

I-A 462

鋼管杭基礎構造の最適配置決定に関する一手法

第一復建技術開発室 正員 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. はじめに

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ているが、その設計は通常、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最適設計法に関する従来の研究の多くは、杭配置を与えた状態で最適な杭径、肉厚および杭間隔を求めるもので、一部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研究¹⁾もあるが、任意の杭配置を考慮できない点に難点がある。

本研究は、鋼管杭基礎構造の任意な杭配置・形状から最適な設計を得る手法の開発を企図し、連続・離散的設計変数が混在する混合型最適化問題を、すべての設計変数が離散変数である離散型最適化問題に変換したうえで²⁾、著者らが提案している交配個体選択GA³⁾を用いて、適用した解法を提示するものである。

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⁴⁾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決定法²⁾

(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 および肉厚 t を選ぶ。また、配置に関する設計変数には、実際の杭配置が多くの場合に対称であることから、ここでは、配置の枠組み（杭列数 M 、最外縁列の杭本数 N' および杭間隔 d ）と中間列の各杭本数 N_i ($i=1, 2, \dots, M'$ 、ただし、 M' は杭配置の対称性を考慮したときの N_i の個数)を選定する。ここに、杭間隔 d を除く設計変数は全て離散変数である。

(2) 設計基本式

本研究における設計基本式は、道路橋示方書による設計基準を満足しながら換算鋼重量(W)を最小にする設計変数値を求める混合型最適化問題として定式化される。このとき、連続変数 d は、群杭効果を考慮しないため $d \geq 2.5D$ を満足する必要があるが、最適解では常に等号が成立するので最適化過程においても $d = 2.5D$ として取扱うことができる。よって、図-1に示す鋼管杭基礎構造の最適設計基本式は、式(1)のような離散型最適化問題へ変換され、GAの適用が可能となる。

設計変数： D, t, M, N', N_i ($i=1, 2, \dots, M'$)

目的関数： $W = W_s + C W_c \rightarrow \min.$ (1a)

制約条件： $G_j \leq 0$ ($j=1, 2, \dots, M'$) (1b)

ただし、 W_s および 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 に対する鉄筋コンクリートの費用 C_c の比 ($= C_c / C_s$ 、後述の数値計算例では、 $C=0.092$ を用いる)を示す。ここで、制約条件 G_j ($j=1..6$)はそれぞれ、杭の鉛直・水平支持力および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、フーチング厚が杭径以上である条件、フーチングを剛体として取扱うための条件を示す。

3. 数値計算例

文献1)に示された数値計算例に対し本法を適用した。GAには著者らが提案している交配個体選択GA³⁾

を用いた、人口数 $N_P=100$ 、計算世代数 $N_G=100$ とし、交配個体数 $N_S=1\sim20$ 、突然変異発生確率 $P_m=0.1, 0.2, 0.3$ とした計60ケースの最良解を表-1に示す。併記した()数字は最良解の出現世代 G_o 、[I]、[II]はそれぞれ最適解および準最適解（目的関数値において最適解との差が5%以内の

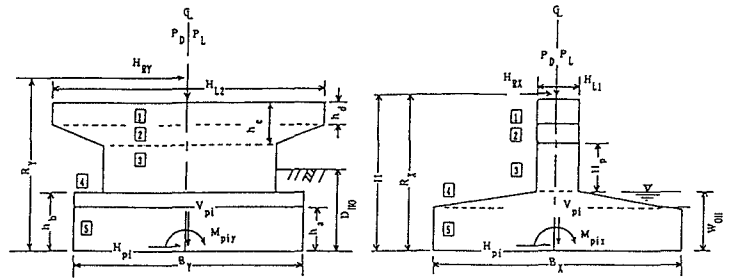


図-1 橋脚寸法・設計荷重

解)の出現割合である。また、 $P_m=0.3$ の場合のみ最良解が得られるまでに必要とした構造解析回数 N_A とその平均値を併記した。全ケース中、最良の目的関数値は247.89であり、この解が最適解であることを限定的な列挙法により（多大な計算量を必要としたが）確認した。

表-1から、最適解は各 P_m ごと1ケースずつしか出現していないが、準最適解は比較的多くのケースで得られ、本計算例においても交配個体選択GAがかなり高い準最適解探索能力を有することがわかる。しかも、良好な解が得られたほとんどのケースでは G_o が20以下であり、優れた収束性を有している。

