

30. 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

(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

大型の移動式クレーンや基礎工事用機械等の建設機械の転倒災害は頻度こそ低いものの、依然として災害は発生している。これら建設機械の過去の災害事例を分析すると、走行中の転倒に起因する災害が数多く発生している。特に、機械の履帯が敷鉄板の端部に載った際に、地盤に沈下が生じて転倒していた。労働安全衛生規則では、建設機械の転倒防止のために敷板の敷設を義務づけているが、その設置方法や機械設置時の安全性の評価手法については十分な知見がない。そこで本研究では、大型建設機械の転倒災害を防止するための地盤養生の方法を明らかにすることを目的としている。本稿では、平面的な地盤養生の効果を確認する模型実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験の概要

2.1 実験装置

本研究では、万能試験機を用いて載荷実験を実施した。実験の概要を図-1 に示す。実験装置にはロードセルが設置してあり、その先には載荷ロッドが備わっている。

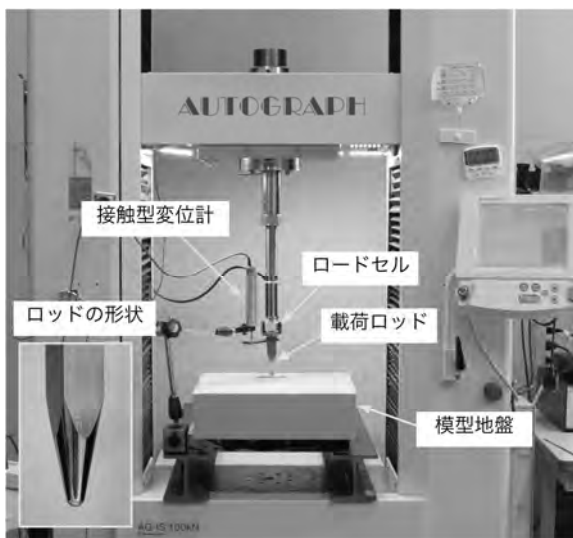


図-1 実験の様子

載荷ロッドの先端の形状は球状であるため集中荷重が作用する。一方、履帯の接地形状は長方形であるため作用は分布荷重となり、実験とは載荷状態が異なる。しかし、載荷ロッドの形状を長方形とした場合、ロッドが固定されているため載荷の進行とともに敷鉄板との接触面積や接触位置が変化する。それにより、データの解釈が困難となるため、本研究では簡単のため、先端が球状の載荷ロッドを用いた。

2.2 敷鉄板模型の製作

敷鉄板模型は実物 (914mm×1829mm×25mm) の1/25スケールで作製した。材質は鉄である。図-2 に模型の寸法を示す。敷鉄板模型の寸法は幅36mm、長さ72mm、厚さ1mmである。

