

28. 大型建設機械等の設置における簡易な現場地耐力試験の提案

(独)労働安全衛生総合研究所 ○玉手 聡
同 上 堀 智仁
(株)竹中工務店東京本店 錦古里洋介

1 はじめに

移動式クレーンを含めた大型の建設機械の転倒防止には支持地盤の安定確保が不可欠である。しかしながら、作業現場の地耐力は目視や踏査によって経験的に判断される場合も多く、その判断を誤ったことによる写真-1のような転倒事故がたびたび発生している¹⁾。本研究ではこのような転倒災害の防止を目的に、作業現場において簡易に実施可能な地耐力試験の方法を検討した。その方法をここでは現場地耐力試験²⁾と呼び、以下では、BCTと略して言う。BCTはドラグ・ショベルなどの建設機械の自重を反力に、載荷板を介して荷重を静的に載荷する試験であり、試験時間が10分から20分程度の短時間で終了することを特徴とする。本研究では、BCTの適用性を調査することを目的に、地盤条件が異なる5カ所の現場で試験を行った。この試験では平板載荷試験の結果との比較を行うとともに、BCTの載荷速度の違いが結果に与える影響も調査した。本論文では、一連の試験から得られた結果を示し、その結果に基づいてBCTによる簡易な地耐力確認の実施を提案する。

2 現場地耐力試験の概要

2.1 試験方法の検討

表-1は平板載荷試験²⁾(以下、PLTと言う)と現場CBR試験²⁾とBCTの比較を示す。PLTはJISと地盤工学会で基準化されている試験法であり、地盤の支持特性を直接的に調査するものである。PLTは、直径300mmの載荷板から作用する載荷圧力 q と変位量 S の関係から地盤の支持特性や変形特性を求分割して行う載荷試験である。しかしながら、各段階では荷重を30分保持する必要があるため、実施には少なくとも2.5から4時間を要することとなる。そのため、建設機械等を設置する度毎にこれを実施することは、現実的には困難という問題があった。

現場CBR試験(以下、CBRと呼ぶ)では、直径50mmの載荷板を1mm/分の一定速度で貫入させ、貫入量が2.5mmと5.0mmの時の載荷圧力を記録する。したがって、試験に要する時間は5分と短



写真-1 移動式クレーンの転倒事故

く、効率性が高い。しかしながら、載荷板が小さいために評価範囲はPLTよりも狭く限定されるという問題があった。そのためCBRは通常、道路施工における路床と路盤の品質管理に用いられている。

今回の地耐力確認ではPLTに準じた性能を目標としたことからBCTでは、載荷板の形状と大きさをPLTと同じ直径300mmのものとした。ただし、試験時間を短縮するために、載荷方法はCBRの変位制御を参考とし、BCTでは変位速度の標準値を5mm/分に設定した。この値はCBRの1mm/分に対して、BCTとCBRの載荷板の直径比が6倍であることなどを考慮したものである。これによって、BCTの試験時間は10分から20分程度となり、PLTに比べて大幅な時間短縮が可能となった。以上のように、BCTはPLTとCBRを応用した方法であり、地耐力評価の基本的な部分についてはPLTに準じている。

2.2 試験装置と試験方法

図-1は試作したBCT装置を示す。詳細は既報³⁾に譲り、ここではその概要を述べる。本装置には載荷と計測の両機能が車輪付きの架台にユニット化して搭載されており、手押しで現場内を自在に移動できるようになっている。載荷ジャッキは電動モーターで動作する仕組みである。ジャッキはシリンダーAとシリンダーCがそれぞれ上下に伸張する構造であり、上昇した反力板はドラグ・ショベルなどの建設機械の下部走行体に接合する。これによって、載荷板にはその自重を反力とした荷重が

表-1 平板載荷試験と現場 CBR 試験と現場地耐力試験の比較

	平板載荷試験(PLT) JGS 1521:2012	現場 CBR 試験(CBR) JIS 1222:2013	現場地耐力試験(BCT) <今回提案>
載荷板	直径 300mm の円形	直径 50mm の円形	直径 300mm 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 (1mm/min)	変位制御 (5mm/min)
反力装置	実荷重又はアンカー	実荷重(ダンプトラックなど)	実荷重(建設機械)
沈下量	基準よりから載荷板上の 4 点の沈下を計測	架台に対する貫入ピストンの変位を 2 点で計測	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	5 分	10 から 20 分

