

(財)日本建設情報総合センター研究助成事業

ボーリング調査によらない

液状化ハザードマップの作成システムに関する研究

平成 18 年 10 月

山梨大学 大学院医学工学総合研究部

後藤 聡

目次

1 . はじめに (研究の目的と意義)	2
2 . 研究の概要	2
3 . 室内試験	3
4 . 原位置試験	4
5 . おわりに	5
参考文献	5

1. はじめに（研究の目的と意義）

山梨県玉穂町や田富町など笛吹川や釜無川流域では、ゆるい砂地盤が厚く堆積しているため、液状化の発生可能性が非常に高い。しかしこの地域ではボーリングデータの数が十分ではないために、液状化の発生を工学的に予測することは困難である。東京や大阪などの大都市では、ボーリングデータの数が豊富なので、詳細な液状化ハザードマップが作成・公表されている。しかし甲府盆地ではボーリングデータの数には限りがあるため、広域的な液状化判定を行うことができない。そこで、本研究は、ボーリング調査を必要としない表面波探査試験を用いた、新しい液状化ハザードマップの作成システムを提案することを目的とする。

研究の意義としては、甲府盆地においてボーリングデータがほとんど無い地域での液状化判定が可能となり、液状化ハザードマップを作成することが可能になる。さらに、ボーリング調査を必要としない新しい液状化判定システムが確立すると、ボーリングデータが少ない多くの地方都市においても液状化の判定が可能となる。

2. 研究の概要

本研究の概要は以下のとおりである。

- 1) 室内実験：原位置から地盤凍結法により不攪乱砂試料を採取して、三軸セル内で、原位置の拘束圧下での不攪乱試料のせん断波速度を求める。液状化実験を実施して、せん断波速度と液状化特性の関係を求める。
- 2) 原位置試験：甲府盆地において、液状化が起きる可能性が高い地域のボーリングデータをできるだけ集める。ボーリング地点で、表面波探査を行いその地点でのせん断波速度の深度分布を求める。一方、ボーリングデータより液状化判定を行い、 F_L 値の深度分布を算出する。以上より、せん断波速度と F_L 値の関係を求める。
- 3) 総合検討：以上の原位置試験と室内実験により、原位置での表面波探査～原位置でのせん断波速度～ F_L 値～室内液状化特性等の相関関係について考察する。これらの相関関係より、ボーリング調査を必要としない液状化ハザードマップの作成システムを構築する。

3. 室内実験¹⁾

山梨県中央市における山梨大学医学部南付近における遺跡調査において、地震時の液状化時に発生したと思われる噴砂跡が 30 数箇所発見された。半径約 200m 圏内にある八反田遺跡、上窪遺跡、および平田宮第 2 遺跡の各遺跡発掘調査地において、現地調査および試料採取等を行った。現地調査による噴砂跡の観察によってわかる主な特徴は、図-1 に示すように、噴砂跡が大きく分けて 2 つの深度から発見されたということである。八反田遺跡と上窪遺跡の一部からは、地表面から約 0.4m~0.6m の深度で噴砂跡が発見された。また上窪遺跡の一部および平田宮第 2 遺跡からは、地表面から約 1.6~2.2m の深度で噴砂跡が発見された。半径約 200m 圏内で発見されているこれら噴砂跡は、地形・地質的に考察すると同程度の深度においては同一時期の堆積環境であると考えられる。なお、各遺跡の年代、平面的な位置関係および各噴砂の詳しい位置関係・物理特性等は現在検討中である。

一例として八反田遺跡で発見された噴砂跡（砂層 B）について説明する。図-2 は噴砂跡における粒径加積曲線、噴砂のスケッチおよび噴砂の写真を示す。噴砂跡を深度方向に約 7cm に分割して粒度試験を行った。図-2 に示す粒径加積曲線より、噴砂跡下部から上部にかけて粒径が細くなる傾向が確認された。このことにより、噴砂の発生が液状化によるものであると判断できるであろう。さらに、液状化が発生したと思われる砂層 B の不攪乱試料を採取するために、簡易原位置凍結サンプリングを行った。

図-1 に示すように、砂層 A、砂層 B および砂層 C から簡易原位置凍結サンプリングによって不攪乱試料を採取した。ただし、砂層 C は砂層 A および砂層 B の間に存在する砂層であり、現在までのところ噴砂は確認されていない。ここで、簡易原位置凍結サンプリングとは、内径 60.5mm、高さ 500mm ステンレス管を 100mm 程度砂地盤に貫入させ、ステンレス管内に液体窒素を注ぎ込んでステンレス管の周りの砂地盤を凍結させる方法である。この方法は、採取する砂地盤の層が地表近くに露出し、さらに地下水位が高い時に有効な方法である。また、有効土被り圧が働いている深い砂層の採取には適さない方法であり、本方法は有効土被り圧が開放された状態でのサンプリング方法である。よって、簡易原位置凍結サンプリングと呼んでいる。なお、砂層 A および砂層 C では、トレンチ掘削を行って砂層の簡易原位置凍結サンプリングを行った。

