

超軟弱地盤上での履带式車両の牽引力特性

愛媛大学工学部 正員 室 達朗
愛媛大学大学院 学生員 ○尾本 清
愛媛大学工学部 学生員 柳楽 篤司

1. 序論 超軟弱地盤上において履帯モデル牽引実験を行い、グローサ間隔 G_p 及びグローサ高さ H が、牽引抵抗 F と沈下量 S に及ぼす影響を及ぼすかについて明らかにし、仮想車両においてエネルギー解析を行い牽引力特性を求めた。

2. 実験方法 試料土は粉末のカオリンと海水を4:5の重量比で攪拌し、試料土槽(250*10*45cm)で10日間自重圧密したもので表面において含水比101%となる。非排水強度 c_u (gf/cm²) は、地表面からの深さ方向 Z (cm) に対して $c_u = 0.210 \cdot Z$ の関係を持つ。履帯モデルは標準型で H を4.5~7.5cmの3通り、 G_p を5~40cmの6通り、接地圧 p を4~12gf/cm²の3通り、計54通りの組合せがある。牽引距離は20cm、牽引速度は0.5cm/secで一定とし、トルクセルで牽引抵抗を、スライド写真で沈下量を測定した。試料土槽と牽引装置を図1に示す。

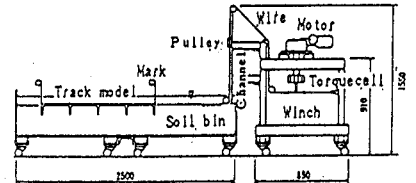


図1 試料土槽と牽引装置の概略

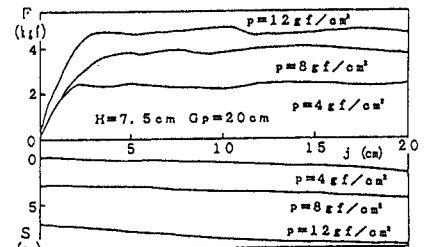


図2 牽引抵抗 F 、沈下量 S と牽引距離 j の関係

3. 実験結果と考察 (1) 牽引抵抗 F と牽引距離 j との関係を図2に示す。 F は j が2~3cmの間に急激に立ち上がり、その後はほぼ一定値に近づいてゆく。また、 p が大きくなると F も大きくなる。単位面積当たりの牽引抵抗 f を G_p/H によって整理すると図3に示される様に、 $G_p/H = 2.5 \sim 3.5$ の付近に f が最大値を示す関係が得られる。この原因は G_p/H の大小によるすべり線形成の相違から生じたものである。すなわち G_p/H が小さい時、すべり線はグローサ先端を結ぶ様に形成し、逆に G_p/H が大きい時、すべり線はグローサ前面に受働破壊すべり線を形成するからである¹⁾。(2) 沈下量は、すべり沈下量 S_s と初期沈下量 S_0 の和である。 S_s と j の関係を同図2に示す。 j が増えたと共に S_s も緩やかに増加している。初期沈下量 S_0 はグローサ付き平板貫入試験より算出するものとし、接地圧と沈下量の関係に平板の幅 b の効果を取り入れたBekkerの式を用いた。

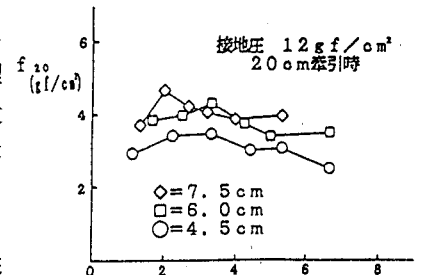


図3 単位面積当たりの牽引抵抗 f_{10} とグローサピッチ高さ比 G_p/H の関係

(3) 重回帰分析 f (kgf/cm²), S_s (cm), S_0 (cm) を、 p (kgf/cm²), j (cm), b (cm) の関数で表した。

$$f = (m_0 + p \cdot m_1) \cdot (1 - \exp(-a \cdot j)) \quad (1)$$

$$S_s = c_0 \cdot p^{c_1} \cdot j^{c_2} \quad (2)$$

$$S_0 = [p / (k\phi + kc/b)]^{1/n} \quad (3)$$

4. エネルギー解析 前述した重回帰式を用いて、想定した車両に作用する推進力と走行抵抗を算定し、有効牽引力、最適スリップ率、最適接地圧、諸エネルギー等を求めた。

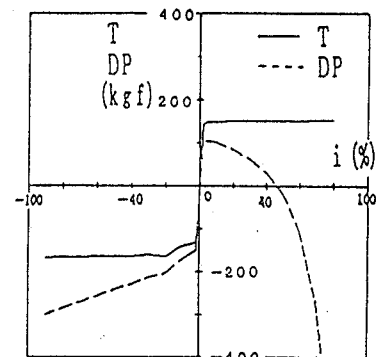


図4 推進力 T 、有効牽引力 DP とスリップ率 i の関係

偏心率は諸力のモーメントのつりあいから算定し、再び解析に使用することにより反復計算を行い精度を高めた。エネルギー解析の詳細については参考文献²⁾を参照されたい。適用例を以下に示す。〔車両形式〕 車両重量400kgf、主要部接地長200cm、履帯幅50cm、前輪半径30cm、後輪半径30cm、車両偏心率0.01、 $Gp=20\text{cm}$ 、 $H=7.5\text{cm}$ 〔土質定数〕 $m_c=0.00129\text{kgf/cm}^2$ 、 $m_r=0.2875$ 、 $a=0.664\text{cm}^{-1}$ 、 $c_a=1.06$ 、 $c_1=0.458$ 、 $c_2=0.955$ 、 $n=0.821$ 、 $k\phi=0.00201\text{kgf/cm}^{n+1}$ 、 $k_c=0.01080\text{kgf/cm}^{n+2}$

