

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2690号

土木研究所資料

建設機械の走行性改善に関する調査

平成1年2月

建設省土木研究所
機械施工部・機械研究室

Copyright © 1989 by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は、一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設機械の走行性改善に関する調査

室	長	長 健次
機械研究室	室	長 沢田茂良 ¹⁾
室	長	伊藤豪誠 ²⁾
室	長	樋下敏雄 ³⁾

主任研究員 太田 宏⁴⁾
研究員 吉田 正⁵⁾
前田孝司⁶⁾

要 旨

本調査は、ブルドーザなどの履带式車両における走行性改善を図ることを目的とした調査である。

軟弱地盤を中心に各種地盤上での走行特性を推定する手法として、地盤条件や負荷による履帯の接地圧力の分布形態の変化を把握する方法を検討し、提案した。また、新しい形状の履帯装置を考案・試作し、実機及び模型試験装置によりその性能の確認を行った。これらの検討内容、試験結果をまとめたものである。

キーワード：履帯，けん引性能，ブルドーザ，軟弱地盤，走行性

- 注 1) 前 建設大臣官房付， 2) 現 四国地建四国技術事務所長
3) 現 関東地建関東技術事務所長
4) 現 建設経済局建設機械課課長補佐
5) 現 中部地建中部技術事務所 機械課長
6) 現 北陸地建長岡国道工事事務所湯沢出張所機械係長

ま え が き

建設工事には土工事の占める割合が多いが、施工現場の地盤（土質）の状態は必ずしも良好とは限らず軟弱地での施工例も多い。履带式車両は、車輪式車両に比べて一般に不整地の走行性能が良く、泥地などの軟弱地でも車両の接地面積を広げ接地圧力を低くすることで、走行や作業を行うことができる。このため、現在ブルドーザなどでは圧倒的に履带式が多く使用され、ブルドーザは、履带式車両の代表的な機械とされている。

これら履带式車両の走行性能に関して過去には、通常の硬い地盤上の接地圧力分布や推進力に対する履帯の形状の影響などについて研究が行なわれており、一応の結果が出されている。しかし近年、施工現場が多様化し、軟弱な地盤上で行う作業が多くなり、この場合の車両の走行可能性と作業能力が問題となっている。軟弱地盤上での性能については、車両の重心位置・懸架方式・履帯の形状や連結方法などが大きく影響することや、これらの要因の他に地盤を形成する土の性質も加わるため、今だ解明、把握されていない点が数多く残されている。

本調査は、履带式車両の各種地盤上での走行性能を推定する手法を検討するとともに、軟弱地盤上の走行、作業に適した履帯装置の改良を図ることを目的として昭和55年度から昭和58年度に調査を実施したものであり、本報告は、履带式車両の走行性能の重要な要因と思われる履帯の接地圧力に関して、地盤条件や負荷による分布形態の変化などを把握し、接地圧力分布から、車両の発揮することができるけん引力などの走行性能を推定する手法について検討した結果並びに、軟弱地の走行性能を改善させるべく考案した新しい形状の履帯装置についてその性能の確認を行なったものである。

目 次

まえがき	
1. 履带式車両の走行性能	1
2. 接地圧力分布	3
2. 1 接地圧力の測定方法	3
2. 2 履板ロードセル	5
2. 3 試験車両の仕様及び重心位置	8
2. 4 試験方法	11
2. 5 試験地盤	15
2. 6 接地圧力の測定結果	16
3. 新形履帯装置の開発	25
3. 1 新形履帯の構造	25
3. 2 新形履帯の性能	29
(1) 試験方法	29
(2) 模型試験結果	33
(3) 実大試験結果	37
4. けん引性能予測	40
4. 1 けん引性能予測式	40
4. 2 予測式の検証	45
あとがき	48
参考文献	49
参考資料	51

1. 履带式車両の走行性能

履带式車両は、車両のこれから走ろうとする地盤上に履帯を敷き、履帯を通じ走行に必要な反力を得て走行するものである。この時に地盤が硬く平滑であれば、履帯はあたかも地盤上に敷かれた一種のレールとなり、この上を車両は走ることができる。しかし、地盤が軟く均一でなかったり、車両重量に対して地盤の強度（支持する力）が弱い場合には、履帯のある一部分だけ沈下量が大きくなり履帯の作るレールが凸凹になったり、ひどい場合には車両の全長にあたり沈下量が増大し、走行不能になることもある。以上のように履带式車両は、地盤上に敷かれた履帯から反力を受け走行するもので、この時の履帯と地盤の接触部を単純化してみると図1.1に示すように考えることができ、(a)のように車両が走行するために必要な推進力 F が地盤と履帯の間で発揮する抵抗 N よりも小さければ、履帯は地盤に対して静止した状態で車両が前方へ走行することができる。

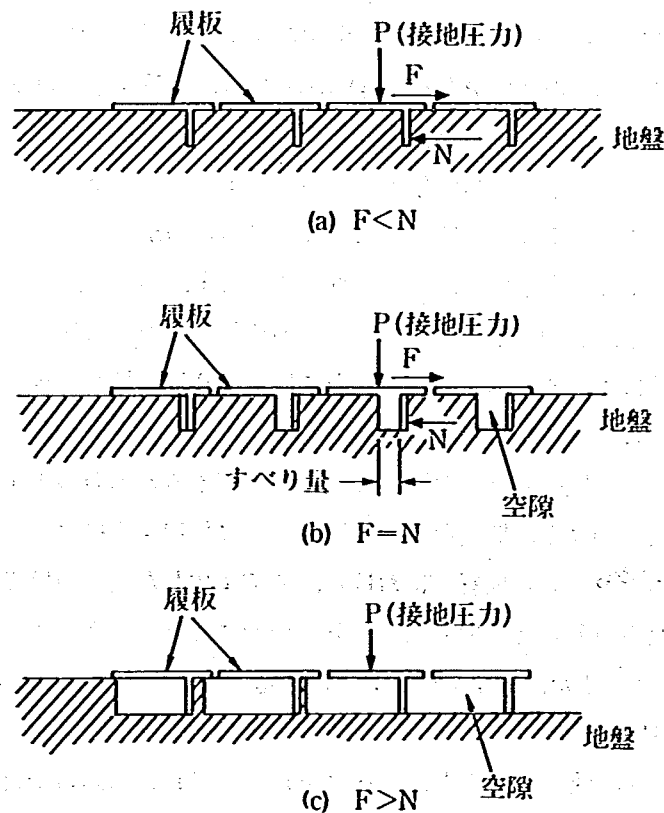


図1.1 履帯と地盤の関係

しかし、車両に作業時の負荷などが加わり走行に必要な推進力 F が大きくなっていくと(b)に示すように地盤と履帯は徐々にすべるようになり、推進力 F と抵抗 N がつり合う状態で履帯のすべりは停止する。また(c)のように、地盤と履帯の間で発揮できる抵抗より推進力が大きくなった場合には、履帯は完全にスリップしてしまい車両は停止したまま履帯だけが回転してしまう状態になる。実際のブルドーザなどの走行では図1.1(a)のように履帯がまったく滑ることのない状態は非常に特殊な場合でしか考えられず、岩盤上で作業している時でも推進力が履帯と岩盤間の摩擦抵抗以上になると、図

1.1(c)の状態と同様にスリップが発生し履帯のみが回転し走行できなくなる。本調査の対象である軟弱地盤上などでは特に強度の弱い地盤が多いため、わずかな推進力の増加でも図1.1の(a)から(c)の状態に移行してしまうと思われる。以上のように、履带式車両では動力源であるエンジンなどの出力がいくら大きくとも、地盤と履帯の間で発揮できる力以上では履帯がスリップし、動力のロスとなる。このため車両の発揮できる推進力は、地盤と履帯の接触部で決まり、最大推進力はその合計であると言えると思われる。

履带式車両の走行性能とは、地盤が車両を安全に支持できるかどうか（フローテーション）と走行や作業に必要な推進力を車両と土の接点で発揮することができるか（トラクション）の2つに大別して考えることができる。

フローテーションの問題としては、車両の運行に影響を与える沈下量がどの程度であるかで、これには履帯が車両の重量で沈下する量（車両が停止している状態ですでに沈下している量—ここでは以下「静的沈下量」と言う）と車両が走行する時に駆動輪から履帯に水平方向に伝えられる駆動力のために、履帯と地盤の間に生じるすべりとともに発生する沈下量（履帯のすべり変位と同時に生じるため以下「すべり沈下量」と言う）の2つがある。静的沈下量は、地盤状態のほか履帯の寸法、形状と、履帯下の地盤に伝えられる接地圧力などで決まる。この接地圧力は車両の重量、重心位置、懸架機構などと地盤の強度によって、履帯全長への分布形態が変化する。このため、これらの各要因が車両の走行、作業などの各状態でどのように接地圧力に影響しているのか知る必要がある。しかし、軟弱な地盤上での接地圧力に関する調査はほとんど実施されておらず、不明な点が多い。車両走行時に起こるすべり沈下量についても、静的沈下量と同様に地盤の状態と履帯の形状、接地圧力の大小などによって定まると思われ、特に強度的に弱い軟弱地盤上ではすべり沈下量が大きくなると思われるが、これについては、現在正確に把握されていない状態である。

トラクションの問題は、履帯と地盤の間（接点）で発揮する推進力の大小であるため、地盤の状態以外に履帯の形状や突起の高さ、間隔などの要因と履帯に作用する接地圧力の影響が考えられる。過去に実施された通常の地盤（硬い地盤）における、モデル化した履帯のけん引試験では、シングルグロウサシューの突起高さ（ h ）と突起の間隔（ P ）の間には $P = (3 \sim 4) h$ で推進力が最大となる結果が示されている。¹⁾ また、トラクションでは推進力と車両のスリップの程度の関係も重要である。これは、前述の図1.1の部分で述べたように車両の発揮できる推進力は、履帯がすべることである程度までは増大するためである。しかし、すべり量が大きければ車両の走行速度は低下し、動力のロスとなることや、作業現場などで同一場所を何回もくり返し走行するためには、地盤を極力みださないうように、同一推進力を発揮するためのすべり量は少ない方が望ましい。また車両の走行性能には、これ以外に、履帯上を下部ローラなどが通過するときの揺動の大小、地盤から受ける走行抵抗や履帯の土ばなれなども含まれてくる。

以上のように、履带式車両の走行性能を把握するためには、まず第1に履帯に加えられる垂直荷重である接地圧力の分布形態を把握するとともに、地盤と履帯の間で発揮する推進力と、接地圧力、履帯の形状の関係などについて検討する必要がある、以下にこれらの関係について実測した結果を示すものである。

2 接地圧力分布

2. 1 接地圧力の測定方法

接地圧力は、地盤と車両間の接点における値であるため、測定する位置から見た場合、地盤(地中)側から測定する方法と車両(履板・履帯)側から測定する方法が、検出する値として、圧力又は荷重として測定する方法が考えられる。これらの測定位置及び検出値の組合せから、接地圧力の測定方法としては、①地盤に埋設した土圧計で地中の圧力を測定する方法、②履板に取り付けた圧力計で地盤と履帯の接触圧力を測定する方法、③地盤から履板に加わる力をロードセル等で測定し接地圧力を算出する方法に分けることができると思われる。これら3つの測定方法の得失について、本調査の中で測定した結果も合わせて比較すると、①については、地盤に圧力計を埋設するだけで良いため測定が容易に実施できるが、地中の圧力を測定するために、地盤の種類(土質など)によって、その伝達が異なり同一荷重が加わっている場合でも、測定値が変わることがある。また、測定する位置が地表面から深くなると地盤の荷重分散効果のため、車両と地盤の接触部における圧力値と異なった値になる。さらに、図2.1(a)に示すように、車両の中間部分に土圧計がある時には、上方から垂直に加えられている荷重以外に左右方向からも荷重が加わっており、(b)に示すように履板の水平方向の荷重分散もあるため、接地圧力を正確に把握することは困難であると思われる。

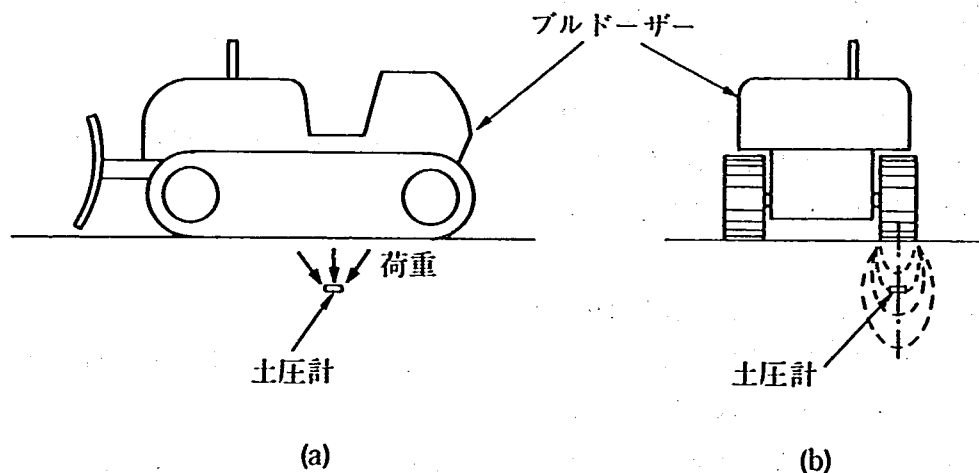


図2.1 土圧計による接地圧力測定

ブルドーザーの走行時の地中土圧測定例を図2.2に示す。当然のことであるが、土圧計の埋設深さが増すほど土圧は低下していき、深い位置の土圧計では車両の前後でも圧力が発生している。また、埋設位置を浅くした場合には、走行時履板のグロースなどから地盤に伝えられる推進力(横方向に加えられる荷重)によって影響を受けること、軟い地盤では、測定中に埋設した土圧計が移動することがあるため車両との相対位置が変化してしまう欠点をもっている。本調査で実施した粘性土地盤(後述する粘性土地盤D)上の測定例においては、片側の履帯の中心線の直下に埋設した土圧計を20回程度走行を繰り返した後掘り起こしてみたところ、土圧計は横方向へ40~50cmも移動してしまっていた。

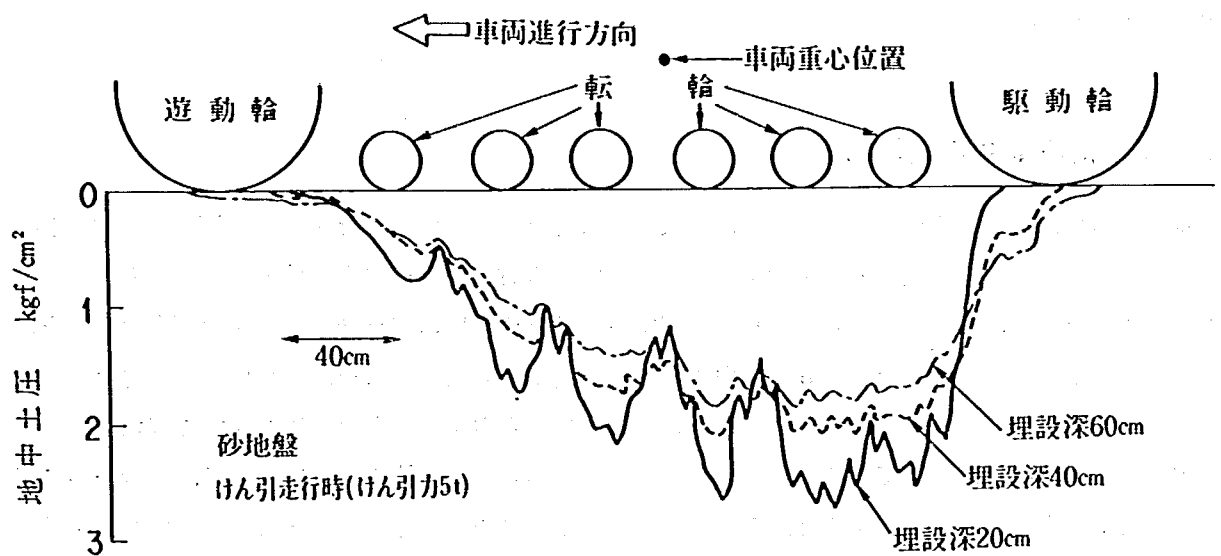


図2.2 地中土圧測定例

②の場合は、履板に小型の圧力計を取り付けるため、履板といっしょに圧力計も回転する、このため、出力の取出に注意が必要である。また、履板に取り付けた圧力計が常に地盤と接している時には良好であるが、履板にグローサなどの突起があると圧力計の取付位置によっては図2.3に示すように圧力計が浮いていたりして地盤との接触状態が一定とならないことがあり、結果の再現性に乏しい。しかし、現在、圧力計は小形化されており履板への取り付けは容易に可能であると思われる。

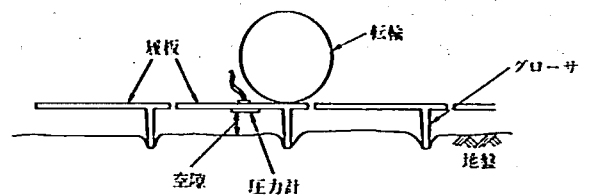


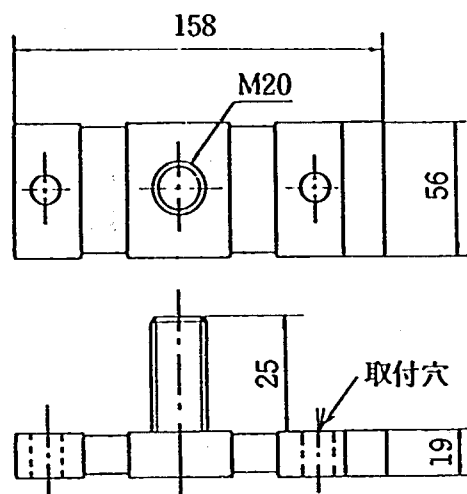
図2.3 地盤と履板の接触状況

③の場合も②と同様に履板に荷重計を取り付けるため出力の取出しに注意が必要であること、実機のブルドーザなどの接地圧力を計測する場合、履板とリンク間の狭いスペースに取り付けるため非常に小さな荷重計が必要となり、取り付けのため、リンク、履板の改造も必要となり準備に労力がかかる。しかし、履板と地盤の接触部の接地圧力を測定する場合、3者の中では、地盤に影響を受けず、グローサなどが地盤と接触していれば再現性の良い結果が得られる。

このため本調査では、③の、地盤からブルドーザの履板（1枚）に加わる荷重をロードセルで測定し、接地圧力を算出することとした。

2. 2 履板ロードセル

接地圧力の測定は、図2.4に示す薄形、長方形のロードセル4個を使用し実施したもので、ロードセルの原理を以下に示す。



単位mm

図2.4 履板ロードセル

履板ロードセルの概念を図2.5に示す。

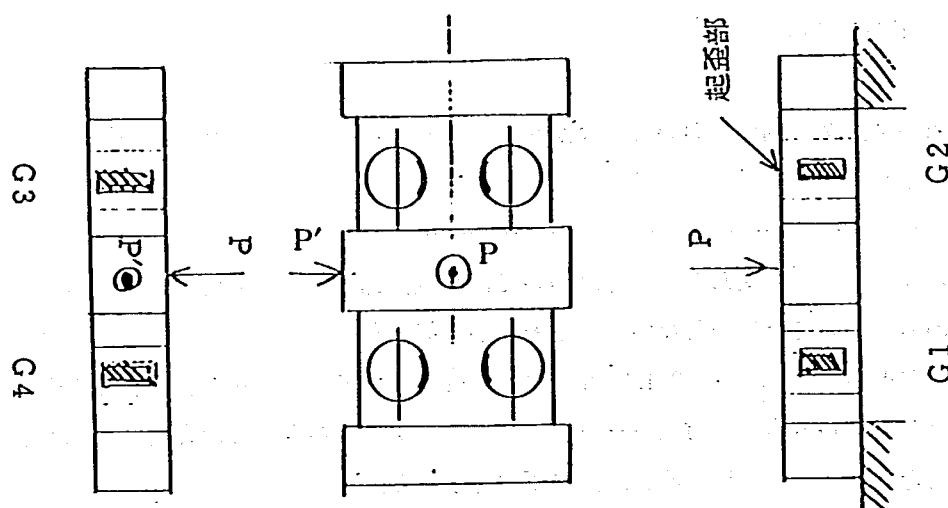


図2.5 履板ロードセルの概念

図2.6の様なせん断ひずみを検出するのに適したひずみゲージをG1～G4まで起歪部に接着し、図2.7に示す様にホイートストンブリッジを形成する。



図2.6 ひずみゲージのパターン

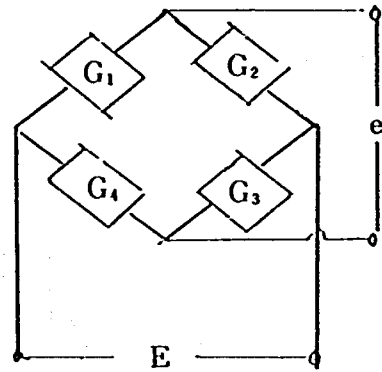


図2.7 ホイートストンブリッジ

図2.5の様に荷重Pが加わると

- G1 圧縮ひずみ
- G2 引張ひずみ
- G3 圧縮ひずみ
- G4 引張ひずみ

が加わり、ホイートストンブリッジの回路によりPに比例した電圧eを得ることができる。

$$e \propto P \dots\dots\dots (2.1)$$

P'方向（横荷重）に対しては

- G1 引張ひずみ
- G2 " "
- G3 圧縮ひずみ
- G4 " "

となるため図2.7の回路において互々がキャンセルされることになり、P'が加わった場合原理的には $\epsilon = 0$ となる。

$$\epsilon = 0 \dots\dots\dots (2.2)$$

以上からロードセルに加わる垂直力については荷重に比例した電気信号を得ることができ、かつ、水平方向の力については出力しないロードセルが可能となる。

このロードセルを図2.8、写真2.1、2.2に示すようにシューボルトの穴を利用して履板に取り付けたもので、地盤から加わる力は、履板→ロードセル→リンクへ伝わる。この方法で、履板1枚に加わる垂直荷重を測定し、履板の面積で除し、接地圧力を求めた。

