

- | | |
|---|---|
| 1 土 道 (Erdbahn) | $C=2.0\text{kg/cm}^2$
$P=8.6\text{kg/cm}^2$ |
| 2 砂 利 道 (Kiesbahn) | $C=4.0\text{kg/cm}^2$
$P=10.9\text{kg/cm}^2$ |
| 3 碎 石 道 (Steinschlagbahn) | $C=8.0\text{kg/cm}^2$
$P=13.7\text{kg/cm}^2$ |
| 4 固着せる砂利道 (festgefahrene Schotterdecke) | $C=29.7\text{kg/cm}^2$
$P=21.0\text{kg/cm}^2$ |
| 5 混 凝 土 道 (Betondeck) | $C=119.4\sim 120\text{kg/cm}^2$
$P=33.8\text{kg/cm}^2$ |
- (完)

軟弱なる基礎地盤 (三)

井 口 眞 造

地 盤 の 支 持 力

一般に基礎工に於て、殊に軟弱なる基礎地盤に於て、單獨杭の支持力、又は負荷試験板による地盤單位面積の支持力を

知るのみにて直ちに或る構造物の、基礎計畫を設計することは不確實で、殊に凝集性の沈澱層の如きは基礎構造全體の安定を研究することの緊要なるは前記述べた通りである。

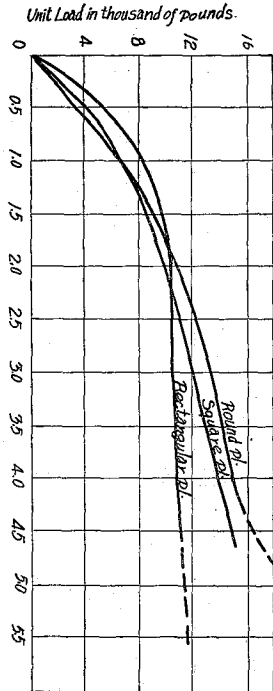
然し杭工、其他如何なる基礎工にても、結局は地盤の許容安全支持力を如何にして究知するかが最も重要である。而して土の支持力を知るには土質によりて其の試験方法、又は試験版の大小、及び形状等によりて、結果に可なり之の差を認めるのであるが、未だ我國に於て土木に必要なる、土の物理性等を研究發表せるものを聽かない、残念ながら外國の一例を掲げ、参考に供したいと思ふ。

米國では多くの技術者が、基礎に關する土の問題を解決せむとして、少なからぬ時間と費用とを投ぜるは周知の通りで就中「カール、テルツァギー」氏の、米國にて發表せるものは、此の種の研究の、根幹をなすものと思はれるが、其れ等に伴つて技術的實驗を發表せるものの中、Messrs. W.S. Hausel & Frank S. Bailey は Board of Wayne country Road commissioness at Detroit, Mich で土壤の支持力を研究し、負荷支持版の形ちを、種々變えて正確なる地盤支持力の發見に努力したのであるが、参考として以下之れを述べたい。

其の研究の中、土壤の内部横壓の測定と、土壤中の壓力傳達の一般現象の研究は、特に重要なる部分と思はれる。

此の研究の結果として、合理的なるは、荷重を支へ得る粘土の如き、凝集性土壤の性質によりて、支持力に二つの Factor のあることを發見する。其の一は、支持版の周圍の土の剪斷力と、他の一つは、支持版の周圍の土の内部に起る、歪みの状態を誘ふ壓力に、對する土の抵抗とである。後段の現象を、同氏は Pressure Bulb と名づける。

