

## 下水道建設工事の技術的課題

間 片 博 之\*

### 1. はじめに

昭和 46 年度を初年度とし、総事業費が 2 兆 6 000 億円にも及ぶ第三次下水道整備 5 か年計画では、昭和 60 年度末に全国市街地の下水道普及率を 100% とすることを目標としている。

さらに、現在策定中の第四次下水道整備 5 か年計画においては、その計画期間中(昭和 49~53 年度)に、8 兆円をこえる総事業費をもって、下水道利用人口についての普及率を 50% (昭和 47 年度末約 19%) に高める計画であると聞き及んでいる。

これは、わが国における過去の下水道建設の歩みから考えれば、まさに飛躍的な伸びを示すものであり、ここ数年來の建設速度と比較しても、きわめて画期的な現象であるといえよう。このことは、下水道建設にかけられる国民の期待が、いかに大きいかを如実に物語るものである。

本来、下水道事業は、都市住民に必要な最低限の基幹施設として、水洗化、雨水はらん対策、河川汚濁防止の三本の柱を目的に進められてきたものであるが、最近では、水質公害防衛の先兵として、水資源の確保という積極的な任務をも受け持ち、より高度な機能を要求されるようになってきている。

このような、下水道に対する大きな期待や要求に応えて、国や地方公共団体は、全国各地で目標達成に向けてたゆまぬ努力を続けているが、下水道建設に伴う周囲の状況は必ずしも容易なものではなく、むしろ、その制約が、いっそうきびしくなっていることも事実である。

そもそも下水道施設は、その建設にあたり、他に比べて施工条件を技術的に選択する余地のきわめて少ない施設であるといえよう。なぜならば、下水道管渠はすべての公道に埋設しなければならず、大口径管渠の路線選定にあたっては、道路事情や周囲の状況などが先行し、ごく限られた条件の中での施工が要求されるからである。

一方、処理場やポンプ所についても、下水が自然流下で流集しうる低地であり、付近に放流河海を有し、住民の抵抗の少ない地点といえ、施工上、きわめて悪条件

な場合がほとんどである。

公共事業全般に対する住民の目が最近とくにきびしくなっているが、下水道事業もその例外ではない。たとえ下水道の完備を住民が渴望しているとはいえ、工事が及ぼす住民への影響いかに、事業促進・目標達成への成否の鍵を握っている。

上記のようないろいろの制約の中で、下水道事業に課せられた複雑な機能を有する施設をいかにしてつくるべきか、技術的にどのように対処すべきかは、われわれ下水道技術者が総力をあげて立ち向うべき課題である。

以下、計画・設計・施工の各段階に分けて、建設工事の技術的な主要問題の概要を述べてみたい。

### 2. 計画・設計上の課題

#### (1) 管 渠

##### a) 下水道排除方式

合流式下水道においては、降雨初期のオーバーフロー下水が、局所で河川をよごすこともありうるので、分流式下水道への切替えは時代の要請となってきている。しかし、雨水、汚水 2 系列の下水管を埋設しうる道路スペースを考えると、既成市街地の道路事情は総じて狭隘のうえ、すでにあらゆる埋設物がさくそうし、主要管渠となると 1 条の合流管ですら道路敷を大半占用し、物理的にもほとんど不可能に近い。既成市街地が都市改造などによって高層化した場合は、いっきに汚水量が増大する。したがって、合流式の場合は、管渠の容量はほとんど雨水量により決定されているので問題は少ないが、分流式のときは汚水量のみによって管渠容量を決定するため、ただちに容量不足をきたし、地区内汚水管の敷設替えはもとより、広範囲にわたって流末汚水管の敷設替えが必要になると考えられる。また、分流式の場合、宅地(私有地)内での排水も、当然汚水と雨水の独立した系統の配管が必要で、当局の行政指導にもよるが、もしも住民の協力を受けられないときは、汚水管能力を大幅に減ずることとなる。

したがって、分流式下水道へ発展的に移行する場合はわが国の都市事情に合致した方策を確立し、実施する必

\* 正会員 東京都下水道局建設部長

要があるとする。

### b) 計画汚水量

都市の中心部では、わが国経済の高度成長によって産業人口の著しい集中を招き、既成市街地の過密化・高層化をもたらした。

これは、都市の近代化と生活様式の向上に伴う、1人あたりの水道使用量、ビル排水量、あるいは工場排水量の増加となり、既定計画の変更を余儀なくさせる場合がある。また、都市の周辺部では土地利用計画が十分でなく、人口の適正配置と計画人口の把握がむずかしい。したがって、水需要を推定する要素が流動的なため、下水道計画の基本である計画汚水量の決定については、将来予測がかなり困難ではあるが、ある程度大きめにとることが望ましい。

