

投入資源の供用費低減化を目的とする日程計画モデル

京都大学工学部 正員 吉川和広

京都大学工学部 正員 山本幸司

日本道路公団 正員 大石嗣雄

1. はじめに 近年の熟練労働者の不足や工事用資源（資材・機械・人員など）の使用コストの急騰のため、従来以上に投入資源の効率的利用と供用費の低減化を図りうるような日程計画モデルが必要とされている。ところで資源の供用費（以下工費と呼称）は山積図その他の情報に基づき資源投入計画が作成された後、稼働費・遊休費・運搬費などを考慮して算出しなければならないが、山積図は日程計画が作成された結果として得られるものであり、資源投入計画を作成する場合には、現場条件あるいは資源の種類により異なる搬入・搬出の難易度をも考慮しなければならない。したがって工費低減化を直接的に追求しうる日程計画モデルを作成することは困難であり、本研究では次項で述べるように作業の実行方法として考慮した数種の代替的方法（以下 ARC と略記）から所要費用の安い ARC を選択し、山積図の平滑化を目的とするヒューリスティックな日程計画モデルにより間接的に工費低減化にアプローチすることとする。

2. 本モデルの概要 工程ネットワークを構成する各作業の遂行方法としては、投入資源の種類（投入機械の機種や規格など）や数量の異なる数種の代替的な方法が考えられる。本モデルはこれらを考慮することによって工費低減化にアプローチするものであり、各作業の実行方法を規定する組合せ（以下 BSS と略記）を設定するプロセスと、設定された BSS により日程計画を作成するプロセスとにより構成されている。

① BSS 設定プロセス BSS は膨大な数となるため、約定工期を満足するすべての BSS について日程計画を作成し、最小工費を与える日程計画案を得ることは不可能である。そこで各 ARC の所要費用を示す指標として次式で示す $W(KA, KP)$ を用い、工期パラメータ入を満足し $\min_{KA, KP} W(KA, KP)$ を与える BSS を求めることを考える。

$$W(KA, KP) = \sum \{ RW(K) * MEN(K, KA, KP) * KD(KA, KP) \} \quad (1)$$

ここに $RW(K)$; 資源 K の重要度、 $MEN(K, KA, KP)$; 作業 KP 、ARC KA の資源 K の所要量、 $KD(KA, KP)$; 作業 KP 、ARC KA の所要時間

上記の問題は離散型 CPM 問題となるが、数百の作業により構成される土木工事の工程ネットワークについて厳密解を求めるためには長時間の計算を必要とすることが予想されるため、ここではこの離散型 CPM 問題を次のような連続型 CPM 問題に近似し、得られた工期-工費曲線の変曲点を BSS とすることとする。

$$\left. \begin{aligned} KD(KA^*, KP) &= \min_{KA} \{ KD(KA, KP) \} & W(KA^0, KP) &= \min_{KA} \{ W(KA, KP) \} \\ C(KP) &= (W(KA^*, KP) - W(KA^0, KP)) / (KD(KA^0, KP) - KD(KA^*, KP)) & \text{if } KA^* \neq KA^0 \\ C(KP) &= \infty & \text{if } KA^* = KA^0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} D(KP) + KET(KI) - KET(KJ) &\leq 0 & K(KP) &\leq KD(KA^0, KP) \\ -D(KP) &\leq -KD(KA^*, KP) & -KET(1) + KET(KN) &\leq \lambda \\ COST(\lambda) &= \sum \{ C(KP) * D(KP) \} \longrightarrow \max \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

②日程計画作成プロセス 本プロセスでは、BSS設定プロセスで得られたBSSにより日程計画を作成する。日程計画の作成は全工期を通じて平滑な山積図を得るために各時刻で実行可能な作業の組合せのうち次式で示す関数 Δ の最小値を与える組合せを実行していく。

$$\Delta = \sum_{k=1}^{KNR} \{RW(K) * |AVE(K) - LOAD(K)|\} + \sum_{KQ=1}^{KE} \{(1 - KS(KQ)) * (PS(KP) * X_{KP} + DP(KTF(KP)))\} \quad (4)$$

$$LOAD(K) \leq LIMIT(K, KX) \quad KP = KPE(KQ)$$

ここに AVE(K); 資源Kの山積目標値。LOAD(K); 検討中の組合せによる山積量。KS(KQ); 検討中の組合せを示す0-1変数。PS(KP); 作業KPの中断費用。X_{KP}; 作業KPが実行中状態のとき1となる0-1変数。DP(KTF(KP)); トータル・フロート減少パナルティ。LIMIT(K, KX); 資源KのKX日目の制約量。KPE(KQ); KQ番目にリスト・アップされた作業。

