

# 廃棄物と埋立処分

植 下 協\*  
桑 山 忠\*\*  
斎 田 周 治\*\*\*

## 1. ま え が き

近年、消費生活、生産活動の発展の結果、毎日膨大な量の廃棄物が排出されつつあり、環境保全の要請とあいまって、その処理・処分は緊急かつ重大な社会問題となりつつある。

廃棄物の処理・処分としては、無害化処理、固液または固気分離処理、減量化処理、安定化処理などの中間処理を行ない、再利用するか処分するかである。処分としては海洋投棄されるか、埋立処分されることとなる。

これらの処理・処分に関する実際の行政と技術は、現在なおたち遅れた状態にあるが、この遅れを取り戻すために最近、各方面で活発な研究が行なわれつつある<sup>1),2)</sup>。

愛知県においても増大しつつある廃棄物の合理的な処理・処分をはかるため、廃棄物対策委員会を医学、化学、土木、経済などの専門家で構成し、この問題の総合的研究をすすめているが、筆者らは、廃棄物の埋立処分に関する研究調査に協力してきた。

以下には、今後の廃棄物埋立処分計画に少しでも参考となる資料を提供するため、埋立処分される廃棄物の特性とこれら廃棄物によって埋立てられた地盤について筆者らが行った調査、試験および検討の結果を報告する。

## 2. 廃棄物の工学的性質

廃棄物は家庭から排出される動植物性残渣や紙くず、繊維くずなど、製造業から排出される各種産業廃棄物、建設業から排出される土砂、がれきなど、種々雑多である。しかし、これら各種の廃棄物も中間処理が行なわれれば、埋立処分されるときは土砂、がれき、脱水

処理されたスラッジ、各種焼却灰に大別できるようになる。埋立処分される廃棄物がこのような形にまで処理されると、土質工学的性質もとらえやすく、有効な埋立処分の方法も検討できるようになる。

### (1) 土砂・がれき

土質材料、岩石質材料と同様に扱うことができ、埋立処分には有効な材料である。いわゆる粗粒土にあたる材料となり、工学的性質は細粒分(74 $\mu$ 以下)含有率、均等係数、曲率係数などよりおおよそ推定することが可能である<sup>3)</sup>。しかも細粒分含有率が15%以下であれば、細粒分の工学的性質はほとんどあらわれず<sup>4)</sup>、後述するように埋立処分にはよくないスラッジ類を混合して、あるいはサンドウィッチ状にして埋立てても、その工学的性質はほとんど変わらないものと思われる。しかし、コンクリート片など粒径の大きいものもあり、これをかためて埋立てると、この埋立地を利用するとき、杭基礎が必要となった場合、その施工に困難をきたすようになる。このように、埋立処分に有利な材料といえども、がれき類は1か所に固まらないように管理して埋立てる必要がある。

### (2) 各種スラッジ

製造業より排出される産業廃棄スラッジと下水処理場など生活環境施設より排出されるスラッジとに分けられる。表一1に各種スラッジの土質試験結果を示した。産業廃棄スラッジは、排出工場、あるいは生産品種によってその性質も大きく異なっている。すなわち、スラッジの含水比、pH、強熱減量は、ともに広範囲に変化している。

下水処理スラッジは有機物の混入量が多く、強熱減量は40~50%にもなり、有機質土{0}に分類される<sup>5)</sup>。図一1は産業廃棄スラッジと下水処理スラッジのコンシステンシー試験の結果を日本統一土質分類の塑性図にプロットしたものである。この図でみると、液性限界が高

\* 正会員 工博 名古屋大学教授 工学部土木工学科  
\*\* 正会員 名古屋大学助手 工学部土木工学科  
\*\*\* 正会員 (株)奥村組 名古屋支店土木部

