}_j^2}{\kappa_j} p_j^2 \chi_j} \end{aligned} \quad (20)$$

と求められる。ここで、累積塑性変形倍率の割増率 χ_i と p_i との間に式(12)の関係が認められるならば、式(20)は式(12)(19)を用いて、以下のように表すことができる。

$$\frac{A_{pi}}{A_p} = \frac{s_i p_i^{n'}}{\sum_j s_j p_j^{n'}} \quad (n' = n - 2) \quad (21)$$

ここで、応答解析の結果から $n' = 0 \sim 1$ であり、これは振れ系における各構面の損傷分布が、振れの程度によらず最適強度分布下での損傷分布から大きな変動がないことを示している。つまり、層間の損傷集中に比べ、振れ要因による損傷集中は極めて小さいといえる。

5 最適強度分布に基づいた強度低下率

5.1 強度低下率の定義

4節の結果から、振れ要因による損傷集中は極めて小さいものであり、各構面の損傷配分は、振れ要因の存在の有無によらずほぼ一定であることが判明した。これは、最適強度分布を基準として考えた場合に振れによる損傷集中を等価な強度の低下率ととらえることが可能であることを示す。

まず、各構面の損傷配分が振れ要因の存在によらず一定であると仮定する。これは式(21)から、式(12)において $n=2$ とすることを意味する。図6によれば $n=2$ とした場合の曲線 $\chi = p_i^{-2}$ は累積塑性変形倍率の割増率の最小値を包絡しており、この仮定は耐震設計上やや危険側となる。

ここで、構造物への入力エネルギーは振れの度合いによらず一定

(a) 剛性分布をパラメータとした場合

(b) 辺長比をパラメータとした場合

図6 累積塑性変形倍率の割増率 χ

である²⁰⁾ことを考慮すると、構面ごとの損傷配分が一定であるという仮定に従えば、層全体の強度が等しい系においては、各構面の累積歪みエネルギー A_{pi} は強度分布によらず一定となる。

累積歪みエネルギー A_{pi} が一定である場合、構面の降伏せん断力係数 α_i と累積塑性変形倍率 η_i の間には、

$$A_{pi} = \frac{1}{4\kappa_i} \alpha_i^2 \eta_i \Leftrightarrow \alpha_i^2 \eta_i = 4\kappa_i A_{pi} (\text{Const}) \quad (22)$$

なる関係が成立するので、振れによって累積塑性変形倍率が割増される場合は、これを等価な強度低下率で表現することが可能である。

ここで、系の層全体の強度が α で与えられる場合、第 i 構面の累積塑性変形倍率が、振れを無視した 1 質点系の累積塑性変形倍率 η_n と等しくなるのは、各構面の強度分布が最適強度分布に従う場合であり、このときの第 i 構面の強度は $\bar{\alpha}_i \alpha$ で与えられる。

よって、振れ要因の存在により、第 i 構面の累積塑性変形倍率が η_n から η_i へ割増されたと考えれば、これと等価に第 i 構面の強度は $\bar{\alpha}_i \alpha$ から α_i へ低減したものと考えることができる (図 7 参

図 7 累積塑性変形倍率と等価な強度低下

図 8 強度低下率に基づく χ の予測値と解析値との比較

照)。以上より、累積塑性変形倍率の割増率 $\chi_i (= \eta_i / \eta_n)$ と等価な強度低下率は、

$$\frac{\alpha_i}{\bar{\alpha}_i \alpha} = p_{\pi} \quad (23)$$

と表すことができる。

しかし、式(23)は層全体の強度が等しい系での実際の強度と最適強度分布下の強度との比を取っていることから明らかな通り、構面によっては、 p_{π} の値が 1 以上になってしまう。これは、振れ要因の存在により、構面によっては強度が逆に割り増されることがあることを意味し、現実には即した結果とはいえない。この現象は、前述の損傷配分一定という仮定が危険側であったことに起因するものであるから、この評価にある程度のペナルティを課す必要がある。そこで、この強度低下率が 1 を超えないよう全構面の強度低下率を均等に縮小する。すなわち、 p_{π} の最大値を $p_{\pi \max}$ として、第 i 構面の強度低下率を、

$$p_{\pi} / p_{\pi \max} \quad (24)$$

と表すこととする。

この場合、式(24)で表される強度低下を受けた構面の累積塑性変形倍率の 1 質点系 (あるいは最適強度分布に従う系) に対する割増率 χ_i は、

$$\chi = \left(\frac{p_{\pi}}{p_{\pi \max}} \right)^{-2} \quad (25)$$

と表せることから、これをこの強度修正法による χ の予測値と考え、応答解析結果と比較したものが、図 8 である。予測値はやや安全側の評価となっているが、解析値の 2 倍以内にほぼ収まっており、構面ごとの振れによる強度低下を評価する現実的な手段として、本手法が有効であると考えられる。

5.2 他の強度補正法との比較

次に、前述の強度低下率による損傷集中の予測精度を、他の文献

図 9 他の手法との予測精度の比較

によるものと比較する。ここでは、もっぱら強度の不釣合に着目して損傷集中を評価したものとして文献2)を、また、弾性時の偏心に着目したものとして、建築基準法で定められた Fe 値を比較対象とする。

