

## 機械化施工と水田基盤特性

——粘質土傾斜地水田のホ場整備に関する農地工学的研究(Ⅱ)——

長堀金造・佐藤晃 一\*

(農地整備学研究室)

Received December 1, 1973

### Subsoil Characteristics of the Consolidated Paddy Field by Bulldozer

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

Kinzo NAGAHORI and Kohichi SATO

(Laboratory of Land Consolidation)

In case of consolidating clayey paddy field in the sloped area, there usually a great deal of the earth work is required — cutting and banking — and the soil is highly moistened. To clarify the effect of such working conditions on the properties of the field after consolidation, investigations are made of the number of times of pass of bulldozer, soil moisture and density, corn index, and settlement of the field.

The results that obtained are :

a) There are considerable variations of the properties of field soil in one lot after consolidation.

b) The soil moisture conditions at the earth work so significantly affect the properties of soil as to show such variable conditions.

c) Non-uniformity of soil density and bearing characteristic, and large pores in subsoil cause heterogenous settlement of the field, and partial subsidence.

These results especially show the significant importance of soil moisture control at the earth work.

### ま え が き

ホ場整備を行なって水田を大区画化した場合、整備前の各筆水田が受けた履歴特性が長期間残存し、整備後の一区画水田内における土層状態を不均一なものとするのは、既に明らかにした<sup>1)</sup>。これは土性が比較的一様な平地水田の場合についてであったが、粘質土傾斜地水田においては更にその傾向が顕著となるものと考えられる。なぜならば、傾斜地では切盛土量や切盛高が大となるが、土層が複雑で特殊土壌が層状ないし部分的に混在する 경우가多く、また水ミチの切削による部分的湧水の発生などもあって、土壌条件のバラツキは平地地とは比較にならないほど大きくなる。従って粘質土傾斜地水田地帯で大区画水田の造成を行なえば、切土部と盛土部の基盤条件や造成時の施工機械の作業特性(特に走行転圧)の差異、部分的な特殊土壌条件などによって、整備後の一区画水田内では土壌密度や地盤支持力の不均一、田面不等沈下などが著しいものと考えられる。事実このことは造成後1~2作の出来ムラなどにも表わされるが、農作業の機械化にも種々の支障をもたらし、また地均し修正などのための労力を増

\* 愛媛大学農学部

大せしめる点で重要である。そこで前報<sup>2)</sup>の施工機械の作業特性とあわせて、ホ場の実態を明らかにするために各種の試験並びに調査を実施した。

### 調 査 方 法

調査は前報<sup>2)</sup>と同じく彼岸田第2団地のNo.10及びNo.10'ホ場で行なった。

まずブルドーザの運行軌跡調査に基づき、短辺方向3(約5m間隔)、長辺方向10(同10m)の等分割点の交点で、約4.5m<sup>2</sup>の円に囲まれた部分を通過するブルドーザの走行度を求めた。走行度としては、それぞれのブルドーザ(9トン及び13トン)について、土の締固めに関係の深い接地圧を通過回数に乗じたものの和を以て表わした。

つぎに全面にわたる土層状態の施工による変化及びその施工後の経時的变化をみるために、土壤水分、密度並びにコーン指数を施工前後及び7週間、21週間経過後(いずれも連続晴天時)にそれぞれ測定した。ここに含水比及び密度は、深さ0~10、10~20、20~30cmの3層についてそれぞれ100cm<sup>3</sup>サンプリャによる各3個の平均、コーン指数は先端角30°、底断面積3.2cm<sup>2</sup>のコーンペネトロメータを用いて、1点3回づつ深さ5cmごとに測定した。

また田面の変化をみるために、両ホ場の盛土部に鋼製沈下盤(φ30cm円板)を3m間隔で深さ20cm、30cm、40cmに各3個設置し、経時的にレベリングを行なって土層の深さ別沈下量の変化を測定した。沈下盤の設置は、田面の最終的均平仕上げ作業の関係から、ホ場造成後7週間目に行なった。

