

III-379 砂地盤における転圧ローラーの走行解析

愛媛大学大学院 学生員 羽賀 誠哉
愛媛大学工学部 正会員 室 達朗
愛媛大学工学部 正会員 河原 莊一郎

1. まえがき 平面歪状態の乾燥砂地盤において地盤-車輪系定数、車輪諸元(車輪半径、練圧など)を与えて、駆動状態で走行している転圧ローラー(剛性車輪)に対して沈下量、推進力、走行抵抗、有効牽引力を算定する解析方法を提案し、その適用性を検討する。

2. 解析方法 解析のフローチャートを図1に示す。あるスリップ率で走行している剛性車輪の沈下量は、鉛直方向の力の釣合より決定される沈下量（静的沈下量）と地盤が受ける滑りによって生じる沈下量（滑り沈下量）の和である。図2に示すように、半径 r 、幅 B 、線圧 W/B の剛性車輪が静的沈下量 s_0 およびリバウンド量 u_0 にて走行している状態を想定する。せん断応力 τ は無視できるものとして鉛直方向の力の釣合式は

$$W/B=r \int_0^{\theta_0} p_r \cos \theta d\theta + r \int_0^{-\theta_0} p_r \cos \theta d\theta \quad (1)$$

$$\theta_0 = \cos^{-1}\{(r-s_0)/r\} \quad \delta_0 = \cos^{-1}\{(r-u_0)/r\}$$

垂直応力はBekkerの式を用いて以下のようになる。

$$p_r = k_r \cdot (z/\cos \theta)^{n_r} = (k_{gr}/b + k_{\phi r})(z/\cos \theta)^{n_r} \quad (2)$$

$$p_r = k_r \cdot s_0^{n_r} - k_r \cdot (u/\cos \theta)^{n_r} = p_0 - (k_{c_r}/b + k_{\phi_r}) (u/\cos \theta)^{n_r} \quad (3)$$

ただし $b=r(\sin\theta_0+\sin\delta_0)$

$$z=s_0-r(1-\cos \theta) \quad u=r(1-\cos \theta) \quad (4)$$

したがって、線圧 W/B と静的沈下量 s_0 の関係は次式で決定できる¹⁾。

$$W/B=r \int_{s_0}^0 k_r \cdot (z/\cos \theta)^{n_f} \cot \theta dz + r \int_0^{u_0} \{k_r \cdot s_a^{n_f} - k_r \cdot (u/\cos \theta)^{n_f}\} \cot \theta du \quad (5)$$

ここで $u_0 = (k_f/k_r \cdot s_0)^{1/nr}$

$$\cot \theta = \frac{r - (s_\theta - z)}{\sqrt{2r(s_\theta - z)}} \quad \text{または} \quad \cot \theta = \frac{r - u}{\sqrt{2ru}}$$

次に車輪最下点での滑り沈下量 s_s は、地盤が受けるあるスリップ量に対応する接地圧で微小スリップしたときの微小滑り沈下量 s_m を接地角 θ_0 まで累算して算定できる²⁾。

図3に示すように、スリップ率 i で走行している剛性車輪に対して地表面(点A)にあった土が時間 t 経過後に点A'に達する状態を考える。

$$(\text{水平移動量}) \quad \overline{OO'} = r(\sin \theta_0 - \sin \theta_m) \quad (6)$$

$$(\text{所要時間}) \quad t = \overline{OO'}/V = (\sin \theta_0 - \sin \theta_m) / \{(1-i)\omega\} \quad (7)$$

$$(\text{スリップ速度}) \quad v = r\omega - V \cos \theta_m = r\omega \{1 - (1-i) \cos \theta_m\} \quad (8)$$

したがって、地盤の受けるスリップ量 j_m は次式で算定できる。

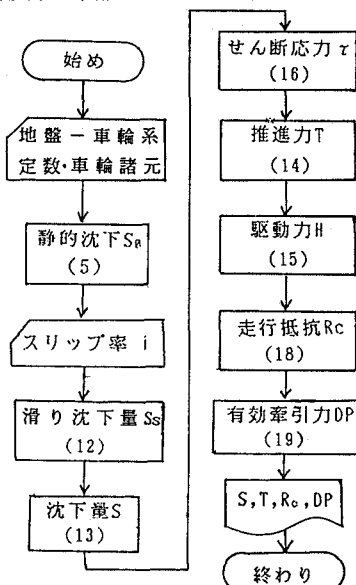


図 1 走行解析のフローチャート

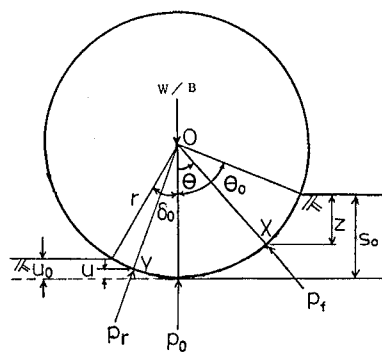


図 2 走行時剛性車輪に作用する応力

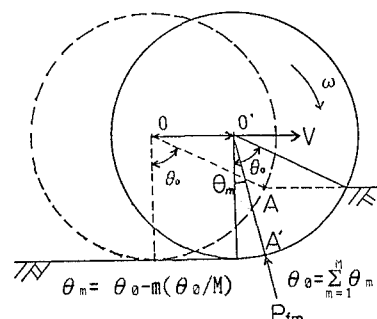


図 3 時間 t 経過後の剛性車輪

$$j_n = \int_0^t \frac{r}{1-i} \int_{\theta_n}^{\theta_0} \{1-(1-i)\cos\theta\} \cdot \cos\theta d\theta$$

