

## 機械化土工作業のシミュレーション解析

愛媛大学工学部 正員 室 達朗  
 愛媛大学工学部 正員 深川 良一  
 愛媛大学大学院 学生員 ○ 秦 樹一郎

1. まえがき 土工現場において適正な機械系を選定するために、まず現場動態調査を行い機械化土工の現況を分析したが、実際には想定する機械系を稼働させて作業効率を調査することは困難であるため、シミュレーション手法を用いて作業効率に対する検討を加えた。動態調査は数現場で行ったが、詳細に調査したバイパス工事現場における検討結果を以下に示す。

2. 動態調査の概要 調査場所は愛媛県内のバイパス工事現場であり、その平面図、縦断面図を図-1、図-2に示す。この現場は切土地区、走行路、盛土地区からなる典型的な運土作業現場である。走行路は勾配毎にポイント0～5で区切っており、ポイント2と4付近が二車線である以外は全て一車線である。当現場の投入機械は11t積載ダンプトラック（以下、11t

トラックと呼ぶ）2台、バケット容量 $1.1\text{m}^3$ のバックホウ（以下、 $1.1\text{m}^3$ バックホウと呼ぶ）1台、ブルドーザ1台、およびタイヤローラ1台である。調査項目は走行路における11tトラックの各区間走行時間、作業待ち時間および $1.1\text{m}^3$ バックホウの積載時間、作業待ち時間である。

3. 調査結果と考察 11tトラックのポイント2→3の走行時間をヒストグラムで表したものを図-3に示す。図-3の結果を始めとして観測された各作業（走行、積載）時間について正規分布に関する有意水準5%のカイ二乗検定を行うと、いずれも正規分布と認められることがわかった。

次に走路長と11tトラックの走行時間の単回帰式を以下に示す（図-4参照）。

$$T = 0.396L - 5.77 \quad (r: \text{相関係数} = 0.951) \quad (1)$$

T: 走行時間(sec), L: 走路長(m)

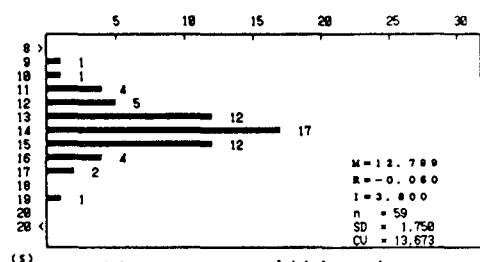


図-3 2→3走行時間分布

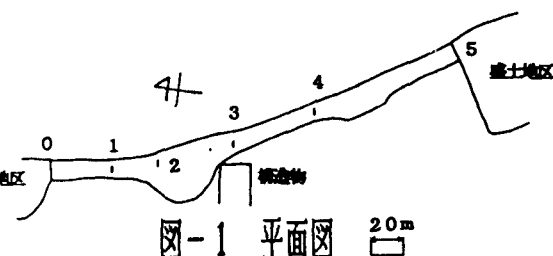


図-1 平面図 20m

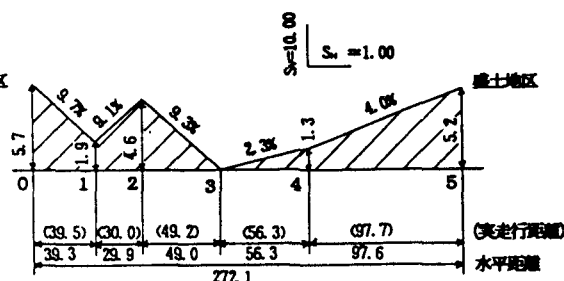


図-2 縦断面図

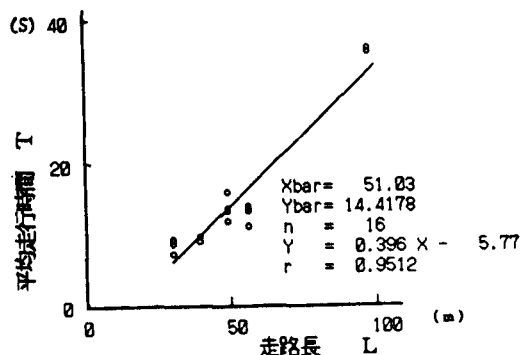


図-4 走路長-走行時間単回帰図

(1)式は、 $40 \leq L \leq 98(m)$ のデータに基づいて決定しており、以下のシミュレーションにおいてもこの範囲内のLに関して解析を行った。同様に標準偏差と走行時間の単回帰式を示す。

$$SD = 0.130T + 1.79 \quad (r: \text{相関係数} = 0.779) \quad (2)$$

SD: 標準偏差, T: 走行時間(sec)

