# プレストレストコンクリート箱桁橋の多目的ファジィ最適設計法に関する研究

愛媛大学　フェロー　大久保 禎二　　愛媛大学　　正　谷脇 一弘
愛媛大学　学　P.B.R.Dissanayake　五洋建設（株）正〇三好 正忠

## 1．まえがき

本研究は、構造物の多目的最適設計問題において、設計上考慮すべき全ての設計変数群の中より各目的関数に共通的に大きな影響を与える重要な設計変数群を選択し、その重要な設計変数群の離散的な組合せに対して各目的関数毎に suboptimization を行い、この最適化された各目的関数のデータおよび各目的関数相互の評価のあいまいさを考慮して各目的関数ごとにファジィメンバシップ関数を導入し、最小オペレータ法あるいは和オペレータ法を用いて全域的な最適解を決定する方法について述べるものである。設計例として、上部工および下部工を考慮した三径間連続プレストレストコンクリート箱桁橋の総建設費の最小化および美観の最大化の２つの目的関数を有する多目的最適設計問題に適用し、基礎的考察を行った結果について述べる。

## 2．三径間連続プレストレストコンクリート箱桁橋の多目的最適設計法

図-1に示す三径間連続プレストレストコンクリート箱桁橋の多目的最適設計問題の目的関数として、上部工の建設費$W_{sup}$と下部工の建設費$W_{sub}$の和として表現される総建設費$f_c$の最小化および美観$f_b$の最大化を考慮し、この２つの目的関数に大きな影響を与える共通的な設計変数群としてスパン比$Sr\ (l_1/l_2)$および支点上の桁高$H$を考慮している。その他の設計変数群として、上部工においては全プレストレス力$P_p$、部分プレストレス力$\mathbf{P}_l=[P_{l1},P_{l2},P_{l3}]^T$、プレストレス鋼線の偏心量$\mathbf{e}=[e_1,e_2,e_3]^T$および箱桁断面のコンクリート底版厚$t$を考慮し、これらの変数群をまとめて$\mathbf{X}_{sup}$と表現する。また、下部工においては、三段階に変化させた橋脚断面の各断面における鉄筋量$A_S=[A_{S1},A_{S2},A_{S3}]^T$、杭基礎のｘ方向およびｙ方向の杭の本数$P_x,P_y$、杭の間隔$S$および杭の直径$D$を考慮し、これらの変数群をまとめて$\mathbf{X}_{sub}$と表現する。制約条件として、上部工についてはACI コードに規定されている使用限界状態での応力度、ひび割れ、終局限界状態での曲げ強度、および延性に関する制約条件、ＲＣ橋脚については ACI コードに規定されている終局限界状態での応力度、杭基礎については、ACI コードに規定されている終局限界状態での応力度、フーチング底面での図心の水平変位、杭の許容押し込み力および許容引抜き力を考慮し、これらの制約条件式群を$g_j(\mathrm{Sr},H,\mathbf{X}_{sup},\mathbf{X}_{sub})(j=1,\cdots,q)$として表わす。上記の設計変数、目的関数および制約条件を考慮し、三径間連続プレストレストコンクリート箱桁橋の多目的最適設計問題を次のように定式化することができる。

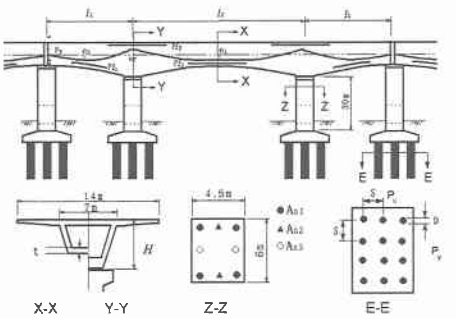

図-1　設計変数

find　$Sr,H,\mathbf{X}_{sup},\mathbf{X}_{sub}$

minimize　$f_c(Sr,H,\mathbf{X}_{sup},\mathbf{X}_{sub})=W_{sup}(Sr,H,\mathbf{X}_{sup})+W_{sub}(Sr,H,\mathbf{X}_{sub})$　(1)

maximize　$f_b(Sr,H)$　(2)

such that　$g_j(Sr,H,\mathbf{X}_{sup},\mathbf{X}_{sub})\le 0\qquad (j=1,\cdots,q)$　(3)

ここに、$X_{sup}=[P_p,\mathbf{P}_l,\mathbf{e},t]^T$ ,　$X_{sub}=[A_S,P_x,P_y,S,D]^T$

上式で表わされる三径間連続プレストレストコンクリート箱桁橋の多目的最適設計問題を解くにあたってまず、共通の設計変数$Sr,H$の種々の離散的な組合せに対して総建設費$f_c$のみを目的関数として考慮し suboptimization を行う。この場合、上部工および橋脚の最小建設費に関する最適設計問題は、凸近似法および双対法を用いて最適解を決定している。また、杭基礎の最適設計問題においては、設計変数である杭の直径、間隔および本数を離散的に変化させ、最小建設費を与えるこれらの設計変数の組合せを最適解として決定している。設計変数$Sr,H$の種々の離散的な組合せに対する美観関数$f_b$の評価値は、各$Sr,H$の値に関して橋梁全体の完成予想図を作成し相互に比較検討を行うことにより決定している。この最適化された各目的関数のデータおよび各目的関数相互の評価のあいまいさを考慮して各目的関数ごとにファジィメンバシップ関数を導入し、最小オペレータ法あ

