

GAによる鋼管杭基礎構造の最適配置決定法

第一復建(株)正員 〇千々岩 浩 巳
九州共立大学工学部 正員 三 原 徹 治
九州大学工学部 正員 太 田 俊 昭

1. 緒 言

鋼管杭基礎構造は支持層が比較的地盤条件での橋脚基礎などに多用されるが、通常、その設計は試行錯誤的に行われている。設計仮定値の修正は経験と勘に頼る面が多く、特に杭の合理的な配置の決定は容易ではない。鋼管杭基礎を対象とした離散的最適設計法に関する研究は、杭配置を与えた状態で最適なD, t, dを求めるものと、あらかじめ用意された杭配置の候補から最適な配置を求めるものに大別される。前者は、任意の杭配置を許していないため、後者は与えた杭配置以外を考慮できないため、ともに最適な杭の形状と配置を同時に求めることができるとは言いがたい。

本研究は、従来の研究を踏まえ、任意の杭形状・配置を同時に求めることを目指し、近年、離散的最適構造設計問題へ適用されている遺伝的アルゴリズム(GA)の適用を前提とした鋼管杭基礎構造の定式化およびコーディングを行ったものである。

なお、本研究で用いた仮定は次のとおりである。

①対称な杭配置の鉛直杭による橋脚基礎を対象とし、上部工および橋脚の構造形式は既知とする。②杭基礎構造の設計基準は道路橋示方書¹⁾に従う。③杭のネガティブフリクションおよび群杭効果は考慮しない。

2. 鋼管杭基礎構造の最適配置問題

(1)設計変数の選定

杭の断面形状に関する設計変数として杭径D, 肉厚tを選ぶ。また、配置に関する設計変数には離散化した座標値など種々考えられるが、ここでは実際の杭配置が多くの場合対称配置であることから次のように配置の枠組みと各列本数に分けて設計変数を選定する。図-1に示す対称性を考慮した杭配置の模式図を参照して、杭列数M, 最外縁列本数N'および杭間隔dにより配置の枠組みを表し、各列本数N_i(i=1..M')により杭の具体的配置を表す。N_iの個数M'はMに応じて次式で算定される。

$$M' = \begin{cases} (M+1)/2 - 1 & (M \text{ が奇数}) \\ M/2 - 1 & (M \text{ が偶数}) \end{cases}$$

(2)設計基本式

図-2に示す鋼管杭基礎構造の最適設計基本式は式(2)のように定式化される。

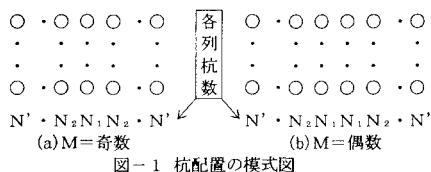


図-1 杭配置の模式図

設計変数: D, t, d, M, N', N_i (i=1..M')

目的関数: $W = W_s + C W_c \rightarrow \min.$ (2a)

制約条件: $G_j \leq 0$ (2b)

ここで、考慮した制約条件G_jは、i)杭の鉛直支持力に関する条件、ii)杭の水平支持力に関する条件、iii)内部応力度に関する条件、iv)杭を弾性体基礎とみなすための条件、v)杭間隔に関する条件、vi)フーチングの厚さが杭径以上である条件、およびvii)フーチングを剛体として取扱える条件である。

式(2)はこれら制約条件を満足しながら式(2a)の換算杭重量Wを最小にするような設計変数値を求める問題を意味している。設計変数dが連続変数で、他の設計変数がすべて離散変数であるので混合型最適化問題である。ただし、W_s, W_cはそれぞれ鋼管およびコンクリートの重量、Cは施工費を含めた鋼管杭の費用C_sと鉄筋コンクリートの費用C_cの比(=C_c/C_s, 本研究の数値計算例ではC=0.092を用いる)を示す。

フーチング部が大きくなると W_c だけでなく、設計荷重の増加により W_s も大きくなる。すなわち式(2)による最適化が実行されれば、フーチング部の大きさは制約条件が許す範囲内で最小化されることになる。具体的には、条件v), vi), およびvii)をそれぞれ最小値で固定することができる。結局、これらは制約条件とする必要がなくなると同時に d を設計変数から除外することができ、式(2)はすべての設計変数が離散変数である組合せ最適化問題に変換される。

断面形状に関する設計変数 D 、 t には、それぞれ独立な離散値データを割当てることもできるが、ある D 値に対して存在する t 値は 2~4 種類しかないので、鋼管杭性能表²⁾から、 D と t を対として表-1 に示すような 63 種 (線列ビット数は 6) の離散値データを設定した。また、配置に関する設計変数のうち、杭列数 M と最外縁列本数 N' は対として表-2 に示す 56 種 (線列ビット数は 6) の離散値データを設定した。杭の配置を具体的に表す各列本数 N_i ($i=1..M'$) は $2 \leq N_i \leq N'$ の整数であり、 N' の最大が 8 であるから線列ビット数は 3 である。また、 M の最大値が 9 であることから式 (1a) より M' も最大 4 である。

このように、混合型最適構造設計問題を組合せ最適設計問題へと変換できたことにより、GAの適用が容易となった。適当なGA手法を用いることにより、効率的に最適解を得ることができると考えられる。

1) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I 共通編, IV 下部工編, 1970. 5.

