

土留構造物 ——仮設土留工を中心として——

藤 田 圭 一*

1. まえがき

従来みられなかったような大型の土留構造物が、しかも軟弱な地盤に急速に築造されるようになった。とくに都市土木においては、20～30mの深さの掘削が珍しくなくなったが、一方、施工の途中におけるトラブルも少なくない。仮設土留工の設計法は多くの経験に基づいて発展したものであるが、深い掘削への適用について再検討する時期がきたように思われる。

Peck¹⁾(1967)は、地盤の掘削深さに対して土の非排水せん断強さを考慮する安定数(Stability Number)の概念を導入しているが、これは仮設土留工の安全性を検討するうえで画期的な考え方というべきである。

以下、仮設土留工(ここでは山留工と呼ぶ)を中心に設計・施工上の問題点を取り上げ、これに対処するいくつかの方法について述べたいと思う。

2. 山留工の計画の手順

山留工は地盤を掘削したときの切取面(主として鉛直な)の崩壊を防ぐための仮設構造物であって、土留壁とこれを支える支保工(腹起し、切りばり、あるいはタイバックアンカーなど)で構成されるが、地下水位以下をドライで掘削する場合には、適当な排水工を実施しなければならない。

山留工の計画のポイントは、所定の盤まで安全に掘削できるとともに、周辺に公害などの影響を与えることが少なく、しかも経済的な工法を選定することにあるが、施工にあたっては管理を十分にを行い、とくに掘削表面に水が流れ出ないように排水することが大切である。

標準的な山留工の計画を行うときの手順は、およそ次のとおりである。

① 築造すべき構造物と掘削規模、山留工との関係の検討

② 地盤の性状の把握：土層の構成、強度、沈下特性、地下水位、被圧状況、透水係数など

③ 掘削深さに対する土の強度の検討

* 正会員 (株)間組 取締役研究開発局長

- ④ 環境の保全に対する検討
- ⑤ 土留壁の種類と施工法の検討
- ⑥ 施工の手順(撤去時、構造物築造時を含めた)に従った山留工構造の検討
- ⑦ 細部構造と関連構造物の検討：支保工の補強と支持方法、中間杭、栈橋、支保工の撤去方法
- ⑧ 排水量の算定と排水方法の検討
- ⑨ 施工時に発生すると予想される諸問題の対策：安全管理の方法、周辺構造物、地盤の変位、沈下対策、止水方法

3. 山留工の設計・計算上の問題点

山留工の設計・計算上とくに注意する点や、主な問題点について述べる。

(1) 土圧の大きさ

Terzaghi-Peck らの提案する山留工の設計用土圧とは、見掛けの土圧(apparent earth pressure)と呼ばれているように、切りばりに加わる軸力の測定値から、壁体に加わる荷重として逆算したものであって、多くの実測データを包絡するように決定されている。しかも、この土圧には水圧も加わっていると理解してよく、厳密には側圧というべきである。すなわち、地下水位が上方にあっても、掘削底面上の土の重量として浮力を差し引かない単位体積重量を用いているからである。

なお、土圧計から土留壁に加わる土圧(側圧)を正しく測定することは大変に難しく²⁾、土のアーチ作用のために小さな値を取り出したり、あるいは逆に設置時に発生した受働土圧を検出することがあり、また、切りばりの軸力の実測値とも一致しないのが普通である。

山留工設計用土圧は、各種の基準・規準・指針あるいはそれぞれの企業者によって、その地盤、その構造に適したものが多年の経験に基づいて定められている。新しいものに首都高速道路公団の方法があり、また、日本建築学会では、壁体と切りばりの設計土圧を変えよう³⁾としている。

Peck⁴⁾(1969)による山留支保工の設計用土圧のうち、軟らかい—中位の粘土に対するものとして次式が与えら

れている。

$$\left. \begin{aligned} P_A &= 1.0 K_A r H \\ K_A &= 1 - m \frac{4 S_u}{r H}, \text{ただし } r H / S_u > 4 \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

