

杭の水平載荷試験法・同解説の改定について

地盤工学会基準部

1. はじめに

標記の「杭の水平載荷試験方法・同解説」（以下、水平載荷試験基準）は、水平載荷試験の計画・実施から試験結果の整理に至る一連の手順を定めた国内唯一の基準として、1983年の制定以来今日に至るまで広く用いられてきた。しかしながら、現行の基準は、統一された試験方法によって杭の静的耐力・変形性能を求めることに主眼をおいた試験基準となっていることから、近年長足の進歩を遂げた試験方法・計測技術や、普及しつつある新しい考え方に基づく耐震設計法には必ずしもそぐわないとの指摘もなされるようになった。一方で、現行の基準は簡便で使いやすいという意見も根強い。このような背景を踏まえ、「地盤設計・施工基準検討委員会」傘下の「杭の水平載荷試験基準改正に関する検討WG（平成17～18年度）」および「杭の水平載荷試験基準改定WG（平成19年度～）」において検討を重ねた結果、今回、載荷方法の追加など最小限の改定を行うこととした。以下に、基準改定素案の目次を提示する。基準改定素案の本文については地盤工学会ホームページに掲載した。

これら水平載荷試験基準改定素案についてのご意見は、書面にて平成20年10月15日までに地盤工学会基準部あてにご提出頂きたい。提出頂いたご意見をWGで検討し、基準案にしかるべき修正を行ったのち、地盤設計・施工基準検討委員会、基準部会、理事会にて所定の審議を経て平成21年3月に基準として確定する予定である。新しい杭の水平載荷試験基準は平成21年度中に出版する予定である。

2. 改定素案

2.1 改定案の骨子

「杭の水平載荷試験基準改正に関する検討WG」において、現行の水平載荷試験基準へのニーズや現状での問題点・課題の調査を行った。この結果に基づき、「杭の水平載荷試験基準改定WG」では、改定の方針を以下の諸点においた。

- 1) 杭の水平載荷試験に関する近年の進展を考慮した内容とすること。
- 2) 杭の設計に関して、土木・建築の分野における方法論の相違を認識しつつも、共通した考え方の基盤を提供すること。
- 3) 国際的に見て整合性があり、かつ、優れた基準となること。

WGでは、関連した文献や資料の収集・検討、関係団体等で採用している設計基準や指針の確認、諸外国の基準についての情報収集、現在行われている載荷試験の実情についての調査などを鋭意進めてきた。その結果、今回の改定では現行の基準の骨格を大きく変更することなく、載荷方法の追加を主眼とする比較的軽微な改定にとどめることとした。具体的には、現行の基準では、荷重段階ごとの荷重保持を原則とするいわゆる段階載荷方式のみとなっているのに対し、改定案ではこれに加えて、途中で荷重を保持しないいわゆる連続載荷方式を

追加した。この他、本文中に陽な形では現れないものの、通常の鉛直単杭に加えて、突出長さの大きい杭，斜杭，組杭・群杭，軸力の作用する杭も適用範囲内とした。さらに，常時の荷重を念頭に置いた長期荷重についても言及することとした。これらについては，解説において詳述の予定である。一方で，定常加振や衝撃荷重などの動的荷重試験については考慮外とした。これらの試験は，現状では研究の段階にとどまっており，実務で用いられることはないと判断したためである。このことは，土木・建築分野における杭の設計が静的設計にとどまっていることと対応するものである。

条文案をまとめるにあたり，杭に関する本学会のもう一つの代表的な基準である「杭の鉛直荷重試験方法」を参考にした。なお，解説を含む基準改定素案の詳細については，平成 20 年 7 月に開催される第 43 回地盤工学会研究発表会のディスカッションセッションにおいて紹介の予定である。今回の改定素案に関する討議に参加して頂けるよう，お願い申し上げたい。