作用する。この荷重を載荷板の面積で除した値が載荷圧力 q である。

BCT 装置は、図-2 に示すように建設機械の後部(カウントウエイト側)から手押しで挿入して設置できるようになっており、PLT で行われる建設機械下部における装置の組み立て作業は不要である。ジャッキのストローク量 s_c は変位計で直接測定するが、載荷板の沈下量 S については図 3 に示すように、反力として用いるドラグ・ショベルの浮き上がり s_R を差し引く補正が必要である³⁾。

3 現場試験

3.1 試験の概要と地盤条件

現場試験を行った BCT と PLT の実施条件とデータ名称の一覧を表-2 に示す。各試験は 5 つの現場(GB1 から GB5)で実施したが、この中の GB1 と GB2 では、表面での載荷と約 0.5m 掘削した底面での載荷の両方を実施した。また、PLT については、GB1 を除く全ての現場で実施し、BCT の結果と比較した。さらに、GB1 から GB3 の BCT では、ジャッキの変位速度 v_c を標準値の 5mm/分に加えて 1mm/分でも実施した。これは、BCT の結果に与える v_c の影響を PLT も含めて比較するためであった。地盤の N 値と土質分布を図-3 に示す。GB1 と GB2 は同一運動グラウンド内の約 100m 離れた場所であり、両地盤の N 値と土質は類似している。GB1 と GB2 は元の地山の上部に砂が約 0.3m 厚で盛土されており、その表面には芝が植えられていた。この砂層下の地山は、礫混じりの粘土と砂であった。地下水位については、深さ 9.6m の低い位置に存在したが、試験への影響は無視できるものであった。次に、GB3 は軟弱なシルト質の地盤であり、地下水位も深さ 1.3m と浅い。さらに載荷面は-0.5m の掘削した面であったことから、水位までの距離は 0.8m に接近していた。一般的にシルトの透水係数は 10^{-3} から 10^{-7} cm/秒程度⁴⁾ と言われ、その透水性は低い。したがって、GB3 では水の影響を調査する条件の試験であった。GB4 と GB5 については図に示さないが、GB4 は地表面から深さ約 4m

