

4.16 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：価額計測のための波形データ処理，pp.140-165，1992.

第5章 履帯基礎の支持力と敷鉄板の養生性能

5.1 概要

過去に発生した事件事例では、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載荷を前提としている。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、敷鉄板における載荷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、偏心荷重を与える載荷実験を行い、載荷位置と載荷荷重の関係を調べた。

次に、敷鉄板模型を作製し、載荷実験を行った。敷鉄板模型にはひずみゲージを設置し、敷鉄板の曲げ変形とたわみの関係を考察した。さらに、偏心荷重を与えた載荷実験を行った。載荷実験では、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ついて検討を行った。

5.2 履帯基礎の支持力に与える重心の影響

5.2.1 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。外観を写真 5-2-1 に示す。

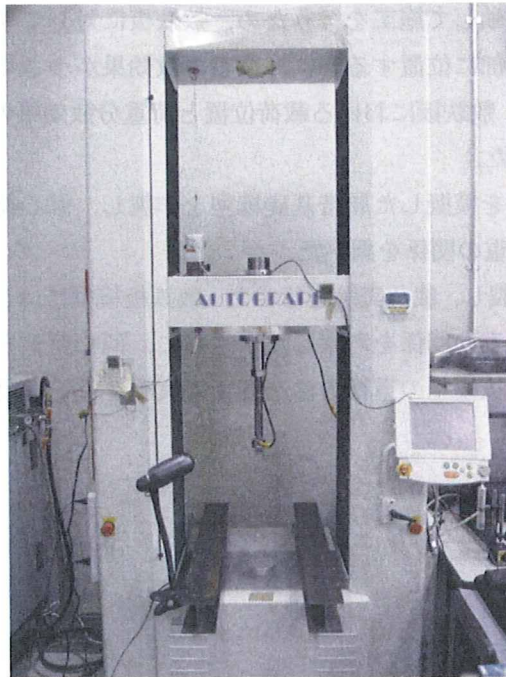


写真 5-2-1 精密万能試験装置 (Autograph)

(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 5-2-2 に示す。



写真 5-2-2 ミネベア製ロードセル (UMM-1-100K-CP)



写真 5-2-3 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 5-2-3 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 5-2-4 に示す。

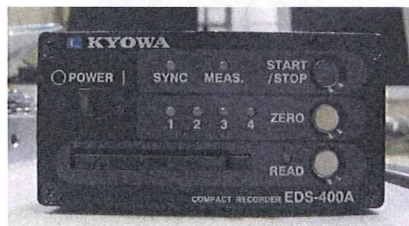


写真 5-2-4 データロガー (EDS400A)

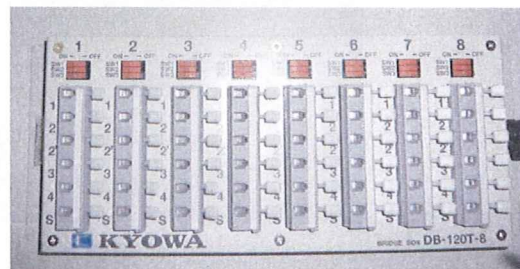


写真 5-2-5 ブリッジボックス (DB-120T-8)

(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 5-2-5 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 5-2-6 に示す。

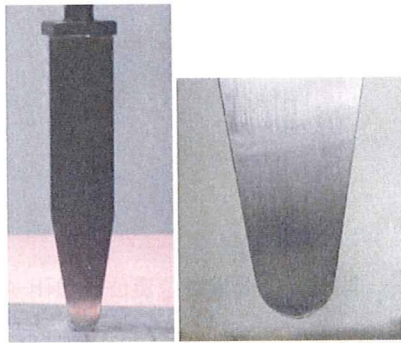


写真 5-2-6 载荷ロッド

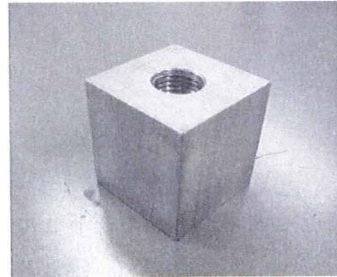


写真 5-2-7 フーチング基礎

(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 のフ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 5-2-7 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 5-2-8 に示す。

