

Ⅲ-B220

杭式深層混合処理地盤の支持力に関する遠心模型実験

運輸省港湾技術研究所 正会員 北詰 昌樹

運輸省第三港湾建設局 正会員 宮島 正悟

運輸省港湾技術研究所 正会員 山本 浩司

1. まえがき

深層混合処理工法(DMM)によって軟弱地盤の改良を行う場合、処理土の形態によって、ブロック式、格子式、壁式、杭式のように分類される。このうち杭式DMMは、水平荷重に対する抵抗力が小さいことが予想されるため、波力や地震による大きな水平力が作用する港湾構造物への適用事例は多くないのが現状である。しかし近年、より経済的なDMMの開発・設計法の確立が求められる中で、処理土の体積が小さい杭式DMMの必要性が高まっている。そこで筆者らは杭式DMMにより改良された地盤の挙動について検討を進めている。

本報告では、模型地盤に作用する外力の条件および杭状の処理土(DM杭)の強度を変えて遠心模型実験を行い、杭式DMMによる改良地盤の支持力ならびに破壊パターンについて検討した。さらに、修正フェレニウス法による円弧すべり解析の結果との比較検討を行った。

2. 模型実験

本研究における模型実験は、遠心模型実験装置を用いて30gの遠心加速度場で実施した。使用した模型地盤の概略図を図-1に示す。なお、模型地盤作製の詳細についてはKitazume et al.¹⁾に記載されている。

載荷実験は、模型地盤に作用する外力の条件およびDM杭の強度を変え、表-1に示すように合計6ケースについて行った。表中、DMMT2, 6の各ケースでは、モータージャッキによりフーチングに鉛直方向の荷重を加える鉛直支持力実験を実施した。その他のケースでは、ケーソンの自重により鉛直荷重をかけ、水平方向の荷重をケーソンに加える傾斜支持力実験を実施した。いずれのケースも、非排水、平面ひずみ条件の下で実施した。載荷中には載荷点における変位、荷重を計測した。遠心加速度場での載荷終了後、模型を解体し、地盤の変形とDM杭の破壊のパターンを直接観察した。

3. 実験結果と考察

(1) 荷重と変位の関係について

載荷中の荷重と変位の関係を、鉛直支持力実験について図-2に示す。変位の増加に伴って荷重は急激に増加し明瞭なピークを示している。これより、杭式深層混合処理地盤は脆性的な挙動を示すことが分かる。

鉛直支持力実験および傾斜支持力実験におけるピーク値の鉛直(V)成分、水平(H)成分を表-1に併せて示した。なお各ケースでDM杭の圧縮強度(q_u)が異なっているため、両成分ともに q_u およびケーソン下のDM杭の断面積(A)によって無次元化して示している。

(2) 破壊パターンについて

図-3に鉛直支持力実験(DMMT2)実験後に撮影された破壊パターンを示した。ケーソン直下の杭(中央4列)にはせん断破壊が見られ、基礎中央に対称なくさび形の地盤の貫入が見られる。また、そのくさびの両側では、せん断破壊ではなく脆性的な曲げ破壊が見られる。

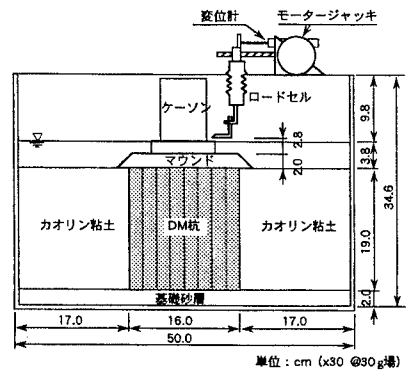


図-1 模型地盤の概略(傾斜支持力地盤)

表-1 実験ケース一覧

実験名	処理土強度 q_u [kPa]	改良率 A_v [%]	断面積 A [cm ²]	破壊荷重鉛直成分 V [kN]	破壊荷重鉛直成分 $V/(q_u \cdot A)$	破壊荷重水平成分 H [kN]	破壊荷重水平成分 $H/(q_u \cdot A)$
DMMT1	510	56	50.3	1.235	0.4808	0.1485	0.0575
DMMT2	743	79	71.1	2.790	0.5288	—	—
DMMT3	862	79	71.1	1.192	0.2985	0.2458	0.0615
DMMT4	304	70	71.1	0.869	0.4025	0.1738	0.0805
DMMT5	209	79	71.1	0.598	0.4001	0.1401	0.0945
DMMT6	555	79	71.1	1.690	0.5048	—	—

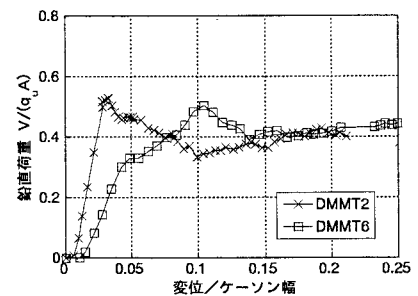


図-2 荷重と変位の関係(鉛直支持力実験)

