

(2) 下水道整備計画における段階的建設に関する一考察

—— 幹線管渠を対象として ——

TIME PHASED SEWERAGE PLANNING FOR MAIN SEWER CAPACITY EXPANSION

酒 井 彰*

Akira SAKAI

Abstract; Adoption of area-wide sewerage system has brought about long-term planning problems such as uncertainty of the planning parameters and increasing investment at the initial stage of the project. Time phased construction becomes a present problem of sewerage planning.

This paper discusses the case that the multiple sewers are adopted as the main sewer system. Multiple sewer system has an advantage of sizing flexibility at the intermediate stage, comparing to the case of full-scale construction at the initial stage.

Optional sizing at the initial stage is examined with the present value of expected total project cost calculated by serial demand patterns and its occurrence probability. Case study reveals the advantage of multiple sewer system and necessary conditions to perform the time-phased construction of main sewer system.

Keywordsd; Area-wide sewerage system, uncertainty, time phased planning.

1. はじめに

下水道整備の対象区域が拡大することにより、ひとつの整備方針として、計画区域の広域化、施設の大規模化の傾向が示されている。この場合、Fig. - 1 に示したような背景で、段階的建設問題が重要課題となり、同図に示されるように、計画フレーム値等に係る不確実性の考慮、整備途中段階における整備状況の評価が必要となると考えられる。さらに、不確実性の程度を評価し、施設の余裕・安全度との関係を明確にすること、事業初期における必要投資額の評価とこれを財政計画にフィードバックすること等も、段階的建設問題に関連する課題として位置付けられよう。

本稿では、下水道整備計画における主要施設建設の時間的特性を考慮し、段階的建設計画のあり方について考察する。研究対象としては、下水道施設のうち線の整備を担う幹線管渠をとりあげた。これは、従来、規模の経済性、施工条件から、ひとつの幹線系統については、一括建設されることが一般的であったが、事業当初に生じる遊休の程度が大きく、Fig. - 1 に示したような背景から再検討が要請される場合が生じているためである。幹線管渠の段階的建設問題は、Fig. - 2 (a) の示されるように、面的整備の順位の問題と関連して、最も効率的に汚水の収集が可能となるように、各幹線系統別に建設時期を段階的に決定する問題が中心であった。¹⁾ここでは、幹線の終端部において、Fig. - 2 (b) のように複条管化し、これを段階的に建設する問題を取りあげる。複条管化案については、Fig. - 2 (c) のようなポンプ圧送システムの導入など、地域の条件に応じて、多様な代替案の抽出が可能であろう。このような複条管については、その効果として、供用開始までの期間の短縮や、事業当初における幹線整備延長の拡大や、事業費を面整備に振り向けることによる整備面積の効率的進捗といった点が強調されているが、幹線事業費の全事業費に占めるウエイトは、必ずし

* 株式会社日水コン下水道事業部 Nihon Suido Consultants Co., Ltd. Sewerage Department

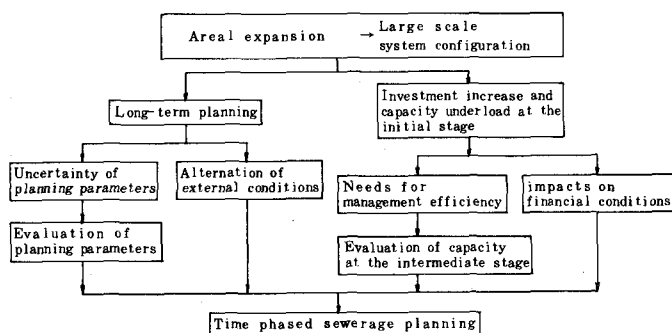


Fig.-1 Background subjects concerning with time phased sewerage planning

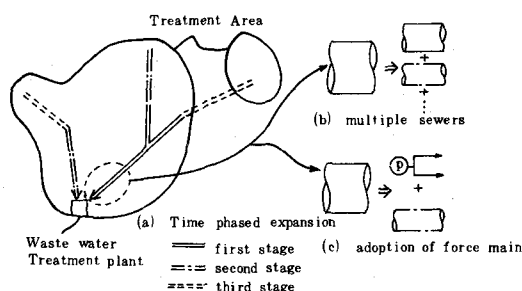


Fig.-2 Alternatives of Main Sewer Capacity Expansion

Table-1 Uncertain Factors concerning Sewerage Planning

Planning parameters	Area, Population
	Inflow
	Other planning (ex. housing development)
Cost	Cost Fluctuation
	Cost Function
	Technology innovation
	Discount rate
Efficiency	Utility function
Finance	Financial resources
Others	Excessive infiltration/inflow
	Reliability of water quality prediction

