

34. フレッシュコンクリート上を走行する履带式車両の開発

愛媛大学：室 達郎，*平川 学
Tran Dang Thai, 田邊 明伸

1. はじめに

今日のコンクリート作業現場ではコンクリートの打ち込み後のならし作業や締固め、仕上げ作業等は現在も人の手によって行われておりその機械化、自動化が急がれている。しかしながらフレッシュコンクリートのような超軟弱な地盤では走行できる車両が存在せずその開発が急がれている。一方、履带式車両は車輪式車両に比べると、接地面積が広く接地圧が小さいため、より大きい牽引力が発揮でき、軟弱な地盤でも走行が可能である。従って履带式車両はフレッシュコンクリートのような超軟弱地盤で走行し、作業するには最適な車両とはいえ、その走行性能を明らかにすることは重要である。

そこで本研究では、フレッシュコンクリート上での履带式車両の走行性能を明らかにするため、接地圧 p を 0.048kgf/cm^2 と小さくした模型履带式車両を新しく開発し、スランプ 55 ～ 105mm のフレッシュコンクリート上で走行実験を行った。また、テラメカニクス¹⁾の走行理論からシミュレーション解析を行い、実験結果と比較検討を行った。

2. 模型車両走行実験

(1) 実験装置と実験方法

図-1、表-1 は今回製作した実験車両である。主な諸元としては、車両重量 W は 65kgf 、履帯幅 B は 20cm 、履帯接地長 D は 33cm で平均接地圧 p は 0.048kgf/cm^2 となっている。車両の動力は2個の電動モータであり、履帯周速度 V' は 1.0cm/s となっている。また供試地盤は、縦 150cm 、横 90cm 、高さ 30cm の土槽にスランプ 55、80、105mm の3通りに練り混ぜられたフレッシュコンクリートを充填し均して作成した。なお、本研究では、実験中の水和反応による硬化現象を避けるためセメントの代わりに粘土が配合してある。

実験方法は、周速度 V' 一定の車両をフレッシュコンクリート上で走行させ図-2 に示すように、後方からウインチで牽引を行い車両速度 V を制御させて行った。このときの測定項目

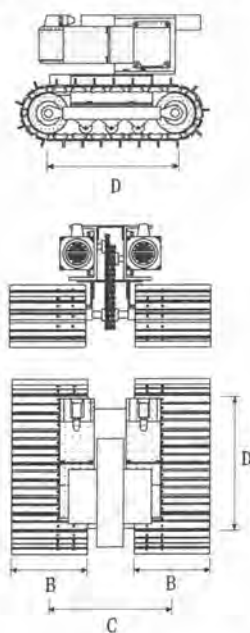


図-1 模型履带式車両

表-1 車両諸元

車両重量	W	65kgf
履帯幅	B	20cm
履帯接地長	D	33cm
平均接地圧	P_0	0.048kgf/cm^2
履帯間隔	C	33cm
前・後輪半径	R_1, R_2	5.4cm
下転輪半径	R_0	1.9cm
下転輪数		3
履帯周速度	V'	$0\sim 3.2\text{cm/s}$
車両重心偏心率	e	0.008

は、車両速度 V 、牽引力 T 、前・後輪沈下量 S_f, S_r と接地圧分布である。

(2) 実験結果

図-3 はスリップ率 i_s と牽引力 T との関係である。牽引力はスリップ率の増加とともに増加しており、スランプが減少すると牽引力は増加している。またスランプ 55mm ではスリップ率が 44% で車両重量 65kgf に対し 43kgf の牽引力が発揮されていることが分かる。

また、スリップ率 i_s と前・後輪部での沈下量 S_f, S_r の関係を図-4、図-5 に示す。前輪部での沈下量はスリップ率の増加とともに減少しており、スリップ率が大きくなると負の値をとっている。このことは車両の前輪部が地盤に対して浮いていることを示している。また、後輪部での沈下量は、スリップ率の増加とともに増加していることが分かる。前輪・後輪部ともスランプが増加すると沈下量も増加している傾向にある。後輪部の沈下量は、後輪半径 R が 5.4cm なのに対してスリップ率 40% 付近で最大約 5.5cm 程度となっている。

