

断面変化のある鋼管柱の繰り返し水平載荷実験

東京工業大学 本間 宏二**
 同 上 三木 千寿*
 同 上 館石 和雄*
 同 上 穴見 健吾*
 同 上 佐々木 哲也*

阪神淡路大震災で鋼製橋脚に多くの被害が発生した。その中でも鋼管柱の橋脚には、いわゆる堤灯座屈が随所にみられた。一部には、鋼管の断面変化部近傍で、局部座屈が発生し、さらにその部分から割れが発生しているものも見受けられた。本実験では、断面変化を有する鋼管柱に対して、種々の繰り返し載荷パターンを用いて実験を行い、堤灯座屈の再現を試みた。さらに載荷パターンの違いによる座屈形状への影響、荷重変位履歴曲線への影響を検討した。その結果、実際の鋼管橋脚の断面変化部でみられた堤灯座屈と同様の局部座屈の発生が認められたと同時に、鋼管の座屈形状・履歴曲線ともに繰り返し載荷パターンによって大きく影響を受けることが確認された。

1. はじめに

阪神淡路大震災で被災した鋼管柱の橋脚では、円周方向にはらみ出す、いわゆる堤灯座屈現象が随所にみられた。この現象が橋脚基部で発生したものを、その形状をとって『象の足』座屈とも呼んでいるが、いずれにせよ、このような現象は、断面の板厚変化部や、橋脚基部等で発生している。さらに、堤灯座屈の部分から亀裂が発生し、それが円周方向に進展し、ほぼ全周にわたって破断しているものも見られた。これまで、繰り返し水平力を受ける鋼管柱に関して多くの実験的研究¹⁾があり、また、鋼管柱の座屈形状に関しては、解析的研究²⁾も試みられている。載荷パターンの影響を検討したものとしては、矩形断面の鋼製橋脚モデルについて、繰り返し載荷履歴の影響を研究したもの³⁾等がある。本実験では、特に断面変化のある鋼管柱を対象として、一定鉛直荷重のもと、種々の繰り返し載荷パターンを用いて水平載荷を行い、座屈形状の違いや、水平荷重-水平変位の履歴曲線にみられる影響を検討した。

2. 実験方法

実験は、図-1に示す鋼管柱に対して、上部構造の死荷重に相当する一定鉛直力と、各種のパターンの水平荷重を同時に載荷して行った。

供試体は、 $t=6\text{mm}$ と $t=10.3\text{mm}$ の板厚の異なる2種類の中径電綫管(STK400)を溶接して製作し、1体の供試体の中に断面変化点を設けた。実験装置は、スライド装置付の30t鉛直ジャッキ、50tの水平ジャッキを組み合わせ使用した。鉛直荷重は、降伏荷重の20%に相当する28tを荷重制御で一定載荷し、水平荷重は、図-2に示す4種類の載荷パターンにそって変位制御で載荷した。載荷パターンとしては、変位単調増加、正負交番変位漸増1回繰り返し、3回繰り返し、10回繰り返しの4種類を用いた。

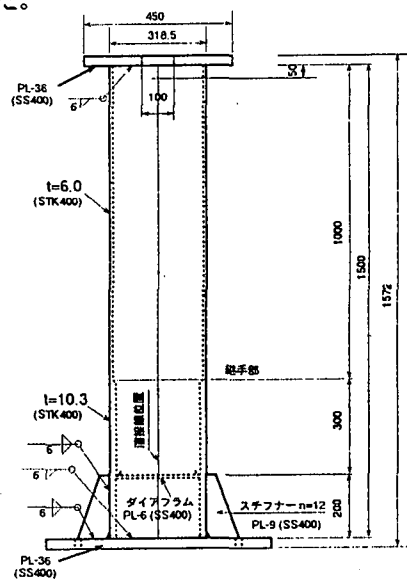
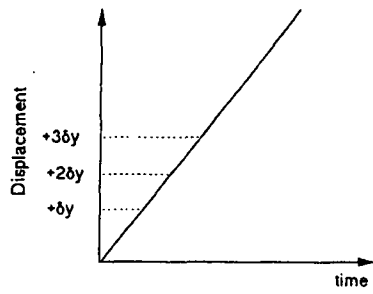


