

建設資材の管理・配送計画のシステム化に関する研究

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
 建設省 正員 ○見波 潔

①はじめに 建設工事を経済的かつ迅速・確実に行うためには合理的な施工計画が必要であると同時に、各工事で必要とする資材を調達する業務が重要である。しかし、この業務を専門的に行っている資材センターにおいては、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、必ずしも資材の有効かつ経済的な運用がなされているとはいえない。そこで本研究では、資材センターの諸業務のうち、特に購入・管理・運用(以下管理とよぶ)および配送業務を取上げ、管理費用・配送費用の低廉化を計画目的とする資材管理・配送計画の立案方法を提案する。特に前者に関しては資材のサイクリックな使用という特性を考慮すると、④保有数量および⑤その運用方法が主要な課題となるが、④に関しては資材の耐用年数が5年程度であることを考慮すると長期的展望に基づく意思決定が必要であり、⑤に関しては各工事の資材使用計画をもとにした意思決定が必要となることから、本研究では長期的資材管理計画と短期的資材管理計画に分けて考えることにする。なお本研究では、耐用年数が比較的長く何回も転用可能で、かつ数量管理方式がとられる資材を取上げ、1品目を対象とした資材管理計画を考えていくこととする。

②長期的資材管理計画 これは将来の資材保有数量を決定するプロセスであるが、前提条件として、①計画対象期間は対象資材の耐用年数程度とする、②計画対象期間をいくつかの期に分割するが、第1期は③に述べる短期的資材管理計画として別途に扱う、③各期内の需要量は一定とする、④各期の需要量は Q_t (第t期の需要量がDとD+dDの間である確率)として確率的に与える、⑤各期の自社品使用量、リース量は次式で定める；自社品使用量 $=\min\{pH, D\}$ 、リース量 $=\max\{D-pH, 0\}$ (ただし、H:保有数量、p:自社品稼働率の上限値)、⑥各期末には使用量に比例した残価が生じるものとする、⑦修理費は自社品使用量に比例するものとする、⑧購入費用は償却費として各期に振り分ける、⑨資材管理費用の期待値の最小化を評価基準とする、と考えると以下のように定式化できる。

$$\text{目的関数 } Z = (Z^0) + \sum_{t=2}^T C_t^1 X_t + \sum_{t=2}^T [C_t^2 I_t + \sum_{k=2}^t C_{tk}^3 X_k + C_t^4 S_t - C_t^5 S_t - C_t^6 (pS_t)] \rightarrow \min \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{制約条件 } H_t \geq H_{t-1} - pS_{t-1} \quad (t=3, 4, \dots, T), \quad H_t \geq H_1^E, \quad H_t \geq 0 \quad (t=2, 3, \dots, T) \quad \text{----- (2)}$$

$$\text{ただし、} \left. \begin{aligned} I_t &= \int_0^{H_t} (H_t - D) \varphi_t(D) dD + \int_{H_t}^{\infty} (1-p) H_t \varphi_t(D) dD \quad (t=2, 3, \dots, T), \quad X_t = H_t - H_{t-1} + pS_{t-1} \quad (t=3, 4, \dots, T) \\ X_2 &= H_2 - H_1^E, \quad S_t = \int_0^{H_t} D \varphi_t(D) dD + \int_{H_t}^{\infty} p H_t \varphi_t(D) dD \quad (t=2, 3, \dots, T), \quad \int_0^{\infty} \varphi_t(D) dD = 1 \quad (t=2, 3, \dots, T) \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (3)}$$

ここで、[決定変数] H_t : 第t期の保有数量 ($t=2, 3, \dots, T$)、[補助変数] I_t, X_t, S_t : 第t期の在庫量の期待値、購入量、自社品使用量の期待値、[定数] $C_t^1, C_t^2, C_t^3, C_t^4, C_t^5, C_t^6$: 第t期の単位量当りの在庫管理費、修理費、使用料、廃棄処分補償費、 C_{tk}^3 : 第k期購入分に対する第t期での単位量当り損料(以上の費用係数は現在価値に換算した値とする)、p: 廃棄処分残率、 Z^0, X_1, H_1^E : 短期的資材管理計画の目的関数値、第1期購入量、第1期末保有数量、T: 計画期数

この問題は、制約条件が満たされる範囲では $\frac{\partial Z}{\partial H_t} = 0$ とおくことにより解が求まり、満たされない場合には H_t を離散量として扱い、数値計算により解を求めることができる。

③短期的資材管理計画 工事現場ごとの資材需要量を確定量としてインプットし、自社品使用量、リース量、購入量等をアウトプットして、資材の運用方法を明らかにするプロ

セスである。ここでは①計画対象期間をいくつかの期に分割する、②各現場の需要量に対して自社品；リース品のいずれかを必ず必要な時期に供給する、③資材は各期の期首に現場へ配送され、使用が終了する期の期末に返送されるものとする、④返送された資材は1期分の点検修理期間を必要とし、次々期には出庫可能となるものとする、⑤返送された資材は一定比率で廃棄されるものとする、などの前提条件を考え、さらに④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、⑤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4タイプの使用形態を考えることができる。ここでは紙面の都合上、混合使用可・中途切替不可の場合の定式化のみを示すことにする。これは各工事現場の需要量が時期的に変動する場合、いくつかの仮想現場を設定し、すべての現場の需要量が一定となるような操作を行うと、以下のように定式化できる。