而して之れは唯でも經驗する所であるが、地盤支持力試験の際、荷重の漸増によりて、土壤の破壊を注視すれば、先づ



Comparison of Different Shaped plates of Same Area 4 Sq ft.
Deflection in inches

第十一圖

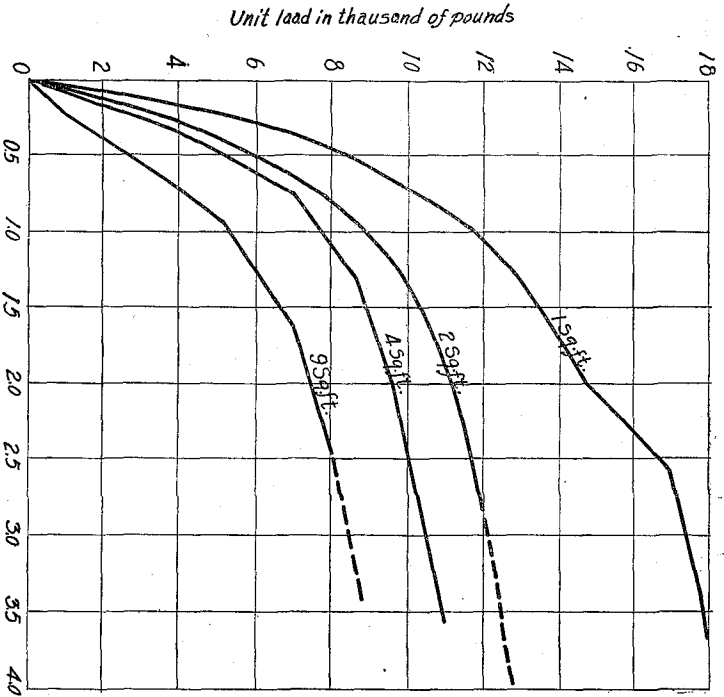
sure bulb failure と呼ぶ。

第十一圖は荷重と其の沈下圖にして、三個の形の異なる 4 平方呎の試験板 (圓形、正方形、短形 1'x7') にして、試験板の周の面積に對する比 Perimeter area ratio P/A は

圓形	形1.78
正方形	形2.00
短形	形3.04

にして土は堅緻なる黄色粘土である。

圖表に於て之れを視るに、試験の當初に於ては、沈下は主として剪斷的破壊に由るものにして、同じ沈下を考ふれば、



Comparison of round plates with different areas.

第十二圖

負荷力は P/A 比の大きさの順であるが、試験が進んで後半になると、逆になりて負荷の割合は Pressure bulb が之れを支配し、 P/A 比の最大なるものは、最小の負荷力にあり。支持板の形ちによりて Pressure bulb に關係を有するものゝ如く、圓形板が負荷力に對して最も都合よく、次は正方形、矩形は最も支持力の小さなものとなる。

第十二圖は支持板の形ちを同様にして、單に面積を變へて 10'、20'、40'、90' の四種となせる、荷重及沈下の圖にして、地質も前と同様で、掘り下た試験穴も前と同じく、試験板だけのものである。 P/A 比の小なる價を持つ、大なる支持板の負荷率は、最小なることを、此の表から知ることを得るのである。

又負荷率の變化は、相異なる支持板の Perimeter area ratio に比例しないことも明瞭になつたのである。

一般に小なる P/A 比である、大なる支持率は、 P/A

比と負荷率との間には、大なる差違あるものである。

斯くして實驗の初めは、支持力は Perimeter area ratio に支配されるものと考へたが、此れは小き實驗の場合に於ける自然の結果にして、更に大なる試験板による時は、支持力と此に對する P/A 比の喰ひ違ひは、餘り大なるものでないから、現場の如き大なる實物に應用して、之れが謬見なるは明白である、此れを説明する爲めに、次の假定を述べる。今二つの相異なる廣き基礎面の支持力を P_1/A 比に比例するものとし、且つ沈下は同一なりとする。

Let p = Bearing capacity

P = The perimeter

A = Area of footing Considered

此の二つの基礎工の沈下を、同一なりとせば

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{P_1}{A_1} \div \frac{P_2}{A_2} \dots\dots\dots (1)$$

而して支持板を圓形とせば

$$P_1 = \pi D_1 \qquad P_2 = \pi D_2$$

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \qquad A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4}$$

之れを (1) 式に代用して

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{D_2}{D_1} \dots\dots\dots (2)$$

又支持板が正方形であれば

$$p_1 = 4D \qquad p_2 = 4D_2$$

$$A_1 = D_1^2 \qquad A_2 = D_2^2$$

之れを (1) 式に代用して

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{D_2}{D_1} \dots\dots\dots (3)$$

