

海上土砂運搬システムに関する基礎的研究

京都大学工学部 正員 長尾義三
 関西大学工学部 正員 則武通彦
 京都大学工学部 学生員 久保田茂

1. はじめに 最近、海上ターミナルや海上都市などの大規模な海上埋立てのプロジエクトが社会的に要請されており、それらの工事では大量の土砂を海上運搬する必要がある。そのような海上土砂運搬システムを解析するには従来のモデルでは適さない場合が多く、大規模な埋立て工事の広範な状況を対象としたモデルを用いなければならぬ。本研究では従来の2ステージの循環待ち合せ理論を基礎とし、さらに実際の現象をより詳細に解析する4ステージの循環待ち合せモデルを開発し、その解析結果から海上土砂運搬システムの最適化すなわち最適な船型・隻数および揚土機械の台数の組合せを決定する方法論を提案する。この方法論により相異なる海上土砂運搬システムの代替案について比較、検討を行うことができ最適システムの決定に対し有効な情報をうることが可能になる。

2. 海上土砂運搬システムの種類と解析モデル 海上土砂運搬に使用される荷役機械、運搬手段は積土機・押船・バージ・揚土機などであり、その使用機械によって次のように3つの種類に分けることができる。

a) 底開式バージを使用するシステム

埋立て作業の初期に適しており、積土のサービスと往航・揚土・復航のサービスからなりたっているため、従来の2ステージの循環待ち合せモデルを適用できる。

b) 自力揚土バージを使用するシステム

バージ本体に揚土機を装備している機材で、積土のサービスと往航・揚土・復航の各サービスからなり a) と同様に2ステージの循環待ち合せモデルを適用できる。

c) 揚土機を陸上に設置し箱型バージを使用するシステム（ステーション方式）

このシステムでは揚土の際にバージに待ちが生じるため積土・往航・揚土・復航の各サービスをわけて、図1に示すような4ステージの循環待ち合せモデルを設定し解析を行う。このモデルでは、ステージの窓口数を A_i 、指数分布に従うサービス率を μ_i 、ステージ内の

バージ数 n_i とする。このとき、系の状態確率を

$$P(n_1, n_2, n_3, n_4)$$

で表わすとこの系の状態方程式は一般形として(1)式のようにかくことができる。

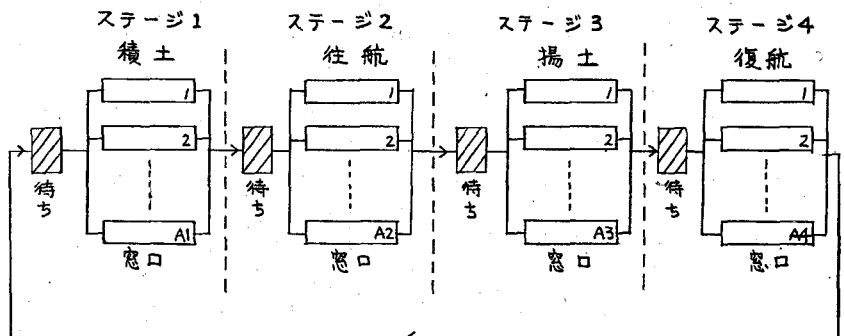


図1. 4ステージの循環待ち合せモデル

$$(d/dt). P(n_1, n_2, n_3, n_4) = - (l_1 \mu_1 + l_2 \mu_2 + l_3 \mu_3 + l_4 \mu_4) P(n_1, n_2, n_3, n_4) \\ + l_1' \mu_1 P(n_1+1, n_2-1, n_3, n_4) + l_2' \mu_2 P(n_1, n_2+1, n_3-1, n_4) \\ + l_3' \mu_3 P(n_1, n_2, n_3+1, n_4-1) + l_4' \mu_4 P(n_1-1, n_2, n_3, n_4+1) \quad (1)$$

ここで、 $l_i = \min\{n_i, A_i\}$ 、 $l_i' = \min\{n_i+1, A_i\}$ である。この状態確率の値を求めるには $P(n_1, n_2, n_3, n_4)$ を未知数とする連立方程式を立て、 $\sum P(n_1, n_2, n_3, n_4) = 1$ の条件を用いて、解けばよいことになる。このとき、元の数が多くなるため行列を用いてガウス消却法により $P(n_1, n_2, n_3, n_4)$ の各値を計算する。

3. 海上土砂運搬システムの評価

評価するに際し

ては、何を基準にして最適なシステムと定義するかということが重要である。本研究においては、工期を1年とし、運搬土量・運搬距離をシステムパラメータとして採用した場合、年間の総費用を最小とするシステムを最適と定義する。そのとき費用を算出する項目は表1に示すものについて総費用を計算した。

1. 減価償却費	6. 潤滑油費
2. 維持管理費	7. 固定資産税費
3. 人件費	8. 保険料費
4. 船用品費	9. 設置費
5. 燃料費	

表1 費用項目

4. 計算手順

手順は下に示すとおりである。

- (1) 1日の稼働時間は10時間、年間の稼働日数の制約は250日とする。
- (2) 運搬土量・運搬距離のパラメータを設定する。
- (3) 押船の馬力数とバージの容量を設定する。
- (4) 投入台数の組合せを設定する。
- (5) モデルの解析結果から総費用を算出する。
- (6) (2)(3)(4)の設定を操作して解析すると運搬土量・

押船馬力数	隻数	バージ容量	隻数	稼働日数	総費用
1000馬力	2隻	1000 m ³	4隻	214 日	1.20 億円
1500	2	1000	4	194	1.28
1500	1	1500	4	230	1.07
2000	1	1500	2	250	0.97
3000	1	1500	2	218	1.04
3000	1	2000	2	176	1.06

表2

運搬距離のパラメータに対する最適システムの種類・規模が決定される。

5. 解析結果

表2は土量

百万m³、距離40kmの場合、底開式バージシステムの船型ごとの最適投入隻数と総費用を示したもので、押船2000馬力・バージ1500m³が最適船型であることがわかる。表3は運搬土量2百万

距離	押船馬力数	バージ容量	システム名	隻数	揚土機能力	台数	稼働日数	総費用
10km	2000馬力	2000 m ³	ステーション	2隻	1200 m ³ /時	1台	249 日	2.96 億円
20	3000	4000	ステーション	2	1200	1	240	3.45
30	3200	3750	自力揚土	2	1875	2	204	3.76
40	3200	3750	自力揚土	2	1875	2	232	3.82
50	3500	4000	ステーション	3	1200	1	230	4.77

表3

m³のとき運搬距離をパラメータにして、自力揚土バージシステムとステーション方式のいずれが最適システムになるかをまとめたものである。この表より、最適システムは運搬土量・運搬距離によって異なることが明らかになり、したがって最適システムを決定する際には本研究に示すような方法論を用いて情報源とすることの有用性が立証された。

参考文献

- i) 吉川和広：土木計画とOR 丸善 P311～314 1969.
- ii) 米谷 河上：しゅんせつ工事に関する一考察 論文集No125, PP1～11 1966.
- iii) 竹内益雄：臨海工事の施工合理化に関する実証的研究 1967.