

31. 現場地耐力試験を用いた地盤安全性評価の基礎的研究

(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

近年、建設現場では高い定格荷重を備えた移動式クレーンの需要が高まっている。これらは資材搬送の効率化と省力化を同時に実現する施工機械として位置付けられ、工期短縮および労務負荷低減に大きく寄与している。

一方、支持地盤の沈下に起因する移動式クレーンの転倒災害は依然として発生している。安全な施工を確保するためには、クレーン設置地盤が作用接地圧に対して十分な支持力を有することを定量的に確認する必要がある。地盤支持力の評価には平板載荷試験が広く用いられ、通常は沈下量 30mm に対応する載荷圧力が極限支持力とされる。しかし、沈下量 30mm は多くの場合で地盤が塑性域に到達しており、弾性域を超えた小さな荷重増分でも急激な沈下を誘発する可能性がある。そのため、少なくともクレーンの接地圧が地盤の弾性域内に収まることが望ましい。

本研究では、重機本体を反力として短時間で実施可能な現場地耐力試験¹⁾に着目し、複数の施工現場で試験を行った。得られた荷重－沈下曲線を解析し、クレーン転倒防止のための支持力照査について考察した。

2. 試験方法および試験の概要

2.1 現場地耐力試験

表-1 に、平板載荷試験（以下、PLT）と現場地耐力試験（以下、BCT）の概要を比較して示す。両試験で使用する載荷板は直径 30cm の円形であり、形

状・寸法に相違はない。両者の主な相違点は載荷方法である。PLT では計画最大荷重を 5～8 段階に分割し、各段階で 30 分荷重を保持した後に沈下量を計測する段階載荷法を採用している。一方、BCT では変位制御による連続載荷法を用い、載荷速度を 5mm/min に設定している。この速度は現場 CBR 試験の載荷速度 1 mm/min を基準とし、載荷板直径のスケール比を考慮して決定した値である。

沈下量の計測手法も異なる。PLT では、載荷点から所定距離を隔てた位置に基準点を設置し、基準梁を介して、載荷板上 4 点の沈下量を測定し、その平均値を採用する。これに対し、BCT では反力装置（重機）の前後浮き上がり量と載荷シリンダの伸張量から沈下量を算定する。このため、PLT で必要となる重機下部での基準梁設置作業が不要となり、試験準備時間を大幅に短縮できる。

試験に要する時間も顕著に異なる。PLT は載荷ステップ数に依存するが、一般に 3 時間以上を要する。これに対し、BCT の載荷時間は約 10 分であり、準備を含めても 1 箇所当たり約 20 分で完了する。

図-1 に BCT の概要を示す。載荷ジャッキは取り外し可能な移動用架台に装着され、現場内における手押し移動が容易である。

2.2 試験の概要

試験は 4 箇所の現場において実施した。地盤は砂質土、シルト地盤、ローム地盤の 3 種類であった。表-1 に各地点で採取した土の物理特性を示す。

表-1 平板載荷試験と現場地耐力試験の比較

	平板載荷試験 (PLT) (JGS 1521-1995)	現場地耐力試験 (BCT)
載荷板	直径 30cm の円形	
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	重機又はアンカー	重機
沈下量の計測	基準梁から載荷板上の沈下 4 点を計測	載荷装置の伸張量から重機の浮き上がりを引いた値
所要時間 (1 箇所)	3～5 時間	約 10 分

