

深い掘削問題の難しさ

MANY DIFFICULTIES IN PREDICTIONS OF DEEP EXCAVATION BEHAVIOR

とみ なが まさ なり
富 永 眞 生*

1. 深い掘削とは

深い掘削とは一体どんな掘削をいうのだろうか。掘削工事に携わる技術者が“深い”と感ずる深さは一体何mぐらいからだろうか。テルツァーギ¹⁾は“深さが6mより浅い掘削では経験だけに頼っても失敗することはほとんどない。地盤が少々悪くても、通常の方法で安全に施工でき、あまり設計に凝りすぎることは不経済である。一方6mより深い掘削になると、土質工学的な配慮が必要である”と述べている。

また、ペック (Peck)²⁾は掘削が浅いか深いかはもともと相対的な問題ではあるが、と断わったうえで、掘削時における土留め壁周囲地盤の安定問題を扱い、 $N_c = \gamma_t \cdot H / c_u$ で示される安定係数 N_c を用いて一応の目安として $N_c < 4$ の場合を浅い掘削、 N_c が7~8以上となると深い掘削として考える必要を説いている。ここに γ_t は土の湿潤単位体積重量 (tf/m³)、 H は掘削深さ (m)、 c_u は土の非排水せん断強度 (tf/m²) である。

遠藤³⁾はいろいろな掘削の事故例を考察して、 $N_c = 5.3 \sim 6.6$ 、 $H = 1.6$ m で重大な事故を起こした例もあるとしながらも、 $N_c = 7.5 \sim 11$ 、 $H = 8$ m 以上は深い掘削=困難な掘削であろうと解説している。

一方、筆者がまとめた軟弱地盤に施工された58例の深い土留め壁の実例によると、深さが8mより深くなると断面剛性の大きい鋼管矢板などを使用するケースが増え、更に11mより深くなると計測管理や情報化施工を採用して支保工の節約と安全性向上を目指していることがうかがえる⁴⁾。ちなみに本小特集号では $H = 12 \sim 25.5$ m, 18.7m, 21m, 21.4~26.5 m の実例が深い掘削問題として寄稿・論議されている。

地盤の力学的特性や周辺構造物への影響、掘削工事の方法や順序などによって深い掘削問題の対象となる範囲は広いが、ここでは比較的地盤の悪い箇所に、土留め壁を施工しながら壁体内側を少なくとも11m以上掘削するような問題に対象を絞って考えてみたい。

2. 技術者の知りたい五つの問題点

近年、都市への人口の集中化に伴って超高層ビルなどに

*川崎製鉄(株) エンジニアリング事業部土木技術部 課長

よる地上スペースの有効利用が望まれている反面、都市においては交通機関や通信・下水施設の地下化、つまり地下スペースの有効活用も広く実行されていて、深い掘削問題に携わる技術者の数も増加の一途であろう。1977年東京で行われた第9回国際土質基礎工学会議の専門部会でも注目すべきテーマの一つとして取りあげられ、議論されたことは記憶に新しい⁵⁾。

さて、深い掘削に携わる技術者が設計上、施工上知りたい問題点は次の五つに大別される。

- (1) 予測 (設計時、施工中を問わず) に用いる側圧 (土圧、水圧) の大きさと分布状態
- (2) 最適な支点の位置の決定とその支点における支保工に加わる作用力及び支保工の設置方法
- (3) 掘削予定深さ以下どこまで土留め壁の根入れが必要か、またそこに反作用する抵抗側土圧や地盤反力の特徴はどうか
- (4) 壁体に発生する変形や曲げ、せん断応力の大きさとその時間的変化
- (5) 沈下や側方変位など周辺構造物への影響

再び遠藤³⁾の教えを引用させていただくと、氏は土留め壁を成功裡に遂行するための条件として、(a)周囲からの土圧・水圧などの側圧に耐えさせること、(b)掘削による周囲の土の横移動を防ぐこと、(c)掘削底面のふくれ上がりを押えることが大切であると述べている。筆者はこれらに(d)施工中の水の処理を怠らないことをつけ加えておきたい。

そのために技術者がまず第一にやらなければならないことはこれから掘削を行おうとしている現場での土質調査と力学試験を実施することである。これから困難に立ち向かおうとしている技術者にとって敵 (地盤) を知ることは鉄則である。時間と予算を最大限に活用して、自分のめざす目的に合った土質調査と力学試験を実行し、あらかじめ地盤を熟知しておかなければならない。

