

(4) 片軸偏心の結果

y軸に対する偏心が0でx軸方向にのみ偏心させた実験(載荷位置①~④)について結果を述べる。図7-3-2に載荷荷重( $P$ )-沈下量関係( $s$ )を示す。偏心量の増加とともに、載荷荷重が低下していることがわかる。これは前述した履帯基礎模型の支持力実験による載荷荷重-沈下量関係と同様の傾向を示している。すなわち、偏心量の増加に伴い、有効接地面積が小さくなり、大きな圧力が作用するためである。

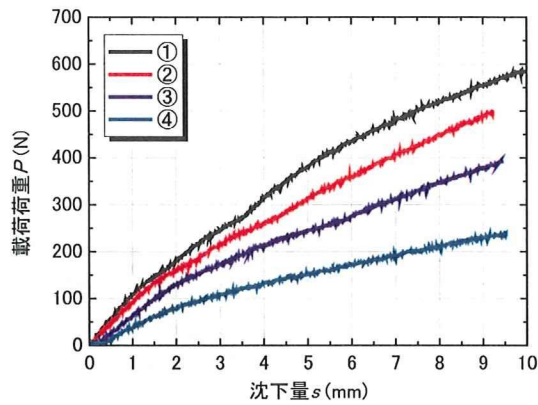


図7-3-2 載荷点①~④実験結果

(5) 両軸偏心の結果

図7-3-3に⑤~⑧に載荷した試験結果を示す。⑤~⑦には有意な差が無いのに対して、偏心量の大きな⑧は他の結果に比べ低くなっている。

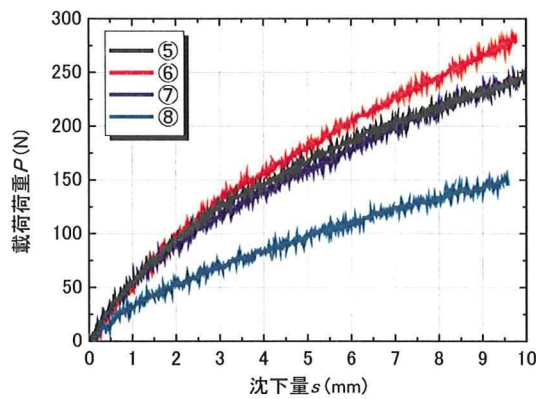


図7-3-3 載荷点⑤~⑧実験結果

(6) 全試験結果の比較

全ての荷重試験の結果を図 7-3-4 に示す。縦軸に荷重荷重( $P$ )、横軸に荷重点の沈下量( $s$ )を示した。y 軸方向の偏心量が 0 である片軸偏心を実線で示し、y 軸方向から  $3b/8(3.4\text{cm})$  の偏心量を与えた両軸偏心を破線で示す。(図 7-3-1 参照)

偏心条件の違いによって、曲線には差が見られる。ここで、曲線における初期の接線と屈曲点以降の接線の交点を極限荷重( $P_u$ )と定義し、その概算値を比較した。その結果を表 7-3-2 に示す。中央荷重時( $e_b=e_d=0$ )( $P_{u0}$ と呼ぶ)を基準として比較すると、偏心量の増加とともに  $P_u$  は減少し、端部に荷重した⑧では  $P_u$  が 0.2 程度に減少している。すなわち、中央荷重に比べ、端部に荷重した場合、強度が 8 割低下することがわかった。

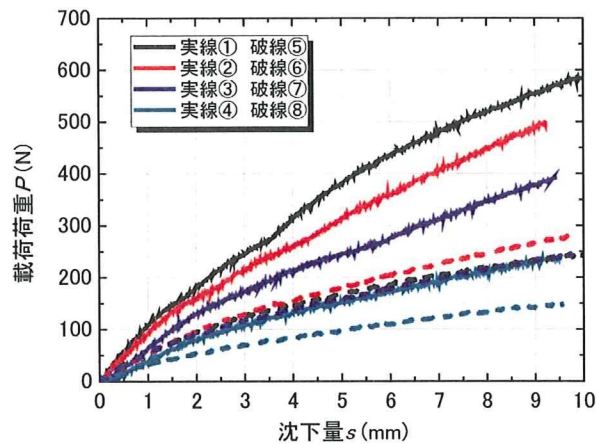


図 7-3-4 偏心量の変化による支持力への影響

表 7-3-2 極限支持力の比較

位置	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
$P_u/P_{u0}$	1.00	0.55	0.50	0.31	0.37	0.40	0.34	0.19

