

SCM による在庫管理を含めた建設プロジェクト効率化の検討*

An Efficient Construction Management Including Inventory Control

by Introduction of SCM *

菊地竜也**, 石黒一彦***, 稲村肇****, 石倉智樹*****

by Tatsuya KIKUCHI**, Kazuhiko ISHIGURO***, Hajime INAMURA**** and Tomoki ISHIKURA*****

1. はじめに

近年の我が国においては、様々な業種でサプライチェーンマネジメント (SCM) ¹⁾ の考え方が取り入れられるようになってきている。これは製造業者から卸売業者、小売業者を経て顧客まで全体を通して最適化を図ろうとするものである。

ここで、建設プロジェクトの工事現場に焦点をあててみると、天候や不測の事態の影響により、常に工事の進行状況が変化していくことが考えられる。これは、製品のライフサイクルの短縮化・多品種化により市場動向の予測が困難になるという不確実性の拡大等、最近の製造業・流通業を取り巻く環境が変化している状況と類似している。しかし、製造・流通業界においては、SCM を導入してこのような状況に対応しているのにも関わらず、建設業界においては、資材サプライヤーから建設工事現場における調達および在庫管理計画まで含めた SCM は考えられていない。このことは、今後このような考え方を取り入れることにより、大いなるコスト削減の実現への可能性を表している。

そこで、本研究では建設工事現場における在庫管理計画、建設資材調達に着目する。建設プロジェクトの最適化計画に関する手法としては、PERT および CPM ²⁾ が代表的なものである。しかし、これらの手法では建設プロジェクト内の作業・工程計画を時間・コストの両方から最適化することができるものの、資材や設備の調達および在庫管理計画は不可

能である。また、資材の調達・在庫管理計画に関するものとしては在庫理論 ^{3) 4)} が挙げられる。これは、主に製造業等で利用されているもので建設プロジェクトに適用している例はない。

本研究では、PERT・CPM および在庫理論を組み合わせることにより、調達・在庫管理を含めた建設プロジェクトの最適化モデルを構築する。また、SCM 導入前後で解を求めることにより、SCM 導入によるコスト削減効果を算出することを目的とする。

2. 建設プロジェクト最適化モデル

(1) 基本構造

図-1 はある建設工事を設定したときのトータルコスト算出モデルの概要を表している。

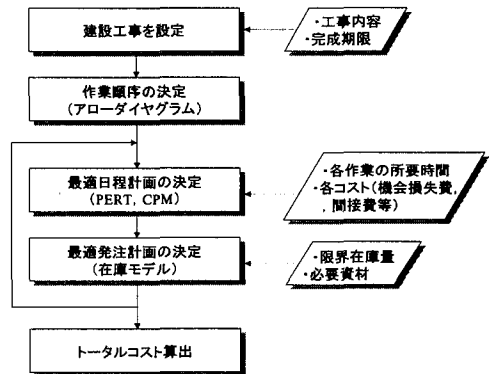


図-1 モデルの概要

以下に手順を示す。

- ① ある建設工事の設計書から、その工事の詳細な内容が与えられる。
- ② それをもとに作業リストを制作し、アロー・ダイヤグラムを用いて作業の順序を表す。
- ③ この順序関係に基づき PERT を利用して、日程計画を決定する。このとき、各作業における所

*keywords : 物資流動, SCM

**学生員 : 東北大学大学院情報科学研究科

***正会員 : 修 (情報) 東北大学大学院情報科学研究科助手

****F 会員 : 工博 東北大学大学院情報科学研究科教授

*****学生員 : 修 (情報) 東北大学大学院情報科学研究科

〒980-8597 仙台市青葉区荒巻字青葉 06

TEL 022-217-7497, FAX 022-217-7494

要時間がインプットデータとして必要になる。

また、CPMを用いて直接費を求め、機会損失費と間接費を外生的に与えることにより、最適日程計画を決定する。(サブモデル1)

