

R C橋脚および杭基礎の最適設計に関する一考察

愛媛大学工学部 正会員 大久保 禎二
 愛媛大学工学部 正会員 谷 脇 一弘
 愛媛大学大学院 学生員 P.B.R.Dissanayake
 愛媛大学大学院 学生員 ○三好 正忠

1 まえがき

本研究は、コンクリート杭基礎を有するR C橋脚の必要鉄筋量および断面寸法、R C杭の直径、杭間隔および杭本数を下部工の建設費を最小にする立場から最適値を決定する最適設計法に関する基礎的研究を行ったものである。本研究で考慮した杭基礎を有するR C橋脚の最適設計問題は、R C橋脚部分および杭基礎部分をそれぞれ独立に最適化することにより解くことができるため、R C橋脚の最適設計問題ではA C I 規準に規定されている終局限界状態での応力度の制約条件を考慮し、双対法を用いて最適な必要鉄筋量および断面寸法を決定している。つぎに杭基礎の最適設計問題では、杭一本に作用する最大押込み力あるいは最大引抜き力を制約条件として考慮し、杭径、杭間隔および杭本数を離散的に種々変化させた場合の建設費を比較することにより上記の設計変数の最適値を決定している。設計例として三径間連続P C箱桁橋の下部工の最適設計問題に適用した例を示し、本研究の最適設計法の有効性を明らかにしている。

2 R C橋脚の最適設計法

まず、R C橋脚の最適設計問題では、橋脚を m 個の要素に分割し、図1に示す各橋脚要素の断面における3種類の鉄筋量 A_{s1} , A_{s2} , A_{s3} および断面寸法 B , H を設計変数として考慮し、制約条件としてA C I 規準に定められた終局限界状態の応力度を考慮して、つぎのようなR C橋脚の最適設計問題として定式化した。

$$\begin{aligned} &\text{find} && A_s, B, H, \quad \text{which} \\ &\text{minimize} && W(A_s, B, H) = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{k=1}^3 C_s A_{sk} l_{ci} + C_c A_{ci} (H, B) l_{ci} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{subject to} \quad g_i = P_i(N_i, M_i) - P_{ia}(N_i, M_i) \leq 0 \quad (i=1, \dots, m) \quad (2)$$

ここに、 P_i および P_{ia} はそれぞれ橋脚の i 要素断面での作用力および断面耐力、 N_i , M_i はそれぞれ橋脚の i 要素断面に作用する最大鉛直力および最大モーメントである。 C_s , C_c および l_{ci} はそれぞれ鉄筋の単位体積当たりのコスト、コンクリートの単位体積当たりのコストおよび各橋脚要素の長さである。

本研究では、上記の最適設計問題を凸近似法および双対法を用いて解くことにより最適解を求めている。

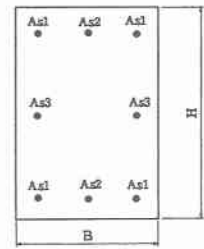


図-1 橋脚の設計変数

3 杭基礎の最適設計法

つぎに杭基礎の最適設計問題では橋軸および橋軸直角方向の杭本数 P_x , P_y , R C杭の直径 D および杭間隔 S を設計変数とし、また制約条件として、杭の最大押込み力および最大引抜き力に関する制約条件を考慮して、つぎのような最適設計問題として定式化した。

$$\begin{aligned} &\text{find} && D, S, P_x, P_y, \quad \text{which} \\ &\text{minimize} && W_f(D, S, P_x, P_y) = C_q A_q(D, S) + C_p A_{cp} P_x P_y l_p \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{subject to} \quad g_{p1} = P_{c,f} - P_{a(c,f)} \leq 0 \quad (4)$$

$$g_{p2} = S - 2.5D \leq 0 \quad (5)$$

ここに $P_{c,f}$ および $P_{a(c,f)}$ はそれぞれ杭一本に作用する最大押込み力あるいは引抜き力、および杭一本の許容最大押込み力あるいは引抜き力、 C_p および l_p はそれぞれ杭の単位体積当たりのコストおよび杭の長さである。