表-1 スラッジ類試験結果

試料	比重 (Gs)	強熱減量 (%)	pH	採取時の状態	
				含水比 (%)	含水率 (%)
化学工場 (塩化バリウムスラッジ)*	—	3.9	5.8~6.8	81.2	44.8
化学工場 (チタンスラッジ)*	—	9.2	3.4~4.0	52.6	34.5
化学工場 (廃業スラッジ)*	—	9.7	9.3	143.0	57.2
製鋼工場 (廃業スラッジ)*	—	56.9	8.7~9.8	265.0	72.6
製鋼工場 (廃業スラッジ)*	—	11.3	5.1~5.7	381.0	79.2
中浜処理場 (生スラッジ)*	—	39.8	6.4	1655.0	94.3
中浜処理場 (活性スラッジ)*	—	51.9	6.0	2840.0	96.6
中浜処理場 (消化・脱水スラッジ)*	—	20.0	7.0~7.9	153.0	60.4
柴島浄水場 (戸過沈殿池スラッジ)*	—	15.5	6.6	412.0	80.6
小台処理場 (消化・脱水スラッジ)**	2.31~2.35	—	—	—	—
山崎処理場 (生・脱水スラッジ)	2.18(1.98)	43.1	10.8	356.0	78.1
山崎処理場 (消化・脱水スラッジ)	2.08(1.88)	52.4	10.8	288.0	74.2

注：\*は文献 3) による。\*\*は文献 4) による。  
 ( ) 内の値は炉乾燥試料の値。

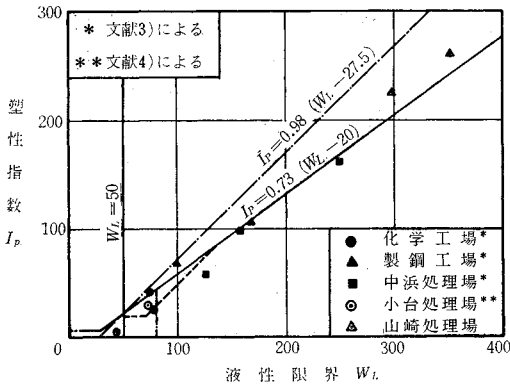


図-1 各種スラッジの塑性図

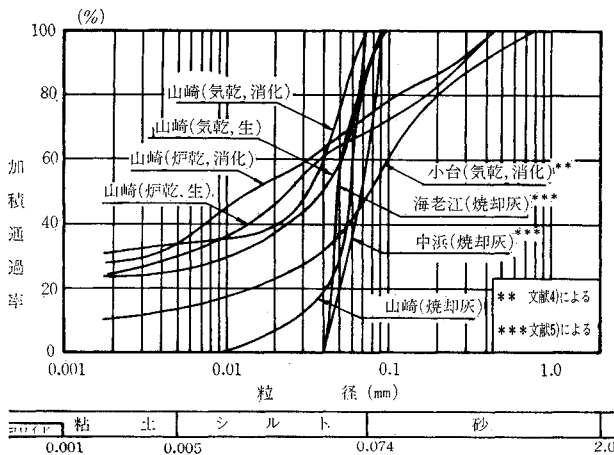


図-2 下水処理スラッジと焼却灰の粒径加積曲線

いところでは、キャサグランデの A 線  $\{I_p=0.73(W_L-20)\}$  は必ずしも有機質土と無機質粘性土のよき区分線とはならないようである。すなわち、山崎下水処理場のスラッジは有機質粘土 (OH) でありながら A 線より上方にプロットされている。Seed ら<sup>8)</sup>によれば、有機質土と無機質粘性土との境界は  $I_p=0.98(W_L-27.5)$  になると提案されており、これによると下水処理スラッジはすべて有機質粘土 (OH) に分類されるようになる。なお、図-1 における中浜および小台処理場のスラッジは気乾燥試料についての試験であり、排出されたままの含水状態より試験を行なうと、もっと大きい値になると推定される。

図-2 は下水処理スラッジの粒径加積曲線を示したものであるが、山崎処理場のスラッジの場合、気乾燥状態の試料を用いた場合と、炉乾燥状態の試料を用いた場合とでは、粒径加積曲線が異なったものとなっている。また、表-1 に示したように比重の値にも違いが生じ、コンシステンシー試験については炉乾燥試料で試験が不能であった。この原因は凝集助剤として添加する消石灰、塩化第二鉄を含むスラッジを炉乾燥することによって細粒分に団粒固結が生じ、煮沸によっても、あるいは JIS の分散方法によっても分散しきれない粒子の固まりができたためであると思われる。

