

ホ場整備に伴う地盤沈下について

南 信弘・小椋正澄・末永勇紀

(農学部 土地保全学研究室)

Study on the Settlement of Subsoil with the Ranning of Construction Equipment

Nobuhiro MINAMI, Masazumi OGURA and Yuki SUENAGA

(Laboratori of Land Conservation, Faculty of Agriculture)

When the readjustment of the paddy field contains surface soil removing and land grading with a ranning of construction equipment, subsoil is compacted by the equipment. This compacted valus is the ground settlement, according to the soil quality and frequency ranning of the equipment.

We tried repeated loading test and W. E. S. conepenetration test in the KAGAMI where being readjusted as a extensive farm area since 1967.

Repeating load is constant 0.35 kg/cm² as same as the bulldozer for marsh.

This settlement y (mm) depend on the frequency of loading n and cone resistance q_c (kg/cm²), we obtains the following experimental equation.

$$y = 140 (1 - e^{-0.27n}) / q_c^{1.44}$$

I ま え が き

平地純農地帯として発達してきた香我美地区(236.7ha)は、高知県の穀倉地帯、香長平野の東端に位置する海岸低湿地にあり、排水不良、かつ、区画は狭小不整であった。

この地区は、昭和42年度から、大規模農業地区としてのホ場整備が進められているが、重機施工に伴うホ場の平均沈下量が不明であった。

本論文は、施工重機の走行による沈下の推定量を求め、容土量などの適正な設計指針を得ることを目的とする。

II 試験方法および結果

昭和44年度施工予定区域に、Fig-1 に示すように、マス目を設定し、その交点をコーン支持力調査点とし、他に10点(No. 1~No. 10)を選び、室内土質試験の試料採取、コーン支持力、およびくり返し載荷試験を行なった。

1. 室内土質試験

J I S 規定に準じて、土の物理的性質を求めその結果を Table-1 に示す。

2. 載荷試験

ブルドーザの走行によって生じる地盤の沈下量を推定するのが目的であるため、次の方法により、くり返し載荷試験を行なった。

i) 試験方法

Fig-2 に示すように、クイの引抜き抵抗力を対重とし、平板載荷用ジャッキでくり返し載荷を行なった。

Table. 1 The results of soil test.

