

スクレーパー作業の計算図表

植村 厚 一*

要 旨 1枚の計算図によってスクレーパーの工事量を求めることを工夫し、その計算図の作成方法と計算図を示し、実用に便利であることを述べたものである。

1. まえがき

従来スクレーパーの工事量の算定方法は、スクレーパーの工事量算定式によって13個の要素をふくむ複雑な式をいちいち計算することによって求めるか、または式中の一部を図表で求め、計算と併用して解答を求めるかのいずれかの方法によっており、それには手間と判断力と時間を要する複雑さがあつた。

もちろんスクレーパーの運搬量を一つの曲線に表わした図表も使用されるが、これは計算式中の13の変数の10~11個を固定して求めた計算図であり、特定機種のものだけに適用されるものであり、すべての機種のある場合に使用することができないものである。

建設の機械化(35年11月号)誌上に発表したスクレーパーの計算図は、すべて図表だけによってスクレーパーの工事量が計算でき、従前のものに比して便利ではあつたが、なお2枚の計算図を使用し共線図表と共点図表によって求めたものであり、多少の不便はまぬがれなかつた。

しかし、ここに解説するのは算定式を基礎として、全条件に対して1葉で工事量を簡単に求めることができるようにした実用的な共点図表である。

2. スクレーパーの工事量の算定式

スクレーパーの工事量は、次の式によって求められる。

$$Q = \frac{q \times f \times h \times E}{C_m} \dots\dots\dots(1)$$

$$C_m = \left\{ T_a + \frac{H}{v_h \times \frac{1000}{60 \times 60}} + T_s + \frac{R}{v_r \times \frac{1000}{60 \times 60}} + G \right\} \times \frac{1}{60} \quad (2)$$

- ここに、 Q : 1時間当りの工事量 (m³/h)
 q : ボウルの積載量 (m³)
 f : 土積変換係数
 h : 1時間当りの作業時間 (min)
 E : スクレーパーの実作業係数
 C_m : サイクルタイム (min)
 T_a : 積込みに要する時間 (sec)

- H : 運搬距離 (m)
 v_h : 平均運搬速度 (km/h)
 T_s : 捨土に要する時間 (sec)
 R : 帰りの距離 (m)
 v_r : 帰りの平均速度 (km/h)
 G : ギャチェンジ方向変換に要する時間 (sec)

すなわち式(1),(2)は12個の変数をふくんでいるのでそのまま計算図を作ることはできない。

この式から次の順序にしたがって1枚の計算図表にまとめることにする。

3. まず計算式を変形する

図形化困難な式(1)の逆数を考える(35年9月建設の機械化誌参照)。

$$\frac{1}{Q} = \frac{C_m}{q \times f \times h \times E} \dots\dots\dots(3)$$

また式(2)中の各要素を次の3要素に置換する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{v_h \times \frac{1000}{60 \times 60}} = A \dots\dots\dots(4) \\ \frac{1}{v_r \times \frac{1000}{60 \times 60}} = B \dots\dots\dots(5) \\ T_a + T_s + G = C \dots\dots\dots(6) \end{array} \right.$$

式(4),(5),(6)を式(2)に代入すれば、

$$C_m = \{ (A \times H) + (B \times R) + C \} \times \frac{1}{60} \dots\dots\dots(7)$$

式(7)を式(3)に代入すれば、

$$\frac{1}{Q} = \frac{\{ (A \times H) + (B \times R) + C \} \times \frac{1}{60}}{h \times f \times q \times E} \dots\dots\dots(8)$$

