

大型動的コーン貫入試験に関する調査および開発事例について

東洋建設 正会員 ○和田 眞郷
東洋建設 平井 義人
東洋建設 渡辺 晃治

1. はじめに

回転式大型動的コーン貫入試験装置(ユニコーン)は、従来の試験では不可能な岩塊盛土、砂礫や砂地盤の調査を効率的に行うために開発されたサウンディング装置で¹⁾、打撃・回転を主とする強力な貫入機構により高速に対象地盤を精度よく調査できることが特徴である。これまで、岩塊盛土、砂礫地盤の地層区分の調査、埋没谷での杭長決定のための調査、人工島での連続壁根入れ深度調査²⁾、舗装路下部の空洞調査、地盤改良に先立つ改良深度の詳細調査や改良後の改良効果確認³⁾などへ適用し有効性が確認されている。近年、砂礫や砂地盤だけでなく、N 値=0 のような軟弱なものも含む粘性土地盤の評価や、調査スピードを生かした支持地盤確認や障害物の全数調査等への適用ニーズも高まっていることから、これらの課題に対応すべく軟弱粘性土での粘着力の計測機構の付加やサンプリング機能の追加を図り、適用地盤、適用箇所の拡大を図った。これにより実施した計測事例について報告する。

2. 大型動的コーン貫入試験装置の概要

回転式大型動的コーン貫入試験機は、貫入用の打撃ハンマーを備えたガイドセルを装着ユニットで、バックホウやスキッドプレートに装着して使用する。その貫入機構は、図-1 に示すように

- ①押込み圧力 : 5096N
- ②回転 : 33 回転/分
- ③打撃 : 2400 回/分

でロッドを貫入し、打撃回数(Nh)を油圧ハンマー内の油圧変化で、回転圧力(Rp)を操作盤に取り付けた圧力検知センサーを用いて検出する。貫入深度は、ガイドセルに取り付けた非接触変位センサーによって計測する。これらのデータは、計測ユニットに接続されたパーソナルコンピュータでリアルタイムに処理し、データの表示を可能とした。地盤を評価するパラメータとして、換算打撃回数 Nb を下式により算出する。当試験機で得られる換算打撃回数 Nb は、標準貫入試験から求めた N 値と良い相関関係にある(N=3Nb)。

$$Nb = \left(Nh - \frac{RP - R0}{R0} \cdot Cn \right) / Cd$$

$$Nb' = 1.7 \cdot \frac{Nb}{p + 0.7}$$

ここに

Nb:換算打撃回数(回/10cm)、周面摩擦に伴う抵抗を考慮し補正された貫入抵抗

Nh:実測打撃回数(回/10cm)、10cm 貫入するのに要する打撃回数

RP:回転圧力(10 区間の代表値)、R0:周面摩擦が作用しないときの基準回転圧力

Cn:回転圧力換算係数、Cd:打撃回数換算係数

Nb':有効土被り $p(=\sigma'z)$ の影響を補正した換算打撃回数

なお、調査深度は最大 50m、調査速度は、平均 25m/h(ロッド貫入+ロッド引抜き)である。

キーワード サウンディング、N 値、コーン貫入試験

連絡先 〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-24 青海フロンティアビル 13F 東洋建設 土木技術部 TEL03-6361-5464