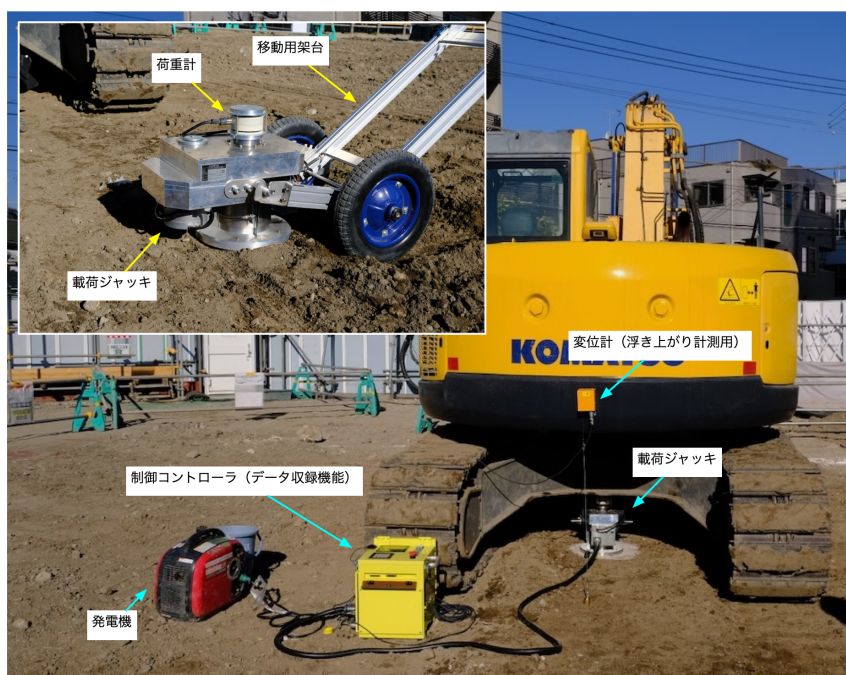


図-1 現場地耐力試験(BCT)の概要

表-2 各調査地点における土の物理特性

計測点	地域	ρ_s (g/cm ³)	w (%)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	w_{opt} (%)	D_{max} (mm)	地盤材料の分類名
Site-1	愛知	-	24.4	1.535	20.2	26.5	礫まじり細粒分質砂
Site-2	埼玉	2.587	61.3	1.046	39.2	37.5	シルト (高液性限界)
Site-3	埼玉	2.686	46.7	1.077	49.1	26.5	シルト (高液性限界)
Site-4	東京	2.539	40.5	0.914	63.0	4.75	ローム

3. 試験結果

3.1 BCT 試験結果

地盤工学会基準では、平板载荷試験から極限支持力 q_u を判定する方法が規定されている。いくつか条件があるが、沈下量が 30mm を超えない範囲において次のうちのいずれか小さい载荷圧力を q_u とする。

- ①沈下量の増加が大きくなり、沈下が直線的に増加する载荷圧力
- ②log p - S 曲線が沈下軸にほぼ並行となる载荷圧力

沈下量が 30mm の範囲内において、①または②のいずれの状況も認めたい場合には、基本的には、「沈下量が载荷板直径の 10%の点における载荷圧力」が q_u とされている²⁾。本研究では、沈下量が 30mm の範囲内でピークが確認された場合の q 、もしくは $s=30\text{mm}$ に相当する q を極限支持力 q_u と定義した。

図-2(a)～(d)に BCT 試験結果を示す。図-2(a)に Site-1 (砂質土) における BCT 試験 (No.1～No.4)

および PLT 試験における载荷圧力 (q) と沈下量 (s) の関係を示す。各 BCT 試験結果にはばらつきが見られ、特に、No.1 は q が 600kN/m^2 に達した後に沈下量が急激に増加している。それに対して、No.3 は他の試験と比較して高い支持力を示している。図-2(a)における q_u の最大値 $q_{u\max}$ と最小値 $q_{u\min}$ の比を求めると、その値は $q_{u\max}/q_{u\min}=2.12$ であった。また、Site-1 では、PLT 試験の結果も図中に示したが、PLT 試験結果と No.3 は良好に一致し、両者の整合性が高いことが確認された。

Site-2 (シルト) の結果を示した図-2(b)は、Site-1 に比べ、全体的に支持力が低く、支持力のばらつきは小さい。 q_u の最大値と最小値の比を求めると、その値は $q_{u\max}/q_{u\min}=1.17$ であり、Site-1 に比べばらつきが非常に小さいことが確認できる。