4. 式(8)を図表化するために6個の媒介変数を導入して8個の式に分解する

式(8)は10個の変数がふくまれておりただちに図表化ができないので、図表化可能な3変数をふくむ8個の式に分解する。またそのために6個の媒介変数 T_h , $T_{(h+c)}$, T_r , K , L , M を導入する。

$$(A \times H) = T_h \dots\dots\dots(9)$$

$$(T_h + c) = T_{(h+c)} \dots\dots\dots(10)$$

$$(B \times R) = T_r \dots\dots\dots(11)$$

$$T_{(h+c)} + T_r = C_m \times 60 \dots\dots\dots(12)$$

$$C_m \div h = K \dots\dots\dots(13)$$

$$K \div f = L \dots\dots\dots(14)$$

$$L \div q = M \dots\dots\dots(15)$$

$$M \div E = \frac{1}{Q} \dots\dots\dots(16)$$

* 正員 小松製作所第一技術本部

前記の式 (9) より式 (16) までは3変数をふくむ共点図表により図表化することができる。

5. 8個の式の計算図のパターンとその組合せ順序

まず式 (9)~(16) の共点図表によるパターンを考える。導入した媒介変数を消去していけるように、また8個の計算図を1枚の紙にまとめて収められるように各種組合せとその順序を考慮して、各式の計算図のパターンを次のように決める。

図-1
(9) 式のパターン (a 型)

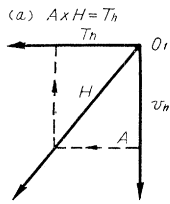


図-2
(10) 式のパターン (b 型)

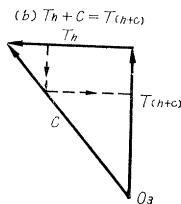


図-3
(11) 式のパターン (c 型)

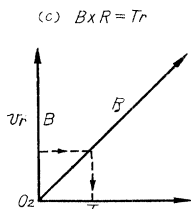


図-4
(12) 式のパターン (d 型)

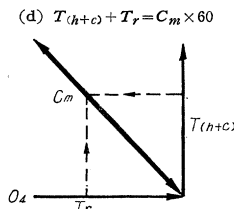


図-5
(13) 式のパターン (e 型)

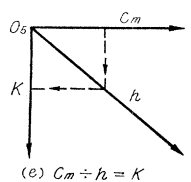


図-6
(14) 式のパターン (f 型)

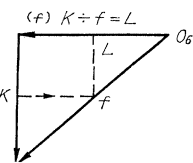


図-7
(15) 式のパターン (g 型)

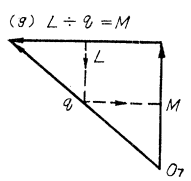
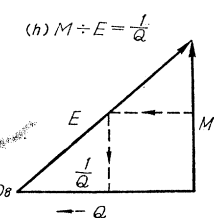


図-8
(16) 式のパターン (h 型)



上記の3変数をふくむ8個の共点図表はその解答がすべてX軸とY軸上にて求めることができるようにするとともに、次式では前式のX軸またはY軸の数値をそのまま利用してその解をY軸またはX軸上にて求められるようになっている。すなわち、順次X軸→Y軸→X軸→Y

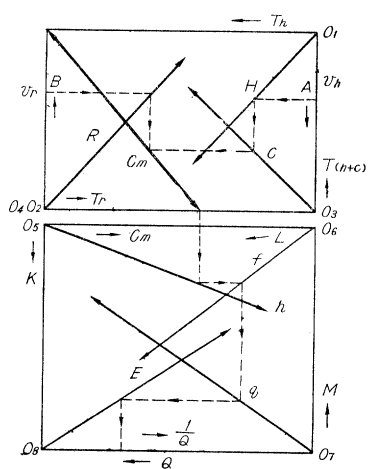
軸……と交互にその解答が両軸上に求められるようにしたことが特徴である。

こうして導入した6個の媒介変数は両軸上につきつきと重なって求められるので、あとからこの媒介変数の値を消去しても最終的解答を求めるのに支障はない。

ただし式 (12) d型のサイクルタイム C_m だけは図-4のように斜線にて求められるが、次の段階の式 (13) e型の図-5では C_m がX軸にくることを必要としているので図-4で求めた斜線の C_m を平行移動法によってX軸上にその値を記入するようにした。