式(4)から明らかなように Δ 値の小さな組合せを選択することは山積量が山積目標値に近く、作業中断がなく、トータル・フロートの小さな作業を選延しないように日程計画を作成していくこととなる。なお具体的に工費を算出するための資源投入計画の作成という総合的な判断機能をモデル化することは困難であるため、次式で示すように稼働費と山積量変動に要する費用とにより構成される工費の概算値を得ることとする。

$$COST(K, KX) = KYAMA(K, KX) * (COSTN(m, K) + CG(2, K) * X_{1K} - CH(2, K) * X_{2K})$$

$$+ \sum_{KR=1}^{m-1} \{COSTN(KR, K) - COSTN(KR+1, K) * LIMITR(KR, K)\} + CG(1, K) * X_{1K} + CH(1, K) * X_{2K}$$

$$+ KYAMA(K, KX-1) * (CH(2, K) * X_{2K} - CG(2, K) * X_{1K}) \quad (5)$$

ここに KYAMA(K, KX); 資源KのKX日目の山積量。COSTN(KR, K); 資源Kの区間KRにおける稼働費。LIMITR(KR, K); 資源Kの区間KRの上限。CG(1, K); 資源Kの山積量増加に要する固定費用。CG(2, K); 資源Kの山積量増加に要する増加量1単位当りの費用。CH(1, K); 資源Kの山積量減少に要する固定費用。CH(2, K); 資源Kの山積量減少に要する減少量1単位当りの費用。X_{1K}, X_{2K}は次式で定義する0-1変数である。

$$X_{1K} = \begin{cases} 1 & \dots KYAMA(K, KX) > KYAMA(K, KX-1) \text{ のとき} \\ 0 & \dots KYAMA(K, KX) \leq KYAMA(K, KX-1) \text{ のとき} \end{cases}$$

$$X_{2K} = \begin{cases} 1 & \dots KYAMA(K, KX) < KYAMA(K, KX-1) \text{ のとき} \\ 0 & \dots KYAMA(K, KX) \geq KYAMA(K, KX-1) \text{ のとき} \end{cases}$$

3. 事例計算 本モデルを高速道路高架橋工事(作業数193, ノード数169)に適用した結果を図に示す。また、本モデルおよび従来の日程計画モデルにより得られた山積図に基づく資源投入計画により算出した工費を表に示す。この結果、本モデルは投入資源の効率的利用により従来の日程計画モデルと比較して投入資源の供用費低減化を図りうることが明らかとなった。計算結果についての詳細な検討は講演時にスライドを用いて行う。

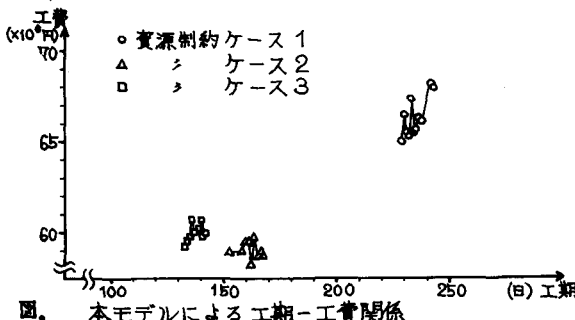


表. 各モデルによる工期と山積図に基づく工費

日程計画モデル名	工期(日)	工費(×10 ⁴)
PERT/TIME 最早開始時刻	132	78,231
〃 最遅開始時刻	132	88,555
山積法	132	74,699
山積法 バランス	159	67,442
〃 タイムスライス法(ラウンド)	155	64,920
〃 タイムスライス法(ラウンド)	159	66,008
RAMPS	151	70,249
RAMPSを改良した日程計画モデル	148	69,660
本モデル	152	63,646