

講座

杭基礎の鉛直荷重～変位特性の評価法入門

8. 講座を終えるにあたって

松本 樹典 (まつもと たつり)

金沢大学教授 工学部土木建設工学科

計14回にわたる講座「杭基礎の鉛直荷重～変位特性の評価法入門」は、今回で終わりを迎えた。本講座の目的の一つは、「講座を始めるにあたって」でも述べたように、基礎構造物の設計法が、従来の許容応力度設計法から限界状態設計法あるいは性能規定型設計法に移行しつつあることを念頭に置き、杭基礎の変形（鉛直荷重～変位関係）を評価する手法を提示することであった。

第2章で述べられているように、支持力をベースにした設計であっても、適切な部分安全係数を設定するには、荷重～変位関係を正確に把握あるいは予測する必要がある。

荷重～変位関係を評価する方法として、解析の手法と載荷試験による方法を取り上げた。第3章（その1）では、杭基礎の基本要素である単杭の荷重～変位関係の解析方法を紹介した。また、第3章（その2）では、解析で用いる地盤定数の評価に焦点を置いた。第4章では、実際の杭基礎構造物に数多く見られる群杭基礎やパイルド・ラフト基礎の荷重～変位関係の解析方法の現状を紹介した。パイルド・ラフト基礎は、決して新しい構造形式ではない。陸上に建設される杭基礎構造物のほとんどが、パイルド・ラフト基礎といっても差し支えないであろう。すなわち、実際には、鉛直荷重の一部分は、ラフト（スラブ、フーチング、パイルキャップ）の底面によっても、受け持たれている。このような実際のラフトと杭の荷重分担を適切に考慮して、杭基礎構造物の設計を行おうとするのが、パイルド・ラフトとしての設計である。パイルド・ラフト基礎にしたからといって、変形・支持力特性が画期的に改良された基礎構造物ができるわけではない。パイルド・ラフト基礎としての解析や設計を行うことで、群杭と同じ変形・支持力特性を確保するには、群杭に比べて杭の使用量を大幅に削減することも可能であり、また同じ量の杭を使用するなら、群杭とは異なった杭配置を行うことで、変形量や不等変位量を大幅に低下させることが可能となる。パイルド・ラフト基礎を採用していくには、支持力の評価のみではなく、ある許容変位量以下の範囲で、正確にラフトと杭の荷重分担や変形特性を評価することが不可欠である。

第3章および第4章で紹介した荷重～変位関係の解析手法のレベルは、それなりに高いレベルにあるといってもよいであろう。しかし、これらの解析方法が設計段階において、ほとんど使われていないことも事実である。この理由の一つには、載荷直前の地盤の応力状態（初期応力状態）が既知であるということが、解析を行うときの前提となっていることが挙げられる。

表—8.1 講座「杭基礎の鉛直荷重～変位特性の評価法入門」掲載一覧

回数	章 標 題	執筆者	掲載号・ページ
1	1. 講座を始めるにあたって	松本 樹典	1999年 7月号, 57～59
	2. 杭基礎の現行設計法と今後の動向（その1）	桑原 文夫 鈴木 誠 奥村 文直	7月号, 60～62
2	2. 杭基礎の現行設計法と今後の動向（その2）	桑原 文夫 鈴木 誠 奥村 文直	8月号, 53～58
3	3. 解析による単杭の荷重～変位特性の評価方法（その1）	桑原 文夫 堀越 研一	9月号, 55～60
4	3. 解析による単杭の荷重～変位特性の評価方法（その2）	桑原 文夫 堀越 研一	10月号, 59～63
5	4. 解析による群杭およびパイルド・ラフトの荷重～変位特性の評価方法（その1）	山下 清 堀越 研一	12月号, 55～60
6	4. 解析による群杭およびパイルド・ラフトの荷重～変位特性の評価方法（その2）	堀越 研一 山下 清	2000年 1月号, 51～56
7	4. 解析による群杭およびパイルド・ラフトの荷重～変位特性の評価方法（その3）	堀越 研一 山下 清	2月号, 47～52
8	5. 載荷試験による荷重～変位特性の評価方法（その1）	青木一二三 林 正宏 加藤 一志	3月号, 49～54
9	5. 載荷試験による荷重～変位特性の評価方法（その2）	青木一二三 林 正宏 加藤 一志	4月号, 46～50
10	5. 載荷試験による荷重～変位特性の評価方法（その3）	青木一二三 林 正宏 加藤 一志	5月号, 41～46
11	6. 杭基礎の施工に伴う杭体および周辺地盤の応力変化	大谷 順 菊池 喜昭	6月号, 41～46
12	7. 杭基礎の設計における不確実性の評価法（その1）	本城 勇介 鈴木 誠	7月号, 47～51
13	7. 杭基礎の設計における不確実性の評価法（その2）	鈴木 誠 本城 勇介	8月号, 35～38
14	7. 杭基礎の設計における不確実性の評価法（その3）	鈴木 誠 本城 勇介	9月号, 41～42
	8. 講座を終えるにあたって	松本 樹典	9月号, 43～45

