

(4) 大阪層群明石累層の粗粒土層の動的強度・変形特性

飛島建設(株) 沼田淳紀
森伸一郎
境野典夫

1. はじめに

近年、粗粒土層においても不攪乱試料が採取されるようになってきた。しかしながら、地盤は不均一であるにも拘らず、数少ない不攪乱試料のデータから地盤を評価しなければならない場合が多い。このような場合、種々の要因が動的強度・変形特性に与える影響についてわかっていれば、攪乱試料より得られる物理的性質等からある程度地盤を評価をすることができる。

そこでここでは、礫層と砂層との互層からなる大阪層群明石累層の粗粒土層で採取された不攪乱試料を用いて、動的強度・変形特性を求め、これと物理的性質等との関係について検討を行った。

2. 不攪乱試料の採取

不攪乱試料は、大阪層群明石累層において大口径($\phi=30\text{cm}$)トリプルチューブサンプリングによって採取された。サンプリングは2m間隔で3箇所行い、採取深度は表層より2~13mである。なおこの地盤は、丘陵部を約8m程度切土したところであり、地下水位はGL-20mまで確認されていない¹⁾。

試料採取された地盤は、第三紀鮮新世~第四紀更新世(約200万年前)に形成された粗粒土層であり、礫と砂の互層からなる。このような地盤から採取された不攪乱試料は、礫層または砂層から採取された比較的均一な試料と、礫層と砂層の境界から採取され互層状態になっているものに分けられる。ここでは、このような構造的視点や粒度特性に加え採取深度から、表-1に示すように、①~⑤の試料に分類することとした。

なお、地盤の推定N値は、礫層で100以上、砂層で60~80であり、地盤のせん断波速度 V_s は、およそ320m/secである。

3. 試料の物理的性質

試料の比重、密度、相対密度、間隙比と試料の採取深度の関係を図-1に示す。また、各層の粒度範囲を図-2に示す。土粒子の比重はこの図より、採取深度や層に関係なく一定である。一方、礫の絶対比重にはばらつきが見られるが、これは礫の絶対比重が粒径の影響を受けるためと考えられる。間隙比は、各層で異なり、砂層で大きく、礫層で小さい。相対密度は各層で間隙比が異なっているにも拘らず、①の互層を除けば概ね50~60%程度である。採取された試料のその他の共通的な物理的性質として、比較的粒度が良く、粘土分およびシルト分含有率が低く(10%以下)、非塑性で、砂分または礫分を主体としていることが上げられる。

目視による観察から、礫は淘汰の悪い垂円礫からなり、その堆積方向は、覆瓦状(imbricate)も僅かに見られるが、礫の長軸方向がほと

表-1 試料の分類

層の番号	①互層	②礫層	③互層	④砂層	⑤礫層
土質分類	礫 {G} ※	礫 {G}	砂 {S} ※	砂 {S}	礫 {G}
特徴	上部が礫混じり砂層 下部が砂礫層	均一な砂礫層	上部が礫混じり砂層 下部が砂礫層 または上下の逆	均一な礫混じり砂層	均一な砂礫層
採取深度 GL-m	2.2~3.3	3.3~4.2	4.2~5.8	5.8~7.6	7.6~
供試体断面の模式図					

※ただし、互層のものは2つの層を混合した粒度。

んど水平に堆積しているため、対象地盤は河岸段丘堆積物で、礫層および砂層は、洪水と通常の堆積の繰返しにより形成されたものと考えられる。したがって、GL-2m~13mの地盤は地質年代的には非常に短期間に堆積したものと推測される。また、土粒子の比重がどの層についても一定であることから、各試料の鉱物組成は等しく、さらに、礫はいずれの層も流紋岩、チャートを主体とする淘汰の悪い亜円礫であることから、粒子形状についても各試料について差は少ないと考えられる。

動的強度・変形特性に与える粒径の影響を求める場合、再構成試料では一般に間隙比や相対密度を均一にして比較する場合が多い。しかしながら、間隙比や相対密度は粒度の影響を受けるので、この関係を直接自然地盤に適用できない場合が多い。ここでは以上より、比較を行う条件は、粒度や間隙比は異なっているが、同一の自然地盤から採取され、試料の材質、粒子形状、堆積年代についてはほぼ同一であると考えることができる。

4. 動的強度・変形試験方法

動的強度・変形試験は、 $\phi 30\text{cm} \times h 60\text{cm}$ の繰返し三軸試験機を用いた。試験は、供試体を飽和後（背圧 $= 2.0\text{kgf/cm}^2$ ）、 2.0kgf/cm^2 の等方圧密を行い、両試験ともに非排水状態で 0.05Hz の繰返し载荷を行った。動的強度試験を行う前には、微小ひずみ領域内で動的変形試験を実施した。また、一部の試料を除いて、表-1のように分類した各層の平均乾燥密度および平均粒度となるように再構成試料の供試体を作成し、不攪乱試料と同様の試験を実施した^{2) 3)}。なお、不攪乱試料の中礫程度以上の礫

