

ホ場整備施工機械の作業特性

——粘質土傾斜地水田のホ場整備に関する農地工学的研究(I)——

長堀金造・佐藤晃一*・荻野芳彦**

(農地整備学研究室)

Received July 1, 1973

On the Operation Characteristics of a Bulldozer in the Land Consolidation Work

——Studies on the Land Consolidation of Sloped Clayey Paddy Field (I)——

Kinzo NAGAHORI, Koichi SATO* and Yoshihiko OGINO**

(Laboratory of Land Reclamation)

The operation characteristics of a bulldozer in the land consolidation work of sloped clayey paddy fields, which are very common in Japan, were investigated. The operation consisted of 25—30 % of cutting, 15—20 % of banking, and 50—55 % of pushing, scattering and leveling soils. The intermission taken by an operator was about 5—10 % of the whole working hours.

Cooperation of two bulldozers showed greater efficiency than one bulldozer. Operating distance of a bulldozer increased with the increment of its operation cycle, and there found were given parabolic equations between mean forward speed and its operating distance with highly significant correlation.

The efficiency of a bulldozer in moving soils in this project was four or five times larger than in the common cases, and this fact points out the peculiarity of land consolidation work on sloped clayey fields. But when there were specially wetted places, which sometimes seen partially on such fields, the progression of work was significantly obstructed.

ま え が き

ホ場整備事業の機械施工——主にブルドーザ、バックホーなどによる——は現在一般に行なわれているが、機械の作業効率是一般土木建設工事に比較して低率にならざるを得ない。それは一般土木建設工事が点又は線の工事を主体とし、単位当り取扱土量が多く、かつ大土木工事でも最終仕上りの状態に対する精度が問題とされる場合が多いのに対して、ホ場整備は面の工事であり、しかも部分部分——1枚のホ場、1段の階段工ごとの出来高など——における精度が要求されるために、ロスタイムも比較的多くなるからである。またホ場整備には小規模点在地区が多く、しかも栽培作物との関係などから工事時期、期間に制約を受けることも機械の効率的運用を阻害する要因となっている。一方、農村労働力の減少ないし老令化等弱体化、さらに労務費の高騰は機械化施工の需要をますます増大させる条件となっている。

このようにホ場整備の機械施工は種々の問題を含みながらも一応定着化し、設計或いは施工

基準が農地開発機械公園などによって作成されているが、これが急傾斜地ホ場整備についてはまだ調査事例も少なく、従って機械の作業特性なども明らかでない。すなわち傾斜地は平坦地に比較して非常に不利な条件下にあり、ホ場整備には多くの困難を伴うが、それだけに近年ますますその要求が高まっている現状にある。

(急)傾斜地ホ場整備の特徴は、一般に小区画小団地が多く、地形上の制約からも段取りなどにロスが増える。傾斜が急になるほどケイハン(ないしホ場段差)が高くなり、また切盛土量が多いが、1区画内切盛バランスが原則であるために、機械の作業効率は一層低くなる。地形、土層条件が複雑な場合も多く、局部的な湧水や特殊土壌、ガマやカマと言われる不良地盤があると作業は極端に阻害される。谷地田のような排水不良地も多いが、粘質土地盤ではスリップ、メリコミなどが起こるために湿地ないし超湿地ブルドーザを使用しなければならない。他面粘質土は乾燥すると固結してこのような低接地圧のブルドーザでは圧碎、転圧締固を阻害しやすいなどの不利な条件にある。

そこで粘質土傾斜地水田のホ場整備における機械作業特性を明らかにするために、岡山県津山市田邑の彼岸田地区第2団地において調査を実施した。この場合、ホ場整備では一般に切盛土量を1枚の造成田でバランスさせるのが原則であり、特に傾斜地では段差が大きく、また遠距離運土の困難性からこのことが強く要求されるので、今回はまず造成田1枚ごとの作業特性を調査した。

