

岩盤に支持された杭の模型実験による動的支持力と静的支持力の比較

国立研究開発法人土木研究所 ○河野 哲也, 宮原 清, 七澤 利明

1. 目的 杭の動的載荷実験は、静的載荷実験に比べ、支持力特性を簡便に評価できる手法として着目されている。特に載荷実験が少なく、支持力推定式が提案されていない岩盤を支持層とする杭の場合には、動的載荷実験により支持力特性を評価することで合理的な設計が可能になると考えられる。ただし、道路橋基礎の場合、現在の設計法が静的載荷実験により評価された支持力特性に基づいて定められている¹⁾一方で、動的載荷実験で得られた支持力特性と静的載荷実験で得られた支持力特性の関係性が明確とはなっていない。そこで筆者らは、モルタルで岩盤を模した地盤を作成し、これに支持される杭に対して静的載荷実験及び動的載荷実験を実施し、両者の支持力特性を調べた。

2. 実験方法

2. 1 実験概要 図-1 に模型実験の概要図を示す。本実験は、直径 1 [m]、高さ 830 [mm]の鋼製土槽内に岩盤を作成し、その中心に設置した杭の頭部に静的、もしくは動的な荷重を作用させるものである。作成した岩盤の高さは 700 [mm]で、杭先端は 1D (D:杭径) 分、岩盤に根入れさせた。表-1 に実験ケースを示す。実験は、地盤の硬軟の影響を評価することを目的として、地盤強度を硬岩相当 (一軸圧縮強度 $q_u = 20$ [MN/m²] を想定) にした場合 (HS) と軟岩相当 ($q_u = 5$ [MN/m²] を想定) にした場合を行った。また、動的載荷実験時の地盤の過剰間隙水圧の影響を確認するため、軟岩に対しては飽和 (SS) と不飽和 (SU) の 2 ケースを実施した。

いずれのケースにおいても、実験杭は杭径D89.1 [mm]、板厚10 [mm]、長さ900 [mm] (材質SM400相当) の先端閉塞の鋼管を使用した。地盤の破壊に先行して杭が破壊しないように、杭の降伏強度は $3q_u$ 以上となるように235 [MN/m²] とした。

計測項目は、動的載荷実験については杭頭の荷重・変位・加速度、杭先端の荷重・加速度、静的載荷実験については杭頭の荷重・変位、杭先端の荷重・変位である。また、動的・静的実験ともに、飽和のケースについては、杭先端地盤の間隙水圧を計測した。

2. 2 地盤の作成 地盤材料は硬岩を想定した材料としてモルタル、軟岩としては粘土を用いたソイルセメントとした。飽和させるケースについては、養生中に土槽内に水を注入した。なお、土槽の内

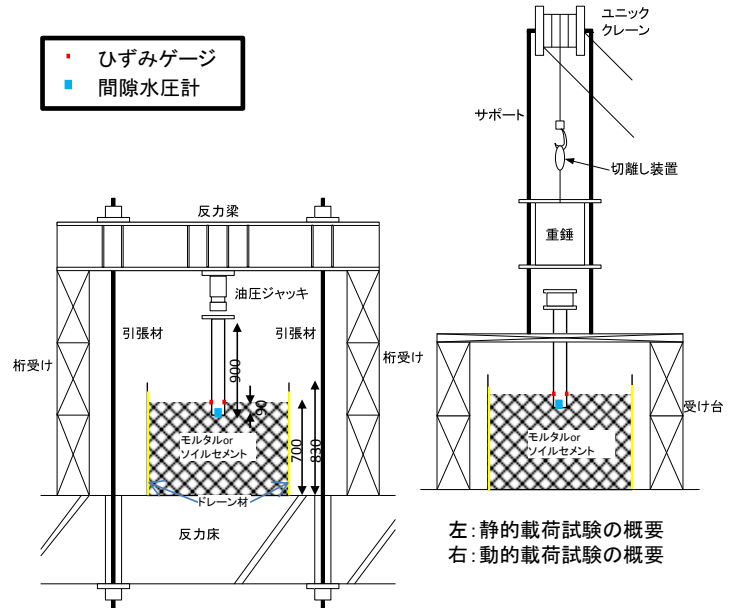


図-1 実験概要及び計測概要

表-1 実験ケース

実験ケース	岩盤分類	載荷種類	養生環境
HS-S	硬岩 (飽和)	静的	水中
HS-D		動的	
SS-S	軟岩 (飽和)	静的	
SS-D		動的	
SU-S	軟岩 (不飽和)	静的	気中
SU-D		動的	

表-2 各ケースの材料、配合、養生環境、一軸圧縮強度 q_u 、変形係数 E、飽和度 S_r

Case	材料	配合	q_u [MN/mm ²]	E [MN/m ²]	S_r [%]
HS	モルタル	S/C = 3, W/C = 69%	18.9	2.48	76.1
SS	ソイルセメント	S/C = 1.6 W/C = 180%	5.1	0.80	98.1
SU			6.4	0.73	67.9

側にドレーン材を貼るにより、飽和条件の場合は水との接触面積を増やして飽和を促進し、不飽和条件の

キーワード 模型杭, 岩盤, 動的載荷実験, 静的載荷実験, 支持力特性

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

場合は空気との接触面積を増やし乾燥を促進させた。地盤材料の配合、養生 29 日～31 日の間に実施した一軸圧縮実験の結果と、実験終了後に供試体から採取した地盤材料に対して行った物理実験で得られた飽和度を表-2 に示す。 q_u の値は、概ね想定した通りであった。また、飽和条件の SS は、不飽和の SU に比べて飽和度が高くなっており、飽和度の違いが再現できたと考えられる。