### 結 果 と 考 察

#### (1) 土壌の基礎的性質

調査水田の施工前表土及び心土の物理性はTable 1に示すとおりである。なお表には掘削中に部分的に出現した特殊土壌の分析結果も付記した。

Table 1. Physical properties of soils

	Surface-soil		Subsurface-soil		Blue-clay		Brown-clay	
	Original	Air Dried	O	A. D	O	A. D	O	A. D
Natural Moisture Cont. (%)	85.9	—	60.2	—	55.4	—	36.9	—
Specific Gravity	2.69		2.73		2.74		2.66	
Particle Size Distribution (%)	2mm~0.074	17.0	18.8		13.0		9.5	
	0.074~0.005	34.0	33.4		38.5		54.5	
	0.005>	49.0	47.8		48.5		36.0	
Liquid Limit (%)	97.0	68.0	79.0	72.8	69.2	59.5	45.0	37.0
Plastic Limit (%)	41.5	40.6	35.8	36.9	34.7	32.7	21.8	20.1
Plastic Index	55.5	27.4	43.2	35.9	34.5	26.8	23.2	16.9
Shrinkage Limit (%)	35.3	—	27.2	—	—	—	—	—
Compaction	Wopt.	33.0	27.0	29.0	24.0	—	—	—
	$\gamma_d$ max.	1.21	1.34	1.34	1.44	—	—	—

また一軸圧縮強さ ( $q_u$  kg/cm<sup>2</sup>) は表土及び心土についてそれぞれ試料をいったん風乾させ破碎してから水を加えながら標準突固め法で供試体を作成した場合 (標準法 drying method) と、原土を乾燥させながら同様にして作成した場合 (原土法 re-wetting method) について、 $q_u \sim w$  (含水比) 関係を Fig. 1 a 及び Fig. 1 b (心土) に示した。なお図にはその時の供試体の乾燥密度  $\gamma_d$  (g/cm<sup>3</sup>)  $\sim w$  関係を付した。

以上述べた各種結果からすると、土壤の基礎的特性は以下のように考察される。

粒度分布に示されるようにこの地区の表土及び心土は類似した組成である。X線回折による同定の結果も、粘土鉱物はともにモンモリロナイトを主体とし、雲母族及びカオリングループ粘土を含むもので、元来同一母岩から生成されたことがわかる。そしてコンシテンシーの差異は、履歴の違いによる土壤構造、有機物含量などによってもたらされたものであり、表土 (原土) の大きな自然含水比と風乾による液性限界の著しい低下などに表わされている。また pF  $\sim$  含水比関係を見ると、表土は pF 2  $\sim$  pF 4 水分量が非常に多くて心土のはば倍を示し、団粒化が進んでいることがわかる。このような表土が乾燥処理によって著しい特性変化を示すことは、 $q_u$  特性にも明瞭に表わされており、自然含水比における  $q_u$  が非常に小さく、水分の減少に伴って著しく増大する。こういった特性は含水比変化に伴う著しい乾燥密

