

(2) ハンドベーン試験結果

図 6-6-3 にハンドベーン試験の結果を示す。走行路の中心部分でややせん断強度の高い部分が見られる。これは、壁面付近は周面の摩擦の影響により、締固め効果が小さくなったためと考えられる。図 6-6-4 にせん断強度の度数分布を示す。釣鐘型の分布をしており、正規分布に近い分布を示し、変動係数が 0.175 と比較的小さいことがわかる。

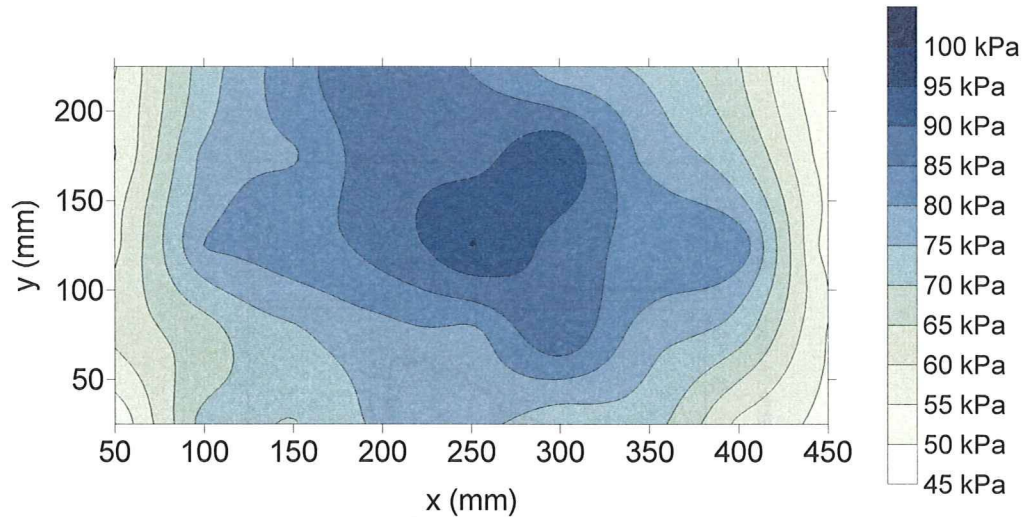


図 6-6-3 ハンドベーン試験結果

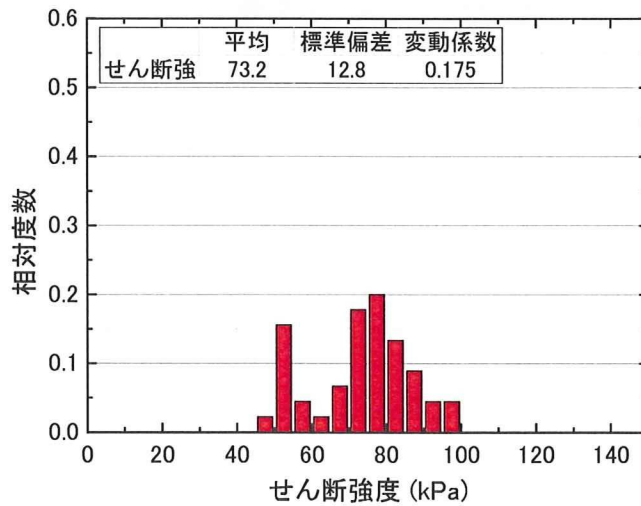


図 6-6-4 せん断強度の度数分布

6.6.2 実験結果 (実験名称: 2009Mobile_1117D02)

模型の安定度 10 度, 付加質量は上部搭載, モーター回転数 25000rpm の条件で行った実験結果を示す.

図 6-6-5 に試験結果一覧, 図 6-6-6 に応答加速度, 図 6-6-7 に周波数解析結果, 図 6-6-8 に接地圧力分布割合, 図 6-6-9 に接地圧分布割合の理論値と実験値の比較, 図 6-6-10 にハイスピードカメラの動画解析から求めた自走時傾斜角, 図 6-6-11 に傾斜角の度数分布をそれぞれ示す.