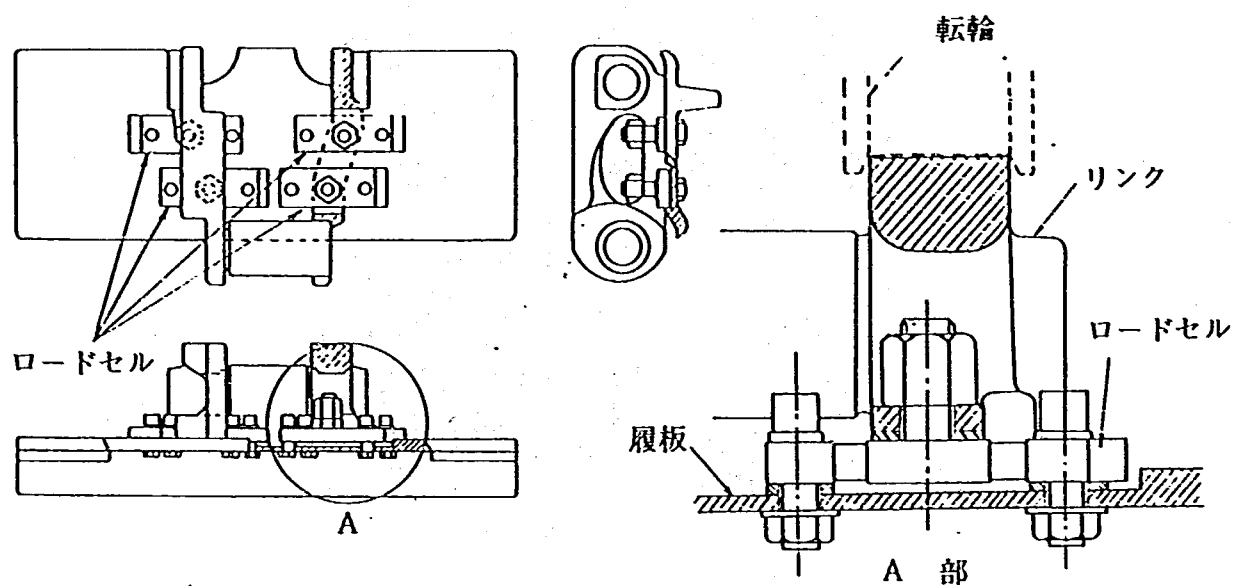


図2.8 ロードセルの取付

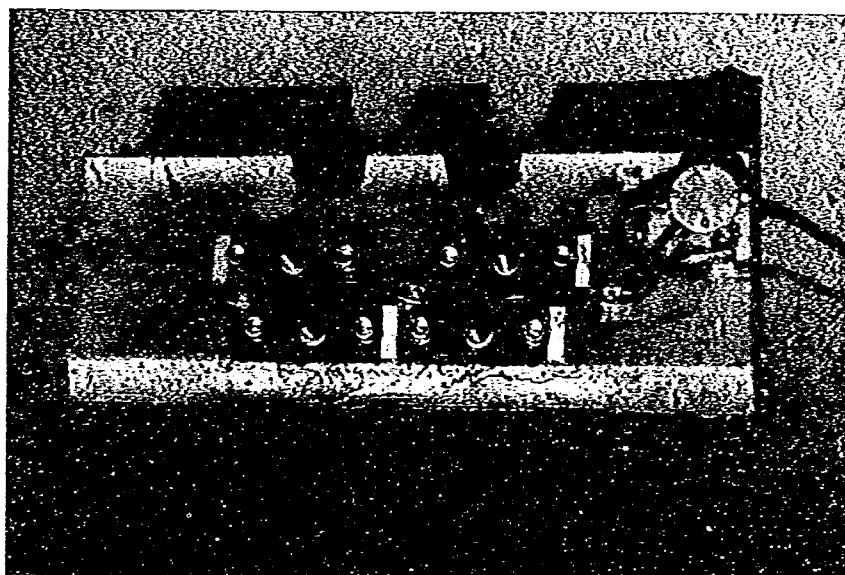


写真2.1 ロードセル取付状況

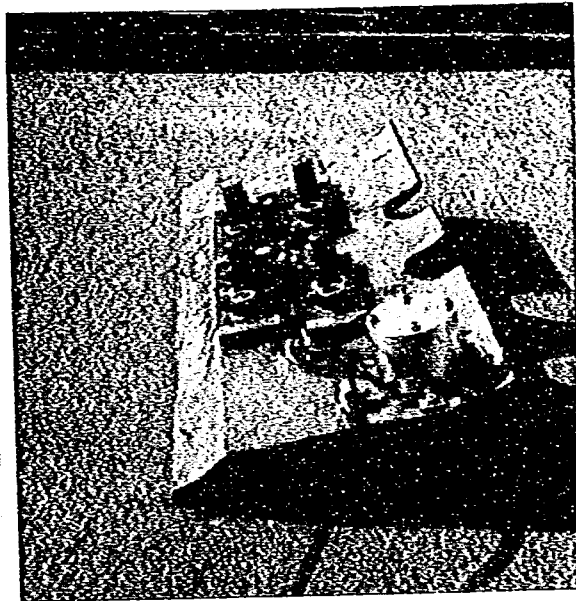


写真2.2 ロードセル取付状況

2. 3 試験車両の仕様及び重心位置

試験車両には、水中走行時の接地圧力も測定できるように、建設省関東技術事務所所有の水中ブルドーザを使用した。

試験車両の主な仕様及び寸法を表2.1、図2.9に示す。

表2.1 試験車両諸元

形 式	D125-18B 水陸両用ブルドーザ (小松製作所 製)		
	無線遠隔操作式油圧リッパ付		
装 重 備 量	陸 上 37,800kg		
	水 中 25,000kg		
性 能	常用水深 3 m		定格出力 205PS/2100r.p.m
	制限水深 4 m		トルクコンバータ 4要素1段3相
	走 行 速 度	前進 0~7.5 km/H	変速機 遊星歯車多板クラッチ式
		後進 0~5.0 km/H	操向装置 湿式多板クラッチ式
	登坂能力 30度 (陸上)		最小回転半径 3.7m以下
寸 法	全 長 7650mm		全 高 水中作業時 4800mm
	全 幅	トラクタ車体 2854mm	
		作業装置付 3800mm	
無 線 装 置	制 御 方 式 130MHz 帯		
	周 波 数 周波数組合せ方式		
	受 信 方 式 ダブルスパーヘロゲイン		
足 ま わ り 装 置	接 地 長 2960mm (遊動輪~駆動輪のセンタ)		
	履 帯 幅 710mm		
	リンクピンチ 230mm		
	リンク組合方式 リンクピン組合方式		
	懸 架 方 式 半硬式イコライザバー		

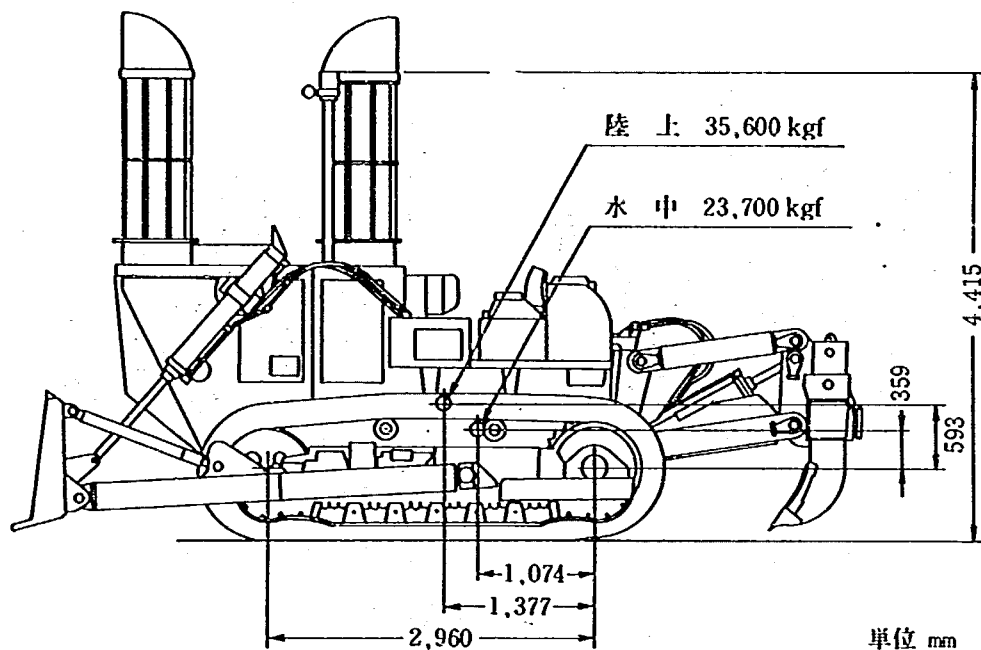


図2.9 試験車両と重心位置

試験車両は、小松製作所のD 125-18型をもとに、水深が3 m程度までの浅い河川で作業ができるように水陸両用仕様としたもので、操縦は無線による遠隔操縦方式と、有線による乗車操縦方式が可能である。このため試験車両の部品や主要部分、懸架方式はD 125-18型と同様であり、接地圧力に影響する足廻りで特に異なっている点は、シール部の耐泥構造と水中の軟弱地盤を走行するため、通常より幅広の組立式シングルグロースシューを使用していることである。なお、接地圧力の測定を実施する前に、陸上及び水中における車両の重量及び重心位置を測定した。

測定の方法は、ISO 5005 土工機械—重心位置測定方法を参考に実施したもので、その手順を以下に示す。

- ① 最初にワイヤロープをリッパ側にかけブレードは最下位置にする。
- ② クレーン（吊り上げ能力20 t）で車体を吊り上げて水平にし、ロードセルにかかる荷重 F_r および距離 a_1 , b_1 , l_1 を測定する。

（図2.10参照）なお、車体の水平位置はブルドーザにとりつけた傾斜計によって確認した。

- ③ つぎに、ワイヤロープをブルドーザ側にかけ、リッパを最下位置にする。
- ④ クレーンで車体を吊り上げて水平にし、このときロードセルにかかる荷重 F_f 及び距離 a_1 , b_2 , l_2 を測定する。（図2.11, 写真2.3参照）

この時測定した a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , l_1 , l_2 は水平距離である。

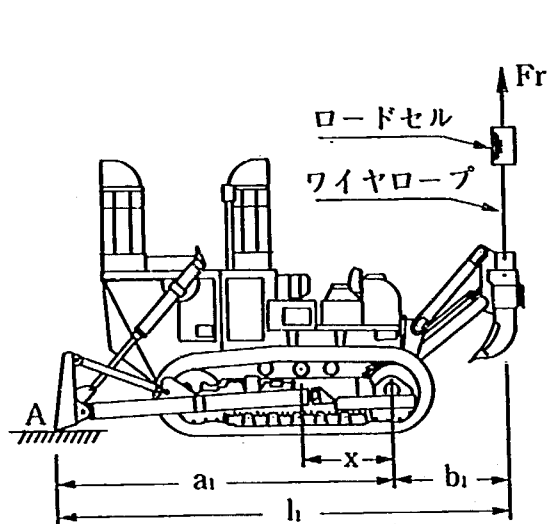


図2.10 後部吊り上げ状況

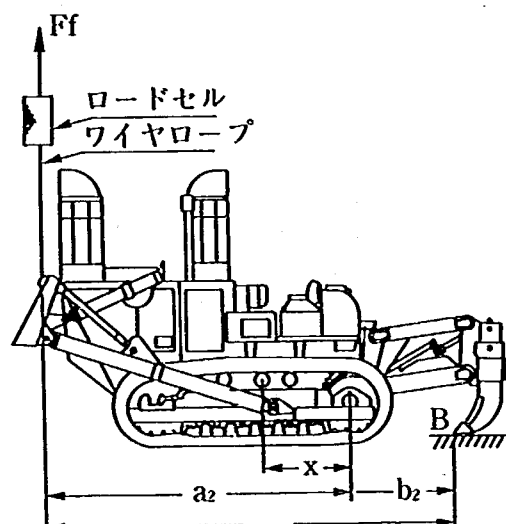


図2.11 前部吊り上げ状況

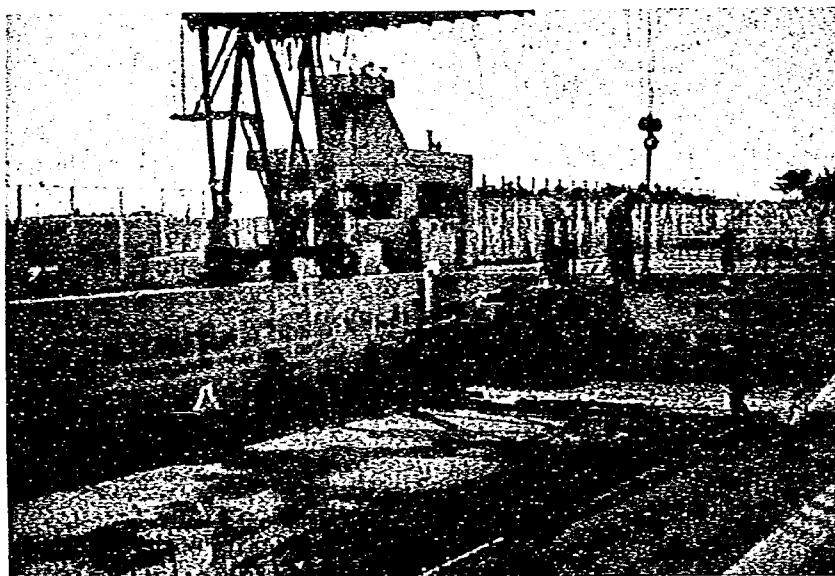


写真2.3 重心位置測定状況

- ⑤ 全重量 G 、及び駆動輪のスプロケット芯から重心垂線までの距離 x は図2.10、2.11に示す各A、Bまわりのモーメントの釣合により、

$$G = (a_1 - x) = Fr l_1 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$G = (b_2 - x) = Ff l_2 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

が成り立ち、2.3、2.4式から

$$x = \frac{Ff l_2 a_1 - Fr l_1 b_2}{Ff l_2 + Fr l_1}$$

$$G = \frac{Fr l_1 + Ff l_2}{a_1 + b_1}$$

が得られる。

- ⑥ 重心高さの測定は、車両を $5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ まで数通り傾けて、各傾斜位置における F_f , a_2 , b_2 , l_2 を測定し、車両側面にとりつけたプレートに重心を通る垂直線を記入する。
- ⑦ 確認のため①と同じ状態(リッパ側を吊り上げ)にし、車両を数通り傾けて F_r , a_1 , b_1 , l_1 を測定し、垂直線を記入する。
- ⑧ 水中での重心位置は、写真2.4に示すように陸上における場合と同じ車両姿勢で吊り上げ、ロードセル荷重 F_f , F_r を測ったのち、陸上で再び同じ姿勢にして、重心を通る垂直線をプレートに記入した。

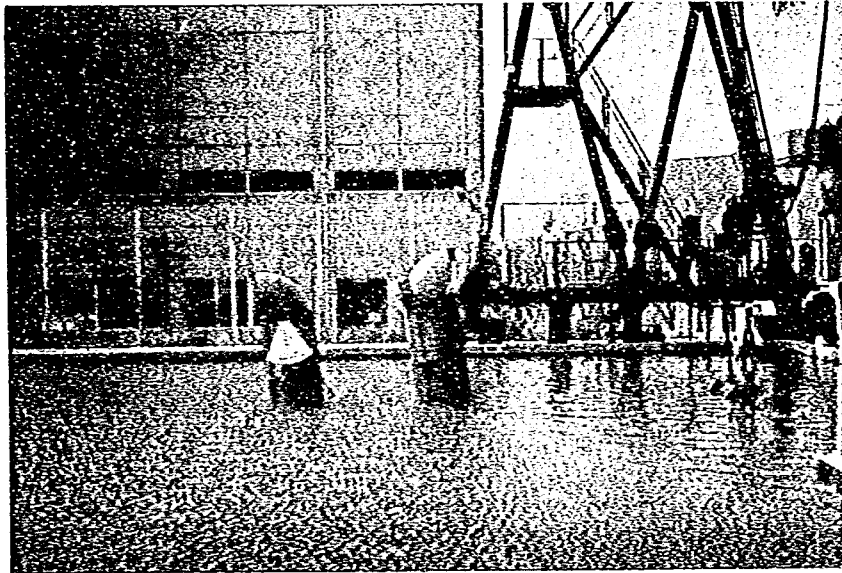


写真2.4 水中における重心位置測定状況

以上の各傾斜状態における重心垂線と各線の交点の平均値をとって重心とした。求めた重量及び重心位置は前述の図2.9中に示されている様に、陸上の重心位置は履帯部分のほぼ中央にあるが、水中では、エンジンルームが密閉構造のためこの部分の浮力の影響が大きく、重心位置が陸上の場合より後方へ約30cm、下方へ23cm移動していた。

2. 4 試験方法

試験にあたっては、試験車両をできるだけ低速で一定に走行させ、ロードセルを取り付けた履板が試験車両の遊動輪下から駆動輪下を通過するまでの間、接地圧力を測定した。また、試験車両を断続的に移動させ、試験車両の転輪下などの各位置において停止状態の接地圧力についても同様に測定した。さらに、けん引試験として試験車両の後方に制動用ブルドーザを1又は2台連結し、けん引作業時の接地圧力についても測定した。また、ロードセルを取り付けた履板に光電スイッチを取り付け、試験車両の遊動輪、転輪等の軸中心に光電スイッチの光を遮断する板を付け、このパルスから試験車両の各位置の接地圧力を測定した。写真2.5～2.8に計測機の取付状況及び試験状況を示す。

水中における試験では、光電スイッチを使用できないための車両位置の確認には、図2.12、写真2.9に示すようにブルドーザにポールを取り付け地上部に付けたマーキングで位置確認を行った。

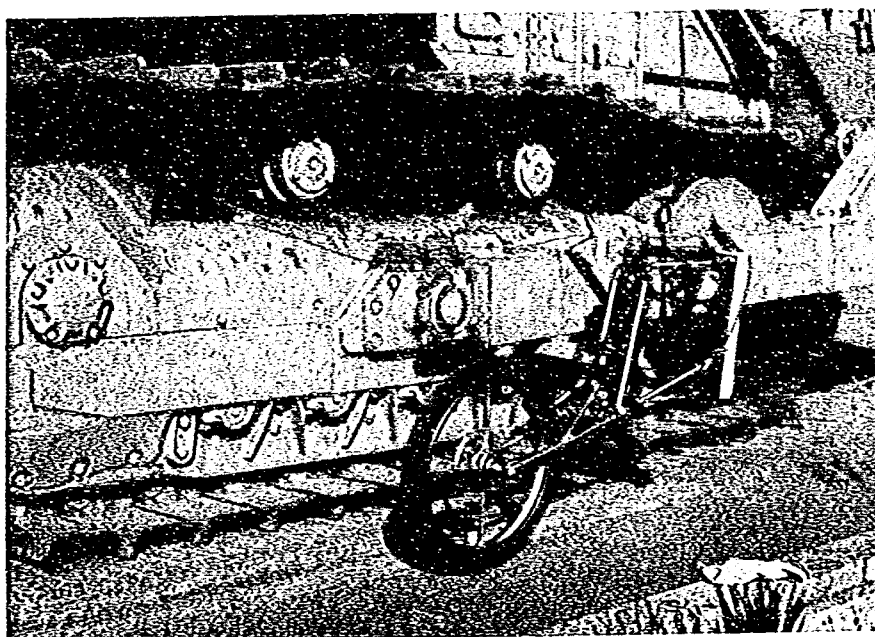


写真2.5 走行速度測定用第5輪

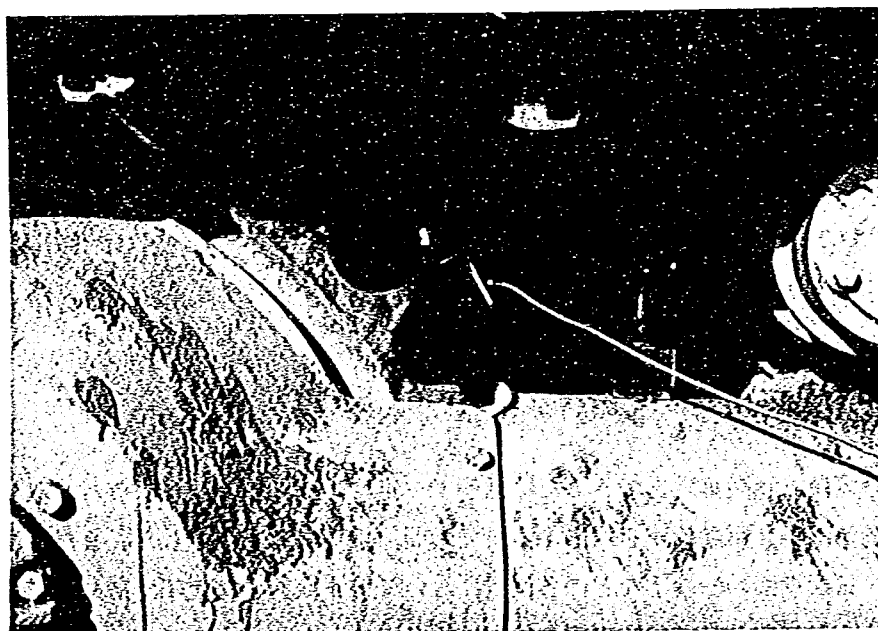


写真2.6 履帯巻取速度測定用近接スイッチ

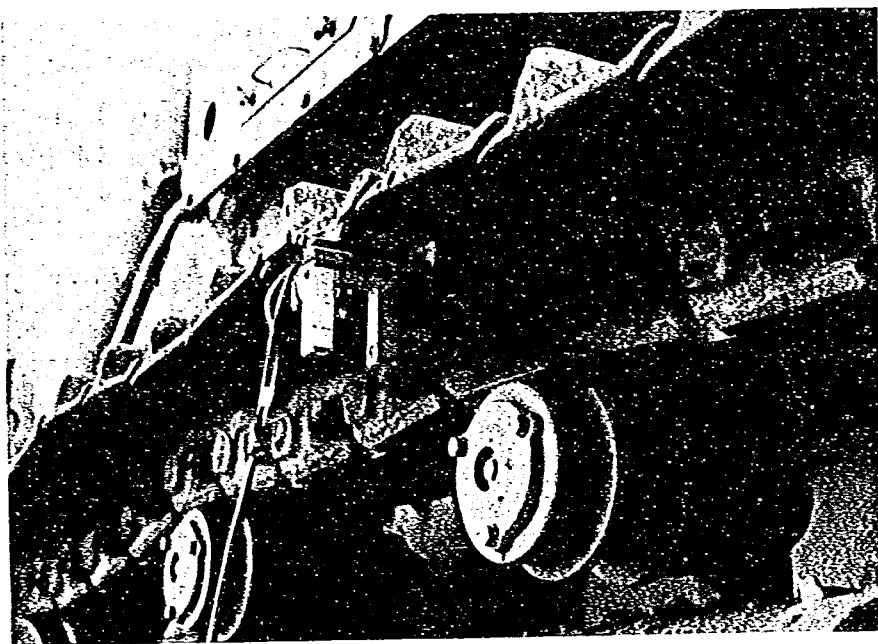


写真2.7 光電スイッチ取付状況

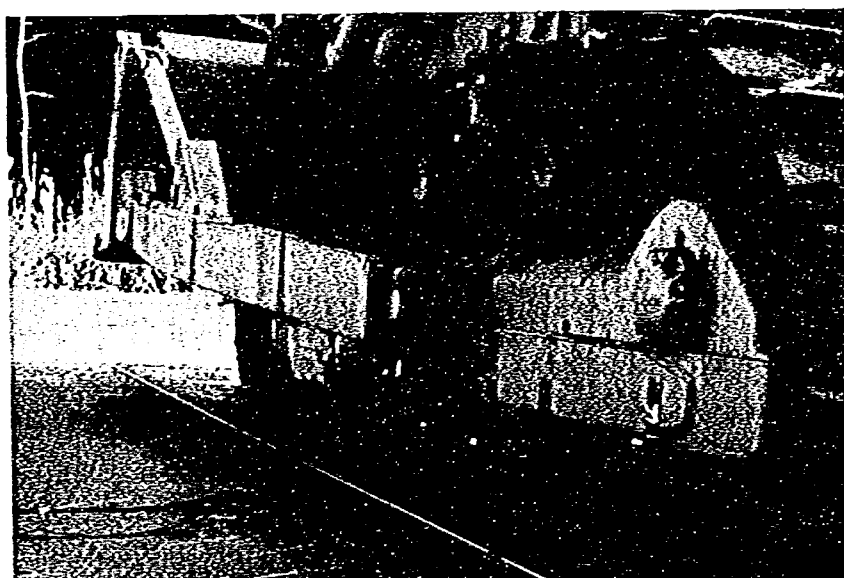


写真2.8 遮光板取付状況

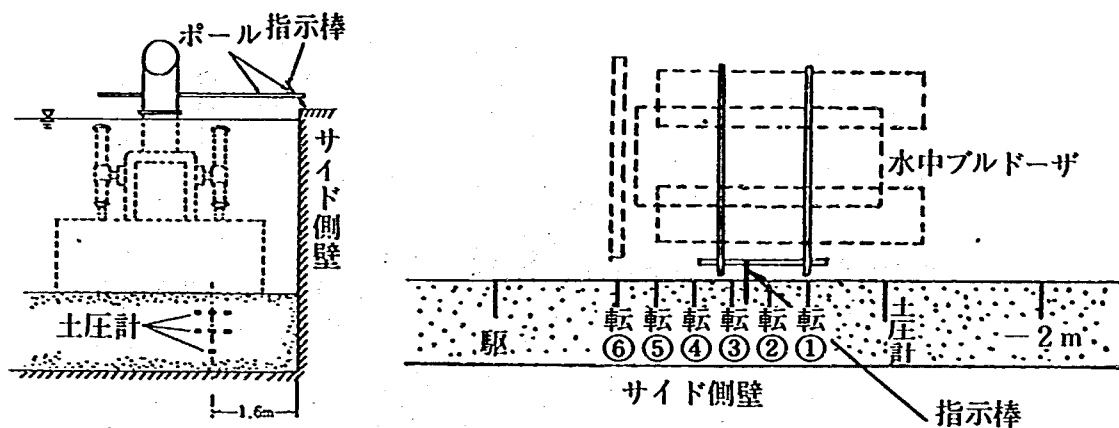


図2.12 水中における位置確認



写真2.9 水中における試験状況

2. 5 試験地盤

試験地盤の種類と土質試験結果を表2.2に、粒土分布を図2.13に示す。砂地盤Aは、土木研究所の海底作業実験場内のコンクリート製水槽（40m×20m幅×3m深）内に細砂を用いて図2.14に示す寸法に造成した人工地盤である。砂地盤Bは、水槽に水を張りA地盤を水没させたものである。粘性土地盤Cは、土木研究所構内の建設機械屋外実験場の関東ローム地盤であり、粘性土地盤Dは、C地盤の長さ20m、幅6mの区間を深さ0.5mまでブルドーザで掘りおこし、水を加えながら耕運機で十分混合しながら、20cmづつ埋め戻し、ブルドーザにより転圧し作成した軟弱地盤である。その他に、岩盤を想定したアスファルト舗装上でも試験を実施した。