も高いとは言えず、先に述べた効率化の程度は、大きくない場合があると考えられる。したがって、Fig-1の背景に関連して、幹線管渠の段階的建設のメリットとして、将来の不確実性が大きい時点で、安全率を見込んだ計画フレームの設定を行うよりも、増設が必要となる時期において、プロジェクトの開始時から増設時期に至るフレームの変化を計画情報としてとり込み、より適切な最終的規模の設定を、適応的に行い得ることにあると考えた。下水道整備計画に係る不確実

性の内容は、Table-1のように多岐にわたるが、ここでは、計画フレーム値のうち、地域で発生する汚水量をとりあげた。なお、計画フレーム値のような社会的要因に係る不確実性の内容は、本来その確率分布を明確にすることが困難な性質のものと考えられるが、ここでは、いくつかのパターンが与えられたと想定される場合について分析した。

本稿の構成は、以下ようになる。2.では、下水道整備計画における時間的特性の整理を行う。3.では、上記の問題設定に基づく段階的建設計画の策定手順の試案を示し、4.でこの手順の数値事例として、仮想の計画区域を対象にして、段階的建設規模の評価を行う。

2. 下水道整備計画における段階的建設問題

2.1 下水道整備計画の時間的特性

下水道の主要施設の機能と、整備過程における各施設の供用状態から下水道整備計画の時間的特性は、次のように整理される。

1) 面整備管渠、幹線管渠、処理場といった、面、

線、点の整備を受け持つ施設から構成されており、これらの施設を有機的に結合させることにより、効用を発揮する。

2) 1)に述べた各施設は、それぞれTable-2に示すように、建設時期、スケール・メリット、分割可能性等、時間的要素に係る条件は異なる。

3) 各下水道施設の整備過程における整備量は、一般にTable-2に示す規模の従属関係に従うため、ある時点のシステム入力、その時点における整備状況（とくに面整備）に規定される。

4) 全体施設の完成までには長時間を必要とするため、整備途中年次においても遊休施設が少なく、各施設がそれぞれ汚水の排除、収集、処理の機能を発揮し、全体がひとつのシステムとして構成されていることが要請される。

Table-2 Time phased characteristics of sewage facilities

Object	Facility	Time phased characteristics	Construction period	Cost proportion	Scale index
area	collective sewer	Area expansion has been studied.	throughout planning period	great throughout planning period	served area (A_1)
line	main sewer	Construction feasibility and economy of scale permit small number of construction stages, and capacity is underloaded in some period. Time phased construction has been proposed for large scale treatment systems.	need to construct at the initial stage (including full scale construction)	investment period is limited small for planning period	collective area (A_2) constructed length (L_2) flow capacity (Q_2)
point	wastewater treatment plant	The number of construction stages is large. If the number is large, economy of scale decreases. The number of construction stages varies according to the facilities. (ex. smaller for administrating building) Many studies dealt with treatment plant capacity expansion problems.	throughout planning period investment at the initial stage is large	smaller than collective sewer (often larger at the initial stage)	treated flow (Q_3)

Corelationship between $(A_1 \leq A_2 \text{ } (A_2 = f(L_2)))$ α : average population density
 Sewagescale indices $(\alpha \cdot \beta \cdot A_1 \leq Q_3 \leq Q_2)$ β : average inflow per capita

3. 段階的建設策定プロセスの提示

1. で述べたように、不確実性下におけるプロジェクトの遂行において、計画フレームの変化に適応に対応できる可能性を与えるという点で、段階的建設の有効性は発揮されると考えられる。したがって、段階的建設の問題においては、不確実性の評価が、非常に重要な要素になる。Fig. -3は、幹線の初期建設規模を不確実性下で決定することを中心とした、段階的建設計画策定手順のひとつの試案を示すものである。また、この策定手順は、増設規模を含めることにより、全体計画フレームの評価も可能である。