2.2 改定素案目次

改定素案の目次を、現行の基準との対比の形で下表に示す

現行基準の目次	改正基準案の目次	主な改正点
第1章 総則 1.1 適用範囲 第2章 基本計画 2.1 載荷試験の目的 2.2 載荷試験の計画 2.3 載荷試験の種類 第3章 試験杭 3.1 試験杭の種類 3.2 試験杭の選定 3.3 試験杭の位置 3.4 試験杭の養生期間 3.5 杭体の補強 第4章 試験方法 4.1 載荷点高さ 4.2 載荷様式の選定 4.3 計画最大荷重、計画最大変位 4.4 試験方式の選定 4.5 測定項目 4.6 測定間隔 4.7 試験終了の判定 第5章 試験装置 5.1 載荷装置 5.2 加力装置 5.3 反力装置 5.4 計測装置 5.5 荷重の計測装置 5.6 変位の計測装置 5.7 その他の計測装置 第6章 結果のまとめ 6.1 結果の整理 6.2 結果の利用 6.3 報告書	第1章 総則 1.1 適用範囲 1.2 試験の目的 1.3 用語の定義 第2章 基本計画 2.1 基本事項 2.2 試験条件 2.3 試験杭の仕様・本数および位置 2.4 試験装置 2.5 載荷および測定方法 第3章 試験の準備 3.1 実施計画書の作成 3.2 試験杭の位置 3.3 試験杭の設計 3.4 試験杭の施工と養生 3.5 試験装置の設置 第4章 試験装置 4.1 試験装置の構成 4.2 加力装置 4.3 反力装置 4.4 計測機器 4.5 基準点および基準梁 第5章 載荷および測定方法 5.1 載荷方法 5.2 測定項目 5.3 測定時期 第6章 試験の実施 6.1 試験員の構成 6.2 試験要員の任務 6.3 試験の開始・中断・終了 6.4 現場記録 第7章 結果のまとめ 7.1 結果の整理 7.2 結果の利用 7.3 報告書	<ul style="list-style-type: none"> ・構成を鉛直載荷試験基準に合わせた。 ・適用範囲を、斜杭、組杭・群杭、軸力の作用する杭、杭頭が拘束された杭、河川内・洋上で行われる載荷試験なども対象とした。それに伴い、関連する規定を追加した。 ・試験の目的を、確認試験と特性調査試験に分けた。 ・正負交番載荷方式の荷重減少時の荷重速度を、荷重増加時と同じ速度とした。 ・載荷方式として、連続載荷方式を追加した。 ・用語の改定 鉛直載荷試験基準に合わせた用語 処女荷重→新規荷重 測定間隔→測定時期 現行基準の用語よりも適当と判断して改定した用語 載荷様式→載荷型式 1サイクル→単サイクル

杭の水平載荷試験基準 本文案

第1章 総則

1.1 適用範囲

本基準は、杭の頭部に水平力を加える静的な載荷試験（以下、試験と呼ぶ）に適用する。

1.2 試験の目的

試験は、静的荷重による杭の水平抵抗特性に関する資料を得ること、またはすでに定められた杭の水平地盤反力係数などの設計値の妥当性を確認することを目的とする。

1.3 用語の定義

本基準で用いる用語を次のように定義する。

静的載荷：杭体と地盤の速度および加速度に依存する抵抗を無視することができる載荷

特性調査試験：杭の水平抵抗特性に関する資料を得ることを目的とする試験

確認試験：設定された水平地盤反力係数の妥当性の確認や、水平抵抗力・水平変位などの設計値を満足していることの確認を目的とする試験

計画最大荷重：試験の目的を達成するために計画された試験杭に載荷する最大荷重

計画最大変位：試験の目的を達成するために計画された試験杭に生じさせる最大変位

杭頭自由：杭頭にモーメントが作用しない拘束条件

載荷型式：一方向載荷と正負交番載荷などの載荷する際の方向や順序に基づく分類

一方向載荷：試験杭の水平一方向に対して荷重を増加・減少する型式の載荷

正負交番載荷：試験杭の水平一方向に対して荷重を増加・減少した後、その反対方向に対して荷重を増加・減少することを交互に繰り返す型式の載荷

載荷方式：段階載荷方式と連続載荷方式などの荷重保持の有無による分類

段階載荷方式：荷重を段階的に一定時間保持しながら増加させる載荷方式

連続載荷方式：荷重を保持せずに連続的に増加させる載荷方式

本杭：構造物の基礎として設置される杭

試験杭：載荷試験を実施する杭

第2章 基本計画

2.1 基本事項

試験の計画にあたっては、試験の目的、地盤条件、本杭に作用する荷重、本杭の施工法、本杭の種類・寸法・本数・配置・杭頭レベルなどの設計条件、試験工事の工期・工費などを考慮し、計画最大荷重・変位、杭頭の拘束条件、載荷点の位置、試験杭の仕様・本数・位置、試験装置、載荷・測定方法および実施体制などの基本事項を決定する。

