遺伝的アルゴリズムを用いたマスコンクリートの温度ひび割れ制御

山口大学大学院　学生会員　○江本久雄
山口大学工学部　正 会 員　中村秀明
山口大学工学部　正 会 員　宮本文穂
山口大学大学院　松浦向太郎

１．はじめに

近年，コンクリート構造物の建設では，大型化，高強度化および高速施工化に伴い，セメントの水和熱による温度ひび割れの発生が問題となっており，耐久性や機能性の観点から，温度ひび割れをどのように制御するかが課題となっている．温度ひび割れ発生の評価方法としては，ひび割れ指数[1)]が一般的に用いられている．温度ひび割れは，いろいろな要因が複雑に絡み合って生じるため，ひび割れ指数を大きくする施工条件の組合せは無数に存在し，全ての組合せに対して温度応力解析を行い，どれが良いかを事前に検討することは非常に大変な作業である．そこで，本研究では温度ひび割れを抑制するための材料や施工条件の組合せを、組合せ最適化問題ととらえ，遺伝的アルゴリズム[2)]（以下 GA）を用いて最適化を行った．

２．遺伝的アルゴリズムを用いた温度ひび割れ制御

マスコンクリートの温度ひび割れを抑制するためには，ひび割れ指数をできるだけ大きくする必要がある．そこで，**図-1** に示すように各種施工条件を GA の入力形態である遺伝子型にコーディングし GA によって最適化を行う．この際，評価値となるひび割れ指数は，遺伝子型をデコーディングし FEM 温度解析，FEM 応力解析により求める．GA の性質上，複数の個体（施工条件）を FEM 解析の結果より評価し，進化が進むごとに各世代の個体を評価する．最後に，あらかじめ設定してある終了世代まで計算を繰り返すことにより，温度ひび割れの抑制を考慮した最適な施工案を得ることができる．

３．温度ひび割れ制御案の策定

遺伝的アルゴリズムを用いた温度ひび割れ制御案の策定例として，地盤上にスラブが打設された**図-2** に示すような解析対象で検証を行った．解析条件と物性値を**表-1** に示す．また，本研究で考慮した施工条件のパラメータ一覧を**表-2** に示す．

検証結果の妥当性を検討するため，全ての組合せ（2^{12}=4096）に対して温度応力解析を行い，その中で一番良い結果のものを**表-3** に示す．最適化は，最小ひび割れ指数の最大化を目的関数として行った．また，制約条件としては，一般的に後に行う養生ほど熱伝達率が大きくなることから，後になるほど熱伝達率が大きくなるものを選ぶようにした．GA の計算で用いたパラメータは，世代数を 100，個体数を 10，選択淘汰方法をルーレット選択とエリート保存戦略，交叉方法を 2 点交叉，突然変異率を 10%とした．

図-3 に検証によって得られた GA における世代数と最大適応度（最小ひび割れ指数）の推移を示す．**図-3** から 19 世代

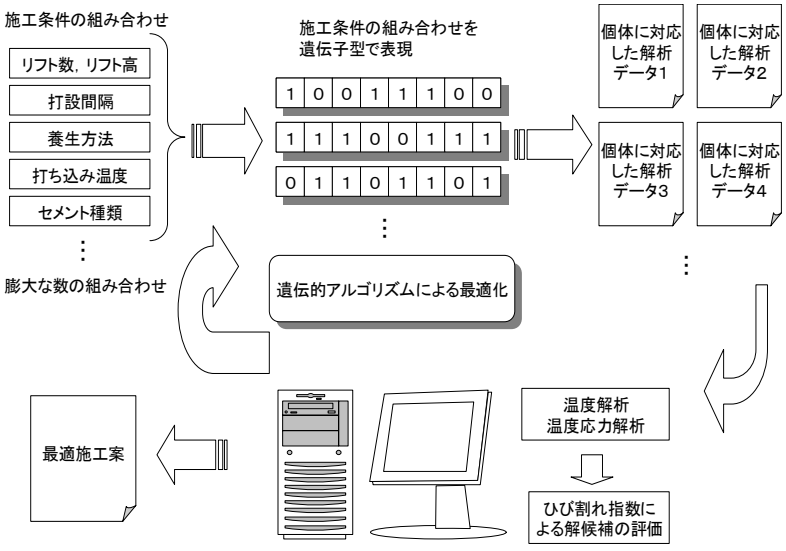

図-1　本システムの概要

キーワード：遺伝的アルゴリズム，マスコンクリート，温度ひび割れ制御，ひび割れ指数
連絡先　〒755-8611　山口県宇部市常盤台２丁目 16-1　TEL：0836-85-9530　FAX：0836-85-9530

目に最大適応度である 1.05 が得られている．本検証における条件では GA による最適化の結果，最小ひび割れ指数が最大となる施工案を得ることができ，温度ひび割れ制御に有効であることが分かる．ここで，GA の計算を 100 回行ったときの最適解が得られた世代数の推移を**図-4** に示す．**図-4** から，最適解は概ね 20 世代以内に求まっている．しかしながら，世代数が 30 世代を超えても最適解が得られていない 84 回目のような場合がある．理由としては，初期個体群が確率的に完全にランダムに生成されることが，最適解が得られる世代数を不確定なものにしていると思われる．そこで，初期個体に影響される GA の不確定さをなるべく低減し，少ない世代数で確実に最適解を得るために，初期個体群の設定に工夫が必要である．

