

31. 基礎工事中建設機械の転倒防止のための地盤養生に関する実験的検討

(独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 ○堀 智仁
 (独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 玉手 聡

1. はじめに

くい打機などの基礎工事中用機械による転倒災害が後を絶たない。このような大型建設機械が転倒した場合、工事現場内の被害にとどまらず、付近の民家等を損壊する等、第三者をも巻きこむ災害に発展する危険性がある。法令等では、軟弱な地盤の上に機械を設置する際には、敷鉄板等の使用を義務付けているが、その設置方法や機械設置時の安全性の検討手法については十分な知見がない。そこで筆者らは、敷鉄板模型を作製して、敷鉄板の敷設方法と接地圧の分散効果について調査を行い、理想的な敷設方法を明らかにした¹⁾。しかし、検討で用いた敷鉄板模型は、短辺と長辺の比が1:2のものであった。一般的には寸法比1:4の敷鉄板が多く使用されていることから、本稿では、寸法比1:4の敷鉄板模型を作製して、敷鉄板の敷設方法と接地圧の分散について調査した結果について報告する。

2. 実験の概要

2.1 敷鉄板模型の製作

既報¹⁾では、実物の敷鉄板(914mm×1829mm×25mm)の1/25スケール(36mm×72mm×1mm)で敷鉄板模型を作製したが、結果の比較のため36mm×144mm×1mmの模型を作製した。本研究では、前者を「寸法比1:2」、後者を「寸法比1:4」と呼ぶ。

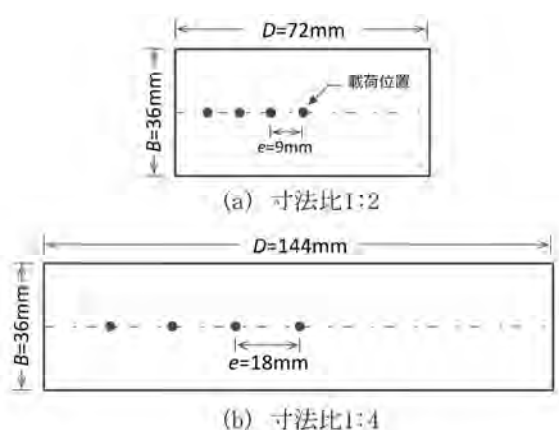


図-1 敷鉄板模型の寸法および載荷位置

図-1に敷鉄板模型の寸法を示す。

2.2 実験装置および実験条件

載荷実験では、島津製作所製の精密万能試験装置AG-100KNIS (Autograph)を用いた。当該試験機の定格荷重は100kNであり、高精度の定速変位制御が可能となっている。試験時の荷重はミネベア製のロードセル(定格容量500N)で計測し、変位については接触型の変位計(定格容量50mm)で計測した。荷重は変位制御(1mm/min)で載荷した。載荷位置については、敷鉄板の中央からD/8ずつ偏心量eを増加させた全4箇所載荷実験を行った。図-1に載荷位置を示す。

模型地盤は発泡ポリエチレンフォームにより作製した。その理由は、均質な化学材料であるため実験の再現性が確保できることと、関東ロームのような圧縮性の高い粘性土地盤を模擬するためである。一般的な地盤材料と異なる点は、引張強度を有していることである。載荷実験において沈下の増加とともに引張強度の影響が大きくなり、支持力を高めに示す傾向がある。この点について、実際の地盤材料と性質が異なる。

図-2および図-3に敷鉄板の敷設方法を示す。本研究では、Cs1~Cs9の9種類に加え、1枚敷きと2枚の敷鉄板を完全に重複させた条件(完全重複)についても検討を行った。

