Ⅳ-127　共役こう配法による機械化土工・工程計画管理の最適化

鹿島建設㈱　　庄子　幹雄
鹿島建設㈱　正会員　○　荒井　克彦

Ⅰ　まえがき

施工計画管理業務における基本的目標は，業務担当者が正確な意志決定を行なえるように，最適性の定量的評価に基づく判断資料を提供することである。この考え方に基づいて，先に筆者らは機械化土工工事を主対象とし，多段決定過程モデルを用いた工程計画管理最適化問題の定式化と[1]，最適制御理論におけるこう配法による数値解析を行なった[2]。この結果，最小費用の施工段取（工程上の資源操作方法）に裏づけられた工程計画案の選定（動的見積り）が実際に可能なことが明らかにされた。しかし，こう配法による数値計算はアルゴリズムが簡単である反面，計算効率の点からは問題があり，大型電子計算機の利用を前提としても現実のプロジェクトをとり扱うためには十分な方法とはいえなかった。そこで本報では，こう配法より良好な収束性をもつとされている共役こう配の適用について検討し，得られたいくつかの結果を報告する。

Ⅱ　定式化の要約

図－1に示す多段決定過程モデルを用いて，機械化土工工事を主対象とする工程計画最適化問題が以下のように定式化される。定式化の便宜上，図－2に示すいくつかの要素を導入するが，これらの要素の設定方法および，その詳細な意味は本報では省略する[1]。

1)　定式化のために必要なデータ

A_ℓ：オペレーションℓに属するアクティビティの集合，RCD_i：資源iの固定費用，$RCIM_i$：iの搬入費用，$RCEX_i$：iの搬出費用，$QMAX_i$：iの利用可能最大数量，$VMAX^n_j$：第nステージ・アクティビティjにおける最大投入作業グループ数量，W^n_j：（n・j）における1作業グループ当り出来高，CW^n_j：（n・j）における1作業グループ当り稼働費用，TC_j：アクティビティjの総出来高，$h_{i\ell}$：オペレーションℓにおける資源iの必要存置数量，P_j：アクティビティjの先行アクティビティの集合。

2)　多段決定過程としての定式化

ⅰ）操作変数Θ^n

u^n_i：第nステージにおける資源iの搬入（$u^n_i>0$）または搬出（$u^n_i<0$）数量

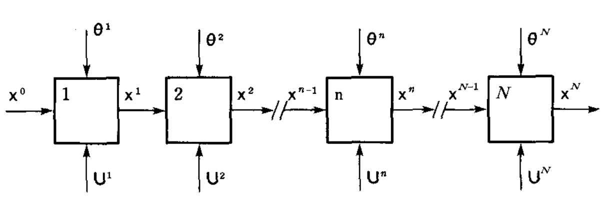
v^n_j：第nステージ・アクティビティjにおける作業グループ投入数量

ⅱ）状態変数X^nと状態方程式

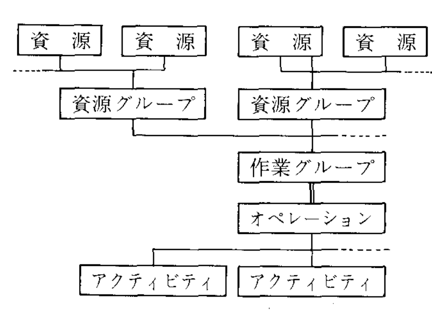
s^n_i：第nステージにおける資源iの存置数量

r^n_j：第nステージにおけるアクティビティjの累積出来高

x^n_2：第nステージにおける全累積費用



図－1



図－2

$$q_i^n = q_i^{n-1} + u_i^n \ , \quad r_j^n = r_j^{n-1} + W_j^n \cdot v_j^n$$

$$x_2^n = x_2^{n-1} + \sum_i \{ RCD_i \cdot \triangle T (q_i^{n-1} + u_i^n) + RCIM_i \cdot V[u_i^n] + \mathrm{RCEX}_i \cdot V[-u_i^n] \} + \sum_j (CW_j^n \cdot v_j^n)$$