図-3 には脱水スラッジの標準突固め曲線を示した。

下水処理場から排出されるスラッジ、すなわち真空戸過法 (山崎下水処理場の場合はベルト型とオリバー型<sup>9)</sup> を使用) によって、脱水されたスラッジの含水比は 300~400% であるのに対し、標準突固め試験の最適含水比は 50~70% である。すなわち、真空脱水スラッジをそのままの含水状態で締固めることは不可能に近いといえる。この真空脱水スラッジを埋立処分したときの道路としての支持力を評価するためにアスファルト舗装要綱<sup>10)</sup> による設計 CBR 試験を行なってみたが、設計 CBR 値は 0 であった。図-3 において、中浜処理場と小台処理場のスラッジの最適含水比はほとんど同じ値であり、山崎処理場のスラッジ焼却灰の最適含水比とほぼ同じ値を示しているが、山崎処理場のスラッジの最適含水比はそれよりも 20% 近く湿潤側にある。これについては山崎処理場のスラッジの場合、真空脱水状態から徐々に乾燥させつつ試験を行なったのに対し、中浜、小台の両処理場のスラッジは一度気乾燥させてから水を加えながら試験をしたために、このような結果になっていると思われる。真空脱水したスラッジを埋立処分する際に締固めが可能となるまで自然乾燥あるいは強制乾燥させながら施工する場合に対応する締固め曲線は山崎処理場スラッジの曲線に近いも

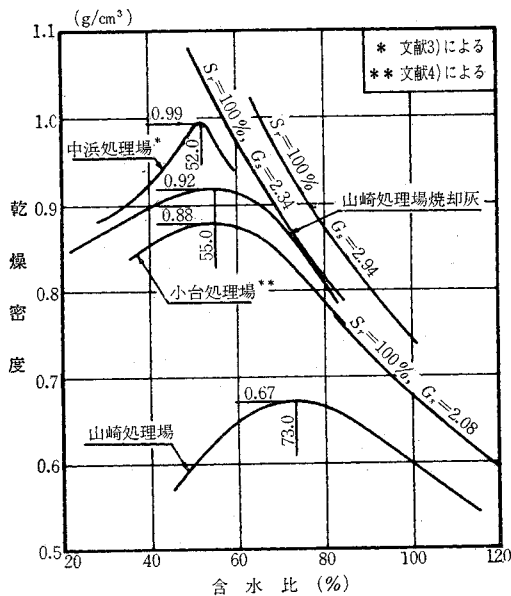


図-3 下水処理スラッジと焼却灰の標準突固め曲線

のであろう。

図-4 に山崎処理場脱水スラッジの圧密試験による  $e \sim \log p$  曲線を示した。供試体は消化脱水スラッジと生脱水スラッジのいずれについても、下水処理場排出時含水状態（含水比 300% 前後）のものを十分練返して、空気を追い出しながら容器に詰めたものと、液体状に近い含水比 400% 前後）まで加水し、十分混合して空気を追い出しながら容器に詰めたものとの 2 種類とした。

上述の圧密試験に加え、遠心法および蒸気圧法による  $pF \sim$  含水比関係の試験を行ない、 $pF \sim$  含水比関係曲線を描くと図-5 のようになった。図-5 より、下水

