

使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の水平載荷試験について

水平ばねの評価の根拠としての水平載荷試験結果について、どのような試験内容で、水平ばねを評価しているか、整理して提示すること。

本資料は使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の水平載荷試験と水平ばねの評価法について示すものである。

1. 杭の水平載荷試験概要（設置変更許可申請書 H11.1 添付六）

杭を打設した基礎地盤の水平方向の変形特性及び耐力を求めるため、図1に示す位置において杭の水平載荷試験を実施した。試験に用いた杭は2本の鋼管杭で、打撃工法により基礎地盤に打設し、杭頭部を鉄筋コンクリートで連結した。試験は、載荷荷重を段階的に増減させ、荷重に対応する変位量を計測する方法で実施した。

試験装置を図2に、載荷パターンを図3に示す。試験体と反力体の相互を反力として載荷し、両者を押広げる方向を正方向、逆に引寄せせる方向を負方向とした。載荷方式は240tfまでを正負交番多サイクル載荷方式とし、240tf以降から最大荷重600tfまでは一方向（正方向）載荷方式とした。最大荷重80tf（2本杭試験体で1本あたり40tf）は、試験実施前の検討でS2地震時の杭応力に相当する荷重である。また、最大荷重240tf（2本杭試験体で1本あたり120tf）は、試験実施前の検討で杭応力が弾性範囲内に収まるよう設定した荷重である。