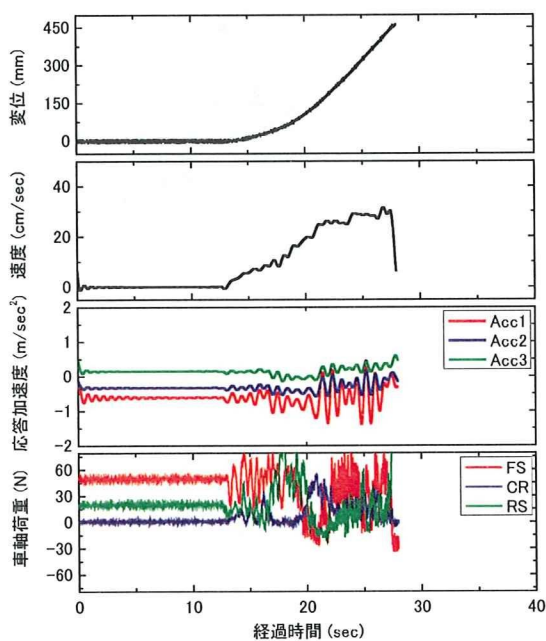


図 6-6-5 試験結果一覧

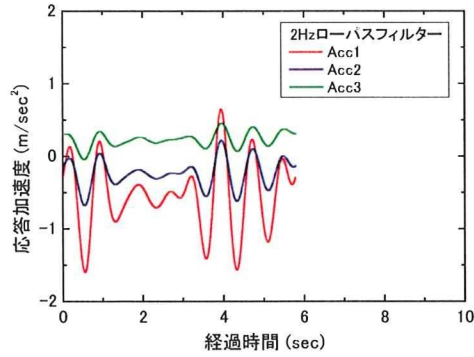


図 6-6-6 応答加速度

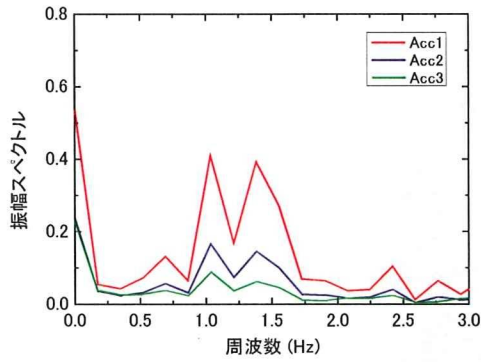


図 6-6-7 周波数解析結果

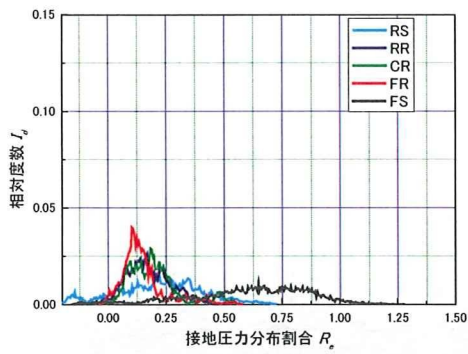


図 6-6-8 接地圧力分布割合

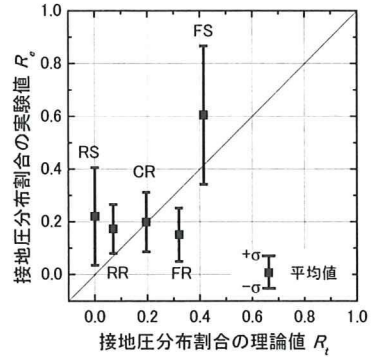


図 6-6-9 接地圧力分布割合の理論値と実験値の比較

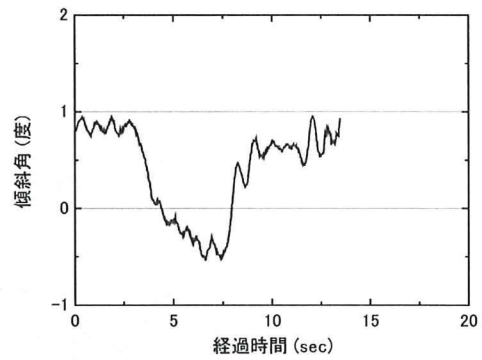


図 6-6-10 自走時傾斜角

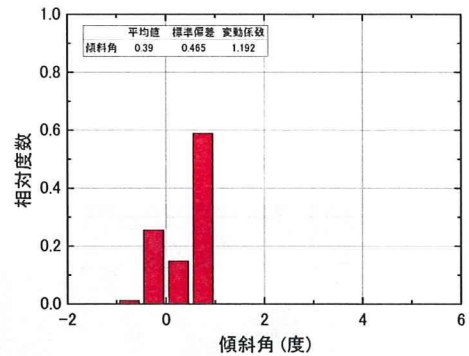


図 6-6-11 自走時傾斜角の度数分布

6.7 関東ロームの起伏地盤での実験結果

6.7.1 模型地盤

(1) 地盤の作製方法

起伏の大きな地盤を作製し、遠心場走行実験を行った。所定量の試料を土槽に堆積させた後、表面を平坦にした。予め地盤に窪みを設けるため、写真 6-7-1 に示す直径の異なる 2 種類の円筒缶（グリース、スプレー缶）を用いた。一つは直径 110mm（半径 $r=55\text{mm}$ ）であり、もう一つは直径 68mm（半径 $r=34\text{mm}$ ）である。図 6-7-1 に地盤作製方法の概要を示す。走行区間の始点から 150mm の地点に $r=55\text{mm}$ 、300mm および 400mm の地点に $r=34\text{mm}$ の円筒缶を地表面下 10mm まで貫入させた。載荷圧力が 150kPa となるよう遠心加速度を設定し、一時間遠心載荷を行った。



写真 6-7-1 実験に使用した円筒缶

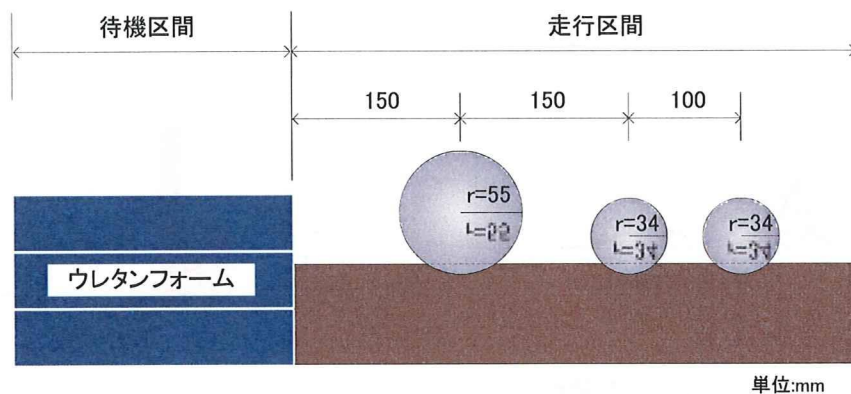


図 6-7-1 地盤作製方法の概要

(2) 地表面起伏の計測

地表面起伏の計測結果を図 6-7-2 および図 6-7-3 に示す. $x=210, 360, 460\text{mm}$ 地点に窪みを確認できる. また, 走行路の高低差は約 10mm である.

