

32. クレーン敷板への偏心設置と降伏強度の関係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
(株)タダノ 田中 直斗

1. はじめに

移動式クレーンは、重量物の吊り上げや移動、組み立て作業などに使用され、建築および建設の現場において欠かせない機械の一つである。一方で、支持地盤の沈下に起因するクレーンの転倒災害が後を絶たない。移動式クレーンを安全に設置するためには、クレーンに搭載されている敷板を使用して地盤に作用する接地圧を十分に低減させる必要がある。しかしながら、移動式クレーンの使用状況を確認すると、敷板の中央にアウトリガーが設置されていない状況も多く見受けられる。そこで本研究では、敷板に対してアウトリガーを偏心設置した場合の降伏強度の低下を評価するため、模型実験と実大実験を行い検討した。

2. 実験の概要

2.1 模型実験

つり上げ荷重 250kN クラスの移動式クレーンに搭載されている敷板 (850×804×20mm, 材質: アルミ合金) の 1/20 スケールのモデル (42×40×1mm, 材質: アルミ) を作製した。図-1 に作製した敷板モデルを示す。

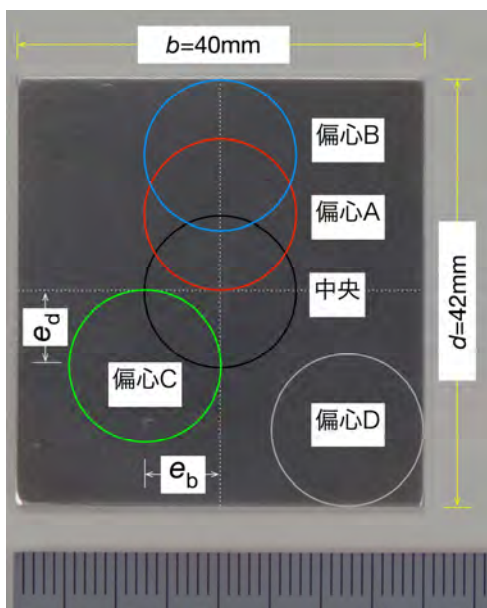


図-1 敷板モデル

図-2 に模型実験の概要を示す。試験装置は精密万能試験機 (島津製作所) を使用した。載荷ロッドは現場地耐力試験 (以下、BCT という) の載荷板 ($\phi=300\text{mm}$) を想定し、その 1/20 スケールである $\phi=15\text{mm}$ で作製した。BCT の概要については後述する。

図に示す通り、ロードセルと接触型の変位計を設置して、荷重と沈下量の関係を計測した。載荷位置については図-1 に示す通り、敷板の中央および偏心量を変化させた 4 箇所 (偏心 A~偏心 D) の合計 5 箇所に載荷した。荷重は変位制御で与え、載荷速度は 1mm/min とした。

模型地盤は関東地方に広く分布する関東ロームを締め固めて作製した。地盤の作製方法については、最適含水比 w_{opt} (=102%) に調整した試料を締め固め後の層厚が 1 層あたり 50mm となるよう試験容器 (360×360×210mm) に投入し、3 層に分けて締め固めた。締め固め圧力 σ については、強度の異なる 2 種類の地盤を作製するため、 $\sigma=20\text{kPa}$ と 100kPa とした。本研究では、それぞれの σ で作製した地盤を「軟弱地盤」および「硬質地盤」と定義した。

