

## 5. タワークレーンのステーの座屈強度

大幢勝利\*, 吉久悦二\*\*

### 5. Buckling Strength of Stay of Construction Tower Crane

by Katsutoshi OHDO\* and Etsuji YOSHIHISA\*\*

**Abstract:** The Hanshin Awaji earthquake caused much damage to construction tower cranes, and many stays that connected the tower cranes to buildings under construction were broken. As a result, some cranes collapsed or fell on the ground. In spite of this situation, the buckling strength of the stays has not yet been made clear, and even experiments on the buckling strength of the stays has hardly been performed. To prevent the collapse accidents of tower cranes due to the earthquake, the design method of the stay needs to be established.

Therefore, in this study, compression tests to the actual sized stays, which were composed of steel H-beams and jacks, were performed to obtain the fundamental data for establishing the design method of the stay. In the experiments, the lengths of the steel H-beams were changed, and maximum compression loads were measured. The results of the compression tests were compared with the Euler's buckling loads and the relationship between the lengths and the buckling strength of the stays were examined.

The results of this study were summarized as follows.

- (1) When slenderness ratios of the steel H-beams were approximately less than 100, the jacks of the stays were broken. Therefore, it is assumed that the buckling strength of the stays is equal to the compression strength of the jacks under 100 at slenderness ratios of the steel H-beams.
- (2) When slenderness ratios of the steel H-beams were approximately more than 100, the steel H-beams of the stays were buckled. Therefore, it is assumed that the buckling strength of the stays is equal to the Euler's buckling loads of the steel H-beams over 100 at slenderness ratios of the steel H-beams.

**Keywords;** Buckling strength, Tower crane, Stay, Jack, Earthquake-resistant design, Steel H-beam

#### 1. はじめに

阪神・淡路大震災において、建設工専用のタワークレーンが大きな被害を受けた。その損傷部分を分析すると、タワークレーンと建設中の構造物とを連結するステーの破壊が多くみられた。このステーは従来、タワークレーンの鉛直荷重に対する座屈防止や風荷重

に対する安定性を保つために用いられており、通常それほど大きな荷重を受けるものではない。しかしながら、地震荷重を受けた場合、建設中の構造物とタワークレーンの固有振動数が異なるため、質量の大きい構造物からステーに対し、非常に大きな荷重が作用するものと考えられる。このような状況にも関わらず、ステーの強度に関して明確な設計方法は示されておらず、また、強度実験等のデータもほとんどみあたらない。

そこで、本研究ではタワークレーンのステーの設計方法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、長さの異なるステーに対して実物大の座屈実験を

\* 建設安全研究部 Construction Safety Research Division

\*\* 機械システム安全研究部 Mechanical and System Safety Research Division

行った。その結果より、ステアーの長さや座屈強度との関係について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 ステアーの座屈実験