| SAMPLE No. | DEPTH of RECOVERY (cm) | NATURAL WATER CONTENT W (%) | SPECIFIC GRAVITY G | DIAMETER | | | | CLASSIFICATION by TRIANGULAR DIAGRAM | CONSISTENCY LIMIT | | | | | |
|------------|------------------------|-----------------------------|--------------------|------------|----------|----------|----------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|------|---|
| | | | | GRAVEL (%) | SAND (%) | SILT (%) | CLAY (%) | | W _L (%) | W _P (%) | I _P | W _S (%) | R | |
| 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | — | 85.2 | 2.564 | 0 | 4.9 | 75.1 | 20.0 | SILTY CLAY LOAM | 39.7 | 13.7 | 26.0 | 34.7 | 1.27 | |
| 3 | 15 | 74.8 | 2.526 | 0 | 15.7 | 64.3 | 20.0 | SILTY CLAY LOAM | 47.5 | 25.6 | 21.9 | 29.2 | 1.43 | |
| | 30 | 45.0 | 2.569 | 0 | 4.1 | 50.9 | 45.0 | CLAY | 47.6 | 24.1 | 23.5 | 23.6 | 1.50 | |
| | 45 | 43.4 | 2.585 | 0 | 8.0 | 68.0 | 24.0 | SILTY CLAY LOAM | 46.9 | 25.2 | 21.7 | 22.0 | 1.54 | |
| 4 | 15 | 69.9 | 2.511 | 0 | 7.3 | 70.2 | 22.5 | SILTY CLAY LOAM | 46.2 | 27.2 | 19.0 | 26.1 | 1.39 | |
| | 30 | 42.2 | 2.556 | 0 | 0.7 | 63.3 | 36.0 | SILTY CLAY | 45.5 | 24.8 | 20.7 | 22.1 | 1.57 | |
| | 45 | 38.6 | 2.547 | 0 | 3.8 | 55.2 | 41.0 | SILTY CLAY | 43.9 | 23.6 | 20.3 | 24.2 | 1.51 | |
| 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 6 | 15 | 41.8 | 2.533 | 0 | 4.6 | 72.4 | 23.0 | SILTY CLAY LOAM | 48.4 | 27.9 | 20.5 | 28.4 | 1.43 | |
| | 30 | 36.3 | 2.581 | 0 | 6.3 | 78.2 | 15.5 | SILTY LOAM | 44.6 | 24.6 | 20.0 | 24.4 | 1.57 | |
| | 45 | 47.4 | 2.609 | 0 | 4.5 | 73.2 | 22.3 | SILTY CLAY LOAM | 39.7 | 25.6 | 14.1 | 24.0 | 1.56 | |
| 7 | 15 | 65.7 | 2.587 | 0 | 2.3 | 63.7 | 34.0 | SILTY CLAY | 47.6 | 25.0 | 22.6 | 28.0 | 1.45 | |
| | 30 | 42.2 | 2.611 | 0 | 3.1 | 63.9 | 33.0 | SILTY CLAY | 48.1 | 26.9 | 21.2 | 17.5 | 1.51 | |
| | 45 | 46.2 | 2.625 | 0 | 3.4 | 70.6 | 26.0 | SILTY CLAY LOAM | 47.5 | 26.3 | 21.2 | 25.0 | 1.54 | |
| 8 | 15 | 67.2 | 2.495 | 0 | 8.4 | 62.6 | 29.0 | SILTY CLAY LOAM | 54.7 | 29.3 | 25.4 | 35.0 | 1.34 | |
| | 30 | 49.1 | 2.514 | 0 | 2.8 | 66.2 | 31.0 | SILTY CLAY | 51.3 | 27.3 | 24.0 | 30.1 | 1.47 | |
| | 45 | 47.5 | 2.549 | 0 | 4.4 | 60.6 | 35.0 | SILTY CLAY | 49.2 | 27.5 | 21.7 | 28.1 | 1.47 | |
| 9 | 15 | 73.7 | 2.511 | 0 | 13.8 | 67.9 | 19.0 | SILTY LOAM | 51.5 | 32.7 | 18.8 | 33.5 | 1.36 | |
| | 30 | 72.0 | 2.462 | 0 | 8.9 | 70.1 | 21.0 | SILTY CLAY LOAM | 52.8 | 35.7 | 17.1 | 29.7 | 1.35 | |
| | 45 | 53.4 | 2.564 | 0 | 9.7 | 48.3 | 42.0 | CLAY | 49.4 | 31.6 | 17.8 | 28.6 | 1.41 | |
| 10 | 5 | 70.3 | 2.452 | 17.0 | 27.8 | 33.2 | 22.0 | — | 56.3 | 30.3 | 26.0 | — | — | |
| | 15 | 46.3 | 2.550 | 40.2 | 25.6 | 14.2 | 20.0 | — | 49.7 | 26.9 | 22.8 | — | — | |
| | 30 | 10.3 | 2.624 | 70.8 | 17.1 | 2.1 | 10.0 | — | — | — | — | — | — | |