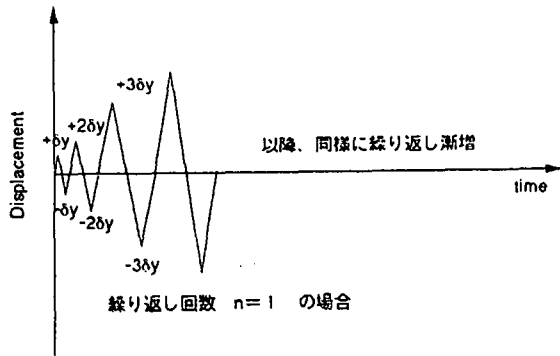
図-1 供試体図面

キーワード：阪神淡路大震災、橋脚、鋼管、座屈、歪み履歴

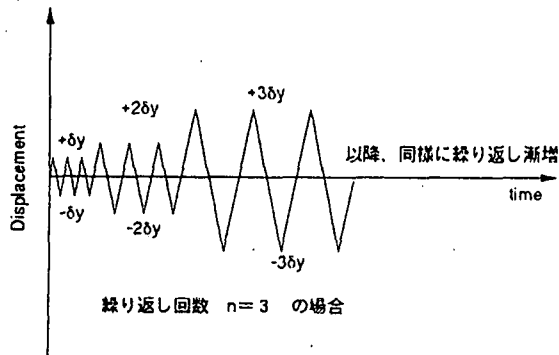
*東京工業大学土木工学科、03-3726-1111
 **東京工業大学土木工学科社会人博士課程
 (新日本製鉄㈱鋼構造研究開発センター、
 0439-80-2111)



