

外2-25

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

壁杭の水平抵抗に関する研究

申 請 者

茶 谷 文 雄

Fumio Chatani

平成 2 年 1 / 月

近年、都市部では、土地の高度利用を図るため、建築物が益々高層化かつ大規模化する傾向にある。このような重量建築物を軟弱な沖積層が堆積する地域に計画する場合、基礎として大径の場所打ちコンクリート杭やその先端部を拡大した拡底杭を使用することが多い。しかしながら、最近、連続地中壁工法によって施工した壁体状の場所打ちコンクリート杭、すなわち壁杭を使用する場合も増えてきた。この壁杭の特徴は、杭1本当たりの鉛直および水平耐力を大きくとることができること、また地下室がある場合は、山留め壁の一部と兼用できる利点があるほか、地下壁を介して杭に伝達される上部構造からの力の流れがスムーズとなることである。

壁杭の杭としての性能が本格的に検討された時期は比較的早く、昭和40年代の半ばであり、まず鉛直支持力に関して多数の載荷試験による検討がなされた。その結果、壁杭の鉛直支持力は、円形の場所打ち杭と同等に評価できることが明らかにされた。

一方、地震時を対象とした壁杭の水平抵抗に関する研究は、杭断面が大きいこともあり、皆無の状態であった。しかしながら、壁杭の断面形状を考慮すると、円形杭と異なり、杭の剛性および地盤の反力機構が面外と面内方向とで大きく異なり、水平力に対する壁杭の挙動も方向性を有すると推察される。

本研究では、このような壁杭の水平抵抗に着目し、まず、壁厚が一定で断面の長さが異なる種々の壁杭に対して水平載荷試験を実施し、面外および面内方向の水平挙動の特徴を明らかとした。次に、壁杭の実用的な水平抵抗の評価方法を検討、提示した。

本論文は7章で構成されており、その概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、研究の背景、既往の研究および本研究の目的について述べている。

第2章では、壁杭の水平載荷試験結果に基づき、面外および面内方向の水平挙動の特徴、さらに水平挙動に大きな影響を与える地盤の反力機構について究明している。

水平載荷試験は、砂地盤中に施工した実大の壁杭および武蔵野ローム層中に施工した大型模型の壁杭について、断面の辺長比（長さ／壁厚）を種々に変化させて実施している。これらの結果より、以下の事項を明らかにしている。

- 1) 面内方向の水平抵抗は、辺長比が大きな壁杭ほど、面外方向のそれに比して大となる。
- 2) 壁杭は、面外方向載荷では長い杭としての挙動を示す。これに対して、面内方向載荷の場合、杭の水平変位は杭先端での回転による剛体的変位に大きく

支配され、いわゆる短い杭としての挙動を示す。したがって、面内方向の解析においては、杭先端に回転バネの導入が必要である。

- 3) 壁杭に作用する地盤反力は、杭周辺地盤の挙動より、面外方向では杭前面の受働抵抗が、また面内方向では、杭両側面の摩擦抵抗が支配的となる。

第3章では、壁杭の頭部に水平力が作用した場合の解析方法について述べている。

本解析方法の特徴としては、杭の剛性および地盤反力が深さ方向に変化あるいは非線形性状を有している場合、それらの性状を導入できるよう、杭および地盤を深さ方向に層分割するとともに、杭先端に回転および水平移動を評価できるバネを導入していることである。

なお、本章では、第2章の壁杭の水平載荷試験結果を考慮し、以下の解析方法を検討、提示している。

- 1) 杭の曲げ変形を対象とし、杭材の塑性化による杭断面の剛性低下および地盤反力の非線形性状を導入した場合
- 2) 杭の曲げ変形に加えて剪断変形を考慮した場合（弾性解析）
- 3) 面内方向載荷において、壁杭の回転に伴い杭周面に作用する、鉛直方向の摩擦抵抗を考慮した場合（弾性解析）

第4章では、前章で提示した解析方法を用いて、壁杭の面内方向の水平挙動に及ぼす 1) 杭の剪断変形 および 2) 杭の回転に伴う地盤の鉛直摩擦抵抗の影響を解析的に究明している。

杭の水平挙動に与える剪断変形の影響は、曲げモーメントに対しては最大12%程度と小さいが、変形に対しては、杭頭が固定、杭先端がピン、また杭の根入れ深さ(L)に対する杭断面の長さ(D)の比(L/D)が2以下の場合に大きく現われている。

また、杭の回転に伴う地盤の鉛直摩擦抵抗の影響は、剪断変形の場合と異なり、杭の回転が大となる条件、すなわち杭頭が自由、杭先端がピンあるいは弾性固定、また(L/D)の比が2以下の場合に大きく現われている。

以上のように、剪断変形および鉛直摩擦抵抗の水平抵抗に及ぼす影響は、杭頭、杭先端の条件のみならず、(L/D)の値にも大きく支配されることを明らかにしている。

第5章では、壁杭の水平抵抗に大きな影響を与える地盤反力の特性を第2章で述べている水平載荷試験結果に基づき検討し、その実用的評価方法を提示している。

面外方向の地盤反力は杭前面の受働抵抗で、また面内方向に関しては、杭前面

の受働抵抗と杭両側面の摩擦抵抗の和として評価することを前提として、それぞれの評価式を提案している。

従来、実験的にも明らかにされていない摩擦抵抗は、受働抵抗の場合と同様に、第2章の実験結果から、水平変位の0.5乗に比例して増大する非線形性状を有することを明らかにしている。また、その基準となる変位1cm時の摩擦抵抗の値は、場所打ち杭の鉛直載荷試験時の周面摩擦力について検討を行ない、土質調査結果からの推定を可能にしている。

さらに、受働抵抗には、水平変位に加えて杭幅が大きな影響を与えるが、摩擦抵抗には杭幅の影響がきわめて少ないことを示唆している。

第6章では、水平載荷試験が実施された実大の壁杭に対して、第3章の解析方法また第5章の地盤反力の評価式に基づき解析を行い、本論文で提示している壁杭の水平抵抗の評価方法を総合的に検討している。なお、本解析では、壁杭の水平挙動に及ぼす杭の剪断変形および地盤の鉛直摩擦抵抗の影響は、第4章の解析結果からみて非常に小さいため、曲げ変形のみを対象としている。

実大実験における壁杭の面外方向の水平挙動には、地盤反力の非線形性状に加えて杭体のコンクリートの引張り亀裂発生による局部的剛性低下の影響が明確に現われる。この性状を、杭および地盤を層分割し、地盤反力および曲げ剛性の非線形性状を導入した本論文の解析結果はよく説明している。

これに対して、壁杭特有の面内方向の水平挙動の特徴は、杭先端の回転による剛体的変位が支配的となることである。この解析には、水平地盤反力として杭両側面に摩擦抵抗を、また杭先端には回転バネを導入しており、これによって、実測結果をよく説明できることを示している。

以上、本論で提示している面外および面内方向の地盤反力の評価式、さらにこれらを導入した解析方法は、設計に十分適用できることを明示している。

第7章では、本論文の結論を述べている。