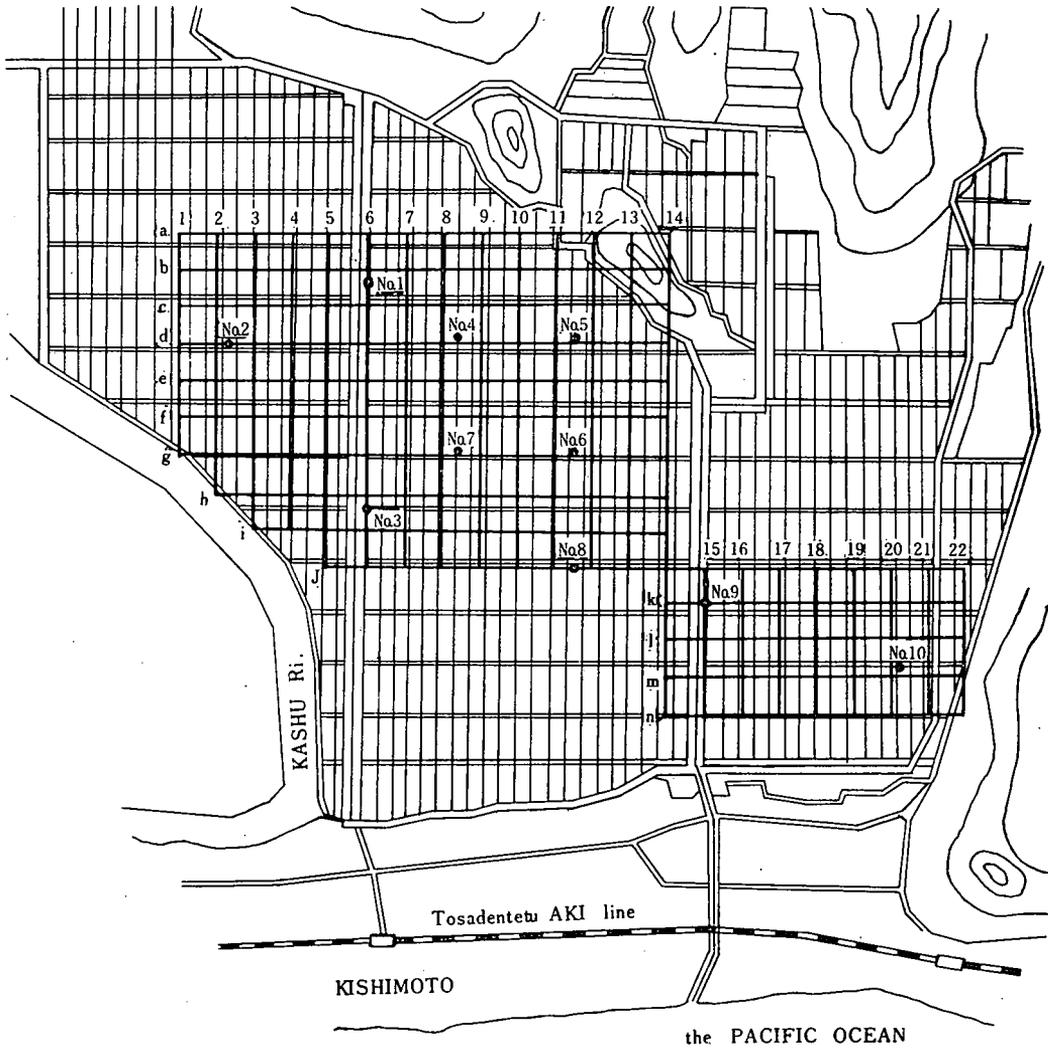


Fig. 1 Examinatorial area

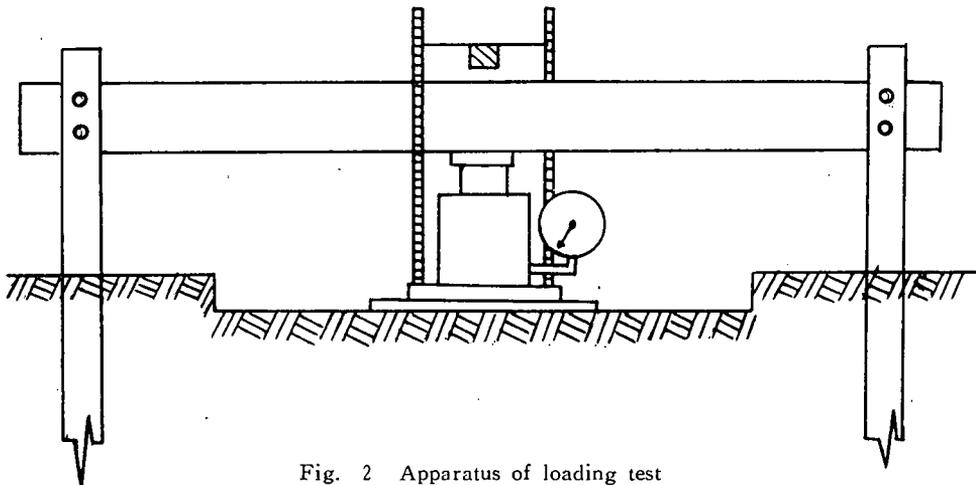


Fig. 2 Apparatus of loading test

ii) 試験条件の決定

Table-2 に試験条件を示す。

Table. 2 The experimental condition.

| SURCHARGE | DIMENSIONS of LOADING PLATE | TIME of LOADING | PERIOD of REPEATED LOADING | FREQUENCY of REPEATED LOADING |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------|
| 0.35 kg/cm ² | 1800 cm ² | 10~20 sec. | 2 min. | 30 |

載荷量：湿地ブルドーザの諸元から接地圧 0.28kg/cm² として、動荷重であることを考慮し、1.25を乗じて 0.35kg/cm² とした。

