

今回解説する用語

- 砂質土と粘性土
- 土の内部摩擦角と粘着力
- 良質土
- 液状化

危険物の規制に関する規則第20条の2においては、「基礎及び地盤は、各号に定める基準に適合するものでなければならない」とされており、「基礎は、砂質土又はこれと同等以上の締め固め性と堅固さを有するものであって、又、補強するための措置を講ずること」とされている。

また、「地盤は、粘性土地盤と砂質土地盤の試験法と必要値が定められ、すべり・支持力・沈下量の計算や安全率が告示で定める値を有するものであること」とされている。

ここでは、砂質土や粘性土とは何か、計算式中で使用する内部摩擦角（ $\phi$ ）と粘着力（ $c$ ）とは何か、締め固め性と堅固さを有するものとは何か、併せて砂質土地盤の液状化とは何か、について解説するものである。

### 1. 砂質土と粘性土

砂質土とは砂分を主体とする粒径75mm未満の粗粒土のことであり、粘性土とは粘土分を主体とする粒径75 $\mu$ m未満の細粒土のことを指す。両者の概略的な相違点は、砂質土地盤では後述する液状化の可能性があるが、粘性土地盤では圧密沈下の可能性があることである。

土は主に岩石などの風化、浸食、崩壊による自然の産物で、大小様々な粒子の集合体であり土粒子（個体）と水（液体）と空気（気体）の三相から成り立っている。

図1-1に土の模式図（土を構成する要素）を示す。

一方、土を地盤の構成材料として分類<sup>2)</sup>すると、粗粒土（Cm）・細粒土（Fm）・高有機質土（Pt）・人工材料（Am）の四つに大別される。

このうち、粗粒土は礫質土（G）と砂質土（S）に、細粒土は粘性土（Cs）、有機質土（O）、火山灰質粘性土（V）に大分類される。

これらの粒径区分とその呼び名を表1-1に示す。

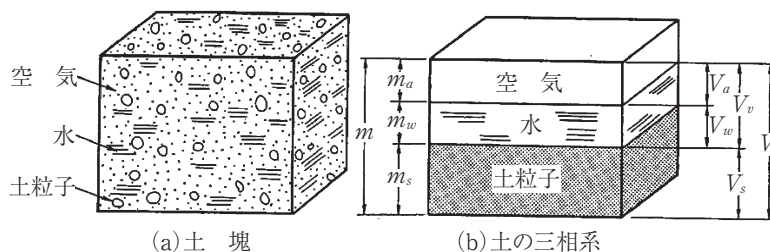


図1-1 土の模式図（土を構成する要素<sup>1)</sup>）

表1-1 粒径区分とその呼び名<sup>3)</sup>

		5 $\mu$ m	75 $\mu$ m	425 $\mu$ m	2.0	4.75	19	75 (mm)
日本 JSF M111-1990	粘土	シルト	細	粗	細	中	粗	
			砂		礫			

2. 土の内部摩擦角と粘着力

土の内部摩擦角は、土を構成している土粒子間の相互の摩擦や噛み合わせの抵抗<sup>4)</sup>を角度で現すものであり、粘着力は、土粒子を互いに結合している力である。

平地に一定量を盛りこぼした砂や碎石などの状態は、必ず斜面になっているが、この斜面の角度を一般に安息角という。

この現象は、土の内部にずれに抵抗する（摩擦抵抗）力が働いているものとされているが、この起因となる一つを土の内部摩擦角またはせん断抵抗角という。

一方、粘土などの細粒土は、粘りを持っている（粘着性がある）ため斜面にはならず<sup>5)</sup>、鉛直に盛り上げたり、手指でこねたりすることも出来る。これは粘着力と呼ばれ、前述の二つ目の起因となるものである。

① 土の力学的性質

力学的な性質を表すものには、「変形」と「強度」があるが、このうち、土の強度は、内部摩擦角 ( $\phi$ ) と粘着力 ( $c$ ) の合計で表せられる。

即ち、 $c \cdot \phi$  は「土の抵抗（力）は、粘着力と摩擦力よりなる」とするクーロンの摩擦則により、土のせん断強さ（強度）を求めるための強度定数となっている。