ここに、 m ： S_u の割引率であるが、一般に1.0、特別な場合には0.4

(2) 土の強度のとり方

Peckが提案した粘土地盤における安定数の考え方は次のとおりである。

a) 掘削時における土留壁周辺の平衡状態を説明するための安定数 N_s は次式で与えられる。

$$N_s = r H / S_u \dots (2)$$

ここに、 r ：底面上の土の単位体積重量 (t/m^3)

H ：底面までの掘削深度 (m)

S_u ：側壁から掘削底面に至るまでの全般破壊に関連する範囲の土の非排水せん断強度 (t/m^2)

$N_s = 4 \sim 6$ になると周辺の土が弾性域から塑性域に移行して式(1)を適用する条件となり、 $N_s = 6 \sim 8$ になると周辺の土の塑性域が掘削底面に達して塑性平衡状態になり地表面の沈下が著しく、式(1)において $m = 0.4$ を適用するケースが現われる。

b) 底部破壊、もしくはヒービングに対する安定数は次式で与えられる。

$$N_b = r H / S_{ub} \dots (3)$$

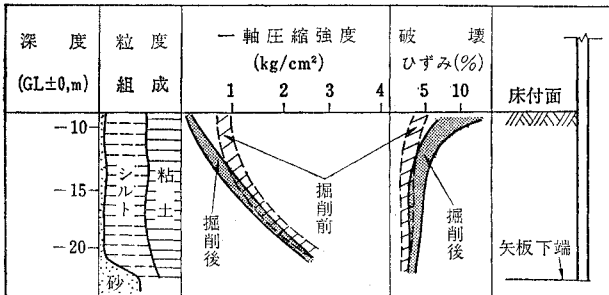
ここに、 S_{ub} ：底面より下方の土の非排水せん断強度 (t/m^2)

$N_b = 3.14$ になると塑性域が下部から始まり、 N_b が5.14に近づくに従って、掘削底のふくれ上がりが顕著になりはじめる。さらに、 N_b が5.14になったときを限界値とし N_{cb} で表わすが、底面は継続的にふくれ上がる状態になる。

なお、通常の四辺形状の掘削に対して $N_{cb} = 6.5 \sim 7.5$ であると Bjerrum と Eide は提案しているが、藤田⁵⁾ が実測データを検討した例では5.9程度である。

前述の S_u もしくは S_{ub} は、土の非排水せん断強度として一軸圧縮強度 q_u の1/2、すなわち粘着力 C を採用してよい。 S_u は底面から上の平均値を用いてよいと思われるが、 S_{ub} の場合、底面下どの範囲までの平均値を採用するか、Peck自身も迷っているようである。

また、図-1に示す玉置⁶⁾らの実測、あるいは新四ッ木の事故を検討した福岡⁷⁾の報告のように、掘削に伴う土留壁の変位などのために、 q_u は次第に低下する傾向が認められる。



(玉置らの図から作成)

図-1 土留壁根入れ部における土の強度低下

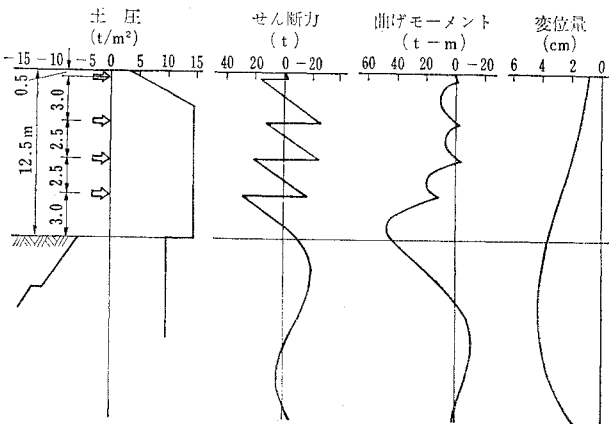


図-2 土留壁の水平変化を考慮した計算例

(3) 壁体の計算法

軟弱地盤での掘削が深くなれば土留壁の変形が大きくなり、極端な例では壁のはらみ出しが80~90cmに及んだという報告がある。掘削面直下の地盤は、その上方の切りばりとともに、その間に加わる土圧を受働抵抗の形で支持している。すなわち、土が切りばりの役割をするため地盤が土留壁とともに水平に変位し、これが累積して土留壁の大きな変形となる。したがって、切りばりを支点とする単純ばり、もしくは連続ばりとする従来の設計法は全く危険な結果を与えることになるので、軟らかい地盤では10~15m以上、硬い地盤でも15~20m以上の掘削になると、原則として土留壁の変形を考慮した設計を行うことが望ましい。

