

愛媛大学工学部 学生員 ○河原 莊一郎
愛媛大学工学部 正 員 室 達朗

1. まえがき 前報¹⁾において、海底の軟弱地盤上を走行する履带式車輛を想定し、平板載荷試験、バーン試験、履帯モデルのけん引試験から得られたせん断・沈下特性のデータを用いて、エネルギー解析を行ない、最大けん引力を与えるための最適接地圧、およびけん引力とスリップ率の関係等のけん引力特性を求めた。本研究では、現地において平板載荷試験等を行ない、従来のC材に加えてφ材についてもエネルギー解析の適用可能とした。

2. エネルギー平衡方程式^{2,3)} 履带式車輛の走行時のエネルギー平衡方程式は次式のように表わされる。

$E_1 = E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6$ (1) E_1 : 有効入力エネルギー, E_2 : 貫入変形エネルギー, E_3 : スリップエネルギー

E_4 : けん引力エネルギー, E_5 : 履帯上部の側面摩擦エネルギー, E_6 : グローサ間の側面摩擦エネルギー

履帯に作用する諸力は図1の通りとする。履板が車体に対して、履帯長D相対移動したときの各エネルギーと力の関係は次式のように表わされる。

$$E_1 = D T_1 = D(T_3 + T_6) \quad E_2 = D(1-S)T_2 \quad E_3 = S D T_3 \quad S = 1 - \frac{V}{V'} \quad (2)$$

$$E_4 = D(1-S)T_4 \quad E_5 = D(1-S)T_5 \quad E_6 = S D T_6$$

S : スリップ率, V : 車体の進行速度, V' : 履帯の車体に対する移動速度
なお、解析する実車モデルは2トラックのもので、履帯長 $D = 350$ cm, 履帯幅 $B = 100$ cm, グローサ高さ $H = 1.5$ cmとした。

3. 試料土 試料土は、シルト質ロームで、液性限界38.4%, 自然含水比44.9%, $\varphi = 4.36$ 度であった。図2にバーン試験結果を示す。

4. 履帯モデルのけん引試験 図3に示す履帯モデルについて接地圧をかえて試験した結果、沈下量 S_d (cm), スリップ距離 L (cm), 接地圧 P (kgf/cm²)の間に明らかにされている関係式²⁾ $S_d = u P^v + l L^m P^n$ (3)

の係数がそれぞれ、 $u = 33.9$, $v = 1.59$, $l = 15.7$, $m = 0.0631$, $n = 0.975$ であった。

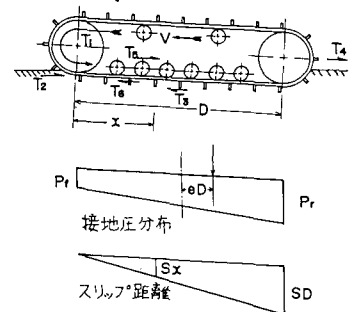
5. 試料土のせん断・圧縮特性 E_3 , E_6 の算出にあたって基本となるせん断変形エネルギー E_v を決定するため、バーン試験結果を以下のように修正した。履帯モデルと実車モデルの履帯長の比を考慮して、図2の Y を12倍し、 $Y_r = 44.0$ cm以上では、残留強度 $T_r = 0.0561$ kgf/cm²を示すものと仮定した。その結果、 E_v (kgf・cm/cm²)と Y (cm)の関係は、 $Y \leq Y_r$ のとき $E_v = C_1 Y^{d_1}$ $Y > Y_r$ のとき $E_v = C_2 Y^{d_2} + t_r$ (4)

となり、係数はそれぞれ、 $C_1 = 0.000547$, $d_1 = 1.56$, $C_2 = 0.00513$, $d_2 = 1.0$, $t_r = -0.00281$ であった。さらに、平板載荷試験(φ7cm)より求めた貫入変位 X (cm)と圧縮変形エネルギー E_p (kgf・cm/cm²)の関係式 $E_p = Q X^b$ の係数がそれぞれ、 $Q = 0.294$, $b = 1.41$ であった。

