

建設省土木研究所 正員 岩崎敏男・正員 龍岡文夫
建設省関東地方建設局川崎国道工事事務所 正員 宮田浩恵

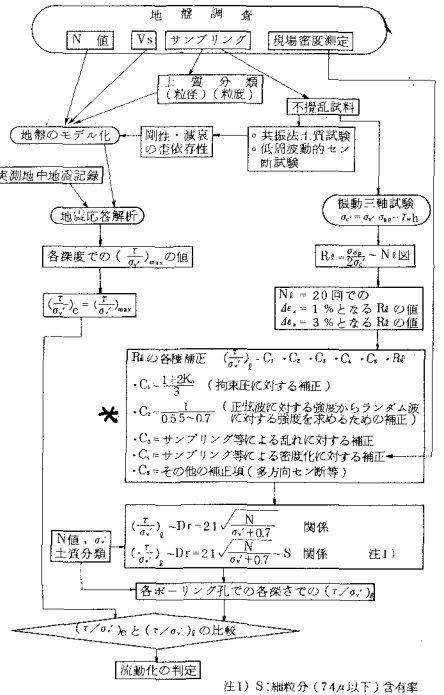
日本道路協会道路橋耐震設計指針によると「現地盤から10mより浅い所にある飽和砂質土層は、現位置における標準貫入試験のN値が10以下、均等係数が6以下でかつ粒径加積曲線の D_{50} が0.04~0.5mmの区間にあるときは流動化するものと…、 D_{50} が上記の区間以外でも0.004~1.2mmの間にあるものは流動化の可能性があるので注意を要する。…またとくに検討を加えた場合はこの条項によらずともよい」と述べている。これは、図-7,8に示すように10以下のN値の部分が多く、かつ、図-2に示すような粒度分布の細粒分含有量の多い細砂層の流動化判定はどのようにしたらよいであろう。上記指針に従えば、この砂層は $U_c > 6.0$ あるいは $N > 10$ の部分は流動化しないが、大半は流動化の可能性が有ることになる。しかし、各々の薄層の U_c が小さい場合でも、若干のシルトあるいは粘土のシームを挟んでいると、ある厚さの層に対する U_c は極端に大きくなる事があるなど、 U_c は流動化の判定に対して、あまり当ててできないパラメータであり、最近の考え方¹⁾でも U_c は流動化判定の基準から外されている。一方、一般に細粒分が多くなるとN値は下がる傾向にあり、細粒分を含有している細砂層に対して、N値による流動化判定を機械的に適用すると、地盤の動的抵抗力を過小評価する可能性がある。

今回、図-1に示す方法で、ビショップ・カンパーによって採取した不攪乱砂質試料の動的三軸試験と、地盤の地震応答解析を基本とした流動化判定作業を行った所、細粒分をある程度含む細砂層でN値が10以下でも、 $U_c > 6$ ということではなく、実際に動的強度があるため、流動化しないと判定することができる場合があることが分った。ここに報告するのは、その調査の一部であり、詳しくは文献2を参照された。

図-1での $(\tau/\sigma'_v)_e$ は各深度での地震力によるせん断荷重であり、土の変形特性の非線形・歪依存特性を考慮した重複反射法によって求めた各深度での時間最大せん断荷重 $(\tau/\sigma'_v)_{max}$ とした。ここで、動的せん断応力、 σ'_v は有効上載圧である。動的(振動)三軸試験では有効拘束圧 σ'_c は、 σ'_v とし、等方圧密した。背圧は静水圧とした。動的三軸強度は次式で定義した。

$$R_d = \left(\frac{\sigma'_c}{2\sigma'_v} \right)_e = \begin{cases} \text{動的軸歪振幅(片振幅): } \Delta \varepsilon_d (SA) \text{ が } N=20 \text{ 回で} \\ 3\% \text{ となる時の応力比: } \sigma'_c / 2\sigma'_v \end{cases} \quad (1)$$