$$= r \{1/(1-i) \cdot (\sin\theta_0 - \sin\theta_n) - (\theta_0 - \theta_n)/2 - (\sin 2\theta_0 - \sin 2\theta_n)/4\}$$

$$(垂直応力) \quad p_{rn} = (k_{cr}/b + k_{\phi r})(z/\cos\theta_n)^{n_f} \quad (10)$$

$$(微小滑り沈下量) \quad s_n = C_0 \cdot p_{rn}^{C_1} \cdot j_n^{C_2} - C_0 \cdot p_{rn}^{C_1} \cdot (j_{n-1})^{C_2} \quad (11)$$

$$(車輪最下点滑り沈下量) \quad s_s = \sum_{n=1}^H s_n \cos\theta_n \quad (12)$$

よって剛性車輪の沈下量 s は、次式で算定できる。

$$S = S_0 + S_s \quad (13)$$

ここで、推進力 T (kgf/cm)は車輪に作用するせん断力の水平方向成分、また駆動力 H (kgf/cm)はせん断力の円周方向成分とする。

$$T = r \int_0^{\theta_0} \tau \cos\theta d\theta + r \int_0^{-\delta_0} \tau \cos\theta d\theta \quad (14)$$

$$H = r \int_0^{\theta_0} \tau d\theta + r \int_0^{-\delta_0} \tau d\theta \quad (15)$$

$$\tau = (m_c + m_r \cdot p) \{1 - \exp(-a \cdot j_w)\} \quad (16)$$

剛性車輪の受けるスリップ量 j_w は

$$j_w = r \{(\theta_0 - \theta) - (1-i)(\sin\theta_0 - \sin\theta)\} \quad (17)$$

次に走行抵抗 R_c は、沈下量 s まで地盤を締め固める仕事量が車輪前部の地盤を押して走行する仕事量と等価であるとして誘導すると

$$R_c = \int_0^s p_r dz = \frac{k_{cr}/b + k_{\phi r}}{n_f + 1} s^{n_f + 1} \quad (18)$$

したがって、有効牽引力 DP は次式によって求めることができる。

$$DP = T - R_c \quad (19)$$

3. 解析結果 $r=15\text{cm}$, $B=5\text{cm}$, $W/B=12.2\text{kgf/cm}$ の剛性車輪に対して解析を行った。地盤-車輪係数を表1に示す。駆動力 H は実験値³⁾と解析値がほぼ一致している。有効牽引力 DP はやや小さい値をとるが最大値がどちらもスリップ率15%程度となっている(図4)。 $\theta_0=23.680^\circ$, $\delta_0=1.222^\circ$ である。沈下量に関しては、滑り沈下の小さいスリップ率0~10%付近で、実験値と解析値ともに1.5cm程度である。しかし、スリップ率が高くなるにしたがって、解析値が実験値に比べかなり小さくなっている。これは、 C_0, C_1, C_2 を決定する平板牽引実験において15cmの平板を使用したか、解析値の接地長は6cmとかなり小さいためであり、この定数に寸法効果を考慮する必要がある。

表1 地盤-車輪係数

k_{cr}	$k_{\phi r}$	n_f	k_{cr}	$k_{\phi r}$	n_f	m_c	m_r	a	C_0	C_1	C_2
1.680	1.930	0.450	29.573	5.312	0.248	0	0.286	4.830	0.111	0.870	0.711

4. あとがき 乾燥砂地盤上で駆動状態で走行している転圧ローラーに対して、シミュレーション解析を行った結果、ほぼ適切な値を得た。滑り沈下に関して平板の寸法効果を考慮に入れることが今後の課題である。

参考文献 1) 畠昭治郎: 建設機械学, pp.28-101, 鹿島出版会, 1987. 2) 室達朗, 尾本清, 二村政明: 湿地用ブルドーザの走行性能- 模型車両実験 -, 土木学会論文集, 第397号/VI-9, pp.151~157, 1988. 3) 河原庄一郎: 剛性車輪の牽引力と砂の締め固めに及ぼすスリップの影響, 愛媛大学工学部紀要, VOL.11 NO.4, pp.421-427, 1989.

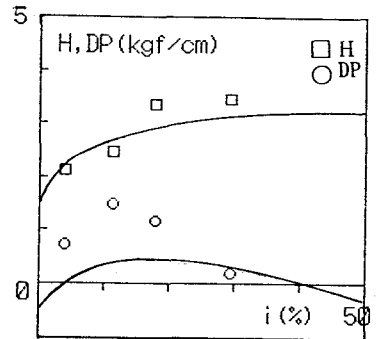


図4 駆動力 H ,有効牽引力 DP とスリップ率 i の関係

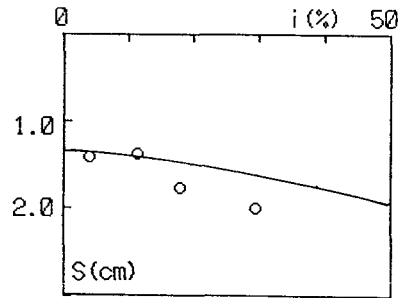


図5 沈下量 s とスリップ率 i の関係