第二にやらなければならないことは、その地盤に“深い掘削”を施す場合に発生するであろう土質工学的問題について、過去の類似の実例を十分に見直して見ることである。決して先を急いではない。

現在の土質工学は十分な土質調査・力学試験、過去の実例との対比、あるいくつかの理論による予測計算及びそれらに基づく工学的判断によってほとんどの問題について一

総 説

次の解答を与えることが可能となっているのだから……。ただ留意しておかなければならないことは、技術者は絶対に自分の予測計算を過信・盲信してはならないことと、もう一つは柴田⁶⁾も指摘しているように、小型実験（浅小な実例）から大型構造物（深大な掘削）の挙動を単純な外挿によって推定することは危険である、ということの2点である。

3. 側圧について

土圧+水圧→側圧という概念は主として実務的技術者の側から出てきた考え方であろう。理論的には土圧問題は有効応力の原理で統一する方が説明しやすいが、実際問題としては有効土圧（間隙水圧を含めて）を計測することが困難な現状であることから、理論と実際をつねに対比させる立場をとる実務派は便宜上側圧という概念を多用することになる。特に粘土質地盤の場合は間隙水圧の測定がなかなかめんどりで信頼性に疑問があることが多いために、土を湿潤状態の物質として扱い、側圧と呼んで実用上の単純化をはかっている。

ところで側圧特に土圧とその分布は壁体の変形しやすさ (Flexibility) に大きく影響を受けることはよく知られており、最近ではこれを土と壁体の相互作用の問題として扱うことが定着しつつある。

ラム (Lambe)⁷⁾は主働土圧状態と受働土圧状態を与えるのに必要な水平ひずみを乾燥した密な砂の場合と、正規圧密粘土の場合について図-1(a), (b)のように示している。両者ともほぼ1%以内の水平ひずみで静止土圧状態（正規圧密状態）から主働土圧状態に移るが、受働土圧状態に移るのに密な砂の場合で4%, 正規圧密粘土の場合で20%の水平ひずみが必要となっている。

このことは二つの重要な土質工学的意味を教えている。その一つは、主働土圧状態と静止土圧状態とは土の水平ひずみがほぼ1%以内での現象であるということである。つまり壁体を構成する材料が周囲の土に1%の水平ひずみを

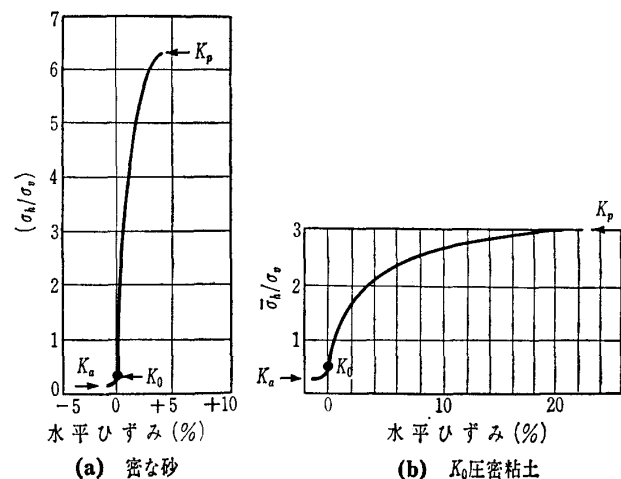


図-1 土圧係数と水平ひずみの関係 (文献 7 による)

与えるほど変形すれば、静止土圧→主働土圧となってしまうのである。土留め壁の土圧の設計には静止土圧を用いる方が合理的、普遍的であると考えられる。本号に寄せられた報告にも土圧を静止土圧、三角形分布土圧で設計することの有用性を説いている論調が多い。筆者も実用面では静止土圧かつ三角形分布派の一人である。

その二つは、4~20%の水平ひずみがないと受働土圧状態に達しないということである。一般に壁体は土にそんな大きな水平ひずみを生じさせるほど変形するものではないだろうから、壁体の抵抗側（受働側）を受働土圧で設計するような構造物は実在するのだろうか。4~20%の水平ひずみが生ずるまでの過程の方がむしろ問題となることの方が多い。仮想支点あるいは地盤反力係数という手法、つまり変形を中心に考える手法を用いる方が合理的な設計になるのではないだろうか。本号の報告では仮想支点法、地盤反力係数法、FEMなどに分かれているが、筆者は実用面から現時点では地盤反力係数法を採りたいと考えている。