(7) 偏心量を考慮した支持力理論

偏心を考慮した極限荷重は Meyerhof の提案式に基づいており概念の求め方が道路橋示方書に示されている<sup>1)</sup>。

長辺が  $d$ 、それと直行する短辺が  $b$  の剛な荷重板(敷鉄板)に対して、偏心( $e_b$  と  $e_d$ )させた位置に荷重荷重( $P$ )を作用する場合、荷重面積  $A'$  は式(7-3-1)、式(7-3-2)、式(7-3-3)によって求められる。

$$A' = b' \times d' \tag{7-3-1}$$

ここで、 $b'$  と  $d'$  は次式の通りである。

$$b' = b - 2e_b \tag{7-3-2}$$

$$d' = d - 2e_d \quad (7-3-3)$$

偏心载荷における载荷面積  $A'$  の概念図を図 7-3-14 に示す。

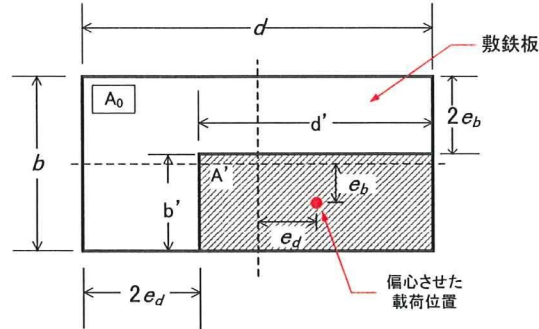


図 7-3-5 载荷面積  $A'$  の概念図

载荷面積に対する極限荷重の値は等しいと仮定すると、敷鉄板に対する極限荷重の比 ( $P_u/P_{u0}$ ) の値は载荷面積の比に等しくなる。従って、敷鉄板の面積  $A_0$  に基づいて極限荷重の比 ( $R_u$ ) は式(7-3-4)、式(7-3-5)の通り求まる。

$$A_0 = b \times d \quad (7-3-4)$$

$$R_u = P_u/P_{u0} = A'/A_0 \quad (7-3-5)$$

### (8) 実験結果と理論値の比較

実験値と Meyerhof の提案した式から求めた値の比較を行った。偏心量 ( $e$ ) とその偏心割合を式(7-3-6)、式(7-3-7)、式(7-3-8)の通り仮定を行う。

$$e = \sqrt{e_b^2 + e_d^2} \quad (7-3-6)$$

$$e_{\max} = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (7-3-7)$$

$$R_e = e/e_{\max} \quad (7-3-8)$$

図 7-3-6 に偏心割合 ( $R_e$ ) に対する極限荷重比 ( $R_u$ ) の関係を示す。図中に示す 2 つの線は、Meyerhof の提案式から求めた  $e_b=0$  および  $3b/8$  の値である。中央载荷を基準とした偏心条件の極限荷重比 ( $R_u$ ) は、提案式から求めた値と実測値において一致が見られる。また、偏心量が大きくなると中央载荷に比べて载荷荷重が著しく低下することがわかった。

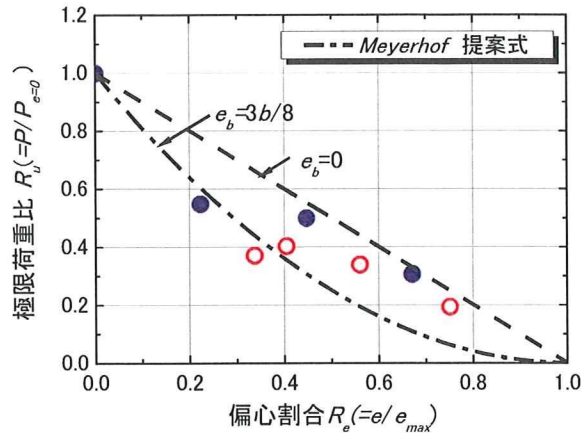


図 7-3-6 Meyerhof 提案式と実験値の比較

表 7-3-2 最大偏心量と支持力減少量

载荷位置 (cm)	$e/e_{max}$	$P/P_{e=0}$
CL1 ①	0	1.000
2.25 ②	0.224	0.548
4.50 ③	0.447	0.500
6.75 ④	0.671	0.306
CL2 ⑤	0.338	0.371
2.25 ⑥	0.405	0.403
4.50 ⑦	0.561	0.339
6.75 ⑧	0.751	0.194

### 7.3.2 載荷位置の違いによる極限荷重比の検討

#### (1) 極限荷重比の算出方法

基準となる支持力特性を正方形フーチングを用いて調査した。正方形フーチング模型の圧力( $p$ )は式(7-3-9)により求めることができる。

$$p = F/A_0 \quad (7-3-9)$$

ここで、 $F$ は載荷荷重であり、 $A_0$ はフーチングの接地面積である。

次に、敷鉄板模型を用いた載荷実験の結果から、載荷荷重  $F$  と沈下量  $s$  の関係を求め、長方形フーチングを用いた試験の同一沈下量での  $F$  と  $P$  を求める。図 7-3-7 にその概要を示す。

長方形フーチングと敷鉄板模型の載荷試験で得た  $F$  と  $P$  から、式(7-3-10)により、等価換算載荷面積  $A'$  を算出する。 $A'$  と  $A_0$  の比が極限荷重比  $R_u$  となる。

