

車輪重量がけん引性能に及ぼす影響

誌名	琉球大学農学部学術報告 = The science bulletin of the College of Agriculture, University of the Ryukyus
ISSN	03704246
巻/号	41
掲載ページ	p. 177-183
発行年月	1994年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



車輪重量がけん引性能に及ぼす影響

上野正実*・鹿内健志*

Masami UENO and Takeshi SHIKANAI : Effects of the weight of a wheel to the tractive performances

キーワード : 車輪重量 (接地荷重), けん引性能, けん引力, けん引効率

Key words : wheel weight, tractive performance, traction, tractive efficiency

Summary

A series of traveling test of a wheel was conducted by the use of a soil bin test apparatus which enable highly accurate experiments as a part of the study to make clear the tractive performances. Three levels of the wheel weight were chosen as test conditions with some levels of slip. Traction, torque, sinkage and traveling resistance composed of the traveling performances were discussed relating to the wheel weight and the slip. Although the maximum traction increased, the mean traction did not similarly change when the wheel weight increased. It is a cause that the traveling resistance increases accompanied with the wheel weight in consequence of sinkage of the wheel. As a result of such decrease of the mean traction, a tractive efficiency rapidly decreased more than 26% of slip. In this study, the values of tractive efficiency had a maximum one at 14% of slip in spite of the wheel weight and were almost same. The maximum values of the normal and tangential ground contact stresses took place slightly front position against to the vertical center line of the wheel. The angle of maximum stress increased with the increase of slip and had a minimum value at 14% of slip. We have mechanically interpreted a relationship between the angle of maximum stress and the tractive efficiency.

緒言

トラクタなど圃場機械の走行性の議論においては、けん引力が第一義的な検討課題となる⁴⁾。けん引力の発生には、車輪と土壌との間に発生するまさつやすべり、および、土壌の変形が大きく関与し、これらは相互作用と呼ばれている。したがって、車輪や土壌の各種因子とこれら相互作用との関連性を解明する必要がある。

*琉球大学農学部生物生産学科

琉球大学農学部学術報告 41 : 177~183 (1994)

本研究は、従来の実験装置に比べて、高精度な走行実験が可能な土槽実験装置を用いて、車輪走行性を構成する力学的データ（けん引力、トルク、沈下量など）とこれらに大きな影響を与える車輪重量（接地荷重）およびすべり率との関係を分析し、圃場機械の走行性の向上を図るための基礎資料を得ることを目的とするものである。

方法

1 実験装置の概要

走行実験に用いた土槽実験装置の構造を図1に示す^{1,2,3)}。本装置は、土槽、走行装置、計測システムおよび土壌充填装置から構成されている。本装置の特徴は、高精度の実験が可能である、接地荷重を一定に保てる、走行性に関連する多くの力学量を効率よく計測・解析できる、という点である。さらに、走行現象に関するコンピュータシミュレーション結果の比較・検証を行うために、平面ひずみ状態での実験が可能な構造とした。

