

物流倉庫を対象とした折返しブレースの片掛け配置とV型配置の検討

Study of single-hung and V-shape arrangement of folded braces for a logistics warehouse.

○塚田馨<sup>1</sup>, 関祥汰<sup>2</sup>, 波田雅也<sup>3</sup>, 北嶋圭二<sup>4</sup>  
 \*Kaoru Tsukada<sup>1</sup>, Syouta Seki<sup>2</sup>, Masaya Hada<sup>3</sup>, Keiji Kitajima<sup>4</sup>

Abstract: The purpose of this study is to clarify the differences in the amount of steel between V-shaped and single-hung arrangements of braces at typical spans and story heights used in distribution warehouses, and to compare and study the brace installation methods.

1. はじめに

折返しブレースは、断面の異なる3本の鋼材(芯材、中鋼管、外鋼管)を一筆書きの要領で折返し直列接合することで実際の部材長さが見付け長さの約2.5倍に増大した耐震ブレースである(Fig.1)。先行研究<sup>1)</sup>より、折返しブレースは、軸降伏変位増大効果(Fig.2)と、座屈拘束効果(Fig.3)の2つの構造特性を有しており、ブレースの少量配置や偏心配置が可能である。

近年では、生活様式の変化に伴い多くの物流倉庫が建設されている。実際に建設されている物流倉庫のスパンと階高を調べてみると、柱スパンは10m~14m、階高は梁下の有効階高が6m前後であった。

本検討では、物流倉庫で使われる一般的なスパンと階高におけるブレースのV型配置と片掛け配置による鋼材量の違いを明確にし、折返しブレースの配置方法の検討を行う。

2. 節点間距離・軸耐力・鋼材量の概算

V型配置と片掛け配置の節点間距離、階高、スパン、取り付け角度および負担せん断力をFig.4とTable1に示す。階高をH、柱スパンをLとすると、節点間距離

は、片掛け配置で $L_H = \sqrt{H^2 + L^2}$ となり、V型配置で、 $L_V = \sqrt{H^2 + (L/2)^2}$ となる。また、ブレース1本あたりの軸耐力Nは、1スパン当たりの負担せん断力Qを取り付け角度 $\cos\theta$ (V型配置:(L/2)/L<sub>V</sub>, 片掛け配置:L/L<sub>H</sub>)で除すことで表すことができる。

ブレース鋼材量比はTable1の軸耐力比(N<sub>H</sub>/N<sub>V</sub>)に節点間距離の比(L<sub>H</sub>/L<sub>V</sub>)を乗じた(1)式で表せる。

$$\text{ブレース鋼材量比: } \frac{W_H}{W_V} = \frac{N_H}{N_V} \cdot \frac{L_H}{L_V} = 2 \cdot \frac{1 + (L/H)^2}{4 + (L/H)^2} \quad (1)$$

3. 物流倉庫での片掛け配置とV型配置の検討

本章では、2章で示したTable1と(1)式をもとに、物流倉庫の柱スパンと階高でのブレースの鋼材量を検討する。

3.1 物流倉庫の概要

本検討で使用する物流倉庫の建物概要をTable2に、建物形状をFig.5に示す。物流倉庫は、4層7×7スパンでL字の鉄骨造である。X方向の柱スパン



Image1 Building exterior

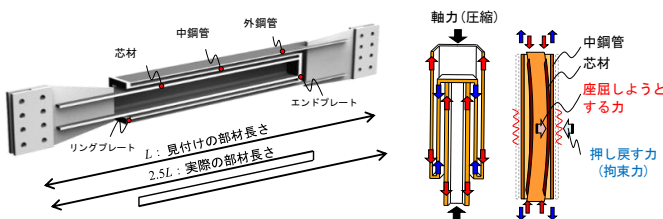


Fig.1 Folded Brace(perth)

Fig.3 Buckling Restriction Effect

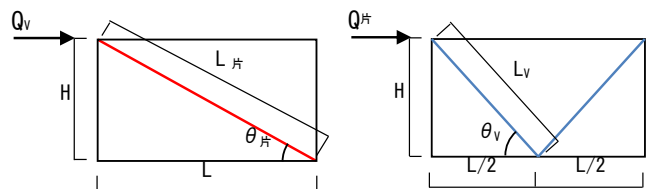


Fig.4 Placement Methods and Symbols

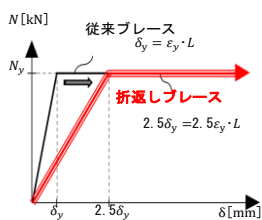


Fig.2 Axial Force-Axial Disp. (Image)

