

杭の押込み試験における実荷重反力受け台と試験杭との離隔

杭の載荷試験, 杭, 鉛直載荷試験

中央大学

国際 ○西岡 英俊

東京理科大学

国際 菊池 喜昭

愛知工業大学

国際

渡邊 康司

地盤試験所

正 亀井 秀一

システム計測

正

中里 彰人

杭の鉛直載荷試験基準改訂 WG

1. はじめに

「地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法・同解説 - 第一回改訂版-」(以下, 現行基準)は, 2002年(平成14年)の改訂・刊行から約20年が経過しており, 2018年度(平成30年度)より「杭の鉛直載荷試験基準改訂WG」(以下, 改訂WG)を設置して改訂作業を進めている。

本報では実荷重を反力抵抗体とする押込み試験(図1)における受け台と試験杭との離隔に関する規定の改訂案について報告する。なお, 現行基準においては, 基準本文で「試験杭中心と受け台との間隔は, 試験杭最大径の3倍以上かつ1.5m以上を原則とする」と規定されている。この規定は, 主に反力杭を想定して規定されたものを実荷重方式に準用したものであり, 実荷重の受け台からの地中応力の状態は詳細には考慮されていないのが実情である。

2. 受け台により生じる試験杭周面の地中応力分布

地表面における杭径 D_s の試験杭から離隔 X_s に設置した長方形(幅 B , 長さ L)の受け台に等分布荷重 q が作用する状態(図2左)を考える。なお, 離隔 X_s は, 反力杭方式

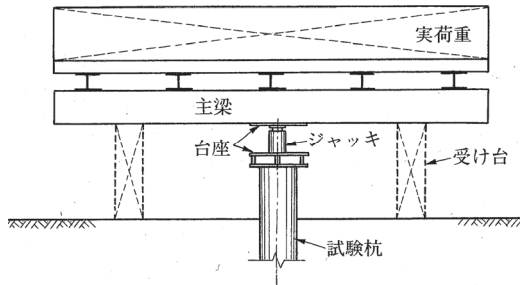


図1 実荷重を使用する場合の反力装置の例

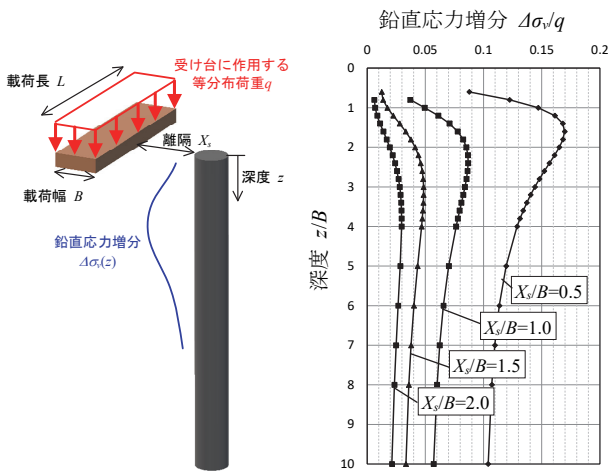


図2 試験杭周面での鉛直応力増分 ($L/B=2.0$ の場合)

での離隔に関する改訂案¹⁾において離隔の定義を杭中心間隔から杭のあきに変更したことにあわせて, 「地表面における試験杭の外周面と受け台の端部との最短距離」と定義する。受け台が支える総実荷重を W , 受け台の数を n とすれば, 受け台に作用する等分布荷重は $q=W/(nBL)$ である。地盤が弾性状態にあると仮定すれば, 試験杭周面(受け台側)の深度 z における地中応力の増分は, ブーシネスクが求めた集中荷重に対する応力解を積分した「ニューマークの図表」を用いて求めることができる²⁾。例として受け台の縦横比が $L/B=2.0$ で受け台の数が $n=1$ の場合について, $X_s/B=0.5\sim 2.0$ の範囲の鉛直応力増分 $\Delta\sigma_v$ の深度分布形状を図2に示し, 離隔 X_s に応じた $\Delta\sigma_v$ の最大値 $\Delta\sigma_{v,max}$ の関係を整理した結果を図3に示す。 $\Delta\sigma_{v,max}$ は離隔 X_s に概ね反比例することがわかる。また, $X_s/B=1.0$ の場合に受け台の縦横比 L/B の違いが $\Delta\sigma_{v,max}$ の値に及ぼす影響を整理した結果を図4に示す。 $L/B=1.0$ (正方形)に近い場合は $\Delta\sigma_{v,max}$ は L/B に概ね比例するが, L/B が大きくなっても正方形の場合の3倍程度の値で頭打ちになることがわかる。これらより, 試験杭周面位置での $\Delta\sigma_{v,max}$ は以下の式(1)で概ね安全側に近似することができる。

$$\Delta\sigma_{v,max} \approx 0.05 \frac{L}{B} \frac{B}{X_s} \frac{W}{nBL} \leq 0.15 \frac{B}{X_s} \frac{W}{nBL} \quad (1)$$

