

III-A17

平面ひずみ水平繰返し載荷における砂の非線形応力-ひずみ履歴関係

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○ 増田 達
 東京大学 正会員 龍岡 文夫
 基礎地盤コンサルツ(株) 正会員 山田 眞一

1 はじめに

掘削工事で切梁にプレロードを導入する場合の変位抑止効果⁴⁾を解析的に明らかにすることを目的として、平面ひずみ状態で水平方向繰返し載荷除荷要素試験結果¹⁾に基づいて、砂の非線形応力-ひずみ履歴モデル²⁾を提案した。本論では試験結果のシュミレーションと Stress-dilatancy 関係について述べる。

2 実験結果のシュミレーション及び Stress-dilatancy 関係

要素試験結果のシュミレーション：典型的な水平方向繰返し載荷除荷試験の結果で $\sin \phi_{mob} = (\sigma_v - \sigma_h) / (\sigma_v + \sigma_h)$ とせん断ひずみ $\gamma = \varepsilon_v - \varepsilon_h$ の関係を Fig. 1 に示す。なお、試験においては、微小ひずみ計測を可能とし、変位制御微小繰返し載荷が出来るように、供試体の堆積面を鉛直方向にして、鉛直方向に繰返し載荷している¹⁾。提案した履歴則²⁾によるシュミレーション結果を Fig. 2 に示す。両者は比較的良く一致している。なお、文献2)で述べた、ひずみ履歴の影響を受けて骨格曲線が移動(Drag rule)する Drag 量は式(1)で表される Drag 関数で求めている。

$$\beta = \alpha / \left(\left(\alpha / \beta_{max} \right) + (1/F) \right) \quad (1)$$

式中、 β ：原点($\gamma=0$)からの骨格曲線の Drag 量、 α ：塑性せん断ひずみの載荷方向の累積量、 β_{max} ：Drag 量の最大値(骨格曲線のピーク時のせん断ひずみ)、 F ：fitting parameter、である。 F は、試験のシュミレーションより 0.5 とした。

Stress-dilatancy 関係：水平繰返し載荷時の Stress-dilatancy 関係として、載荷時と除荷時においても、主応力比方向、塑性ひずみ増分方向を変えた統一的な式(2)が成立し、式中の K 値が載荷側と除荷側で異なる値となることを以下に示す。

$$R = K \cdot D \quad (2)$$

式中、 $R = \sigma_v / \sigma_h$ (Loading: $\Delta \sigma_v > 0$), σ_h / σ_v (Unloading: $\Delta \sigma_v < 0$), $D = -d\varepsilon_h^p / d\varepsilon_v^p$ (Loading: $\Delta \sigma_v > 0$), $-d\varepsilon_v^p / d\varepsilon_h^p$ (Unloading: $\Delta \sigma_v < 0$)、である。なお、塑性ひずみ増分を求めるための弾性ひずみ増分算定は文献3)によっている。単調載荷及び繰返し載荷試験の載荷時の R と D の関係を Fig. 3、単調伸張及び繰返し載荷試験の除荷時の R と D の関係を Fig. 4 に示す。実験結果は $K=3.5$ (載荷時)、 1.8 (除荷時) で良く fitting 出来ることがわかる。試験で測定された鉛直応力-せん断ひずみ関係を用いて、これらの関係を適用して、鉛直応力と鉛直ひずみの関係、せん断ひずみと体積ひずみの関係をシュミレートした結果と実験結果との比較を Fig. 5, 6 に示す。両者の関係は比較的良い一致を示している。同様なシュミレーションを $K=3.5$ (載荷時)、 3.5 (除荷時) とした場合を Fig. 7, 8 に示すが、不一致の程度は大きく、載荷時と除荷時で同一の K 値とする STRESS-DILATANCY 関係は水平繰返し載荷時には適用出来ないことがわかる。

まとめ：提案した履歴則、及び $K=3.5$ (載荷時)、 1.8 (除荷時) である Stress-dilatancy 関係による構成則を提案した。これを用いて、掘削土留め工のプレロードの変位抑止効果をシュミレーションでき、模型実験結果と良い一致が得られる⁴⁾。

今後の課題：水平履歴荷重を受ける地中構造物(杭・カルバート等)の両側面の地盤反力と水平ひずみの関係は要素試験結果¹⁾を基に Fig. 9 の概念図で表され、両側面を合算した地盤反力は両者の重ね合わせによって算定可能と考えられる (Fig. 10)。提案した構成則を適用した、水平履歴荷重下の地中構造物の地盤反力-変位の非線形性のモデル化は今後の課題である。

〈参考文献〉：1) 山田眞一, 増田達, 佐藤剛司, 山口勇, 龍岡文夫 (1996)：平面ひずみ圧縮・伸張試験と砂の挙動、第 31 回地盤工学研究発表会講演集, pp.683-684. 2) 増田達, 龍岡文夫, 山田眞一 (1996)：平面ひずみ水平繰返し載荷における砂の非線形応力-ひずみ関係、第 51 回土木学会年次学術講演会講演集, pp.40-41. 3) Hoque, Tatsuoka, Sato and Kohata (1995): Inherent and stress-induced anisotropy in small stiffness of granular, Proc. of IS-HOKKAIDO, pp.277-282 4) 増田達, 龍岡文夫, 山田眞一 (1998)：平面ひずみ模型実験による掘削土留め工におけるプレロード効果の FEM シュミレーション、第 33 回地盤工学研究発表会

