

III-127 土のせん断試験における応力-ひずみ曲線の整理方法

東海大学 宇都一馬 冬木 衛 桜井 学 東京電力(株) 吉井 幸雄

1. まえがき

筆者らは、指数関数系の回帰式 $y=a\{1-e^{-(\frac{x}{b})^m}\}+C$ (ワイブル分布曲線), $y=ae^{-(\frac{x}{b})^m}+C$ (ゴージ分布曲線) を用いて、土質基礎に関する種々の試験結果の主観を入れない整理および評価を行なっている。(文献 1)~10)参照)

今回の報告は、各種の土のせん断試験のうち、3軸圧縮試験(CD試験)結果から得られた主応力差-軸ひずみ曲線に、上記のワイブル分布曲線において、 $m=1$, $C=0$ とした場合の指数分布曲線をあてはめ、その結果得られた回帰係数 a , b と側圧 σ_3 の関係について整理し検討したものである。

2. 使用データ

今回使用した3軸圧縮試験結果のデータは、東京電力(株) 深礎基礎の合理的設計法検討委員会が長岡試験地(以下ではA地奥と呼ぶ)で実施した試験工事の委員会提出資料と、木更津南肉所予定地(以下B地奥)で実施された試験工事に付随して得られたものである。両地奥とも深礎杭を対象とした地盤であり、また3軸圧縮試験はCD試験である。

A地奥(深度4.00~17.65m)では深度別に4奥, B地奥(深度1.00~3.00m)では近接した2ヶ所で深度別にそれぞれ2奥の計4奥の試験が行なわれている。なお、主応力差-軸ひずみの数値は、試験報告書のグラフから読み取ったものを使用している。

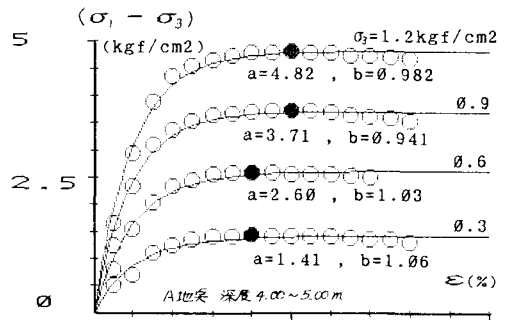


図-1 主応力差-軸ひずみ曲線の解析例(2)式による)

表-1 使用データ

1	ε	(σ ₁ -σ ₃)
1	0.5	0.50
2	1.0	0.70
3	1.5	1.10
4	2.0	1.25
5	2.5	1.35
6	3.0	1.40
7	3.5	1.40
8	4.0	1.43
9	4.5	1.42
10	5.0	1.40
11	5.5	1.40
12	6.0	1.40
13	6.5	1.38
14	7.0	1.35
15	7.5	1.35
16	8.0	1.30

3. 主応力差-軸ひずみ曲線のあてはめ

3軸圧縮試験結果から得られる主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ - 軸ひずみ (ϵ) 曲線のあてはめには、(1)式で示されるワイブル分布曲線で $m=1$, $C=0$ とし、 y を主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$, x を軸ひずみ ϵ で置きかえた(2)式を使用する。(2)式の回帰係数 a は、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ にほぼ等しいものである。なお、あてはめの計算方法については文献 11), 12) を参照されたい。

$$y = a\{1 - e^{-(\frac{x}{b})^m}\} + C \quad (1) \quad (\sigma_1 - \sigma_3) = a\{1 - e^{-(\frac{\epsilon}{b})^m}\} \quad a \approx (\sigma_1 - \sigma_3)_f \quad (2)$$

図-1は、A地奥における深度4.00~5.00mの主応力差-軸ひずみ曲線の実測値をプロットし、(2)式をあてはめて得られた回帰係数 a , b の値と、(2)式による曲線そのものを描いたものである。この図から、あてはめ具合の良さが分かる。他の試験結果についても同様にあてはめは良好である。なお、図中の黒丸は、各側圧の主応力差のピーク値である。表-1は、図-1中の側圧 $\sigma_3 = 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ の時の主応力差-軸ひずみの数値を示したものである。