このため、いわゆる支点沈下のあるはり、あるいは弾性床の上のりのような計算が実施されているが、非常に複雑であるために電子計算機を用いなければならない。しかしながら、この計算法や地盤定数の選定法にまで定説がないため、計算結果に2~3倍以上の相違が認められるのが現状である。また、仮想支持点の求め方にも問題があり、壁の剛性が大きくなるほど、曲げモーメントが大きくなる傾向がある。なお、鉄筋コンクリート壁

の場合にはせん断力で断面が決定されることがあることに注意する必要がある。支点の変位を考慮した計算結果例⁹⁾を図-2に示す。

(4) 支保工の設計

切りばりの配置として平面間隔を4~6m、鉛直間隔を2~4mとするものが多いが、軟らかい地盤の場合には鉛直間隔を2~3m以内とすると土留壁の変形が小さくなり、全体的な安定も増加する。

なお、切りばりには温度変化による温度応力が発生するが、その大きさは一般に700kg/cm²以下、もしくは50t以下である。

腹起しは端部の切りばりとしての軸力のほかに、切りばりもしくは方づえとの中間を支点とする単純ばりとしての強度をもつように断面を決定する。連続地下壁の土留のときには、腹起しを省略することがあり、また、タイバックアンカーを切りばりの代わりに利用できる場合には経済的なことが多い。

(5) 許容応力度と安全率

建築基準法施工令(根切り山止め工事を行う場合の危害防止)において、鋼材とコンクリートの山止め支保工部材の許容応力度は、短期応力に対するものとしている。したがって、鋼材の圧縮と曲げの許容応力度は、2400kg/cm²となるので、SS41材の降伏点の規格値とほぼ同じ程度である。一方、安全衛生規則の足場や型わく支保工用の値を準用すると前記の値の2/3以下になる。

この相違は、前者では支保工の設計用土圧そのものが過大に評価されているところにあるものと思われるが、山留工構造の安全率は計算法と土圧の算定式との対応によって、選定されるべきものである。さらに、山留工の形式、施工管理の程度、作業員の熟練度なども安全率の大きさの決定要素として考慮することが望ましいと考える。

(6) 排水量の算定

山留工における排水は、掘削に伴って表面に流出した水の処理と地下水位の低下のために実施されるが、これによって作業を容易にし、安全を確保することにもつながる。排水の効果は、主働土圧の減少、抵抗土圧の増加、水圧の減少、土の強度増加、土粒子の流出防止、盤ぶくれの防止、ヒービングの防止、パイピングの防止、ボイリングの防止、掘削面の荒れの防止などにあるが、逆に地盤の圧縮沈下、圧密沈下、土粒子の吸い出しによる地盤のゆるみ、盤ぶくれの発生、井戸の枯渇をまねく原因になることがある。

排水量の算定のためには、不透水層の設定と複雑な地

盤を代表する透水係数の選定が必要であるが、どの層を不透水層とみなすか、また、透水係数の求め方などに多くの問題が残されている。したがって、計算値の精度がよくなく、大きな幅があるのが実情である。

排水量の算定に先立って付近もしくは類似の地盤におけるデータを調査し、その解析によって求めた透水係数が参考になる。不透水層の選定が困難なときには、低下した水位の3倍くらいのところに仮定するのみの一つの方法である。揚水試験は正しく行うように細心の注意が必要である。

ディープウエルやウエルポイントの実際の排水量は、相互干渉や地下水位低下後の状態から、計算値よりもかなり小さいのが普通で、実績によれば、前者では0.15~0.3m³/min、後者では10~20l/min程度が平均的な数字である。1m³/min以上のディープウエルあるいは30l/min以上のウエルポイントの計画を行うときには、十分な検討を行うことが大切である。