6. 沈下量の算出 一般にあるけん引力が作用して走行している履帯は偏心傾斜荷重によってトリムが発生する。さて、偏心荷重が作用したときの履帯前端的接地圧 P_f および後端的接地圧 P_r は次式のように表わされる。 $P_f = P(1 - 6e)$, $P_r = P(1 + 6e)$ e : 偏心率 (6)

この P_f , P_r を(3)式の P のところに代入して、前後端の沈下量は、それぞれ次式のように表わされる。

$$S_{df} = u P_f^v \quad S_{dr} = u P_r^v + l (S D)^m P^n \quad (7)$$



T_1 : エンジンより履帯に伝達される有効駆動力
 T_2 : 履帯の進行前面に作用する試料土の圧縮抵抗
 T_3 : グローサ底部における試料土のせん断抵抗
 T_4 : けん引力 T_5 : 車体に付着した試料土と自然に堆積した試料土の間の摩擦抵抗
 T_6 : グローサ間にはさまれた試料土の摩擦抵抗

図1 履带式車輛の足廻り部分に作用する諸力、スリップ距離および接地圧分布

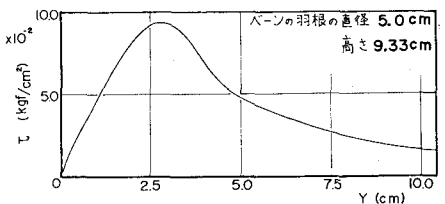


図2 せん断変位 Y とせん断応力 T の関係

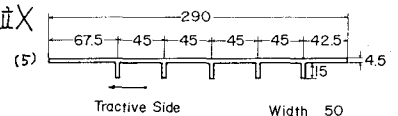


図3 履帯モデル

7. 各エネルギーの算出 E_2 は履帯後端の沈下量 S_{Ar} の深さまで貫入させるエネルギーに等しいとする⁴⁾。グロース高さ H を考えて、 S_{Ar} が H より小さいときは、 E_2 は生じないものとする。したがって、 E_2 は(5)式を用いて次式のように算出できる。 $S_{Ar} \leq H$ のとき $E_2 = 0$ $S_{Ar} > H$ のとき $E_2 = 2BD(1-S)E_p = 2BD(1-S) \cdot a(S_{Ar}-H)^b$ (8)

E_3, E_6 は(4)式を用いて、それぞれ次式のように算出できる。

$$\left. \begin{aligned} S \leq Y_r \text{ のとき } E_3 &= 2B \int_0^S E_v dx = 2B C_1 (SD)^{d_1+1} / S(d_1+1) & E_6 &= 4H \int_0^S E_v dx = 4H C_1 (SD)^{d_1+1} / S(d_1+1) \\ S > Y_r \text{ のとき } E_3 &= 2B C_1 Y_r^{d_1+1} / S(d_1+1) + 2B C_2 / S(d_2+1) \cdot \{(SD)^{d_2+1} - Y_r^{d_2+1}\} + 2B k \cdot (D - Y_r / S) \\ E_6 &= 4H C_1 Y_r^{d_1+1} / S(d_1+1) + 4H C_2 / S(d_2+1) \cdot \{(SD)^{d_2+1} - Y_r^{d_2+1}\} + 4H k \cdot (D - Y_r / S) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

φ 材に適用するためには、形式的に次式のように定義される τ_0 を(9)式に掛ければよい。

$$\tau_0 = (\tau_{max} + P \tan \varphi) / \tau_{max} \quad \tau_{max}: \text{バーン試験より求める最大せん断応力} \quad (10)$$

E_5 は車体に付着した試料土と自然に堆積した試料土の間には τ_0 が働くものとして、次式のように算出できる。

$$S_{Ar} \leq H \text{ のとき } E_5 = 0 \quad S_{Ar} > H \text{ のとき } E_5 = 4 \int_0^{D(1-S)} \frac{\tau_0 (S_{Ar}-H) + (S_{Ar}-H)}{2} D dw = 2 \tau_0 D^2 (1-S) (S_{Ar} + S_{Ar} - 2H) \quad (11)$$