載荷面積：ブルドーザの履帯巾は 76~92cm であるが、試験の都合により、60×30cm の載荷板を使用した。

載荷時間：ブルドーザの作業速度は一般に 3 m/sec 以下であるから、履帯の接地長を約 3m とすると、地盤の一点に作用する時間は、一走行につき 1 秒以上となる。また、同一地点への走行回数・間隔は不明であるので、試験の都合上、載荷時間 10~20 秒、周期 2 分とし、くり返し載荷回数は 30 回とした。

iii) 試験結果

Fig-3 に一例を示す。

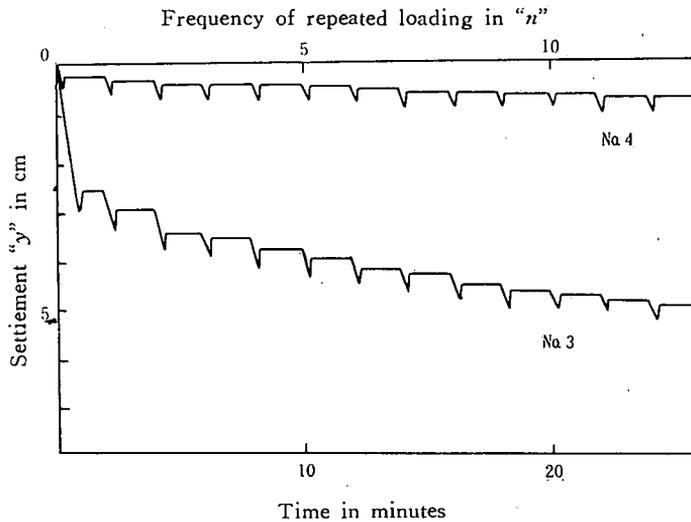


Fig. 3 Results of repeated loading test. (two out of ten examples.)

3. コーン支持力調査

コーンペネトロメーターを使用して、貫入速度 1 cm/sec, 測定深度 80cm とし、1 地点につき 3 回の平均をとった。Fig-4 に等 q_0 線を示す。ただし、 $q_0 = \frac{1}{4} (q_{15} + q_{20} + q_{25} + q_{30})$ とする。