杭基礎を施工する前の地盤の応力状態を正確に評価することも、未だ難しいであろうが、第6章で述べられているように、杭基礎施工による地盤の応力状態の変化や施工後の経過時間に伴う地盤の応力状態の変化を評価することは、さらに難しい問題である。すなわち、地盤が弾性挙動を示す荷重～変位関係の初期を除けば、解析手法のみによって、極限荷重までの荷重～変位関係を高い精度で求めることは、非常に困難である。ただし、限界状態設計法や性能規定型設計法においては、初期の荷重

講座

～変位関係は、有用な情報であることは確かである。

ここまで本講座を振り返ってみて、以前の講座「場所打ち杭・埋込み杭の支持力と設計」¹⁾が「土と基礎」に掲載されたちょうど10年前から比べて、杭基礎の設計の実際がどのように変わったのだろうかということに、気持ちが捕われた。以前の講座の最終回（第8章 座談会）で、変形を考慮した支持力、限界状態設計法や部分係数の導入、荷重伝達と沈下、地盤の評価法、上部構造物との一体解析といったように、本講座でも取り上げたほとんどの問題の重要性が、既に指摘されている。この10年間に杭基礎の設計は、改善されたのか。筆者自身の答は、「no」である。確かに、本講座では、より進んだ解析手法や地盤定数評価法が紹介されている。しかし、実際の杭基礎設計のほとんどは、10年前から何も変わっていないといっても過言でないであろう。鉛直荷重を受ける杭基礎の設計では、相変わらず支持力ベースの設計であり、設計に用いる地盤定数は、 N 値あるいは一軸圧縮強さ q_u 値のみである。 q_u 値でさえ、 N 値から推定されていることもままであろう。これは、第2章でも説明したように、各機関の設計基準がこのような形式になっていること、発注者が標準貫入試験以外の地盤調査をあまり好まないこと、現在の設計法に頼れば設計者が容易に設計が実施できること、などの理由に加えて、先に述べたように、解析的な方法のみでは、極限荷重までの荷重～変位関係を高い精度で求めることは、非常に困難であることが大きな理由である。適切な地盤調査や土質試験を行って、杭の施工段階からの地盤の変形解析、さらに基礎構造物に外力が作用したときの変形解析を行って、設計を行うことは理想である。しかし、このためにはまだ研究課題が残されており、現状では、このような設計を行うことは難しい。

本講座のもう一つのねらいは、載荷試験（原位置試験）に基づく設計の可能性を提示することであった。静的載荷試験結果は、設計者にとって、有益な情報である。しかし、費用や時間的制約のため、静的載荷試験の実施が制約される場合が多い。しかし、現在では、第5章で紹介されているように、先端載荷試験、動的載荷試験、急速載荷試験など、費用や試験時間の面で有利な載荷試験方法が開発され、実用化されている。これらの試験方法は、「杭の鉛直載荷試験方法」の改正案²⁾にも、組み込まれている^{注1)}。急速載荷試験の実施や解析においては、世界的に日本がリードしている立場にある³⁾。これらの試験では、測定データの解析が必要とされるため、推定した荷重～変位関係は、静的載荷試験結果とは多少の差はあるものの、短期間でかつ廉価に実施できるため、一つの現場で多数の杭の荷重～変位関係を得ることができる。しかし、筆者自身は、載荷試験結果が設計に有効に生かされているとは、思っていない。土木構造物基礎の場合、載荷試験が実施されたとしても、多くの設計者は、測定支持力が現行の設計基準を超えていることに安心し、