4. 側圧—壁体—支保工の関係

すでに述べたように側圧と壁体の変形のしやすさと壁体の変形との関係は密接である。図-2はゴールドバーグ (Goldberg)⁸⁾がまとめたもので、壁体の変形のしやすさ (EI/h^4 , h : 支保工間隔) と安定係数 ($r_t H/c_u$) 及び変形量 (δ) の関係を表わしている。同図は深い掘削問題に携わる技術者にいくつかの示唆を与えてくれよう。

テルツァーギとペック^{1),9),10),11)}はシカゴの地下鉄現場での切ばり荷重の観測結果に基づいて、壁体の変形が微小な場合の背面の土はランキン主働土圧状態に達するとして、土留め壁に加わる最大土圧強さに次式を提案した。

$$P_A = \gamma \cdot H \cdot K_A = \gamma \cdot H \cdot (1 - 4c/\gamma H) \dots \dots \dots (1)$$

一方、チェボタリオフ (Tschebotarioff)¹²⁾は彼自身の観測結果から式(1)で得られる土圧の値は、 H が浅い場合は過小な、深い場合は過大な値を与えるとして反論し、粘土の圧密平衡状態と掘削底面付近では土圧が一部受働側の土にも伝達されることを考慮して基本的には三角形分布を提案

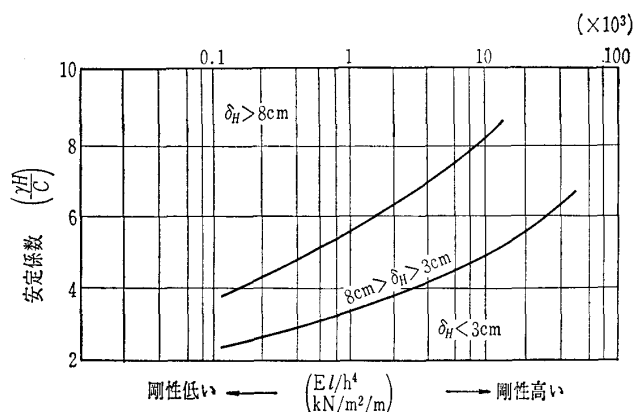


図-2 壁体の変形のしやすさと安定係数、変形量の関係 (文献 8 による)

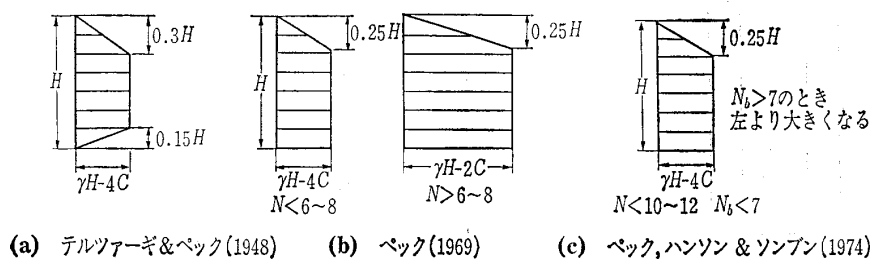


図-3 切ばりにかかる側圧分布の変革

した。

その後ベック^{13),2),14)}は安定係数 $N_b = \gamma \cdot H / s_{ub}$ という考え方を導入し, $N_b > 6 \sim 8$ のとき深い掘削では掘削底面付近から塑性域が拡大するので式(1)で推定する値よりも大きな土圧が生じることを考慮に入れて

$$K_A = 1 - m \cdot (4 s_u / \gamma \cdot H)$$

という修正係数 m (通常は $0.4 \sim 1.0$) を導入した。ここに s_u は掘削面までの粘土の非排水せん断強度, s_{ub} は掘削底面以下の粘土の非排水せん断強度である。図-3は粘土地盤における切ばりにかかる側圧分布の変革を示す図である。

更にチェボタリオフ¹⁵⁾はモスクワ会議でサワテク (Sawatek)¹⁶⁾らの研究を引用しながら, ベックに対して再批判を行っているが粘性土の側圧に関する問題の決着はついていないのが実状であろう。

日本においては玉置^{17),18)}らが粘土地盤に関する多くの実測例から図-4の結果を求めた。これは首都高速道路公

団で採用されている考え方であるが, これよりチェボタリオフのいう三角形分布土圧では上段の支保工に対して危険側の設計となり, 掘削深さが大きくなると過大な設計となってしまうことがわかる。建築基礎構造設計規準・同解説(1975年版)では両者の設計法を併用することになっている。

