

水平荷重を受けるパイルドラフトの挙動に関する解析的研究 (その2. 応力性状および杭頭荷重分担率の簡易計算法)

○ 池田 篤則*¹正会員 土屋 勉*²同 木田 和宜*³

1. はじめに

建築構造物の基礎には、地震力や風圧力等の短期的な水平荷重が作用する。これに対する杭基礎構造物の構造設計においては、地下などの根入れがある場合を除き、全ての水平荷重を杭に負担させるのが一般的である。しかし、軟弱地盤に支持されるパイルドラフトのような場合、ラフトから地盤に直接伝達する荷重もあるので、杭が負担する水平荷重は低減することが、これまでの研究¹⁾でも明らかになっている。

本論文では、前報²⁾に引き続き、水平荷重を受けるパイルドラフトの諸元を種々変化させた解析を行い、パイルドラフトの応力性状を明らかにした後、杭頭荷重分担率を算定する簡易計算法を提案する。

2. 解析モデルおよび解析方法

解析の対象、解析の際に変化させた因子および諸元、解析方法については前報²⁾と同様である。ここでは、主として均一な弾性地盤に設置されたパイルドラフトのうち、S5-TYPE, L5-TYPE, R5-TYPE について検討する。

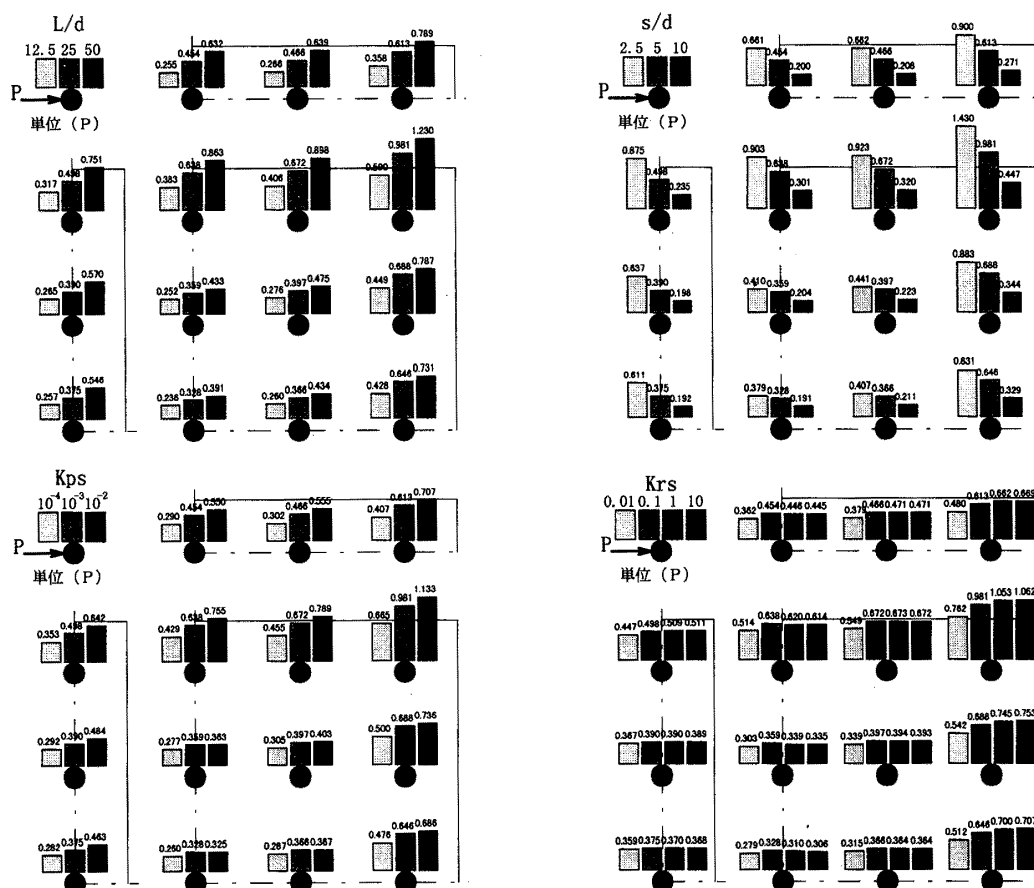


図1 各杭の杭頭負担荷重 (S5-TYPE, L5-TYPE, R5-TYPE)

An analytical study on behavior of piled rafts due to lateral load
(Part 2 ; Pile head stress of piled rafts)

IKEDA Atsunori et al.