Fig. -3では、計画フレームの経年変化（以下、計画フレームとして面積当りの汚水量密度をとりあげ、この時間的変化を需要曲線と称する。）の不確実性については、需要曲線を離散的に数段階設定し、これらの生起確率を与えるということに対処している。具体的な与え方としては、複数の予測式を採用しこれによる予測値の範囲と分布形を考慮したり、需要曲線の変化を確実視できる部分と、新たな開発計画による変化のような不確実な部分とに分け、後者については、その

関連事業が実施される確率を評価するといった方法が考えられる。ついで、段階的建設方式代替案の選定にあたっては、土質や地下埋設物により影響される施工性の評価が重要となろう。なお、この策定手順においては、計画区域、基本的な施設配置、予算制約等については与件としており、これらを受けて、面、線、点に係る施設をTable-2に示した施設規模の制約関係のもとで整備量を算定していき、増設の必要な時期を設定された需要曲線に対応して見出す。二条管を扱う場合には、この時点で増設規模決定と共に、計画

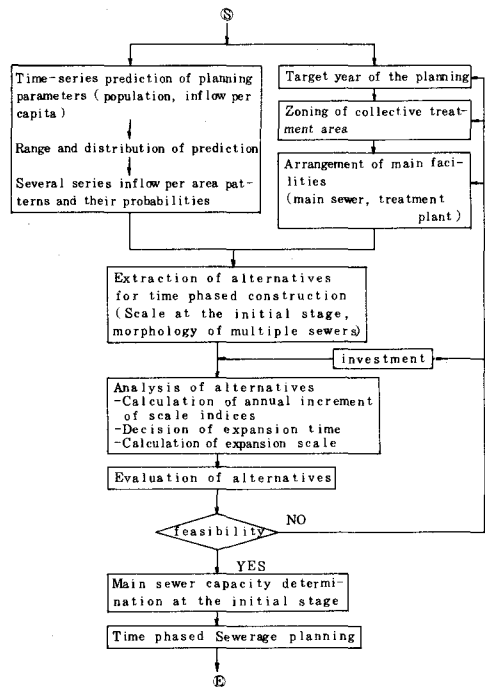


Fig.-3 Time phased sewerage planning process

目標年次の計画フレーム値が決定される。この場合、増設時期に応じて、事業当初に比べて不確実的要因が確実化する状況が考慮されれば、段階的建設の効果は、さらに発揮されることになる。³⁾

こうした段階的建設計画の評価にあたっては、時間的要素を考慮し、その総費用の現在価値を評価指標として用いることが多い。ここでは各需要曲線の生起確率を導入し、(1)式の総費用期待値の現在価値を評価関数としてとりあげる。

$$C_T = \sum_{i=1}^m \{a_i(C_{i1} + C_{i2})\} \longrightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 C_T ：総費用現在価値の期待値、 C_{i1} ：需要曲線 i に対応する総建設事業費の現在価値、 C_{i2} ：需要曲線 i に対応して生じる未整備面積の発生に起因するペナルティの現在価値、 a_i ：需要曲線 i の生起確率、 m ：設定する需要曲線の数 ($\sum_{i=1}^m a_i = 1$)

であり、 C_{i1} については、社会的割引率と物価上昇率を導入することで、次のようになる。

$$C_{i1} = \sum_{n=1}^{N_i} C_n \cdot (1+R)^n / (1+r)^n \quad (2)$$

ここで、 N_i ：総建設期間、 C_n ： n 期における建設費（現在価格）、 R ：物価上昇率、 r ：社会的割引率である。

C_{i2} は、計画年次においてプロジェクトが過小になった場合のペナルティを評価しようとしたものであるが、幹線管渠の断面決定に際し、現実にとられている程度の余裕をとって設計することを前提とすれば、幹線の流下能力の不足に対する安全率は高いと考えられる。また処理場施設のうち、処理機能を担う反応プロセスには、流入水量の増大に対する弾力性が考慮できる。したがって、プロジェクトが過小になった場合のペナルティとして、目標年次において未整備面積が生じることをとりあげる。この場合、整備率の低下に伴う水質保全目標の未達成の問題が指摘されるが、このような状況が生じる地域は限定されと考えられ、未整備面積をプロジェクトの延長により整備していくことを想定し、その費用をペナルティとして評価した。