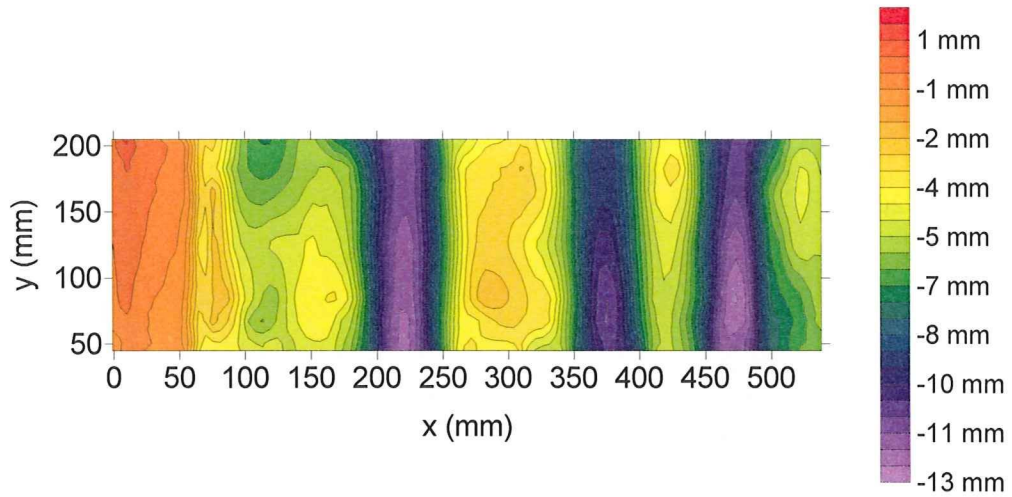


図 6-7-2 地表面起伏 (等高線図)

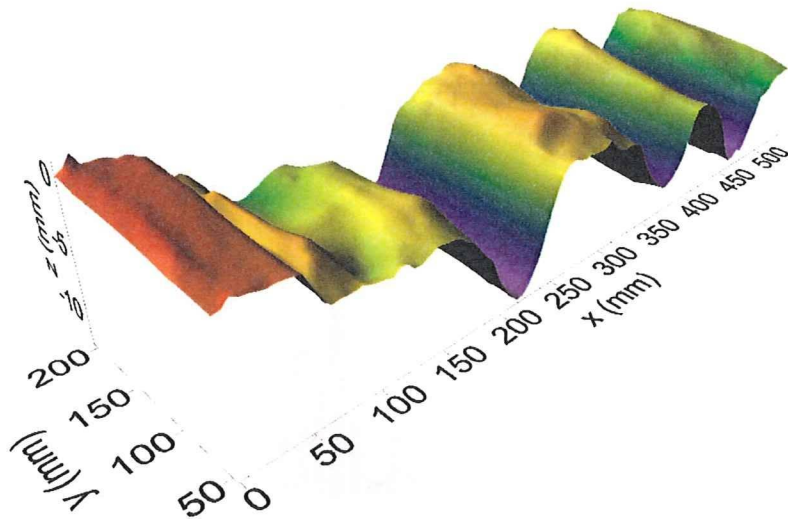


図 6-7-3 地表面起伏 (三次元プロット)

