

III-373

杭の支持力評価に関する研究

建設省土木研究所 ○ 田口 敏二

同 上 岡原美知夫

同 上 中谷 昌一

日本道路公団技術部 寺田 典生

1. まえがき

現在、コンクリート標準示方書（土木学会）を始めとして、様々な規準類の設計体系が限界状態設計法に移行する趨勢にある。このため、杭基礎の鉛直方向の安定に関しても、単杭の極限支持力を与える終局限界状態の定義を明確にするとともに、支持力推定式による極限支持力の推定精度についても定量的に評価し、適切な安定照査基準を作成する必要がある。本研究においては杭頭沈下量が杭径の10%に達した時の杭頭荷重を極限支持力と定義し、特に摩擦杭の先端支持力の評価及び周面摩擦力・先端支持力の分担率の適正な設計への反映を計ることを目的とし、打込み杭・場所打ち杭の支持力推定式の検討を行う。また、新たに提案した支持力推定式に対して、その推定精度を定量的に把握し、非超過確率と関連付けた安全係数について施工法別に検討を行うものである。

2. 研究方法

土木の分野で実施された多数の実杭の現地載荷試験データに基づき、まず極限支持力及び軸力測定結果を用いてそのときの周面摩擦力・先端支持力について整理を行う。次にこれらの整理結果に基づき打込み杭・場所打ち杭について支持力推定式の提案を行う。さらに、杭頭支持力比（実測極限支持力／計算極限支持力）の確率密度分布は正規分布することから、平均値及び変動係数に基づき、計算支持力値を低減する割合（安全係数）と支持力比が1.0を下回る確率との関係について取りまとめる。この安全係数は、抵抗側のばらつきを考慮し一定の確率のもとに抵抗力を保証するための係数としての意味をもつ。

3. 研究結果

3. 1 検討に用いた載荷試験データの内訳

本研究で採用した載荷試験データは229件であり、載荷試験データの内訳は表-1に示すとおりである。載荷レベルによる分類において、極限支持力 R_{u10} まで載荷されているデータ（ R_{u10} データ）と降伏支持力 R_y を確認できる程度まで載荷されているデータ（ R_y データ）とに区分する。ただし、ワイブル分布曲線式により支持力の推定を行うため、データの選定の段階で降伏支持力を越えて十分に載荷されたデータに限られている。杭種に関する略称をあわせて表-1に示す。

3. 2 SPP, CCPの先端支持力の評価

3. 2. 1 先端支持力の判定

軸力データはすべて極限支持力が得られているとは限らず、杭頭荷重が R_{u10} に達した時の R_p は以下に示す3通りの方法により判定した。

- ① R_{u10} までに載荷されている場合には、そのときの杭先端における実測反力 R_p とする。（ R_{p10} ）
- ② R_{u10} まで載荷されている場合には、ワイブル分布曲線式により杭先端における反力-沈下量の関係を推定し、杭先端での沈下量が杭径の10%に達したときの反力を R_p とする。（ R_{pw10} ）
- ③ 反力-沈下量の推定が困難であるデータについては、実測最大反力をもって R_p とする。（ R_{pmax} ）

R_{pmax} については必ずしも R_p に相当するものではないが、杭頭荷重が降伏支持力を超過していることから参考として以降の検討に加えるものとする。

表-1 載荷試験データ数 (件)

杭 種	略 称	支 持 杭		摩 擦 杭		合 計	
		R_{u10}	R_y のみ	R_{u10}	R_y のみ	R_{u10}	R_y のみ
打込み鋼管杭	SPP	14	0	12	0	26	0
		34	25	21	8	55	33
打込みPC-RC杭	PC RC	0	0	0	0	0	0
		0	24	2	13	2	37
場所打ち杭	CCP	16	0	16	0	32	0
		27	12	17	3	44	15
中継りPC杭	中継りPC	9	0	0	0	9	0
		12	11	0	0	12	11
中継り鋼管杭	中継りSPP	11	0	0	0	11	0
		16	4	0	0	16	4

【凡例】 上段：軸力データ、下段：全データ
 R_{u10} ：実測またはワイブル分布曲線式により極限支持力（ R_{u10} ）が得られているデータ。

R_y のみ：降伏支持力 R_y のみ得られているデータ。ここでは R_{u10} は、 $a \cdot R_y$ により仮定している。

SPP支持杭 $a=1.40$

中継り杭 $a=1.35$

上記以外の杭 $a=1.50$

表-2 最大周面摩擦力度

	S P P	C C P
砂 質 土	0.3 N ($\leq 10 \text{ t/m}^2$)	0.4 N ($\leq 20 \text{ t/m}^2$)
粘 性 土	N ($\leq 5 \text{ t/m}^2$)	N ($\leq 5 \text{ t/m}^2$)

3. 2. 2 杭先端N値と先端支持力 qd との比較

図-1, 2は杭先端の土質別にみた qd と N 値との関係を示すものである。杭先端N値はSPPについては道示における設計用N値、CCPについては杭先端におけるN値としている。SPP及びCCPとも qd は概ね 10 N 程度に相当しており、上限値については図中に示す値は期待できそうである。

図-3, 4は、qd と N 値との関係式に基づく杭先端支持力 Rpn と実測支持力 Pp1 との相関を見たものである。なお、図中の矢印については Rpmax を示すものである。また、本研究においては、最大周面摩擦力度 f の推定式の検討は行わないが、現在基礎研究室において別途調査が進められており、f と周面N値との関係式として表-2が得られている。

3. 3 支持力推定式の推定精度に関する調査

図-5は、全データを用いて得られた杭頭支持力比 P の平均値 $\bar{P}$ 及び変動係数 Vp について比較したものである。周面摩擦力度の上限値を上げる ($\leq 15 \text{ tf/m}^2$) ことにより、より平均値に近い値を推定することにはなるが若干変動係数が大きくなり推定精度が落ちる傾向にある。今回得られた関係式に基づけば、P は 1 以上、Vp は 30~40% となることが判る。

3. 4 安全係数の検討

3. 4. 1 安全係数の定義

支持力比を確率変数とし、それぞれの平均値及び変動係数を考慮し、支持力比が 1 を下回る確率（非超過確率）をある特定値とするのに必要となる、推定値を低減する係数 $F (< 1.0)$ を安全係数と定義する。

$$F = P / (P) F = (1 - \beta \cdot V_p) \bar{P} \quad (1)$$

ここに、 $(P) F : P / F$

β : 非超過確率に応じて定まる定数

係数 F の概念は、図-6 に示すとおりであり P が正規分布する場合、式(1)により得られる。

3. 4. 2 安全係数の比較

図-7 は非超過確率を変化させ、施工法別に安全係数を比較したものである。支持力比が 1.0 を下回る確率を 5% とするためには、SPP 及び CCP については提案式による推定値を 4~5 割に低減すればよいことが判る。

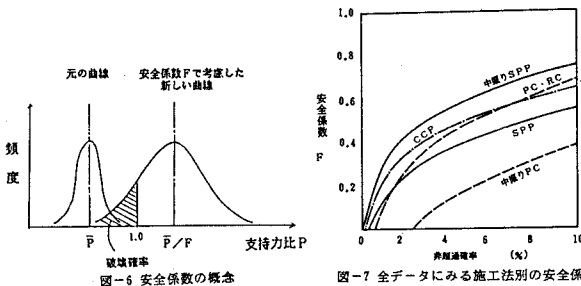


図-7 全データにみる施工法別の安全係数