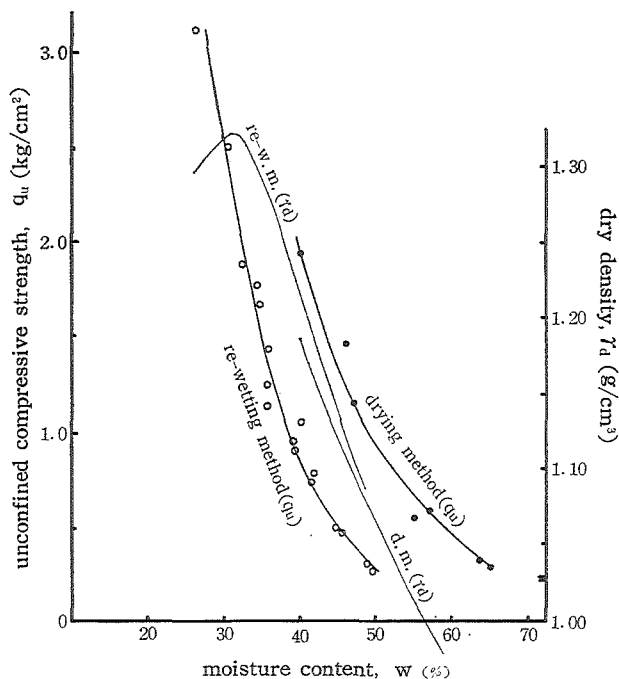


Fig. 1 a. Compaction—strength characteristics of surface soil

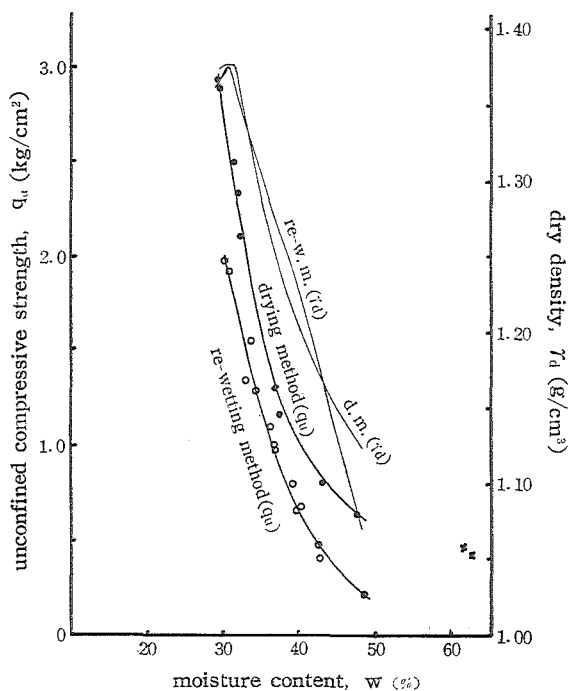


Fig. 1 b. Compaction—strength characteristics of sub-surface soil

度  $r_a$  ( $g/cm^3$ ) の変化によるものであるが、それと同時に土粒子表面特性の変化並びに土壤構造の影響が考えられる。すなわち表土 (原土) は同一含水比  $w$  (%) に対する  $r_a$  が心土より小さいにもかかわらず  $q_u$  は心土よりも著しく大きい。しかしながら  $q_u$  を pF 値によって検討すると pF 2, pF 3, pF 4 の土壤水分状態に対する  $q_u$  はそれぞれ表土 0.2, 0.6, 2.3  $kg/cm^2$  と心土 0.8, 1.0, 2.9  $kg/cm^2$  となり、心土の方が同じエネルギーの土壤水分状態に対して大きな  $q_u$  を示す。一方いったん風乾すると表土、心土とも類似した  $q_u$  の特性を表わす。また同一含水比に対する  $r_a$  は標準法の方が大であるにもかかわらず  $q_u$  は原土法の方がいずれも大きくなっている。このように元来同一母岩、同一組成の原土がその受けた履歴、土壤構造、有機物などによって異なった強度特性を示すが、いったん乾燥し粉碎されたことによって類似の特性を表わすことがわかる。なお、 $q_u$  と  $w$  とにはいずれも放物線関係が有意水準 1% (相関係数 0.95~0.99) を以て成立した。

以上明らかにした土壤の基礎的特性は施工時の水分コントロール、特に表土の乾燥処理の重要性を示している。なお、青粘土、チョコレート色粘土は乾燥状態では比較的硬いが流動指数が大きく、コンシステンシー指数は 0 に近い点で、湿潤により液化しやすい不安定な土と考えられる。

(2) 切盛土量とブルドーザ走行度

調査ホ場の切盛高さは Fig. 2a (No.10) 及び Fig. 2b (No.10') に等高線を以て表わした。すなわち両ホ場ともに山側に向かって左側が高く右側に向かって傾斜している。No.10 ホ場で最大 +4 m ~ -2 m, No.10' ホ場では同 +3 m ~ -3 m であって切盛土量は同一ホ場でバランスするように施工された。この場合、夏期施工であるために後述するように冬期施工の場合に比して土壤水分は低く、それでも普通ブルドーザの走行は不能で、湿地ブルドーザ使用一土が比較的締まっていると考えられたので土量換算係数はほぼ 1.0 として計画された。しかしながら、Table 2 に示すように出来高では切土量に対して盛土量は 77% (No.10) 及び 59% (No.10') と極端に小さく、予定