キーワード： 支持力, 破壊, 土質安定処理, セメント, 模型実験

〒239 横須賀市長瀬3-1-1 TEL 0468-44-5023 FAX 0468-41-8098

図-4に示した傾斜支持力実験（DMMT4）の破壊パターンでは、破壊面が直線的な形状を示していた。このケースでは、杭の変形からは明瞭なせん断破壊モードは見られない。

以上の観察から、DM杭の破壊は外力条件のみでなく各杭の場所によっても異なった破壊モードを示すことが分かった。

（3）降伏曲面について

破壊荷重の鉛直成分および水平成分を、 $q_u \cdot A$ により無次元化して図-5に示した。実験結果は、 V 成分の増加とともに H 成分が増加し、 V 成分最大値の50～75%付近で H 成分が最大をとり、さらに V 成分が増加すると H 成分は減少する傾向を示している。このように、破壊荷重の V 成分および H 成分は葉巻型の降伏曲面を形成している。

得られた降伏曲面の解析的な評価を試みるため、修正フェレニウス法による円弧すべり計算を行った。計算では、 q_u の $1/2$ の値をDM杭のせん断強度として用いている。

まず、破壊モードとしてせん断破壊のみを考慮した場合の計算を実施した。その結果得られた降伏曲面を図-5中に a-1として示したが、非常に大きい破壊荷重を示しており、実験結果を妥当に評価しているとは言えない。同図 a-2はせん断強度として残留強度（ q_u の80%²⁾と仮定）の $1/2$ を用いた結果を示しているが、やはり実験結果を過大評価している。実験の結果得られた V 成分と一致させるため、 q_u の35%の $1/2$ を用いた結果を同図 a-3として示した。この場合には、依然として H 成分を過大評価していることが分かる。これらのことから、円弧すべり解析において、せん断破壊モードを考慮するのみでは実験で得られた破壊面を合理的に説明することができないことが分かる。

次に、各杭の破壊モードの違いを考慮する解析を試みた。実験後の地盤の変形をもとに、各ケースでの各杭の破壊パターンをせん断破壊・曲げ破壊のいずれかに分類した。解析ではせん断破壊モードに分類された杭のせん断強度は q_u の $1/2$ とし、曲げ破壊モードに分類された杭のせん断強度は杭の曲げ強度（ q_u の10%³⁾と仮定）とした。これら2つの強度を用いた解析の結果を図-5中に b-1として示した。この結果は V 成分の広い範囲にわたって、実験値と比較的良好一致を示す傾向が見られる。

以上実施した解析は、各杭の破壊モードと強度について単純かつ大胆に割り切った推定に基づいているものの、その結果から、改良地盤の支持力を推定するためには、各杭の破壊モードを考慮することが重要であることが明らかになった。

4. まとめ

本研究の結果得られた知見をまとめると次のとおりである。

- 1) 破壊荷重の鉛直・水平成分により葉巻型の降伏曲面が形成される。
- 2) 杭状の処理土の破壊に際して、杭の場所によりせん断破壊と曲げ破壊の2つのモードが存在する。
- 3) 改良地盤の支持力を推定するためには、外力条件のみでなく各杭の破壊モードを考慮することが重要である。

参考文献

- 1) Kitazume, Ikeda, Miyajima & Karastanev: Bearing capacity of improved ground with column type DMM, Proc. of IS-Tokyo'96, 1996.5.
- 2) Tatsuoka & Kobayashi: Triaxial strength characteristics of cement treated soft clay, Proc. of th European Conference on SMFE, Vol.1, pp.421-426, 1983.
- 3) 寺師・田中：深層混合処理工法による杭状改良地盤の支持力および圧密特性，港湾技術研究所報告，第22巻，第2号，pp.213-266，1983.6.

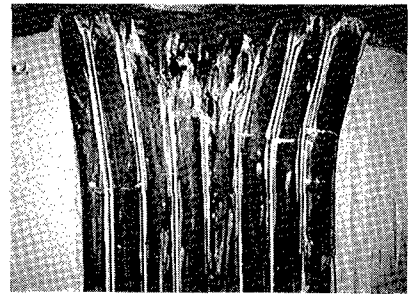


図-3 鉛直支持力実験後の破壊パターン (DMMT 2)



図-4 鉛直支持力実験後の破壊パターン (DMMT 4)

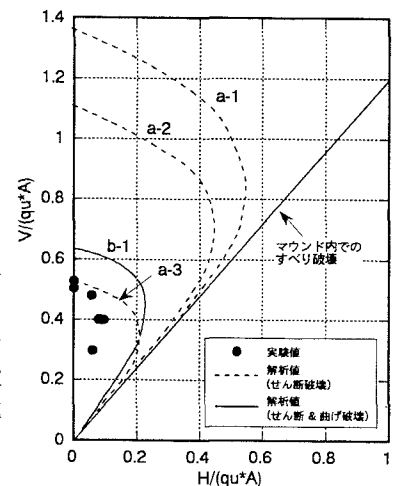


図-5 降伏曲面と円弧すべり解析結果