

最適配置問題を対象としたGAによる解法の拡張性に関する一研究

九州共立大学工学部 正員 三原 徹 治
 第一復建(保)技術開発室 正員 千々岩浩巳
 九州大学工学部 正員 太田 俊 昭

1. 緒 言

土木構造物の最適設計問題の多くは、構造物の形状を既知として構造要素の寸法の最適化を図る最適断面配分問題であり、構造形状をも最適化の対象とする形状最適化問題は、決定すべき変数(設計変数)の数も自ずと増え、構造解析などの取扱いも煩雑となる傾向を有するため最適断面配分問題より複雑な問題と評価される。これらに対して、本研究における“最適配置問題”は、鋼管杭基礎構造の杭配置¹⁾やRC橋脚の配筋要領²⁾の最適化であり、形状最適化問題と最適断面配分問題の中間的な位置付けである。

著者らの先の研究^{1, 2)}においては、あるひとつの構造物を対象とした最適配置問題を定式化し、交配個体選択GA³⁾を用いた解法を提示した。このとき、「同様の構造物が複数あるような場合にそれぞれの杭配置や配筋要領が大きく異なると、特に施工性において問題である」とのもっともな指摘を受けた。そこで本研究では、鋼管杭基礎構造の最適配置問題を対象として、複数地点に同一の杭基礎構造を構築するときの最適配置を求める場合への拡張性について検討する。

2. 設計基本式およびGA適用のための線列構成

(1)杭基礎構造の最適配置問題と線列構成¹⁾：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、設計変数に鋼管杭径 D 、杭肉厚 t 、杭列数 M 、最外縁列本数 N' 、各列杭数 $N_i (i=1..M')$ を選べば、設計基本式は式(1)のように定式化される。

$$\{ \text{minimize } W = n \rho_s A_p L + C \rho_c V_f = W_s + C W_c \mid G_j \leq 0 \ (j=1..8) \} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 n は杭総本数、 ρ_s は鋼管杭の単位体積重量、 A_p は杭1本の純断面積、 L は杭長、 C は施工費を含めた単位重量あたりの鋼管杭の費用 C_s に対する同様な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 $C=0.092$ の固定値を用いる)、 ρ_c は鉄筋コンクリートの単位体積重量、 V_f はフーチング体積であり、 M' は N_i の個数で M 値に応じて式(2)で算定される。

$$M' = (M+1)/2 - 1 \quad (M \text{ が奇数のとき}), \quad M/2 - 1 \quad (M \text{ が偶数のとき}) \quad \text{----- (2)}$$

また、 $G_j (j=1..8)$ は杭の鉛直・水平支持力に関する条件、内部応力度に関する条件、杭を弾性体基礎とみなすための条件およびフーチングを剛体として取扱える条件(ただし、地盤条件は地盤の N 値で評価し、その他の条件については道路橋示方書(平成2年版)に準拠する)を8つの制約条件として表したものである。

式(1)を交配個体選択GAによって解くために必要な線列のコーディングを図-2に示す。杭径 D と肉厚 t の対には表-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、杭列数 M と最外縁列本数 N' の対には表-2に示す56種(線列ビット数は6)の離散値データをそれぞれ設定した。各列杭数 $N_i (i=1..M')$ は $2 \leq N_i \leq N'$ の整数であり、最外縁列本数 N' の最大が8であるから線列ビット数は3である。また、杭列数 M の最大値が9であることから式(2)より M' も最大4である。これらを順に並べると、1個の線列は24ビット構造となる。

(2)複数の地盤条件を同時に考慮した設計問題と線列構成：全 K 基の杭基礎を同一構造として設計するとき、目的関数は変化しないが、それぞれの地盤条件に対する制約条件が満足される必要がある。よって設計基本式は式(3)のように定式化される。

$$\{ \text{minimize } W = W_s + C W_c \mid G_{kj} \leq 0 \ (j=1..8, k=1..K) \} \quad \text{----- (3)}$$

式(3)は式(1)に比較して制約条件が増えただけであり、GAを適用する場合の線列構成を変更する必要は全くない。GAによる解法を用いているために、この種問題への拡張は非常に容易であることが理解される。

3. 数値計算例

(1)式(1)による最適化¹⁾：杭長 $L=26.0\text{m}$ ，上部工荷重などの設計に必要な諸値を共通として，表-3に示す N 値分布を有する2種類の地盤条件A，Bに対して式(1)による最適化計算を行った結果を表-4上2段に示す。地盤条件Bの方がAよりも若干良好な地盤であるため目的関数値は小さいが，その差はわずかに約1%と極めて小さい。ただし，それらの設計変数の値は肉厚を除いて大きく異なっていることがわかる。