### c) 設計の電算化

最近における電子計算機の活躍は目ざましいものがあり、官庁や企業の情報処理・計算業務に重要な役割を果たしている。下水道の建設工事においても、社会環境の変化に伴って、住民の要望が多様化・複雑化してきている。今後、この傾向はますます強くなるものと思われ、下水道の建設技術者としても、これらに十分対応していく態勢を考えていかなければならない。その一環として設計業務の一部に電子計算機の導入をはかり、従来、すべて人力で処理していたもののうち、機械で処理できるものと、技術職員の判断力を必要とするものを区別し、設計の効率的な運用をはかる必要がある。電算化は、単純な積算業務からの開放、設計業務の正確かつ迅速化と工期の短縮、設計データの処理・保管など、現代にマッチした改革と重要な役割をになっていくものとする。

### d) 材料についての問題点

鉄筋コンクリート管の継手には、カラー、いんろう、段つきいんろうの3種類があって、目地にはモルタルをつめ、あるいはゴム板を密着させ水密性を保持しているが、施工を慎重にしないと、河海に平行して敷設して

る管などでは、周囲の水位が高いので管の中に漏水が多い場合がある。これでは、ポンプ所・処理場の能力が阻害される。この継手部は、管構造上の弱点でもあるのでより水密性の高い、耐震的な継手のくふうが一段と必要であろう。

推進用の鉄筋コンクリート管は、土荷重とジャッキ推力に耐えうるよう設計されているが、既成市街地内では立坑の確保が困難であり、推進立坑区間の距離を長くする必要があるので、とくに推進力に十分耐えうる推進用管の開発が期待されている。

汚水ます・雨水ますの取付管として陶管が使用されているが、これらの場合土かぶり浅くする必要があるので、道路舗装時のローラー荷重によってよく破損することがある。取付管として、より強度の高い管の開発が望まれるところである。

## (2) ポンプ所・処理場

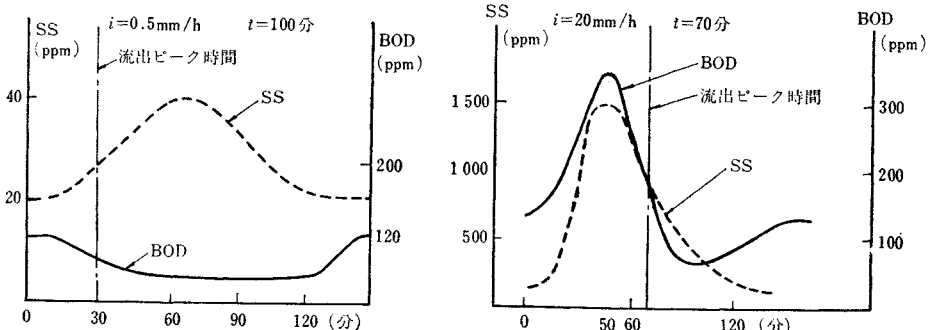
ポンプ所・処理場は、下水道の基幹的施設として、建設のみならず維持管理上からも、その役割はきわめて大きい。近年、これらの施設の技術革新は年を追って進んでいるが、同時に、地域住民と密着した環境整備の重要性も問われており、計画・設計にあたり、検討・留意すべき諸項目について述べたい。

### a) 合流式下水道の雨水処理対策

わが国の大都市下水道は、ほとんど合流式によって計画されているが、降雨初期において、道路上や下水管内に滞積していた汚物が流出するという、水質汚濁防止上からみて好ましくない現象がある。

この対策として、降雨初期の雨水を貯留し、降雨終了後またはピーク時を過ぎて送水・処理をして放流することが考えられる。一般的には、流出ピーク時に以前に汚濁負荷があるといわれているが、都市や地形の形態により変化があると思われる。

図-1は、都内板橋区の谷端川幹線で調査した降雨強



注：0分は降雨開始で、最後分は降雨終了後の水質が降雨前に復活したことを示す。

図-1 東京都板橋区における降雨強度別汚濁負荷曲線

度別汚濁負荷曲線であるが、目的が公共水域へ排水される以前の貯留である以上、最大 BOD は完全に処理されなければならない。雨水貯留池の設計に際し、時間的・強度的・容量的にどの程度のものですべきかについては、今後の調査・研究にまたなければならない。

