推進工法の歴史と現況
― 推進工法と下水道 ―

橋本　定雄
東京港埠頭公社理事
工学博士（前東京都下水道局長）

1．はじめに

推進工法が考案され発展してきた経緯を顧みると、まず念頭に浮かぶのは「必要は発明の母である」という言葉である。

推進工法のルーツといわれる古代ローマの盗水の遺跡だとか、第一次大戦の坑道作戦に用いられたという話しは、生きるために、あるいは戦いに勝つために、人の耳目にふれることなく管路を築造する手段として、まさに必要に迫られ、推進工法が採用されたということを物語るものであろう。

さらに我が国における推進工法の実情に目を向けても、この感を深くするものであり、我が国の推進工法を必要とする背景が、この工法を発展させ、今や施工実績はもちろんのこと、施工技術、機器などいずれをとっても、世界のトップレベルにあるといえる。

このように我が国の推進工法が発展してきた背景は、我が国の都市の成り立ちが、推進工法の特色、すなわち道路交通や地上、地下の構造物等にできるだけ影響を与えないで、地下に管路を埋設できる工法を必要としたことであり、更に推進工法を多用する安定した市場の提供を受けたということである。この安定した市場を長期にわたり提供してきたのは下水道であり、また下水道にあっては、現在推進工法がなくてはならない工法の一つとなってきている。従って、以下下水道、特に東京都の下水道事業を中心に推進工法の発展経緯を述べることとする。

我が国の下水道は、欧米諸国に比し非常に立遅れてきた。

我が国では、古来から都市部のし尿を農村部に還えし肥料として活用してきたため、し尿処理のための下水道の必要性が世論となることは少なかった。この下水道が世論として高まるのは、工場排水、生活排水が増大し、公共水域の水質汚濁による環境破壊をみた昭和30年代であり、全国規模となったのは昭和45年である。昭和45年のいわゆる公害国会を経て、我が国の下水道は、はじめて広域的に急速に進められることとなった。欧米諸国の衛生的処理を求めて古くから発達してきた下水道と大きな相違がある。

一方、東京都における本格的な下水道は、明治10年の都下一帯でコレラが大流行したのを契機に、明治16年に着工した神田下水が最初である。以後、大正、昭和と事業は進められたものの、戦争などによる中断もあって、昭和30年代を迎えるまで思

うように進まなかった。東京都の下水道が本格的に進められるようになったのは、昭和34年の東京オリンピックの招致決定をみてからである。以後、今日に至るまで積極果敢に進められ、昭和61年度末をもって下水道普及率は85%に達し、管渠総布設延長は、11,766km となった。この膨大な下水道管渠の布設工事に推進工法が多用され、昭和60年度における管渠工事の中に占める推進工法の割合は、12.8%であり、その施工延長は54km に及んでいる。東京都下水道局が発足した昭和37年に推進工法により施工された延長は、わずか0.3km であり、その割合は0.3%であった。近年、いかに下水道事業の推進に、この推進工法が大きな役割を果たしているかがわかる。

2．推進工法の歩み

推進工法は、明治29年(1896)、アメリカ北太平洋鉄道軌道下の排水管の横断に用いられたのが最初とされている。

我が国で推進工法がはじめて採用されたのは、アメリカで考案開発されてから半世紀後の昭和23年であった。国鉄(JR)尼崎線軌道下を鋳鉄管内径600mm を用い、延長6.00m、ガス管のさや管として推進された。推進をはじめて3日間で完了したといわれている。

翌24年には、推進管に遠心力鉄筋コンクリート管を用い、大阪市の市電軌道下を水道管のさや管として施工された。

今日の推進工法の発展に大きく寄与した下水道工事にはじめて採用されたのは、昭和26年であった。残念乍ら東京ではなく、兵庫県の阪神電鉄阪神本線軌道下の横断に用いられた。遠心力鉄筋コンクリート管内径1,800mm(2連)を用い、延長31m(15.8m+15.8m)推進された。

東京で下水道工事にはじめて採用されたのは、昭和28年でほぼ同時期に2か所で施工された。1か所は、都電の軌道下の横断に用いられ、内径600mm の管を延長12.00m 推進した。もう1か所は、2条の東電トラフと既設下水道管の下を横断したもので、内径1,200mm の管で延長14.40m 推進した。

この28年には、推進延長の長大化を図るため中押し工法が開発された。しかし、推進ジャッキの能力、管の耐荷力などの問題から、当時の推進延長はせいぜい30m 程度のものであった。

