

(1 - 7) 鋼管杭基礎の最適設計に関する一考察

防衛大学校 土木工学教室 学生員 川嶋 幾夫 学生員 田中 孝昌
 // 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、それに伴い下部構造物も巨大化の一途をたどってきている。したがって、基礎構造をいかに経済的かつ合理的に設計するかが極めて大きな問題となっているが、一般に基礎構造の設計は設計基準に基づいて経験的に行われてきたものと思われる。

本研究は、この基礎構造の設計を経済的かつ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て杭の最適断面形状を決定しようとするものである。すなわち、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）を決定し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)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(1a)は杭の総重量が最小化となることを、式(1b)～(1d)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(1e)～(1f)は杭を弾性支承上の梁と考えたときの杭の水平反力 H に関する設計基準を示している。式(1g)～(1h)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_{si} に関する制約条件を、式(1i)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(1j)～(1l)は設計変数（杭径、杭長、肉厚）に関する上下限の条件を示している。ただし、 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、 σ_{ss} は鋼材の許容応力度を示している。 A は杭の純断面積、 $\beta (= \sqrt{KD/4EI})$ 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、 E は鋼材のヤング率、 I は断面2次モーメント、 n は杭の本数、 ρ は単位体積当りの重量を示している。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。なお、式(1)の解法にあたっては、複雑な制約面上を効率よく探索することができる一般縮約勾配法を独自に開発し、これを使用した。

3. 数値計算例 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。

これらの入力データを用いて、式(1)をGRG法によって解けば表-2のような設計結果が得られる。表-2からわかるように、従来に

未知数	: D, L, t	
目的関数	$W(D, L, t) = n \rho A L$	(1a)
制約条件	$V_i^{(1)}(D, L, t) \leq \min \{R_a(D, L), R_a'(D, t)\}$	(1b)
	$V_i^{(2)}(D, L, t) \leq \min \{R_a(D, L), R_a'(D, t)\}$	(1c)
	$V_i^{(3)}(D, L, t) \leq \min \{R_a(D, L), R_a'(D, t)\}$	(1d)
	$H^{(2)}(D, L, t) \leq H_a(D, L, t)$	(1e)
	$H^{(3)}(D, L, t) \leq H_a(D, L, t)$	(1f)
	$\sigma_i^{(2)}(D, L, t) \leq \sigma_{ss}$	(1g)
	$\sigma_i^{(3)}(D, L, t) \leq \sigma_{ss}$	(1h)
	$L \beta(D, L, t) \geq 1$	(1i)
	$D^L(t) \leq D \leq D^U$	(1j)
	$L^L \leq L \leq L^U$	(1k)
	$t^L \leq t \leq t^U(D)$	(1l)

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る。これは、本設計例の柱状図を用いたためであり、N値により極めて大きく影響されることがわかる。よってモデル化した柱状図のN値を用いてパラメトリック・スタディーをする必要がある。なお、図-3に示すように本法におけるアクティブな制約条件としては、常時における鉛直支持力(式(1b))および杭の肉厚の下限(式(1))であった。

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ようになる。

(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)GRG法は本法のような錯綜した制約面上を探索する場合に極めて有効であることが認められた。

表-2 計算結果

	従来の設計	本 法
杭の外径 (mm)	800.	576.
杭長 (mm)	39000.	41457.
杭の肉厚 (mm)	9.	9. *
V_{1-9} / R_a	0.58	1.00 *
V_{1-4} / R_a	0.66	0.95
$V_{4,8,12} / R_a$	0.64	0.91
H_{1-4} / H_a	0.57	0.70
$H_{4,8,12} / H_a$	0.57	0.70
$\sigma_{1-4} / \sigma_{ss}$	0.32	0.45
$\sigma_{4,8,12} / \sigma_{ss}$	0.30	0.41
$1 / L \beta$	0.10	0.07

*印はアクティブな制約条件

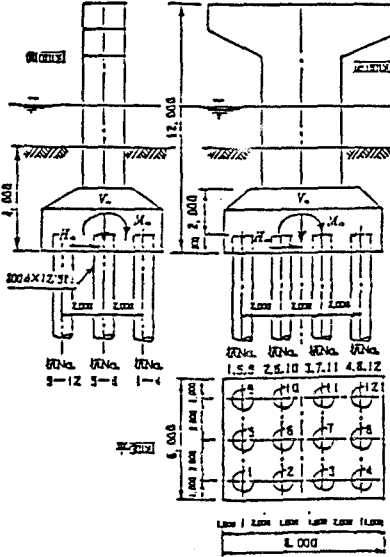


図-1 鋼管杭配置

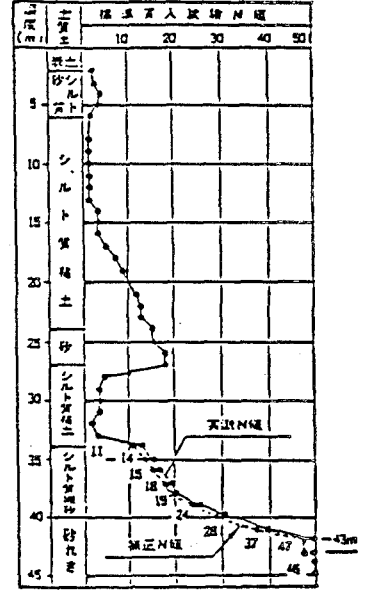


図-2 土質柱状図

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 (t)	2069	1553	1553
水平荷重 (t)	—	201	201
モーメント (tm)	—	1758	1758

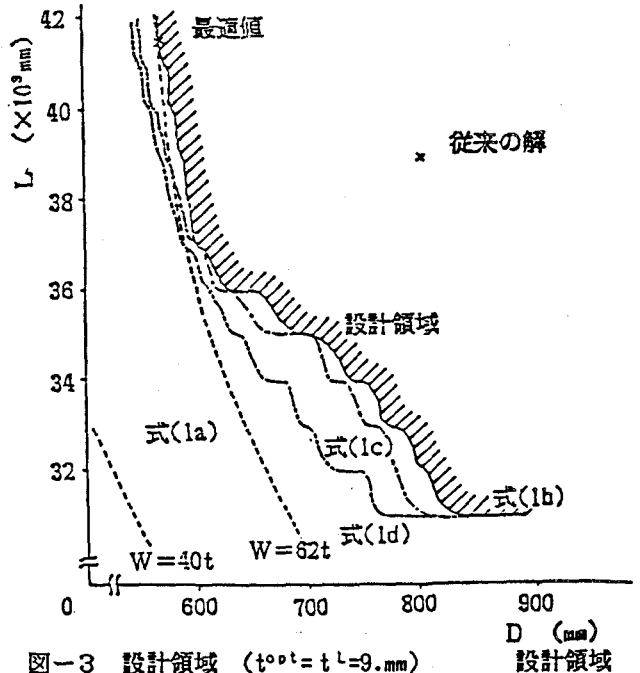


図-3 設計領域 ($t_{opt} = t, L = 9.0mm$)

設計領域

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