ここで求めた8個の計算図を6個の媒介変数がすべて消去されるように1つの図表上に組合せ、最後に総合的なパターンが図-9のi型のようにえられる。

図-9 パターン i 型



6. パターンのモデルより実際の計算図を作成する

図-1より図-9までに示した9個の計算図のパターンを念頭におき、計算式の13の変数に実際の数値を入れた計算図を作成するために、次の操作を行なう。

- ① 計算式を有限の図上にあらわすために13個の要素(変数)と3個の置換要素との範囲を決める。
- ② 導入した6個の媒介変数の範囲を決める。
- ③ 各変数と媒介変数とを図上に記入するために適当な尺度係数を決める。
- ④ 媒介変数を消去していくことを考えながら8個の式を実際の計算図表に作成する。
- ⑤ 8個の計算図を図-9のi型のパターンにしたがって1枚の計算図にまとめ媒介変数を消去する。
- ⑥ 検算によりその精度を調べる。

7. 16個の要素の範囲

式 (9) より式 (16) までにふくまれる13個の要素と

3個の置換要素の範囲を一般の作業実績より次のように決める。

(1) v_h, v_r, A, B の範囲

$4.5 \leq v_h \leq 50$ (km/h) と決めて (4) より $0.072 \leq A \leq 0.8$, $4.5 \leq v_r \leq 50$ (km/h) と決めて (5) より $0.072 \leq B \leq 0.8$, ゆえにその範囲を次のようにとる。

$$0.05 \leq A \leq 0.8 \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$0.05 \leq B \leq 0.8 \quad \dots\dots\dots(18)$$

(2) H と R の範囲

$$100 \leq H \leq 1500 \text{ (m)} \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$100 \leq R \leq 1500 \text{ (m)} \quad \dots\dots\dots(20)$$

(3) T_d, T_s, G, C の範囲

式 (6) より $C = T_d + T_s + G$, ここに, $T_d =$ 積込時間 $= 70 \sim 100$ sec, $T_s =$ 捨土時間 $= 12 \sim 25$ sec, $G =$ ギャッチェンジその他の時間 $= 12 \sim 70$ sec, ゆえに $C = 94 \sim 195$ から安全側をとって,

$$50 \leq C \leq 200 \quad \dots\dots\dots(21)$$

(4) C_m の範囲

$$5 \leq C_m \leq 30 \text{ min} \quad \dots\dots\dots(22)$$

(5) h, f, q, E, Q の範囲

$$40 \leq h \leq 60 \text{ (min)} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$0.5 \leq f \leq 1.2 \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$4 \leq q \leq 15 \text{ (m}^3\text{)} \quad \dots\dots\dots(25)$$

$$0.4 \leq E \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots(26)$$

$$10 \leq Q \leq 100 \text{ (m}^3\text{)} \quad \dots\dots\dots(27)$$

8. 6個の媒介変数の範囲

(1) T_h と T_r の範囲

$$\left. \begin{array}{l} 0.05 \leq A \leq 0.8 \\ 100 \leq H \leq 1500 \\ T_h = A \times H \end{array} \right\} \therefore 5 \leq T_h \leq 1200 \quad \dots\dots\dots(28)$$

$$\text{同様に} \quad 5 \leq T_r \leq 1200 \quad \dots\dots\dots(29)$$

そこで範囲を次のよう安全側にとる。

$$\left. \begin{array}{l} 0 \leq T_h \leq 1200 \\ 0 \leq T_r \leq 1200 \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots(30)$$

(2) $T_{(h+c)}$ の範囲

$$\left. \begin{array}{l} 0 \leq T_h \leq 1200 \\ 50 \leq C \leq 200 \\ T_{(h+c)} = T_h + c \end{array} \right\} \therefore 50 \leq T_{(h+c)} \leq 1400$$