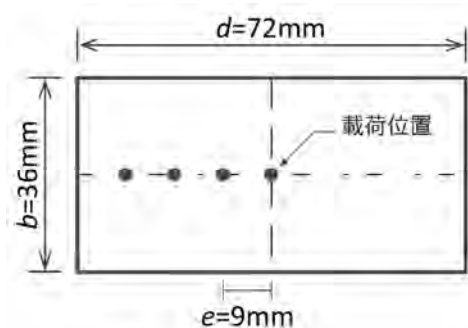


図-2 敷鉄板模型の寸法

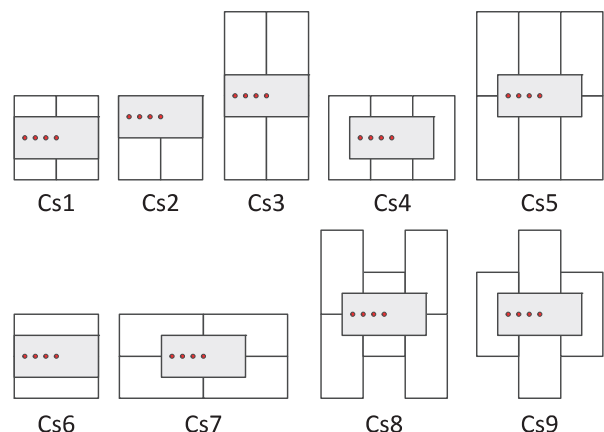


図-3 敷鉄板模型の敷設方法

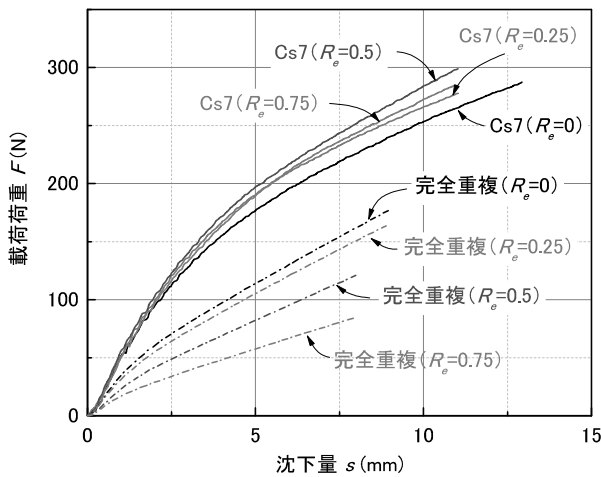


図-4 実験結果の一例

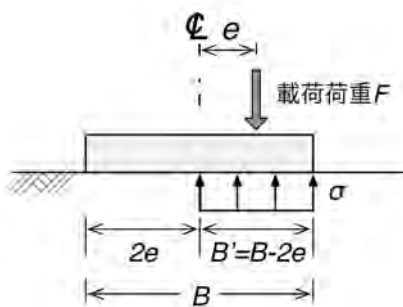


図-5 偏心荷重と有効幅の関係

2.3 実験条件

荷重の載荷位置は、図-2 に示すように中心から 9mm($=d/8$)ずつ偏心させた全 4 箇所である。これは機械の移動荷重を模擬している。本研究では、敷鉄板の中央から載荷位置までの距離を偏心量 e と定義し、 e を最大偏心度 e_{max} ($=d/2$) で除した値を偏心度 R_e と定義した。

敷鉄板の敷設方法を図-3 に示す。本研究では、1 枚敷きに加え、重ね敷きでは、Cs1~Cs9 及び 2 枚の敷鉄板を完全に重複させた条件（完全重複）を加えた、全 11 ケースについて実験を行った。なお、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~Cs3 は同じ設置方法で生じる敷設方法であり、Cs4 および Cs5、Cs8 および Cs9 も同様である。

3. 実験結果

3.1 実験結果の一例

図-4 に実験結果の一例を示す。図中には、Cs7 と完全重複の載荷荷重 F と沈下量 s の関係を示した。一点鎖線で示した完全重複の結果は R_e の増加とともに $F-s$ 関係は低くなっている。すなわち、敷鉄板の中央と端部では、敷設効果に差があり、同一荷重条件で比較すると、中央に比べ端部では大きな沈下が生じる可能性がある。一方、実線で示した Cs7 の $F-s$ 関係は、 R_e の違いによる差は小