計算過程で得られた解を含め、最適解および準最適解を表-2の順位①～⑪に示す。本計算例では、最適解以外にも多くの準最適解が存在し、 t 値はすべて離散値データの最小値（=0.9cm）に収束しているが、 D 値や杭総数を含む配置には特定の規則性は認められない。

表-2の順位覧に*印がある設計は文献1)で杭列数 $M=8$ として求められた解である。その解と比較すると、本法による最適解では約19.4%、順位⑪の解でも約15.5%小さく、杭列数を仮定せずに任意の杭配置を許す本法のメリットが数値的にも裏付けられた。

4. おわりに

i) 従来の研究¹⁾で用いられた数値計算例へ適用した結果、任意の杭配置を許す本法では、従来の解より精度の良い解が得られ、本法の妥当性を確認することができた。

ii) 最適性順位の高い設計間には、杭径や杭総数を含む配置に関して一定の規則性は認められず、様々な組合せが出現するが、本法を用いればそれらにもある程度対応できることがわかった。

参考文献

1) 石川ら：鋼管杭基礎の最適杭本数の決定に関する一考察、土木学会論文集, No. 404/1-11, 1989. 2) 千々岩, 三原, 太田：GAによる鋼管杭基礎構造の最適配置設計法, 平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1996. 3) 千々岩, 三原, 太田：離散型最適構造設計への交配個体選択GAの適用に関する一考察, 構造工学論文集, Vol. 42A, 1996. 4) 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.

表-1 計算結果 ($N_P=100$, $N_G=100$)

P _m 区分		0.10	0.20	0.30	N _A
		W (G _o)	W (G _o)	W (G _o)	
N _s	1	290.28 (23)	269.00 (96)	264.69 (29)	2900
	2	282.94 (4)	262.25 (3)	255.56 (58)	5800
	3	282.94 (98)	247.89 (56)	262.25 (3)	300
	4	262.25 (3)	268.29 (3)	262.25 (3)	300
	5	262.25 (8)	264.69 (9)	269.00 (76)	7600
	6	269.00 (61)	268.29 (43)	255.56 (85)	8500
	7	303.64 (2)	302.62 (4)	262.25 (3)	300
	8	262.25 (4)	255.56 (8)	247.89 (7)	700
	9	302.62 (3)	262.25 (4)	262.25 (6)	600
	10	258.54 (9)	258.54 (6)	254.31 (11)	1100
	11	262.02 (5)	258.54 (7)	258.54 (4)	400
	12	264.69 (19)	262.25 (4)	262.25 (5)	500
	13	262.02 (9)	258.54 (7)	258.54 (8)	800
	14	247.89 (17)	262.25 (4)	255.56 (15)	1500
	15	291.47 (10)	262.25 (5)	262.25 (6)	600
	16	262.25 (7)	268.29 (45)	254.31 (76)	7600
	17	262.25 (5)	268.29 (9)	255.56 (97)	9700
	18	258.54 (4)	279.16 (92)	258.54 (10)	1000
	19	262.25 (7)	262.25 (7)	258.54 (13)	1300
	20	264.69 (8)	262.25 (6)	257.25 (8)	800
[I]		1/20	1/20	1/20	平均
[II]		3/20	5/20	12/20	2615

表-2 計算過程に表れた比較的良好な設計値

順位	W	D (cm)	t (cm)	M	N'	各列杭本数					総数
						N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	
①	247.89	50.00	0.9	6	8	8	7	8	—	—	46
②	251.73	40.00	0.9	8	8	8	6	8	8	—	60
③	252.35	50.80	0.9	6	8	8	7	8	—	—	46
④	253.20	40.00	0.9	9	7	4	7	7	7	7	60
⑤	254.31	40.64	0.9	9	7	7	6	7	6	7	59
⑥	255.56	50.00	0.9	7	7	5	7	7	7	—	47
⑦	255.93	50.80	0.9	7	7	4	7	7	7	—	46
⑧	256.21	40.64	0.9	8	8	8	6	8	8	—	60
⑨	257.25	40.00	0.9	9	8	8	3	7	8	8	60
⑩	258.54	40.64	0.9	9	8	5	3	8	8	8	59
⑪	259.86	50.00	0.9	7	7	6	7	7	7	—	48
*	307.6	60.00	0.9	8	6	6	6	5	5	—	44