(3) ハンドベーン試験結果

図 6-7-4 にハンドベーン試験結果を示す。x=150, 300, 400mm 地点に相対的にせん断強度が大きな地点が見られる。

図 6-7-5 にせん断強度の度数分布を示す。平均値は 83.6kPa であり、変動係数は 0.106 である。

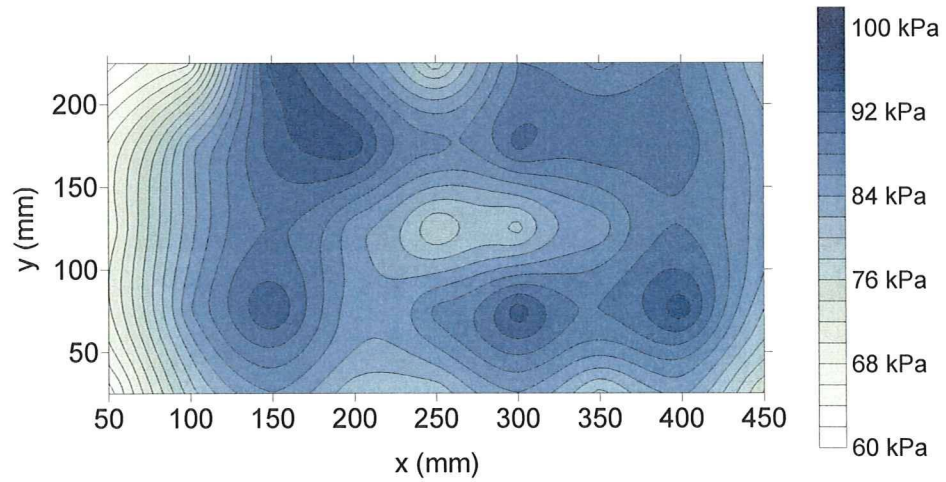


図 6-7-4 ハンドベーン試験結果

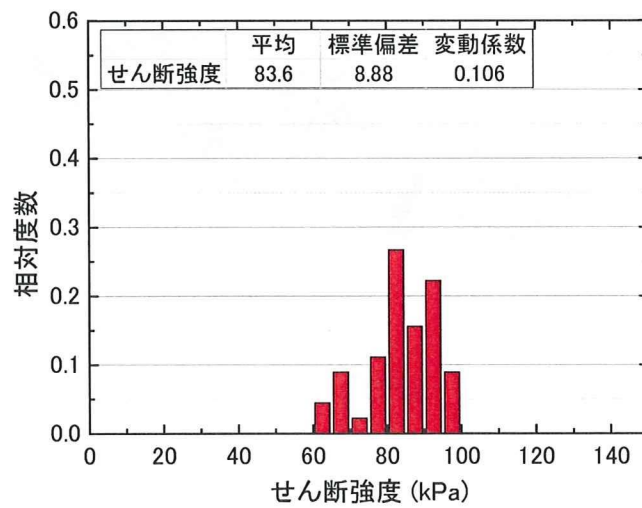


図 6-7-5 ハンドベーン試験の度数分布

6.7.2 実験結果 (実験名称: 2010Mobile_0115D01)

模型の安定度 10 度, 付加質量は上部搭載, モーター回転数 25000rpm の条件で行った実験結果を示す。

図 6-7-6 に試験結果一覧, 図 6-7-7 に応答加速度, 図 6-7-8 に周波数解析結果, 図 6-7-9 に接地圧力分布割合, 図 6-7-10 に接地圧分布割合の理論値と実験値の比較, 図 6-7-11 にハイスピードカメラの動画解析から求めた自走時傾斜角, 図 6-7-12 に傾斜角の度数分布をそれぞれ示す。