3. パイルドラフトの応力性状

3. 1 杭頭負担荷重

図1は、S5-TYPE, L5-TYPE, R5-TYPE の各因子の諸元を変化させた場合の、各杭の杭頭負担荷重を示したものである。全タイプともに、 L/d が大きい場合、 s/d が小さい場合、 Kps が大きい場合に、各杭の杭頭負担荷重は大きくなる。しかし、 Krs による変化は小さく、 Krs が1以上になると各杭の杭頭負担荷重はほとんど変化しない。いずれの諸元の場合も、S5-TYPE では、ラフト隅角部およびラフト辺部に位置する杭、L5-TYPE, R5-TYPE では、ラフト端部に位置する杭の負担荷重が大きくなっている。これは、ラフト剛性を介した荷重再配分現象を反映したためである。

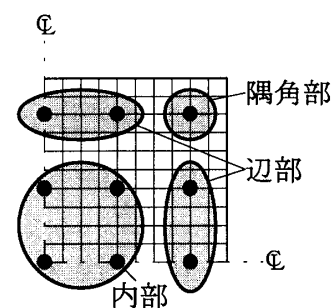


図2 ラフト内の杭の分類

S-TYPE の形状を有するパイルドラフトの場合、各杭を負担荷重の大きさの点からラフト内の杭位置によって、図2に示すように、ラフト内部、辺部、隅角部の3種に分類してみる。図3は、S5-TYPE のラフト内部に位置する杭の平均の杭頭