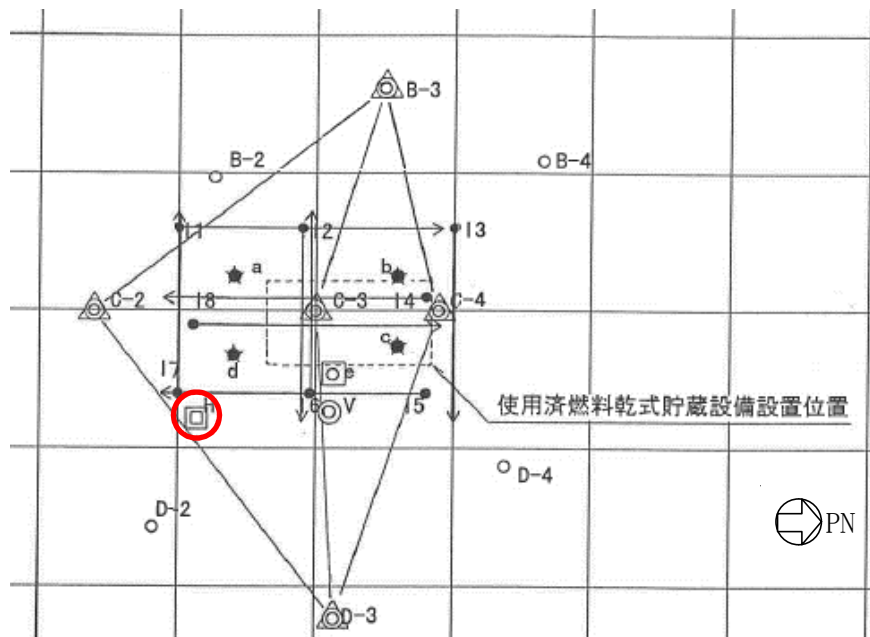


図1 試験位置（図中の赤丸位置）

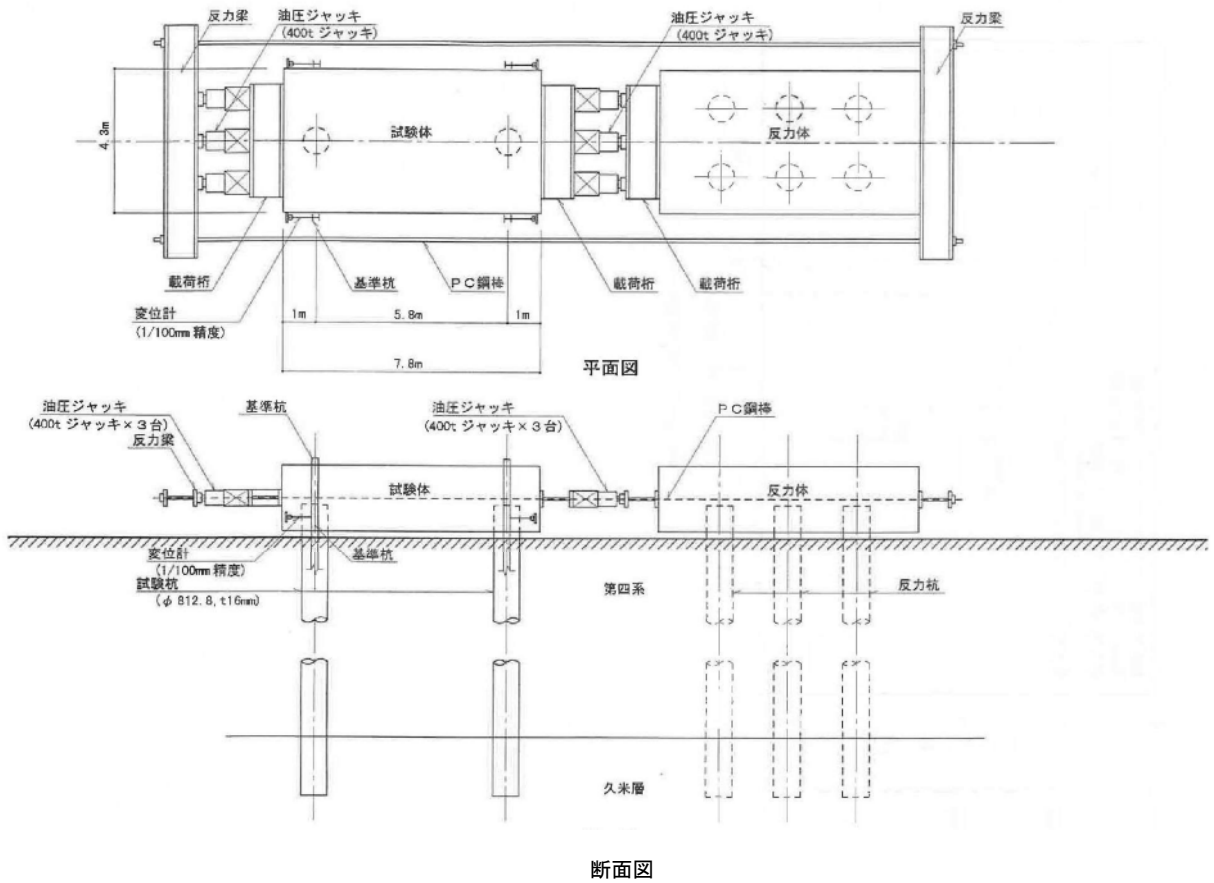


図2 杭の水平載荷試験装置

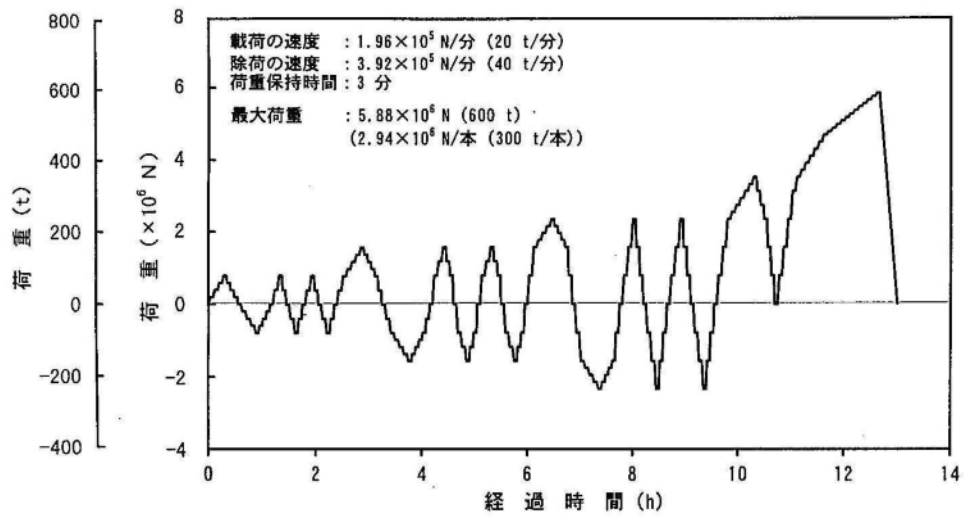


図3 載荷パターン

2. 杭の水平載荷試験結果（設置変更許可申請書 H11.1 添付六）

杭の水平載荷試験結果から得られた荷重と変位の関係を図 4 に示す。試験の結果は、水平方向の最大荷重が 2 本の杭に対し  $5.88 \times 10^6$  N(600tf) であり、杭 1 本あたり  $2.94 \times 10^6$  N(300tf) である。

