

社会的費用を考慮した最適工法選択モデルの開発

岐阜大学 学生会員 ○柴田貴文
 岐阜大学 正会員 杉浦聡志
 岐阜大学 正会員 高木朗義

1. はじめに

わが国は多くの自然災害が発生する気象，地形条件を有しており，毎年多くの災害が生じ，災害復旧工事が実施されている．迅速で高品質な工事を目的として，測量，施工の技術や2次製品の充実が図られてきた．あるいは災害査定を事後的に実施する「査定前着工」が認められるなど，早期の復旧を実現するためのオプションが用意されている．しかしながら，それらを採用することでどれだけ災害による社会的損失が抑えられるのかは明示的に検討された事例は見当たらない．そこで，災害によって生じる道路の規制に着目し，規制期間に生じる交通損失と工事費用の和を社会的損失とし，これらを最小化する工法を特定するモデルを構築する．また，このモデルを用いて，各種工法が優位となる条件等を整理する．

2. 最適工法選択モデル

一般的な PERT はプロジェクト終了までの全行程をネットワークに記述し，そのすべてを経由するときの日数等を検討するものである．一方，本研究で用いる拡張 PERT では，過去の復旧工事に係る各工程の費用と日数を収集し，まだ採用されていない2次製品や測量作業，撤去不要な耐候性土嚢を用いた復旧工事などについて，想定される日数や費用を把握する．これら収集した情報に基づいて，拡張 PERT を構成する．拡張 PERT では図-1 に示すように複数の工法から1つを選択することを表現するためのダミーリンクを導入する．最適工法選択モデルは簡単のため，以下の仮定をおく．まず，災害時においても OD 交通量は一定である．つぎに，被災は複数個所で同時生起しない．

最適工法選択モデルはすべての工法，ノウハウの選択肢の中から，純便益が最も大きな経路を探す混合整数線形計画問題として以下のように定式化できる．

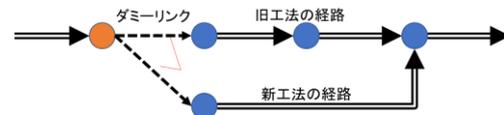


図-1 拡張 PERT による工法を選択

$$\min_{y,x} \gamma \rho y_w + \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

subject to

$$y_i + t_{ij} x_{ij} - y_j \leq 0 \quad ((i,j) \in E) \quad (2)$$

$$y_s = 0, y_j \geq 0, j \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in \text{in}(n)} x_{ij} - \sum_{i \in \text{out}(n)} x_{ij} = 0, \forall n \in G \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \text{out}(s)} x_{ij} = 1, \sum_{i \in \text{in}(t)} x_{ij} = 1 \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (6)$$

ここで， γ ：交通規制による1日当たりの期待損失時間[台・分]， ρ ：時間価値[円/(分・台)]， y_w ：規制が終了するノードの初日からの経過日数（未知変数）， c_{ij} ：工程 (i,j) の工事費用， x_{ij} ：工程 (i,j) が最適スケジュールに含まれれば1，そうでなければ0をとる未知変数， y_i ：工程の起点 i における日数（未知変数）， n ：加工工程を起終時点を示す端点である．

(1)式は交通費用と工事費用の和を示す目的関数である．(2)式は各工程の終了日時が前の工程終了日時と該当工程の工事日数の和であることを制約する．(3)式は工事開始時点が0日目であることを，以降の工程が0以上であることを制約する．(4)，(5)式はフローの保存条件であり，(6)式は x_{ij} の2値制約条件である． γ は対象区間の交通量が大きい場合には，対象の道路区間の有無による総走行時間の変分で求めることが可能である．ただし，本稿で対象とする土砂災害が生じうる道路は交通量が限定的であることが予想されるため，片側交互通行を想定し，簡易的な信号制御を想定した(7)式²⁾で求める．

$$\gamma = \left\{ 1 - \exp\left(-\lambda_1 \frac{X}{v_f}\right) \right\} \left\{ 1 - \exp\left(-\lambda_2 \frac{X}{v_f}\right) \right\} \frac{X}{2v_f} \quad (7)$$

ただし, λ_1, λ_2 : 第1, 第2方向の到着率(1時間あたりの車両到着数), X : 規制区間長[m], v_f : 前進速度[km/h]である. また, 全面通行止めの場合は, 通常時とリンク途絶時における迂回による走行時間の差分に交通量を乗じることで求められる. 本稿では山間道の平均的な速度である $v_f = 30$ [km/h]を用いる.

