

直接基礎と平板載荷試験の支持力は同じじゃない

土質基礎研究室

Q：直接基礎などの施工の際に、現場でよく実施される平板載荷試験は、どの様な場合に行えば良いのでしょうか？

また、試験結果はどのように整理すればいいのでしょうか？

A：最近、現場から「土質試験調査のやり方そのものはテキストにも多く載っているので理解できるし、構造物基礎の設計のため行われる標準貫入試験や孔内水平載荷試験などの一般的な土質調査の必要性も十分分かるけれど、必要に応じて実施されている平板載荷試験などはどの様な場合に行えばいいのか？」という質問意見をよく聞きます。また、土質基礎研究室が主催している「土と基礎に関する若手勉強会」は今年で第6回になりますが、現場からの話題提供の中で「平板載荷試験は、置換え層の下面と上面のどちらで実施すれば良いのでしょうか？」と言う質問がありました。

質問に対してズバリ答えるとするれば、土質試験調査は、すべからく「やりたければ勝手にやればいいし、やりたくなければやらなくて良い」とあえて申し上げたい。誤解を招くといけけないので多少注釈が必要ですが、「やりたければ」というのは「検討により必要に応じて」ということで、「勝手に」とは「技術者としての判断に基づき」ということ、「やればいいし」とは「目的に合致した適格な実施を行う」ということです。同様に、「やりたくなければやらなくて良い」というのは「現場条件・既存資料・経験則などの技術的判断に基づき説明が可能であれば、あえて試験調査を実施する必要はない」という意味です。

置換え層の平板載荷試験の例でももう少し詳しく説明すれば、置換え下面の基層が、既存の土質調査資料あるいは目視も含めて十分に地耐力があると技術的判断が下せれば問題ありませんが、たとえ基層が岩盤であったとしても、風化状況が激しく亀裂が多く発生している場合には平板載荷試験により支持力を確認し、その結果に応じて置換え層を下げてやるなどの対策を講じる必要があります。同様に置換え層上面でも、置換え材が良質で、所要の締固め度が確保されていれば問題ありませんが、既設構造物の

施工事例からも上載構造物の偏心傾斜が懸念される場合には、平板載荷試験を実施することも必要かと考えます。その際の載荷位置は、設計計算上の最大地盤反力が生じる位置が望ましいことになります。つまり、この辺の判断が、土木技術者としての腕の見せ所なわけです。

そしてこの時に、平板載荷試験に影響する地盤範囲あるいは試験結果から、支持力以外に地盤変形係数や地盤反力係数など種々の情報が得られることも頭に入れておく必要があるかと思います。詳しい内容は「地盤の平板載荷試験・同解説 地盤工学会」を参考にして下さい。

次に、試験結果の整理方法ですが、現場でよく平板載荷試験で期待した支持力が“出た出ないで”一喜一憂しているケースをみますが、大きな勘違いしている場合が多く、ここに落とし穴があります。考慮しなければならないのは「平板載荷試験の結果得られた地盤の極限支持力が、そのまま基礎の支持力そのものではない」ということです。多少、たね明かしが必要です。

その大きな理由として、下記の3項目が上げられます。

- ① 基礎の形状補正
- ② 根入れ効果
- ③ 荷重の偏心傾斜補正

一つずつ説明すれば、現場での平板載荷試験は、通常直径30cmの載荷板（特殊な例として60cm板や四角形板を使用することもある）を用いて、重機などを反力に実施されますが、実物大基礎の寸法を想定したとき明らかに違うことが分かります。また、基礎も円形とは限らないわけです。（写真-1）

根入れ効果というのは、簡単にいえば平板載荷試験であれば平板が押されることにより周辺地盤が盛り上がり、支持力が弱まる傾向を示すのに対し、実際

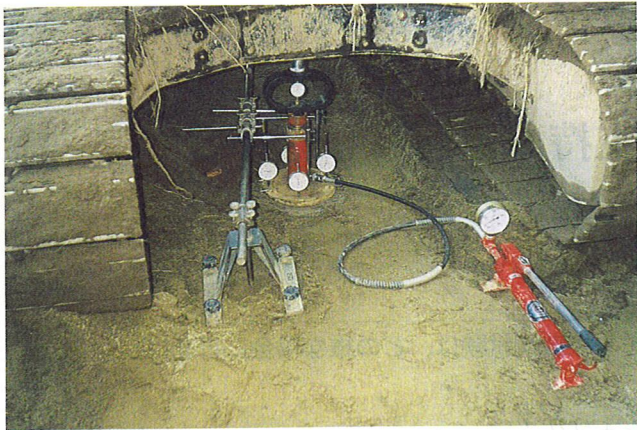


写真-1 平板載荷試験実施状況

の基礎では根入れ長 D_f があるために上載荷重効果により周辺地盤の盛上がりを抑え、底面支持力の低下が少なくなる現象です。

荷重偏心とは、試験では平板を垂直に押しているのに対し、実際の基礎に作用する荷重は横方向からの土圧などで少なからず傾斜しており、地盤反力も水平分布とはならないということです。ですから、基礎の有効載荷面積も偏心傾斜を考慮して決定する必要があります。

