

建設機械設置地盤の地耐力調査に関する実験的考察

(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

移動式クレーンや大型建設機械の転倒を防ぐためには、事前に地盤の支持力を把握することが重要である。しかし、現場の支持力はしばしば目視や踏査などの経験的な判断に依存し、これが原因で支持力不足による転倒災害が発生している。地盤の支持力を直接調査する方法として「平板載荷試験」があるが、計測に長時間要するため、機械の安定性評価にはあまり利用されていないのが現状である。本研究では、平板載荷試験と同様に重機を反力として用い、短時間で支持力調査が可能な「現場地耐力試験」による計測を推奨している。

一方、支持力を間接的に求める方法として、ランマーの落下の衝撃を利用した試験がある。この試験は1箇所の計測に要する時間は1分程度であり、簡易な試験方法から大型建設機械の安定性評価に利用されている事例が多く見受けられる。そこで本論文では、現場地耐力試験のような「載荷試験」による方法と、簡易支持力測定器のような「衝撃試験」による方法で地盤調査をおこない、両試験から得られた結果を比較した。

2. 試験の概要

2.1 現場地耐力試験(BCT)の概要

現場地耐力試験(BCT)は、平板載荷試験(PLT)と基本的に同様の手法であるが荷重の載荷方法が変位制御である点で異なる。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分割して段階的に荷重を載荷するのに対し、BCTでは載荷速

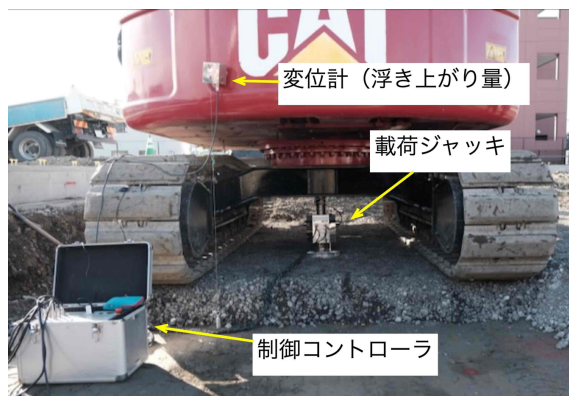


図-1 現場地耐力試験(BCT)の概要

度を一定として荷重を載荷する。これにより、PLTが1箇所の計測に5~8時間要するのに対し、BCTは変位速度を5mm/分とした場合、試験時間を約10分程度に短縮することが可能となる。この速度は現場CBR試験のそれを載荷板の直径比で換算したものである。図-1に試験の概要を示す。これまでの研究から両試験の結果はほぼ一致することが確認されている¹⁾。さらに、BCTは載荷圧力 q と沈下量 s の連続データを取得することができ $q-s$ 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、試験の詳細については、既報を参照されたい²⁾。

2.2 簡易支持力測定器による試験の概要

簡易支持力測定器(以下、CASという)は、地盤の支持力を迅速に評価するための装置である。ランマー(質量44.1N、直径50mm)を一定の高さから地盤に自由落下させ、その際に発生するインパクト値(I_a)を測定する。このインパクト値から、CBR値、 K_{30} 値、 q_c 値、 c 値、 ϕ 値などの地盤定数を換算して求める試験である。図-2に簡易支持力測定器による試験の様子を示す。

CASの最大の特徴は、重機などの反力を必要としないため、重機の搬入が困難な狭隘な現場でも実施できることである。このため、都市部の狭い道



図-2 簡易支持力測定器による試験の様子

路や建設現場、山間部などアクセスが限られた場所でも活用されている。また、試験に要する時間が非常に短く、1箇所あたり約1分程度で完了するため、短時間で多地点の調査が可能である。そのため、CASは、その簡便さと迅速性から、小規模な土木工事や建築物の初期地盤調査に広く利用されている。

2.3 試験現場の地盤条件

試験は地域の異なる4箇所で行った。本試験では、それぞれをNo.1～No.4と呼ぶことにする。現場内から採取した土試料の物理特性を表-1に示す。

物理試験の結果から、No.1～No.3は礫および砂質土、No.4はシルトであった。

BCTについては各地点で複数箇所実施し、CASはBCTの試験箇所を取り囲むよう各点5回実施した。なお、No.3およびNo.4においては、平板载荷試験（以下、PLTという）も実施した。

