

ボアホールジャッキ試験機 (KKT) の改良と礫質地盤での適用性

川崎地質株式会社 ○岩井 日菜子, 丸山 祐司, 加藤 猛士, 相澤 穂高, 岳 孝太郎, 平塚 葵

1. はじめに

ボアホールジャッキ試験 (JGS3532-2012) は、孔内載荷試験の一種であり、ボーリング孔壁面に剛体載荷板を等変位載荷方式で加圧し、地盤反力係数や変形係数などを求める試験である。この試験に適用される装置のうち、弊社が開発したKKTシステム(Kawasaki K-value Tester)は、金属製の載荷板を油圧ポンプにより最大20MPaまで加圧可能であるため、主にダムや大深度地下における中硬岩～硬岩を対象に岩盤物性の測定に供されている。

このKKTシステムは、載荷板が金属製であるため載荷圧力が大きいという特徴を有する。しかし、従前のKKTシステムは、圧力・変位がアナログであることや、油圧ポンプが重く油圧ホース等の接続時にはオイル漏れが生じるなど、作業の複雑さに起因する使いにくさなどにより普及が進まず、土質地盤や軟岩ではプレッシャーメーター試験 (JGS1531-2012) が一般的に採用されている。

これらの課題を解決するため、弊社では、ゾンデ～油圧ホース～油圧ポンプの計測システムの軽量化や接続方式の改良、圧力・変位データの収録システムやデータ整理ソフトの製作など改良を徐々に進め、改良型による岩盤以外の土質(礫質)地盤への適用性確認も進めてきた。

2. KKTシステムの改良

(1) KKTシステムの課題

開発当初のKKTシステムは、図-1に示す通り、ゾンデ(当初は炭素鋼製)、油圧ハンドポンプ、スタンドパイプ、圧力指示計、それぞれを連結する油圧ホース(作動油は赤色着色のマシンオイル10番)で構成されていた。構造は単純であるものの、ポンプ(50kg)やゾンデ(20kg)の重量が大きく山岳地や斜面での可搬性に劣り、組み立てにあたっては油圧ホースの脱着時やスタンドパイプのオーバーフロー時に液だれが生じ、都度エア抜きが必要となるほか、バルブ・コック類も多く、煩雑であった。

さらに測定にあたっては、載荷圧を示す「指示計」と変位を示す着色オイルで満たされたスタンドパイプの読み取りにより行う極めてアナログな手法を採用しており、試験者がポンプ操作に集中するあまり、読み取りミスやカウント漏れなどのトラブルを生じやすい構造であった。

(2) KKTシステムの改良経緯

こうした課題を解決するため、平成20年代に入り、載荷圧と変位量のデジタル信号化に着手し、バッテリー駆動により載荷圧をデジタル圧力表示計に、変位量は油の体積のスタンドパイプ読み取りから重量のデジタル荷重計表示に変更し、両者を一体化した計測装置を製作した(図-2)。これらのデータはCFに記録する手法とした。

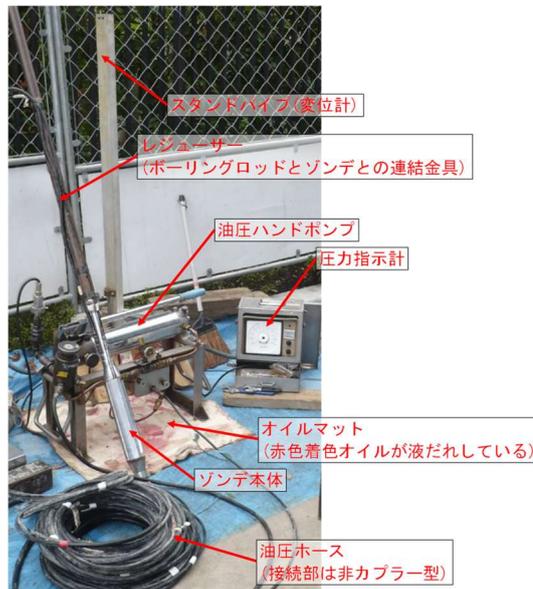


図-1 開発当初のKKTシステム一式外観



図-2 載荷圧・変位量のデジタル表示化

これらの改良により、測定時の試験者の負担は低減したものの、新たに計測装置が加わり、かつポンプやゾンデ、油圧ホース類は従来通りであったため、可搬性などの課題は依然として未解決であり、また作動油は比重が温度により変化することからキャリブレーションを都度要するなど、新たな課題も発生した。

このため、平成20年代後半に、ゾンデ本体・載荷板のアルミニウム化や変位計・圧力計のゾンデ内蔵化、ポンプの小型化・市販品採用、油圧ホースの接続部カブラー化(図-3)などを実施し、令和に入り、データ収録のPC化(ソフト開発・リアルタイムグラフ表示)、ジャイロセンサー対応化が完成し(図-4)、一連の改良が完了した。現行のKKTゾンデのラインナップを表-1に示す。

この結果、KKTは、従来型と比較して可搬性、操作性、作業性、測定精度、速報性が大幅に向上し、解析の効率化やセンサー部のキャリブレーションなどメンテナンス頻度の低減が実現した。

