

## III-6 組み合わせ荷重を受ける砂地盤上の帯基礎の支持力実験と荷重－変位モデル

愛媛大学大学院 学 ○古川 直樹  
愛媛大学工学部 正 岡村 未対  
愛媛大学工学部 正 二神 治  
愛媛大学工学部 和田 俊彦

### 1. はじめに

近年の基礎の設計は、地盤の塑性状態を許容し、複数の限界状態を考慮する性能設計へと移行しており、地盤の塑性状態での基礎の挙動を解明することが重要となっている。そこで、本研究では組み合わせ荷重を受ける基礎の挙動を明らかにすることを目的として模型実験を行った。実験は任意の荷重経路で載荷できる装置を作成し、砂地盤上の帯基礎に組み合わせ荷重を載荷し支持力実験を行った。また、塑性論を基にした荷重－変位モデルによって予測した荷重－変位挙動と比較し、その妥当性を検討した。

### 2. 実験概要

実験装置の概略図を図 1 に示す。実験には内寸 90cm(幅)×20cm(奥行)×30cm(深さ)の剛な土槽を用いた。これに乾燥した豊浦砂を  $Dr$ =約 88%となるよう空中落下させて模型地盤を作成した。模型基礎は幅  $B=4$ cm の底面が粗な帯基礎である。荷重の測定は基礎上面に取り付けた 2つの 2成分ロードセルで行い、変位の測定は基礎両端に鉛直変位計を、基礎中心に水平変位計を取り付けることで行った。荷重(鉛直荷重  $V$ 、水平荷重  $H$ 、モーメント荷重  $M/B$ )、変位(鉛直変位  $v$ 、水平変位  $h$ 、回転変位  $B\theta$ )は基礎底面の中心を基準とする。また単位の整合を図るためにモーメント荷重は  $B$  で除し、回転変位は  $B$  を乗じて表現している。

実験は鉛直荷重のみを与える支持力実験、 $H$  または  $M/B$  のどちらかをゼロに保ちながら他方を  $V$  と比例して増加させる実験、及び最初に水平荷重とモーメント荷重をゼロに保ちつつ所定の鉛直荷重を与えた後、水平荷重と鉛直変位を一定に保ちながら回転変位を増加させる、いわゆる Moment swipe test を 2 回行った。

### 3. 実験結果

鉛直支持力実験より得られる荷重のピークを破壊点と見なし、破壊点の荷重を図 2,3 にプロットした。図 2 は  $M/B=0$  の場合、図 3 は  $H=0$  の場合である。全ての荷重成分は鉛直支持力実験で得られた支持力  $V_{max}$  で正規化しており、図中の支持力曲面は堀<sup>1)</sup>による実験結果である。本実験で得られた破壊点はほぼ堀による支持力曲面上に位置していることが分かる。

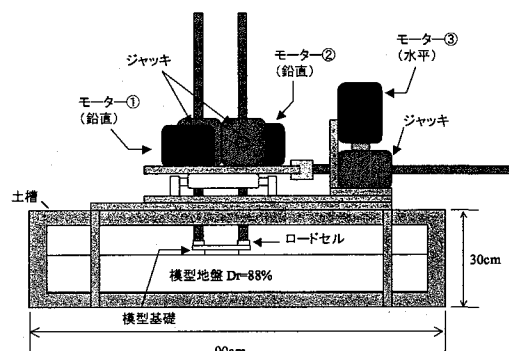


図1 実験装置

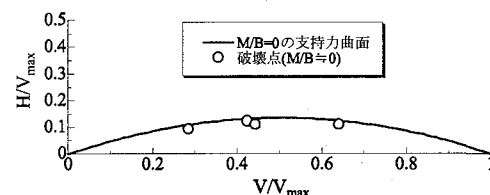


図2 H-V支持力曲面

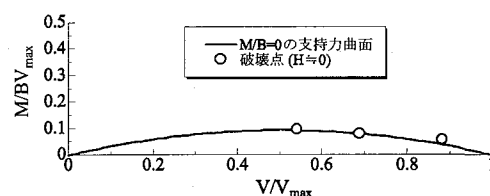
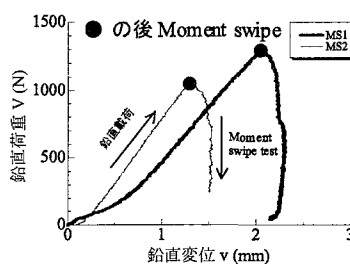
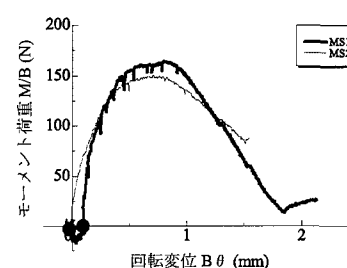


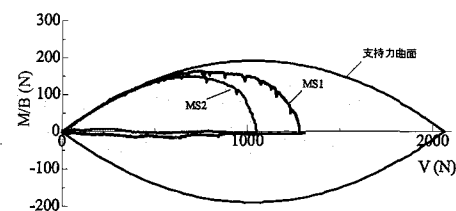
図3 M/B-V支持力曲面



(a) 鉛直荷重－鉛直変位



(b) モーメント荷重－回転変位



(c) M/B－V荷重経路

図4 Moment swipe test の結果

Moment swipe test から得られた荷重－変位曲線を図 4(a),(b)に、モーメント荷重－鉛直荷重の経路を図 4(c)に示す。Moment swipe 中に鉛直変位が若干生じているが、概ね目標通りの制御ができています。回転変位を与えるにつれて鉛直荷重は減少し、モーメント荷重は増していくため図 4(c)のような荷重経路をたどる。また、この曲線は支持力曲面とは相似形になっていないことが分かる。

