

多層ブレース付鋼構造骨組の強度分布及び筋かい率分布と損傷分布の関係

The relationship between damage distribution response and strength distribution, bracing ratio of multi-story steel braced frame structure.

○金子哲也¹,石鍋雄一郎²,中島肇²

*Tetsuya Kaneko¹,Yuichiro Ishinabe²,Hajime Nakajima²

Abstract: It is important to properly figure out damage concentration of each story from the viewpoint of the equilibrium between input energy and plastic energy absorption, in the seismic design of multi-story steel braced frames. Consideration of strength distribution and bracing ratio distribution is essential the damage concentration. In the paper, many time history response analyses focusing on strength distribution and bracing ratio distribution are carried out, and the characteristics of damage distribution is discussed.

1. はじめに

多層ブレース付鋼構造骨組の耐震設計において、入力エネルギーを構造物全体で吸収するという考え方から、層ごとの損傷集中を適切に把握することが重要である。損傷集中には強度分布に加え、層の履歴ループを決定する筋かい率の影響を考慮する必要がある。筆者らは文献^[1]で強度分布に偏差がない場合には筋かい率が低い層に明確に損傷集中することを把握し、筋かい率の低い層の強度がある程度高くなければ、筋かい率の高い層でのエネルギー吸収が生じないことを示唆した。本稿では 8 層ブレース付骨組を対象とし、より広範なパラメータで強度分布及び筋かい率分布に、共に偏差がある場合の時刻歴応答解析を行い、その損傷分布を分析し、評価する。

2. 時刻歴応答解析

時刻歴応答解析においては、線形加速度法を採用し、積分時間間隔を 1/2000 秒として、粘性減衰は考慮しないものとする。解析モデルは 8 質点の魚骨形モデル (Figure 1) を用いる。ブレース要素の復元力特性は文献^[2]に提案されているモデルを採用し、1 層あたり 2 本のブレース要素は正負の荷重領域を反転させている。骨組要素の復元力特性は完全弾塑性型とする。柱梁剛比は 1.0 とし、柱梁耐力比は 1.5 とする。

各層の質量は一定とする。層の終局耐力 Q_{ui} は骨組の

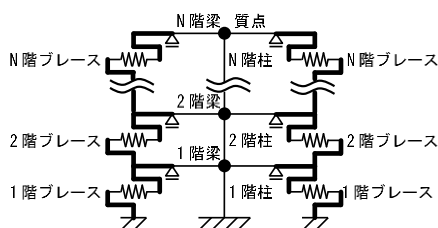


Figure 1. Fishbone-shaped frame model

降伏耐力 Q_R 、ブレースの降伏耐力 Q_{BT} 、ブレースの座屈後安定耐力^[3] Q_{BC} の和と定義する。

筋かい率 β_u は以下のように定義する。

$$\beta_u = \frac{Q_{BT} + Q_{BC}}{Q_R + Q_{BT} + Q_{BC}} \quad (1)$$

設計用層せん断力 F_i は最適降伏せん断力係数分布^[4]を用い、式(2)のように定義する。梁端と最下層柱脚の曲げ耐力は柱の反曲点を中央と仮定して F_i が作用した場合のモーメントとし、その他の部分ではその 1.5 倍とする。柱の曲げ剛性は F_i に比例するものとした。骨組とブレースの降伏層間変位を 4cm, 1cm として具体的な剛性値を決定している。

$$F_i = \sum_{j=i}^N m_j \cdot g \cdot \alpha \cdot \bar{\alpha}_i \quad (2)$$

m_j : j 層の質量 g : 重力加速度 α : ベースシア係数 $\bar{\alpha}_i$: i 層の最適降伏せん断力係数分布

ベースシア係数 α は 0.3 とする。ブレースの一般化細長比 λ は全層で一定とし、0.43 とする。入力地震動は Tabel 1 に示す 5 種を用い、入力エネルギーの速度換算値 V_E が 150cm/s になるように地震動の加速度に係数を乗じる。

Table 1. Input seismic motion

	El Centro (NS)	Imperial Valley [1940]
	大阪ガス葺合 (NS)	兵庫県南部地震 [1995]
入力地震動	八戸 (EW)	十勝沖地震 [1968]
	TAFT (NS)	Kern County [1952]
	東北大学 (NS)	宮城県沖地震 [1978]

強度分布の偏差は次式の強度偏差率 P_{di} により定義する。この P_{di} を一部の層に最適降伏せん断力係数分布に乗じることにより強度差を付与する。

$$P_{di} = \left(\frac{Q_{ui}}{F_i} \right) / \left(\frac{Q_{uk}}{F_k} \right) \quad (3)$$

F_i : i 層の設計用層せん断力 Q_{ui} : i 層の終局耐力 k : Q_{ui}/F_i が最小となる最弱層の番号

1 : 日大理工・院 (前)・建築 2 : 日大理工・教員・建築

筋かい率の偏差は Table2 に示すように筋かい率が低い層 (L 層) と高い層 (H 層) に分けた 6 パターンを検討する. 強度偏差は H 層の P_{di} を 1.0 とし, L 層に 1.0 以上の値を設定する. L 層の P_{di} は相対的な大小の値の 2 通り検討する. L 層と H 層に対応する β_u と P_{di} の組合せは Table 3 に示す 6 ケースとする.