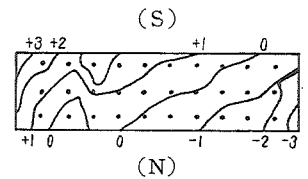


Fig. 2a. Contour map for cutting (-) and banking (+) in the consolidation work (Field No. 10)

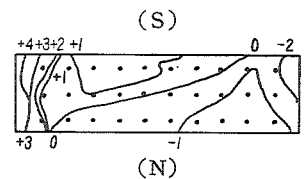


Fig. 2b. Contour map for cutting (-) and banking (+) in the consolidation work (Field No. 10')

标高に -19 cm 及び -35 cm の差を生じた。No. 10' では特に約 40 m の B 工法<sup>3),4)</sup> ケイハン施工試験が行なわれた関係もあるが、機械施工における土の密度変化と土量変化、それに伴う諸施設への影響 (用・排水路、道路の標高など) について重要な示唆をなすも

Table 2. Volume change of soil

Field		Area (m <sup>2</sup> )	EL. (m)	Cut (m <sup>3</sup> )	Bank (m <sup>3</sup> )	Bank/cut Ratio
No. 10	Prearranged	1,890	147.91	955.2	960.5	1.00
	Produced	1,814	147.72	1,121.6	859.8	0.77
No. 10'	Prearranged	1,850	150.45	1,018.0	1,013.7	1.00
	Produced	1,854	150.11	1,307.0	773.0	0.59

のである。

つぎにブルドーザの走行度は Fig. 3 a (No.10), Fig. 3 b (No.10') に切盛高さ (図中実線) との対比において, また Fig. 4 a (No.10), Fig. 4 b (No.10') に等走行度線を以て示した. Fig. 4 中黒丸は走行度測定点であり, 破線は切盛ゼロを表わしている.

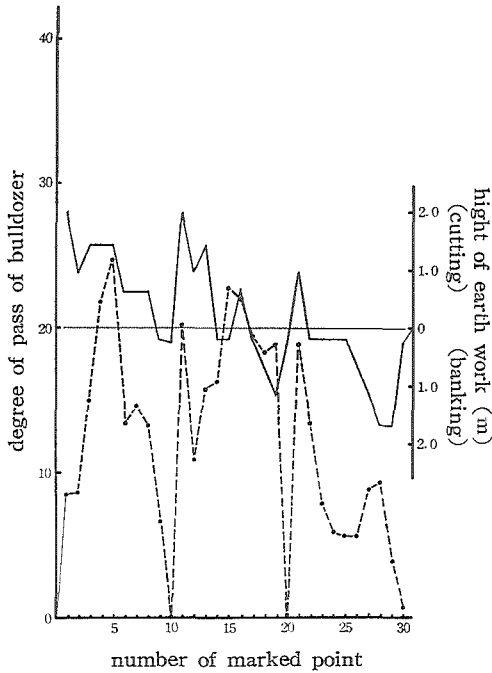


Fig. 3 a. Degree of pass of bulldozer (Field No. 10)

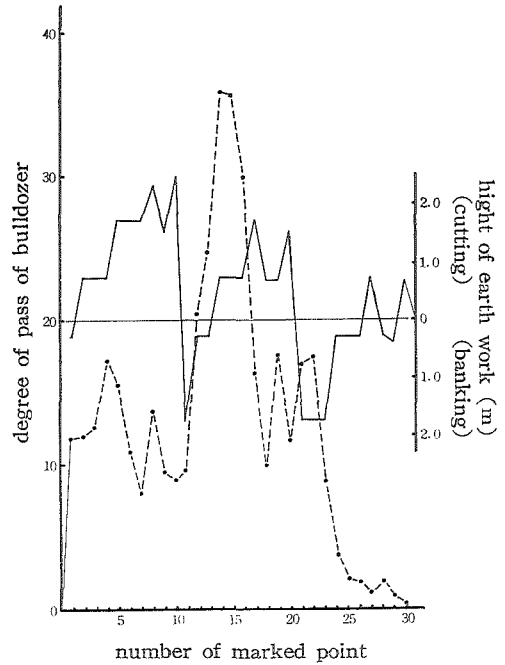


Fig. 3 b. Degree of pass of bulldozer (Field No. 10')

