

(102) 釧路沖地震で地盤災害を生じた土の力学特性

九州工業大学 工学部 正会員 安田 進
 九州工業大学 大学院 学生員 ○柳畑 亨
 同 上 穴道 玲
 同 上 小田真也

1. まえがき

1993年1月15日に北海道釧路市沖でM=7.8の地震が発生し、釧路市を中心とした地域は、主に液状化・斜面崩壊などの地盤に関係した甚大な地震被害を蒙った。斜面崩壊した土は火山灰砂質土であった。そこで、これらの土の力学特性を明らかにするために、現地から試料を採取し、物理特性を調べ、さらに繰返し三軸試験装置を用いて、液状化特性、動的強度特性を調べた。併せて、繰返しねじりせん断試験装置によって動的変形特性も調べた。

2. 採取した試料

図-1に試料を採取した地点を示す。また、これらの試料の粒径加積曲線を図-2に示し、その物理特性を表-1に示す。

表-1 実験に使用した試料の物理特性

試料名	D ₅₀ (mm)	FC(%)	PC(%)	G _s	e _{max}	e _{min}	I _p
釧路西港	0.397	3.5	0.0	2.761	0.936	0.545	NP
釧路ニチイ前	0.225	5.6	4.6	2.699	1.067	0.652	NP
美原	0.148	9.6	3.6	2.693	1.303	0.766	NP
茅沼	0.310	20.2	7.3	2.603	1.616	0.964	4.0
緑ヶ岡	0.045	55.8	21.2	2.582	2.314	1.120	4.6

