

(Ⅲ-37) 土と装軌車両の相互作用に関する研究

防衛大学校(学) ○森山直樹
防衛大学校(正) 木暮敬二
防衛大学校(正) 正垣孝晴

1. まえがき

装軌車両が発揮する推進力とその走行を阻害する走行抵抗は、土の性質に大きく影響される¹⁾。そのため、土と装軌車両の相互作用を明らかにすることは、装軌車両の走行性・作業性を解析するうえで必要である。本研究では土と装軌車両の相互関係にエネルギー則を用いて考察を行い、模型車両による実験結果と比較検討したものである。

2. 土と走行装置の相互関係

図-1は走行装置に作用する力を模式的に示したものである。車両の駆動力 $2F_i$ は、履帯の回転抵抗 $2F_r$ 、履帯底面での土のせん断力 $2F_{bs}$ 、履帯側面での土のせん断力 $4F_{ss}$ の合計であると考えられるので次のように表すことができる。

$$2F_i = 2F_{bs} + 4F_{ss} + 2F_r \quad (1)$$

一方履帯による土のせん断によって生じる土のせん断力の反力である推進力は $(2F_{bs} + 4F_{ss})$ である。また、走行を阻害する走行抵抗は $(2F_c + 2F_b + 4F_a)$ であり、外部に対してけん引力 F_o を発揮している。したがって装軌車両の水平走行に関する作用力の関係は次のように表される。

$$2F_{bs} + 4F_{ss} = F_o + 2F_c + 2F_b + 4F_a \quad (2)$$

この関係は、装軌車両が外部に対して有効に発揮するけん引力が推進力から走行抵抗を差し引いたものであることを表している。

3. エネルギー解析

3.1. 走行に関するエネルギー保存則

装軌車両の走行にエネルギー保存則を適用すると、走行装置に加えられたエネルギーと消費されたエネルギーは等しい。入力されるエネルギーは走行装置に加えられる駆動力によっている。一方消費されるエネルギーは二つに区分できる。一つは外部に対し有効な仕事として発揮するけん引エネルギー、他の一つは走行抵抗等によって無駄に消費される損失エネルギーである。2. で示した作用力に基づいて、走行に伴うエネルギー保存則は次のように表される²⁾。

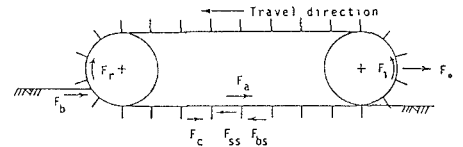
$$E_i = (E_o) + (E_c + E_b + E_s + E_r + E_{bs} + E_{ss}) \quad (3)$$

(3)式において左辺は入力エネルギーであり、右辺の第1項はけん引エネルギーおよび第2項は損失エネルギーである。

3.2. 各エネルギーの算定

各々のエネルギーの意味は表-1に示している。作用力を表-1の仮定を用いて推定し、各エネルギーを算定した。

またエネルギー単位として2種類の単位を用いた。一つは車両が単位距離走行する間の走行エネルギー(単位走行エネルギー) (kgf・cm/cm)であり、他の一つは単位時間当たりの走行



- F_i 1駆動軸の駆動力(kgf)
- F_o 走行車両のけん引力(kgf)
- F_{bs} 1本の履帯底面での土のせん断力(kgf)
- F_{ss} 1本の履帯側面での土のせん断力(kgf)
- F_b 1本の履帯当たりの床下抵抗(kgf)
- F_c 1側面での付着抵抗(kgf)
- F_r 1本の履帯の回転抵抗(kgf)

図-1 走行装置に作用する力

表-1 各エネルギーの意味・算定条件

エネルギー	エネルギーの意味	エネルギー算定のための仮定条件
入力エネルギー (E_i)	駆動力によって走行装置に加えられるエネルギー	
けん引エネルギー (E_o)	装軌車両の発揮しているけん引力によるエネルギー	
床下抵抗エネルギー (E_c)	履帯の床下による土の変形に消費されるエネルギー	履帯によって土が一様に圧下
排土抵抗エネルギー (E_b)	履帯前面の土を排土するために消費されるエネルギー	土を排土する履帯全面を平板とし、それに作用する受動土圧の水平力
付着抵抗エネルギー (E_a)	車体の一部に土が付着することで抵抗となるエネルギー	車両が圧下した床下で、接地長にわたって土と接触する
回転抵抗エネルギー (E_r)	履帯を単に回転させるために消費されるエネルギー	対象とする車両によって事前に測定が必要
底面せん断エネルギー (E_{bs})	履帯と土の間のせん断によって消費されるエネルギー	履帯下の接地圧分布を三角形分布に近似できる
側面せん断エネルギー (E_{ss})	履帯と土の間のせん断によって消費されるエネルギー	横方向の圧力分布を静止土圧、進行方向の接地圧分布は一定である