3. 試験結果

3.1 BCT試験の結果

図-3～図-6にBCT結果を示す。図中には試験の位置関係も示している。No.1の結果を示した図-3

表-1 各調査地点における土の物理特性

計測点	ρ_s (g/cm ³)	ρ_d in-situ (g/cm ³)	W (%)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	W _{opt} (%)	D _{max} (mm)	地盤材料の分類名
No.1	2.601	1.192	32.5	1.400	29.8	125.0	細粒分質砂質礫 (GFS-R)
No.2	2.642	1.602	13.92	1.778	14.5	37.5	細粒分質礫質砂 (SFG)
No.3	2.652	1.691	18.52	1.756	15.0	190.0	礫まじり細粒分質砂 (SF-G)
No.4	2.733	1.170	38.99	1.275	23.0	2.0	シルト (MH)

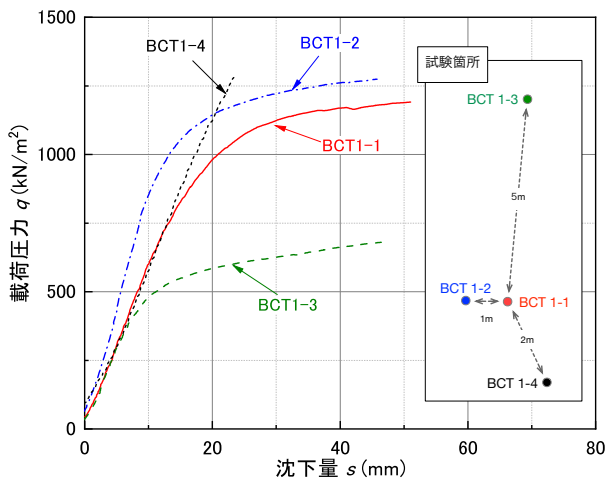


図-3 BCT試験結果 (No.1)

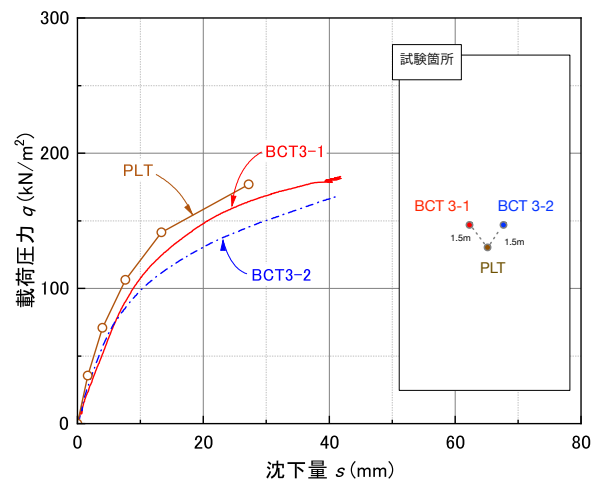


図-5 BCT試験結果 (No.3)

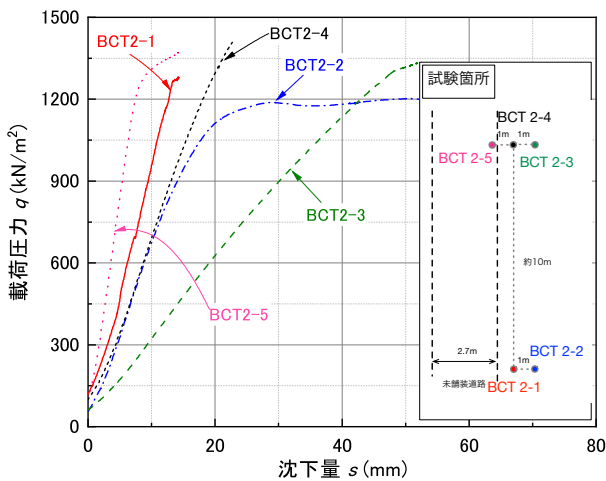


図-4 BCT試験結果 (No.2)