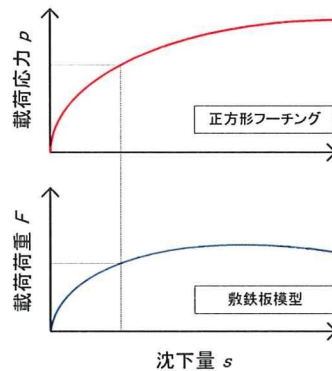


図 7-3-7 有効面積の算出方法

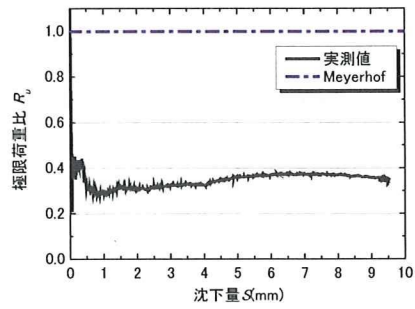
$$A' = F/p \quad (7-3-10)$$

$$R_u = A'/A_0 \quad (7-3-11)$$

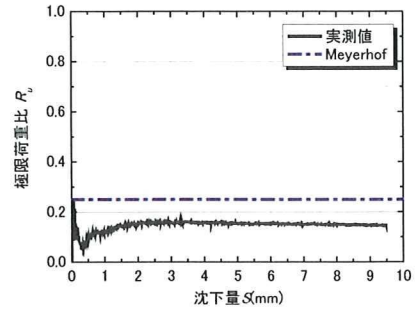
実験値と比較するために Meyerhof が提案した概念を用いた。Meyerhof の概念による方法では、式(7-3-5)から  $R_u$  を算出することができる。

#### (2) 極限荷重比の比較

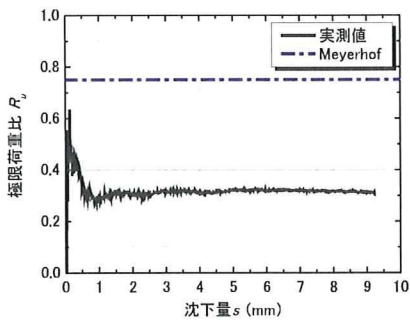
図 7-3-8 に各載荷位置での沈下量と極限荷重比の関係を示す。また、表 7-3-3 に Meyerhof の概念による各載荷地点での極限荷重比を示す。



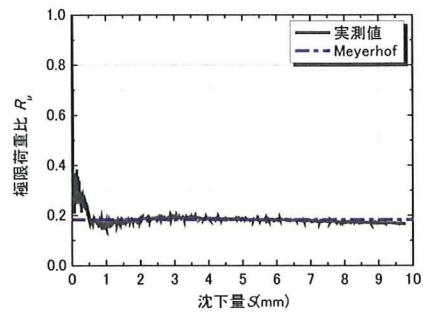
1) 荷重位置①



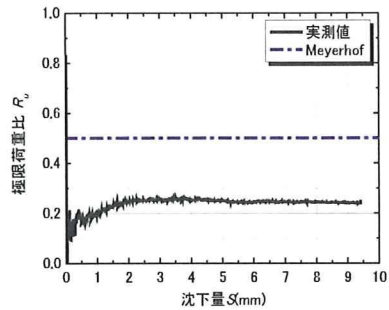
5) 荷重位置⑤



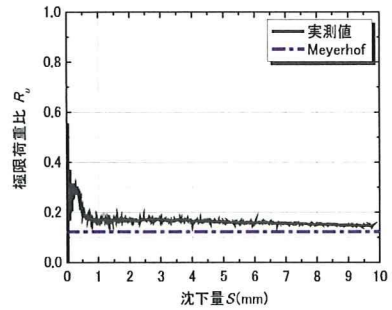
2) 荷重位置②



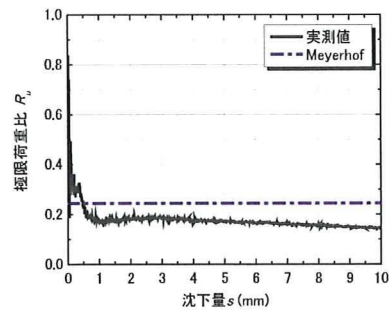
6) 荷重位置⑥



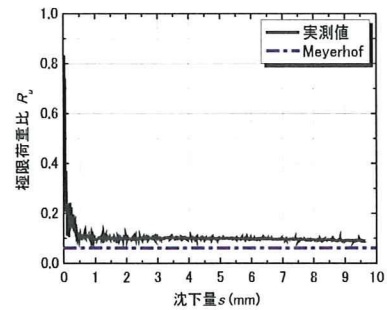
3) 荷重位置③



7) 荷重位置⑦



4) 荷重位置④



8) 荷重位置⑧

図 7-3-8 沈下量と極限荷重比の関係

表 7-3-3 Meyerhof の概念により求めた極限荷重比  $A'/A_0$ 

荷重位置	$A'/A_0$
①	1.00
②	0.75
③	0.50
④	0.25
⑤	0.24
⑥	0.18
⑦	0.12
⑧	0.06

荷重の偏心量の増加とともに、極限荷重比  $R_u$  が小さくなっていることがわかる。また、Meyerhof の提案した有効面積の概念と、実測値を比較すると、偏心量の小さい条件では、実測値が著しく小さく、偏心量の増加とともにその差は小さくなる傾向を示している。

