

日本道路公団 試験所 正員 藤原 博
正員 石橋 忠
樫山 好幸

1. まえがき

道路橋示方書・同解説（以下「示方書」という）では、杭の打止め管理式として波動理論に基づく動的支支持力算定式を提案している。^{1)~6)}

本報文は、日本道路公団（以下「公団」という）で杭打ち試験と鉛直載荷試験を同時に実施した先端支持力杭の試験48例の結果から、杭の根入れ長による補正を考慮した実用的な打止め管理式を提案するものである。

2. 資料の整理

検討に用いた資料を、杭の支持形態別に分類したものを図-1に示す。

杭の支持形態	中間層の地質	データ数(本)
完全支持杭	○ 粘性土主体	18
	● 砂質土主体	8
	△ 粘性土と砂質土の互層	17
	□ シラス主体	1
不完全支持杭	○ 粘性土主体	0
	● 砂質土主体	2
	△ 粘性土と砂質土の互層	1
	□ シラス主体	1

不完全支持杭 8.3%

完全支持杭 91.7%

図-1 資料の内訳

3. 道示式の適用性の検討

示方書における動的支支持力算定式は次式で表わされる。

$$R_{da} = \frac{1}{3} \left[\frac{AE(S+K_s+2K_o)}{2eol} + \frac{\bar{N}U}{ef} \right] \quad (1) \text{式}$$

$$R_{da} = \frac{1}{3} \left[\frac{AEK}{eol} + \frac{\bar{N}U}{ef} \right] \quad (2) \text{式}$$

表-1 補正係数

く	い	種	e_o	e_f
鋼い、(中掘り最終打撃いを含む)			$1.5 \frac{W_p}{W_r}$	2.5
コンクリートい、(PCい、RCい)			$2 \frac{W_p}{W_r}$	2.5
中掘り最終打撃い、(PCい)			$4 \frac{W_p}{W_r}$	10

(注) W_p : ハンマーまたはおの重量 (tf)
 W_r : 杭の重量 (tf)

表-2 l の採り方

	l の採り方
$e_o \geq 1$	l
$1 > e_o \geq 1m/l$	$l m / e_o$
$e_o < 1m/l$	l

l : 杭の全長 (m)
l : リバウンドの測定点から下の杭長 (m)

表-3 周面摩擦係数 f_i (tf/m²)

施工法	打込み杭工法
地盤の種類	
砂質土	0.2 N (≦10)
粘性土	CまたはN (≦15)

(注) $N \leq 2$ の軟弱層では信頼性が乏しいので周面摩擦抵抗を考慮してはならない。

ここに、 e_o, e_f は補正係数、 A, E, l は杭の実断面積と弾性係数、杭長、 S, K_s, K_o はリバウンド測定によって得られる貫入量、先端地盤リバウンド量、杭体の弾性によるリバウンド量 ($K=K_s+K_o$)、 $\bar{N}$ は杭周面の平均N値、 U は杭の周長である。(以下「道示式」という)

また、地質調査結果等より支持力を求める、いわゆる静力学公式は次式で表わされる。

$$R_u = q_d \cdot A + U \sum l_i f_i \quad (3) \text{式}$$

ここに、 R_u は地盤から決まる杭の極限支持力、 A は杭先端面積、 q_d は杭先端の単位面積あたりの極限支持力度、 U は杭の周長、 l_i, f_i は周面摩擦力を考慮する層厚と最大周面摩擦力度である。なお q_d は支持層への換算根入れ深さと杭径の比(根入れ比)との関係によって補正され、 f_i は周面地盤の種類によって求まる。

道示式を見直すにあたり、一項目の先端支持力項と二項目の周面摩擦力項に分けて検討を加えた。すなわち各支持力式(道示式、Hiley式および静力学公式)より算定された極限荷重(支持力)と鉛直載荷試験結果の関係から、①道示式と鉛直載荷試験による極限荷重の比較、②Hiley式と鉛直載荷試験による極限荷重の比較、③静力学公式と鉛直載荷試験による極限荷重の比較、④道示式(先端支持力項を¹⁾/₃乗にした場合)と鉛直載荷試験による極限荷重の比較、等を行った。これらの結果から、

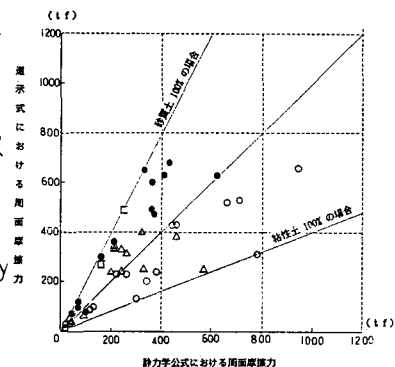


図-2 道示式と静力学公式における周面摩擦力の関係

道式から求められた極限荷重は大きく、静力学公式からは小さく出る傾向にあることがわかった。これは主として道式中の周面摩擦力項の問題であると思われる。図-2は道式と静力学公式の周面摩擦力を比較したものである。図-2に示すように、中間層が全て砂質土である場合、道式の周面摩擦力は静力学公式で計算した場合の2倍程度になり、全て粘性土である場合には $2/5$ になる。これは道式での計算結果が、中間層の地質により、かなり影響を受けていることによるものであり、道式においても静力学公式のように中間層の地質によって周面摩擦力の評価を変えるべきであると考え。そこで道式の周面摩擦力項を静力学公式の周面摩擦力項におきかえて計算した極限荷重と鉛直載荷試験結果とを比較したものを図-3に示す。図-3において周面摩擦力項を修正することにより、鉛直載荷試験との対応は良くなった。この周面摩擦力項を置き換えた式を「修正道式」と呼び、以下修正道式を用いて検討を加えた。図-4は修正道式による極限荷重 R_{up} と鉛直載荷試験による極限荷重 R_{ul} との比 $r_u = R_{up}/R_{ul}$ と、杭の根入れ長 l_2 との関係を示した。