表2.2 試験地盤の土質

地 盤	砂地盤 A	砂地盤 B	粘性土 地 盤 C	粘性土 地 盤 D	アスファルト 地 盤 E
土質試験					
湿潤密度 (kg f / cm ³)	1.702	1.885	1.365	1.394	—
乾燥密度 (kg f / cm ³)	1.528	1.550	0.654	0.701	—
含 水 比 (%)	11.4	21.6	108.7	98.9	—
平板載荷 試験K値 (kg f / cm ²)	9.8	3.9	2.6	1.2	—
コーン指数 (kg f / cm ²)	—	—	10.9	5.6	—
一面せん断 試験結果 C (kg f / cm ²)	0.08	—	0.27	0.2	—
試験結果 ϕ (°)	41.6	—	24.0	24.2	—

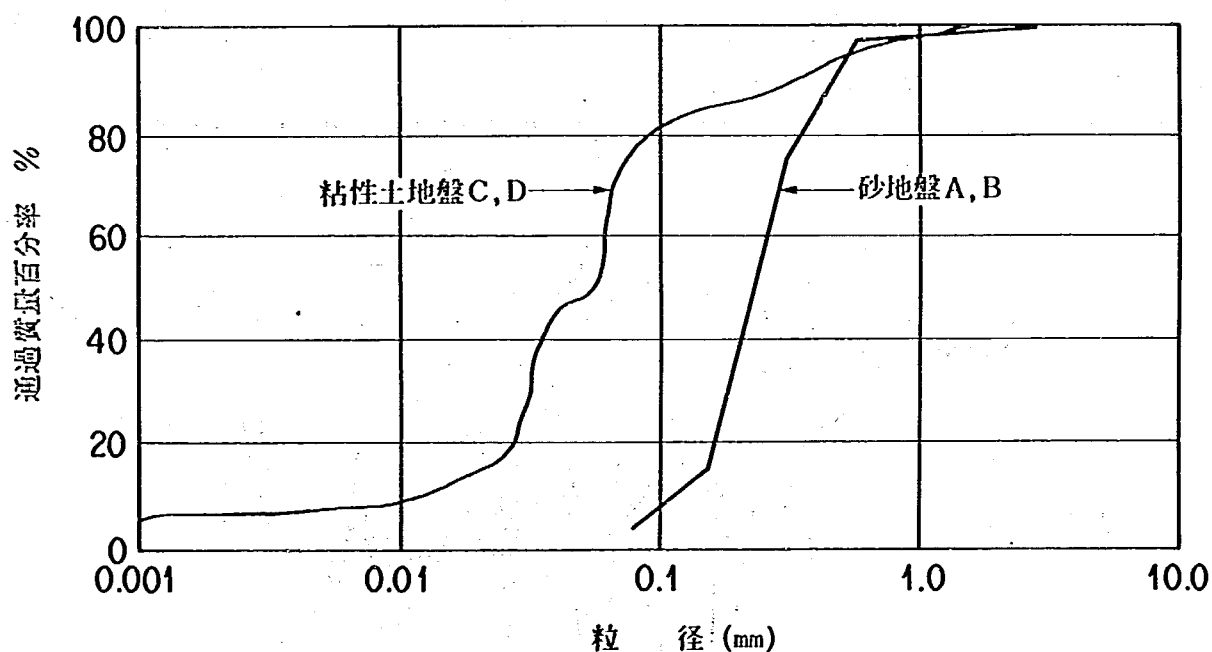


図2.13 粒度分布

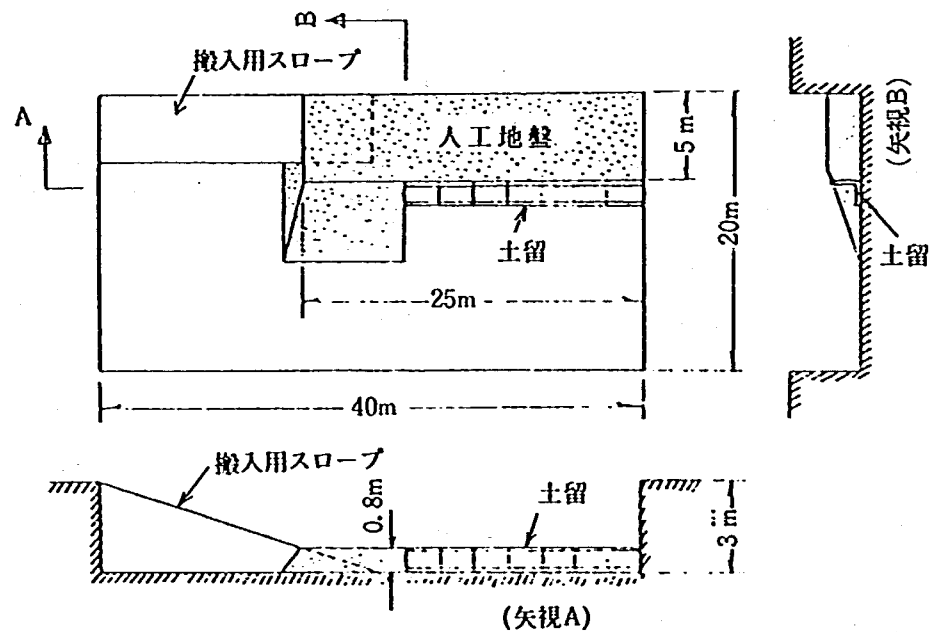


図2.14 水槽内における人工地盤概要図

2. 6 接地圧力の測定結果

接地圧力の測定は、各々の地盤条件などについて3回程度繰り返して実施したが、3回の結果を比較しても分布の形態はほぼ同じと言って良いほど似通ったもので、本試験方法による接地圧力の測定結果の再現性は非常に良い結果であった。

粘性土地盤C、D及びアスファルト舗装における接地圧力の測定結果の1例を図2.15に示す。

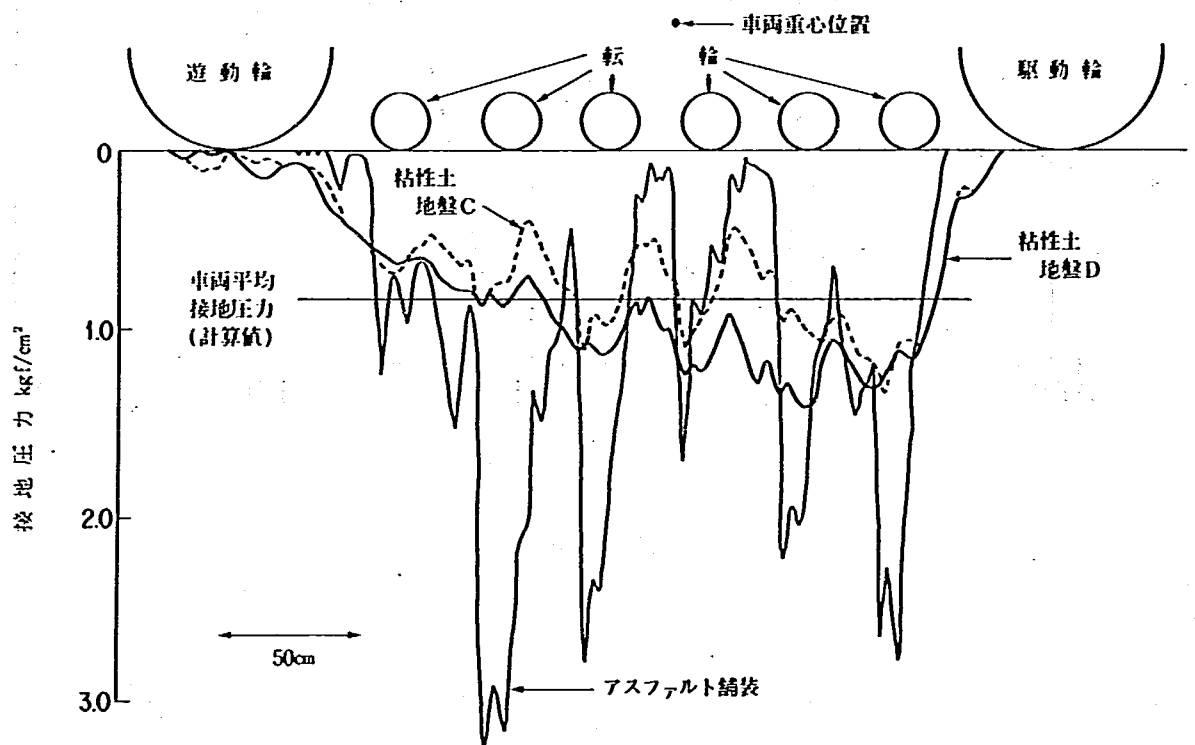


図2.15 接地圧力分布 (無負荷前進)

試験の結果、各種の地盤上の前進時における接地圧力は、転輪付近で大きく周期的な変化を示している。接地圧力の分布は、図に示されたように試験車両の遊動輪、駆動輪付近の履板にはほとんど荷重が加わっておらず、主に6個の転輪間の履板で地盤と接地していた。前進走行時の接地圧力は、遊動輪の通過後高くなり、第1転輪下で小さなピークを示す。その後も転輪下でピークを繰り返しながら後方にいくに従い増加していき、第5転輪から第6転輪の間で最大接地圧力を示した後、急激に低下する。後方の接地圧力が大きくなっているのは、車両の重心位置の影響や、粘性土地盤C、Dでは、地盤が軟いため走行中、車両の重量で履板が前方から徐々に沈下していき、車両がわずかに傾斜するためと思われる。

アスファルト舗装上の接地圧力は、粘性土地盤上より極端な形になり、転輪な転輪の間ではほとんど履板に荷重が加わっておらず、転輪下で接地圧力が非常に大きく、この部分では車両重量を接地面積（遊動輪から駆動輪までの軸間距離×履帯の幅×2）で除し算出する平均接地圧の4倍にも達していた。これはアスファルト舗装が硬く、ブルドーザの重量が転輪下の履板だけで直接支持されるためと考えられる。

後進走行時の接地圧力は図2.16に示すように、前進走行時よりも変動が激しくなっており転輪下で必ずしも接地圧力が大きくなっていない。これは、前進走行時は履帯が駆動輪から常に後方へ張力を受けているのに対して、後進走行時は履板が駆動輪から前方へ押し出される形となり、地盤と履板の接する形態が変化することなどによる影響と考えられる。また、図に示した砂地盤Aにおける後進時の最大接地圧力は、前進走行時より14%程度大きくなっており、粘性土地盤でも同様の傾向であった。

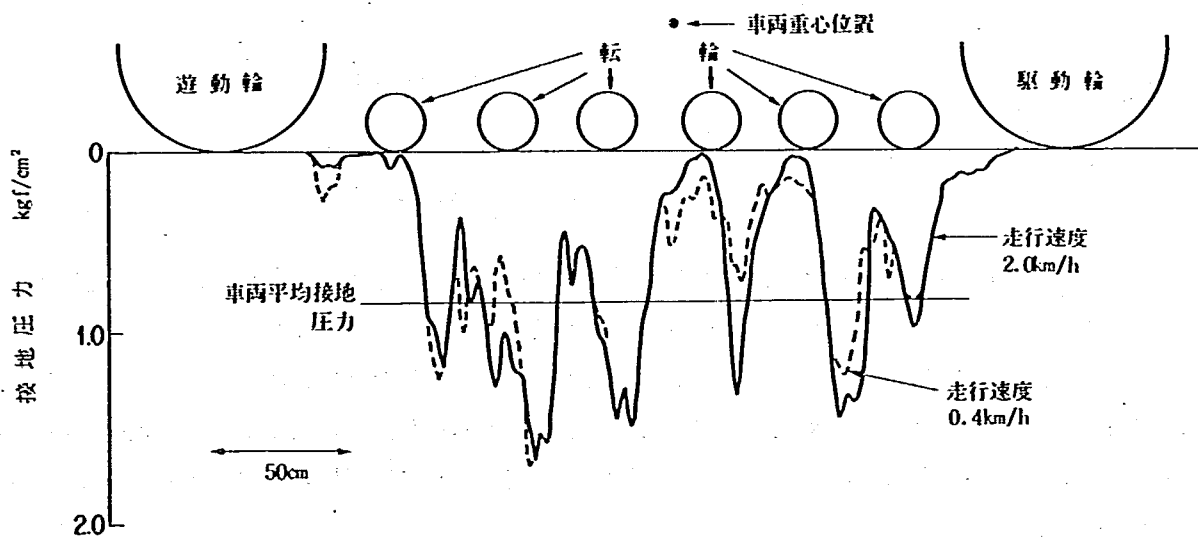


図2.16 接地圧力分布（後進走行）砂地盤A

実験時の走行速度はできるだけ同一速度となるよう調整したが無負荷走行時で0.2~0.8km/h、けん引走行時は負荷の大小により0.2~1.4km/h範囲となっていた。走行速度の接地圧力分布への影響を把握するため砂地盤Aにおいて、試験車両の走行速度を最大2.0km/hのまで変化させ、接地圧力を測定したが、その結果は図2.16に示すとおりで、速度による接地圧力の変化は小さく、低速から2.0km/h程度の範囲では、接地圧力測定時の速度の影響は少ないと思われる。

砂地盤Bにおける接地圧力は、図2.17に示すように、前述と同様に転輪付近の接地圧力が大きくなっているが、その分布は、車両の前方から徐々に大きくなっていき、車両後方の転輪付近ほど接地圧力が大きくなる三角形状となっている。この理由は、試験車両のエンジンルームが、水中作業を行えるように密閉構造となっているため、水中ではこの部分の浮力の影響で車両の重心位置が陸上より約30cm後方へ移動しているためと思われる、この結果より重心の位置が接地圧力分布に大きく影響することがわかる。

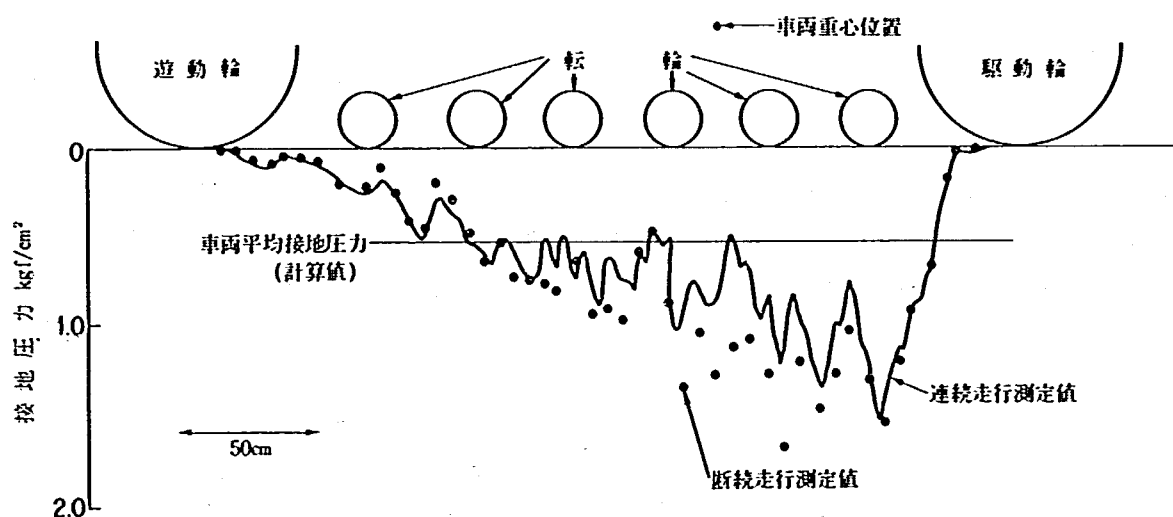


図2.17 接地圧力分布（水中走行）砂地盤B

また、図中に示されている点は、試験車両を断続的に移動させ、停止時の各位置における接地圧力を測定した結果である。図より断続走行時の測定値は連続走行時の測定値よりいくぶん高い値を示しているが、断続走行時も車両の後方の接地圧力が大きくなっているなど分布は連続走行時とほぼ同じ変化を示し、この傾向は、地盤や進行方向が変わっても同様であった。この結果から、接地圧力の測定においては、停止時における測定と、低速で連続的に測定した結果は同様のものとみなして良いと思われる。

粘性土地盤Aにおけるけん引作業時の接地圧力の測定の結果を図2.18に示す。

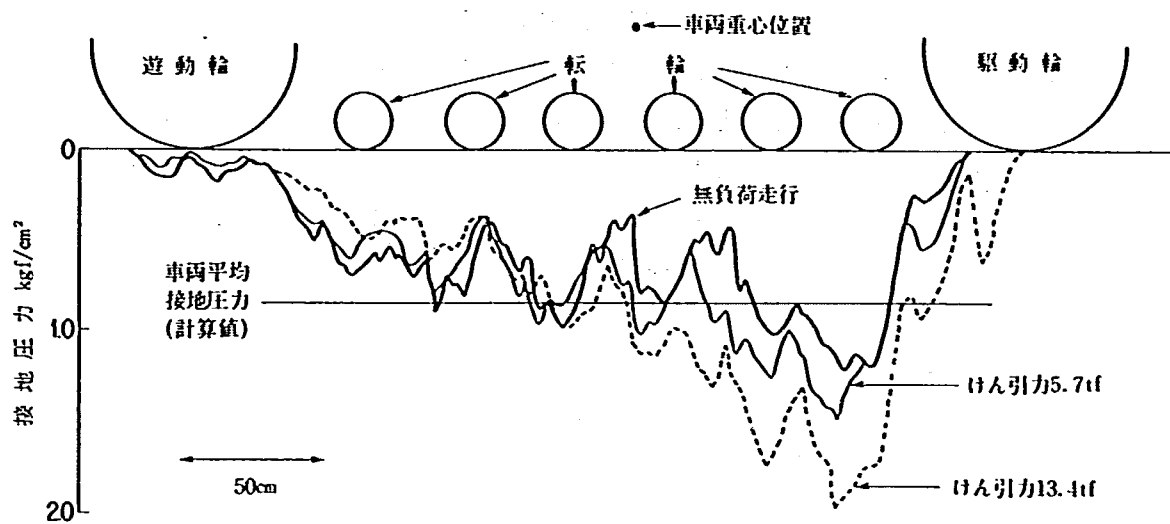


図2.18 接地圧力分布 (けん引走行) 粘性土地盤B

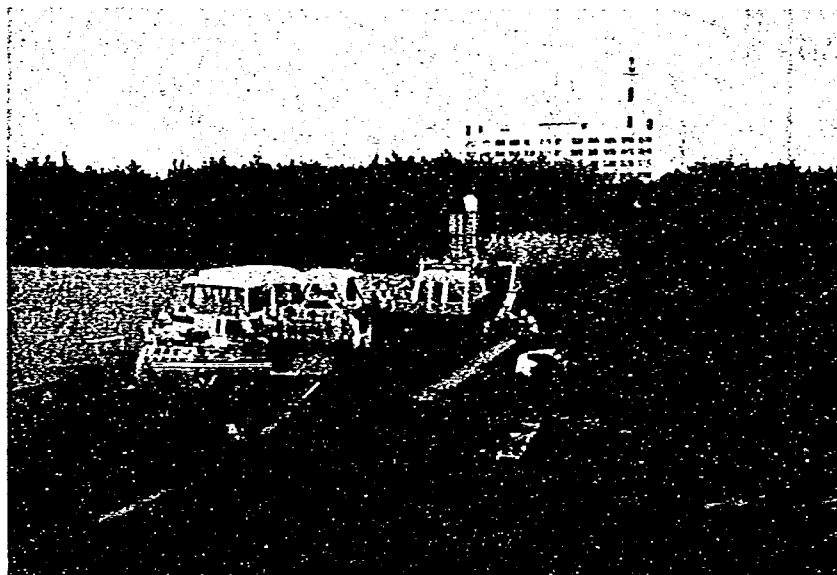


写真2.10 接地圧力の測定状況
(粘性土地盤C, けん引走行時)

図から接地圧力は無負荷走行時と同様に転輪下で大きくなる傾向が見られるものの後方の最大接地圧力は負荷とともに増大しており、その分布形態もけん引負荷の増加とともに後方の転輪付近ほど接地圧力が大きくなる三角形状となっている。各種地盤における最大接地圧力とけん引負荷の関係は図2.19に示すようにけん引負荷とともにほぼ直線的に増加しており、図に示されている直線の傾きは、アスファルト舗装、砂地盤A、粘性土地盤C、Dの順に小さくなっている。そこで遊動輪及び駆動輪下の接地圧力のデータを除いて、第1転輪の中心点から第6転輪の中心までの接地圧力分布の平均の傾きに注目してみると、図2.20に示すようになり、各地盤ともにけん引負荷の増加とともにその傾きは大きくなっていき、けん引負荷の増加に従い車両前方の接地圧力が減少し、後方の接地圧力と車両の最大接地圧力が大きくなっていた。

