

京都大学大学院 学生員 ○見夜 潔
 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

1. はじめに 近年の土木工事の大規模化に伴い、個々の工事施工においては、経済性・迅速性・確実性を追求するために、多種多様な機材（建設機械や仮設用資材）が大量に投入されるようになり、このため、建設会社で保有している機材の運用・管理業務の重要性が増大してきている。しかし、この業務を集中的に行っている工作所においては、従来、主として熟練者の経験に基づいてその業務が遂行されていたため、必ずしも機材の有効かつ経済的な運用を保證する機材管理計画が立案されているとは言えない。そこで本研究では、機材の購入・運用・配送等の工作所の業務を合理的に遂行するための一計画手法を提案する。

2. 工作所の業務について 工作所は個々の現場が工事を円滑に遂行するために必要な機材を購入・管理し、現場から機材の需要があるとその機材を必要とする時期に供給するとともに、各現場からは供給した機材の使用負担として適当な使用料を徴収する。現場ごの一定期間のサービスを終えた機材は工作所に返送され、点検修理が行われた後保管され、それらは現場からの要求があると再び使用に供される。また、点検の段階で以後使用できないものは廃棄処分される。本研究では、これら一連の業務の中で特に購入・運用・配送業務をとりあげ、以下に示すように3段階の計画レベルに分けて考えることにした。なお、工作所は多種の機材を扱っているが、本研究では、数量的・金額的に重要性が高い機材として、耐用年数が比較的長く、何回も転用可能で、かつ数量管理される機材をとりあげ、その中でも特に使用頻度の高い仮設材を対象とする。また、工作所は複数の機材を同時に管理しており、相互に関連し合う面もあるが、ここではとりあえず、主要な機材について品目ごとに計画を作成するものとする。

3. 長期的な機材管理 機材のおおまかな購入計画を作成するプロセスで、耐用年数の短い仮設材の場合でも5年前後であることから、機材の購入計画は長期的展望に立たねばならないという考えに基づくものである。いつ、どれだけ機材を購入すべきかを決定する問題となるため、経済性の追求をその評価基準とすべきである。また、この種の問題は、段階的組合せ的性質を有することから、①計画対象期間は対象機材の耐用年数程度とし、計画単位は半年あるいは1年とする、②新規購入費用は損料として計画対象期間の各期に振り分ける、③機材は各期の期首に現場へ配送するものとし、その期末には使用量に比例した減耗が生じるものとする、④各期の自社品使用量およびリース量を次のように定める；自社品使用量 = $\min[\text{自社品保有量}, \text{需要量}]$ ，リース量 = $\max[0, \text{需要量} - \text{自社品保有量}]$ ，⑤各期の需要量は、 $Q_t(D) \cdot d$ （ t 大期の需要量が D と $D+d$ の間である確率、ただし $\int_0^{\infty} Q_t(D) \cdot d = 1$ ）として確率的に与える、という仮定を設ければ、以下のように DP としてモデル化することができ。すなわち、 X_t （ t 大期の新規購入量）を決定変数とし、 $f_t(X_t)$ を最適政策を用いたときの t 大期までの最小期待費用として、関数方程式を次のように設定する。

$$f_t(X_t) = \min \left\{ \left\{ C_t^I I_t + \sum_{k=1}^H C_{t+k}^R X_k \right\} - \left\{ C_t^U S_t + C_t^B B_t \right\} + f_{t+1}(X_{t+1}) \right\}$$

ここで、 C_t^I : t 大期の単位量当り在庫管理費、 C_{t+k}^R : $t+k$ 大期の新規購入分に対する t 大期の単位量当り損料、 C_t^U : t 大期の単位量当り自社品使用料、 C_t^B : t 大期の単位量当り減耗補償費、 $(C_t^I, C_{t+k}^R, C_t^U, C_t^B)$ は現在価値に換算した値とする、 p : 減耗率、 H_0 : 初期自社品保有量

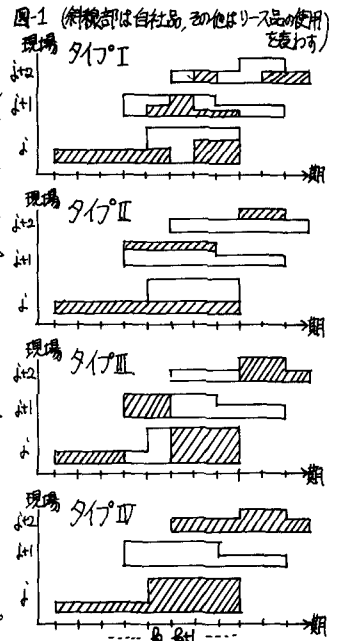
$$H_t \text{ (} t \text{ 大期の自社品保有量)} = H_{t-1} - B_{t-1} + X_t, \quad S_t \text{ (} t \text{ 大期の自社品使用量の期待値)} = \int_0^{H_t} D Q_t(D) \cdot d + \int_{H_t}^{\infty} Q_t(D) \cdot d$$

$$B_t \text{ (} t \text{ 大期の減耗量の期待値)} = p S_t, \quad I_t \text{ (} t \text{ 大期の在庫量の期待値)} = \int_0^{H_t} (H_t - D) Q_t(D) \cdot d$$

