

防衛大学校 土木工学教室 学生員○田中 孝昌 学生員 川嶋 幾夫
 // 正 員 石川 信隆

1. 緒言 近年、大規模な構造物が次々と建設され、下部構造物も巨大化の一途をたどり、それに伴い、この基礎構造をいかに安全かつ合理的に設計するかが極めて大きな問題となってきた。しかし、これまで基礎鋼管構造を対象とした最適設計に関する研究はあまり見受けられない。

本研究は、この基礎構造の設計を安全かつ合理的に行うため、まず鋼管杭基礎を対象として、非線形計画法を用い、従来の鋼管杭基礎の設計基準を制約条件としたうえで、新たに目的関数として杭の総重量を選び、これを最小化するように杭の最適形状(杭径、杭長、肉厚)を決定することを目的としている。さらに、地盤のN値の分布が目的関数や制約条件に及ぼす影響を考察し、設計における諸要因間の相互関係を明らかにすることにより、より合理的な杭の設計を行うための指針を得ようとするものである。

なお、本研究で用いた仮定は次のとおりである。①群杭を取り扱い鋼管杭基礎の構造形式、杭の配置および杭の本数は与えられるものとする。②杭の設計基準は鋼管杭基礎の示方書に従う。③各杭の形状はすべて等しいものとする。④地盤は標準貫入試験によるN値を用いて評価する。⑤群杭効果は弾性論による低減率を用いて考慮する。また、最適化手法としては一般縮約勾配法¹⁾(GRG)を用いた。

2. 設計基本式 上記の目的と仮定に従えば、鋼管杭基礎の最適設計問題は式(1)～式(12)のような非線形計画問題として定式化することができる。ここに、式(1)は杭の総重量が最小となることを、式(2)～式(4)はそれぞれ常時、地震時橋軸方向、地震時橋軸直角方向の荷重を受けるときのi番目の杭の鉛直反力 V_i に関する設計基準を表し、式(5)、式(6)は杭を弾性支承上の梁と考えたときの杭の水平反力 H_i に関する設計基準を表している。式(7)、式(8)は最大曲げモーメントを生じる位置における杭の内部応力度 σ_i に関する制約条件を、式(9)は杭を弾性体基礎とみなすための条件を表している。さらに、式(10)～式(12)は設計変数(杭径、杭長、肉厚)に関する上下限の条件を表している。ただし、NはN値、Eは鋼材のヤング率、Iは断面2次モーメント、 ρ は単位体積重量、 V_0 は鉛直荷重、 H_0 はモーメント荷重、 σ_{sa} は鋼材の許容応力、 σ_y は降伏応力、 t_0 は杭の腐食見込み厚、dは杭間隔、nは杭の本数、 m_0 は杭の列数、 n_0 は1列の本数、 a_i 、 b_i は杭のフック基礎中心からの橋軸方向、橋軸直角方向の変位、Aは杭の純断面積、 R_a は地盤から決まる杭の軸方向押込み許容支持力、 R_a' は杭材から決まる杭の軸方向押込み許容支持力、 H_a は杭の軸直角方向許容支持力、 $\beta (= \sqrt[4]{kD/4EI})$ は杭およびケーソンの特性値であり、kは横方向地盤反力係数を示している。ここで、肩字①、②、③は常時、地震時橋軸方向、地震時橋軸直角方向の荷重を受けるときの値を、肩字L、Uは上限値、下限値を、添字iは杭番号を示している。

3. 数値計算例 ①本法の妥当性と応用性を検証するために、図-1に示すような橋

既知数	$N, E, I, \rho, V_0^{①,②,③}, H_0^{②,③}, M_0^{②,③}, \sigma_{sa}, \sigma_y, t_0, d, n, m_0, n_0, a_i, b_i$
未知数	D, L, t
目的関数	$W_{(D,L,t)} = n \rho A L \rightarrow \min$ (1)
制約条件	$V_{i(D,L,t)} \leq \min \{R_{a(D,L,t)}^{①}, R_{a'}^{①(D,t)}\}$ (2)
	$V_{i(D,L,t)}^{②} \leq \min \{R_{a(D,L,t)}^{②}, R_{a'}^{②(D,t)}\}$ (3)
	$V_{i(D,L,t)}^{③} \leq \min \{R_{a(D,L,t)}^{③}, R_{a'}^{③(D,t)}\}$ (4)
	$H_{(D,L,t)}^{②} \leq H_{a(D,L,t)}^{②}$ (5)
	$H_{(D,L,t)}^{③} \leq H_{a(D,L,t)}^{③}$ (6)
	$\sigma_{i(D,L,t)}^{②} \leq \sigma_{sa}$ (7)
	$\sigma_{i(D,L,t)}^{③} \leq \sigma_{sa}$ (8)
	$L \beta_{(D,L,t)} \geq 1$ (9)
	$D^L_{(t)} \leq D \leq D^U$ (10)
	$L^L \leq L \leq L^U$ (11)
	$t^L \leq t \leq t^U_{(D)}$ (12)