それらの理由により、橋台・橋脚・擁壁・カルバートなどの直接基礎を対象とした平板載荷試験の整理方法としては、「平板載荷試験により得られた極限支持力 Q_u から道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編（以下道示）に示された次式により、まず地盤粘着力 c およびせん断抵抗角 ϕ を逆算し、それらからTerzaghiによる直接基礎式より地盤極限支持力を算定して設計値と対比」する手順で行います。

$$Q = \pi \cdot B^2 (1.3 \cdot c \cdot N_c + 0.3 \cdot B \cdot \gamma_1 \cdot N_r) / 4$$

〔道示一解8.3.5〕

B ：載荷板直径 γ_1 ：地盤単位重量

N_c, N_r ：鉛直荷重に対する支持力係数

〔例題〕わかりやすい計算例を一つ示します。

平板載荷試験から地盤の極限支持力を判定するのもそれなりのテクニックがいるわけですが、ここでは、よく締まった砂礫地盤の極限支持力として、仮に $Q = 6.0\text{tf}$ が得られたとします。これは、地盤反力度に直せば $Q / (\pi \cdot 0.32^2 / 4)$ より約 85tf/m^2 になり、基礎の極限地盤反力度の大まかな目安となります。

次に、 $c \cdot \phi$ を逆算する必要があるわけですが、砂質土系であれば信頼性の高い ϕ を仮定し、 c を逆算します。（粘性土系地盤であれば、その逆になります）このケースでは、土質調査などのデータから、締まった砂礫地盤として $\phi = 35^\circ$ と仮定します。

（このへんに、多少の曖昧さと技術的判断が伴います） c の逆算は、前式を変形して求めます。

$$c = \{4 \cdot Q_u / (\pi \cdot B^2) - 0.3 \cdot B \cdot \gamma_1 \cdot N_r\} / (1.3 \cdot N_c)$$

支持力係数 N_c, N_q, N_r は、支持力公式を傾斜荷重に拡張させた図表より算定します。〔道示一図解8.3.1、8.3.2、8.3.3〕例題では、簡便に荷重傾斜は無しとして、それぞれ $N_c = 45, N_q = 31, N_r = 34$ が求められます。

そして、平板径 $= 30\text{cm}$ 、地盤の単位重量 $\gamma_1 = 1.9\text{tf/m}^3$ として計算すれば、地盤粘着力 $c \approx 1.35\text{tf/m}^2$ が算定されることになります。

地盤定数 c, ϕ が決定したので、次に直接基礎支持力式により地盤の極限支持力を次式より算定します。

基礎底面地盤の極限支持力式

$$Q_u = A_e (\alpha \kappa c N_c + \kappa q N_q + 0.5 \gamma_1 \beta B_e N_r)$$

〔道示式-8.3.1〕

この際、有効載荷面積 A_e は、仮に荷重傾斜が無しとして考えないこととします。形状係数 α, β は基礎形状を円形としてそれぞれ $\alpha = 1.3, \beta = 0.6$ となります。有効基礎幅 B_e については単位幅 1.0m とし、有効根入れ深さ D_f も 1.0m と仮定すれば、根入れに対する割増し係数 $\kappa = 1 + 0.3 \cdot D_f / B_e = 1.3$ となり、上載荷重 q は、根入れ地盤の単位体積重量 $\gamma_2 = 1.9\text{tf/m}^3$ として、 $q = \gamma_2 \cdot D_f$ より $q = 1.9\text{tf/m}^2$ となります。

それぞれを代入すれば、極限支持力度として

$$Q_u / A = 1.3 \times 1.3 \times 1.35 \times 45 + 1.3 \times 1.9 \times 31$$

$$+ 0.5 \times 1.9 \times 0.6 \times 1.0 \times 34$$

$$= 102.67 + 76.57 + 19.38 \approx 198.6\text{tf/m}^2 \text{ が}$$

得られます。

これから常時の許容支持力度を求めれば、 $q_a = 198.6 / 3 = 66.2\text{tf/m}^2$ となります。この値は、道示〔表解8.3.1〕に示された砂礫地盤での常時最大地盤反力度の上限値 70tf/m^2 にほぼ一致しています。また、基礎幅を単位幅 1m としているため、多少現実性はありませんが、支持力換算すれば、

$Q_u = \pi \times 1.0^2 / 4 \times 198.6 \approx 156\text{tf}$ となり、平板載荷試験で得られた地盤の極限支持力 $Q = 6.0\text{tf}$ とは大きく違うことが分かります。最後に、この値と構造計算で得られている作用鉛直力 V および実地盤反力 q_u と照査して地盤の地耐力を判定することになります。

以上が、一般的な照査手順です。道示をにらみながら、今後の参考にしてください。

（文責 富澤）