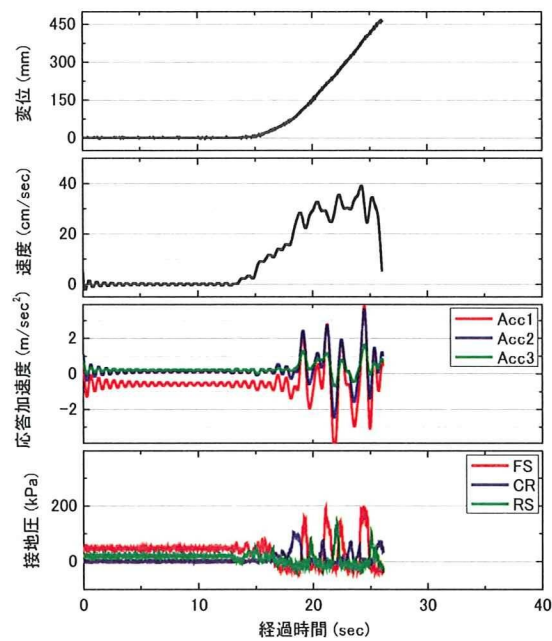


図 6-7-6 試験結果一覧

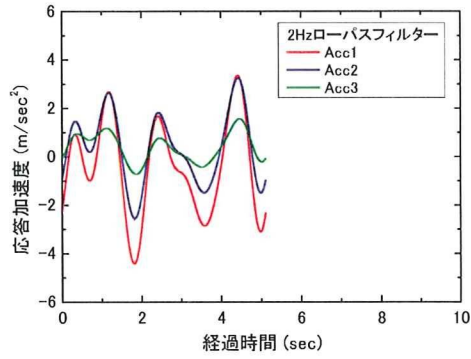


図 6-7-7 応答加速度

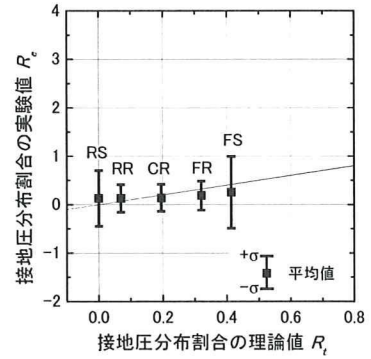


図 6-7-10 接地圧力分布割合の理論値と実験値の比較

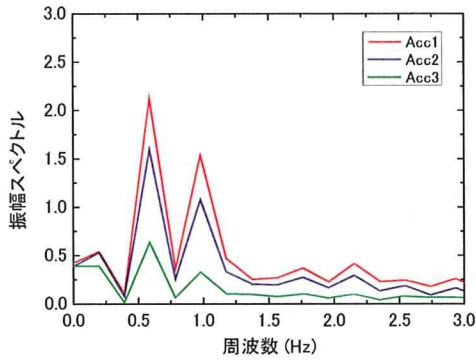


図 6-7-8 周波数解析結果

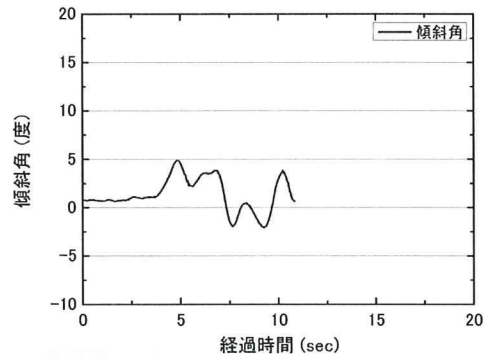


図 6-7-11 自走時傾斜角

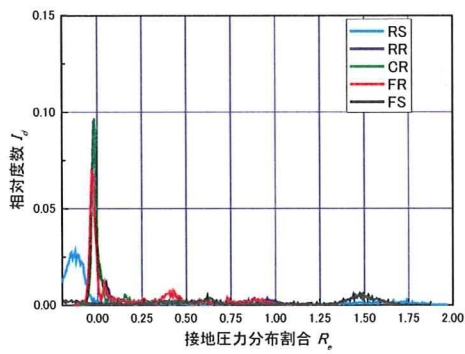


図 6-7-9 接地圧力分布割合

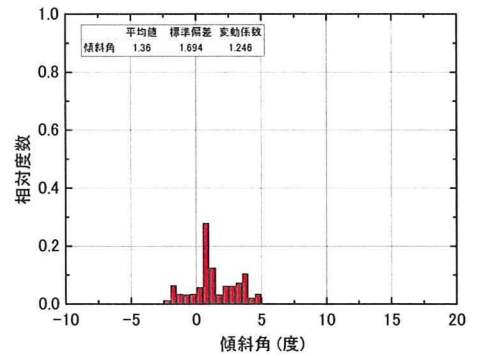


図 6-7-12 自走時傾斜角の度数分布

6.8 まとめ

本章では、実験結果のデータ整理の方法を述べるとともに、実験結果の代表的な結果を示した。遠心場走行実験の解析結果の詳細については「第8章 不安定要因とその影響」で述べることにする。

本実験のデータは全部で55ケースであり、その内訳はウレタンフォーム地盤16ケース、関東ローム39ケースである。

ウレタンフォーム地盤では、くい打機の挙動解析を行う上で基礎的なデータを得るため、安定度や走行速度、支持力安全率を変えて実験を行い、それぞれの影響について調べた。関東ローム地盤では、作製方法の異なる3種類の模型地盤（せん断強度のばらつきの大小、起伏の有無）を製作して、安定度や走行速度、重心位置を変えて実験を行った。

6.9 参考文献

- 1) 越 昭三：数理統計概論，学術図書出版社，pp.2-28，1983.
- 2) 南 茂夫：科学計測のための波形データ処理，pp.140-165，1992.

第7章 履帯基礎の支持力と敷鉄板の養生性能

7.1 概要

過去に発生した事故事例では、地盤養生の不足により転倒したケースや、履帯が敷鉄板端部に位置した際に転倒に至ったケースが見られた。

現在の規則やマニュアル等では定量的な設置基準は述べられておらず、また接地圧力の分散効果は中央荷重を前提としている。そのため、敷鉄板端部における荷重分散効果の減少については考慮されていない。

くい打機は現場内を移動して施工を行うため、敷鉄板に対して移動荷重と見なされる。従って、履帯が敷鉄板端部に位置する際に、荷重分散効果が小さくなる場合も容易に考えられる。以上のことから、敷鉄板における荷重位置と荷重分散効果の関係を調べるために、以下のような実験を行った。

まず、くい打機の履帯を模擬した履帯基礎模型を作製し、荷重位置と荷重荷重の関係を調べた。

次に、敷鉄板模型を作製し、偏心荷重を与えた荷重実験を行った。荷重実験では、敷鉄板模型の重複方法を変えて実験を行い、効果的な敷設方法に関する検討を行った。

7.2 履帯基礎の支持力に与える重心の影響

7.2.1 本章で使用した実験装置及び実験器具

(1) 載荷装置

本実験で用いた載荷装置は、島津製作所製の精密万能試験装置 AG-100kNIS(Autograph)である。この装置は材料の圧縮試験や引張試験を行うことが出来る装置である。負荷方式は、門型構造、ボールネジ駆動による高精度定速ひずみ制御で、最大負荷容量は 100kN(10tf)である。また、実験速度は 0.0005~1000mm/min に設定する事が可能である。写真 7-2-1 に試験装置の外観を示す。

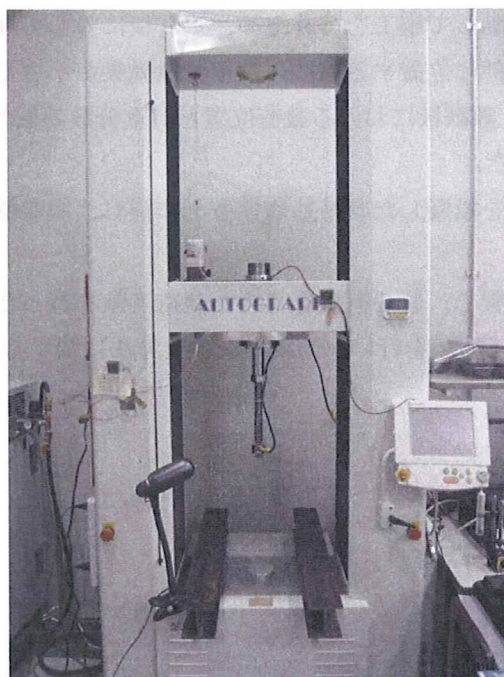


写真 7-2-1 精密万能試験装置 (Autograph)

(2) ロードセル(荷重変換器)

ロードセル(荷重変換器)は、引張・圧縮等の力または質量を電気信号に変換するセンサーである。本実験では、ミネベア製の小型軽量型圧縮引張両用ロードセル(UMM-100K-CP)を使用した。このロードセルはオールステンレス製であり、定格荷重は 1kN(100kgf)、レンジは 4000 $\mu\epsilon$ 、校正係数は 0.024958kgf/ $\mu\epsilon$ である。外観を写真 7-2-2 に示す。



写真 7-2-2 ミネベア製ロードセル (UMM-1-100K-CP)



写真 7-2-3 接触型変位計 (DTH-A50)

