

杭のネガティブフリクションに関する一考察

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
 同 同 松井 保
 大成建設 同 石川 達彦

[1] まえがき

軟弱地盤中に打込まれた支持杭には、地盤沈下によりネガティブフリクションが生じ、杭先端の支持力に大きな影響を及ぼす。このネガティブフリクションをあらかじめ推定する場合、その最大値は杭と軟弱粘土との接触面積に粘土のせん断抵抗力を乗じた値として概算されている。しかし実際には杭全長にわたってネガティブフリクションの最大値が作用することはほとんどなく、通常 $1/2 \sim 1/3$ 程度と考えられている。このようにネガティブフリクションがその最大値より小さくなる原因としては、おもに杭周辺地盤の沈下量の不足、杭の沈下、杭の表面状態²⁾、粘土の応力緩和等が考えられる。これらの原因のうち、杭の沈下すなわち杭先端の支持状態によるネガティブフリクションの減少については、すでに報告³⁾したごとく、杭にわずかな沈下が生じててもネガティブフリクションの減少に通常考えられているよりも大きな影響を与える。そこで本報告においては、このネガティブフリクションの減少のメカニズムについて理論的に検討し、模型実験を行ない、三の考察を加えたのでその結果を報告する。

[2] 理論式

図-1のごとく、杭の半径を r 、圧密粘土層厚を h 、杭先端沈下量を y とし、杭の沈下によって生ずる杭のネガティブフリクションの減少について理論式を導く。図-2のごとく地表面から任意深さ z における杭の微小部分 dz をとリ、 dz に作用する単位面積当りのネガティブフリクションを n_f 、 dz の沈下量を y' とする。そこで、 dz に作用するネガティブフリクションの減少量は dz の沈下量 y' に比例すると仮定すると、 dz の杭周面に作用するネガティブフリクションは次式で表わされる。

$$2\pi r \cdot n_f \cdot dz = 2\pi r (n_{f \max} - m y') dz \quad (1)$$

ここに、 $n_{f \max}$ は杭が沈下しない場合に発生するネガティブフリクション、 m は比例定数である。つぎに、杭全体に作用する全ネガティブフリクションを N_f 、杭が沈下しない場合のそれを $N_{f \max}$ として、式(1)を杭全長について積分すると、

$$N_f = N_{f \max} - 2\pi r \int_0^h m y' dz \quad (2)$$

式(2)において、 m は粘土の土質およびせん断抵抗力あるいは杭の表面状態等により変化すると考えられ、 y' は杭自体のひずみ量を考慮すれば、一般に m および y' はともに z の関数である。そこで簡単化のために、 m については圧密粘土層全体

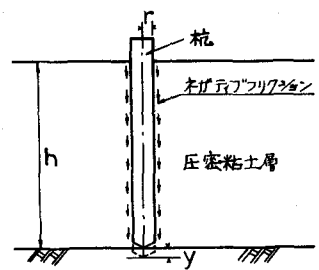


図-1

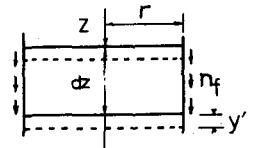


図-2

の平均の m を $\bar{m}$ (一定) とおき、 y については杭自体のひずみ量を無視し、杭は剛体として先端沈下量 y だけ沈下すると考える。また杭先端地盤の支持状態は杭先端に弾性バネが存在するものと仮定すると、杭先端沈下量 y は、

$$y = N_f / k \quad (3)$$

ここに k は支持地盤のバネ定数である。したがって、 $\bar{m}$ および式(3)を用いると、式(2)より、

$$N_f = N_{f \max} - \bar{m} \cdot \frac{2\pi r h}{k} N_f \quad (4)$$

杭が沈下することによって生ずるネガティブフリクションの減少率を $\beta (= N_f / N_{f \max})$ とおくと、式(4)より

$$\beta = 1 / (1 + \bar{m} \cdot \frac{S}{k}) \quad \text{ここに } S = 2\pi r h \quad (5)$$

[3] 実験方法および結果

図-3に示すような装置を用い、長さ710mm、径φ16、φ21、φ29mmの3種の鋼管模型杭をロードセルおよび剛性の異なる鋼製カンティレバー式荷重計で支持し、先端の支持状態が異なるようにして直接ネガティブフリクションを測定する。使用する粘土試料は、粘土30%、シルト49%、砂21%の粘土で、L.L. 48.8%、P.L. 26.7%、土粒子の比重2.61、初期含水比約95%である。

実験Ⅰ：φ29mmの鋼管杭を10本使用し、それぞれ2個のロードセルおよび4種のカンティレバー式荷重計(バネ定数 k はそれぞれ $k = 8.8, 13.5, 17.5, 27.8 \text{ kg/cm}$)で支持し、ネガティブフリクションを測定する。

実験Ⅱ：φ16、φ21、φ29mmの3種の鋼管杭をそれぞれ3本ずつ使用し、1種類の径につき1個のロードセルおよび2個のカンティレバー式荷重計($k = 20.6 \text{ kg/cm}$)で支持し、ネガティブフリクションを測定する。

以上のようにして実験を行なうと、2週間後の表面沈下量は約45cmに達し、杭には十分ネガティブフリクションが発生していると思われる。したがって、すべての杭に対して2週間後の杭先端沈下量およびネガティブフリクションの測定結果をまとめると表-1のごとくになる。またロードセルはカンティレバー式荷重計に比べて剛性が非常に大きいので、 k が無限大すなわち杭先端沈下量が0の場合に相当すると考えて、ロード