したがって、(1)、(2)式と(8)～(11)式を用いて $T_1 \sim T_6$ を算出できる。

8. 解析例 以上の解析法を用いて、偏心率 e を0.0, 0.05, 0.10, 0.15, 接地圧 P を0.01, 0.03, 0.05, 0.08, 0.10 kg/cm^2 , スリップ率 S を1.0より90%まで12通りとかえて解析を行なった。図4にスリップ率とけん引力の関係を示す。この地盤で図3に示す履帯モデルを使用した場合、最適接地圧は0.05 kg/cm^2 である。スリップ率30%までは、けん引力が急増するが、その後はほとんど増加しない。実際の履带式車輛は、スリップ率30%において最大けん引力が発揮できるものと考えられる。最適接地圧より高い接地圧では、 E_2, E_6 が大きくなって、急激にけん引力が減少し、0.10 kg/cm^2 では、けん引力が発揮できない。なお、偏心率の影響は、ほとんどみられなかった。次に、図5にスリップ率と各エネルギーの関係を示す。 E_3 はスリップ率とともに、直線的に増加する。一方、 E_4 はスリップ率20%までは、直線的に増加するが、その後は直線的に減少する。接地圧0.05 kg/cm^2 では、沈下量がグロース高さより小さいので、 E_2, E_5 はほぼ0であった。

9. まとめ 履带式車輛の走行性を判定する方法として、エネルギー解析を試みた。従来のC材に加えて φ 材にも拡張可能となったので、任意の地盤に対して平板載荷試験、バーン試験、履帯モデルのけん引試験から得られたせん断・沈下特性のデータを用いて、偏心率、接地圧、スリップ率が与えられたとき、けん引力を推定できるようになった。今回の解析では、 φ が小さく、その影響がほとんどみられなかったが、エネルギー解析により、種々の φ 材に対してけん引力特性を明らかにする所存である。

参考文献 1) 室達朗, 榎明潔, 古田真二, 赤坂雄司: 超軟弱地盤上の履带式作業車の牽引力, 土木学会第37回年次学術講演会, 3, PP.475-476, 1982

2) 室達朗, 榎明潔: 超軟弱地盤における履带式車輛の走行性能, 愛媛大学工学部紀要, 10巻2号, PP.329-338, 1983

3) R.N. Yong, H. Elmalouk and L. Della-moretta: Evaluation and prediction of energy losses in track-certain interaction, J. of Terramechanics, Vol. 17, No. 2, PP.79-100, 1980

4) 室達朗, R.N. Yong: 履带式雪上車の走行性—積雪面走行時のエネルギー解析—, 雪氷, 42, 2, PP.33-40, 1980

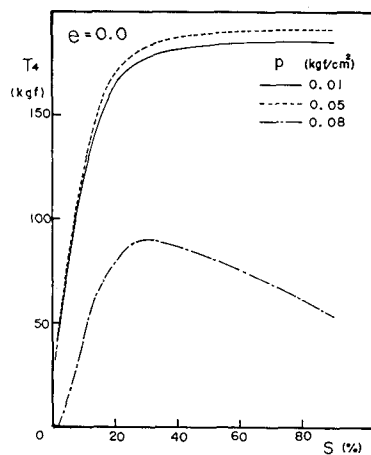


図4 スリップ率 S とけん引力 T_4 の関係

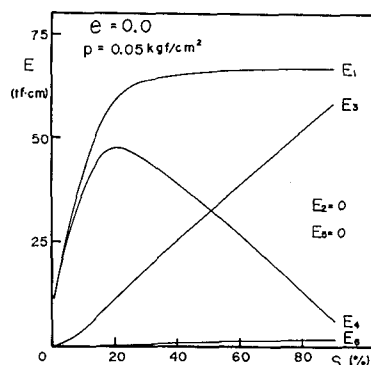


図5 スリップ率 S と各エネルギー E の関係