タワークレーンと建設中の構造物は、H形鋼等による支柱と長さ調整用のジャッキを組み合わせたステアーによって連れいされている。このステアーの座屈強度を

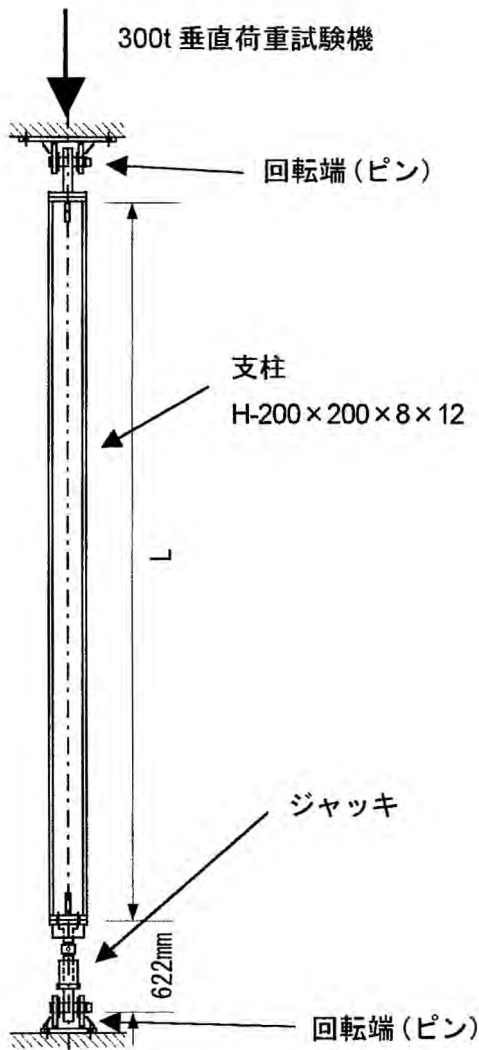


Fig. 1 Outline of experiments.  
実験概要

Table 1 Specifications of steel H-beam.  
H形鋼支柱の諸元

種類	断面積 (cm <sup>2</sup> )	断面 2 次モーメント (cm <sup>4</sup> )		断面 2 次半径 (cm)	
		$I_x$	$I_y$	$i_x$	$i_y$
H200×200×8×12	63.53	4720	1600	8.62	5.02

調べるため、実際に阪神・淡路大震災で破壊したものの一つを実験対象とし、Fig. 1 に示すように 300t 垂直荷重試験機により圧縮荷重載荷実験を行った。実験では、ステアーの下端をジャッキとし、その上に H 形鋼 (H-200×200×8×12) の支柱を取り付けた。その際、支柱の長さ  $L$  を 2200, 3700, 5200, 7200 mm の 4 種類に変化させて、支柱の長さや最大圧縮荷重の関係を調べた。H 形鋼支柱の諸元は、Table 1 に示すとおりである。

ジャッキの長さは、全ての実験で一定値 (622 mm) とした。また、ステアーの上下端は実際の使用状況と同じように回転端 (ピン) としたが、安全側の実験結果を得るために、H 形鋼の弱軸方向に回転するようにピンの向きをセットした。

### 2.2 ジャッキ単体の圧縮実験

上記実験結果を評価するためには、ステアーに使用されるジャッキ単体の圧縮強度を知る必要がある。しかし、今回の実験では使用するジャッキの強度がわからないため、Photo 1 に示すように 300t 垂直荷重試験機



Photo 1 Compression test of jack.  
ジャッキ単体の圧縮実験

Table 2 Results of experiments.  
実験結果

供試体 No.	支柱の長さ (mm)	最大圧縮荷重 (kN)
1	7200	637.0
2	5200	1168.2
3	3700	1283.8
4	2200	1362.2
ジャッキ単体	—	1195.6

により、ジャッキ単体に対する圧縮荷重載荷実験を行った。その際、ジャッキの長さはステーの座屈実験と同様に 622 mm とした。

### 3. 実験結果

Table 2 に圧縮実験の結果を示す。ジャッキ単体の圧縮実験では、最大圧縮荷重 1195.6 kN で Photo 1

のように曲げ座屈した。H 形鋼の支柱とジャッキを組み合わせたステーの圧縮実験では、支柱の長さが最も長い場合（供試体 No. 1, 7200 mm），最大圧縮荷重が 637.0 kN と最も小さくなった。さらに、支柱の長さが短くなるほど最大圧縮荷重が大きくなり、支柱の長さが最も短い場合（供試体 No. 4, 2200 mm），最大圧縮荷重が 1362.2 kN と最も大きくなった。なお、支柱の長さが 3700 mm 以下では、ジャッキ単体の最大圧縮荷重を若干上回っていた。

各実験での代表的な座屈形状を、Fig. 2 および Fig.

