

T型RC橋脚の合理的設計のための一手法

第一復建機技術開発室 正 員 〇千々岩浩巳
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
福岡建設専門学校 正 員 木村貴之

1. 緒言 橋梁下部工は、通常、橋脚と基礎工およびフーチングに区分され、それぞれ、主に試行錯誤法により設計されている。しかし、現在の設計を改良できるか否かの判断が難しい場面に遭遇することも少なくない。このような設計法を改善するための一方法として、著者らは、交配個体選択GA(scsGA)による鋼管杭基礎工およびフーチングの合理的設計法¹⁾を提案したが、橋脚に関するこの種研究はほとんど見受けられない。

このような橋梁下部工の設計環境の改善を目標とする研究の一環として、本研究はscsGAによる橋脚の合理的な設計手法を提案するものである。すなわち、対象構造をT型鉄筋コンクリート橋脚(T型RC橋脚、外形概要を図-1に示す)にしぼり、まず、設計変数の選定および合理的設計問題の定式化を行い、次に、scsGAを適用するための離散的最適化問題への変換および線列の構成を行う。最後に、数値計算結果から提案手法の妥当性・有用性を確認するとともに解法特性の検討を行う。

なお、T型RC橋脚の設計は道路橋示方書²⁾に準拠する。

2. 設計基本式および解法

(1)建設コスト最小化による設計基本式：本研究で用いる設計基本式を式(1)に示す。道路橋示方書による設計を行う場合、①橋軸方向主鉄筋応力度、②橋軸直角方向主鉄筋応力度、③橋軸方向コンクリート応力度、④橋軸直角方向コンクリート応力度、⑤橋軸方向地震時保有水平耐力、⑥橋軸直角方向地震時保有水平耐力、⑦最小鉄筋比に関する照査により安全性を確保する必要がある。これを制約条件(式(1b))とした。また、道路橋示方書によるRC橋脚の設計では、安全許容な設計は比較的容易に得ることができるため設計者の目的意識は施工性や経済性などに向けられることが多いので、目的関数には定式化が比較的簡単なこともあり、経済性の観点から建設コストの最小化を採用した。ただし、 C_s は鉄筋に関するコストで主鉄筋コスト C_{Ms} 、帯鉄筋コスト C_{Hs} および張出部鉄筋コスト C_{Os} の総和、 C_c はコンクリートに関するコスト、 C_M は工賃および材料費込みの型枠コスト、 C_{ST} は足場工コスト、 C_{SU} は支保工コストである。ここに、各鉄筋コストは表-1に示す呼び径 d_s および等級によって異なる材料費(運搬費込み)と加工・組立費(人工によって若干の変化があるが、ここでは6.8P/tの一定値を用い

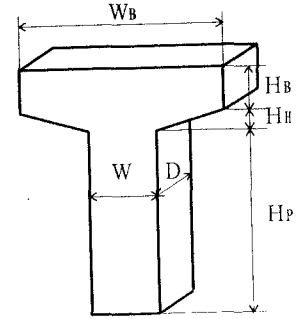


図-1 対象構造の外形概要

表-1 鉄筋のデータ

呼び径 d_s :mm	重量 kg/m	単価 SD295 P/t	SD345 P/t
D13	0.995	3.6	3.8
D16	1.56	3.4	3.6
D19	2.25	3.4	3.6
D22	3.04	3.4	3.6
D25	3.98	3.4	3.6
D29	5.04	3.5	3.7
D32	6.23	3.5	3.7
D35	7.51	3.6	3.8
D38	8.95	3.7	3.9
D41	10.5	3.8	4.0
D51	15.9	4.0	4.2

表-2 コンクリートのデータ

設計基準強度 σ_{ck}	単価 kg/cm ² P/m ³
210	1.01
240	1.05
270	1.08
300	1.13

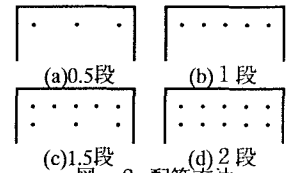


図-2 配筋方法

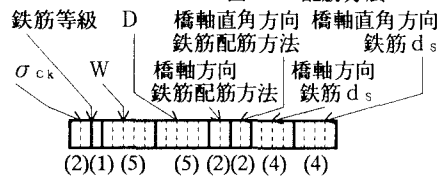


図-3 線列の構成

既知量: H_p, W_b, H_b, H_h , 上部工反力, 地盤条件, その他設計用諸値,
設計変数: W, D, σ_{ck} , 配筋, 鉄筋等級, 橋軸方向鉄筋の d_s ,
橋軸直角方向鉄筋の d_s .
目的関数: $C = C_s + C_c + C_M + C_{ST} + C_{SU} \rightarrow \min.$ (1a)
制約条件: $G_j \leq 0.0$ ($j=1,2,\dots,7$) (1b)
ただし: $G_{1\sim 6} = (\text{応答値}/\text{許容値}) - 1.0$,
 $G_7 = 0.0$ (許容な場合) or 1.0 (許容でない場合).