故に沈下を一定とすれば、支持力は圓板ならば、其の直径に反比例し、正方形ならば邊の大きさに、反比例することになる。若し又支持力、即單位荷重を一定にして考ふれば、其の沈下は支持板の直径、或は邊の大きさに正比例することになる。此の結果は Terzaghi 氏の所論と一致するのであるが。これは正しくない、不充分なる假定の基に、概して小なる試験板 (P/A 比の大なるもの) に基因する、誤れる自然の結果である、と云ふことである。

而して之の研究の中に、單位荷重に對する、沈下を云々するよりも、或る一定の沈下に對して、其の支持力を云々する方が一層直接で都合がよいことゝ、支持力變化を支持面の直径なり、又は邊の大きさに關係して表すよりも P/A 比の言葉で表すならば、基礎工の形狀の如何なるものにも適用し易いのである。

此の理論の最初の目的は、支持力が沈下を一定に考ふれば、基礎の邊の大きさに反比例し。或は單位荷重を一定にして考ふれば、沈下は基礎の邊の大きさに正比例することは、前段の通りで、此れを換言すれば Perimeter area ratio は、支持力を左右する様に考へて、基礎の周圍の剪斷力と直下の土の壓力等を分けて考ふることゝは、後段に述べむとする所であるが、實に重要な事柄となるのである。

然し此の上述の理論は現場の大なる基礎に應用して、正確ならざるは明白にして Prof. Terzaghi 氏によりてなされた、Sanfransisco Calif の建築の場合に、支持力試験の結果は、4,800% の單位荷重に對して、0.10 の平均沈下を示せり。この試験板は、1 平方呎にして建築物の基礎は 218'×252' にして其の單位荷重は 4800% である。而して其の沈下が、邊の大きさに比例するものならば、單位荷重は同一であるから、沈下は

$$252 \times 0.10 = 25.2'' \quad \text{or}$$

$$218 \times 0.10 = 21.8''$$

之の素晴らしき結果は全然凝集性のなき土壤ならばいざ知らず、荷重試験も凝集性の土壤でなされたのであるから、斯様な結果を想像することは大なる無理ではあるまいか。

茲に此の問題を沈下の代りに、支持力にて表して行くと、次の如き關係を生ずるのである。

今此の沈下を制限して 0.10'' を越へないものと假定し、218'×252' の基礎面の、支持力を算出する。

假りに試験板を 10' の圓形板とし P/A 比が 3.55 にて、之の基礎の P/A 比は

$$\frac{218 \times 2 + 252 \times 2}{218 \times 252} = 0.017$$

である、斯る基礎の支持力 p は、P/A 比に比例するものとなせば

$$\frac{p}{4800} = \frac{0.017}{3.55}$$

$$p = \frac{0.017 \times 4800}{3.55} = 23.0\%$$

之れを約言すれば、沈下を $0.10''$ に制限すれば、自己の重量をも、支ふる能はざる、結果に到るのである。

故に基礎幅を、假りに 1.70 増してみると、面積は $2520'$ 増して、得る所の増加支持力が、 2% の剪断力に等し、と云ふが如きは實際に、首肯なし得ざることは勿論である。

普通の大なる基礎に於て、 P/A 比は常に小なるが故に、土の剪断力は之れを省略しても、大なる誤りはないのである。然らば土の支持力に關して、他の係數は何かと云へば土の壓力に對する抵抗の外何物もなく、即ち沈下に對する *Pressure bulb* の抵抗である。

