



危険物関係用語の解説 第45回 【液状化(D₅₀、Fc、限界N値法、P_L値法)】

近年、地盤の液状化現象については、大きな地震が発生するたびに、新聞やテレビニュース等で一般的に耳にするようになりました。

我が国においては、昭和39年に発生した新潟地震を契機に、地盤の液状化現象について本格的に調査・研究が行われるようになりました。新潟地震では、新潟市内の至る所で液状化現象が発生しており、アパートが傾く等の大きな被害が発生しました。また、屋外貯蔵タンクも例外ではなく、液状化によると思われる沈下や傾斜が発生し、配管等の損傷により油が漏洩し火災も発生しました。

平成7年に発生した兵庫県南部地震においても、埋立地を中心として地盤の液状化現象が発生しており、屋外貯蔵タンクにも不等沈下等がみられました。

とりわけ記憶に新しい液状化現象による被害は、平成23年東北地方太平洋沖地震におけるものです。東京湾岸の埋立地の市街地では、家屋の傾斜やマンホールの浮き上がり等の被害が多く発生しました。

本稿では、液状化現象のメカニズムについて概説した後、液状化判定に関係ある土質定数と屋外タンクの基準にある液状化判定方法について解説します。

1. 液状化のメカニズムについて

液状化とは、地下水で満たされた（飽和した）密度の緩い砂質土地盤において、地震時に砂分が液体のように流動する現象を言います。

図1に示すように、密度の緩い砂質土地盤は、元々不安定であり、地震時に強い揺れやずれ（せん断力）が加わると体積が収縮し、密度の濃い締まった安定な状態になろうとする性質があります。特に、地下水で飽和された密度の緩い砂地盤では、地震などによる繰り返し荷重が加わると、土粒子間の噛み合わせが徐々にはずれ、土粒子は水中に浮遊した状態になり、地盤としての強度を失います。

Safety & Tomorrow 178号（3月号）において、異なる地質時代における堆積物による土層の名称として「洪積層、沖積層」を解説しましたが、一般的に古い地質時代の洪積層では液状化が起きた事例は極めて少ないとされており、液状化判定は、現世の埋め立て（盛土）層と沖積層の砂質土地盤が対象とされています。

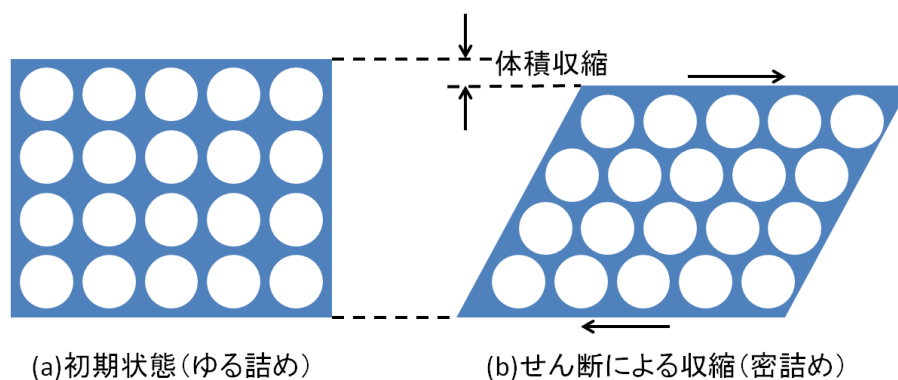


図1 せん断に伴う砂の体積収縮¹⁾

2. 液状化判定に関係のある土質定数 (D₅₀ と Fc)

液状化の判定方法については限界N値法やP_L値法等があり、これらの判定方法については後述することとしますが、ここでは液状化判定に必要な土質定数として「D₅₀」と「Fc」について、その概要を解説します。なお、D₅₀やFcの算出方法等については、Safety & Tomorrow 177号(1月号)で詳細に記載しています。

D₅₀ (平均粒径) とは、粒度試験により作成された粒径加積曲線から通過重量百分率50%の粒径を読み取った数値です。つまり、D₅₀は、その土を構成している粒の平均的な粒径を表したものです。

Fc (細粒分含有率) とは、75μm (0.075mm) のふるいを通った土の重量を、その土の全体重量で除し、割合で表したものです。その土に75μmより細かい土に分類されるシルト質土、粘性土が多く含まれるとFc値は大きくなり、粒径2.0mm～0.075mmの範囲の砂質土が多く含まれるとFc値は小さくなります。

液状化については、各種の調査・実験等から次のようなことが言われています。

- ①N値 (Safety & Tomorrow 177号(1月号)で解説しています) が大きい地盤ほど土粒子の密度が大きいため液状化しにくい。
- ②D₅₀ (平均粒径) が大きい土では透水性が高いため、過剰間隙水圧が生じにくく、液状化しにくい。
- ③D₅₀が十分小さい土では、粘着力により動的せん断強度が地震時に急激に減少することが少なく液状化しにくい (動的せん断強度とは、地震時の土粒子の噛み合わせ、粘着力等による土の強さのこと)。
- ④D₅₀の大きさに関わらず、Fc (細粒分含有率) が大きい土では、動的せん断強度が大きくなる傾向を示し、液状化しにくい。

このように、液状化の可能性については、N値やD₅₀等の土質定数が大きく関わっていることが分かります。また、次に記載する限界N値法やP_L値法による液状化判定についても、土質定数が大きく関係しています。

