

遺伝的アルゴリズムを用いたコンクリート施工計画の最適化に関する研究

大林組 正会員 ○高橋 敏樹

大林組 正会員 近松 竜一

大林組 フェロー 十河 茂幸

1. はじめに

コンクリート構造物のジャンカやコールドジョイントといった初期欠陥は、直接的にはコンクリート打込み時の突発的な事態により引き起こされることが多いが、間接的には不適切な施工計画による場合もみられる。初期欠陥を防止するために、立案された施工計画から、その計画に基づいて施工を行った場合の初期欠陥の発生危険度を予測し、施工計画の修正にフィードバックする手法が考えられる¹⁾。この手法では、施工計画の修正は、算出された初期欠陥の発生危険度と施工に必要なコストを勘案しながら、施工計画立案者が行うことになるが、それにはある程度の経験が必要である。本研究では、初期欠陥の発生危険度とコストを考慮した最適な施工計画を、遺伝的アルゴリズムを用いて算出する手法の検討を行い、経験の少ない技術者でも十分な施工計画を作成できる支援システムの開発を行った。

2. 施工計画の評価手法

施工計画の評価手法を図-1に示す。本研究では橋梁や下水処理場などの鉄筋コンクリート構造物をコンクリートポンプを用いて施工する場合を検討対象とし、考慮する初期欠陥はジャンカ、コールドジョイントおよび鉄筋のかぶり不足とした。立案された施工計画の各項目を入力値として、各初期欠陥の発生危険度を初期欠陥指数として算出する。指数は0～1の値で、0.5を標準的な施工で概ね問題なく施工できるとし、指数が0.5以下の場合に初期欠陥の発生危険度が高いとした。

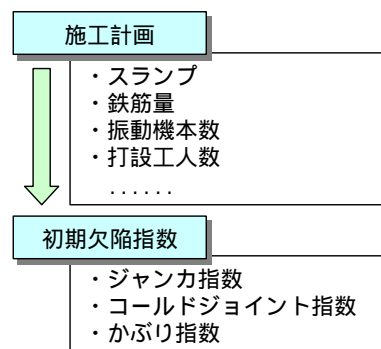


図-1 初期欠陥指数算出フロー

3. 施工計画の最適化手法

施工計画の最適化は、初期欠陥指数を制約条件として、コストを最小化するような施工計画を算出することとした。最適化計算には、組合せ最適化問題に適している遺伝的アルゴリズム（以下GAと略記）を適用した。施工計画を遺伝子として表現し、その施工に必要なコストを各遺伝子の適応度として、施工計画から算出される初期欠陥指数を制約条件とした。初期欠陥指数が設定値を下回る場合は制約条件を満たさないため、コストを大きくし、その遺伝子が淘汰されるよう処理することとした。図-2に計算フローを示す。施工計画は図-3のように各項目を2進数で表して、一つの施工計画を一つの遺伝子として表現した。

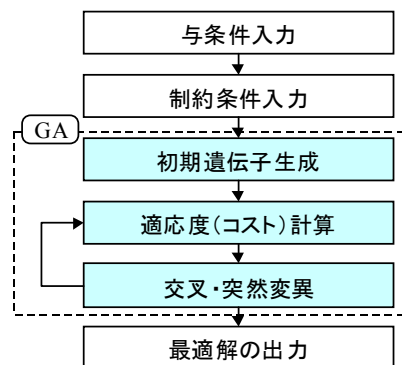


図-2 最適化計算フロー

コストは、コンクリート材料、ポンプ圧送、打設作業、鉄筋工に係るコストを施工計画を基に計算し、合計することとした。コンクリート材料は配合、打設数量等を、ポンプ圧送はポンプ能力、配管等を、打設作業は打設工人数、作業時間等を、鉄筋工はスペーサや段取り筋を考慮してコスト計算を行った。

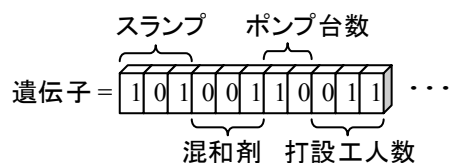


図-3 施工計画の遺伝子表現

キーワード：コンクリート工事，施工計画，初期欠陥，最適化，遺伝的アルゴリズム

連絡先：〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林組 技術研究所 土木材料研究室 TEL:0424-95-0930