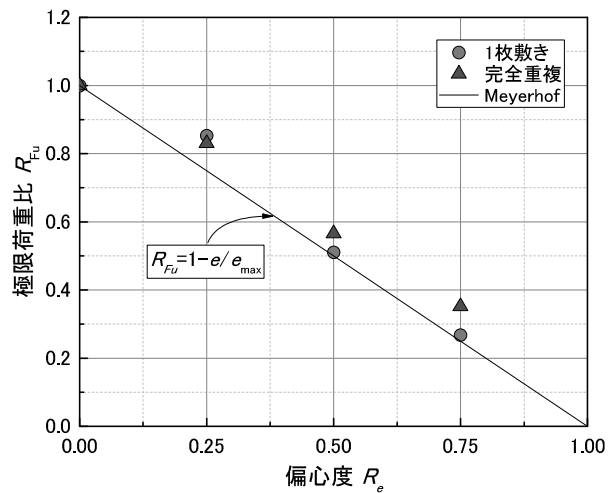


図-6 極限荷重比と偏心度の関係

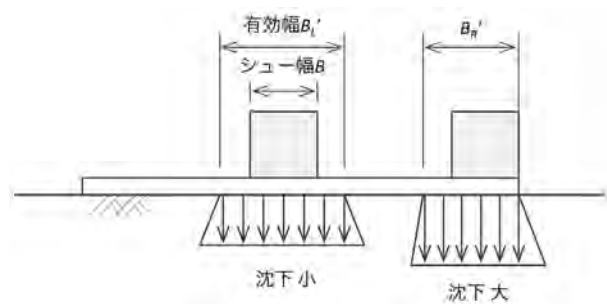


図-7 敷鉄板の端部に機械を位置した際の接地圧分布

さく、完全重複に比べ全体的に高い値を示している。これらの結果から、敷鉄板を重ね敷きする場合、敷設方法の違いにより、 $F-s$ 関係が大きく異なることが分かった。

図-5 に偏心荷重と有効幅に関する概念図を示す。Meyerhof は幅 B の基礎幅に対して、偏心量 e の位置に鉛直荷重 F が作用した場合、荷重は実質的に B' の部分で支持されると述べている¹⁾。 e の増加に伴い、応力 σ は台形または三角形に分布するが、本研究では、問題を簡単にするため、 B' の幅に均等に応力が作用すると仮定した。

極限荷重 F_u と応力の関係は式(1)で表すことができる。 F_u は（公社）地盤工学会が規定している極限支持力の求め方を参考に求めた²⁾。同手法は沈下の増加が大きくなり、 $F-s$ 関係が直線的に増加し始める荷重を極限支持力と定義している。

$$F_u = \sigma \cdot (B - 2e) = F_{u0} \cdot (1 - 2e/B) \quad (1)$$

ここで、 F_{u0} は中央載荷条件 ($e=0$) での F_u である。

式(1)より、式(2)の関係式が得られる。

$$\frac{F_u}{F_{u0}} = 1 - \frac{e}{B/2} = 1 - \frac{e}{e_{max}} \quad (2)$$

式(2)より、荷重と偏心度との関係式が得られる。

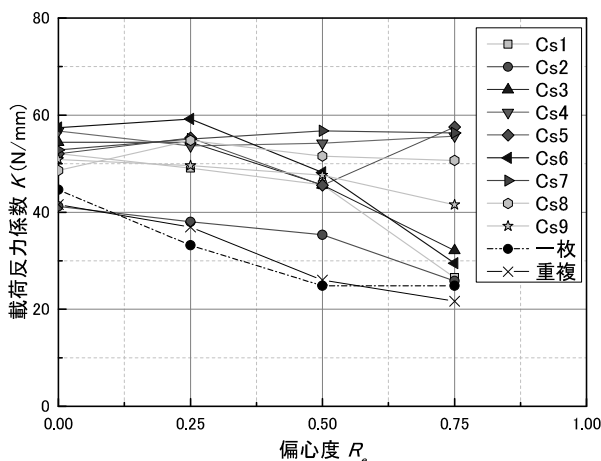


図-8 荷重反力係数 K と偏心率 R_e の関係

図-6に極限荷重比 R_{Fu} と偏心率 R_e の関係を示す。 R_{Fu} は、各荷重地点での F_u を中央荷重条件での F_{u0} で除した値であり、式(2)の左辺に相当する。図中には1枚敷きおよび完全重複の結果を示している。両実験結果ともに R_e の増加に伴って R_{Fu} は低下している。特に端部に荷重した条件 ($R_e=0.75$) では、一枚敷きで0.26、完全重複では0.35となっており、中央荷重に比べ約7割程度 F_u が低下している。また、一枚敷きと完全重複の結果を比較すると、 $R_e=0.5$ および 0.75 では、わずかに完全重複の R_{Fu} が高くなっているものの、両者に大きな差は無い。以上の結果から、極限荷重比 R_{Fu} と偏心率 R_e は、よく対応していることがわかった。

