

## I - B 394 高レベル地震動を対象とした鋼管杭の水平交番載荷と鉛直載荷試験

大林組技術研究所 正員 ○松田 隆  
 東京大学 秋山 宏  
 発電技術検査協会 千葉 敏郎

## 1 試験の目的

鋼管杭が高レベル地震動により塑性域に達する断面力履歴を受けたことを想定し、この場合の塑性変形能を把握することと、一旦塑性化した杭が有する耐荷性能を確認することを目的に、実大規模の杭における一定軸力作用時の水平交番載荷試験と、杭体塑性化後の鉛直載荷試験を実施した。

## 2 試験方法と試験ケース

第一ステップは水平交番試験であり、試験体に一定軸力(降伏軸力 $\times 0.3$ )を保持した状態で所定の載荷点に正負の繰り返し水平荷重を目標水平変位( $n \cdot \delta y$ )に達するまで載荷した(図-1(Step-1))。このとき、杭基部圧縮側の鋼管が降伏(引張試験より求めた降伏歪みを参照)する時点での水平変位を降伏変位 $\delta y$ として、 $\delta y$ の整数 $n$ 倍の変位を片振幅とした両振り交番載荷で漸次振幅を増加させた。各振幅における繰り返し回数は3回である。最大水平変位は、最大荷重に達しない $n=3$ と最大荷重を越える $n=5$ とした。また、中詰めコンクリートのある場合は基礎スラブとの接合部を、中詰めのない場合は地盤中間部の杭を想定した。

試験体には実物大の鋼管杭( $D=700\text{mm}$ ,  $t=12\text{mm}$ , SKK400スパイラル鋼管)を使用した。交番載荷試験での試験体長さは $4D=2.8\text{m}$ とした。試験体には、試験体基部での局部座屈の損傷が顕著となると考えられるため、鋼管上端にプレートを取り付けた。中詰めコンクリート( $23.5\text{kN/mm}$ )長は外径 $D$ と同じ $70\text{cm}$ にした。

第二ステップは交番載荷試験で損傷を受けた試験体を用いた鉛直載荷試験である(図-1(Step-2))。圧縮試験体は上部を切り離し、長さ $1.5D$ の試験体としたが、このとき、水平方向の残留変位が強制的に0となるようにした。鉛直載荷方法は、交番載荷試験での載荷軸力値まで荷重制御で行い、それ以後変位制御とした。

試験ケースを表-1に示すが、Case1は損傷のない杭の鉛直載荷試験であり、耐荷性能の基準とした。

## 3. 交番試験試験結果状況

Case3の場合、水平荷重と載荷点変位の関係(図-2)は紡錘型形状を示し、 $4\delta y$ 付近で正負両方向ともに最大荷重に達し、 $5\delta y$ で載荷サイクルの増加に伴い荷重が徐々に低下した。1サイクル目の包絡線(図-3)によると、中詰めを行なったCase5は $3\delta y$ を越えてからは、同一変位(変位約 $30\text{mm}$ )でのCase2,3の荷重を上回り、鋼管とコンクリート間の摩擦力やコンクリートが鋼管の変形を拘束し局部座屈の発生を抑制する効果と考えられる。載荷サイクルの増加に伴う鋼管長さ変化(図-4)は、 $3\delta y$ 載荷後においてサイクル数に比例して増加した。実験状況の観察から、 $4\delta y$ 付近から局部座屈(図-5)の発生が確認された。

## 5. 主な成果とまとめ

交番載荷試験[コンクリート中詰の有無にかかわらず、 $4\delta y$ において局部座屈が発生した後、最大荷重に達し、 $5\delta y$ にて荷重が低下した。②中詰めがあることにより、降伏荷重及び最大荷重が若干高くなり、荷重～変位曲線において最大耐力に達した後の荷重低下勾配が緩やかになる。さらに、水平方向の同一載荷点変位において、局部座屈の膨らみ高さ及び軸方向ひずみが小さくなる。③ $M-\phi$ 関係から、降伏時の曲率 $\phi_y$ に対しての全塑性モーメントが保持されている曲率は、Case3で $5.4\phi_y$ 、Case5で $7.8\phi_y$ となった。]

鉛直載荷試験[④交番載荷試験後の鋼管の圧縮耐力は、鋼管に発生した局部座屈の膨らみ高さ又は鋼管の軸方向変位に反比例する。⑤中詰めがなく $5\delta y$ の繰り返し載荷を受けた場合の局部座屈の膨らみ高さは約 $20\text{mm}$ であったが、長期荷重の2.7倍におよぶ十分な耐力を有していた。⑥中詰を有する場合において $5\delta y$ の繰り返し載荷を受けても局部座屈の膨らみ高さは約 $8\text{mm}$ に押さえられるため、長期荷重に対し4.8倍もの耐力を有し、繰り返し荷重を受けていない鋼管杭の1割程度の耐力低下しか生じなかった。]

