

【研究ノート】

底部拡幅施工法による基礎の引揚抵抗力について

松尾 稔*・田河勝 一**

1. はじめに

基礎の引揚抵抗力に関して、数年来理論的、実験的研究を継続してきた。そしてその成果は、土木学会論文集その他に発表した^{1)~4)}。また提案した引揚抵抗力算定式は、電気学会の送電用鉄塔設計標準に取り入れられ⁵⁾、現在多くの鉄塔基礎がこれに基づいて設計されている。本稿は、基礎の施工法と関連する一つの特異問題についての実験的研究の結果を説明したもので、この研究課題における既発表の種々の成果に加えての補足的な意味をもつものである。

堅い洪積粘土層や関東ローム層に対する基礎の実際施工にあたっては、その施工の容易さや掘削土量を減少させるために、硬質地盤を基礎床板幅に鉛直素掘りし、この孔中に、型わくなしに床板コンクリートを打設する工法がとられる場合がある。この工法を“鉛直掘り施工法”と呼ぶことにする。さてこの場合、床板コンクリートとこれに隣接する土が密着し、また床板側面の土圧の増大によってかなり大きな付着力を生ずるという利点もあるが⁶⁾、この付着力は土の種類や施工の慎重さその他に大きく支配されるので、実際上きわめて不安定なものである。ゆえにこの抵抗力を実際設計に取り入れるには不安が多い。また過去の現場実験の結果⁷⁾や次節以下に示すように、一般に鉛直掘り施工法の場合には、埋戻し土と原地盤の境界であるところの床板部側面にそう鉛直面ですべりが生ずる。したがってこの事実から、基礎設計は原則として、他の論文⁸⁾で説明した“せん断法”によらなければならない。せん断法においては、床板部側面にそう鉛直面上のせん断抵抗力と、この面に含まれる土塊重量および基礎体自重の和をもって、限界引揚抵抗力とする。したがって容易に想像されるように、せん断法によると期待できる引揚抵抗力は非常に小さい。そこで、原則的にはこのような鉛直掘り施工法をとりながら、しかも乱さない原地盤に抵抗力を期待できるような施工法があれば、非常に有効であるといえる。このような有効な施工法について考えるとき、まず考えられることは、掘削孔の底部をさらに外方に拡幅掘削し、その拡幅位置にもコンクリートを投入することである。この施工法を

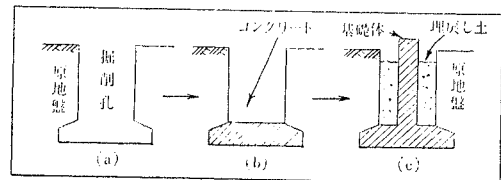
“底部拡幅施工法”と名付けることにする。

このような施工法を用いた場合、原則的には鉛直掘り施工法をとりながらも破壊面が原地盤中に生じるかどうか、また鉛直掘りにしたときの床板幅を用いて著者の方法で設計計算してよいかどうか、を確かめるのがこの研究の主たる目的である。

2. 底部拡幅施工法の手順

上述したように、底部拡幅施工法とは、地盤を床板幅に鉛直掘削した後に、基礎床板部の位置に相当する掘削孔底部において、ある量だけ掘削孔を外方向（多くの場合床板部底面にむかって外下方向）にさらに拡幅掘削し、このようにしてできあがった掘削孔に、型わくなしに床板コンクリートを打設する施工法である。したがって、この施工法の手順を図に示すと図-1(a)~(c)のようになり、基礎体中心断面において、最終的には一般に図(c)に示すような状態の基礎ができあがることになる。なおこの種の施工法には、掘削にともなう労働安全上の弱点があるから、実際施工にあたっては、簡単な土留矢板などを併用するのが望ましい。

図-1 底部拡幅施工法の施工手順



3. 室内模型実験の方法について

実験用の土槽や載荷装置、さらに土試料（含水比を98~100%に保持した関東ローム）は文献4)に示すものと同じであるので、これを参照されたい。用いた基礎体は、表-1に示す10種類である。基礎体No.1~No.5は円形床板基礎、基礎体No.6~No.10は正方形床板基礎であり、それぞれ基礎体No.1, No.6を基準にして、 $r=2\sim 8\text{ cm}$ の床板拡幅部分が設けられている。なお種々の比較のために、基礎体No.1とNo.6は、その床板部底面積が等しくなるようにしてある。