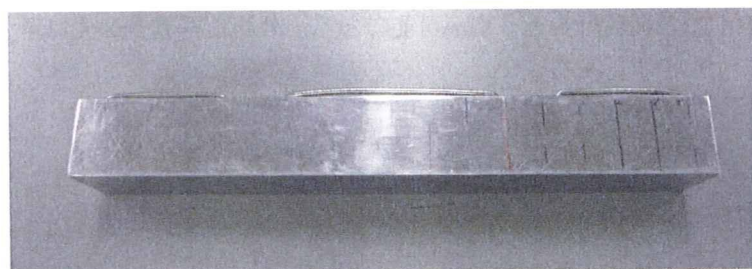


写真 5-2-8 履帯基礎模型

5.2.2 実験概要と実験条件

載荷位置と載荷荷重の関係を明らかにするために、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た。載荷装置は写真 5-2-1 に示した精密万能載荷装置を使用した。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 5-2-9 に示す。

載荷は変位制御で行い、載荷速度は 0.1mm/sec である。載荷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 地点の載荷試験を行った。

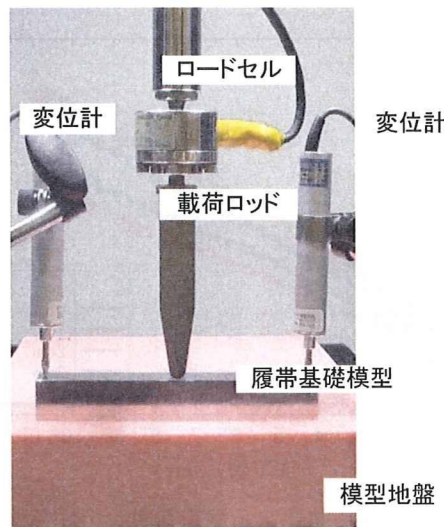


写真 5-2-9 履帯模型実験概念図

5.2.3 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 5-2-1 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。すなわち、偏心量の増加とともに載荷荷重が低下することがわかった。

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)は載荷荷重が最も高く表れており、偏心量 2cm より大きくなると荷重-沈下特性が低下していることがわかる。これは、ウレタンフォーム地盤に作用する圧力の分布形状が変化したためと考えられる。

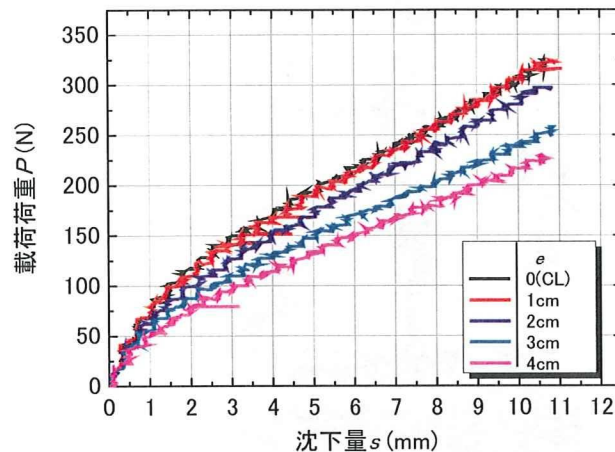


図 5-2-1 偏心量による載荷荷重への関係図

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 5-2-2 の通り示している。本実験では、 e (集中荷重 P の作用位置)は履帯基礎模型の全長が 173mm である。従って、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ことが考えられる。

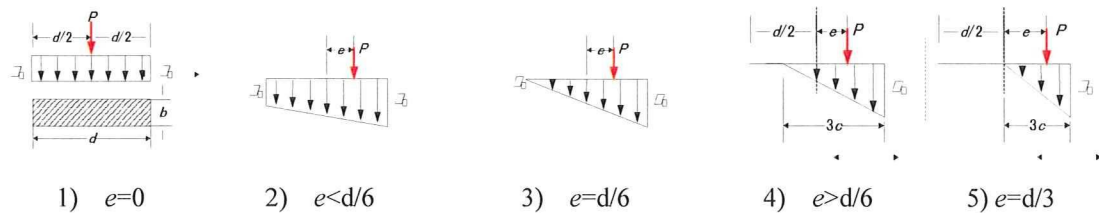


図 5-2-2 集中荷重による接地圧力の分布

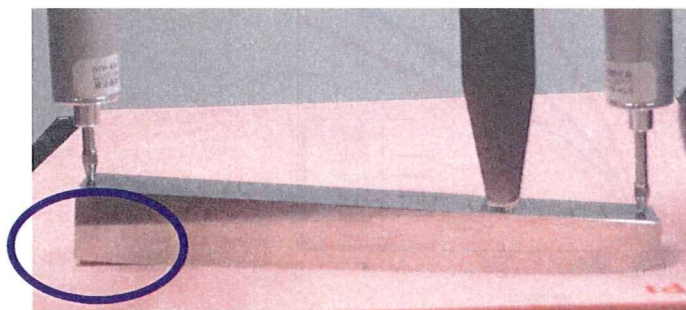


写真 5-2-10 偏心量載荷時の様子 ($e = 4\text{cm}$)

