

(1-33) 離散型最適化手法による鋼管杭基礎の最適設計

防衛大学校土木工学教室 学生員〇千々岩 浩 己

学生員 田 中 孝 昌

正 員 石 川 信 隆

表-1 離散型データリスト

番号	杭の直径 D (mm)	杭 の 肉 厚 t (mm)			
1	400.0	9.0	12.0		
2	406.4	9.0	12.0		
3	500.0	9.0	12.0	14.0	
4	508.0	9.0	12.0	14.0	
5	600.0	9.0	12.0	14.0	16.0
6	609.6	9.0	12.0	14.0	16.0
7	700.0	9.0	12.0	14.0	16.0
8	711.2	9.0	12.0	14.0	16.0
9	800.0	9.0	12.0	14.0	16.0
10	812.8	9.0	12.0	14.0	16.0
11	900.0	12.0	14.0	16.0	19.0
12	914.4	12.0	14.0	16.0	19.0
13	1000.0	12.0	14.0	16.0	19.0
14	1016.0	12.0	14.0	16.0	19.0
15	1100.0	12.0	14.0	16.0	19.0
16	1117.6	12.0	14.0	16.0	19.0
17	1200.0	14.0	16.0	19.0	22.0

1. 緒言

鋼管杭は、一般に鋼管杭断面性能一覧表¹⁾にあるとおり、外径および肉厚とも離散型変数となっている。本研究は、まず、従来の整数および混合型線形計画法の解法に用いられてきた分岐限定法²⁾を拡張して離散型非線形計画法に適用可能とし、次いでこれを用いて鋼管杭基礎構造の最適設計法を確立したものである。すなわち、①まず従来の分岐限定法では各分岐点で線形計画法(LP)が適用されていたが、本法では各分岐点で非線形計画法(NLP)を適用して汎用的な離散型非線形計画法のアルゴリズムを開発した。②次いで杭本数および杭配置を既知としたとき、フーチングも含めた杭基礎全体の総費用が最小となるよう(経済性)、また杭の設計基準がすべて満足されるように(安全性)、外径D、肉厚tを離散変数として、杭間隔dを連続変数とした最適設計手法を確立した。

2. 離散型非線形計画法アルゴリズムの開発

ここでは、従来の整数型および混合整数線形計画問題²⁾の解法で用いられていた分岐限定法を応用拡張して、離散型変数非線形計画問題の解法に適用しうるように以下のようなアルゴリズムを開発した。①まずすべての設計変数を連続変数として非線形計画(NLP)問題を解く。②次に設計変数のうち1つを離散型変数とするため、上記で得た連続変数解に最も近い上下の離散値を表-1のような離散型データリストの中から選び出す。③離散変数を2つの設計領域すなわち上限に関する制約と下限に関する制約に分け、これらの離散変数に関する制約を追加した形でNLP問題を解き、解を連続変数として得る。④上記で得た連続変数が表-1のような離散型データリストの値と一致すれば、次の連続変数を離散変数とみなして再び2つの設計領域に分け、これらの制約を追加した形でNLP問題を解く。⑤以上を繰り返し連続変数がすべて表-1のような離散型データリストの離散値に一致したとき、目的関数のうち最小(最大)のものを選べば、その解の組が最適解となる。以上のアルゴリズムの分岐図をフローチャートに示せば図-1のようになる。なお、NLPの手法としては、ADS⁴⁾のうちSLPを用いた。

3. 鋼管杭基礎の最適設計への適用

上記で開発した離散型最適化手法を鋼管杭基礎の最適設計へ応用する手順を以下に示す。(1)仮定：①橋梁基礎を取り扱い、上部工および橋梁の構造形式、鋼管杭基礎の構造

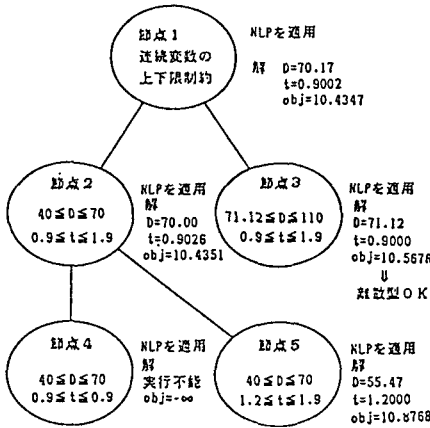


図-1 離散型非線形計画法の分岐図

表-2 設計基本式

未知数	: D, t, d
目的関数	: $W(a_{11}, a_{12}, a_{13}) = n p_s A L + c p_s V_f \rightarrow \min(1)$
制約条件	: $V_{1(1,1)} \leq \min\{R a_{(1,1)}, R a'_{(1,1)}\}$ (2a)
	: $V_{1(2,1)} \leq \min\{R a_{(2,1)}, R a'_{(2,1)}\}$ (2b)
	: $V_{1(3,1)} \leq \min\{R a_{(3,1)}, R a'_{(3,1)}\}$ (2c)
	: $H_{(1,1)} \leq H a_{(1,1)}$ (2d)
	: $H_{(2,1)} \leq H a_{(2,1)}$ (2e)
	: $\sigma_{1(1,1)} \leq \sigma_s$ (2f)
	: $\sigma_{1(2,1)} \leq \sigma_s$ (2g)
	: $1 - L \beta_{(1,1)} \leq 0$ (2h)
	: $2.5 D - d \leq 0$ (2i)
	: $2 t \leq D$ (2j)
	: $D^* \leq D \leq D^u$ (2k)
	: $t^* \leq t \leq t^u$ (2l)
	: $d^* \leq d \leq d^u$ (2m)