移動式クレーン・基礎工事用機械の転倒防止指針には、地盤上に敷鉄板を敷設して、その上に重機を設置する場合には、敷材の荷重分散効果を考慮してもよいものとし、その荷重分散率は、敷鉄板の厚さや地盤条件、重ね敷きの違いにより 0.36~0.7 としている。この値は FEM（有限要素法）解析により求めたものであり、履帯が敷鉄板の中央に位置した状態を想定している。本実験結果から、敷鉄板中央での極限荷重比は 0.4 であり、敷鉄板端部（荷重地点⑧）では 0.1 であった。すなわち、敷鉄板端部では荷重の分散効果が著しく低下することが明らかになった。極限荷重比と荷重分散率は異なる指標であるため、一概に比較することは出来ないが、現行の方法で用いられている荷重分散率を使用した場合、地盤に作用する接地圧が過小評価される可能性があることがわかった。

くい打機械は施工時に現場内を移動するため、走行時には敷鉄板端部に履帯が位置する。したがって、くい打機械の安定設置を検討する際には、敷鉄板の端部に履帯が位置しても大きな沈下が生じないように検討を行う必要があると考えられる。

### 7.3.3 関東ローム地盤における支持力実験

#### (1) 実験概要

関東ロームを用いて模型地盤を作製し、前述したウレタンフォーム地盤に対して行った実験と同様の検討を行った。用いた敷鉄板模型は、ウレタンフォーム地盤で使用したものと同一である。関東ロームは（独）労働安全衛生総合研究所内で採取したものをを使用した。試料採取後 2mm のふるいを通し、含水比を最適含水比に調整した。

#### (2) 模型地盤の作製と実験手順

模型地盤作製に使用した試料の物理特性を表 7-3-4、試料の含水比を表 7-3-9 に示す。土槽の組み立てから土の投入、地盤の完成までの実験手順を以下に示す。

- ① 土槽 360mm×360mm×210mm（写真 7-3-2）を組み立て。
- ② 締固め時に壁との摩擦を低減させるため、土槽の壁にグリースを塗付。シリコーン（写真 7-3-3）は、信越シリコーン製のシリコーンオイルコンパウンド(KS-63G)を使用した。
- ③ 土をスコップでゆっくりと、土槽に投入。（1層 2.0kg+1.5kg=3.5kg）
- ④ 载荷装置（Autograph）により、载荷応力 150kPa で約 1 時間、静的载荷を行う。
- ⑤ 土槽は二層に分けて締固めを行い、二層目の締固めは約 12 時間行った。
- ⑥ 締固め終了後、表面に石膏でマーキングを行う。（写真 7-3-5、写真 7-3-6）
- ⑦ マーキング終了後载荷実験を行った。（写真 7-3-7）

表 7-3-4 関東ロームの物理特性

含水比 $W$	105.1%
土粒子密度 $\rho_s$	2.759g/cm <sup>3</sup>
湿潤密度 $\rho_t$	1.195g/cm <sup>3</sup>
乾燥密度 $\rho_d$	0.583g/cm <sup>3</sup>
間隙比 $e$	3.736
飽和密度 $\rho_{sat}$	1.371 g/cm <sup>3</sup>
間隙率 $n$	0.789
飽和度 $S_r$	78.04%

表 7-3-5 地盤作製に利用した試料の含水比

	MT241	MT66	MM30
$m_a$ (g)	39.76	36.48	40.00
$m_b$ (g)	30.68	28.22	32.06
$m_c$ (g)	22.06	20.34	24.51
$W$ (%)	105.3	104.8	105.2
$W_{ave}$ (%)	105.1		



第7章 履帯基礎の支持力と敷鉄板の養生性能

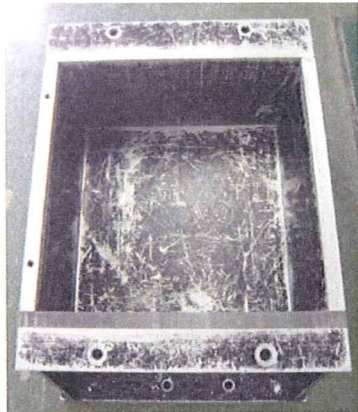


写真 7-3-2 実験容器土槽

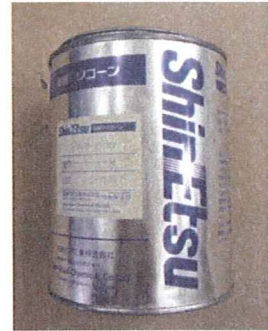


写真 7-3-3 シリコーン



写真 7-3-4 締固め終了後の模型地盤



写真 7-3-5 マーキング作業の様子



写真 7-3-6 マーキング作業終了後の様子

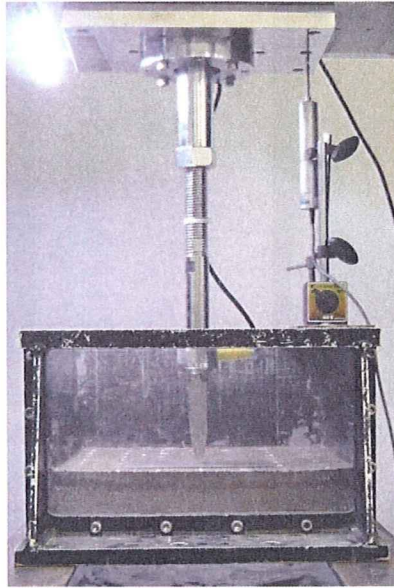


写真 7-3-7 荷重実験の様子

(3) 実験条件

荷重位置は敷鉄板に対して中央荷重①と、中央から x 軸方向に 6.75cm, y 軸方向に 3.4cm である偏心位置⑧に荷重を行った。図 7-3-9 に荷重位置を示す。荷重速度は 0.5mm/min, 荷重変位は 10mm である。