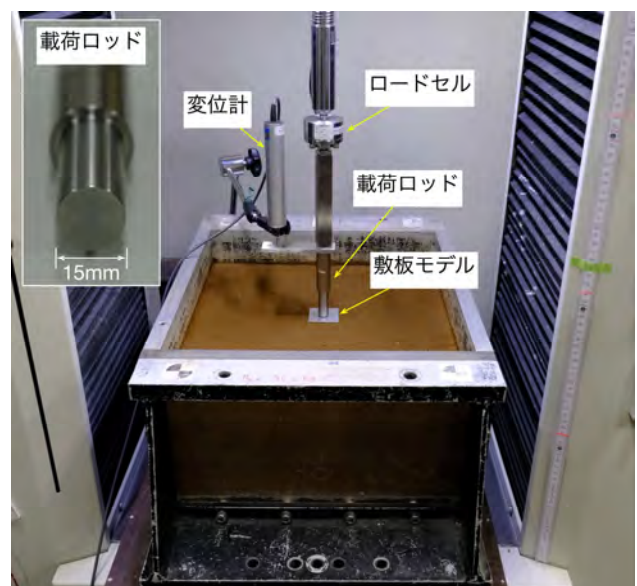


図-2 模型実験の概要

表-1 平板載荷試験 (PLT) と現場地耐力試験 (BCT) の比較

	平板載荷試験 (PLT) JGS 1521-2012	現場地耐力試験 (BCT)
載荷板	直径 300mm の円形	直径 300mm の円盤
載荷方法	荷重制御 (計画最大荷重を 5 から 8 段階で載荷)	変位制御 (5mm/min)
反力装置	実荷重またはアンカー	実荷重 (建設機械)
沈下量の計測	基準ばりから載荷板上の沈下 4 点を計測	載荷ジャッキの伸張量から建設機械の浮き上がり量を補正して計算
所要時間 (1 箇所)	2.5 時間～4 時間	約 20 分



図-3 現場地耐力試験 (BCT) の概要

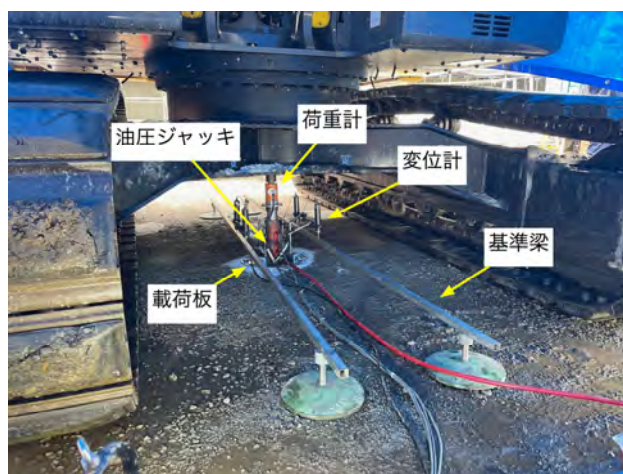


図-4 平板載荷試験 (PLT) の概要

2.2 実大実験

(1) 実験の概要

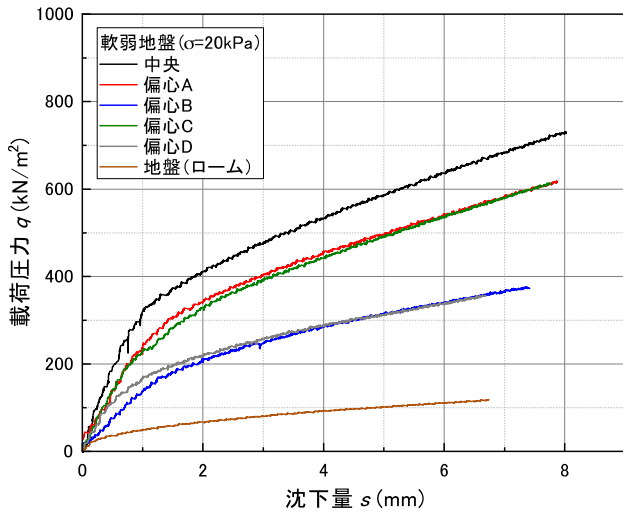
実大実験は2つの現場で実施した。「現場1」は、ヤード内にて関東ロームを厚さ0.6mとなるよう造成した。造成方法は1層あたりの厚さ0.2mとなるようロームを堆積させた後、排土板付きの小型ドラグ・ショベルで均等に敷き均し、クローラーで転圧した。現場1は人工的に作製した地盤であるのに対して、「現場2」はシルト質(MH:高液性限界)の自然地盤である。