(3) 接触型変位計

変位計には接触型変位計を使用した。変換部にひずみゲージを使用した変位変換器で、長期に安定した測定が可能である。本実験では、小型軽量であり長期に安定した測定が行える共和電業製の DTH-A50 を用いた。定格容量は 50mm、レンジは 10000 $\mu\epsilon$ 、校正係数は 0.005004mm/ $\mu\epsilon$ である。外観を写真 7-2-3 に示す。

(4) データロガー

データの収録は共和電業製の EDS-400A を使用した。EDS-400A は、小型で軽量のデータロガーであり、ひずみ・電圧の動的現象を高速デジタル記録する 4 チャンネル収録装置である。収録中は、LAN 接続したパソコン上で波形をモニタする事が可能である。また、回収されたデータはコンパクトフラッシュメモリーカードに直接書き込まれ、ソフトウェアによって波形表示や各種解析を行う事が可能である。外観を写真 7-2-4 に示す。

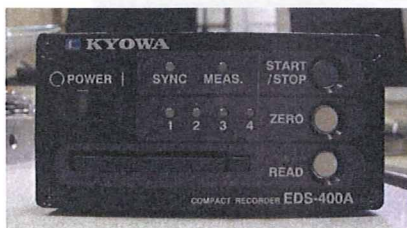


写真 7-2-4 データロガー (EDS400A)

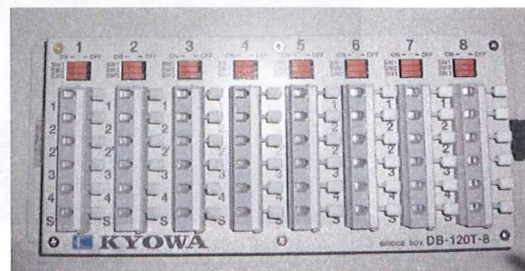


写真 7-2-5 ブリッジボックス (DB-120T-8)

(5) ブリッジボックス

ひずみゲージをホイートストンブリッジに組むためにブリッジボックスを用いた。本実験では、8ch 計測が可能である共和電業製の DB-120T-8 を使用した。外観を写真 7-2-5 に示す。

(6) 载荷ロッド

ロードセルの先端には载荷ロッドを取り付けた。载荷ロッドの先端は曲面であり、曲率 20, 幅 20mm である。曲面である理由は、くい打機の履帯の前軸を模擬する際に、载荷点 が移動しないようにするためである。外観を写真 7-2-6 に示す。

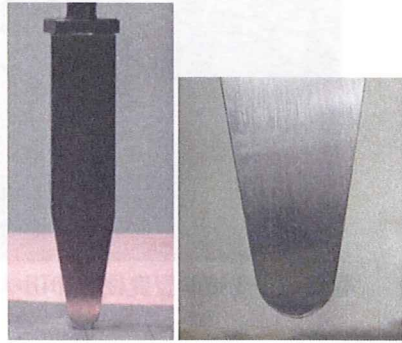


写真 7-2-6 载荷ロッド

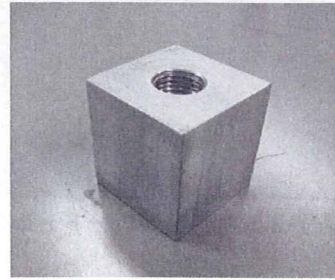


写真 7-2-7 フーチング基礎

(7) フーチング基礎

模型地盤の極限支持力を調べるために、30mm×30mm の正方形フーチング基礎を用いた。フーチング基礎はアルミ製であり、载荷ロッドと同様にロードセルの先端に取り付けて使用するものである。外観を写真 7-2-7 に示す。

(8) 履帯模型の作製

履帯を模擬したステンレス製の履帯基礎模型を作製した。寸法は幅 22mm, 長さ 173mm, 高さ 23mm である。外観を写真 7-2-8 に示す。

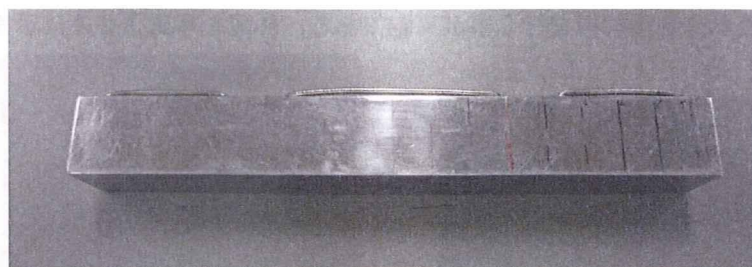


写真 7-2-8 履帯基礎模型

7.2.2 実験概要と実験条件

荷重位置と荷重の関係をはっきりさせるために、履帯模型基礎を用いた支持力実験を行った。

模型地盤はウレタンフォームを用いて作製した。荷重装置は写真 7-2-1 に示した精密万能荷重装置を使用した。沈下量の計測は接触型変位計を用いて、履帯基礎模型の両端の沈下量の計測を行った。試験の様子を写真 7-2-9 に示す。

荷重は変位制御で行い、荷重速度は 0.1mm/sec である。荷重位置の条件は履帯基礎模型中央から偏心量(e)を $e=0\sim 40\text{mm}$ まで、10mm ずつ増加させ、計 5 地点の荷重試験を行った。