Fig. 3 及び Fig. 4 によると, ホ場中心部の切盛ゼロ付近で走行度が高く, 次に切土量の多い部分が高いことがわかる. ホ場中心部は運土或いは整地作業の際にこの部分を頻繁に通過し, 特に2台のブルドーザによる連携作業 (No.10') の場合にその傾向が顕著である. なお No. 10

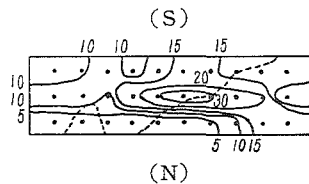


Fig. 4 a. Contour map of the degree of pass of bulldozer (Field No. 10)

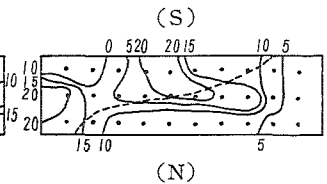


Fig. 4 b. Contour map of the degree of pass of bulldozer (Field No. 10')

ホ場山側の中央付近は特殊湧水により掘削が難行し, また No.10' ホ場谷側盛土部ではB工法ケイハン造成試験が実施されたことにより, それぞれ走行度が高い.

このように盛土部に特別な転圧作業を行わず走行度が不均一なこと, また谷側ケイハン付近の走行度が低い (特に在来施工法) ことは, ホ場条件の不均一や漏水, ケイハン安定性などに関して問題と考えられる<sup>5,6)</sup>.

### (3) 含水比及び密度

試験ホ場において施工の直前、直後に測定した含水比及び密度は、Fig. 5 a (No. 10) 及び Fig. 5 b (No. 10') にそれぞれ示した。この場合施工前は水田 1 枚ごとに各 3 個、施工後は走行度調査と同様に方眼の各交点で 3 個ずつそれぞれ深さ 0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm の 3 層に分けてサンプリングを行ない、図にはその平均値を以て表わした。

図の結果によると、両ホ場ともに類似の特性変化を示している。すなわち施工前には含水比  $w$  (%) 及び乾燥密度  $\gamma_d$  ( $g/cm^3$ ) がそれぞれ No. 10 ホ場 33~55%, 0.5~1.0  $g/cm^3$ , No. 10' ホ場 30~50%, 0.5~1.0  $g/cm^3$  であってバラツキが大きく、特に深さ 0~10 cm で著しい。これはホ場が急傾斜地に小区画で存在し、ホ場によって、またその内の位置によって土壌水分状態が大きく異なるためである。その点では 10 cm より深い土壌は長年の水田基盤として比較的安定し、特に

20~30 cm では  $w$  のバラツキ幅が少なくなる。また 10~30 cm の  $w \sim \gamma_d$  関係はひとつの直線で近似され得る。これがホ場整備後になると、 $w$  及び  $\gamma_d$  はそれぞれ No. 10 ホ場 20~46%, 0.8~1.2  $g/cm^3$ , No. 10' ホ場 30~50%, 0.7~1.05  $g/cm^3$  となった。ここに No. 10 ホ場では 1 台のブルドーザで施工したために施工が 2 回にわたり、その間に土が乾燥して  $\gamma_d$  も増大を示した。他方 No. 10' ホ場では 2 台のブルドーザが 1 日で施工したが、 $w$  の範囲は変化せず、 $\gamma_d$  は若干増大した。また施工において両ホ場ともに表土扱いは行なわなかったため施工後は原土の表土及び心土が混合し、深さによる  $w$  及び  $\gamma_d$  の差異が見られなくなった。そこで No.