#### b) 曝気技術の変革

処理場の施設の中で機能的な心臓部であり、また、もっとも用地を必要とするのが曝気槽である。都市における処理場は環境整備に重点をおかねばならないことは論をまたないが、地域住民に歓迎されないことも事実である。そこで、処理施設の有効配置と用地の効果的利用を図るべく、曝気槽面積をコンパクト化しようとする傾向がある。たとえば、酸素による曝気や深い曝気槽がそれであるが、酸素の場合は、供給源の確保、保安対策、ランニングコスト、維持管理の技術面で未解決の部分があって、深層曝気についても、送風機能力と使用電力の増加、活性汚泥に与える影響、槽内の攪拌方法などを解決していかなければならない。

#### c) 周辺環境との調和

ポンプ所・処理場のように広大な敷地を有する公共施設は、その上部を有効に利用して緑化、公園化、防災避難場所といった都市の総合的機能との組合せを前もって考慮しておく必要がある。また、ポンプ所・処理場から発生する臭気・騒音などを防止しなければならないことはいうまでもなく、これらを完全に行うためにも、当初の設計段階から十分な緩衝用地を含めて敷地を確保することが肝要である。

### 3. 施工上の課題

#### (1) 既成市街地における管渠工事の特殊性

下水道施設において、管渠施設は事業効果促進の主軸をなすものであり、いきおい、この建設の成否が事業の死命を制することとなる。

下水道施設は、都市の基幹的な施設であるにもかかわらず、他の公共施設に比較してすこぶる遅れており、また、その築造物の建設費が大きいことから種々の問題を提起しているが、その特殊性をあげれば次のとおりである。

① 都市は、一般に沖積層、洪積層などの地質年代の新しい地域に発展しており、その土質は圧縮性・透水性を有する複雑な組成から構成される、いわゆる軟弱地盤といわれているものが多い。このような場所での施工は圧密、ヒービング、ボイルングなどの現象を伴い、地上の建物沈下や、地下水の枯渇といった被害をひき起こせしめる。

したがって、対策としては、物理・化学的な地盤改良工法の大規模な採用と、ときとして、面的な地盤改良をやらざるをえない場合もある。

② 下水道の管渠は、先行埋設物に比較してその容積が非常に大きく、また、排除方式が一般に自然流下であることから、建設にあたっては、地下埋設物の移設とその防護を必要とし、工期の長期化と建設費の高騰という結果を招来する。

また、先行埋設物の多いことが、下水道工事の本格的な機械化施工をさまたげる原因ともなっている。

③ 工事によって必然的に発生する騒音、振動、交通阻害など、いわゆる建設公害に対して、住民の批判が最近とくに強くなっている。

従来、この種の事柄に対しては、実施期間が限定されていることや、技術的に効果的な対策がないこと、さらには建設工事そのものが都市生活に必要な施設であることなどから、住民も比較的寛大であったが、現在では、工期の短縮、騒音・振動の抑制など、極力、周辺への迷惑を軽減する工法の採用に努力する一方、従来の建設機械の動力源である内燃機関から、オイルモーターあるいは電力利用などへ方向転換が望まれ、また、道路事情から、小型の建設機械が、なおいっそう開発されることが期待されている。

#### (2) 建設工事の現状とその課題

下水道事業は、都市の雨水ならびに汚水の処理と、その周辺の公共用水域の水質汚濁を防止する使命をもっているため、その整備は、必然的に面的な事業の執行となり、その量も膨大なものとなる。

下水道の管径は、50 cm 以下の小径管が 80% 以上を占めていることから、管渠工事は、開削工法が主体となることは避けえない実情であるが、近時、中大口径管は推進工法、あるいはシールド工法が非常に多く採用されてきている。

##### a) 開削工法

稠密した市街地で、とくに軟弱地盤地帯においてもっとも問題となるのは仮設としての山留工であって、打設時の振動騒音、掘削と排水による地盤沈下、地下水枯渇などである。

これらの対策として、オーガー削孔による現場打杭、連続地下壁工法、薬液注入による地盤改良工法など、各種の工法を広範に採用する必要に迫られており、とくに場所打杭、連続地下壁工法の剛性山留工は、目的構造物の一部として築造する場合が多く、施工精度の向上が課題である。

##### b) 推進工法

推進工法は 600～2000 mm 程度の大口径管埋設に

多く採用され、以前は、水路・鉄道・主要道路の横断など部分的な補助工法であったが、最近では、商店街・重舗装道路などで、ポピュラーな工法となっている。原則として地下水のない位置で埋設されるが、各種補助工法の併用により、多角的な施工法が開発されている。