地表面は水平で、基礎体の埋戻し深さ（地表面から基礎体床板部上面までの深さ） D は30 cmおよび40 cmとした。試験は3種類の施工法、すなわち、(i)一様埋

* 正会員 工修 京都大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員 京都大学助手 防災研究所

表-1 模型基礎の床板形状と寸法


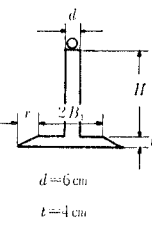

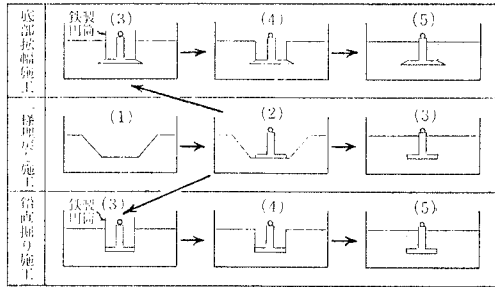
No.	2B ₁ or 2a(cm)	r(cm)	床板形状	基礎体断面図
1	24	0		
2	24	2		
3	24	4		
4	24	6		
5	24	8		
6	21.3	0		
7	21.3	2		
8	21.3	4		
9	21.3	6		
10	21.3	8		

図-2 模型実験における基礎体の埋戻し方法



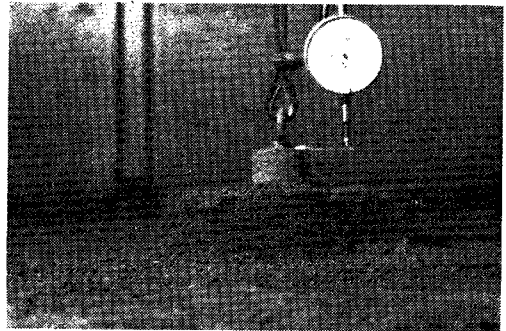
戻し施工法, (ii) 鉛直掘り施工法, (iii) 底部拡幅施工法, を想定して行なわれた。実験における基礎埋設の具体的手順が図-2 に示されている。一様埋戻し施工の場合には, 地盤を基礎破壊の影響範囲以上に広く掘削し, 基礎体を設置した後, 単位体積重量 γ が 1.18 g/cm^3 になるように一様均一に埋戻した。すなわち本実験においては, $\gamma=1.18 \text{ g/cm}^3$ の状態を“原地盤の状態”とみなしているわけであり, したがって一様埋戻し施工法というのは, 完全な原地盤中に基礎体が埋設されている場合を, 仮想的にあらわしているわけである。このような状態の基礎をつくることは, 現実の地盤ではもちろん不可能であるが, ここでは二, 三の重要な比較のために, この種の状態での実験を行なった。また鉛直掘り施工および底部拡幅施工の場合の手順はつぎのとおりである。すなわち, まず地盤を広く掘削した後基礎体を設置し, この床板部上面に解体が簡単に行える直径 24 cm の鉄製円筒, または一辺 21.3 cm の鉄製角筒を置く。そしてはじめに, この円筒または角筒の外部を $\gamma=1.18 \text{ g/cm}^3$ になるよう密に締固め, その後円筒または角筒をとりはずして, 内部を $\gamma=0.88 \text{ g/cm}^3$ になるようにゆるく埋戻した。このようにして, せん断強さの相違する, 見かけ上の原地盤と埋戻し地盤の中に埋設された基礎の状況をつくりだした。なお一面せん断試験(垂直圧力一定せん断)によると, $\gamma=1.18 \text{ g/cm}^3$, 0.88 g/cm^3 の場合, c はそれぞれ $70\sim 90 \text{ g/cm}^2$, 10 g/cm^2 であり, ϕ はともに 30° 前後であった。

