

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：82629

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750141

研究課題名(和文)大型建設機械の転倒防止に関する地盤養生および簡易地盤調査法に関する研究

研究課題名(英文) Study on temporary investigation of bearing capacity and reinforce method of in-situ ground for prevention of overturning accidents of construction machineries.

研究代表者

堀 智仁(Hori, Tomohito)

独立行政法人労働安全衛生総合研究所・建設安全研究グループ・主任研究員

研究者番号：20508634

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：大型建設機械の設置時には、転倒防止の目的で敷鉄板の敷設が義務づけられているが、機械の接地圧を効果的に分散するための敷設方法等については不明確であった。さらに、地盤の支持力を迅速に求める方法がないため、設置の安全性を経験的に判断せざるを得ない状況であった。本研究では、敷鉄板の敷設方法に関する研究と簡易地盤調査法に関する研究を行った。その結果、敷鉄板の敷設を工夫することによって地盤の強度が著しく向上することが明らかになった。また、本研究で検討した簡易地盤調査法は、既存の地盤調査法の結果と大きな差はなく、これまで1地点に約5時間を要していた試験を20分程度で実施することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：Drill rigs and mobile cranes are heavy machinery used in construction sites. Sufficient bearing capacity is required in the supporting ground to keep the machinery horizontal. However, overturning accidents frequently occur because of ground penetration at the foundations. This study set out to determine the optimum layout of a steel plate to prevent accidents involving the overturning of machinery. Loading tests using a 1/10-scale model of the steel plate were performed, to investigate the decrease in the pressure acting on the bearing ground. It was found that the reduction in the pressure acting on the ground differed depending on the positioning of the steel plate. In addition, bearing capacity testing (BCT) method was newly developed. Several sets of BCT and PLT (existing methods) were conducted in various conditions of grounds to compare the results. It was ascertained that an almost identical relationship between loading stress and settlement are obtained from both the tests.

研究分野：社会安全

キーワード：大型建設機械 敷鉄板 地盤の仮設補強 簡易地盤調査法

### 1. 研究開始当初の背景

くい打機等の大型建設機械の転倒災害は、作業現場内のみならず周辺にも被害を及ぼすため、社会問題となっている。過去に発生した転倒災害を調査すると、機械が敷鉄板の端部に位置した際に転倒した事例や、敷鉄板による地盤養生が十分でない場合に転倒した事例が多く見受けられた。

くい打機等の大型建設機械の転倒防止に関する関係規則では、機械を軟弱な地盤の上に設置する際に、履帯の沈下防止措置として、敷鉄板の使用を義務づけている。しかしながら、その敷設方法について定量的な規定がなされておらず、その判断は事業者任せられている。

また、近年頻発している集中豪雨により地盤が軟化し、翌日転倒災害が発生した事例もみられた。建設現場の地盤は掘削や埋め戻し、降雨による軟化等、日々状態が変化する。作業前の安全点検では、目視や踏査による経験的な判断によって安全性が評価されている場合が多く、現場の地耐力(荷重-沈下関係)を迅速かつ精度良く計測できる試験法がないのが現状である。くい打機や大型の移動式クレーンは、自重が数十トンに達するため、目視や踏査で安全性を評価することは困難であると考えられる。大型建設機械の転倒防止には、機械を設置する箇所の地耐力を把握する必要があり、機械を設置する度に地盤調査を実施することが望ましい。



写真1 くい打機の転倒災害

### 2. 研究の目的

本研究では、現在行われている目視や踏査に替わる簡易的な地盤調査法の検討や、機械の接地圧を効果的に分散するための敷鉄板の敷設方法について検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 平板載荷試験の迅速化に関する研究

作業現場の地耐力を調査するための地盤調査の方法は日本工業規格(JIS)や地盤工学会(JGS)いくつか規定されている。機械設置時の安定性を評価する試験は、平板載荷試験(以下、PLTという)である。PLTでは支持地盤の載荷圧力 $q$ と沈下量 $s$ の関係を直接調査することが可能であるが、試験の実施に4時間ほど要する。そのため、機械を設置する度に試験を行うことは困難であった。図1にPLTの実験の様子を示す。

