

III-A 109

砂礫地盤の動的強度とS波速度の関係(その2)

竹中技術研究所 正会員 ○内田明彦 畑中宗憲 鈴木善雄

1. はじめに

著者らは(その1)において原位置凍結サンプリングにより採取した不攪乱砂礫試料の動的強度とS波速度(V_s)との関係について検討した。そして①埋立及び沖積砂礫地盤の動的強度は V_s との間に良い相関がある。②洪積砂礫地盤は同じ V_s でも埋立や沖積地盤に比べてかなり動的強度が大きい場合があるなどの結果を得た。一方、S波速度は拘束圧依存性があることがHardin and Richart(1963)をはじめ、多くの実験結果で知られており、同じ特性の地盤でも深さが異なれば(拘束圧が異なれば)、見かけ上異なる V_s を示すことになる。別な見方をすれば、同じ V_s でも深さが異なれば、その地層のもつ動的特性が異なるはずである。そこで、本報告ではS波速度に及ぼす拘束圧の影響を考慮した正規化S波速度と動的強度との関係について検討した。さらに、兵庫県南部地震における震害事例と動的強度試験結果との対応についても考察した。

2. S波速度と動的強度の関係

図1, 2に原位置凍結サンプリングによって採取した不攪乱砂礫試料の非排水繰返し三軸試験で得られる動的強度と原位置弾性波試験で求められたS波速度との関係を示している。ここで言う動的強度は繰返し回数が5回及び20回で軸ひずみ両振幅(DA)が2%もしくは2.5%に至る繰返しせん断応力比と定義している。図中のデータは沖積層及び埋立層を黒丸、洪積層を白丸で示している。データは他の研究者からも引用しており、個々のデータは(その1)を参照されたい。いずれの図においても、動的強度は V_s の増加と共に大きくなる傾向が見られる。特に、沖積及び埋立砂礫地盤の動的強度は礫の種類や密度によらず、 V_s との間にほぼ一義的な相関が見られる。一方、洪積砂礫地盤の動的強度は沖積および埋立地盤とほぼ同じ動的強度を持つものとそれらよりかなり大きい動的強度を持つものの2つのグループに分かれている。このうち後者のグループにおいては、データは少ないが、埋立や沖積砂礫と同様 V_s の増加とともに動的強度が大きくなる傾向がある。洪積砂礫地盤の2つのグループの動的強度の差については、年代効果、応力ひずみ履歴の影響などが考えられるが、詳細は今後検討していきたいと考えている。

3. 正規化したS波速度と動的強度の関係

Hardin and Richartの実験結果²⁾によれば、S波速度は拘束圧と間隙比の関数として(1)式で示されることが知られている。動的強度とS波速度の関係における拘束圧の影響を除くため、(2)式に示す正規化S波速度、 V_{s1} の考えを導入した。

$$V_s = A \cdot F(e) (\sigma'_m)^n \quad (1)$$

$$V_{s1} = V_s / (\sigma'_m)^n \quad (2)$$

$$V_{s1} = V_s / (\sigma'_v)^{0.375} \quad (3)$$

ここに、 σ'_m は平均有効拘束圧(kgf/cm²)、 $F(e)$ は間隙比 e の関数、 A は定数である。なお、Hardin and Richartは $n=0.25$ としているが、著者らの不攪乱砂礫試料による実験データ³⁾によれば、 n は0.25~0.5の間にあることから、(3)式では n を0.25と0.5の平均値である0.375とした。一方、 σ'_m は $(1+2K_0)\sigma'_v/3$ と表されて、ここに σ'_v は有効上載圧、 K_0 は静止土圧係数。一般に K_0 は未知であるので、その影響を除くため、実際の正規化は σ'_v を用いた(3)式で行うと好都合である。(3)式で算定される V_{s1} と動

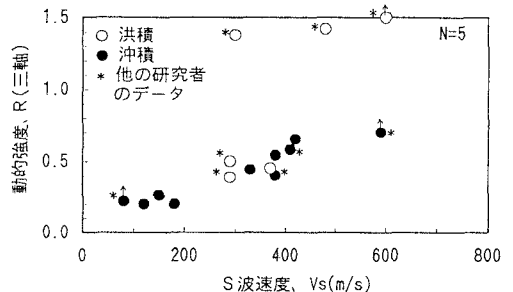


図1 動的強度(N=5)とVsの関係

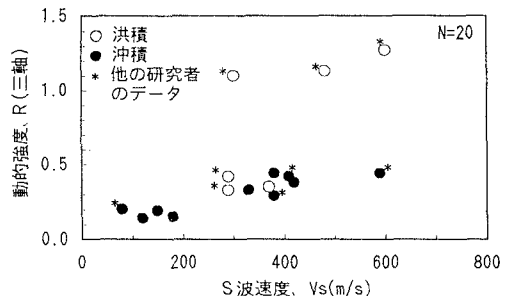


図2 動的強度(N=20)とVsの関係

的強度の関係を示したのが図3、4である。図1、2とほぼ同様の相関が見られる。しかし、図3、4を用いれば、任意の深さの地盤の V_s の持つ本質的な意味がより加味されて、地盤の動的強度と関連づけられることになる。つまり、図1、2に示された結果の汎用性が増したものと考えられる。

