

工期短縮に関する経費を考慮した全体工期短縮案の研究

01A 3771 福元勇一郎
担当教員 三原 徹治

1. はじめに

本論文では CP 解析をベースとし、イベント工期を短縮することにより全体工期が要求値以下となるようなネットワークのうち、最も変更費用が小さいものを求めるというネットワーク更新問題を設定し、その一解法を提案する。

提示する解法は、CP 解析の特性を活用して CP 上の工事のみを対象とする MR と、ネットワーク全体を対象として遺伝的アルゴリズム GA により最適化を行う GAR の 2 段階手法である。2 つの数値計算例により、提示した解法アルゴリズムの妥当性を適用性を検証する。

2. CPM による全体工期算出プログラム

CPM による全体工期算出プログラム¹⁾では、ある工事 k (始点ノード i , 終点ノード j , 工期 P_k) に関して以下の手順で全体工期 P_{CP} を算出する。

- (1) 始点ノード i の最早結合点時刻 $MET_i =$ 工事 k をいくら早く始めたくてもこの時刻にならないと開始できない時刻,
- (2) 終点ノード j の最遅結合点時刻 $MLT_j =$ 工事 k の遅れが全体工期に影響させないために、工事 k を終わらせる時刻をいくら遅くしたくてもこの時刻より前に終了しなければならない時刻,
- (3) 余裕時間 $TF_k = MLT_j - (MET_i + P_k)$,
- (4) $TF_k = 0$ となる工事 k の作業過程を連ねた経路を CP と判断し、CP 上の工期の総和として全体工期 P_{CP} を算出。

3. 原問題の定式化

工期短縮に関する費用は、工事 $k(k=1:K)$ の 1 工期あたりの短縮経費 $C_k(k=1:K)$ が与えられるものとして、短縮工期 $\Delta P_k(\geq 0)(k=1:K)$ との積和で算出できるものとする。

このとき更新されたネットワークの全体工期 P_{CP} は、要求値 P_{req} 以下でなければいけない。また工事 $k(k=1:K)$ の短縮量 $\Delta P_k(\geq 0)(k=1:K)$ は可能短縮工期 $Q_k(k=1:K)$ を越えてはならない。よって原問題は式 (1) のように定式化される。

Given : トポロジー, $P_k'(k=1:k)$, P_{req} ,
短縮可能工期, $Q_k(k=1:k)$,
1 工期短縮経費 $C_k(k=1:k)$

Find : $\Delta P_k(\geq 0)(k=1:k)$

Object : Minimize[Cost = $\sum \Delta P_k C_k$] (1a)

Subject to : $P_{cp} \leq P_{req}$, (1b)

$\Delta P_k \leq Q_k$ (1c)

4. 解法アルゴリズム

- ① 初期ネットワークの全体工期 P_{CP} の算出。
- ② $P_{CP} \leq P_{req}$ ならば終了。そうでなければ③へ。
- ③ 短縮可能工期 Q_k を考慮し、1 工期短縮経費 C_k が比較的小さい工事を優先させて CP 上の工事の工期を $P_{CP} - P_{req}$ だけ短縮 (MR)。
- ④ 更新ネットワークの CP が初期ネットワークと変化しなければ終了。変化があれば⑤へ。
- ⑤ 遺伝的アルゴリズム GA によってネットワーク全体を短縮対象とする最適化 (GAR)。

5. 0405 モデルによる妥当性の検討

(1) 0405 モデル : ノード数=4, 工事数=5 の初期ネットワークのグラフを表-1 と図-1 に示す。CP = ① → ② → ④, $P_{CP} = 10 + 15 = 25$ である。

表-1 0405 モデルの初期ネットワークグラフ

k	始点	終点	P_k	Q_k	C_k	MET	MLT	TF
1	1	2	10.0	3.0	8.0	0.0	10.0	0.0
2	1	3	5.0	1.0	2.0	0.0	11.0	6.0
3	2	3	0.0	0.0	0.0	10.0	11.0	1.0
4	2	4	15.0	5.0	6.0	10.0	25.0	0.0
5	3	4	14.0	4.0	6.0	10.0	25.0	1.0

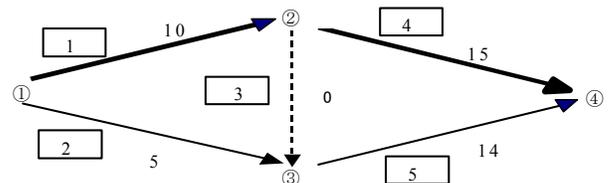


図-1 0405 モデルの初期ネットワーク図

(2) 要求値 $P_{req} = 23$ の場合

全体工期が要求値以下でないので MR を実行する。まず工事 4 の工期を 2 だけ短縮する。このときの CP は初期ネットワークの CP から変化し、全体工期が 24 と要求値を満足していない (図-2 参照)。よって GAR を実行する。

GAR を実行するにあたって GA の計算パラメータを人口数=10, 交配個体数=2,3,4 の3ケース, 突然変異発生確率=0.3, 計算世代数=10 とした. GAR による結果を図-3 に示す. その全体工期は 23 であり, 要求値を満足しているので最適解が得られていると判断できる.