1972年, バイラム (Bjerrum)¹⁹⁾はたわみ性壁に関する土圧問題の総括を行って, アンカーされた壁体では壁の変形, アンカーのゆるみ及びアーチングが支配的要素であること, 切ばり方式の壁体では粘土のせん断強度とアーチングに影響されることを指摘した。更に壁体の挙動と切ばり反力の大きさは図-5に示すように単に掘削深さ H だけではなく, その下方の相対的に固い地層までの深さ H_0 にも大きく関係することを述べ, 土圧問題解析のモデルとして同図(c)の考え方を紹介した。

図-5は壁体の曲げ剛性や根入れ部分の土の抵抗をも考慮したうえで, 側圧と支保工系を一つの相互作用の結果として取り扱う, より現実に近い解析手法を示唆している。最近の日本における土留め壁の設計法は基本的には同図の変形を考慮した設計法の流れに入るものが多い。弾性支承ばり理論を発展させた弾性法やチャン (Chang, Y. L.) の方法を拡張したもの^{20),4)}, 土の反力に降伏値を導入した山肩²¹⁾に代表される弾塑性法やその拡張された方法²²⁾, 中川²³⁾, 野尻²⁴⁾らの仮想支点法などである。本号にもこの流れに入るものが報告されている。

これらの解析法は一見合理的な単純化(モデル化)がなされているようにも思えるが, ①壁体の境界条件を事前に設定する, ②設計のための側圧を三角形分布とする, ③仮想支点や水平方向地盤反力係数を設定する, ④二次元の平面ひずみ問題とするなどの幾つかの仮定が入っていることにも注意しておかなければならない。しかしコンピューターの活用によって実際に近い解析法に発展させることも, めんどろな施工段階ごとの予測計算を実行することもでき, メリットも多い。

5. パラメトリック・アナリシス

以上述べてきたように深い掘削の問題には数々の複雑な要素が潜在しているため, 最新の弾塑性論的アプローチやFEMをもってしても解決への道はいまだしいの感が深い。そこでより現実的な問題解決手段として出現したのがコンピューターの助けを借りたパラメトリック・アナリシス (Parametric Analysis) 手法であろう。

1970年代初めのラムら^{25),26),27)}による研究に端を発して, パーデュ会議(1972年)やモスクワ会議(1973年)以降^{15),28),29)}はテルツァーギとベック¹⁾が提唱した観測施工 (Observational Procedure) の思想が浸透

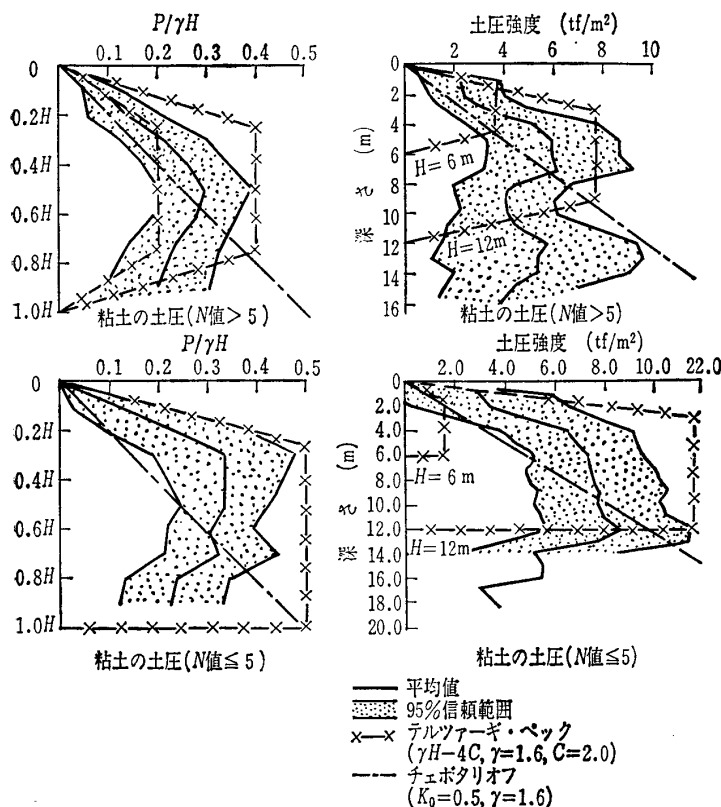


図-4 粘土の土圧分布 (文献 17 による)