2) 鋼管杭協会:鋼管杭, pp. 342-351, 1986. 10.

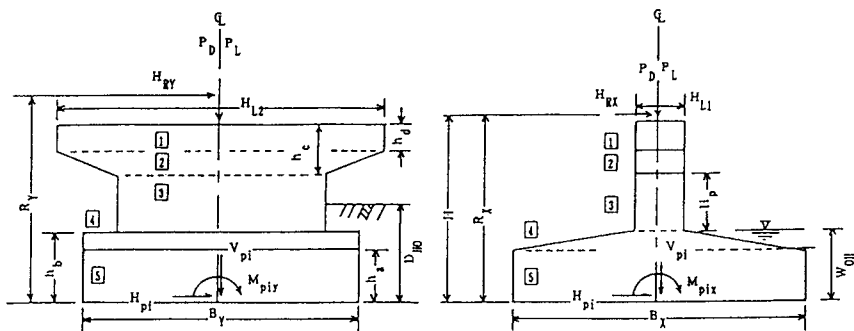
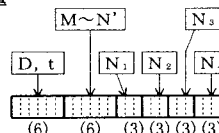


表-1 鋼管杭径D (cm)および肉厚 t (cm)の離散値データ

	D	t	D	t	D	t	D	t			
1	40.00	0.9	17	60.96	1.2	33	81.28	1.4	49	101.60	1.6
2	40.00	1.2	18	60.96	1.4	34	81.28	1.6	50	101.60	1.4
3	40.64	0.9	19	60.96	1.6	35	81.28	1.9	51	101.60	1.9
4	40.64	1.2	20	70.00	0.9	36	90.00	1.2	52	110.00	1.2
5	40.64	1.4	21	70.00	1.2	37	90.00	1.4	53	110.00	1.4
6	50.00	0.9	22	70.00	1.4	38	90.00	1.6	54	110.00	1.6
7	50.00	1.2	23	70.00	1.6	39	90.00	1.9	55	110.00	1.9
8	50.00	1.4	24	71.12	0.9	40	91.14	1.2	56	111.70	1.2
9	50.80	0.9	25	71.12	1.2	41	91.14	1.4	57	111.70	1.4
10	50.80	1.2	26	71.12	1.4	42	91.14	1.6	58	111.70	1.6
11	50.80	1.4	27	71.12	1.6	43	91.14	1.9	59	111.70	1.9
12	60.00	0.9	28	80.00	0.9	44	100.00	1.2	60	120.00	1.4
13	60.00	1.2	29	80.00	1.2	45	100.00	1.4	61	120.00	1.6
14	60.00	1.4	30	80.00	1.4	46	100.00	1.6	62	120.00	1.9
15	60.00	1.6	31	80.00	1.6	47	100.00	1.9	63	120.00	2.2
16	60.96	0.9	32	81.28	1.2	48	101.60	1.2	64	ダミ	



図一 3 線列のコーディング

表-2 杭列数M～最外縁列本数N'の離散値データ

	テ-ア	テ-ア	テ-ア	テ-ア	テ-ア	テ-ア
1	2~2	11 3~5	21 4~8	31 6~4	41 7~7	51 9~3
2	2~3	12 3~6	22 5~2	32 6~5	42 7~8	52 9~4
3	2~4	13 3~7	23 5~3	33 6~6	43 8~2	53 9~5
4	2~5	14 3~8	24 5~4	34 6~7	44 8~3	54 9~6
5	2~6	15 4~2	25 5~5	35 6~8	45 8~4	55 9~7
6	2~7	16 4~3	26 5~6	36 7~2	46 8~5	56 9~8
7	2~8	17 4~4	27 5~7	37 7~3	47 8~6	57 9~9
8	3~2	18 4~5	28 5~8	38 7~4	48 8~7	58 9~0
9	3~3	19 4~6	29 6~2	39 7~5	49 8~8	59 9~1
10	3~4	20 4~7	30 6~3	40 7~6	50 9~2	