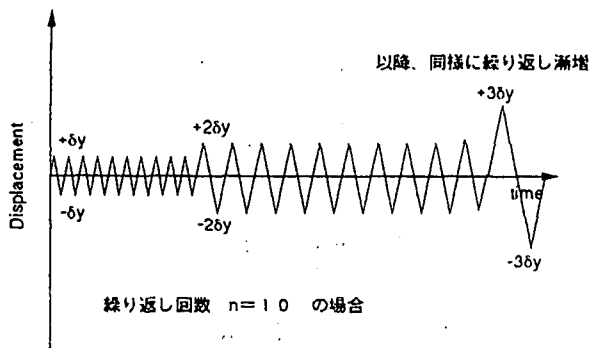
(a) 変位単調増加



(b) 1回繰り返す

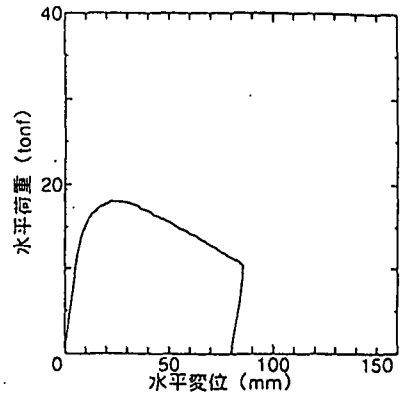


(c) 3回繰り返す

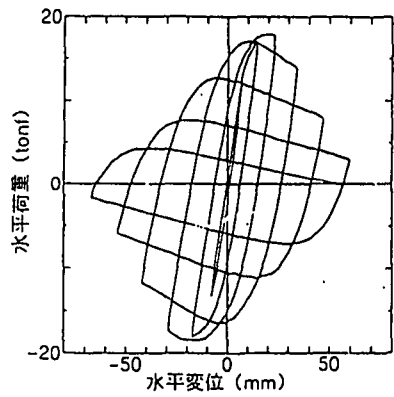


(d) 10回繰り返す

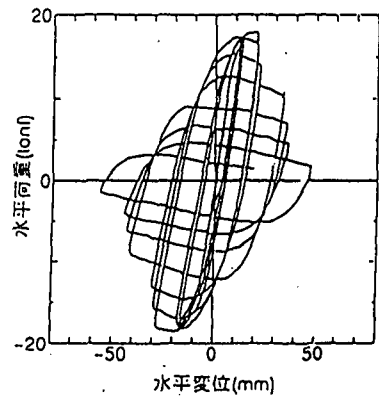
図-2 載荷パターン



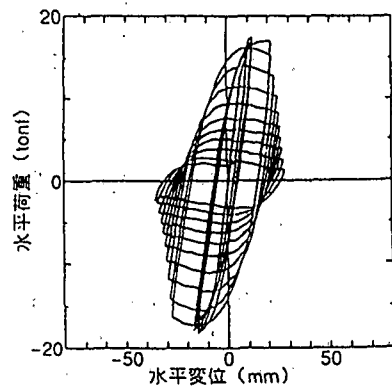
(a) 変位単調増加



(b) 1回繰り返す

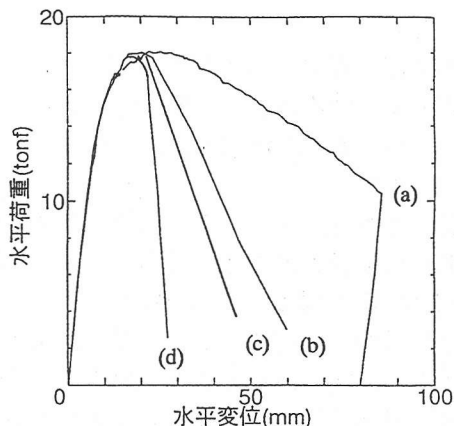


(c) 3回繰り返す



(d) 10回繰り返す

図-3 水平変位-水平荷重履歴曲線



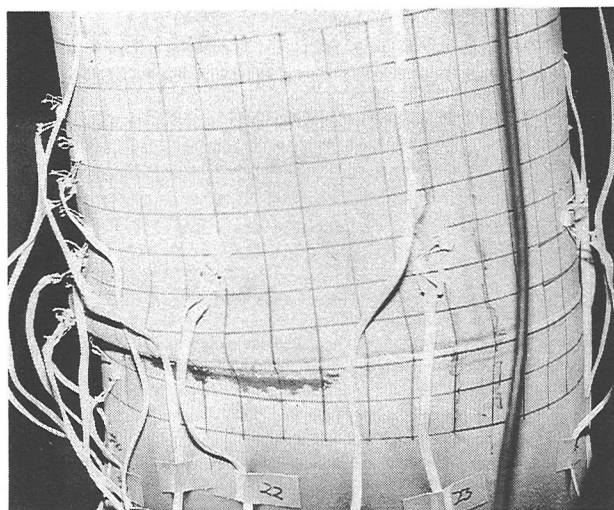
図一4 水平変位—水平荷重履歴曲線の包絡線

3. 実験結果と考察

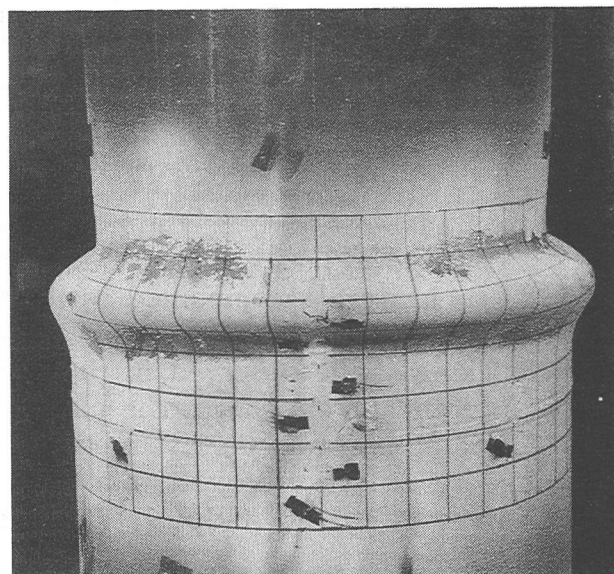
図一3に荷重パターンごとの水平変位—水平荷重履歴曲線を示す。荷重の繰り返し回数によって、履歴曲線に違いが見られ、その影響を包絡線で見ると、図一4に示すように、いずれの荷重パターンにおいても降伏変位 ($\delta y = 6.6\text{mm}$) の2倍程度に達するまでの範囲では、ほとんど違いがみられないが、降伏変位の3倍 ($3\delta y = 19.8\text{mm}$) を過ぎてからの挙動は繰り返し回数によって大きく異なっており、繰り返し回数の増加に伴って、強度劣化は著しいことがわかる。

