

Ⅲ - B336

シンプレックス法に基づく逆解析手法の地盤問題に対する適用性

法政大学 学 白石 保律
 法政大学 正 草深 守人
 法政大学 関谷 宏人
 法政大学 堀井 哲也

1. まえがき :本研究の目的は、非線形性を示す地盤材料に対して、Duncan-Changの双曲線モデルを導入し、境界条件の変更に伴う応答変位に関する解析値と測定値の誤差の最小化アルゴリズムとしてシンプレックス法の適用性を検討することにある。具体的には、非線形弾性問題としてのDuncan-Changの双曲線モデルの材料定数 a 、 b の推定に関する逆解析プログラムを開発し、計算値と実験値の比較、検討を行う。なお、地盤の力学挙動を表現するシステムとしては有限要素法を採用することとした。

2. 逆解析手法 :Duncan-Changは、単軸状態での応力-ひずみ曲線を双曲線近似することにより、非線形弾性材料に対する接線弾性係数 E_t を式(1)で与えた。さらに、式(1)を一般的な応力状態に対して拡張した式(2)を提案している。

$$E_t = \frac{1}{b}(1 - a\bar{\sigma})^2 \quad (1)$$

$$E_t = E_i \left\{ \frac{R_f(\sigma_1 - \sigma_3)(1 - \sin \phi)}{2\sigma_3 \sin \phi + 2c \cos \phi} \right\}^2 \quad (2)$$

ここで定数 a 、 b は一軸圧縮試験における $\varepsilon/\sigma - \varepsilon$ 図上の切片と傾きである。また R_f は破壊強度を s とする時に式(3)で表される低減係数である。

$$s = \frac{R_f}{a} \quad (R_f = 0.7 \sim 0.9) \quad (3)$$

しかしながら、この拡張では2次元あるいは3次元応力状態を等価な単軸状態に変換する過程を省略しており、厳密性に欠ける。このため、任意の異なる拘束圧に対する3軸試験から得られる応力-ひずみ関係が、唯一の一组の材料定数(a 、 b)によって表現できないという問題が指摘されてきた。そこで、本研究では、式(1)を多軸応力場に拡張する際に、任意の3次元応力状態をこれと等価な単軸応力状態に対応付けるため、式(1)の応力 σ を式(4)で定義される相当応力 $\bar{\sigma}$ で与えることとした。

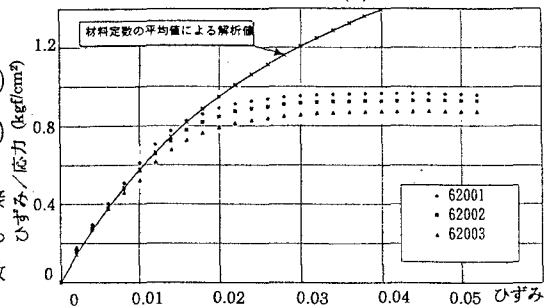
$$\bar{\sigma} = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2 + 2\sigma_{12}^2 + 2\sigma_{23}^2 + 2\sigma_{31}^2} \quad (4)$$

さらに、このような相当応力 $\bar{\sigma}$ の導入の妥当性を検討するために、本研究では直接基礎の支持力問題を例に、有限要素法を用いて解析した計算変位式(5)と実験から得られた観測変位の誤差式(6)をシンプレックス法により最小化し、最適な材料定数 a 、 b を推定した。

$$\{U\} = [K(a, b)]^{-1}\{F\} \quad (5)$$

$$f(a_i, b_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |\text{計算変位} - \text{観測変位}| \quad (6)$$

3. 解析条件 :同一条件で作成した試料を用いて、直接基礎に対する支持力模型実験と一軸圧縮試験を行った。まず、Duncan-Changの双曲線モデルの材料定数 a 、 b を一軸圧縮試験結果から直接求め、その平均値



