

(95) 液状化簡易判定法の適用性について

東京電力㈱技術開発研究所 ○井上素行
基礎地盤コンサルタンツ㈱ 安田 進

1. まえがき

現在提案されている液状化判定方法は、①地形・地質や液状化履歴をもとにした概略判定法、②N値や粒度分布をもとにした簡易判定法、③地震応答解析や室内液状化試験を行う詳細判定法、④模型振動実験や原位置液状化実験を行う特殊判定法の4種類に大別できる。これらの判定方法は調査・設計段階や構築物の重要度等に応じて使い分け、また判定結果を適切に評価する必要があるが、現状では、使い易さのために②が多用されすぎたり、③の方法に走りすぎたりしているケースが多々見受けられる。ここでは、現在提案されている簡易判定法の適用性を次の2点について検討したのでその結果を報告する。

- i) 各簡易判定法に含まれている誤差
 - ii) 各簡易判定法の適用上の留意点 (適用限界など)
- なお、対象とした地盤はN値が25程度以下のゆるい地盤である。

2. 簡易判定法策定時にもともと含まれている誤差の検討

今回検討を行った簡易判定法は表-1に示した7つとした。これらは現在わが国で広く用いられているものを選んでみる。

まず、各判定法の策定時にもともと含まれている誤差の検討を行った。一例として道路橋示方書・同解説の方法について以下に述べてみる。

この方法では、液状化に対する抵抗率 F_L が動的せん断強度比 R ($R = R_1 + R_2$) と地震時せん断強度比 L との比から求められる。 R のうち R_2 は図-1に示すように、7箇所での室内液状化試験結果の平均値が用いられている。図にはバラツキの上、下限が示してあるが、この範囲から判断すると R に含まれている誤差範囲は約±30%となる (一般に液状化が問題となる $R = 0.25$ 前後を仮定した場合)。また、 L のうち深さ方向の低減係数 r_d も図-2に示した地震応答解析結果の中間的な値をとって決定されている。解析結果のバラツキの範囲から誤差を評価すると、図に示したように深くなるほど誤差は大きくなり、10mの深さでは約±20%、20mの深さでは±30%となる。したがって、 F_L には最大で±50~60%の誤差が含まれている可能性があると言えよう。

他の判定法では、すべて原論文に図-1, 2のようなデータのバラツキが明示されているわけではないが、明らかなものについて同様の検討をしてみたところ、道路橋示方書の場合に近い程度の誤差は含まれているものと判断された。したがって、各種簡易判定法には最大で±50%程度の誤差はもともと含まれている可能性もあるとみなしておいた方

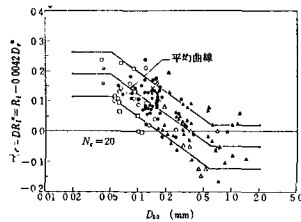


図-1 R₂に含まれている誤差

表-1 検討を行った簡易判定法

分類	判定法の名称	策定年
限界	(a) 建築基礎構造設計標準・同解説	昭和54年
	(b) 危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示	制定昭和49年 最終昭和59年
N値	(c) 港湾の施設の技術上の基準	昭和54年
	(d) LNG地下式貯槽指針	昭和54年
F _L 値	(e) 道路橋示方書・同解説	昭和55年
	(f) Seed法	1979年
	(g) 時松・吉見法	1983年