調査地は同地区 No. 10 及び No. 10' ホ場で、原傾斜約5分の1、造成田の1区画約18m×120m、田面の段差2.5mであるが、その概要はFig. 1に示す。

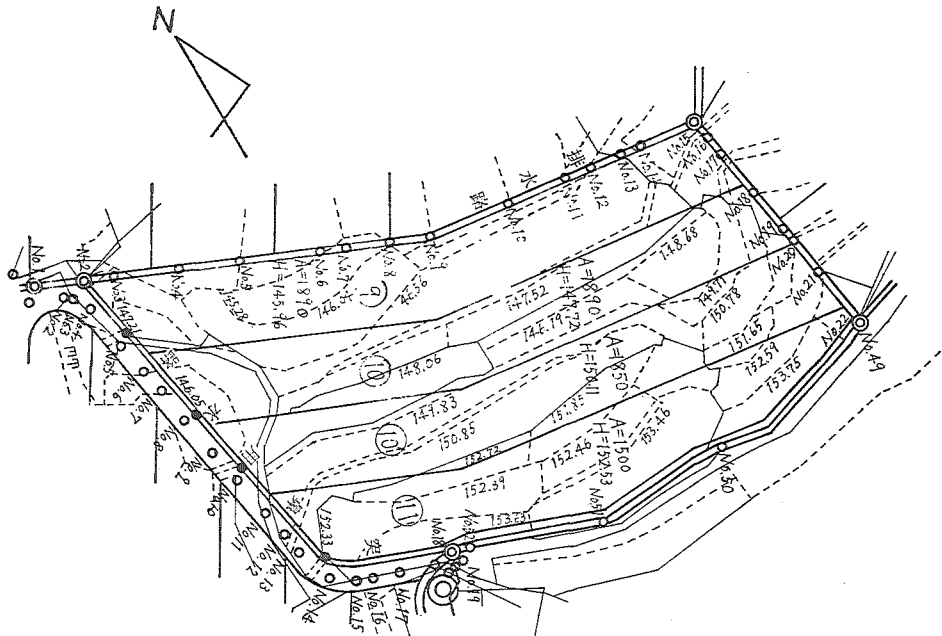


Fig. 1. Investigated field in the Higanden project
(No. 10 and No. 10' lot)

施工は従来一般的であった非かんがい期施工(冬期施工)と違って、休耕田に行なわれるようになったかんがい期施工(夏期施工)によったが、普通型ブルドーザの作業はやはり過湿で

困難であったため、湿地ブルドーザ (D₅ 及び D₄) を使用した。なお調査に当ってはケイハン造成に関する在来施工法 (A 工法 No. 10 ホ場) と入念施工法 (B 工法 No. 10' ホ場) の比較試験区を 40m 設けたので¹⁾、機械作業特性にもこれが含まれている。

施工並びに調査方法

施工に当っては 2 台の湿地ブルドーザが同時に共同作業を行なった。ブルドーザの諸元は Table 1 に示す。

Table 1. Dimension of the bulldozer

Model	Total weight (t)	Rated horsepower (ps)	Ground contact pressure (kg/cm ²)	Running speed (km/sec)	Distance of track face (mm)	Standard track face width (mm)	Ground contact length (mm)	Ground contact area (cm ²)	Earth mover		
									Width (mm)	Height (mm)	Capacity (m ³)
D ₅	13.0	94	0.267	F. 6s. 2.4—8.9 B. 4s. 3.4—7.2	2,055	864	2,820	48,700	3,140	965	2.80
D ₄	9.1	66	0.269	F. 5s. 2.4—8.1 B. 5s. 2.8—9.6	1,778	762	2,222	33,850	2,440	840	1.80

調査は各ブルドーザについて前進 (切土, 運土, マキ出し, 転圧, 整地), 後進 (転圧, 整地, 復帰) 及び休止の各サイクルタイムを測定した。また 5 m 間隔にポールを立ててマークポイントとし, 走行経路をスケッチして軌跡並びに走行距離を調査した。その 1 例を Fig. 2 に示す。なお調査は田面の荒仕上げまでとしたが, 田面均平及びケイハンなどの本仕上げは数週間後に盛土部等の安定を待って行なわれた。