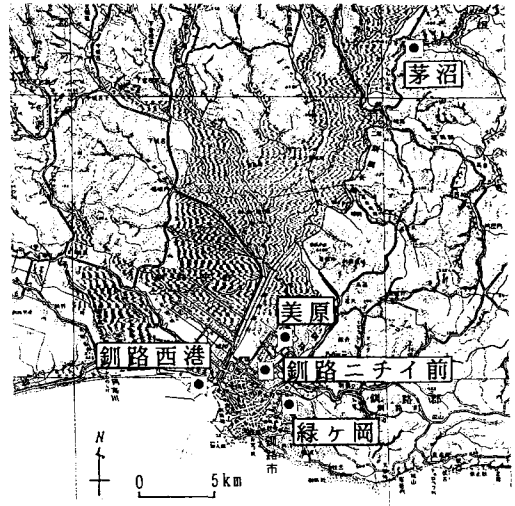


図-1 試料採取地点

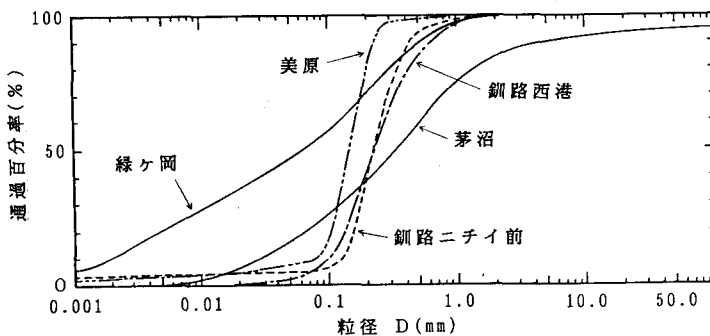


図-2 実験に使用した試料の粒度分布

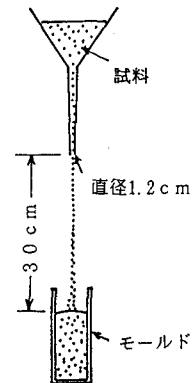


図-3 試料の詰め方

3. 液状化特性に関する実験

今回の実験において、供試体の作製にあたっては、図-3に示すような内径1.2cmの漏斗を用い、乾燥した試料を30cmの高さから落下させて詰めていった。この方法を用いたのは、筆者達が他の種々の砂質土について同じ詰め方をし、液状化強度を比較してきている¹⁾ためである。ただし、落下高さの30cm自体にはあまり深い選定理由はない。用いた実験装置は空気圧式の繰返し三軸試験装置である。供試体の寸法は、今回の試料はすべて直径5cm、高さ10cmの円筒形のものとした。拘束圧はすべて0.5kgf/cm²で行なっている。その他の試験方法や手順は土質工学会の「土の繰返し非排水三軸試験方法」に従っている。液状化試験結果を図-4に示す。図中の△は茅沼の試料において、モールドに水平打撃を加えて密に詰めたときの結果である。前述したように、筆者達は落下高さ30cmの同一の詰め方で種々の砂質土についての液状化実験を行なってきた¹⁾。これまでに用いた試料は1987年千葉県東方沖地震・1989年ロマ・ブリータ地震での噴砂や、一般に埋立材としてよく用いられているまさ土、山砂、建設残土などである。これらの実験結果をFC(74μm以下含有率)、PC(5μm以下含有率)と液状化強度比 R_{ℓ} ($N_c=20, DA=5\%$)との関係で整理すると図-5、図-6となる。これらの図を見ると、今回の試料についてはFC、PCともにこれまでの結果と比較して小さくなっていることが分かる。図-7に茅沼の試料における相対密度～液状化強度比の関係を示す。現場での相対密度が分からない上、2点しか求めていないので何とも言い難いが、今回の液状化試験での相対密度はこの試料を用いて土の締固め試験を行なった結果(図-8)から、最大乾燥密度 ρ_{dmax} に対する割合を締固め度とするならば、締固め度85～95%の範囲内にあることが分かった。

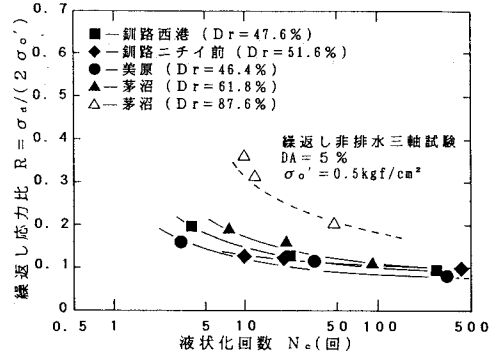


図-4 液状化試験結果

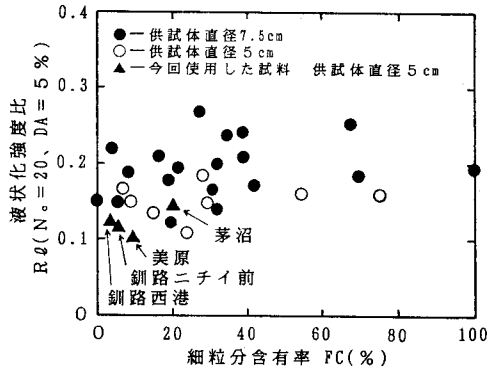


図-5 FC～ R_{ℓ} 関係

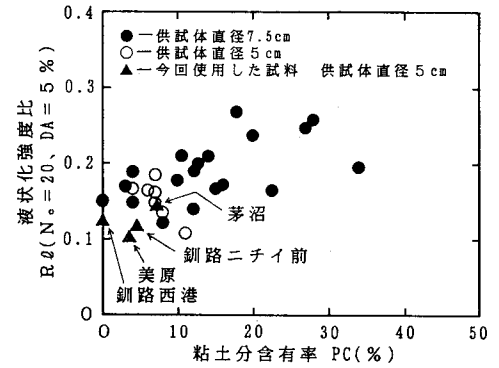


図-6 PC～ R_{ℓ} 関係

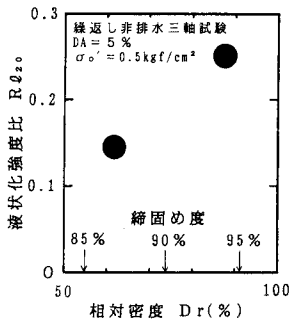


図-7 相対密度～ $R_{\ell 20}$ 関係

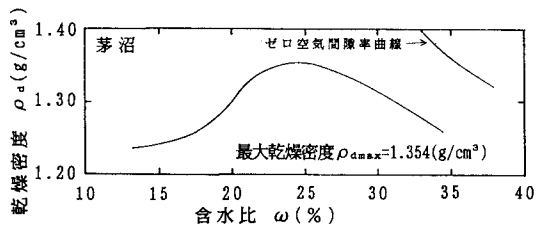


図-8 締固め曲線

4. 動的変形特性に関する実験

次に、緑ヶ岡と茅沼の両試料について、前述の供試体作製方法で落下高さを3段階に調整し、異なる相対密度を持つものに対して繰返しねじりせん断装置を用いて、動的変形特性試験を行なった。図-9、図-10にせん断弾性定数G、減衰定数h～せん断ひずみ γ の関係を示す。この図からG/G₀～せん断ひずみ γ の関係を示したものが図-11、図-12である。また、減衰定数h～G/G₀の関係を示したものが図-13、図-14である。なお、図-11～14には比較のために、安田・山口の関係式²⁾からの推定値も記入している。両試料ともに、せん断ひずみが小さい所では豊浦標準砂の試験結果と同様の傾向を示しているが、せん断ひずみが大きい範囲では減衰定数hが大きくなる傾向にあり、振動が減衰しにくい可能性も考えられる。