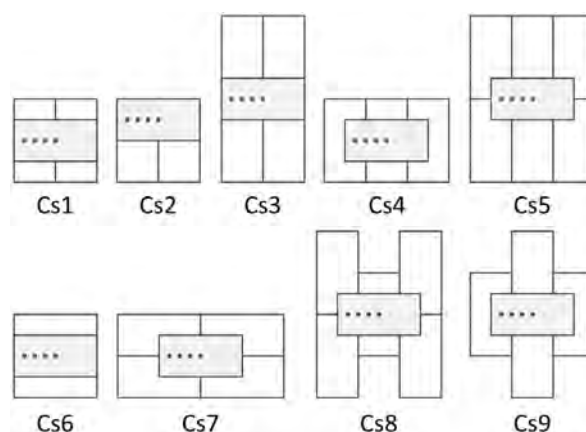


図-2 敷鉄板模型の敷設方法(寸法比1:2)¹⁾

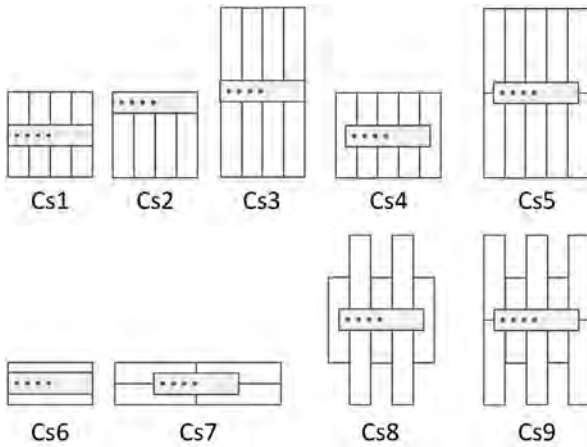
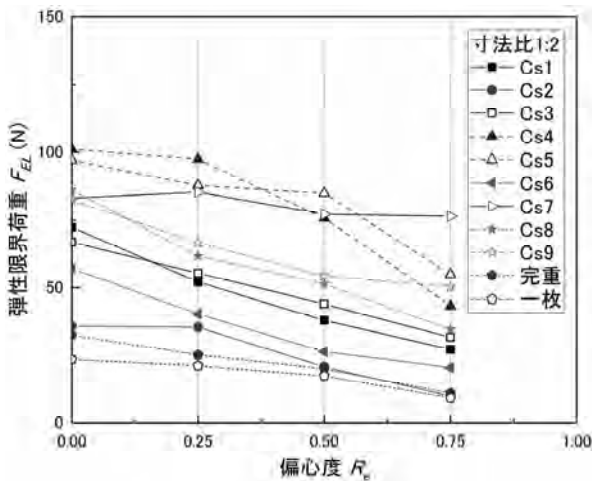
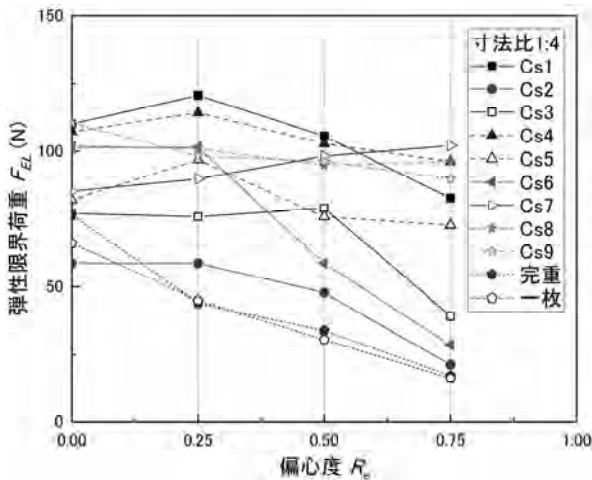


図-3 敷鉄板模型の敷設方法(寸法比1:4)