結局は現行の設計基準に基づいて設計を行うからである。おそらく、これは発注者もそれを望んでいることによるものであろう。載荷試験結果を合理的に設計に取り入れる必要性、重要性が第7章で述べられている。第7章で紹介されているような、信頼性理論に基づく方法は、限界状態設計法や性能規定型設計法を導入するに当たって、設計者に必要な知識である。

第7章に述べられているような設計方法の導入の前段階として、もっと単純な載荷試験結果の利用もあり得よう。例えば、静的載荷試験による極限支持力に現状の全体安全率 $F_s=3$ を考慮して設計支持力を決定する方法である。急速載荷試験では $F_s=3.2$ 、動的載荷試験では $F_s=3.5$ としても構わないであろう。設計支持力を考える基準値を、現行の設計基準から決めるのではなく、載荷試験結果から決定するといった方法もあろう。極論すれば、この場合、支持力設計基準は不必要となる。どのような杭工法を採用するにせよ、現場での載荷試験によって支持力を求め、それから設計支持力を決定する方がより合理的であるに違いない。いずれにしても、載荷試験結果を設計において合理的に利用するには、杭の施工量に対して費用を支払うのではなく、地盤調査・土質試験費用と得られた支持力値（要求性能）に対して費用を支払うといった考え方（制度）が必要であろう。

地盤調査・土質試験結果に基づいて、土質力学計算から杭の荷重～変位関係を正確に予測できることが理想である。実際、本講座で紹介されているように、このような観点からの研究が進められている。また、載荷試験についても、杭全数に対して実施できることに越したことはない。しかし、前者については、研究は現在発展途上にあり、後者については、経済性の観点からすれば、実際に行うことは難しい。しかしながら、現在では、地盤調査・土質試験、載荷試験、力学的解析手法、確率的手法を適切に組み合わせることによって、これまでのように杭設計基準に頼り過ぎていた感がある杭設計法から、より合理的な杭設計、施工管理、品質管理を行える環境が整ってきているといえよう。

本講座を完成するにあたって、執筆者各位には大変なご尽力をいただいた。また、本講座の担当委員であった武井正孝氏（西松建設㈱）をはじめとして、講座委員会の担当者各位には、原稿の読み合わせ、チェックなど、多くの労力を割いて種々の意見をいただいたことを記し、感謝の意を表する。

参考文献

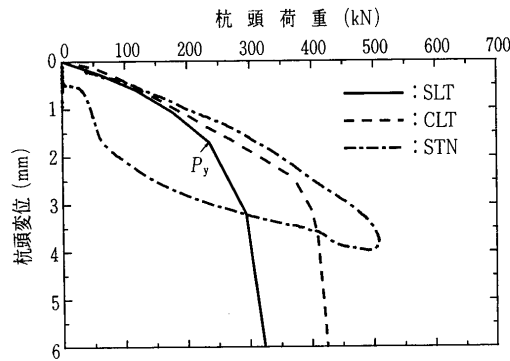
- 1) 岸田英明ほか：講座 場所打ち杭・埋込み杭の支持力と設計、土と基礎、Vol. 37, No. 4～Vol. 38, No. 6, 1989～1990.
- 2) 地盤工学会基準部：地盤工学会基準「杭の鉛直載荷試験方法」の改正案について、土と基礎、Vol. 47, No. 12, pp. 67～84, 1999.
- 3) Proc. of 2nd International Statnamic Seminar (Edited by Kusakabe, Kuwabara & Matsumoto), Balkema, 1998.