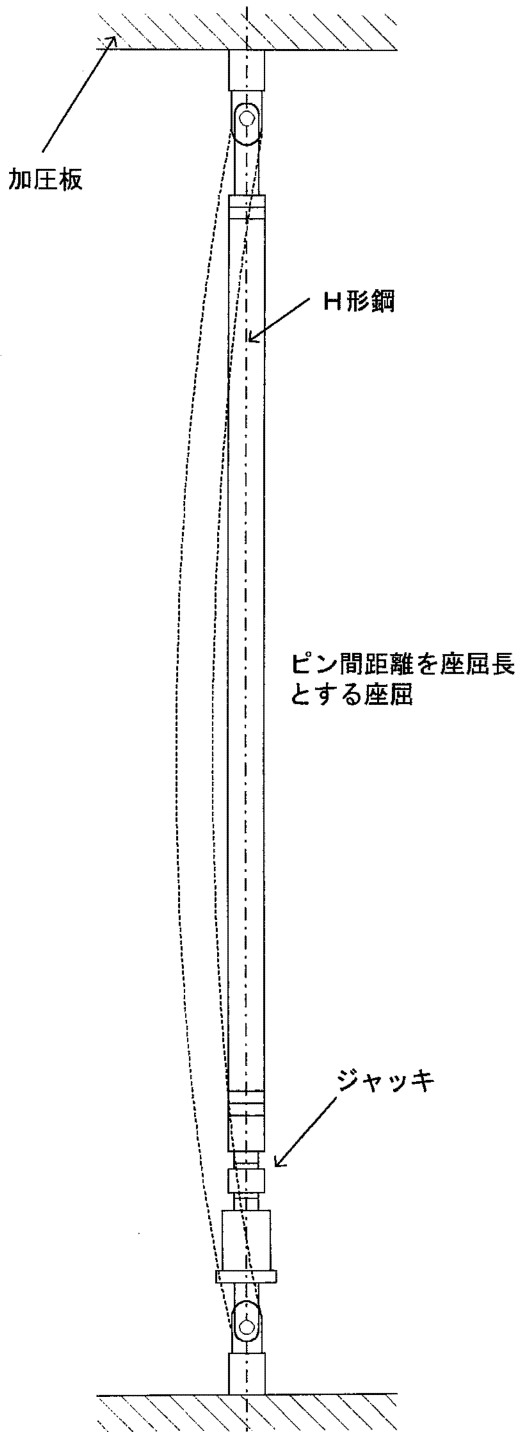


Fig. 2 Buckling mode of specimen No.1.  
座屈形状（供試体 No.1）

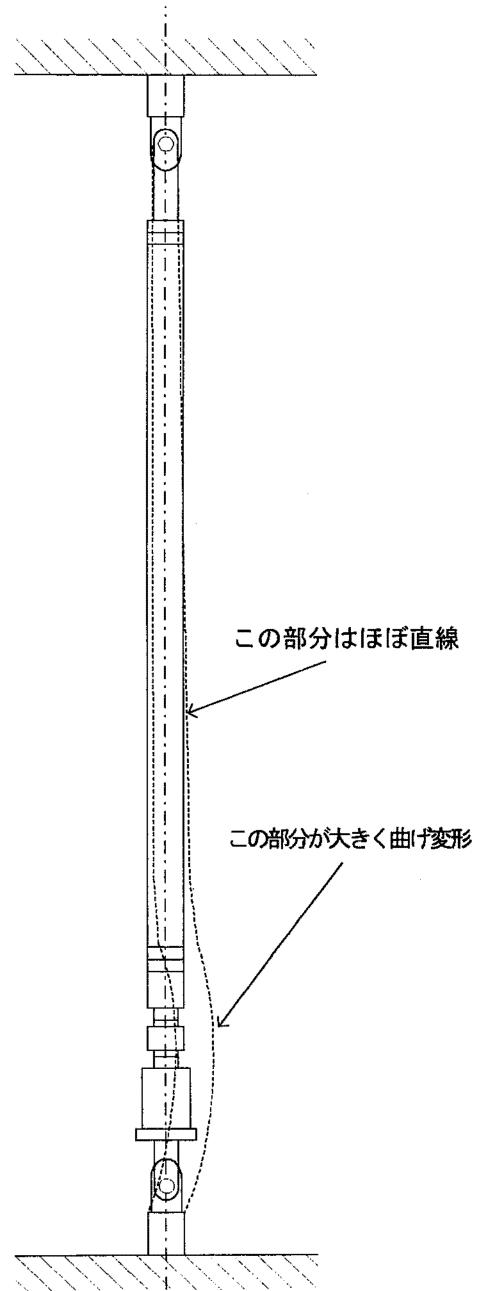


Fig. 3 Buckling mode of specimen No.2.  
座屈形状（供試体 No.2）

3に示す。Fig. 2は、支柱の長さが最も長い場合 (7200 mm) の供試体 No. 1 の座屈形状を示す。同図より、上下両端のピン間距離を座屈長とする座屈モードが現れた。その後、荷重を除去したところ、H形鋼およびジャッキには永久変形がほとんど残っておらず、この供試体は弾性座屈したものと推定される。