#### 4. 基礎の荷重－変位モデル

Cassidy and Cheong<sup>2)</sup> は砂地盤の弾塑性モデルを考え、swipe test の荷重経路と降伏曲面がほぼ等しくなることを示唆している。しかし、それはモデルの理論に基づいたものであり実験的には検証されていない。本研究では彼らに倣い、次の 4 つの仮定を行ってその経路を予測するモデルを作成した。(1)地盤の支持力曲面の式は  $F=F(V,H,M/B)=0$  で表され、降伏曲面は支持力曲面と相似である。(2)鉛直変位は一部回復可能であるが水平・回転変位は回復不可能。(3)降伏曲面の大きさは塑性鉛直変位の大きさのみで決まる。(4)関連流れ則が成立する。これらの仮定により、swipe 時の荷重状態は常に降伏曲面上にあり、その変位増分方向は降伏曲面に直交することになる。図 5 に Moment swipe test の概略図を示す。図 5(a)のように Moment swipe test (A 点→B 点) では鉛直変位を一定に保つが、その間に塑性鉛直変位  $v_p$  が発生していることになる。 $v_p$  の増加によって降伏曲面が拡大していく (図 5(b))、変位増分ベクトルが回転変位のみになったところ (B 点) で荷重状態は一定となり回転変位のみが増大していく (図 5(c))。

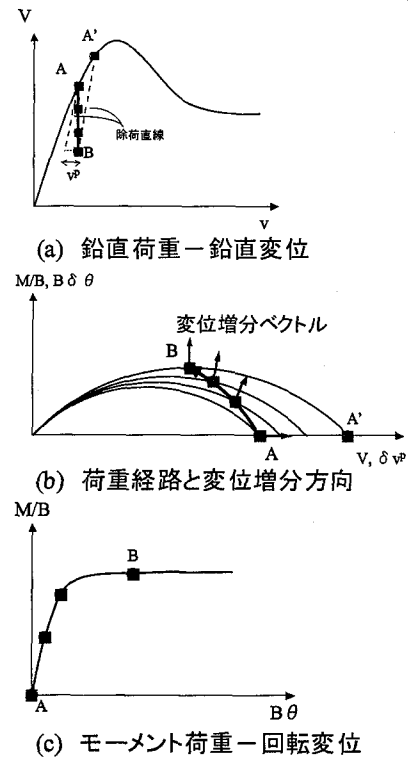


図5 Moment swipe test の概略図

#### 5. 実験経路と予測経路の比較

図 6 に MS1 の実験で測定した荷重経路をモデルによる予測とともに示す。実験での経路とモデルによる経路の終点の違いが明らかであり、関連流れ則は成立しないと考えられる。またモデルの経路に比べて実験での経路は大きく膨らむことが分かるが、これは制御しきれなかった鉛直変位増加分によって降伏曲面が拡大したことも原因の一つと考えられる。そこで、非関連流れ則として堀<sup>1)</sup>の塑性ポテンシャルの式を用い、さらに鉛直変位増加分も考慮した荷重経路を図 6 に、モーメント荷重－回転変位の関係を図 7 に示している。

実験での鉛直変位増分を考慮すると若干予測経路が拡大するが、依然として実験経路の内側にきている。また、図 7 から関連流れ則による荷重－変位曲線に対し、非関連流れ則の曲線はより実験での経路に近くなっていることが分かる。

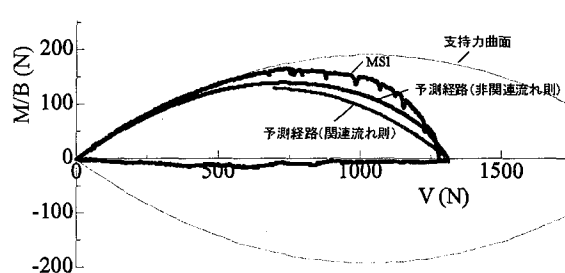


図6 実験経路とモデルによる予測経路の比較

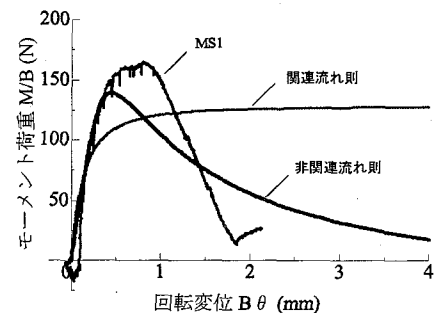


図7 モーメント荷重－回転変位

#### 5. まとめ

今回の実験とモデルによる比較から、swipe test の荷重経路と降伏曲面が一致するという既往の研究<sup>2)</sup>とは異なり、実験での荷重経路は実際の降伏曲面よりも危険側にある傾向が見られた。

参考文献:1)堀政理、組合せ荷重を受ける砂地盤の支持力・変形特性、第 40 回地盤工学研究発表会講演集、pp.1471-1472、2005 2)M.J.Cassidy and J.Cheong, The behaviour of circular footings on sand subjected to combined vertical-torsion loading, IJPMG-International Journal of Physical Modelling in Geotechnics 4, pp.1-14, 2005