- ④ 在庫モデルを用いることにより、アロー・ダイヤグラムにおける各作業の最適発注計画を決定する。その際には、必要資材量を与え、資材置き場の容量を制約条件とする。(サブモデル2)

ここまでは、実際に工事が始まる前にあらかじめ求めておくことになる。

ここで、工事途中での天気等の不確実要素を考慮すると、先に求めた最適計画は工事開始以降において、最適ではなくなる可能性がある。よって、ある一定時間進めるごとに③にフィードバック(1サイクル)し、その時点における最適計画を決定する。さらに、工事が終了するまでこの手順を繰り返していく。その後、工事終了までたどり着いたら終了し、トータルコストを算出することとする。

(2) サブモデル1 (PERT, CPM)

(a) PERT

PERTでは、時間的に最適な日程計画を求める。まず各作業の所要時間をもとに日程を求める。次に、各作業に人員・資材の制限をつけ、実行可能な最適日程計画を求める。

(b) CPM

次に、CPMで費用の面からも最適な作業日程計画を求める。作業 (i, j) には、標準所要時間 D_{ij} 、特急所要時間 d_{ij} 、費用勾配 C_{ij} (図-2)が与えられている。

各作業の実行時間を y_{ij} とすると、

$$0 \leq d_{ij} \leq y_{ij} \leq D_{ij} < \infty \quad (1)$$

でなければならない。

次に各結合点の結合点時刻を t_i とすると、

$$t_0 = 0 \quad (2)$$

$$y_{ij} + t_i - t_j \leq 0 \quad (3)$$

$$t_n = \lambda \quad (4)$$

の関係が必要である。以上の条件式を満たす作業 (i, j) は実行可能な作業の集合である。 λ はある与えられたプロジェクト遂行時間を示している。次に、プロジェクト P の中のすべての作業 (i, j) につ

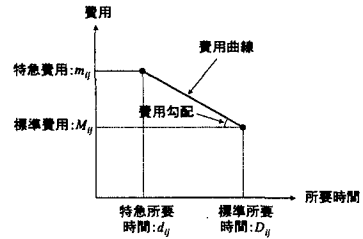


図-2 費用勾配と費用曲線

いて、その費用を総計すると、

$$P = \sum_{(i,j) \in P} (-C_{ij} y_{ij} + k_{ij}) \quad (5)$$

ただし、
$$C_{ij} = \frac{m_{ij} - M_{ij}}{D_{ij} - d_{ij}} \quad (6)$$

$$k_{ij} = \frac{m_{ij} D_{ij} - M_{ij} d_{ij}}{D_{ij} - d_{ij}} \quad (7)$$

となる。ある λ を定めたときに、 P の値を最小にするような日程計画 $\{y_{ij}, t_i\}$ を求めれば、これがCPMの解である。このとき、プロジェクトの総費用(時節で示す在庫に関わる費用は除く) $P(\lambda)$ は式(1)、(2)、(3)、(4)の制約条件下において、次のように表せる。

$$P(\lambda) = \min \sum_{(i,j) \in P} (-C_{ij} y_{ij} + k_{ij}) \quad (8)$$

これを線形計画問題として解けば、 λ をパラメータとして $P(\lambda)$ の変化と、最適日程 $\{y_{ij}, t_i\}$ が求められる。

(3) サブモデル2 (在庫モデル)

発注点法を用いて、在庫管理を行う。これは、在庫量が一定の在庫水準にまで下がってきたら発注を行い、在庫を管理していく方式である。

(a) 発注点 K の決定

発注点方式では、需要および調達期間のばらつきを考慮した最小在庫(安全余裕)を持ちながら、発注点を決定していく。ここでは、調達期間のみにばらつきがあるケース、需要のみにばらつきがあるケース、両方にばらつきがあるケースごとに発注点の決定方法を示す。

◆ ケース1 (調達期間にばらつきがあるケース)