3. 液状化判定方法

(1) 限界N値法

危険物の規制に関する規則第20条の2第2項第2号ロ(2)では、特定屋外貯蔵タンクの地盤は、「地表面からの深さが15mまでの地質 (基礎の上面から3m以内の基礎直下の地盤部分を除く) が告示第4条の8で定めるもの以外のものであること」と規定されています。告示では液状化という直接的な表現は用いられていませんが、告示第4条の8では、地盤を構成する地質の制限として、砂質土であって次に示す各項目に全て該当した場合に、液状化の可能性があるとされています。

- ①地下水によって飽和されていること。
- ②粒径加積曲線による通過重量百分率の50%に相当する粒径 (D₅₀) が2.0mm以下であること。
- ③次の表に掲げる細粒分含有率 (篩い目の開き0.075mmを通過する土粒子の含有率) の区分に応じ、それぞれ同表に掲げる標準貫入試験値以下であること。

細粒分含有率 (Fc)	標準貫入試験値	
	A	B
5%未満	12	15
5%以上10%以下	8	12
10%を超え35%未満	6	7

以上のように、告示第4条の8で示された内容により液状化判定する方法が、限界N値法と呼ばれるものです。なお、標準貫入試験値のA及びBの区分は、次の図2に示す範囲とされています。

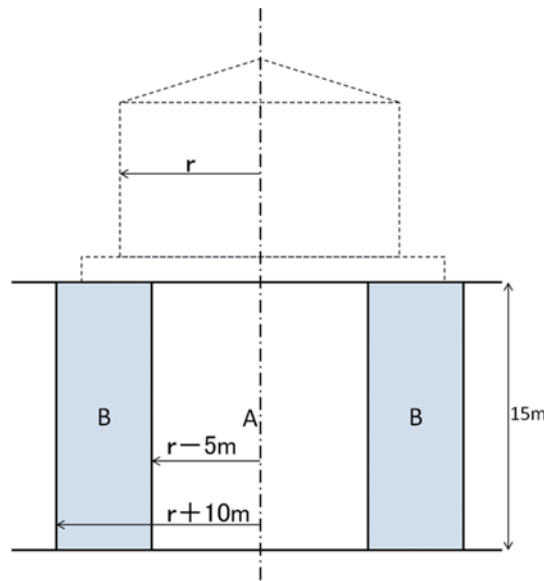


図2 A及びBの範囲

この液状化判定法は、液状化に対する限界N値をFc（細粒分含有率）に応じて具体的に示したことが特徴であり、新潟地震以降の液状化発生事例の調査結果に基づき、昭和40年代後半から昭和50年代前半にかけて港湾、道路、建築などの分野で検討され、耐震設計基準等に導入されました。特定屋外タンク貯蔵所においても、昭和52年の消防法令の改正により、限界N値法が技術基準として告示に規定されました。

(2)P_L値（地盤液状化指数）法

P_L値法は、旧法タンク（昭和52年以前に設置許可申請された特定屋外タンク貯蔵所）における地盤の液状化検討に用いられる手法です。また、準特定タンク貯蔵所においても、地盤の液状化検討の一つとして用いられています。

P_L値法も限界N値法と同様、標準貫入試験等から得られたN値、D₅₀、Fc等の土質定数に基づき算出します。P_L値法は、地表面から20mまでの地盤について告示第74条及び平成6年消防危第73号通知に示された計算式により求めることとされており、その地盤全体の液状化の危険度を総合的に表す手法です。消防法令では、この計算式により求めたP_L値が5以下であることとされています。P_L値が5以下であると、液状化に対する危険度は低く、旧法タンクでは対策工は一般的に不要とされています。

P_L値法により液状化判定を実施するためには、地表面から深度1mごとに液状化の抵抗率（F_L）を算出する必要があります。F_Lは1未満であるとその深度は液状化の危険性が高いことを示します。

地盤の比較的浅い層でF_Lが1未満となる場合は、深い部分で1未満となる場合に比較して液状化に対する危険度が高いこととなることから、P_L値法では地表面からのF_L値に深さ方向に重み係数を乗じて積分し、P_L値を算出します。詳細は省略しますが、以下にP_L値法を求める算出式を示します。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot \omega(x) dx$$

ここで、

F : F_L < 1.0の時、1 - F_L、F_L ≥ 1.0の時0

F_L : 各深度における土層の液状化に対する抵抗率 F_L = R/L

R : 動的せん断強度比

L : 地震時せん断応力比

ω(x) = 10 - 0.5x （当該箇所が前述の重み係数に相当する項です）

x : 地表面からの深さ（単位：m）

液状化判定方法について、限界N値法と P_L 値法を解説しましたが、2種類の相違点をまとめると次のとおりとなります。

- ・限界N値法では、地表面から15mの深さの範囲で、深さ方向1mごとに限界N値に満たない箇所があれば不適合となり、地盤改良等の対策が必要となります。
- ・ P_L 値法では、地表面から20mの深さの範囲で液状化の安全率 F_L が1未満の危険性を有する層が存在しても、全体的な評価で地盤液状化指数 P_L 値が5以下であれば適合となります。

これらを比較すると、条件的に限界N値法の液状化判定基準の方が厳しいものとなっています。

4. おわりに

地盤の液状化判定は、屋外貯蔵タンクの安全性確保にとって重要な項目です。この液状化判定は、標準貫入試験により得られたN値や土質試験から得られた D_{50} や F_c 等の土質定数を組み合わせて実施しています。

しかし、標準貫入試験等のボーリング調査から得られた数値は絶対的なものではなく、地盤の調査箇所によりバラツキがあること等を念頭に地盤の液状化検討を実施することが重要です。

【参考文献】

- 1) 土質動力学の基礎：石原研而 鹿島出版会 1976, P323