一方、この昭和20年代における東京の下水道は、戦災の復旧工事から開始された。戦災の爪跡は、下水道施設にとって幸いにもそれほど大きなものでなく、管渠総延長1,984km のうち、破壊件数72件、管渠損壊延長907m にすぎなかった。この復旧工事は、昭和23年に完了した。

昭和25年、戦前からの計画を見直し再検討し、「東京特別都市計画下水道」を策定した。この中で、下水道管の管径を左右する降雨強度が一部の地域を除き、50mm/hr から40mm/hr に引き下げられた。当時の財政事情を考慮し、施設の小規模化により、事業費の削減を図ったものである。この降雨強度は、昭和37年に再び50mm/hr に引き上げられた。

しかし、計画は策定したものの財源確保が極めて難しく、事業は遅々として進まなかった。昭和27年には、全国の都市にさきがけて地方公営企業法の全面適用を図り、財源確保に努めたが、思うように起債を得ることができず、昭和30年代を迎えることとなった。

この昭和30年代は、推進工法が大きく飛躍するための基礎を築いた時期といえよう。

昭和32年、それまでの手動式ジャッキに代わる、動力式ジャッキが開発された。これにより、推力、作業の効率が大巾に改善された。

昭和34年には、従来の円形管に代わり長方形渠の推進に成功し、また昭和37年には、ホリゾンタルオーガー工法が開発され、小口径推進への道を拓いた。これらの開発にあわせ、刃口の改良も進められ、地盤改良工法ともあいまって適用土質も拡大された。

また、昭和37年には後に推進工法に大きな影響を与えるシールド工法が、はじめて東京の下水道幹線工事に採用された。

この30年代に開発、改良された工法や機器などにより、適用管径、形状、適用土質など広汎な領域での施工を可能とし、以後の推進工法発展の礎えを築いた。

この30年代は、下水道にとっても躍進期であったといえる。

昭和32年、建設省に下水道課が新設され、翌33年、下水道法(改正)の公布、昭和35年、下水道整備10箇年計画の策定、昭和38年には、現在の下水道整備5箇年計画の第一次のスタートが切られるなど、下水道整備の機運が高まり、躍進の時を迎えたといえよう。

昭和30年代を迎えた東京は、産業、人口の集中が急速に増大し、生活環境の悪化、公共水域の汚濁、浸水地域の拡大など種々の弊害を招くこととなった。ちなみに昭和25年当時6,277,500人であった東京の人口は、10年後の昭和35年には、9,683,802人となり、昭和37年には遂に1,000万人を突破し、わずか10数年の間に1.6倍もの増加をみている。

特に水質汚濁は、工場排水や生活排水などの増大により急速に進み、隅田川に見られるように周辺住民に、心身的、物質的、経済的被害をおよぼすに至り、抜本的解決策としての下水道整備が急務となってきた。昭和36年、この隅田川の名物であった花火大会と早慶レガッタは中止せざるを得なくなった。この花火大会、早慶レガッタは、その後の着実な下水道整備により昭和53年、17年ぶりに復活している。

このような状況となり、昭和30年代に入り下水道の必要性が都民の間に定着し、整備促進の要望が急速に高まってきた。これに昭和34年に招致が決定した昭和39年開催の東京オリンピックが、さらに拍車をかけることとなり急速に進められることとなった。

昭和37年、これらに対応するため全国の都市にさきがけ、一事業局として下水道局が発足し、いよいよ本格的下水道整備への力強い第一歩を踏み出し、飛躍的に推進される昭和40年代へと突入した。

昭和40年代の推進工法は、基準化、一般化が進められた時期といえよう。

昭和40年、下水道の推進に用いられる鉄筋コンクリート管について規格化の検討が始められ、昭和42年、推進用特厚管(東京都型)として、規格化された。この推進用鉄筋コンクリート管については、全国各地で推進工法が多用されるようになった昭和47年、(社)日本下水道協会から暫定規格が発表され、翌48年、推進工法用鉄筋コンクリート管 JSWAS A-2 (1973)が制定された。これに続き、推進工法の設計積算の規準化、標準化の検討が進められた。この検討結果は、昭和51年、建設省監修「下水道推進工法の指針と解説」となって、(社)日本下水道協会から発刊された。

また、この昭和40年代に入り開削工法は、国民の権利意識、価値観の多様化により、種々規制強化がなされた。このことから推進工法が注目を浴び、多用されることとなり、その研究、開発に一層の拍車がかかった。セミシールド工法、フロンテジャッキ工法、小口径推進の多種多様な工法などが開発され、ますます広範な施工領域を可能として行った。