推進工法は、比較的の小規模な仮設で既製管を圧入するので、経済的にも工期的にも有利であるが、土質により管の沈下・破壊が発生し、施工が不能になった場合の処置が困難である。また、推進延長が長くなると、管周面と地山との摩擦抵抗が非常に大きくなり、圧入管の自重も大きくなるため、延長については限界がある。

### c) シールド工法

地下水の多い軟弱地盤における大口径管渠の敷設は、シールド工法によって長足な進歩をとげ、既成市街地ではすぐれた工法として、ますますその特徴が発揮されるものと推察される。

しかしながら、その掘進方法は依然として手掘式が多く、機械式が非常に少ない。その理由として、機械製作費が高いこと、シールド機械の規格が統一されていないこととともに、地質が複雑で、形式を決定するうえに危険が大きい点が原因しているものと思われるが、労働力が払底してきている今日、土質力学上の破壊機構の解明を適確に行い、効率的な機械形式の選定と、製作が望まれる。

① 掘進と蛇行：シールドの掘進にあたって、ローリングとピッチングは必然という考え方が非常に強く、ある程度の蛇行は止むをえないとする思想が、依然として根強く残っているのが現状である。しかし、下水道の管渠は、原則として蛇行を許すことができない性格をもっている。蛇行が発生する原因として一般的に考えられることは

- 1) シールドの機械軸とセグメント軸の不一致
- 2) 推進抵抗と推力とのアンバランス

などであるが、実態は、非常に複雑な要因と現象が現われている。

蛇行は機械の操向性とも関連し、 $k = L/D$  (機

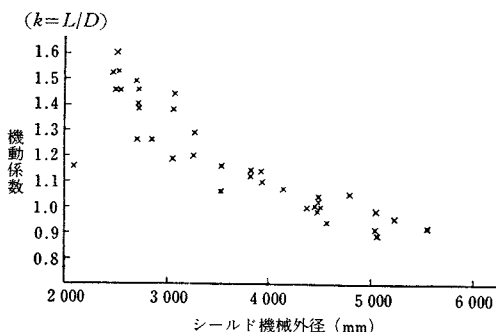


図 2 機動係数の状況

動係数)の大きいほど、蛇行が少ない傾向があるが、反面、操向性が悪くなり、修正が困難である。東京都で施工されたシールド工法における機動係数は、図-2のように 1.5~0.9 と比較的の小さな値を示している。

蛇行を少なくするためには、その機械の癖を早く発見し地山に応じた操作をすることと、ジャッキの推力と推進抵抗のアンバランスを常にチェックし、いつも正規の位置で運転するように測量を厳密に行うことが重要である。

② 切羽の安定：シールドの掘進により、地山の静的平衡状態が破られ、切羽に作用していた水平土圧が消滅して著しく不安定な状態となり、トラブルが発生することがある。とくに滞水層の砂の場合には、掘進によって平衡が破られ、その応力がセグメントの後方で開放される状態となり、また、内部摩擦角の小さい砂にあっては著しく不安定な状態となって崩落を続発し、地盤沈下をひき起させしめることがある。

これらの原因の一つとして、地質調査による資料と現場との差異が認められる場合があり、結果的にシールド機種・形式の選定を誤ったというケースがかなり多く、また、施工にあたっては、切羽の開放時間を短時間にすよう、掘進～セグメント組立のサイクルを検討すべきである。

③ 地盤の沈下：シールド工法の誕生した当初は、軟弱地盤地帯においても地盤沈下を起さないすぐれた工法といわれていたが、現在は、避けることのできない現象として認識されている。沈下が発生する原因は非常に複雑であるが、とくに、圧密未了の軟弱な粘土・シルト層に多く、その沈下量は、シールド通過後の最初の1か月間で 80~90% に達する場合が多い。

これらの原因を列挙すると

- 1) 排土率による隆起と沈下
- 2) テールボイドによるシールドとセグメント軸の不一致
- 3) セグメントの変形
- 4) 圧気あるいは断気による地下水位の変動、地山の脱水収縮
- 5) 切羽の応力開放による沈下

などが考えられる。最近、「有限要素法」による理論解明がなされるようになったが、電子計算機による高度な技術を要し、まだ一般的とはいえず、対策としては、薬液注入によって通過前後の地盤改良を実施することが必要である。