載荷は, 一荷重段階 4 分間載荷の定荷重方式とし, 引揚力の方向は鉛直とした。

4. 実験結果と考察

まずはじめに, すべり面についてみてみよう。基礎体 No. 1 および No. 6 を用いた鉛直掘り施工の場合には, 原地盤と埋戻し土の境界面, すなわち基礎床板外端にそう鉛直面上に明白なすべりが生じた。そして, 原地盤へのすべり面の波及はまったく認められず, 原地盤は終始不動のままであった。このことは試験後の掘削断面を調べても明白であったが, たとえば写真-1 をみても容易に理解されるであろう。写真-1 は, $D=30 \text{ cm}$ に埋戻した基礎体 No. 1 を引揚げた後の写真である。以

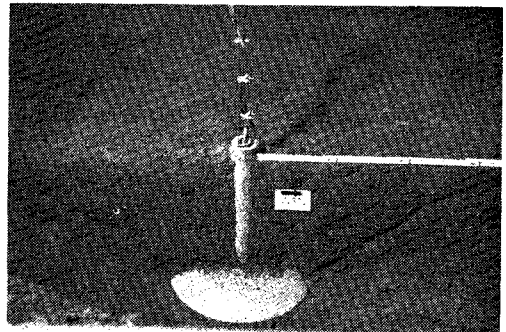
写真-1 鉛直掘り施工の場合



上の事実は, 原地盤と埋戻し地盤のせん断強さの差を考えれば当然のことであり, 鉛直掘り施工を予定した基礎設計においては, せん断法が使用されるべきであることを示している。また同時にこの事実は, すでに発表した著者の設計式により設計を行ないながら, 施工の段階にいたって, 鉛直掘り施工を採用することの不当さを指摘するものである。

さてこれに対して, 他の 8 種類の基礎体を用いた底部拡幅施工の場合には, たとえば写真-2 に示すように, すべりは明らかに原地盤の中に発生している。この写真は, 基礎体 No. 4, $D=30 \text{ cm}$ の場合について, 試験後掘削した基礎体中心断面を示している。このように, 床板部にわずかの拡幅部を設けることによって, 鉛直掘り施工の場合とはまったく異なった破壊状況を示す。この事実は, 基礎の設計施工上非常に重要なことであり,

写真-2 底部拡幅施工の場合

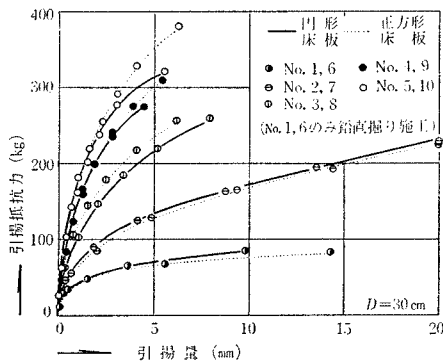


底部拡幅施工法の有効性を実証するものである。なおすべり面に関する以上のことは、他の基礎体や埋戻し深さの場合にも大同小異であった。

つぎに引揚抵抗力について検討を加える。ここで示す引揚抵抗力には、基礎体の自重は差し引いてある。このように基礎体自重を除いたのは、基礎体の大きさや埋戻し深さの異なる各場合についての比較を行なう場合、地盤の抵抗力のみによって比較する方が、土質力学的見地から適切であると考えられるからである。

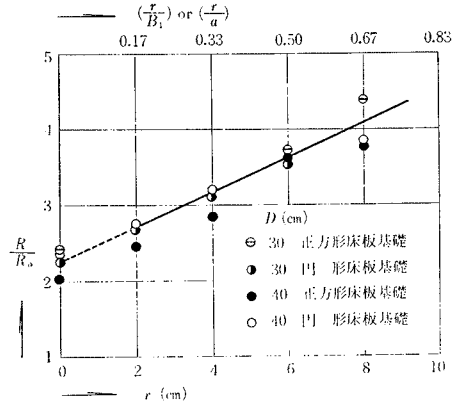
図-3は、実験における引揚抵抗力と基礎体の変位量の関係を示す一例であり、 $D=30\text{ cm}$ の場合である。図には、鉛直掘り施工と底部拡幅施工の両場合の結果が描かれており、実線は円形床板基礎に、また点線は正方形床板基礎に関するものである。この図をみれば明らかに、底部拡幅施工の場合の引揚抵抗力は、鉛直掘り施工の場合のそれに比較して一般にはるかに大であり、床板拡幅部の効果が非常に顕著であることがわかる。これは、すべり面の発生状況における両者の相違を考えれば当然のことであり、原地盤にくいこんだわずかの拡幅部を設けることによって、鉛直掘り施工の最大の弱点である原地盤と埋戻し土のせん断強さの相違が、ほとんど問題でなくなることを示している。また床板拡幅部の長さ r が大きい基礎体ほど、引揚抵抗力は大きくなっている。これは、拡幅部が大きくなるほど、引揚力に抵抗する地盤領域が大きくなり、したがってすべり土塊の重量やせん断抵抗力が増大するための当然の帰結である。ただしこの図で、 r が小さくなるほど変位量が增大することに注意しておかなければならない。これは、 r が小さくなるにつれて、床板直上のゆるい埋戻し土の影響が大きくなるためであると考えられる。