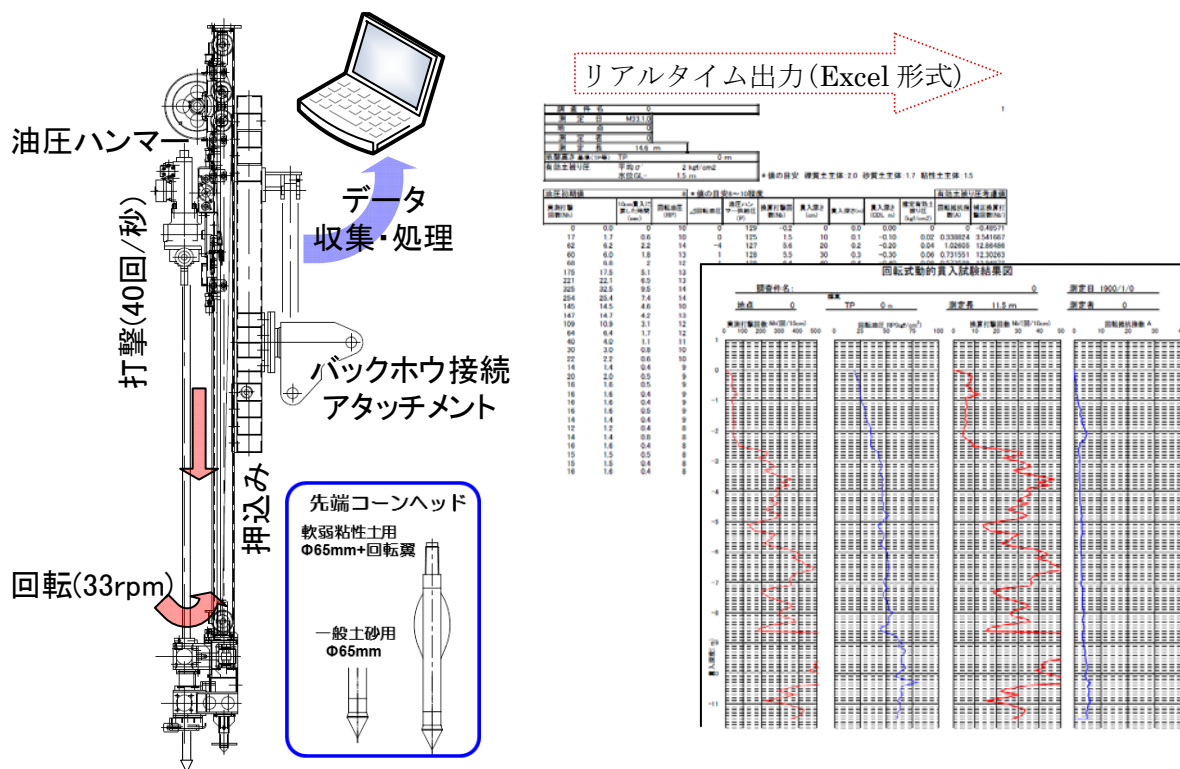


図-1 回転式大型動的コーン貫入試験装置システム概要図

3. 軟弱粘性土の粘着力の測定事例

(1) 粘着力測定方法

軟弱粘性土を対象とする工事の場合、事前調査や、施工時の安定性確認、地盤改良時の改良効果(载荷盛土等の圧密進行による強度増加や固化改良強度)の確認には、非排水せん断強度(粘着力)分布の測定は必要不可欠なものである。特に施工中においては迅速な調査・評価が必要との考えから、軟弱粘性土の粘着力を高速かつ連続的に計測できるよう

粘着力計測の代表的手法としては、ベーンせん断試験が挙げられる。この試験は、ベーンの回転抵抗から直接的に非排水せん断強度(粘着力)が求められることができる。この原理を利用して、図-2に示すような回転翼(ベーン)付きの先端コーンを作製した。この回転翼(ベーン)付きの先端コーンを用いて、軟弱粘性土層において、打撃を止め、圧入と回転で先端コーンを貫入し、貫入10cm毎に回転抵抗(油圧)の変化と貫入に要する時間から粘着力を推定することとした。