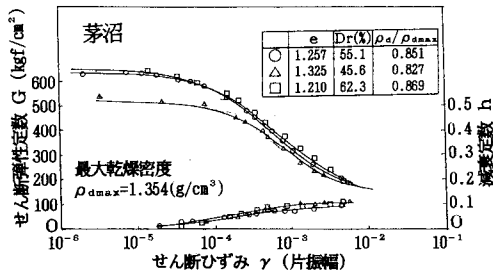


図-9 G、h～ γ 関係(茅沼)

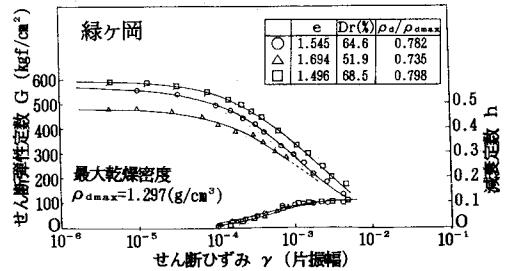


図-10 G、h～ γ 関係(緑ヶ岡)

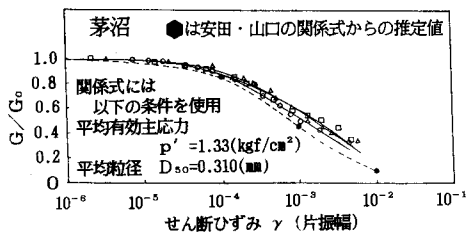


図-11 G/G₀～ γ 関係(茅沼)

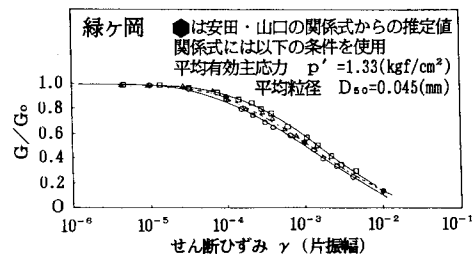


図-12 G/G₀～ γ 関係(緑ヶ岡)

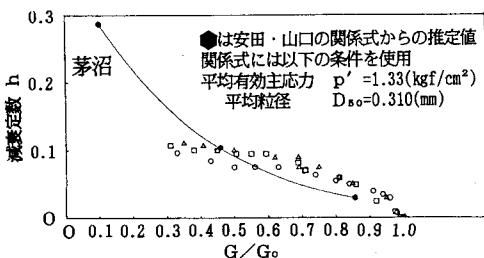


図-13 h～G/G₀関係(茅沼)

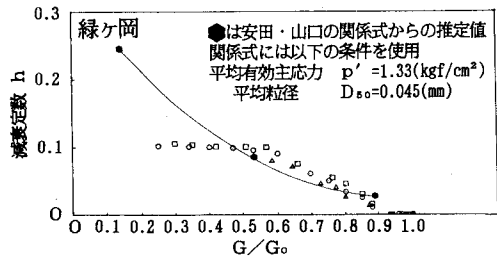


図-14 h～G/G₀関係(緑ヶ岡)

5. 動的強度特性に関する実験

動的強度の求め方に関しては幾つかの方法があるが、今回は石原の方法³⁾を用いて、緑ヶ岡、茅沼の両試料について動的強度試験を行なった。なお、用いた実験装置は繰返し三軸装置で、拘束圧は1.0kgf/cm²で行なっている。また、供試体の寸法は直径5cm、高さ10cmとし、乾燥状態で行なった。まず、静的強度を求めするために、圧密排水三軸圧縮試験を行なった。その結果を図-15、図-16に示す。図-17に動的強度試験結果を示す。この図から初期せん断応力比が0、0.25、0.50の3段階の場合において、塑性指数I_pと動的強度比との関係を示したものが図-18(a)、(b)、(c)である。また図中には比較のために、筆者達が行なった飽和試料での試験結果¹⁾も併せて記入している。なお、図中の直線は安田の推定曲線(図-19)¹⁾である。