4. 施工上の問題点

(1) 施工管理の基本⁹⁾

最近、各種の計測により山留工の安全を確認しようと試みられているが、この場合に測定断面あたりの測点が少ないと解析を誤ることがある。また、測定断面を多くすることが費用の面で困難であるのに対して、山留工の変形状況には著しい差があるので、計測結果が全体の危険側のものであるのか、もしくは、その逆であるのか判断が難しい難点がある。

施工管理では、局所的な現象をとらえるよりも、マクロにみて最も危険な箇所を発見し、とくに注意を集中することが大切である。この点から、壁体頂部の水平変位の測定と切りばり軸力の測定は有効であり、しかも、他の計測に比べて簡単である。また、地表面沈下の測定の変化が著しいときには、壁体の水平変位が急速に増加していると考えてさしつかえないので、補助的な計測としての価値が高い。

なお、現場計測は測定直後に整理して施工に反映させることと、数値の大きな変化は掘削後数時間経過して現われることを頭に入れておく必要がある。

(2) 地盤改良

底部破壊に対する安定数 N_b が、5~6を越える地盤で、山留工による大規模なオープン掘削を行うときには掘削に先立って地盤改良が行われている。粘土地盤に対する薬液注入はなんらかの効果が認められるが、せん断強度の増加をほとんど期待することができない。載荷重

を行わないサンドコンパクションパイル工法では、 $4C=1\sim 2\text{ t/m}^2$ 程度であり、凍結工法は地盤変位と湧水による障害対策が問題となることがある。粘土地盤の強度増加には薬液強制攪拌工法と生石灰杭工法が最近盛んに採用されているが、前者は工費がかなり高いので狭い範囲に限って使用されている。後者は全く逆効果になった例がいくつかあることと、地盤変位などの二次公害が問題になっているが、工費が安く経験の積み重ねによって失敗が少なくなったために、 $4C=3\text{ t/m}^2$ 程度の地盤改良に多く用いられている。

地盤改良を行う場合には、なるべく試験施工によって適当な施工法と改良効果の確認方法を決定するとともにさらに不十分な箇所の手直しの方法を検討しておくことが望ましい。

(3) 切りばり

切りばりは土留壁に加わった土圧により弾性圧縮を起すが、これに部材接合部の遊びが加わって土留壁の水平変位量はさらに大きくなる。これを小さくするためには切りばりにプレストレスを与えるとよいが、その大きさは一般に $10\sim 20\text{ t}$ 以下である。 100 t のプレストレスを与えた切りばりの例も報告されているが、長い切りばりの場合には多くの困難を伴う。

タイバックアンカー工法では、積載荷重を除いた土圧相当分のプレストレスを容易に与えることができるので土留壁の変形が小さくなる。また、掘削面内が広く開放され、アンカーを設置したところから順次掘り下げるこ

とができるので工期の短縮に有利である。しかし、掘削幅が小さいときには工費が高くなること、敷地背面に余裕がない場合には適用しがたいことなどの欠点がある。

タイバックアンカー工法では、設計法、例えば土圧の大きさの決め方、グループ効果、クリーブ現象などに多くの問題が残されている。しかし、設計荷重もしくはその 1.2 倍程度の荷重テストを、すべてのアンカーについて容易に行うことができる特徴がある。なお、タイバックアンカーにプレストレスを与えると土留壁に下向きの分力が加わるから、その支持力と沈下量に注意を払う必要がある。

逆巻き工法は、構造物の躯体を支保工として利用するので剛性が大きく、山留工の変形を小さくできること、また、はずれるおそれがない安全な方法であるが、地盤によっては土留壁の変形を抑制する効果が少ないことがある(図-3 参照)。