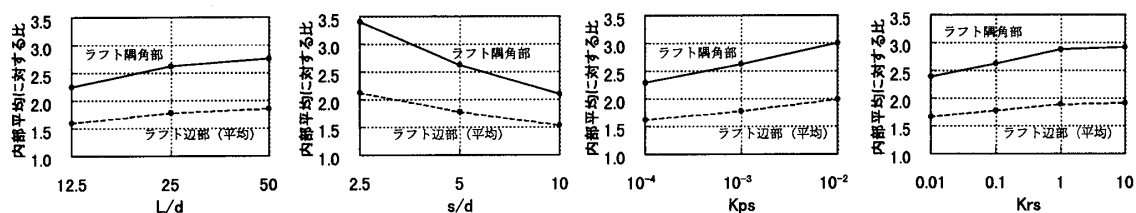


図3 ラフト内部の杭の杭頭負担荷重に対する比

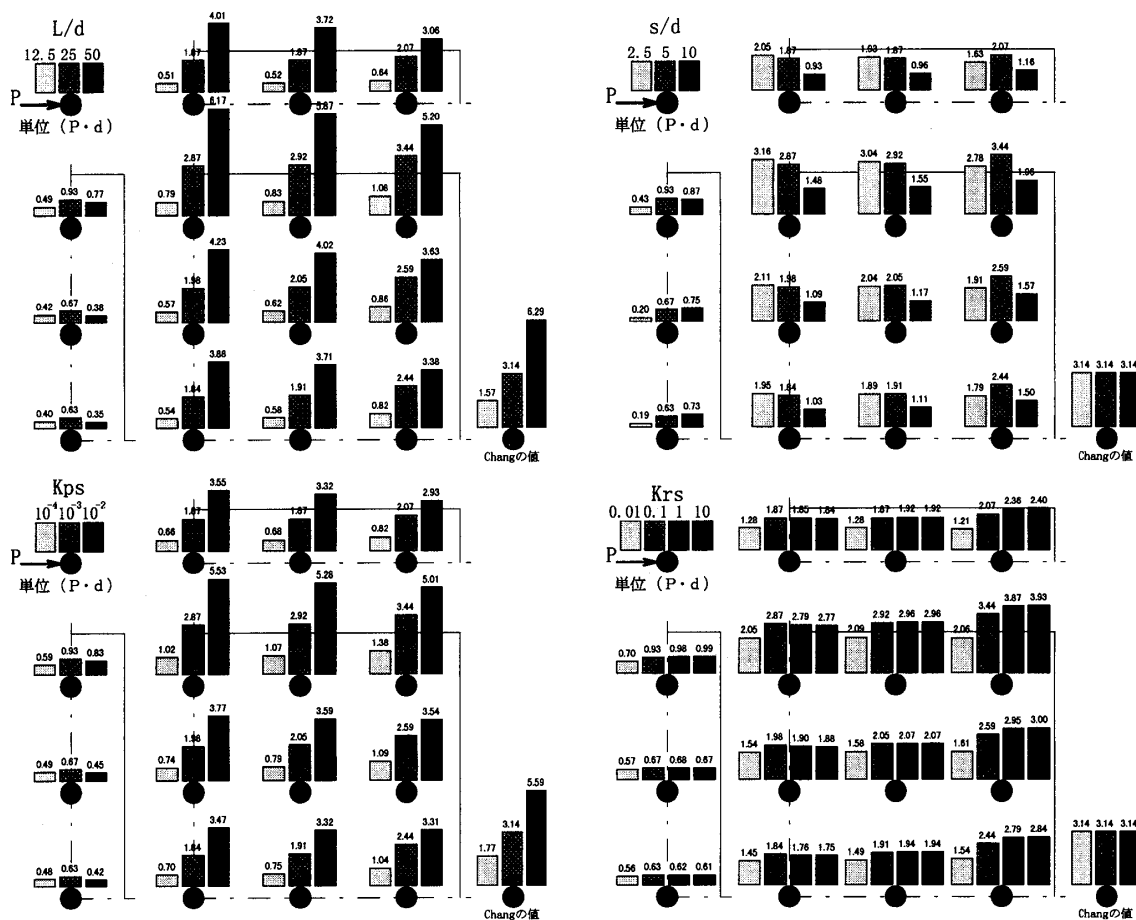


図4 各杭の杭頭曲げモーメント (S5-TYPE, L5-TYPE, R5-TYPE)

負担荷重に対する、ラフト隅角部およびラフト辺部に位置する杭の平均の負担荷重の比を示したものである。ラフト辺部に位置する杭の平均値は1.5~2.0程度、ラフト隅角部の杭は2.0~3.5程度の値となっている。このように、ラフト内の杭位置によって各杭の負担荷重が大きく異なることについては、より合理的な設計法を図る上で是非考慮すべき現象であると考ええる。

3. 2 杭頭曲げモーメント

図4は、各杭の杭頭曲げモーメントを図1と同様に示したものである。なお、図中には杭頭固定条件とした場合のChang式による曲げモーメントを示してあるが、 L/d および Kps の因子以外は影響せず、3.14 (P·d) と一定である。S5-TYPE や L5-TYPE のパイルドラフトでは、 L/d および Kps の増加に伴い、各杭の杭頭曲げモーメントが増大する様子が顕著である。R5-TYPE では、各因子の諸元の変化によらず各杭の杭頭曲げモーメントの値は小さい。これは、R-TYPE のような形状のパイルドラフトの場合、各因子の諸元や杭本数によらずラフトの固定度が小さいことを意味している。S5-TYPE や R5-TYPE では、いずれの諸元においても、荷重の作用方向に対して直角方向に位置する杭の杭頭曲げモーメントが大きくなる傾向を示している。

3. 3 杭頭曲げモーメント比

図5は、Chang式で得られる杭頭曲げモーメントに対するパイルドラフト各杭の杭頭曲げモーメント比を示したものである。ただし、この場合のChang式の杭頭曲げモーメントとは、図1に示したパイルドラフトの各杭頭で負担する水平力を作用させたときの結果であることに注意されたい。

S5-TYPE や L5-TYPE では、いずれの諸元の場合も各杭の杭頭曲げモーメント比は、ラフト中心部に位置する杭ほど大きくなる。これは、ラフト周辺部よりもラフト中心部の固定度が高いことを反映したものと考えられる。また、その値が1以上となることが多いのは、パイルドラフトの規模の増加に伴って、水平変位が増大するためと考えられる。R5-TYPE では、 L/d および Kps が小さくなるほど、 s/d が大きくなるほど各杭の杭頭曲げモーメント比が大きくなり、Changの解の杭頭曲げモーメントと同等あるいはそれ以上となる。しかし、 Krs による変化はほとんどない。