るいは和オペレータ法を用いて$Sr, H$の全域的な最適解を決定した。

## 3．設計例および考察

設計例として図-1に示す橋長200 mの三径間連続プレストレストコンクリート箱桁橋の最適解を上で述べた方法により決定した結果について述べる。本研究で考慮したスパン比および桁高の離散値はそれぞれ$Sr = l_1/l_2$ =0.5,0.61,0.75,0.93、および$H$ = 4.0,4.5,5.0,5.5,6.0,6.5,7.0,7.5,8.0,8.5 ($m$) とした。PC鋼線、鉄筋およびコンクリートの単位体積当たりの相対的な費用はそれぞれ6916800, 110000,24000 ($1/m^3$)と仮定した。PC鋼線の許容引張応力度、鉄筋の許容引張応力度およびコンクリートの設計基準強度はACIコードを参照してそれぞれ17500, 4500, 350 ($kgf/cm^2$) と仮定した。また、建設地点における地盤はN値30の支持層上にN値10の砂層が１０m堆積しているものと仮定した。

$Sr$および$H$の各組合わせに対して上部工および下部工のsuboptimizationを行うことにより得られた各$Sr$の値に対する$H$と最小総建設費の関係を図-2に示す。得られた最小総建設費の最大値および最小値を相対的に評価して、最小総建設費のメンバシップ関数を図-3のように導入し、このメンバシップ関数を用いて各$Sr$および$H$の組合せにおける最小総建設費のメンバシップ値を求めた。美観のメンバシップ関数は、$Sr$および$H$の組合せに対するPC箱桁橋の完成予想図を作成し、その美観を相互に比較検討を行うことにより、各$Sr$における美観のメンバシップ関数と$H$の関係を図-4のように導入した。このようにして導入された各$Sr$における$H$と最小総建設費および美観の目的関数のメンバシップ値の関係を用いて、最小オペレータ法により決定した$Sr$と最大のメンバシップ値の関係を図-5に示す。この図より明らかなごとく、最適な$Sr$として$Sr_{opt}$= 0.62と決定することができる。一方、上記のように導入された各目的関数のメンバシップ関数を用いて和オペレータ法により最適解を決定する過程において、総建設費と美観のメンバッシップ値に乗ずる相対的な重み$W_c$および$W_b$の比を種々変化させ、得られた最適なスパン比$Sr_{opt}$を表1に示す。和オペレータ法では、総建設費および美観に対する設計者の意図、すなわち重み付けを容易に変化させてそれぞれの最適解を比較することが可能であり、より汎用的かつ合理的な意思決定法であるといえる。

以上の考察により、本研究で提案した多目的ファジィ最適設計法により、構造物の設計において考慮すべき性質の異なる複数個の目的関数の相対的な評価のあいまいさをも考慮した最適設計問題の最適妥協解を論理的に、システィマティックに、かつ正確に決定できることが明らかとなった。

[参考文献]　1)坂和正敏：ファジィ理論の基礎と応用、森北出版、1989.　2)American Concrete Institute: Building code requirements for reinforced concrete, ACI318-89, 1989.

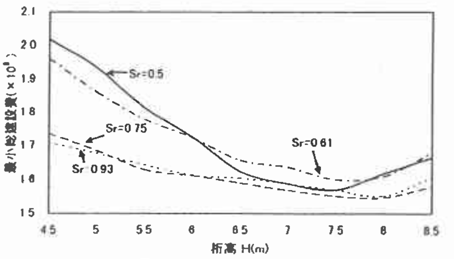


図 2 各Srにおける最小総建設費と桁高の関係

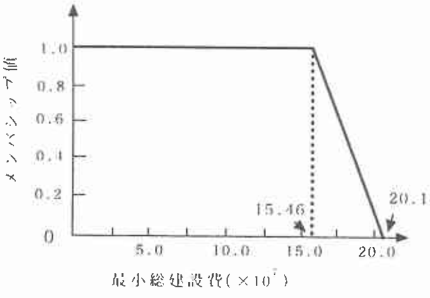


図-3　最小総建設費に関する
メンバシップ関数

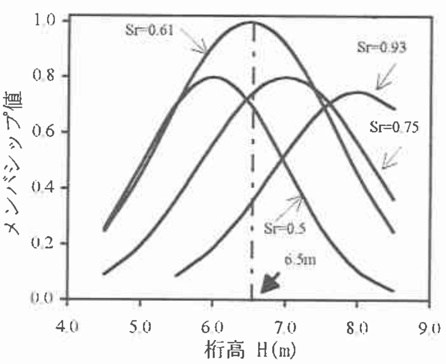


図-4　美観に関するメンバシップ関数

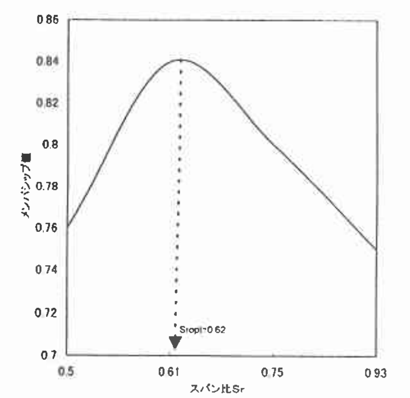


図-5　最小オペレータ法により決定した
スパン比とメンバシップ値の関係

表1　和オペレータ法による最適解

| 方法 | 重みの比率 | スパン比 |
|---|---|---|
| 和オペレータ | Wc:Wb=0:1.0 | 0.608 |
| | Wc:Wb=0.2:0.8 | 0.614 |
| | Wc:Wb=0.4:0.6 | 0.627 |
| | Wc:Wb=0.8:0.2 | 0.778 |
| | Wc:Wb=1.0:0 | 0.782 |