採取された不攪乱試料を実験室内で成形して、繰返し非排水三軸試験を実施した。供試体自立時の有効拘束圧は 10kPa で、50kPa まで等方圧密を行い、繰返し非排水三軸試験を実施した。また乾燥密度をほぼ同一にした再構成試料の同様な繰返し非排水三軸試験も実施した。次に試験方法について概説する。直径 5cm、高さ 10cm の円柱供試体を用い、試験条件として繰返し載荷周波数 0.05Hz、有効拘束圧 50kPa で実施した。液状化強度の評価については、供試体の両振幅軸ひずみ(DA)5%時の液状化曲線から、繰返し載荷回数 20 回の繰返し応力振幅比（液状化強度 R_{L20} ）を算定した。

表-1 に、砂層 A,B および C の物理特性を示す。ほぼ同様な土粒子の密度、最大および最小密度が得られた。さらに、表-2 に不攪乱試料および再構成試料における、砂層 A,B および C の乾燥密度、せん断波速度、液状化強度をそれぞれ示す。表-2 の乾燥密度、せん断波

速度は各砂層の供試体 3~4 本の平均値である。ここで、せん断波速度は、等方圧密後においてベンダーエレメントを用いて各供試体のせん断波速度を直接測定した。表-2 から、各砂層において、不攪乱供試体および攪乱供試体で、ほぼ同一の乾燥密度・せん断波速度となっていることが分かる。図-3 に、不攪乱試料および再構成試料における砂層 A,B および C の液状化強度曲線を示す。

図-3 によると、各砂層において、不攪乱試料の液状化強度は再構成試料の液状化強度よりも大きいことが分かる。これは、不攪乱試料の方が砂粒子の固結度が高いためと思われる。各砂層において不攪乱試料の液状化強度を比較すると、砂層 B の液状化強度曲線は砂層 A 及び C と比べて傾きが大きいことが分かる。砂層 A,B および C の再構成試料の液状化曲線の傾きがほぼ同じ傾向を示しているのに対して、砂層 B の不攪乱試料の液状化強度曲線のみ傾きが他と異なっている。この理由は今後の検討が必要である。

中央市のいくつかの遺跡において、液状化時の噴砂と思われる痕跡が 30 数箇所発見され、粒度特性より液状化によるものである可能性が高いことが示された。不攪乱試料を採取することにより、原位置の乾燥密度、せん断波速度および液状化強度特性を求めることができた。今後は、遺跡の年代等から液状化が発生した時代との関連を考察する必要がある。

なお、細粒分含有率と液状化強度の相関についても実験的な検討を行った。その結果については、文献 2) において公表した。

4. 原位置試験

まず表面波探査試験方法について説明する。地盤の S 波速度構造は、表面波により得られた分散曲線を逆解析することで推定を行う。本研究で行った表面波探査は、23m の直線上にジオフォン 24 台を 1m 間隔に配置し、かけやを用いて地盤に人工振動を与えて 1 次元および 2 次元の S 波速度構造を求めるものである。分散曲線からノイズなどのデータの除去を行った後、逆解析をすることにより地盤の S 波速度構造を推定する³⁾。その際に測線長が直線で 23m 必要だったため、的確に標準貫入試験の実施地点上で調査することが困難だった。そのため、標準貫入試験の実施地点から 30m 以内で表面波探査を行い、そのデータを標準貫入試験との比較に用いた。

代表的な一例として、室内試験用試料を採取した地点付近の表面波探査試験結果を紹介する。図-4 に、表面波探査による S 波速度(V_s)構造の断面図を示す。この非破壊試験より、地中の S 波速度(V_s)を求めることができることが分かる。表-3 に、その地点の近傍で実施された標準貫入試験による N 値と S 波速度(V_s)を比較する。他の地点においても表面波探査を実施して、近傍で実施された標準貫入による N 値との相関関係を検討した。砂層における N 値と S 波速度(V_s)の相関関係について、図-5 に示す。N 値と V_s の関係には強い正の相関関係があることが分かる。図-5 で示した砂地盤の N 値を、道路橋示方書による判定方法により液状化の判定を行った。液状化抵抗率 F_L 値と V_s の関係を図-6 に示す。この図に示すように、 F_L 値と V_s の間にも強い相関があることが分かる。よって、表面波探査により V_s を求め、図-6 の関係式を用いることにより F_L 値を求めることが判明した。