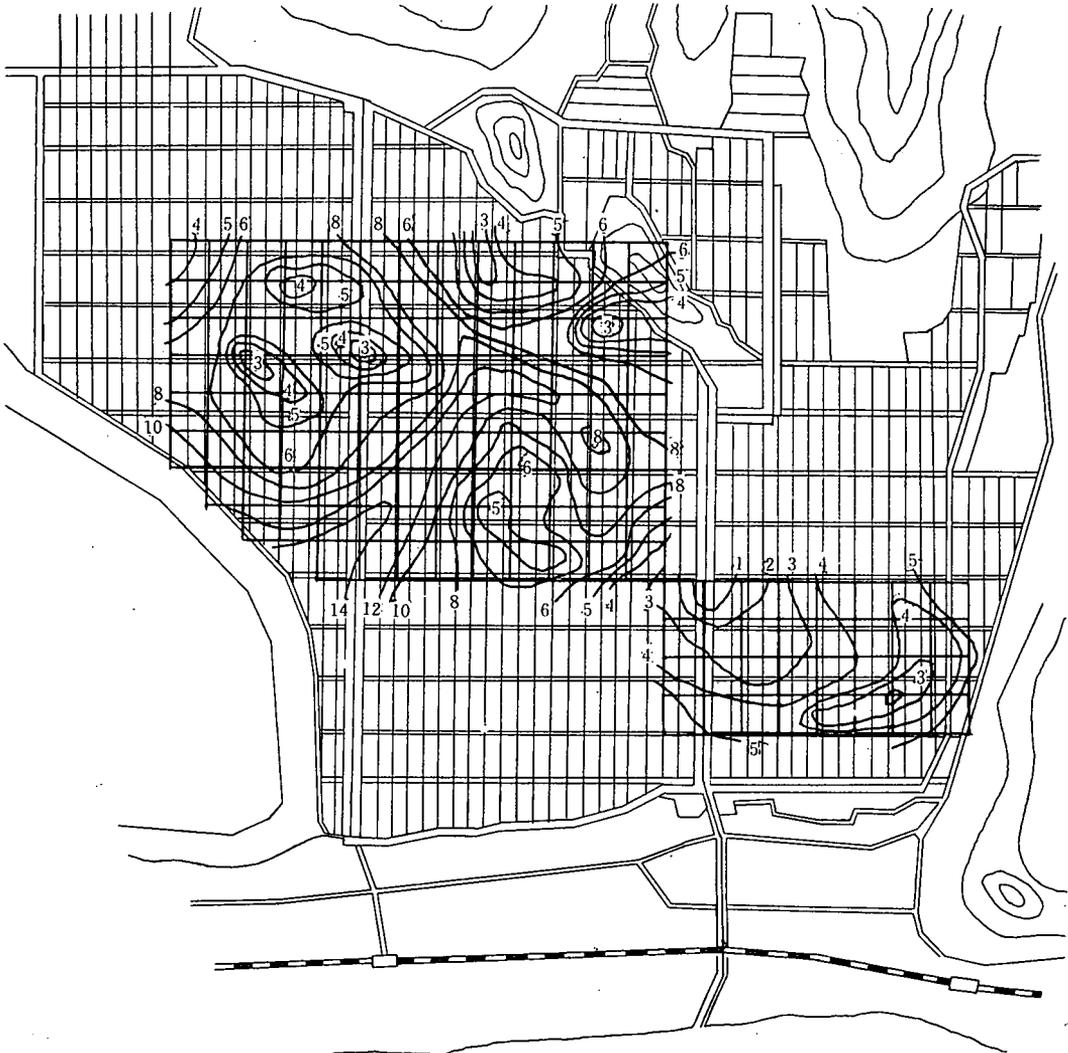


Fig. 4 Result of cone penetration test. (equiconeresistance line)

III 考 察

1. 載荷回数と沈下量

i) 沈下曲線の数式化

載荷回数一回あたりの沈下量は、最終沈下量とその回の沈下量との差に比例すると仮定すれば、

$$\frac{dy}{dn} = -A (y_{\infty} - y) \dots\dots\dots(1)$$

$$\therefore \ln (y_{\infty} - y) = -A \cdot n + C$$

$n = 0$ で $y = 0$ であるから $C = \ln y_{\infty}$

$$\therefore \ln \frac{y_{\infty}}{y_{\infty} - y} = A \cdot n \dots\dots\dots(2)$$

