

堆積環境を考慮した簡易液状化判定法の研究—稻沢地盤を例として—

岐阜工業高等専門学校 正員 吉村優治 正員 鈴木正人

学生 ○河田美香

富士エンジニアリング(株) 正員 犬飼隆義

1. はじめに

日本では、地震の度に液状化被害が報告されている。その中でも 1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震での液状化被害は記憶に新しい。このような被害の中にはある程度の液状化予測ができれば防ぐことのできたものも含まれるだろう。道路橋示方書による簡易液状化判定法 (F_L 法) は 1964 年の新潟地震をもとに規定されている。 F_L 法は簡易的手法とはいえ地下水位、土質名とその深さ、平均粒径 D_{50} 、 N 値、細粒分 FC などの地盤調査結果を必要とし、これらの一つでも欠けたデータに対しては判定法が適用できない。液状化判定の目的以外に行った地盤調査のデータでは、判定に用いるパラメーターに足りないものが多い。特に足らないものとして FC と D_{50} があげられる。そこで、 F_L 法に必要な土質パラメーターであり、多くのボーリング柱状図に記載のない FC を N 値と地理情報により堆積環境を考慮して推定するのが目的である。

2. 研究方法

稻沢市の土質試験結果¹⁾を用いる。地理的情報が FC や D_{50} の推定に有効であるとする根拠は、堆積環境が最大海進線²⁾からの距離に代表される地理的情報により表現可能であると考えているからである。すなわち対象が海成地盤であることを前提としている。昨年、我々³⁾は最大海進線から海側の範囲で深さ 5 m 以下の地層は海成であると仮定して解析を行ったがその仮定に不明確さが残った。幸いにも今回取り扱うデータには、貝などの海洋生物の化石を指標として海成か否かの区分がなされているので、本研究では海成地盤のみを対象とした解析を行った。重回帰モデルの構築にあたっては、地理的情報を説明変数に FC を目的変数とすることで、 D_{50} を介在させない形で解析を行う。

3. 検討結果

データは最大海進線より陸側、海側と分けた。そのデータを地層名により海成地盤、非海成地盤と区別した。その結果、陸側の海成地盤 51 個、非海成地盤 148 個、海側の海成地盤 132 個、非海成地盤 265 個であった。また、盛土は対象外とした。また、昨年の研究³⁾より海退期、海進期の境を深さ 20m とした。今回は、海側海成地盤のデータのみを対象とし、海退期（深さ 0~20m 未満）、海進期（深さ 20m 以上）と分類し用いる。重回帰分析では、 FC を目的変数、距離、深さ、 N 値、標高を説明変数とする。重回帰分析はこれら全てのデータがそろっていないと適用できない。重回帰分析が適用可能なデータ数は 99 個（海退期 74 個、海進期 25 個）となった。

図-1 に海退期における FC と深さの関係を示す。川の上流から海へと運ばれた土砂などは海岸線に近い場所ほど粒径が大きいものが、海岸線から離れた場所ほど粒径が小さいものが堆積しやすい。つまり、海岸線に近い場所ほど FC は小さく、海岸線から離れるほど FC は大きくなる。図-1 をみると深くなるほど（堆積年代が古いほど） FC が大きくなっている。これは年代が古いほど、海岸線から離れた状態で堆積し、年代が新しいほど海岸線に近い状態で堆積したこと、すなわち海退したことを表している。図-2 は海進期におけるものだが、図-1 とは逆の傾向にある。表-1 は目的変数 FC と各説明変数の間の単相関係数を求めたものである。 FC は、海退期、海進期ともに最大海進線から離れるほど小さくなる。これは、粒径の大きなものは海岸近くに堆積し、小さなものは海の沖の

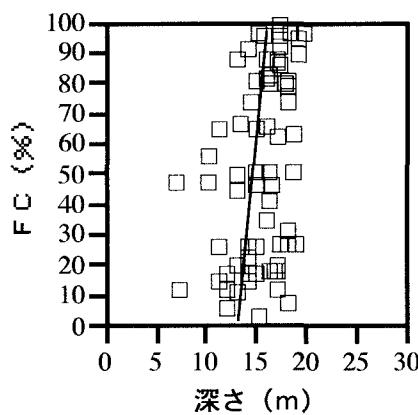


図-1 FC と深さの関係（海退期）

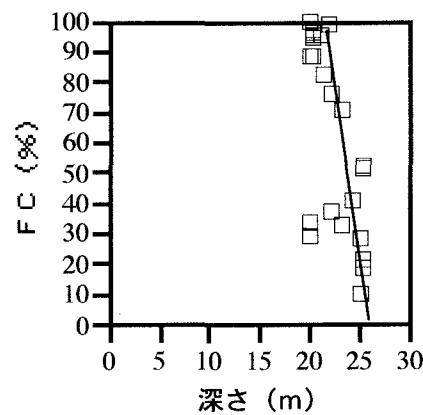


図-2 FC と深さの関係（海進期）

表-1 FC と説明変数の相関係数

	全体	海退期	海進期
距離	-0.545	-0.585	-0.367
深さ	0.219	0.366	-0.637
N 値	-0.711	-0.731	-0.798
標高	-0.387	-0.377	-0.380