$$C_{i2} = \sum_{n=N+1}^{N'} C_{An} \cdot (1+R)^n / (1+r)^n \quad (3)$$

$$\sum_{n=N+1}^{N'} C_{An} = C \cdot Ad \quad (4)$$

ここで、 N' ：延長されたプロジェクト終了期、 C_{An} ：各期の面整備費用、 C ：面整備単価、 Ad ：未整備面積

である。

総費用として見込むべき要素として、遊休を生じることによる費用が考えられる。これは、遊休の程度によっては損失と見なされる場合と、施設の安全率として評価されるべき場合とがあろう。⁴⁾ こうした要素が評価の対象となる施設としては、処理場と幹線管渠があげられ、前者については供用開始当初における維持管理費の増大等により評価されようが、共通施設建設後は処理機能の弾力性を考慮し、運転管理面に反映させることで損失は最小限に抑えられよう。幹線管渠については、建設に際して可能な分割数が小さいという制約条件がある。一方、遊休を生じることによる費用を考慮した場合、分割数を大きくとった方が適当であるという傾向が予測されるが、施工性等からそういった代替案選定は困難な場合が多いと考えられ、遊休を生じることによる費用は見込んでいない。また、維持管理費等の経費については流入汚水量に依存するが、これについては、4.2に示すように幹線段階建設案により大きく異なることはないと考え、考慮していない。

なお、Fig. ー3において、プロジェクトの実施が困難とされる場合には、予算制約等の与件とした内容の再検討が必要になると考えられる。

4. 数値事例による段階的建設規模の評価

4.1 設定条件

(1) 区域及び全体フレーム

検討対象区域は、Table-3に示す計画諸元を有する仮想の区域を選んだ。規模に係る諸元の設定にあたっては、幹線管渠の複条管化が現実に計画されている下水道計画を参考とした。なお、単純化のため、人口密度等の地域的分布は考慮していない。

全体の投資額は、現状の下水道整備における実績等を参考に設定し、各年投資額は一定とした(Table-4)。

Table-3 Planning parameters
for model region

population at the target year	600,000
(present population)	450,000
collection / treatment area	10,000 ha
inflow at the target year	400,000 m^3/day
target year	20 years after
period of construction	20 years
total length of main sewer	60 km

Table-4 Investments

collective sewers	200 $\times 10^9$ yen
	(20 $\times 10^6$ yen / ha)
main sewers	30 $\times 10^9$ yen
treatment plant	50 $\times 10^9$ yen
investment at the initial stage without wastewater and sludge treatment facilities	9 $\times 10^9$ yen
total	280 $\times 10^9$ yen
per year	14 $\times 10^9$ yen

現実には、建設着手当初の事業費には、ややウエイトが置かれているが、先行的な投資の必要な施設のウエイトを小さく抑えようとする意図があることから、このような設定を行った。なお、この事例では二条管を対象とし、面整備、処理場整備は継続的に行なわれることから、1年を1期として考えた。

(2) 各施設への投資配分及び増設時期、増設規模の設定

各年次における面、線、点の整備に対する投資額の配分、幹線の増設時期及びその規模の設定については、次のように考えた。

1) 事業着手より3年後に供用開始を予定し、この間においては幹線管渠に約20%、処理場整備に約30%の投資を行う。

2) 幹線の第1期建設は、その規模に応じ7~10年程度で建設可能となるように、あらかじめ各年の幹線投資額を設定する。面整備と処理場整備への配分は、Table-2の制約関係のもとで最も整備面積が大きくなるように設定し、各年の整備量(整備面積、流入汚水量等)をTable-5に示した整備単価、費用関数より求めた。

3) 幹線の規模が流入汚水量を満足しなくなる段階で2年次逆のぼり、幹線投資額として年間投資額の約20%を計上し、面整備、処理場整備への配分投資額を再設定する。

4) 求められた増設期に対応して、増設規模を設定する。4.2に述べる需要曲線が決定論的に与えられる場合、増設規模はTable-3の計画汚水量を受け入れられるように決められる。複数の需要曲線を考慮する場合は、次の手順により増設規模を算定する。

i. 目標年次における全体フレームの予測値の分布形として、需要曲線式の目標年次における値を平均値とし、次の3通りの標準偏差を持つ正規分布を想定する。

$$\textcircled{1} \quad \sigma = 3 \quad \textcircled{2} \quad \sigma = -0.15t + 3, \quad \textcircled{3} \quad \sigma = -0.3t + 6 \quad (t: \text{増設年次, 単位 } \text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{日})$$