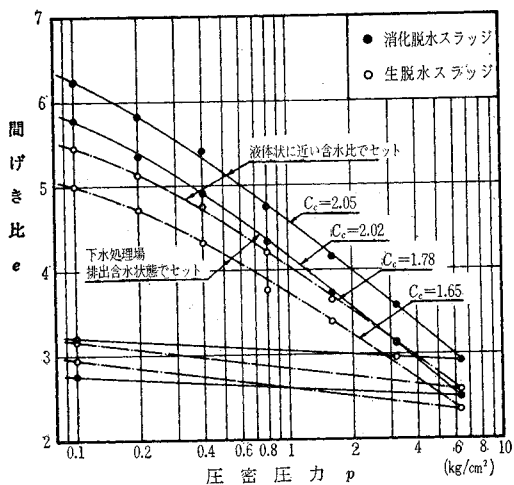


図-4 下水処理スラッジの  $e \sim \log p$  曲線

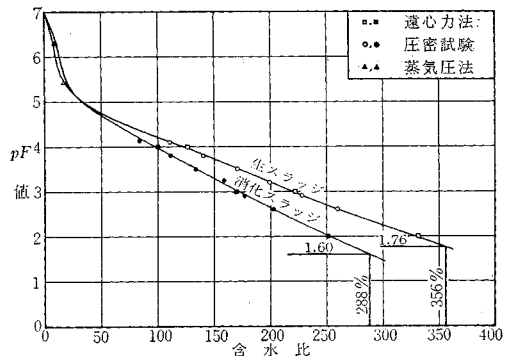


図-5 下水処理スラッジの  $pF$  含水比曲線

処理場における脱水処理直後における  $pF$  値を含水比より推定してみると  $pF$  1.6~1.8 (相当する負圧は 40~60 g/cm<sup>2</sup> 程度) となる。図-5 と図-3 を対比すれば、締固め施工が行ないやすい含水比とするためには、 $pF$  4 程度以上になるまで気乾燥させるか、10 kg/cm<sup>2</sup> 以上の圧力で脱水しなければならないこととなり、下水処理のスラッジのみで良好な埋立地をつくることの困難であることがわかる。

### (3) 各種焼却灰

焼却灰は家庭廃棄物などのいわゆる都市ごみ焼却灰とスラッジ類の焼却灰などに区分できる。都市ごみ焼却灰は、焼却場から排出される時点では「鉄くず混じり砂礫」であるが、締固めエネルギーを受けると、粒子の破砕が起り、砂質土になる。埋立処分用材料としては、含水比も低く、有利なものである。下水処理スラッジの焼却灰の成分は、各処理場で凝集助剤として使用する消石灰、塩化第二鉄の添加量によっていくぶん差があるが、名古屋市山崎下水処理場の焼却灰でみると二酸化珪素(SiO<sub>2</sub>)が 43%、酸化カルシウム (CaO) が 17%、塩化第二鉄 (FeCl<sub>2</sub>) が 15%、酸化アルミニウム (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) が 11%、リン酸 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) が 7%、その他が 7% の割合となっている。凝集助剤として添加されたものを除くと、二酸化珪素が大部分を占め、一般の土の成分と大差がない。

この焼却灰は 図-2 の粒径加積曲線に示すように、粒径のそろった (均等係数 1.2~2.6) 細砂に近いシルト (ML) である。標準突固め試験を行なうと、図-3 に示す曲線となり、 $\tau_{d \max} = 0.92$  g/cm<sup>3</sup>、 $W_{opt} = 55.0\%$  で、最大乾燥密度は 1 g/cm<sup>3</sup> よりも小さいことが特異である。しかし、この焼却灰の修正 CBR 値は最大乾燥密度の 95% に相当する密度での値が 55.0% と大きな値を示している。また、適当な含水比に調整し締固めた焼却灰を炉乾燥すると非常に軽いが、石こうを固めた状態と似た堅いものができる。これらの諸数値から考えて埋立材料として有利な材料ではあるが、道路路盤材料など、