(2)包絡設計：上記2基の杭基礎構造を同一の構造とする場合，それぞれの最適解を包含するような設計で対処する方法を包絡設計と呼ぶ。具体的には，それぞれの最適解の安全側と評価できる設計変数値を採用することにより表-4第3段に示す設計が得られる。この設計が地盤条件AおよびBに対する制約条件を満足することは別途確認した。

(3)式(3)による最適化：一方， $K=2$ とした式(3)による設計も包絡設計と同様に地盤条件AおよびBに対する制約条件を満足する設計であり，人口数=300，突然変異発生確率=0.2とした交配個体選択GAによって得られた結果を表-4最下段に示す。地盤条件Aのみに対する設計とは杭配置が異なるだけの解であるが，包絡設計に比較して目的関数値は約

11%も小さく，このような要求に対しても実に巧みに最適解を求めていることがわかる。さらに杭種のみを同一とし，各々に最適な配置を決定する問題などへの拡張も容易と予想される。

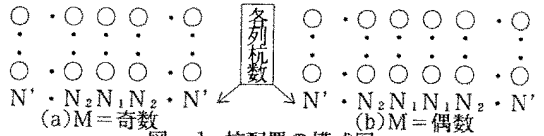


図-1 杭配置の模式図

表-1 鋼管杭径 $D(\text{cm})$ および肉厚 $t(\text{cm})$ 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
2	40.00	1.2	18	60.96	1.4	34	81.28	1.6
3	40.64	0.9	19	60.96	1.6	35	81.28	1.9
4	40.64	1.2	20	70.00	0.9	36	90.00	1.2
5	40.64	1.4	21	70.00	1.2	37	90.00	1.4
6	50.00	0.9	22	70.00	1.4	38	90.00	1.6
7	50.00	1.2	23	70.00	1.6	39	90.00	1.9
8	50.00	1.4	24	71.12	0.9	40	91.14	1.2
9	50.80	0.9	25	71.12	1.2	41	91.14	1.4
10	50.80	1.2	26	71.12	1.4	42	91.14	1.6
11	50.80	1.4	27	71.12	1.6	43	91.14	1.9
12	60.00	0.9	28	80.00	0.9	44	100.00	1.2
13	60.00	1.2	29	80.00	1.2	45	100.00	1.4
14	60.00	1.4	30	80.00	1.4	46	100.00	1.6
15	60.00	1.6	31	80.00	1.6	47	100.00	1.9
16	60.96	0.9	32	81.28	1.2	48	101.60	1.2

表-2 杭列数 M ～最外縁列本数 N' の離散値データ

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

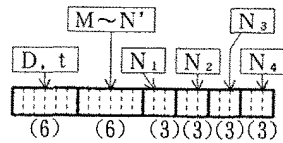


図-2 線列のコーディング

表-3 地盤条件A，Bの N 値分布

深度(m)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
N 値	A	6	10	7	4	5	6	12	11	11	24	14	16	18	19	20	19	18	17	16	19	17	30	21	31	40	40
	B	7	6	34	22	5	5	8	13	12	10	9	13	10	11	9	10	13	40	40	20	20	32	26	23	40	40

表-4 計算結果

区 分	目的関数値 [比率]	杭径 cm	肉厚 cm	杭 配 置							
				M	N'	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	
地盤条件 A のみに対する設計	152.47	40.00	0.9	9	7	6	6	7	7	7	
地盤条件 B のみに対する設計	150.81	50.00	0.9	6	8	8	7	8	—	—	
包 絡 設 計	171.45[100.0]	50.00	0.9	9	7	6	6	7	7	7	
地盤条件 A、B を同時考慮した設計	152.47[88.9]	40.00	0.9	9	7	4	7	7	7	7	

謝辞 本研究の数値計算の一部には九州共立大学工学部土木工学科卒業生伴和憲君の助力を得た。記して謝意を表する。

参考文献 1)千々岩，三原，太田：GAによる鋼管杭基礎構造の最適配置決定法に関する研究，土木学会論文集，第549号/I-37，1996. 10. 2)千々岩，三原，太田：橋梁下部工の合理的設計法に関する一考察，構造工学論文集，Vol. 43A，1997. 3. 3)MIHARA,T., CHUJIWA,H. and OHTA,T.:On the Efficiency of GA with Selecting the Crossing Strings for the Discrete Optimal Problems, CD-ROM Proceedings of the International Symposium on Optimization and Innovative Design, 1997. 7.