

Ⅲ - B 33

大地震時における杭基礎の降伏耐力に関する一考察
その1 模型杭による実験的検討

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 池亀 真樹
同 上 正会員 近藤 政弘
同 上 正会員 棚村 史郎
同 上 正会員 西村 昭彦

1. はじめに

近年、土木構造物の設計は限界状態設計法へと移行しつつあり、基礎構造物においても、終局時の耐力および変形性能を正確に把握することが必要になってきた。そのため、模型杭や実大杭による試験が多数行われ、その成果をもって終局時の耐力評価と関連付けた設計¹⁾²⁾が行われつつあるが、定量的な評価にはいたっていないのが現状である。このような現状の中で、本検討は特に群杭全体としての降伏耐力に着目し、過去に行われた実験結果³⁾からその降伏耐力を評価するものである。また今回検討対象の実験は、杭部材の降伏耐力がかなり大きく、地盤抵抗の塑性化が主要因で、杭基礎が非線形挙動となるものである。

2. 実験概要

今回検討した実験は変位制御による正負交番多サイクルで行われた静的水平載荷試験である。実験の詳細は参考文献³⁾を参照されたい。今回検討対象とした試験体ケースを表-1に示す。

3. 荷重～変位曲線の降伏点

載荷試験の結果から降伏荷重を推定する際によく用いられる以下のa)、b)という2つの方法で降伏点を求めた経過を示す。例としてGH23のケースを掲載する。

a) Log P～Log δ 曲線⁴⁾の折れ点求める方法 (図-1 参照)。

b) 荷重～変位曲線をワイブル曲線に近似させて数学的に求める方法⁵⁾ (図-2 参照)。この方法は式(1)に示すワイブル曲線に実験値(P、s)をあてはめ、非線形最小2乗法によって、P_{max}及びδ_sという2つの回帰係数を決定し、s = δ_sの時、つまり P = P_{max} { 1 - e^{-(s/δ_s)^m } ≒ 0.63P_{max} を降伏荷重とするものである。なお、この際のmは一般的に用いられる1を採用することとした。}

$$P = P_{\max} \left\{ 1 - e^{-\left(\frac{s}{\delta_s}\right)^m} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、P：荷重

P_{max}：極限荷重

s：変位

δ_s：基準変位（降伏荷重P_yに対する変位）

m：変位指数

次に実杭基礎の計算結果³⁾において報告されている鉛直支持力が上限値に達するときに概ね荷重～変位曲線の変曲点であるという事実から以下のc)の方法で降伏点を求めた。

表-1 杭の諸元

試験体名称	杭列	施工年	杭種	杭の諸元		
				外径D(mm)	厚さt(mm)	杭長L(m)
GH-22	2×2	H3.3	炭素鋼管	101.6	3.2	2.25
GH-23	2×3					
GH-33	3×3					
GH-24 a	2×4	H4.2				
GH-24 b	2×4					

注) 表-1におけるGH-24 aとbの違いは杭間隔の違いであり、a：3D、b：5Dという大きさである。

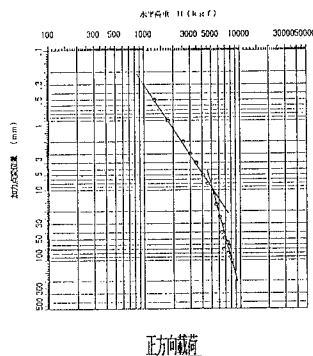


図-1 Log P～Log δ 曲線

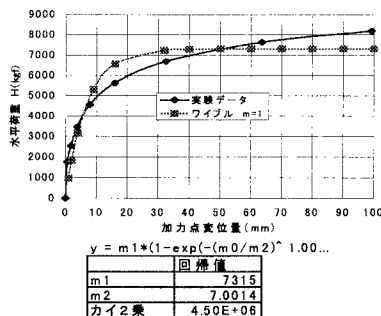


図-2 荷重～変位曲線

キーワード：群杭、耐力、支持力、降伏点

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL(042)573-7262 FAX(042)573-7248

c)試験結果における軸力～水平変位のグラフより得られる鉛直支持力（押し込み）の上限値より求める方法（図-3参照）。なお、今回は1列目の杭が鉛直支持力の上限値に達した時を取り上げた。

以上の3つの方法の結果をまとめたものが表-2である。表-2から判断できるように、鉛直支持力が上限に達した状態は、既往の手法から得られる降伏点に、かなり近似しているといえる。