図-6 は自走状態 ($T=0$ kgf) における履帯下の接地圧分布である。接地圧は、スランプが小さくなるにつれて後方に分布する傾向にある。

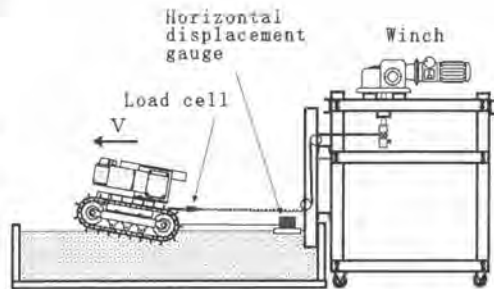


図-2 模型車両走行実験

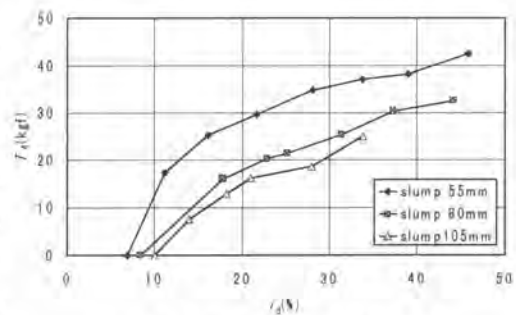


図-3 スリップ率 i_s と牽引力 T の関係

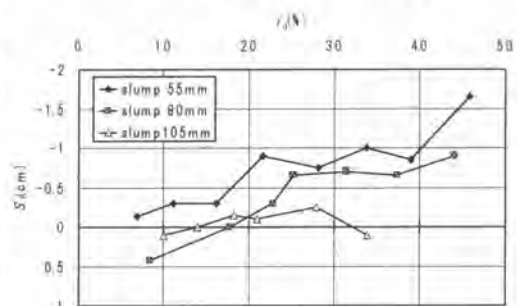


図-4 スリップ率 i_s と前輪沈下量 S_f の関係

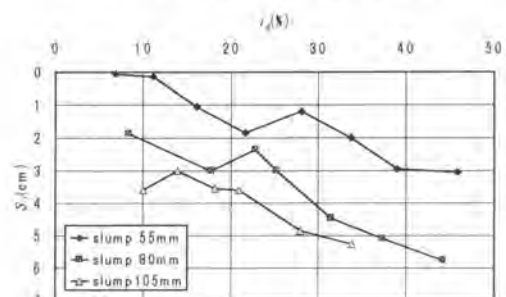


図-5 スリップ率 i_s と後輪沈下量 S_r の関係

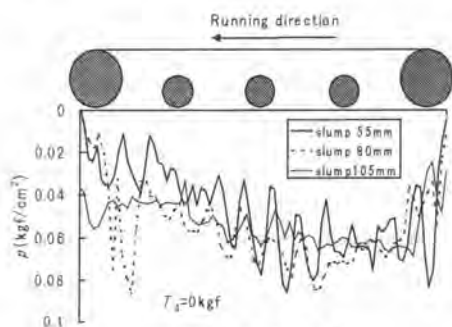


図-6 接地圧分布

3. シミュレーション解析

実験結果を理論的に検証していくために、スランプ 55mm のフレッシュコンクリート上で地盤-履帯系定数を求め、シミュレーション解析を行った。

(1) 地盤-履帯系定数

シミュレーション解析を行う前に表-2 に示すように、履帯と地盤間の動的・静的特性を把握するために履帯-地盤系定数¹⁾を決定した。静的特性は履帯モデルの載荷・除荷試験を、動的特性は引張り試験を行い次式から算出した。

$$p = k_1 S_0^{n_1} - k_2 (S_0 - S)^{n_2}$$

$$\tau = (m_c + m_t p) (1 - \exp(-a j))$$

$$S_s = c_0 p^{c_1} j^{c_2}$$

ここで、 p : 接地圧、 S_0, S : 静的沈下量、 S_s : スリップ沈下量、 τ : せん断抵抗、 j : スリップ量であり、 $k_1, m_1, k_2, m_2, m_c, m_t, a, c_0, c_1, c_2$ は地盤-履帯系定数である。

(2) 解析方法²⁾

図-7 は、地盤上を走行している車両に作用する諸力を示している。 T_1 : 駆動力、 T_2 : 締め抵抗、 T_3 : 推進力、 T_4 : 有効牽引力、 P : 地盤反力であり、 θ_{ti} : 車両トリム角、 β : 傾斜角である。

力の平衡式から T_1, T_2, P は以下のように算定される。

$$T_1 = T_3$$

$$T_4 = \frac{W}{\cos \theta_{ti}} - \frac{W \sin \theta_{ti}}{\cos \theta_{ti}} - T_2$$

$$P = \frac{W}{\cos \theta_{ti}} - T_3 \tan \theta_{ti}$$

ここで、 T_2 と T_3 は定数を用いて算定される。以上の式より、各スリップ率ごとに、 T_4, S_0, S_s ならびにエネルギー平衡式、接地圧分布を計算した。

(3) 解析結果と考察

図-8 はスリップ率 i_s と有効牽引力 T_4 との関係を示している。有効牽引力はスリップ率が増加すると増加し、スリップ率が 45% の時に最大値 40.5kgf を発揮している。また、シミュレーション結果と実験結果がよく一致している。

表-2 履帯-地盤系定数

Slump(mm)	55	
$k_1(\text{kgf/cm}^{n_1-2})$	0.1228	$r=0.99$
n_1	0.9248	
$k_2(\text{kgf/cm}^{n_2-2})$	0.1181	$r=0.84$
n_2	0.3186	
$m_c(\text{kgf/cm}^2)$	0.0174	$r=0.96$
m_t	0.2919	
$a(1/\text{cm})$	0.1840	
$c_0(\text{cm}^{(2c_1-1)-c_2} \text{kgf}^{c_1})$	8.0940	$r=0.97$
c_1	1.5560	
c_2	0.9070	