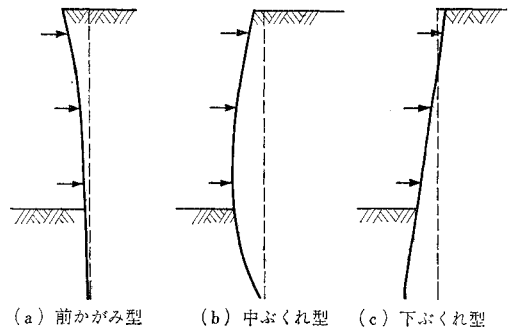


図-3 土留壁の倒れ方の種類

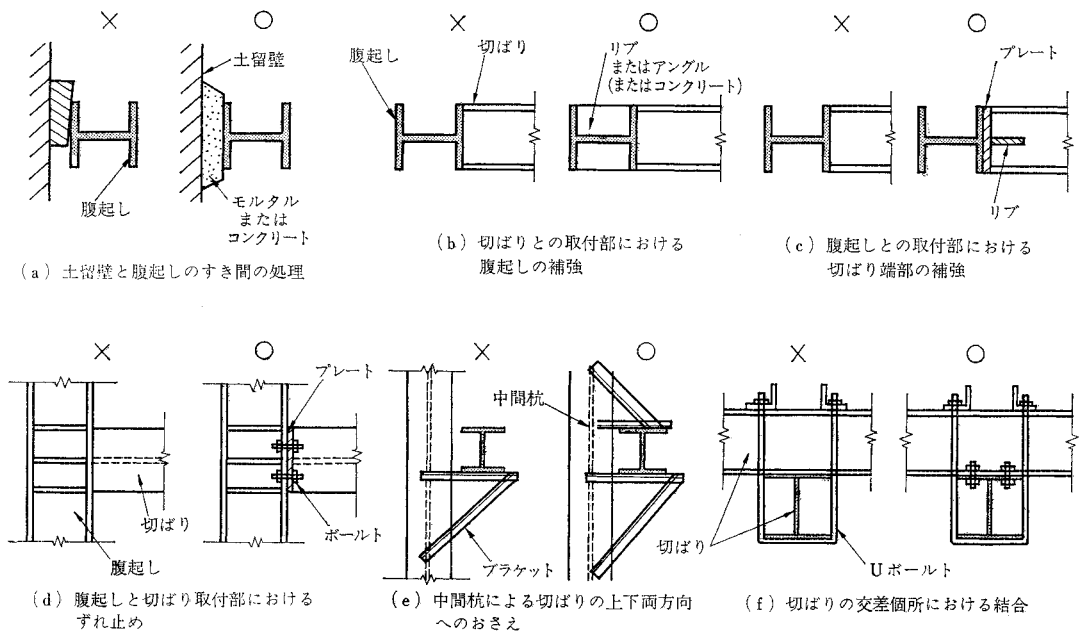


図-4 軟弱地盤における山留め支保工の補強方法例

逆巻き工法においてとくに大きな問題は、構造物の築造の煩雑さからくる工期の延伸や、重い躯体を支える仮設の中間杭などの設計とその最終段階での処理である。中間杭は掘削土の除去により浮き上がった、逆に根入れ長さの減少から沈下することがあって、周辺の土留壁と同じ動きになることがない。また、中間杭を引き抜いて撤去することが困難であるから床付面で切断するが、圧密沈下のある地盤では、この杭が直接基礎形式の構造物の底板を突き破らないように適当な対策が必要である。

切りばりなどの破壊の主要な原因として、土留工全体のねじれや変形に伴う二次的な応力がある。これに対処するために、大火打ち、筋違い、斜材などを十分に補強することが大切で、とくに予期以上の変位や、切りばり軸力の発生がみられたときには、直ちに点検のうえ適切な処置を行うようにしたい。図-4 は、これらの注意すべき箇所に対する補強方法の例を示した。

(4) 排水方法

掘削面内に水を出さないような排水計画を立てるのが原則であり、掘削区域の外側にディープウェルなどを設けると、掘削および構築作業上で好都合なことが多い。しかしながら、大規模な掘削では、中央部付近の水位低下が不十分になるためにディープウェルを中心部付近にも設ける。この場合、構造物の重量が不足しているうちにこれを閉塞すると、浮力で浮き上がるおそれがあり、また、あらかじめ適当な構造にしておかないと、閉塞に苦勞するので注意する必要がある。