この関係を用いることによりボーリングデータが無い箇所においても、表面波探査結果より間接的ではあるが液状化の判定ができることが分かる。

次に、S波速度とその付近のボーリングデータにより算出された P_L 値の相関性について考察する。液状化指数 P_L による液状化判定は、地盤全体の液状化の程度を評価する際に有効な簡易判定法である。この液状化指数 P_L は前述した液状化抵抗率 F_L の計算後に求めることができるもので、式(1)より算出する。ただし、ここで $w(x)$ は重み関数である。しかし、 P_L 値は深度20mまでの地盤全体の液状化について評価するものであるのに対し、探査深度が12mであったことからここではS波速度と P_L 値の相関性について検討する際の最大深度は12mとする。

$$P_L = \int_0^{20} F_L \cdot w(x) dx \quad (1)$$

P_L 値と対応して、S波速度についても積分値を用いる必要がある。図-7に、深度12m以浅での P_L 値と V_s 値の積分値の関係について示す。この図に示すように、右下がりの傾向がみられるが近似式からおおよその P_L 値の推定はできると考えられる。

5. おわりに

以上の方法により、ボーリング調査によらない表面波探査試験を用いて、地盤のS波速度および液状化抵抗率 F_L を求めることができたことが分かった。

ただし、表面波探査からはS波速度を求めることはできるが、土質の種類を判別することは困難である。あらかじめ対象とする地区の土質構成が既知であれば、この手法を適用することができるが、土質構成が未知であれば別の手法を用いて土質の種類を判別する必要がある。現在のところ別の手法として、電気探査や減衰特性等が考えられるが、非破壊試験による土質の判別については、今後の研究テーマである。

参考文献

- 1) 後藤聡・窪田博充・小池正朗・今村直樹：甲府盆地で発見された噴砂跡と液状化特性に関する研究，第41回地盤工学研究発表会（鹿児島），No.1010.
- 2) 後藤聡・田中祐二：細粒分を含む砂の液状化特性に関する研究，土木学会第61回年次学術講演会，pp.545-546.
- 3) 応用地質株式会社：表面波探査の測定と解析の概要，2002.