すなわち、①では時間経過による不確実な要素の確実化を見込んでいない。②は①より常に小さく、③は、事業開始当初は①より標準偏差が大きい、それぞれ段階建設による不確実性の縮小を期待した設定となつ

Table-5 Cost function

(collective sewers)	20 $\times 10^6$ (yen / ha)
(main sewers)	
first stage	0.145 $\times Q^{0.89}$ (10^9 yen)
second stage	0.094 $\times Q^{1.0}$ (10^9 yen)
(treatment plant)	
until treatment service	12 $\times 10^9$ yen
expansion period	101.3 $\times 10^3$ (yen / m^3/day)

ている。なお、上記の①～③を増設規模の決定根拠 (pattern of risk) 1～3 と称し 4.3 以降で用いた。

ii. 目標年次における計画フレーム値の確率密度曲線を i. のように設定し、目標年次において過小設計になる確率を 10% になるように増設規模の算定を行う。処理場についても、ここで算定される全体の規模以上には増設しない。

5) 物価上昇率、社会的割引率を導入した(2)式において、ここでは $R = r$ と設定されるケースの計算を行った。

4.2 需要曲線が決定論的に与えられる場合

4.1 に示した想定地域に対し、計画フレーム値の年次的変化が、決定論的に与えられた場合、先の方法により求められた各年の整備面積の変化を、第 1 期幹線建設規模を全体の $\frac{1}{3}$ とした場合と一括建設した場合について、Fig.-4 に示した。前者において、増設規模は全体の $\frac{2}{3}$ となる。初期における幹線投資額の削減による面整備の効率化はほとんど期待できず、Fig.-4 に示した両ケースにおける整備面積の 20 年間の積分値の差異は、0.5% 未満にすぎない。なお、ここで用いた計画フレームの年次的変化は、以下の通りである。

$$\text{人口密度} = \frac{60}{1+0.333e^{-0.02t}} \quad (\text{人/ha}) \quad (t:\text{年次}) \quad (5)$$

$$\text{汚水量原単位} = 1.335t + 400 \quad (\text{l/人} \cdot \text{日}) \quad (t:\text{年次}) \quad (6)$$

4.3 第 1 期建設規模、需要曲線に対応した総費用の算定

需要曲線は、Fig.-5 に示したように飽和曲線タイプとし、8 段階に離散的に設定した。Table-6 に第 1 期の幹線建設規模と需要曲線に対応した増設時期と建設終了年次を示した。建設が早く終了するのは同一の予算制約下で低い需要量しか見込まれない場合に、増設の必要がないか、小規模の増設で済むために面整備費用により多く投資配分されるためである。

Table-6 Expansion time and final year of construction

time series of inflow per area		1	2	3	4	5	6	7	8
initial stage capacity	expansion time	—	—	—	—	—	—	—	17
	final year of construction	18	19	19	19	20	20	20	20
$200 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$	expansion time	13	14	14	12	11	11	10	10
	final year of construction	18	19	19	19	19	20	20	20
$250 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$	expansion time	—	16	17	15	14	13	12	12
	final year of construction	18	19	20	20	20	20	20	20
$300 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$	expansion time	—	—	—	—	16	15	14	13
	final year of construction	18	19	19	19	20	20	20	20
$350 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$	expansion time	—	—	—	—	—	17	16	15
	final year of construction	18	18	18	19	20	20	20	20

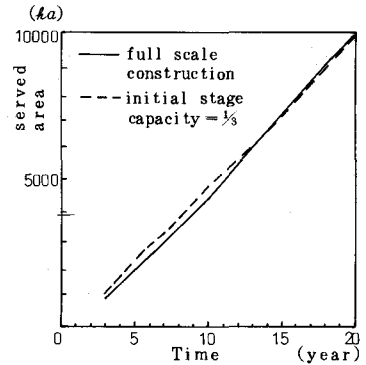


Fig.-4 Difference of served area between full scale construction and time phased construction (inflow per area is assumed to be certain for the future)