写真 5-2-10 は偏心載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、荷重面積が減少し、それによって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 5-2-3 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．

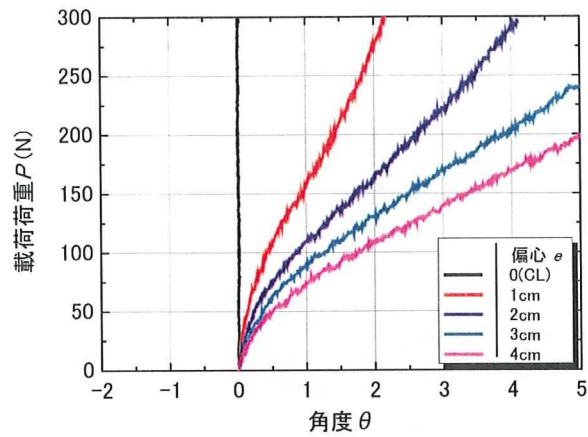


図 5-2-3 偏心量載荷時の載荷荷重 P と角度 θ の関係

5.2.4 理論式による載荷圧力と偏心量低減率の比較

(1) Meyerhof の理論

理論解析には、Meyerhof の提案式を用いた。載荷点の偏心量割合と極限支持力割合を式(5-2-1),式(5-2-2)により求めた。ここで、偏心量割合とは載荷点偏心量と最大偏心量の割合 (e/e_{max})を示し、極限支持力割合は載荷点の極限支持力と最大極限支持力（中央載荷）の割合 ($P/P_{e=0}$)を示す。図 5-2-4 に、極限支持力割合と偏心量割合の実験値と提案式の関係を示す。

$$x = 1 - \frac{e}{e_{max}} \tag{5-2-1}$$

$$y = \frac{P}{P_{e=0}} \tag{5-2-2}$$

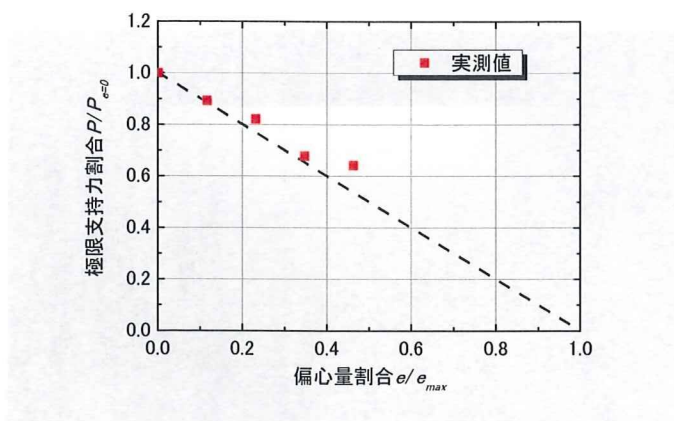


図 5-2-4 理論値と実測値の比較

(2) 実験結果の比較

表 5-2-2 に、実測値と理論値の結果一覧を示す。実験値と理論値に近似した点である事が分かる。そして、偏心量割合の増大によって極限支持力割合が減少している事が明らかとなった。実機のくい打機の重心は、履帯の中心に対して前方に偏した位置にある。従って、敷鉄板に対して偏心載荷となると、載荷荷重は更に低下し不安定化に繋がる事が分かった。これにより、偏心量が載荷荷重に影響を及ぼしている事が明らかとなった。

表 5-2-2 実測値、理論値の比較一覧

載荷点 (Φ からの距離 mm)	e/e_{max} (共通値)	$P/P_{e=0}$ (実測値)
0	0	1
10	0.160	0.89
20	0.231	0.82
30	0.347	0.68
40	0.462	0.64

5.3 敷鉄板による移動荷重の分散効果

くい打機の履帯基礎模型実験の結果より、偏心量の増加に伴って極限荷重は減少する事が明らかになった。次に、現場地盤の養生に用いられる敷鉄板の効果を実験的に調査した。

本実験では敷鉄板模型を用いて、曲げ変形の分布とたわみの関係を調べた。また敷鉄板模型に対して、支持力実験を行う事で載荷に伴う応答から載荷荷重の分散効果について実験、検証を行った。