る)から算出する。C_cは、表-2に示す設計基準強度 σ_{ck} によって異なる材料費(運搬費込み)と打設費(鉄筋の加工・組立費と同様に実際には人工によって若干変化するが、ここでは一定値0.017P/tとする)から算出する。また、C_M、C_{ST}およびC_{SU}の単価には、それぞれ、0.0495P/m²、0.02P/掛m²および0.026P/空m³を用いる。なお、本研究で用いるコスト単位Pは実際の工事費をベースにした仮想の単位である。

(2)GA適用のための線列の構成：式(1)に示すRC橋脚の設計基本式の設計変数のうち、鉄筋のd_s・等級、 σ_{ck} は表-1、2のように離散変数であり、配筋方法も図-2に示すように配筋列数および鉄筋間隔(ここでは一般の設計で多用される方法から、図-2(b)1段で125mm、(a)0.5段で250mmのように設定する)により4種類に限定する。また、橋脚断面寸法WおよびDは、本来連続量であるが、一般の設計では0.1mピッチのラウンドナンバーとして扱うことが多い。結局、式(1)はすべての設計変数が離散変数である離散的最適化問題となり、scsGAの適用が可能となる。W=2.0~5.1m(0.1m刻み)、D=1.5~4.6m(0.1m刻み)とすると、scsGAによる最適化に必要な線列は、図-3に示すように25bit構成となる。なお、scsGAの各種操作の基準となる評価関数には式(1)の外点ペナルティ関数を用いる。

3. 数値計算例 提案法の適用性・有用性を検討するため、第1種地盤(設計水平震度=0.25、地域別補正係数=1.0、重要度別補正係数=1.0)に建設されるT型RC橋脚(H_P=7.5m、W_B=11.2m、H_B=1.0m、H_H=1.5m、上部工死荷重=406.0tf)の設計への提案法の適用を示す。scsGAでは設定する交配個体数N_sが解に影響を及ぼすことがあるのでN_s=30~60と変化させ、その他のGA的パラメータは、全人口数N_P=300、最大計算世代数N_G=150、突然変異確率P_m=0.2と固定した。

各N_sによる最適化計算結果から目的関数C値が最も小さい解をそのN_sにおける解とする。表-3に、合計31ケースより得られた8種類の解を目的関数値の昇順に整理した。表-3には、解の順位、C値(カッコ内には最小値に対する比率)などの設計変数値のほか、その解が得られたケース数とN_s値を併記している。まず、得られた8種類の解は、いずれも設定した設計条件下では妥当な設計と評価することができる。C値の違いが最大でもわずか2%であることから、提案法の適用性を確認することができる。次に、設計変数値をみると、共通点として σ_{ck} はすべて300kgf/cm²、鉄筋等級は順位2のみSD295で、他はすべてSD345、また、いずれかのd_sがD51であることが見出されるが、その他の設計変数値にはかなりのばらつきが認められる。このばらつきは、橋脚断面寸法(WとD値)と鉄筋量(d_sおよび配筋方法)とが互いに補い合う傾向から生じるものである。異なる設計のC値の違いがわずかであることと相俟って、試行錯誤法による通常の設計における合理的な設計変数値の決定を困難にしている理由と考えられる。この点において、自動的に目的を追求する提案法はかなり有用と評価できる。ただし、GAによる解が離散的最適化問題の最適解であることは一般に保証されず、ここで用いたscsGAでもN_s値によって異なる解が得られ、しかも、N_s値と得られる解の良否には特に明確な傾向は見られない。このような問題は、GAによる最適化に関する今後の研究課題のひとつであるが、scsGAを用いる場合でも、現状ではN_sをある程度変化させた複数の

表-3 scsGAによる設計結果

順位	C P (比率)	W m	D m	σ_{ck} kg/cm ²	鉄筋			解を得たケース数←N _s の値
					d _s	等級	配筋	
1	434.96(1.000)	3.0	1.7	300	D51, D38	SD345	1, 1	8←N _s =30, 32, 36, 40, 47, 49, 51, 53
2	438.82(1.009)	3.3	1.6	300	D51, D38	SD295	1, 1	2←N _s =33, 59
3	439.55(1.011)	3.1	1.9	300	D41, D51	SD345	1, 0.5	2←N _s =52, 55
4	439.58(1.011)	3.9	1.8	300	D51, D38	SD345	0.5, 0.5	12←上下記以外のすべてのN _s
5	440.43(1.013)	3.6	1.9	300	D51, D41	SD345	0.5, 0.5	1←N _s =38
6	443.18(1.019)	3.2	1.9	300	D41, D51	SD345	1, 0.5	1←N _s =42
7	443.23(1.019)	3.6	1.7	300	D51, D32	SD345	1, 1	4←N _s =46, 48, 50, 57
8	443.70(1.020)	3.7	1.8	300	D38, D51	SD345	1, 0.5	1←N _s =34

計算を行うことによって対処せざるを得ないと考えられる。

謝辞 本研究の数値計算の一部には九州共立大学工学部土木工学科卒業生重友輝之君の助力を得た。記して謝意を表する。
参考文献 1)千々岩, 三原, 太田:GAによる鋼管杭基礎構造の最適配置決定法に関する研究, 土木学会論文集, 第549号/I-37, 1996.
10. 2)日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 1970.5.