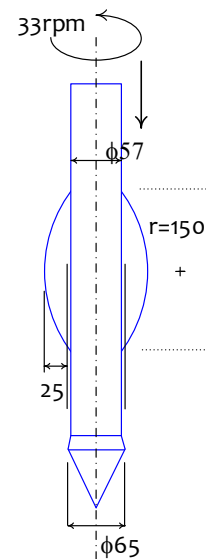


図-2 回転翼(ベーン)付き先端コーン

(2) せん断強度測定結果

図-3の土質柱状図に示すような盛砂層・沖積粘性土層において軟弱粘性土のせん断強度測定した。盛砂層は概ね $N=10-20$ の範囲であり、沖積粘性土層については、 $N=0$ の軟弱な地盤である。回転式動的コーン貫入試験による計測結果も同様な結果で、標準貫入試験と良い一致を示している。そこで、この沖積粘性土地盤について、回転翼(ベーン)付き先端コーンを用いたせん断強度測定を実施した。測定は2箇所(Bor.1, 2と表記)について実施し、それぞれの粘着力を算出した結果を図-4に示す⁴⁾。同図には、同位置でサンプリングした試料で実施した一軸圧縮試験結果から算出した粘着力も併せて示した。これから、回転翼(ベーン)付き先端コーンで計測した粘着力は、一軸圧縮試験結果とほぼ同様の粘着力の深度分布を示し、妥当な粘着力測定方法であると判断できる。写真-1に計測状況を示す。

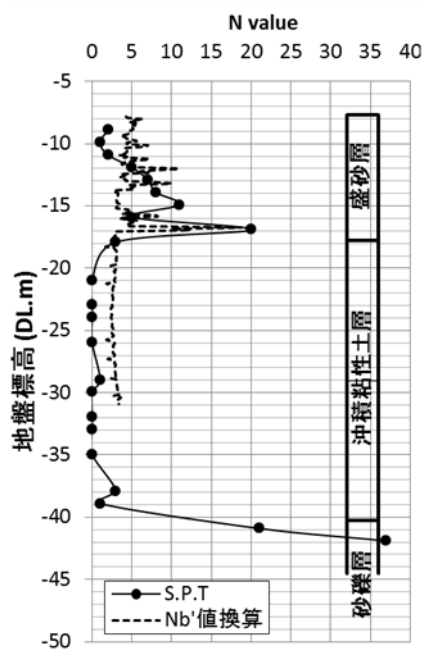


図-3 軟弱粘性土の地層構成

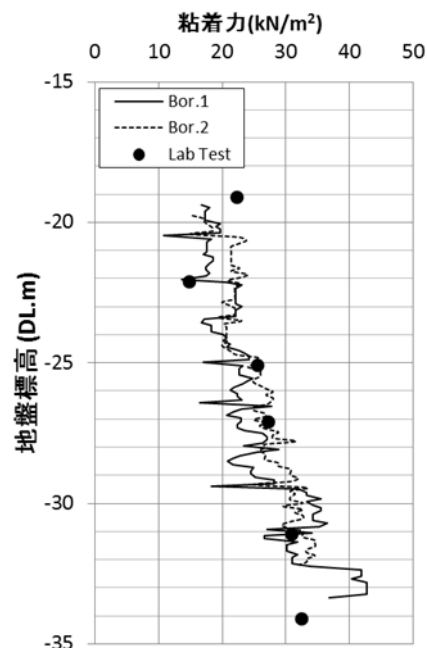


図-4 粘着力測定結果



写真-1 現地計測状況

4. 液状化対策工法効果確認事例

和歌山地区の岸壁の耐震化として、岸壁ケーソン下部の置換砂の液状化防止として浸透固化処理工法の品質管理を当装置を用いて実施した事例である。図-5 に示す標準断面図のとおり岸壁ケーソン直下の置換砂層を改良するもので、ケーソンに損傷を与えないように、海側と陸側から斜め削孔により改良を行うもので、改良対象層は玉石混じり砂礫であり、空隙の多い土層となっており、

- 薬液が逸走し所定の強度が発現しないことや、強度確認のための一軸圧強度の試料が採取できない。
- 透水性の高い捨て石層直下への薬液注入で、潮汐・潮流によるゲル化前の薬液流出が懸念され、確実な注入による強度確保が課題であり、逐次動的コーン貫入試験による注入効果の確認と強度の推定を実施しながら施工を進めたものである。なお、目標強度は $q_u > 85\text{kN/m}^2$ である。