Table 2. Pattern of β_u

		Pattern number					
		1	2	3	4	5	6
Story number	8	L	L	L	L	L	L
	7	L	L	L	L	L	H
	6	L	L	L	L	L	H
	5	L	L	L	L	H	H
	4	L	L	L	L	H	L
	3	L	L	L	H	H	L
	2	L	L	H	H	L	L
	1	L	H	H	H	L	L

Table 3. Setting of β_u and P_{di}

	L	H	L	H	L	H
	Case 1-1		Case 2-1		Case 3-1	
β_u	0.3	0.6	0.3	0.45	0.45	0.6
P_{di}	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0
	Case 1-2		Case 2-2		Case 3-2	
β_u	0.3	0.6	0.3	0.45	0.45	0.6
P_{di}	1.6	1.0	1.4	1.0	1.4	1.0

3. 解析結果

損傷分布の評価については損傷集中度 cR を以下に定義し用いる. 各層の設計用せん断力の比率に対する時刻歴応答解析で得られた各層の累積塑性ひずみエネルギーの比率である. 魚骨梁の塑性ひずみエネルギーは Q_{ui} の比率で上下層の W_{pi} に算入する.

$$cR = \frac{W_{pj}}{\sum_{i=1}^N W_{pi}} / \frac{F_j}{\sum_{i=1}^N F_i} \quad (4)$$

W_{pi} : i 層の累積塑性ひずみエネルギー

j : cR を計算する層の番号

Figure 2 は各層において地震動 5 波中の cR の最大値を示したものである.

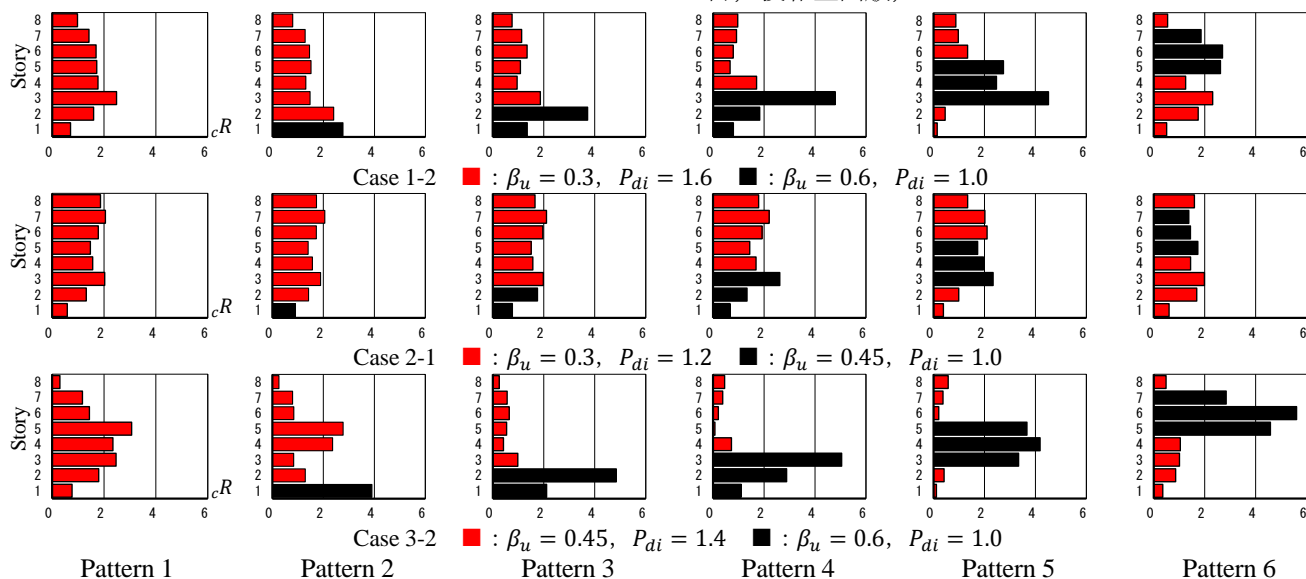


Figure2. Relationship between story and cR

Case1-2, 3-2 では H 層の cR が高いことから相対的に β_u が低くても P_{di} が高ければその層の損傷は抑えられ, β_u の高い層に損傷が集中する. Case2-1 では全層 β_u , P_{di} 一定の Pattern1 と損傷分布の状態は大差ないことから P_{di} が低いと損傷分布の影響は比較的小さい. ケースに関わらず Pattern3 では第 2 層, Pattern4 では第 3 層の cR が高く, それぞれ第 1 層の cR が低く, cR の差が大きい. このように下層部で H 層が複数存在するケースでは損傷が単独層に偏る. Case3-2 では H 層への損傷は Case1-2 より Case3-2 の方が H 層への cR が顕著となることから, β_u の差が小さい場合 P_{di} が低い層の損傷が顕著となる.

4. まとめ

8 層鋼構造ブレース付骨組の強度分布と筋かい率分布に偏差を与えた場合の損傷分布を把握した. 今後はより実設計に近い骨組モデルを用いて解析を行い, 大略的に把握した本データの適用性を検証する.

5. 参考文献

- [1] 金子哲也, 石鍋雄一郎, 中島肇: 多層ブレース付鋼構造骨組の筋かい率分布及び強度分布と損傷分布の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.857-858, 2017.8
- [2] 杉山昇馬, 井上英文, 伊藤拓海: 繰返し载荷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, pp.541-544, 2013.3
- [3] 日本建築学会: 鋼構造限界状態設計指針・同解説, 1998
- [4] 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1999