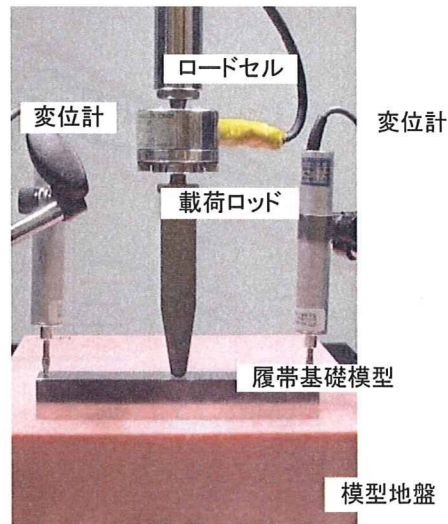


写真 7-2-9 履帯模型実験概念図

7.2.3 実験結果

(1) 載荷荷重－沈下量関係

載荷位置と載荷荷重(P)の関係を調査した。載荷荷重(P)と沈下量(s)の関係を図 7-2-1 に示す。図中に示した凡例は履帯基礎中央からの偏心距離(e)を意味する。同一載荷荷重に対する沈下量を比較すると、偏心の増加に伴い沈下量が大きくなっていることがわかる。

荷重-沈下特性の屈曲点は不明確であり、極限支持力を求めることは困難であった。しかしながら、実験結果から以下の事が明らかとなった。

履帯基礎模型に対して、中央載荷となる CL(0cm)は載荷荷重が最も大きく表れており、偏心量 2cm 以上になると荷重-沈下特性が低下していることがわかる。これは、荷重の偏心の増加により、地盤に作用する圧力の分布形状が変化したことに起因すると考えられる。

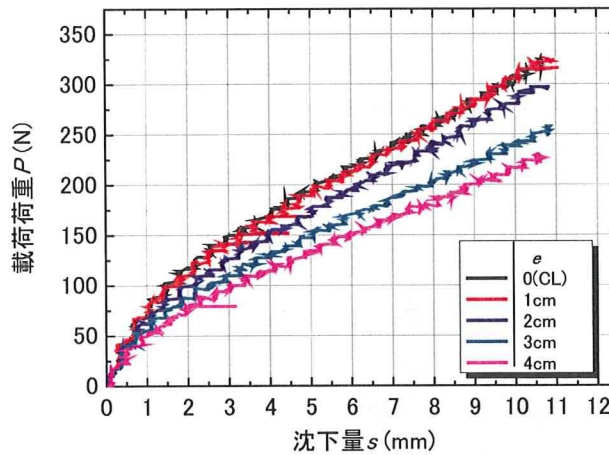


図 7-2-1 偏心量による載荷荷重への関係図

日本工業規格は「基礎工事機械－安全－第 1 部：くい打機の安全要求」(JIS A8509-1:2007)を示している。この中で履帯の圧力分布と重心位置の関係を図 7-2-2 の通り示している。本実験条件から、履帯基礎模型の全長が 173mm であるため、偏心量 $e=d/6=28.8\text{mm}$ を境に接地圧は台形分布から三角形分布に変化する。すなわち、履帯模型端部には大きな圧力が作用する。そのため、偏心量 2~3cm を境に荷重-沈下特性が低下したと考えられる。

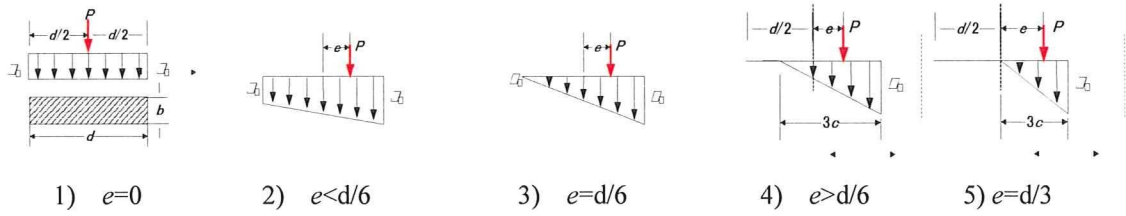


図 7-2-2 集中荷重による接地圧力の分布

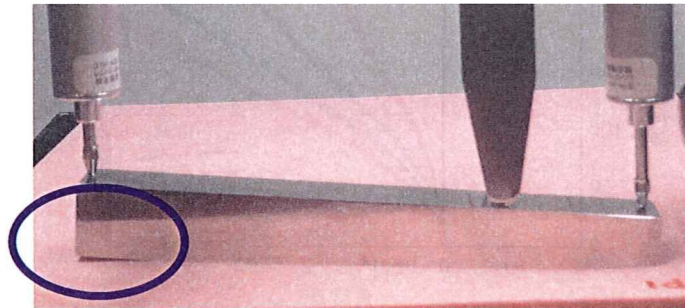


写真 7-2-10 偏心量载荷時の様子 ($e = 4\text{cm}$)

写真 7-2-10 は偏心载荷時における履帯模型の様子を示す。偏心量の増加により、履帯基礎模型の左端部は模型地盤から浮き上がっていることが確認できる。その結果、载荷面積が減少し、それに伴い圧力は集中的に作用する。

(2) 載荷荷重—角度関係

履帯模型の左右に接触型変位計を設置し、両変位計の沈下量の差を不同沈下量と定義した。履帯模型の長さに対する不同沈下量の関係から、履帯模型の傾きを算出した。載荷荷重(P)と角度(θ)の関係を図 7-2-3 に示す。

