土木学会第49回年次学術講演会（平成６年９月）

Ｉ－410　　連続桁ＲＣ床版の打設計画へのＧＡの適用

片山ストラテック 正員 夏秋義広　正員 向台 茂　関西大学 正員 古田 均

１．まえがき　離散変数、非連続関数から成る組合せ最適化問題の一解法として、近年、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm、以下ＧＡという）と呼ばれる手法が注目されている。ＧＡは、設計変数に離散数値を取り得ることはもちろんのこと、目的関数が必ずしも連続関数でなくても良いため、構造計画・設計への実務的応用範囲が広いものと思われる。

現場打ちコンクリート床版の打設順序決定は、これまで「床版工事設計施工の手引き」などを参考に、経験者により試行錯誤的に求められていた。これは、最適な打設計画を決定するには多大の構造解析とその評価を要求されるため、実際問題として可能な組合せ全てについてチェックすることが不可能に近いためである。そこで、本研究では、組合せ最適化問題の一解法として近年脚光を浴びているＧＡを、連続桁ＲＣ床版の打設順序決定問題に適用することを試みたものである。

２．連続桁ＲＣ床版の打設順序決定プロセス　連続桁ＲＣ床版の打設計画に際しては、たわみの大きい径間の中央部より打設し、負の曲げモーメントの生ずる中間支点付近はコンクリートに生ずる引張応力度を考慮して、できるだけ後の方で打設するのが一般的である。このとき、各施工段階のコンクリート打設日は、先行打設されたコンクリートに発生する引張応力度が許容値以下となるように設定される。

コンクリートの許容引張応力度は材令が大きいほど高いため、単純に考えると十分に間を置いた打設計画とすれば問題のないところである。しかしながら、打設日の間隔を大きくするとコンクリートの合成効果が増すため、最終たわみが計画たわみと異なり許容誤差の範囲を超える恐れが生ずる。また、工費の面からも施工日数はできるだけ小さいのが望ましい。従って、実際の打設計画では、床版コンクリートの許容引張応力度を満足できる範囲で最終打設日が最も早くなるように各施工段階のコンクリート打設日が決定される。

打設回数は、１日当りのコンクリート打設量、すなわち一回に打設できるパネル数により制限される。橋梁の規模が大きく、１日当りのコンクリート打設量が相対的に小さい場合、必然的に打設回数が多くなるため最適な打設計画を決定することはかなり煩雑な作業となる。また、最終たわみに及ぼす影響を考慮すると左右対称に打設するのが望ましいが、１回の打設を分割すると打ち継目数が増加するという問題がある。

このように、連続桁ＲＣ床版の打設計画に際しては、相反する複数の価値基準を満足しながら最適な打設計画（打設回数、打設順序および打設間隔）を決定する必要がある。

３．離散的組合せ最適化問題の定式化　図－１に示すような連続桁ＲＣ床版の打設順序決定問題を考える。評価項目として、本研究では、施工日数、打ち継目数、たわみ誤差の最小化を対象とする。評価基準が複数あるため、目的関数としてはこれらの線形結合したものを考える。制約条件には、コンクリート床版の引張応力度、格点たわみ値および１日当りコンクリート打設量を考慮した。設計変数は各パネルの打設日である。

本研究の離散的組合せ最適化問題は、従って以下のように定式化される。

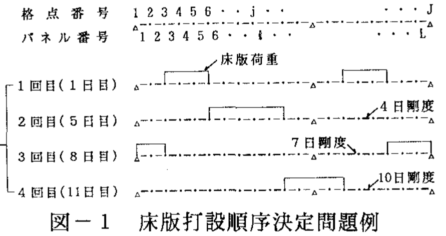
目的関数： $OBJ(i)=\alpha_1 f_1+\alpha_2 f_2+\alpha_3 f_3 \rightarrow \mathrm{mini}$　(1)

制約条件： $g_1(i)=\sigma_j-\sigma_a \leqq 0 \quad (j=1 \sim J)$　(2)

$g_2(i)=\delta_j-\delta_a \leqq 0 \quad (j=1 \sim J)$　(3)

$g_3(i)=V_k-V_a \leqq 0 \quad (k=1 \sim K)$　(4)

設計変数： $1 \leqq D_\ell \leqq 16\ \mathrm{day} \quad (\ell=1 \sim L)$　(5)



図－１　床版打設順序決定問題例

ここに、i:設計番号、f_1：最終打設日、f_2：打ち継目数、

f_3：たわみ誤差、$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$：重み、$\sigma_j$：格点ｊのコンクリート引張応力度、$\sigma_a$：コンクリート許容引張応力度、$\delta_j$：格点ｊの最終たわみと計画たわみとの差、$\delta_a$：キャンバーの許容誤差、$V_k$：第ｋ回目のコンクリート打設量、$V_a$：１日当りのコンクリート打設可能量、$D_\ell$：パネル$\ell$の打設日、Ｊ：格点数、Ｋ：打設回数、Ｌ：パネル数。