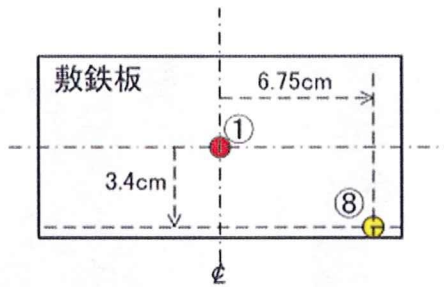


図 7-3-9 荷重位置

(4) 実験結果

図7-3-10に関東ロームの載荷荷重( $P$ )-沈下量( $s$ )関係を示す。荷重-沈下関係には、明確なピークが見られない。載荷位置の違いによる比較をすると、中央載荷に比べ、端部に載荷した⑧では強度が著しく低下している。この傾向はウレタンフォーム地盤での結果と同じである。

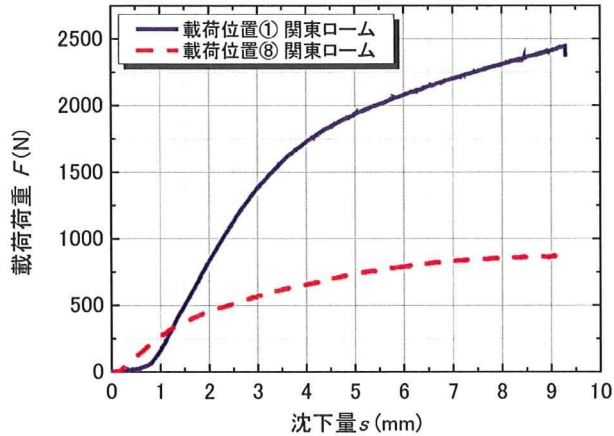


図7-3-10 関東ローム地盤の支持力実験結果

(5) Meyerhof の提案式との比較

7.3.2項で述べた Meyerhof の提案式と実測値との比較を行った。図7-3-11に結果を示す。両実験結果を比較すると、中央載荷に比べ端部載荷の極限支持力は0.27であり、著しい低下が見られる。また、Meyerhof の提案式と比較すると、実測値はやや高いものの、その差は小さく、ウレタンフォーム地盤と同様の傾向を示していることがわかった。

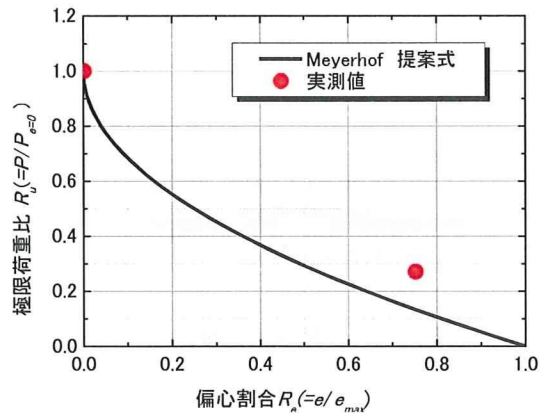


図7-3-11 Meyerhof 提案式と実験値の比較

## 7.4 重ね敷き方法の分類と養生性能

敷鉄板を重ねて敷設した場合、荷重が作用する有効面積が大きくなり、地盤に作用する圧力が小さくなることが期待される。本節では、敷鉄板を重複させて敷設する場合の敷設効果について検証を行った。写真 7-4-1 に重ね敷き条件の試験の様子を示す。

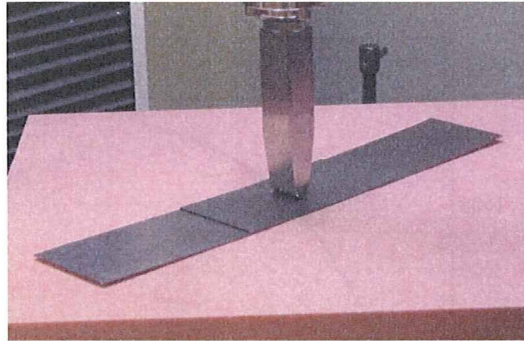


写真 7-4-1 敷鉄板の重複敷設

### 7.4.1 重複の分類

敷鉄板を敷設する際に、種々の重複条件が考えられる。そこで、敷鉄板の敷設方法を定義した。表 7-4-1 に敷鉄板敷設方法の分類を示す。大分類として「一枚敷き」と「二枚敷き」に分類した。次に、中分類として二枚敷きに関して、「部分重複」と「完全重複」を定義した。本研究では、敷鉄板を 2 次元的にモデル化し、敷鉄板の長さを  $L$ 、両端における隣接する敷鉄板との重複長さを  $d_1$  および  $d_2$  と定義した。図 7-4-1 に敷鉄板の重複方法の概要を示す。部分重複は  $(d_1+d_2)/L < 1$  であり、完全重複は  $(d_1+d_2)/L = 1$  である。すなわち、部分重複は下部敷鉄板に隙間があるのに対して、完全重複は隙間がない状態である。