2.3 載荷の方法 静的載荷実験は土槽上側に設けた梁を反力として、油圧ジャッキで載荷した。載荷は、硬岩に対しては 50 [kN] ピッチ、軟岩に対しては 10 [kN] ピッチで増加させることとし、新規荷重時には 3 分間の荷重保持を行った。動的載荷実験は、杭頭に 10 [mm] のクッション材を敷いた上で、重錘落下方式により載荷した。

3. 実験結果 図-2 に、静的載荷実験で得られた荷重変位関係の骨格曲線と、動的載荷実験で得られた荷重変位関係及び除荷点法により整理した結果を示す。また、表-3 に、動的載荷実験の除荷点法の結果と静的載荷実験の結果をワイブル曲線で近似した結果に基づいて評価された極限支持力 R_u と、 R_u の静的／動的の値を示す。なお、表-3 に示した極限支持力の値は、文献 2) に従い、杭頭変位が 0.1D 以下の範囲で計測された最大値として評価したものである。

図-2 に示すように、いずれのケースにおいても、初期勾配は、静的載荷実験の結果と動的載荷実験を除荷点法で整理した結果で近似している。極限支持力は、静的載荷実験で得られた極限支持力は、動的載荷実験で得られた計測結果から除荷点法により評価される極限支持力よりもやや大きな値が得られている。ただし、Case SS については、動的載荷実験と静的載荷実験の極限支持力の値はほぼ同じである。これは、過剰間隙水圧の発生によって有効応力が変化したことが影響している可能性がある。その一方で、Case SS の動的載荷実験においても静的載荷実験の結果を上回るような結果は得られておらず、岩盤の場合には、動的載荷実験により支持力を危険側に評価する可能性は低いものと考えられる。

図-2 に示すように、いずれのケースにおいても、初期勾配は、静的載荷実験の結果と動的載荷実験を除荷点法で整理した結果で近似している。極限支持力は、静的載荷実験で得られた極限支持力は、動的載荷実験で得られた計測結果から除荷点法により評価される極限支持力よりもやや大きな値が得られている。ただし、Case SS については、動的載荷実験と静的載荷実験の極限支持力の値はほぼ同じである。これは、過剰間隙水圧の発生によって有効応力が変化したことが影響している可能性がある。その一方で、Case SS の動的載荷実験においても静的載荷実験の結果を上回るような結果は得られておらず、岩盤の場合には、動的載荷実験により支持力を危険側に評価する可能性は低いものと考えられる。

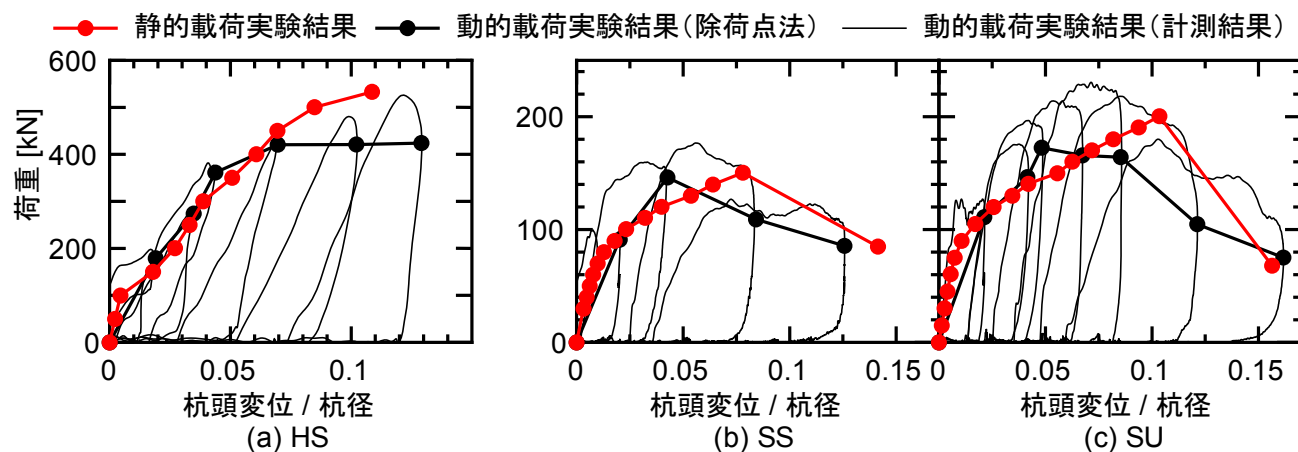


図-2 実験結果

4. まとめ 本文では、模型杭を対象として検討を行ったが、実大規模の杭や実地盤における挙動については明らかでないため、筆者らは現在、原位置における実杭に対して、本文と同様に静的載荷実験と動的載荷実験の比較実験を行っている。これらの検討結果を踏まえて、動的載荷実験による支持力特性評価法を提案していきたい。なお、本研究は、日本鉄鋼連盟の平成 27 年度助成事業により行われたものである。ここに謝意を示す。

参考文献 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2012.3. 2) 中谷昌一，白戸真大，河野哲也，中村祐二，野村朋之，横幕清，井落久貴：性能規定体系における道路橋基礎の安定照査法に関する研究，土木研究所資料 4136 号，2009.3.