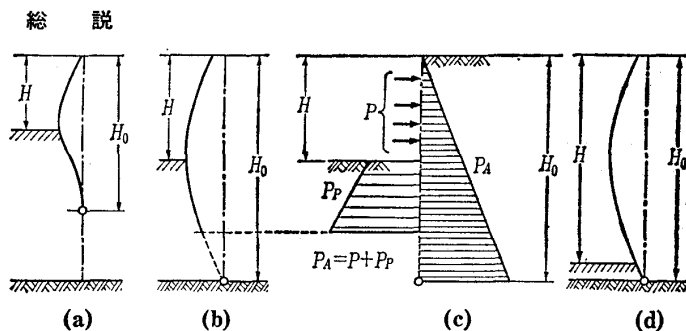


図-5 矢板壁の変形曲線及び切ばり反力と土圧との
つり合い (文献 19 による)

し、土圧係数や水平方向の変形係数などの土圧影響要素のパラメトリック・アナリシスが盛んになってきた。モスクワ会議ではチェボタリオフを中心にクライン (Klein), イワール (Ivar), 福岡らが現場計測に基づき施工段階を考慮したアプローチを討議した¹⁵⁾。またテイト (Tait) ら³⁰⁾は施工段階ごとの矢板壁の最大水平変位を計測し、掘削底面のヒーピングに対する安全率の時間的推移を調べた (図-6)。

この傾向は日本にもほぼ時を同じくして芽ばえ、1960年代の後半からは土質工学研究発表会や「土と基礎」誌上にも現場における計測結果の報告が頻出するようになった。古藤田ら³¹⁾の山留めの諸測定に関する研究委員会は現場計測を通じて土留め壁の側圧問題の集大成を試みつつあるし、柴田ら³²⁾はこのような工学思想を現場計測工法と名付けてその体系化に努めている。

また筆者ら³³⁾は軟弱地盤における鋼管矢板土留め壁と側圧の相互作用を、施工中の観測データを用いながら土のパラメーターを Realtime に分析して設計と施工にフィードバックさせることによって、施工時の最危険段階の予測を行う解析システム (RCC システム) を開発・発展させた。東京会議 (1977年) ではダポロニア (D'Appolonia) やクラフ (Clough) ら⁵⁾によってこの現場計測の重要性が再確認されたといえよう。

本号でもパラメトリック・アナリシスの事例が報告されている。岩崎らは FEM によれば周辺地盤の挙動までも把握できる長所がある反面、土の応力-ひずみ特性 (構成式ともいう) のモデル化が複雑であるという短所があるためこの短所を避けて、いわゆる弾性ばね付き連続ばりモデルを用いて、壁体の変形と切ばり軸力の実測値をパラメトリック・アナリシスすることによって側圧分布を求めている。そしてこの方法による側圧の推定は実用的に有効であり、現時点では土と壁体構造物の相互作用の不明な要素を土の水平方向地盤反力係数で吸収する上記モデルの寛容さは捨てがたいとの立場をとっている。

一方相原らは上記のような連続ばりモデルによる解法の利点を認めながらも、掘削底面下での側圧や水平方向地盤反力係数の採り方によっては解析結果が大きく変動するので、FEM による解析手法の総合性を強調している。

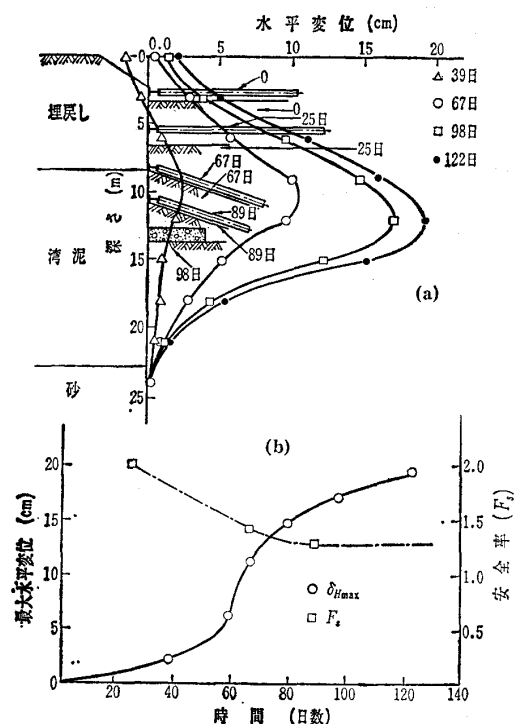


図-6 矢板壁の水平変位(a)と掘削底面のヒーピング
に対する安全率(b) (文献 30 による)