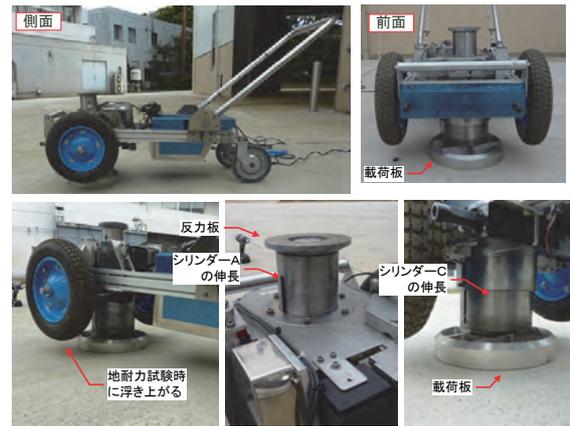


図-1 現場支持力試験(BCT)装置の概要

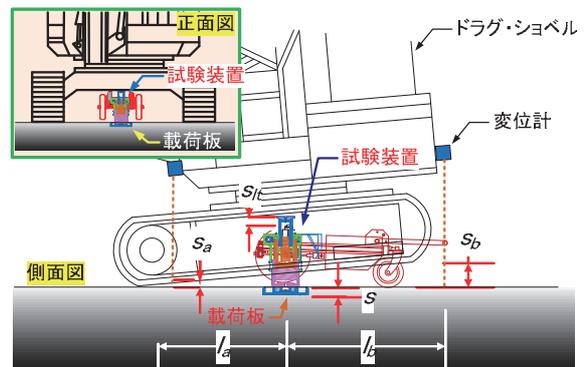


図-2 機体の浮き上がり補正の方法

までがコンクリート層やガレキ混じりの砂質土であり、その N 値は 3 から 11 であった。その下部には N 値が 5 程度の粘土層が 5m 分布し、地下水位は地表から 4.7m の深さに存在した。この現場ではその後、表層 0.5m から 1m までの部分がセメント安定処理(N 値不明)されており、後述する BCT と PLT はこの処理後に実施したものである。GB5 は、表面から深さ約 4m までの部分がコンクリートガラやがれき、ならびに碎石が砂と混合した埋め戻し土であった。この土はよく締め固まった強固な地盤であり、N 値は 10 から 20 であった。その下部層は N 値が 2 程度の軟弱なシルトが厚く堆積しており、地下水位は地表から 1.3m の深さにあった。

表-2 現場地耐力試験(BCT)と平板载荷試験(PLT)の実施条件とデータ名称

現場名	GB1		GB2		GB3	GB4	GB5	
載荷面	表面	-0.5m 面	表面	-0.5m 面	-0.5m 面	表面	表面	
面の状態	芝	玉石混じり	芝	玉石混じり	軟弱シルト	セメント安定処理	表層埋戻し	
BCT	5mm/分	BCT1_a	BCT1_c	BCT2_a	BCT2_c	BCT3_a	BCT4	BCT5
	1mm/分	BCT1_b	BCT1_d	BCT2_b	BCT2_d	BCT3_b		
PLT(段階载荷)			PLT2_a	PLT2_b	PLT3	PLT4	PLT5	

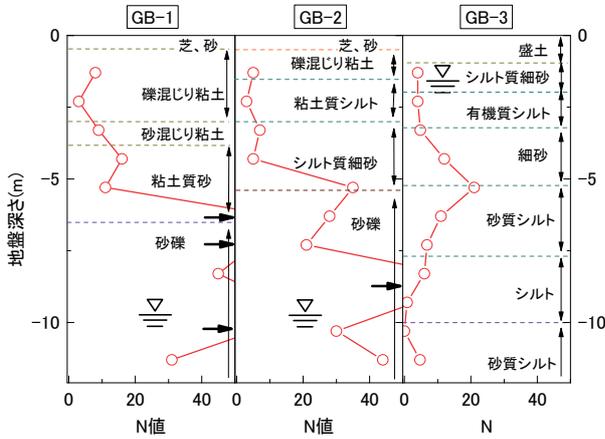


図-3 試験地盤のN値と土質(GB1からGB3)

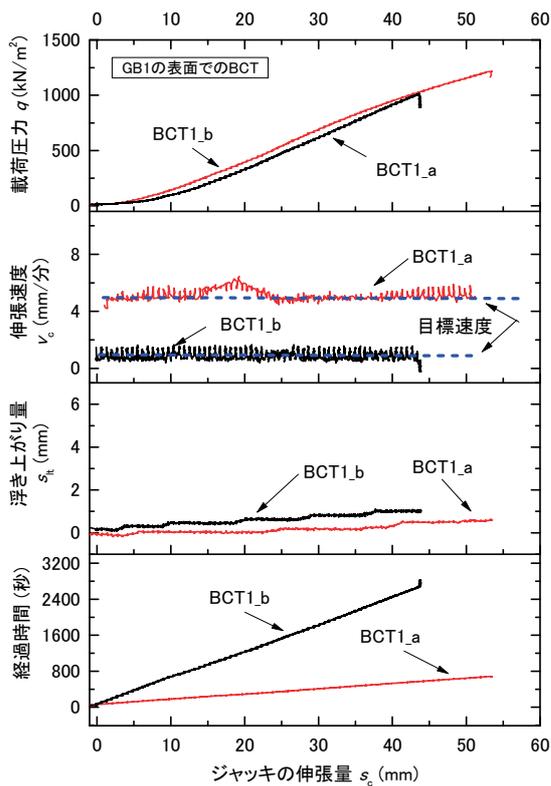
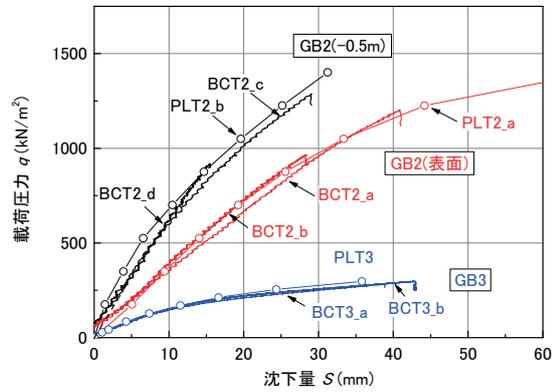