④ 最近の施工例：機械式シールド工法で、最近、注目すべき施工例があったので紹介する。

この工事は、東京都でも有名な荒川放水路以東の軟弱地盤地帯で実施された泥水加圧式シールド工法で、とく

シールド掘削延長 675 m

管渠仕上り内径 4 000 mm

形式 泥水加压式

シールド機械 外径 5 050 mm

全長 5 000 mm

重量 100 t, 推力 1 920 t

#### d) 地盤改良工法

下水道の管渠工事は例外なく掘削が行われるが、これによって、地下工作物あるいは地下埋設物に対してなんらかの損傷を与える事例が割合に多く、その対策として地盤改良工法が急速に発展してきた。その主体をなすものは化学的な改良工法で、薬液注入工法といわれるものである。

注入薬液は、この 10 年間に化学工業の進歩によって急速に発展し、基礎処理工法の重要な地位を占め、その種類も、珪酸塩系、リグニン系、尿素系、アクリルアミド系にわたり、数十種に及ぶ製

品が普及している。

薬液注入による地盤改良の機構は、土粒子の隙間に薬液を充て込んで土粒子相互を接着せしめ、土の粘着力を増加せしめるもので、物理的地盤改良工法とはその性格を異にしている。

従来、ゲルタイムの調整が容易である薬液が優秀なものという考え方があり、数秒から数時間にわたってその調整可能なものが出現しているが、施工対象地盤が千差万別で再現性がなく、また、地下においての注入の挙動を流量計と圧力計によって判断し、適正なゲルタイムの調整を行うことがすぶる困難で、結果的に目的領域の改良がはたされず、最小抵抗の方向へ樹枝状に注入され

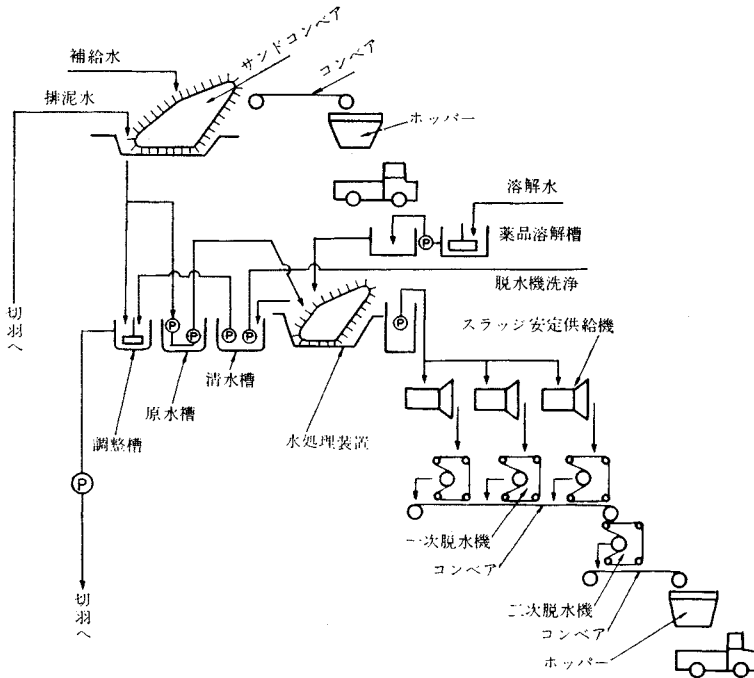


図-3 泥水処理フロートシート

に、従来問題とされていた排泥処理に特徴のあるものである。

泥水加压式は、切羽の地下水圧に対抗して泥水圧を加えて切羽の安定を図るもので、ずりを泥水とし、管路で流体輸送し、地上で沈殿させて残土を搬出する方式である。この方式は、坑内の圧気を必要としないことが利点であるが、問題はずりの沈殿処理で、ここに紹介する工事は高分子凝集剤を添加し、脱水性の高いフロックとし脱水処理したのち、ケーキとして搬出したものである。