図-3は、攪乱試料の R_d は不攪乱試料の R_d より相当小さいことを示したものであり、攪乱試料を用いた動的三軸試験の結果から細粒分を含む細砂の動的強度を求めると、著しく過小評価することが分かる。 R_d から、地震荷重 $(\tau/\sigma'_v)_e$ と比較するべき動的強度 $(\tau/\sigma'_v)_d$ を求めるには、図-1の*印のグラフに示す様に



注1) S: 細粒分(7.4μ以下)含有率

図-1. 流動化判定作業フローチャート

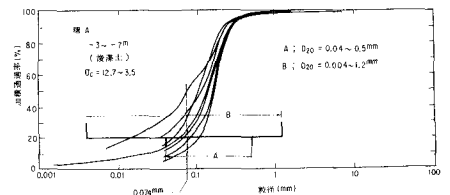


図-2. 検討した砂層の粒径加積曲線の例

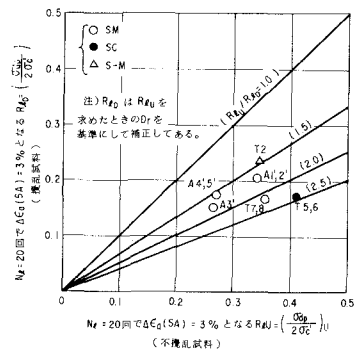


図-3. 不攪乱試料と攪乱試料の R_d 比較

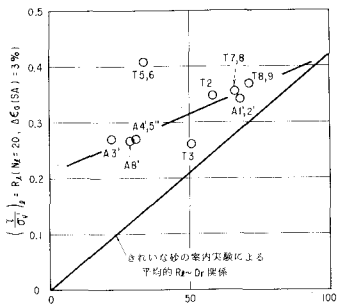


図-4

$$D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} \quad (\sigma_v': \text{kg/cm}^2)$$

図-4 不攪乱試料の $(\sigma_v')_d$ と $D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}}$ 関係

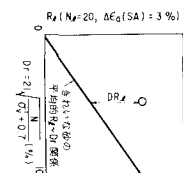


図-5, DR_q 定義

図-6, DR_q と S の関係

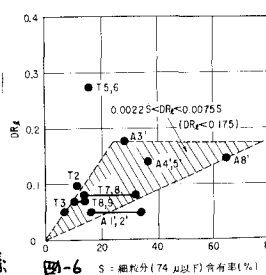


図-6 S : 細粒分 (74 μm 以下) 含有率 (%)

図-7, $(\sigma_v')_d \sim D_r \sim S$ 関係

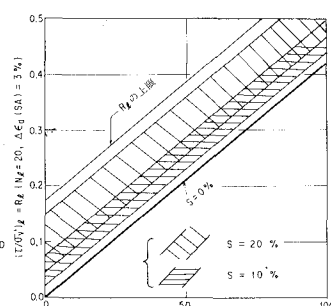


図-7

$$D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} \quad (\sigma_v': \text{kg/cm}^2)$$

各種の補正が必要であるが、検討の結果最終的には $(\sigma_v')_d = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot R_q \div 1.0 R_q$ とある。図-4にこのようにして求めた不攪乱試料の採取地点での N と σ_v' から Gibbs and Holtz の実験に基づく Meyerhof の式、 $D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}}$ (σ_v' : kg/cm^2) から求めた D_r と $(\sigma_v')_d$ の関係を○印で示す。Meyerhof の式は、新潟県の中砂地盤にはよく適用できることは別途確認されてゐる。図-4には、細粒分を含まないきれいな砂の動的三軸試験による $(\sigma_v')_d$ と $D_r = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min})$ の平均的関係を同時に示してある。これは、(2)式であらわされる。

$$(\sigma_v')_d = 0.0042 D_r \cdot (2), (N, \sigma_v') \rightarrow D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} \rightarrow (2) \text{式} \rightarrow (\sigma_v')_d \quad \dots (3)$$

以上の事から、細粒分を含まない中砂では、(3)式から $(\sigma_v')_d$ を求めてもよいが、今回の場合、 $(\sigma_v')_d$ を相当土質評価することから、そこで、今回は、次の3つの方法で $(\sigma_v')_d$ を求めた。