実大実験では、敷板上の3箇所ではBCT試験を行った。載荷位置は敷板の中央、敷板の側部(偏心B)および角部(偏心D)である。

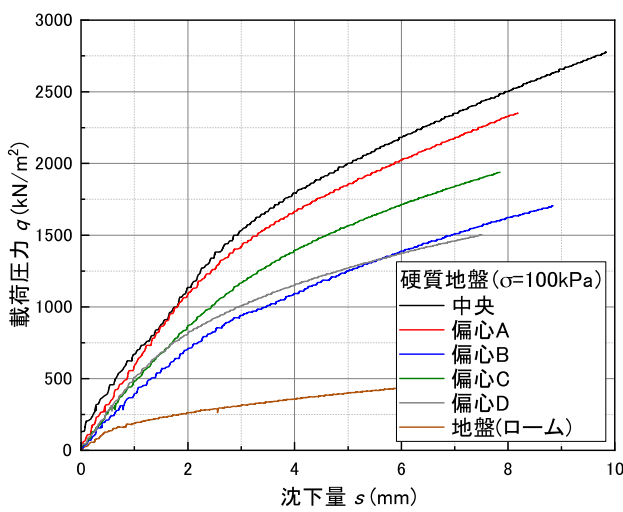
(2) 現場地耐力試験(BCT)の概要

地盤の支持力を直接的に調査する方法として平板載荷試験(以下、PLTという)があるが、1箇所の計測に5～8時間要するため、機械の安定を確認

する方法としてあまり利用されていない。そのため、本研究では、平板載荷試験と同様にドラグ・ショベル等の重機を反力にした試験であり、短時間に支持力調査が可能な現場地耐力試験(BCT)による計測を推奨している。表-1にPLTとBCTの比較を示し、図-3にBCTの概要、図-4にPLT試験の概要を示す。BCTは、PLTと基本的に同じであるが、荷重の載荷方法が変位制御である点が異なる。PLTは計画最大荷重を5～8段階に分割して段階的に荷重を載荷するのに対して、BCTは載荷速度を一定として荷重を載荷する。それによってPLTで1箇所の計測に5～8時間要していたものが、BCTでは変位速度を5mm/minとした場合、試験時間が約20分程度に短縮可能である。地盤調査に要する時間には、載荷時間だけでなく、試験の準備時間も含まれる。図-4に示したPLT試験では、建設機械の下部走行体と地面の間の狭い場所に載荷板をセットしており、油圧ジャッキなどの載荷装置と荷



(a) 軟弱地盤 ($\sigma=20\text{kPa}$)



(b) 硬質地盤 ($\sigma=100\text{kPa}$)

図-5 実験結果 (硬質地盤)

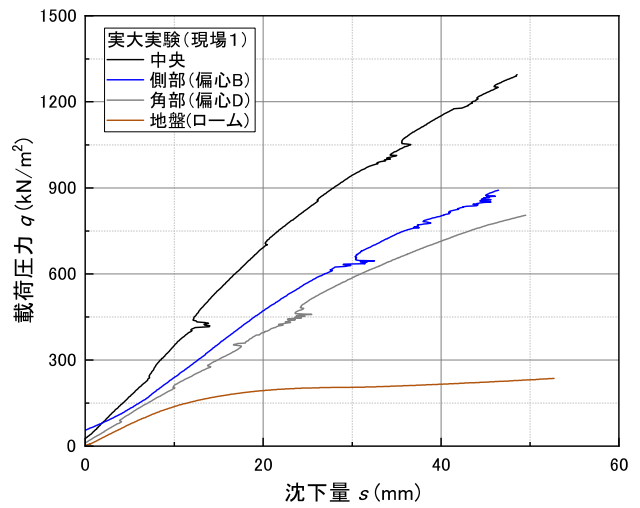
重計が荷板上に設置されている。また、基準梁が2列に配置され、4個の変位計が取り付けられている。このように、PLTでは狭小な空間で様々な準備を行う必要があり、その作業には1時間程度を要する。それに比べて、BCTでは、機械の前後に機体の浮き上がりを計測する変位計を設置して、ジャッキのストローク量から沈下量を簡易換算して求めている。これによって、準備に必要な時間を10分程度に大幅に短縮可能となる。