座屈の進展の状況は、変位単調増加の場合、降伏変位の3倍 ($3\delta y$) 程度に達すると、断面変化点にあたる円周方向の溶接線付近を下端として、外側にはらみ出す局部座屈が発生しはじめ、変位の増加に伴い、そのふくらみが増加して、図一5(a)に見られる座屈形状に達する。一方、繰り返し荷重の場合は、いずれの荷重パターンでも降伏変位の3倍 ($3\delta y$) 程度に達すると、円周方向の溶接線から約50mm上を下端として、外側にはらみ出す局部座屈が発生しはじめ、その後の正負交番繰り返しで反対側にも同様の座屈波形が現われ、両者がつながることによって、図一5(b)に見られる軸対象にはらみ出す局部座屈（いわゆる堤灯座屈）に発展する。さらに繰り返し荷重を続けると局部座屈の部分がつぶれた形に変形していくことが観察された。

水平変位—水平荷重履歴曲線の包絡線でみる強度劣化の開始時点は、観察された座屈進展状況と照らし合わせると、局部座屈の発生時点に一致しており、局部座屈の進行とともに強度劣化が進んでいることがわかる。繰り返し回数の違いは、局部座屈の進



(a) 変位単調増加の場合



(b) 繰り返し荷重の場合

図一5 座屈形状

行程度にも現われており、同じ変位でも繰り返し回数の多いものほど、はらみ出しの大きい局部座屈となっていることが観察された。

4. おわりに

本実験により、断面変化を有する鋼管柱が、通常の一定鉛直荷重のもとで、降伏を超える繰り返し水平変位を受けることによって、実際の鋼管橋脚の断面変化部で見られたような堤灯座屈が発生することが確認された。さらに、荷重パターンの違いが、荷重変位履歴曲線の劣化にきわめて大きく影響することから、歪み履歴が材料の劣化に影響を及ぼしてい

ることが推定された。今後、この現象を検討する上で、塑性域での繰り返し歪み履歴を受けた場合の材料の力学特性と破壊靱性値の変化を検討していく必要があると考える。

【参考文献】

- 1) 例えば、森忠彦、安波博道、富永知徳：繰り返し水平力を受ける鋼管柱の変形性能に関する実験的研究、第50回年次学術講演概要集第1部A, I-19, pp38-39, 1995
- 2) 佐々木亮介、桜井孝昌、忠和男：地震力を受ける鋼製円筒橋脚の外力と座屈形状、第50回年次学術講演概要集第1部A, I-20, pp40-41, 1995
- 3) 宇佐美勉、坂野茂、是津文章、青木徹彦：鋼製橋脚モデルの繰り返し弾塑性挙動に及ぼす荷重履歴の影響、構造工学論文集 Vol.39A, pp235-247, 1993

EXPERIMENT OF STEEL PIPE PIER MADE OF TWO DIFFERENT SECTIONS UNDER CYCLIC LOADING

Koji Homma, Chitoshi Miki, Kazuo Tateishi, Kengo Anami and Tetsuya Sasaki

In Hanshin-Awaji Earthquake, many steel piers were damaged. Typical local buckling shapes were observed in steel pipe piers. Some of them were accompanied with cracks which were propagated from buckling parts. The purpose of this experiment is to simulate the buckling shape observed in the welded joint of two steel pipes with different thicknesses. The effects of loading cycles on the shape of buckling part and the hysteretic curve are discussed in this paper. As the result, it is found that the shape of buckling and hysteretic curves are strongly influenced by loading patterns.