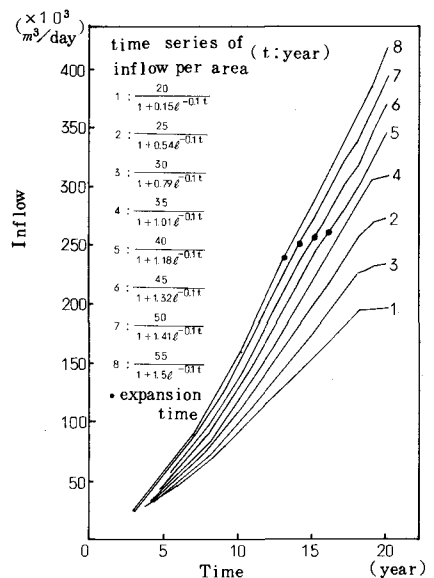


Fig.-5 Difference of time series inflow with patterns of inflow per area (initial construction scale $300,000 \text{ m}^3/\text{day}$)

Fig. 5、Table 7では、それぞれ第1期建設規模を300,000 m³/日としたときの需要曲線の違いによる流入汚水量の経年変化及び総費用の計算結果を示す。需要曲線4より小さい汚水量密度しか見込まれない場合、増設の必要はなく、この場合の総建設費の現在価値C₁は小さくなっている。また、需要曲線6以上では未整備面積が生じる結果になり、(1)式のペナルティすなわちC₂を考慮する必要があるが出てくる。

Table 8は、需要曲線5のケースについて第1期建設規模による増設時期、増設規模等の変化の傾向を示している。全体の建設費については増設の必要のない第1期建設規模である350,000 m³/日の場合が最も小さくなっている。また、各年次の整備面積の積分値については4.2の結果同様、第1期建設規模にかかわらず差はみられていない。

増設規模の決定根拠1～3による第1期建設規模に増設規模を加えた全体規模の違いについて、Table 8に示す需要曲線5のケースで比較する。Table 9に示したように、増設時期の違いによる不確実性の変化を考慮しない決定根拠1では全体規模に差はみられないが、決定根拠2、3では第1期建設規模が大きく、増設時期が後年次になるほど全体規模は小さくなっており、不確実な要因の確実化が期待できる場合、増設期を遅くすることが有利になることを示している。決定根拠3においては、第1期建設規模が200,000 m³/日と300,000 m³/日の場合で、全体規模の差は約5%となる。

また増設規模の決定根拠の違いにより、第1期建設規模300,000 m³/日の場合には増設規模において40%、全体規模で7%の差がみられている。

4.4 幹線段階的建設規模の評価

計画フレームの不確実性を評価した幹線管渠の段階的建設規模の決定において、4.3で離散的に8段階に設定した飽和曲線タイプの需要曲線がそれぞれ生起する確率をシナリオとして与え、このシナリオに対応して(1)式に示した総期待費用がどのように変化するかを分析した。Fig. 6に各シナリオにおける各需要曲線の生起パターンを示す。Aは平均的需要曲線を中心に正規分布しているパターン、Bは各需要曲線が均等な生起確率を持ちC、Dは、それぞれ分布形に偏りを持つ。なお、すべてのケースにおいて、比較対象となる一括建設の場合について過小建設になる危険率を10%になるように、最終的な流入汚水量がTable 3の計画汚水量を上まわる確率を10%に置いた。

4ケースのシナリオ、4.1(2)で述べた増設規模設定根拠より12のケースが設定され、これらについて総期待費用と全体規模の期待値を求めた。Fig. 7に決定根拠1と2について、Table 3で得た総建設費との差額を示した。凡例中の添字は、増設規模決定根拠の設定ケースを示す。Fig. 8には、全体規模の期待値