Table1 Axial Load Capacity and Axial Load Ratio

配置形式	階高 [m]	スパン [m]	負担せん断力 [kN]	節点間距離 L <sub>H</sub> , L <sub>V</sub> [m]	取り付け角度 cosθ <sub>H</sub> , cosθ <sub>V</sub>	軸耐力 N <sub>H</sub> , N <sub>V</sub> [kN]
片掛け配置 (1本あたり)	H	L	Q	$\sqrt{H^2 + L^2}$	L/L <sub>H</sub>	Q/cosθ <sub>H</sub>
V型配置 (1本あたり)	H	L/2	Q/2	$\sqrt{H^2 + (L/2)^2}$	(L/2)/L <sub>V</sub>	(Q/2)/cosθ <sub>V</sub>
片掛け配置 V型配置	1	2	2	$\sqrt{\frac{1 + (L/H)^2}{4 + (L/H)^2}}$	2L <sub>V</sub> /L <sub>H</sub>	L <sub>H</sub> /L <sub>V</sub>

Table2 Basic Building Date

構造種別	鉄骨造
架構形式	折返しブレース構造
用途	物流施設
建築面積	4,496.8 m <sup>2</sup>
延床面積	13,824.4 m <sup>2</sup>
階数	地上4階
高さ	軒高28.4 m

1: 日大理工・院・海建 2: 日大理工・院・海建 3: 青木あすなろ建設(日大理工・客員研究員) 4: 日大理工・教員・海建

は X1-X2, X6-X7 が 12.5m, X2-X6 のスパンは 12.0m となっており, Y 方向では Y1-Y2, Y6-Y7 が 10.6m, X2-X6 のスパンは 10.1m となっている。階高は 1~3 階が 6.6m, 4 階が 6.2m である。また, 設置されているブレースは X 方向の 1~3 階に折返しブレース(計 34 本), 4 階に種別 BB の引張ブレースが設置され, Y 方向には 1~3 階に種別 BC の従来の耐震ブレース, 4 階に引張ブレースが設置されている<sup>2)</sup>。

### 3.2 物流倉庫のフレームを対象とした鋼材量の検討

本検討では, Fig.5 のオレンジ線で囲んでいる Y4 通りの 2 階部分の柱スパンと階高を対象とする。対象スパンの詳細図を Fig.6 に示す。階高は 6.6m, 柱スパンは, 12.0m である。ブレースの端部にはフレームとの取り付け部があるためブレース長さは, 節点間距離から取り付け部長さを引いた値とした。なお, 1 スパンの負担せん断力 Q は文献<sup>2)</sup>より, 実際に設置されているブレースの短期許容軸力から算定した。

片掛け配置(a)と V 型配置(b)の節点間距離, 取り付け角度, 軸耐力を Table3 に示す。対象スパンの節点間距離は片掛け配置で 13.70m, V 型配置(1 本あたり)で 8.92m, 2 本あたりで 17.84m となった。取り付け角度  $\cos\theta$  は, 片掛け配置で 0.88, V 型配置で 0.67 となり, 軸耐力 N は片掛け配置で 3,646kN, V 型配置(1 本あたり)で 2,149kN, 2 本あたりで 4,298kN となった。

ブレース鋼材量比(片掛け/V 型)は(1)式より, 1.18 となり V 型配置のほうが, 使用鋼材量が少ないことがわかった。しかし, 実際にブレースが取り付けられることを想定すると, V 型配置はブレースの取り付け部が 2 倍になることやブレースを取り付ける大梁の横座屈防止のため, 小梁を入れることがあ