図-7は敷鉄板上にくい打機等の大型建設機械を設置した際の接地圧分布の概念図を示している。図のように右側の履帯が敷鉄板の端部に載った条件では、左右の履帯の有効幅に差が生じる。つまり、右側の履帯の有効幅 B_R は小さくなるため、有効接地面積は減少し、結果的に接地圧が増加する。一方、左側の履帯の有効幅 B_L は B_R よりも大きく、接地圧は低下する。このように、左右の履帯の有効面積の差が沈下量の差に現れ、機体に傾斜が生じて転倒に至ることが考えられる。そのため、安全に作業をするためには、不同沈下が発生しないような地盤養生の方法を明らかにする必要がある。

4.2 適切な地盤養生方法の検討

(1) 荷重反力係数と偏心率の関係

図-8に荷重反力係数 K と偏心率 R_e の関係を示す。荷重反力係数とは、 F - s 関係の弾性域における傾きである。 K が大きい場合、同一荷重に対する沈下量 s が小さく、相対的に敷鉄板の敷設効果が高いことを意味する。図より、完全重複における K は偏心率 R_e の増加とともに低下している。その他、Cs1やCs2、Cs3、Cs6等についても $R_e=0\sim 0.25$ では K は大きいものの、端部に荷重した $R_e=0.75$ で

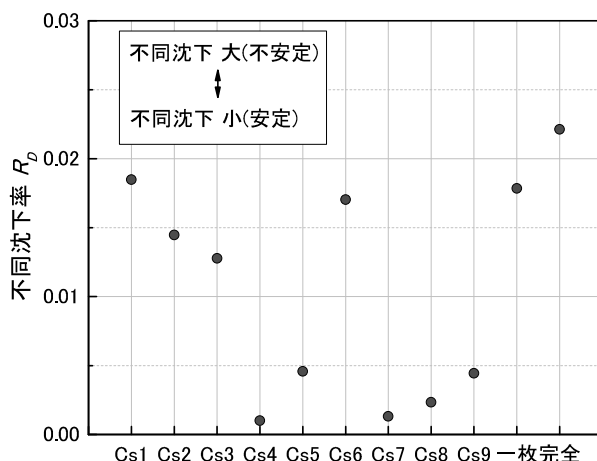


図-9 不同沈下率

は K が低下している。一方、Cs4 および Cs7 については、 R_e の違いによらず、 K はほぼ一定となっている。したがって、敷鉄板の端部に履帯が位置した場合でも安定した地盤養生の効果が得られると考えられる。

次に、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 Δs とし、単位荷重増分 ΔP に対する Δs の割合を不同沈下率 R_D と定義した。式(3)にその関係式を示す。

$$R_D = \Delta s / \Delta P \quad (3)$$

図9に各実験ケースにおける不同沈下率 R_D を示す。Cs4 および Cs7、Cs8 では R_D が低く、不同沈下が発生しにくい安定した敷設方法である。それに対して、Cs1 および Cs2、Cs6、一枚敷き、完全重複では R_D が高く、機械が現場内を移動する際に不同沈下が発生するおそれがある。これらの設置方法はいずれも上部の敷鉄板の短辺側の端部が下部の敷鉄板の端部と一致した条件であり、荷重が実質的に作用する有効面積が小さくなり、地盤養生の効果が小さくなったと考えられる。このことから、接地圧を低減させるためには、上部敷鉄板の短辺側の端部が下部敷鉄板の中央に位置するよう設置する必要がある。

(2) 荷重反力係数と偏心率の関係

図-10に極限荷重 F_u と偏心率 R_e の関係を示す。敷鉄板の敷設方法の違いにより、 F_u に差があることが確認できる。特にCs2 および完全重複については、1枚敷きの結果とほぼ同じであり、重ね敷きによる F_u の増加は見られない。一方、Cs3 および Cs6 は、 $R_e=0$ および 0.25 では F_u は高いが、 R_e の増加とともに F_u が $R_e=0$ の1/2以下となっている。すなわち、敷鉄板の中央と端部で F_u が異なるため、不同沈下の発生が懸念される。Cs4 および Cs5 についても、端部 ($R_e=0.75$) に荷重した条件では F_u が大きく低下している。それに対して、Cs7 は、 R_e の違いにかかわらず F_u はほぼ一定であり、機械