6. 掘削問題の難しさ

先に技術者の知りたい五つの問題点について触れたが、(1), (2), (4), (5)の問題点については現在の土質工学をもってすれば何らかの方法・手段によって予測 (設計) も実測も可能であり解決できるのに対し、(3)の問題点については解決の決め手に欠けるのが現実であり、そこに掘削問題の難しさが存在するのである。掘削問題において、作用 (側圧) に反作用として抵抗するものは支保工あるいはアンカーと掘削底面より下方の土であり、その土が掘削の過程において複雑な力学的遍歴を受けるからである。すなわち掘削による上載圧の除荷、側圧によるクリープ、壁体の剛性差による変形影響範囲の大小、支保工の効き方、排水・揚水・浸透水などによる土の特性の変化……等々、単純に受働土圧という概念で処理できないばかりでなく、適切なモデル化が困難なためでもある。しかしこの(3)の問題点を解決しないで「深い掘削」の問題を解決することはできない。ここに掘削問題の悩みが残っているのである。

そこで現在とられている方法は、ある仮定やモデルのもとに作業を進め、現場計測で得られる情報と対比し、そこに矛盾が生じていないかどうかを検証・追突するという実際的方法である。野尻の仮想支点法、岩崎らの弾性ばね付き連続ばり法、相原らの FEM、いずれもこのような試行錯誤の貴重なステップであると考えてよい。

斎藤らは、ある深さにおける壁体にかかる側圧 P と水平変位 δ の関係を整理し、(a) δ が増加し続け、 P が減少す

る部分——水平方向地盤反力係数的な動きと、(b) δ の増加が止まり P が落着くか、あるいは減少する部分——受働土圧的動きとが存在することを報告している。壁体の変形と側圧の間の相互作用を物語る情報の一つといえよう。このような相互作用が一つ一つ解明されてはじめて深い掘削の問題が完全に解決するのであるが、今、設計や施工に携わる技術者に未来への光明がないわけではない。現時点で結論できることは

- ① 設計に用いる側圧は静止土圧+水圧の三角形分布を採用し、その大きさは掘削深さが深くなるにつれて減少する傾向にある。減少の度合は土と壁体構造との相互作用によって決まるのであるが、残念なことに現在の土質工学の理論では解決できない。
- ② しかし実際面では連続ばり法（仮想支点派、弾性ばね派、弾塑性派のいずれでも可）によるパラメトリック・アナリシスによって側圧—壁体の変形、曲げ応力—支保工反力の関係を分析することが可能となっている。また傾斜計による変形の実測、ひずみ計や鉄筋計による曲げ応力の測定、土圧計や間隙水圧計による土圧、間隙水圧の測定もかなりの精度で可能である。
- ③ したがって②によって①を補うことができる。

つまり現状では上記までが限界である。一方深い掘削問題としては掘削現場周囲への影響の問題や三次元問題など未解決のテーマも多い。その観点からすれば FEM は有力な手法であり武器である。相原らの努力に見られるように実測値との対比と土の応力—ひずみ関係の見直しが着実に続けられんことを期待しよう。

“深い掘削における土圧・水圧”というとても難しいテーマの小特集号にて編集子は浅学な筆者に総説をやれという。非才な筆者にはいささか荷が重いにもかかわらずである。とても総説などやれたものではない。さりとて編集子のたつての頼みとあれば、むげにお断わりする訳にもいかない。やむなく限られた能力と時間の中での苦悩の一夜漬け“総説”とあいなった次第である。

筆者が日頃からすこしばかり考えていたことや見聞きした情報の中からの引用を含めて、赤恥覚悟の仕上りとなった。ついつい勝手な展開になってしまい、また大切な深い掘削の施工技術については一言も触れないで終ってしまった。あわせて読者諸氏の寛大なご容赦を切望する次第である。なお引用させていただいた後掲の文献にはいろいろ教えられることが多かった。厚くお礼申しあげます。