$$\text{目的関数 } Z = \sum_{k=1}^K \{ \bar{C}_k^I I_k + \sum_{j=1}^N \bar{C}_{kj}^R P_{kj} + \sum_{j=1}^N \bar{C}_{kj}^M E_{kj} X_j \} - \{ \bar{C}_k^V \sum_{j=1}^N T_{kj} X_j + \bar{C}_k^B \sum_{j=1}^N E_{kj} X_j \} \rightarrow \min \quad (4)$$

$$\text{ただし、} I_k = I_0 + (1-d) \sum_{i=1}^{k-1} B_i + \sum_{j=1}^N P_{kj} - d \sum_{j=1}^N E_{kj} X_j + B_{k-1} + \sum_{j=1}^N E_{kj} X_j - \sum_{j=1}^N T_{kj} X_j \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad (5)$$

$$\text{制約条件 } \left. \begin{aligned} & (i) I_0 + (1-d) \sum_{i=1}^{k-1} B_i + \sum_{j=1}^N P_{kj} - d \sum_{j=1}^N E_{kj} X_j - \sum_{j=1}^N E_{kj} X_j \geq \sum_{j=1}^N T_{kj} X_j \quad (k=1, 2, \dots, K) \\ & (ii) \bar{S}_k \leq I_k \leq \bar{s}_k \quad (k=1, 2, \dots, K), \quad (iii) \sum_{k=1}^K \bar{C}_k^R P_{kj} \leq M, \quad (iv) P_{kj} \geq 0 \quad (k=1, 2, \dots, K), \quad 0 \leq X_j \leq m_j \quad (j=1, 2, \dots, N) \\ & (v) H_k^I \leq H_k^R, \text{ ただし } H_k^I = I_0 + B_0 + (1-d) \sum_{i=1}^{k-1} B_i + \sum_{j=1}^N P_{kj} - d \sum_{j=1}^N E_{kj} X_j \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここで、[決定変数] P_{kj} : 第k期の購入量, X_j : 現場jでの自社品使用量, [補助変数] I_k : 第k期の在庫量, H_k^I : 最終期末の保有数量, [定数] T_{kj} : 第k期に現場jで資材を必要とするとき1, そうでないとき0, E_{kj} : 第k期に現場jで資材の使用が終了するとき1, そうでないとき0, m_j : 現場jの需要量, I_0 : 初期在庫量, B_k, B_0 : 計画対象期間以前の配送分のうち第k期の返送量および対象期間内に返送されない量, $\bar{S}_k, \bar{s}_k$: 第k期の在庫量の上下限値, M : 計画対象期間内の購入費用の上限値, H_k^R : 長期モデルの最適解, d : 廃棄処分減耗率, $\bar{C}_k^I, \bar{C}_{kj}^R, \bar{C}_{kj}^M, \bar{C}_k^V, \bar{C}_k^B$: 長期モデルと同じ内容の費用係数, $\bar{C}_k^R$: 第k期の購入単価, N : 現場数, K : 計画期数

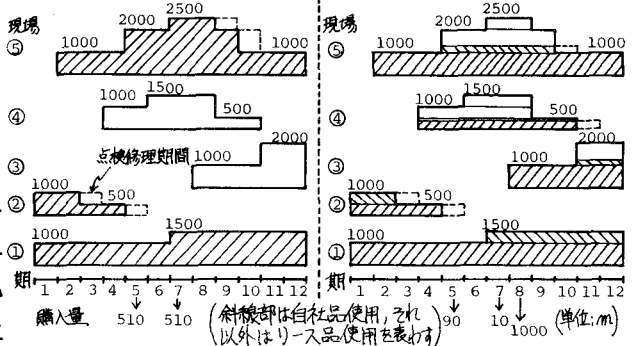
図. 短期的資材管理計画 (対象資材: 角パイプ)

$I_0 = 3000m, H_k^R = 5000m, M = 55万円, d = 0.02, B_k = B_0 = 0, \bar{S}_k = \infty, \bar{s}_k = 0$

(a) 混合使用不可・中途切替不可 $Z^1 = -233900円, \text{ 自社品稼働率} = 81.6\%$ (b) 混合使用可・中途切替不可 $Z^1 = -269400円, \text{ 自社品稼働率} = 91.5\%$

本研究では、 $N + K$ 個の整数型変数の整数条件をはずし、線形計画問題として近似解を求めることにした。ここでは計算結果の一部を図に示す。

④ 資材配送計画 これは資材管理計画により求まる各現場の自社品使用量をインプット情報とし、同一搬入希望日の現場を対象として、複数資材の混載および配送ルート統合によって全



配送費用の低減化を目的とする配送計画を立案するプロセスであり、線形整数計画問題として定式化が可能であるが、実用的な計算時間で満足解を得ることを目的として、本研究では線形計画問題の解を用いて混載のみを考え、その結果に対してセービング法を用いてルート統合を考えるとというヒューリスティックな解法を提案する。

⑤ おわりに 本研究は合理的な資材管理・配送計画の立案方法を提案したものであるが、前者に関しては複数資材への拡張が今後に残された課題である。なお、モデルおよび計算事例の詳細については講演時に述べることにする。