

B-60

## 鋼構造多層ブレース付き骨組の地震応答に関する研究 最適強度分布の設定の影響

### Study on earthquake responses of multi-story steel braced frame structure The influence of setting up the optimum strength distribution

○金子哲也<sup>1</sup>,石鍋雄一郎<sup>2</sup>,中島肇<sup>2</sup>\*Tetsuya Kaneko<sup>1</sup>,Yuichiro Ishinabe<sup>2</sup>,Hajime Nakajima<sup>2</sup>

Present design method of steel pure framed structures is based on failure mechanism, but that of braced frame structure isn't. The failure mechanism means concentration of damage of member in dynamic response under earthquake. The problem of damage concentration is essential the braced frame structure. Because energy absorption of braces on only relative story displacement. The influence of setting up the optimum strength distribution on earthquake responses is discussed in this paper. Because damage concentration of the frame depend on deviation actual strength distribution compared with optimum strength distribution.

#### 1. はじめに

鋼構造の純ラーメン骨組においては「冷間整形角形鋼管設計・施工マニュアル<sup>[1]</sup>」において崩壊形を考慮した設計法が示され、2007年の建築基準法改正において法的にも取り込まれた。崩壊形の問題は純ラーメンに限ったものではなくブレース付き骨組においても考慮されるべき問題であるが、適切にそれを考慮した設計法が確立されていないのが現状である。

ここでいう崩壊形とは、動的応答における塑性ひずみエネルギー、すなわち部材損傷の集中の様相を指している。鋼構造純ラーメン骨組においては、梁降伏型骨組よりも柱降伏型骨組のほうが損傷集中が大きくなることが秋山の研究<sup>[2]</sup>などによって明らかにされているが、ブレース付き骨組も柱降伏型骨組と同様に当該層のみの層間変位に依存してエネルギー吸収が決まるため損傷集中の問題における重要性が高い構造であると言える。

骨組の損傷集中は、各層の累積塑性変形倍率を等しくする強度分布である「最適強度分布」に対する実際の強度分布の偏差に依存することが知られているが、本論ではこの最適強度分布の設定が地震応答に及ぼす影響を考察する。

#### 2. 解析モデルと解析条件

ブレース付き骨組の地震応答に対する最適強度分布の影響を時刻歴応答解析により検討する。最適強度分布としては、国土交通省告示第 631 号（エネルギーの釣合いに基づく耐震計算等の構造計算を定める件）で定められている  $A_i$  分布と、秋山によって提案されている固有周期によらない「最適降伏せん断力係数分布

(以下、秋山分布)<sup>[3]</sup>の 2 種を比較する。両分布の差異を Figure 1. に示す( $A_i$  分布は周期 0.2~1.2 秒の範囲について 0.1 秒ごとに示している)。

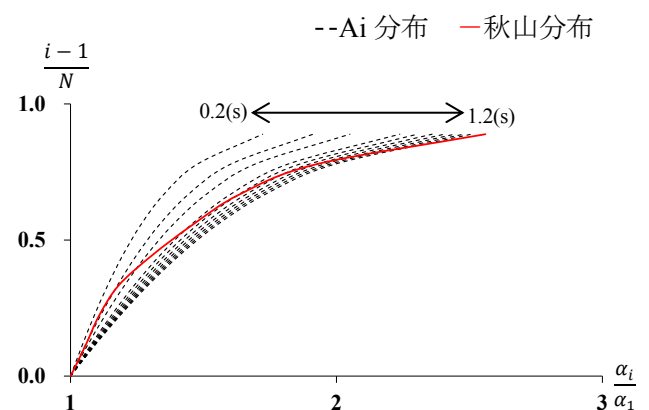


Figure 1.  $A_i$  distribution and Akiyama distribution  
( $N$ : Number of stories.  $i$ : index of story)

解析モデルはせん断型多質点系モデルとし、1 層ごとに 3 本の弾塑性バネを並列配置する。1 本は骨組要素の特性を表現し、完全弾塑性の復元力特性を与える。残りの 2 本は一对のブレース（引張側ブレースと圧縮側ブレース）の特性を表現するもので、伊藤らより提案されている復元力特性モデル<sup>[4]</sup>を設定している。

各層の耐力は選択した最適強度分布が一致するように設定する。ここで層の耐力は、骨組要素の降伏耐力、引張側ブレースの降伏耐力、および圧縮側ブレースの耐力の和とするが、圧縮側ブレースの耐力は、鋼構造限界状態設計指針<sup>[5]</sup>に定義されている座屈後安定耐力を用いる（筋かい率の計算においても同様）。

骨組の強度（層せん断力係数）は強度低減率  $D$  で設定する、 $D$  は入力エネルギーに対して骨組を弾性に止

めるための強度に対する低減率であり，次式で表現される。

$$D = \alpha \times \frac{T \times g}{2\pi \times V_E} \quad (1)$$

$\alpha$ :降伏せん断力係数  $T$ :固有周期  
 $V_E$ :エネルギー等価速度  $g$ :重力加速度

その他の条件は Table 1.に示す通りである。

Table1. Analysis condition

層数	N = 3, 6, 9	
各層の質量	一定	
強度分布	A i 分布 秋山分布	
強度低減率	D = 0.2, 0.3	
一般化細長比	$\lambda = 0.43$	
骨組とブレースの降伏変形比	4	
筋かい率	$\beta = 0.4, 0.6$	
1次固有周期	N = 3	T = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6
	N = 6	T = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8
	N = 9	T = 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2
入力地震波	El Centro	El Centro記録NS波 Imperial Valley地震(1940)
	Fukiai	大阪ガス募合記録NS波 兵庫県南部地震(1995)