表-1 与条件

分類	項目	単位	値
環境	外気温		20
配合	コンクリート種類	-	普通
	水セメント比	%	55
	細骨材率	%	46
	単位粗骨材量	kg/m ³	1000
	粗骨材最大寸法	mm	20
配筋	鉄筋量	kg/m ³	300
	最小鉄筋あき	mm	50
	純かぶり	mm	50
	打設量	m ³	500
打設	圧送距離	m	50
	工場からの運搬時間	分	30
	予定打重ね時間	時間	1.5

表-2 GA の計算条件

項目	設定値
個体数	50
世代数	2000
選択方法	ルーレット+エリート保存
交叉方法	一点交叉
突然変異確率	5%

表-3 最適解の初期欠陥指数

項目	値
ジャンカ指数	0.50
コールドジョイント指数	0.55
かぶり指数	0.62

表-4 最適化項目および最適解

分類	項目	単位	値
配合	スランプ	cm	10
	混和剤種類	-	AE減水剤
配筋	スぺーサ密度	個/m ²	2
	段取り筋	-	使用しない
打設	ポンプの台数	台	2
	ポンプの出力	-	小
	配管径	インチ	6
	振動機の種類	-	φ 60内部振動機
	振動機の本数	本	4
	打設工の人数	人	16
	生コンの落下高さ	m	1
	生コン供給量	m ³ /h	40

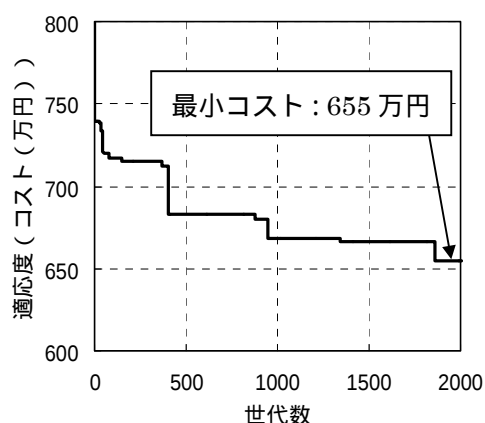


図-4 世代数と最適解の適応度

4. ケーススタディー

上記の手法を用いて、施工計画最適化のケーススタディーを行った。対象は壁状構造物の壁部分の打設とし、打設数量等の与条件を表-1 のように設定した。配合に関しては、性能規定を考えれば本来最適化すべき項目であるが、耐久性等の観点から変更が困難であることが多いため、本検討ではスランプ、混和剤種類のみを最適化項目とし、その他は与条件とした。GA の計算条件は表-2 に示す値を用い、制約条件は各初期欠陥指数が 0.5 以上として最適化計算を行った。1 回の計算世代数は 2000 世代として 5 回の繰返し計算を行った。

最適解として出力された施工計画の初期欠陥指数を表-3 に、最適化した項目と最適解として出力された値の一覧を表-4 に示す。また、最適解出力時の世代数と適応度（コスト）の履歴を図-4 に示す。

最小コストは 655 万円であり、このとき全ての初期欠陥指数が 0.5 以上となり制約条件を満たした。最適化された各項目を見ると、打設量が 500m³ と多く、鉄筋が密に配置されている壁構造物であるために、コンクリートポンプ 2 台、パイプレータ 4 本、打設工 16 人で、コンクリートの供給量が 40m³/h と比較的ゆっくりとした入念な施工を行うことにより、ジャンカの発生を抑えるという施工計画になった。コンクリートのスランプを大きくする計画や、コンクリートポンプ 1 台で長時間の打込み作業を行う計画は、かえってコストが大きくなるため、最適化の過程で淘汰された。出力された最適解は制約条件を全て満足しており、コストも最小と思われるが、経験的な判断と比較しても一般的な施工計画として十分実施工に適用できるものと考えられる。

5. まとめ

GA を用いて施工計画の最適化を行う手法とその計算例を示した。GA による最適化計算は実績も多く、ある程度の信頼性があるが、最適解として出力された施工計画が妥当なものであるか否かは初期欠陥指数とコストの算出方法に大きく影響を受け、その検証は十分ではない。これらの計算式、設定値をより実施工に即したものに改良してゆくことによって、より妥当な最適施工計画を求めることが可能になると考えられる。

参考文献 1) 高橋敏樹, 入矢桂史郎, 十河茂幸: コンクリート工事の施工計画照査に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 部門 , pp. 1251-1252, 2003.9