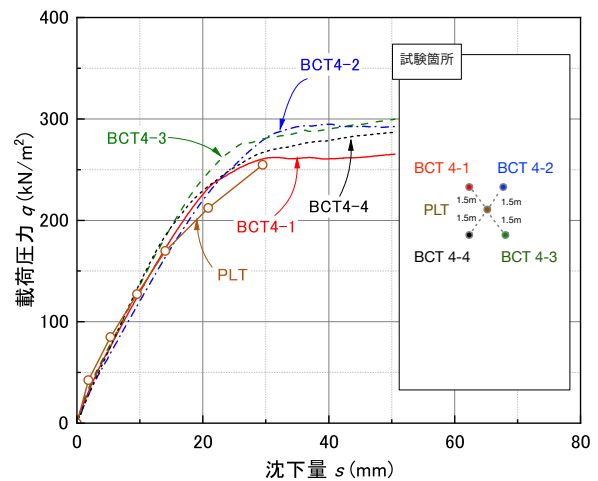


図-6 BCT試験結果 (No.4)

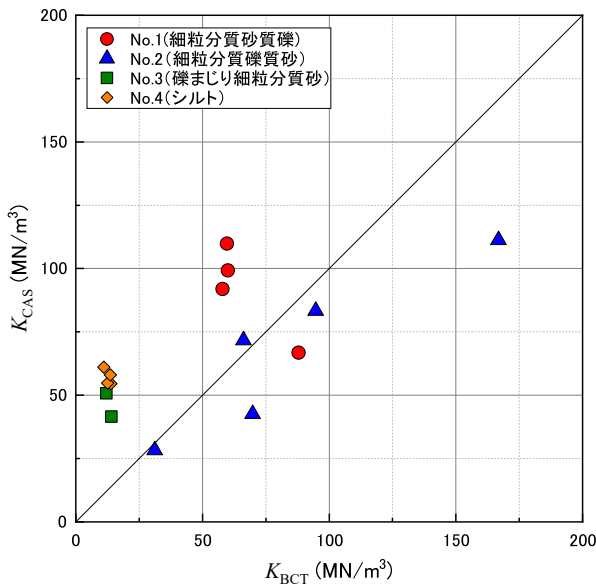


図-7 地盤反力係数 K の比較

では、試験箇所の比較的近い BCT1-1 および BCT1-2 の載荷圧力 q と沈下量 s の関係は、概ね $s < 100\text{mm}$ の弾性域での傾きに差が見られるものの、 q の最大値は同様の値であり、 $q-s$ 関係も類似している。それに対して、BCT1-1 から 2m 離れた地点で実施した BCT1-4 は弾性域の傾きは BCT1-1 とほぼ等しいが、 $q-s$ 関係に明確な屈曲が見られず、BCT1-4 の最大 q は未計測であり、その値は BCT1-1 に比べ非常に高いと推定できる。一方、BCT1-3 から 5m 離れた地点で実施した BCT1-3 は弾性域の傾きは他の結果と同じであるが、最大 q は約 1/2 であった。この結果から、同一現場内においても最大 q の値に差が見られた。

No.2 の結果を示した図-4 においても $q-s$ 関係に差が見られる。調査地点の近い BCT2-1 と BCT2-2 を比較すると、BCT2-1 は、 s の増加とともに q も増加し続けており $q-s$ 関係にピークが確認できない。それに対して、BCT2-2 では、 $q-s$ 関係に明確なピークが見られ、弾性域での傾きもやや小さい結果であった。一方、BCT2-3~2-5 を比較すると、いずれも明確なピークが確認できないことは共通しているが、 $q-s$ 関係の傾きに差が見られる。特に BCT2-3 については、最大 q は高いものの発生する沈下量も大きい。

図-5 に No.3 の結果を示す。No.3 については先の結果と異なり、BCT3-1 と BCT3-2 の差はわずかである。また、平板載荷試験 (PLT) の結果を見ると BCT に比べやや高い値であるが、両試験結果はほぼ一致している。BCT の試験時間は 10 分程度であるのに対して、PLT は 5 段階で載荷しているため試験時間は 150 分 (30 分×5 段階) である。そのため、両試験の載荷速度は大きく異なる。一般的