$$\therefore y = y_{\infty} (1 - e^{-An}) \dots\dots\dots(3)$$

ii) 係数の決定

(3)式が成立すれば

$$\Delta y_t = y_{\infty} e^{-An_t} (1 - e^{-A \Delta n_t}) \dots\dots\dots(4)$$

Δn_t を一定値にとると, $y_{\infty} (1 - e^{-A \Delta n_t})$ は定数となり,

$$B = \ln \{y_{\infty} (1 - e^{-A \Delta n_t})\} \dots\dots\dots(5)$$

とおくと,

$$\ln \Delta y_t = -A \cdot n_t + B \dots\dots\dots(6)$$

(6)式より重率を考慮して, 最小自乗法を適用すれば, A, B が決定できるが, 測定精度の不足から $\Delta y = 0$ のものがあり, この方法で A, B の決定はできない。したがって載荷回数, 沈下量図から y_{∞} の値を決定しておき, (2)式から

$$2.3 \log \frac{y_{\infty}}{y_{\infty} - y} = A \cdot n \dots\dots\dots(7)$$

$Y = \frac{y_{\infty}}{y_{\infty} - y}$ とすれば重率を考慮して,

$$A = 2.3 \frac{\{Y^2 \cdot n \cdot \log Y\}}{\{Y^2 \cdot n^2\}} \dots\dots\dots(8)$$

計算結果を Table-3 に示す。

Table. 3 The calculated results of settlement cuve coefficient A in the assumed limit settlement y_{∞} .

| SAMPLE No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| y_{∞} | 62 | 104 | 55 | 11 | 6 | 7 | 4 | 4 | 56 | 10 |
| A | 0.509 | 0.496 | 0.151 | 0.100 | 0.192 | 0.211 | 0.361 | 0.170 | 0.200 | 0.230 |

2. コーン支持力と沈下曲線係数との関係

i) コーン支持力と y_{∞} との関係

q_c (kg/cm²) と y_{∞} (mm) の関係は, $q_c \rightarrow 0$ で $y_{\infty} = \infty$, $q_c = \infty$ で $y_{\infty} = 0$ と考えられ, Fig-5 から,

$$\log y_{\infty} = \log \alpha - \beta \log q_c \dots\dots\dots(9)$$

$$\therefore y_{\infty} = \frac{\alpha}{q_c^{\beta}} \dots\dots\dots(10)$$

が推定される。

$\log y_{\infty} = Y, \log \alpha = C, \log q_c = X$, とおいて最小自乗法を適用すれば,

$$C = \frac{\{X^2\} \{Y\} - \{X\} \{XY\}}{n \{X^2\} - \{X\}^2} \dots\dots\dots(11)$$

$$-\beta = \frac{n \{XY\} - \{X\} \{Y\}}{n \{X^2\} - \{X\}^2} \dots\dots\dots(12)$$

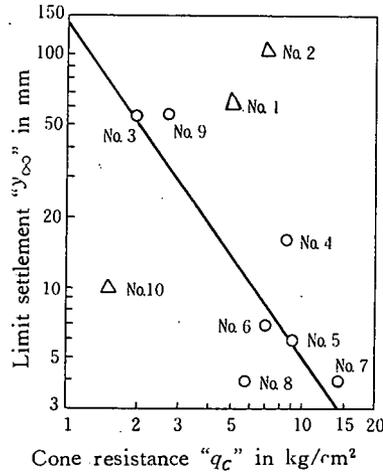


Fig. 5 Relation between settlement curve coefficient “ y_{∞} ” and cone resistance “ q_c ”