図-3 底部拡幅施工法と鉛直掘り施工法の比較



さて図-4は、やはり、基礎体 No. 1 あるいは No. 6 を用いた鉛直掘り施工の場合と、これらに対応するそれぞれ他の 4 種類ずつの基礎体による底部拡幅施工の場合を比較したものである。この図においては、前者の場合の限界引揚抵抗力 R_0 と後者の場合の限界引揚抵抗力 R との比 R/R_0 を縦軸にとり、床板拡幅部の長さ r および r に対する基準床板部の半径(または一辺の $1/2$)

図-4 底部拡幅施工法と鉛直掘り施工法の比較



の比 r/B_1 (または r/a) を横軸にとって描いてある。この図から、両者の間にはほぼ直線関係があり、原地盤にくいこんだ床板拡幅部の長さが増大するにつれて、限界引揚抵抗力が比例的に大きくなることがわかる。そして、 R は R_0 に比較してきわめて大きいことが明らかである。しかしながら、床板拡幅部の最小有効長さは、おそらく、基準となる基礎床板部直径 $2B_1$ (または $2a$) とは一応無関係に定まる性質のものであることが予想される。さらにまた、室内模型実験における縮尺効果の問題もある。したがって、いまだちに比 r/B_1 (または r/a) のみに着目し、以上の結果を定量的に実大基礎に拡大使用するには、まだ問題が残されているといわなければならない。今後、実物大基礎を用いた大規模な実験(大学の研究室では困難である)によって確かめる必要があるが、以上の結果は、現段階において、基礎の設計施工に際する重要な参考資料となりうるものである。なお図中縦軸上にプロットされている4つの点は、参考のために、基礎体 No. 1 および No. 6 を用いた一樣埋戻し施工の場合の限界引揚抵抗力を R として、これを R_0 で割った値を記入したものである。この場合においてすら、 R は R_0 の2倍以上の値を示しており、これからも鉛直掘り施工の場合の抵抗力が、いかに小さいかが理解されるであろう。

図-5 底部拡幅施工法と一樣埋戻し施工法の比較

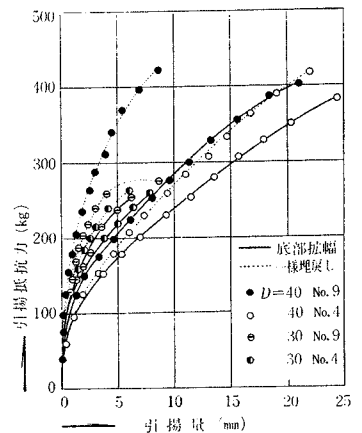


図-5は、底部拡幅施工の場合の試験結果を一樣埋戻し施工の場合と比較した一例であり、図には基礎体 No. 4 と No. 9 の場合の引揚抵抗力～変位量関係が示

されている。この図から、一様埋戻し施工の場合にくらべて底部拡幅施工の場合には、同一引揚抵抗力に対する変位量は少し大きくなるけれども、その限界引揚抵抗力はわずかに5%前後低下するのみで、一様埋戻し施工、すなわち地盤全体が原地盤であるとした場合とほぼ同等になることがわかる。そしてこの5%程度の減少量は、底部拡幅施工と一様埋戻し施工の場合の、基礎床板直上の土塊の重量差と、土の密度の相違による地表面付近の曲げ抵抗力の差^{2),3)}に起因するものと考えられる。