Site-3 (シルト) の結果を示した図-2(c)は、 q と s の弾性域での傾きはほぼ同じである。すべての結果で q - s 関係にピークが見られるが、No.1 は No.2 および No.3 に比べやや支持力が高い結果である。同様に、 q_u の最大値と最小値の比を求めると、

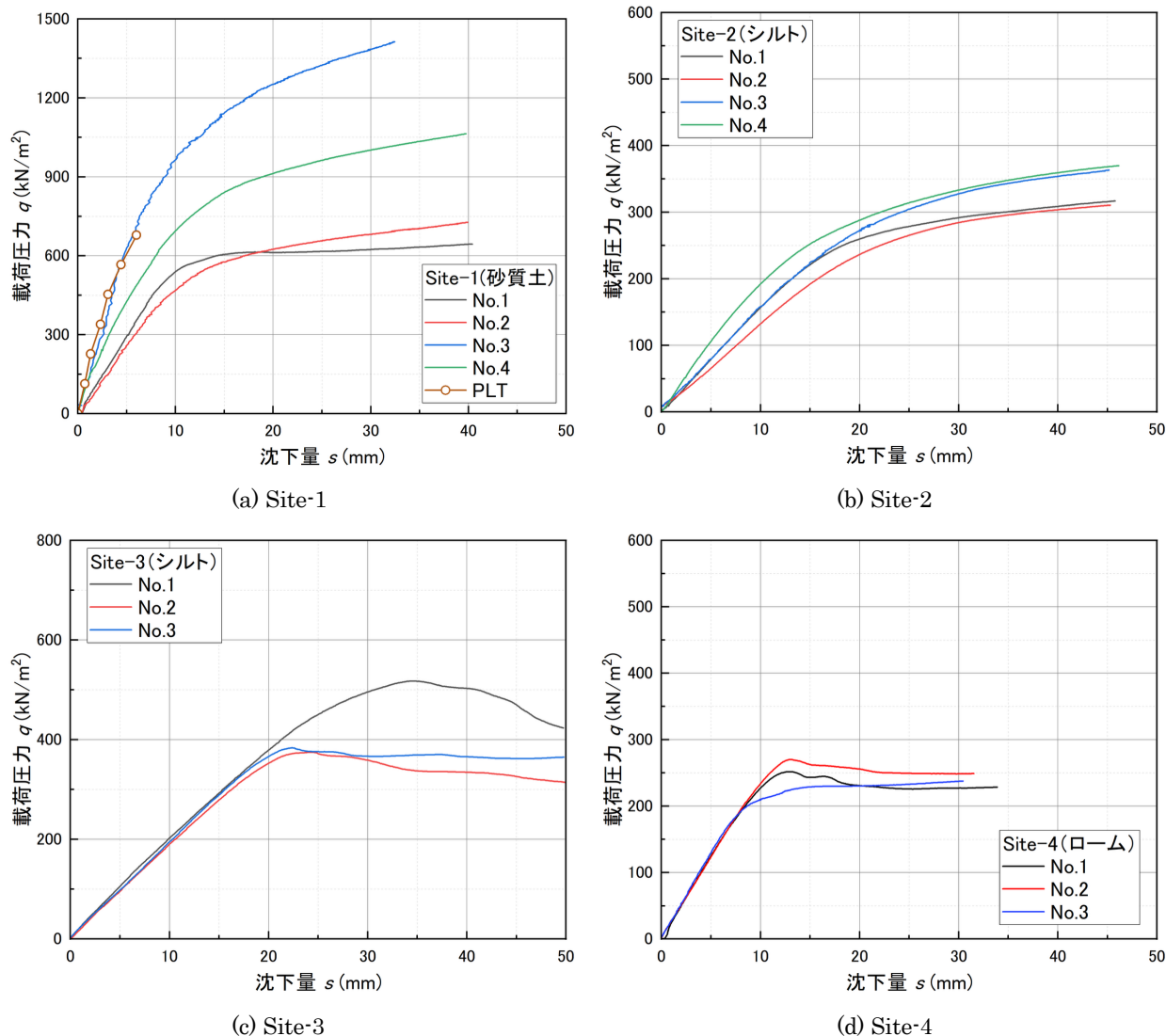


図-2 BCT 試験結果

その値は $q_{\text{umax}}/q_{\text{umin}}=1.32$ であった。

Site-4 (ローム) の結果を示した図-2(d)は、最も支持力が低く、弾性域での q - s 関係の傾きはほぼ等しい。No.1 および No.2 は q - s 関係にピークが確認できるものの、No.3 には明確なピークが確認できない。しかしながら、 q_u の最大値と最小値の比を求めると、その値は $q_{\text{umax}}/q_{\text{umin}}=1.14$ であり、最もばらつきの小さい結果であった。

ここで、本研究では、載荷初期の q - s 関係が直線関係を示す領域を「弾性域」、弾性域より沈下量 s が大きな領域を「塑性域」定義する。塑性域では q の増加に伴う s の増加量が弾性域よりも大きく、地盤条件によっては s の増加量が著しく大きく、機械が転倒に至る可能性が高い領域である。以上のことを踏まえて結果を見ると、すべての結果において q_u は、 q - s 関係が直線ではない領域、すなわち塑性域であることが確認できる。