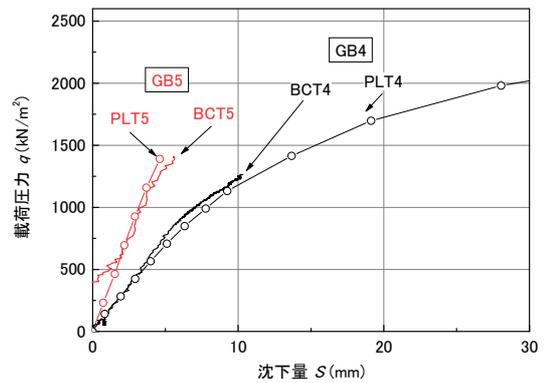
図-4 BCT1_aとBCT1_bでのジャッキの伸張量に対する各反応の比較

3.2 現場地耐力試験における载荷の状況

図-4はGB_1におけるBCT1_aとBCT1_bについて、ジャッキの伸張に対する各反応を示す。s_cの増加に対するqの増加では曲線がほぼ一致している。経過時間とs_cの関係を見るとほぼ直線となった。



a) GB2とGB3の結果



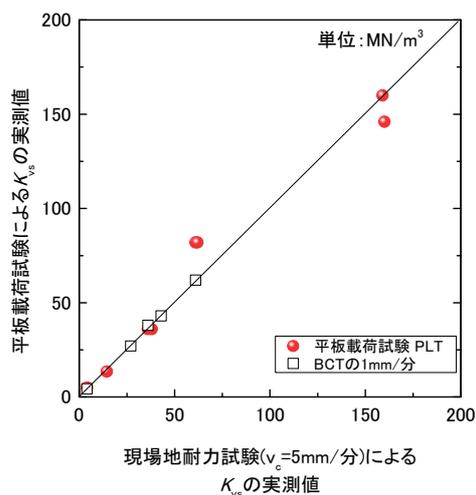
b) GB4とGB5の結果

図-5 現場地耐力試験と平板载荷試験のq-S関係の比較

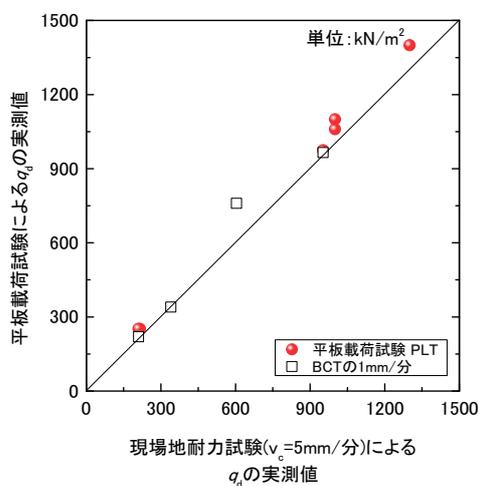
ており、異なる速度で一定した伸張が行われたことがわかる。BCT1_aとBCT1_bの両試験ではv_cの目標速度をそれぞれ5mm/分と1mm/分に設定したが、実測値は目標値とほぼ一致している。s_cの増加に伴ってs_{ft}も増加しているがその最大値は1mm程度と小さい。これは、今回用いたドラグ・ショベルの重量が大きかったために、機体の浮き上がりは少なくなったためと思われる。

