

大型動的コーン貫入試験のロッドの静的摩擦力と動的摩擦力の比較

大阪市立大学工学部 ○学 吉見侑子 (現 奈良県)
 大阪市立大学大学院 正 大島昭彦 学 武野航大 学 坂口達哉
 大和ハウス工業(株) 高橋秀一 平田茂良
 (有)ウィルコンサルタント 柴田芳彦 田中真平
 (株)ワイビーエム 西田 功

1. まえがき

大型動的コーン貫入試験 (H-DCPT) では、打撃後にロッドを円周方向に回転させた時のトルクから想定される周面摩擦力によって打撃回数を補正している。しかし、一般に深度が深くなるほど、かつ粘性土である場合には N 値に比べて補正打撃回数が過大となるため、この補正方法は不十分と考えられ、周面摩擦力の実態は不明である。筆者らはこれまでに、H-DCPT の打撃挙動を捉えるために、図-1 に示すように打撃貫入時のロッドの上部と先端の衝撃力と衝撃加速度を測定し、それらから上、先端打撃効率を求め¹⁾、一次元波動理論に基づく動的な周面摩擦力を求めた²⁾。一方、打撃後には装置自重と先端荷重 (先端抵抗) の差から静的な周面摩擦力の算定も可能である³⁾。

そこで本稿では、東大阪市西岩田⁴⁾、埼玉県越谷市新川町⁵⁾、茨城県稲敷市浮島⁶⁾、大阪市大正区三軒家⁷⁾での現場計測から、自沈時及び打撃後の静的摩擦力と打撃中の動的摩擦力を比較した結果を報告する。

2. 静的摩擦力の算定方法

静的摩擦力 F_s は外力となる装置自重と先端荷重 F_{tip} の差から、次式で算定できる。

$$F_s = \text{装置自重 (上荷重 } F_m + \text{ロッド自重)} - F_{tip} \quad (1)$$

ここに、自沈時及び打撃後の F_m は基本的に 0.80kN (ハンマー自重 0.62kN 、アンビル自重 0.18kN) となり、ロッド自重はロッド長 (上下計測器と先端ロッドの 0.78m を含む) $\times 0.0466\text{kN/m}$ となる。

図-2 に打撃なしで自沈した例として、越谷 (深度 $16.6\sim 16.91\text{m}$ 、 310mm 自沈、粘土) での測定結果を示す。時間 $0\sim 6\text{s}$ では F_m は一定間隔で増減 ($0.9\sim 1.6\text{kN}$) し、一定速度 (約 40mm/s) で自沈している。これはハンマーを格納しているバケットの自重 (1.14kN) を支えているリフタが自沈貫入を後追いする際に、一時的にバケット自重がアンビルに加わったためと考えられる。6s 以降は自沈速度が小さくなり、7s でほぼ静止した。7s 以降の F_m は約 1kN (0.80kN より大きく、少し変動があるが) 一定で、 F_{tip} が減少し、 F_s が増加している。これは摩擦力が自沈貫入時の動摩擦から静摩擦へ切り替わったためと考えられる。最終的に静止摩擦力 F_{s0} ($\approx 1.3\text{kN}$) となった。

図-3 に打撃後の例として、稲敷 (深度 $20.0\sim 20.2\text{m}$ の3打撃まで、シルトまじり砂) での測定結果を示す。1s、3.8s、6.6s で打撃している。 F_m は打撃直前にクローがハンマーを吊り上げるため、ハンマー自重分 (0.62kN) 減っている。また、打撃1、打撃3後に F_m が 2kN 程度になっていることから、全バケット自重がアンビルに加わっている (試験装置の問題)。稲敷では全体に装置自重と F_{tip} が近い値となったため、 F_{s0} はかなり小さい。