結果並びに考察

(1) ブルドーザ作業行程

作業行程は Table 2 に示す。ここに記号 A は D₅, B は D₄ の各湿地ブルドーザを, また u は No. 10', L は No. 10 ホ場をそれぞれ表わす。

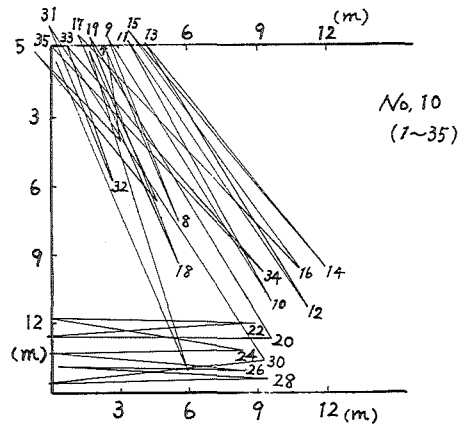


Fig. 2. Operating traces of bulldozer

Table 2. Rate of working of the bulldozer

	Au	Bu	AL	BL
Number of cycle	534	458	772	300
Total working time (hr.—min)	5 — 54	6 — 25	9 — 59	2 — 29
Reposed time (hr.—min)	0 — 57	0 — 39	0 — 50	0 — 08
Actual working time (hr.—min)	4 — 57	5 — 46	9 — 09	2 — 21
% of actual working time of A and B	46.2	53.8	79.6	20.4

また作業行程中、前進行程について切土、盛土、整地に分けて（運土はこのいずれにも含まれる）百分率表示したのが Fig. 3 である。ただし Au については、ケイハン造成試験工の純作業行程を省いてある。

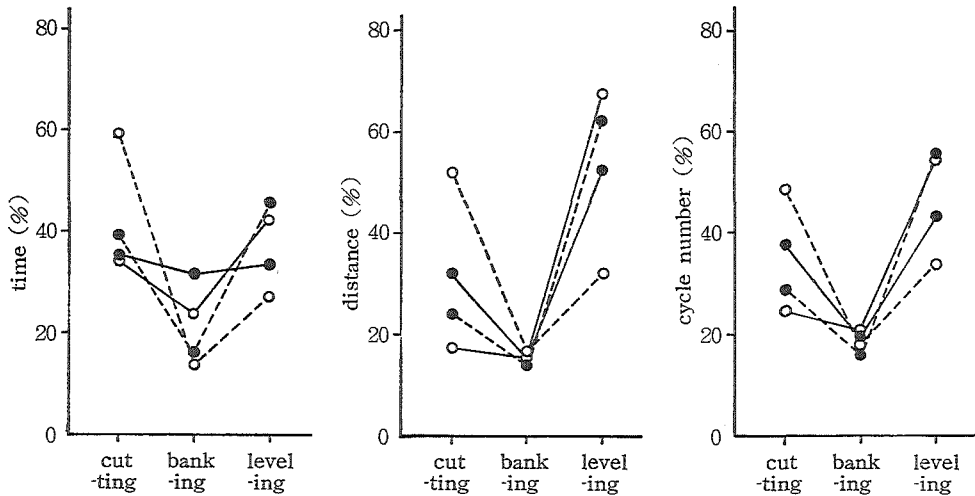


Fig. 3. Analysis of the operating cycle

{ ● No. 10 lot { — D₅ bull.
 { ○ No. 10' lot { --- D₄ bull.