すなわち設計変数である杭の各列および行の杭本数 P_x, P_y 、杭径 D および杭間隔 S をそれぞれ $P_x = 2, P_y = 2, D = 1.00\text{m}, S = 2.5D$ より始め、 D を1m～3mまで10cmきざみ、 S を $2.5D \sim 5.5D$ まで0.5Dきざみにそれぞれ増加させながら、 P_x, P_y の各離散的な値に対して、杭の設計制約条件を満足する最小の建設費を求め、これらの最小建設費のうちの最小の値を与える P_x, P_y, D, S の組み合わせを最適解として決定した。なお、仮定した P_x, P_y, D, S を有する杭基礎の杭一本に作用する最大押込み力および引抜き力は、上部構造物の活荷重および死荷重による反力、2.で得られた最適な橋脚断面を有する橋脚の死荷重、フーチングの死荷重および土かぶり荷重を考慮し弾性地盤反力法により決定している。

4 設計例

2.および3.で述べた最適設計法により、図-2に示す三径間連続PC箱桁橋の橋脚および杭基礎の最小建設費問題を解いた結果について述べる。設計条件として、コンクリートの設計規準強度 $f_{cd}' = 211 \text{ kgf/cm}^2$ および鉄筋の降伏応力 $f_{yd} = 3500 \text{ kgf/cm}^2$ とし、鉄筋およびコンクリートの単位体積当たりの相対的なコスト C_s および C_c を、それぞれ110000/m³および24000/m³と仮定した。また橋脚は3個の要素に分割して設計するものとした。地盤条件としては、N値30の支持層の上にN値15の層が10m堆積しているものとしてN値による地盤の特性値の決定をおこなった。

まず、橋脚の最適設計問題において、設計変数として $A_{sk}(k=1,2,3), B, H$ を考慮した場合(CASE 1)と、美観上の観点から B, H を固定し $A_{sk}(k=1,2,3)$ のみを設計変数として考慮した場合(CASE 2)についての比較を行った。図-3に示すCASE 1における最適な $A_{sk}(k=1,2,3), B, H$ およびCASE 2における最適な $A_{sk}(k=1,2,3)$ は、いずれも10回以内の反復改良により得られた。CASE 1およびCASE 2の最適解における橋脚の総鉄筋量および総建設費を比較すると、CASE 2よりCASE 1の場合がそれぞれ49%および10%程度少ない値となっている。しかし、これらの違いによっても、杭基礎に作用する外力にはほとんど差がないため、CASE 1およびCASE 2、いずれの場合においても最適な杭配置は同一となり、最適解として図4に示す杭配置を得た。この最適な杭配置は3.で述べた方法により求められた2240組の離散的な P_x, P_y, D, S の組み合わせにおける建設費を比較することにより、DEC 3000/300で1.2秒程度の計算時間で決定することができた。以上の結果より、本研究で述べた最適設計法を適用することにより、最適な橋脚の鉄筋量および断面寸法、杭基礎の杭径、杭間隔および杭本数を容易に決定できることが明らかとなった。

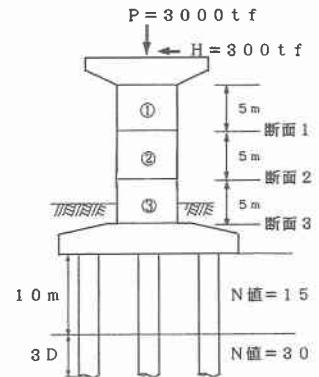


図-2 橋脚モデルおよび設計条件

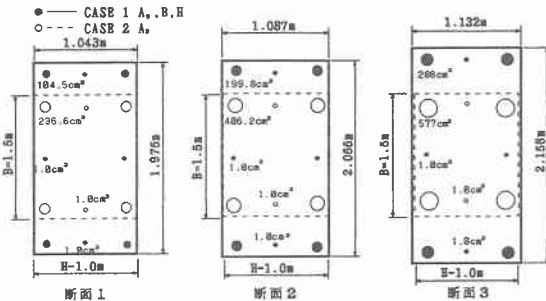


図-3 橋脚断面の最適解

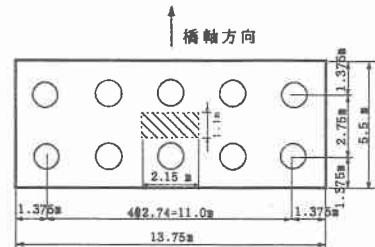


図-4 杭基礎の最適解