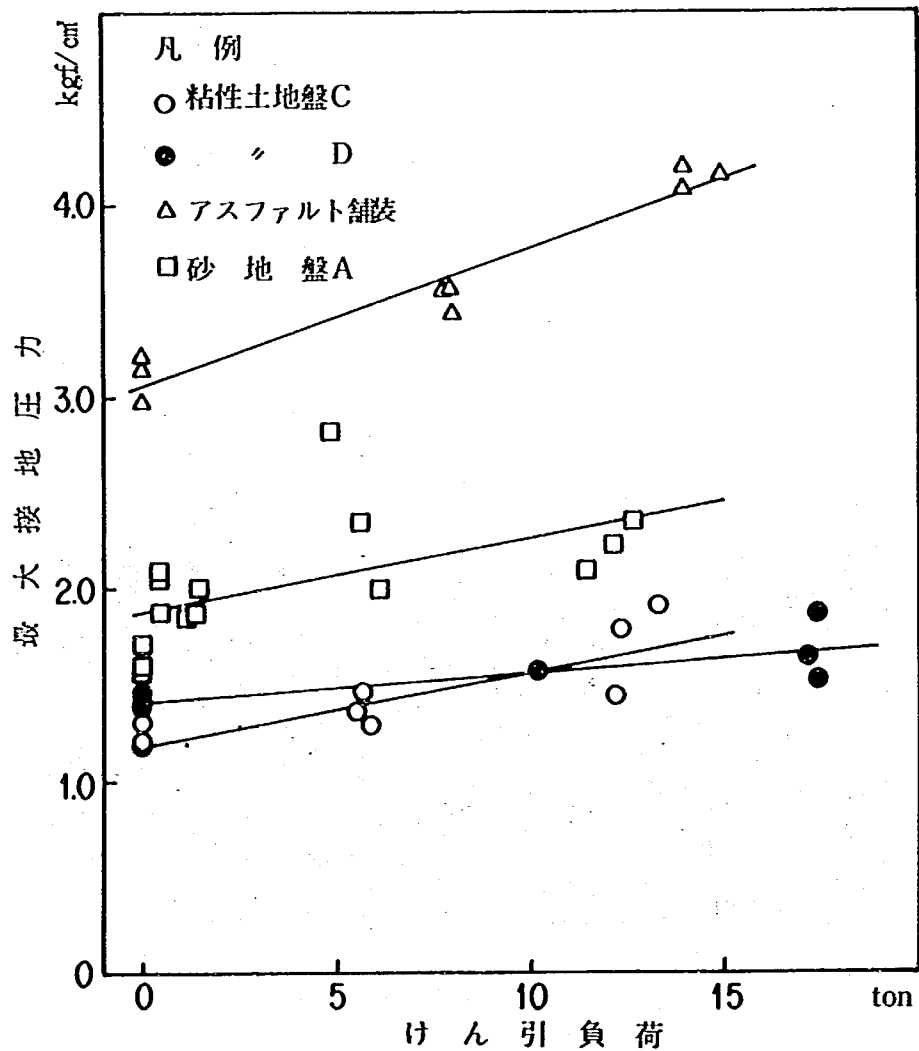


図2.19 最大接地圧力とけん引負荷

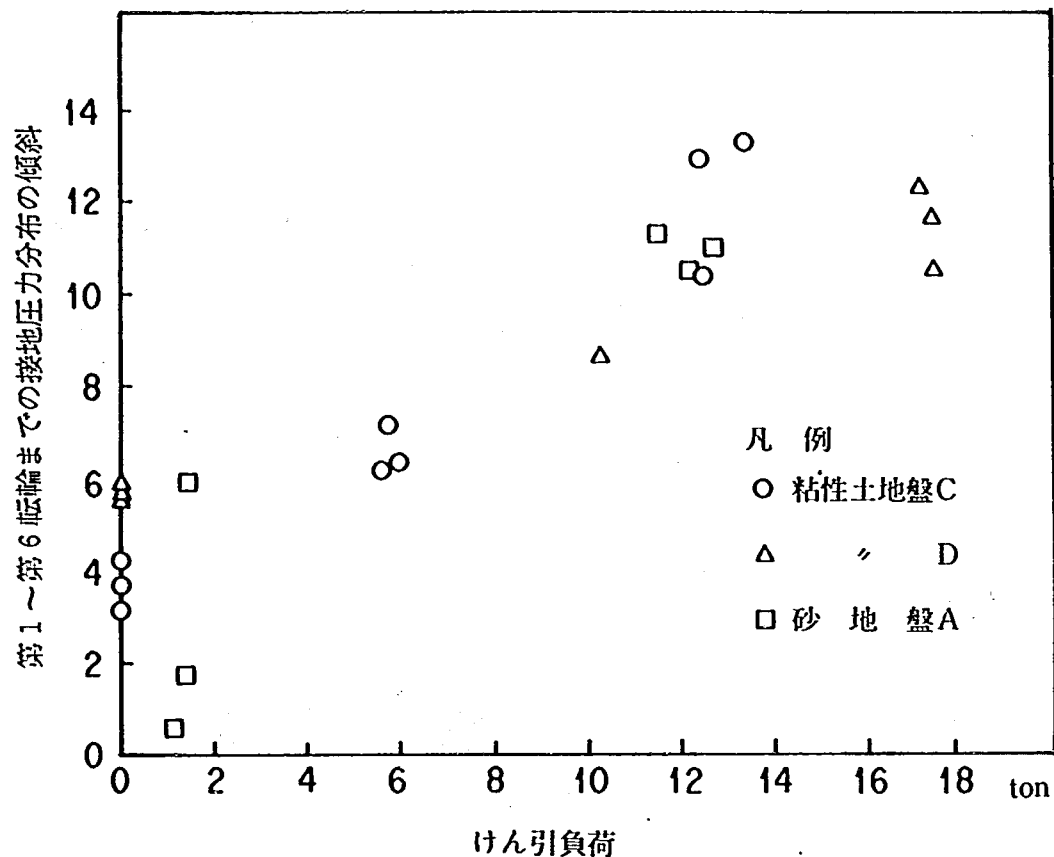


図2.20 接地圧力とけん引負荷

けん引負荷と接地圧力の最大値には以上のように関係があるが、これらは、けん引作業時に負荷が車両に後方へのモーメントとして働くことや、履帯のすべりの増加による車両後方の沈下及び傾斜による影響と考えられる。しかし、実験時に直接車両の沈下を測定することができなかったことと、車両の傾斜角度についても、けん引負荷が15ton程度と車両の最大けん引力よりも小さいためか、測定値がばらつき、けん引力と傾斜角及び接地圧力の関係を求めることはできなかった。ブルドーザの接地圧力 $P \text{ kgf/cm}^2$ は通常、車両重量 $W \text{ kgf}$ を接地面積 $S \text{ cm}^2$ で除し、平均接地圧力としてカタログ等に記載されている。この場合の接地面積計算は、車両の遊動輪から駆動輪の中心軸の長さ $l \text{ cm}$ と、履帯の幅 $b \text{ cm}$ を用いて式 (2.5) で計算されている。

$$P = \frac{W}{S} = \frac{W}{2bl} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

式(2.5)より算出される試験車両の接地圧力は 0.84 kg/cm^2 であり、理想的な状態における値と思われるが、実測の接地圧力は、この値とは大きく異なっている。車両の各位置における接地圧力の値を累積し、これを実測した接地圧力の分布幅(実際の接地長)で除し平均接地圧力を算出してみると、図2.21に示すように同一車両でも地盤が変わると平均接地圧力は異なった値となっている。特に粘性土地盤 C、D では、計算された平均接地圧力よりも小さく砂地盤、アスファルト舗装上では大きくなっている。

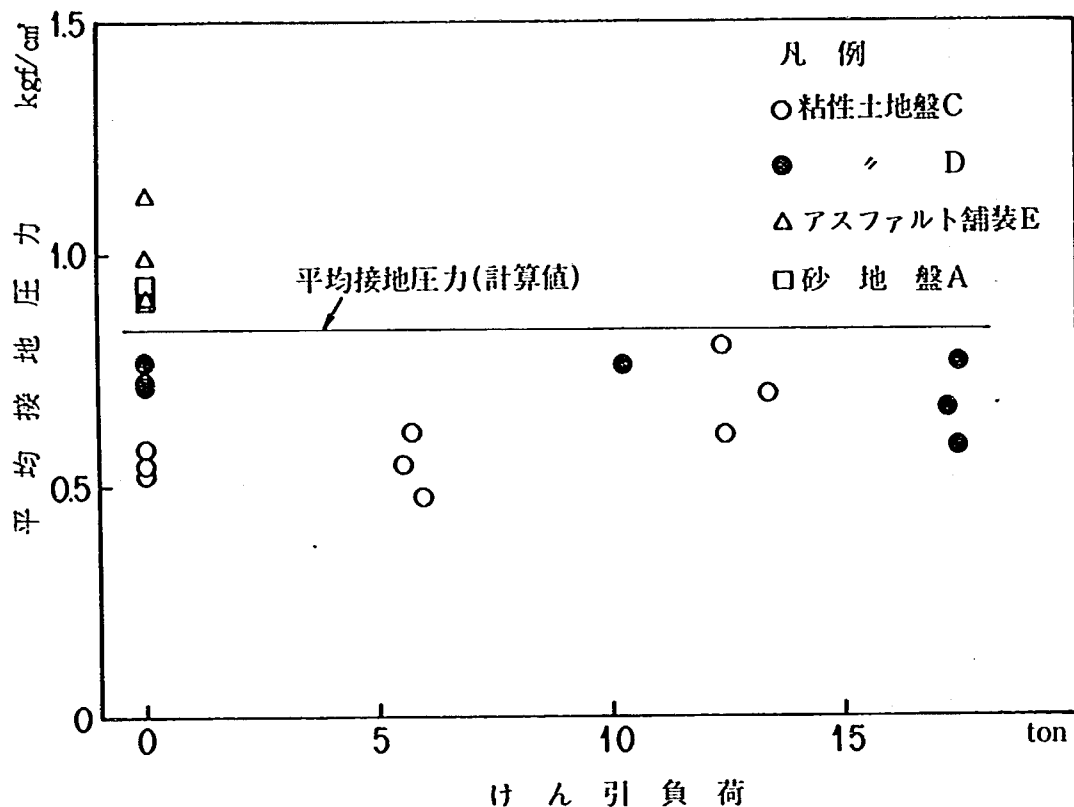


図2.21 平均接地圧力とけん引負荷

アスファルト舗装など硬い地盤上では、車両重量は転輪下の履板で直接支持されるため、測定した接地圧力の分布する長さは、カタログ上の接地長よりも短い。しかし、粘性土地盤Dなど地盤が軟弱な状態では、静止状態でも車両の自重と地盤の支持力の関係で地盤表面より履帯は沈下している。ブルドーザの懸架機構は、遊動輪、駆動輪及び各転輪はトラックフレームに固定されており沈下量がある程度以上になると遊動輪、駆動輪も地盤と接するようになりこの結果として接地圧力の分布長さが長くなると考えられる。そこで、これを確認するため地盤の強さを表わす指標として平板载荷試験のK30値を1例として実測した接地長との関係を見ると図2.22に示す結果となり、K30値が小さく地盤が軟いほど接地長が長くなる傾向を示している。

接地圧力の分布長さは以上のように地盤が軟い場合長くなるが、試験を実施した粘性土地盤Dのように極端な軟弱地盤でもカタログ上の接地長より15mm長い程度であり、長くなった部分の接地圧力も非常に低い値であるため、軟弱地盤上では接地長の変化による車両全体の走行性能への影響は少ないと考えて良いと思われる。

接地圧力は前述したように、カタログ上より相当大的な値を示し、その分布形態も車両の接地長に全体わたり均等とはなっていない。ここで、試験を行った粘性土地盤Dは、表2.2に示されたようにコーン指数が約 5 kgf/cm^2 で、これは土工指針2)によれば中型の普通ブルドーザが同一わだちを数回走行するために必要なコーン指数であり、実験に使用した試験車両にとっては走行限界であり、通常においては作業等が出来ないと考えられる軟弱な地盤である。しかし、各種の地盤における接地圧力分布を比較してみると、アスファルト舗装、粘性土地盤C、粘性土地盤Dの順に地盤が軟くなるほど転輪

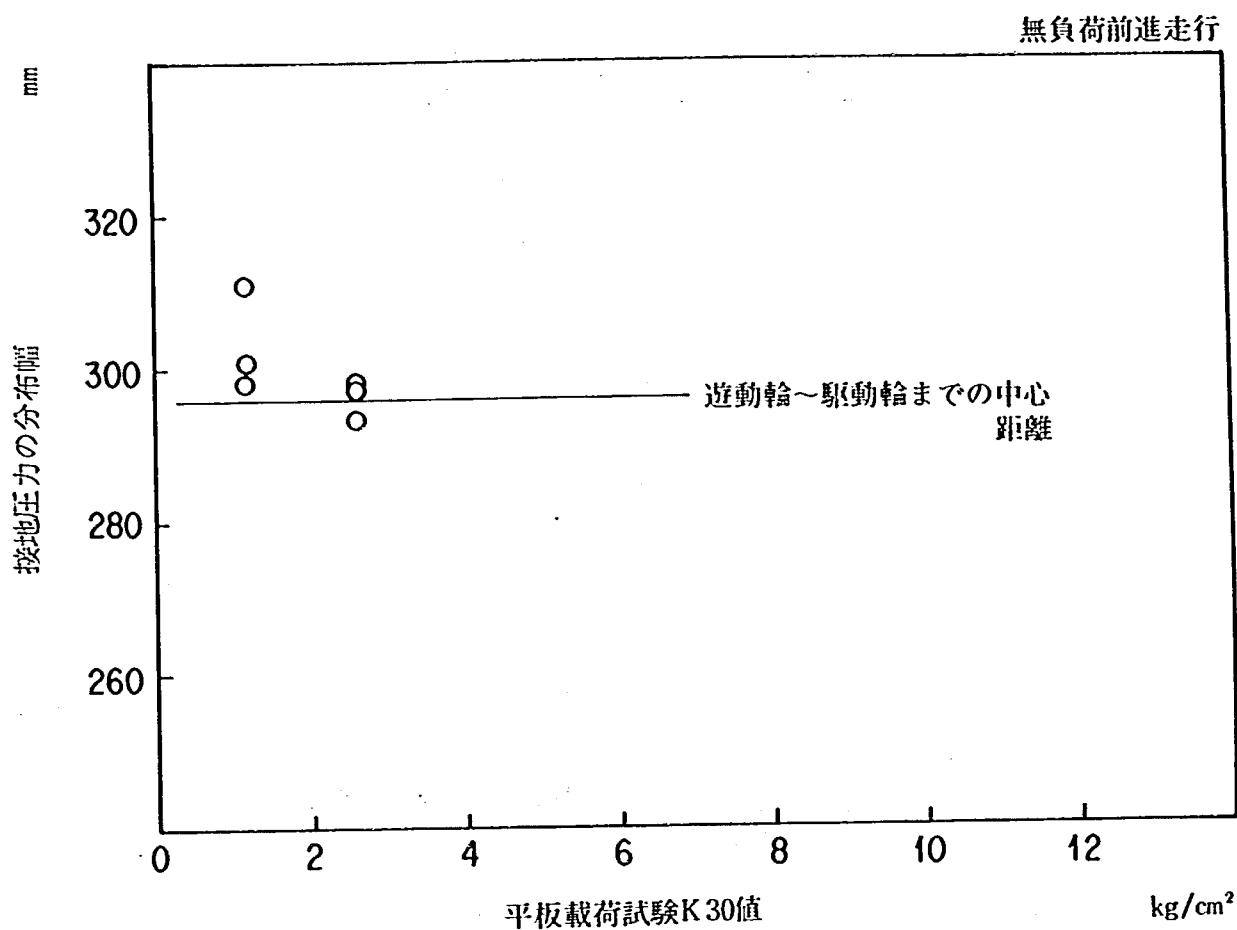


図2.22 接地圧力の分布幅と地盤の強さ

下と、転輪と転輪の間の接地圧力の差が少なくなり均等に分布する傾向が見られる。そこで、図2.23に示す例のように、車両の接地圧力分布のうち、第1転輪から第6転輪までの接地圧力のみ注目し(図2.23(b))、その間の接地圧力の測定値は図2.23(c)に示すように①の直線的に変化する値と、②の周期的に変化する値が合成されていると仮定する。そして図の②に示した周期的に変化しているデータについて平均値から(ここでは計算上の平均接地圧力は0となる)の分散を算出し、この値と、地盤の強さとして平板載荷試験のK30値の関係をしてみると、図2.24に示すようになり、各々3回の試験ごとに差はあるものの、K30値が大きくなるほど接地圧力の分散値が大きくなる結果になっている。これらの結果からブルドーザの接地圧力分布は、岩盤など硬い地盤上では転輪下の接地圧力が大きく、転輪間では小さく変動しているが、一般に呼ばれている湿地などの軟い地盤上では、転輪間で比較的均等に接地圧力が分布する形態をとり、特に車両の走行性が問題となる泥土などの軟弱地盤上においては、さらに変動が少なく均等になりその分布形態も車両の転輪間でほぼ台形状の分布になっているものと思われる。

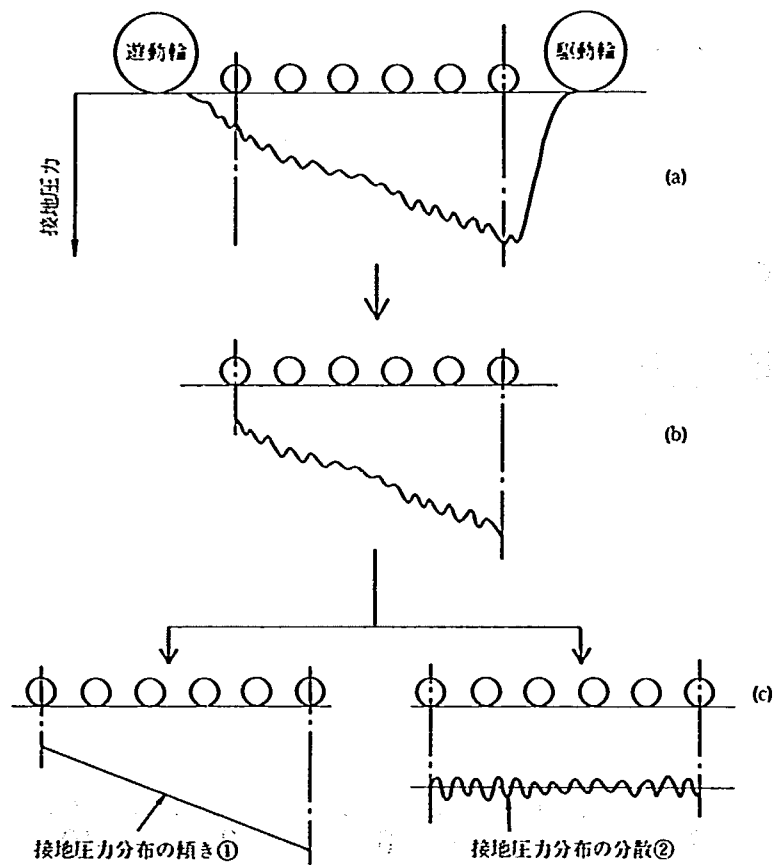


図2.23 接地圧力の傾きと分散

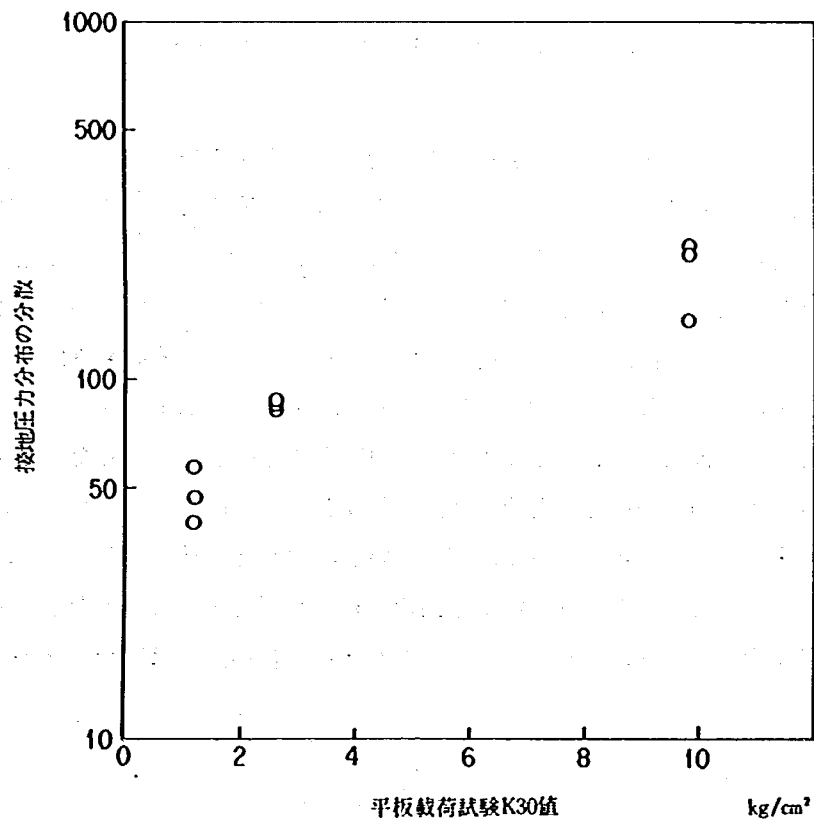


図2.24 接地圧力と地盤の強さ

3. 新形履帯の開発

3. 1 新形履帯の構造

履带式車両のけん引力は車両と地盤の関係から決まり、履帯下の土が発生する力の合計である推進力から車両の走行抵抗を引いたものである。車両の走行抵抗には、空気抵抗、回転部分の摩擦抵抗、土を圧縮する抵抗などがあるが、土を圧縮する抵抗を除くと他は車両によって決まる値であるため、車両のけん引力の大小は、履帯下の土が発生する推進力の大小と密接に関係すると思われる。

履帯下の土が発生する推進力は、土がせん断破壊を起こす時のせん断抵抗力の合計と考えられ、せん断抵抗力は一般にクーロンの式で表わされるため、車両の推進力Tは

$$T = A \cdot C + W \tan \phi \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここでA：車両の接地面積、W：垂直荷重である。式(3.1)から履带式車両のけん引力を増大させるためには、地盤が硬い時には車両重量を増加し、履帯に加わる垂直荷重を大きくすることが考えられる。しかし、泥地などの軟弱地盤上において車両重量を増加することは、直接車両の沈下量の増加につながってしまうため、湿地用の車両では接地面積を広くするなどして垂直荷重を低くし、沈下をおさえている。また、接地面積を広げるとは、土の粘着力Cを有効に利用することにもつながると思われる。

現在、軟弱地盤上で使用されている湿地用ブルドーザの履帯は、前述の理由から普通ブルドーザより幅の広い三角形断面の履帯(図3.1参照、以下「三角履帯」と言う)を使用し、沈下や推進力の低下を防ぐとともに、履帯の形状効果として土を転圧、凝集させ土ばなれが良くなるように工夫されている。しかし、履帯の幅を広くすることは、車両構造上の限界があると同時に、広幅となるために車両の足廻りに大きなモーメントが加わり、旋回性能が低下したり、地盤の不陸により履帯に偏荷重が作用して損傷し易いなどの欠点がある。このため広幅とする場合は、図3.2に示すように履板の支持頂部の高さを途中から外側へ向って連続的に減少させ、履帯の沈下の少ない