注1) 「杭の鉛直載荷試験方法」の改正案では、動的載荷試験を衝撃載荷試験と称している。

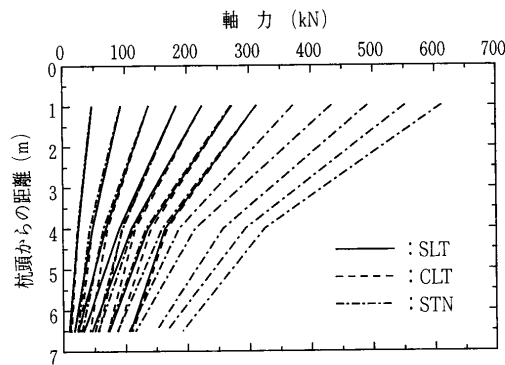
本講座担当講座委員：武井正孝，関根悦夫，大谷 順，
加藤陽一，長尾俊昌，前村庸之

訂正

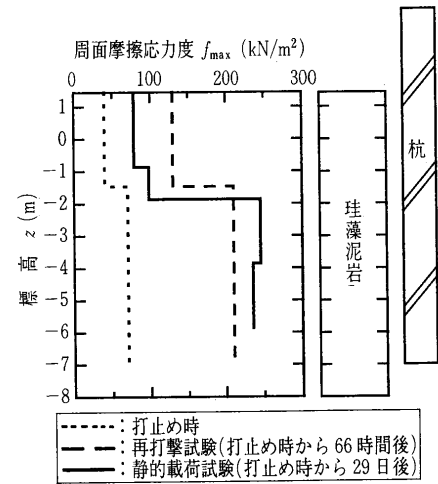
図—5.32，図—5.33，図—5.42，図—5.43の凡例および
図—6.2の一部に誤植がありました。以下の図に訂正し
てください。



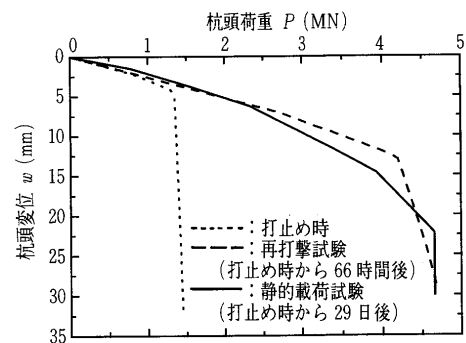
図—5.32 試験結果：杭頭の荷重～変位関係³⁶⁾



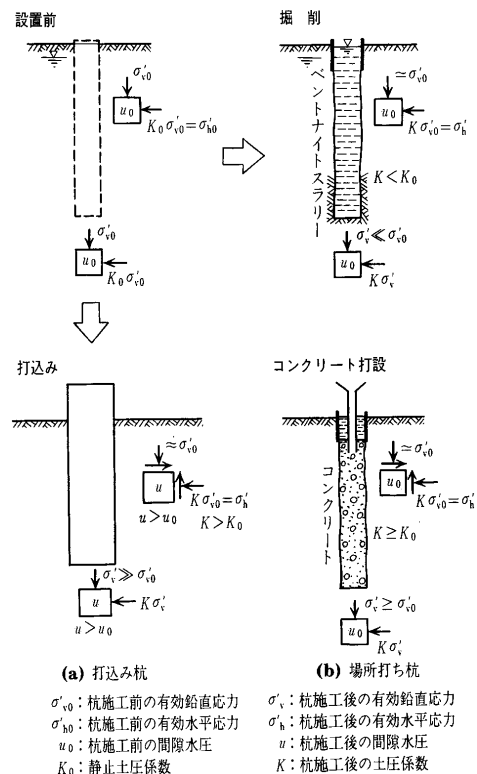
図—5.33 試験結果：軸力分布図³⁶⁾



図—5.42 波形マッチング解析結果から得られた周面摩擦
応力分布と静的載荷試験結果³⁴⁾



図—5.43 動的載荷試験から得られた荷重～変位関係と静
的載荷試験結果³⁴⁾



図—6.2 杭の施工に伴う地盤内応力変化²⁾