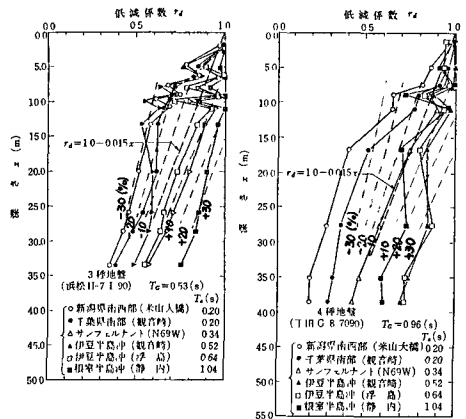


図-2 rdに含まれている誤差

がよいであろう。

3. 震害事例の試算に基づいた誤差の評価

次に、過去の地震で液状化した地点と液状化しなかった地点の土質調査データを収集し、それに各簡易判定法を適用して、判定結果と実際に生じた現象を比較した。

収集したデータは表-2に示した111地点であり、濃尾、東南海、福井、新潟、十勝沖地震は岩崎・龍岡ら¹⁾、宮城県沖地震は岩崎ら²⁾、日本海中部地震は陶野ら³⁾のデータを中心とし、その他のものをつけ加えている。これらの液状化地点のデータはすべて明らかに噴砂や液状化による被害が生じた近傍のものであり、非液状化地点のそれは、液状化地点の近くで噴砂や液状化による構造物被害が生じなかった地点のデータを主体としている。

計算(判定)に必要な土質定数のうち、N値や地下水位は全地点でそろっていたが、平均粒径 D_{50} ・細粒分含有率FC・単位体積重量 γ_t はそろっていない地点もあった。その場合は土質名よりこれらの値を仮定した。また、地表最大加速度は近くに強震記録がある場合にはその値を、ない場合には他地点の強震記録や既往の距離減衰式等を参考に、震央距離とマグニチュードから推定している。

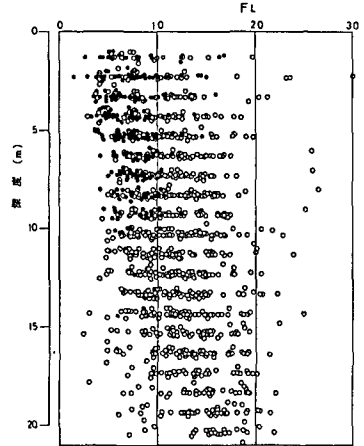
7つの簡易判定法のうち、代表的な3つの方法による計算結果を示すと図-3となる。液状化層での判定結果を黒印で、非液状化層の結果を白印で示している。ただし、液状化層は次のような基準を設けて判断している。①液状化地点における地下水位以下のゆるい砂質土層(下部に締まった砂層や粘性土が存在する場合はその層境界まで、深度方向に徐々に締まってゆく場合にはN値が10~15程度の深度まで)、②液状化地点においてクイの折曲がりなどの被害状況からみて明らかに液状化したと考えられる層。

図-3を見てわかるように、液状化層でも FL や N/N_{cr} (N_{cr} : 限界N値、 N : 実測N値)が1を超えている層があり、逆に非液状化層でも $FL < 1$ 、 $N/N_{cr} < 1$ となっている層がある。この割合を明らかにするために表-3に示したような深度別の FL 、 N/N_{cr} の度数分布を描いてみた。港湾の方法では他の2つの方法に比べて、地盤深度が深くな

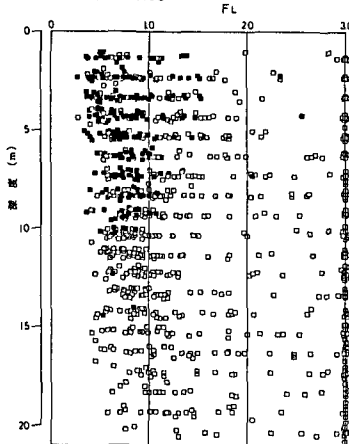
表-2 震害事例の検討対象地盤と計算地点数

地震	液状化地点数	非液状化地点数	地表面最大加速度(推定) gal	計
濃尾地震 M=8.4 1891年10月28日	4	0	210~270	4
東南海地震 M=8.0 1944年12月7日	3	0	200	3
福井地震 M=7.3 1948年6月28日	3	1	295~325	4
新潟地震 M=7.5 1964年6月16日	20	8	170	28
十勝沖地震 M=7.9 1968年5月16日	4	0	200~235	4
宮城県沖地震 M=7.4 1978年6月12日	16	24	175~230	40
日本海中部地震 M=7.7 1983年5月26日	17	11	116~270	28
計	67	44	—	111

