

基礎と杭

最上 武雄*

主として第4回土質基礎工学会議(1957)の議事録に依って構造基礎に関する土質工学の動向を調べて見よう。大分けにすると地耐力, 圧密沈下, 応力分布, 杭の支持力, 杭の挫屈その他になる。

理論的にはまだ問題があるとは言え, 比較的浅い基礎の支持力についてはかなり明らかになって来ているが, 深い基礎の支持力については不明の点が多い。これは一つには理論上の難点の他に, 施工方法に基因する問題がからむためでもあろう。ウェルを下げる場合でも掘り越しの影響があるかどうかなどは明らかでないし, 深い地層の状態を浅い地層と同様程度に知る事にも問題があろう。軟弱層が深い時は己むを得ず摩擦杭を用いる事もあるが, これも亦難物の一つであらう。軟弱な地層に於ける深い基礎については Bjerrum が *Géotechnique* のVI巻3月号に論じて居り, 又砂地盤の場合には Meyerhof が矢張り *Géotechnique* 誌上で理論的な論議をするなど努力はされているが, 国際会議にもいくつかの論文が出ている。Berezantsev と Yaroshenko は砂中種々の深さにある基礎についてモデル試験を行った。砂上に載荷すると荷重下に compaction zone および sliding zone が出来るのは良く知られた事だが, この出来方が砂の間隙比と depth ratio 即ち深さと基礎巾との比によって異なる。これが支持力に影響すると言うのである。

J. Kerisel は径 1.4m で 15m の Pier を地中に入れ, 底面から土に圧力を伝える時, 側面に作用する圧力を測った。そして側面にいくつかのアーチングが出来る事を認めている。彼はこのような所見から貫入試験の結果を比較的短かい杭または大きい地中基礎に対し無批判に用いてはならぬと言っている。

Tcheng は深い粘土の上に浅い砂層のある場合, その砂層上に乗った基礎に関するモデル試験を行った。上層の深さが基礎巾の 1.5 倍を越えない場合には上層に於ける滑り面はほぼ垂直である事を見出した。Bierrum と Överland は Norway の油タンクの基礎の崩壊を調べ基礎地盤の状態を勘案すると Skempton の支持力公式が良く合う事を示した。なお, General Reporter の Hansen は Skempton 公式を改良した支持力式を提案している。これには基礎に作用する水平力が考えられている点面白い。Jenning および Knight は砂質の

地盤が水分を含み急激にかなりの沈下を起したと言う珍しい現象を報告している。Maslov は室内および野外の実験によって水面下の地盤の耐震計算を研究した。我々地震国の人間には大変興味がある。結局振動によって剪断強度が減ずる事が根本であり, この目安は振動の加速度である。機械基礎については Mencl および Kazda がモデル実験により研究した。密度の影響が特に大きい事が分かり, なお基礎の周囲に載荷すると振動で耐荷力が減少する事を避け得る事が明らかになった。Meyerhof は滑り面解析によって基礎の諸問題を研究して来た其の道のベテランだが, 斜面上の基礎および斜面上表面上の基礎の支持力を研究し土質および基礎工の持つ諸条件の影響を示した。圧密沈下については Egorov, Kuzmin および Porov の共著論文, Simons の論文は計算による圧密沈下の推定値と実測値とを比較し計算値が中々良く合う事を示しているが Simons が地盤の E 値を求める事は非常に困難で接触沈下の推定は不可能であったと言っている。これは E の値を一軸圧縮又は三軸圧縮試験で求めようとするとき供試体の乱れに対する鋭敏さが強さを求める場合に比し極度に大きいためかも知れない。従って接触沈下の算定は一軸圧縮のような種類のものには頼れないかも知れない。この事実は地盤内の応力分布を求める場合にはそれ程大きな食い違いなしに弾性論に頼れるけれども変形になると, この方法が甚だ無力となる理由の一つかも知れない。しかし圧密沈下の計算が比較的合うと言う事はどう考えたら良いのであろうか。尤も普通の計算法が良く合うのは normally consolidated clay の場合又は lightly over-consolidated clay の場合である。石井, 篠原, 立石, 倉田は砂杭に関連し圧密試験の際の誤差が二次圧密, 壁面摩擦, 部分的なこね返しに依るとして, その性質を研究し砂杭の場合の沈下の実測値と計算値とが良く合う事を示した。三次元圧密については de Josselin de Jong が軸対称の場合につき応力函数を用いて研究した。彼によれば地表面の円形載荷に対しては接触沈下は決して圧密沈下よりも小さくないと言う。又 Gibson および Mc Namee は矩形載荷の時の隅角点の圧密沈下を Biot 理論によって研究した。重ね合せ法則が正しい限り, Boussinesq 公式で応力分布を求める時と同様, 如何なる形の載荷の場合でも, この結果は利用出来る。Mandel は上に透水

* 工博 東大教授

性の層を持った厚い粘土層がある時上層上に集中荷重が載った時の三次元圧密及び一様分布荷重による流動を研究した。Palmer および Brown は圧密の調査が開始された時に沈下が既に可なり進んでいる場合の圧密沈下推定法を求め、実測値との比較を行った。

de Beer および Martens は cone penetrometer に依って compression index を求め砂の沈下を計算する方法を考え、これにより地盤砂層の不平等による沈下の不同を避け得ると言う。