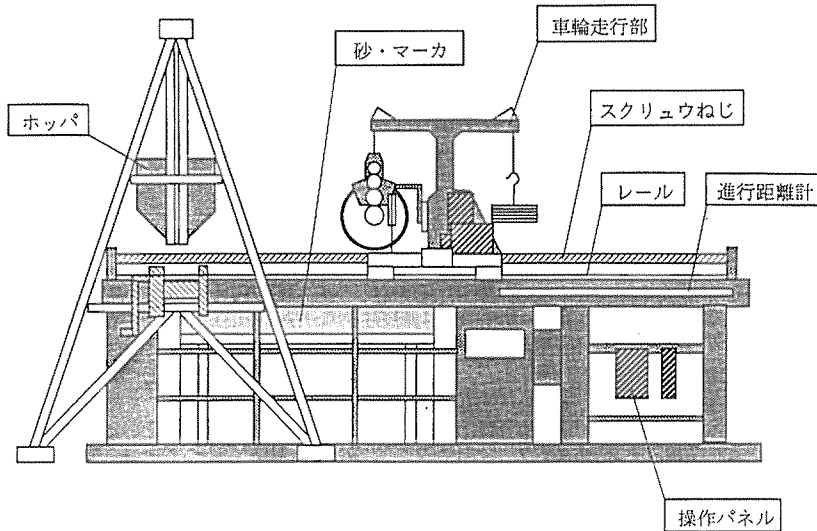


Fig. 1 A soil bin experimental apparatus for traveling test of a wheel

2 計測システム

けん引力は車輪と移動台車を連結するL型センサで、車軸トルクは車軸に設置したクロスゲージでそれぞれ検出した。また、各種ポテンシオメータにより車輪回転角、走行距離および車輪の沈下量を測定した。接地応力の接線および法線成分は車輪表面に装着したT型センサで測定した。土槽底面に設置した土圧計により車輪下の土中応力を検出した。これらはデータ収録装置内で増幅・AD変換後、パーソナルコンピュータに転送され、リアルタイムでグラフィック表示できる計測システムとなっている。

3 土槽

土槽の内寸は、長さ1888mm、幅414mm、深さ617mmで、深さは底面の位置を変えることで600mmの範囲内で任意に設定できる。側面は透明アクリル板になっており、車輪走行中の土壌の変形状態を観察できる。ここではアクリル内壁面に貼付した可動マーカを写真撮影し、座標読取装置を用いて写真上のマーカの座標を読み取り土粒子の変位を検出した。アクリル板がたわまないように、その外側を枠構造で支持した。

4 走行部

走行部は車輪走行装置と移動台車から構成されている。車輪走行装置は駆動モータ、動力伝達装置および車輪で構成されている。車輪の周速度は0～80mm/minの範囲で調節可能である。車輪走行装置はL型センサとリニアベアリングを介して移動台車に連結され、これにより、けん引力と接地荷重の測定ができる。リニアベアリングは車輪走行装置が上下動しても同じ姿勢を維持し、かつ、接地荷重を一定に保つ役割を果たす。車輪表面にはT型センサを埋め込み、接線および法線応力を測定した。

車輪は、直径300mm、幅412mmで、鉄輪の周囲を5mmの肉厚でゴムコーティングを施した剛性車輪である。車輪質量は約82kgであるが、カウンターウェイトにより、接地荷重は任意に設定できる。車輪走行装置の上部にはステッピングモータおよび減速装置を登載し、車軸までの間に歯車装置を設けて車輪を駆動する。

移動台車は土槽の左右壁上に平行に装着された二本のスクリーねじおよびステッピングモータにより、0～80mm/minの範囲で移動でき、車輪の回転速度に対してすべり率を任意に設定できる。

5 供試土壌と土層の作製

土槽へ土壌を均質に充填するために、空中落下法を用いた。これは、ホッパ、ホッパ昇降装置、ホッパ移動用レールおよび充填後の土壌表面の敷き均らし装置を用いて、ホッパより土壌を散布することによって行った。供試土壌は、土質試験などでよく使用され、力学的性質が知られている豊浦標準砂を用いた。風乾状態の標準砂を、ホッパを水平にゆっくり移動させながら一定高さ(800mm)から多重メッシュを通して撒き出し、表面を均平にして土槽を作成した。多重メッシュによって供試土が十分に分散されるために、空隙比0.61程度に調製できた。

6 実験条件

本研究では、すべり率を1.8%、14%、26%、41%、51%、71%に設定し、それぞれについて接地荷重を20kgf、40kgf、60kgfと変化させた実験を行った。

結果と考察

1 けん引性能

(1) 計測データの例

すべり率14%、接地荷重20kgf設定における計測データを図2に示す。同図には、けん引力、トルク、沈下量、接地荷重、法線応力、接線応力が表示されている。ここで、けん引力の最大値を最大けん引力、トルクの最大値を最大トルク、沈下量の最大値を最大沈下量、また、けん引力の定常状態における平均値を平均けん引力、その状態でのトルクのアVERAGEを平均トルクと呼ぶ。

(2) けん引力

図3に接地荷重20kgfにおける回転角とけん引力の関係をすべり率毎に示す。最大けん引力が発生する回転角は、すべり率が大きくなる程、回転初期に移動する傾向がみられる。

図4はすべり率と平均けん引力の関係を表示したものである。同図よりわかるように、平均けん引力は、接地荷重が増加するに伴って大きくなっている。ただし、接地荷重40kgfと60kgfでは、平均けん引力にそれほど大きな差はみられず、接地荷重の増加はけん引力の増加には単純につながらないことが