本研究では、PLTを簡易化し、20分程度の短時間で地耐力を確認する方法として、変位速度をほぼ一定にして載荷する高速平板載荷試験(以下、高速PLTという)と、サーボモータを用いて変位速度一定に載荷するアクチュエータを搭載した現場地耐力試験(以下、BCTという)を実施してPLTとの比較を行った。図2にBCTの実験の様子を示す。BCTは、PLTと同じ形状と大きさの載荷板を用いて荷重を載荷する実験である。当該試験装置は、載荷ジャッキを車輪付の架台に搭載されており、現場内の移動が容易である。

高速PLTでは、手動式油圧ジャッキの操作ハンドルをなるべく一定速度(1ストローク10~20秒程度)となるようにして荷重を与えた。

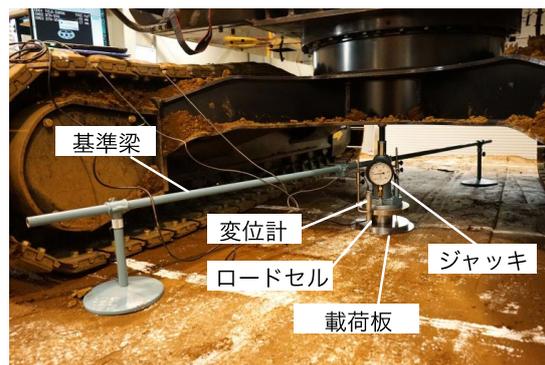


図1 平板載荷試験(PLT)の実験の様子

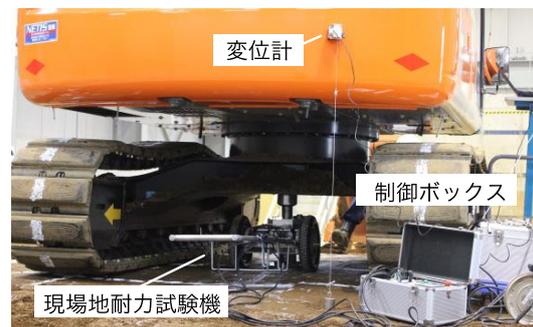


図2 現場地耐力試験(BCT)の実験の様子

模型地盤は、当研究所内の実験ヤードにて、関東ローム( $\rho_s=2.759$ ,  $w_L=158.3\%$ ,  $w_p=97.7\%$ ,  $w_{op}=102\%$ )を用いて高さ1mの盛土を造成した。盛土は1層0.3mの3層とし、締固めはドラグ・ショベルの走行による転圧に加え、ハンドガイド式の振動ローラにより転圧を行った。

図3に盛土の平面図を示す。盛土の天端の

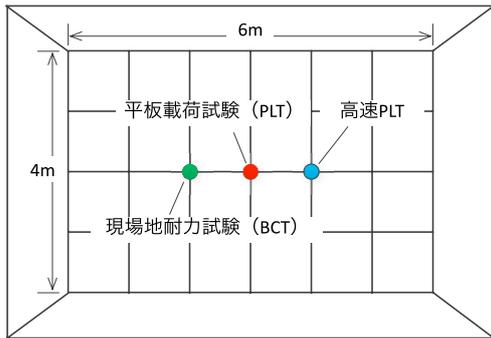


図3 盛土の平面図

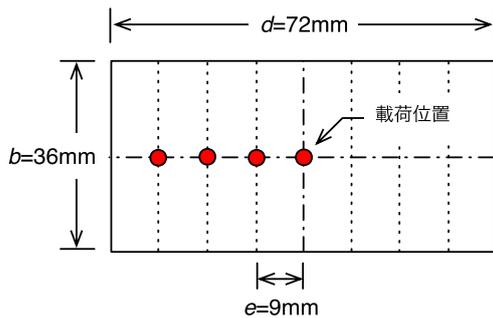


図4 敷鉄板模型の寸法および載荷位置

寸法は幅4m、長さ6mである。各実験は図に示す箇所で行った。

#### (2) 敷鉄板の敷設方法に関する研究

敷鉄板の二次元的(面的)な敷設について、建設機械の接地圧分散に効果的な方法を検討した。本研究では、実物の1/25スケールの敷鉄板模型を作製して、移動荷重を模擬した載荷実験を行った。図4に載荷位置を示す。敷鉄板の重ね敷きの敷設は、図5に示すCs1~Cs7の7ケースに、一枚敷きを加えた全8ケースについて検討した。本研究では、上部の敷鉄板を「上敷き」、下部の敷鉄板を「下敷き」と定義した。