5. 失敗の実例とその対策

(1) 盤ぶくれとその対策例

事前調査ボーリングは主として構造物の設計のために行われるが、図-5 の例では、海辺で海水が無限に補給される砂礫層の上部に存在する、薄い不透水層を見落したまま工事が行われた。排水量の計算値が約 6~10 t/min であり、ディープウェルの設置作業がうまく進められないまま掘削が始められた。この間、H 鋼の中間杭に沿っての湧水がとくに認められたが、釜場排水量が 1 t/min 程度であったため、現場では水が少ないと判断していたところ、突然に湧水量が増加して水没した。

ボーリング調査の結果、厚さ 1 m 以下の薄い粘土層があることが判明し、その下面に作用

している水圧に比べて上部の土の重量が軽くなったために、盤ぶくれが発生したものと考えられた。

この対策は土留壁の根入れ長さが十分にあるが、地盤の乱れのために受働抵抗が不足しているであろうことを考慮して、次のような方法によることにした。

- ① 水中掘削により床付け面から約 1 m 下までの土砂を排出する。
- ② 粘土層下の水を抜くことができるように鋼管を打ち込む (10 t/min 以上の排水が期待できる本数)。
- ③ トレミーにより水中コンクリートを床付け面まで打設する。
- ④ 土砂を排出した鋼管内にポンプを投入して排水し砂礫層の水圧を低下する。
- ⑤ 同時に掘削面内からも排水する。

とくに注意をすることは、④ が不完全であると閉塞コンクリートが浮き上がることである。なお、事故によるゆるみで構造物を支える地盤として不適当になった場合には、閉塞コンクリートに先立って杭を打ち込んだ方がよい。

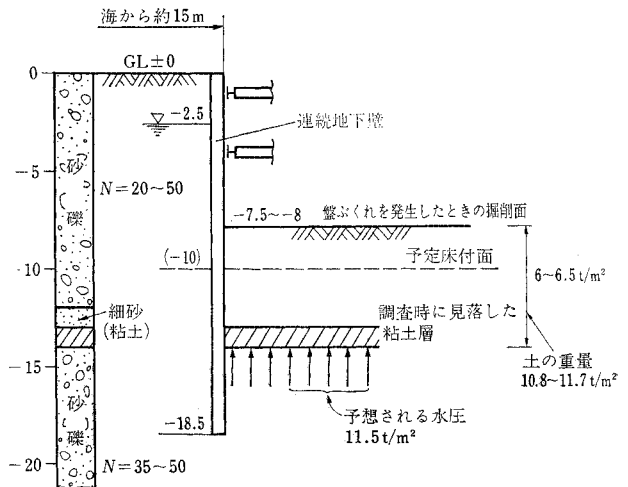
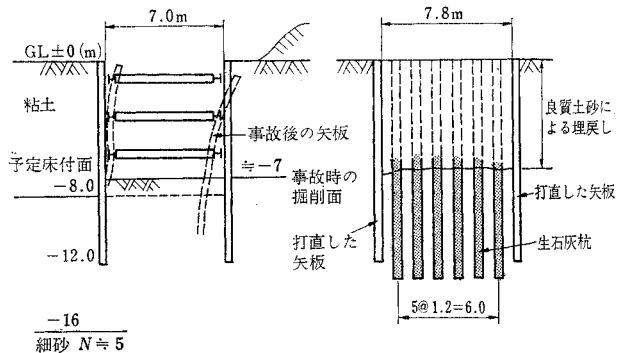


図-5 盤ぶくれが発生した例



(a) 事故発生時の掘削状況 (b) 矢板の打直しと生石灰杭打設

図-6 ヒービングによる事故と対策例

(2) ヒーピングによる事故の対策例

図-6 は、掘削土を誤って土留壁の近くに仮置きしたためにヒーピングが発生した例である。土留壁が傾き、掘削面内の地盤が著しく損傷されたので、埋戻して鋼矢板を打ち直したあと生石灰杭工法による地盤改良を実施して復旧した。

7. 土留構造物における問題点

山留工法では、主として切りばりなどの支保工によって土留壁を支持するが、掘削に伴い地中応力のバランスが崩れるので、地盤の変位や破壊が発生し円弧すべりを起こすこともある。これらの対策としては、地中応力の変化をできるだけ小さくするために、事情が許せば部分掘削、泥水掘削、圧気掘削なども有効な手段となる。