さらに積極的な利用も考えられる。

### 3. 廃棄物埋立地盤の特性

現在までの都市における廃棄物埋立処分では、中間処理態勢が十分でなく、収集された廃棄物がそのまま埋立てられているケースが多い。埋立処分は大部分が廃棄物を投棄して、その上を覆土することによって埋立地周辺での二次公害（廃棄物の飛散、悪臭の発散など）を防いでいる。しかし、二次公害を完全に防ぐことができないので、埋立処分地は人家のない山間地や、海洋、湖沼が選ばれてきた。東京都の夢の島は海洋を埋立てたものであり、神奈川県では人家のない山間谷間を埋立てた。名古屋市の場合は、庄内川沿いの低平地に埋立処分地が多くみられる。河口近くにある藤前北部埋立地は、海拔ゼロメートルの水田を2~3mかさ上げする目的もかねて、60万m<sup>2</sup>程度が廃棄物によって埋立てられている。また守山埋立地では、名古屋市郊外の丘陵谷間の約1万m<sup>2</sup>を深さ10m程度掘削して、ここに各種廃棄物を投入している。どの埋立地も埋立終了後は良質土による覆土を行なって、宅地、畑、グラウンド、あるいは公共用地などに利用されることとなっているが、廃棄物埋立地盤には、埋立後に生ずる大きい沈下の問題がある。その原因としては、転圧不足によるなじみ沈下、大きな間げきへの落込み沈下、あるいは腐食性廃棄物の分解に伴う体積減少などが考えられる。また、廃棄物埋立地盤を標準貫入試験などで調査すると、N値10以下の場合が多くばらつきも大きい。

このようなことから考えて、沈下を許容し得ない構造物、あるいは大きい支持力を必要とする構造物を廃棄物埋立処分跡地上に浅基礎でつくることはできない。しかし、廃棄物埋立処分跡地に、ある程度以上の良質土（道路の場合は1m程度）を施工すれば軽量構造物や道路などをつくることは可能となる。廃棄物埋立処分跡地上に重量構造物を造る場合には、廃棄物層を貫いて深部の支持層まで基礎をおろす深基礎工を採用しなければならない。

名古屋市内には上述した埋立処分地のほかに、数多くの処分跡地があり、それらは公園、グラウンド、アパートの敷地、工場用地などに利用されている。以下に、アパートの敷地、公園、グラウンドなどとして利用されている事例に基づき、埋立地盤の性状について述べる。

#### (1) 榎津埋立地

中川区富田町大字榎津の海拔ゼロメートルの水田を土砂、がれき、家庭廃棄物で6~10m厚さに積上げ、覆土したものである。この埋立処分跡地の半分に鉄筋コン

クリート4階建アパート4棟が建っている（写真-1参照）。図-6は埋立跡地で行なったボーリング調査の代表的な柱状図を示したものである。アパートの基礎で行なった8本のボーリング調査による廃棄物層のN値の