この範囲を次のようにとる。

$$0 \leq T_{(h+c)} \leq 1400 \quad \dots\dots\dots(31)$$

(3) K の範囲

$$5 \leq C_m \leq 30, 40 \leq h \leq 60, K = C_m \div h$$

$\therefore 0.08 \leq K \leq 0.75$ より

$$0 \leq K \leq 0.75 \quad \dots\dots\dots(32)$$

(4) L の範囲

$$0.5 \leq f \leq 1.2, 0 \leq K \leq 0.75, L = K \div f$$

ゆえに

$$0 \leq L \leq 1.875 \quad \dots\dots\dots(33)$$

(5) M の範囲

$$0 \leq L \leq 1.875, 4 \leq q \leq 15, M = L \div q$$

ゆえに

$$0 \leq M \leq 0.47 \quad \dots\dots\dots(34)$$

(6) $1/Q$ の範囲

$$0 \leq M \leq 0.47, 0.4 \leq E \leq 1.0, 1/Q = M \div E$$

ゆえに

$$0 \leq 1/Q \leq 1.175 \quad \dots\dots\dots(35)$$

しかるに式 (27) より $10 \leq Q \leq 100$

ゆえに

$$0.01 \leq 1/Q \leq 0.1 \quad \dots\dots\dots(36)$$

これより M の範囲は $M = E \div Q$ にて

$$0.04 \leq M \leq 0.1 \quad \dots\dots\dots(37)$$

より次式でよい。

$$0 \leq M \leq 0.1 \quad \dots\dots\dots(38)$$

これより同様にして L の範囲も次式でよい。

$$0 \leq L \leq 1.5 \quad \dots\dots\dots(39)$$

9. 作 図

(1) A, B, v_h, v_r の作図

$$A = \frac{1}{v_h \times \frac{1000}{60 \times 60}}, \quad 4.5 \leq v_h \leq 50, \quad 0.05 \leq A \leq 0.8$$

$$B = \frac{1}{v_r \times \frac{1000}{60 \times 60}}, \quad 4.5 \leq v_r \leq 50, \quad 0.05 \leq B \leq 0.8$$

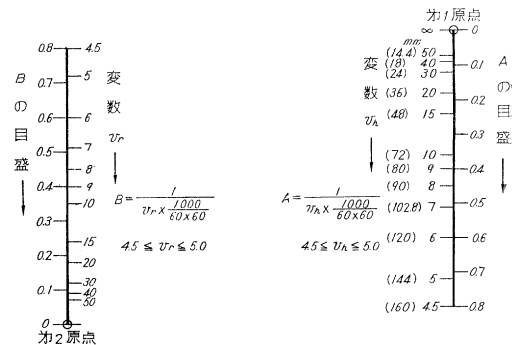
の関係を表-1 にまとめ, A, B の1単位を 200 mm にとる尺度係数として, おのおの Y 軸上に図化したのが図-10 である。

表-1 v_h, v_r, A, B の関係

$$A = \frac{1}{v_h \times \frac{1000}{60 \times 60}}, \quad B = \frac{1}{v_r \times \frac{1000}{60 \times 60}}$$

v_h, v_r	4.5	5	6	7	8	9	10	15	20	30	40	50
A, B	0.8	0.72	0.6	0.514	0.45	0.4	0.36	0.24	0.18	0.12	0.09	0.07
尺度係数 1=200 mm	160	144	120	103	90	80	72	48	36	24	18	14.4