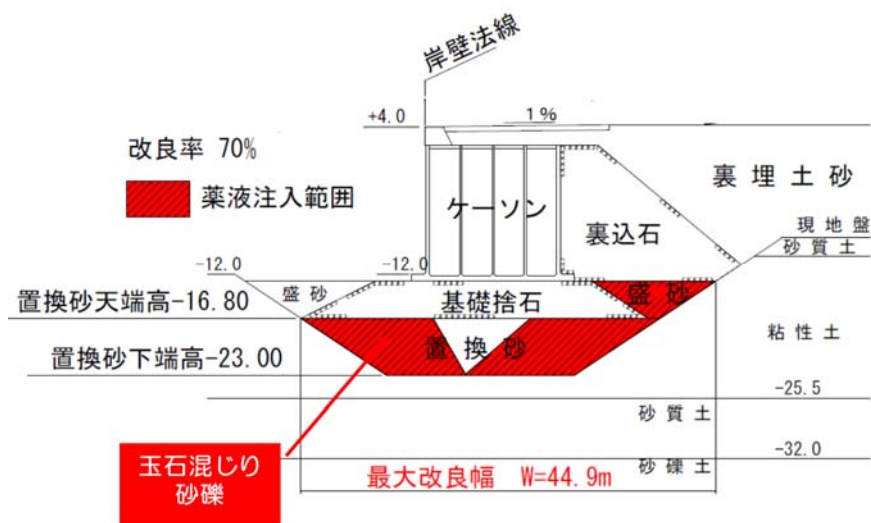


図-5 岸壁耐震化のための浸透固化処理工法標準断面図（和歌山地区下津港岸壁）

図-6 にケーソン背面部の任意の3地点(NO.1～3)で実施した改良前後のコーン貫入試験で得られた換算打撃回数 Nb' 値の深度分布を示す。改良前の Nb' 値の深度分布から、 $Nb'=1\sim3$ の範囲にあり、 $Nb'=5$ 以上の箇所が部分的に見受けられる。玉石や礫が点在していることを表しており、貫入時、それらを打撃等により破碎・移動させて連続的に計測している。一方、改良後の Nb' 値の深度分布では、 $Nb'=8\sim13$ の範囲となり、 $Nb'=20,30$ 以上の箇所が所々見受けられる。この結果から、置換砂層については、 $Nb'=1\sim3$ から $8\sim13$ へ増加し、点在した玉石や礫については、固化処理による拘束効果による Nb' 値増加と判断される。