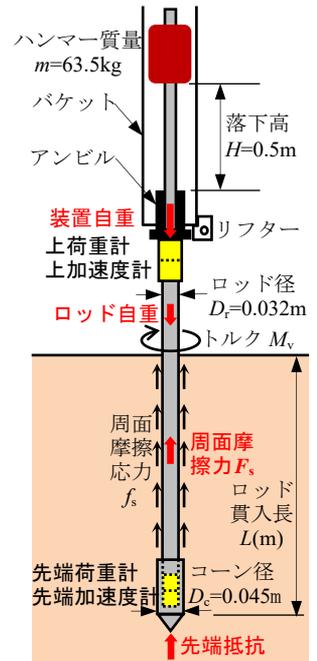


図-1 H-DCPT の計器位置

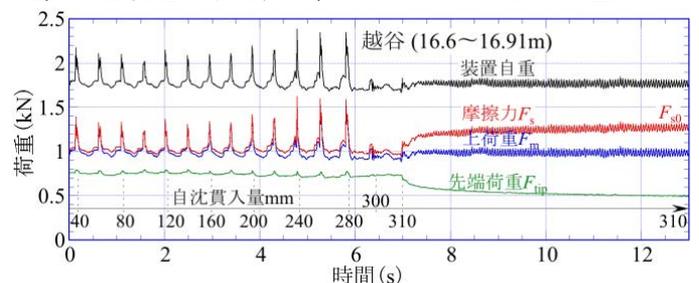


図-2 自沈貫入時の静的摩擦力の測定例

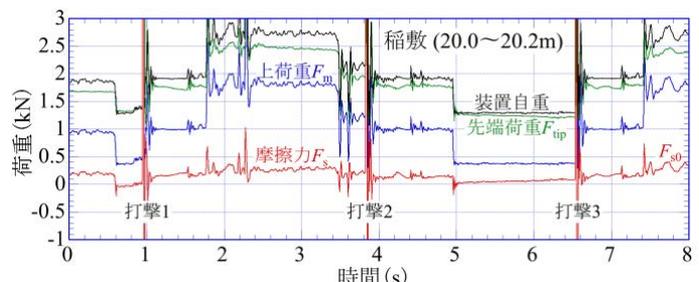


図-3 打撃後の静的摩擦力の測定例

Key Words: 現場調査, 大型動的コーン貫入試験, 静的摩擦力, 動的摩擦力, 打撃効率, 一次元波動理論

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL 06-6605-2996 FAX 06-6605-2726

3. 打撃効率と一次元波動理論に基づく動的摩擦力の算定方法

文献1)より, 上打撃効率 $e_{12}=E_2/E$, 先端打撃効率 $e_{123}=E_3/E$ (E_2 は上エネルギー, E_3 は先端エネルギー, $E=mgH$)であるので, 1打撃毎のエネルギー損失は $E_2-E_3=(e_{12}-e_{123})E$ となり, これが全て周面摩擦力によるものと仮定し, 1打撃毎の貫入量を δ とすると, 打撃効率に基づく動的摩擦力 F_{sE} は式(1)で算定できる。

$$F_{sE} = \frac{e_{12}-e_{123}}{\delta} E \quad (1)$$

この F_{sE} の算定には, $e_{12}=0.8$ (地点, 深度によらずほぼ一定), e_{123} , δ は実測値を用いた。

文献2)より, 一次元波動理論に基づく先端打撃力と測定先端荷重の差から求められる周面摩擦力の1波目の力積を継続時間 Δt で除して求めた平均 F_s を一次元波動理論による動的摩擦力とした。

4. 静的摩擦力と動的摩擦力の比較

以上の方法で求めた静的摩擦力 F_{s0} , トルク M_v で想定される静的摩擦力 F_{sMv} ($=2M_v/D_r$, D_r はロッド径), 動的摩擦力 F_{sE} , 平均 F_s の深度分布を図-4に示す。4地点で各摩擦力の大きさは異なるが, F_{s0} は深度方向にほぼ一定で, F_{sMv} は F_{s0} よりも大きく, 平均 F_s と F_{sE} に比べて明らかに過小である。また, 平均 F_s と F_{sE} は比較的近い値となっている。

図(1)の西岩田では, 深度12m以深で F_{sE} は平均 F_s よりも大きく, 特に19m以深の砂礫で大きい。砂礫では貫入量 δ がごく小さいためである(式(1)参照)。図(2)の越谷では, 鋭敏性の高い粘土のため, 他地点よりも摩擦力が小さく, 平均 F_s はややばらついている。図(3)の稲敷では, 深度14m以深で細粒分含有率が大きくなり, e_{123} の減少とともに F_{sE} は増加した。また, 砂質地盤であるためか F_{s0} が0に近くなった。図(4)の三軒家では, 他地点よりも摩擦力が大きく, 深度9m以深の粘土の F_{sE} は平均 F_s よりも大きくなった。

以上より, 動的摩擦力 F_{sE} と平均 F_s は比較的一致するが, F_{sE} は深度が深くなると大きくなる傾向があった。これはエネルギー損失を全て摩擦力とした仮定に問題があると考えられる。

打撃中の動的摩擦力としては平均 F_s が妥当と考えられる。一方, 円周方向の静的摩擦力 F_{sMv} は鉛直方向の F_{s0} よりも大きい, 鉛直方向の動的摩擦力よりも明らかに小さい。したがって, 実務で用いられている F_{sMv} による打撃回数の補正は過小といえる。ただし, F_{sMv} は平均 F_s , F_{sE} の約1/3程度であることから, 新たな補正方法が示唆される。今後さらにデータを蓄積して検討したい。