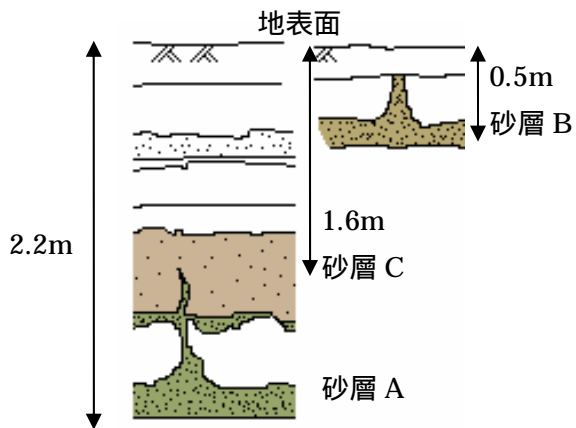


図-1 発見された噴砂跡の一例（模式図）

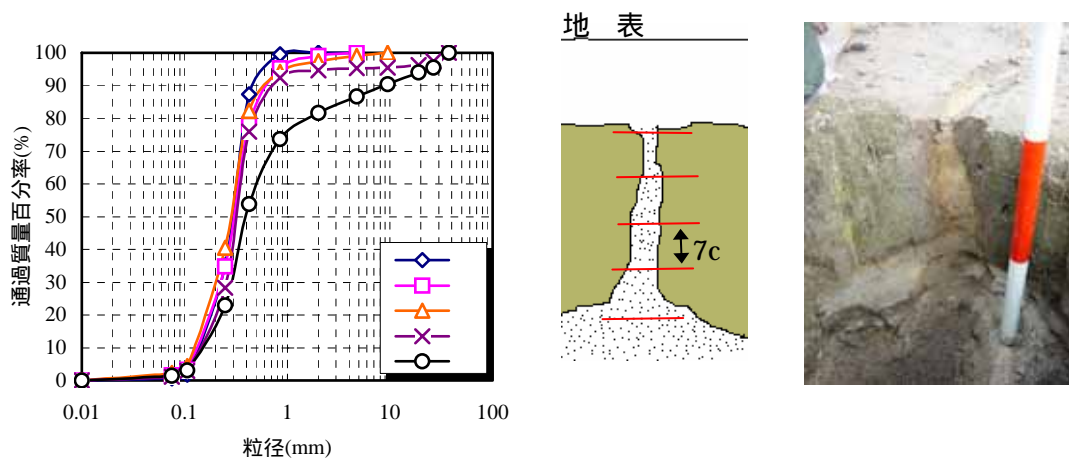


図-2 噴砂跡（砂層 B）における粒径加積曲線，噴砂のスケッチおよび噴砂の写真

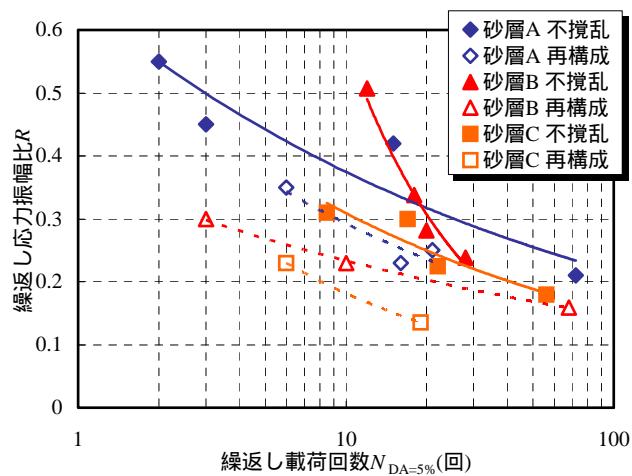


図-3 砂層 A,B および C の液状化強

表-1 砂層 A,B および C の物理特性

	砂層 A	砂層 B*	砂層 C
土粒子の密度 $s(\text{g/cm}^3)$	2.630	2.650	2.862
最大密度 $d_{\text{max}}(\text{g/cm}^3)$	1.692	1.699	1.604
最小密度 $d_{\text{min}}(\text{g/cm}^3)$	1.388	1.397	1.212

表-2 砂層 A,B および C の乾燥密度，せん断波速度，液状化強度

	供試体	乾燥密度 $d(\text{g/cm}^3)$	せん断波速度 $V_s(\text{m/sec})$	液状化強度 R_{L20}
砂層 A	不攪乱	1.669	157	0.32
	再構成	1.700	158	0.24
砂層 B	不攪乱	1.577	140	0.31
	再構成	1.557	151	0.20
砂層 C	不攪乱	1.521	126	0.25
	再構成	1.489	127	0.13

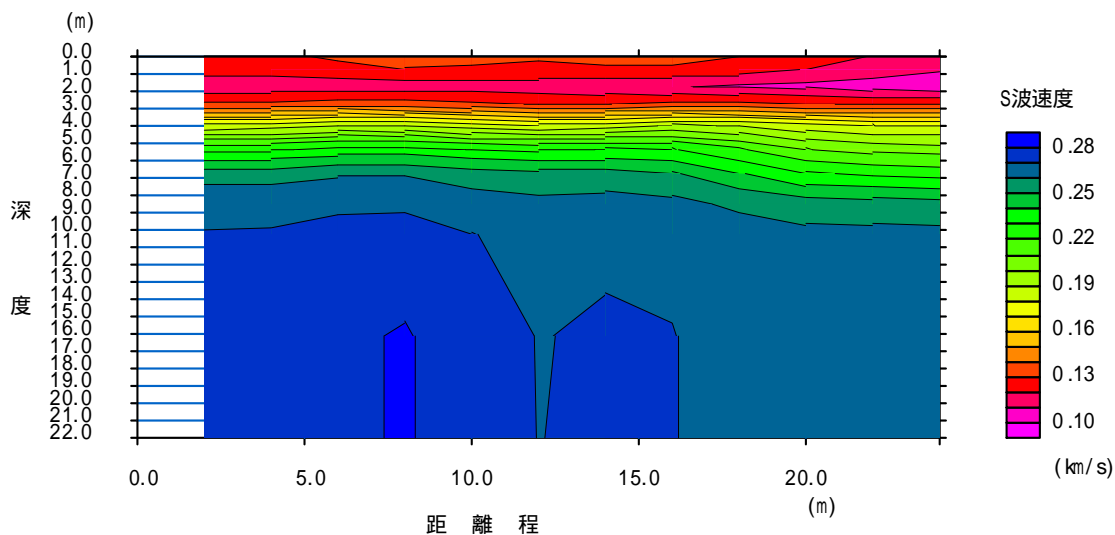


図-4 表面波探査による S 波速度

表-3 標準貫入試験による N 値と表面波探査によるせん断波速度 Vs の関係

ボーリングNo. (B下2-2)			
土層種類	深さ(m)	N値	V _s (km/s)
細砂	1.30	8	0.1
シルト	2.30	2	0.1
中砂	3.30	36	0.16
砂礫	4.30	37	0.2
砂礫	5.30	35	0.22
砂礫	6.30	41	0.23
粗砂	7.30	26	0.18
砂礫	8.30	47	0.29
砂礫	9.30	41	0.29
砂礫	10.28	50	0.29
砂礫	11.29	50	0.32
砂礫	12.29	50	0.33
砂礫	13.25	50	0.36