5.3.1 敷鉄板模型の作製

一般に広く用いられている敷鉄板は幅 1.5m×長さ 6m×厚さ 25mm の大きさを有する。本実験では幅と厚さについて 1/16 に縮尺した敷鉄板模型(幅 90mm×長さ 180mm×厚さ 1.6mm)を作製し用いた。なお、長さについては実験容器の都合上、1/32 とした。外観を写真 5-3-1 に示す。

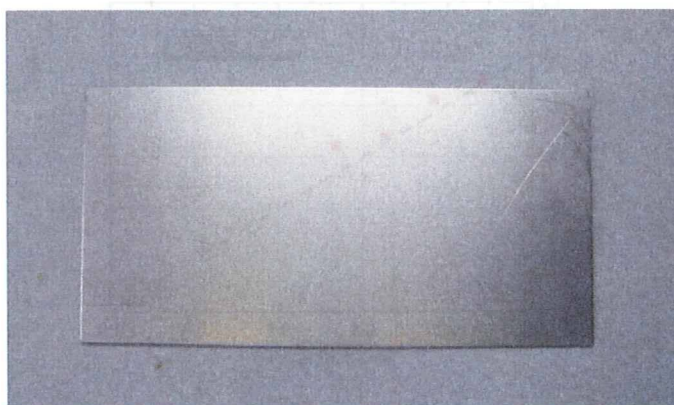


写真 5-3-1 敷鉄板模型

5.3.2 模型敷鉄板による変形計測

(1) ひずみゲージの概念

敷鉄板の曲げ変形の分布とたわみの関係を調べるために、敷鉄板模型にひずみゲージを貼り付け、载荷に伴う応答を計測した。ひずみゲージには、共和電業製のひずみゲージ(KGF-2-120-C1-11N1M2)を使用した。ひずみゲージの写真を写真5-3-2、ゲージ先端部の写真を写真5-3-3に示す。

ひずみゲージとは機械的な寸法の微小な変化(ひずみ)を電気信号として検出するセンサである。材料や構造物の表面に接着してひずみを測定する事で、強度や安全性を計る事が可能である。このため、機械、自動車などの移動体、電気、電機、土木建築、医学、食品などの各業界で使用されている。また、力、圧力、加速度、振動、変位、トルクなどのセンサの受感素子としても応用され生産ラインなどの計測・制御用としても用いられている。ひずみゲージには、箔ひずみゲージ、線ひずみゲージ、半導体ひずみゲージなどの種類があり、用途によって使用が分けられている。

ひずみゲージの構造は、薄い樹脂の電気絶縁体上に格子状の金属箔をフォトエッチングで製作されたものに引出線であるゲージリードが取り付けられたものであり、その構造を図5-2-1に示す¹⁾。



写真 5-3-2 実験で使用したひずみゲージ



写真 5-3-3 ひずみゲージ先端部

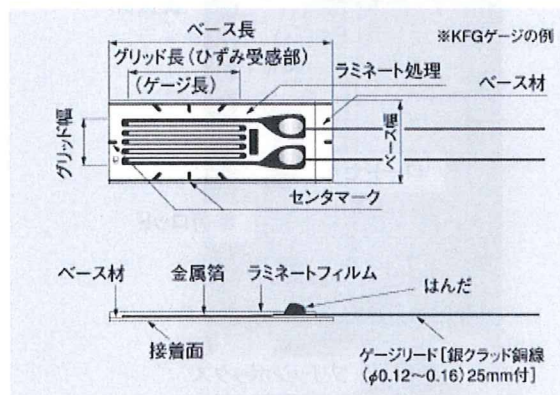


図 5-3-1 ひずみゲージ構造¹⁾

(2) ひずみゲージの設置

今実験では敷鉄板模型に対して、中央から y 軸方向に 20mm 離れた地点において、20mm おきにひずみゲージを設置した。また敷鉄板端部では敷鉄板模型の寸法の都合上、10mm としている。ひずみゲージを設置した敷鉄板を写真 5-3-4 に示す。

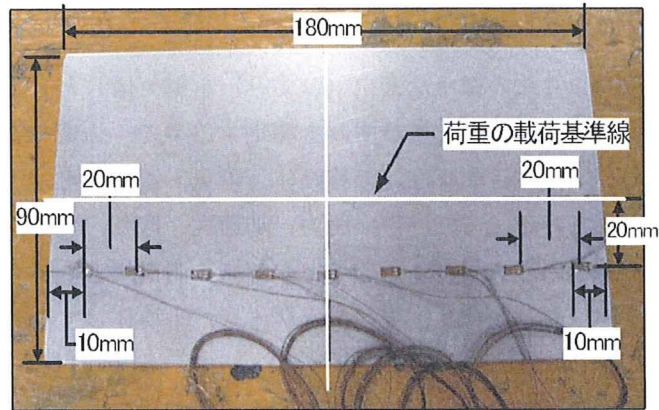


写真 5-3-4 ひずみゲージ敷鉄板模型

(3) キャリブレーション実験手順

ひずみゲージを用いた敷鉄板模型に対して、単純梁の支持条件で荷重を載荷した。

荷重の載荷には写真 5-3-5 の実験装置を用いた。単純梁の支点間隔は 16cm である。また、敷鉄板のひずみデータはブリッジボックスを介して記録装置となるデータロガー (EDS400A) で収録した。実験の様子を、写真 5-3-6 に示す。