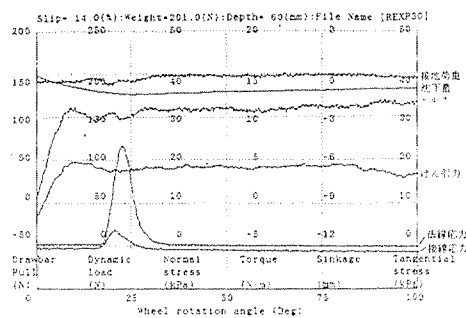


Fig. 2 An example of measured data

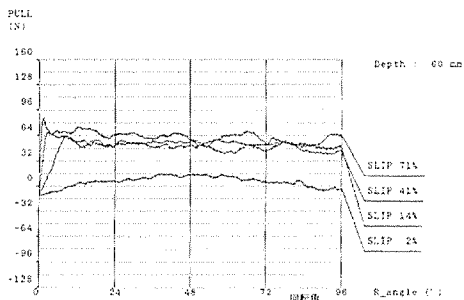


Fig. 3 Traction (pull) with the rotation of a wheel

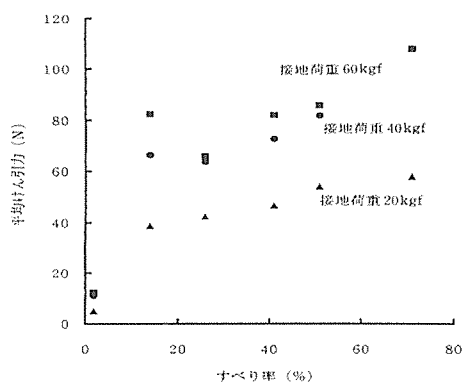


Fig. 4 Relationship between the slip and the mean traction

わかる。また、平均けん引力は、すべり率の増加に伴って最初急激に大きくなり、すべり率26%付近で一旦減少し、その後、再び増加している。図5にすべり率と最大けん引力の関係を示す。最大けん引力については、すべり率、接地荷重の大きさに伴って単調に増加する傾向がみられ、平均けん引力の場合とはかなり異なっている。

車輪の接地荷重を大きくすると、沈下により接地面積が増え、まさつおよびせん断抵抗が大きくなり、推進力が増加する。一方、沈下量が増えるために、車輪前方の土壌の乗り上げ・変形抵抗が増加

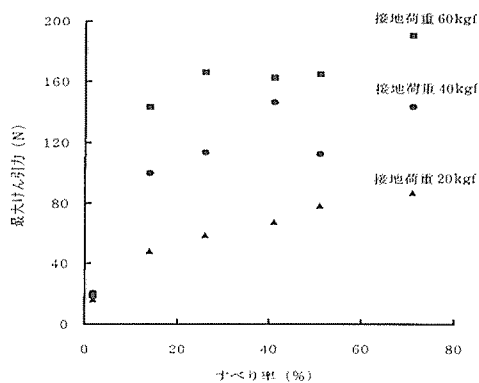


Fig. 5 Relationship between the slip and the maximum traction

し、これが走行抵抗となる。けん引力は、推進力と走行抵抗の合力であるが、これらは向きが逆であるので、けん引力は推進力より小さな値となる。このため、接地荷重を増加させても、けん引力はある程度以上は増加しないことになる。このことは図4において、接地荷重40kgfと60kgfの平均けん引力に大きな差がなかったことに対応している。

他の条件が同じなら、走行抵抗の大きさはこのように沈下量に大きな影響を受ける。後述するように、すべり率が大きいと車輪の沈下速度が大きいために、沈下の少ない回転開始直後が走行抵抗は最も小さい。この状態では、土壌の変形の関係で推進力も大きいために、この状態で最大けん引力が発生する。すべり率が大きいほど沈下速度も増加するため、最大けん引力が発生する回転角は小さい方に移動する。一方、平均けん引力は、沈下による走行抵抗の影響を受けるため、すべり率、接地荷重を増加させてもあまり変化しなくなる。しかし、最大けん引力は沈下の影響が少ないために、すべり率、接地荷重の増加に伴い大きくなる。