図-10 v_h および v_r の作図



(2) $T_h = A \times H, T_r = B \times R$ の作図

これは式 (9) 図-1 のパターン a 型と式 (11) 図-3 のパターン c 型である。まず $A = 0.8, B = 0.8$ として

図-11 H および R の作図

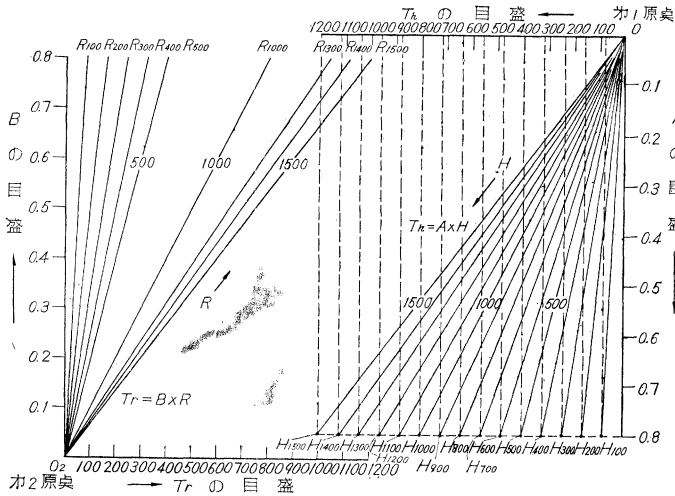


図-12 C および Cm の作図

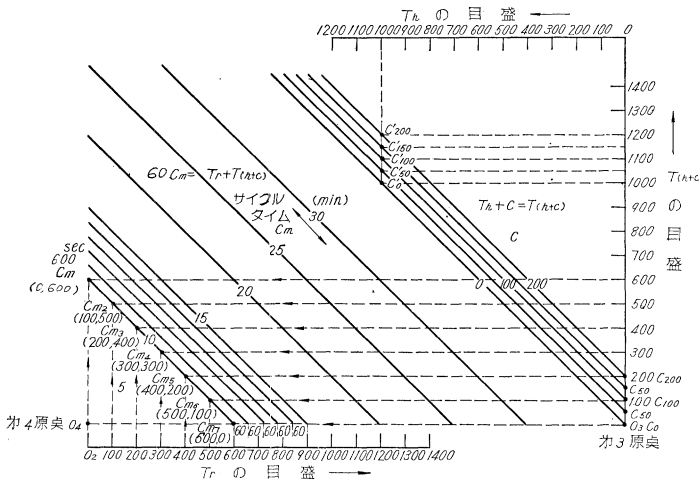


表-2 $(A \times H) = T_h$, $(B \times H) = T_r$, $A = 0.8$, $B = 0.8$

H	H ₁₀₀	H ₂₀₀	H ₃₀₀	H ₄₀₀	H ₅₀₀	...	H _{1,000}	H _{1,300}	H _{1,400}	H _{1,500}
H, R	100	200	300	400	500	...	1000	1300	1400	1500
T _h , T _r	80	160	240	320	400	...	800	1040	1120	1200
尺度係数 100=10 mm	8	16	24	32	40	...	80	104	112	120

表-3 $T_h + c = T_{(h+c)}$

T _h =0 の場合	C ₀	C ₅₀	C ₁₀₀	C ₁₅₀	C ₂₀₀
C	0	50	100	150	200
T _(h+c)	0	50	100	150	200
尺度係数 10=1 mm	0	5	10	15	20
T _h =1000 の場合	C' ₀	C' ₅₀	C' ₁₀₀	C' ₁₅₀	C' ₂₀₀
C	0	50	100	150	200
T _(h+c)	1000	1050	1100	1150	1200
尺度係数 10=1 mm	100	105	110	115	120

各種 H, R の値に対する T_h, T_r の値を表-2 のように計算し、尺度係数を 10=1 mm として作図すると 図-11 が得られる。

(3) $T_h + C = T_{(h+c)}$ の作図

これは式 (10) 図-2 のパターン b 型であり、加法である。まず T_h=0 と T_h=1000 のときの各種 c の値に対する T_(h+c) の値を表-3 のように計算しておく。図-11 の Y 軸上の目盛のかわりに T_(h+c) を尺度係数 10=1 mm として表-3 の値を記入すればこの式は 図-12 の右上のようにできる。

(4) $60 C_m = T_{(h+c)} + T_r$ の作図

これは式 (12) 図-4 の d 型のパターンでありこれも加法である。

$$T_{(h+c)} = 60 C_m - T_r$$

と減法に変形し、C_m=1=60 sec=6 mm の尺度係数にとり、C_m=10=600 sec として T_r のいろいろの値 (0~600) に対する T_(h+c) を表-4 のように計算する。パターン d を参照して 図-12 が作成される。