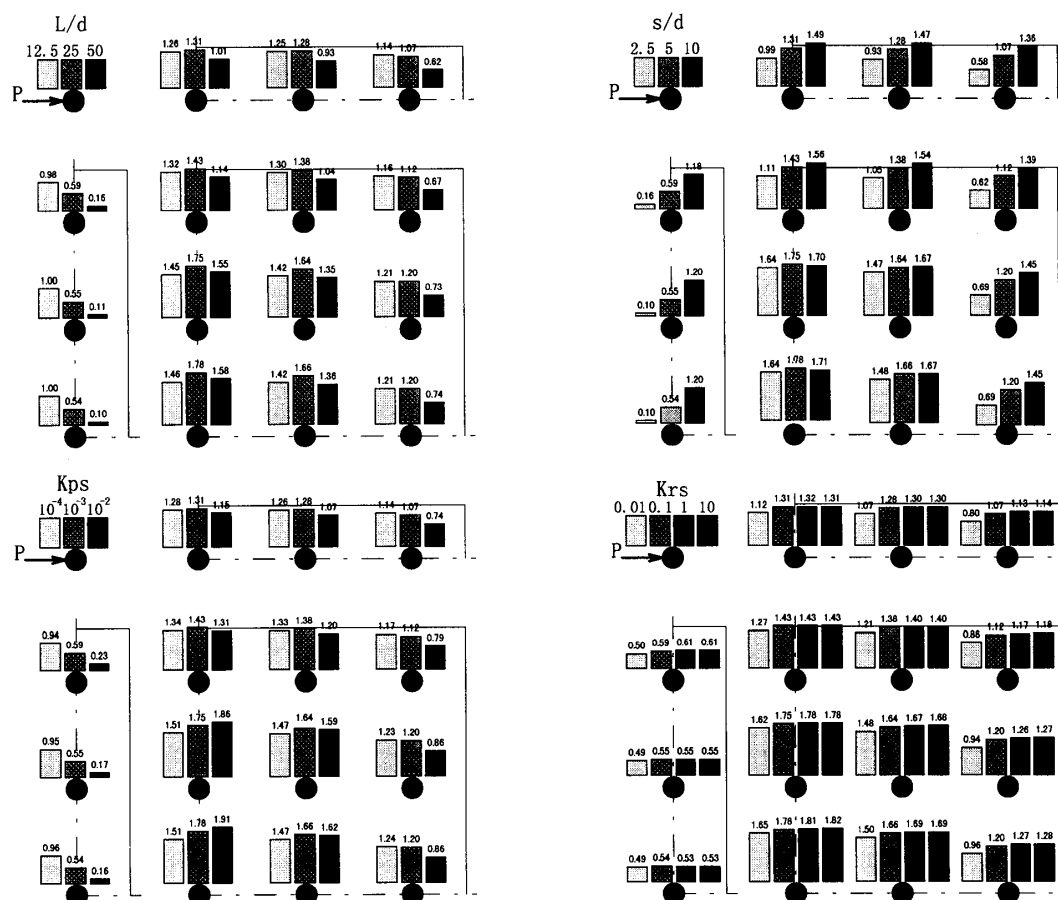


図5 各杭の杭頭曲げモーメント比 (S5-TYPE, L5-TYPE, R5-TYPE)

4. 杭頭荷重分担率の簡易計算法

パイルドラフトの杭頭負担荷重の解析結果をもとに、各モデルの平均の杭頭の荷重分担率を略算的に算定する方法を誘導する。図6は、基本モデルにおける平均の杭頭の荷重分担率 H_p^* をプロットしたものである。S-TYPE は、杭本数の増加に伴い杭頭荷重分担率は次第に増加する。R-TYPE は、杭本数が増加すると、杭頭荷重分担率は 0.4~0.5 の間に収束するような傾向を示す。L-TYPE は、S-TYPE と R-TYPE の中間的な値を示す。各タイプとも、杭頭荷重分担率が 1.0 よりも小さな値となるのは、ラフトから地盤へ直接伝達する荷重によって、杭頭の荷重分担率が低減することを意味している。これらの杭頭荷重分担率は、次のような近似式で概ね表すことができる。