数値計算に際しては、式(1)の目的関数中のf_1、f_2、f_3のスケールを揃えるために、各々の中央値で除した値を用いる。また、たわみ誤差f_3に関しては、許容値以内であっても打設完了後に逆キャンバー状態となるのは好ましくないため、たわみすぎの場合には誤差の値を２倍する。

４．ＧＡによるプログラミング

原問題は制約条件付きの最小値問題であるため、ＧＡの適用に際し外点ペナルティ法を用いて無制約問題に変換する[1]。

$$\Phi(i) = OBJ(i) + \gamma \sum_{m=1}^{3} \max[g_m, 0] \qquad (6)$$

ここに、γ：ペナルティ係数、ｍ：制約条件式の数。

ＧＡでは適応関数が要求される。適応関数としては種々考えられるが、ここでは次式を用いる[1]。

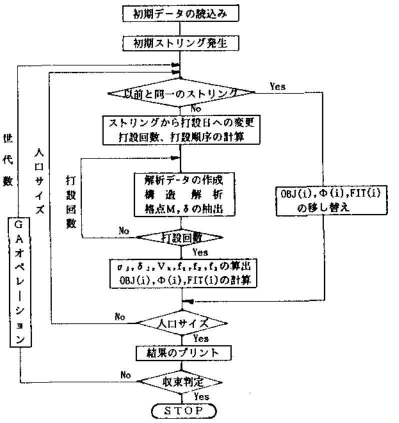
$$FIT(i) = -a\,\Phi(i) + b \qquad (7)$$

ここで、FIT(i)は適応関数の値、ａ，ｂは次式である。

$$a = \frac{\Phi_{avg}(C-1)}{\Phi_{avg} - \Phi_{min}}, \quad b = \frac{\Phi_{avg}(C\Phi_{avg} - \Phi_{min})}{\Phi_{avg} - \Phi_{min}} \qquad (8)$$

ここに、Φ_{avg}：各世代におけるペナルティ関数の平均値、Φ_{min}：その最小値、Ｃ：任意係数。

ＧＡによる計算フローを図－２に示す。



図－２　ＧＡの計算フロー

図-１および式(6)で与えられた問題をＧＡで解く場合、設計変数をどのようにストリングで表現するかを決めなければならない。本研究では、図－３に示すように各パネルの打設日を２進数表現して１組としたストリングを用いる。１ストリングは、従って4Lビットで表される。この１ストリングが１ケースの設計（打設方法）を表すことになる。

設計変数	＝ D_1，D_2，D_3，D_4，D_5，D_6　・・・　D_L	←Ｌ個
打設日	＝ 8，8，1，1，1，5　・・・　8	←Ｌ個
ストリング	＝(1000・1000・0001・0001・0001・0101　・・・　・1000)	←4Lビット

図－３　ストリングへの変換方法

構造解析には平面骨組み問題として変形法のプログラムを用いる。従って、１ケースの設計に対し、例えば図－１の例では４回の構造解析が要求されることになる。この時、部材剛度および断面係数の値は、既に床版コンクリートの打設されている部材では材令に応じた合成効果を考慮する必要がある。例えば、第３回目（８日目）の解析においては、パネル２、６はそれぞれ７日目、４日目の値を用いることになる。また、これらの部材のコンクリートの許容引張応力度も同様に材令の影響を考慮しなければならない。

ＧＡオペレータには淘汰、交差、突然変異を用いる。淘汰はルーレットの戦略を、交差は１点交差を、突然変異は１ビットの0,1を置換する、いわゆる単純ＧＡ[2]である。

５．あとがき

本研究はＧＡを連続桁ＲＣ床版の打設順序決定問題に適用したもので、詳細は講演時に発表の予定である。なお本研究は土木学会関西支部共同研究グループ「土木構造物の知識情報処理に関する調査研究」の成果の一部であり、原茂樹(NKK)、二宮隆史(ｾﾝﾄﾗﾙｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ)、保田敬一(ﾆｭｰｼﾞｪｯｸ)の各氏の助力を得た。

【参考文献】　1)杉本・鹿・山本：離散的構造最適設計のためのＧＡの信頼性向上に関する研究，土木学会論文集，No.471/I-24, pp.67-76, 1993.7　2)Goldberg,D.E.：Genetic Algolithms in Search, Optimization and Machine Learning, ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY,INC., 1989.