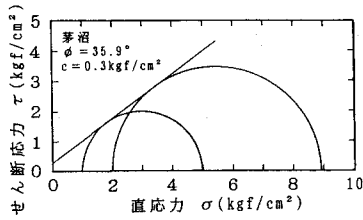


図-15 モールの応力円(茅沼)

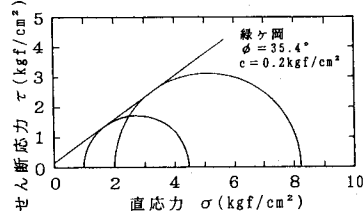


図-16 モールの応力円(緑ヶ岡)

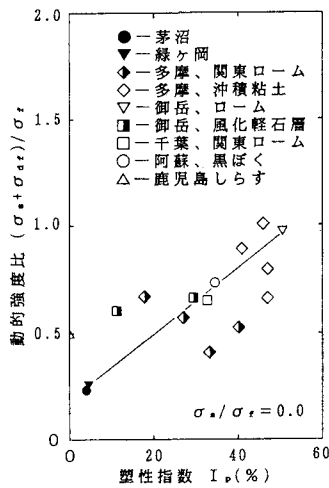


図-18(a) 塑性指数 I_p ~ 動的強度比関係

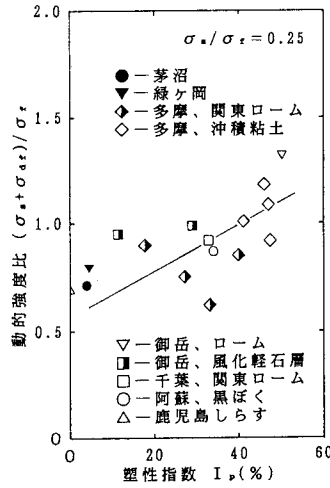


図-18(b) 塑性指数 I_p ~ 動的強度比関係

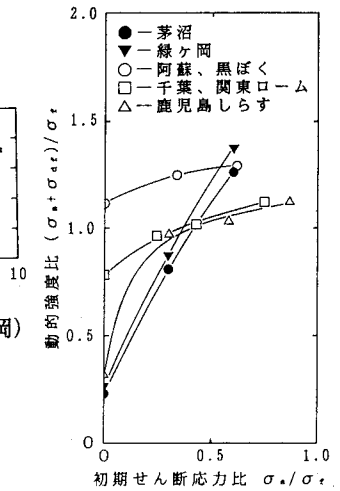


図-17 動的強度試験結果

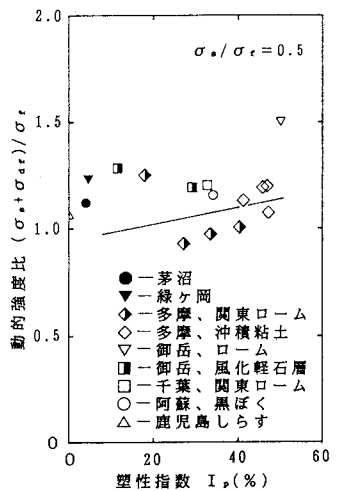


図-18(c) 塑性指数 I_p ~ 動的強度比関係

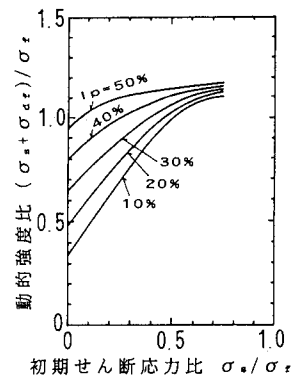


図-19 動的強度曲線¹⁾

6. あとがき

鋼路沖地震で地盤被害を生じた試料を現地から採取し、液状化特性・動的変形特性・動的強度特性を調べた。その結果、液状化した箇所では液状化強度が小さかったこと、斜面崩壊した箇所では地震動が減衰しにくい可能性があったことなどが分かった。最後に、現地での試料採取や貴重なデータを提供していただいた基礎地盤コンサルタンツ(株)鋼路事務所長の山下正良氏をはじめとする関係各所に協力を得た。末筆ながら謝意を表す。

7. 参考文献

- 1) 安田進: 火山灰の動的特性に関する2、3の実験, 火山灰に関する研究討議会講演集, pp. 45-52, 1992
- 2) 安田進・山口勇: 種々の不攪乱土における動的変形特性, 第20回土質工学研究発表会講演集, pp. 539-542, 1985
- 3) 石原研而: 土質動力学の基礎: 鹿島出版会, 1976