Fig. 3 の結果によると、大まかな傾向としてはブルドーザ作業行程のうち約 25~30% が切土に、15~20% が盛土に、そして 50~55% が整地作業となっている。なお u (No. 10') ではケイハン築造 (B 工法試験地施工 40m) のために A (D₅) の行程中 170~400 の 230 行程が直接間接の作業をしたが^{注①}、試験施工であったためにロスタイム率も 16% (Bu 10%, AL 8%, BL 5%) と大きくなっている。また BL は途中で他の作業地へ移動したために No. 10 ホ場はほぼ AL 1 台で作業した。そこで BL の作業行程では切土が約 50% を占めているが、特にその内約 50 回は特殊湧水個所の処理に費された。全作業に要した時間^{注②} を比較すると、No. 10' (Au+Bu) 6 時間 10 分 27 秒に対して No. 10 (AL+BL) 6 時間 30 分 39 秒となり、ほぼ同じような地形条件でありながら 2 台のブルドーザで共同施工した方がはるかに有利なこと、そして B 工法によるケイハンの入念施工も在来工法 (A 工法) に比較してほとんど施工時間に影響を与えないことなどが明らかになった。

(2) 前進回数と距離

ブルドーザ作業のうち前進行程について、運行回数と距離との関係は Fig. 4-1 及び Fig. 4-2 に示されている。図は前進 10 回ごとの平均距離をもって表わした。Fig. 4-1 及び Fig. 4-2 から明らかなように、(平均) 前進距離は回数の増大に伴って増大するが、その特性は No. 10' ホ場と No. 10 ホ場とで若干の相違がみられる。これは No. 10' では 2 台のブルドーザが機能的な共同作業を行なったのに対して、No. 10 では D₅ ブルドーザ 1 台でほとんどの作業が行なわれたことによっている。すなわち、Fig. 4-1 によると Au, Bu ともに平均前進距

注① この内、純作業行程は 45 回 (17.4%), 27'14" (15.8%), 1,001.4m (15.3%)

注② 地表の荒仕上げまでである。最終的な均平作業は、盛土部等の安定をまって数週間後に行なわれた。

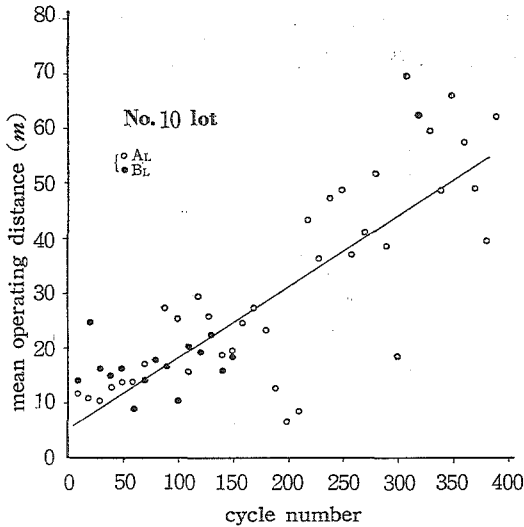


Fig. 4-1. Operating distance and cycle number of a bulldozer (mean of every ten forward cycle)

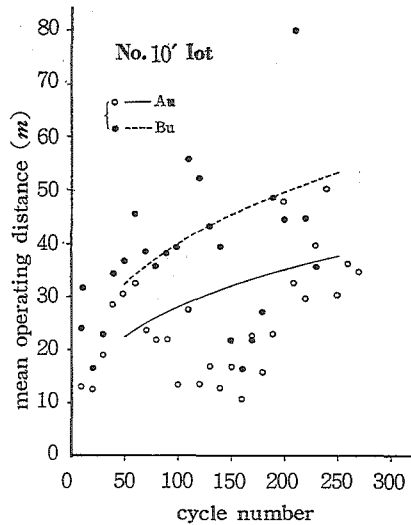


Fig. 4-2. Operating distance and cycle number of a bulldozer (mean of every ten forward cycle)