4. $R-V_{s1}$ 関係と震害事例との対応検討例

兵庫県南部地震時に液状化が認められた神戸ポートアイランドを対象として、3節で得られた $R-V_{s1}$ 関係の有効性を検討した(図5(a))。検討場所は神戸市開発局の地震観測鉛直アレー地点である⁴⁾。図5(b)は地震前の V_s 値の分布である。この V_s を用いて $R-V_{s1}$ 関係から動的強度 R (三軸)を推定し、さらに $K_0=0.5$ として、原位置の動的強度 R (原位置)を推定した。今回の地震は主要動の回数が少ないと言われており、ここでは $N=5$ の $R-V_{s1}$ 関係(図3)を用いた。 R (原位置)は図5(c)中に示している。一方、地震時の地盤中に発生したせん断応力比については、以下の様な簡易な方法で推定した。鉛直アレーで記録されたGL±0、GL-16.8m及びGL-32.8mの水平最大加速度⁴⁾からその間の任意の深さの加速度を直線補間により求め、地盤中に発生する地震時せん断応力比(L)を(4)式により推定した。ここで M はマグニチュード($M=7.2$)、 α_{0max} は地表面での最大水平加速度、 α_{max} は任意の深さの最大水平加速度、 g は重力加速度、 σ_v は鉛直全応力である。

$$L = 0.1(M-1) \frac{(\alpha_{max} + \alpha_{0max})}{2g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \quad (4)$$

この様にして求めたLの値は図5(c)に示した。図よりこのサイトでは、深さ18m迄の範囲で、 $L>R$ となっており、埋立層の全層にわたって液状化したと推定される(図5(d))。この推定結果は、検討地点の地表面の沈下量等の総合的検討による結果と矛盾しない。 K_0 値の推定や地震時の地盤中の繰返し応力の推定等は、もう少し精度良く検討する必要があるが、本研究で求めた $R-V_{s1}$ 関係の使用法の一例としてその有効性を示した。

5. まとめ

原位置凍結サンプリングにより採取した不攪乱砂礫土料の動的強度と拘束圧で正規化したS波速度の関係について検討した結果以下の結論を得た。

- ①埋立及び沖積砂礫の動的強度と正規化したS波速度の間には良い相関があることがわかった。 V_{s1} によって、簡易的に埋立や沖積砂礫の動的強度を推定できる可能性が高い。一方、正規化S波速度を用いても、洪積砂礫は埋立や沖積砂礫に比べて、同じ V_{s1} 値であるにもかかわらず、動的強度がかなり高いものがある。
- ②図3に示す $R-V_{s1}$ の関係を用いて推定される液状化可能性が兵庫県南部地震における神戸ポートアイランドのある地点での観察事実と矛盾していないことを確認した。

【参考文献】1)畑中宗憲, 内田明彦, 鈴木善雄(1996):「砂礫地盤の動的強度とS波速度の関係」, 第31回地盤工学研究発表会(投稿中)
 2)Hardin, B.O. and Richart, F.E., Jr (1963): "Elastic wave velocities in granular soils," Proc., ASCE, Vol. 89, No. SM1, pp.33-65.
 3)畑中宗憲, 内田明彦(1996):「礫質土の原位置静止土圧係数の一簡易推定法」, 第51回土木学会年次学術講演会(投稿中). 4)関西地震観測研究協議会資料(1995)

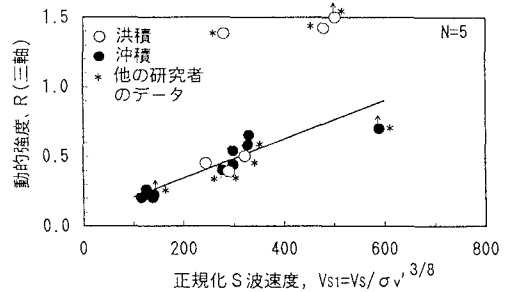


図3 動的強度(N=5)と正規化 V_s の関係

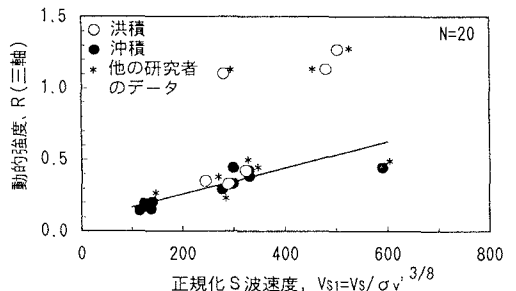


図4 動的強度(N=20)と正規化 V_s の関係

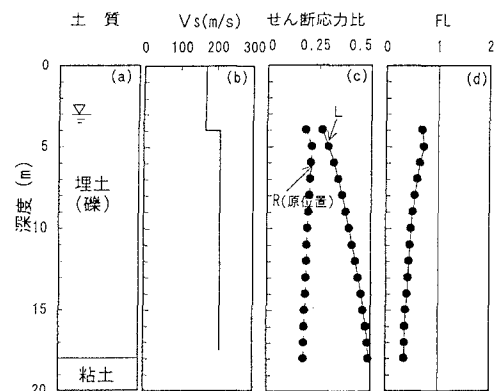


図5 ポートアイランドサイトの液状化判定結果