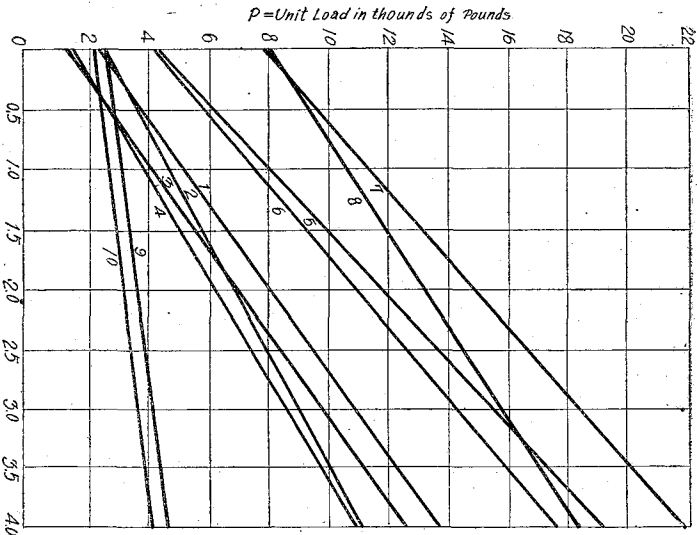
以上は同氏が Prof. Terzaghi 氏の所論に、謬りあるを主張せるものであるが、結局頼るべき基礎面の内支持力なるものはこの壓力抵抗の外になく、基礎面の大きさに正比例するものである、と云ふことを云ふてをるのである。

然し従來基礎計畫の實際に於ける非難は、技師が永き經驗から多くの場合、勝手に支持力を斷定して正確なる調査に基づかないからである。而して其の支持力を決定せしむには實物大の試験板を採用なし得ざるは、勿論であるからやはり適當な大さの試験板による外はないのであるが、小面積の支持板は大なる P/A 比を有し、従て周圍の剪断力は、支持力の重要なる係數となるが故に、其の結果に土の壓力抵抗を分けて考へ、壓力の係數を入れると實際の基礎工にも應用なし得る合理的の結果を得る様に誘導したものである。

Let P = Bearing capacity, in lbs. per sq. ft.

m = Shear on the perimeter, in lbs. per lin. ft.

n = Resistance of the soil to compression, in lbs. per sq. ft.



X = Perimeter-Area Ratio.
Bearing Capacity Curves

第十三圖

技 術

P = Perimeter of bearing area, in ft.

A = Area of footing, in sq. ft.

W = Total allowable load on the footing

then $W = Ap = Pm + An$

$$p = \frac{Pm}{A} + n \dots \dots \dots (4)$$

Let perimeter area ratio $P/A = x$ $P/A = x$

$$p = mx + n \dots \dots \dots (5)$$

(5) 式は支持力と、 P/A 比の二つの變數を有する、一次式なるが故に、或る種の土の支持力を、 P/A 比の相異なる二つの試験板によりて測定すれば、二つの方程式を得るを以て之れを解きて常數 m 及 n を決定することを得るのである。

斯くして支持板の周の剪斷力と、土の完全なる壓力とを決定する試験をすれば、(5) 式の支持力は大なる基礎工にも應用なし得る許容單位支持力として、採用することが可能であり、又實際施工せる構造物が制限

の沈下を越えないと云ふことを得るのである。

Bearing Capacity Equations

Curve No.	Material	Shape of pl.	Equation
Based on 1" deflection			
1	Yellow Clay	Round	$2380c + 2260 = p$
2	"	Square	$2150c + 2530 = p$
3	Stiff yellow clay	Round	$2830c + 1260 = p$
4	"	Square	$2420c + 1420 = p$
Based on bearing capacity limit			
5	Yellow clay	Round	$3700c + 4300 = p$
6	"	Square	$3370c + 4170 = p$
7	Stiff yellow clay	Round	$3500c + 7780 = p$
8	"	Square	$2600c + 7950 = p$
9	Blue clay	Round	$520c + 2580 = p$
10	"	Square	$490c + 2250 = p$

第十三圖にて支持力は、 P/A 比に對して圖表せるものにして、此等ノ線に對應する式は、第四表に示すものである。圖表中の直線 1 2 3 4 は、沈下を 1" に制限せるもので、1" を許容沈下とせるものである。

線の 5—10 に至るものは、支持力を制限せるものにして、其の制限を單位荷重が超過すると、沈下を更に進行せしむるものである。

此等の式と線は第四表に示せる如く、三種類の土壤につき試験せるものにして、土の物理性を求める爲めでなく、又第十三圖に於ては、支持力と圍線の間に或る價値を次の如く見出すことを得るのである。