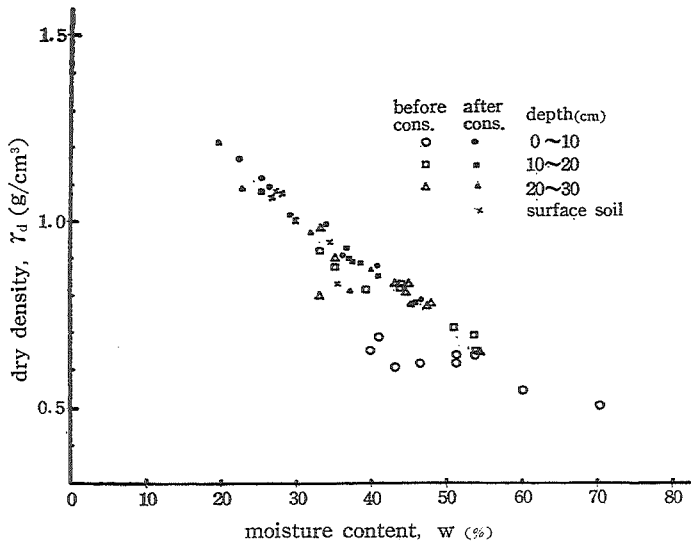


Fig. 5 a. Changes of soil moisture content and dry density with land consolidation (Field No. 10)

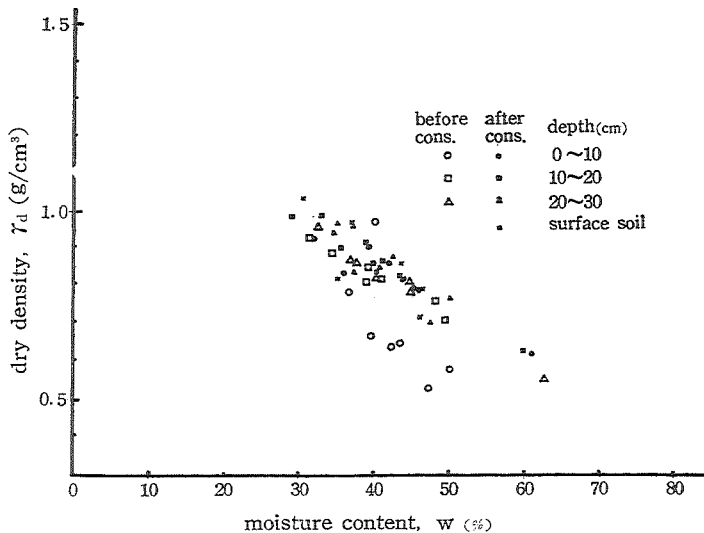


Fig. 5 b. Changes of soil moisture content and dry density with land consolidation (Field No. 10')

10 ホ場については施工前の 10 cm より深い部分の表わす  $w \sim r_d$  直線ないしその延長上に施工後の測定値が位置し、No. 10' ホ場では施工前の 10 cm より深い部分の  $w \sim r_d$  関係と施工後の全層にわたる測定値とがほぼ一致する結果となった。

このように  $w$  及び  $r_d$  の大幅なバラツキと、ブルドーザ（接地圧の低い湿地ブルドーザ）の転圧効果よりも含水比変化によって乾燥密度（すなわち締固まり程度）が影響を受ける傾向は、施工時の含水比コントロールの重要性を表わしている。

(4) コーン指数

施工に伴うコーン指数  $q_c$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) の変化は Fig. 6 a (No.10) 及び Fig. 6 b (No.10') にそれぞれ示した。測定は深さ 50 cm ないし 60 cm まで実施したが、図には 30 cm までについて示した。また測定は  $w$ ,  $r_d$  の場合と同様に方眼交点で各 3 個づつ行なったが、図には全測定値の平均で表わした。

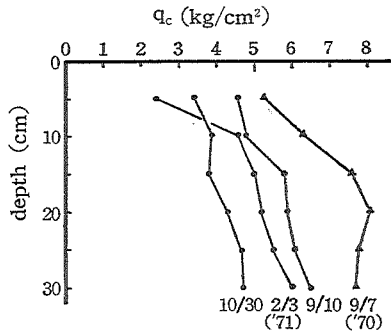


Fig. 6 a. Corn penetration test of the field No. 10

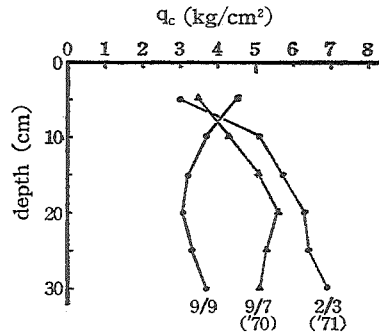


Fig. 6 b. Corn penetration test of the field No. 10'