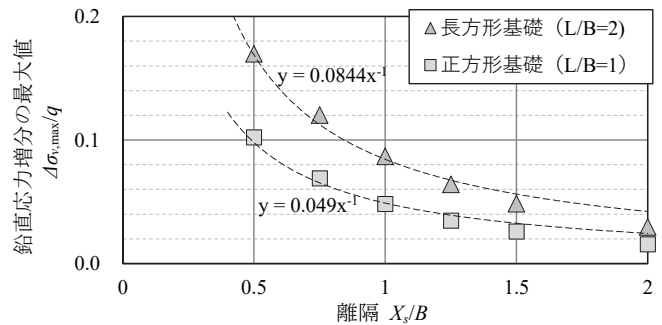


図3 鉛直応力増分の最大値と離隔の関係

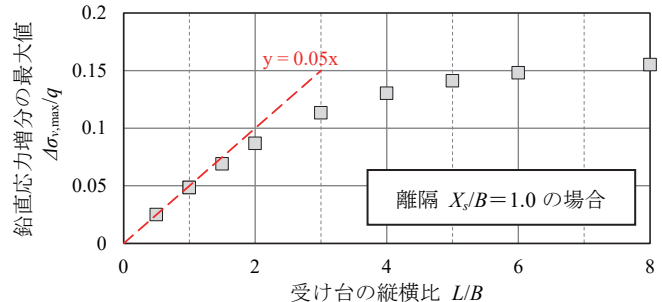


図4 鉛直応力増分の最大値と縦横比の関係

Spacing between test pile and kentledge in Axial Static Load Test for Single Piles

H. NISHIOKA (Chuo University), Y. KIKUCHI (Tokyo University of Science)

K. WATANABE (Aichi Institute of Technology), S. KAMEI (Jibanshikenjo), A. Nakazato (System Measure)

すなわち、試験杭周面位置での鉛直応力度が一定以下となるような制限を考えることで、離隔の最小値を設定することができる。

3. 表層部の周面支持力に及ぼす影響に関する制限

図2より受け台による地中応力増分は受け台幅 B の1～5倍程度の比較的浅い深度で最大値を示しており、これは主に表層部の周面支持力の評価に影響を及ぼすと考えられる。そこで試験杭周面の鉛直応力増分 $\Delta\sigma_v$ を表層部の影響範囲で積分した値が、載荷試験規模を代表する荷重 (P とする) に一定の低減率 (α_1 とする) を乗じた値以下となるように制限することを考える。ここで、ここで鉛直応力増分 $\Delta\sigma_v$ を式(1)の $\Delta\sigma_{v,max}$ で近似し、表層部の影響範囲が地表面から受け台幅 B の10倍の深度までと仮定すれば、この関係が式(2)で表される。

$$10B\pi D_s \times 0.05n \frac{L}{B} \frac{B}{X_s} \frac{W}{nBL} = 0.5 \frac{\pi W}{X_s} D_s \leq \alpha_1 P \quad (2)$$

この式を離隔 X_s の最小値を規定する式に書き改めれば、

$$X_s \geq \frac{0.5\pi W}{\alpha_1 P} D_s \quad (3)$$

となる。現行基準では離隔 X_s と杭径 D_s の比率は一定値として規定されていたが、式(3)によれば総実荷重 W と載荷試験規模を代表する荷重 P の比率の影響も考慮した離隔を設定することが可能となる。なお、載荷試験規模を代表する荷重 P については、本質的には試験杭の極限支持力や降伏支持力などが考えられるが、載荷試験の計画段階ではこれらを踏まえて設定される計画最大荷重を用いるのが現実的である。また、式(3)中の低減率 α_1 については、これを定量的に定めることは難しいため、過去の実績に対してキャリブレーションして設定する。具体的には、1971年(昭和46年)版の基準において「実荷重による反力装置を用いるときは、計画最大荷重の120%以上の荷重を積載できること」との規定があったことなどを踏まえ、総実荷重 W が計画最大荷重 P の1.25倍の場合に現行基準と離隔が一致する式(4)を提案する。

$$X_s \geq 2 \frac{W}{P} D_s \quad (4)$$

4. 試験杭の先端支持力に及ぼす影響に関する制限

図2より、受け台からの地中応力は比較的深部まで伝播するため、先端支持力の発現に大きく影響する杭先端位置での有効土被り圧 σ'_{v0} に対する鉛直応力増分 $\Delta\sigma_v$ の増加率 (α_2 とする) が一定以下となるように制限することを考える。ここで図2の分布形状をみると、 $z/B=10$ 付近での $\Delta\sigma_v$