4. 回帰係数 a , b と側圧 σ_3 の関係

図-1の主応力差-軸ひずみ曲線に(2)式をあてはめて得られた回帰係数 a , b と側圧 σ_3 との関係プロットしたものが図-2, 図-3である。それぞれの関係について、一次式で回帰した結果を図中に示してある。回帰係数 a , b について、それぞれの一次式を(2)式に代入すると(3)式となり、

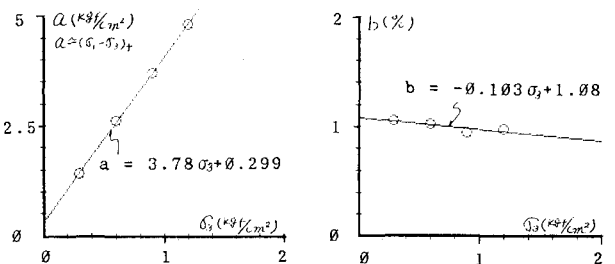


図-2 回帰係数 a と側圧 σ_3 の関係 図-3 回帰係数 b と側圧 σ_3 の関係 (A地奥 深度4.00~5.00m)

図-1の主応力差-軸ひずみ曲線は、側圧 σ_3 をパラメータとした(3)式で表現できる。

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = (3.78\sigma_3 + 0.299) \left\{ 1 - e^{-\frac{\epsilon}{-0.103\sigma_3 + 1.08}} \right\} \quad (3)$$

図-4は、図-1中の側圧 $\sigma_3 = 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の主応力差-軸ひずみ曲線について、(2)式による曲線と(3)式による曲線とを比較したものであり、再現性が良いことが分かる。一方、B地質における3軸圧縮試験結果(深度2.00~3.00m)を同様の手順で整理すると、(2)式における回帰係数 a 、 b と側圧 σ_3 との関係はそれぞれ図-5、図-6に示すような結果となる。回帰係数 a と側圧 σ_3 の関係は、A地質(図-2)、B地質(図-5)ともほぼ同じ傾向であるが、回帰係数 b と側圧 σ_3 の関係は、A地質における結果(図-3)が縦軸切片の値に比べて勾配が小さいのに対し、B地質(図-6)では勾配が大きくなっている。これは、地盤の相違が反映されているものと思われ興味深い。この傾向は、他の深度における結果でも同様である。なお、B地質における図-5、図-6の関係をを用いた主応力差-軸ひずみ曲線の解析例は紙面の都合で省略するが、図-4と同様、再現性は良い。

5. 本手法による強度定数

今回取り扱った3軸圧縮試験結果はC/D試験によるものであり、強度定数 C 、 ϕ の計算には、土質試験法⁽¹³⁾に記載されている $\sin \phi = \frac{m_0}{2+m_0}$ 、 $C = f_0 / 2\sqrt{1+m_0}$ の式(m_0 、 f_0 は図-2に示した回帰係数 a ($\approx (\sigma_1 - \sigma_3)_f$)と側圧 σ_3 の一次式の勾配、縦軸切片に相当する)を用いた。その結果、 $\phi = 40.8^\circ$ 、 $C = 0.07 \text{ kgf/cm}^2$ となり、この値は(3)式を用いたモールの破壊包絡線(図-7)と一致し、また、実測値を用いたモールの破壊包絡線によって得られた値 $\phi_0 = 41.1^\circ$ 、 $C = 0.07 \text{ kgf/cm}^2$ とほぼ一致する。これらの関係は、その他の深度の試験結果についても同様に、良い対応を示している。

6. まとめ

今回は、深礎杭を対象とする地盤の3軸圧縮試験(C/D試験)から得られた主応力差-軸ひずみ曲線に、(2)式で表わされる数学モデルをあてはめ、主観を入れずに曲線を定量化できた。さらに、その結果得られた回帰係数と側圧の関係から、仕意の側圧における主応力差-軸ひずみ曲線を一つの式で表現できた。そして、その再現性は満足すべきものであった。今後、各種のせん断試験の測定結果をデジタル量で蓄積し、本手法を用いて試験結果を整理することにより、応力-ひずみ曲線が電算機に取り入れやすいものとなる。また、同様な手法で数学モデルを工夫すれば、軟化現象も含めた取り扱いが可能となろう。