(1) 推進力、有効牽引力とスリップ率の関係を図4に示す。推進力は、駆動、制動状態ともスリップ率が約±5%以下になると急激に立ち上がる傾向を示す。有効牽引力は駆動状態においてスリップ率が45%を越えると、推進力より走行抵抗が大きくなり走行不可能となる。この原因は、1) a が大きいので、牽引力はすべり量が少ない内に急激にでる、2) すべり沈下量の式より、沈下量は、ほぼすべり量に比例して増大する傾向を持つ、等が考えられる。(2) 最適スリップ率における有効牽引力と平均接地圧の関係を図5に示す。この地盤上において車両は、最適接地圧 0.04kgf/cm^2 で最大有効牽引力 138kgf を発揮する。最適接地圧を越えると車両の沈下が著しく非効率であり、有効牽引力が減少する。また、接地圧が大きくなると最適スリップ率 i_{opt} が小さくなっており、この地盤の特性を表している。(3) 前輪、後輪沈下量とスリップ率の関係を図6に示す。制動状態に比べ駆動状態では、前輪沈下量と後輪沈下量の差が大きくなり、トリム角が増大する傾向を示している。(4) 各エネルギーとスリップ率の関係を図7に示す。各エネルギーが、駆動状態に比べ制動状態で非常に大きくなるのは、履帯が主要部接地長 D 移動したときのエネルギーで評価しており、スリップ量が大きいためにエネルギーも大きくなる。また図8に各エネルギーの駆動時の拡大図を示しており、これより有効牽引力エネルギー E_4 の最大値 $20550\text{kgf}\cdot\text{cm}$ を発揮する最適スリップ率は約1.6%であることがわかる。

5. 結論 標準型履帯モデルでは $Gp/H=2.5\sim 3.5$ の付近で牽引力は最大となる。エネルギー解析において想定した実車では、接地圧 0.04kgf/cm^2 、有効牽引力 138kgf で作業能力が最大となることが判明した。

参考文献 1) 畠昭治郎著：建設機械学、鹿島出版会、PP.81~83,1987. 2) 室達朗・河原莊一郎・尾本清：履带式車両の有効牽引力に関するエネルギー解析、愛媛大学工学部紀要、11巻 3号、pp.409~419, 1988.

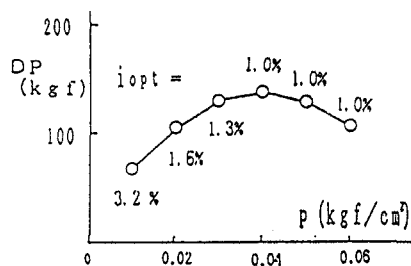


図5 有効牽引力DPと接地圧 p の関係

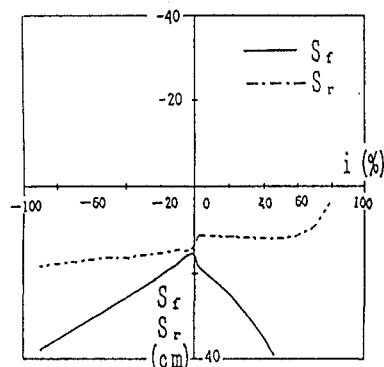


図6 走行中の前輪沈下量 S_f 、後輪沈下量 S_r とスリップ率 i の関係

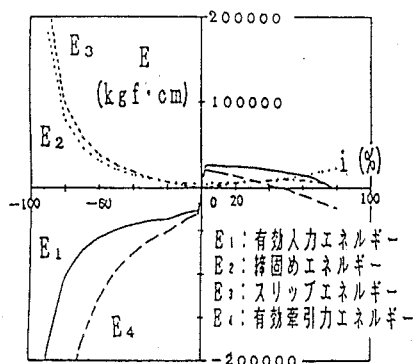


図7 各エネルギー E とスリップ率 i の関係

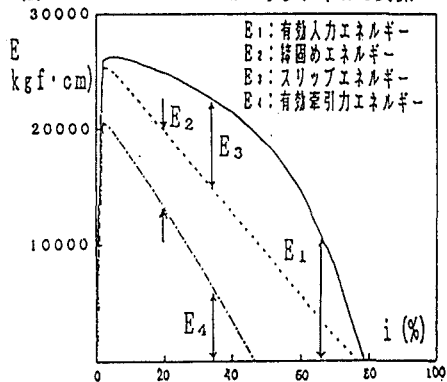


図8 各エネルギー E とスリップ率 i の関係