実験に用いた載荷装置は島津製作所製の万能精密載荷装置AG-100KNISである。実験の様子を図6に示す。試験装置にはロードセル(定格容量500N)が備わっており、その先端には載荷ロッドが設置してある。変位については接触型の変位計(定格容量50mm)により計測し、載荷速度については1mm/minとした。

### 4. 研究成果

#### (1) 平板載荷試験の迅速化に関する研究

図7に各実験における変位速度 $V_d$ と沈下量 $s$ の関係を示す。現場地耐力試験(BCT)は電動モータによる定速載荷であるため、 $V_d$ はほぼ一定となっている。一方、PLTでは、載荷初期で $V_d$ はやや高いものの概ね2.5mm/min以下となっている。高速PLTでは、載荷初期

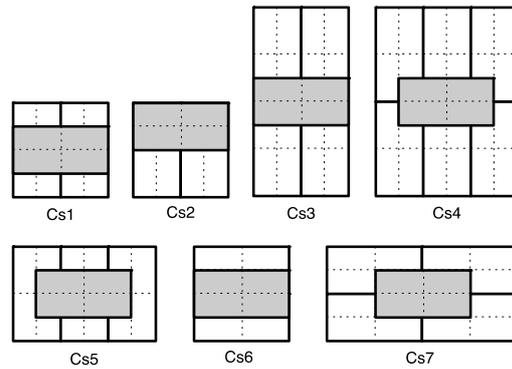


図5 敷鉄板の敷設方法

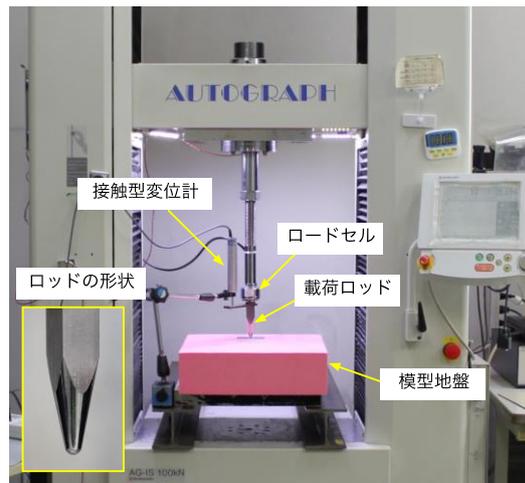


図6 実験の様子

から沈下量 $s=17\text{mm}$ 付近まで $V_d$ は高く、手動式油圧ジャッキによる載荷の影響がみられるが、それ以降は概ね5mm/minよりも小さな値となっている。手動式油圧ジャッキによる載荷は、ジャッキの種類により1ストロークあたりの伸張量や $V_d$ に差があることが考えられるが、操作ハンドルをゆっくりかつ低速で操作することで $V_d$ の変動を小さくすることが可能であることがわかった。

図8に載荷圧力 $q$ と沈下量 $s$ の関係を示す。BCTでは、 $s=0\sim 5\text{mm}$ の範囲で $s$ の増分に対する $q$ の増分は大きく直線的な関係が見られる。その後、10mm付近で屈曲点が見られ、明確なピークを確認することができなかった。PLTの結果は、通常の試験結果(破線)に加え、載荷開始から載荷終了までの連続データを実線で示している。本研究では、各段階40kPaずつ荷重を増加させて、30分間荷重を保持したが、各載荷段階でクリープ変形が確認できる。一方、高速PLTの結果は、PLTに比べ全体的にやや高い値となっており、 $q$ - $s$ 関係には小さな変動が確認できる。その変動は $s$ が一定の状態でも $q$ が減少していることから、応力緩和現象(リラクゼーション)によるものと考えられる。すなわち、ジャッキのハンドルの操作による沈下量 $s$ の急増に伴い、 $q$ も急増し、ジャッキの伸張後に応力緩和現象により $q$ はわずかに減少したことが考えら