### 3. 解析結果

最適状態として評価される各層の損傷すなわち累積塑性ひずみエネルギーの比率は，各層の耐力比となるが，この比率に対する時刻歴応答解析で得られた実際の比率との比を $R_{ps}$ とおく． $R_{ps}$ は次式のように表現される。

$$R_{ps} = \max \left( \frac{\frac{W_{pj}}{\sum_{i=1}^N W_{pi}}}{\frac{Q_{uj}}{\sum_{i=1}^N Q_{ui}}} \right) \quad (2)$$

$W_{pj}$ :j 層の累積塑性ひずみエネルギー

$Q_{uj}$ :j 層の最適状態における耐力

(max は全層中の最大値を採ることを表している)

入力地震波，強度分布， $D$ ， $\beta$ ，層数の組み合わせごとの $R_{ps}$ の最大値とその値の Ai 分布に対する秋山分布の比率を Table2 に示す。

Table2 より以下のことが把握された。

- Ai 分布と秋山分布の比率が最も大きかったのが 9 層， $\beta=0.4$ ， $D=0.2$ ，El Centro の最大値のデータであり，1.61 倍となった。
- 3 層， $\beta=0.4$  のデータは全て比較的比率が小さかった。
- 層数が少ないほど Ai 分布と秋山分布の比率が小さかった。ただし，3 層， $\beta=0.6$ ， $D=0.2$ ，El Centro では Ai 分布は秋山分布の 1.58 倍と比較的大きかった。

- 9 層，6 層では Ai 分布の方が秋山分布に対して比較的大きい場合が多く，3 層の  $\beta=0.6$  のデータに関しても同様だが，3 層の  $\beta=0.4$  のデータに関しては全ての値において秋山分布のほうが Ai 分布よりも大きかった。

- El Centro に比べて Fukiai のほうが Ai 分布と秋山分布の比率が比較的小さかった。

Table2-a. Analysis result of 9stories

	El-centro					Fukiai				
	MAX									
	D	0.2	0.3	0.2	0.3	D	0.2	0.3	0.2	0.3
Ai分布	$\beta=0.4$	3.78	4.98	2.78	1.34	$\beta=0.4$	1.61	1.18	1.08	0.89
	$\beta=0.6$	7.20	8.46	2.48	2.19					
秋山分布	$\beta=0.4$	2.35	4.21	2.58	1.50	$\beta=0.6$	1.20	1.24	0.61	0.79
	$\beta=0.6$	6.01	6.83	4.08	2.75					

Table2-b. Analysis result of 6stories

	El-centro					Fukiai				
	MAX									
	D	0.2	0.3	0.2	0.3	D	0.2	0.3	0.2	0.3
Ai分布	$\beta=0.4$	2.29	2.40	2.51	1.76	$\beta=0.4$	1.34	1.09	0.73	1.20
	$\beta=0.6$	3.74	3.70	3.75	3.52					
秋山分布	$\beta=0.4$	1.71	2.19	3.43	1.46	$\beta=0.6$	1.20	0.86	1.13	1.06
	$\beta=0.6$	3.12	4.33	3.31	3.31					

Table2-c. Analysis result of 3stories

	El-centro					Fukiai				
	MAX									
	D	0.2	0.3	0.2	0.3	D	0.2	0.3	0.2	0.3
Ai分布	$\beta=0.4$	1.34	2.16	1.75	1.55	$\beta=0.4$	0.73	0.90	0.96	0.88
	$\beta=0.6$	4.05	3.16	2.26	2.23					
秋山分布	$\beta=0.4$	1.84	2.41	1.83	1.76	$\beta=0.6$	1.58	1.12	1.01	0.99
	$\beta=0.6$	2.57	2.83	2.24	2.26					

### 4. まとめ

鋼構造多層ブレース付き骨組の地震応答に関して最適強度分布の設定の影響を把握した。今後は条件等を変えて更なる解析を行い，鋼構造多層ブレース付き骨組の崩壊形を考慮した設計法に繋げていくことが課題である。

### 5. 参考文献

- [1]2008 年版冷間成形形鋼管設計施工マニュアル編集委員会：2008 年版冷間成形形鋼管設計・施工マニュアル，2008.12
- [2]秋山宏：地震時における鋼構造ラーメン骨組の損傷分布則，日本建築学会論文報告集 第 309 号，pp.53-59，1981.11
- [3]秋山宏:建築物の耐震極限設計第 2 版，東京大学出版会，1987
- [4]杉山昇馬，井上瑛文，伊藤拓海：繰返し荷重を受ける鋼圧縮材の耐力と変形能力のデータベース その 6 圧縮側の耐力曲線を考慮した復元力モデルの提案，日本建築学会関東支部研究報告集 I，pp541-544，2013.
- [5]日本建築学会：鋼構造限界状態設計指針・同解説，2010.2