$$V[x] = x : x > 0 \ , \ V[x] = 0 : \quad x \leq 0$$

iii) 制約条件式

$$0 \leqq q_i^n \leqq QMAX_i \ , \quad \sum_j (h_{i\ell} \cdot v_j^n) \leqq q_i^n \ , \quad 0 \leqq v_j^n \leqq VMAX_j^n$$

$$r_j^n \leqq TC_j \ , \ v_j^n \cdot (r_k^{n-1} - TC_k) = 0 \ , \ (k \in P_j) \ , \ r_j^N = TC_j$$

iv) 目的関数： $J = x_2^N + \sum_i (RCEX_i \cdot q_i^N) \to min$

III 共役こう配法による数値解析

本報で用いた共役こう配法はFletcher・Reevesの方法を関数空間に拡張したものである[3]。その計算手順などは省略するが，アルゴリズムが簡単であり，記憶容量もこう配法とあまり変らない。計算効率の比較のために，筆者らが先に，こう配法の適用に際して用いた数値計算モデル[2]について，共役こう配法による数値解析を行なった。この計算結果の１例を図－3に示すが，共役こう配法を用いることにより，こう配法では到達し得なかった解が得られる。ただし，この数値計算においては，終端拘束条件をKellyの方法により，また状態変数の制約条件をSUMTにおける外点法により処理している。こう配法を用いる場合，外点法におけるペナルティ係数の値を増加させると，収束がきわめて遅くなることが知られているが，[4]共役こう配法を用いる場合はペナルティ係数の値には影響されず常に良好な収束性を示した。しかも，こう配法による場合は制約条件式を満す解を得るためにはペナルティ係数の値を 10^4 程度まで増加させる必要があったが，共役こう配法による場合は図－4に示すように，ペナルティ係数の値が 10^1 程度で許容解が得られる。これらの点から，共役こう配法は筆者らの定式化した問題に対しても，こう配法に比較して格段に優れた数値計算手法であることが明らかにされた。

IV あとがき

前述のように定式化された工程計画最適化問題に対して，共役こう配法を用いた各種の数値解析を行ない，筆者らの提案した方法を現実のプロジェクトに適用する基礎が得られている。

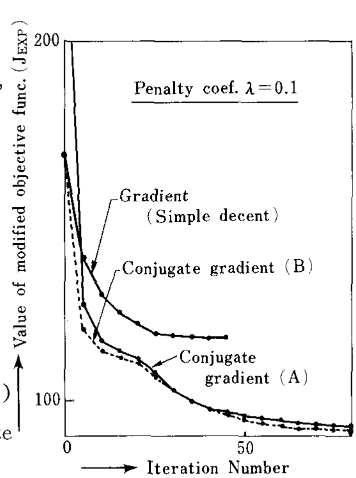
参考文献

1) 庄子・荒井：機械化土工における工程計画管理最適化問題の定式化，土木学会論文報告集，No.214，pp，1－14（1973）

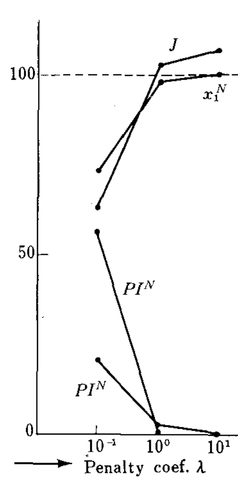
2) 庄子・荒井：こう配法による機械化土工・工程計画管理の最適化，土木学会論文報告集，No.215，pp，69－82（1973）

3) L，S，Lasdon，et al：The Conjugate Gradient Method for Optimal Control Problems，IEEE Trans. on Automatic Control，Vol. AC－12，No.2，pp.132～138(1967)

4) D. G. Luenberger：Convergence Rate of a Penalty-Function Scheme，J. of Optimization Theory & Application，Vol. 7，No.1，pp. 39－51（1971）



図－3



図－4