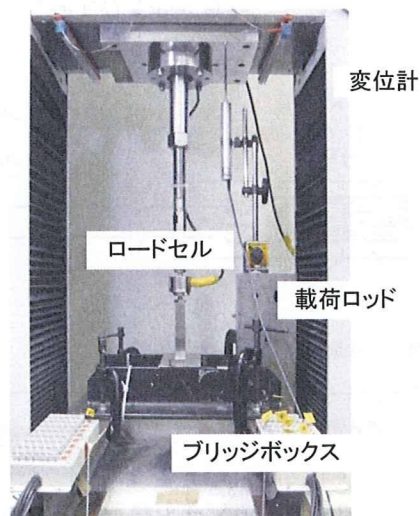


写真 5-3-5 実験概念図

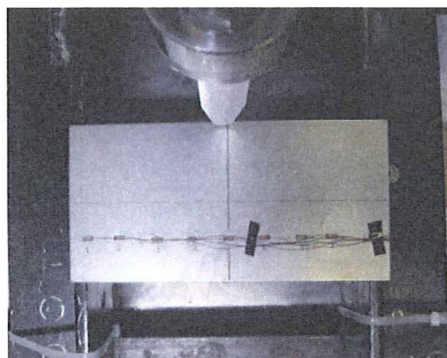


写真 5-3-6 載荷概念図

(4) 実験条件

載荷位置は中央と、中央から 4cm の偏心量を与えた位置である。載荷速度は 0.5mm/min であり、中央載荷では変位を 0.6mm, 1.1mm, 1.6mm 与えた。偏心載荷では 0.6mm, 1.1mm とした。概念図を図 5-3-4 に示す。

(5) 中央載荷に対する荷重検定の結果

単純梁載荷の中心に近いひずみゲージ位置 M3, M4, M5 について、曲げモーメント(M)—応答ひずみ(r_s)の関係を示し、フィッティングを行う事で較正係数の理論値を求めた。結果を図 5-3-2 に示す。

曲げモーメント(M)は計算で算出し、応答ひずみはひずみゲージの応答値(r_s)、較正係数(c_s)は以下の式 5-3-1 より求めた。

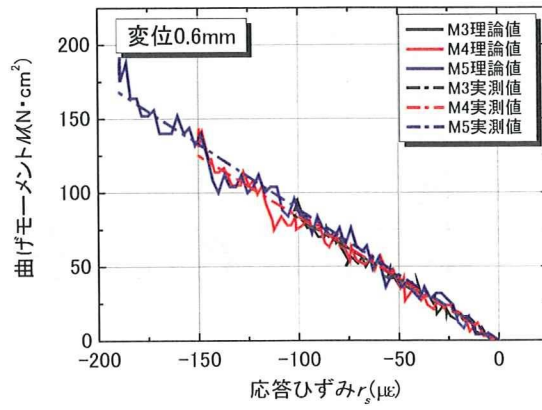
$$M=c_s \times r_s \tag{5-3-1}$$

各値の傾きを較正係数として基準の理論値を設定し、比較を行った。

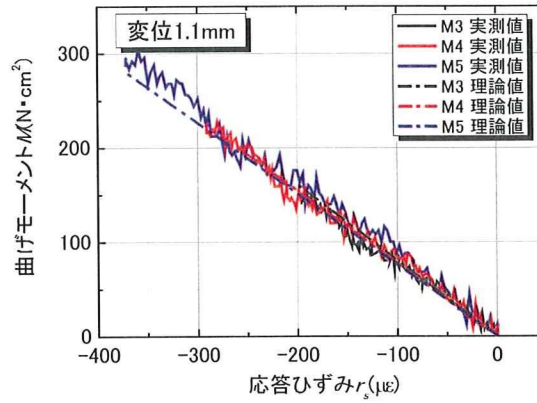
実験結果には大きなバラつきは見られない。実験より求められた傾き(較正係数)を表 5-3-1 に示す。