一方、昭和40年代の下水道は、事業費を飛躍的に伸ばすとともに、広域的事業へと躍進して行った。それまでの大都市中心の下水道が、昭和45年の公害国会を経て、その事業は市町村へと広がりを見せた。昭和47年、これらの事業を執行して行くために、現在の日本下水道事業団の前身である下水道事業センターが設立された。

また、昭和39年に設立された日本下水道協会が公益法人として認可されたのも、下水道躍進の幕明けとなった。昭和40年であった。

この40年代における東京の下水道は、その事業費を飛躍的に伸ばし、昭和46年度には、区部における事業費は、前年度の約2倍にあたる800億円となり、翌47年には遂に1,000億円を突破した。下水道普及率も昭和40年35%であったものが、46年には、折り返し点である50%を突破し、49年度末には60%となり、この10年間に25%の向上を見た。

また、昭和40年代に入り、それまでの区部中心に進められてきた下水道も流域下水道に着手し、多摩地区をはじめとする市町村に、急速に進められて行くこととなった。

3．推進工法の現況

昭和50年以降における我が国の推進工法は、飛躍的にその施工実績を伸ばしてきた。昭和30年代後半から急速な成長を遂げてきた我が国の経済は、昭和47年の第一次オイルショック以降、やや鈍化したものの、昭和50年代も引き続き安定した伸びを見せ今日に至っている。下水道も順調な伸びを

見せ、その施工区域はさらに広域的になった。

推進工法は、この安定した市場を背景に研究、開発が活発に行われ、施工技術、工法、機器など、急速な進歩を、遂げてきた。この中で、特に急速な進歩、発展をみせ、その施工実績を飛躍的に伸ばしてきたのが、セミシールド工法と小口径推進工法である。

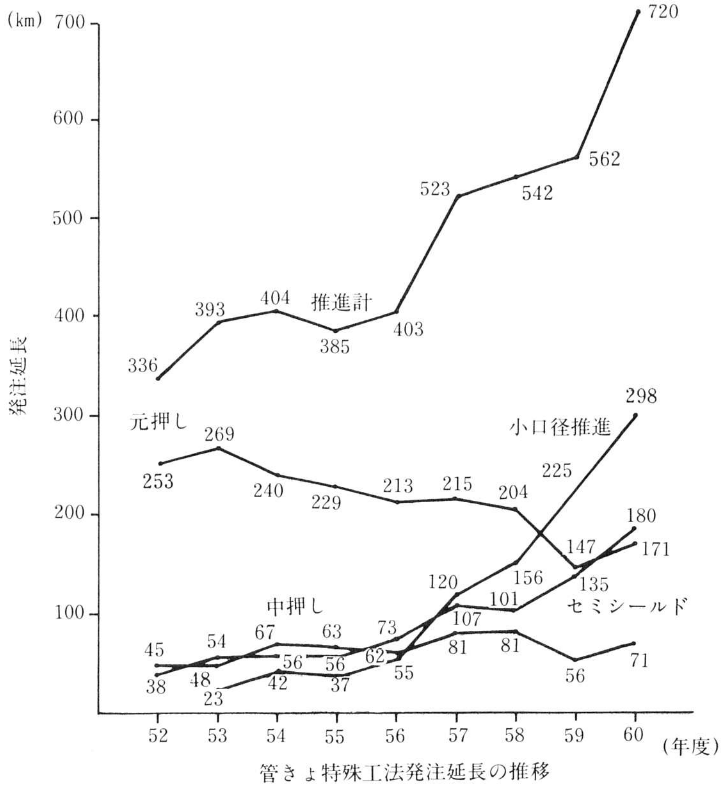
セミシールド工法は、昭和37年にはじめて下水道幹線工事に用いられたシールド工法の技術を導入しシールド工法技術の成熟にあわせ進歩を遂げてきた。

セミシールド工法による近年の下水道工事における施工実績を見てみると、昭和52年、38kmであったものが、昭和57年には100kmを突破し、昭和60年には180kmと、その実績を飛躍的に伸ばしてきている。この工法は、推進工法では施工困難とされた礫地盤への適用をも可能とし、また中押し工法との併用により長大スパンの施工をも可能とした。