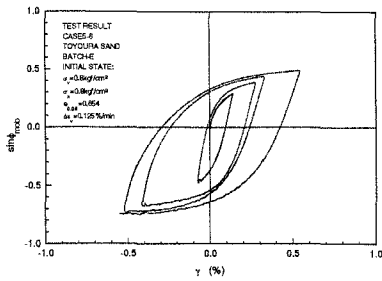


Fig. 1 平面ひずみ状態での繰返し載荷試験結果

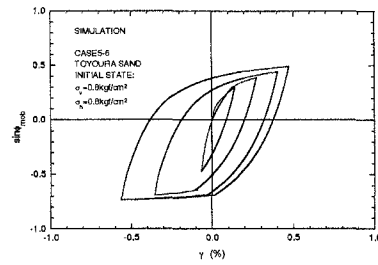


Fig. 2 土の非線形応力-ひずみ履歴モデルによるシミュレーション

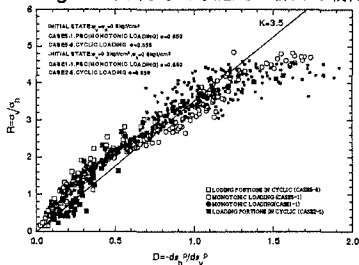


Fig. 3 単調載荷・繰返し載荷の載荷時の stress-dilatancy 関係

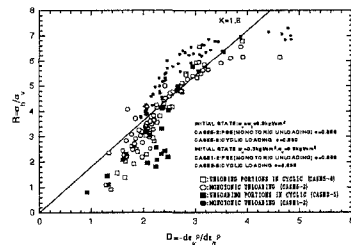


Fig. 4 単調伸張・繰返し載荷の除荷時の stress-dilatancy 関係

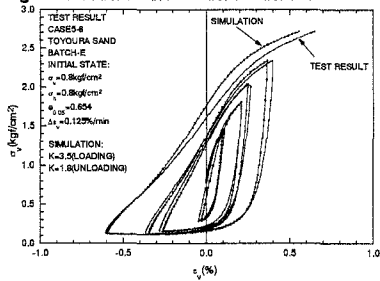


Fig. 5 K=3.5(載荷),1.8(除荷)のシミュレーション結果

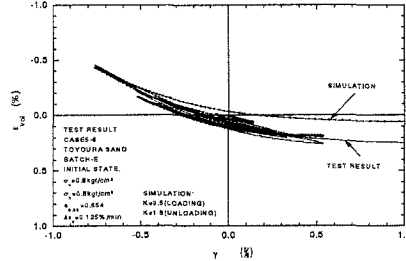


Fig. 6 K=3.5(載荷),1.8(除荷)のシミュレーション結果

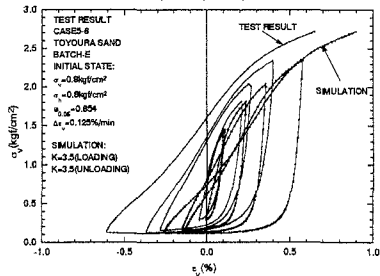


Fig. 7 K=3.5(載荷),3.5(除荷)のシミュレーション結果

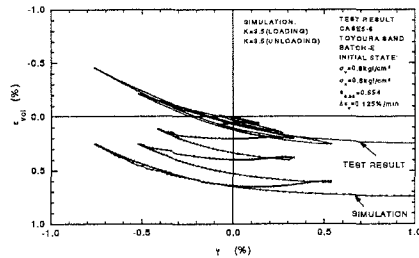


Fig. 8 K=3.5(載荷),3.5(除荷)のシミュレーション結果

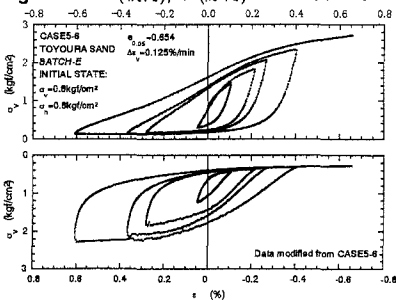


Fig. 9 地中構造物両側面の水平地盤反力-ひずみの概念

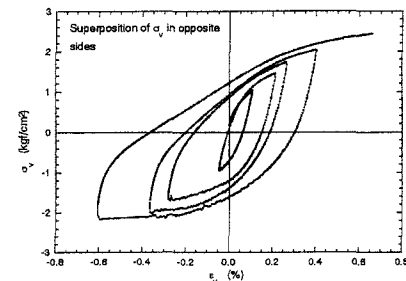


Fig. 10 地中構造物両側面の水平地盤反力の重ね合わせの概念