3.2 許容支持力

本研究では、 q - s 関係が載荷初期の直線関係を示

す弾性域の最大の載荷圧力を降伏強度 q_y と定義し q_u との関係性を議論する。

図-3 に q_y と q_u の比較を示す。白抜きで示した結果は、既報³⁾の結果である。全体的に $q_u=q_y$ のラインより上に分布している。 q_y は弾性域における最大の q であることから、すべての結果において q_u は塑性域の値であることがわかる。また、 q_u は q_y の概ね 1.5~2.5 倍であった。

一般に、移動式クレーンの転倒防止に関する検討では、作用荷重が短期荷重であるため、地盤支持力の評価には短期の許容支持力(安全率 $F_s=1.5$)が用いられている。すなわち極限支持力 q_u を安全率で除した値 $q_a=q_u/1.5$ を、短期の許容支持力 $q_{a1.5}$ として採用するものである。

図-4 には、 q_a と q_y の比較を示す。短期の許容支持力の結果を図-4(a)に示す。図より、 $q_a=q_y$ のラインよりも上に分布しており、 q_a は q_y よりわずかに大きいことが確認できる。すなわち、安全率 1.5 で評価された多くの q_a は、塑性域に位置づけられる

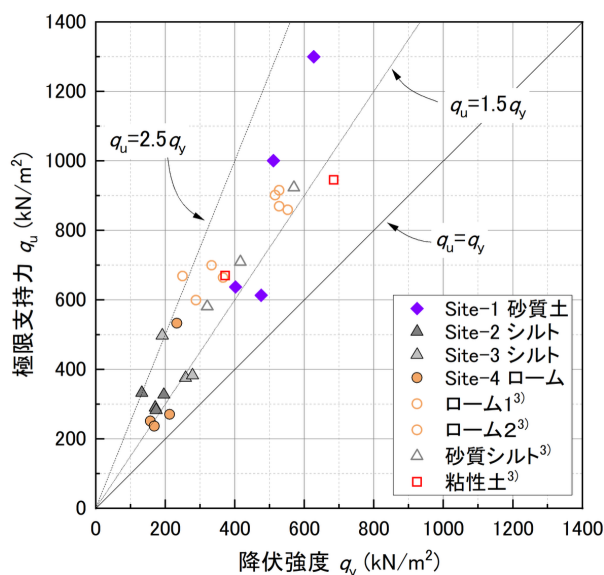
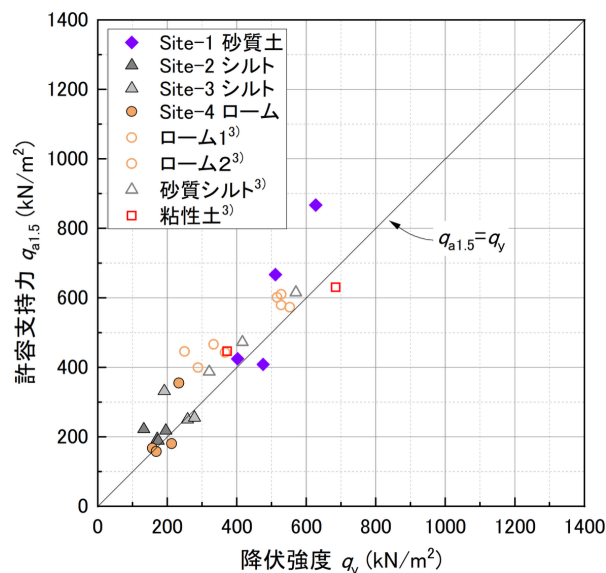


