

Q&A コーナー

耐震設計上、液状化を考慮すべき地盤のせん断抵抗 ϕ はどのように取り扱われるのでしょうか

Q

「道路橋示方書・同解説」(日本道路協会)では、 F_L 値によって液状化すると判定された地盤(砂質土)については弾性係数等の低減をするものと記載してありますが、内部摩擦角 ϕ の取り扱いについてはどのようにすれば良いのでしょうか。

A

道路橋示方書・同解説、Ⅴ 耐震設計編には、「液状化すると判定された砂質土層は、液状化に対する抵抗率 F_L の値に応じて耐震設計上土質定数を低減させるものとする」と記載されています。ただし、ここでの土質定数とは、地盤の変形係数 E_0 と横方向の地盤反力係数 k_h を指すものであることが明記されており、砂のせん断強度にかかわる定数であるせん断抵抗角 ϕ (または、内部摩擦角 ϕ) についての具体的な記述は見られません。これはほかの多くの設計指針等でも同じだと考えられます。

道路橋示方書に示されている土質定数の低減係数 D_E は、建設省土木研究所で行われた過剰間隙水圧比の異なる数種の地盤に対する平板載荷試験の結果をもとに決定されています¹⁾。平板載荷試験の結果得られる地盤反力係数には、土の物性やせん断抵抗、地盤の密度、土粒子の詰まり方など様々な因子の影響が含まれており、この意味においては低減係数 D_E の中にせん断抵抗角 ϕ の影響も取り込まれていると考えることができます。

したがって、杭基礎の設計などで多く見られるように地盤をばねとして取り扱うような場合には、液状化していない状態での地盤反力係数に対して低減係数を乗じることにより液状化の影響を考慮することができ、せん断抵抗角などの土の強度定数を直接取り扱わないのが一般的と考えられます。

次に、斜面の安定問題などで土の強度定数 (c , ϕ) を直接用いる場合も考えられます。有効応力による土のせん断強さ τ_f は、クーロンの破壊規準によれば以下のように与えられます。

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \phi' = c' + \sigma' \tan \phi' \cdots \cdots \text{①}$$

ここで、 c' は有効応力に関する見掛けの粘着力、 ϕ' は有効

応力に関するせん断抵抗角

上記式中の強度定数 c' , ϕ' は圧密非排水せん断試験から求めることができ、かつこの定数は載荷速度や圧密の異方性の影響を受けることが比較的少ないため、かなり広い範囲の実用問題に適用できるといわれています²⁾。また、式中で荷重または時間とともに変化するのは間隙水圧 u のみとし、 c' , ϕ' は不変のものとして取り扱うのが一般的なようです。つまり、間隙水圧が大きい場合のせん断抵抗の低下が、すべり面上の直応力が小さくなる ($\sigma - u$ が小さくなる) ことによって表されるわけです。地震時に過剰間隙水圧が生じる場合にも、これを考慮した有効上載圧を適用すれば同様の評価が可能であると考えられます。したがって、この場合にはせん断抵抗角 ϕ' の低減を直接取り扱わないことになります。

土圧係数の算定などで ϕ のとり方が直接結果に大きな影響を及ぼす場合など、 ϕ によって液状化の影響を直接表現する必要のあるときには以下に示すような方法が例として考えられます³⁾。

まず、砂のせん断強さは見かけの粘着力を無視すると次のように表されます。

$$\tau_f = \sigma_0' \tan \phi' \quad (\sigma_0' \text{ は常時の有効上載圧}) \cdots \cdots \text{②}$$

地震時の過剰間隙水圧 Δu を考慮すると、

$$\tau_f = (\sigma_0' - \Delta u) \tan \phi' \cdots \cdots \text{③}$$

これを過剰間隙水圧比 $R_u = \Delta u / \sigma_0'$ を用いて書き直すと、

$$\tau_f = (\sigma_0' - R_u \cdot \sigma_0') \tan \phi' = \sigma_0' (1 - R_u) \tan \phi' \cdots \cdots \text{④}$$

したがって、液状化の影響をせん断抵抗角で表現すると、

$$(1 - R_u) \tan \phi' = \tan \phi'' \cdots \cdots \text{⑤}$$

ここで、 ϕ'' は液状化の影響を考慮した見掛けのせん断抵抗角

上式より過剰間隙水圧に応じて低減した見掛けのせん断抵抗角 ϕ'' が求まります。なお、過剰間隙水圧比 R_u に関しては、道路橋示方書・同解説、Ⅴ 耐震設計編に F_L 値との関係を示す近似式が示されています。

参考文献

- 1) T. Iwasaki, T. Arakawa, K. Tokida: "Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction during Earthquakes" International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1982.
- 2) 土質工学会編: 土質調査試験結果の解釈と適用例, 第1回改訂版, 土質工学会, 1979.
- 3) 建設省土木研究所ほか: 耐震地盤改良工法に関する共同研究報告書(その6), 建設省土木研究所共同研究報告書68号, 1992.

(回答者: 田中宏征 住友金属工業(株)建設技術部土木技術研究室)

(原稿受理 1994.11.15)