離の最大は約 50m であって、長辺方向 (約 130m) のほぼ半分づつを分割作業したことがわかる。この場合、Au の前進回数 100~200 は平均前進距離が約 10~20m と小さくなっているが、これは B 工法ケイハン造成試験を行なったためである。そこでこの部分を除外して考えると、平均前進距離 (L m) と前進回数 (N 回) との各測定値間にはそれぞれ次式で表わされる非常に有意な関係が、高い相関係数 (r) を以て成立した。

$$\begin{aligned} \text{Au} : L &= 6.43 N^{0.32} & (r = 0.83) & \quad N : 1 \sim 170 \\ \text{Bu} : L &= 9.64 N^{0.31} & (r = 0.78) & \quad N : 1 \sim 220 \end{aligned}$$

一方、No. 10 ホ場では Fig. 4-2 に示されるように BL の作業が少なく、しかも特殊湧水個所の処理が難行したこともあって、作業の大部分は AL 1 台で実施した結果となった。この場合 AL は掘削土をいったん中継地に集積してから、それを盛土、均平するという 2 段押しの作業行程をとったが、平均前進距離の最大は約 70m と No. 10' の 2 台施行の場合よりも大きく、しかも前進回数の増加に伴って平均前進距離は直線的に増大している。すなわち Fig. 4-2 において、測定された平均前進距離 (L m) と前進回数 (N 回) とにはやはり非常に有意な関係がみられ、次式で表わされた。

$$\text{AL} : L = 5.74 + 0.13 N \quad (r = 0.81) \quad N : 1 \sim 380$$

なお Fig. 4-2 の AL の作業行程中、200 回前後に約 30 回の短距離前進があるのは、やはり特殊湧水個所の処理であって、傾斜地ホ場整備に際してこのような個所の処理がいかに重要なファクターになるかを示している。

(3) 前進距離と平均速度

Fig. 5-1 及び Fig. 5-2 はそれぞれのホ場におけるブルドーザの前進距離と平均速度との関係を表わしている。ここに平均前進速度とは後進の終了から前進の終了までの所要時間をそ

の時の前進距離で割ったものであり、従ってサイクルタイム中には後進から前進へのギアチェンジ時間(約0.3~1秒)を含んでいるが、その影響は微少である。なお図には10回ごとの平均値を以って表わした。

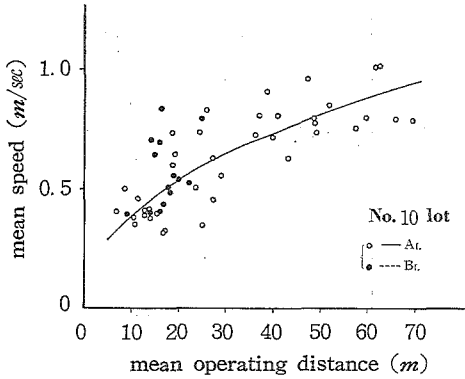


Fig. 5-1. Speed of a bulldozer and operating distance (mean of every ten forward cycle)

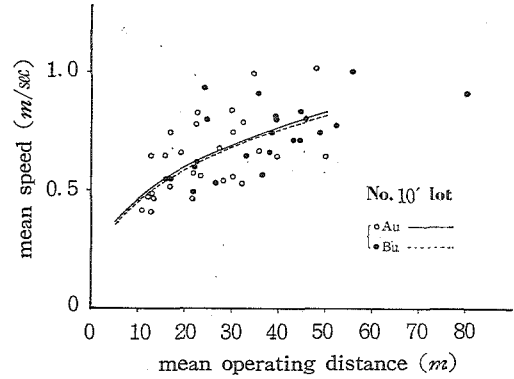


Fig. 5-2. Speed of a bulldozer and operating distance (mean of every ten forward cycle)