中央載荷(CL)では荷重増加に伴う角度の増加は小さい。それに対して、偏心量が大きくなると、それに伴って生じる角度も大きくなっていることがわかる。

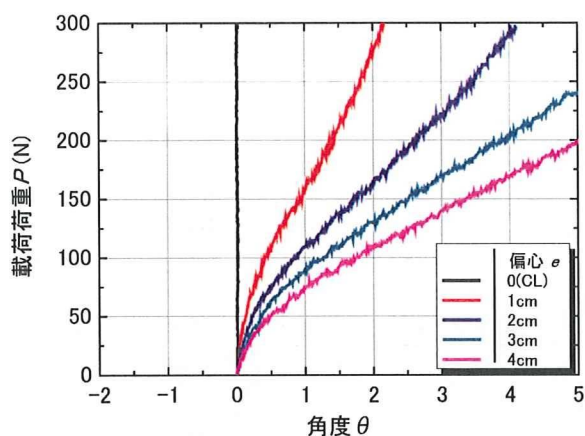


図 7-2-3 偏心量載荷時の載荷荷重 P と角度 θ の関係

7.2.4 荷重低減率と偏心量の関係

Meyerhofは幅 B の帯基礎に対して、偏心量 e の位置に鉛直荷重が作用した場合、載荷荷重は実質的に $B' = B - 2e$ の部分で支持されると述べている。図 7-2-4 に概念図を示す。

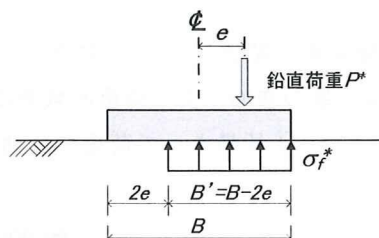


図 7-2-4 偏心鉛直荷重を受ける帯基礎の有効幅 B'

問題を単純化するために、極限鉛直圧 σ_f^* は一様であると仮定すると、鉛直荷重 P^* の推定式は式(7-2-1)で表される。

$$\begin{aligned}
 P^* &= \sigma_f^* \cdot (B - 2e) \\
 &= (\sigma_f^* \cdot B) \cdot (1 - 2e/B) \\
 &= P_{e=0} \cdot (1 - 2e/B)
 \end{aligned}
 \tag{7-2-1}$$

ここで、 $P_{e=0}$ は荷重の偏心がない場合の極限鉛直荷重である。最大偏心量 e_{max} は $B/2$ であるため、式(7-2-2)が得られる。

$$P^*/P_{e=0} = 1 - 2e/B
 \tag{7-2-1}$$

図 7-2-5 に $P^*/P_{e=0}$ と e/e_{max} の関係を示す。図中には Meyerhof の提案式の値と、実測値を示した。実測値は偏心量の増加とともに荷重が低減している。Meyerhof の提案式と実験値はほぼ一致しており、非常に簡易な式で極限荷重の概算値を算出することが可能であることがわかった。

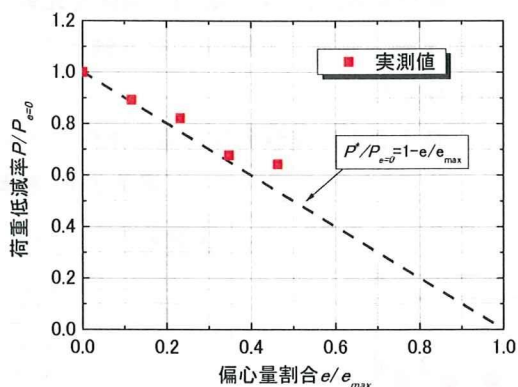


図 7-2-5 Meyerhof の提案式と実測値の比較

7.3 敷鉄板による移動荷重の分散効果

7.3.1 荷重位置と接地圧力の関係

(1) 実験概要

敷鉄板模型の荷重位置と荷重荷重の関係について調査した。荷重分散効果を確認し、Meyerhof の提案式との比較や偏心量の増加による荷重低減率について調査した。

本節では、敷鉄板を1枚敷設した「1枚敷き」の荷重分散効果について述べる。

(2) 実験方法

用いた敷鉄板模型の寸法は実大の1/16スケールである幅90mm×長さ180mm×厚さ1.6mmである。実験時の様子を写真7-3-1に示す。



写真 7-3-1 支持力実験概念図

(3) 実験条件

荷重は変位制御で与え、変位速度は0.5mm/minとした。実験では荷重荷重(P)を敷鉄板の中央から異なる偏心量を与えて荷重荷重(P)と沈下量(s)の関係を比較した。

敷鉄板模型に対して長辺(d)を x 軸、直交する短辺(b)を y 軸とする。偏心は x 軸と y 軸に対して e_b , e_d とし、異なる値を与えた。

図 7-3-1 に荷重位置を示し、表 7-3-1 に実験名称と偏心条件を示す。

表 7-3-1 荷重位置条件

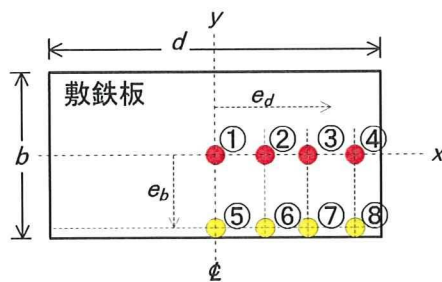


図 7-3-1 荷重位置概念図

実験名称	e_d	e_b
①	0	0
②	$d/8$	0
③	$d/4$	0
④	$3d/8$	0
⑤	0	$3b/8$
⑥	$d/8$	$3b/8$
⑦	$d/4$	$3b/8$
⑧	$3d/8$	$3b/8$