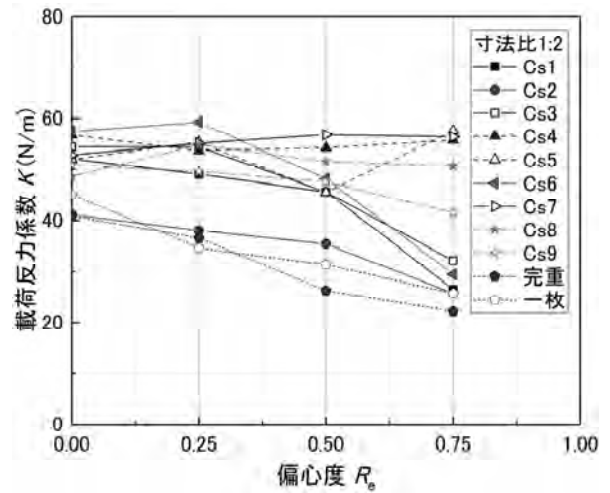
(a) 寸法比 1:2



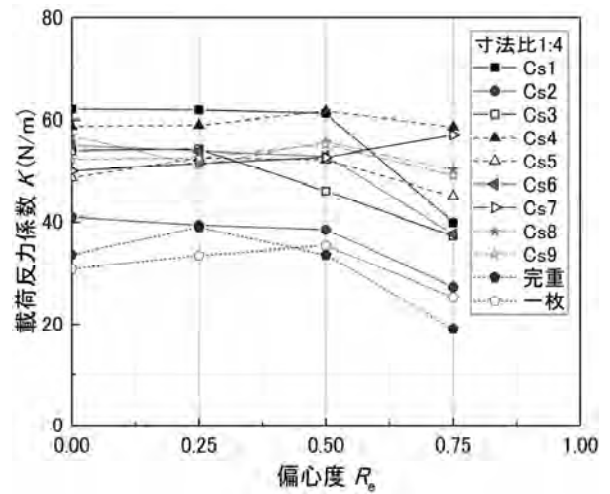
(b) 寸法比 1:4

図-4 弾性限界荷重 F_{EL} と偏心度 R_e の関係

本研究では、建設現場の地盤を平面的に養生することを想定している。例えば、Cs1とCs3は同一設置パターンであり、Cs4およびCs5、Cs8およびCs9も同様である。本研究では、重ね敷きの条件において、地盤に接するように設置された敷鉄板を「下部敷鉄板」と呼び、その上に設置された敷鉄



(c) 寸法比 1:2



(d) 寸法比 1:4

図-5 載荷反力係数 K と偏心度 R_e の関係

板を「上部敷鉄板」と呼ぶこととする。

3. 実験結果

3.1 弾性限界荷重と偏心度との関係

図-4に弾性限界荷重 F_{EL} と偏心度 R_e の関係を示す。ここで、 F_{EL} は載荷荷重 F と沈下量 s の関係の弾性限界に相当する荷重であり、 R_e は偏心量 e を最大偏心量 $e_{max} (=D/2)$ で除した値である。寸法比1:2の結果を示した図-4(a)では、Cs7の結果を除き、 R_e の増加に伴って F_{EL} が減少している。すなわち、上部敷鉄板の中央と端部で F_{EL} の値が異なる。特に、Cs2や完全重複は全体的に低く、1枚敷きの結果と比較しても大きな差はない。一方、Cs4およびCs5については、敷鉄板の中央付近の F_{EL} は高いが、端部($R_e=0.75$)では中央に比べ F_{EL} は約1/2に低下している。それに対して、Cs7では、 R_e の違いによらず F_{EL} はほぼ一定である。1枚敷きの結果と比較すると、Cs7の F_{EL} は1枚敷きに比べ約3倍であった。

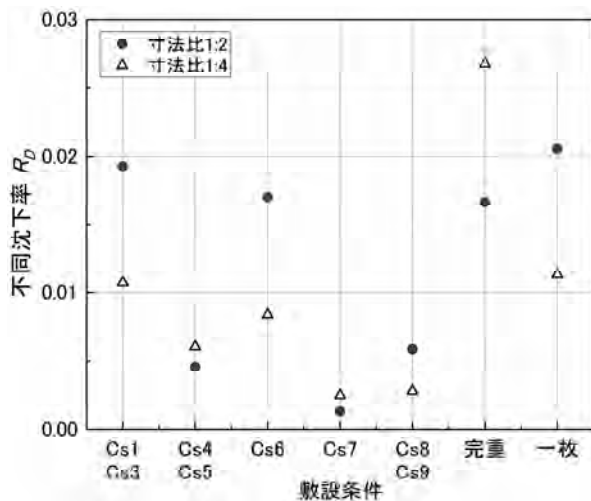


図-6 各敷設条件における不同沈下率 R_D

寸法比1:4の結果を示した図-4(b)では、寸法比1:2と同じような傾向を示しているが、Cs7のほか、Cs4やCs8、Cs9の結果は、 R_e によらず一定して高い値を示している。また、寸法比1:4の結果は寸法比1:2の結果に比べ全体的に高い値を示している。両者の平均値で比較すると、寸法比1:4は寸法比1:2の約1.5倍であることがわかった。これは、敷鉄板模型の面積の違いによる影響であると考えられる。

3.2 地盤反力係数と偏心率の関係

次に、荷重荷重 F と沈下量 s の弾性域の直線の傾きを荷重反力係数 K と定義して、結果の比較を行った。図-5に K と R_e の関係を示す。 K が大きい場合、同一荷重に対して発生する沈下量 s が小さく、相対的に接地圧力の低減効果が高いことを意味する。寸法比1:2の結果では、1枚敷きと完全重複、Cs2の K は、 R_e の増加とともに低下している。その他、Cs1やCs3、Cs6についても $R_e=0\sim 0.25$ では K の値は大きいものの、端部に荷重した $R_e=0.75$ では K が小さい。それに対して、Cs4およびCs7は R_e の違いによらず K はほぼ一定である。