参考文献

- 1)宇都 冬木 近藤 隆夫; 74の載荷試験結果の一整理方法, 113回土質, 1978.
- 2)塩井 宇都 冬木 近藤 隆夫; 杭の荷重-変位曲線の非線形回帰結果による支持力の一評価法, 123回土質工学会シンポジウム, 1978.
- 3)塩井 光孝 宇都 冬木 隆夫; 杭の水平載荷試験での陸伏突の評価法, 杭の水平載荷試験に関するシンポジウム, 土質工学会, 1979.
- 4)浅沼 福井 堤部 宇都 冬木 隆夫; 各種施工法による杭の支持力について, 振振動・低騒音杭工法の施工法と支持力に関するシンポジウム, 土質工学会, 1982.
- 5)遠田 宇都 冬木 隆夫; ニューマチッククッション内における平板載荷試験, 平板載荷試験に関するシンポジウム, 土質工学会, 1979.
- 6)宇都 冬木 近藤 隆夫; 標準貫入試験に関する基礎的研究(3), 113回土質, 1978.
- 7)隆夫 溝口 石塚 冬木 宇都; SPTの記録と土の整理方法, カウンティン・シンポジウム, 土質工学会, 1980.
- 8)石塚 森 木村 宇都 冬木 隆夫; 軟弱地盤における橋台水平移動の一予測法, 126回土質工学会シンポジウム, 1981.
- 9)石塚 小野 有木 宇都 冬木 隆夫; A700-4クッション方式橋台の長期沈下予測, 124回土質工学会シンポジウム, 1979.
- 10)小野 横山 西村 宇都 冬木 隆夫; E-P曲線の一整理方法, 121回土質, 1986.
- 11)宇都; コンピュータの利用(主にパーソナルコンピュータを対象にして), 最近の工質基礎に関する諸問題 講演会講演資料, 土質工学会, 1982.
- 12)宇都 冬木 隆夫; 指数関数系の回帰式のまとめ, 121回土質, 1986.
- 13)野部 三三; 土質試験法(2回改訂版), 1966. 14章 三軸圧縮試験, 土質工学会, 昭和54年.

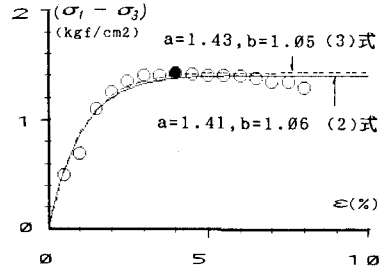


図-4 実験値、(2)式、(3)式の比較

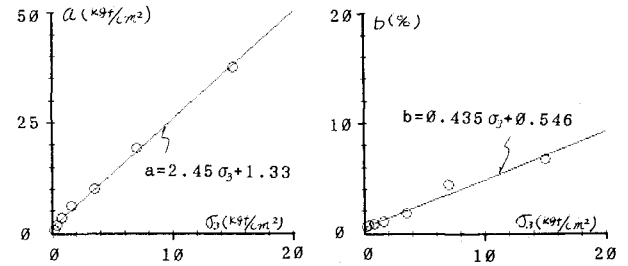


図-5 回帰係数 a と側圧 σ_3 の関係 (B地質 深度2.00~3.00m)

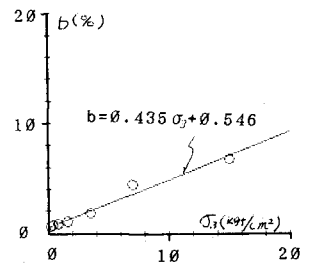


図-6 回帰係数 b と側圧 σ_3 の関係 (B地質 深度2.00~3.00m)

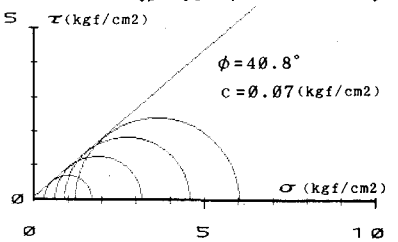


図-7 (3)式から得られたモールの包絡線 (A地質 深度4.00~5.00m)