表 5-3-1 各実験における傾きの算出結果

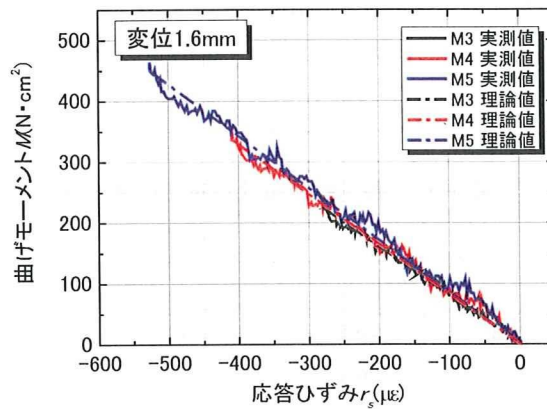
モーメント位置	傾き		
	変位 0.6mm	変位 1.1mm	変位 1.5mm
M3	-0.886	-0.805	-0.854
M4	-0.834	-0.771	-0.820
M5	-0.825	-0.754	-0.802



1) 変位 0.6mm までの載荷結果



2) 変位 1.1mm までの載荷結果



3) 変位 1.6mm までの載荷結果

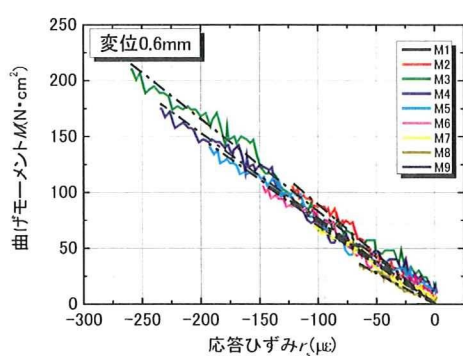
図 5-3-2 単純支持された敷鉄板模型の中央載荷に対する荷重検定の結果

(6) 偏心载荷による荷重検定の結果

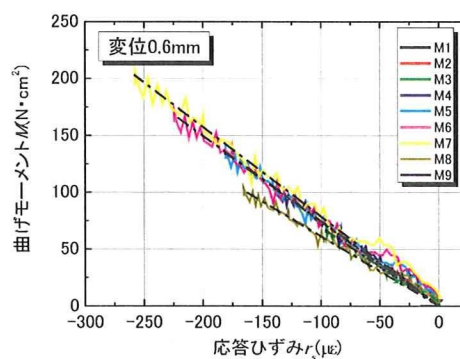
ここでは、中心から 4cm の偏心量を与えた実験より求めた較正係数の実験結果を示す。尚、左右対称の位置で実験を行う事で変動性の調査を行った。結果を図 5-3-3 に示す。

実験結果の载荷位置は、上記の通り対称である①と③においてモーメントは M3 が最大となり、対称の载荷位置となる②と④では M7 が最大となる载荷位置である。

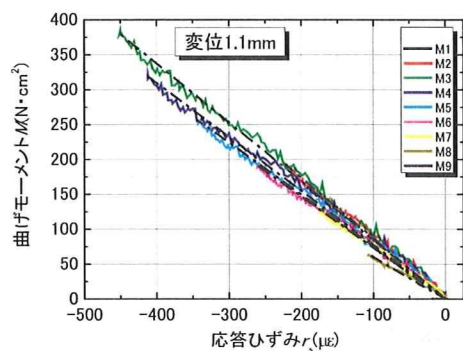
中央载荷時と同様に各値の傾きを較正係数として基準の理論値を設定し、比較を行った。実験結果より左右対称の载荷位置に対する実験においても妥当性の高い応答ひずみが得られた。また実験より求められた傾き(較正係数)を表 5-3-2 に示す。



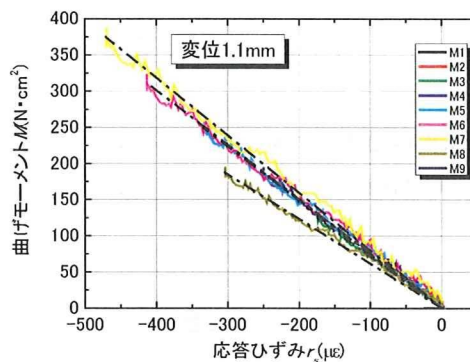
1) 変位 0.6mm までの载荷結果



2) 変位 0.6mm までの载荷結果(対称位置)



3) 変位 1.1mm までの载荷結果



4) 変位 1.1mm までの载荷位置(対称位置)