Nichiporovich は主として pre-consolidated clay 上に造られた 16 の大きな水理構造物の沈下を調べた。圧密試験器又は載荷試験によって E の値を求め弾性的に沈下を計算した所、沈下の測定値は計算値よりもずっと小さく普通の圧密計算から求められた時間よりずっと早く沈下が完了した事を明らかにした。

Polshin および Tokar は 93 ケの観測値を用いて沈下算定法を検討し、又傾斜、相対撓み、および平均沈下量によって許容変形量を調べた。

地中応力の分布についても de Beer, Lousberg, Osterberg, Koning などの論文がある。

Krsmanovitch, Grasshoff は共に上部構造と下部構造との関連について研究した。大崎、山門などが研究していたのと同種の問題である。そして連続基礎の下の反力分布が土の硬さ、フーチングの剛度だけでなく上部構造の剛度にも大いに関係ある事、上部構造の剛度よりもフーチング中の柱の固結度の方が実際には更に重要である事をそれぞれ明らかにした。又 l'Herminier, Bachelier および Soeiro は $36 \times 29 \times 3.8\text{m}$ のベタ基礎が plastic clay 上の 7m の礫層の上にある時、基礎下の応力は一様分布と弾性論からきまる分布との中間にある事を示した。又 Recordon は多くの載荷試験により地盤係数 k の値は板の半径に逆比例する事を示した。この事は前から或程度分っていた事である。

Kopácsy は Coulomb の摩擦法則と崩壊時の極小原理を用いて三次元的の滑り面の方程式を求め応力分布を論じた。高木は砂杭に関する Barron の表を拡張したものを(かつて土と基礎に発表したものと思われる)提出した。又 Baracos および Borozozuk が粘土の季節的な動きを論じ Mayor と Habib は膨潤性粘土上の基礎の設計を一般的に研究し、Abelev は一種の compaction pile による土質改良、水硝子による土質改良を述べている。

杭基礎についても 17 篇の論文があった。この場合の主題は当然の事だが、杭の支持力であった。Van der Ven および Baersma は杭の載荷試験に於て周辺摩擦力を求める方法を提案し、砂中のオランダ式円錐貫入試験の結果と先端支持力との関係を調べた。そして砂中の先端抵抗は杭先端から杭の直径の約 1 倍の下及び約 3.75 倍

上方の砂の強度に依存する事を見出した。

Plantema と Nolet は杭打ち前後にオランダ式貫入試験を行った。杭先端から下約杭直径の 1~2 倍位下の砂は杭打ち込み後、1.5~2 倍位貫入抵抗が増加し、特に軟かい砂の場合には 5 倍にもなり、先端直径の 4 倍の処ではさしたる変化は見出されなかった。一方側方への影響は約 1m までで、この時も軟かい砂の場合影響は大きかった。Ireland の行った砂中の杭の引抜き試験によれば、滑りの起る時の周辺摩擦力は摩擦角を $23.8^\circ \sim 32.5^\circ$ とした受動土圧に対応する事を見出した。

Kezdi は先端支持力と周辺摩擦とが別々に測れるようなモデル実験により砂中の静的支持力を研究した。

それによると荷重による変形増大と共に周辺摩擦も先端支持力も増す。又沈下の小さい中は主として周辺摩擦によって支持され究極荷重程の力が加わると全荷重の中の先端支持力の比重が大きくなった。これは筆者の行った研究からも推察される。又 4 本の杭を正方形、及び一直線に並べた群杭の試験も行ったが、杭間隔が 6D (D は杭の直径) 又はそれ以上になると杭は単杭として働き 2D~3D よりもせまければ、究極支持力はそれぞれの杭の抵抗の和の 2 倍に近づく事を知った。そして沈下は減少する。

粘土中に打たれた杭については Bjerrum, Jönson および Ostenfeld は杭で支えられたある橋台の完成後 15 年間の沈下を調べたがその沈下は荷重が杭先きに働くとした場合、または杭先き上方杭長の 1/3 の処に働くとしたいづれの仮定にもとづくものより大きく、又時間沈下曲線から見ると 2 次圧密が可なり大きく起っているように思えた。

Tomlinson は粘土層中又は薄い砂層を経て粘土層中に終るような杭の 56 ケの載荷試験結果を研究した。滑りの起る時の杭に対する付着力と粘土の粘着力との比は粘土の強度が増すと共に減少し、軟粘土の場合を除くと周辺摩擦の上限はほぼ一定であった。そして軟粘土の付着力は大体粘土の粘着力に等しく(これは京浜港湾の実測と一致する)他の種の粘土については付着力の上限はコンクリート及び木杭については、 $0.45 \sim 0.65\text{ton/sq. ft}$ 、鋼杭については 0.38ton/sq. ft であった。Dos Santos と Gomes の杭試験によると、粘土中に止まる杭では Hiley 公式は良くなく不攪乱粘着力を $0.3 \sim 1.0\text{ton/sq. ft}$ とした時の Meyerhof の静定公式が良かった。又この会議には細い杭の土中での挫屈が Brandtzaeg と Harbol 及び Golder と Skipp によって論じられた。

その他 Barkan のソ聯内で行われた振動利用杭打ちの論文は興味深かった。

以上 general reports をも参考にし、時には私見を加え概略を review した。論文全体はつくさなかったが、一応全般の模様は分かる事と思っている。