ここでせん断強さ（強度）とは、地すべりに代表される山の崩壊時や土塊の破壊時に、すべり面を境として「すべることを防ごうとする最大の抵抗力<sup>1)</sup>」をいう。

クーロンの実験式では、 $\tau f = c + \sigma \cdot \tan \phi$  として現される。

但し、 $\tau f$ : せん断強さ  $c$ : 粘着力  
 $\sigma$ : せん断面に垂直な応力  $\phi$ : 内部摩擦角

② 数値の求め方

内部摩擦角 ( $\phi$ ) と粘着力 ( $c$ ) の値は、室内での一面せん断試験や一軸圧縮強度試験 ( $qu$ ) 及び三軸圧縮強度試験から求められているが、実用的な値は、原位置での標準貫入試験から得られるN値から推定されることが多い。

図2-1にクーロンの破壊基準による $c \cdot \phi$ 、の作図例を、表2-1にN値による強度定数の推定値を示す。

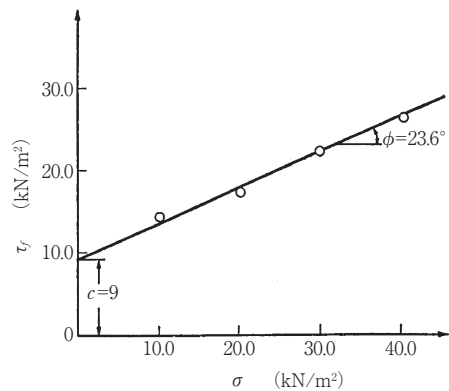


図2-1 クーロンの破壊基準による $c \cdot \phi$ <sup>1)</sup> (一面せん断試験結果作図例)

表2-1 N値による強度定数の推定値<sup>6)</sup>

土性値	推定方法	摘要
粘土の一軸圧縮強さ	$qu=12.5N$	Terzaghi& Peck
	$qu=40+5N$	大崎
	$qu=(25\sim 50)N (N > 4)$	竹中、西垣、奥村
	$qu=qc/5$	
$qu$ (kN/m <sup>2</sup> )	粘着力 $c_u$ (kN/m <sup>2</sup> ) は、 $c_u=qu/2$ で求めることができる。	
砂の内部摩擦角	$\phi = \sqrt{15N} + 15$	国土交通省
	$\phi = \sqrt{20N} + 15$	大崎
$\phi$ (°)	$\phi = 1.85 \{N / (0.01 \sigma v' + 0.7)\}^{0.6} + 28$	鉄道

(記号)N: N値、qc: コーン指数 (kN/m<sup>2</sup>)、 $\sigma v'$ : 有効土被り圧 (kN/m<sup>2</sup>)

③ 数値の使われ方

消防法の旧法タンクに適用される新基準では、既設のタンクにおける基礎の局部的なすべりの計算には、土質調査結果によらず、表2-2の値を用いても良いことになっている。

表2-2 新基準の土質定数

	砂質土	碎石
粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	5	20
内部摩擦角 (度)	35	45

この表で「数値が大きいのではないか」と疑問を持たれる方もいると思うが、タンク直下の基礎は、少なくとも20数年以上の載荷履歴を持つことから、密な状態と強度増加を考慮して決められている。また、新法タンクにおける碎石の土質定数については、表2-3のいずれかが使用されている。

表2-3 新法の土質定数

	碎石	碎石
粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	10	5
内部摩擦角 (度)	40	45

3. 良質土

良質土とは粒径の分布範囲が広く、適度な湿り気（含水量）と適度な水はけ（透水性）のある締め固め性や安定性が良好な土をいう。

一般的には、砂質土や礫質土がこれに相当し、締め固めにより堅固さを発揮する。

また、河川や山地で採取した切り込み砂利、泥分を落としてふるい分けした砂や砂利、あるいは、岩石を砕いた碎石やこれを粒度調整した粒度調整碎石、さらに鈹滓などは、「良質（土）材」として、砂質土と同等以上の締め固め性を有している。タンク基礎はこうした材料により築造されている。因みに、不良土<sup>5)</sup>（軟弱土）に良質土（材）を混ぜた「混合土」や石灰、セメントなどを混合したものは、代表的な「改良土」と呼ばれている。