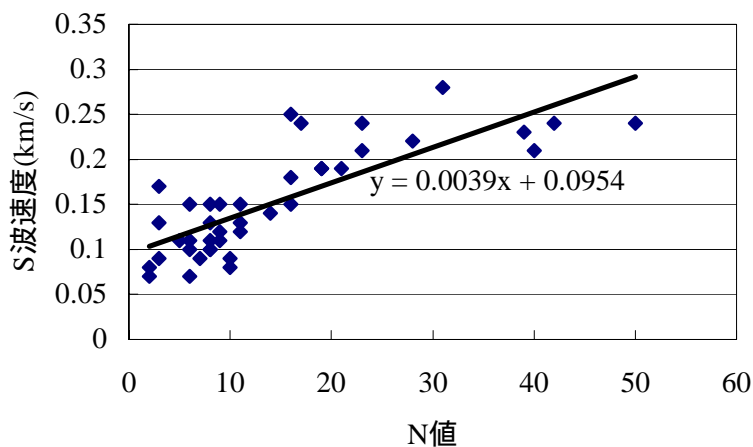


図-5 砂質層における N 値と S 波速度の相関

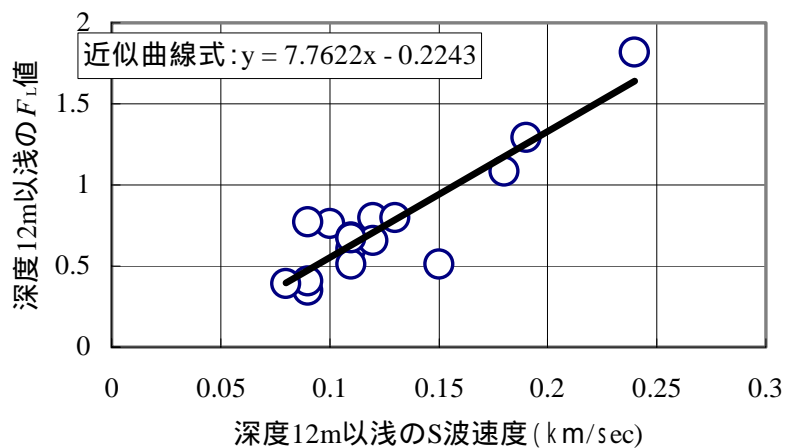


図-6 表面波探査による S 波速度と FL 値の関係

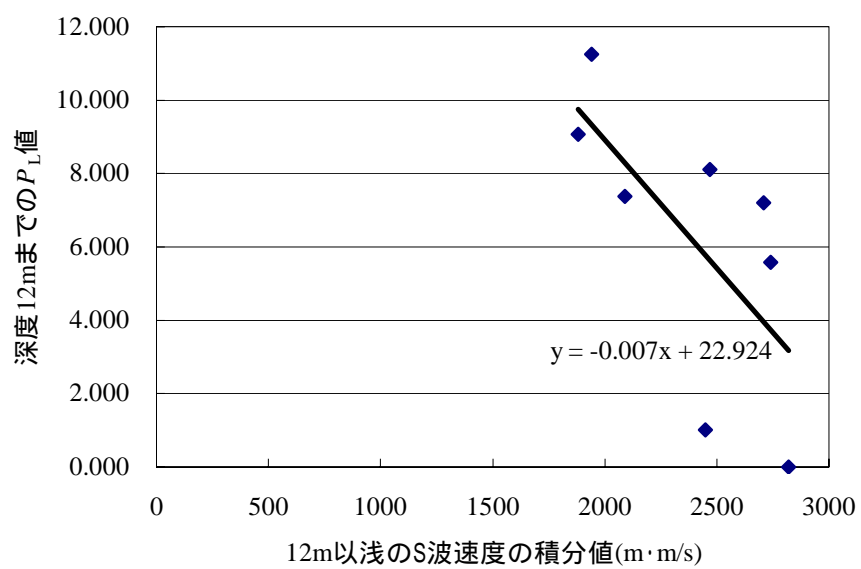


図-7 深度 12m 以浅での P_L 値と V_s 値の積分値の関係