

III-220 大深度地盤から採取した乱さない試料の変形係数の検討

大阪市立大学 望月秋利
同後期博士課程 蔡 敏
長谷工コーポレーション 中野朋祐

1. はじめに

最近、大深度地下の利用が進められるようになってきているが、中深度までの調査に比べて試料採取が難しいこと、試験まで含めると大変な費用になることもあって、強度定数は勿論のこと、弾性諸定数等についての情報が整っていない。今回、大阪南港地区で採取したG.L.0~-120mの乱さない試料および各種試験結果が入手できたので、試験がまだ実施されていない強度試験(σ_m 一定・CU試験)を追加し、強度定数の他に、弾性諸定数についても検討した。本文では主として、変形係数についての結果をまとめる。

2. 試料および試験方法

大阪・南港地区のビル建設予定地で、深度120mまでほぼ連続試料採取が実施された。この内、著者らは砂質土を主として試験対象としたが、それらはいずれもトリップハマーによって採取され、自然流下による脱水後、凍結、保存されていたものである。表-1に試験試料の採取深度および層名、分類名を示す。表-2に試験条件を示す。この内振動三軸およびP S検査の試験結果については資料として入手したものである。三軸圧縮試験は、1本の試料からできるだけ多くの情報を得るように工夫したもので、表-2中の①、②、③の順に従って試験を行なった。側圧等の制御はすべてコンピューターによった¹⁾。

3. 試験結果

3.1せん断特性

図-1はレンドリックの応力図を、図-2は σ - M 円と強度線を、一例としてTR7試料の結果を示したものである。実線で示すCU強度は、全応力表示のモール円を平均主応力の増分だけ左にずらした、いわゆる「有効全応力」による整理を行なったものである²⁾。試料は、試験応力に対して過圧密状態にあることが応力経路から明らかで、CU強度は c_{cu} が大きく、 ϕ_{cu} は小さい。また、 ϕ' 強度は $c'=0$ とはなっていない。この試料の σ_{nd} (ノンドイレタン・ストレス)は10kgf/cm²であるので、上載圧と比べても σ_y はかなり大きいと推定される。

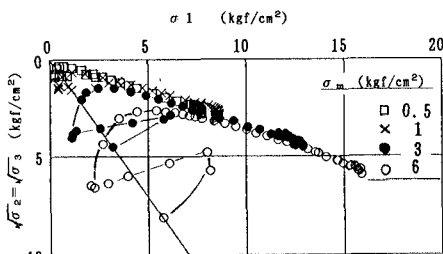


図-1 レンドリックの応力図: TR7試料

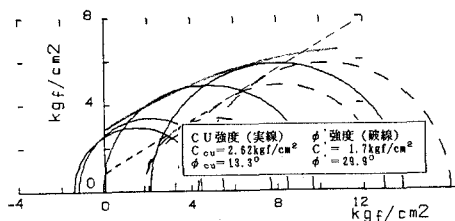


図-2 モール円と強度線: TR7試料

3.2変形係数の検討

表-3に示す4つの変

表-1 三軸CU、振動三軸試料

No.	採取深度(m)	層名	分類名
TR7	63.5~66.5	Ds 2	SM(SMg)
TR18	76.2~78.2	Ds 2	"
TR26	83.8~85.8	Dc 3	CH
TR31	86.7~89.3	Ds-g3	SMg/GM
TR45*1	102 ~ 103	Dalt	CL/SM
TR46*1	103 ~ 104	"	SM/CL
TR53	109 ~ 111	"	SMg
TR55*2	112 ~ 114	Ds 4	S/Mg
TR58*2	116 ~ 118	"	"