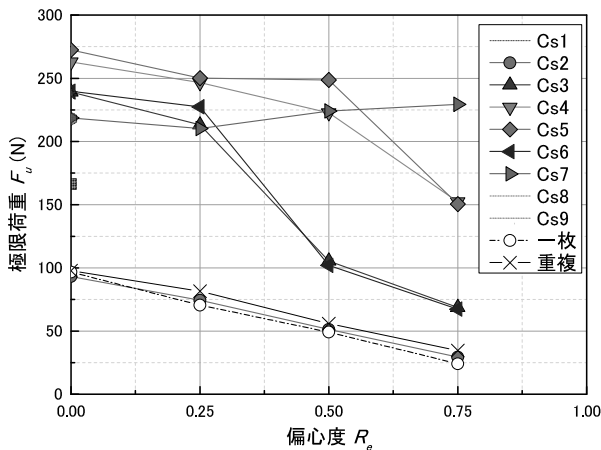


図-10 極限荷重 F_u と偏心度 R_e の関係

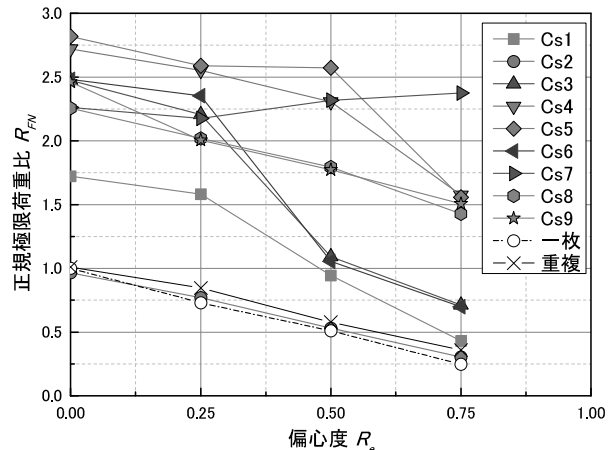


図-11 正規極限荷重 R_{FN} と偏心度 R_e の関係

設置時に不同沈下が発生しにくい敷設方法であると考えられる。

図-11に正規極限荷重比 R_{FN} と偏心度 R_e の関係を示す。ここで、 R_{FN} とは、各条件での F_u を一枚敷きの中央載荷条件の F_u で除した値である。結果を見ると、Cs1, Cs2, Cs3, Cs6, 完全重複では $R_e=0.75$ の R_{FN} が 1 以下となっている。すなわち、一枚敷きよりも地盤養生の効果が低い。それに対して、Cs4, Cs5, Cs7, Cs8 および Cs9 では $R_e=0.75$ の R_{FN} が 1.4~2.4 となっており、敷鉄板の敷設方法の工夫により、見かけの地盤の強度が高くなっていることが分かる。前述した実験結果を踏まえると、 R_e の違いによる F_u の変動が少ない Cs7 の敷設方法が最良であると考えられる。

以上の結果から、敷鉄板の敷設方法の違いにより地盤養生の効果が異なることが明らかになった。本論文では、敷鉄板の短辺と長辺の長さの比が 1:2 の敷鉄板を対象とした模型実験を実施したが、一般的には 1:4 の敷鉄板も広く利用しているため、今後はそのような敷鉄板についても検討を行うとともに、砂質土や火山灰質粘性土等の地盤材料を用いて実験を行い、データの蓄積を行う予定である。

4. まとめ

大型建設機械の転倒防止に必要な敷鉄板の敷設方法を明らかにするために、敷鉄板模型を作製して、載荷実験を行った。その結果以下に示す知見を得た。

(1) 敷鉄板を一枚敷きで敷設した場合、敷鉄板の中央と端部では、荷重が作用する有効面積等の違いにより、同一荷重に対して生じる沈下量が異なる。これにより、機械が傾斜して転倒に至る可能性が示唆された。

(2) 敷鉄板を二枚重ねて敷設する重ね敷きにおいて、敷鉄板の敷設方法の違いにより、地盤養生の効果が異なることが明らかになった。機械の

不同沈下を防ぐためには、上部敷鉄板の短辺の端部が下部敷鉄板の中央に位置するように設置する必要がある。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 25750141 の助成を受けたものです。末筆ながら、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説, pp.697-735, 2013.