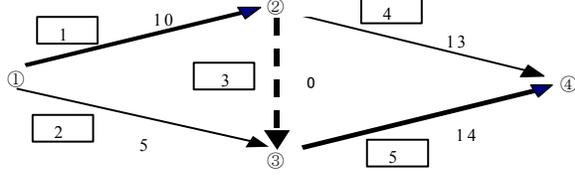


図-2 $P_{req}=23$ の MR 更新ネットワーク図

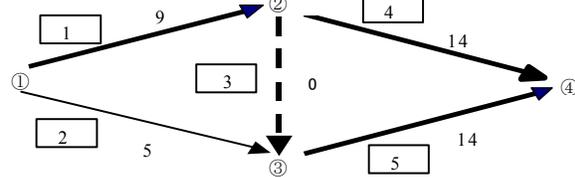


図-3 GAR 更新ネットワーク図

(2) 要求値 P_{req} と Cost の関係

要求値 P_{req} と Cost の関係を図-4 に示す. MR のみで終了したのは $P_{req}=24$ のときだけで, それ以外では全て GAR を必要とした. P_{req} が大きくなれば当然 Cost も大きくなるが, その増加率は P_{req} が大きい領域でより大きくなっている.

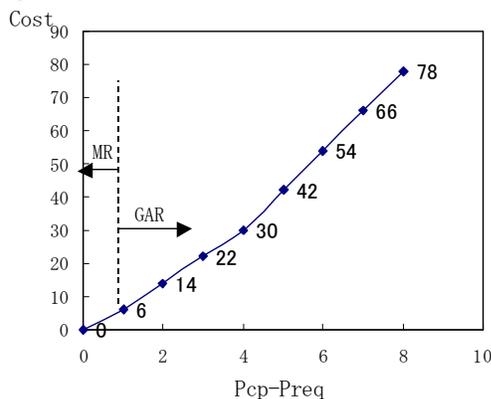


図-4 0405 モデルの要求値と Cost の関係

6. 0914 モデルへの適用

提案手法の有用性を検討するためにノード数=9, 工事数=14 の比較的大きなネットワークに提案手法を適用した. 初期ネットワークを表-2 および図-5 に示す.

結果の一例として要求値と Cost の関係を図-6 に示す. 0405 モデルと同様に, 大きな P_{req} では Cost 増加率が大きくなっている.

表-2 0914 モデルの初期ネットワークグラフ

k	工事名	始点	終点	P_k	Q_k	C_k	MET	MLT	TF
1	施工計画	1	2	10.0	3.0	2.0	0.0	10.0	0.0
2	擁壁工 I	2	3	15.0	5.0	8.0	10.0	25.0	0.0
3	溝渠工 I	2	4	10.0	3.0	4.0	10.0	25.0	5.0
4	土工 I	2	5	10.0	3.0	6.0	10.0	25.0	5.0
5	橋梁工	2	7	20.0	6.0	10.0	25.0	35.0	5.0
6	ダミー	3	5	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	0.0
7	擁壁工 II	3	7	5.0	1.0	8.0	20.0	35.0	5.0
8	ダミー	4	5	0.0	0.0	0.0	20.0	25.0	0.0
9	溝渠工 II	4	8	10.0	3.0	4.0	25.0	45.0	15.0
10	側溝工	5	6	10.0	3.0	4.0	25.0	35.0	0.0
11	土工 II	5	7	5.0	1.0	8.0	25.0	35.0	5.0
12	ダミー	6	7	0.0	0.0	0.0	35.0	35.0	0.0
13	路盤工	7	8	10.0	3.0	5.0	35.0	45.0	0.0
14	舗装工	8	9	15.0	5.0	4.0	45.0	60.0	0.0

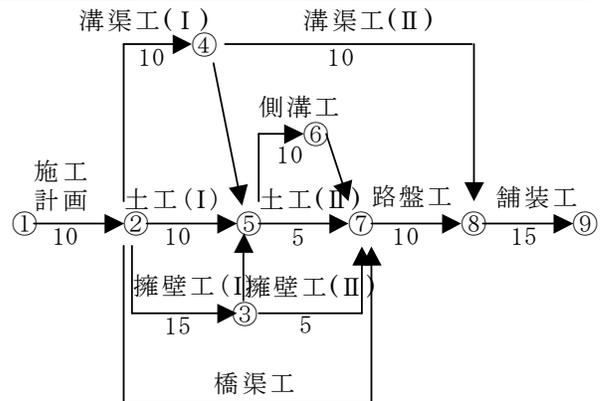


図-5 0914 モデルの初期ネットワーク図

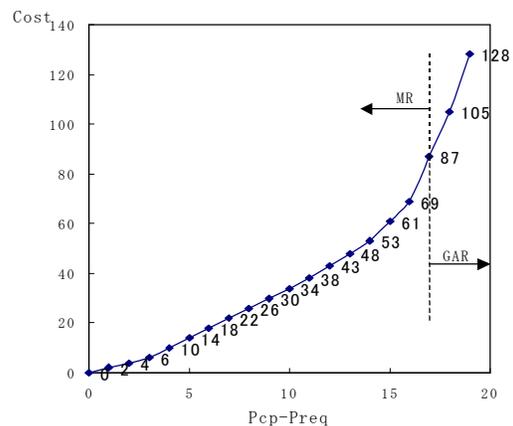


図-6 0914 モデルの要求値と Cost の関係

7. おわりに

提示した MR, GAR の 2 段階手法が十分に機能することが検証できた.

今回は小さいネットワークを対象としたが, 今後は更に大きなネットワークを対象として検証していく必要があると考えられる.

参考文献 1) 飯田恭敬: 土木計画システム分析—最適化編—, 森北出版, 1991.