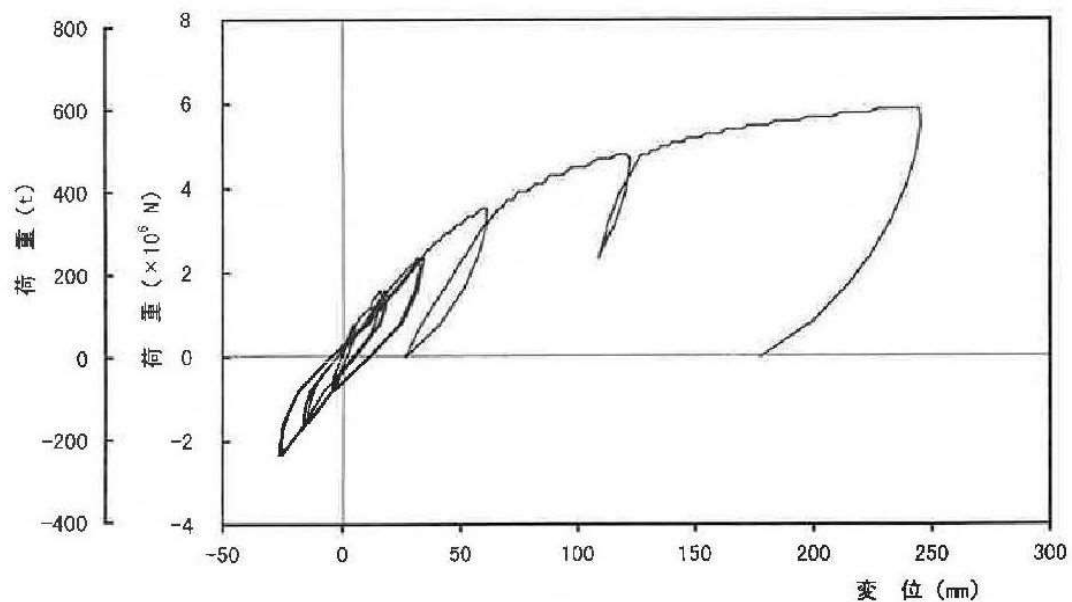


図 4 荷重と変位の関係

3. 水平ばねの設定方法（工事計画認可申請書 H11.06）

既工認資料IV-2-3「使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書」では、第4-2図に杭の水平載荷試験結果に基づき設定した水平ばねの値のみが記載されている。

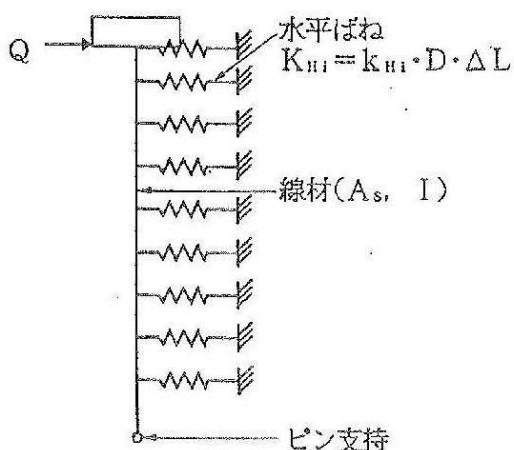
(1) 応力解析

杭の地震時応力の算定は、弾性支承ばりの解法に基づいた単杭の静的解析手法で行う。杭体各部の曲げモーメント及びせん断力は、上部構造及び基礎版の地震時水平力を杭頭に作用させて算定する。

杭設計用の地震時水平力は3322 lf（杭1本当り8.0 lf）である。

弾性支承ばりのモデル概念を第4-2図に示す。杭長は支持層のレベルによって部分的に異なるが、杭長の差異による杭応力への影響は軽微であることから、基礎版中央位置の杭で代表して杭応力を算定する。また、弾性支承ばりモデルの水平ばねに用いる水平方向地盤反力係数は、杭載荷試験結果に基づき設定する。

杭の地震時応力の算定結果を第4-3図に示す。



ここに、

$K_H$  : 水平ばね (kgf/cm)

$k_H$  : 水平方向地盤反力係数 (kgf/cm<sup>3</sup>)

地層名	$k_H$
du	1.7
Ag	5.1
D2c-3	3.0
D2g-3	5.1
Km	7.1

$D$  : 杭径 (cm)

$\Delta L$  : ばね間隔 (cm)

$Q$  : 地震時水平力 (kgf)