上記に加え、BCTは荷重圧力 q と沈下量 s を連続的に取得することが可能であり、 q - s 関係の弾性域や曲線の屈曲の程度などを詳細に把握することが可能である。なお、これまでの研究からPLTとBCTの結果は、ほぼ一致することが確認されている¹⁾。

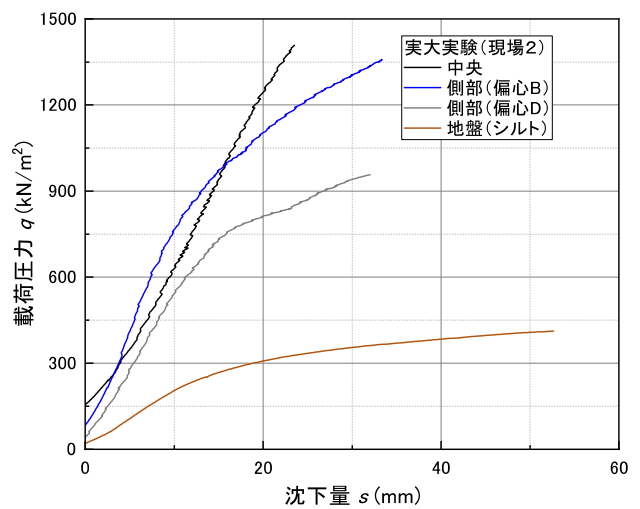
3. 実験結果

3.1 模型実験

図-5 (a) に軟弱地盤を模擬した地盤の試験結果



(a) 現場1 (ローム地盤)



(b) 現場2 (シルト地盤)

図-6 実験結果 (実大実験)

を示す。荷重圧力 q と沈下量 s の関係を比較すると敷板の中央に荷重した結果が最も高い。次いで、偏心Aと偏心Cが同程度となっており、敷板の端部と角部に荷重した偏心Bおよび偏心Dが最も q - s 関係が小さいことが確認できる。参考のため荷重ロード単体で荷重した模型地盤の支持力の結果も示しているが、その値に比べると、敷板を使用した条件の q - s 関係は大幅に増加しており、敷板を使用することによって地盤の支持力は大幅に向上することがわかる。図-5 (b) に硬質地盤の結果を示す。硬質地盤においても、敷板の中央に荷重した条件が最も高く、次いで、偏心Aに荷重した条件が、偏心Cに荷重した条件に比べ若干高くなっているが、それ以外は軟弱地盤と同じ傾向を示している。

3.2 実大実験

図-6 に実大実験の結果を示す。ローム地盤の結果を示した図-6 (a) では、 q - s 関係は敷板の中央に荷重した結果が最も高く、次いで、敷板の端部(偏

表-2 载荷条件(模型実験)

载荷位置	偏心量	偏心量	偏心度
	e_b (mm)	e_d (mm)	
中央	0.0	0.0	0.00
偏心 A	0.0	7.5	0.38
偏心 B	0.0	12.5	0.63
偏心 C	7.5	7.5	0.52
偏心 D	13.5	12.5	0.90

心 B) での载荷, 角部 (偏心 D) での载荷の順となっている。これは模型実験の結果とほぼ同じ傾向である。比較のため, 敷板を敷設しない条件 (ローム地盤) の支持力も合わせて示しているが, 敷板の使用により地盤の支持力が向上していることが確認できる。なお, 敷板を使用した条件の q - s 関係にノイズのようなものが確認できる。これは, 地盤の地表面にわずかな凹凸が存在したため, その影響によるものと考えられる。シルト地盤の結果を示した図-6 (b) では, 偏心 B の q - s 関係の傾きが大きくなっているが, これは地盤のバラツキによるものと考えられる。それ以外は, ローム地盤と同等の結果となっている。