3. 既往災害復旧工事への適用

最適工法選択モデルを, 豪雨により道路のり面崩壊などが発生した既往災害復旧工事に適用する. 期待損失時間を求めるために表-1 のデータを用いた. 次に, 求めた期待損失時間を用いて最適工法選択モデルを試算する. 各工程の費用, 日数をインプットとし, 図-2 に示す PERT を構築した. 各リンクの作業は表-2 のとおりである. つぎに, 被災時に新工法が施工可能であったと仮定して, そのときの候補となりうる新工法を 2. で示したルールで PERT に追記する. 以上の手順で作成した拡張 PERT を用いて, 最適工法選択モデルを試算し, 新工法がどの程度目的関数を減少させるか, あるいはどのような条件であれば新工法が有利であるか整理する. 試算結果については発表時に報告する.

4. おわりに

本研究は道路断絶に係る復旧工事において, 社会的費用を最小化するために, 復旧工事プロジェクトの工法と工事スケジューリングを求める手法の開発を行った. 構築した手法を岐阜県内で過去に起きた災害復旧事例で実際に適用した.

本稿では交通量が限定的な山間道を対象とし, 新工法の適用でモデルの試算を行った. 本モデルは PERT ネットワークが構築可能であれば, モデルの構成を変更することなく適用できる. 例えば道路盛土崩壊の復旧工事などにも適用できる. さらには災害復旧工事だけでなく, 交通量配分等で交通損失が

表-1 期待損失時間

規制種別	片側交互通行
規制延長区間	57[m]
前進速度 v_f [km/h]	30[km/h]
第1方向到着率 λ_1 [台/時]	25.6
第2方向到着率 λ_2 [台/時]	25.6
期待損失時間	22.8[分/台]

表-2 各作業詳細と先行・後続作業

ID	リンク番号	工程詳細	先行作業	後続作業
A	1	災害発生	-	B
B	2	応急仮工事	A	C
C	3	災害報告	B	D
D	4	測量	C	E
E	5	設計	D	F
F	6	積算	E	G
G	7	災害査定	F	H
H	8	準備工(1工区, 2工区)	G	I
I	9	掘削(1工区, 2工区)	H	J
J	10	基礎工(1工区, 2工区)	I	K
K	11	路側ブロック積(1工区)	J	L
L	12	PU側溝(2工区)	K	M,N
M	13	埋め戻し(1工区)	L	O,P
N	14	Co. As処分	L	O,P
O	16	山留ブロック積(2工区)	M,N	Q,U
P	17	モルタル吹付(2工区)	M,N	Q,U
Q	19	跡片付け(2工区)	O,P	R
R	20	ガードレール工, 区画線工(1工区)	Q	S
S	21	車道塗装工(1工区)	R	T
T	22	ガードレール工, 区画線工(1工区)	S	-
U	23	跡片付け(1工区)	O,P	-

議論可能な幹線道路における大規模更新工事などにも適用可能である.

参考文献

- 1) 国土交通省 HP : 「費用便益分析マニュアル」
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/bin-ekiH20_11.pdf> (平成 20 年 11 月), 2017 年 12 月 3 日閲覧
- 2) 「平成 23 年度 地域 ITS 技術を用いた車線・道路幅員減少区間等における安全かつ円滑な走行支援手法の研究開発 報告書」(平成 24 年 3 月)pp140-142,164-176, 公立大学法人 高知工科大学

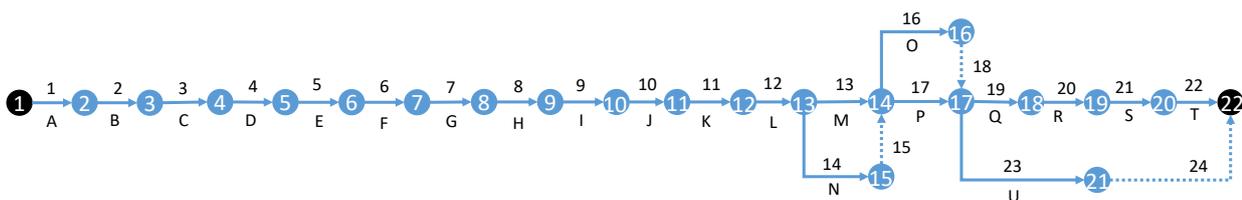


図-2 復旧工事ネットワーク(PERT 図)