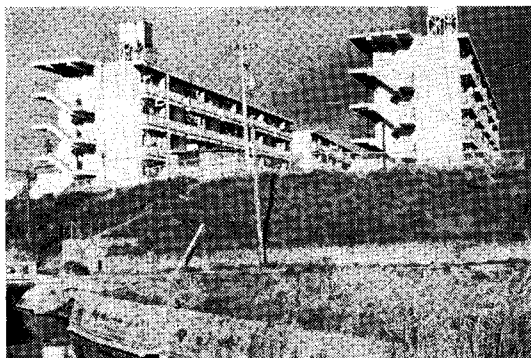


写真-1 榎津埋立処分跡地とその上に建てられたアパート

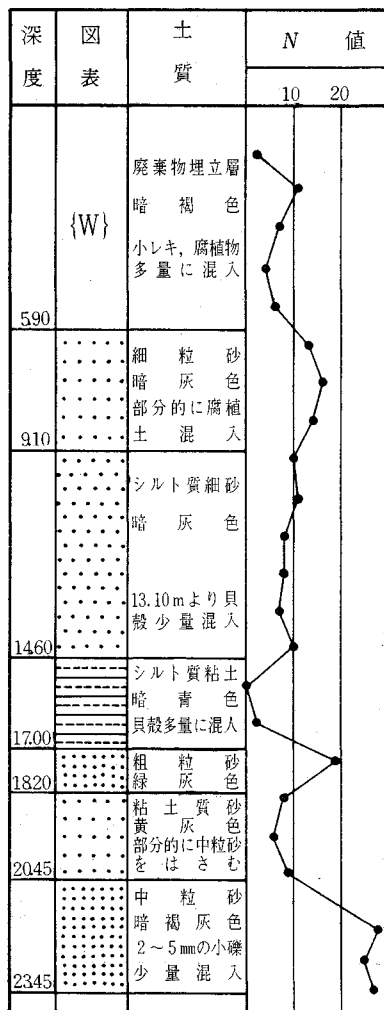


図-6 榎津埋立処分跡地のボーリング柱状図

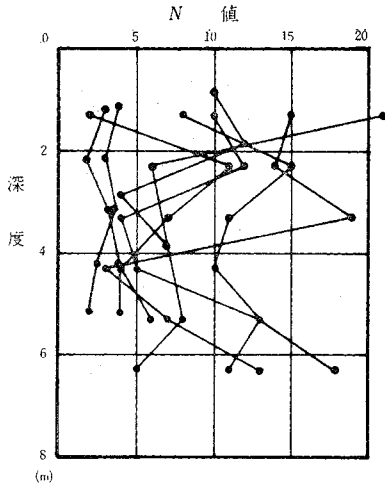


図-7 榎津埋立処分跡地廃棄物層の N 値分布図

分布は図-7 のようであり、きわめてばらついている。

以上の調査に基づいて、アパートの基礎工には深度 20 m 以深にある N 値 30 程度の砂層を支持層とするペダスタル杭を用いている。

これらのアパートは完成後すでに 7 年を経過しているが、建物自体には沈下は認められていない。しかし、建物周辺の地盤には、20 cm 程度沈下したところも見受けられる。

## (2) 戸田埋立地

中川区富田町大字戸田の廃棄物埋立処分跡地も元はゼロメートル地帯の水田であった。

この地盤を平均 1 m 程度掘削し、この掘削土で埋立予定地の周囲を 2~3 m の盛土で囲い、その中に家庭廃棄物を投入した。

この埋立跡地は高層住宅団地内の公園ならびに小学校の運動場となり、跡地周辺は鉄筋コンクリート 5 階建の市営住宅が林立している (写真-2 参照)。

団地内の廃棄物埋立地盤上にある道路では、建設後 2 年にして沈下損傷のみられるところがある。また、廃棄物埋立跡地上につくられた小学校の校門は杭基礎の上にあるので、門扉は沈下せず、周囲の地盤が 10~15 cm 程度沈下したため、地盤に接するべき門扉の車が宙に浮いている (写真-3 参照)。

この埋立地は、埋立て後の年月がまだ浅いため、小学校の運動場あるいは公園で沈下が進行し、地盤にくぼみができ、きれつが発生してメタンガスを排出することもある。また、廃棄物層上の覆土層は 50 cm 程度であるため、植樹しても根は深く伸びず枯死するものも多かったとのことである。



写真-2 戸田埋立処分跡地とその上につくられた公園と市営住宅団地

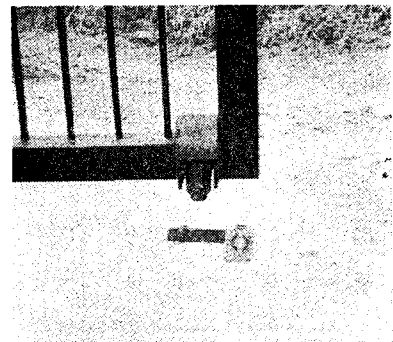


写真-3 戸田埋立処分跡地の沈下状況

## 4. む す び

跡地利用を考えた埋立処分で、土砂、がれき、あるいは各種焼却灰は、比較的有利な材料であるが、下水処理スラッジなどを単独に埋立てると非常に軟弱な地盤をつくってしまう。このように廃棄物個々の性質を考慮すると、埋立処分、あるいは跡地利用を考えたときに、有利な材料の性質をそこなわない範囲に不利な材料を混合したり、サンドウィッチ状にしたりして埋立てれば良好な地盤もつくれるものと思われる。しかし、いままでの埋立処分は投棄処分という考えが支配的であったため、軟弱な埋立地盤となってしまうたり、基礎地盤として不利な沈下現象を、かなり顕著に示してきた。