謝辞：この試験は新日本製鉄㈱鉄鋼研究所で実施された。また、本研究は(財)発電設備技術検査協会が国の委託を受けて実施した「発電設備耐震信頼性実証試験」のうち、LNG地上式タンクの耐震実証試験の一環として実施したものである。ここに記して、関係者各位に謝意を表する。

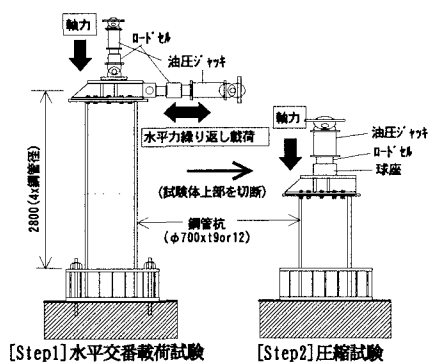


図-1 試験概要

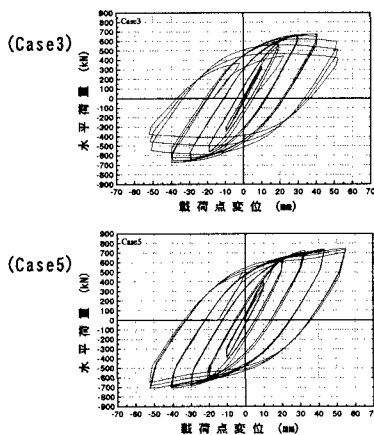


図-2 荷重～載荷点変位

表-1 試験ケース

Case	中詰	n
1	なし	0
2	なし	3
3	なし	5
4	あり	3
5	あり	5

n: 降伏変位  $\delta_y$  に対する倍率

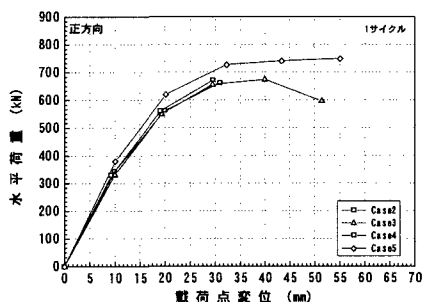


図-3 荷重～変位包絡線(Case2～Case5)

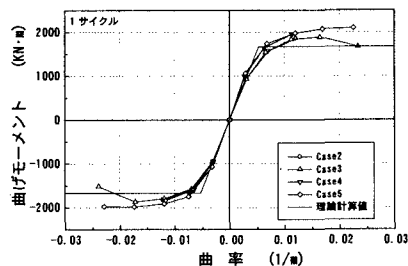


図-4 曲げモーメント～曲率関係

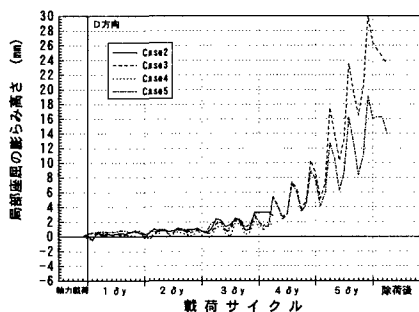


図-5 荷重～軸方向変位関係

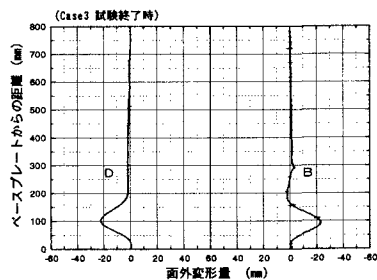


図-6 局部座屈膨らみ形状

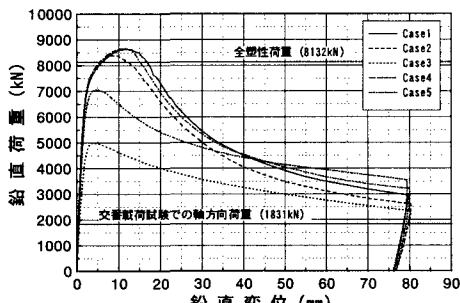


図-7 鉛直荷重～鉛直変位関係

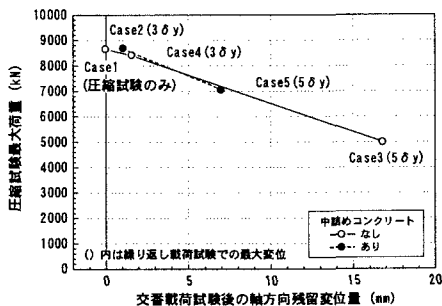


図-8 最大荷重と残留軸方向変位量との関係