(5) $C_m/h = K$ の作図

これは式 (13) 図-5 のパターン e 型であり、前述の 図-12 で求められた斜線の C_m の各数値を平行移動して、X 軸上に記入して新たに C_m 軸を作る (図-12, 図-13)。つぎに C_m=30 として各種 h に対する K の値を表-5 のように求め、尺度係数を 1=133.3 mm とし、e 型のパターンにならない 図-13 を作図する。

(6) $L = K/f$ の作図

式 (14) 図-6 のパターン f 型にもつぎ K=0.5 とし f と L の関係を表-6 のように計算する。尺度係数を 1=150 mm として 図-14 を得る。

(7) $M = L/q$, $1/Q = M/E$ の作図

これは式 (15) 図-7 の g 型および式 (16) 図-8 の

表-4 $T_{(h+c)} = 60 C_m - T_r$, C_m=10=600 sec

項目	C _{m1}	C _{m2}	C _{m3}	C _{m4}	C _{m5}	C _{m6}	C _{m7}
T _r	0	100	200	300	400	500	600
T _(h+c)	600	500	400	300	200	100	0
尺度係数	60 sec=6 mm						

表-5 $C_m/h = K$, C_m=30

項目	h ₄₀	h ₄₅	h ₅₀	h ₅₅	h ₆₀
h	40	45	50	55	60
K	0.75	0.666	0.6	0.54	0.5
尺度係数 1=133.3	100	88.8	8	72.72	0.6

表-6 $K+f=L$ $K=0.5$

項目	$f_{0.4}$	$f_{0.5}$	$f_{0.6}$	$f_{0.7}$	$f_{0.8}$	$f_{0.9}$	$f_{1.0}$
f	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
L	1.25	1.5	0.826	0.714	0.625	0.55	0.5
尺度係数 1=150 mm	187.5	150	125	107.14	93.75	83.3	75

図-13 h の作図

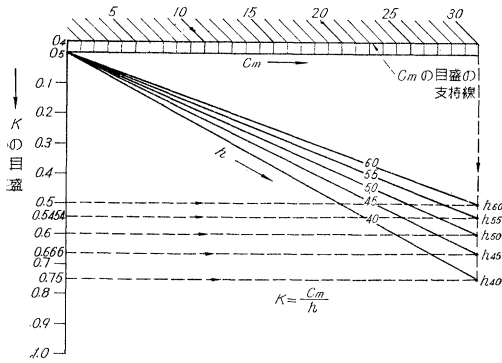
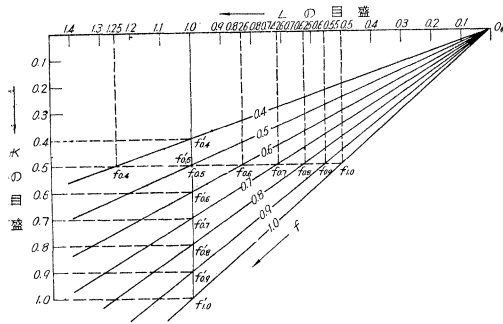


