

氏 名 高橋 秀一

学位の種類 博士 (工学)

学位授与年月日 2023年3月31日

学位論文名 大型動的コーン貫入試験の周面摩擦力を考慮した実用的な打撃回数の補正方法に関する研究

論文審査委員 主査 教授 大島 昭彦

副査 教授 谷口 徹郎

副査 教授 重松 孝昌

## 論文内容の要旨

大型動的コーン貫入試験 (H-DCPT) は、ハンマー打撃により、先端にコーンをつけたロッドを地盤に打ち込み、所定の貫入量毎の打撃回数から地盤の硬軟及び締まり具合を調べる試験である。ただし、地表面からロッドを連続して貫入させるため、ロッドと地盤との間に発生する周面摩擦力の影響が避けられない。そのため、所定の貫入後にロッドを水平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。補正した打撃回数  $N_d$  と標準貫入試験 (SPT) の  $N$  値と比較すると、砂質土では  $N_d \approx N$  となるが、粘性土でかつ深度が深くなるほど  $N_d > N$  の傾向が顕著になる。打撃による周面摩擦力が鉛直方向の動的摩擦力なのに対し、トルクによるものは水平方向の静的摩擦力であるため、現状の補正方法が正しいかどうかは不明であった。本論文の目的は、上記のような H-DCPT の  $N_d$  と SPT の  $N$  値との関係性を明らかにし、H-DCPT の高精度化をはかるとともに、住宅・建築業界における適用性を高めることである。

本論文では、H-DCPT のロッドと地盤の周面摩擦力の実態を明らかにし、適正かつ実用的な打撃回数の補正方法を提案する。そのため以下のとおり研究を進めた。

第1章では、まず、研究の背景として H-DCPT の建設業界における位置づけや有効性、採用事例を紹介した。次に、H-DCPT の試験結果に与える各種要因、液状化予測、打撃効率に関する既往の研究を紹介した。そして、本研究の目的を示し、論文の構成を述べた。

第2章では、本研究で使用したサウンディング調査方法 (SPT, H-DCPT)、室内せん断試験方法を述べ、H-DCPT 結果の整理方法を示した。さらに、本研究で過去 10 年間に行った日本全国の 32 調査地点とその地盤性状を示した。

第3章では、まず、日本全国 32 地点の H-DCPT の試験結果を示し、H-DCPT の  $N_d$  値と SPT の  $N$  値との関係を示した。次に、粘性土地盤を対象に非排水せん断強さ ( $q_v/2, s_{ub}$ ) と  $N_d$  値との関係を示した。最後に、試験後の試験孔の傾斜角を測定し、試験結果に与える傾斜の影響を考察した。

第4章では、H-DCPT のロッドの上部と先端に荷重計と加速度計を設置し、6 地点で打撃時の動的計測を行い、

ロッド上部と先端の打撃効率を算出するとともにそれに基づく打撃回数の補正と動的な周面摩擦力の算定を試みた。また、動的測定結果に次元波動理論を適用して動的な周面摩擦力を算定し、通常のトルク測定から想定される静的な周面摩擦力と比較した。

第5章では、H-DCPTのトルク測定により想定される静的周面摩擦力と打撃効率及び次元波動理論に基づく動的周面摩擦力との関係から、新たに実用的な補正打撃回数 $N_{dF}$ 、 $N_{dF}$ を提案した。さらに、補正打撃回数 $N_{dF}$ の妥当性を確認するため、過去に実施したH-DCPTの結果に適用し、SPTの $N$ 値との相関を示した。また、補正打撃回数 $N_d$ 値、 $N_{dF}$ 値と非排水せん断強さ $s_u$ 値との関係を示し、その相関性を示した。

第6章では、各章で得られた結果を要約し、本論文の結論とした。

## 論文審査結果の要旨

戸建住宅を含む小規模建築物の地盤調査は、スクリーウエイト貫入試験(SWS)で行うのが標準であるが、硬質土層や転石が存在する場合、杭状地盤補強の支持層(層厚、強度)を確認する場合など、SWS試験では貫入力不足となる地盤では大型動的コーン貫入試験(H-DCPT)を実施する事例が増えている。また、マンションやビルなどの一般建築物の地盤調査では標準貫入試験(SPT)が採用されるが、費用と工期の面からSPTを補間する目的や杭基礎全数の支持層を確認する目的でH-DCPTが用いられている。H-DCPTは63.5kgのハンマーを高さ500mmから自由落下させ、先端にコーンをつけたロッドを地盤に打ち込み、貫入量200mm毎の打撃回数から地盤の硬軟及び締まり具合を調べる試験である。ただし、地表面からロッドを貫入させるため、地盤とロッドの間の周面摩擦力の影響が避けられず、打撃回数が過大となる。そこで、打撃後にロッドを回転させた時のトルクを測定し、それによって補正した打撃回数 $N_d$ 値が一般に用いられている。しかし、動的貫入時の周面摩擦力の実態が不明なため、この打撃回数の補正方法の妥当性は検証されていない。このような背景の下、本論文は、H-DCPTの周面摩擦力を直接測定し、それを考慮した実用的な打撃回数の補正方法を提案し、住宅地盤の調査としてのH-DCPTを高精度化することを検討したものである。

まず、日本全国33地点で実施したH-DCPTの試験結果を示し、H-DCPTの通常の $N_d$ 値とSPTの $N$ 値との関係、粘性土地盤での非排水せん断強さ $s_u$ 値と $N_d$ 値との関係を示し、相関式を示している。さらに、試験後の試験孔の傾斜角を測定し、貫入したロッドの地中での傾斜の実態を示している。

次に、H-DCPTのロッドの上部と先端に荷重計と加速度計を設置し、6地点で打撃時の動的計測を行い、ロッド上部と先端の打撃効率を算出し、上打撃効率は深度によらず約80%であること、先端打撃効率は周面摩擦力の影響を受け、特に粘性土では10%以下となることを明らかにしている。また、動的測定結果に次元波動理論を適用して動的な周面摩擦力を算定し、通常のトルク測定から想定される静的な周面摩擦力との相関関係を求め、新たに実用的な補正打撃回数 $N_{dF}$ 値を提案している。さらに、 $N_{dF}$ 値の妥当性を確認するため、過去に実施したH-DCPTの結果に適用し、SPTの $N$ 値との対応関係を示している。土質によって $N_{dF}$ 値と $N$ 値の関係が異なったが、それは中実コーンのH-DCPTと中空サンプラーのSPTの貫入メカニズムの違いによって説明できることを示している。さらに、 $N_d$ 値、 $N_{dF}$ 値から $s_u$ 値を推定する相関式を示している。

以上のように、本論文の著者は、住宅地盤の調査としてのH-DCPT試験を高精度化するために、周面摩擦力を考慮した実用的な補正打撃回数 $N_{dF}$ を提案し、 $s_u$ 値の推定方法を示しており、その成果は地盤工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は、博士(工学)の学位を受ける資格を有するものと認める。