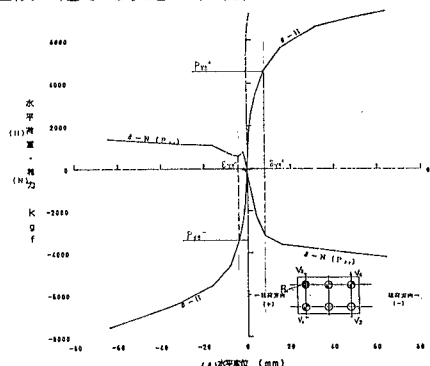


図-3 軸力～水平変位曲線

表-2 各手法から得られた降伏点

試験体番号	$\delta 1(\text{mm})$	$P_{y1}(\text{kgf})$	$\delta 2(\text{mm})$	$P_{y2}(\text{kgf})$	$\delta 3(\text{mm})$	$P_{y3}(\text{kgf})$
GH-22	8	3,000	11	3,600	8	2,900
GH-23	9	5,000	7	4,600	8	4,500
GH-33	9	7,000	8	6,500	8	6,500
GH-24a	7	4,000	4	3,600	11	4,300
GH-24b	9	5,000	3	3,800	8	4,900

注) $\delta 1, P_{y1}$: LogP～Log δ 曲線における変曲点及び降伏荷重

$\delta 2, P_{y2}$: ワイブル曲線に近似させて求めた変曲点及び降伏荷重

$\delta 3, P_{y3}$: 軸力（押し込み）～水平変位曲線における鉛直支持力の上限より求めた変曲点及び降伏荷重

4. 降伏点と残留変位との関係

前項のc)で求めた降伏点（降伏荷重： P_{y3} 、降伏変位： δ_{y3} ）と残留変位の関係の例として、試験体 GH23 のケースを挙げる。ここで載荷変位～残留変位を図-4に、各載荷ステップにおける残留変位（ δ_r ）と載荷変位（ δ_d ）との比と載荷荷重の関係を図-5に示す。なお、図-4では載荷変位及び残留変位を杭径で除して正規化している。

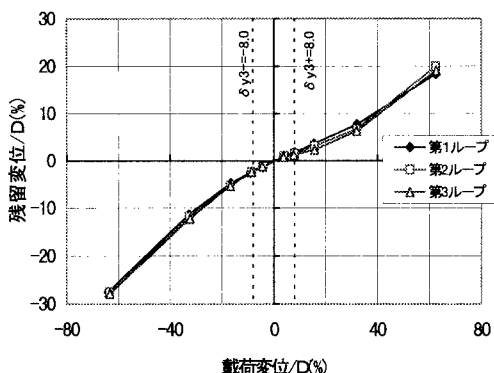


図-4 載荷変位～残留変位

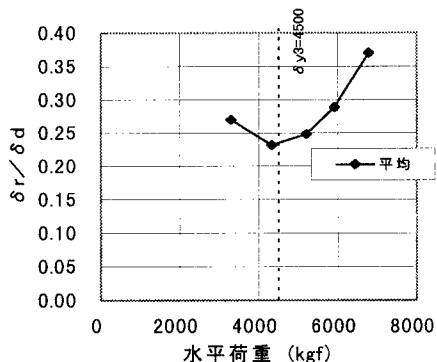


図-5 $\delta r / \delta d \sim$ 荷重

図-4においては、変位が降伏変位 δ_{y3} を超えた付近から残留変位が大きくなるという傾向が、図-5においては荷重が降伏荷重 P_{y3} を超えると残留変位の比が大きくなるという傾向がそれぞれ確認できた。このような傾向はここに掲載しなかった他の試験体においてもほぼ同様に現れており、2つの図で確認できたこれらの傾向より、降伏点を超えると残留変位の増加の割合が大きくなるということが大勢的に確認できた。

5. まとめ

今回検討対象とした実験において、前項3.4.に述べた検討結果から次のことが推察できた。「杭の鉛直支持力が上限に達した状態は荷重～変位曲線の変曲点及び残留変位の増加点という観点から、杭基礎－地盤系全体としての降伏といえる」

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物 1997.3
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編・V耐震設計編 1990.2
- 3) 総研報告：模型杭の載荷試験作業 報告書 1991.3、1992.4
- 4) 村山、柴田「粘土中の摩擦グイの支持力とその新測定法」土木学会論文集 59、1958.11
- 5) 宇都一馬、冬木衛、桜井学「杭の載荷試験結果の整理方法」基礎工、Vol.10、NO.9、1982