の値は概ね最大値の2/3程度となっており、深部での z の影響は十分に小さくなっていることがわかる。そこで、試験杭先端部での $\Delta\sigma_v$ を式(1) (安全側に上限値を採用) の2/3倍で近似することとし、更に安全側に式(1)の上限値を用いることとすれば、この関係が以下の式(5)で表される。

$$n\Delta\sigma_v \approx \frac{2}{3} n\Delta\sigma_{v,max} = 0.05 \frac{B}{X_s} nq \leq \alpha_2 \sigma'_{v0} \quad (5)$$

式(5)中の増加率 α_2 の制限値を明確な根拠に基づいて示すことは難しいが、式(5)導出時に安全側に仮定していることや載荷荷重が増加するほど q が減少する影響などを考慮すれば、 $\alpha_2 = 0.1$ 程度としても試験結果に及ぼす影響は十分に軽減できると考えられる。これを踏まえ、以下の式(6)を提案する。

$$X_s \geq \frac{n}{2} \frac{q}{\sigma'_{v0}} B \quad (6)$$

5. 改訂案とそれを用いた試算例例

離隔に関する改訂案は、式(4)と式(6)の両方を満足させ、最小値(現行基準では1.5m)の規定を廃止するものである。これにより図5に示すような重機自重を用いた実荷重方式による小規模な載荷試験の増加が見込まれる。具体例として、現行基準では離隔の最小値(1.5m以上)の規定を満足できない0.7m³クラスのバックホウ(履帯幅 $B=0.6$ m, 履帯長 $L=3.6$ m, 履帯内面間距離1.6m, 自重 $W=216$ kN, 接地圧 $q=50$ kN/m²)で試算した結果を表1に示す。なお、地盤の有効単位体積重量は $\gamma'=16$ kN/m³ とし、載荷試験規模を代表する荷重 P は、計画最大荷重(一般的な範囲として重機自重 W の60%と仮定)で試算した。杭径 $D_s=0.2$ m, 杭長4m程度の小径杭であれば、式(4)と式(6)を両方満足できることが確認できる。

6. おわりに

本稿では、押込み試験基準における実荷重方式の受け台と試験杭との離隔について、最小値の規定を廃止して杭径に対する比率と受け台幅に対する比率の2項目で規定する改訂案を報告した。これにより従来よりも合理的な試験計画が可能となり、載荷試験の実施促進に寄与するものと考えている。今後、基準の改訂原案に反映する予定である。

参考文献

- 1) 菊池喜昭, 小梅慎平, 小椋仁志, 中里彰人: 杭の押込み試験基準における杭間の離隔に関する規定の改訂案, 第55回地盤工学研究発表会, No.21-9-4-08, 2020.
- 2) 地盤工学会編: 入門シリーズ9 地盤工学数式入門, pp.167-169, 2001.

表1 バックホウ(重量 $W=216$ kN)での試算例

計画最大荷重 P	130 kN (=0.6W)		
	杭径 D_s	0.2 m	0.2 m
離隔 X_s	0.7 m	0.7 m	0.675 m
式(4)の右辺と判定	0.66 m (Ok)	0.66 m (Ok)	0.83 m (NG)
杭長	4 m	2 m	4 m
有効土被り圧 σ'_{v0}	64 kN/m ²	32 kN/m ²	64 kN/m ²
式(6)の右辺と判定	0.47 m (Ok)	0.94 m (NG)	0.47 m (Ok)
総合判定	Ok	NG	NG

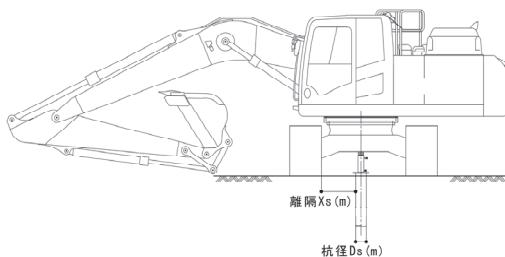


図5 重機自重を反力抵抗体とする押込み試験の例