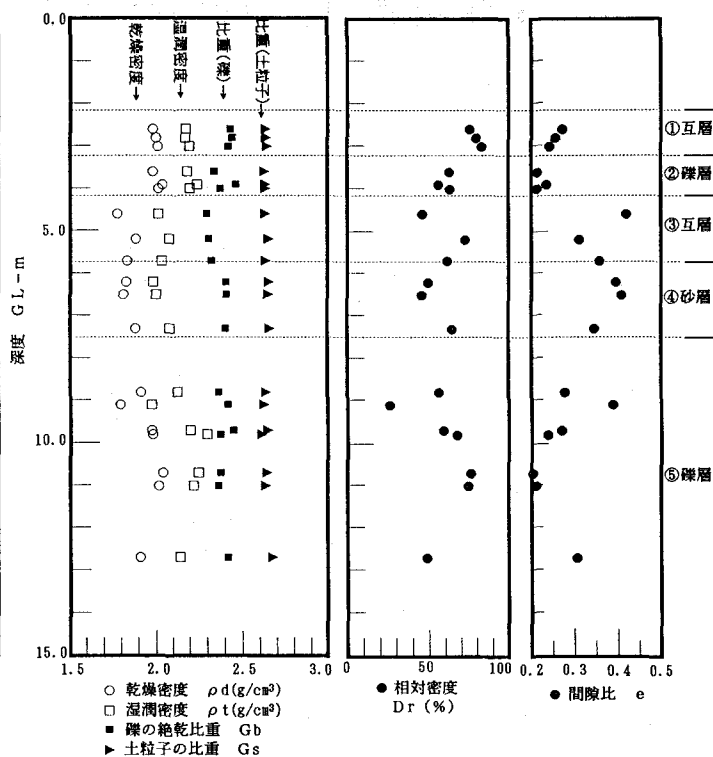


図-1 試料の物理的性質と採取深度の関係

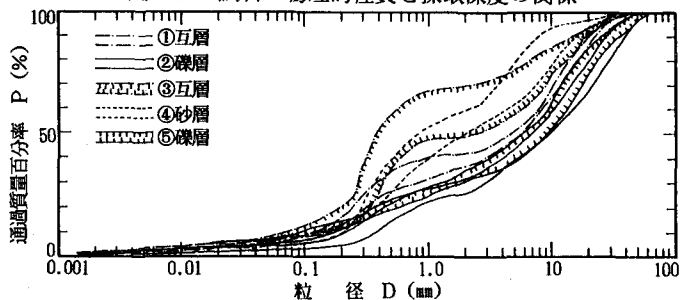


図-2 各層の粒度範囲

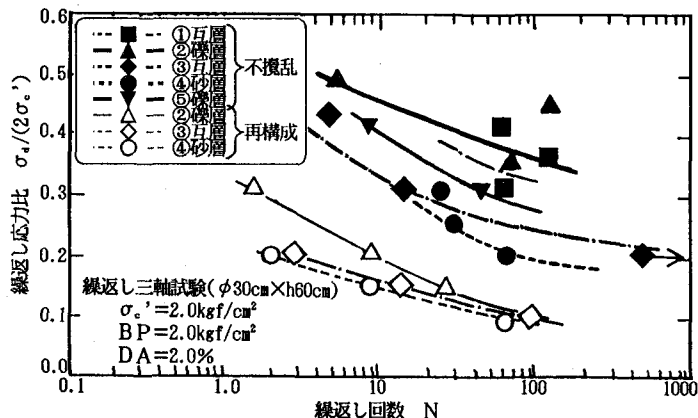


図-3 動的強度曲線 (DA=2%)

間は砂や細礫で満たされているが、このように礫同志の噛み合わせが少ないという点では、再構成試料と不攪乱試料の内部構造はほぼ同一と考えられる。

5. 動的強度特性

両振幅ひずみ $DA=2\%$ に至る繰返し回数 N と繰返しせん断応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$ の関係を図-3に示す。

不攪乱試料の $\sigma_d/2\sigma_c'$ は 0.2 以上であり、動的強度曲線は再構成試料より $2\sim3$ 倍大きいことがわかる。

図-3より N が 20 回のときの $\sigma_d/2\sigma_c'$ を動的強度 R_{20} とし、動的強度曲線を求めた各シリーズの平均の間隙比 e との関係を図-4に示す。一般にいわれるように、 e と R_{20} とは相関が高く、 e が低いと R_{20} が大きくなる傾向を示すことがわかる。

