

## ワイブル曲線を用いた洗掘被災直接基礎の荷重変位関係のモデル化

中央大学大学院 学生会員 ○佐々木 優奈 学生会員 平野 萌果  
 中央大学 正会員 西岡 英俊

### 1. はじめに

近年の豪雨災害の増加に伴い、河川橋脚の直接基礎の洗掘被害が増加している。早期に応急復旧するためには、被災した基礎の残存支持力の大きさを迅速かつ必要十分な信頼性で評価して再供用の可否を判断する技術が必要とされる。これまでに小規模な載荷試験での計測結果を用いたベイズ推定によって被災後残存支持力を推定する手法が提案<sup>1)</sup>、検証<sup>2)</sup>されている。この手法では、洗掘後の直接基礎の荷重変位関係をワイブル曲線によりモデル化しているが、そのモデル化の妥当性を検証する事例は、砂地盤での模型実験 2 ケースのみとなっており、その拡充が必要と考えられる。本報では、洗掘を模擬した直接基礎のアルミ棒積層地盤でのパラメトリックな模型実験結果を対象に、ワイブル曲線によるモデル化を行ってその妥当性を検証した結果について報告する。

### 2. 洗掘後の直接基礎の荷重変位関係のモデル化

直接基礎の荷重変位関係は、地盤材料の非線形性に起因して載荷初期から変位の増加に伴って徐々に非線形化して、最終的に地盤全体が塑性化して極限支持力に達するという滑らかな曲線となる。このような曲線状の荷重変位関係のモデル化手法の一つとしてワイブル曲線があり、杭の鉛直地盤抵抗のモデル化などで適用されている。

西岡らは、洗掘後の直接基礎の荷重  $P$  (死荷重  $D$  で正規化) と変位  $S$  (基礎幅  $B$  で正規化) の荷重変位関係は、洗掘による残留変位を考慮して、通常の 3 パラメータで規定されるワイブル曲線に対して、原点をシフトするパラメータ 1 つを追加した式(1)でモデル化することを提案した<sup>1)</sup>。

$$\frac{P}{D} = \frac{P_u}{D} \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{S/B - S_0/B}{S_s/B} \right)^m \right] \right\} \quad (1)$$

ここで、 $P_u$ : 最大荷重、 $S_s$ : 基準変位 (荷重が  $P=0.63P_u$  に達する時点での変位)、 $m$ : 変位指数、 $S_0$ : 洗掘によ

って生じる初期変位である。

本研究では、異なる 2 種類の粒度分布 (礫相当の粒径の有無) の模型地盤で、基礎幅に対する局所洗掘幅の割合 ( $W_s/B$ ) が 20% から 50% までの異なる洗掘規模をそれぞれ模擬した場合と、洗掘を模擬しない地盤 (通常地盤) で実施した模型直接基礎の支持力実験<sup>3)</sup>の結果 (全 10 回) に対して、式(1)のワイブル曲線を用いてフィッティングを行った。具体的には、図-1 に示す全 10 回の実験データに対して、各プロットの荷重と、それに対応した式(1)により計算される推定荷重の誤差を最小化するように 4 つのパラメータを最小二乗法により算出した。

### 3. 変位指数のフィッティング結果

ここでは、式(1)の 4 つのパラメータのうち、具体的な意味が最もイメージしにくい変位指数  $m$  に着目する。変位指数  $m$  は荷重変位関係の形状を決定するパラメータであり、 $m$  が 1.0 を下回って 0 に近づくほど初期剛性が高く、途中から急激に剛性低下する

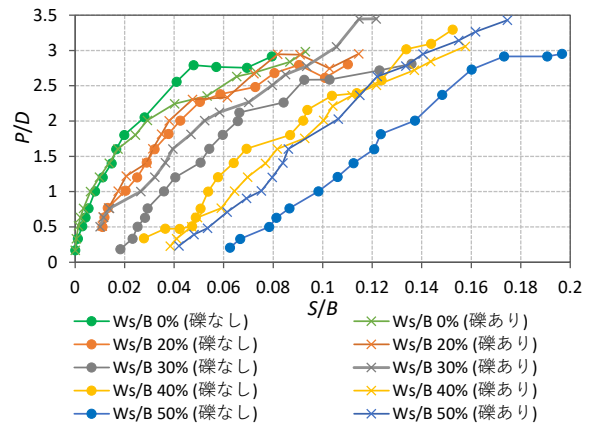


図-1 フィッティングに用いた実験データ

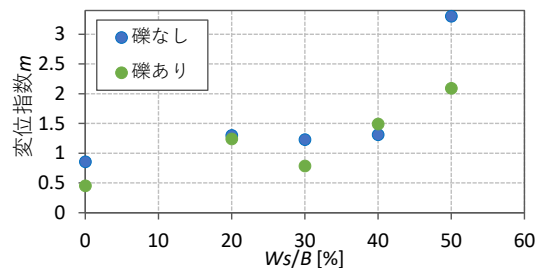


図-2 変位指数  $m$  と局所洗掘幅  $W_s/B$  の関係

キーワード ワイブル曲線, モデル化, 洗掘, 荷重変位関係, 直接基礎

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎・地下構造研究室 TEL : 03-3817-1804