形式、杭の配置および本数は既知とする。②杭の設計基準は、道路橋示方書に従う。③各杭の形状はすべて等しいとし、杭配置は対称で鉛直杭とする。④杭径D、肉厚tおよび杭間隔dを設計変数とする。⑤地盤は標準貫入試験によるN値および地質の種類を用いて評価する。⑥杭間隔は2.5D以上とし、群杭効果を考慮しない。(2)設計基本式：上記の仮定に従えば、杭基礎構造物の最適化問題は表-2のように定式化できる³⁾。(3)解法：表-2の基本式は、離散変数として杭径D、肉厚tを選び、2.で開発した離散型非線形計画法アルゴリズムを用いて解くことが必要である。すなわち、図-1で示したような各節点において表-2のNLP問題を解けばよいこととなり、各節点で得られた連続変数解を表-1の離散型データリストによってチェックして分岐するか、ストップするかを決定することになる。最終的に離散型変数となった解のうち目的関数の最小値を選び出し最適解とする。

4. 数値計算例

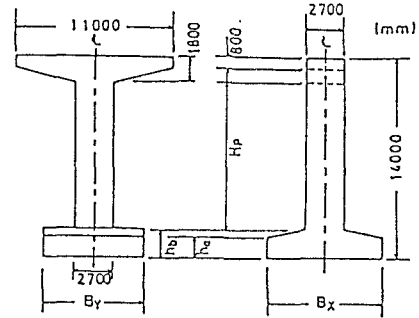
まず本法の妥当性を検証するために図-2に示すような橋脚の杭基礎の設計を行なった。離散型非線形計画法の分岐図および目的関数の値、設計領域の変化は図-1のようであり、最終の計算結果は表-3のとおりとなった。得られた成果は以下のようになる。①最適連続解に比べ、肉厚tは変化せず、杭径Dが1.32%増加し、杭間隔が1.33%増加していることが認められた。②従来の方法に比べ、肉厚は変化せず、杭径が11.1%減少、杭間隔が11.1%減少し、その結果目的関数も11.1%減少している。また分岐点(節点)は本例では図-1のように5個であった。さらに、フーチングの大きさを示すと図-3のようになる。

5. 結言

本研究によって開発された離散型非線形計画法のアルゴリズムは、鋼管杭基礎の最適設計に対して極めて有効な手法であることが認められた。

参考文献

1) 鋼管杭協会;「鋼管杭」, pp. 342~351, 1986. 10.
 2) C. マクミラン, Jr 著 一楽信雄, 坂本実, 田中英之, 前田功雄 訳;「数理計画入門2」, pp. 53~109, 東京図書, 1972. 3) 田中孝昌, 石川信隆, 田蔵隆, 香月智;「鋼管杭基礎の最適間隔位置の決定に関する一考察」, pp. 195~196, 第37回応用力学連合講演会講演予稿集, 昭和62年12月 4) Vanderplaats, G. N. and Sugimoto, H. ; 'A General-Purpose Optimization Program for Engineering Design', Journal of Computers and Structures, pp. 13~21, Vol. 24, No.1, 1986.



(a) 橋脚面方向 (b) 橋軸方向
 H p : 橋脚の柱部の高さ
 h b : 橋脚のフーチングの外側および内側高さ
 h a : 橋脚のフーチングの外側および内側高さ
 B Y : 橋脚のフーチング底部の幅
 B X : 橋脚のフーチング底部の幅

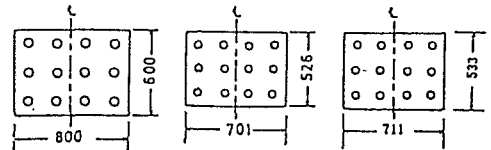
図-2 円柱式橋脚

表-3 計算結果

		従来の方法	連続最適解	本 法	
目的関数		11.881	10.435	10.568	
設計変数	杭 径 D (cm)	80.00	70.19	71.12	
	肉 厚 t (cm)	0.90	0.90	0.90	
	杭 間 隔 d (cm)	200.00	175.46	177.80	
体 積	杭 (m ³)	8.33	7.29	7.39	
	橋 脚 (m ³)	169.19	149.62	151.26	
重 量	杭 (t)	65.38	57.25	58.02	
	橋 脚 (t)	422.96	374.04	378.15	
	c W _r (t)	38.91	34.41	34.79	
フーチングの大きさ (cm)		800×600	701×526	711×533	
制 約 条 件	鉛 直 交 力	常 時	0.35	0.38	0.37
		地震時橋脚	0.55	0.66	0.65
		地震時橋脚直交	0.46	0.55	0.54
	水 平 力	地震時橋脚	0.59	0.70	0.69
		地震時橋脚直交	0.51	0.59	0.59
	応 力	橋 脚	0.84	1.00	0.98
			0.26	0.32	0.32
			0.71	0.83	0.82
		橋脚直交	0.21	0.26	0.25
			0.16	0.12	0.12
			0.42	0.56	0.55
	皮	橋脚直交	0.21	0.12	0.19
			0.29	0.56	0.38
			0.10	0.29	0.09
	弾 性 体 基 礎		1.00	1.00	1.00

注) 1. 制約条件の項の値は、応答値と許容値の比を表す。

2. *印はアクティブな制約条件を表す。



(a) 従来の設計 (b) 連続最適解 (c) 本法

図-3 フーチングの大きさ