に載荷速度が速い場合、強度が高くなる傾向にあるが、PLT の結果は BCT よりもわずかに強度が高いことから、変位速度の違いによる影響がないと考える。

図-6 に No.4 の結果を示す。No.4 についても BCT のバラツキは少なく、BCT と PLT に良好な一致が確認できる。

以上の結果から、No.1 と No.2 に共通して同じ現場内であっても $q-s$ 曲線には差が見られた。これは現場地盤が平面的にバラツキを有したためと考えられる。一方、No.3 および No.4 の $q-s$ 曲線はほぼ一致しており、現場内のバラツキが小さい地盤では BCT の結果に再現性があることがわかった。

3.2 地盤反力係数の比較

BCT および CAS の結果から地盤反力係数 K を求めて比較する。ここで、地盤反力係数 K とは載荷圧力の変化に対する載荷板の変位の割合である。本研究では、BCT の $q-s$ 関係の弾性域における傾きを K とした。一方、CAS については、得られたインパクト値 I_a を式 (1) に示す換算式に代入して K を求めた。なお、BCT から求めた K を K_{BCT} 、CAS から求めた K を K_{CAS} と定義した。

$$K_{\text{CAS}} = -37.58 + 8.554 \times I_a \quad (1)$$

図-7 に BCT および CAS から求めた K の比較を示す。両試験から求めた K を比較すると No.1 の結果 (●印) は K_{BCT} と K_{CAS} の間に明確な相関関係が確認できない。一方、No.2 の結果 (▲印) には、良好な相関関係が確認できる。また、No.3 の結果 (■印) および No.4 の結果 (◆印) については、ラインよりも上側に位置している。No.1 の結果も一部ラインの上側に位置していることから、CAS から求めた K は過大評価となることを示している。

3.3 許容支持力 q_a の比較

次に、CAS で得られた I_a から内部摩擦係数 ϕ 等の地盤定数を求め、式 (2) および式 (3) に示す、国土交通省告示第 1113 号の短期に生ずる力に対する地盤の許容応力 q_a を算出した³⁾。

$$q_{\text{CAS}} = \frac{2}{3} \times \beta \times \gamma_1 \times B \times N_\gamma \quad (\text{砂質土}) \quad (2)$$

$$q_{\text{CAS}} = \frac{2}{3} \times \alpha \times c \times N_c \quad (\text{粘性土}) \quad (3)$$

ここで、 B は基礎幅 (=0.3m) である。形状係数 α および β は正方形であるため $\alpha=1.2$ 、 $\beta=0.3$ である。 γ_1 は地盤の単位体積重量である。 N_γ および N_c は支持力係数である。

図-8 に BCT から求めた極限支持力 q_u を短期の安全率 $F_s=1.5$ で除して求めた許容応力 q_{BCT} と CAS から求めた許容応力 q_{CAS} の比較を示す。