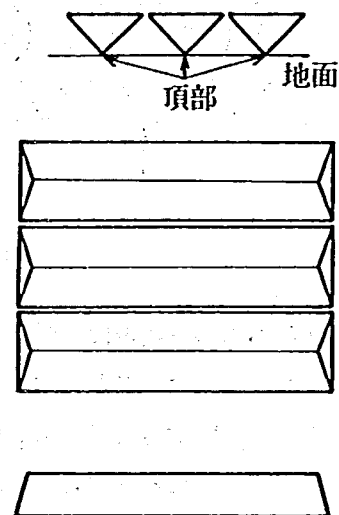


図3.1 三角形断面の履帯

硬い路面上では地盤と接する幅を小さくし足廻りに加わるモーメントを小さくし、走行、旋回抵抗などを軽減しているものもある。また、図3.1に示されているリンクピッチの中央部に支持頂部のある三角形履帯などでは、走行中のローラがリンク上を通過する時、図3.3に示すように支持頂部まわりに前後方向に揺れる現象を起こし、ピンおよびブッシュなど履帯装置を摩耗させ寿命を著しく短くしている。さらに、この揺動により履帯下の土は乱され、地盤の強度が低下してしまうため、車両の沈下を増大させるとともに発生する推進力も低下してしまうと考えられる。

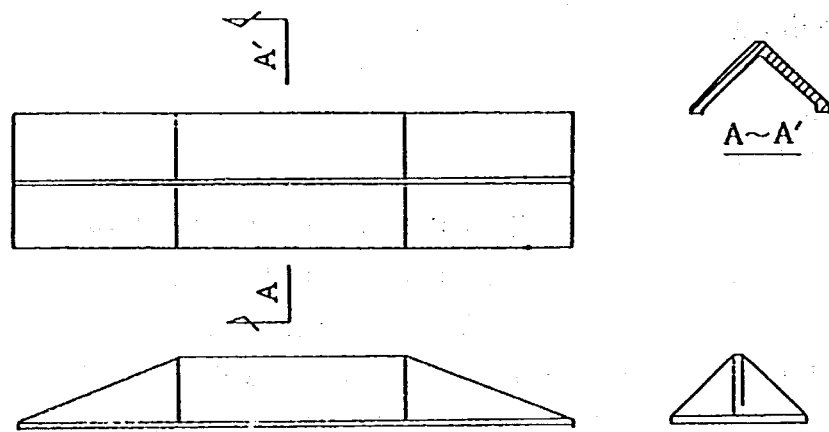


図3.2 広幅の三角形断面の履板

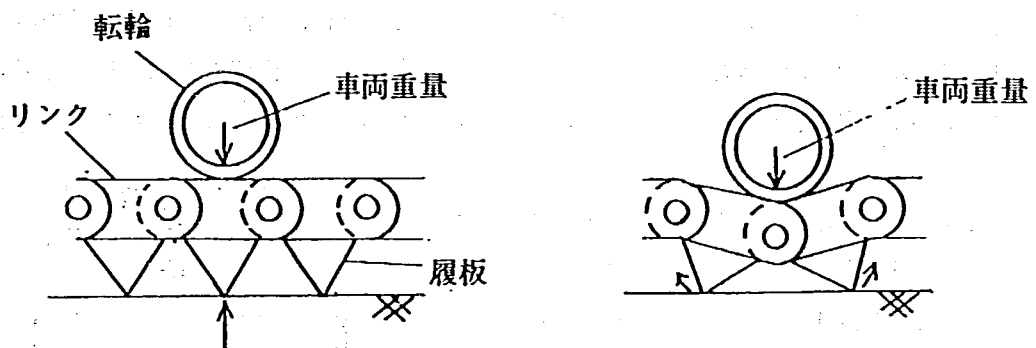


図3.3 三角形履帯の揺動現象

開発した2種類の新形履帯は、履帯の構造、寸法を変えずに地盤と接触する部分の形状を工夫し、履板の揺動をおさえ、けん引力の増大を図るべく考案したもので、以下に各履帯の特徴を示す。

新形履帯Aは、図3.4に示すように、前後に位置する2枚の履板の傾斜した接地面で土を六角錐状に転圧、凝集し、駆動輪に巻き取られる時には六角錐の中央部から履帯が分割されることを特徴とするのである。

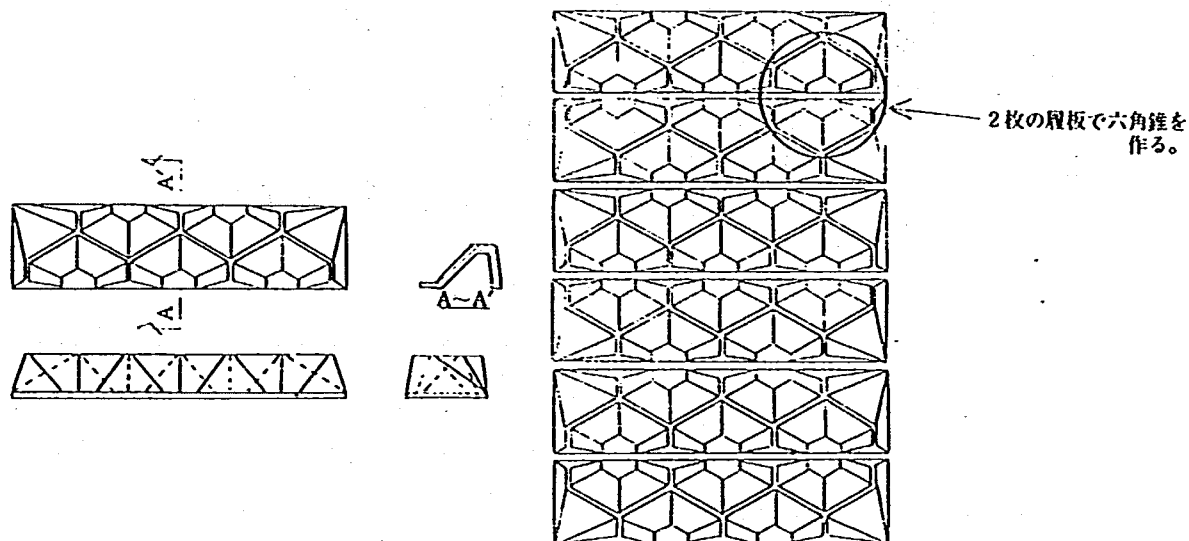


図3.4 新形履帯Aの構造

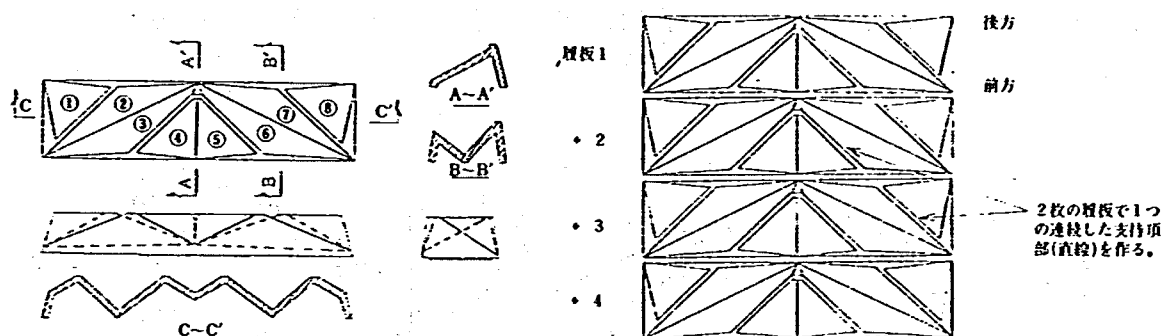


図3.5 新形履帯Bの構造

新形履帯Bは、図3.5に履板の形状及び履帯としてのパターン例を示すように、2枚の履板で前方の履板前端の外側左右から後方の履板の後端の中央部へ、車両の進行方向に対して傾斜、連続した左右対称の支持頂部を構成するものである。本履板の支持頂部は図に示す①～⑧の接地面で構成され、となり合った接地面の作る土の断面形状は、概ね三角形となる。また、1枚の履板内の2つの平行な支持頂部ではさまれた接地面が作る底部は、履板の前部外側から後部中央まで直線で構成されている。

開発した新形履帯は、図3.4、3.5に示したように支持頂部が履板の横断面のどの位置にもあるため硬い地盤上で履帯に起こる揺動が少なく、軟い地盤上でも履板の支持頂部が揺動を防ぐため(図3.6参照)履帯装置各部の摩耗を少なくすることができると考えられ、さらに、揺動を少なくすることで地盤をいためず車両の沈下も少く、推進力をより有効に発揮することができると思われる。

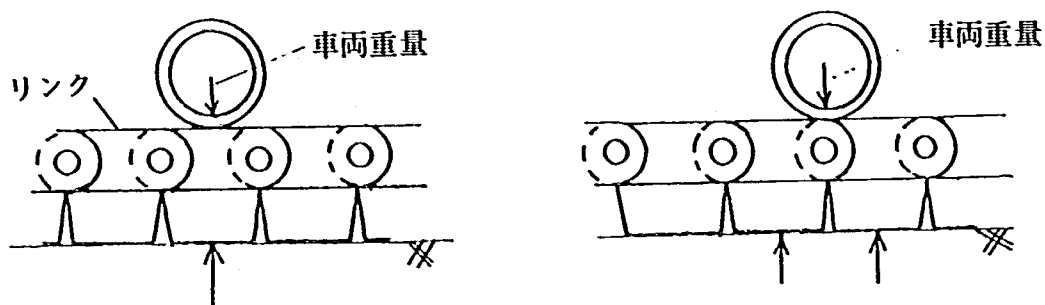


図3.6 新形履帯の装着状況

また、本履帯を広幅とし支持頂部の高さを途中から連続的に減少させた場合でも、図3.7に示すように支持頂部はやはり履板の横断面のどの位置にも残るため上述の揺動が少く、軟弱地などにおいては、車両重量に応じて履帯が沈下するので接地面積が自動的に増大し、履帯から地盤に加わる接地圧力の減少と履帯の接地面で土を転圧、凝集する効果で、大きな推進力を発揮することができると思われる。

本履帯は、支持頂部を形成する傾斜接地面により土を転圧、凝集する効果と、履帯が巻きとられる時に、履帯Aは六角錐の中央部から履帯が分割され、履帯Bは三角形の支持頂部から接地傾斜面が徐々に地盤から離れていくために、土が履帯に付着することが極めて少いと思われる。また、車両の進行方向に対して傾斜している支持頂部と接地傾斜面により傾斜地などでも横すべりのない安定した走行が可能であり、履帯の揺動が少ないため、車両自身及び地盤に発生する振動についても低減されると考えられる。

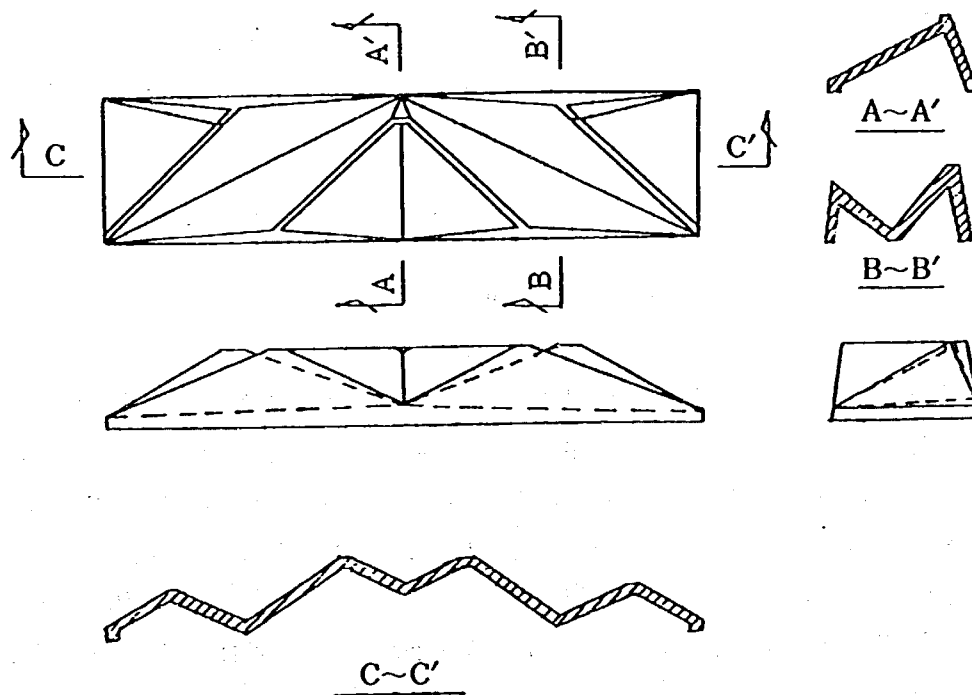


図3.7 B形広幅履板の形状例

3. 2 新形履帯の性能

考案した新形履帯のけん引性能を把握するため、現在一般に使用されている小形ブルドーザの三角履帯と同一寸法、重量で2種類の新形履帯を製作し、履板けん引性能試験装置による模型実験と、実機に装着しけん引試験を行った。

履板けん引性能試験装置は、履带式車両の履帯（履板1枚～3枚使用）と地盤の関係を室内で再現調査するため製作したもので、仕様、構造などについては巻末の参考資料1に示す。

(1) 試験方法

履板けん引性能試験装置を使用した模型試験は、三角履帯及び2種類の新形履帯を各3板ずつ試験装置に取付け、後に述べる実機のブルドーザによる試験を実施したローム、砂質ロームと同一条件となるように試験装置の土槽内に地盤を作成し、けん引試験を行ったものである。試験の明細な手順は巻末参照資料2に示す。

実機のけん引試験は、表3.1、写真3.1に示す小形ブルドーザに3種類の履帯を取付け表3.2に示すローム地盤、砂質ローム地盤、コンクリート舗装上で実施した。三角履帯及び新形履帯の取付状況を写真3.2～3.4に示す。試験時のけん引負荷は図3.8に示すように試験車両の後方にトラックを連結し与えたもので、荷台のウェイトによって負荷を変化させた。この状態で試験車両のすべり率、傾斜角度、履帯の沈下量、履板の屈曲角度、走行抵抗などを以下の方法で測定した。

表3.1 試験車両の仕様

運転整備質量	3780kg
エンジン出力	39PS/2450rpm
寸法	全 長 3210mm
	全 幅 2170mm
	全 高 2185mm
	履帯中心距離 1310mm
	接地長 1685mm
足回り	懸架方式 硬式
	ローラ数 1/5(1×170-2/170-2)
	リンクピッチ 135mm
	履板枚数 37枚(片側)
接地圧	0.22kgf/cm ² (湿地型)
変換方式	ダイレクト
ブレード装置形式	インサイドフレーム型

表3.2 試験地盤の土質

地 盤	ローム地盤	砂質ローム地盤	コンクリート舗装
土質試験			
湿潤密度 (kgf/cm ³)	1.137	1.657	—
乾燥密度 (kgf/cm ³)	0.603	1.167	—
含水比 (%)	89.6	9.7	—
コーン指数 (kgf/cm ²)	9.7	—	—
一面せん断 C (kgf/cm ²)	0.31	0.03	—
試験結果 φ (°)	25.7	41.4	—

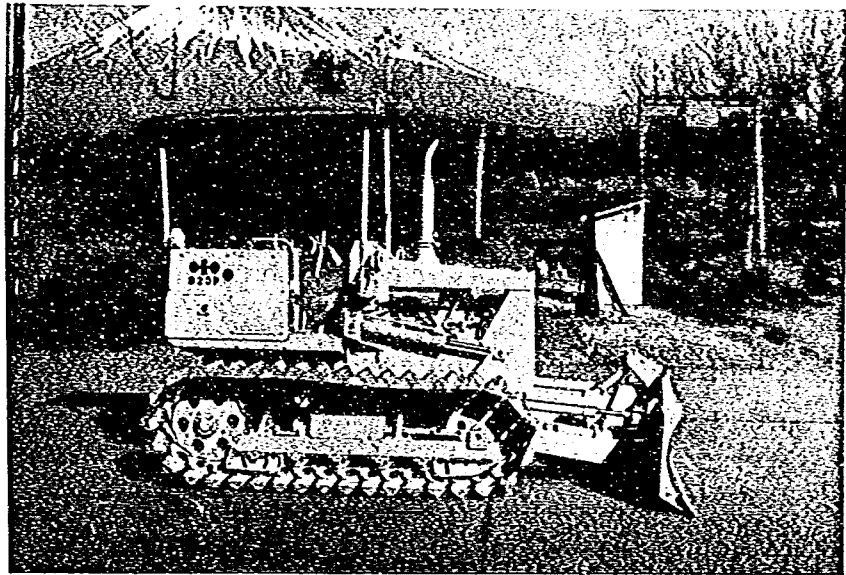


写真3.1 試験車両

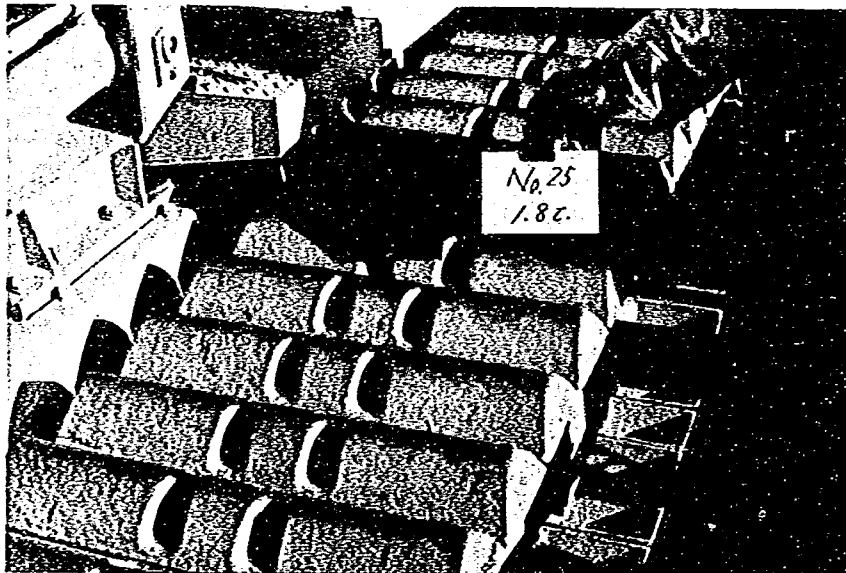


写真3.2 三角履帯

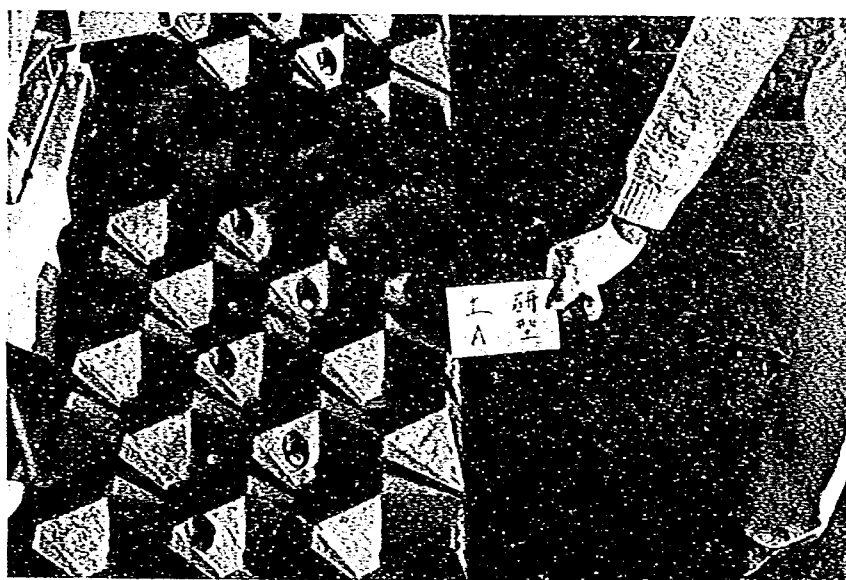


写真3.3 新形履帯A

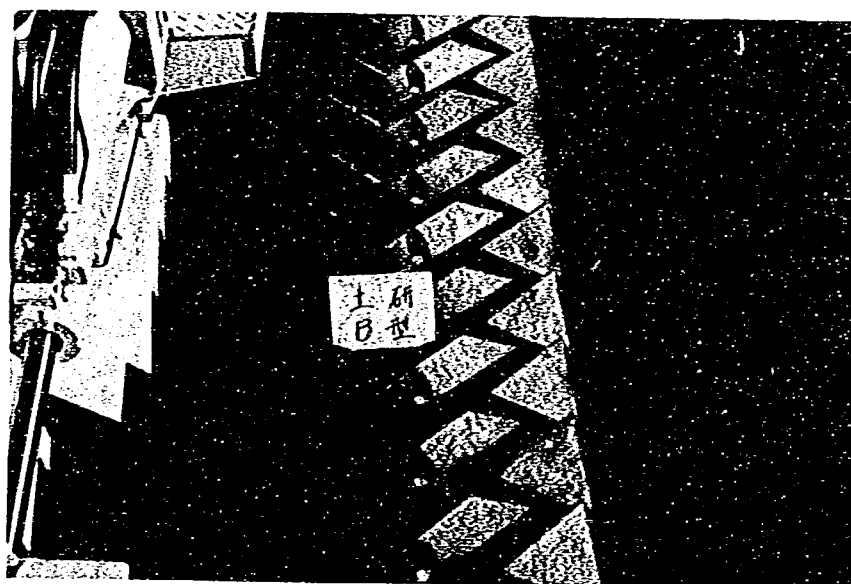


写真3.4 新形履帯B

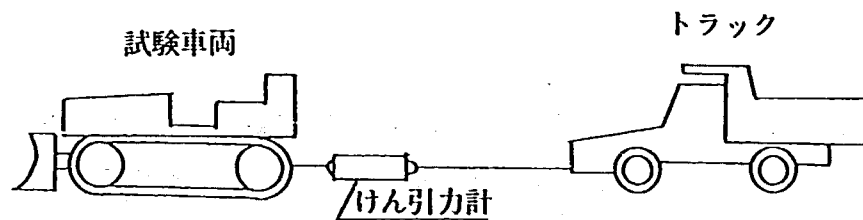


図3.8 けん引試験

① すべり率

試験車両の駆動輪に取付けた近接スイッチのパルスとピッチ円の長さから履帯の巻取距離 L_2 を算出し、試験車両に取付た第5輪で測される実験の移動距離 L_1 から、すべり率 S を算出した。