参 考 文 献

- 1) 星埜和ほか訳(1970): 新版テルツァーギ・ベック土質力学, 丸善.
- 2) Peck, R. B. (1973): Lateral Pressure of Clayey Soil on Structures, Proc. 8th I. C. S. M. F. E., Spec. Ses. No. 5, Vol. 4, 3, p. 232.
- 3) 遠藤正明(1973): 山留め工の推移と展望, 土と基礎, Vol. 21, No. 5, pp. 5~11.
- 4) 松尾 稔・富永真生(1975): 土圧, 土質工学基礎叢書 7, 鹿

- 島出版会, pp. 67~89.
- 5) D'Appolonia, E. (1977): Relationship between Design and Construction in Soil Engineering, Proc. 9th I. C. S. M. F. E., Spec. Ses. No. 3, Vol. 3, pp. 479~485.
- 6) 柴田 徹(1979): 土質力学研究の体系的位置づけとその概況, 土木学会誌, Vol. 64, No. 5, pp. 9~14.
- 7) Lambe, T. W., Whiteman, R. V. (1969): Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., pp. 163~351.
- 8) Goldberg, D. T., Jaworski, W. E. and Gordon, M. D. (1976): Lateral Support Systems and Underpinning, Report FHWA-RO-75-130, Federal Highway Administration, Vols. 1, 2, 3, 4.
- 9) Terzaghi, K. (1934): Large Retaining Wall Tests I-V, Eng. News Record, Vol. 112, Nos. 5, 8, 10, 13, 16 and 23, pp. 136~140, 259~262, 316~318, 403~406, 503~508 and 747.
- 10) Peck, R. B. (1942): Earth-Pressure Measurements in Open Cuts, Chicago (Ill.) Subway, ASCE, Proc., Vol. 68, No. 6, pp. 900~928.
- 11) Terzaghi, K. (1943): Theoretical Soil Mechanics, John Wiley, p. 510.
- 12) Tschebotarioff, G. P. (1957): Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures, McGraw-Hill.
- 13) Peck, R. B. (1969): Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, State of the Art Report, Proc. 7th I. C. S. M. F. E., State of the Art Vol., pp. 225~290.
- 14) Peck, R. B., Hansen, W. E. and Thornburn, T. H. (1974): Foundation Engineering, 2nd Edition, John Wiley and Sons Inc.
- 15) Tschebotarioff, G. P., Klein, G. K., Malyshev, M. V. and Others (1973): Lateral Pressure of Clayey Soils on Structures, 8th I. C. S. M. F. E., Spec. Ses. No. 5, Vol. 4, 3, pp. 227~266.
- 16) Sawatek, E. P., Asrow, S. P. and Seitz, A. M. (1972): Performance of Bracing for Deep Chicago Excavation, Proc. ASCE Spec. Conf., Performance of Earth and Earth Support Structures, Vol. 1, Pt. 2, pp. 1303~1322.
- 17) 玉置 修・矢作 枢・中川誠志(1973): 多数の切梁反力実測値から求めた土留土圧について, 土と基礎, Vol. 21, No. 5, pp. 21~26.
- 18) 玉置 修・和田克哉・中川誠志(1976): たわみ性山留め壁に作用する土圧について, 土と基礎, Vol. 24, No. 12, pp. 17~22.
- 19) Bjerrum, L., Clausen, C. J. F. and Duncan, J. M. (1972): Earth Pressure on Flexible Structures, Proc. 5th E. C. S. M. F. E., State of the Art Report.
- 20) 古藤田喜久雄・風間 了・丸山今朝美(1975): 山どめ壁およびくいの水平抵抗に関する研究, 山どめ壁の挙動, 第10回土質工学研究発表会講演集, pp. 875~878.
- 21) 山肩邦男・吉田洋次・秋野矩之(1969): 掘削工事における切バリ土留め機構の理論的考察, 土と基礎, Vol. 17, No. 9, pp. 33~45.
- 22) 中村兵次・中沢 章(1972): 掘削工事における土留め壁応力解析, 土質工学会論文報告集, Vol. 12, No. 4, pp. 95~103.
- 23) 中川清治・岩田一昭(1973): 土留めグイのタワミ量計算方法, 土と基礎, Vol. 21, No. 5, pp. 73~78.
- 24) 野尻明美(1975): 山止め壁の応力・変形の発生機構に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 第234号, pp. 13~21.
- 25) Golder, H. Q., Gould, J. P., Lambe, T. W., Tschebotarioff, G. P. and Wilson, S. D.: Predicted Performance of Braced Excavation, Jour. of SMFD, ASCE, Vol. 96, No. SM3, Proc. Paper 7292, pp. 801~815.
- 26) Lambe, T. W., Wolfskill, L. A. and Wong, H. (1970): Measured Performance of a Braced Excavation, ASCE, Proc., Vol. 69, No. SM3, pp. 817~836.
- 27) Lambe, T. W.: Braced Excavations, ASCE, SMFD, Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, Spec. Conf., Cornell Univ., State of the Art Papers, pp. 149~218.