一般の土留構造物、例えば擁壁などは山留工と異なって自立することが要求される。土留構造物における失敗は、地山のすべり面の見落とし、設計より程度の悪い裏込め土の使用、締固め不良、あるいは水抜き不良などにある。設計に際して、できるだけ土圧が軽減されるような

くふうをまず行くとともに、細心の注意をもって設計条件を満足させるような施工を行うことが大切である。

参 考 文 献

- 1) Terzaghi, K. & Peck, R.B. : Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons Ltd., 1967.
- 2) 藤田圭一・加藤太重 : 地下連続壁工法による土留壁の現場計測 (その1), 施工技術, 1973 年9月.
- 3) 古藤田喜久雄 : 山留めに作用する側圧荷重について, 土と基礎, No. 183, pp. 1~4, 1973年5月.
- 4) Peck, R.B. : Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, Proc. 7th. I.C.S.M.F.E. (Mexico), State of the Art Volume, 1969.
- 5) 藤田圭一 : 軟弱地盤の設計と施工上の問題点, 土木学会関東支部, 昭和48年2月.
- 6) 玉置脩・矢作枢・結城正洋・山田昌弘・大井洋輔 : 鋼矢板二重締切の応力と変形, 第8回土質工学研究発表会講演集, pp. 709~712, 1973年6月.
- 7) 福岡正巳 : 新四ツ木橋事故調査報告, 土と基礎, No. 153, pp. 32~39, 1970年11月.
- 9) 内山和夫 : 土工事および山止め工事の安全施工指針, 土と基礎, No. 183, pp. 63~69, 1973年5月.
- 10) 井上嘉信 : 根切り工事と地盤の崩壊, 基礎工, Vol. 2, No. 2, pp. 17~25, 1974年2月.
- 11) 遠藤正明 : 山留め工の推移と展望, 土と基礎, No. 193, pp. 5~11, 1973年5月.

土木学会編・昭和47年夏期講習会資料・12名のベテランによる書下ろし

市街地土木工事の仮設と安全対策 2200円 会員特価 2000円 (〒170)

東京都文京区本郷5-5-18 ☎113 山海堂* 図書案内

振替東京194982 ☎816-1611

著者等が長年の調査・研究の成果を
まとめた今後の指導書——発売中

生物による水質調査法

津田松苗・森下郁子著 A5判・256頁 2000円

推薦 ■ 飯塚敏夫 建設省河川局河川計画課長

本書は、一般の河川技術者や水質保全に従事する技術者を対象に生物学的な調査法を教育するための教科書であって、本書が関係者の座右の書として役立つものであることを信じ、広く江湖に迎えられることを期待する。

主要目次 I 編 河川概説 / 水中の生物 / 生物学的水質判定 (水質汚濁と生物相・生物学的水質階級) / 生物学的水質調査の実例 (普通の河川のマクロな生物相・寝尾川、安威川、大和川、紀の川等の生物学的水質判定他) / 川の諸条件と魚の分布 II 編 湖とダム湖 / 湖における生物学水質判定の実例 (琵琶湖・手賀沼・印旛沼・霞ヶ浦他) / ダム湖 / ダム湖の生物学的水質調査の実例 (青蓮寺ダム湖 / 天ヶ瀬ダム湖 / 岩尾尾ダム湖他)

1級土木工事技術者学科試験問題と解説

2級土木工事技術者学科試験問題と解説

土木施工研究会編 各A5判 1200円

48年度1,2級学科試験問題解答試案付

土木施工管理技士受験講座 全5巻

①土木法規 ②施工管理 ③~⑤土木施工I~III
土木施工研究会編 各A5判 1000円

『土木施工』5月号臨時増刊 特価 800円

土木施工管理技術検定

土木工事技術者学科試験問題48年度1, 2級問題解説と解答試案 1級土木施工管理技術実地試験問題と解答試案 試験にそなえて/ほか

土木工事施工法 白石俊多著 B5判 2800円

近刊案内

単位円クロソイド表

岡崎義則著 B5判
予価4500円