今後の埋立処分のあり方は処分跡地の有効な利用、あるいは二次公害の完全防止を考え、廃棄物の投棄処分から盛土土工といった考えに改めなければならないのではないだろうか。

筆者らは愛知県における産業廃棄物対策研究会の協力者として埋立処分に関する土質工学的検討を行ってきたが、この調査研究会の各位、とくに会長の名古屋市立大学医学部六鹿鶴雄教授、会員の名古屋大学工学部西畑

勇夫教授，市原松平教授，足立昭平教授，また，実際の調査において，愛知県環境部，名古屋市清掃局，下水道局，土木局の方々にお世話になった。記して，ここにお礼申し上げるしだいである。

参 考 文 献

- 1) 前田慶之助・斎藤征剛：現在の廃棄物埋立地盤の性状，土木学会誌，Vol. 55, No. 12, 昭和45年12月. pp. 48~52.
- 2) 前田慶之助：固形廃棄物と公害対策，理工図書，昭和46年3月.
- 3) 都市廃棄物処理対策研究会：産業廃棄物の処理計画——システム工学的アプローチ——，環境衛生問題研究会，昭和46年4月.
- 4) 山村和也，成原富士郎：土質力学からみた消化汚泥の実験的研究，下水道協会誌，Vol. 8, No. 90, pp. 28~36.

昭和46年11月.

- 5) 北村誠一：下水汚泥焼却灰の利用とその背景，公害と対策，Vol. 3, No. 11, pp. 4~9, 昭和42年11月.
- 6) 植下 協，野々垣一正，浅井武彦：粗粒土の統一土質分類に関する考察，土木学会論文報告集，No. 194, pp. 103~112, 昭和46年10月.
- 7) 土の判別分類法基準化委員会：土質工学会基準案「土質分類法ならびに分類結果表示法」，土と基礎，Vol. 20, No. 5, pp. 67~78, 昭和47年5月.
- 8) Seed, H.B. and Woodward, R.J.：“Fundamental Aspects of the Atterberg Limits”，Proc. ASCE, Vol. 90, No. SM 6, pp. 75~105, 1964.
- 9) 岩井重久，申丘 徹，名取 真：下・廃水汚泥の処理，pp. 254~255, 昭和43年，コロナ社.
- 10) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，昭和42年.

(1972. 9. 2・受付)

建設省よりの委託研究成果を特別に公表

## 下水汚泥の処理・処分および利用に関する研究

- 昭和43年度報告書 B 5・232 ページ 1200 円 (〒140 円) 3 冊 合計
- 昭和44年度報告書 B 5・160 ページ 1300 円 (〒140 円) 4 0 0 0 円
- 昭和45年度報告書 B 5・200 ページ 1500 円 (〒140 円) (〒200 円)

現場技術者のための

### 仮締切工の設計計算法と施工法

東大教授・工学博士 福岡正巳/東北地方建設局長 神谷 洋編 B5判・330頁・定価3,400円・〒300円

■現場で土木技術者が独自に仮締切工の計画，設計計算ならびにその施工に当らねばならない時の最良の技術書。

現場技術者のための

### 土圧・土留計算法と実例

東大教授・工学博士 福岡正巳編  
B5判・350頁・定価3,700円・〒300円

現場技術者のための

### 基礎の施工法と施工機械

工博 齊藤義治・比留間豊編  
B5判・290頁・定価3,000円・〒300円

### 建設工事の仮設計画と実例

富樫凱一監修  
B5判・600頁・定価4,800円・〒300円

### 新しい仮設工事の設計と施工

八島 忠編  
B5判・530頁・定価3,900円・〒300円

### 新しい土留工法

工博 藤森謙一・内田襄編 B5判・440頁・定価3,700円・〒300円

### 新しい軟弱地盤処理工法

工博 藤森謙一・内田襄編 B5判・460頁・定価3,900円 〒300円

東京都千代田区富士見  
1-7-12 〒102

近代図書株式会社

電話(263)3871~2  
振替東京 23801