Table-4 から, $C=2.147$, $-\beta=-1.438$ が求まる。

$$\log \alpha = C = 2.147$$

$$\therefore \alpha = 140$$

(12)式より

$$y_{\infty} = \frac{140}{q_c^{1.44}} \dots\dots\dots(13)$$

ただし, No. 1, No. 2, No. 10は, 他の7点に較べて載荷板が大きく傾いたり, 砂礫層が, 浅い位置にあったため除外した。

Table. 4 Relation between cone resistance q_c and limit settlement y_{∞}

| SAMPLE No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| q_c (kg/cm ²) | 4.91 | 6.85 | 1.93 | 8.34 | 9.13 | 6.87 | 14.14 | 5.75 | 2.64 | 1.52 |
| y_{∞} (mm) | 62 | 104 | 55 | 11 | 6 | 7 | 4 | 4 | 56 | 10 |

ii) コーン支持力と A との関係

Fig-6 から, No. 1, 2, 10を除くと, A は q_c と関係なく一定値と考えられる。前記3点を

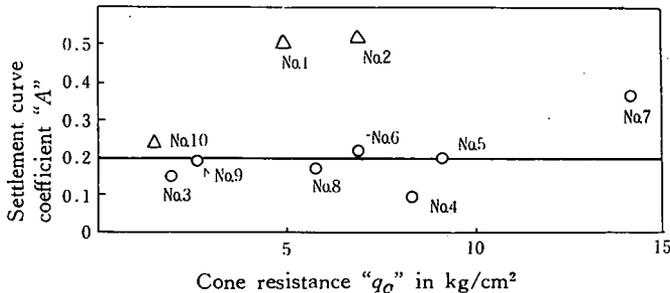


Fig. 6 Relation between settlement curve coefficient “A” and cone resistance “ q_c ”

除いて平均した値をとると、

$$A=0.198 \dots\dots\dots(14)$$

となる。

iii) コーン支持力と沈下曲線

前記の関係をまとめると、(3), (13), (14), 式から、

$$y = \frac{140 (1 - e^{-0.2n})}{q_c^{1.44}} \dots\dots\dots(15)$$

となる。

Fig-7に n をパラメーターにした q_c と y の関係を示す。

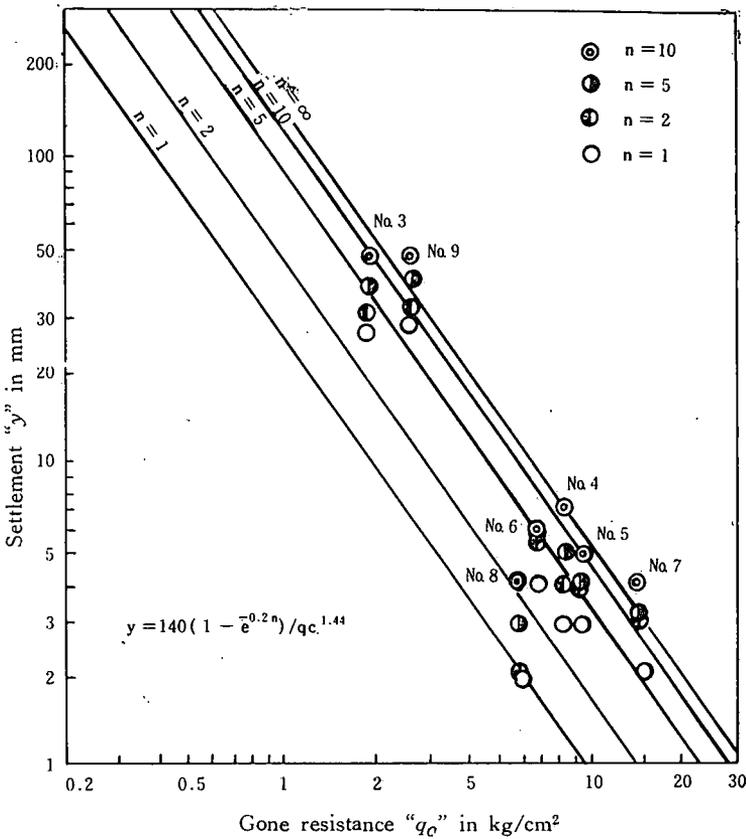


Fig. 7 Relation between settlement "y" and cone resistance "qc"

