

神戸大学大学院 学生員 ○尾崎 竜三
 神戸大学工学部 フェロー会員 高田 至郎

1. はじめに 本研究は、兵庫県南部地震により得られた液状化発生地点データをもとにして、地震動および地盤条件から、液状化発生に關する要因の重みについて検討する。また、いくつかの地点に設置された液状化センサーの情報をもとに、センサーの設置されていない広域の他地点での液状化発生の有無を判断する手法についての提案を行う。

2. 兵庫県南部地震による液状化地点地盤データを用いた液状化の可能性の検討 液状化の発生に關してその可能性を考える場合、加速度などの単一の要因により個々に判断するのではなく、複数の要因を同時に解析するべきであると考えられる。本研究では、地質などの定性的な要因の考慮ができ、知識の更新が可能であるニューラルネットワークを用いた多変量解析を行う。

2.1 データの分析傾向 ボーリングデータの存在する箇所（データ総数288個の内66個が液状化データ、図-1）について、地下水位、平均N値、飽和液状化層厚の3項目の相互の関係を調べた。その結果を図-2から図-4に示す。

「地下水位が浅く、N値が小さく、砂層厚が厚い」という条件で液状化が多数発生していることが知られる。図において地下水位を除いて、要因の categorie に含まれるデータ数がほぼ等しくなるように境界分けした。平均N値(N)は、13.5、22.2が境界値となり、飽和砂層厚(H)は2.45m、5.7mが境界値となる。地下水位(W)については、1.8m、2.8mが境界となるが、category内の液状化発生データの割合で考慮すると「地下水位が浅くても液状化が発生しにくい」結果となったため、ほとんどの液状化発生データが4m以下にあることを考慮して4mを境界値とした。

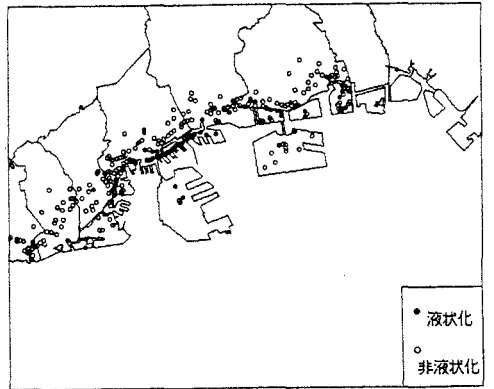


図-1 収集したデータの分布

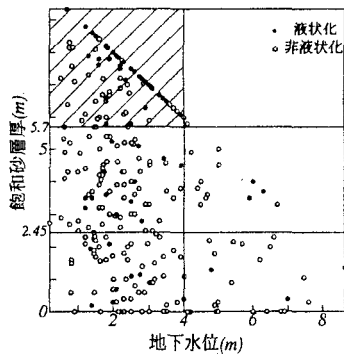


図-2 地下水位と砂層厚の関係

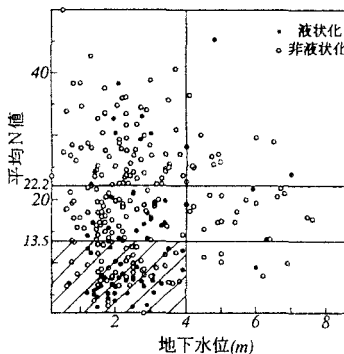


図-3 地下水位と平均N値の関係

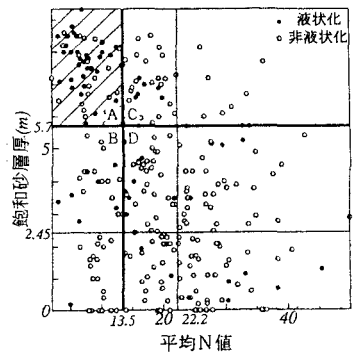


図-4 平均N値と砂層厚の関係

ここで液状化事例の多いcategory（図-2~4の斜線の領域）の液状化発生データは、 $W < 4.0$ かつ $H \geq 5.7$ では総データ95個中40個（42.1%）、 $W < 4.0$ かつ $N < 13.5$ では、89個中の38個（42.7%）、また $N < 13.5$ かつ $H \geq 5.7$ では54個中31個（57.4%）であり、N値と砂層厚で境界分けされる斜線の領域で液状化発生事例の割合が最も大きくなった。