図-3 q_y と q_u の比較



(a) 短期許容支持力 $q_{a1.5}$

値である。

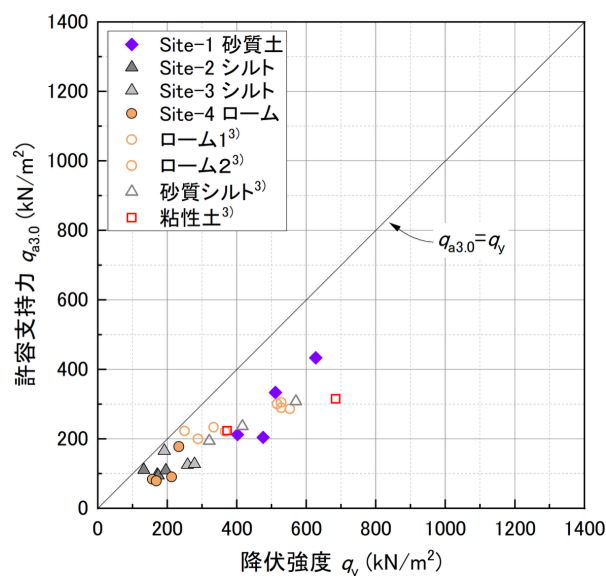
一方、筆者らのこれまでの検討では、地盤の耐力および载荷圧力に伴う不確実性を考慮し、安全率を $F_s > 3.0$ とすることを提案してきた¹⁾。この値は、構造物の基礎設計において長期的な安全率として用いられる水準である。図-4 (b) は、長期安全率 $F_s = 3.0$ を用いて算出した長期の許容支持力 $q_{a3.0}$ を示している。長期の許容支持力はすべて $q_a = q_y$ のラインより下に分布しており、 q_u を長期安全率で除した q_a は、弾性域に収まる値であることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、移動式クレーンの転倒災害防止を目的として、現場地耐力試験 (BCT) の実用性を検討した。BCT は従来の平板载荷試験 (PLT) と比べ、試験時間が短く、現場適用性に優れるとともに、試験結果の整合性も高いことが確認された。試験の結果、短期安全率 ($F_s = 1.5$) に基づく許容支持力 $q_{a1.5}$ は塑性域に位置する例が多く、機械の転倒リスクが十分に低減されない可能性があることが判明した。一方、長期安全率 ($F_s = 3.0$) を採用した場合、許容支持力 $q_{a3.0}$ は弾性域に収まり、より高い安全性を確保できると考えられる。したがって、支持力照査においては BCT のような簡便な試験とあわせて、地盤の不確実性も考慮した長期安全率の採用が重要である。

謝辞

本研究の実施にあたり、東洋スタビ技術部設計試験課の皆様には、現場調査等に多大なるご尽力を賜りました。ここに、深く感謝の意を表します。



(b) 長期許容支持力 $q_{a3.0}$

図-4 q_y と q_a の比較

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，労働安全性総合研究所技術資料，JNIOSSH-TDNO.3，pp.39～62，2015.
- 2) (公社)地盤工学会：地盤調査の方法と解説，pp.697-731，2013.
- 3) 堀智仁，玉手聡，片岡裕二，田村繁雄：クレーン転倒防止のための支持力照査に関する一考察，24-4-2-06，2024.