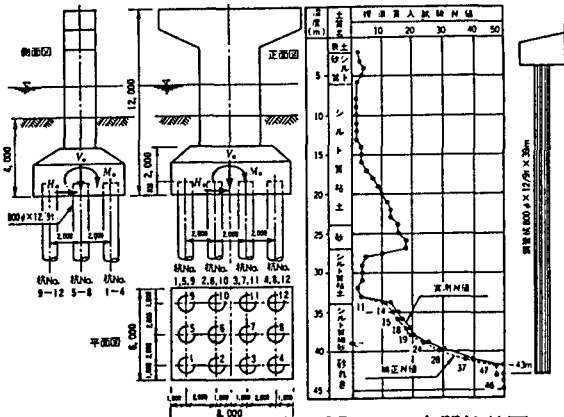


図-1 鋼管杭配置

図-2 土質柱状図

脚の杭基礎²⁾の設計を行った。設計荷重としては表-1のように常時、地震時橋軸方向、地震時橋軸直角方向を同時に考慮し、また土質柱状図は図-2を用いた。計算結果は表-2に示すようになり、従来の設計に比べ、杭長が6%長く、杭径が29%減少し、総重量は約25%減少していることが認められた。

表-3 N値 (CASE)

	基礎までの N値の平均値
CASE 1	3
CASE 2	5
CASE 3	10
CASE 4	20

②各設計変数が目的関数や制約条件に及ぼす影響度を明らかにするために、図-3に示すような3つのモデル化した柱状図を用い、表-3に示す4つのケースについてパラ

メトリック・スタディを行った。表-4からわかるように、基礎までのN値の平均値が大きいほどWは小さく、タイプ別に見るとⅡ、Ⅲ、Ⅰの順でWは小さくなり、CASE1のTYPEⅡ、Ⅲを除き、全ての場合に式(2)と式(12)がアクティブな制約条件となった。

4. 結論 本研究は、最適化手法を用いた鋼管杭基礎の最適設計法を提示したもので、得られた成果を要約すると以下のようなになる。①杭径、杭長、肉厚を設計変数とした最適設計法を式(1)のように定式化することができた。②計算例により、本法の妥当性をほぼ検証することができた。③杭の設計においてN値が重要な要因になっていることがわかった。

④いくつかのモデル化した柱状図を用いて計算した結果、TYPEⅠの柱状図の場合が最も経済的な設計となり、またアクティブな制約としては常時の荷重を受ける鉛直支持力に関する条件であった。

表-1 設計荷重

荷 重	①常時	地 震 時	
		②橋軸方向	③橋軸直角方向
鉛直荷重 $V_a(t)$	2069	1553	1553
水平荷重 $H_a(t)$	—	201	201
E-ポート $M_a(tm)$	—	1758	1758

表-2 計算結果

	従来の設計	本 法
重量 $W(t)$	82.6	63.9 (-25%)
杭の外径 $D(mm)$	800.	576. (-29%)
杭長 $L(mm)$	39000.	41457. (+6%)
杭の肉厚 $t(mm)$	9.	9. *

TYPEⅠ TYPEⅡ TYPEⅢ

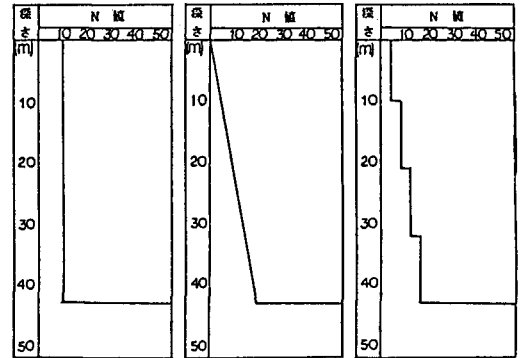


図-3 モデル化した柱状図 (TYPE)

表-4 計算結果

CASE TYPE		基礎までのN値の平均値			
		CASE 1 3	CASE 2 5	CASE 3 10	CASE 4 20
Ⅰ	W (t)	68.25	50.35	27.58	13.68
	D (mm)	662.	1900.	1480.	1289.
	L (mm)	39000.	10000.	7000.	4000.
	t (mm)	9.	9.	9.	9.
	アクティブな 制約条件式	(2) (12)	(2) (12)	(2) (12)	(2) (12)
Ⅱ	W (t)	133.48	108.56	58.07	33.96
	D (mm)	1290.	1364.	1990.	1599.
	L (mm)	39000.	30000.	11000.	8000.
	t (mm)	9.	9.	9.	9.
	アクティブな 制約条件式	(5), (6) (12)	(2) (12)	(2) (12)	(2) (12)
Ⅲ	W (t)	100.97	83.00	38.20	22.00
	D (mm)	977.	1834.	1797.	1185.
	L (mm)	39000.	17000.	8000.	7000.
	t (mm)	9.	9.	9.	9.
	アクティブな 制約条件式	(5), (6) (12)	(2) (12)	(2) (12)	(2) (12)

- 注) ② 常時の荷重を受けるときの鉛直支持力に関する条件
 ⑤ 地震時橋軸方向の荷重を受けるときの水平支持力に関する条件
 ⑥ 地震時橋軸直角方向の荷重を受けるときの水平支持力に関する条件
 (12) 杭の肉厚の上限、下限に関する条件

参考文献 1) G.N. Vanderplaats; "Numerical Optimization Technique for Engineering Design" pp.177~202, McGraw-Hill, 1984 2) 鋼管杭協会; 「鋼管杭」 pp.343~351, 1986.10