*1、*2はそれぞれ同じ試料と見なした。

表-2 試験条件

三軸圧縮試験	供試体径 $\phi 7.8 \times 16$ cm (標準) 排水条件 ①CD($\epsilon_1: 0 \rightarrow 0.5\% \rightarrow 0$)・ σ_3 一定 ②CU($\epsilon_1: \pm 0.5\% \rightarrow 0$)・ σ_m 一定 ③CU(ϵ_1 :破壊まで)・ σ_m 一定 剪断速度 CD=0.1%/min, CU=0.5%/min 側圧 0.5, 1, 3, 6, (8) kgf/cm ² B. P 1~3 kgf/cm ²
振動三軸*	供試体径 $\phi 5 \times 10, \phi 7.5 \times 15$ cm 排水条件 CU(段階載荷方式)・ σ_3 一定 振動周波数 1 Hz 側圧 上載圧相当応力 B. P 2 kgf/cm ²
P S検査層*	板叩き法: GL0~113m, 4mt ² 毎, 30測点 #スプレッド法: GL0~112m, 1mt ² 毎, 29測点

*3試験結果を入手。

表-3 4つの変形係数

E_{tno}	$(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon$ 関係の初期勾配
E_{50}	CU試験での E_{50} の定義を準用
E_{hvo}	$\sigma_1 - \sigma_3 = \epsilon_1 / (A+B \cdot \epsilon_1)$ と仮定 ³⁾ 。 $\epsilon_1 / (\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_1$ 関係は直線で、 $1/E_{hvo}$ は $\epsilon_1 / (\sigma_1 - \sigma_3)$ 軸の切片
$E_{0.25}$	$\epsilon_1 = 0.25\%$ に対する割線変形係数

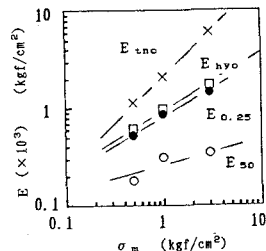


図-3 $\log E \sim \log \sigma_m$ 関係図: TR7試料

形係数を求めた。

図-3は $\log E \sim \log(\sigma_m)$ 関係の一例として示したTR7試料の結果である。それぞれのEもほぼ直線で補間でき、変形係数は

$$E_{tn0} > E_{hvo} \approx E_{0.25} > E_{50}$$

の関係にある。

3.3 微小ひずみ域に対するEの外挿

地盤の地震応答解析では、EまたはG(以下Eに限る) $\sim \gamma$ 関係が必要で、すでに幾つかの実験式が提案されている。通常の三軸試験では、当然この関係については得られないが、仮に幾つかの実験定数を含むE $\sim \gamma$ 式が与えられ、それに三軸試験結果を代入して関係式が確定できるなら、それによって任意の γ に対するEが与えられることになる。当然、その前提として振動三軸および三軸CU試験のEが対応している必要がある。

図-4は、振動三軸および三軸CU試験による $E_{0.25}$ を比較したものである。TR58試料を除くと、かなりよく対応している。次に、E $\sim \gamma$ 関係式には、平明で応用しやすい式(1)に示す柴田・ソワノ式⁴⁾(S&S式と略す)を用いる。

$$G/G_{max} = 1 / \{1 + \alpha (\gamma / \sigma_m^{0.5})\} \quad (\alpha = 1 \times 10^3) \quad (1)$$

CU試験の場合、 $\gamma = 3 \cdot \epsilon_1 / 2$ 、 $G = E/3$ の関係があるので、式(1)は次のように書き換えられる。

$$E/E_{max} = 1 / \{1 + \alpha (\epsilon_1 / \sigma_m^{0.5})\} \quad (\alpha = 1.5 \times 10^3) \quad (2)$$