小分類として完全重複に関して、 $d_1$  と  $d_2$  の値の違いにより、「半面交互」、「偏心交互」、「完全重複」と定義した。図 7-4-2 にその概要を示す。

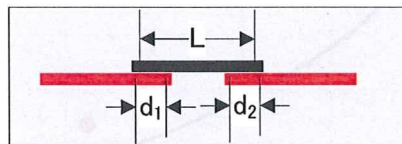


図 7-4-1 敷鉄板重複方法

表 7-4-1 敷鉄板敷設方法の分類

敷鉄板の敷設方法	大分類	中分類	小分類
敷鉄板の敷設方法	一枚敷き $\frac{d_1+d_2}{L}=0$		
	二枚敷き	部分重複:(A) $0 < \frac{d_1+d_2}{L} < 1$	半面交互:(1) $d_1 = d_2$ 偏心交互:(2) $d_1 \neq d_2$ 完全重複:(3) $d_1 = 0, d_2 = L$
全体重複:(B) $\frac{d_1+d_2}{L} = 1$			

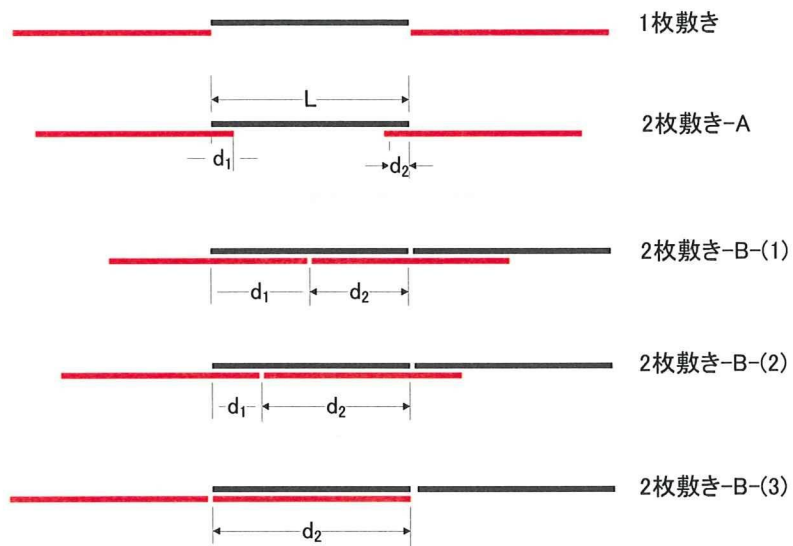


図 7-4-2 敷鉄板の敷設方法の概要

### 7.4.2 敷設の状態を示す指標

敷鉄板の重複敷設を行うにあたり，敷設の状態を示す 2 つの指標を定義した．一つは重複度であり，もう一つは，偏心率である．

#### (1) 重複度

重複度( $R_L$ )の関係式を式(7-4-1)に示す．重複度の値が増加する事により，連続する下部敷鉄板の隙間が小さくなる．図 7-4-3 に概念図を示す．

$$R_L = \frac{d_1 + d_2}{L} \quad (7-4-1)$$

ここで， $R_L$  の値と敷設の状態の関係は次の通りである．

一枚敷き	$R_L=0$
二枚敷き(部分)	$0 < R_L < 1$
二枚敷き(完全)	$R_L=1$

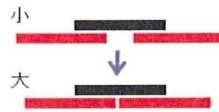


図 7-4-3 重複度の増大に伴う敷設の変化

#### (2) 偏心率

偏心率( $R_E$ )の値は，増加することにより，図 7-4-4 のように上部敷鉄板が偏心して敷設される．式(7-4-2)に偏心率の関係式を示す．

$$R_E = \frac{d_1 - d_2}{L} \quad (7-4-2)$$

ここで， $R_E$  の値と敷設の状態の関係は次の通りである．

対称	$R_E=0$
非対称(偏心)	$0 < R_E < 1$
非対称(完全)	$R_E=1$



図 7-4-4 偏心率の増大に伴う敷設の変化

### 7.4.3 移動荷重に対する沈下量の位置的変動

#### (1) 実験概要

敷鉄板模型を種々の敷設方法で設置し、荷重実験を行った。荷重実験は荷重位置を変えて行い、荷重荷重はウレタンフォーム地盤の弾性範囲内である 100N(=10kg)まで与えた。用いた敷鉄板模型は 1/25 スケールのものであり、寸法は 120mm×60mm×1mm である。

#### (2) 実験条件

本実験では敷鉄板の重複度  $R_L$ ，偏心度  $R_E$  および荷重荷重の荷重位置 ( $e_d$ ) を変数とした。また、 $e_d$  は敷鉄板の左端を原点とした。図 7-4-5 にその概要を示す。