Ryuzo Ozaki, Shiro Takada

2.2 ニューラルネットワークによる学習 図-4のA~Dの4つの領域 ($N < 13.5$ かつ $H \geq 5.7$, $N < 13.5$ かつ $H < 5.7$, $N \geq 13.5$ かつ $H \geq 5.7$, $N \geq 13.5$ かつ $H < 5.7$)で、バックプロパゲーション法によりニューラルネットワークに学習させる。学習に用いる教師データの入力要因は、地盤情報として地下水位、飽和砂層厚、平均N値、地質、 S_v 値¹⁾、 c_s ¹⁾また地震動として形状補間関数により推定できる最大加速度²⁾である。出力要因は、液状化の発生の有無で、発生を1、非発生を0とした。

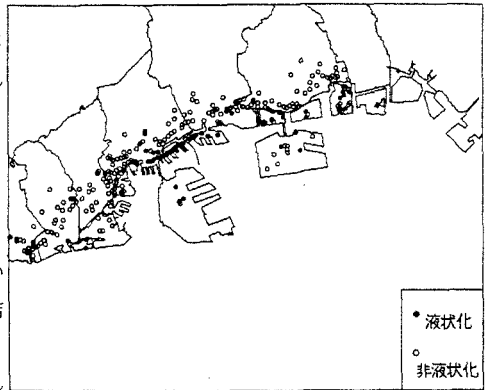


図-5 出力結果の分布

ここで、ニューラルネットワークが精度よく学習できているかを検討するために入力教師データを与えたときの出力結果を図-5に示した。本図では、0.5を境界としてそれより大きいものを液状化、そうでないものを非液状化として表現している。図-1と比較して精度よく学習できていることが分かる。

3. 広域液状化モニタリングに関する提案 均質な砂層地盤を対象として、有限要素でモデル化し、入力加速度振幅をパラメータとして有効応力法による解析を行った結果、入力加速度（基盤加速度）の最大振幅と最大過剰間隙水圧比の関係は、図-6のようになった。この結果より、実現象としてある地盤が様々なレベルの最大加速度をもつ地震動を受けたときに、図-7（実線）のような最大加速度～水圧発生関係曲線が得られると推定できる。しかし短期間で考えると同じ箇所でも頻りに地震が発生することはないので、解析を行うことでその曲線を求める。つまり手順としては、①：地震発生前に本研究で提案したニューラルネットワークにより地盤を液状化の可能性でグループ分けする、②：グループ分けされた地盤毎に最大加速度と水圧比の関係曲線を解析的方法により作成する、③：地震発生後に液状化センサーから得られる水圧発生量（水圧比）と形状関数を用いて推定される最大加速度の関係を用いて補正する（図-7（点線））、④：この曲線から図-7のように液状化と非液状化の境界となる最大加速度を決定する。液状化の可能性のグループ毎にこの手順により得た境界最大加速度を適用することで広域の液状化発生の有無を判断する。

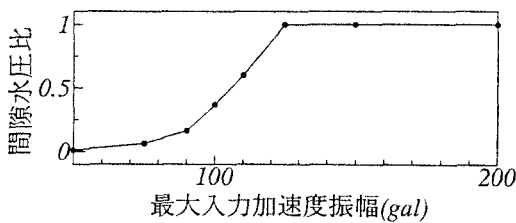


図-6 加速度振幅と間隙水圧比の関係

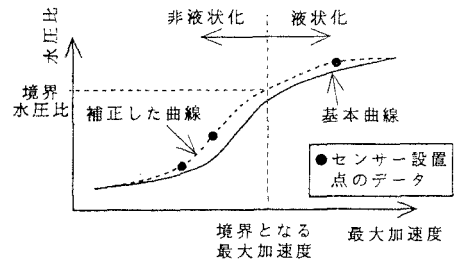


図-7 加速度振幅と間隙水圧比の関係（概念図）

4. まとめ ニューラルネットワークにより液状化の発生に関して複数の要因を考慮した多変量解析を行ったが、本研究で提案した学習手法によれば非常に精度の良い学習が行えた。またニューラルネットワークにより地盤を液状化の発生のしやすさでランク分けし、その地盤のランク毎に3.で提案した手法を用いれば、地震発生後、限られた地点に設置された液状化センサーの情報をもとにリアルタイムに液状化センサーのない他の広地域の液状化発生の有無を判断できると考えられる。

【参考文献】 1)後藤尚男, 亀田弘行, 杉戸真太: 地震動の最大地動予測におけるN値を用いた地盤条件の評価法について, 土木学会論文報告集, No.317, 1982.1. 2)尾崎竜三: 有効応力解析による液状化評価と広域液状化モニタリングに関する基礎的研究, 神戸大学修士論文, 1996.3.