Fig. 5-1, Fig. 5-2 に表わされた結果はいずれも同様の傾向であるが、特に Au と Bu は類似の特性を示した。すなわち距離 (Lm) が大きくなると平均速度 (Vm/sec) も増大するが、この両者には次式で表わされる放物線関係が有意な高い相関を以って成立した。

$$Au : V = 0.21 L^{0.35} \quad (r = 0.62)$$

$$Bu : V = 0.20 L^{0.36} \quad (r = 0.69)$$

$$AL : V = 0.14 L^{0.45} \quad (r = 0.81)$$

これを作業内容と対比して考察すると、短距離前進は初期の切土に多く、高速へのギアチェ

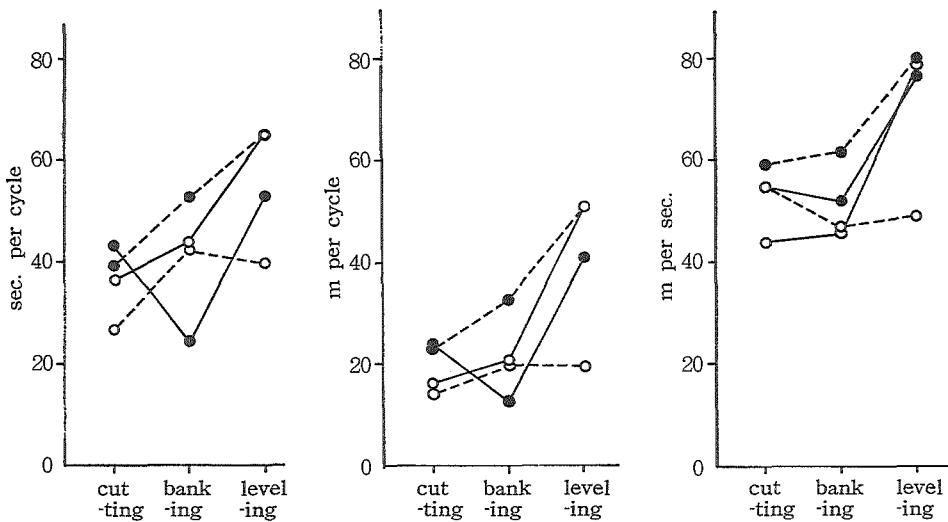


Fig. 6. Analysis of the operating cycle
 { ● No. 10 lot { — D₅ bull.
 { ○ No. 10 lot { - - D₄ bull.

ンジは行なわれない、押土ないし整地作業になると、1回当りの距離が長くなり、高速走行が行なわれるので距離の増大が平均速度の増大をもたらす。これらの関係は、1回当り平均所要時間、1回当り平均前進距離、並びに平均前進速度を作業内容別に分析した Fig. 6—1, Fig. 6—2, Fig. 6—3 に明らかに表わされている。

また、式からも明らかなように平均速度は距離の増大に伴って一定値に近づくが、それは最高速度の限界及び排土板中の土量増大（掘削押土）などによると考えられる。しかしながら、前進距離の最大が50mないし70mというホ場整備作業の範囲においては、平均速度はほぼ距離に比例して増大すると考えられ、事実 Fig. 5—1 及び Fig. 5—2 の結果を直線関係として取扱った場合にも十分に高い相関が見られた。また1台施工の場合（AL）の方が短距離前進速度が小さく、距離の増大に伴う速度の増大率が大きいのは、次節の運土効率に示されるように AL の方が Au, Bu よりも距離当りの運土量が少ない（運土効率が低い）ことにより、短距離で小廻りを要求される斜面の掘削にはむしろ D₄ の方が有利なことをうかがわせる。

(4) 運土効率

以上は、傾斜地の高含水粘質土水田にホ場整備を行なう場合のブルドーザの施工能率を走行作業特性から検討したものであるが、次に実際の運搬土量等の作業効率について検討を加える。

調査に当っては特に運土（押土）を分離しなかったので、切土量と切土行程とを対応させて考えると Table 3 の通りである。なお表には盛土量（いずれも出来高実測による）を付記した。

Table 3. Cutting cycle and volume of soils

Field lot	Volume of cutting (m^3)	Volume of banking (m^3)	Rate of cut/bank (%)	Number of cutting cycle	
				D ₅	D ₄
No. 10	1,121.6	859.8	77	131	88
No. 10'	1,307.0	773.0	59	75	88