なお、 $\varphi=30^\circ$ 、 $r=1.18\text{ g/cm}^3$ 、 $c=80\text{ g/cm}^2$ 、対数ら線の中心角 $\theta_0=45^\circ$ とし、基礎体 No. 1(No. 6 でも同じ)について著者の方法で計算を行なうと、限界引揚抵抗力は $D=30\text{ cm}$ では 221 kg、 $D=40\text{ cm}$ では 331 kg となり、ともに 図-5 に示す諸結果よりも小さく、第1章で述べた主旨で設計を行なうならば安全側であることを示している。参考に、基礎体 No. 4 の床板幅をそのまま用いて計算すると、 $D=30\text{ cm}$ で 322 kg、 $D=40\text{ cm}$ で 450 kg となり、図-5 の結果より 20~30 kg 大きくなる。

以上のことから、底部拡幅施工法は非常に有効であり、この方法によって基礎床板を施工した場合には、原地盤に引揚抵抗力を期待してもよい、と結論できる。しかし、床板直上に存在する、せん断強さの小さな埋戻し土の存在に原因して、全般に基礎の変位量が大きくなることには留意しておかなければならない。

5. む す び

施工上種々の利点を有する鉛直掘り施工法を原則的に採用しながら、しかも乱さない原地盤に抵抗力を期待できる底部拡幅施工法を行なった場合の基礎の挙動を実験的に調べた。その結果、底部拡幅施工の場合には、すべり面が原地盤の中に生ずるために、非常に大きな抵抗力を發揮し、この方法の有効さが実証された。したがって原則的に、原地盤のせん断強さを用いて、著者の提案した設計式により基礎設計を行なってよいことが明らかとなった。

なおこのような設計、施工が、現在すでに、送電用の鉄塔基礎に関して実施されつつあることを付記しておきたいと思う。

参 考 文 献

- 1) 松尾 稔：送電用鉄塔基礎の引揚抵抗力について、土木学会論文集，第 105 号，pp. 9~18, 1964.
- 2) 松尾 稔：基礎の引揚抵抗力の算定法と粘性土中の基礎の現場引揚げ試験の解析，土の基礎，第 14 巻，第 10 号，pp. 11~21, 1966.
- 3) 松尾 稔・新城俊也：粘性土中の基礎の引揚抵抗力に関する研究，土木学会論文集，第 137 号，pp. 1~12, 1967.
- 4) 松尾 稔・田河勝一：基礎の引揚抵抗力算定式の新しい展開と斜面内基礎の抵抗力について，土木学会論文集，第 149 号，pp. 27~35, 1968.
- 5) 電気学会：送電用鉄塔設計標準，JEC-127，pp. 57~60, 1965.

(1968. 3. 7・受付)

土木学会論文集編集委員

委員長	○林 泰 造	副委員長	○山 口 柏 樹	委員	丹 保 憲 仁	委員	宮 田 尚 彦
委員	青 木 康 夫	委員	倉 西 隆 一	委員	土 屋 雷 蔵	委員	森 下 忠 幸
委員	秋 山 成 興	委員	神 月 隆 一	委員	中 野 昭 昭	委員	福 成 晴 輝
委員	阿 部 博 俊	委員	足 合 田 良 実	委員	中 瀬 明 男	委員	深 水 正 元
委員	井 島 武 訓	委員	木 下 武 雄	委員	永 尾 勝 義	委員	矢 作 文 弥
委員	若 崎 訓 明	委員	小 林 正 几	委員	西 中 村 和 利	委員	谷 内 田 昌 熙
委員	遠 藤 都 夫	委員	清 水 佐 夫	委員	二 重 作 主 税	委員	山 口 高 志 也
委員	岡 本 亮 生	委員	菅 藤 伸 夫	委員	藤 井 宏 知	委員	山 田 清 臣
委員	岡 柏 谷 一	委員	須 田 照 一	委員	○前 田 幸 雄	委員	山 村 和 也
委員	○神 山 晃 三	委員	田 島 二 郎	委員	松 浦 義 満	委員	湯 浅 鉄 史
委員	鍛 治 晃 三	委員	田 村 重 四 郎	委員	松 田 真 一		
委員	聖 林 榮 一	委員	高 野 博	委員	宮 田 一		
委員兼幹事	西 脇 威 夫	○印 部 会 長					