参考文献

- 1) 吉見・他: 大型動的コーン貫入試験の打撃効率の測定と打撃回数の補正(第2報), 第56回地盤工学研究発表会(投稿中), 2021.
- 2) 武野・他: 大型動的コーン貫入試験のロッドの周面摩擦力の測定(第2報), 第56回地盤工学研究発表会(投稿中), 2021.
- 3) 田中・他: 大型動的コーン貫入試験のロッドと地盤の静的周面摩擦力の測定例, 土木学会第73回年次学術講演会, III-159, 2018.
- 4) 段・他: 東大阪市西岩田地区での地盤調査(その1: 調査概要とボーリング結果), 第55回地盤工学研究発表会, No.21-6-1-01, 2020.
- 5) 中井・他: 埼玉県越谷市新川町での地盤調査結果(その1: 調査概要とボーリング結果), 第54回地盤工学研究発表会, No.0055, 2019.
- 6) 田中・他: 茨城県稲敷市浮島での地盤調査結果(調査概要とボーリング結果), 第54回地盤工学研究発表会, No.0112, 2019.
- 7) 坂口・他: 大阪市大正区三軒家での地盤調査一斉試験(その1: 調査概要とボーリング結果), 第56回地盤工学研究発表会(投稿中) 2021.

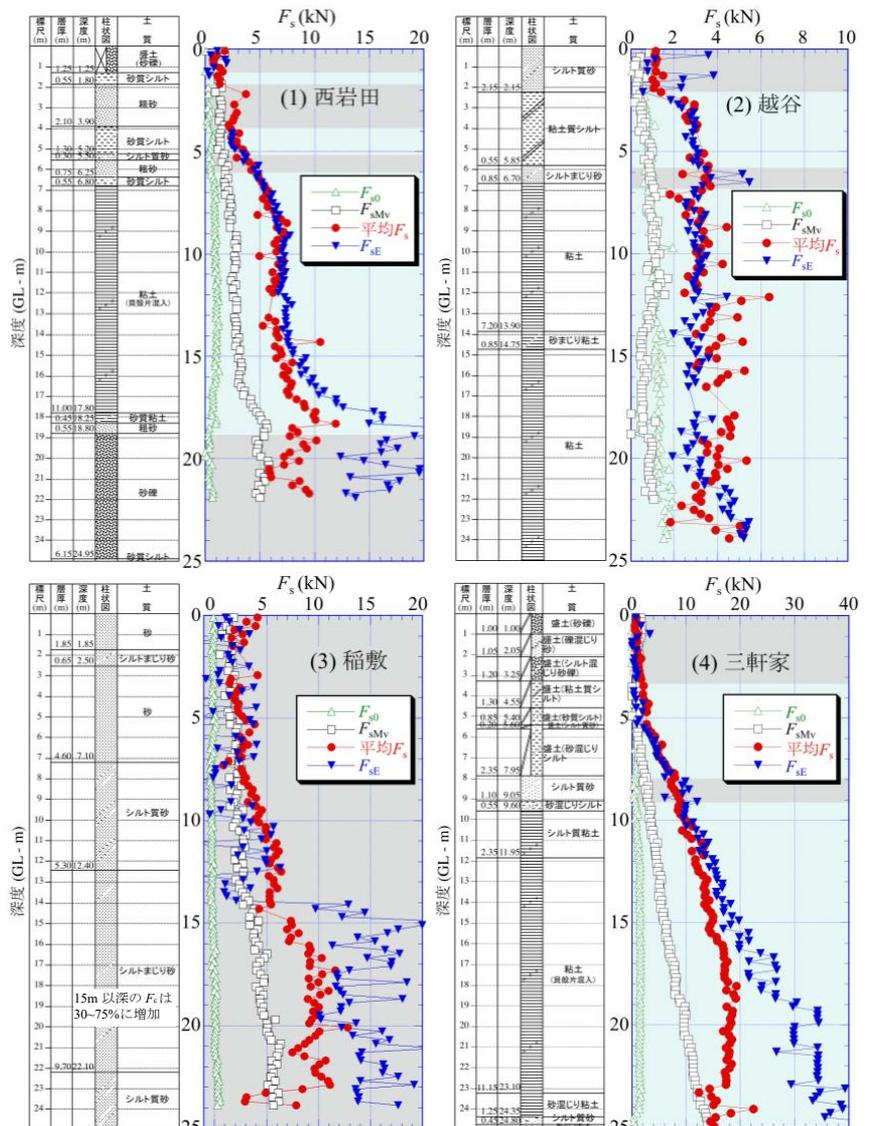


図-4 各地点の静的摩擦力と動的摩擦力の深度分布