4. 液状化

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<sup>5)</sup>する現象をいう。

液状化がにわかにはクローズアップされたのは、昭和39年（1964年）の新潟地震で、四階建てアパート群などの建造物の倒壊や信濃川に架かる昭和大橋の落橋など、地震による液状化が甚大な被害を引き起こしている。

密度の緩い砂質土地盤は元々不安定<sup>8)</sup>であり、ここに強い揺れやずれ（せん断）が加わると体積が収縮し、密度の濃い締まった安定な構造になろうとする性質<sup>8)</sup>がある。

図4-1にせん断に伴う砂の体積収縮を示す。

特に、地下水で飽和し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、土粒子は水中に浮遊し、全体がどろどろの液体状になって、地上に噴き出す。これは噴砂現象

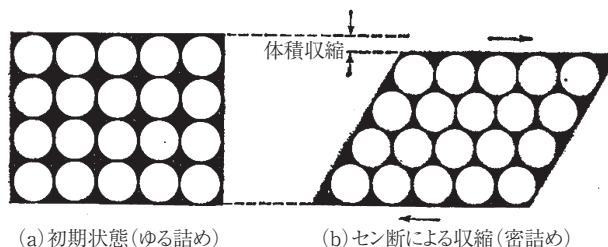


図4-1 せん断に伴う砂の体積収縮<sup>7)</sup>

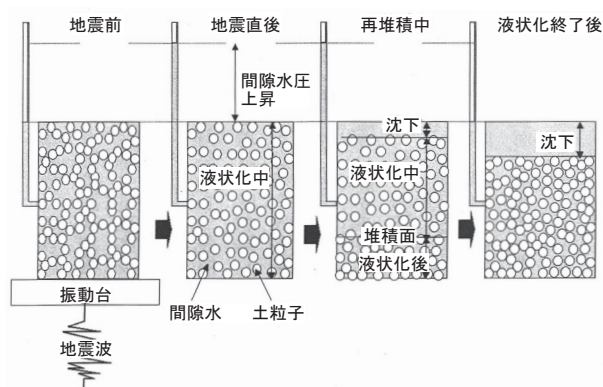


図4-2 液状化実験図<sup>9)</sup> (國生教授による)

と呼ばれる。

こうして軽い構造物は浮き上がり、重い構造物は沈んでいくことになる<sup>8)</sup>。

図4-2に液状化の実験図を示す。

再び、新潟地震における屋外タンク貯蔵所の被害の特徴を見ると、①液状化によるタンクの沈下や②様々な要因で漏洩した原油や重油が、液状化により噴出した地下水に乗って広範囲に広がり、延焼を拡大している。

液状化は多くが地表面近くで起きる現象である。そのため、特定屋外タンク貯蔵所の基準においては、通常、深さ15m、新基準では20mまでの検討であり、準特定屋外タンク貯蔵所の基準では、深さ3mまたは20mまでの検討となっている。

一般的には、砂質土地盤で現世の埋め立て(盛り土)層と沖積層が対象となっている。

その下の洪積層では、液状化が起きた事例は

極めて少ないとされている。

#### 参考文献

- 1) 土質工学数式入門：土質工学会 1984 P14,99,102,109
- 2) 地盤工学用語辞典：地盤工学会 2006 P98
- 3) 土質試験の方法と解説：土質工学会 1992 P196
- 4) 絵で考える地盤工学 連載講座第6回：(株)熊谷組 P95
- 5) 土の見分け方入門：土質工学会 1995 P72, P139-141
- 6) 使える土木工学：山海堂 2003 P163
- 7) 土質動力学の基礎：石原研而 鹿島出版会 1976 P233
- 8) 軟弱地盤対策工法：地盤工学会 1988 P13
- 9) 液状化現象：國生剛治著 山海堂 2005 P26