方へ堆積するからであるが、海退期においては FC と距離の相関は強く、海進期においては FC と距離の相関は弱い。このように FC と距離の関係といつても海進期と海退期では相関の程度に差がある。この原因として急激な海進に伴う海面の上昇により、場所によっては粗粒分を多く含む土砂が堆積する箇所が発生することがあると考えられる。以上のように、海成地盤においては、深さと最大海進線からの距離が堆積環境を反映しており、 FC の推定に有効であると思われる。

重回帰分析は、全体、海進期、海退期のデータに対し行った。説明変数を 2 つ、3 つ、4 つと組み合わせを変化させ 11 個づつの回帰式を求めた。得られた回帰式の優劣を AIC により比較する。 AIC とは同一のデータに対して複数のモデルをあてはめた場合に、それらのモデルの中から適したモデルを選択する基準で、 $AIC = -2 \times \text{モデルの最大対数尤度} + 2 \times \text{パラメータ数}$ で表される。第 1 項がモデルのあてはまりの良さを、第 2 項がパラメータ（今の場合は回帰係数）推定の安定性を意味し、 AIC の小さなモデルが良いモデルである。表-2 は各データに対し、 AIC の小さなものから 5 つを抜き出したものだが、全ての回帰式の説明変数に N 値が含まれている。また海退期では距離が、海進期では深さが説明変数に含まれている場合が多く、 N 値とともに FC を再現するのに重要な役割を果たしていることがわかる。

以上の結果を踏まえて、図-3 に海退期の FC について説明変数を全て用いて重回帰分析により求めた値（再現値）と測定値の関係を、図-4 に説明変数に標高を加えず重回帰分析を行い求めた海進期の FC 測定値と再現値の関係を示す。いずれもばらつきはあるものの、 FC の測定値と再現値の間には 1 対 1 の関係が見られる。

4. おわりに

今回提案した手法では、海成地盤であることが分かれば地理的情報より重相関係数が 0.8 程度で FC の推定が可能になり FC が観測されていない地点でも F_L 法による液状化判定が行える。なお、シルトに関しては塑性指数 I_p の値によって、液状化判定を行う必要性があるが、 I_p も FC 同様に従来のボーリングデータでは測定されていない場合が多い。よって、 I_p に関しても FC と同様に重回帰分析による推定を試みていきたい。

謝辞：本研究は「堆積環境が地盤特性に及ぼす影響に関する研究委員会名古屋地区部会（（社）地盤工学会、松澤宏地区部会長）」および「濃尾地盤研究委員会（社）地盤工学会中部支部、板橋一雄委員長」での研究成果を発展させたものである。ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地盤工学会中部支部濃尾地盤研究委員会・稻沢市：稻沢の地盤
- 2) 海津正倫（研究代表者）：沖積平野における上部砂層の特質とその形成に関する研究、科学技術研究費研究成果報告書（1988-1990）
- 3) 吉村優治・鈴木正人・中村明子・犬飼隆義：稻沢地盤において堆積環境が平均粒径 D_{50} に与える影響、土木学会中部支部平成 11 年度研究発表会講演概要集

表-2 FC についての重回帰分析結果

	説明変数				重相関係数	決定係数	AIC
	距離	深さ	標高	N 値			
全 体	○	○		○	0.787	0.619	875.245
	○	○	○	○	0.789	0.623	876.410
	○			○	0.779	0.607	876.498
	○		○	○	0.784	0.615	876.554
	○	○	○	○	0.753	0.566	888.165
海 進	○	○		○	0.834	0.696	220.952
	○	○	○	○	0.815	0.664	221.401
	○		○	○	0.836	0.699	222.611
	○		○	○	0.803	0.645	222.751
	○		○	○	0.798	0.637	223.349
海 退	○	○	○	○	0.789	0.623	653.651
	○	○		○	0.789	0.623	653.829
	○			○	0.779	0.607	654.811
	○		○	○	0.783	0.613	655.637
	○	○	○	○	0.749	0.561	664.865

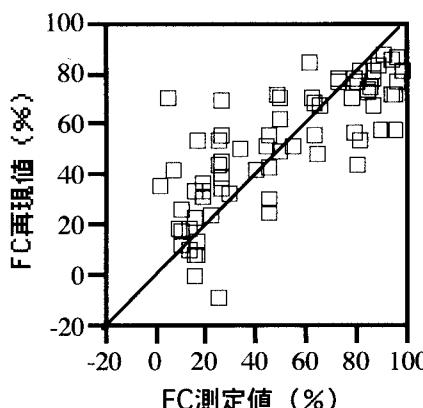


図-3 FC の測定値と再現値（海退期）

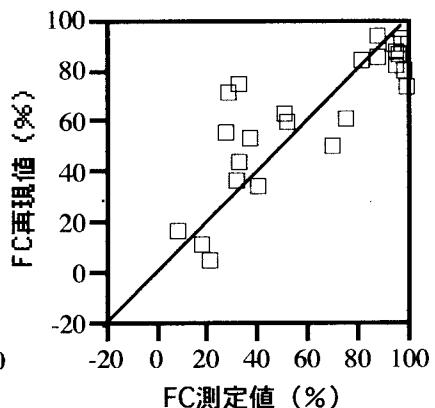


図-4 FC の測定値と再現値（海進期）