2.2 試験条件

- 1) 計画最大荷重や計画最大変位は、試験の目的、試験杭の種類や変形性能に応じて設定する。
- 2) 杭頭の拘束条件は、単杭の場合には原則として杭頭自由とする。
- 3) 試験杭の地盤面や載荷点の高さは、杭が実際に構造物として荷重を受ける状態を考慮して、それ

に最も近い位置とするのを原則とする。

- 4) 杭に軸力を作用させる場合は、鉛直荷重もしくは軸方向荷重とする。
- 5) 群杭や組杭を試験杭とする場合は、試験の目的に応じた杭頭の拘束条件とする。
- 6) 試験杭が本杭の設計・施工条件と異なる場合は、その違いによる水平抵抗特性への影響を考慮して、計画最大荷重や計画最大変位、杭頭の拘束条件、載荷点高さなどを定める。

2.3 試験杭の仕様・本数および位置

- 1) 試験杭は、原則として、本杭のうちの代表的な杭と同一仕様のものでし、試験の目的に応じて決定する。
- 2) 試験杭は、原則として本杭と別に計画する。ただし、確認試験においては、杭体の強度に十分余裕があり、試験後の杭および地盤の残留変形が構造物に悪影響を与えないと予想される場合には、本杭を試験杭とすることができる。

2.4 試験装置

試験装置は、試験の目的、試験条件・方法、計画最大荷重・変位、杭の種類、周囲の状況などの諸条件を考慮して決定する。

2.5 載荷および測定方法

- 1) 載荷方法は、載荷型式、載荷方法および載荷サイクルに分類され、構造物の種類および試験の目的を考慮して決定する。
- 2) 載荷型式には、一方向載荷と正負交番載荷があり、いずれかの型式を選択する。
- 3) 載荷方式には、段階載荷方式と連続載荷方式があり、いずれかの方式を選択する。前者の場合は荷重(変位)段階数、各荷重(変位)段階における荷重保持時間を、後者の場合は載荷(変位)速度を試験の目的に応じて決定する。
- 4) 載荷サイクルには、単サイクルと多サイクルがあり、いずれかを選択する。後者の場合は、試験の目的に応じてサイクル数を決定する。
- 5) 測定方法は、載荷方法に応じて適切に決定する。

第3章 試験の準備

3.1 実施計画書の作成

試験の実施に先立ち、基本計画の内容および現地調査の結果に基づいて、試験の実施計画書を作成する。

3.2 試験杭の位置

試験杭の周囲は地表面に乱れがなく、原則として水平な地盤であるものとする。また、試験杭の変形に影響すると思われる範囲内に、構造物、盛土、反力杭、基準点などがあってはならない。

3.3 試験杭の設計

- 1) 試験杭の杭体は、計画最大荷重・変位に対して十分安全な強度・変形性能を有するものとする。

- 2) 試験杭の長さは、根入れ長さに加えて、加力・反力装置の組立て、基準梁の設置および計測機器の取付けに必要な地上露出長さを考慮したものとする。
- 3) 試験杭の載荷点において、局部的な破損や変形が生じないように、適切な補強を施すものとする。また、補強に当たっては加力装置の安全性も考慮する。
- 4) 試験杭に軸力を作用させる場合は、安全に試験が実施できるように試験杭を設計する。
- 5) 群杭や組杭を試験杭とする場合は、試験の目的を満足するように設計する。

3.4 試験杭の施工と養生

- 1) 試験杭は、原則として本杭と同様に施工する。
- 2) 試験杭の施工にあたっては、施工状況を詳細に記録する。
- 3) 試験杭は、コンクリートやセメントミルク等の硬化および杭の施工によって乱れた地盤の強度回復を考慮して、十分な期間養生する。
- 4) 養生期間中は、試験結果に影響を及ぼすような荷重・衝撃・振動などを試験杭に与えないように配慮する。

3.5 試験装置の設置

- 1) 実施計画書に基づき、試験装置を正確に設置する。
- 2) 日射や風雨が試験に悪影響を及ぼさないよう、試験装置をシートなどで覆い、試験場の周囲に排水溝を設ける。
- 3) 試験場に近接する工事・機械・車両などの振動が測定に与える影響を検討し、必要に応じて、それらの影響を小さくするよう対処する。