図-14 f の作図



h 型パターンである。前述の要領で表-7、表-9を算出し、各尺度係数を決めて図-15、図-16を作成する。

(8) $1/Q \rightarrow Q$ の作図

$1/Q$ と Q との関係を表-9に示す。図-16で求めた $1/Q$ の尺度上に対応する Q の値を記入してゆけばただちに Q の値を読みとることができる。

図-16 E, Q の作図

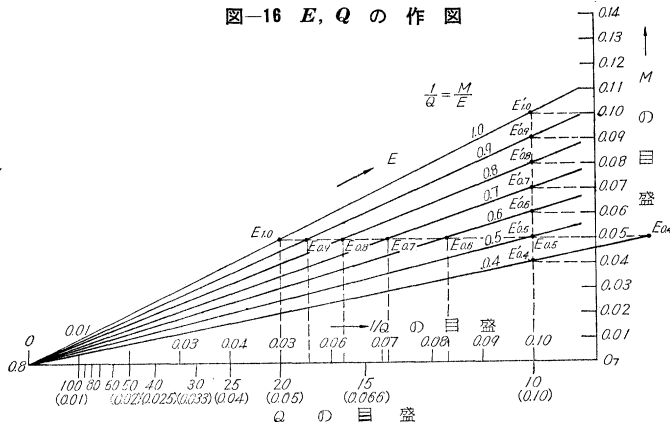


表-7 $L+q=M$ $L=0.5$

項目	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8	q_9
q	4	5	6	7	8	9
M	0.125	0.100	0.083	0.0714	0.0625	0.0555
尺度係数 0.1=100 mm	125	100	83.3	71.43	62.5	55.5

項目	q_{10}	q_{11}	q_{12}	q_{13}	q_{14}	q_{15}
q	10	11	12	13	14	15
M	0.05	0.045	0.04167	0.03846	0.03571	0.033
尺度係数 0.1=100 mm	50.0	45.45	41.67	38.46	35.71	33.33

表-8 $M+E=1/Q$ $M=0.05$

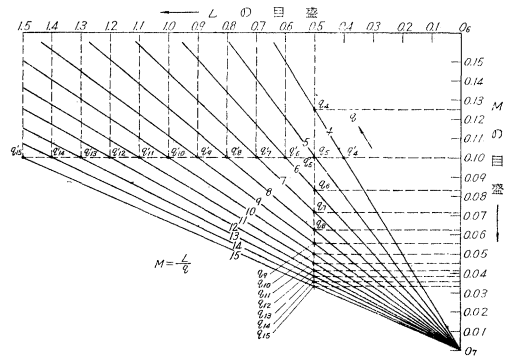
項目	$E_{0.4}$	$E_{0.5}$	$E_{0.6}$	$E_{0.7}$	$E_{0.8}$	$E_{0.9}$	$E_{1.0}$
E	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$1/Q$	0.125	0.10	0.083	0.0714	0.625	0.055	0.050
尺度係数 0.1=200	250	200	166.6	142.8	125	111	100

表-9 $Q \rightarrow 1/Q$

Q	10	15	20	25	30	40
$1/Q$	0.1	0.066	0.05	0.04	0.033	0.025
尺度係数 0.1=200	200	133.3	100	80	66.6	50

Q	50	60	70	80	90	100
$1/Q$	0.020	0.0166	0.01429	0.0125	0.0111	0.10
尺度係数 0.1=200	40	33.33	28.57	25.0	22.2	20.0

図-15 q の作図



10. 各図を1枚の計算図に総合する

以上のように求めた図-10から図-16までの7枚の計算図を組合わせて、図-9のパターンi型にしたがい1枚の図面にまとめる。ここで最終的に不要となった3置換要素と6媒介変数、および作図上必要であったすべての線と記号を消し、工事量の計算に直接必要な要素のみを残したのが図-17である。