図-5(1)は、TR7試料の振動三軸試験結果によるE $\sim \epsilon_1$ 関係と、三軸 $E_{0.25}$ を代入して描いた式(2)を破線で示す。実験結果よりもS&S式は小さくなるので、 $\alpha = 2 \cdot 10^3$ と修正し、一点鎖線で示した(修正式と略す)。 $\alpha = 1.5 \times 10^3$ の場合より、かなり改善されている。図-5(2)は、TR26試料の結果である。修正式は、振動三軸試験結果をかなりよく説明している。Eの外挿値を検証する目的で、PS検層結果との比較を試みた。図-6は、深度に対して、PS検層で求めたEと振動三軸によるE、修正式によるE(いずれも $\gamma = 1 \times 10^{-6}$) を比較したものである。括弧で括る結果を除くと、3者ともかなりよく対応している。

4. あとがき

異なる試験機を用いて、異なる試験者によって実施された三軸試験および振動三軸による $E_{0.25}$ が予想よりも良い対応関係にあったので、E $\sim \epsilon$ 関係の外挿を試みたものである。振動三軸試験やPS検層試験を行っていないような場合には、修正式による外挿方法が1つの便法と成り得ると考えている。強度については次の機会に報告したい。

謝辞 本研究を進めるに当たり協力頂いた、大阪市港湾局 木山正明氏、
 謝基礎地盤コンクリート 森田悠紀雄氏に感謝致します。

参考文献

- 1) Mochizuki, A., et. al, "A New Independent Principle Stress Control Apparatus," Advanced Triaxial Testing of Soil and Rock, ASTM, STP. 977, pp. 844-858, 1988
- 2) 望月他: 平均主応力一定CU試験と強度の整理方法, 土木学会第40回年次学術講演会, III, pp. 37-38
- 3) Kondner, R.L; Hyperbolic Stress-Strain Response; MS, ASCE, Vol. 89, No. SMI, pp. 1
- 4) 柴田 徹・D. S. Soelarno: 繰返し載荷を受ける砂質土の応力・ひずみ特性, 土木学会論文報告集, 第239号, pp. 57-65, 1975

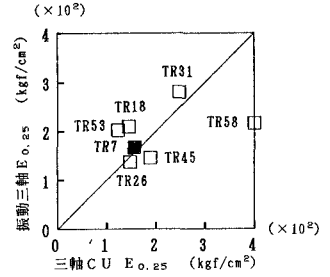


図-4 振動三軸 $E_{0.25}$ と三軸CU $E_{0.25}$ の比較

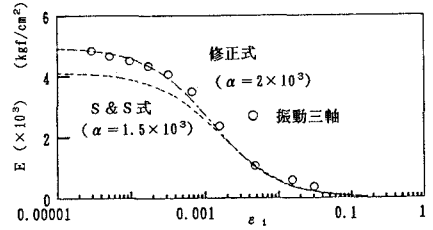


図-5(1) E $\sim \epsilon_1$ 関係: TR7 試料

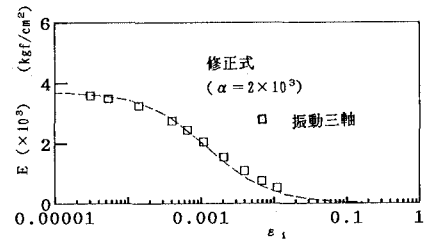


図-5(2) E $\sim \epsilon_1$ 関係: TR26 試料

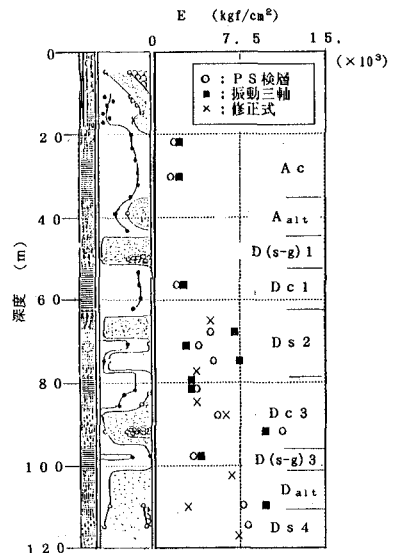


図-6 E \sim 深度分布図 ($\gamma = 1 \times 10^{-6}$)