Table 3 によると、粘質土の土量変化係数として一般に用いられている値²⁾〔自然→掘削→締固め=1.00→1.43→0.90〕に比較して切土と盛土の比が非常に大きくなっている。これは掘削の際に大塊となって運ばれ、それがブルドーザによって転圧されたため、乾燥密度の増大³⁾によって裏付けられている。そこで掘削に伴う見掛け体積の増大が問題となるが、特に今回は調査をしなかったため、前記係数1.43を採用し、また掘削土は一応全量が多少とも運搬（押土）されたものとして考えると、切土行程における運土量はそれぞれ1,603.9 m^3 (No. 10) 及び1,869.0 m^3 (No. 10') となる。ところでこの場合、性能の異なる2台のブルドーザを用いたが、それぞれに分離した運土量の調査は行なわなかったため、これを公称排土板容量 (Table 1 参照) による重みをつけて考える。すなわち D₅ 及び D₄ ブルドーザの切土回数をそれぞれ N_A, N_B とし、1回当りの運土量を V_A, V_B とすると、公称排土板容量はそれぞれ 2.80 m^3 及び 1.80 m^3 であるから、全運土量 V_T は

$$V_T = V_A \times N_A + V_B \times N_B$$

いま $V_A/V_B = 2.80/1.80$ とすると

$$V_A = \frac{2.80}{2.80 N_A + 1.80 N_B} \times V_T$$

$$V_B = \frac{1.80}{2.80 N_A + 1.80 N_B} \times V_T = \frac{1.80}{2.80} \times V_A$$

従って次のようになる。

$$\text{No. 10} \quad V_{AL} = 8.55 \quad V_{BL} = 5.49$$

$$\text{No. 10}' \quad V_{Au} = 14.22 \quad V_{Bu} = 9.14$$

そしてこの数値は、公称容量のそれぞれ3.1倍及び5.1倍という大きな値になっている。このことは、作業能力算定式 $Q = Q' \times f \times E$ (Q : 1時間当り作業量 m^3/hr , Q' : 1時間当り基準作業量 m^3/hr , f : 土量換算係数, E : 作業効率) に各標準値を与えて算定したものに対して今回の1時間当り運土量はやはり数倍となっていることにも表わされている。また2台のブルドーザで共同作業した場合の方が1台で行なうよりも高能率となることがわかる。

ま と め

以上述べたように、粘質土傾斜地水田のホ場整備におけるブルドーザの作業特性について、次のようなことを明らかにした。

- i) 作業行程のうち、約25~30%が切土、15~20%が盛土、そして50~55%が整地作業である。
- ii) 1台のブルドーザで作業するよりも、2台で共同作業する方が効率がよい。またこのことはメリコミなど事故の対策としても有用なことである。
- iii) ケイハンを入念施工することは、作業時間などにそれほど影響は与えない。
- iv) 作業距離は回数に伴って増大し、この両者には非常に有意な高い相関がみられる。しかしながら、特殊湧水個所などがあると、作業行程は著しく乱される。
- v) 平均前進速度もまた、前進距離と高い相関を有し、この両者には放物線式が成り立つ。
- vi) 運土効率は一般に考えられているものの3~5倍の運土量を示した。これは高含水粘質土が大きな塊となって移動したため、土量変化係数とともに再検討の必要がある。

なお、本試験は農業土木学会傾斜地ホ場整備委員会の調査の一環として行なったものであり、施工に当っては、中国四国農政局技術課、岡山県農林部耕地課並びに津山農林事務所、津山市役所の関係各位に御協力を得たことを付記して、深謝する次第である。

文 献

- 1) 長堀金造他: 農土論集 (47), 1-7 (1973)
- 2) 農地開発機械公園編: 歩掛基準, 農地の造成改良に関する機械施工 (改訂2版), 6-17, 農地開発機械公園・東京 (1969)
- 3) 農業土木学会傾斜地ホ場整備委員会: 農土誌 40 (6), 5-38 (1972)