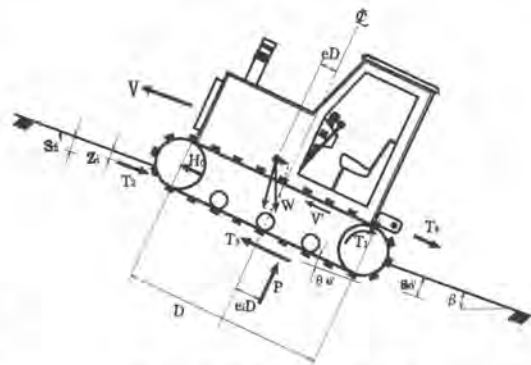


図-7 車両に作用する諸力

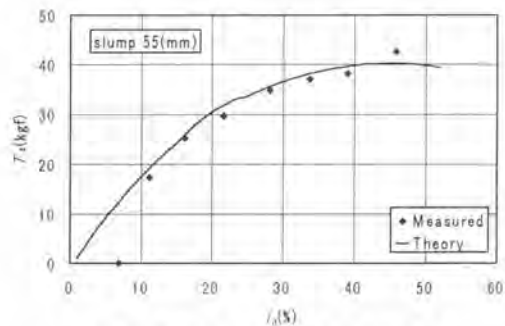


図-8 スリップ率 i_s と有効牽引力 T_4 の関係

また、スリップ率 i_s と前輪部での沈下量 S_f 、後輪部での沈下量 S_r の関係を図-9 に示す。スリップ率が増加すると、前輪沈下量は減少し、後輪沈下量は増加している。また前輪部はスリップ率が 10% を越えると負の値をもち、前輪が地盤から浮いていることを示している。

続いて、スリップ率 i_s とエネルギー平衡曲線との関係を図-10 に示す。 E_1 : 有効入力エネルギー、 E_2 : 締固めエネルギー、 E_3 : スリップエネルギー、 E_4 : 有効牽引力エネルギーである。 E_1 、 E_2 、 E_3 はスリップ率の増加とともに増加しているが、 E_4 は $i_s=29\%$ でピーク値をもち、最も効率よく駆動力が発揮されることが分かる。

最後に、自走状態での接地圧分布を図-11 に示す。シミュレーション結果では、前・後輪下ならびに下転輪下で接地圧が大きくなっている。しかしながら、実験結果では転輪下以外の所でも接地圧が大きくなっていることが分かる。このことは、下転輪下での垂直応力が他の履板に応力分散しているためだと考えられる。

解析結果より、履带式車両はスランプ 55mm のフレッシュコンクリート上を最適スリップ率 $i_{opt}=29\%$ で走行すると最適有効牽引力 $T_{opt}=36.6\text{kgf}$ で最も効率よく走行できることが分かった。

4. まとめ

以上のことより、接地圧 p が 0.048kgf/cm^2 の履带式車両においては、スランプ 55 ~ 105mm のフレッシュコンクリート上を実験的にも理論的にも効率よく走行が可能であることが分かった。今後は、旋回性能についても実験をしていきたい。

参考文献

- 1) 室達朗著：テラメカニックスー走行力学ー，技報堂出版，pp.133-234，1993.
- 2) T. Muro : Tractive performance of a bulldozer running on weak ground, Journal of Terramechanics, Vol.26, No.3/4, pp.249-273, 1989.

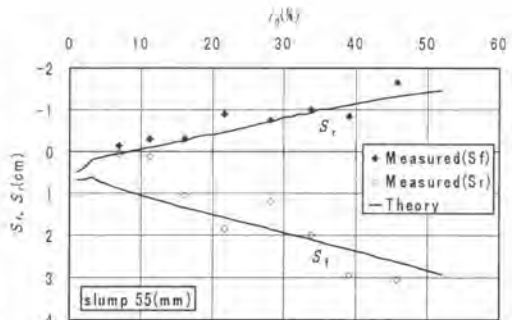


図-9 スリップ率 i_s と前輪沈下量 S_f 、後輪沈下量 S_r の関係

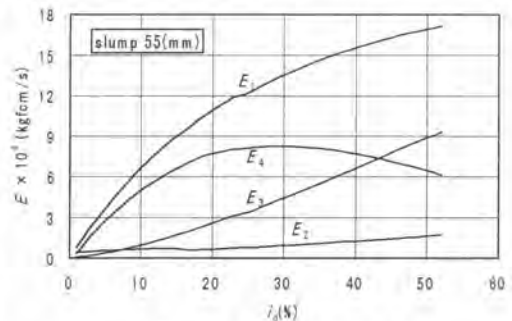


図-10 エネルギー平衡曲線

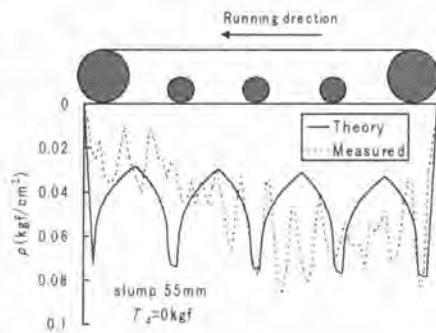


図-11 接地圧分布