表 7-4-2 に実験名称と実験条件を示す。実験ケースは  $R_L$  と  $R_E$  を変えた全 9 ケースである。

荷重荷重は  $L/8$  ずつ偏心量を増加させた全 7 地点について基準荷重 ( $P_0=100N$ ) を与えた。表 7-4-3 に荷重位置を示す。

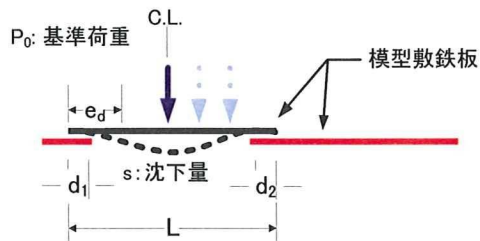


図 7-4-5 重複敷設の荷重の荷重位置の概要

表 7-4-2 実験名称と敷鉄板敷設条件

実験名称	sl_1	sl_2	sl_3	sl_4	sl_5	sl_6	sl_7	sl_8	sl_9
$R_L$	0	1/4	2/4	3/4	4/4				
$R_E$	0				1/4	2/4	3/4	4/4	

表 7-4-3 敷鉄板に対する移動荷重の荷重位置

変数	荷重位置の値						
$e_d/L$	0.11	0.23	0.36	0.50	0.62	0.71	0.85

(3) 実験結果

図 7-4-11 に各载荷条件での载荷反力係数( $K$ )と载荷位置( $e_d/L$ )の関係を示す. ここで  $K$  とは支持力実験での弾性域の荷重-沈下関係から求めた傾きである. 図中に示したデータは直線関係を示した範囲( $55N < P < 60N$ )から求めた値である. 同一荷重に対して発生する沈下量( $s$ )を比較した場合,  $K$  の増加は  $s$  を減少させる. 従って,  $K$  の値が大きいくほど荷重の分散効果が高いことを意味する.

一枚敷きの実験 sl\_1 では, 曲線が上に凸の形状を示す. 中央载荷( $e_d/L=0.5$ )に対して  $K$  は最大値を示すが, 鉄板の両端に対する载荷では  $K$  が小さい. 従って, 両端に近づくに従って荷重分散効果は減少することがわかる.

二枚敷きで半面交互させた sl\_5 では,  $K$  はほぼ一定の値を示し, 载荷位置の違いによる  $K$  の差は小さい. すなわち, 半面交互では载荷位置の違いにかかわらず一定の荷重分散効果が得られている.

二枚敷きで完全重複させた sl\_9 では曲線が上に凸の形状を示し, sl\_1 と類似した結果である. 中央载荷( $e_d/L=0.5$ )に対する  $K$  の値を比較すると sl\_1 のそれに比べて大きい. この原因として, 敷鉄板を重ね敷きにすることにより鉄板の厚さが 2 倍になり, 曲げ剛性が増加したことが考えられる. しかしながら, 両端付近では,  $K$  の増加は見られず, 一枚敷きの結果とほぼ同じ値を示している.

部分重複を与えた sl\_3 では, sl\_1 に比べて曲線がフラットになっており, 安定した分散効果が得られているが, sl\_5 に比べて  $K$  の値は全体的に小さい. また, 全体重複で偏心交互させた sl\_7 では全体的に  $K$  の値は大きくなっているものの, その変動は sl\_5 に比べて大きい.

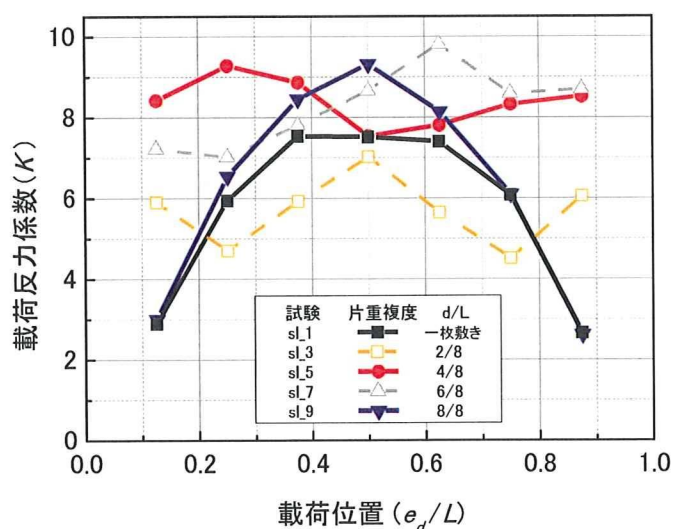


図 7-4-6 载荷反力係数と载荷位置の関係



敷鉄板上を通過する移動荷重により生じた沈下量の最大値と最小値の差を不同沈下量( $\Delta S$ )として、単位荷重増分( $\Delta P$ )に対する $\Delta S$ の割合を不同沈下率( $R_D$ )と定義した。式(7-4-3)にその関係式を示す。 $R_D$ が増加すると機体に生じる傾斜は大きくなり、転倒の危険が高くなる事を意味する。

$$R_D = \frac{\Delta S}{\Delta P} \tag{7-4-3}$$

図7-4-7に $R_L$ および $R_E$ と $R_D$ の関係を示す。 $R_E=0$ すなわち対称に設置され、かつ偏心が無い場合は、 $R_L$ の増加に伴って $R_D$ は減少している。そして $R_L=1.0$ の半面交互条件では、 $R_D$ が最小となっている。すなわち、敷鉄板の隙間を小さくすることで、生じる沈下量が減少することを意味する。