このケースは、各作業はそれぞれ一定の速度で進

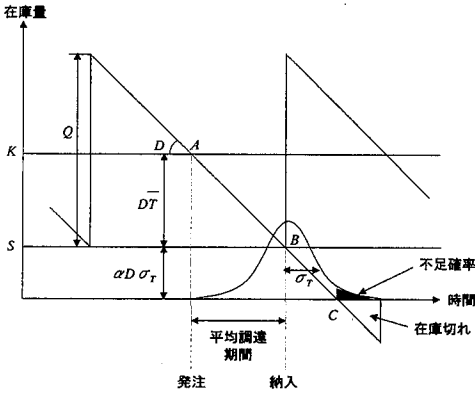


図-3 調達期間のばらつきを考慮した
在庫変動

むものとする仮定するため、基本モデルにおいてフィードバックする一定時間内においては、必要資材の需要のばらつきはないと考えるものである。ただし、調達時間のばらつきは正規分布に従うものと仮定する。

在庫の変動は図-3のように表せる。需要の変動はないものとするため、在庫が減少していく傾きは D で一定である。調達期間に着目すると、平均的には点 A で発注されてから、点 B まで在庫量が減少し、在庫量が S になる直前に納入される。しかし、調達期間にはばらつきがあるため、長いときには点 C まで減少してから納入されることもある。このような場合には、発注時点で在庫を平均調達時間の需要分しか保有していないと不足が生じることになる。したがって、調達期間のばらつきを求めて在庫切れに対処する必要がある。すなわち、平均調達期間に応じた需要量 $D\bar{T}$ より、 $\alpha D\sigma_T$ だけ多く保有していれば、ある確率で在庫切れを防ぐことができる。この $\alpha D\sigma_T$ が最小在庫（安全余裕）である。

よって、発注点を求める式は次のように表される。

$$K = (\bar{T} + \alpha \sigma_T) D \quad (9)$$

- K : 発注点
- \bar{T} : 平均調達期間
- α : 不足確率を表す係数
- σ_T : 調達期間のばらつき
- D : 資材使用量

◆ ケース2（需要にばらつきがあるケース）

このケースは調達期間において需要にばらつきが

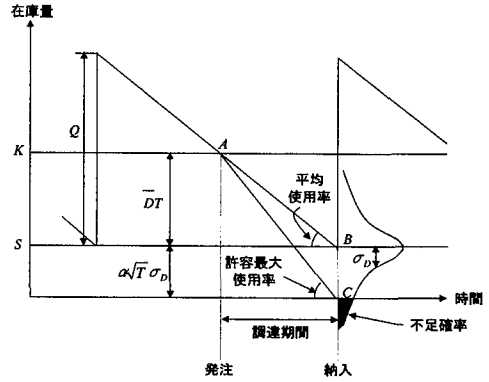


図-4 需要のばらつきを考慮した在庫変動

あり、それを考慮して発注点を決定するものである。需要のばらつきは正規分布に従うものと仮定する。

在庫の変動は図-4のように表せる。調達期間 T の資材使用状況を見てみると、平均的に線 AB のように減少していき、発注してから、 T 期間を経て納入される直前には在庫量は S となる。しかし、資材使用量にはばらつきがあるので、多いときには線 AB より急な下降線 AC となることがある。よって、ケース1と同様に安全余裕を保有することで、ある確率で在庫切れを防ぐことができる。

よって、発注点を求める式は次のように表される。

$$K = \bar{D}T + \alpha\sqrt{T}\sigma_D \quad (10)$$

- $\frac{K}{D}$: 発注点
- $\frac{\bar{D}}{D}$: 平均資材使用量
- T : 調達期間
- α : 不足確率を表す係数
- σ_D : 需要期間のばらつき

◆ ケース3（調達期間、需要ともにばらつきがあるケース）

ケース1、2と同様に考えると、調達期間、需要ともにばらつきがあるケースで発注点を求める式は次のように表される。ただし、調達時間および需要のばらつきはそれぞれ独立の正規分布に従うものとする。

$$K = \bar{D}(\bar{T} + \alpha \sigma_T) + \alpha\sqrt{\bar{T} + \alpha \sigma_T}\sigma_D \quad (11)$$