Table 7 Defference of expansion scale with patters of per arear inflow

per area inflow	pat- tern of risk (4.1, (2))	expan- sion time (year)	expan- sion scale (10 ⁴ m ³ /day)	investments(10 ⁸ yen)				in- served area (ha)
				main sew- ers	collec- tive sew- ers	treat- ment plant	total	
1		—	—	240	1989	391	2620	55
2		—	—	240	2000	391	2631	0
3		—	—	240	2000	391	2631	0
4		—	—	240	2000	391	2631	0
5	1	16	83.3	348	2000	474	2822	0
	2		58.3	325	2000	449	2774	0
	3		71.7	337	2000	462	2799	0
6	1	15	120.1	383	1949	510	2842	225
	2		97.1	361	1967	487	2815	165
	3		112.5	376	1955	503	2834	225
7	1	14	158.2	419	1890	548	2857	552
	2		137.1	399	1906	527	2832	470
	3		154.4	415	1893	544	2852	537
8	1	13	195.5	454	1833	585	2872	834
	2		176.3	436	1848	566	2850	761
	3		195.5	454	1833	585	2872	834

(initial construction scale 300000 m³/day)

Table 8 Difference of expansion scale with initial construction scale

initial construc- tion scale (10 ⁴ m ³ /day)	pat- tern of risk (4.1, (2))	expan- sion time (year)	expan- sion scale (10 ⁴ m ³ /day)	investments(10 ⁸ yen)				collective area total (ha)	in- served area (ha)
				main sew- ers	collec- tive sew- ers	treat- ment plant	total		
400		—	—	300	2000	490	2790	97034	0
200	1	11	183.3	367	1995	474	2836	99667	25
	2		167.9	353	2000	459	2812	99663	0
	3		190.9	375	1988	481	2844	99513	60
250	1	14	133.3	360	1999	471	2833	100011	4
	2		112.1	340	2000	453	2793	100133	0
	3		129.4	357	2000	470	2827	100058	0
300	1	16	83.3	348	2000	474	2822	99114	0
	2		58.3	325	2000	449	2774	99207	0
	3		71.7	337	2000	462	2777	99206	0
350		—	—	280	2000	441	2721	98299	0

(time series of inflow per area pattern 5)

Table-9 Difference of expansion scale
with pattern of risk
(standard deviation at target
year : 4.1, (2))

pat- tern of risk	initial construc- tion scale ($10^3 \text{ m}^3/\text{day}$)	total scale ($10^3 \text{ m}^3/\text{day}$)	propor- tion	invest- ment for main sewers (10^8 yen)	propor- tion
1	200	383.3	—	367	1.05
	250			360	1.03
	300			348	1
2	200	367.9	1.03	353	1.08
	250	362.1	1.01	340	1.05
	300	358.3	1	325	1
3	200	390.9	1.05	375	1.11
	250	379.4	1.02	357	1.06
	300	371.7	1	337	1

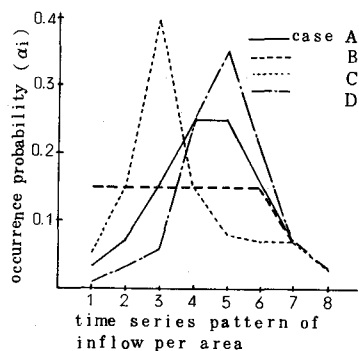


Fig.-6 Set up of occurrence
probability of each pattern

を示す。なお、Fig.-8より決定根拠1と3による全体規模及び総建設費の差は小さいと判断されたため、Fig.-7では決定根拠3については省略した。

Fig.-7によると、ケースD-2を除き、削減費用期待値が比較的大きいケースB-2、C-2では、 $250,000 \sim 300,000 \text{ m}^3/\text{日}$ 、その他は $300,000 \text{ m}^3/\text{日}$ の第1期建設規模において、削減費用期待値は最も大きくなっている。その額は、面整備費用を含めた総建設費に対しては、いずれのケースにおいても5%未満であるが、本考察で規模の変化が費用に反映される幹線、処理場費用をベースに考えれば、ケースC-2の場合で削減率15%である。増設規模の決定根拠1と2の差は、不確実要因の確実化を考慮した2のケースがいずれも20～30億円削減費用期待値が高くなっている。