一方、 $R_L=1.0$ では $R_E$ の増加に伴い $R_D$ も大きくなり、完全重複( $R_E=1.0$ )で、 $R_L$ は最大となっている。

以上の結果から、敷鉄板の敷設方法により敷設効果が異なることが明らかになり、重複度が大きく、かつ偏心度が小さい条件では、最も敷設効果が大きいことがわかった。また、重ね敷きであっても、完全重複条件では一枚敷きと同等の敷設効果しか得られないことが明らかになった。

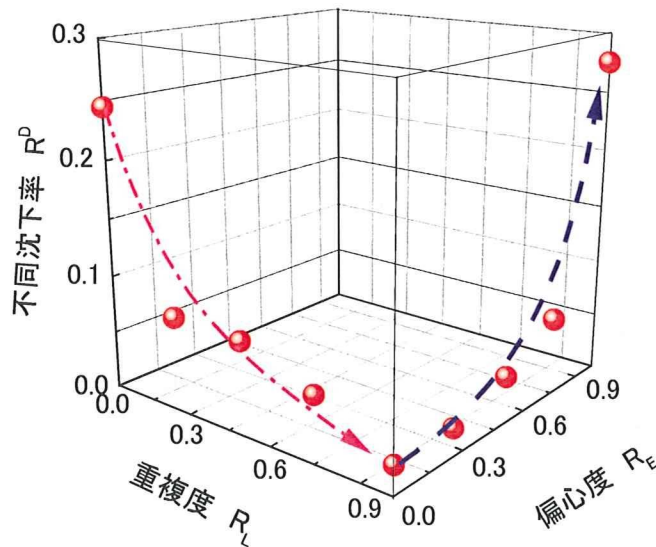


図7-4-7 敷鉄板の不同沈下率( $R_D$ )に与える重複度( $R_L$ )と偏心度( $R_E$ )の関係

## 7.5 まとめ

本章で述べた内容を以下に要約する。

### 1) 履帯基礎模型の載荷荷重に与える重心位置の影響

履帯模型を用いて載荷実験を行った。載荷条件には中央載荷から偏心量( $e$ )を与えていく事で偏心量に伴う載荷荷重の影響を調べた。実験結果では中央載荷での載荷荷重が最も大きく、偏心量の増加に伴って低下する事が分かった。

### 2) 載荷位置と接地圧力の関係

偏心量( $e$ )を与えた載荷実験において、敷鉄板模型を用いた実験を行った。偏心量の変化による荷重分散効果の検討を行った結果、偏心量の増加により地盤支持力が著しく低下することがわかった。その原因として、荷重の偏心により有効載荷面積が小さくなり、接地圧力が大きくなったことが考えられる。中央載荷と敷鉄板端部に載荷した場合の極限支持力を比較すると、端部では中央載荷に比べて0.2程度まで極限荷重が低下することがわかった。

### 3) Meyerhof の提案式と実験値の比較

支持力試験において、Meyerhof が提案した式を使用し、実験値との比較を行った。Meyerhof の提案式では、偏心割合( $R_e$ )に対する極限荷重比( $R_u$ )の関係は、 $y$ 軸方向の偏心量 $e_b$ が $e_b=0$ の場合に直線となるが、 $e_b=3b/8$ の場合は曲線となった。提案式と実測値を比較した結果、実験値は剛なフーチングを前提とした提案式と比較的一致する事が分かった。

### 4) 重敷敷設の分類

敷鉄板の敷設方法の分類を行った。大分類(1枚敷きと2枚敷き)・中分類(部分重複と全体重複)・小分類(半面交互・偏心交互・完全重複)と大別した。

### 5) 敷設の状態を示す指標

敷鉄板の敷設の状態を示す指標として、重複量( $R_L$ )と偏心度( $R_E$ )の定義を行った。重複度が増加する事で、下部敷鉄板の間隔が小さくなる。また、偏心度が増加する事で、上部敷鉄板が偏心して敷設された状態となる。

### 7) 移動荷重に対する沈下量の位置的変動

敷鉄板の敷設方法の違いにより敷設効果が異なることが明らかになった。重複度が大きく、かつ偏心度が小さい条件では、最も敷設効果が大きいことがわかった。また、重ね敷きであっても、完全重複条件では一枚敷きと同等の敷設効果しか得られないことがわかった。

敷鉄板の敷設方法と載荷位置を変えて実験を行った結果、敷設方法の違いにより不同沈

下率( $R_D$ )が異なることがわかった。従って、くい打機が通過する際には不同沈下を生じ、それによって機械が傾斜する危険がある。そのため、敷鉄板を適切に敷設することは非常に重要であると考えられる。

## 7.6 参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書(I 共通編・IV 下部構造編)・同解説，pp.276-278，2007.
- 2) 大成建設株式会社：改訂 移動式クレーン・基礎工事中機械の転倒防止指針，pp.27，1992.