物理試験の結果から、No.1~No.3 は「砂質土」である。砂質土の結果はラインよりも下に位置し

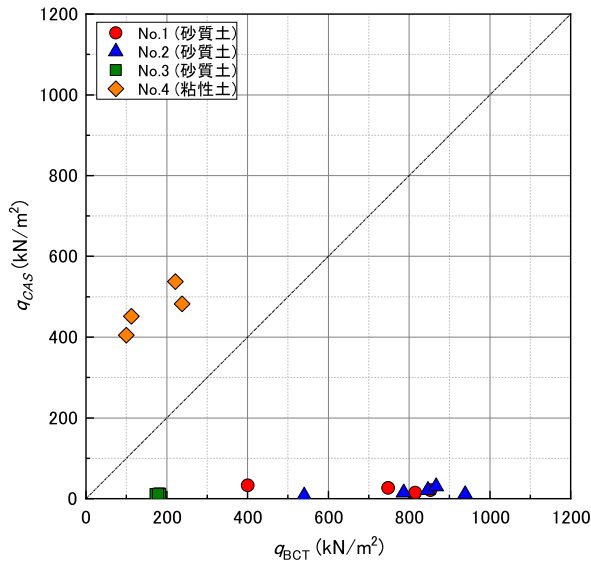


図-8 BCT と CAS の許容支持力の比較

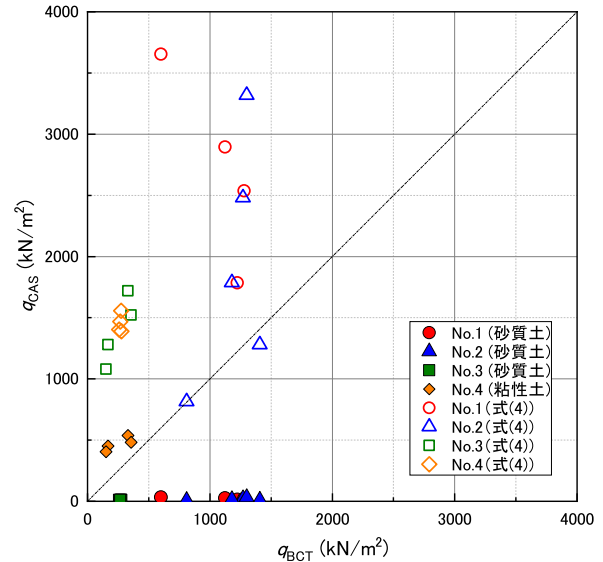


図-9 支持力公式から求めた許容支持力との比較

ており、 q_{BCT} に比べ、 q_{CAS} の値が著しく小さい。この結果から、CAS で求めた支持力は安全側の評価となることがわかる。一方、粘性土である No.4 の結果はラインより上に位置しているため、 q_{BCT} に比べ、 q_{CAS} の値の方が 2~4 倍高い結果であった。すなわち、 q_{CAS} の値は砂質土においては過小評価、粘性土では過大評価となることがわかった。

許容支持力 q_{CAS} は前述した方法以外に、現場の密度 γ が既知である場合、 I_a から粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を求めて、式 (4) に代入して q_{CAS} を算出することができる。

$$q_{CAS} = \frac{2}{3} \times (\alpha \times c \times N_c + \beta \times \gamma_1 \times B \times N_\gamma + \gamma_2 \times D_f \times N_q) \quad (4)$$

式 (4) から求めた q_{CAS} と q_{BCT} の比較を図-9 に示す。式 (4) から求めた結果 (白抜き) は、一部を除いてラインの上側に分布しており、 q_{BCT} に比べ全体的に非常に高い値であった。

以上の結果から、CAS は簡便な試験であるが、結果の解釈を誤ると著しく危険側の評価となる。そのため、利用手引き³⁾に従った方法で支持力を評価する必要がある。

4. まとめ

地盤の支持力を直接的に求める現場地耐力試験 (BCT) と間接的に求める簡易支持力測定器 (CAS) を 4 現場で実施し、地盤反力係数 K および許容支持力 q_a の結果を比較した。その結果、 K については、一部 BCT と CAS の間に正の相関関係が認められたが、4 現場のうち 3 現場の結果は有意な関係が認められず、かつ結果が過大に評価されることがわかった。

一方、 q_a については CAS により求めた q_{CAS} と、BCT により求めた q_{BCT} を比較した結果、砂質土では q_{CAS} は q_{BCT} に比べ著しく小さく、粘性土では反対に q_{CAS} は q_{BCT} よりも大きな値であった。

I_a から粘着力 c および内部摩擦角 ϕ を求めて支持力公式から q_{CAS} を算出した場合、 q_{BCT} よりも著しく大きく、危険側の評価となることがわかった。簡易支持力測定器の利用手引きでは q_{CAS} 算出に際して土質が砂質土か粘性土を分類する必要がある。しかしながら、設置地盤には砂質土や粘性土に分類しにくい「中間土」も多く、技術者が判断を誤ると危険な可能性があり、注意が必要と考える。

近年、自然災害の頻発・激甚化により、災害復旧現場では一刻も早く建設機械を投入せざるを得ない状況も考えられる。しかしながら、機械を安全に使用するためには PLT や BCT 等の載荷試験を実施して地盤の支持力を確認することが必要不可欠と考えられる。

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，JNIOOSH-TDNO.3，pp.39～62，2015
- 2) 堀智仁・玉手聡・田中直斗：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，令和 5 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，pp.139～142，2023
- 3) 近畿地方整備局 近畿技術事務所：簡易支持力測定器（キャスポル）利用手引き，https://www.kkr.mlit.go.jp/kingi/kensetsu/gijutusien/bcu0ke000002ixc-att/caspol_guide.pdf，2005