(図中の数字は杭径を示す) 図-4において、 r_u が杭の根入れ長と相関性の良いことが明白である。

4. 実用的補正方法の提案

これまでの検討結果をもとに、先端支持杭に対する杭打ち試験の実用的な打止め管理式として次式を提案する。

$$\text{提案式} \quad R_{up} = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{AEK}{e o l} + U \sum i f i \right]$$

提案式によって求めた極限荷重と鉛直載荷試験の極限荷重との関係を図-5に示す。

5. あとがき

今回、先端支持杭の打止め管理式として道式を適用するにあたり、既往の公団の杭打ち試験と鉛直載荷試験の結果を比較検討することにより、道式における先端支持力項と静力学公式の周面摩擦力項とを組合わせた修正道式に根入れ長による補正を加えたものを、新たな杭の打止め管理式として提案した。そしてこの提案式は既往の鉛直載荷試験結果と非常に良い相関を示している。しかしながら本提案式を用いる場合は、本式の検討過程を十分理解した上で適用するとともに、今後、本提案式をさらに検討していく上でも、先端地盤と杭体のリバウンド量を分離して測定したデータの蓄積が必要と思われる。

- 参考文献 1) 日本道路協会; 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造篇、昭和55年 5月、pp360 ~ pp362
 2) 宇部 一馬 他; 波動理論に基づいた杭の動的支持力算定式の提案、第14回土質工学会発表会、昭和54年、pp901 ~ pp904
 3) 宇部 一馬 他; 波動理論に基づいた杭の打止め管理式、第15回土質工学会発表会、昭和55年、pp949 ~ pp952
 4) 宇部 一馬 他; 打込み杭のリバウンド測定値の補正方法、第16回土質工学会発表会、昭和56年、pp909 ~ pp912
 5) 宇部 一馬 他; 杭の打止め管理式の再検討、第17回土質工学会発表会、昭和57年、pp2041 ~ pp2044
 6) 宇部 一馬 他; 杭打ち公式に関する波動理論的考察、第18回土質工学会発表会、昭和58年、pp1013 ~ pp1016
 7) (財) 国土開発技術センター; 低騒音型油圧R/A/N-7 施工研究報告、昭和59年 9月、pp39 ~ pp66
 8) 宇部 一馬 他; 杭の載荷試験結果の整理方法、基礎工 Vol.10, No.9、昭和57年、pp21 ~ pp30

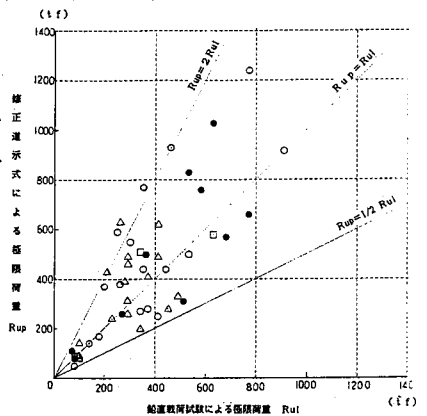


図-3 修正道式と鉛直載荷試験による極限荷重の関係

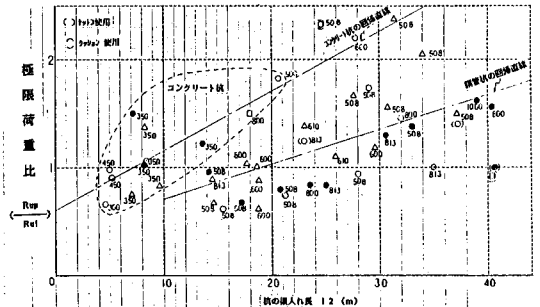


図-4 修正道式と鉛直載荷試験による極限荷重比と杭の根入れ長の関係

表-4 補正係数 α

杭 種	α
鋼 管 杭	$0.033 l_2 + 0.382$
コンクリート杭	$0.055 l_2 + 0.617$

(注) l_2 は杭の根入れ長
 杭の根入れ長の補正は、鋼管杭が50m、コンクリート杭が20mを限度とする。

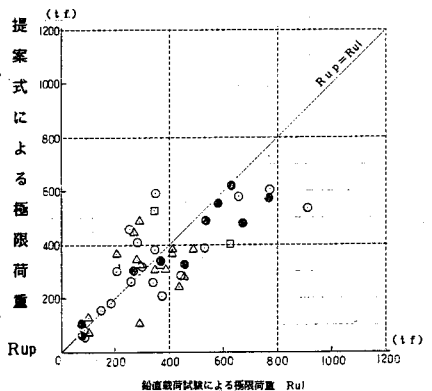


図-5 提案式と鉛直載荷試験による極限荷重の関係