しかしながら、間隙比を求めるためには不攪乱試料の採取等による密度の測定が必要となり、これより動的強度を評価することは必ずしも有効な手段とはいえない。もし、攪乱試料から求めることができる粒度特性等で動的強度をある程度評価できるようになれば便利である。そこで粒度特性を表す指標として平均粒径 D_{50} と礫分 ($D>2.00\text{mm}$) 含有率 P_g を考えた。

図-5に、平均粒径 D_{50} と動的強度 R_{20} の関係を示す。 R_{20} は、互層も含まれるが、 D_{50} が増加すると R_{20} も増加し、両者の相関も不攪乱試料と再構成試料のそれぞれについて高いことがわかる。

図-6に礫分 ($D>2.00\text{mm}$) 含有率 P_g と R_{20} の関係を示す。今回の粘土分含有率はいずれも 3% 以下であるので、 P_g は礫分と(砂分+シルト分)との比とも考えられる。図より、 D_{50} と同様に、 P_g が大きなものは R_{20} も大きくなる傾向があり、不攪乱試料と再構成試料のそれぞれについて相関が高いことがわかる。

e が小さくなる、または、 D_{50} や P_g が大きくなると R_{20} も大きくなる傾向は、例えば両者の関係を直線で表した場合 (D_{50} の場合片対数紙上)、再構成試料よりも不攪乱試料の方が勾配が大きく、再構成試料以上に不攪乱試料は間隙比や粒度の影響を受けると考えられる。

6. 動的変形特性

せん断ひずみが 1×10^{-6} のときのせん断剛性を初期せん断剛性 G_0 とし、間隙比 e と初期せん断剛性 G_0 の関係を図-7に示す。なお、不攪乱試料の G_0 は、再構成試料の G_0 の $1.3\sim1.7$ 倍程度大きい。図には、不攪乱試料と再構成試料それぞれについて岩崎ら⁴⁾ が示した関係式(係数は図に合うように修正した)を示した。両者ともに e が小さくなると G_0 が大きくなり、比較的相関も高いことがわかる。

時松らは、砂の動的強度と初期せん断剛性の相関が高

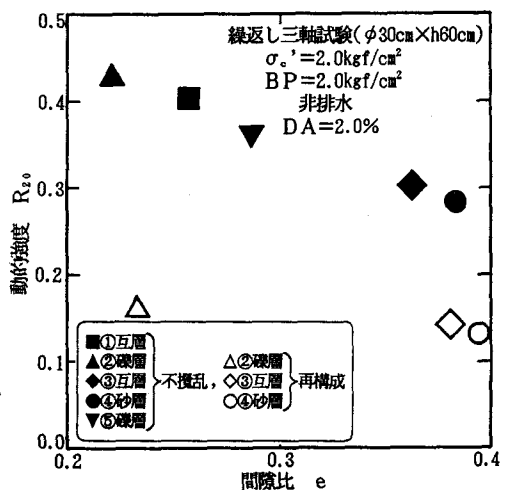


図-4 間隙比 e と動的強度 R_{20} の関係

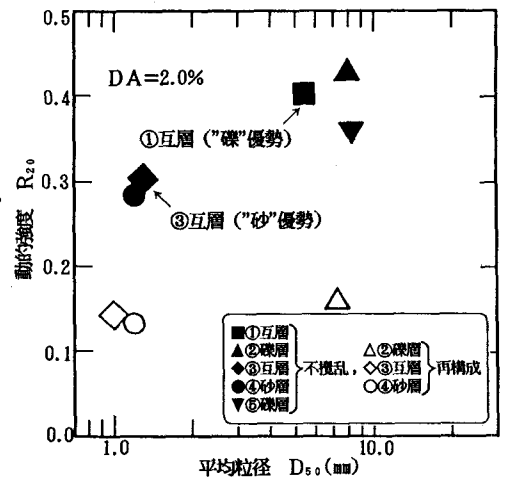


図-5 平均粒径 D_{50} と動的強度 R_{20} の関係

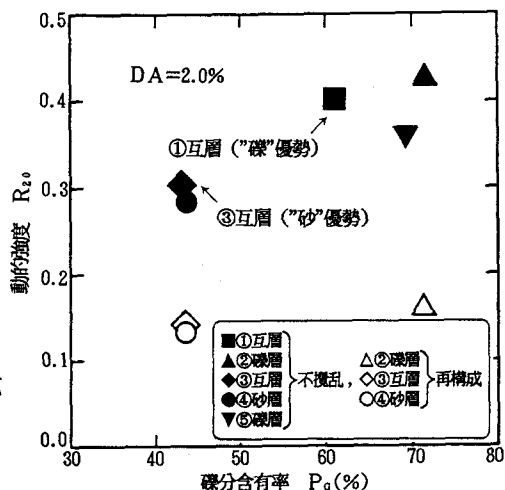


図-6 礫分含有率 P_g と動的強度 R_{20} の関係

いことを示している⁵⁾。ここではこれに加え、動的強度と初期せん断剛性が間隙比と相関が高いことに着目し、物理的性質が異なる試料の動的強度と初期せん断剛性の関係を図-8に示した。