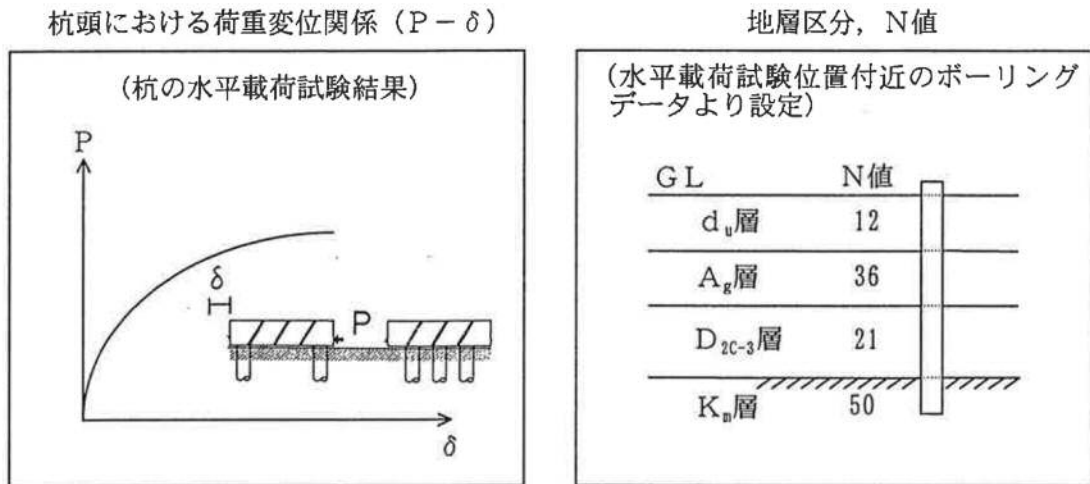
(杭1本当りの平均せん断力)

第4-2図 弾性支承ばりのモデル概念

以下に、水平ばねの具体的な算定手順を示す。

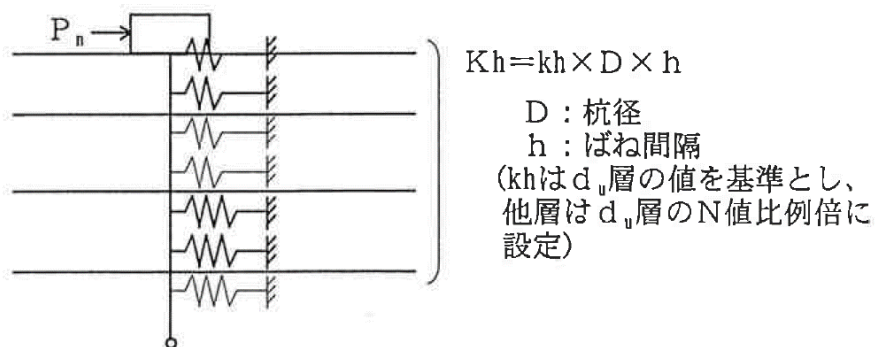
(1) 算定に用いる試験データ

算定に用いる試験データは、杭の水平載荷試験で得られた杭頭における荷重-変位関係 (P- $\delta$  関係) と弾性支承梁モデル設定のための地層区分及びN値データ (杭の水平載荷試験位置付近のボーリングデータより設定) である。



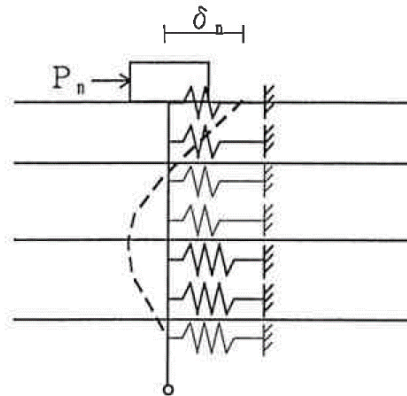
(2) 弾性支承梁モデルの設定

水平ばね  $Kh$  は、水平地盤反力係数  $kh$ 、杭径及びばね間隔の積である。 $kh$  は  $d_u$  層の値を基準とし、他層は  $d_u$  層の N 値比例倍とする。 $kh$  の初期値を任意に設定し弾性支承梁モデルが決定される。



