

解説

「モデルプレートによるスリップ沈下の研究\*」について

小 中 俊 雄\*\*

水田のような軟弱地盤では、トラクタの車輪の沈下とスリップによって、その走行性能は、いちじるしく低下することはよく知られていることである。また、車輪の沈下量は、スリップによって増加し、スリップ沈下現象とよばれている。本研究は、このスリップ沈下現象を明らかにするため、相似性理論にもとづく模型を用いた実験的研究である。

実際のトラクタを用いる代りに、トラクタ走行部の履帯に類似したラグつきプレートを用いるため、まず、スリップ沈下現象に関係する要因について次元解析を行なった結果、つぎのような無次元項関係式が得られた。

$$\frac{z}{y} = F\left(\frac{b}{l}, \frac{h}{l}, \frac{\lambda}{l}, \frac{y}{l}, \frac{v^2}{gl}, \alpha, \frac{c}{p}, \frac{c}{dl}, \phi\right) \quad (1)$$

ここで、各記号と次元は、図-1および表-2のとおりである。

(1)式では、土壤条件を示す要因として、土壤密度、粘着力、内部摩擦角をとりあげたが、トラクタ走行性と土壤との関係によく用いられるコーン指数を要因とした解析も試みられた。

相似性理論によると、(1)式から、(a),  $\frac{b}{l} = \frac{b_m}{l_m}$ , (b),  $\frac{h}{l} = \frac{h_m}{l_m}$ , (c),  $\frac{\lambda}{l} = \frac{\lambda_m}{l_m}$ , (d),  $\frac{y}{l} = \frac{y_m}{l_m}$ , (e),  $\frac{v^2}{gl} = \frac{v_m^2}{g_m l_m}$ , (f),  $\alpha = \alpha_m$ , (g),  $\frac{c}{p} = \frac{c_m}{p_m}$ , (h),  $\frac{c}{dl} = \frac{c_m}{d_m l_m}$ , (i),  $\phi = \phi_m$  の設計条件が満足されれば、予報式  $\frac{z}{y} = \frac{z_m}{y_m}$  が得られる。

さて、設計条件(a)(b)(c)は、相似形のプレート、すなわち、 $\frac{l}{l_m} = \frac{b}{b_m} = \frac{h}{h_m} = \frac{\lambda}{\lambda_m} = n$  を満足するプレートを用い

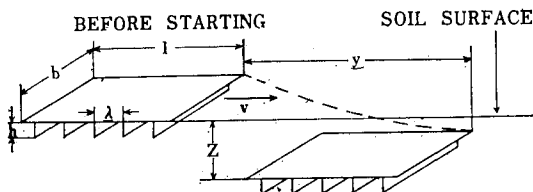


図-1 プレートのスリップ沈下の略図と記号

表-1 要因と次元

要因(変数)	Symbols	Basic Dimensions*
沈下量	Z	L
水平けん引抵抗	H	F
プレートの長さ	l	L
プレートの幅	b	L
ラグの高さ	h	L
その他の長さ	λ	L
土壤密度	d	FL <sup>-3</sup>
粘着力	c	FL <sup>-2</sup>
内部摩擦角	φ	F <sup>0</sup> L <sup>0</sup> T <sup>0</sup>
垂直圧力	p	FL <sup>-2</sup>
スリップ速度	v	LT <sup>-1</sup>
スリップ距離	y	L
重力の加速度	g	LT <sup>-2</sup>
プレート傾斜角	α	F <sup>0</sup> L <sup>0</sup> T <sup>0</sup>
コーン指数	q	FL <sup>-2</sup>

\*F=Force L=Length T=Time

れば成立する。ここで、nは線尺度、mはモデル系を意味する。n=2、または4を用いて、第2表のようなプレートを試作した。

設計条件(d)については、 $\frac{y}{y_m} = n$  とすればよく、(e)については、重力の加速度は一定であるので、 $\frac{v}{v_m} = \sqrt{n}$  なる速度を設定すればよい。(g)については、粘着力に比例する垂直圧力を加えればよい。ところが、(h)について

表-2 ラグつきプレートの諸元

Plate No.	Length: l (cm)	Width: b (cm)	Grouser height: h (cm)
S-I (Prototype)	25.4	5.1	0.6
S-II	12.7	2.5	0.3
S-III	6.4	1.3	0.15
W-0	25.4	2.5	0.6
W-II	25.4	10.2	0.6
H-0	25.4	5.1	0.0
H-II	25.4	5.1	1.2

\* 農業機械学会誌 第30巻1号および第30巻3号

\*\* 三重大学農学部 1971.6.3 受理

は、土壤条件を適当に調整することは困難であり、一般に  $\frac{c}{dl} = \frac{c_m}{d_m l_m}$  は満足されない。したがって、ここでは、歪係数  $\beta$  と予報係数  $\delta$  を導入し、次式の関係について解析した。

$$\delta = G \left( \beta, \frac{b}{l'}, \frac{h}{l'}, \frac{\lambda}{l'}, \frac{y}{l'}, \frac{v^2}{gl'}, \alpha, \frac{c}{p'}, \frac{c}{dl'} \right) \quad (2)$$

ここで、 $\beta = \frac{c_m - c}{d_m l_m} / \frac{c}{dl'}$ 、 $\delta = \frac{z}{y} / \frac{z_m}{y_m}$

実験は、設計条件(a), (b), (e), (f), (g), (h)を変えて、多元配置計画で、各々2~3水準にとった。

その結果、スリップ距離  $y$  と沈下量  $z$  との関係は、 $z = k l^u y^{1-u}$  のような関係がみられ、 $k$  は0~0.3の値で、土壤が軟かく接地圧が大きいほど大きく、 $u$  は0.5~0.8の値で  $k$  と同じような傾向を示した。これから、静沈下は、土壤が軟かく接地圧が大きいほど大であるが、動的沈下(スリップによる沈下)は、その逆の傾向があることがわかる。

プレートの幅が大きくなると沈下量は減少するが、接地圧との交互作用があり、接地圧が大きい場合はプレートの幅の影響が大きく、接地圧が小さい場合は幅の影響は小さかった。

また、ラグの高さが大きくなると沈下量は増加し、スリップ速度が大きいきその影響は大きかった。

一方、歪係数  $\beta$  と予報係数  $\delta$  との関係は、 $\frac{c}{p} = 0.35$  のとき、 $\delta = \beta^{0.5}$  で表わされ、これを線尺度  $n$  で表わすと、 $Z = n^{1.5} Z_m$  となる ( $y = n y_m$ ,  $d c_m = d_m c$  とした)。すなわち、接地圧  $p$  が粘着力  $c$  の約3倍のとき、沈下量はモデルの大ききの1.5乗に比例するといえる。

なお、粘着力  $c$  の代りに、コーン指数  $q$  を用いると、接地圧が比較的大きい場合に、沈下量の予測に効果があることがわかり、一方、沈下量と平行して測定した水平抵抗の予測には、コーン指数より粘着力の方が最適であった。これは、コーン指数および粘着力の測定法が、それぞれ垂直方向の貫入抵抗と水平方向のせん断抵抗とに関連することからもうなずける。

実際のトラクタのスリップ沈下量を、本研究で得られた予測式を用いて推測したところ、実際の沈下量に近い値が得られた。

このように、土壤と機械との関係を明らかにする研究に、相似性理論を適用することによって、より効率のよい実験・解析が行なわれうることもみのがせない結果である。