剛塑性的な曲線となり、 $m$  が 1.0 を上回って 3.0 程度となると途中から反りあがるような曲線となる。

最小二乗法で実験結果にフィッティングされた変位指数  $m$  と局所洗掘幅  $W_s/B$  の関係を図-2 に示す。

図-2 より、局所洗掘幅の増加に伴って変位指数  $m$  が増加していることがわかる。これは、洗掘による被災規模が大きくなるほど、荷重変位関係が途中から反りあがるような傾向が強くなることが反映されているためと解釈できる。

4. モデル化パラメータ数削減の検討

前述したベイズ推定によって被災後残存支持力を推定する手法においては、モンテカルロシミュレーションを行うため、モデル化に用いるパラメータ数を削減することによって、検討効率や精度を高めることが期待される。図-2 に示すように式(1)の変位指数  $m$  は洗掘被害によって荷重変位関係が反りあがる影響を反映した値となっているが、式(1)の各パラメータのうち洗掘によって生じる初期変位  $S_0$  も被災規模の大きさを反映するパラメータとなっており、役割が重複している。

これらのことから、式(1)の 4 つのパラメータのうち、変位指数  $m$  を一定値に固定してパラメータを 3 つに削減したモデルでも、相応の精度で実験結果をモデル化できる可能性があると考えられる。そこで、 $W_s/B = 20\%$  で礫なし地盤の実験に対して変位指数  $m$  を 1 に固定し、3 パラメータのみでフィッティングを行った。その曲線を、変位指数  $m$  を固定せずに 4 パラメータでフィッティングさせた曲線とともに図-3 に示す。図-3 より、変位指数  $m$  を  $m=1$  に固定しても、モデル化した荷重変位関係にはほとんど違いが無いことがわかる。

さらに、変位指数  $m$  を 1 に固定することの妥当性について検証するため、全 10 ケースに対して同様にフィッティングを行った。そして、これらのモデルで死荷重相当（無被害時の極限支持力の 1/3）での変位に着目し、変位の推定誤差を算出した。図-4 より、洗掘を模擬した実験（すなわち  $W_s/B = 0\%$  のケースを除く 8 ケース）では、変位の推定誤差は 10%以内に収まっていることがわかる。したがって、洗掘後の荷重変位曲線の場合、変位指数  $m$  を 1 に固定してワイブル曲線をフィッティングしたとき、曲線の誤差は許容できる範囲であるといえる。なお、 $W_s/B = 0\%$  のケ

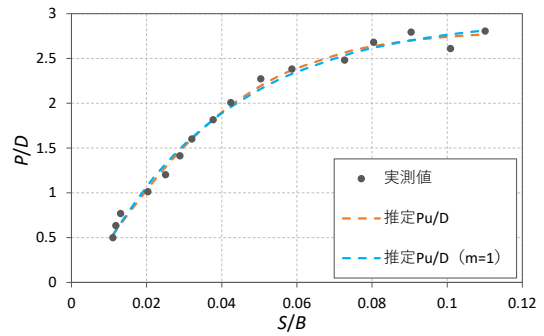


図-3 模型実験結果のワイブル曲線のフィッティングの例 ( $W_s/B=20\%$ , 礫なし)

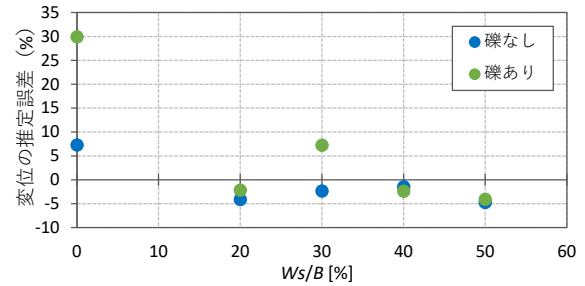


図-4 洗掘規模ごとの死荷重時変位の推定誤差

ースの荷重変位曲線は、洗掘による初期変位  $S_0$  が含まれないため、 $m=1$  の場合は実質的に 2 パラメータでのモデル化となってしまったため、推定誤差が大きくなってしまふと考えられる。

5. おわりに

洗掘を模擬した直接基礎模型の荷重変位曲線に対してワイブル曲線を用いてフィッティングし、洗掘後の荷重変位関係のモデル化を行なった。さらに、ワイブル曲線のパラメータのうち変位指数を固定してフィッティングさせても、洗掘後の荷重変位関係のモデル化に影響がないことを確認した。今後は、本研究でパラメータ数を削減してモデル化した荷重変位曲線を用い、洗掘後残存支持力のベイズ推定を行う予定である。

本研究は JSPS 科研費基盤研究(C)JP20K04687 の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) 西岡英俊, 佐名川太亮, 黒木悠輔, 大竹雄: 洗掘被害を受けた直接基礎の残存支持力のベイズ推定法の提案, 土木学会第 73 回年次学術講演会, pp.887-888, 2018.
- 2) 佐々木優奈, 西岡英俊, 笠原康平, 佐名川太亮, 大竹雄: 洗掘被害を受けた直接基礎の活荷重作用時の支持力破壊確率のベイズ推定, 土木学会, 応用力学論文集 (登載決定)
- 3) 平野萌果, 佐々木優奈, 西岡英俊: 異なる粒度分布のアルミ棒積層体を用いた局所洗掘被害後の直接基礎の残存支持力の検討, 第 57 回地盤工学研究発表会, 2022.