(1) 基礎の大きが増す時に、 α 即 Perimeter area ratio は、0 に近かつき、支持力は 0 ではないが、或る一定の價に接近すること。

(2) 大なる構造物であり又凝集力小なる土壤に於ては、支持面の形の如何に係はらず、 α は支持力の重大なる要素とはならぬ。

(3) 基礎の P/A 比が、0 から 1 迄の實物大のもので、基礎の形は如何でも角でも重要な係數にはならない。この事柄は大なる基礎の支持力は主として Pressure bulb に支配される關係上、基礎の隅角による支持力の減失は、全體から見極めて小部分であると云ふ見果から斷定なし得る。然し小なる支持板の場合に、隅角の減失は全面積から見ても部分なりと云はれるのである。

(4) 第四表の blue clay 如のき、半流動的の土壤に於ける場合の、Pressure bulb は全體から見ても、重大なる要素にして支持板の形の變化に歸する支持力の影響は、實際には不變である。第十三圖に於て線 9, 10 に示す如く、殆ど並行である。

結 論

前卷を通じて秩序なく述べたるは、阪神國道尾崎擁壁沈下の實例を引證して、大體土の物理性、殊に軟弱地盤に關する

土壌力学と、實際基礎との關係の梗概を説き、土質力学研究の必要さを述べた積りである。

元來粘土と水との關係を發表した Prof. Terzaghi は、此の種研究の大恩人と云はねばならぬが、其の研究も未だ完結せる譯でなく、尙基礎の土壤に關する幾多の疑問は殘されてある。例へば土中の空氣も其の一つとして更に研究を要するものと考え。其れは土と水との各々の状態によりて、土中空氣の存在割合が物理的には如何に活くかの如きも、未だ發表せられてない様に思ふ、尤も土中雲母の如き鱗狀物質の存在割合が土の弾性に大なる差を生ずるかの如く、沈澱層の如き土中の空氣は、壓力によりて容易に散逸するものと思はれないから、空氣の存在も亦弾性に相當の影響あるものと解せらるゝのである。斯の如くして吾人が鋼の總ての性質を知るが如く、土の總ゆる性質を研究悉知することが基礎工學の基本とならねばならぬが、土の性質を作る要素の研究項目を要約すると次の如きものである。

1. 礦物的組成 Mineral composition
2. 空隙 Air void.
3. 粒 度 Grain composition
4. 包 水 量 Water content
5. コロイド Percentage of colloidal material present in the soil

等が目下土の分解的研究の眼目となり、其の内吾々土木技術者として、基礎工學に必要な科目と、又一部を知れば足るものもあるも、以上が大體土の性質を決定する要素となり、而して吾々の基礎工學として、最も必要にして知らむと欲する土の性状は

1. 壓 縮 (Compressibility)
2. 透 水 (Permeable)
3. 凝 集 (Cohesion)

の三つの性状を研究すれば如何なる軟弱地盤の基礎でも、其の構造、深さ、又は安全支持力等の問題は完全に解決なし得る筈である。

然しながら今日基礎工の實際問題として之れを考ふるに、斯かる理論に基づきて完全なる地質調査を経て、基礎計畫はかゝる如きは到底困難なるは申す迄もなく、之れに要する時間と費用も亦驚くべきものとならむ。故に吾々目下の實情から、軟弱地盤の基礎として最も注意せざるべからざるは、類似の地盤に於て以前に築造せられたる構造物に對して、仔細に之れを點檢し、沈下等異變の存否、又は跡等を調査研究することが大切なる事柄である。而して若し沈下等の現象があるならば、之れに應じて同所の上の性質を究め、且つ如何なる理由によりて沈下せるかを研究することが、最も確實なる選捷である。遂には斯の如き知識を組織的に聚積して、同時に土質力學をも研究さるゝならば、他日吾が基礎工學も實際的科學として、完全にして適切なる措置を誤らないものになると思ふものである。(終)