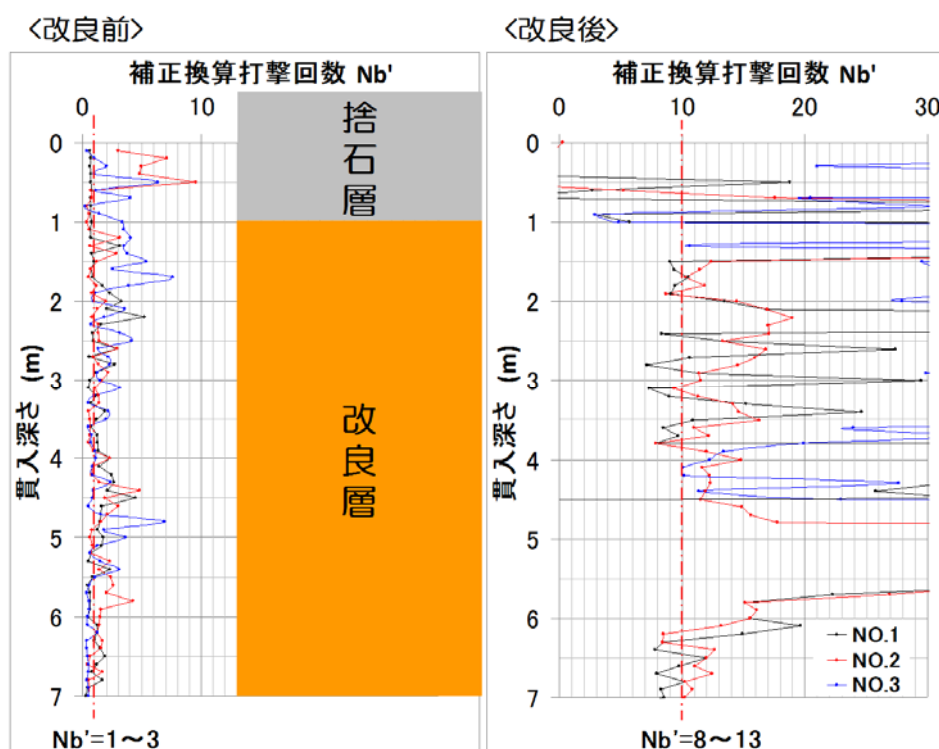


図-6 改良前後の換算打撃回数 Nb' 値の深度分布

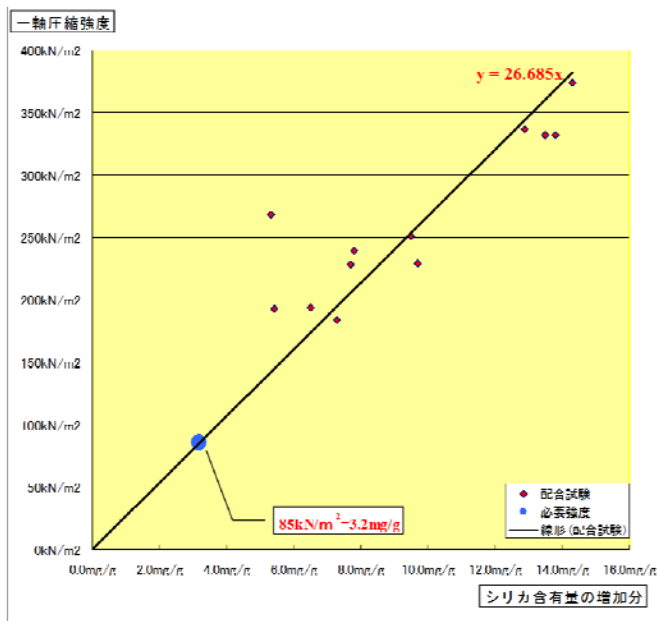


図-7 シリカ含有量と一軸圧縮強度の関係

発現強度については、事前に求めたシリカ含有量と一軸圧縮強度の関係(図-7)を用い改良後に、サンプリングした試料のシリカ含有量から推定した。サンプリングは、貫入ロッド先端に図-8に示すサンプラーを装着して行った。シリカ含有量の測定結果から、シリカ増分量は8.2～13.5（平均11.4）mg/gで推定強度増分は、 304kN/m^2 であった。一方、 N 値= $3N_b'$ として場合、概ね改良後の N 値は30前後と推定される。図-9に示す一軸圧縮強さと N 値の関係から、一軸圧縮強度は 300kN/m^2 と推定され、シリカ含有量からの強度推定ともよい一致を見せており、回転動的コーン貫入試験による改良効果確認から強度の推定まで可能であると考えられる。