3.3 アウトリガー偏心設置の検討

アウトリガーを敷板の中央から偏心設置した際の強度低下 (支持力低下) について検討する。

本研究では, 評価指標として降伏強度比 R_{qy} と偏心度 R_e を定義した。 R_{qy} とは, q - s 関係の弾性域の最大载荷圧力 q を降伏強度 q_y と定義し, 各载荷条件での q_y を中央载荷条件での q_y で除した値である。すなわち R_{qy} は, 中央载荷条件に対する支持力の低下の程度を表す指標である。一方, 偏心度 R_e とは, 図-1 に示すように敷板中央からの偏心量 e_b および e_d から式(1)により算出される値である。すなわち R_e は, 敷板中心からの偏心の度合いを示す指標である。表-2 に模型実験における偏心量および偏心度 R_e を示す。

$$R_e = \sqrt{\left(\frac{e_b}{b/2}\right)^2 + \left(\frac{e_d}{d/2}\right)^2} \quad (1)$$

図-7 に R_e と R_{qy} の関係を示す。図より R_{qy} は R_e の増加とともに低下しており, 地盤の強度および模型地盤と実大実験の違いに関わらず結果はほぼ一致している。特に角部 (偏心 D) に载荷した場合 ($R_e=0.9$) では R_{qy} の値は 0.43~0.54 であり, 中央载荷に比べ半減していることがわかる。また, 偏心 A ($R_e=0.37$) や偏心 C ($R_e=0.52$) でも, R_{qy} の値はそれぞれ 0.80~0.86 と 0.63~0.73 であるため, ア

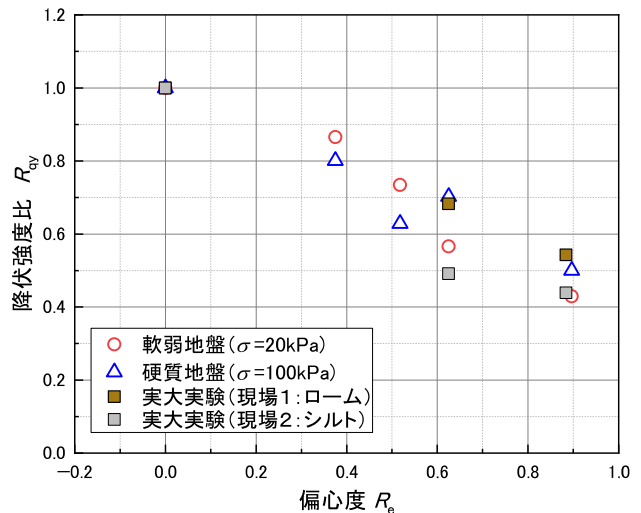


図-7 偏心度 R_e と降伏強度比 R_{qy} の関係

ウトリガーを敷板の中央からわずかに偏心して設置した場合でも中央に設置した場合に比べ2~3割低下することがわかった。

4. まとめ

アウトリガーを敷板に偏心設置した場合の降伏強度比について模型実験および実大実験を実施して調べた。その結果, 降伏強度比 R_{qy} と偏心度 R_e の関係は, R_e の増加に伴って R_{qy} が低下することが確認された。すなわち, アウトリガーを敷板の中央から偏心させることによって, 本来得られるべき, 地盤の支持力が低下することがわかった。また, R_{qy} と R_e の関係は, 地盤の強度の違いや模型実験と実大実験のスケールの違いに関わらず, 結果はほぼ一致することが明らかになった。

アウトリガーを敷板の中央からわずかに偏心して設置した偏心 A ($R_e=0.37$) でも, 本来の支持力に比べ約 2 割程度低下することが確認された。以上の結果から, 移動式クレーンの転倒防止対策として, アウトリガーを敷板の中心に設置することは非常に重要であると考えられる。

謝辞

実大実験を実施するにあたり株式会社東洋スタビの田村繁雄顧問および若原千恵氏に協力いただいた。末筆ながら謝意を表します。

参考文献

- 1) 玉手聡・堀智仁: 作業現場における地耐力確認の方法, 労働安全衛生総合研究所技術資料, JNIOHS-TD-NO.3, pp.39~62, 2015