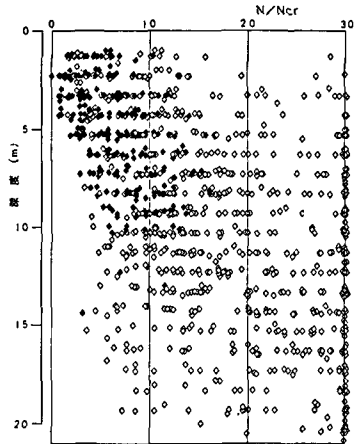
(a) 道路標示方書



(b) 時松・吉見



(c) 港湾の施設の技術上の基準

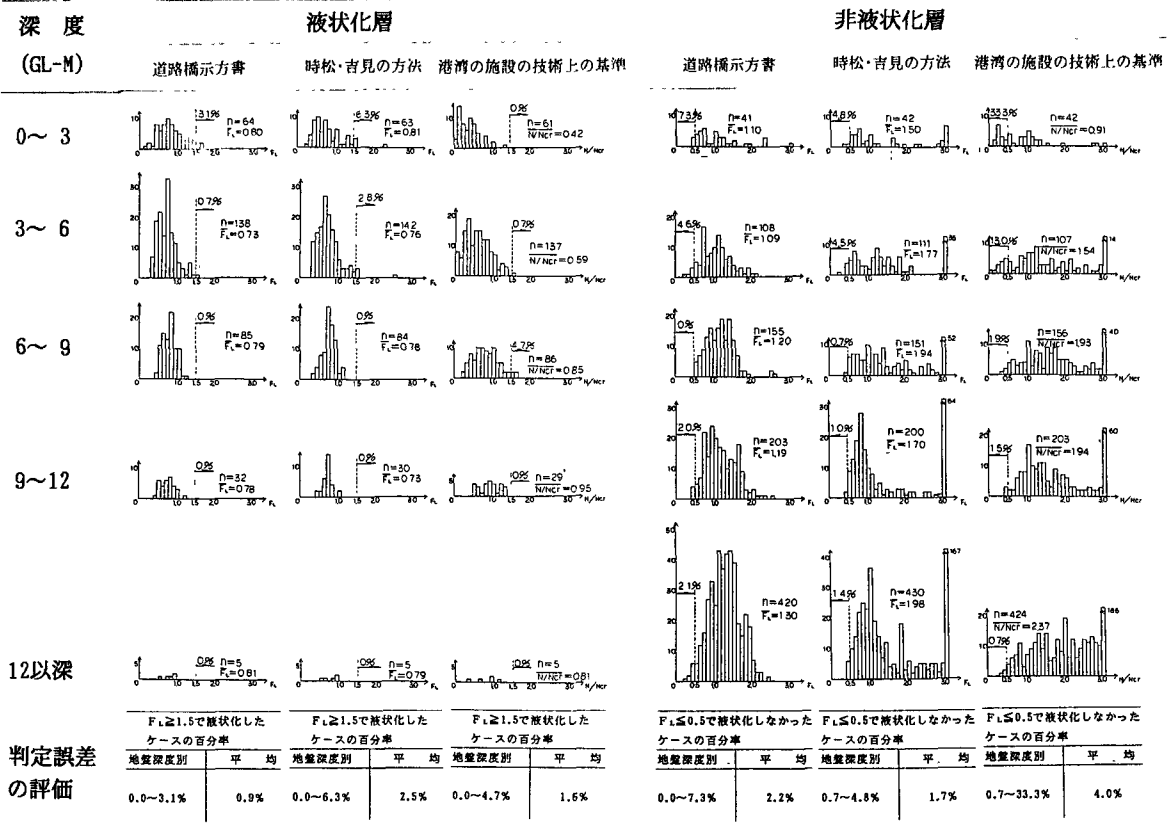


凡 黒ヌリ:液状化したと推定される層の計算結果

例 白ヌキ:液状化しなかったと推定される層の計算結果

図-3 3つの方法による震害事例の判定結果

表-3 震害事例による判定誤差の評価

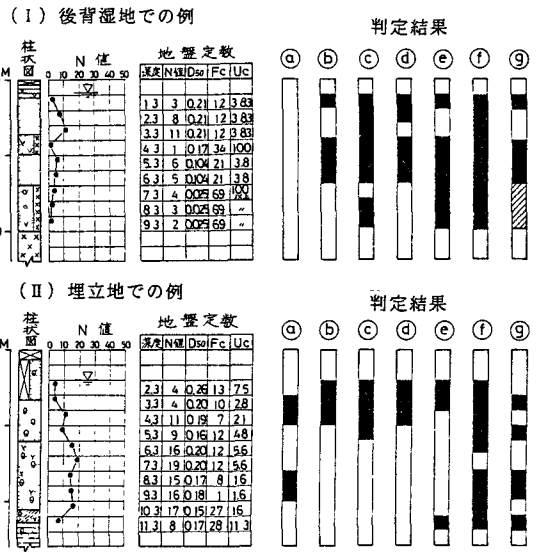


ると F_c の平均値 \bar{F}_c が液状化・非液状化層とも大きくなっている傾向が見られるが、これは港湾の方法では限界 N 値を深さ方向に一定にとられているためと考えられる。いずれにせよ、3つの方法とも液状化層で F_c 、 $N/N_{cr} > 1.5$ となっている割合や非液状化層で F_c 、 $N/N_{cr} < 0.5$ となっている割合は小さく、液状化判定結果に含まれている誤差は最大で±50%見ておけば判定結果は十分信頼性があると言えよう。

ただし、液状化層・非液状化層を判断するにあたって、①液状化地点で液状化層と判断した層が全層にわたって実際に液状化したかどうかは推定の域を出ない。非液状化層と判断した層についてもこの種の問題がある。②非液状化地点でもある深さに薄い液状化層を含んでいる可能性もある。といったような問題点を有していることに注意が必要であろう。

4. 各簡易判定法の特徴