4．まとめ

本研究では，GA を用いて温度ひび割れ制御案の策定を行った．以下に本研究のまとめを述べる．

① 全通りの結果と比較したところ，本手法では概ね 20 世代程度で最小ひび割れ指数が最大の施工案を得ることができた．

② GA では確率的に解探索を進めているため，100 回の試行を行った．その結果，概ね 40 世代以内で最大の施工案を得ることができた．計算量を比較すると約 1/10（400/4096）で全通りの解析と同様の結果を得ることができた．

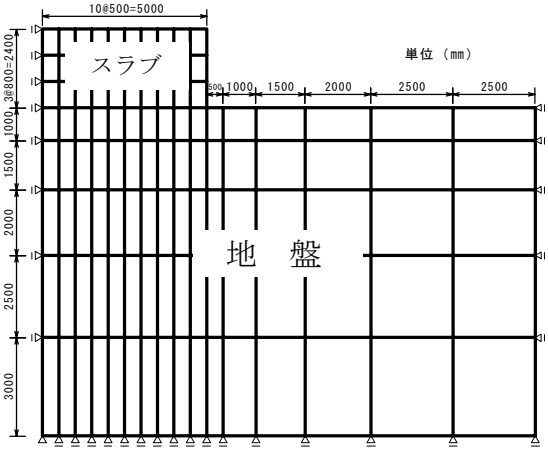

図-2　解析対象の要素分割図(1/2 部分)

表-1　解析条件と物性値

リフト数	1	
初期温度	地盤	15℃
	コンクリート	20℃
単位セメント量	300kg/m	
打込み温度	20℃	
熱伝導率	地盤	3.2W/m℃
	コンクリート	2.7W/m℃
密度	地盤	2700kg/m3
	コンクリート	2300kg/m3
比熱	地盤	0.75kJ/kg℃
	コンクリート	1.15kJ/kg℃
外気温	山口県	
圧縮強度(材齢28日)	コンクリート	30N/mm2
ヤング係数	地盤	2500N/mm2

表-2　最適化に用いるパラメーター一覧

セメントの種類	普通，中庸熱，早強，高炉B
熱伝達率(W/m^2℃)	2，5，8，14
養生間隔(日)	2，4，8，最終日まで

表-3　全通りの解析から求まった最大適応度の施工案

適応度	セメントの種類	養生方法1	養生間隔1	養生方法2	養生間隔2	養生方法3
1.05	中庸熱ポルトランドセメント	発泡スチロール＋シート	期限なし	なし	なし	なし

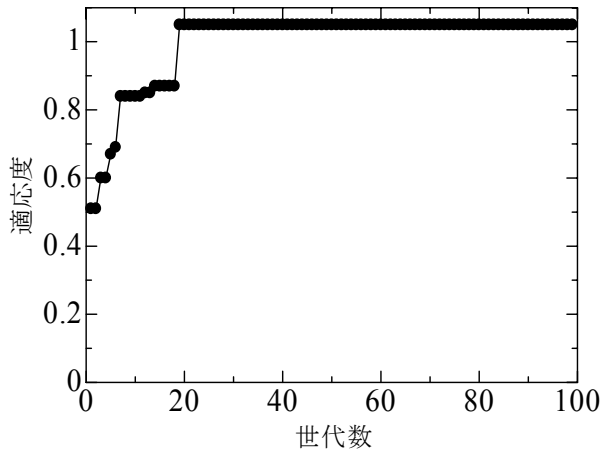

図-3　最大適応度の推移

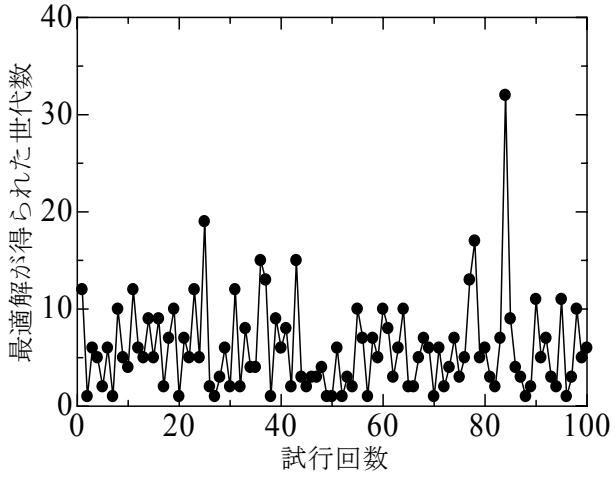

図-4　試行回数ごとの最適解が得られた世代数

参考文献

1) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編,土木学会，p.173-193，1996.3.

2) 安居院猛，長尾智晴：ジェネティックアルゴリズム，昭晃堂，1994.