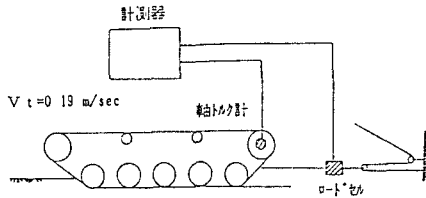


図-2 実験装置

表-2 模型車両の諸元

車両重量 W	38.2 kg
接地長さ L	43.8 cm
履帯幅 B	8 cm
クローラー高 H	0 cm
転輪数 N	5
履帯ピッチ p	2.0 cm
平均接地圧 P	0.11 kgf/cm ²

表-3 土のパラメータ

c	0.0 kgf/cm ²
ϕ	33.6 deg
r_s	0.1 kgf/cm ²
K_s	7.0
K_e	5.0
K_ϕ	0.06
n	1.00
G_s	2.79

エネルギー（単位時間エネルギー）（kgf・cm/sec）である。この2種類のエネルギー単位を用いて解析と考察を行った。

4. 実験方法

図-2は実験装置の概略を示したものである。模型車両の諸元は表-2、土のパラメータは表-3の通りである。車両の走行を制動部により制御して滑り率を変化させ、車両の発揮する推進力、けん引力を測定した。車両の履帯回転速度は $V_t=0.194\text{m/sec}$ である。

5. 解析結果と実験による考察

図-3は走行車両の滑り率 i に対する単位走行エネルギーのバランスを示したものである。実線部は各エネルギーの解析結果を示している。砂質土のため車両の沈下量が小さいので、沈下量が関係する $\bar{E}_c$ 、 $\bar{E}_b$ 、 $\bar{E}_s$ が小さくなることが分かる。スリップの全域にわたって、スリップに關係する $\bar{E}_{b0}$ 、 $\bar{E}_{s0}$ が損失エネルギーの大部分を占めている。また図から単位走行入力エネルギーは、単位走行けん引力エネルギーと単位損失エネルギーの合計であることがわかる。実験結果は、単位走行入力エネルギー $\bar{E}_i$ （□印）と単位走行けん引エネルギー $\bar{E}$ （○印）を解析結果と同じ図上にプロットしている。単位走行入力エネルギー $\bar{E}_i$ は解析結果と良い一致を示しているものの、単位走行けん引エネルギーは実験結果がわずかに小さくなっている。このことは沈下抵抗等の走行抵抗が推定値よりも大きく発生しているためであると考えられる。図-4は単位時間エネルギーのバランスを示したものである。解析結果（実線部）を見ると、単位時間当たりのエネルギーの消費割合がこの図から知ることができる。車両のスリップの増大に伴って、入力エネルギーのほとんどが $\bar{E}_{b0}$ の損失エネルギーによって無駄に消費されていることが分かる。図-5は滑り率に対するエネルギー効率を示したものである。この図から車両の効率のよい滑り率を知ることができる。解析結果（実線部）において、滑り率0.2付近で最も効率よくエネルギーを消費していることを示している。また実験結果（○印）とも良い一致を示している。

6. あとがき

この実験は多少単純化された砂質地盤上で行ったため、今回導入した6種の走行抵抗の発生が余り見られなかったものの、解析結果と実験結果は程良い一致を示している。今後沈下抵抗を中心とした走行抵抗の発生機構を詳細に検討する必要がある。

参考文献 1) Kogure, K. and Sugiyama, N.: A study of soil thrust exerted by a tracked vehicle, Jour. of Terramechanics, Vol. 12, No. 3/4, pp. 225~238, 1975. 2) 木暮ら, 土とクローラー式トラクターの相互作用におけるエネルギー解析の考え方, 土と基礎, Vol. 38, No. 4, pp. 13~19, 1990.

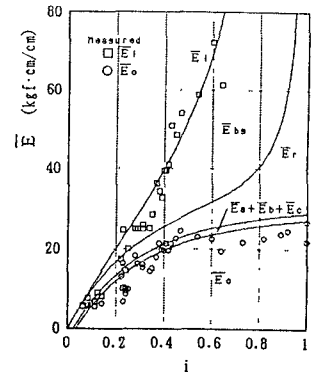


図-3 単位走行エネルギー $\bar{E}$ のバランス

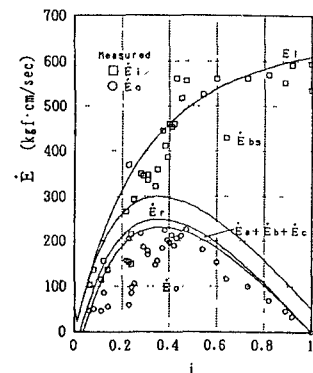


図-4 単位時間エネルギー $\dot{E}$ のバランス

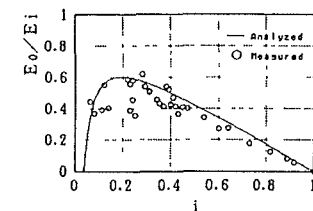


図-5 エネルギー効率