$$S = \left(1 - \frac{L_2}{L_1}\right) \times 100$$

② 傾斜角度

車両の傾斜角度は、試験車両の車体中央部の床上にバーチカルジャイロを取付け測定した。

③ 履帯の沈下量

車両の走行後地盤上に残されたわだちの深さを測定し、履帯の沈下量とした。

④ 履板の屈曲角度

履板の屈曲角度は、写真3.5に示すようにカンチレバー形変位計を履板に取付け、隣りの履板との屈曲による相対変位を角度に換算した。³⁾

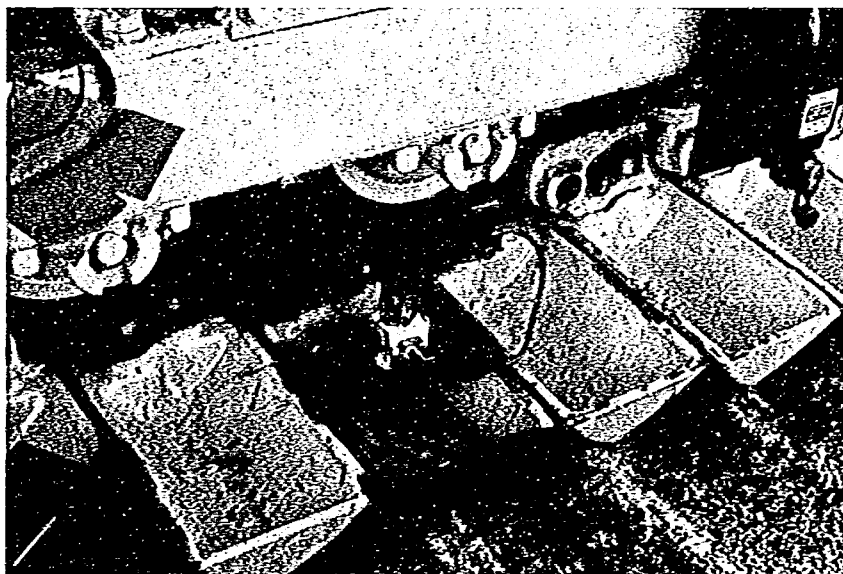


写真3.5 カンチレバー取付状況

⑤ 走行抵抗

走行抵抗は、写真3.6に示すように試験車両を他のブルドーザでけん引し、この時ロードセルで測定したけん引力の値を走行抵抗とした。

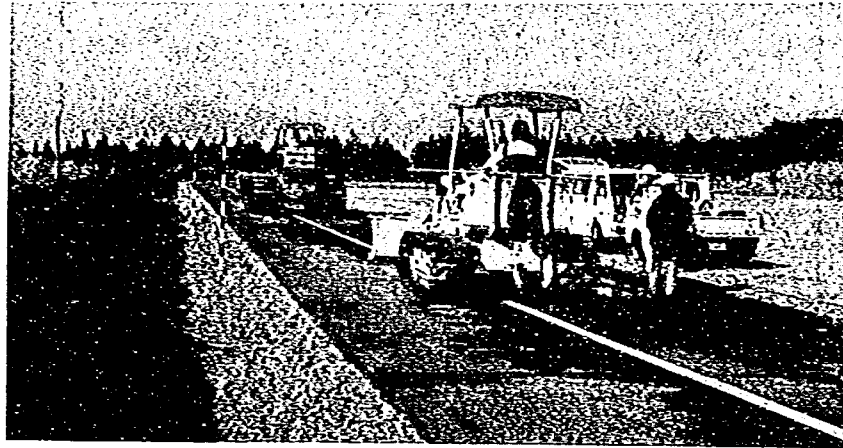


写真3.6 走行抵抗測定状況

(2) 模型試験結果

履板3枚のすべり量と抵抗力、沈下量の測定結果の1例を図3.9に示す。

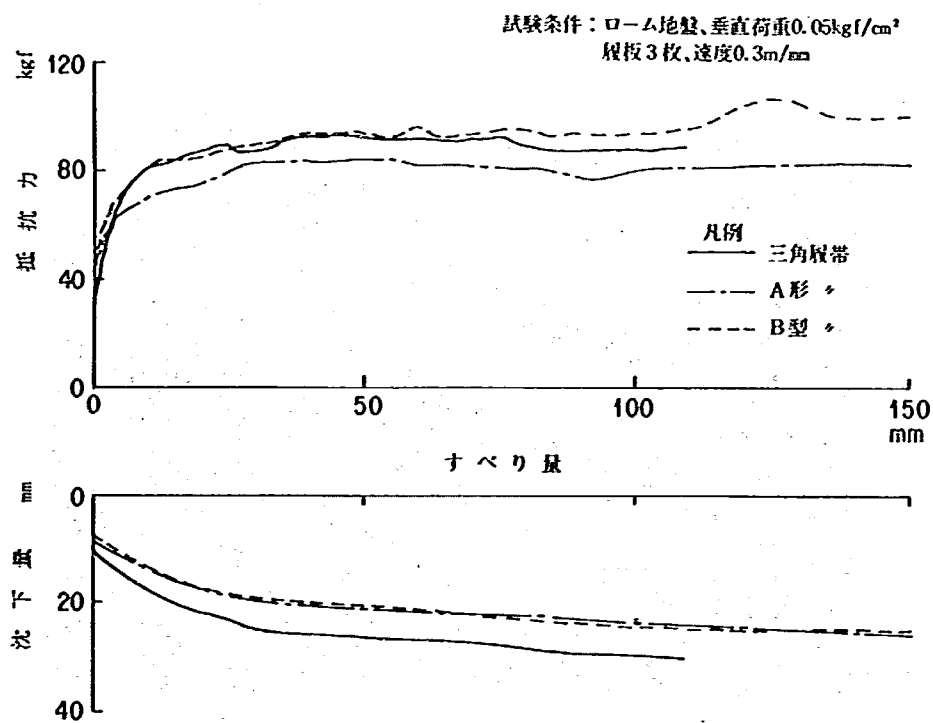


図3.9 模型試験結果

履板に加わる抵抗力はすべり量とともに増大し、あるすべり量で最大値を示した後、ほぼ一定した値を示しており、抵抗力に明瞭なピークは見られなかった。図3.10、3.11に、抵抗力がほぼ一定となった値をその履板の最大抵抗力として、これを履板の投影面積で除した単位面積当りの抵抗力と接地圧力（単位面積当りの垂直荷重）の測定結果を示す。

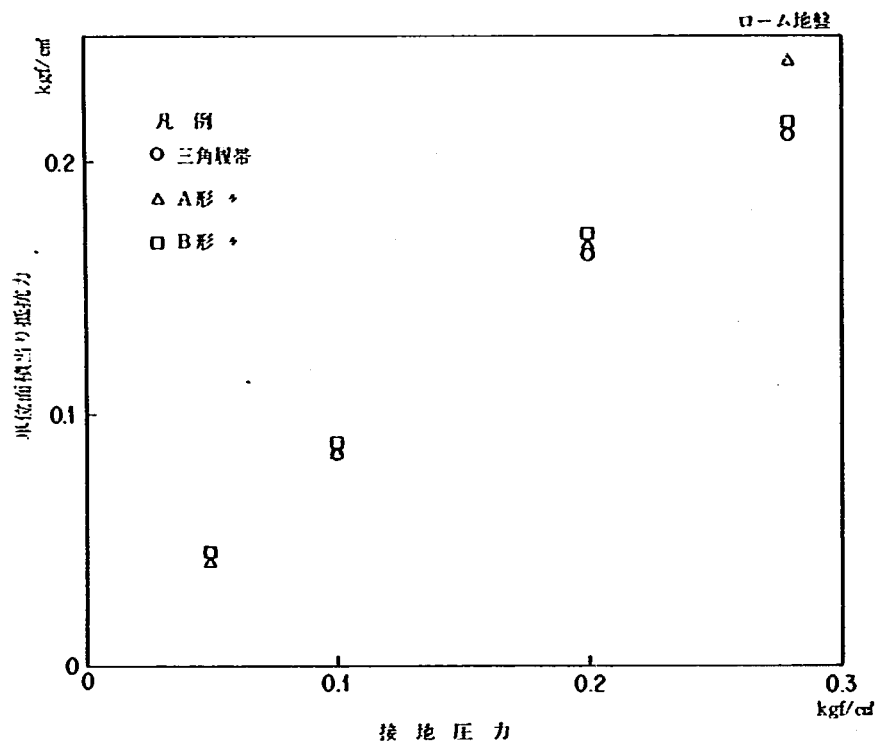


図3.10 抵抗力と接地圧力

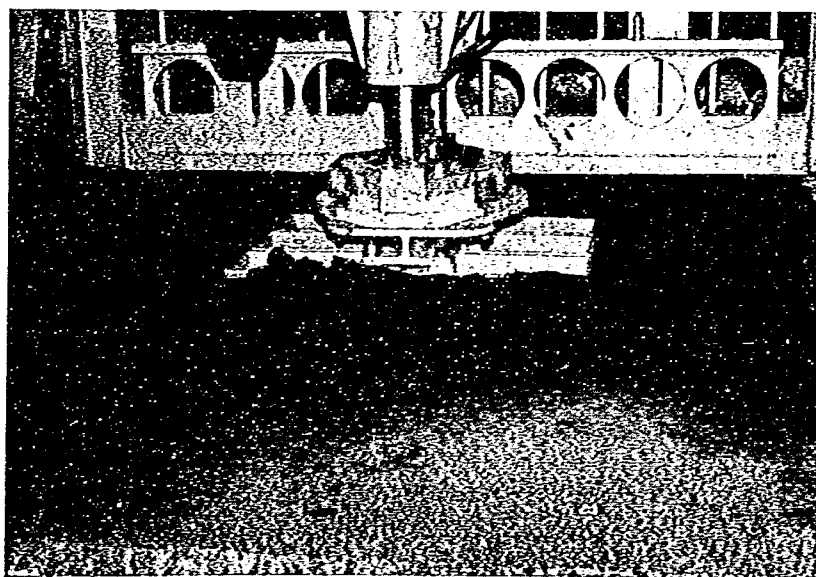


写真3.7 模型試験状況

図から、履帯形状による抵抗力の差はみられず、3種類の履帯はほとんど同程度の抵抗力を示した。これは、新形履帯が主に履板の揺動を少なくしてけん引力を向上させるよう考案されたもので、履板けん引性能試験装置による試験では取付られた3枚の履板が装置に完全固定されたままの状態になっているためこの差が現れないためと思われる。また、図3.9に示された抵抗力曲線の凸凹は、土槽中の地盤を完全に均一に作成することができないための影響と、写真3.7に示すように、試験時の地盤に履板により小さなせん断が起っているためと考えられ、乾燥した細砂をゆるく敷均して同様の試験を行った結果では、抵抗力は非常になめらかな曲線となっていた。

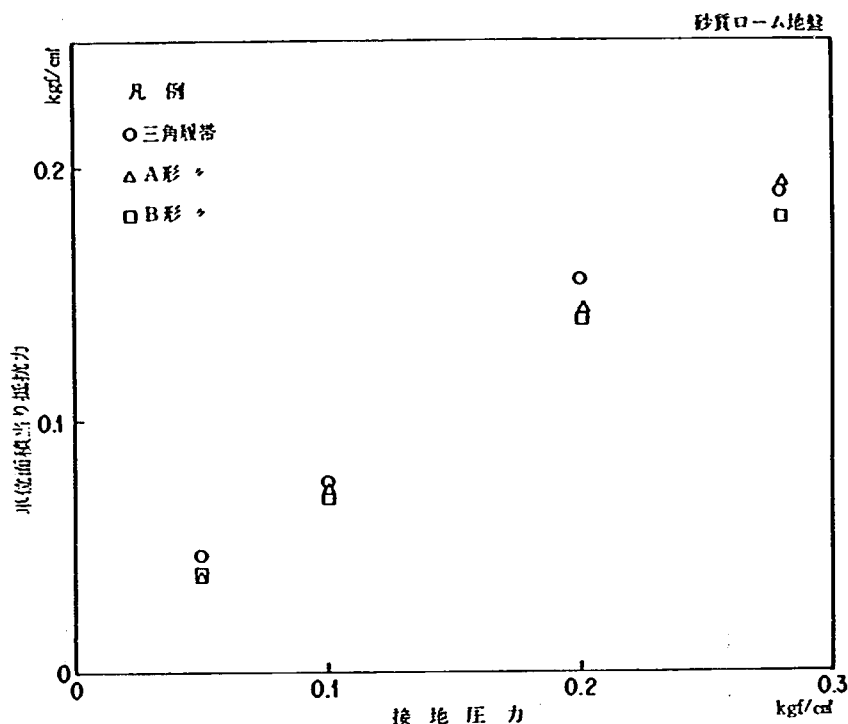


図3.11 抵抗力と接地圧力

沈下量のうち静的沈下量の測定結果を図3.12, 3.13に示す。砂質ローム地盤では、A、B形ともに三角履帯よりわずかに小さい沈下量を示しているが、ローム地盤ではB形履帯の沈下量が大きくなっており、接地圧力と静的沈下量の関係は一定していない。すべり量については前述の図3.9に測定例を示したが、すべり量とともにすべり沈下量はある値まで増加するが、その後の増加はほぼ直線的になっており、履帯による差は見られなかった。模型試験による履帯の沈下については、軟弱な地盤を対象としているにもかかわらず、静的沈下量、すべり量ともにその沈下量がミリメートル単位と非常に小さく、地盤表面の凸凹や地盤作成時の締固め方法から密度が不均一となることで、測定値が影響を受けていると考えられ、試験方法をさらに検討する必要があると思われる。また、すべり沈下量に関しては、実機の走行状態の様に履板をピンなどで結合した場合、転輪から垂直荷重が加えられ本試験と異なった結果になることも想像される。

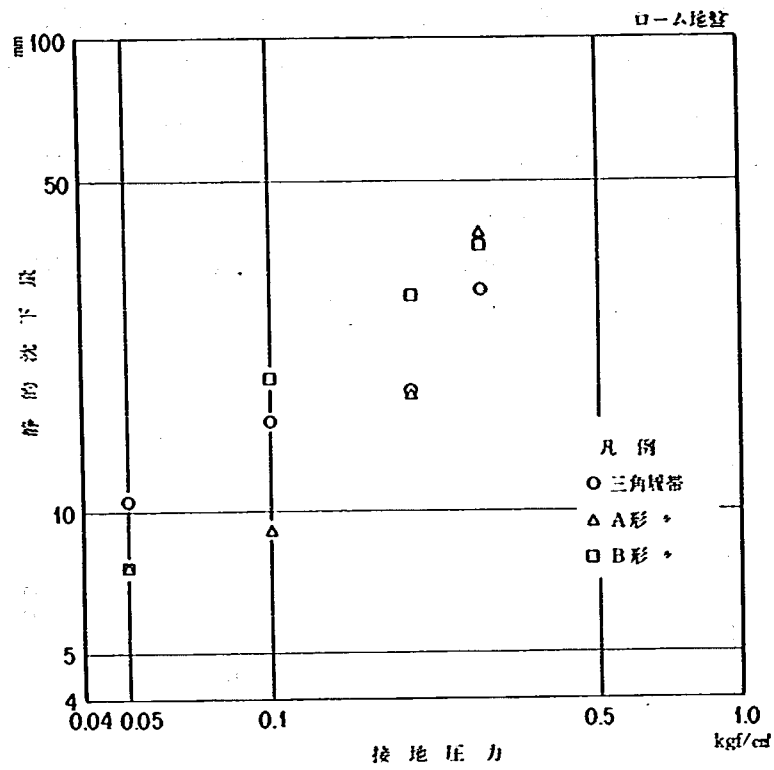


図3.12 接地圧力と静的沈下量

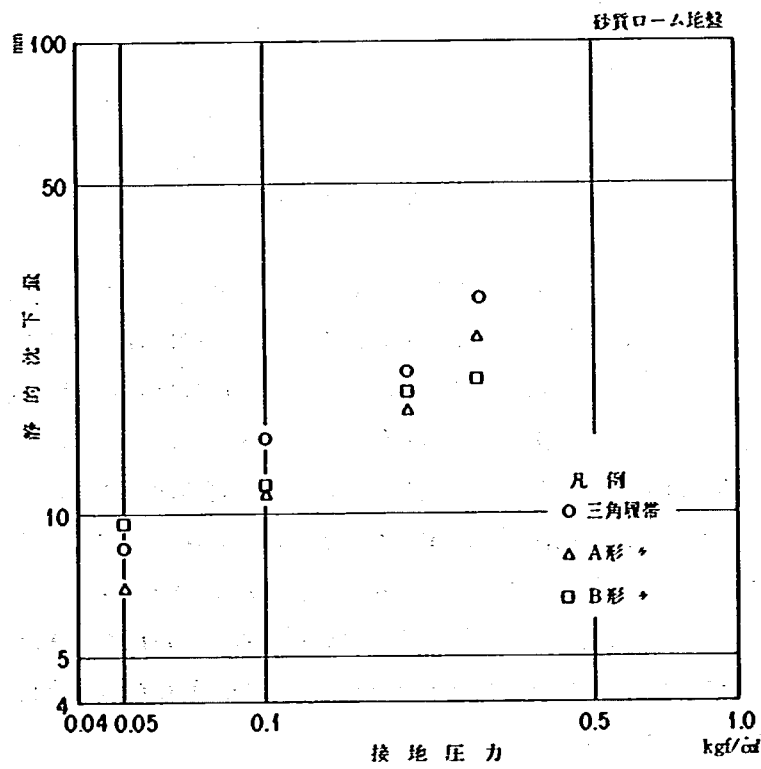


図3.13 接地圧力と静的沈下量

(3) 実大試験結果

軟弱地盤上で車両が走行するためには、履帯と地盤の間ですべりが生じるが、すべる量が大きければ車速の低下や沈下が増大し、走行性能は低下する。砂質ローム地盤における各履帯装置のけん引力とすべり量の関係は、図3.14に示すようにB形履帯は同じけん引力を発揮するためにすべり量が3種類の履帯の中で最も小さく、A形履帯についても三角履帯より小さなすべり量となっている。ローム地盤におけるけん引力と車両のすべり率の測定結果は、図3.15に示すとおりで、すべり率5～30%でA、B形ともに三角履帯よりもわずかであるがけん引力が大きくなっている。

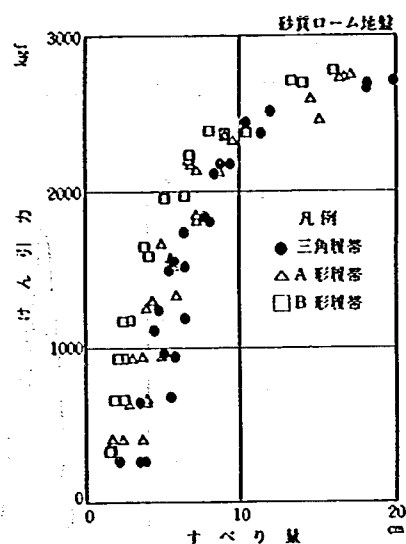


図3.14 けん引力とすべり量

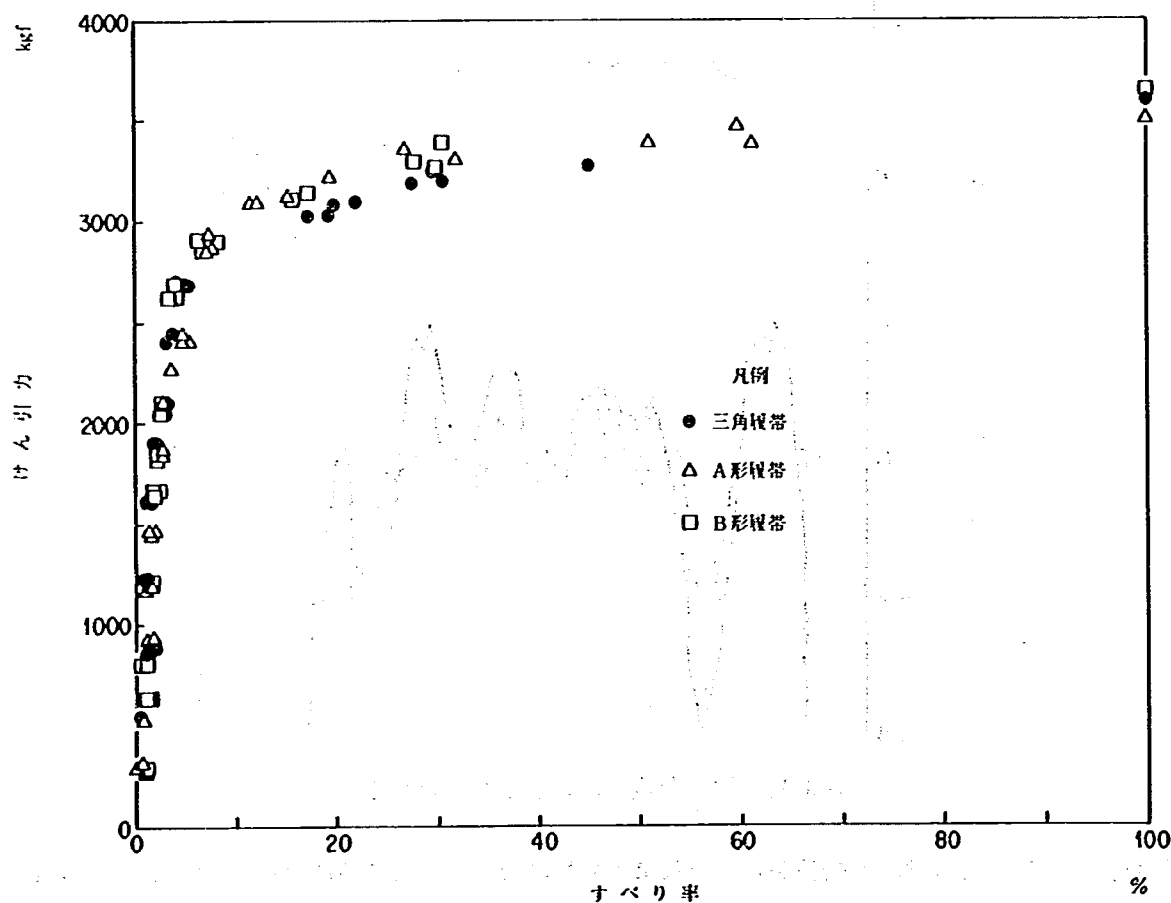


図3.15 けん引力とすべり率

履板の屈曲角度の測定は、砂質ローム及びコンクリート舗装上のみで実施した。図3.16, 3.17に砂質ローム地盤における無負荷走行及びけん引走行時の屈曲角度測定結果を示す。

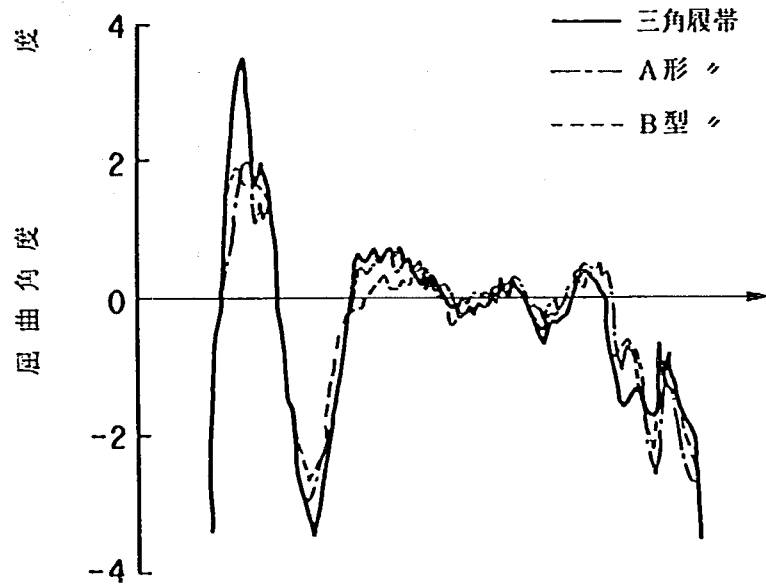


図3.16 屈曲角度（無負荷走行）

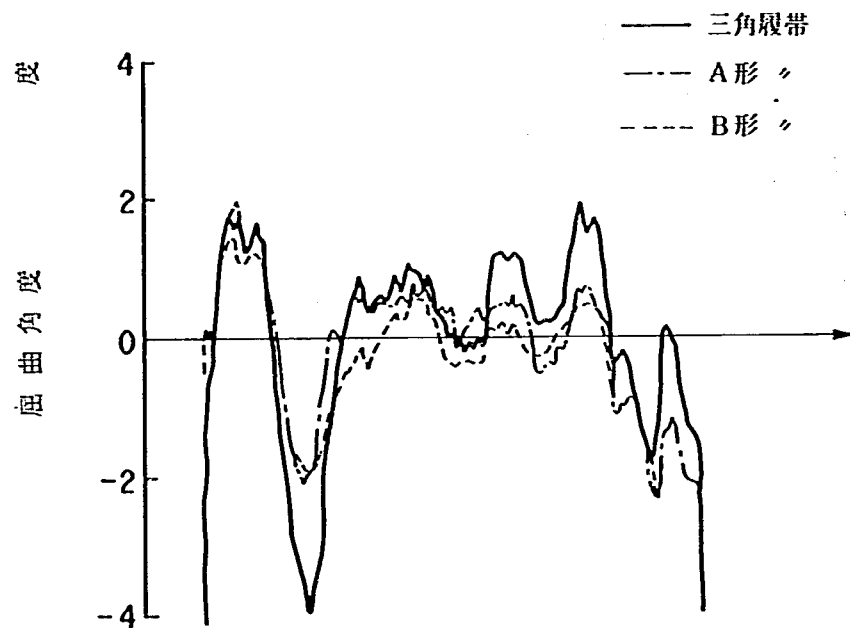


図3.17 屈曲角度（けん引走行，負荷1.5t）

無負荷走行時の履板は、遊動輪からはなれ第1転輪に踏まれる前に凸に屈曲し、転輪下で下に凸に屈曲する。その後も転輪部分で同様に屈曲をくり返すが、その角度は2°前後となっている。しかし、けん引走行時は、第1転輪の部分だけでなく、各転輪が通過するたびに屈曲する角度が大きくなる傾向を示している。また、コンクリート舗装上では、各履帯ともに砂質ローム地盤より屈曲角度は小さくなっていた。