3. ブルドージ走行による地盤変化

載荷試験によって推定した地盤沈下量と、実際にブルドーザを走行させた場合の沈下量を比較するため、No. 2 付近で都合により一地点しか実施できなかったが、三菱BD-7 (接地圧0.28kg/cm²) を使用して走行試験を行なった。

ブルドーザを走行させると Fig-8 に示すような地盤変化を生じるので、①, ②, ③, について 4 個所、レベル測定を行なった。

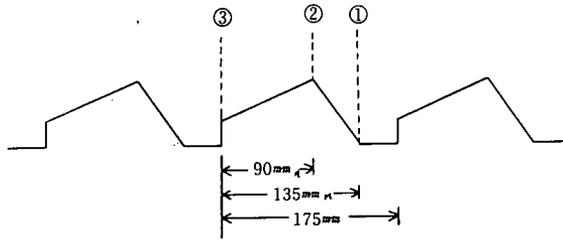


Fig. 8 Cross section in tracks of bulldozer

i) 地盤沈下量測定結果

Fig-9 に測定結果を示す。(各点は4個所の平均)

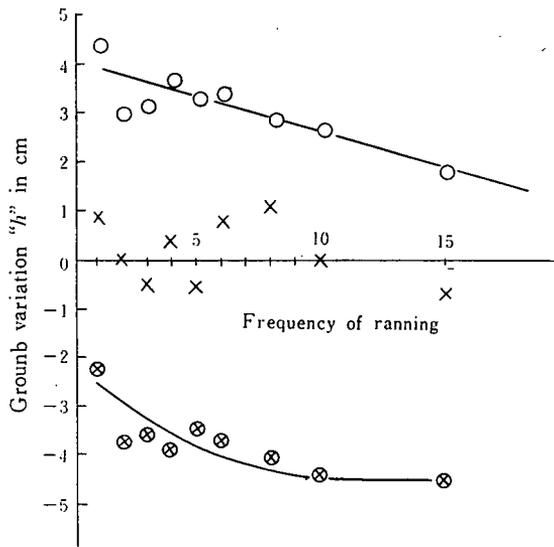


Fig. 9 Relation between ground variation "h" and frequency of ranning

この盛上った部分と沈下した部分を平均化したものを、平均的沈下量と考えると、Table-5 となる。

Table. 5 Relation between frequency of ranning and settlement.

| FREQUENCY of RANNING | 1 | 5 | 10 | 15 |
|----------------------|----|---|----|----|
| SETTLEMENT y (mm) | -5 | 1 | 6 | 9 |

ii) 推定沈下量と実測の比較

(15式によると、走行地の $q_0=8.78$ から、沈下量は $n=\infty$ で 6 mm 程度であるが、実際の走行では、Table-5 より $n=15$ で 9 mm の沈下という結果がでている。しかし、ブルドーザの通過する外側には、履帯で乱された土が押し出されていることを考慮すると、沈下量は、半分位と考えられるから、推定沈下量とほとんど一致する。

IV ま と め

コーン支持力調査結果から、ブルドーザ走行による地盤沈下を推定すると、調査区域の大部分は、1 cm 以内にある。

調査時期が7月下旬で、湛水中の水田もあり、稲の刈取後施行することを考慮すると、施工重機走行による沈下はほとんど考えなくてよいであろう。

(昭和45年9月30日受理)

正 誤 表

Vol. 19. A.S. No. 13

ホ場整備に伴なう地盤沈下について

| 頁 | 行 | 誤 | 正 |
|---------|----------|---|---|
| 109 (3) | Fig. 1 中 | <u>KASHU</u> Ri. | <u>KOSO</u> Ri. |
| 112 (6) | (10) 式 | $y_{\infty} = \frac{\alpha}{q_c^{\beta}}$ | $y_{\infty} = \frac{\alpha}{q_c^{\beta}}$ |
| 112 (6) | 下から 8 行目 | $q_c \rightarrow 0$ | $q_c = 0$ |
| 114 (8) | 下から 6 行目 | 3. <u>ブルドー</u> ジ走行による | ブルドーザ |