$q_c$  に表わされた特性は、むしろ施工前の方が  $q_c$  値が大きく、そしてその変動係数は小さかった。また施工後については、 $q_c$  値の経時的変化或いはその変動係数に特別な傾向がみられず、全般にホ場内での  $q_c$  値のバラツキは大きいことがわかった。これは夏期施工で比較的土壌が乾燥してはいるが、それでも湿地ブルドーザでなければ作業が不可能であったという現地状況などから、以下のように考察される。すなわち、原地盤では長年にわたって安定化していた粘土質の土壌が、ブルドーザの切削走行によるねり返し或いは振動によって強度が低下し、 $q_c$  値の低下となって表われた。しかも大塊に掘削された土壌は接地圧の低い湿地ブルドーザに踏まれても十分に破碎転圧されず、大間ゲキが多く存在した状態となった<sup>5)</sup>。それが施工後の  $q_c$  値の低下及びバラツキをもたらすと同時に、高い地下水位によって常に土壌が飽和されて、 $q_c$  値の経時的な増大を阻んだものと考えられる。ただこのような施工後の  $q_c$  値の低下現象は、かんがい期—非かんがい期サイクルのくり返しとともに解消され、 $q_c$  値がステップ状に増大することはすでに明らかにされているところであり<sup>7)</sup>、むしろホ場内での面的な特性の変動ないし不等沈下の方がより重要な問題と考えられる。

(5) 田面沈下

田面沈下は Fig. 7 に示すように突起付円板沈下盤を深さ 20 cm, 30 cm, 40 cm に各 3 個設置し、突起部がパイプ内を自由に移動し得る状態で地表から測定できるようにして、基準点からのレベルングにより各深さの上下移動量を測定した。この場合地表面仕上げとの関係で設

置が遅れたこと及び地表点での上下量が荒耕しのために観測できなかったが、各深さでの測定値は Fig. 8 a (No.10) 及び Fig. 8 b (No.10') に示すように興味ある結果を示した。

沈下盤はいずれも盛土部で Fig. 7 に示すようにケイハンから 2 m 離して 1 m 間隔に正方状に設置されたが、ケイハンからの距離による沈下量の差異は見られなかった。そして Fig. 8 a によると No. 10 水田では全体に沈下がみられるが、特に深さ 20 cm で 1 点異常に大きな沈下量を示し、特に 6 月の湛水後にそれが激増したことがわかる。これは既に明らかにした基盤の不均一、特に大間ゲキが存在しそれが土のスレーキングにより陥没の原因となることを裏付けている。しかしながら No. 10 ホ場における全体の特性としては 40 cm より深い層で約 5 mm、30~40 cm の層で約 5 mm の沈下に対して、深さ 20~30cm では約 5 mm の隆起が観測された。この隆起の現象は Fig. 8 b にも顕著に表わされている。

すなわち No. 10' では全体としてむしろ若干の隆起がみられ特に深さ 40 cm の層で著しい。これは Fig. 4 b に示されたように No. 10' では B 工法施工試験を行なったが沈下盤が丁度走行度の高い位置に設置されたために、湿潤な粘性土が急激な上載荷重（ブルドーザの走行、並びに盛土）を受けたことによる弾性的リバウンドが生じたものと考えられる。特に No. 10' の深さ 40 cm とは、B 工法ケイハン施工試験のために頻繁にブ