開発したA、B形履帯の屈曲角度は、図にも示されているように三角履帯より小さく、コンクリート舗装上でも同様であり、開発時に意図とした履帯の形状による屈曲の減少を確認することができた。そして、このことにより、履帯下の地盤をみださず強度の低下が少なく、地盤の推進力を有効に発揮でき車両のけん引力が増大したものと考えられる。また、副次的な振動対策について、三角履帯と新形履帯2種類をブルドーザに装着し、座席取付部の振動を測定した結果、A形履帯は三角履帯とほとんど同程度の振動であったが、B形履帯は三角履帯より2～3dB座席取付部の振動が軽減されており³⁾、新形履帯がオペレータ席の振動低減に効果があるという結果であった。

走行抵抗の測定結果を図3.18、3.19に示す。

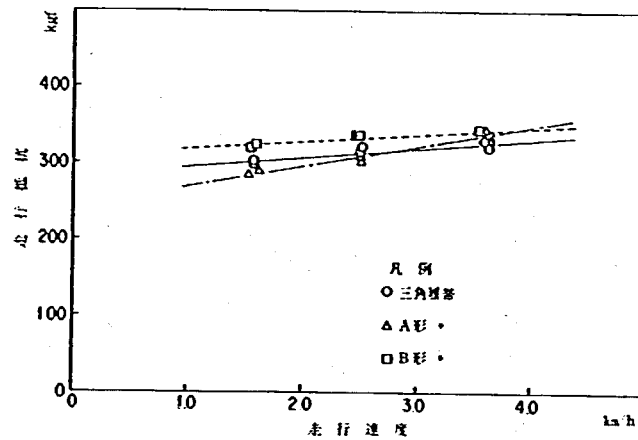


図3.18 ローム地盤上の走行抵抗

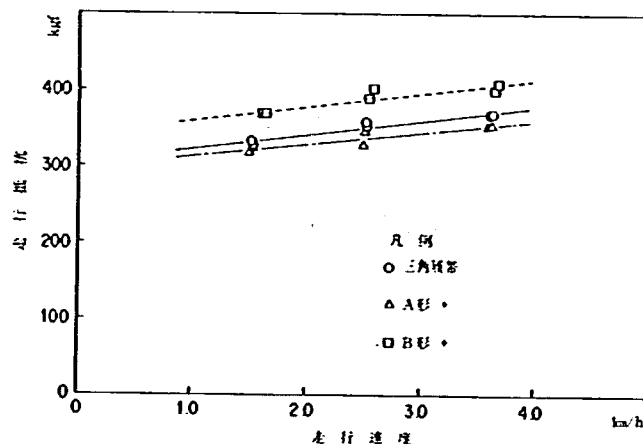


図3.19 砂質ローム上の走行抵抗

走行抵抗は走行速度とともに増加していき、A形履帯の走行抵抗は、三角履帯と同程度か、わずかに低く、B形履帯は他の履帯より常に50kg程度大きな値を示していた。これは、主に履帯が地盤を圧縮して押し固める抵抗による差と考えられる。

車両の傾斜角度はけん引負荷の増加とともに大きくなっていったが、各履帯ともに最大けん引負荷時でも2～3°程度と傾斜する角度が小さいため、履帯の形状による差は確認できず、走行後に測定した車両の沈下量についても、A、B形履帯ともに最大深さで5～6cmを示し、三角履帯とほぼ同程度であった。

4. けん引性能予測

4. 1 けん引性能予測式

履帯式車両のけん引性能予測式は、車両の接地圧力分布を車両の重量、接地長、重心位置などの仕様から仮定し、この時履帯下の土が発揮できる推進力を算出し、車両のけん引力を推定するものである。

けん引性能を予測する時に必要な入力条件を図4.1、表4.1に示す。

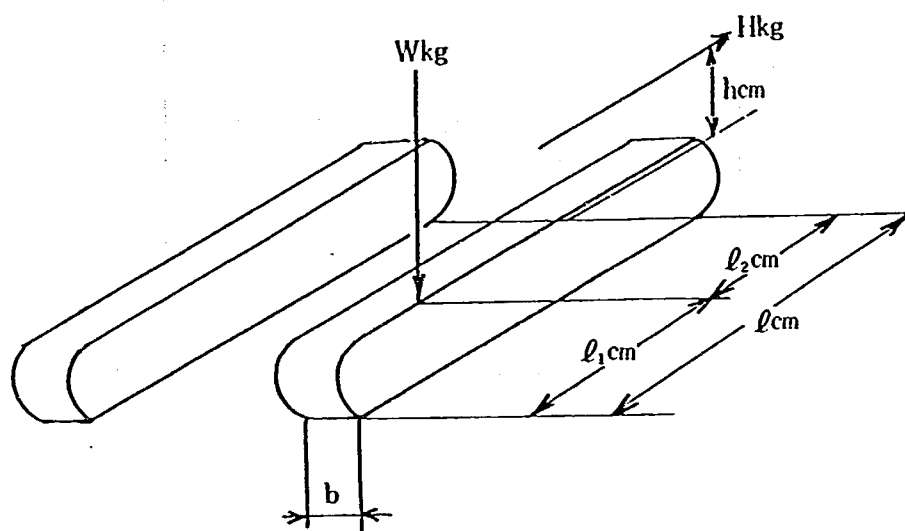


図4.1 車両の入力条件

表4.1 入力条件

記 号	説明
W	履帯車両の重量 (kg)
l	履帯の接地長 (cm)
b	履帯の幅 (cm)
l_1	履帯車両の重心から履帯接地前端までの距離 (cm)
l_2	" 履帯接地後端までの距離 (cm)
h	履帯車両に作用するけん引高さ (cm)
H	履帯車両に作用するけん引力 (kg)
C	土の摩擦係数 (kg/cm ²)
ϕ	土のせん断角
α_1	土のせん断モードを表す係数
A	"

入力条件の中で土の摩擦係数 C 、土のせん断角 φ 、土のせん断モードを表す係数 α 、 A は、予測対象地盤と同じ状態の地盤を履板けん引性能試験装置の土槽中に作成し、履帯(予測する車両と同一寸法、形状)のけん引抵抗力を測定した結果から得られる値であり、以下にこれらの算出方法を述べる。摩擦係数と土のせん断角は、図4.2に示す接地圧力と最大抵抗力の関係から一般に土質試験と同様に算出する。土のせん断モードを表わす係数は、履帯と地盤の間の抵抗力 τ とすべり量 i の関係が図4.3に示すように漸増する場合は、両者の関係が式4.1で表わすことができるものとし、

$$\tau = (C + P \tan \varphi) (1 - e^{-\alpha i}) \quad \dots\dots (4.1)$$

図4.3の抵抗力 τ がほぼ一定した a 点を1.0とすると $\tau = 0.632$ と曲線の交わった箇所のすべり量 i が $1/\alpha$ となり、各接地圧力における測定値から α を算出することができる。

抵抗力とすべり量の関係が図4.4に示すぶ形の曲線となる場合は両者の関係が式4.2で表すことができるものとし、

$$\tau = (C + P \tan \varphi) (1 - (1 - Ai) \cdot e^{-\alpha i}) \quad \dots (4.2)$$

この場合の α 、 A は、図4.4の最大抵抗力 $\tau_{\max}$ を抵抗力がほぼ一定した値 τ_{∞} で除し、この値と a 点におけるすべり量から図4.5を使用して α 、 A を求めるものである。

けん引性能の予測式における履带式車両の接地圧力分布は、車両が図4.6に示す形態であるとみなすと、車両前方の接地圧力 P_{f0} 、車両後方の接地圧力 P_{r0} は、式(4.3)で計算される。

$$\left. \begin{aligned} P_{f0} &= \frac{W}{b\ell^2} (2\ell - 3\ell_1) \quad \text{または} \quad \frac{W}{b\ell^2} (3\ell_2 - \ell) \quad (\text{kg/cm}^2) \\ P_{r0} &= \frac{W}{b\ell^2} (2\ell - 3\ell_2) \quad \text{または} \quad \frac{W}{b\ell^2} (3\ell_1 - \ell) \quad (\text{kg/cm}^2) \end{aligned} \right\} \dots (4.3)$$

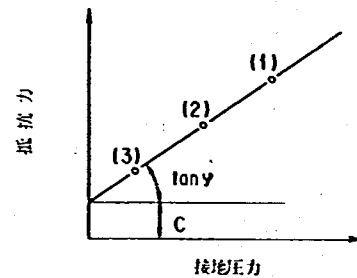
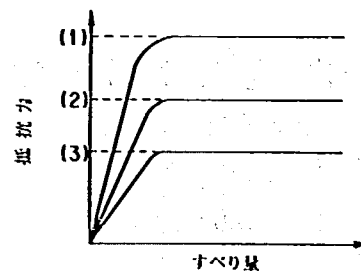


図4.2 C 、 φ の算出

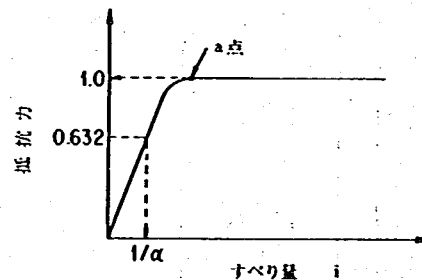


図4.3 α の算出

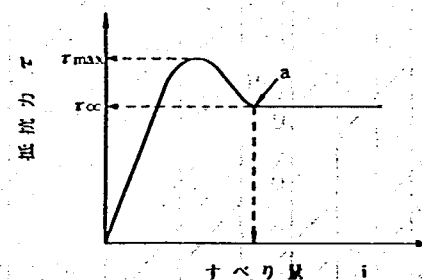


図4.4 α の算出

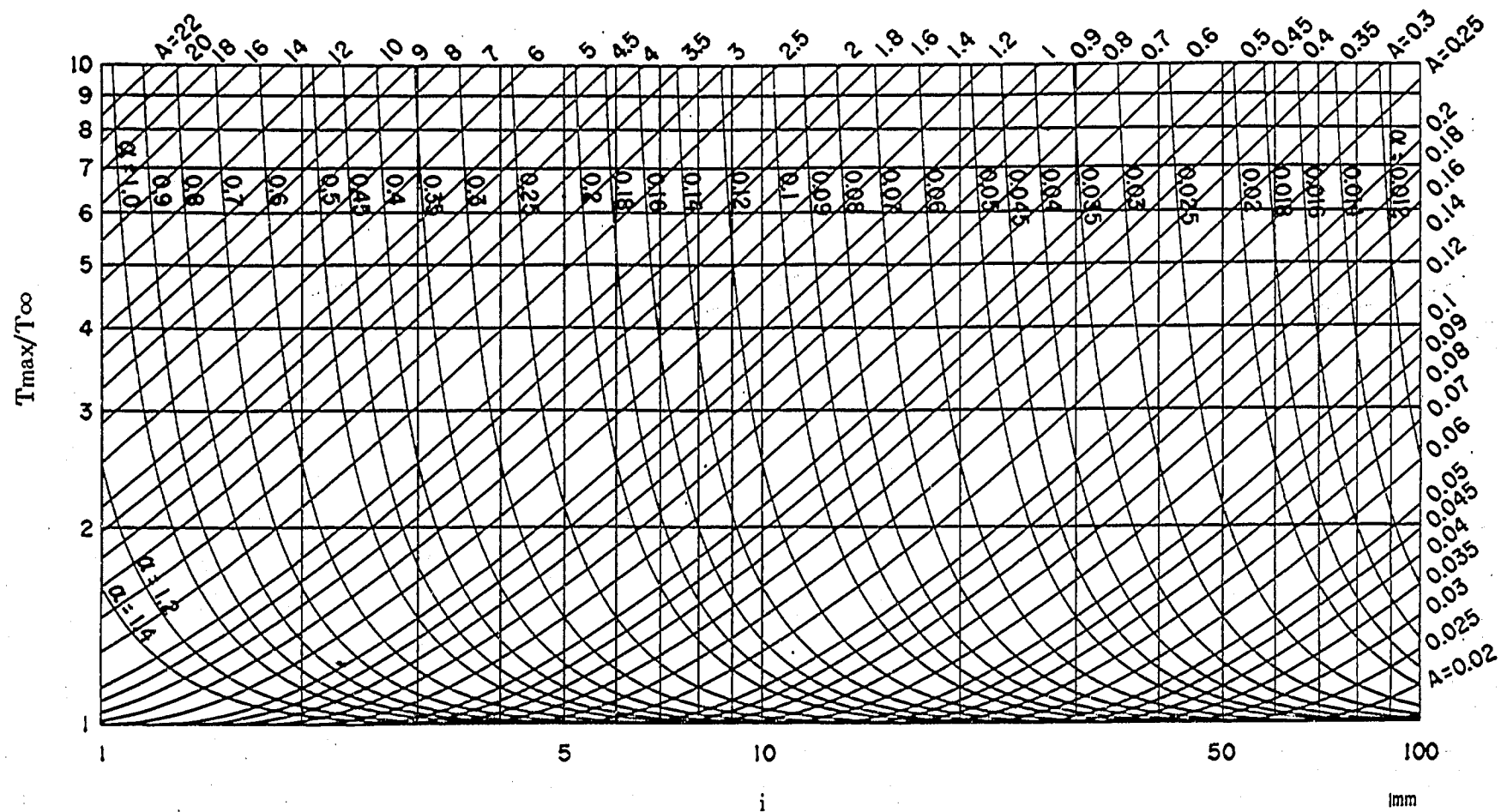


図4.5 模型試験から A 、 α を求める線図

1465	01.01.23	浦井 稔	地調 地震物理部	3619	MSPからUTSへのデータ転送について	宮崎	01.01.23		
1466	01.01.25	八木 昭彦	電機研 計算機構	58-5852	CRAY上の応用ソフト利用に関する不便の解決について	宮崎	01.01.27		
1467	01.02.01	桑 勝一郎	計測 計測数理	4061	ATF文字のカッコ () や%の改善について	別所	01.02.01		
1468	01.02.03	西村 良弘	構造研 成形工学	6297	ICAD/SDS4の図面作成許容数の拡大	小野 (片岡)	01.02.03	01.02.06	1モデル当たり60枚の図面を作成できるように修正しました
1469	01.02.13	安藤 功児	電機研 光材料	58-5455	ログオン時のRECONNECTについて	伊藤 (川村)	01.02.14	01.02.14	FCATの次期バージョンでサポートします (本年5月ごろ)

けん引力 H_m は、接地圧力分布が台形または三角形について、以下に示すごとく計算される。

(1) 台形の接地圧力分布の場合

接地の前端からの距離 X (cm) における接地圧力 P_x (kgf/cm²) は、式4.7で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} P_x &= P_f + \frac{P_r - P_f}{\ell} X \\ &= P + Q_x \quad \text{とおく。} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.7)$$

けん引力 H_m (kgf) は、すべり率 i_o の値に対して式4.8によって計算できる。

$$H_m = 2b \int_0^\ell \left\{ C + (P + Q_x) \tan \zeta \right\} \left\{ 1 - (1 - A_{iox}) e^{-a_{iox}} \right\} a_x \dots (4.8)$$

上式を解くと

$$\begin{aligned} H_m &= 2b\ell \left(C + P \tan \zeta \right) \left\{ 1 - \frac{A}{a} e^{-a_{io\ell}} - \frac{1}{a_{io\ell}} \left(1 - \frac{A}{a} \right) \cdot \right. \\ &\quad \left. (1 - e^{-a_{io\ell}}) \right\} + 2b\ell^2 Q \tan \zeta \left\{ \frac{1}{2} - \frac{A}{a} e^{-a_{io\ell}} + \right. \\ &\quad \left. \frac{1}{a_{io\ell}} \left(1 - \frac{2A}{a} \right) e^{-a_{io\ell}} - \frac{1}{(a_{io\ell})^2} \left(1 - \frac{2A}{a} \right) (1 - e^{-a_{io\ell}}) \right\} \dots (4.9) \end{aligned}$$

となる。

(2) 三角形の接地圧力分布の場合

接地前端から距離 X (cm) における接地圧力 P_x (kgf/cm²) は、式4.10で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} P_x &= 0 \quad 0 \leq X < \ell_0 \\ P_x &= \frac{P_r}{\ell - \ell_0} (X - \ell_0) \quad \ell_0 \leq X \leq \ell \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.10)$$

$$= R(X - \ell_0)$$

とおくと、けん引力 H_m (kgf/cm²) は、すべり率 i_o の値に対して式4.11によって計算できる。

$$H_m = 2b \int_{\ell_0}^\ell \left\{ C + R(X - \ell_0) \tan \zeta \right\} \left\{ 1 - (1 - A_{iox}) e^{-a_{iox}} \right\} dX \dots (4.11)$$

上式を解くと

$$\begin{aligned}
Hm = & 2b\ell(C - R\ell_0 \tan \zeta) \left\{ \left(1 - \frac{\ell_0}{\ell} \right) + \frac{A}{a} \left(\frac{\ell_0}{\ell} e^{-a\ell_0/\ell} \right) - \right. \\
& \left. \frac{1}{a\ell_0} \left(1 - \frac{A}{a} \right) \left(e^{-a\ell_0/\ell} - e^{-a\ell/\ell} \right) \right\} + 2b\ell^2 R \tan \zeta \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\ell_0^2}{\ell^2} \right) + \right. \\
& \left. \frac{A}{a} \left(\frac{\ell_0^2}{\ell^2} e^{-a\ell_0/\ell} - e^{-a\ell/\ell} \right) - \frac{1}{a\ell_0} \left(1 - \frac{2A}{a} \right) \left(\frac{\ell_0}{\ell} e^{-a\ell_0/\ell} - e^{-a\ell/\ell} \right) - \right. \\
& \left. \frac{1}{(a\ell_0)^2} \left(1 - \frac{2A}{a} \right) \left(e^{-a\ell_0/\ell} - e^{-a\ell/\ell} \right) \right\} \dots (4.12)
\end{aligned}$$

となる。ここで、接地圧力分布とけん引力は互いに影響し合うため、最終的なけん引力は、接地圧力とけん引力を繰返し再計算を行って収束させて求める。

4. 2 けん引性能予測式の検証

けん引性能予測式の検証は、実機のブルドーザのけん引力とすべり率などを実際に測定し、予測式による予測値と比較し実施したものである。実機のけん引力などの測定に使用した車両及び試験方法は、前章3. 2新形履帯の性能の項で実施した試験方法と同様である。

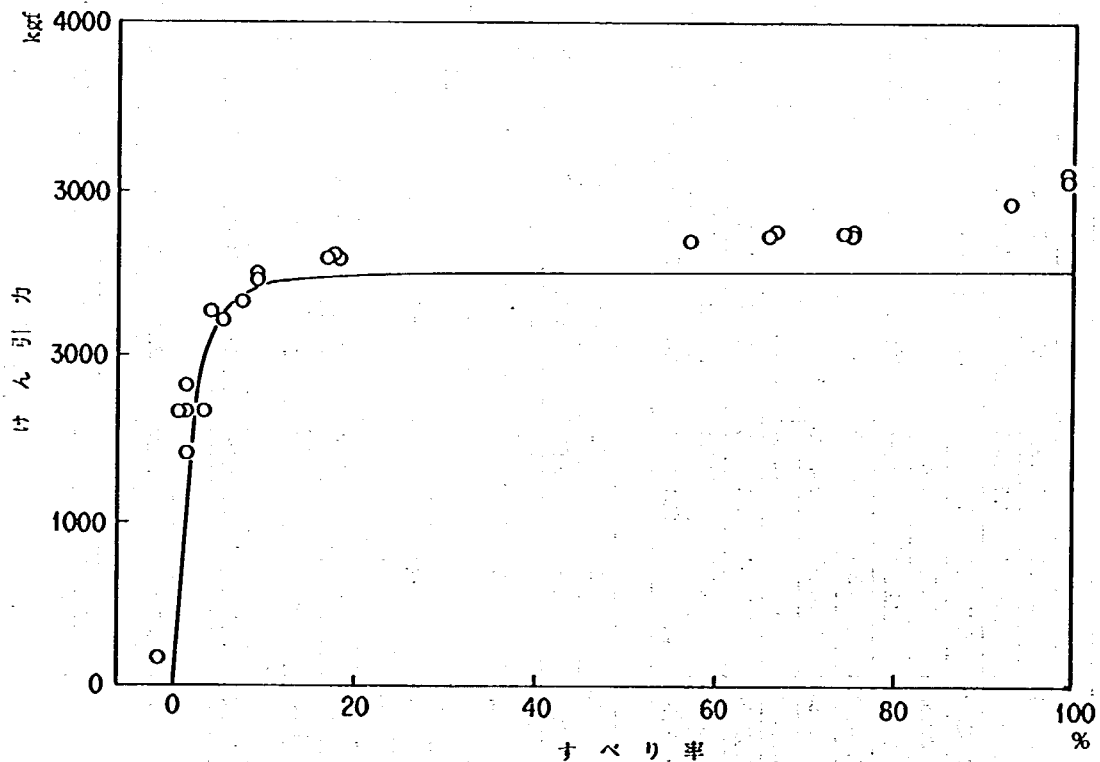


図4.9 実測値と予測値 (砂地盤)

昭和62年度の計算機利用状況(計算機科) --- FACOM

(単位:円)