(1) 不攪乱試料採取深度では、動的三軸試験のデータそのものを用いる。

(2) N 値のみが求まっている所では、次の(4)式から $(\sigma_v')_d$ を求める。

$$(N, \sigma_v') \rightarrow D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} \rightarrow (5) \text{式} \rightarrow (\sigma_v')_d \quad \dots (4)$$

$$\text{図-4の○印の平均線} ; R_q = 0.21 + 0.0021 D_r \quad \dots (5)$$

(3) 図-4での今回のデータときれいな砂の差は、今回の砂が細粒分を含有しているためと考えられる。そこで、図-5aのように同じ D_r に対する R_q の値の差 DR_q を定義し、図-6aのように DR_q と細粒分の含有率 $S(\%)$ の相関をとった。 S と DR_q の関係は(6)式であらわされ、これから求めた $(\sigma_v')_d \sim D_r \sim S$ 関係を図-7に示す。従って、 S と N と σ_v' が分かっている所は、(7)式から $(\sigma_v')_d$ の値の範囲を求めた。

$$DR_q = D(\sigma_v')_d = 0.00225 \sim 0.00755 \leq 0.175 \quad (S\%) \quad (6)$$

$$(\sigma_v')_d = \{ (4) \text{式による } (\sigma_v')_d \} + \{ (6) \text{式による } D(\sigma_v')_d \} \quad \dots (7)$$

図-7は、同一の σ_v' N 値に對して、 S が大きい程 $(\sigma_v')_d$ が大きい事、逆に、同一の $(\sigma_v')_d$ σ_v' に對して、 S が大きい程、 N 値が小さい事を示している。図-8に(7)式による求めた $(\sigma_v')_d$ と $(\sigma_v')_e$ の比較、図-9に、上述の(1)~(3)の方法による求めた $(\sigma_v')_d$ と $(\sigma_v')_e$ の比較を示す。明らかに、きれいな砂の動的三軸試験の結果を適用することは不適切であり、今回の手法を用いたのは、一部分にのみ(か流動化)が生じないということになった。

(謝辞)本研究を進めらるに、建設省川崎工事、竹野照夫氏、岩崎章氏、長田秋二氏、東亜建設工業廣誠氏、基礎地盤コンクリート安田進氏の多大の協力を得ている。

(参考文献) 1) 砂層の流動化研究委員会(1975)「砂層の流動化に関する調査報告書」2) 土木研究所編(1974)「土の力学」

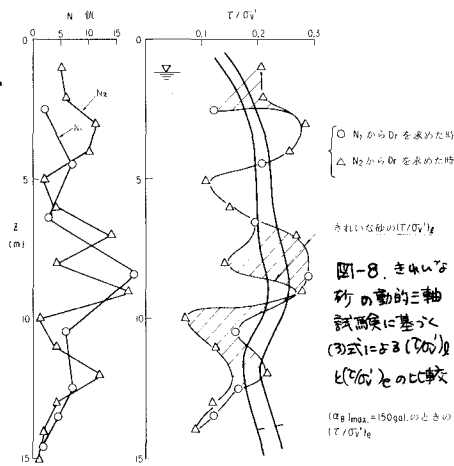


図-8, (7)式による $(\sigma_v')_d$ と $(\sigma_v')_e$ の比較

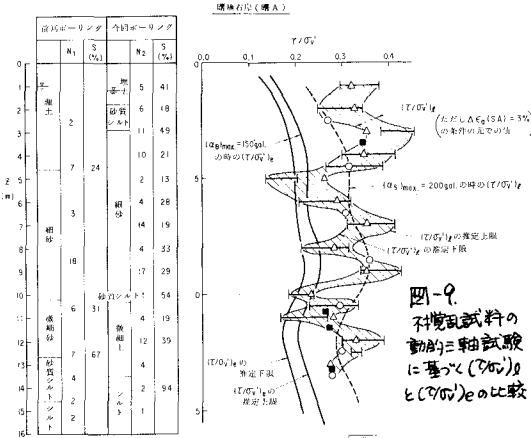


図-9, 不攪乱試料の動的三軸試験に基づく $(\sigma_v')_d$ と $(\sigma_v')_e$ の比較