また、機械掘削による省力化、効率化が、この工法の採用を一層促してきた。

一方、小口径推進工法の近年における発展ぶりには目を見張るものであり、その工法は30数種に及んでいる。

近年における施工実績をみると、昭和52年、45kmであったものが、昭和57年に120kmとなり、昭和60年には、一気に298kmと、セミシールド工法の飛躍的な伸びをも凌駕し、推進工法の中で最長の施工実績を残すまでとなってきている。推進工法の中に占める割合の推移を見ても、昭和52年、わずか13%にすぎなかったものが、昭和57年には23%となり、昭和60年には実に41%となっている。現在、小口径推進工法がいかに多用されているかが良く解る。



管きょ特殊工法発注延長の推移
(昭和60年度版 下水道統計要覧 日本下水道協会)

図—1 推進工法別発注延長

表-1　年度別管きょ布設延長(累計)

(61．3.31現在，単位：km)

区分 / 年度	600mm 以下	(%)	600～2,000mm	(%)	2,000mm 以上	(%)	計	(%)
52	37,114	63,7	19,086	32.7	2,089	3.6	58,289	100.0
53	44,489	64.0	22,531	32.4	2,523	3.6	69,543	100.0
54	49,173	64.3	24,470	32.0	2,803	3.7	76,446	100.0
55	53,898	64,7	26,270	31.6	3,045	3.7	83,213	100.0
56	59,092	65.4	27,984	31.0	3,259	3.6	90,335	100.0
57	65,034	66.2	29,692	30.2	3,508	3.6	98,234	100.0
58	71,270	67.0	31,453	29.5	3,701	3.5	106,424	100.0
59	85,553	77.1	21,541	19.4	3,901	3.5	110,995	100.0
60	97,634	77.8	23,702	18.9	4,127	3.3	125,463	100.0

注) 1．公共下水道，流域下水道，特定公共下水道及び特定環境保全公共下水道の合計である。
2．58年度までの600～2,000mm の欄は，下水道統計の管径別区分の400～2,000mm の合計である。
(昭和60年度版　下水道統計要覧　日本下水道協会)

表-2　推進工法別発注実績(昭和60年度)

工法 / 掘削方法	推進工法									
	元押し		元押し＋中押		セミシールド		小口径推進		計	
	m	スパン数	m	スパン数	m	スパン数	m	スパン数	m	スパン数
開放手掘式	171,692	3,340	70,593	684	7,329	53	269	8	249,883	4,085
開放半機械式					614	4			614	4
開放機械式					856	5			856	5
ブラインド式					1,448	16			1,446	16
泥水加圧式			543	3	137,565	1,204	2,124	25	140,232	1,232
土圧式					11,918	76			11,918	76
泥しょう式					15,895	119	4,270	89	20,165	208
その他					3,630	30	290,811	6,747	294,441	6,777
計	171,692	3,340	71,136	687	179,253	1,507	297,474	6,869	719,555	12,403

(昭和60年度版　下水道統計要覧　日本下水道協会)

このように小口径推進工法が多用されるようになったのは、昭和50年労働省の行政指導により、作業上、安全上などの問題から、管内人力作業を伴う推進工法は、800mm 以上となったことと、従来、主要道路や商店街通りなどに採用されていたものが、一般生活道路まで推進工法を必要とするようになってきたことにある。また施工精度の向上、経済性などの面での研究、開発が進められ、更にその採用度合を伸ばしてきた。

一方、推進工法全体の施工実績は、下水道が線的整備から面的整備に移行する背景もあって、着実な伸びを見せてきている。昭和52年に336km であったものが、昭和57年には500km を突破し、昭和60年には720km と、この9年間に2倍強となっている。

推進工法は、現在下水道工事だけでなく、様々な分野の管埋設工事に採用され、数多くの施工実績を残してきている。また我が国の推進工法は、諸外国からも無開削工法として注目を浴び、その施工技術、機器などが輸出され、数々の施工実績を残してきている。施工精度に優れ、効率的な我が国の推進工法は、各国の高い評価を得ている。

この諸外国における推進工法の状況をみると、世界で初めて推進工法を考案・開発したアメリカでは、昭和30年代、ニューヨークやデトロイト地区で大型ジャッキを用い施工され、以後五大湖周辺で多用されてきた。近年では長距離推進に熱心であり、推進延長500m 程度の施工実績が報告されている。

一方、ヨーロッパ諸国では、現在推進工法の研究、開発が盛んに行われている。特に西ドイツは熱心であり、昭和58年、ドイツのルール大学のシュタイン博士が来日し、我が国と技術交流を行なっている。またヨーロッパでは、推進工法における最小管径が1,200mm であることから、我が国の小口径推進工法に着目し、我が国の推進技術や機器などを導入し、数々の施工実績を残している。