上述した震害事例の検討からも各簡易判定法の適用上の留意点が少しわかってきたが、更に明らかに



- ① ~ ⑧ の判定法の名称は表-1 参照のこと。
- D_{50} 、 F_c の単位は (mm)、(%)。
- : 液状化する、 : 液状化しても被害が少ない、 : 液状化しない

図-4 代表地点での簡易判定法適用例

するために、東京電力で土質調査を行ったいくつかの地点について、各判定法による判定結果を比較してみた。地表最大加速度は各判定法での条件がほぼ等しくなるように、200galと設定した。

図-4に試算結果の一例を示す。(I)では砂質土層といえども細粒分をかなり含んでおり、各判定法における粒度分布を規定するパラメータのとり方の相違から、判定結果が異なっている。建築基礎の方法では $FC > 10\%$ で全層が液状化しないと判定され、逆に、港湾やSeedの方法では粒度に対する条件が厳しいため、ほぼ全層にわたって液状化すると判定されている。(II)では上層の判定結果に大差ないが、7m以深では異なっている。これは、深さ方向に規定がない(限界N値が深さ方向に一定)方法とそうでないものとの相違に起因している。

この他、微地形的な見地からみると、海岸砂丘のようなきれいな砂層が堆積している所では各判定結果に差が生じにくく、逆に後背湿地のように細粒分を多く含んだ砂層が堆積している所では判定結果に差が生じ易いと言えるようである。

以上のような考察をもとに各判定法の適用上の留意点をまとめてみると表-4のような事項が挙げられよう。ただし、前述したように、あくまでも $N < 25$ 程度のゆるい砂を対象とした場合である。