所 名	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合 計
計 算 研 究 所	1,153,050	344,313	409,894	533,314	390,092	368,396	274,157	288,253	530,649	497,311	491,305	179,746	5,460,480
機械技術研究所	806,503	1,033,828	1,332,576	1,718,580	1,606,929	1,619,720	997,794	1,234,333	1,553,608	1,633,284	1,294,912	344,473	15,181,540
化学技術研究所	9,178,553	10,421,196	9,414,723	17,135,925	16,209,746	13,156,538	11,691,109	9,275,792	11,870,201	12,810,816	15,451,067	7,393,514	144,009,180
微生物工業技術研究所	169,203	204,565	177,756	184,733	163,496	164,797	152,608	189,254	196,208	203,748	192,021	78,775	2,077,161
高分子材料研究所	251,328	245,906	315,573	263,893	184,247	350,412	561,850	457,102	461,279	756,014	479,570	176,060	4,509,294
地質研究所	2,062,296	2,678,685	4,143,055	4,092,243	4,677,267	3,358,886	2,913,841	3,956,197	3,475,652	3,730,706	3,748,375	1,518,995	40,356,198
電子技術総合研究所	10,508,943	9,680,958	11,214,180	10,254,326	8,717,831	9,820,226	10,344,714	12,346,657	9,314,867	9,596,834	11,542,224	7,011,678	120,353,438
製品科学研究所	644,001	1,526,149	922,127	233,031	2,250,891	1,486,808	127,033	1,329,920	1,090,071	225,518	227,294	69,706	10,192,549
公害環境研究所	1,288,239	3,052,949	3,517,897	3,719,925	2,802,087	3,530,011	4,574,223	4,950,523	7,263,971	5,401,245	1,289,792	228,526	41,679,388
筑波管理研究所	83,912	106,936	100,979	119,234	101,044	110,691	82,062	95,555	94,960	89,069	78,145	20,040	1,082,627
筑波地区研究所合計	26,146,028	29,295,545	31,548,760	38,261,204	37,103,632	33,966,480	31,779,391	34,123,586	35,856,466	34,944,545	34,794,705	17,081,513	384,901,855
工業技術院 (NRI)	375	465	450	465	465	450	315	435	465	395	0	72	4,352
大分工業技術試験所	7,845	2,548	1,866	3,982	689	607	38	29	31	190	434	4,334	22,593
名古屋工業技術試験所	3,050	3,034	363	345	397	4,065	4,701	6,373	12,253	9,188	8,459	2,102	54,330
北海道工業技術試験所	467	505	480	1,289	496	516	881	576	915	1,448	1,748	399	9,720
九州工業技術試験所	3,600	9,555	8,098	5,616	5,611	6,299	3,591	4,959	7,926	11,263	3,752	945	71,215
四国工業技術試験所	700	868	840	868	868	875	588	1,160	3,649	6,386	7,894	9,574	34,270
東北工業技術試験所	425	527	510	527	527	510	357	493	527	527	13,365	3,045	21,340
中国工業技術試験所	2,350	7,308	23,766	16,395	6,788	4,261	12,630	13,011	3,420	4,434	15,498	4,200	114,961
地域研究所合計	18,812	24,810	36,373	29,487	15,841	17,583	23,101	27,036	29,186	33,831	51,150	24,671	331,881
試験研究所合計	26,164,840	29,320,355	31,585,133	38,290,691	37,119,473	33,984,063	31,802,492	34,150,622	35,885,652	34,978,376	34,845,855	17,106,184	385,233,736
情報計算センター	11,843,219	9,420,034	10,220,152	9,983,422	10,480,041	12,016,904	8,980,413	11,865,629	11,898,984	12,046,401	13,441,467	6,058,336	128,255,002
合 計	38,008,059	38,740,389	41,805,285	48,274,113	47,599,514	46,000,967	40,782,905	46,016,251	47,784,636	47,024,777	48,287,322	23,164,520	513,488,738
CPU稼働率	85.3%	77.1%	82.4%	83.0%	87.9%	86.2%	89.1%	80.4%	86.2%	98.5%	83.2%	94.5%	86.2%

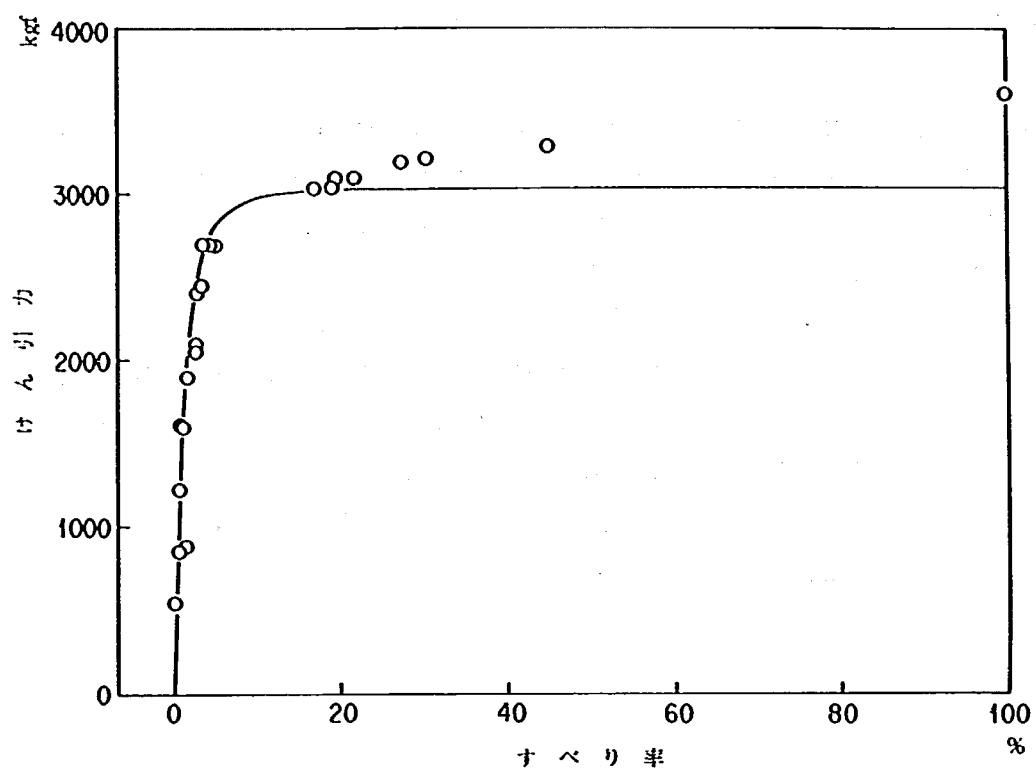


図4.11 実測値と予測値 (粘性土ローム盤)

あとがき

履带式車両の接地圧力は、通常の硬い地盤上では車両前端から後端の転輪間で均等に分布しておらず、転輪下で集中する傾向である。しかし、泥地など車両の走行限界に近い軟弱地盤上においては、本調査の結果、車両前端の転輪から車両後端の転輪までの間に、ほぼ均等（けん引負荷により車両前端と後端の接地圧力は異なり、台形状となる。）に接地圧力が分布する形態となっていると思われる。

軟弱地盤における走行性能を改善するために考案した新形履帯装置は、わずかであるがけん引力を増大させることができ、履帯の屈曲並びに座席振動などの性能を考慮すると、考案したB形履帯が実用に有利であると考えられる。また、車両の接地圧力の測定結果から、走行性能の予測手法を作成することができ、実測値との比較結果から軟弱地盤上においては一応の予測が可能であると思われる。しかし、予測手法に関しては車両の沈下量、走行抵抗の予測に関して検討する必要がある、さらに、抵抗力和すべり量の関係が“こぶ形”となる場合や各種地盤における確認が今後必要である。

参考文献

- 1) 村山朔郎, 装軌式トラクタの走行装置 (下) 建設の機械化 第22号
- 2) 道路土工施工指針 P53 社団法人 日本道路協会 昭和52年1月
- 3) 建設機械の振動対策に関する調査試験 (第4報) 土木研究所資料第2195号
土木研究所機械研究室

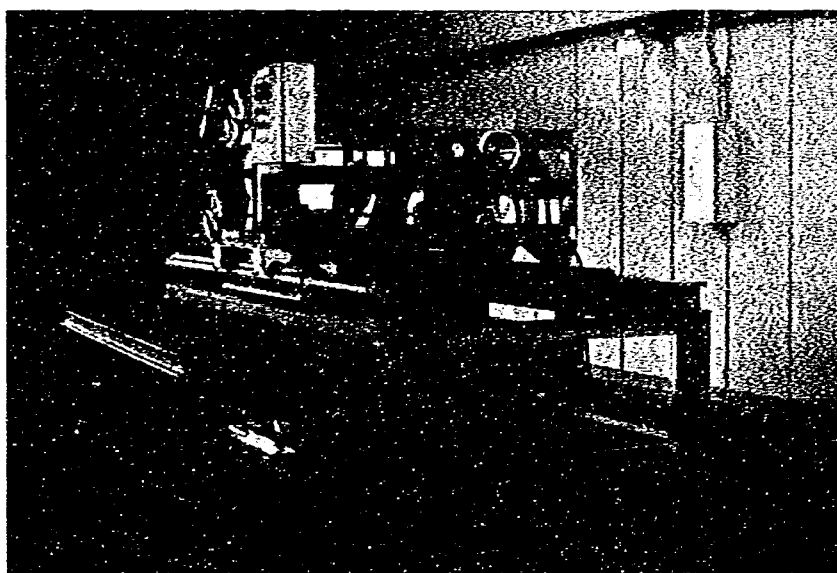
参考資料－１

履板けん引性能試験装置

履带式車両の履帯と地盤間の関係を実機を使用して試験するためには、多大な費用を必要とし非常に困難である。そこで、履板（１～３枚）と地盤のけん引力、すべり量などの関係を室内においてモデル化し試験するために、表－１に示す仕様の履板けん引性能試験装置を制作したものである。写真－１に装置の外観を示す。

表－１ 履板けん引性能試験装置仕様

寸 法	長さ3500×幅2250×高2320mm
けん 引 力	最大 1000kg
速 度	0.3～7.5m/min
土 槽 寸 法	長さ2200×幅1200×深 500mm
載 荷 荷 重	最大 300kg（てこ式 5 倍）
走行 範 囲	2200mm
履板垂直移動範囲	200mm
履 板 取 付 数	1～3 枚
抵抗力測定範囲	進行方向荷重 500kg （東洋ボールドウィン制，XY変換器使用） 横方行荷重 250kg （ 同 上 ）
駆 動 源	電動機 3.7kW 200V 3 相
進行方向変位計測 （すべり量）	差動変圧式変位計 l = 1000mm （共和 DLT- 500A）
垂直方向変位計測	差動変圧式変位計 l = 250mm （共和 DLT- 100A）
補 助 装 置	レーキ式掘りおこし装置 平板しきならし装置



写真－１ 履板けん引性能試験装置

本装置は、中央の2方向ロードセル下部に履板を取り付け、実験用土槽に作成した地盤に、てこの原理で倍力した荷重で履板（1～3枚）を垂直に押し付け（履帯に加わっている接地圧力に相当）、履板の沈下量が安定した後、装置を移動させ履板を水平に移動させる。この時、履板に加わるけん引抵抗力（進行方向及び横方向）と沈下量、移動量などを測定するものである。試験用履板を取付ける2方向ロードセルの部分は、リニヤモーションベヤリングを介して装置に支持されているため、試験中に履板が沈下しようとする時、リニヤモーションベヤリングのシャフト全体が自由に垂直方向に移動する。このため、2方向ロードセルは履板に加わっている進行方向とその横方向の抵抗力を常に正確に測定することができる。なお、本装置には、実験用土槽中に地盤を作成する時使用するため、掘り起し用レーキと、敷き均し用の平板が付属されている。図－1に試験装置の全体組立図を示す。

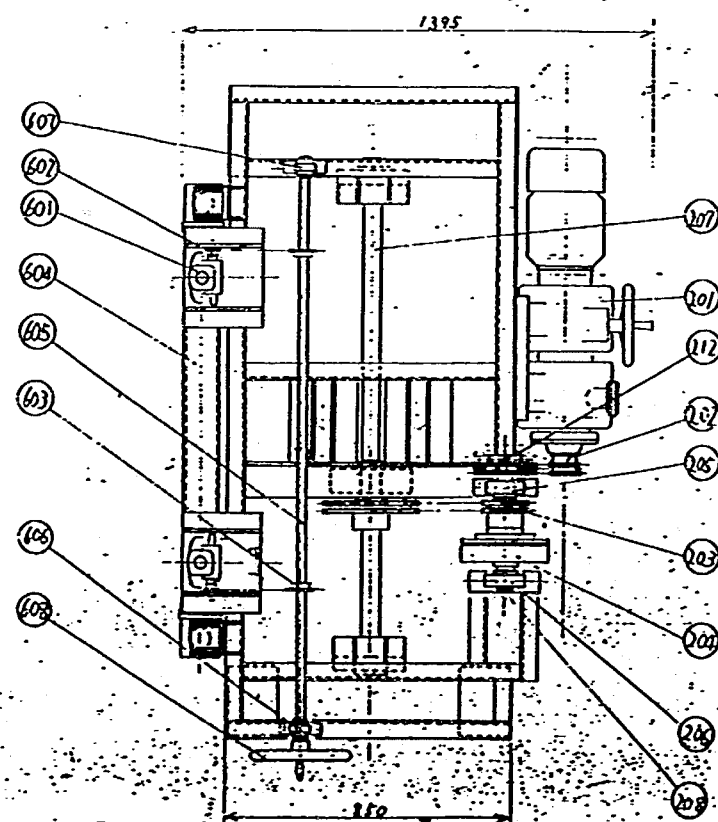
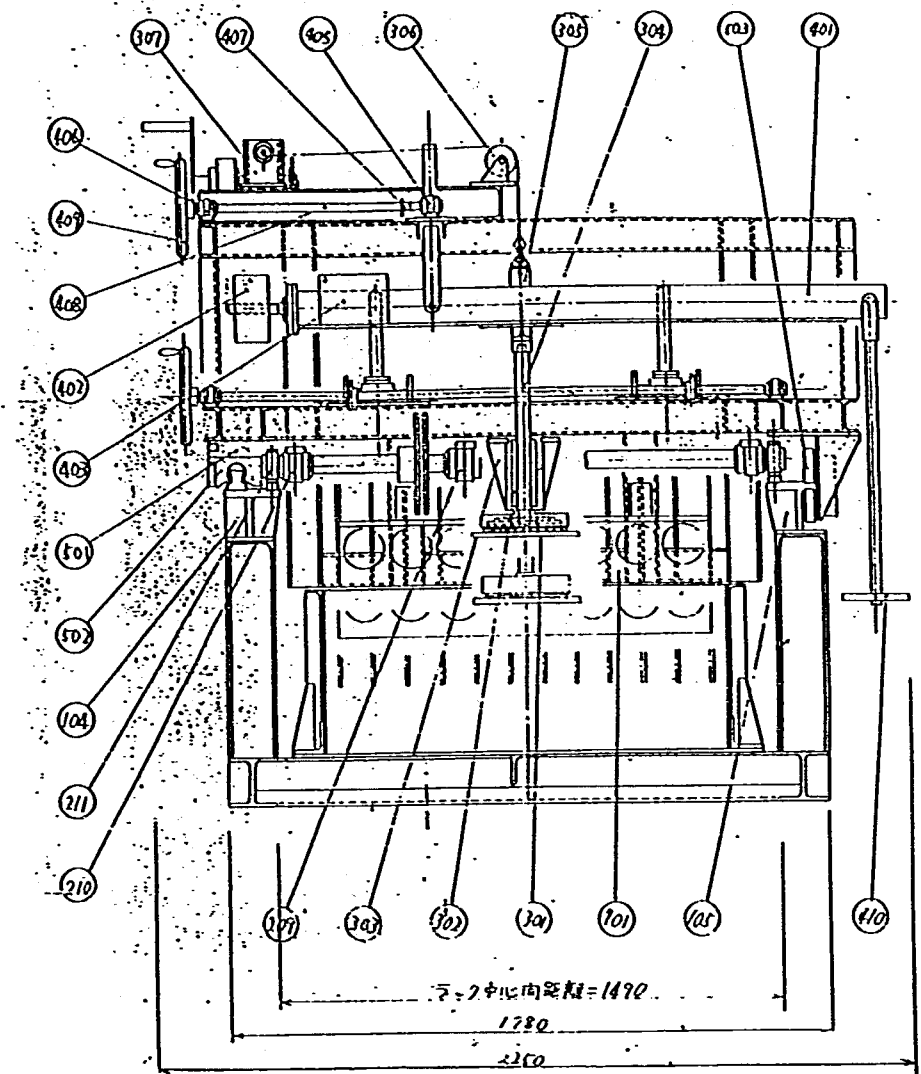
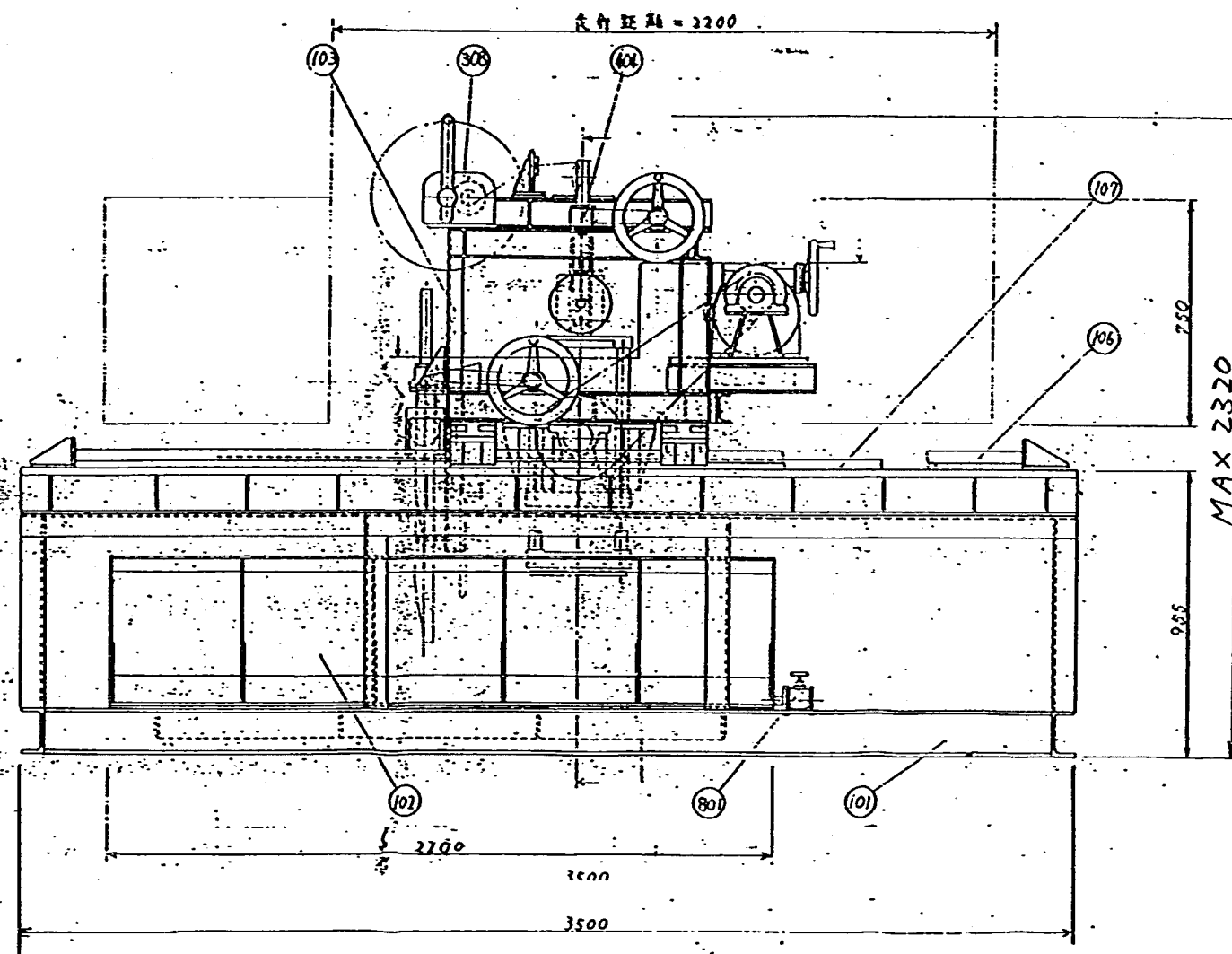


図-1 試験装置の全体組立図

参考資料－2

模型試験方法（手順）

履板けん引性能試験装置による履板の模型試験は以下の手順で実施した。

(1) 試験用地盤の作成

装置中央にある土槽中に試験対象と同様の地盤を作成するもので、地盤の種類により次に示すよう作成した。

① 砂地盤

規定の含水率になるよう散水又は乾燥させた後土槽に搬入する。スコップを使用して人力で良くほぐした後、平板でならし、小形の振動コンパクタ又はローラで予定の密度になるまで転圧する。高密度の地盤では、転圧機械が小形であるため並びに、転圧する表面部分のみ密度が高くなるため、2～3層に分けて転圧をくり返し作成した。なお、各層のつなぎの部分は、表面を一度ほぐしてから砂を入れ転圧を行い各層が一体となるようにした。

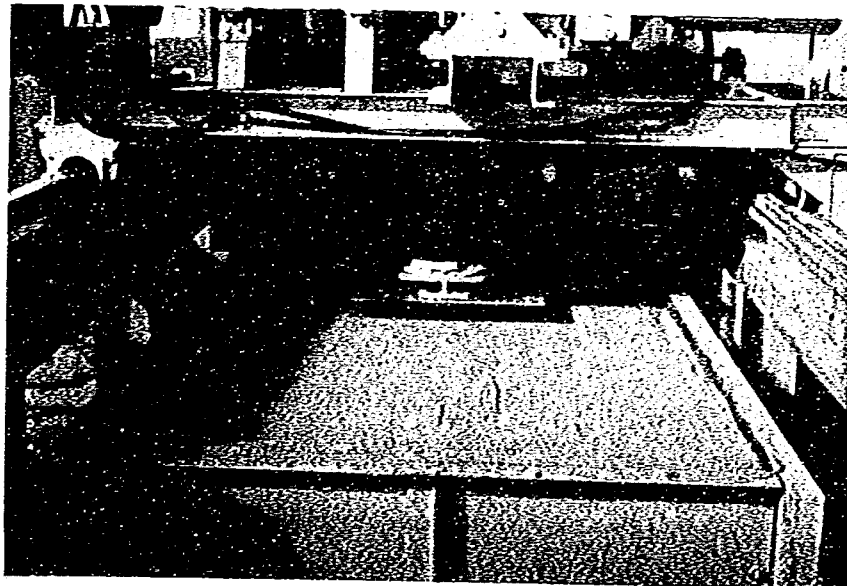
② ローム地盤

試料土の含水比が規定値より高い時には、ビニールシート上で乾燥し、含水比が規定値より低い時は、ジョウロ等で水を加え、小形の耕運機で良く混合し含水比を調整し、その後1～2日間放置する。土槽に搬入後表面が凸凹にならないように均し、振動コンパクタ又はローラで転圧作成した。ローム地盤では、試験が1回終るごとに試験により影響を受けた範囲又は全量の土を入れ替え、同じ要領で地盤を作成した。

(2) 試験の手順

① 試験装置の土槽に任意の地盤を作成する。

② 中央部の2方向ロードセル下部に試験用履板を取付ける。(写真－2 参照)



写真－2 履板の取付状態

- ③ てこ式の載荷装置に規定の接地圧力になるよう重りをのせる。
- ④ 地盤上にゆっくりと履板をおろし、沈下量（静的）を測定する。
- ⑤ 走行時に履板が沈下しても良い様に、履板の取付けられた部分が垂直方向にフリーになるようにする。
- ⑥ 装置を走行させ、けん引抵抗（進行方向及び横方向）、沈下量（すべり沈下量）すべり量などを測定する。
- ⑦ 土槽に作成した地盤の土質（密度、含水比、コーン指数など）を測定する。

建設機械の走行性改善に関する
調査

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第 2690 号
平成元年 3 月 (1989)
長 健次, 沢田茂良, 伊藤豪誠
樋下敏雄

キーワード: 履帯, けん引性能, ブルドーザー, 軟弱地盤, 走行性

本調査は, ブルドーザなどの履带式車両における走行性改善を図ることを目的とした調査である。

軟弱地盤を中心に各種地盤上での走行特性を推定する手法として, 地盤条件や負荷による履帯の接地圧力の分布形態の変化を把握する方法を検討し, 提案した。また, 新しい形状の履帯装置を考案・試作し, 実機及び模型試験装置によりその性能の検証を行った。これらの検討内容, 試験結果をまとめたものである。

郵便はがき

40
円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所
機械施工部機械研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2690号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住 所)

氏 名

印