総 説

- 28) Peck, R.B., Gould, J.P., Duncan, J.M., Lambe, T. W., Ward, W. H. and Clough, G. W. (1972): Soil Structure Interaction, Proc. Spec. Conf. on Performance of Earth and Earth Supported Structures, ASCE, SMFD, Vol. 3, pp. 245~293.
- 29) Palmer, J.H.L. and Kenney, T.C. (1972): Analytical Study of a Braced Excavation in Weak Clay, Canadian Geotechnical Jour., Vol. 9, pp. 145~164.
- 30) Tait, R.E. and Taylor, H.T. (1974): Design Construction and Performance of Rigid and Flexible Bracing Systems for Deep Excavations in San Francisco Bay Mud, Paper Presented at ASCE National Meeting, Los Angeles.
- 31) 土質工学会編(1978): 山留めの諸測定に関するシンポジウム 発表論文集
- 32) 柴田徹編著(1979): 現場計測工法, 日刊工業新聞社.
- 33) 富永真生・越後勇吉・橋本正治・木村保(1976, 1977, 1978): RCC システムの開発について(第1報), (第2報), (第3報), 第11, 12, 13回土質工学研究発表会講演集, pp. 1013~1016, pp. 1121~1124, pp. 1181~1184.

<講演集・シンポジウムテキスト在庫一覧>

- 第10回土質工学研究発表会発表講演集(昭和50年度) B 5判 1026頁 定価 ¥5,200 会員特価 ¥4,000 千 ¥320
- 第11回土質工学研究発表会発表講演集(昭和51年度) B 5判 1136頁 定価 ¥5,800 会員特価 ¥4,500 千 ¥320
- 第22回土質工学シンポジウム(昭和52年度) B 5判 80頁 定価 ¥1,300 会員特価 ¥1,000 千 ¥200
テーマ: 地盤と構造物の相互作用
- 第23回土質工学シンポジウム(昭和53年度) B 5判 82頁 定価 ¥1,500 会員特価 ¥1,200 千 ¥200
テーマ: 場所打ち杭と埋込み杭の評価
- 第24回土質工学シンポジウム(昭和54年度) B 5判 204頁 定価 ¥3,700 会員特価 ¥3,000 千 ¥200
テーマA: 構造物と基礎のケース・ヒストリー(Case History)
テーマB: 土質試験の新しい方法及び計測技術
- 土のサンプリングシンポジウム(昭和47年10月) B 5判 70頁 定価 ¥ 500 会員特価 ¥ 350 千 ¥200
テーマ: 硬質粘土と海底地盤のサンプリング
- 昭和53年度サンプリングシンポジウム(昭和53年11月) B 5判 142頁 定価 ¥2,400 会員特価 ¥1,900 千 ¥200
- 平板載荷試験に関するシンポジウム(昭和54年5月) B 5判 88頁 定価 ¥1,600 会員特価 ¥1,300 千 ¥200
- 有機質土の試験方法シンポジウム(昭和54年11月) B 5判 104頁 定価 ¥1,950 会員特価 ¥1,550 千 ¥200
- 地盤分類法に関する討論会(昭和54年11月) B 5判 76頁 定価 ¥1,500 会員特価 ¥1,200 千 ¥200
- 杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム(昭和54年12月) B5判 135頁 定価 ¥2,700 会員特価 ¥2,100 千 ¥200
- しらす基準化シンポジウム(昭和54年12月) B 5判 66頁 定価 ¥1,300 会員特価 ¥1,000 千 ¥200
- 第5回日本地震工学シンポジウム(昭和53年11月) B 5判 1512頁 定価・会員特価ともに ¥5,000 送料※
※千第1地帯(都内 ¥400 その他 ¥560) 第2地帯 ¥660 第3地帯 ¥760 -東京を基準として-

問合せ・注文先: 土質工学会販売係 電話 03-251-7661