図 5-3-3 偏心支持された敷鉄板模型の中央载荷に対する荷重検定の結果

表 5-3-2 各実験における傾きの算出結果

モーメント位置	傾き			
	変位 0.6mm	変位 0.6mm (対称)	変位 1.1mm	変位 1.1mm (対称)
M2	-0.889	-0.869	-0.801	-0.841
M3	-0.828	-0.843	-0.693	-0.716
M4	-0.765	-0.774	-0.740	-0.748
M5	-0.743	-0.747	-0.741	-0.745
M6	-0.730	-0.733	-0.746	-0.753
M7	-0.698	-0.730	-0.785	-0.796
M8	-0.552	-0.595	-0.612	-0.616

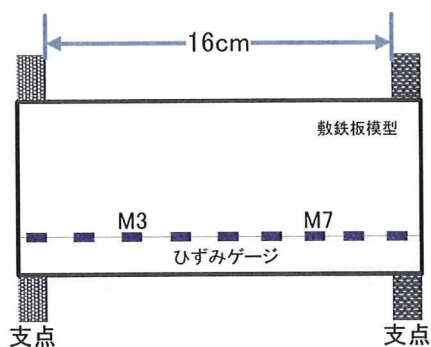


図 5-3-4 単純梁載荷概念図

(7) 敷鉄板模型の曲げ剛性(EI)の計算

曲げ剛性(EI)は、たわみ(沈下量 s)を計算する式 5-3-2、及び式 5-3-3 より逆解析して求めた。

$$\text{中央載荷} \quad \delta = \frac{Pl^3}{48EI} \quad (5-3-2)$$

$$\text{偏心量載荷} \quad \delta = -\frac{P}{2EI} \left(\frac{x^3}{6} - \frac{L^2}{8}x \right) \quad (5-3-3)$$

載荷変位 1.6mm 時の曲げ剛性(EI)を計算した。その結果を、図 5-3-5 に示す。

初期での大きな変動は、敷鉄板と載荷ロッドのなじみや接触直後の影響などと考えられる。沈下量(s)が 0.3mm 以上では(EI)の値に収束が見られ、その値は約 60000(N・cm²)である。従って、以後の解析では EI=60000(N・cm²)を標準とした。

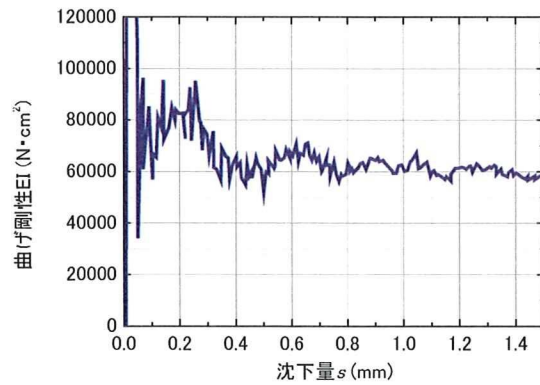


図 5-3-5 曲げ剛性 EI の算出

(8) 変形実験概要

敷鉄板が設置された地盤の支持力実験を行った。この実験では、載荷荷重に対する応答ひずみ(r_s)と沈下量(s)を計測した。そして荷重の載荷に伴う応答を調べ、分散範囲や効果を調べた。模型地盤にはウレタンフォームを用いた。実験に用いた装置を写真 5-3-7 に示し、実験の様子を写真 5-3-8 に示す。載荷速度は 0.5mm/min である。



写真 5-3-7 ひずみゲージ支持力実験に用いた装置

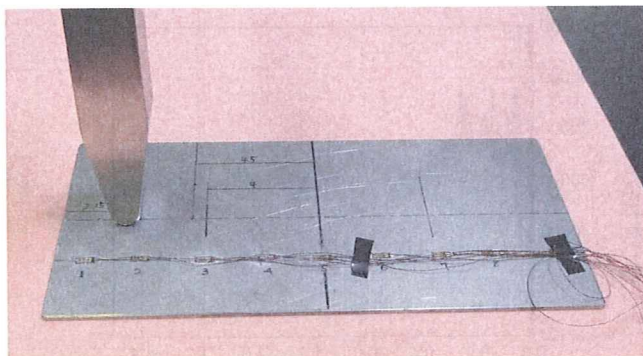


写真 5-3-8 実験の様子

(9) 実験条件

敷鉄板模型に対して、 x 軸方面への偏心量、載荷変位と載荷荷重をパラメータとして実験を行った。実験条件は、表 5-3-3 に示す。実験は載荷荷重 5kg と 25kg、載荷位置を中央載荷と 4cm の偏心量を与えた実験を行った。