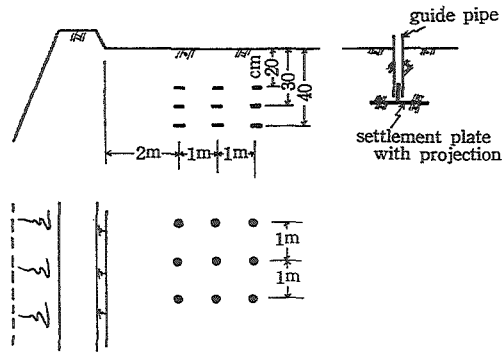


Fig. 7. Schematic figures for measuring field settlement

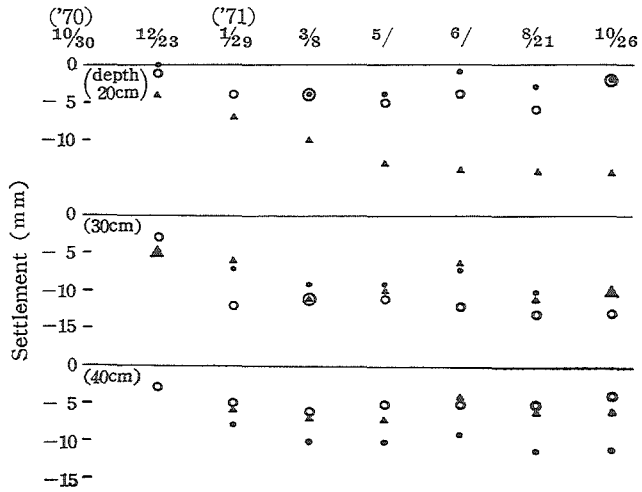


Fig. 8 a. Settlement of the consolidated paddy field (No. 10)

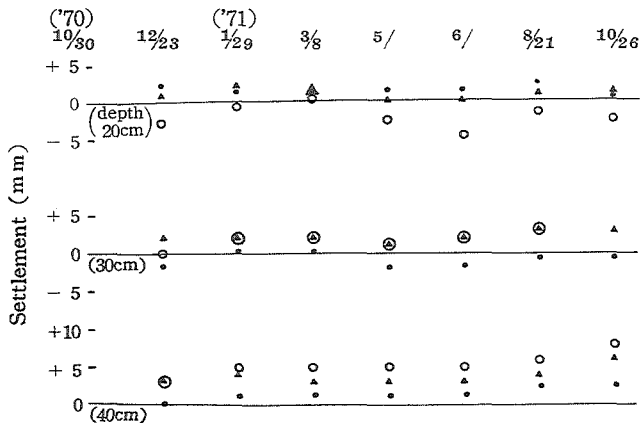


Fig. 8 b. Settlement of the consolidated paddy field (No. 10')



ルドーザが走行した位置と考えられる。

## ま と め

以上明らかにしたように、ホ場整備を機械施工した場合の水田基盤の特性は、次の3点に集約される。

- i) 粘質土傾斜地水田では、ホ場整備後の水田基盤特性に非常にバラツキが大きい。
- ii) 施工時の土壤水分変動が諸特性に与える影響が特に大きい。
- iii) 基盤転圧の不均一と大間ゲキの存在は、田面の不等沈下、大きな陥没の原因となる。

そこで、施工時の土壤水分コントロールが最も重要であり、あわせて施工機種を選択或いは走行度の均一化を配慮する必要があると考えられる。

おわりに、本調査を実施するに当たり、中四国農政局技術課高田技官をはじめ県、地元土地改良区の各位には多大の御援助を賜った。また調査並びにデータ整理には現岐阜大学荻野芳彦講師をはじめ、当研究室大学院生、専攻学生諸君の労をわずらわした。記して謝意を表わす次第である。

## 文 献

- 1) 長堀金造, 佐藤晃一: 岡山大農学報 (36), 79—88 (1970)
- 2) 長堀金造, 佐藤晃一: 同 上 (42), 71—78 (1973)
- 3) 農場整備モデルホ場企画委員会, 傾斜地水田部会: 農土誌 40 (6), 29 (1972)
- 4) 丸山利輔, 長堀金造, 竹中 肇: 農土論集 (46), (1973)
- 5) 長堀金造, 佐藤晃一, 丸山利輔, 竹中 肇: 農土論集 (47), 1—8 (1973)
- 6) 長堀金造, 天谷孝夫: 農土論集 (48), 1—8 (1973)
- 7) 富士岡義一, 佐藤晃一: 農土論集 (26), 1—7 (1968)