5. まとめ

以上検討してきたように、現在提案されている液状化簡易判定法には、判定結果に誤差を含んでいるものの、最大で±50%程度見ておけば十分信頼性があると考えられる。ただし、各判定法の適用性については表-4に示すような留意が必要である。以上より、簡易判定法を行った後に詳細判定を行うか否かを判断する方法として、図-5に示すような手順が合理的であると考えられる。図中、“詳細判定の必要性の検討”の一項目を含めたのは、 $0.5 < (F_L \text{ or } N/N_{cr}) < 1.5$ といった明確に判断つきかねる時でも、液状化によって受ける被害が軽微であるとか、あまり重要な構造物でない、あるいは対策費用が軽微であるといった場合には詳細判定まで行う必要がないと判断されるためである。

なお、本研究は構築物合理化技術に関する課題の一部として検討を進めているものであり、電力中央研究所・国生剛治氏、東大生研・龍岡丈夫助教には有益な御助言をいただいた。

6. 参考文献

- 1) 岩崎敏男・龍岡丈夫・常田賢一・安田 進: 砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例, 第5回日本地震工学シンポジウム講演集, pp. 641-648, 1978.
- 2) 岩崎敏男・常田賢一・木全俊雄: 地震時における砂地盤の液状化判定法と耐震設計への適用に関する研究, 土木研究所資料, 第1729号, 1981.
- 3) 陶野郁雄・安田 進・杜本康広: 日本海中部地震における液状化現象とその被害状況, 土と基礎, Vol. 31, No. 12, pp. 47-54, 1983.

表-4 ケース・スタディ結果に基づく各判定法の適用上の留意点

判定法	適用上の留意点
限	建築基礎構造設計規準・同解説 FC>10%では液状化しないという規定があるため、細粒分を多く含む地盤では他の判定法に比べて液状化しにくい判定となる。対象設計地震動の大きさは一定である。
界	危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示 細粒分含有率に対する評価は他の判定法に比べても同様なものであると思われるが、深さ方向に対する規定がないため、特に深い部分では液状化しにくい判定を与える可能性もある。また、対象設計地震動の大きさは一定である。
N	港湾の施設の技術上の基準 粒度構成に対する規定がきびしく、また粒度による判定時に個人誤差がはやりやすい。深さ方向に対する規定がないため、特に深い部分では、液状化しにくい判定を与える可能性もある。
値	LNG地下式貯槽指針 「危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示」に同じ。
法	道路橋示方書・同解説 粒度定数をFCではなく D_{50} で規定しているため、 D_{50} の値のわりにFCの大きな土では液状化しやすい判定を与える傾向がある。
F	Seed法 粒度構成に対する規定がないため、FCが大きくN値が小さい土では液状化しやすい判定を与える傾向がある。
値	時松・吉見法 まだ適用例が少なく、適用上の留意点も明らかでない。今回の試算結果から見ると、判定結果は「道路橋示方書」に近いものとなっている。

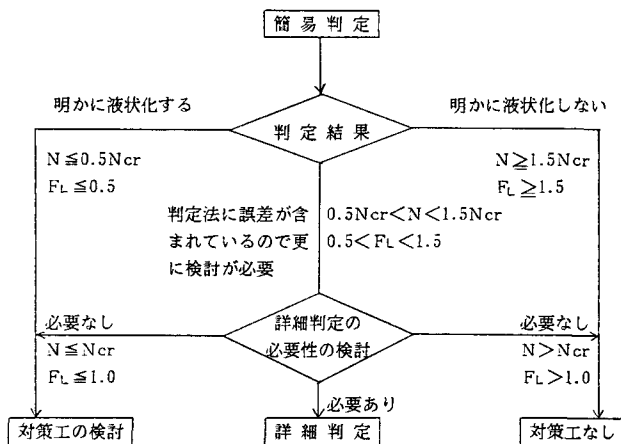


図-5 簡易判定から詳細判定に至る手順案