(3) トルク

図6にすべり率と平均トルクの関係を示す。平均トルクはすべり率、接地荷重の増加に伴って大きくなる傾向が明瞭に表れている。この傾向は最大トルクとすべり率の関係についても同様であった。

(4) 最大沈下量

図7はすべり率と最大沈下量の関係を表示したものである。これよりわかるように、最大沈下量は、すべり率および接地荷重の増加に伴って大きくなる。

(5) 走行抵抗

図8にすべり率と走行抵抗の関係を示す。すべり率の増加に伴う走行抵抗の増加は、接地荷重によ

て異なる傾向がみられる。接地荷重20kgf および 40kgf では、その増加はわずかであるが、60kgf においては顕著で、特に、すべり率26%以上において急激である。

(6) けん引効率

けん引性能の議論において、車軸から土壌に入力されたエネルギーの内けん引に有効に利用されたエネルギーの割合、すなわち、けん引効率が用いられる。この値の大小でけん引性能の一端を把握できる。例えば、すべり率100%ではけん引力は大きいが進行しないので、けん引エネルギーならびにけん引効率は零となる。入力エネルギーの内、無効成分は土壌の変形やまさつ熱として拡散する。

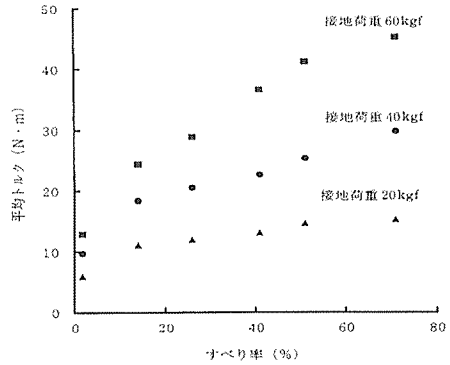


Fig. 6 Relationship between the slip and the mean torque

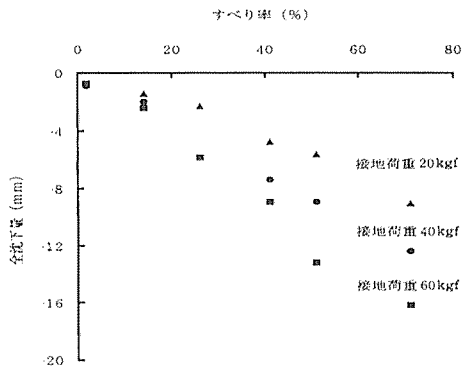


Fig. 7 Relationship between the slip and the settlement

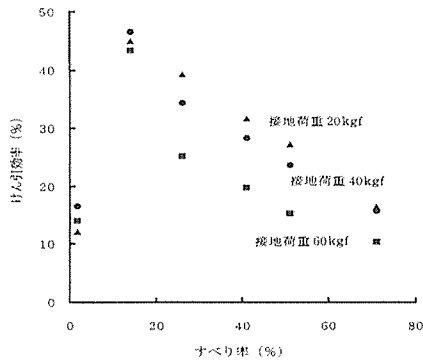


Fig. 9 Relationship between the slip and the tractive efficiency

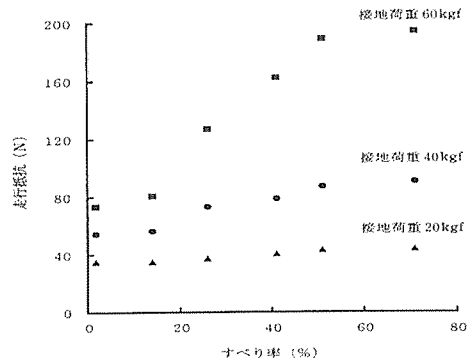


Fig. 8 Relationship between the slip and the traveling resistance

図9にすべり率とけん引効率の関係を示す。いずれの接地荷重においても、すべり率14%において、けん引効率は最大値を示している。それ以上のすべり率では、けん引効率は大きく低下するが、接地荷重が小さいほど低下の割合は小さい。なお、すべり率14%におけるけん引効率は、接地荷重の差にかかわらず、ほぼ同じ値を示している。これは偶然なのか、力学的な根拠があることなのか、現時点では不明であるが、興味深い現象である。