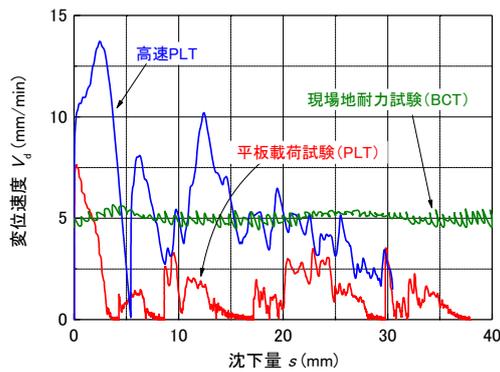


図7 変位速度と沈下量の関係

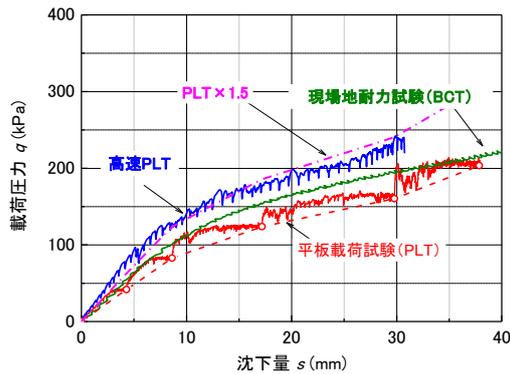


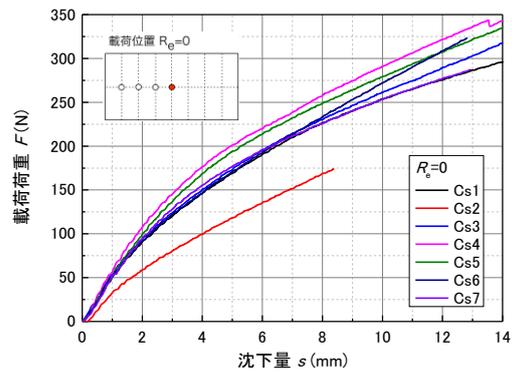
図8 载荷応力と沈下量の関係

れる。このように、载荷方法の違いにより  $q$ - $s$  関係に差が生じた原因として、地盤材料の粘性による変位速度依存性の影響が考えられる。既往の室内要素実験の結果から、地盤材料の強度変形特性には変位速度（ひずみ速度）依存性があり、その特徴や程度は地盤材料の種類や粘性特性に応じて異なることが明らかにされている。また、同様の現象は砂質土の支持力試験においても確認されている。本実験においても、 $V_d$ の大きな高速 PLT の  $q$ - $s$  関係は PLT に比べやや高くなっており、地盤材料の粘性に起因する変位速度依存性による影響が確認された。

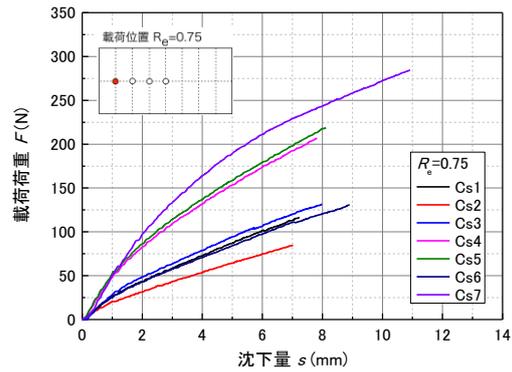
図中に示した一点鎖線は、PLT の結果を 1.5 倍したものである。この値と高速 PLT の結果は良く対応していることがわかる。両試験の  $V_d$  の差は、最大でおよそ 100 倍であり、変位速度依存性の影響で  $q$ - $s$  関係が 1.5 倍になることが分かった。この値は地盤材料の粘性特性により変化するものと考えられるが、高速 PLT の結果に当該数値を安全率として導入することにより、簡易な試験から地盤支持力を迅速かつ高い精度で評価できることが可能と考えられる。

## (2) 敷鉄板の敷設方法に関する研究

図9に敷鉄板の重ね敷きによる载荷試験の結果を示す。図9(a)に示した中央载荷条件の結果を比較すると、Cs2の  $F$ - $s$  関係は他の結果に比べ低くなっている。この原因は、下敷きの片側に上敷きが位置しているため、荷重が実質的に作用する面積（有効面積）が小さ