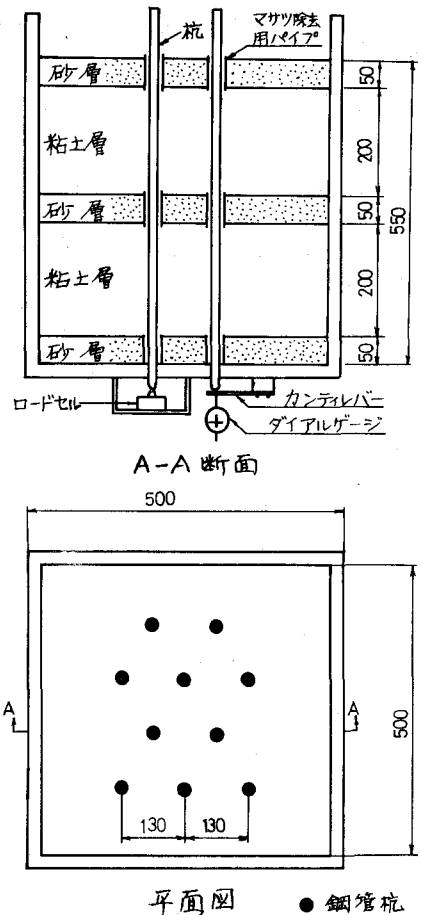


図-3

セルで測定したネガティブフリクションを N_f max としておのこの測定値につき $\beta (= N_f / N_f \text{ max})$ を求めると、表中の値が得られる。

(4) 考察

横軸が k/S 、縦軸が β のグラフに実験値をプロットすると図-4のごとくになる。この図から、杭径 $\phi 16 \text{ mm}$ の場合を除くと k/S が増加するとともに β も増加する傾向が認められ、式(5)で示される理論式の傾向と一致する。 k/S および β の実験値を使って式(5)より $\bar{m}$ を求めると、表-1に示される値になり、杭径 $\phi 16 \text{ mm}$ の場合を除くと $\bar{m}$ は約 $1 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$ でほぼ一定値をとるようである。そこで、 $\bar{m} = 1 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$ として式(5)より $\beta - k/S$ 曲線を求めて図示すると、図-4中の一点鎖線のごとく、 $k/S = 0$ で $\beta = 0$ 、 $k/S \rightarrow \infty$ で、 $\beta \rightarrow 1$ なる曲線になる。また杭径 $\phi 16 \text{ mm}$ を除

く他のすべての杭は表面状態がほぼ同じようであったが、杭径 $\phi 16 \text{ mm}$ の杭は表面の腐蝕が進んでいて他の杭よりも粗であった(これは実験した単位面積当りのネガティブフリクションがこの実験中最大であることからわかる)ので、その影響があらわれているのではないと思われる。データが少ないので断定はできないが、表面状態が粗になれば同じ k/S に対して β は小さくなる、すなわち $\bar{m}$ が大きくなる傾向があるものと思われる。

(5) あとがき

今後の課題として、 $\bar{m}$ に対する杭の表面状態の影響、粘土の土質あるいはせん断抵抗力の影響等について詳細を検討を加えたい。終りに、本研究において実験に本学学生平井孝典君の協力を得たので謝意を表する。

参考文献 1) 日本建築学会：建築鋼い基礎設計施工標準・解説 (1963)

2) Potyondy: Skin Friction between Various Soils and Construction Materials, Geotechnique, XI-4 (1961)

3) 伊藤・松井：「杭のネガティブフリクションの計算法について」第3回土質工学研究発表会講演集 (1968)

伊藤・松井・石川：「杭のネガティブフリクションに関する考察」第23回土木学会年次講演会概要 (1968)

	杭 径 ϕ mm	荷 重 計	バネ定数 k kg/cm	k/S 10^2 kg/cm^2	杭先端の埋 入深度 y mm	杭のフリク ション N_f kg	$\beta = \frac{N_f}{N_f \text{ max}}$	$\bar{m}$ 10^2 kg/cm^2
実 験 I	29	カンティレバー	8.8	242	1.10	0.964	0.69	1.1
		"	13.5	3.70	0.79	1.065	0.77	1.1
		"	17.5	4.81	0.67	1.170	0.85	0.9
		"	27.8	7.63	0.46	1.286	0.93	0.6
		ロードセル	∞	∞	0	1.384	1.00	—
実 験 II	29	カンティレバー	20.6	5.52	0.62	1.270	0.81	1.3
		ロードセル	∞	∞	0	1.573	1.00	—
	21	カンティレバー	20.6	8.06	0.43	0.883	0.88	1.1
		ロードセル	∞	∞	0	0.946	1.00	—
	16	カンティレバー	20.6	10.01	0.34	0.693	0.73	3.7
		ロードセル	∞	∞	0	0.946	1.00	—

表-1

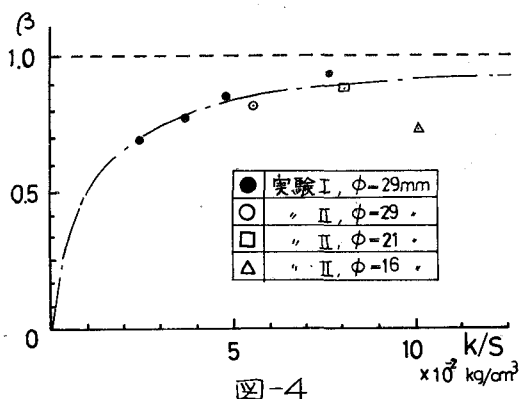


図-4