粗粒土についても動的強度と初期せん断剛性の相関が高いことがわかる。同じ粒度、同じ密度であっても動的強度は異なり、その原因として、年代効果が考えられるが、この影響は初期せん断剛性の違いともなり、動的強度の違いを初期せん断剛性によって表現できることがわかる。また、前述のように動的強度は物理的性質によって異なるが、動的強度と初期せん断剛性の相関は高いことがわかる。したがって、動的強度を評価する場合に、粒度や間隙比は有効な手段となるが、年代効果等が含まれる時には必ずしも合理的とはいえず、このような場合には、初期せん断剛性が有効な手段になると考えられる。

7. 結論

大阪層群明石累層（約200万年前）の粗粒土層で採取された不攪乱試料と、それと同じ粒度、同じ密度の再構成試料の供試体を用いて、間隙比や粒度は異なっているが同一の自然地盤から採取されたという条件下で動的強度・変形特性の比較を行い、以下のことがわかった。

- (1) 不攪乱試料の動的強度は再構成試料のそれより2～3倍大きい。また、初期せん断剛性は再構成試料のそれより1.3～1.7倍大きい。
- (2) 不攪乱試料と再構成試料のそれぞれについて、動的強度と、間隙比や平均粒径、礫分含有率は相関が高く、また、これらとの関係を直線で表した場合には不攪乱試料の方が再構成試料よりも勾配が大きい。
- (3) 初期せん断剛性は、(2)と同様に不攪乱試料と再構成試料のそれぞれについて間隙比と相関が高い。
- (4) 粗粒土についても、不攪乱試料と再構成試料の年代効果による動的強度の違いは初期せん断剛性の違いとして表せる。
- (5) 間隙比や粒度が異なっているが上述の条件下では、動的強度と初期せん断剛性の相関は高い。

<謝辞>

地質学的考察については当社の福井隆夫氏に御教示戴いた。末筆ながら感謝致します。

<参考文献>

- 1) 森, 関, 沼田, 太田, 立花: 大阪層群明石累層の礫質土の不攪乱サンプリング, 第27回土質工学研究発表会発表講演集, pp259～262, 1992.6
- 2) 沼田, 森, 境野, 染谷: 大阪層群明石累層の粗粒土層の動的強度とそれにおよぼす物理的性質, 第28回土質工学研究発表会発表講演集掲載予定, 1993.6
- 3) 境野, 沼田, 森, 染谷: 大阪層群明石累層の粗粒土層の動的変形特性, 第28回土質工学研究発表会発表講演集掲載予定, 1993.6
- 4) T. Iwasaki, F. Tatsuoka, Y. Takagi: Shear Moduli of Sands under Cyclic Torsional Shear Loading, Soils and Foundations, Vol. 18, No. 1, pp39～56, 1978.5
- 5) K. Tokimatsu, Y. Hosaka: Effects of sample disturbance on dynamic properties of sand, Soils and Foundations, Vol. 26, No. 1, pp53～64, 1986.3

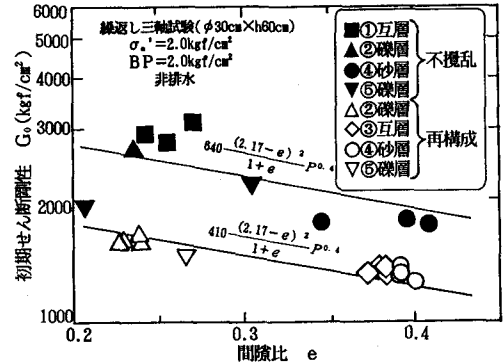


図-7 間隙比 e と初期せん断剛性 G_0 の関係

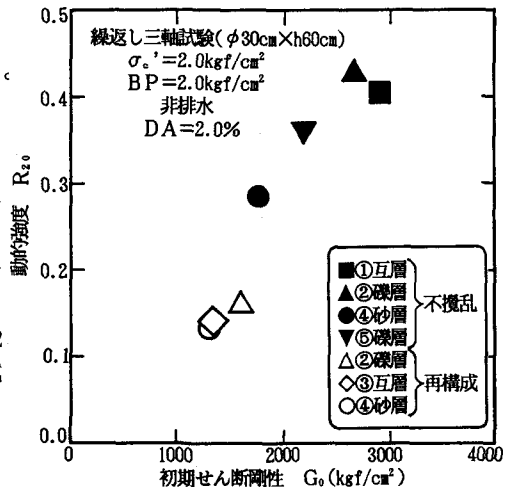


図-8 初期せん断剛性 G_0 と動的強度 R_{20} の関係