

兵庫県 正会員 ○久保田茂
 京都大学工学部 正会員 長尾義三
 京都大学工学部 学生員 岸本高彦

1. はじめに

従来、海上と陸上の土砂運搬システムが結合された2リンク土砂運搬システムの解析は、シミュレーション手法を用いる場合がほとんどであったが、本研究では結合点(ノード)における状態をパラメータ化することによって状態方程式による厳密解法を提案する。その際に、システムを結合点に貯留容量のある場合とない場合に分けて解析を行う。さらに従来提案されている近似解法やシミュレーションとの比較検討を行い、最適化計算への適用事例も同時に示す。

2. 結合点に貯留容量のない2リンク土砂運搬システムの解析

結合点に貯留施設がないシステムとは、海上運搬の土運船から陸上運搬のダンプトラックへ揚土機を使用して直接土砂を受け渡すシステムである。海上・陸上それぞれのリンクを循環待ち合せモデルで記述すると図1に示されるようになる。ここでは、解析を容易にするため揚土機は1台としている。

このシステムの特徴は、土運船とダンプトラックの両方ともが結合点に入っている場合のみサービスを行なうことができ、一方しか入っていない場合は待ちが生じることである。そこで、この待ち時間を結合点のサービス窓口における平均サービス時間の増分と考え、この増分を含めたサービス時間を結合点における簡単な条件式を想定することによって求め、それぞれのリンクを循環待ち合せモデルで解析しようとするのが従来提案されている近似解法である。この近似解法については参考文献を参照されたい。

本研究では、海上運搬のリンクが4ステージ循環待ち合せモデルで記述できその状態確率は $P(n_1, n_2, n_3, n_4)$ で示され、また陸上運搬のリンクは2ステージでありその状態確率は $P(n_5, n_6)$ で表わされることに注目し、結合点の状態を何らかの形でパラメータ化し、状態確率に導入することによってシステム全体の状態確率を表現することを考える。実際の土砂運搬システムでは、土運船の容量の方がダンプトラックの容量よりかなり大きく、そのため直接受け渡しのシステムでは土運船の土砂が空になるまで揚土窓口を占有することになり、ダンプトラックの到着を待たなければならない。この挙動を解析するには、揚土窓口中の土運船の残留土量またはすでに揚土された土量によって結合点の状態が異なり、それをパラメータとして状態確率の中に表現する必要が出てくる。本研究では、ダンプトラックの容量を単位容量と考え土運船の容量はその整数倍で表わされると仮定する。結合点の揚土窓口の状態を、現在何台目のダンプトラックが揚土窓口に入っているかということでパラメータ化し、 n で表わすことにすると n は次のような値をとることがわかる。

$$n = \begin{cases} 0: \text{揚土窓口}に土運船が入っており、結合点の窓口が遊休している場合 \\ n: \text{揚土窓口}に土運船が入っており、 n 番目のダンプトラックがサービス中の場合 \end{cases}$$

ここで、 K を(土運船容量)/(ダンプトラック容量)とすると、パラメータ n は0から K の値まで変化することになる。

以上の概念を用いることにより2リンク輸送シス

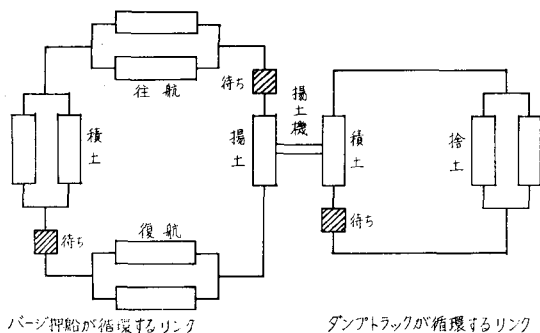


図1 2リンク土砂運搬システムのモデル

ムの状態確率は $P(n_1, n_2, n_3, n_4, l, n_5, n_6)$ と表現でき、その遷移状況から状態方程式の一般形は次式となる。

$$\begin{aligned}
 & (\mu_1 + n_2\mu_3 + n_3\mu_4 + \mu_5 + n_6\mu_6) P(n_1, n_2, n_3, n_4, l, n_5, n_6) \\
 & = \mu_1 P(n_1+1, n_2-1, n_3, n_4, l, n_5, n_6) + (n_2+1)\mu_2 P(n_1, n_2+1, n_3-1, n_4, l, n_5, n_6) \\
 & + (n_4+1)\mu_4 P(n_1-1, n_2, n_3, n_4+1, l, n_5, n_6) + (n_6+1)\mu_6 P(n_1, n_2, n_3, n_4, l, n_5+1, n_6-1) \\
 & + \begin{cases} \mu_5 P(n_1, n_2, n_3, n_4, l-1, n_5+1, n_6-1) \cdots \cdots (l \neq 0, 1) \\ \mu_5 P(n_1, n_2, n_3+1, n_4-1, K, n_5+1, n_6-1) \cdots \cdots (l=0, 1) \end{cases} \quad (1)
 \end{aligned}$$