一方、Fig. 3は支柱の長さが5200 mmの供試体 No. 2の座屈形状を示す。この供試体に対する実験では、最大圧縮荷重付近でH形鋼のわずかの湾曲が見られたが、その後H形鋼の変形が進むことなく急激にジャッキが曲げ座屈した。荷重の除荷後、H形鋼には永久変形が残らなかったが、ジャッキには永久変形が残った。

供試体 No. 3およびNo. 4では、最大圧縮荷重に至る過程で供試体 No. 1と同様にH形鋼の湾曲が見られた。しかし、最終的には供試体 No. 2と同様にジャッキの曲げ座屈により破壊した。また、荷重除去後も供試体 No. 2と同様に、H形鋼には永久変形が残らなかったが、ジャッキには永久変形が残った。

Table 2より、供試体 No. 2~No. 4の最大圧縮荷重は、ジャッキ単体の最大圧縮荷重とほぼ同等かそれを若干上回る程度であった。さらに、H形鋼には永久変形がなく、ジャッキの方にのみ永久変形が残っていた。これらのことから考えると、供試体 No. 2~No. 4の強度はジャッキ単体の強度に依存し、最大圧縮荷重もジャッキ単体とほぼ同じになったものと推定される。よって、支柱の長さがある程度短くなると、ステアの座屈強度はジャッキ単体の圧縮強度と同程度になると考えられる。次章で、支柱の長さとの関係について考

察する。

#### 4. 支柱の長さとの関係

ステアの支柱の長さとの関係を表すため、ステアの最大圧縮荷重とジャッキ単体の最大圧縮荷重の比  $\bar{P}$  と、H形鋼支柱の細長比  $\lambda$  との関係を図4に示す。同図には、オイラーの座屈式による曲線を併せて示した。