比較に用いるモデルは、現実的な構造物に即したものととして、正方形床面を有する series A のうち、強度分布と剛性分布が、

$$k_0/K = q_0/Q = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$$

のように比例する、全5モデルを採用する。

まず、文献2)の手法によれば、損傷集中構面の累積塑性変形倍率 η_i は損傷集中構面の強度 α_i を用いて、

$$\eta_i = \frac{A_g}{\alpha_i^2} \quad (26)$$

で評価できる。この場合、式(9)、(26)より、累積塑性変形倍率の割増率 χ_i は、

$$\chi_i = \left(\frac{\eta_i}{\eta_n} \right) = \left(\frac{\alpha_i}{\alpha} \right)^{-2} \quad (27)$$

と表せるので、式(27)を文献2)による予測値とする。

また、建築基準法による Fe 値を用いた場合、振れによる強度の低下率 p_i は、

$$p_i = \frac{1}{Fe} \quad (28)$$

と考えられるので²⁾、式(24)と同様にして、累積塑性変形倍率の割増率 χ_i は、

$$\chi_i = \left(\frac{1}{Fe} \right)^{-2} = Fe^2 \quad (29)$$

で与えられる。そこで、これを Fe 値による予測式とする。

式(24)、(26)、(28)による予測値と解析値とを比較したものが図9である。なお、図中の数値は各モデルに対し、建築基準法で定められた偏心率 Re を示す。偏心の度合いの小さいモデルでは、予測値は3者とも解析値と良い対応を見せているが、偏心の度合いが大きくなるにつれ、文献2)による予測は過度に安全側の評価を、逆に Fe 値による予測は危険側の評価を与えるようになる。しかし、偏心の大きなモデルの偏心率は、0.686に達しており、このモデルがあまり現実的なものではないのも事実であるから、この結果を従来の指標を否定するものと安易に判断するのは避けるべきである。

最適強度分布を考慮した本手法では、偏心が大きいモデルにおいても、予測値と解析値は良い対応を見せており、振れが予測される構造物の耐震設計に対する本手法が有効性を改めて確認できたといえよう。

6 結論

本研究では、任意の剛性比、強度比をもつ立体架構の強震時の損

傷を大局的にとらえるため、振れ振動の影響を最も端的に受ける1層2×2構面1軸偏心構造物を対象とした応答解析を行った。

損傷分布を評価するに当たり、まず、各構面の損傷の度合い(累積塑性変形倍率)を均一化するような最適強度分布を弾性モード解析結果をもとに算出し、その有効性を確認した。

そして、この最適強度分布からのずれの度合いを指標として、損傷分布を評価することを試みた。その結果、実際の強度分布の最適強度分布からのずれの度合い p_n により、各構面の損傷分布は支配的な影響を受けること、および、得られた解析結果から、振れを無視した1質点系の累積塑性変形倍率を基準とした場合の各構面の累積塑性変形倍率の割増率が式(12)の形で評価できることをもとに、振れによる損傷分布(各構面の累積塑性変形歪みエネルギーの分布)が振れ要因の存在の有無によらずほぼ一定であることを示した。

このことは、振れによる損傷の集中を等価な強度低下ととらえることが可能であることを示したものであり、この観点から、最適強度分布を基準として、各構面ごとの振れ要因の存在による強度低下率を式(23)のような簡単な形で表すことができることを示した。ここで定義された強度低下率は従来の層ごとの強度補正ではなく、層内の構面ごとに強度を補正できるものであり、一般の多構面をもつ構造物に対しても適用が可能であると予測できる。このことは、振れを伴う立体架構の総合的な耐震設計法の確立に有効な知見を与えるものであると考える。

参考文献

- 岡田 恒男・村上 雅也・宇田川 邦明・西川 孝夫・大沢 胖・田中 尚：1968年十勝沖地震による八戸市立図書館の被害に関する考察，日本建築学会論文報告集，1970年1月，pp.47-56
- 秋山 宏・東 清仁：鋼構造多層骨組の振れに対する Fe 値について，日本建築学会論文報告集，第339号，1984年5月，pp.57-64
- 尾崎 昌凡・曾田 五月也・安田 征一郎・波川 智明：1層偏心構造物の保有水平耐力と塑性変形に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，第364号，1986年6月，pp.53-60
- 大網 浩一・村上 雅也：1層1軸偏心線形系におけるねじれ成分の特性，日本建築学会構造系論文報告集，第471号，1995年5月，pp.51-60
- 秋山 宏：建築物の耐震極限設計 第2版，東大出版会，1987年
- 佐武 直紀：不整形を有する建物のねじれに対する保有水平耐力の適正配分に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，第445号，1993年3月，pp.45-54
- 柴田 明德：最新 耐震構造解析，森北出版，1981年
- 田治見 宏：建築振動学，コロナ社，1965年
- 山崎 裕：偏った剛性分布をもつ構造物のねじれ応答，日本建築学会構造系論文報告集，第369号，1986年11月，pp.31-41

(1997年7月10日原稿受理，1997年10月23日採用決定)