図-8 試料採取状況

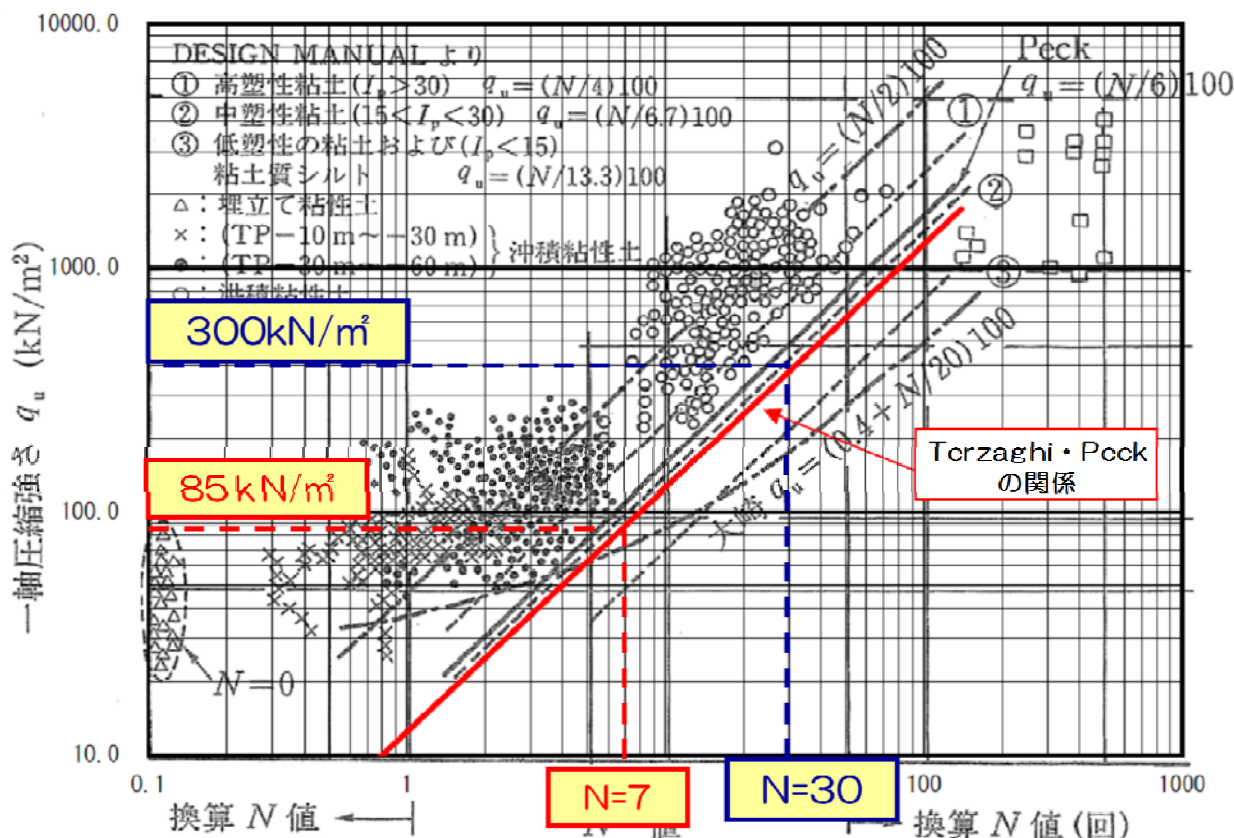


図-9 一軸圧縮強さと N 値の関係⁵⁾

5. おわりに

回転式動的コーン貫入試験に、軟弱粘性土への対応として粘性土の粘着力の直接測定機能を追加し、これまでの岩塊を含む砂礫地盤～硬質な粘性土地盤に加え軟弱粘性土まで適用地盤が拡大させた。これにより、これらを含む複雑な互層地盤に対しても、同一の装置で一貫して評価できると考えられる。礫混じりや捨石といった従来今後、データを蓄積し、より高精度の調査が実施できるよう改良を加えていく予定である。

参考文献

- 1)生原修，瀬戸英俊，橋本正，加藤豊，雨宮松雄：回転式動的貫入試験機による調査例，土木学会第48回年次学術講演会，pp.1478-1479，1993
- 2)鈴木慎也，河合雅博，坂上敏彦，住武人：関西国際空港 I 期島における止水壁施工に伴う埋立土の層厚確認調査，土木学会第56回年次学術講演会，pp.616-617，2001
- 3)馬場，和田，坂上，藤澤，大谷，瀬戸，藤原他：高速サウンディング(Hiss)を用いた地盤評価の適用事例，土木学会第 59 回年次学術講演会，pp823-824,2004
- 4)和田，平井，立場川，坂上，住，藤澤：高速サウンディング試験機を用いた軟弱粘性土評価事例，土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-357,2011
- 5)地盤工学会：地盤調査の方法と解説，1/2，pp.279-313,2013