ここに、

$$\bar{P} = \frac{P_{cr}}{P_j} \tag{1}$$

$$\lambda = \frac{L}{i} \tag{2}$$

$P_{cr}$  : ステアの最大圧縮荷重

$P_j$  : ジャッキ単体の最大圧縮荷重

$L$  : H形鋼支柱の長さ

$i$  : H形鋼支柱の弱軸に関する断面2次半径

なお、オイラー曲線は、H形鋼支柱単体が両端ピンである場合の計算値であり、次式により計算される。

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} \tag{3}$$

ここで、

$E$  : 鋼材のヤング率

$A$  : H形鋼支柱の断面積

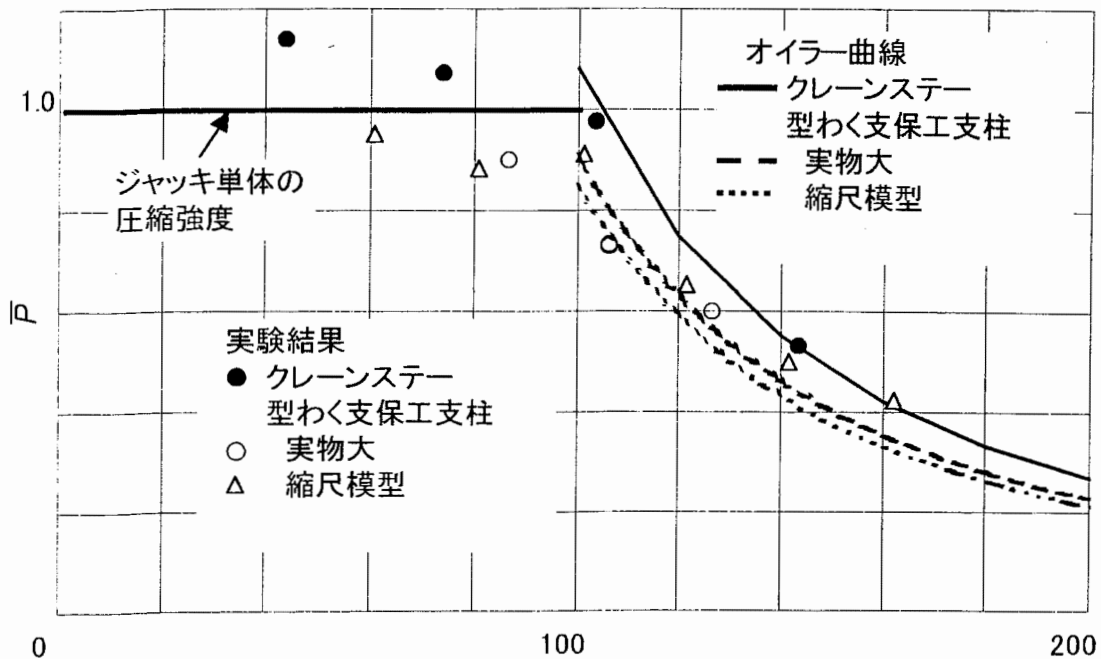


Fig. 4 Buckling curves. 座屈曲線

Fig. 4には、ステアと類似した構造であるH形鋼支柱式型わく支保工の実験結果<sup>1)</sup>も示してあるが、この実験ではH-300とキリンジャッキの組み合わせによる実物大の支柱に対する座屈実験、およびH-100とそれに設計したキリンジャッキの組み合わせによる模型の支柱に対する座屈実験が行われた。

Fig. 4より、細長比 $\lambda$ が非弾性座屈域である $\lambda = 100$ 付近より小さな領域では、クレーンステアの場合 $\bar{P} = 1.0$ 以上となり、最大圧縮荷重がジャッキ単体の最大圧縮荷重より若干大きい値となった。一方、型わく支保工支柱の場合 $\bar{P} = 1.0$ 以下となり、最大圧縮荷重がジャッキ単体の最大圧縮荷重より若干小さい値となった。両者の実験結果にばらつきが大きいのが、ジャッキの製作精度がそれほど高くないことがこの原因の一つと考えられる。しかしながら、実験状況から考えると、両実験ともジャッキの破壊により最大圧縮荷重に達していることから、 $\lambda = 100$ 付近より小さな領域では、ジャッキ単体の圧縮強度をクレーンステアまたは型わく支保工支柱の座屈強度と考えてもよいと思われる。特に、クレーンステアの場合、座屈強度をジャッキ単体の圧縮強度とすることは安全側でもある。

細長比が $\lambda = 100$ 付近より大きな領域では、クレーンステアおよび型わく支保工支柱ともH形鋼支柱が座屈した。このとき、Fig. 4より両者とも最大圧縮荷重はオイラー曲線とほぼ等しくなり、ばらつきも非常に小さかった。よって、細長比が $\lambda = 100$ 付近より大きな領域では、H形鋼支柱単体が両端ピンであるとして計算したオイラーの座屈荷重を、ステアの座屈強度としてもよいと考えられる。

以上より、H形鋼支柱の細長比 $\lambda = 100$ 付近を境に、 $\lambda$ がそれより小さい場合はジャッキが破壊し、大きい場合はH形鋼支柱が座屈することがわかった。しかし、実験数が少ないことおよび、ジャッキの製作誤差などにより、両破壊の限界の細長比は厳密には決定できなかった。

## 5. まとめ

H形鋼による支柱とジャッキを組み合わせた、タワークレーンのステアに対する座屈実験の結果、以下のことがわかった。

- ① 厳密な限界は決定できなかったが、H形鋼支柱の細長比 $\lambda = 100$ 付近を境に、 $\lambda$ がそれより小さい場合はジャッキが破壊し、大きい場合はH形鋼支柱が座屈することがわかった。
- ② 設計時において、H形鋼支柱の細長比が $\lambda = 100$ 付近より小さな領域では、ジャッキ単体の圧縮強度をタワークレーンのステアの座屈強度と考えてもよい。
- ③ 一方、細長比が $\lambda = 100$ 付近より大きな領域では、H形鋼支柱単体が両端ピンであるとして計算したオイラーの座屈荷重を、ステアの座屈強度としてもよい。

## 参考文献

- 1) 大嶋勝利, 河尻義正, ジャッキを有する支柱の強度, 労働省産業安全研究所特別研究報告, RIIS-SRR-91-1992, pp. 119-130, (1992).

(平成12年1月11日受理)