図8に示した走行抵抗は、前述のように、接地荷重60kgfにおいて、すべり率26%以上から急激に増加している。これが、図3に示したように、この状態で平均けん引力があまり大きくなりえないことの原因であり、けん引効率を急速に低下させている主因であると考えられる。

2 接地応力

(1) 接地応力の分布例

接地応力の水平成分をその分布領域に沿って積分すれば、けん引力を求めることができる。したがって、分布形状および接地領域がけん引性能に大きな影響を与える。接地領域は沈下量と車輪近傍の土壌

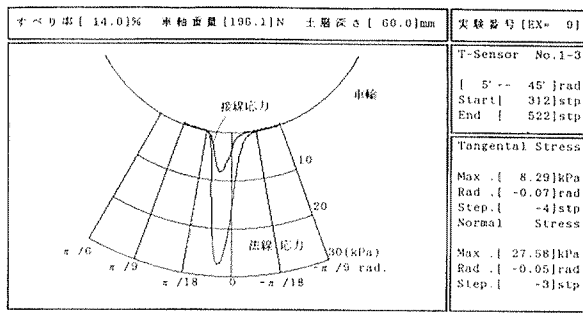


Fig. 10 Distribution of normal and tangential stresses at the contact surface

の変形状態によって決まる。すなわち、接地荷重やすべり率が接地応力分布に大きな影響を及ぼす由縁である。

本研究で得た接地分布の例を図10に示す。法線応力および接線応力いずれも接触開始後、急速に増加し、鉛直中心線より前方でピークを示し、その後、比較的緩やかに減少する傾向が見られる。それぞれの応力のピーク値を最大応力と呼ぶ。

(2) 最大法線応力

図11にすべり率と最大法線応力の関係を示す。また、図12はすべり率と最大法線応力の発生角の関係を示したものである。これらより、最大法線応力が接地荷重の増加に伴い大きくなるのは当然であるが、いずれにおいても、すべり率が増加するとその値は低下する傾向が見られる。これは、同じ接地荷重では、すべり率が高いほど沈下量が増え、接地面積が広くなることに対応している。最大法線応力の発生角は、すべり率14%の時が最も小さく、すべり率が高くなると発生角はほぼ直線的に増加する傾向が見られる。すなわち、車輪鉛直中心線より前の方が最大応力が発生し、すべり率14%の場合がもっとも中心線に近い。

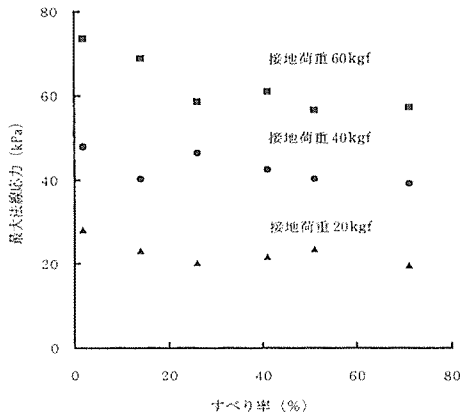


Fig. 11 Relationship between the slip and the maximum normal stress

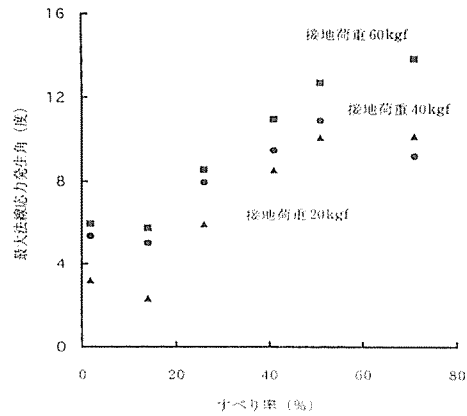


Fig. 12 Relationship between the slip and the angle occurred maximum normal stress

(3) 最大接線応力

図13にすべり率と最大接線応力の関係を、図14にはすべり率と最大接線応力の発生角の関係を示す。最大接線応力も接地荷重の増加に伴って大きくなっている。接地荷重20kgf 以外ではすべり率の増加に伴って14%までは急速に大きくなり、それ以降はほとんど変化しない傾向が見られる。これらの関係はけん引力とすべり率の関数に類似しており、接線応力とけん引力の関係が深いことを示している。最大接線応力の発生角は、最大法線応力のそれと同様に、すべり率14%で最小値を示し、それ以上のすべり率ではほぼ直線的に増加している。ただし、すべり率71%では、その傾向がやや崩れており、発生角の増加には限界があることが窺える。