(S-TYPE の場合)

$$H_p^* = 0.16(\sqrt{n}-1)^{0.60} + 0.24 \quad \dots (1)$$

(L-TYPE の場合)

$$H_p^* = 0.10(n-2)^{0.50} + 0.35 \quad \dots (2)$$

(R-TYPE の場合)

$$H_p^* = 0.05(n-2)^{0.42} + 0.35 \quad \dots (3)$$

ここで、 n : 杭本数

ただし、L, R-TYPE は、 $n \geq 2$ とする。

パイルドラフトの因子の諸元が変化する場合、上記の略算式で求めた基本モデル値に乗ずる修正係数を定める必要がある。ある 1 つの因子の諸元を変化させる場合には、各タイプとも、修正係数に及ぼす杭本数の影響は小さいので、略算的には杭本数に関わらず同一の値を用いて修正できると考え、本論文では表 1 に示す修正係数を提案する。ただし、複数の因子が同時に基本モデルと異なる場合については、略算式の精度がまだ十分とはいえないので、今後の検討が必要である。

5. まとめ

本論文では、水平荷重を受けるパイルドラフトの応力性状を明らかにし、杭頭荷重分担率の簡易計算法を提案したが、以下のようにまとめられる。

- ①ラフトから地盤に直接伝達される荷重によって、各杭が負担する水平荷重は一般に低減するが、ラフト隅角部およびラフト辺部に位置する杭は、ラフト剛性を介した荷重再配分によって負担荷重が大きくなる。
- ②S-TYPE のような形状を有するパイルドラフトの杭頭負担荷重は、ラフト内の杭位置によって異なり、ラフト内部、ラフト辺部、ラフト隅角部の順に大きくなる。
- ③各杭の杭頭曲げモーメントは、荷重の作用方向に対して直角方向に位置する辺部で大きくなる。
- ④杭頭の曲げモーメント比は、ラフト中心部に位置する杭ほど高く、1 以上となる場合がある。
- ⑤杭頭荷重分担率は、本論文で誘導した(1)~(3)式に、杭本数に関わらず表 1 の修正係数を乗じることで算定できる。

参考文献

- 1) 木田和宜・土屋勉：水平荷重が作用するパイルドラフトのハイブリッド解析，日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 70，1997. 3
- 2) 木田和宜・土屋勉：水平荷重を受けるパイルドラフトの挙動に関する解析的研究（その 1．変形性状および杭頭水平変位の簡易計算法），日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 72，1999. 3

*1 室蘭工業大学・学部生 *2 同・助教授・工博 *3 同・大学院生

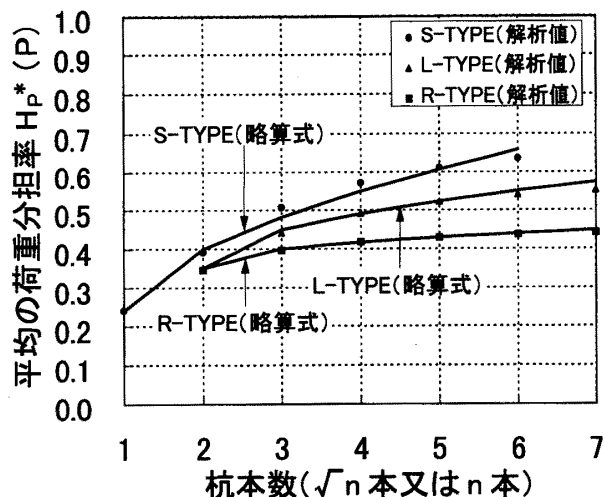


図6 本論文略算式および解析値による杭頭荷重分担率
(基本モデル)

表 1 1 因子の諸元を変化させる場合の修正係数

因子	諸元	S-TYPE	L-TYPE	R-TYPE
L/d	12.5	0.65	0.60	0.65
	50	1.25	1.35	1.50
s/d	2.5	1.30	1.45	1.70
	10	0.50	0.45	0.50
Kps	10 ⁻⁴	0.70	0.65	0.70
	10 ⁻²	1.10	1.20	1.25
Krs	1, 10	1.00	1.00	1.00