11. 計算図の使用法

この計算図の使用法の順序は図-18のようになる。1例として $v_h=9$ km/hr, $H=900$

図-17 スクレーパーの新しい計算図表

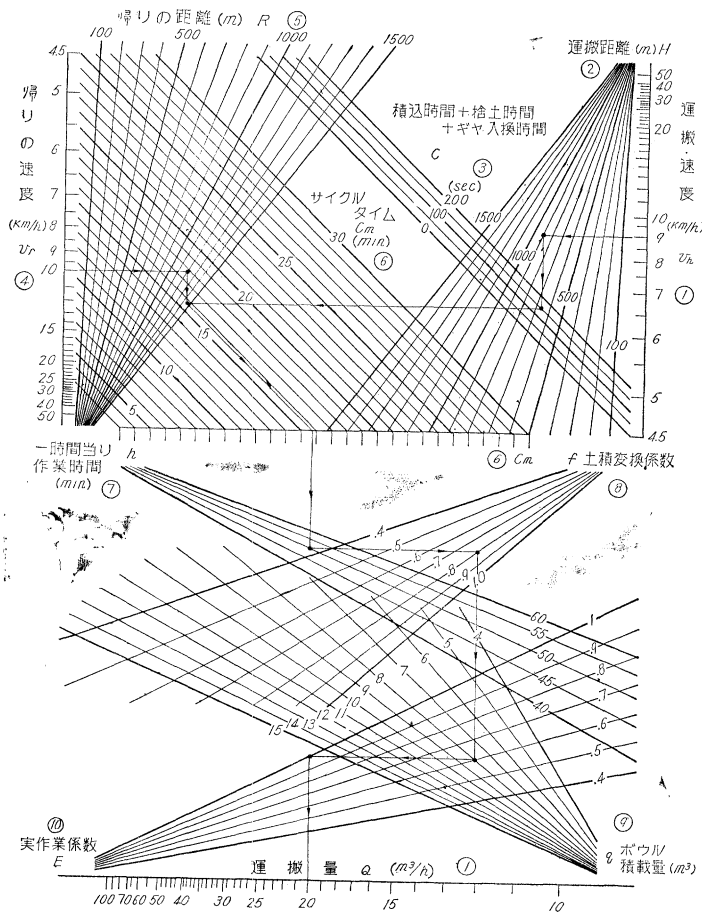
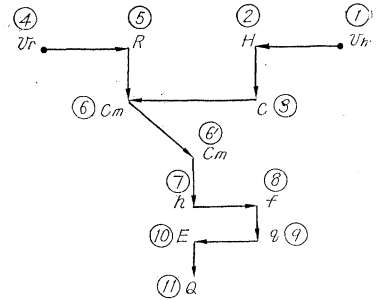


図-18 計算順序



$m, C=150\text{sec}, v_r=10\text{ km/hr}, R=1\ 200\text{ m},$
 $h=50\text{ min}, f=0.8, q=8\text{ m}^3, E=1.0$ と仮
 定してグラフから $Q=20\text{ m}^3/\text{h}$ を求めた。
 一方計算式では $Q=20.3\text{ m}^3/\text{h}$ となり、誤
 差率は約 1.5% である。

このほかにも 20 個の計算例について精
 度を調査したが、いずれもこれと同等以下
 の誤差の範囲を示し、使用法の熟練をも考
 慮すれば十分実用性あるものといえよう。

なおこのグラフによる場合は、計算にく
 らべて 1/2~1/3 の時間で、機械的な操作
 だけで解を出しうるので能率的である。

なお吉川利雄氏のご助力を得たことを付
 記して感謝する次第である。

参考文献

- 1) 小倉金之助：計算図表，岩波書店
- 2) 植村厚一：ブルドーザーの新しい計算図
表，建設の機械化 昭 35.9
- 3) 植村厚一：スクレーパーの新しい計算図
表，建設の機械化 昭 35.11
(原稿受付：1962.5.14)

「話のひろば」欄への御投稿について

今年の 1 月号から設けた「話のひろば」も本号で 6 回目となりました。大先輩のお話、失敗談、トピックス、など、技術者にとって啓もうとなると思われる記事を順次にのせてゆきたいと思ひます。座談会、対談会などもとりあげ、豊富で楽しい読みものをねらっております。会員の方から、この辺で何か書いてやろうと名乗り出ただければ幸いです。また皆様の周囲の方で、非常に貴重な体験談をお持ちの方や雑学？の大家がおられましたら御推せん頂きたいと思ひます。「この人に、こんな話を……」という御希望など、どしどし編集部へお寄せ下さい。

第 9 回風に関するシンポジウム講演募集

1. 日 時：1962 年 11 月 19 日(月)，20 日(火) (予定)
2. 場 所：気象庁第 1 会議室 (予定)
3. 講演申込締切：9 月 30 日(日)
4. 講演原稿：不要
5. 講演時間：約 15 分，スライド，8 ミリ映写機使用明記のこと
6. 主 催：日本気象学会，土木学会，外関係学協会
7. 申 込 先：土 木 学 会 (東京都新宿区四谷一丁目 電 351-5138)