実際の計算は、 X_t を離散量として扱って数値計算を行えばよい。なお、 $Q_t(D) \cdot d$ としては連続関数をあてはめる方法と、階段関数を用いる方法が考えられるが、詳細は計算事例とともに講演時に述べることにする。この結果得られる購入計画のうち、特に計画初年度の新規購入量は、次の短期的な機材管理へのインプット情報とする。

4. 短期的な機材管理

土木工事は公共事業が多く、その性格として年度単位で決算が行なわれることから、1年先位までなら各現場での機材の需要量を確定量として扱うことが可能と判断し、計画対象期間を1年とする機材管理を考える。本研究では、計画対象期間をK期(K=12 or 24程度)に分割し、各期の自社品配送量、新規購入量、リース量を変数とする数学モデルを提案する。ここでは、①確定量として与えられる各現場の需要量に対して、自社品、リース品のどちらか一方、あるいは両方を必ず必要な時期に供給するものとする、②機材は各期の期首に工作所から現場へ配送するものとし、現場での供用が終了した期の期末に工作所に返送するものとする、③工作所に返送された機材は1期間の点検修理を必要とし、次々期には出庫可能な状態になるものとする、④返送された機材は一定の廃棄率で廃棄されるものとする、という前提条件を考え、さらに、⑤同一現場内で自社品とリース品の混合使用が可能かどうか、⑥同一現場内で自社品とリース品の使用を工期途中で切替えることができるかどうか、という2条件により個々の品目を分類する。この結果、タイプI{混合使用可・中途切替可}、タイプII{混合使用可・中途切替不可}、タイプIII{混合使用不可・中途切替可}、タイプIV{混合使用不可・中途切替不可}の4タイプが考えられるが、個々のタイプについて各現場での使用状況を想定したのが図1である。いずれのタイプも工作所の所要量を最小化を目的関数とする最適化問題として定式化が可能であるが、ここでは紙面の都合上、タイプIVの定式化のみを示す。これは自社品とリース品の混合使用が技術的に不可能であったり、管理が困難な仮設材に適用可能である。



制約条件 ①各期の自社品使用量は保有量以下であること；

$$I_0 + (1-\lambda) \sum_{r=1}^{k-1} B_r + \sum_{r=1}^k P_r - \lambda \sum_{r=1}^{k-1} \delta_r f(M_{k-r} - M_{k-r+1}) \geq \sum_{r=1}^k \delta_r M_{k-r} \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad \text{ただし } f(x) = x \ (x \geq 0) \text{ or } 0 \ (x < 0)$$

②各期の在庫量に関する制約； $S_{k-1} \leq I_k \leq \bar{S}_k \quad (k=1, 2, \dots, K)$

$$\text{ただし } I_k \text{ (各期の在庫量)} = \{ I_0 + (1-\lambda) \sum_{r=1}^{k-1} B_r + \sum_{r=1}^k P_r - \lambda \sum_{r=1}^{k-1} \delta_r f(M_{k-r} - M_{k-r+1}) \} + \{ B_{k-1} + \sum_{r=1}^{k-1} \delta_r f(M_{k-r} - M_{k-r+1}) \} - \{ \sum_{r=1}^k \delta_r M_{k-r} \}$$

③年間総購入量に関する制約； $M \leq \sum_{r=1}^k P_r \leq \bar{M} \quad \text{④ } \delta_r = 0 \text{ or } 1, P_r \geq 0$

目的関数； $Z = \sum_{r=1}^k [C_r^A I_r + C_r^B (\sum_{s=1}^r P_s)] - \{ \sum_{r=1}^k \delta_r C_r^M M_{k-r} + C_r^D (B_r + \sum_{s=1}^r \delta_s f(M_{k-r} - M_{k-r+1})) \} \rightarrow \min$

[変数] P_r : 各期の新規購入量, $\delta_r = 1$ (現場jで自社品を使用するとき), or 0 (それ以外)

[定数] M_{k-r} : 各期の現場jでの需要量

B_r : 各期の返送量 (計画対象期間以前に返送した分)

S_{k-1}, \bar{S}_k : 各期の在庫量の下限, 上限値

M, \bar{M} : 年間総購入量の下限, 上限値 (長期的な機材管理の結果を参考にして決める)

I_0 : 初期在庫量, λ : 廃棄率, N : 現場数

$C_r^A, C_r^B, C_r^C, C_r^D$: 各期の単位量当りの在庫管理費, 送料, 自社品使用料, 廃棄処分補償費

これは、N個の0-1型変数とK個の連続変数を持つ0-1混合整数計画問題となる。

紙面の都合上、計算事例の詳細は講演時に述べることにし、ここではタイプII, IVの結果の一部を図2に示す。

5. 日単位の配送計画 短期的な機材管理で得られる結果のうち、工作所からの各期の配送量をインプット情報とし、輸送費用を低減化するトラックの配送計画を求める。この問題に関しては、吉川・山本瀬戸が発表する。