寸法比1:4の結果においても、1枚敷きと完全重複、Cs2の K は全体的に小さい。また、Cs1、Cs3、Cs5およびCs6は中央に荷重した条件に比べ端部に荷重した条件 ($R_e=0.75$) で K は減少している。それに対して、Cs4、Cs7、Cs8およびCs9は、 R_e の違いによらず K はほぼ一定して高い値であった。

3.3 不同沈下率の検討

敷鉄板上を通過する移動荷重により生じた沈下量 s の最大値と最小値の差を不同沈下量 Δs とし、単位荷重増分 ΔF に対する Δs の割合を不同沈下率 R_D と定義した。次式にその関係式を示す。

$$R_D = \Delta s / \Delta F \quad (1)$$

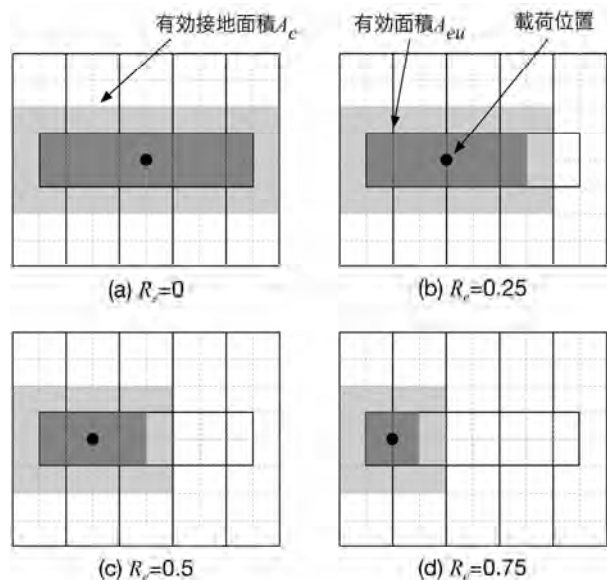


図-7 寸法比1:4のCs4における有効接地面積の算出例

図-6に各敷設条件における R_D を示す。前述のとおり、Cs1およびCs3、Cs4およびCs5、Cs8およびCs9は同一の敷設パターンであるため、それぞれの最小沈下量の小さい方の値と最大沈下量の大きい方の値から R_D を算出した。図より、Cs7は敷鉄板の大きさの違いによらず R_D は小さく、不同沈下が発生する可能性が小さい。その他、Cs8およびCs9の寸法比1:4についても R_D が小さいことがわかる。それ以外の結果については、 R_D が大きく、不同沈下が発生する可能性が高い。また、寸法比1:2と寸法比1:4の結果を比較すると、全体的に寸法比1:4の方が R_D は小さく、不同沈下が発生する可能性が小さいことがわかった。

3.4 有効面積の算出

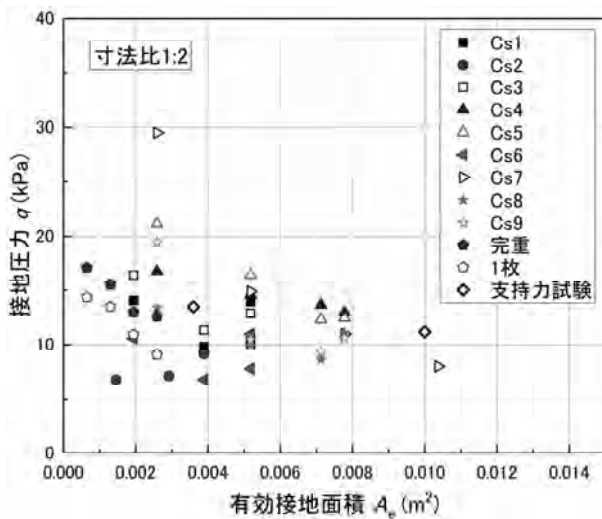
これまでの検討結果から、1枚敷きや完全重複では、Meyerhofの有効幅法を利用することで有効面積の算出が可能であることが明らかとなっている¹⁾。そこで、同手法の重ね敷きへの応用の可否を検討した。

Meyerhofの有効幅法²⁾の概念は、幅 D の基礎に対して、基礎中心から e だけ偏心した位置に鉛直荷重 F が作用した場合、荷重は実質的に幅 D' ($=D-2e$)の部分で支持されると述べている²⁾。この仮定より、1枚敷きの A_e は次式で求まる。