4．推進工法における課題

我が国に推進工法が本格的に登場してから、40年を経てきたが、この間に様々な改良、改善、開発がなされ長足の進歩を遂げ、諸外国からも高い評価を得るまでとなってきた。

今や管埋設工事には、なくてはならない工法となってきており、単に交通確保、工事公害の防止などの面だけでなく、安全性、経済性の面でもその地位を確立しつつある。

しかし、一方では工学的未解明な分野や推進延長の長距離化や曲線推進など、まだまだ改良、改善、開発の余地を残している。

現在、推進工法における推進力の算定は、(社)日本下水道協会が示している数種の式が一般に汎用されている。しかし、現場の実態報告ではこの算定式による設計推進力をかなり下回る例が見られる。現在の推進工法には、推進力低減のための滑材を用いているが、この効果が把握されていないため、算定式に組み入れられていない。定量的効果を把握し、効率的推進力の算定式の確立が必要である。

曲線施工については、曲線半径100m 程度の施工例は、最近数多く見られる。しかし、道路条件によっては、急曲線施工が必要であり、また曲線施工における施工精度、管継手部などの措置について改良、改善の余地を残している。

推進管の継ぎ手は、鋼製カラーとゴムリングが用いられている。特に鋼製カラーについては、耐久性の実態が把握されていない現状にある。

また最も多用されている小口径推進工法は、先きに述べたとおり、30数種にのぼる工法、機種となっている。設計、施工するに際し、機種選定に迷うほどであり、機構、機能が類似したものについて統合の必要がある。

推進距離については、近年、頓に長大化を目指す傾向にあるが、より効率的、経済的な施工が要求される現在、この研究、開発も重要な課題である。

一方、推進延長が長大化するに従い施工期間、特に立坑存置期間が長期化する問題がある。推進工法が路面交通や施工沿線に影響を与える工事公害の減少に貢献すればするほど、これと裏腹に立坑にすべての問題点が集中する傾向があることは歪めない。安全で経済的な立坑の施工、存置期間の縮小も、今後の大きな課題といえよう。

現在の推進工法は、機械化、省力化により作業効率は大巾に改善され、その機械化、省力化は、施工管理にまで及んできている。今後も更に機械工学、電子工学の分野が進出し取り入れられ、進歩して行くものと思われる。しかし、これを扱うのは、人であり技術者である。推進工法は、特に施工技術者の良し悪しで、管体損傷、地盤変状、施工精度など大きな差違が生ずるといわれる。このことから、施工技術者の養成が急務となっている。

今や我が国は、国際化、情報化の時代といわれている。推進工法は、すでに国際化に向け第一歩を踏み出しているとはいえ、今後更に積極的に我が国の推進工法を紹介し、情報、技術を提供して行くことが必要である。

5．おわりに

昭和61年度を初年度とする第6次下水道整備5箇年計画における事業費は、12兆2,000億円であり、この中に占める管渠事業は約64%の7兆8,000億円といわれている。

下水道事業は、公共事業の中で経済に与える波及効果が最も高いとされ、内需拡大策、円高による不況対策として推進されて行くものと思われる。しかも、下水道普及率は昭和61年度末37%である

ことからも、引き続き積極的に推進して行かなければならない事業でもある。

東京における下水道は、昭和61年度末をもって普及率85%に達し、現在残りの15%の普及に全力を傾けているところである。目標としている昭和60年代100%の普及は、必ずや達成するものと思われる。

また、この普及促進にあわせ進められている、都市化の進展に伴う汚水、雨水の流出量に対応する整備拡充事業も、さらに推進して行かなければならない。

一方、100年余の歴史を有する東京の下水道は、老朽や能力不足に対応する事業も必要となってきており、今後、これらについても事業化が図られて行くだろう。

推進工法を必要とし、安定した市場を提供してきた下水道事業は、引き続き積極的に進められて行く状況にあり、またその事業量は膨大なものである。

この下水道は、国内のみにとどまらず開発途上国では、その緒についたばかりであり、これらの国々にとっても、推進工法は必要かつ重要なものとなってこよう。

推進工法の前途は、洋々たるものである。

不断の研讃により築いた今日の我が国の推進工法が、更に発展し、より安全で経済的な工法とならんことを期待してやまない。

参考文献

1)推進工法の調査、設計から施工まで
土質工学会　1986

2)推進工法の実際
鹿島出版会　1987

3)東京の下水道・100年の歩み
東京都下水道局　1982

4)日本下水道史(行財政編)
日本下水道協会　1986