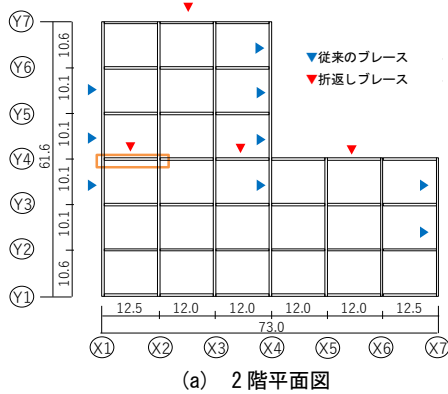


Fig.5 Building Form

る。これらのことを考慮し, 再度鋼材量比を算出する。一か所あたりのブレース取り付け部で使用する鋼材量をブレース鋼材量の 1/10, 小梁に使用する鋼材をブレース鋼材量(2 本)の 1/3 と仮定し, 鋼材量比は(2)式より求める。また, このとき取り付け部長さを  $0.1 L_{片}$  と仮定しているため, ブレース一本あたりの取り付け部長さは節点間距離に 0.2 を乗じて計算している。

結果として, 鋼材量比は 0.94(片掛け/V 型)となった。Fig.7 に本検討で使用した物流倉庫の階高スパン比における鋼材量比(片掛け/V 型)を示す。

$$\text{ブレース鋼材量比} = \frac{N_{片} \cdot L_{片} + 0.2 \cdot N_{片} \cdot L_{片}}{2 \cdot (N_V \cdot L_V + 0.2 \cdot N_V \cdot L_V) + 0.3 \cdot (2 \cdot N_V \cdot L_V)}$$

$$= \frac{2.4}{3.0} \cdot 2 \cdot \frac{1 + (L/H)^2}{4 + (L/H)^2} \quad (2)$$

### 4. まとめ

本検討では, 物流倉庫で使用される一般的なスパンを対象として片掛け配置と V 型配置の使用鋼材量を検討した。ブレースの鋼材量比(片掛け/V 型)は, 1.18 となり, 鋼材量は片掛け配置のほうが 18% 多かった。しかし, ブレース取り付け部や横補剛小梁を考慮すると, 鋼材量比は 0.94 となり, 片掛け配置の鋼材量が 94% になることがわかった。

### 4. 参考文献

- 1) 波田, 北嶋ほか: 折返しブレースの構造特性に関する実験的研究(その1~7), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.747-750, 2012.7, pp.1287-1292, 2013.7, pp.1052-1053, 2014.7, pp.1077-1078, 2015.7
- 2) 波田, 竹内ほか: 折返しブレースの設計と適用事例, 第15回日本地震工学シンポジウム, Day1-C1-PA08, 2023.11
- 3) 山本, 高村ほか: 折返しブレース構造建物の構造特性に関する研究(その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1199-1200, 2017

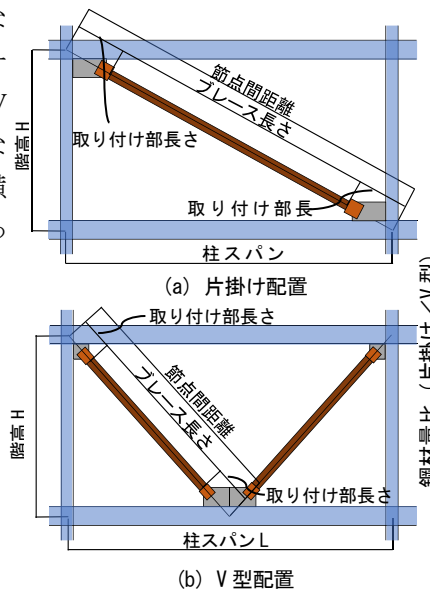


Fig.6 Frame span

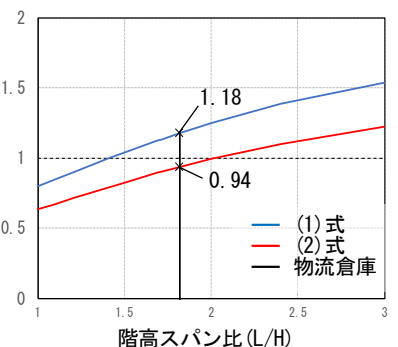


Fig.7 Ratio of steel volume to floor height span ratio

Table3 Axial Load Capacity and Axial Load Ratio

配置形式	階高 H [m]	スパン L [m]	負担せん断力 $Q_{片}, Q_V$ [kN]	節点間距離 $L_{片}, L_V$ [m]	取り付け角度 $\cos\theta_{片}, \cos\theta_V$	軸耐力 $N_{片}, N_V$ [kN]
片掛け配置	6.60	12	3,195	13.70	0.88	3,646
V型配置 1本				8.92	0.67	2,149
V型配置 2本				17.84		4,298