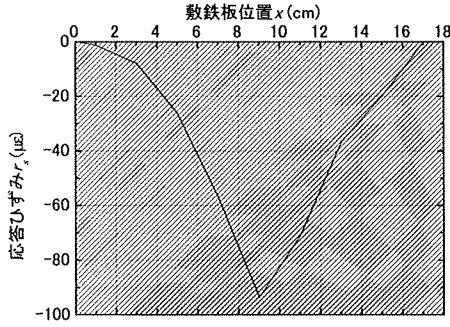
表 5-3-3 実験条件

実験名称	載荷荷重	載荷位置
①	5kg	中央載荷
②	5kg	4cm
③	25kg	中央載荷
④	25kg	4cm

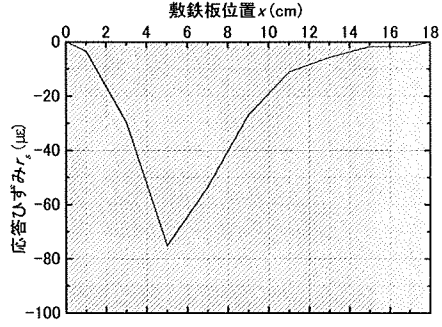
(10) 実験結果

実験結果を図 5-3-6 1)~6) に示す。載荷荷重の大小によらず、偏心量載荷では応答ひずみが中央(9cm)付近ではなく、4cm 離れた 5cm の位置で最大になっている事が読み取れる。実際のひずみゲージの応答値においても 5kg 時が 20.2%、25kg 時が 36.7%と、偏心量によって応答値が低下しており、荷重分散面積が小さくなっている事が分かった。

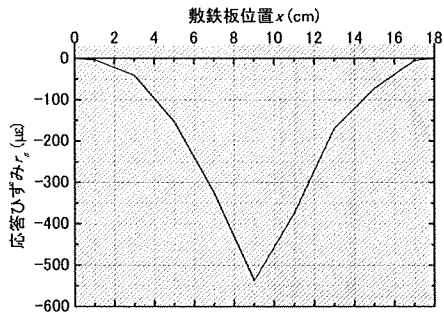
また 25kg の載荷荷重の条件においては、載荷を行った地点と対称となる 12cm~18cm の地点では応答ひずみが大変小さく、値が+である地点も見られる。偏心量載荷では写真 5-3-9 の様に敷鉄板端部が浮いている場合が観測された。この写真から、敷鉄板の端部には載荷荷重は伝達していない事が分かり、実際に載荷荷重が伝達し荷重分散効果が期待されるのは敷鉄板左半面である事が考えられる。この現象が、中央載荷に比べて応答ひずみ値が小さく、値に現れた原因と言える。



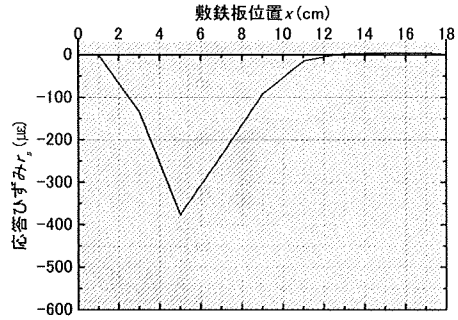
1) 中央載荷における荷重分散 (5kg)



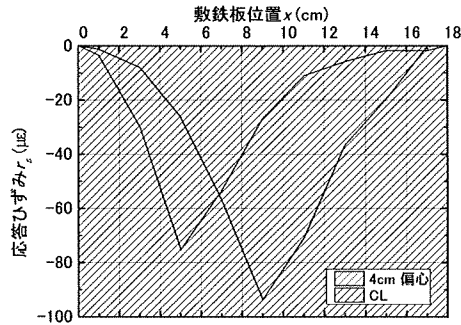
2) 偏心量載荷における荷重分散 (5kg)



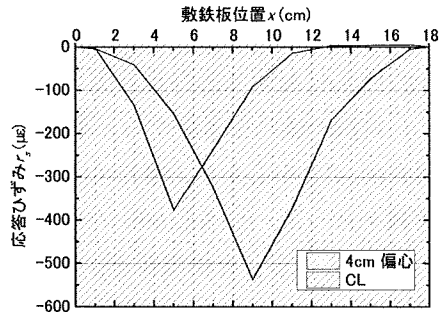
3) 中央載荷における荷重分散 (25kg)



4) 偏心量載荷における荷重分散 (25kg)



5) 荷重 5kg における荷重分散比較



6) 荷重 25kg における荷重分散効果

図 5-3-6 敷鉄板に対する偏心載荷と応答ひずみの関係