図(1) 一軸圧縮試験の実験値と解析値

キーワード : 逆解析、シンプレックス法、Duncan-Changの双曲線モデル

連絡先 : 〒184 東京都小金井市梶野町3-7-2 法政大学工学部

($a=0.613$, $b=0.011$)を用いて順解析を行った。この場合の順解析値と一軸圧縮試験の値との比較を図(1)、用いた有限要素モデルを図(2)に示す。図(1)より、ひずみが15～20%を超える大きな破壊ひずみ領域において実験値と解析値の間に大きな差が生じている。これは破壊が十分に進行した不安定な領域の実験データの信頼性の低下が原因であるか、材料定数の評価にこのような領域までの実験データを用いるべきでないことによると判断される。そこで、材料定数 a , b の評価に用いる実験値の範囲を、破壊荷重の2/3以下、1/2以下、1/3以下とした場合の荷重-変位量関係の解析値と実験値の比較を行い、比較結果を図(3)に示す。図(3)より、材料定数 a , b を決定する際の実験データは、塑性変形がある程度進行し、なおかつ破壊が極度に進行した不安定領域を含まない範囲で利用すべきと思われる。

また、この範囲はひずみレベルで15～20%であり、荷重レベルでは破壊荷重の2/3程度までとなっている。そこで逆解析は破壊荷重の2/3以下のデータを用いることとした。

4. 解析結果：地盤上の直接基礎に対する支持力模型実験に対して逆解析により求めた材料定数 a , b と、一軸圧縮試験より求めた材料定数 a , b に対する荷重-沈下量関係の解析結果を図(4)に示す。また、このとき推定された材料定数 a , b の逆解析値を一軸圧縮試験から直接評価した値との関係で表(1)に示す。なお、逆解析による推定値については、全載荷荷重を5～22分割で載荷した場合の計算値として表(2)に示した。

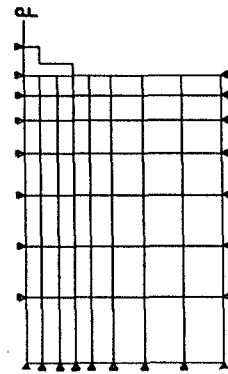
表(1) 一軸試験から決定した材料定数 a , b

供試体番号	定数 a	定数 b
62001	0.570	0.011
62002	0.620	0.011
62003	0.650	0.012
平均値	0.613	0.011

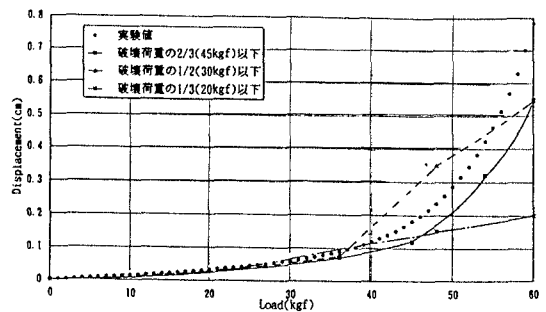
表(2) 支持力試験の観測値に基づく逆解析から推定された材料定数 a , b

分割数	定数 a	定数 b
5	0.605	0.0084
10	0.557	0.0080
15	0.501	0.0096
22	0.511	0.0088

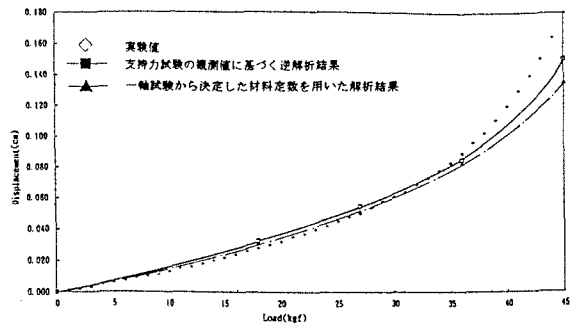
明らかに、単軸応力状態（一軸圧縮試験）から推定した材料定数は、多軸応力状態（直接基礎の支持力模型実験）から推定した値とほぼ等しいことを示しており、単軸場に対して提案されたDuncan-Changの双曲線モデルは、相当応力の概念を取り入れることにより多軸場に拡張できるものと思われる。また、荷重分割数の変化は、材料定数 a , b の推定にほとんど影響を与えておらず、5分割程度でも十分な精度を与えている。このことからシンプレックス法は地盤問題の逆解析を行う上で有効な手段と考えられる。



図(2) 順解析・逆解析に用いた有限要素モデル



図(3) 材料定数の評価に用いたデータの範囲が解析値に及ぼす影響



図(4) 荷重-沈下量の実験値と解析値の比較