3.3 現場地耐力試験と平板载荷試験の結果比較

図-5はBCTとPLTから得られた载荷圧力qと沈下量Sの関係を示す。BCTについては先に述べたとおりジャッキの伸張速度v_cが5mm/分と1mm/分で異なる場合の結果も示している。図-5a)に示した曲線は地盤種類の違いに応じて3つのグループに曲線群は分かれている。したがって、支持力が異なる地盤で得られたBCTとPLTの結果は、各グループ内でほぼ一致しており、試験方法は異なっ



a) 極限支持力 q_d の比較



b) 地盤反力係数 K_{vs} の比較

図-6 BCTとPLTによる K_{vs} と q_d の比較

でも同じ結果が得られたことがわかる。特に、GB3では載荷面の約0.8m下に水位が存在する条件であったが、比較した v_c の範囲で3つの曲線はほぼ重なっている。先にも述べたとおり、飽和したシルト地盤では v_c の差によって土の排水条件にも違いを生じ、 q - S 曲線は異なって現れることを当初予想したが、実際の結果はほぼ同じであった。したがって、シルトのように透水係数が低い軟弱な地盤においても $v_c=5\text{mm/分}$ の条件では、土の排水条件に顕著な差は生じず、PLTと同様な結果が得られることがわかった。図-5b)は表層をセメント安定処理したGB4と、コンクリート屑とともに表土を埋め戻したGB5の結果を示す。先の図-5a)に比べて支持力が高い地盤での比較であるが、BCTとPLTの結果は同様に一致している。以上のように、BCTとPLTでは試験時間に大きな差があっても、載荷速度も大きく異なる条件であったが、得られた q - S 関係は調査した条件の範囲ではほぼ一致することが明らかとなった。

図-6はBCTとPLTによる地盤反力係数 K_{vs} と極限支持力 q_d の比較を示す。この K_{vs} と q_d の値は地盤工学会基準に示された方法にしたがって求めた。図-6a)の K_{vs} を見るとBCT($v_c=5\text{mm/分}$)とPLTの値は45度の直線付近に分布しており、両試験の結果はほぼ1:1の関係にある。また、BCTの v_c が1mm/分の結果についても同様であり、値は45度の直線付近に分布している。また、図-6b)の q_d についても同様な結果が現れており、載荷速度をCBRと同レベルに早めて行ったBCTの結果はPLTのそれとほぼ一致することがわかった。以上より、BCTの試験時間は、 $v_c=5\text{mm/分}$ の場合では10分から20分であり、これはPLTの2.5時間~4時間に比べて2/15以下の短時間である。したがって、BCTは大型建設機械等の設置に際して実施可能な、地耐力確認の方法であると考えられる。

4 まとめ

本研究では、平板載荷試験(以下、PLTと言う)をスピードアップして行う現場地耐力試験(以下、BCTと言う)を考案し、さらにその準備と計測を簡単なものとする装置についても検討した。この方法と装置の適用性を確認するために現場試験を行ったところ、まず、コンクリート屑やガレキ混じりの表層を締固めた地盤とこれをセメント安定処理した地盤では、BCTとPLTの結果がほぼ一致した。次に、最も不利と思われた地下水位が載荷面近くに存在したシルト地盤でもBCTとPLTの結果は一致し、さらに、地盤の一様性が高い運動グラウンドでも同様の結果が得られた。以上より、作業現場の地耐力をBCTによって確認することは安全上有効なことがわかり、本論文ではその利用を提案した。地耐力を確認することによって、アウトリガー等の沈下による転倒の危険は減少するはずである。なお、現場地盤には様々な条件が存在するため、今後も引き続きBCTの現場試験を継続し、データの蓄積を図りたいと考えている。また、特に大型機械の設置では基礎サイズも大きくなることから、深い部分の確認も不可欠である。工事前に行った地盤調査のデータ(深い部分)も参考にしつつ、設置条件に応じた確認を行うことが必要かと思われる。

参考文献

- 1) 玉手聡, 堀智仁: 大型建設機械の不安定性と転倒防止のための安全要件, 労働安全衛生総合研究所安全資料, JNIOH-SD-NO.28(2010), pp.5-18, 2011.
- 2) (公社)地盤工学会: 地盤調査の方法と解説, 第8編載荷試験第3章平板載荷試験, pp.697-731, 2013.
- 3) 玉手聡, 堀智仁: 地盤の支持力調査における簡易試験法の適用に関する実験的考察, 日本建設機械化協会, 平成23年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集, pp.137-140, 2011.
- 4) 石原研而: 土質力学, 丸善, pp.635-106, 1995.