(1),(2)式より11tトラックにおいては任意の走路長がわかれば、走行時間とその標準偏差が推定できることになる。

4. シミュレーションによる解析 バイパス現場に関するシミュレーション解析例を表-1に示す。シミュレーションに使用した機械系は当現場で現実的に投入可能なものに限定した。シミュレーション解析における施工機械の作業時間については、正規分布に基づいて乱数を発生させる手法を用い、この正規分布のパラメータは観測値の平均値、標準偏差を使用し求める方法と、(1),(2)式より推定する方法を行い両者の結果の比較を行ったが有意な差が得られなかったため、以下のシミュレーション解析では後者の方法を使用している。1.6 $m^3$  (1.1 $m^3$ ) バックホウは1台と固定し、11tトラックの台数(N)を変化させた場合(走路は全線二車線)のシミュレーション解析結果を図-5に示す。作業効率の指標としては1時間当たりの全トラックによる累積サイクル数(R)を選択している。図-5より1.6 $m^3$ バックホウの場合、 $N \leq 3$ まではRはNに正比例していることがわかり、このことは各トラックの稼働時間率Eが $N \leq 3$ ではほぼ一定であることを示し、同様に時間当たりの機械作業能力Q ( $m^3/h$ )も $N \leq 3$ ではほぼ一定であることを示している。ここに、 $Q = E \cdot q \cdot 60 / C_m$ で表され<sup>1)</sup>、q: 1サイクルの処理量、 $C_m$ : 1回のサイクルタイム(min)である。 $N=4$ ではトラックの作業待ち時間の増加に伴いRの伸びが鈍化することがわかる。1.1 $m^3$ バックホウの場合でも同様な定性的な傾向が得られた。結局、各トラックの機械作業能力Qをある程度維持しながらRを高めるためには、1.6 $m^3$ バックホウに対して11tトラック3台、1.1 $m^3$ バックホウに対して11tトラック2台が望ましいことが判明した。

走路条件が現状(図-1)ならば機械系を変化させてシミュレーション解析を行った結果、1.1 $m^3$ バックホウに対して11tトラック2台(実現場稼働機械の組み合わせと同じ)が上記と同じ理由により望ましいことが判明した。

表-1 シミュレーション解析例

|       | 現場条件 |           | 機械条件 | (1)<br>パラメータ<br>(T, SD) | (2)<br>1時間当たり<br>全トラック累積<br>サイクル回数 |
|-------|------|-----------|------|-------------------------|------------------------------------|
|       | 定員   | バックホウ容量   |      |                         |                                    |
| SIM 1 | 二車線  | 1.1 $m^3$ | 1台   | 現場パラメータ                 | 9.7                                |
| SIM 2 | 二車線  | 1.1 $m^3$ | 2台   | 現場パラメータ                 | 18.5                               |
| SIM 3 | 二車線  | 1.1 $m^3$ | 3台   | 現場パラメータ                 | 23.9                               |
| SIM 4 | 二車線  | 1.1 $m^3$ | 4台   | 現場パラメータ                 | 24.5                               |
| SIM 5 | 二車線  | 1.6 $m^3$ | 1台   | 現場パラメータ                 | 10.7                               |
| SIM 6 | 二車線  | 1.6 $m^3$ | 2台   | 現場パラメータ                 | 20.9                               |
| SIM 7 | 二車線  | 1.6 $m^3$ | 3台   | 現場パラメータ                 | 30.9                               |
| SIM 8 | 二車線  | 1.6 $m^3$ | 4台   | 現場パラメータ                 | 32.9                               |

(1): 現場パラメータとは(1),(2)式から算出した値

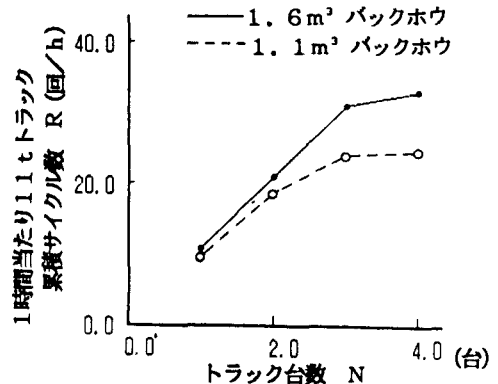


図-5 作業効率に及ぼすトラック台数の影響

5. あとがき 土工現場は個別性が強いので、上記の議論をそのまま他現場へ適用することには無理があるかもしれない。一般的な結論を得るためには更に多数の現場において動態調査、シミュレーション解析を積み重ねていかなければならない。最後に本研究にご協力いただいた建設省四国地建西条工事事務所ならびに動態調査現場の方々に深く謝意を表します。

6. 参考文献 1) 畠: 土木施工学, 土木教程選書, 鹿島出版会, PP.18, 1986.