工事の概要は次のとおりである。

工事件名：堀切幹線その4工事

施工場所：東京都葛飾区宝町～立石二丁目

工事内容：立孔1か所 凍結工法により施工

長さ 14.1 m×幅 12.5 m×深さ 15.5 m

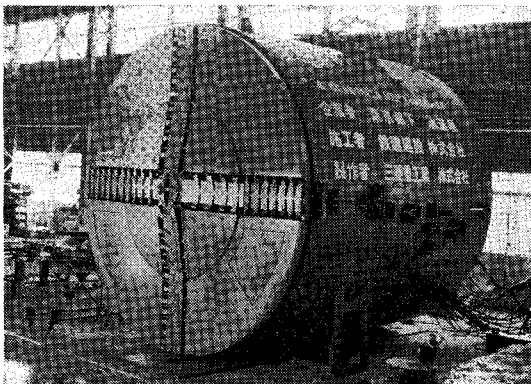


写真-1 泥水加压式シールド機械

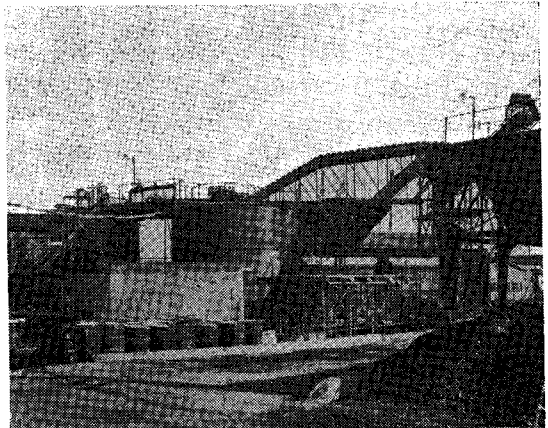


写真-2 泥水処理施設



写真-3 注入記録装置

ることから、その効果に対する疑問と反省がなされている。その結果、今日では、最初に高粘度で低価格な注入材をもって弱部をてん充し、その後、低粘度の注入材を浸透注入する考え方が一般的となってきた。

このことは、注入技術の開発が比較的遅れていることにも関連しているが、土質工学上、定量的な誘導と、効果確認の問題が未解決であることも基本的な課題として残されている点である。

以上のほかに、最近、とくに大都市において問題となってきた酸素欠乏の現象などは、ますます施工条件が悪化してきている一例を示すものであり、われわれは、このような難工事の続出に対処できる新技術の開発を期待するとともに、新しい工法の採用を積極的に進めていかねばならないことを痛感する。

#### e) 技術の総合施工

土木、建築、機械、電気と技術の総合施工が行われるポンプ所・処理場では、事前調整がすこぶる重要であ

る。とくに土木・建築は先行工事となるので、将来の機械・電気工事の設置箇所や配線ルートなどについて、現場の施工管理者は設計者との連絡調整を常に心がけておかなければならない。また、処理場の場合など、一方で稼動を開始し、一方で建設を進めている。いわゆる、段階施工のケースが多いので、将来の運転方法をも考慮しながら施工を進める必要があり、下水道を十分に把握した技術者の育成に今後とも力を注ぐ必要がある。

## 4. む す び

冒頭にも述べたように、国民がきわめてハイスピードの下水道普及を要望していることからして、これからの下水道工事には「時間との戦い」という要素が大きく付加されてくる。そして、このことに関連するのが他の公共施設との関係である。従来は、下水道施設の整備が遅れていたため多くの他の施設に迷惑をかけていたが、最近ではむしろ逆になる場合があり、他の都市施設の整備が遅れているために下水道事業が制約を受けるというような現象もみられる。とくに、雨水の放流先である都市河川や、幹線管渠埋設予定の都市計画街路が未整備の場合などは、下水道整備促進上致命的である。また、上水道との歩調がとれていなければ水洗便所の使用さえ不可能である。すなわち、バランスのとれた公共投資をもとにすべての都市施設が足並みを揃えて整備されていかない限り、健全な都市の発展が望めないことはいまでもない。関係各位の理解あるご協力とご指導を熱望する所である。

---

## 第20回 海岸工学講演会 論文集 1973 93編を収録

● B5判 550 ページ 定価 5 500 円 48年11月中旬刊行

---

## 第19回 海岸工学講演会 論文集 1972 73編を収録

● B5判 460 ページ 定価 4 200 円 会員特価 3 800 円 (〒170円)

---

## 第18回 海岸工学講演会 論文集 1971 74編を収録

● B5判 458 ページ 定価 4 200 円 会員特価 3 800 円 (〒170円)

---

第1回(1954年)より第10回(1963年)および第13回(1966年)、第14回(1967年)は既に絶版となりました。しかしながら再刊を望む声が高いため、とりあえず第1回より第10回まで業者と提携してマイクロフィッシュフィルム(はがき大で1シートに60ページ分が入っています)を作りましたのでご利用下さい。詳細は土木学会事務局編集課へお問合せ下さい。

● 42 シート 14 000 円(送料とも) 詳細な索引がついております。

---