- K : 発注点
- $\frac{\bar{D}}{D}$: 平均資材使用量
- \bar{T} : 平均調達期間

- α : 不足確率を表す係数
- σ_T : 調達期間のばらつき
- σ_D : 需要期間のばらつき

(b) 発注量 Q の決定

発注量 Q は、(a)で述べたケースすべてにおいて、以下のように求めることとする。

プロジェクトの各作業工程では、必要資材には許容最大在庫量が設定する。発注量は納入時にそれまでの蓄積在庫量と合わせて許容最大在庫量を超えないように決定する。よって、以下のような式で示すことができる。

$$Q_n = Z_n - \bar{A}_n \quad (12)$$

$$\text{ただし、} Q_n + (\bar{A}_n + \alpha\sqrt{T}\sigma_D) \leq Z_n \quad (13)$$

- Q_n : 資材 n の発注量
- Z_n : 資材 n の許容最大在庫量
- \bar{A}_n : 資材 n の納入時の蓄積在庫量の期待値
- α : 不足確率を表す係数
- T : 平均調達期間
- σ_D : 需要期間のばらつき

(4) トータルコストの算出

このように構築したモデルに、外生的に需要の変動を与える。それに合わせて、工事終了（全作業が終了）までフィードバックを繰り返す。工事が終了したら、全工程を振り返りトータルコストを算出する。トータルコストを算出する際に考えるコストは以下の通りである。

- ・ 人件費
- ・ 資材費（原材料費）
- ・ 設備費
- ・ 調達費用（手続きによる費用，輸送費を両方）
- ・ 在庫切れによる機会損失費用
→ 工事停止時間分のその工事に必要な人数分の人件費とする。
- ・ 過大在庫による損失費用
→ 許容最大在庫量を超えてしまったときに発生する費用。

3. SCM 適用について

SCM によってもたらされる効果を十分に把握し、以上で構築したモデルにおいて、SCM の適用前後で

変化させる部分を決定していく必要がある。そのため、SCM 導入効果の特性から仮定を導き、それをモデルの中に組み込んでいくこととする。

SCM の適用によりもたらされる変化で、本モデルにおいて扱える特性は以下のようなものである。

- ① サプライチェーン全体で情報が共有できるシステムが構築されており、需要の変化が確実に即座に川上まで伝わる。
- ② 需要変動等の情報を得ると、その変化に応じた最適計画が即座に決定でき、実行できる。
- ③ 調達物流において効率化が進み、調達期間が SCM 適用前より短くなっている。

このような特性から、モデルにおいて SCM 適用効果を表現するため、以下のような仮定を設ける。

- SCM 適用後は、需要の変動が、タイムラグなく発注者に伝達され、タイムラグなく最適計画が見直される。その際、サブモデル2で発注点に到達している資材が存在する場合、タイムラグなく発注される。また、適用前は、この一連の流れに一定のタイムラグを設けることとする。
- SCM 適用後は、調達時間のばらつきが小さくなり、平均調達時間も短縮されるものとする。
- SCM 適用後は、一回の発注費用が削減される。
- フィードバックの時間間隔を小さくする。

4. おわりに

本研究では、建設プロジェクトを時間的かつコスト的に最適化し、在庫切れによる機会損失コストや過大在庫による損失コストを含んだトータルコストを算出できるモデルを構築した。これによれば、建設プロジェクトへの SCM 導入効果を計測することが可能である。

また、早急に入力データを入手・作成し、モデルの出力データの結果は発表時に示すこととする。

参考文献

- 1) ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス編集部：サプライチェーン 理論と戦略，ダイヤモンド社，1998。
- 2) 関根智明：OR ライブラリー11 PERT・CPM，日科技連出版社，1976。
- 3) 春日井博：OR の基礎と技法，税務経理協会，1985。
- 4) Ram Ganeshan, John E. Tyworth, Yuanming Guo：Dual sourced supply chains ~the discount supplier option~, Transportation Research Part E 35, pp11-23, 1999。