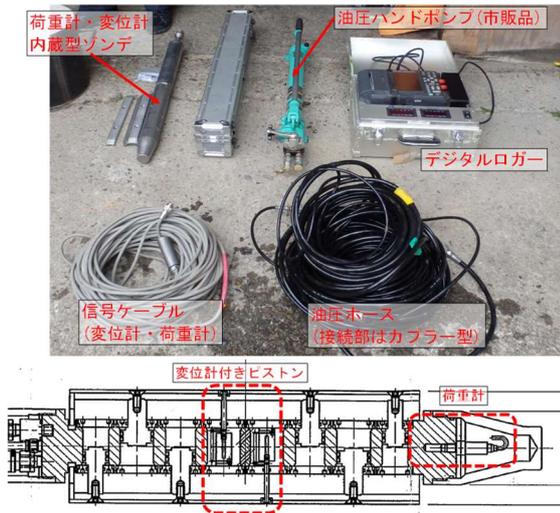


図-3 荷重・変位量センサーのゾンデ内蔵化および油圧ポンプ・ホース類の改良状況



図-4 改良(PC収録システム)完成後のKKT測定状況

表-1 センサー内蔵型KKT一覧表

用途	岩盤用 (高圧型)	土質地盤用 (標準型)	廃棄物埋立地盤用 (標準型)
外観写真			
外径×長さ	65mm×845mm 65mm×995mm	85mm×1060mm	109mm×1120mm
重量	15kg程度	18kg程度	20kg程度
載荷板 幅×長さ	φ65 30mm×250mm φ75 40mm×250mm φ85 30mm×250mm	φ85のみ 85mm×380mm	φ109のみ 77mm×500mm
載荷角度 β	φ65 27.5° φ75 32.2° φ85 20.7°	φ85のみ 45°	φ109のみ 45°
ストローク	片開き 10mm	両開き 46mm (23mm×2)	両開き 50mm (25mm×2)
最大加圧力	20MPa(高圧載荷)	2500KPa	4500KPa
測定値表示	圧力: 0.1MPa 変位: 0.001mm		

3. 改良型 KKT の土質(礫質)地盤での適用性確認

現在、改良型 KKT は主に岩盤での測定に供しており、その成果については技術フォーラム2024など¹⁾において

も報告している通りであるが、今回は、岩盤部だけでなく土質(礫質)地盤や軟岩地盤に対しても、破損しにくい KKT の特性を生かし測定実績を積むことで、改めて適用性の確認を進めている。本報告では、関東地方の段丘礫層(砂礫地盤・玉石砂礫地盤)や凝灰角礫岩層を対象に変形係数を測定した事例を示す。測定は、同一層の分布深度に対し N 値の大小に関係なく実施した。適用性の評価にあたっては、図-5²⁾に示す地盤工学会による全国の試験データと相関式 ($E=670N^{0.986}$ (kN/m²)) を引用した。

この結果、段丘礫層では、変形係数の分布が縦長となり、相関性は低くなったものの、その分布は経験値のバラつき範囲内に収まり概ね妥当な結果が得られたと考えている。なお、相関性の低さは、層内の玉石・砂礫・マトリックスの不均質性が影響したものと推察される。一方、凝灰角礫岩層の変形係数は、N 値に対し経験値の範囲内でも上限値となるものが多かった。これは、マトリックスが凝灰質粘土で満たされており、段丘礫層と比較し変形しにくいことが影響しているものと推察される。

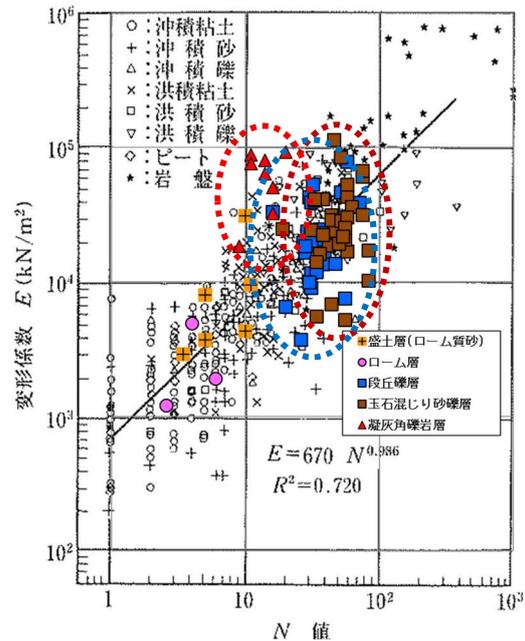


図-5 沖積・洪積地盤における N 値と変形係数の関係²⁾

4. 今後の展望

今後も、改良型 KKT を用いて岩盤部のほか土質地盤でも適用性確認を進め、さらに玉石砂礫地盤での多頻度測定に耐える載荷板の改良や、中圧載荷対応(最大加圧力 10MPa・ストローク 30~40mm 級)装置の開発などを通じ、当手法の土質地盤での普及促進を予定している。

《引用・参考文献》

- 1) 相澤 穂高, 大泉 涼 (2024): ボアホールジャッキ試験を用いた変形係数と初期応力の解析, 全地連技術フォーラム2024, C071. ほか
- 2) 地盤調査の方法と解説 (2013): 公益社団法人地盤工学会, pp. 687. に加筆