(a)  $R_e=0$



(b)  $R_e=0.75$

図9 载荷荷重と偏心度の関係

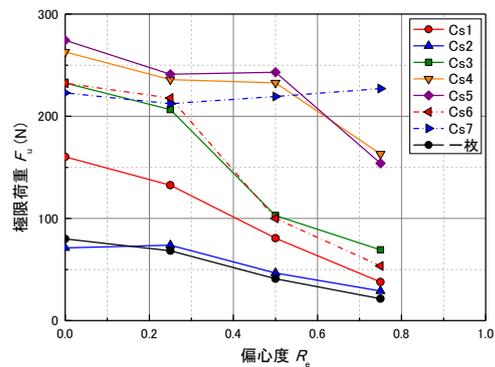


図10 極限荷重  $F_u$  と偏心度  $R_e$  の関係

くなったことが考えられる。一方、敷鉄板の端部に载荷した結果を示した図9(b)では、敷き方の違いによる差がみられる。 $F$ - $s$  関係はCs7が最も大きく、次いでCs4およびCs5が同等の強度、Cs1とCs3およびCs6はいずれも低くなっている。これは、上敷きの短辺側の端部が下敷きの端部と一致しているため、有効面積が小さくなり、接地圧の低減の効果が小さくなったものと考えられる。このことから、接地圧を低減させるためには、上敷きの短辺側の端部が下敷きの中央に位置するよう設置する必要がある。

(公社)地盤工学会が規定している平板载荷試験における極限支持力の判定方法を参考に極限荷重を求めた。同手法では、沈下の増加が大きくなり、沈下が直線的に増加し始める荷重を極限支持力  $F_u$  と定義している。図10に各実験条件における  $F_u$  と  $R_e$  の関係を示

す。

Cs2 については、一枚敷きと同様の結果であり、重ね敷きにおける荷重の分散効果がみられない。一方、Cs3 および Cs6 については  $R_e=0$  および  $R_e=0.25$  の  $F_u$  は大きな値であるのに対して、 $R_e=0.5$  および  $R_e=0.75$  では、 $F_u$  が約 1/4 に低下している。載荷位置の違いで  $F_u$  に差がある場合には、機械設置時に左右の履帯に不同沈下が発生する可能性が示唆される。Cs4 および Cs5 においても  $R_e=0.75$  の  $F_u$  は  $R_e=0.5$  に比べ約 2/3 となっている。それらに比べ Cs7 では、 $R_e$  の違いにかかわらず、 $F_u$  はほぼ一定である。このように  $R_e=0.75$  の  $F_u$  が低下しない理由については、下部敷鉄板の継ぎ目が上部敷鉄板の中央に位置しているため荷重の分散効果が高いことや、敷鉄板の短軸方向と長軸方向の強度異方性等の影響が考えられる。

以上の結果から、敷鉄板の敷設方法の違いにより、地盤の見かけの強度が高くなることが明らかになった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 堀智仁、玉手聡、敷鉄板の敷設方法と荷重分散に関する模型実験、土木学会論文集 F6 (安全問題)、査読有、Vol. 71、No. 2、pp. I\_83-I\_83、2015。  
DOI:[http://doi.org/10.2208/jscejsp.71.I\\_83](http://doi.org/10.2208/jscejsp.71.I_83)

[学会発表] (計 5 件)

- ① 堀智仁、玉手聡、敷鉄板による地盤養生に関する基礎的検討、安全工学シンポジウム 2014 講演予稿集、pp. 276-277、2014。
- ② 堀智仁、玉手聡、平板載荷試験機を用いた支持力評価の迅速化に関する実験的検討、第 50 回地盤工学研究発表会講演概要集、pp. 215-216、2015。
- ③ 竹内一起、堀智仁、伊藤和也、建設現場の地盤養生に関する基礎的検討、第 43 回土木学会関東支部技術研究発表会、CD-ROM、VI-41、2016。
- ④ 堀智仁、玉手聡、敷鉄板による地盤養生の面的評価に関する基礎的検討、安全工学シンポジウム 2016 (掲載決定)
- ⑤ 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、査読有、(掲載決定)

[図書] (計 2 件)

- ① 堀智仁、玉手聡、敷鉄板を用いた地盤養生に関する基礎的検討、平成 26 年版建設業安全衛生年間、p. 76、2015。
- ② 堀智仁、玉手聡、建設機械の転倒及び接触災害の防止に関する研究 サブテーマ 2: 建設機械の転倒、転落防止に関する研究—敷鉄板の敷設方法の違いによる地盤

養生効果—、平成 27 年度版 建設業安全衛生年鑑、p. 78.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀 智仁 (HORI, Tomohito)

独立行政法人 労働者健康安全機構

労働安全衛生総合研究所 主任研究員

研究者番号：20508634

(3) 連携研究者

玉手聡 (TAMATE, Satoshi)

独立行政法人 労働者健康安全機構

労働安全衛生総合研究所 部長代理

研究者番号：10344243