(4) 最大応力の発生角について

図12および14よりわかるように、最大接地応力の発生角とすべり率の関係はいずれも類似のパター

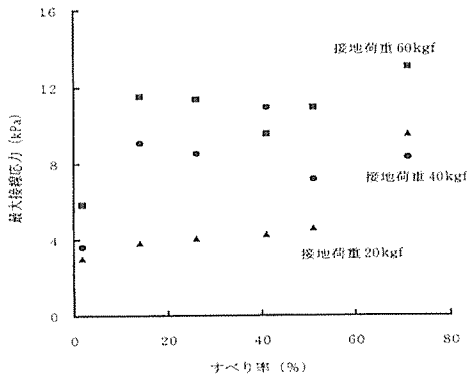


Fig. 13 Relationship between the slip and the maximum tangential stress

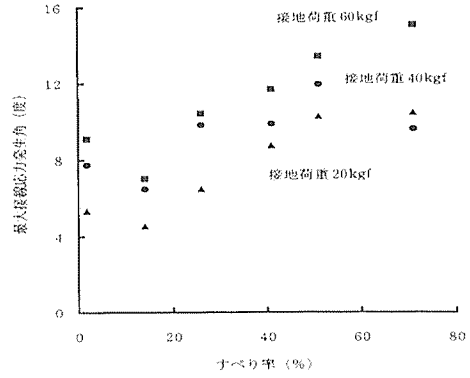


Fig. 14 Relationship between the slip and the angle occurred maximum tangential stress

ンを示した。すなわち、すべり率14%において発生角は最小となった。ここで、すべり率とけん引効率の関係(図9参照)を再度ながめると、すべり率14%でけん引効率は最大値を示している。発生角が小さいということは、前述のように、車輪直下付近で最大応力が発生していることを意味する。この時、最大接線応力はほぼ水平方向を向くことになる。したがって、けん引力に転換される接線応力の割合が非常に高いことになる。これが、けん引効率がすべり率14%でもっとも高い理由である。さらに、最大応力の発生角が大きくなれば、けん引効率が低くなることも説明できる。

摘要

車輪のけん引性能を明らかにする研究の一環として、精度の高い実験が可能な土槽実験装置を用いて車輪走行実験を行った。本研究では、車輪重量すなわち接地荷重の影響に注目し、3水準の接地荷重を設定し、それぞれに対して一連のすべり率を与えた。その結果より、最大けん引力、平均けん引力、最大トルク、平均トルク、沈下量、走行抵抗など走行性を構成する力学量とすべり率および接地荷重の関係を分析した。接地荷重を大きくすると、最大けん引力はいずれのすべり率でも大きくなるが、平均けん引力は同様には増加しないことがわかった。これは接地荷重による沈下量の増加によって走行抵抗も大きくなることに起因し、その結果、けん引効率の低下を招く。けん引効率は本研究の実験条件の中ではすべり率14%が接地荷重の大きさにかかわらず最大であった。これと接地応力の最大値の発生角との関係について力学的な解釈を与え、けん引性能の一端を明かにできた。

参考文献

1. Hashiguchi, K., Nohse, Y., Ueno, M., Sumiyoshi, K., Uchiyama, K. and Yoshimaru, T. 1993 Traveling performance of a wheel on a finite thickness ground, Proc., of the ISTVS, Vol. 1 : 332~339
2. Nohse, Y., Hashiguchi, K., Ueno, M., Shikanai, T. and Koyama, F. 1991 A measurement of basic mechanical quantities, J. Terramechanics, 28(4) : 358~370
3. 上野正実, 橋口公一, 泉裕巳, 後藤春樹, 能勢行則, 鹿内健志 1994 ゴム皮膜車輪の走行性に関する研究, 九大農芸誌, 48(3・4) : 263~272
4. Wismer, R. D., Luth, H. J. 1973 Off-road traction prediction for wheeled vehicles, J. Terramechanics, 10(2) : 49~61