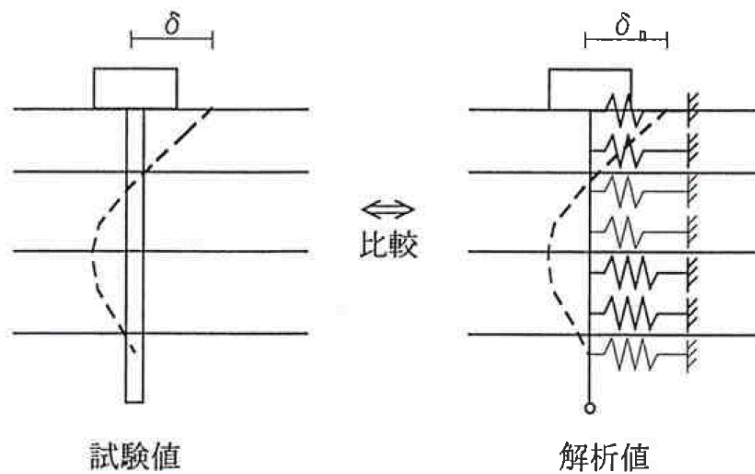
(3) 弾性支承梁モデルによる解析

杭頭荷重  $P_n$  に対する弾性支承梁モデルの応力解析を行う。結果として杭頭変位  $\delta_n$  が算定される。



(4) 水平載荷試験における杭頭変位との比較

$\delta_n$  と杭の水平載荷試験における杭頭変位  $\delta$  が一致するように  $kh$  を係数倍して補正する。



#### 4. 基準地震動 $S_s$ に対する適用性

杭の応力解析モデルの設定方法（水平地盤ばねの評価方法）については、「基礎指針」に従い実施したものである。

水平載荷試験の水平方向地盤反力係数は基準水平地盤反力係数として、杭頭変位 1cm を基準として求め、それを各水平地盤ばねの初期剛性の計算に用いた。

既工認における杭の検討においては、 $S_2$  地震時の一次元波動解析から求まる杭先端に対する杭頭の相対変位（以下、地盤変位という。）が約 1cm であったので、水平地盤ばねを線形として取り扱った。基準地震動  $S_s$  の地盤変位の最大値は 4.43cm ( $S_s - 31, -\sigma$ ) となったため、杭及び地盤に非線形性を考慮することとした。

なお、杭の応力解析モデル<sup>\*</sup>の杭頭に水平荷重をかけた場合の荷重変形関係を、水平載荷試験結果と比較して図 5 に示す。解析結果は、水平載荷試験の荷重変形関係を下回っており、基準地震動  $S_s$  に対する適用性を確認した。

※：杭の応力解析モデルには群杭効果を考慮しているが、水平載荷試験との比較のため、群杭効果を除き、単杭のモデルとした。

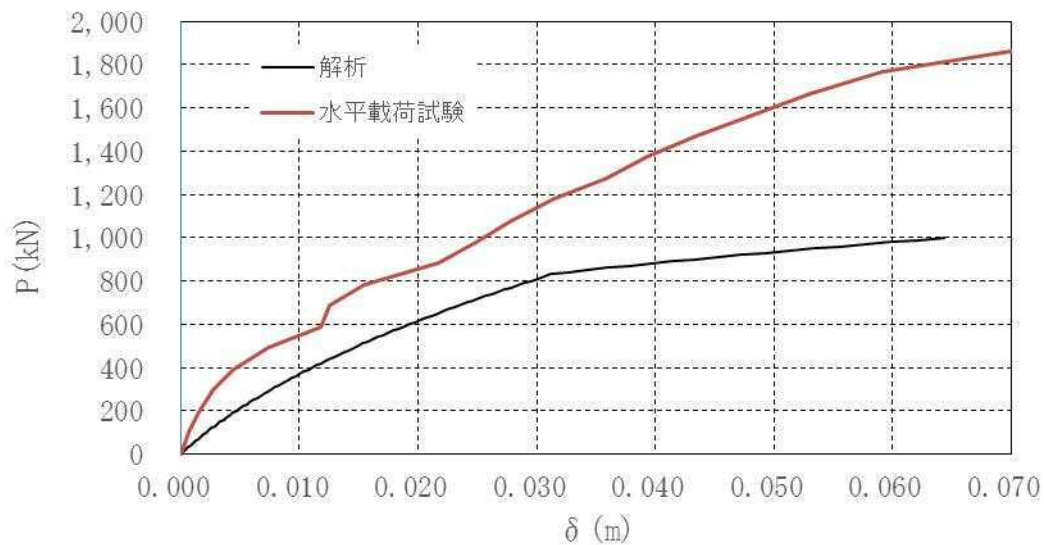


図 5 荷重変形関係（杭 1 本あたり）