第4章 試験装置

4.1 試験装置の構成

- 1) 試験装置は、載荷装置および計測装置によって構成する。
- 2) 載荷装置は、加力装置および反力装置によって構成する。
- 3) 計測装置は、計測機器、基準点および基準梁により構成する。

4.2 加力装置

- 1) 加力装置は、ジャッキおよびポンプによって構成する。
- 2) 加力装置は、計画最大荷重に対して十分安全なものとする。
- 3) ジャッキは押しを原則とし、計画最大荷重に対して十分な加力能力と、試験杭および反力装置の変位に追従できる十分なストロークとを有するもので、検査済みのものを用いる。
- 4) ジャッキは、載荷軸に対して偏心のないように設置する。
- 5) 複数のジャッキを使用する場合には、同一仕様のものとする。
- 6) ポンプは、ジャッキの加力能力と、設定した載荷速度に対応できる十分な吐出量を有するものとする。
- 7) 試験杭に軸力を加える場合は、試験杭の変形を考慮して十分安全なものとする。

4.3 反力装置

- 1) 反力装置は、反力抵抗体および加力装置との接合部材によって構成する。
- 2) 反力装置は、十分な抵抗力を有するものとする。
- 3) 反力抵抗体は、原則として、載荷軸に対して対称に設置する。
- 4) 反力抵抗体は試験杭の変形に影響すると判断されると思われる範囲の外側に設置する。
- 5) 本杭を反力抵抗体に利用する場合は、杭体に悪影響を与えないように留意する。
- 6) 接合部材は作用する荷重に対して十分に安全な構造とする。

4.4 計測機器

- 1) 計測機器は、荷重、変位などのセンサーとそれらの表示・記録装置によって構成する。
- 2) 計測機器は、試験の目的に適合した精度を有し、検査済みのものを用いる。
- 3) センサーは、適切な位置・方向に確実に設置する。
- 4) センサーの設置に際しては、試験の進行による試験杭・加力装置・反力装置の変位や変形によって支障を受けないように、十分配慮する。

4.5 基準点および基準梁

- 1) 基準点は、本杭または仮設杭などの不動とみなせるものに設定する。
- 2) 基準点は試験杭の変形に影響すると判断される範囲の外側に設置する。
- 3) 基準梁は、基準点に確実に設置し、温度変化による変形が計測値に大きな影響を与えないように配慮する。
- 4) 基準点および基準梁は、地盤の振動などの影響を受けないように、十分な剛性を有するものとする。

第5章 載荷および測定方法

5.1 載荷方法

- 1) 構造物の種類、外力の種類および試験の目的を考慮して、載荷型式、載荷方式および載荷サイクルを決定する。
- 2) 段階載荷方式の場合、荷重段階数、載荷サイクル数、載荷速度および荷重保持時間は、表-5.1 および表-5.2 とする。

表-5.1 一方向・段階載荷方式による載荷方法

載荷サイクル数	単サイクルまたは多サイクル（4サイクル以上）		
段 階	荷重増加時		8段階以上
	荷重減少時		
速 度	荷重速度	増加時	計画最大荷重/8(kN/min)以下
		減少時	増加時の1~2倍
	変位速度	増加時	計画最大変位/8(mm/min)以下
		減少時	増加時の1~2倍

荷重保持時間	増加時	各荷重段階3min
	減少時	増加時の半分程度
	ゼロ荷重時	15min

表-5.2 正負交番・段階荷方式による荷方法

荷重サイクル数	多サイクル (4サイクル以上)	
段 階	荷重増加時	8段階以上
	荷重減少時	
速 度	荷重速度	計画最大荷重/8(kN/min)以下
	変位速度	計画最大変位/8(mm/min)以下
荷重保持時間	各荷重段階3min	

3) 連続荷方式の場合、試験の目的に応じた適切な荷重サイクル数とし、原則として、表-5.3 および表-5.4 に示す一定の速度にて連続して荷重増加または変位増加を行う。

表-5.3 一方向・連続荷方式による荷方法

荷重サイクル数	単サイクルまたは多サイクル (4サイクル以上)		
速 度	荷重速度	増加時	計画最大荷重/8(kN/min)以下
		減少時	増加時の1~2倍
	変位速度	増加時	計画最大変位/8(mm/min)以下
		減少時	増加時の1~2倍