昭和 43 年 11 月 15 日 印刷
 昭和 43 年 11 月 20 日 発行

土木学会論文集 第 159 号

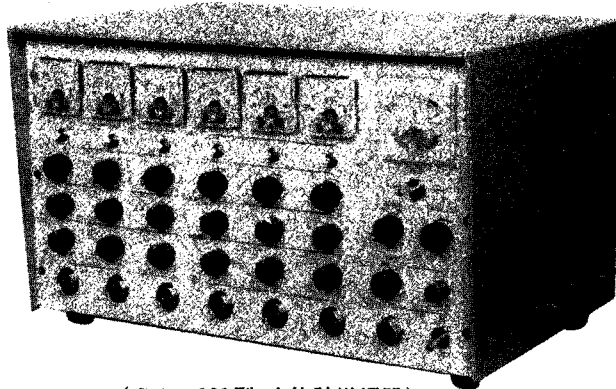
定価 200 円 (〒 20 円)

編集兼発行者 東京都新宿区四谷一丁目
 印刷者 東京都港区赤坂 1-3-6

社団法人 土木学会 羽 田 巖
 株式会社 技 報 堂 大 沼 正 吉

発行所 社 団 法 人 土 木 学 会 振替東京 16828 番
 東京都新宿郵便局区内 新宿区四谷一丁目 電話 (351) 代表 5138 番

水理実験波高解析にどうぞ!!



(CA-101型 水位計増幅器)

- ☆波高計(抵抗式)と記録器をつなげばOK
- ☆簡単な取扱いで直線性良好
- ☆価格低廉
- ☆豊富な納入実績を持っています

カタログ請求先

計測技研株式会社

東京都武蔵野市西久保3-1-30 中央ビル
TEL (0422) (51) 8958 (代)

コンクリート

西ドイツ・トルクレ
工期短縮・工費節減に
●お申し込み次第資料をご送付致します

●営業種別—特殊土木工事(トルクレットコンクリート吹付)、ボーリング、測量、地質調査、基礎工事、土留、その他

開発工事株式会社 社長 前沢 肥

PARTNER K12 パートナー エンジンカッター 切る

NCN 125

昭和四十三年十一月二十五日
行期(毎月一回)
(二十日発行)

■誰でも切れる

スターターを引張るだけで誰にでも簡単にエンジンがかけられます。切断作業は一人で行い、特別の熟練を要しません。

■どこでも切れる

小型で軽量ですから持ち運びに至便です。その割に馬力は強く、どの様な姿勢でも操作出来、どこでも切れます。

■何でも切れる

鉄、コンクリート、その他何でも切れます。ヒューム管、土管、鉄骨、鉄筋など土木建設、その他種々の業務の切断作業に威力を発揮します。

■はやく切れる

例えばコンクリート道路で3cmの深さ、15mの長さに要する切断時間はわずか約15分です。

■きれいに切れる

切口はきれいに切れます。切断作業の後バリトリとか仕上とかの必要はほとんどありません。

■安全に切れる

特にパートナーカッター用に製作したディスクを用いておりますので切断作業は極めて安全且、迅速に行えます。



- 鋳 鉄 管
- ダ ク タ イ ル 管
- ヒ ュ ー ム 管
- 道 路
- ワ イ ヤ ー ・ ケ ー ブ ル

日本アレン機械部

東京都豊島区巢鴨7丁目1875番地 TEL(944)1711(代)
 本社 東京都千代田区内神田2丁目4-4 TEL(256)6551(代)
 大阪支店 大阪市北区牛丸町55東洋ビル内 TEL(372)4571(代)
 福岡営業所 福岡市轟町149 TEL(53)1515
 広島営業所 広島市三川町10-13 TEL広島(47)6351
 北海道出張所 北海道苫小牧市音羽町13の11 TEL(苫小牧)2-5016

木 学 会 論 文 第一五九号

価 二 〇 〇 円