両リンクの運搬容量が等しい場合はパラメータを必要とせず、システムの状態確率は $P(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6)$ で示される。本研究の厳密解と前述した近似解ならびにシミュレーションの結果とを比較したものが表1である。

3. 結合点に貯留容量のある2リンク

ク土砂運搬システムの解析

2リンク土砂運搬システムにおいて

ては、結合点に貯留容量のあるのが

一般的である。本研究では、貯留施設に土運船の積載土量以上の空きがひけるまで揚土のサービスが行えないという仮定を設けたシステム(a)と、空きがあればその容量分を順次揚土していくシステム(b)を対象とし、2つのシステムの解析結果についても比較検討する。

(a) このシステムにおいては、土運船からの揚土のサービスは貯留施設の容量の状態によりきまるため、土運船の残留土量のかわりに貯留施設にストックされている土量を示すパラメータ l を導入する。

$$l = \begin{cases} 0: \text{貯留されている土量がまったくない場合} \\ l: l \text{ 単位の土量が貯留されている場合} \end{cases}$$

貯留施設の最大容量を L とするとパラメータ l は 0 から L の値まで変化する。システムの状態確率の一般形はその遷移状況から次式のようになる。

$$\begin{aligned}
 & (\mu_1 + n_2\mu_3 + \mu_4 + n_3\mu_4 + \mu_5 + n_6\mu_6) P(n_1, n_2, n_3, n_4, l, n_5, n_6) \\
 & = \mu_1 P(n_1+1, n_2-1, n_3, n_4, l, n_5, n_6) + (n_2+1)\mu_2 P(n_1, n_2+1, n_3-1, n_4, l, n_5, n_6) \\
 & + \mu_3 P(n_1, n_2, n_3+1, n_4-1, l-K, n_5, n_6) + (n_4+1)\mu_4 P(n_1-1, n_2, n_3, n_4+1, l, n_5, n_6) \\
 & + \mu_5 P(n_1, n_2, n_3, n_4, l+1, n_5+1, n_6+1) + (n_6+1)\mu_6 P(n_1, n_2, n_3, n_4, l, n_5-1, n_6+1) \quad (2)
 \end{aligned}$$

(b) 結合点の状態を示すパラメータとして、前述した l と l の両者を用いなければならない。状態確率の一般形は遷移状況から次式のようになる。

$$\begin{aligned}
 & (\mu_1 + n_2\mu_3 + \mu_4 + n_3\mu_4 + \mu_5 + n_6\mu_6) P(n_1, n_2, n_3, n_4, l, l, n_5, n_6) \\
 & = \mu_1 P(n_1+1, n_2-1, n_3, n_4, l, l, n_5, n_6) + (n_2+1)\mu_2 P(n_1, n_2+1, n_3-1, n_4, l, l, n_5, n_6) \\
 & + A_3 \quad + (n_4+1)\mu_4 P(n_1-1, n_2, n_3, n_4+1, l, l, n_5, n_6) \\
 & + \mu_5 P(n_1, n_2, n_3, n_4, l, l+1, n_5+1, n_6+1) + (n_6+1)\mu_6 P(n_1, n_2, n_3, n_4, l, l, n_5-1, n_6+1) \quad (3)
 \end{aligned}$$

ただし、 $A_3 = \min(K-l+1/K, L-l/K)$

$$A_3 = \begin{cases} \sum_{i=0}^{K-l} \frac{l-i}{K} \mu_3 \cdot P(n_1, n_2, n_3, n_4, l+i, l-i, n_5, n_6) & \cdots \cdots l \neq 0, 1, l \leq L \\ \sum_{i=0}^{K-l+1} \frac{K-l-i+1}{K} \mu_3 P(n_1, n_2, n_3+1, n_4-1, l+i, l-i, n_5, n_6) & \cdots \cdots l=0, 1, l \leq L \end{cases} \quad (4)$$

システム(a)・(b)の解析結果は表2に示す。

なお、最適化計算への適用事例と結果は講演時に示す。

(参考文献) 岸本高彦：2リンク運土システムの最適化に関する研究 京都大学卒業論文 1978、2月

長尾・久保田：2リンク輸送システムの最適モデルに関する一考察

第33回土木学会年次学術講演概要集 1978、9月

遷移率	UM	UA	UP	UB	UD	CTU 平均
厳密解	0.483441	0.487365	0.390333	0.875735	0.290048	6 (sec)
近似解	0.459521	0.459522	0.420462	0.879385	0.275714	3 (sec)
シミュレーション解	0.456426	0.491875	0.417795	0.891946	0.273018	8 (sec)

表1 近似解と厳密解との比較

遷移率	システム(a)	システム(b)
U M	0.3890173	0.3750166
U A	0.4698960	0.6046113
U P	0.4056962	0.3444327
U B	0.8351526	0.8342462
U D	0.2368104	0.2264241

表2 システム(a)と(b)の解析結果の比較