表-5.4 正負交番・連続荷方式による荷方法

荷重サイクル数	多サイクル (4サイクル以上)	
速 度	荷重速度	計画最大荷重/8(kN/min)以下
	変位速度	計画最大変位/8(mm/min)以下

5.2 測定項目

測定項目は、次のうちから試験の目的に応じて選択する。

- (1) 時間、天候、気温
- (2) 荷重
- (3) 荷点の変位量
- (4) 杭頭の傾斜角
- (5) 反力装置の変位量
- (6) 周辺地盤の状況
- (7) 杭体のひずみ
- (8) 杭体のたわみ角
- (9) 土圧
- (10) その他

5.3 測定時期

- 1) 測定間隔は、測定項目、載荷方法に応じて定める。
- 2) 段階載荷方式の場合、各荷重段階に到達後の主要な項目の測定時期は、表-5.5 および表-5.6 に定めるとおりとする。

表-5.5 一方向・段階載荷方式による測定時期

各荷重段階	荷重増加時	0, 3min
	荷重減少時	0min
ゼロ荷重段階	増加時	0, 3, 15min

表-5.6 正負交番・段階載荷方式による測定時期

各荷重段階	0, 3min
-------	---------

- 3) 連続載荷方式の場合、滑らかな荷重-変位量関係が得られるように測定時期を設定する。測定中も荷重を連続的に増加・減少させることを原則とするが、主要な項目がほぼ同一荷重時において測定された値とみなせるように、速やかに測定を行う。

第6章 試験の実施

6.1 試験要員の構成

試験要員は、試験管理者および加力、測定、安全管理などの担当者によって構成する。

6.2 試験要員の任務

- 1) 試験管理者は、実施計画書に基づき担当者を配置するとともに、安全かつ確実に試験の目的が達成できるように、試験全般の管理を行う。
- 2) 各担当者は、試験開始前に試験装置の安全性を点検し、各装置が正常に作動することを確認する。
- 3) 加力担当者は、設定した載荷方法に従って、加力装置を操作する。
- 4) 測定担当者は、設定した時期に所定の測定項目を測定する。また試験状態が把握できるように、主要な測定データをその都度整理し、図示する。
- 5) 安全管理担当者は、試験中の試験装置の安全性および環境整備に十分に注意する。

6.3 試験の開始・中断・終了

- 1) 試験場の環境整備、各装置の準備、天候の状態などの条件が整ったことを確認して、試験を開始する。
- 2) 試験装置および試験杭に異常が認められたときは、速やかに試験を中断する。なお、その原因が除かれて試験の続行が可能と判断されたときは、試験を再開する。
- 3) 試験の目的が達成されたとき、またはやむを得ず試験の続行が不可能と判断されたときは、試験を終了する。

6.4 現場記録

試験の実施にあたっては、次の項目を現地で記録する。

- (1) プロジェクト名、試験場所
- (2) 試験の開始・中断・終了の年月日および時刻
- (3) 試験要員名
- (4) 天候の状態
- (5) 試験装置・試験杭の配置および諸元
- (6) 試験装置、試験状況などの写真
- (7) 特記事項（計画された試験方法の内容と差異が生じた場合の状況・原因・処理方法など）

第7章 試験結果のまとめ

7.1 結果の整理

- 1) 試験の測定データをもとに、荷重－時間、変位量－時間、荷重－変位量、荷重－弾性戻り量、荷重－残留変位量、荷重－杭頭回転角などの諸関係曲線を図示する。
- 2) 杭体のひずみや杭体の傾斜角を測定した場合は、杭の曲げひずみ分布、杭の曲げモーメント分布、変位量分布などについて図示する。
- 3) 試験の目的に応じて水平地盤反力係数を荷重－地表面変位量、杭頭回転角などより算定する。

7.2 結果の利用

水平力を受ける杭の挙動を載荷試験から推定しようとする場合には、実際の構造物における杭および荷重条件と、載荷試験における杭および荷重条件との違いを十分に考慮する。

7.3 報告書

報告書は、試験の目的・地盤の概要・土質性状、試験工程、試験杭の諸元・施工記録、試験装置、載荷および測定方法、試験結果などを記載する。

なお、土質性状については、できる限り地盤調査・土質試験データなどの詳細な情報を添付する。