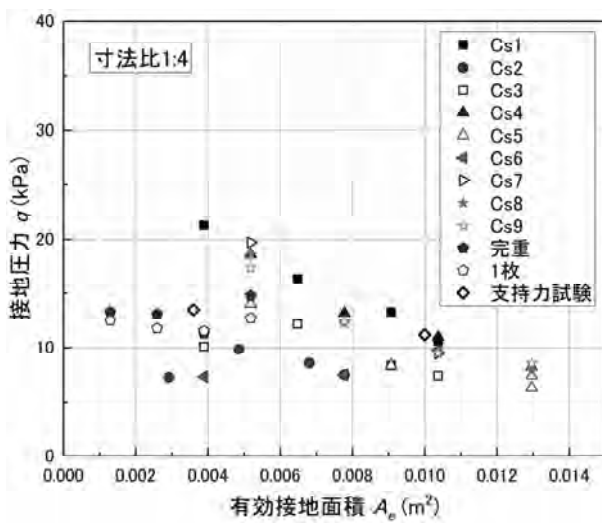
$$A_e = D' \times B \quad (2)$$

ここで、 B は敷鉄板の短辺の長さ ($=36\text{mm}$) である。

次に、この方法を応用してCs1～Cs9における A_e の算出を試みた。図-7に寸法比1:4のCs4における A_e



(a) 寸法比 1:2



(b) 寸法比 1:4

図-8 接地圧力と有効面積の関係

の算出例を示す。上部敷鉄板の有効面積は、式(2)より算出した。図-7の有効面積 A_{eu} がそれに該当する。下部敷鉄板には、 A_{eu} の範囲に分布荷重が作用すると仮定し、それに対する有効面積を有効接地面積 A_e とした。

Meyerhofの有効幅法では、敷鉄板の端部から載荷位置までの距離の2倍を有効幅 D' とするため、 A_e は基本的に上部敷鉄板の有効面積 A_{eu} の各辺長の2倍とした。

図-8に接地圧力 q と A_e の関係を示す。ここで、 q は弾性限界荷重 F_{EL} を A_e で除した値である。図中には、寸法の異なる2種類の正方形基礎（幅60mmおよび幅100mm）で行った支持力実験の結果（◇印）も示している。

模型地盤の強度のばらつきはほぼゼロと見なされるため、 q は A_e によらずほぼ一定値になると考え

られたが、 A_e の減少に伴って q のばらつきはやや大きい。すなわち、敷鉄板の端部に載荷した条件ではバラツキが大きい。しかし、 A_e の増加とともに q は一定値に収束している。

正方形基礎による支持力実験の結果は約12kPaであり、この値を模型地盤の支持力の基準値として、 q の最大値（約30kPa）と比較すると、その比は2.5倍である。このような違いを生じた原因は、 A_e の評価法にある。具体的には、 A_e を過小評価したことによって、比は大きくなったと考えられる。したがって、本手法で A_e を求める際は、その不正確さを考慮して安全率は2.5以上にすべきである。

なお、 A_e は敷鉄板の剛性と地盤の強度の相対的な関係により変化することが考えられる。そのため、今後は、異なる地盤材料でのデータを蓄積して、有効接地面積と必要安全率について検討する予定である。

4. まとめ

寸法比の異なる2種類の敷鉄板模型を作製して、敷鉄板の敷設方法と地盤養生効果について検討を行った。その結果、以下に示す知見を得た。

- 1) 寸法比1:2に比べ、寸法比1:4の方が F_{EL} は全体的にやや高く、接地圧力の低減効果が高いことが確認された。
- 2) 敷鉄板の寸法の違いによらず、Cs7の敷設方法は、不同沈下が発生しにくい敷設方法であることがわかった。
- 3) Meyerhofの有効幅法を応用して、有効接地面積 A_e の算出を試みた。その結果、 A_e が小さい範囲において、 A_e が過小評価されることが示唆された。そのため、同手法によって A_e を算出する場合には、安全率として2.5以上の余裕をもって使用すべきと考えられる。

参考文献

- 1) 堀智仁・玉手聡：大型建設機械の転倒防止のための地盤養生法に関する基礎的検討，平成28年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，pp.121～124，2016。
- 2) Meyerhof, G. G. : The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads, *Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp.440-445, 1953.