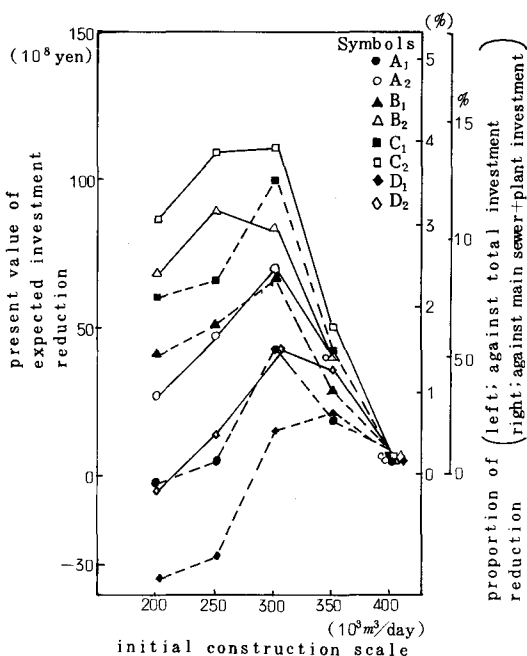


Fig.-7 Present value of expected
investment reduction

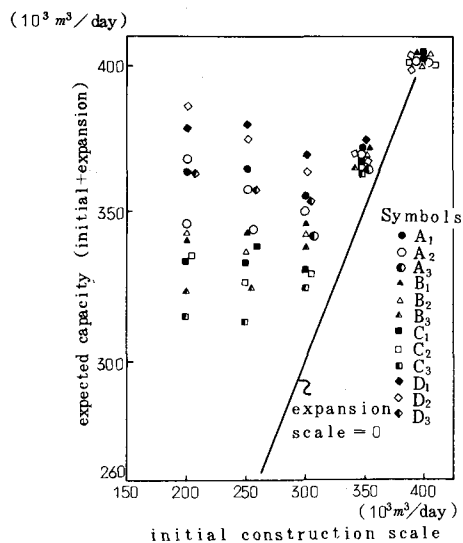


Fig.-8 Expected capacity at the
final stage

全体規模についてもFig. 7の結果を裏付けることになるが、必ずしも最小規模期待値をとる第1期建設規模において削減費用期待値が最大になるとは限らない。これは、第二期の建設費は割高になると考えられ、Table 5でそのような設定を行っているためであり、最小全体規模を与える第1期建設規模は、最大の総費用期待値の削減額を与えるそれよりも小さくなる。Fig. 8からシナリオB、CやA-3のケースでは、全体規模の期待値が $300,000\text{ m}^3/\text{日} \sim 350,000\text{ m}^3/\text{日}$ に集中しており、このような需要曲線の生起確率が想定される条件下では、幹線管渠の段階的建設の効果は大いに発揮されるものと考えられる。

3.に述べた段階的建設計画における第一期建設規模の決定手順に示されたように、不確実性の程度を数量的に把握することができれば段階建設規模の決定は可能であり、増設必要時期において目標年次の計画フレーム値を、プロジェクト期間中の情報を含めて適応的に評価できるメリットは大きいと判断される。したがって、施工面等から幹線の段階的建設が可能で整備の途中段階で施設の対応が可能な条件においては、不確実性が大きな計画初期時点で安全率を見込んだ計画フレームの設定を行い、この設定値の決定論的取扱いに基づく建設計画を策定することは見直す必要があろう。

5. おわりに

本報では、下水道整備計画における段階的建設の問題を幹線整備に関して採り上げた。数値事例を通して得られた結果は、幹線規模を不確実性の高いプロジェクト開始時に決定して建設するよりも、最終的なフレーム値の評価を幹線増設期に行うことにより総建設費の削減が期待できることである。この点において、幹線管渠の段階的建設の本質があると考えられ現実の複条管計画においても、計画フレーム値に対する何らかの評価があって第1期の建設規模が決定されていると言えよう。

3.では、幹線の規模決定において不確実性の程度、不確実的要因の確実化の傾向を導入したプロセスを提示した。今後は、具体的な生起確率の設定方法の研究、予測値の信頼性の分析を通した不確実性の程度の評価方法等がとめられるべきであろう。

本報でとりあげた段階的建設の問題は、下水道施設のうち幹線管渠を対象としたものである。他の施設については2.で述べたように、時間的要素の特性が異なるためそれぞれアプローチの仕方が異なる。幹線管渠、処理場については不確実性の評価ならびにこれに基づく施設規模の評価が重要であり、処理場規模についてはFig. 8の結果得られた全体規模で、共通施設の規模を決定するという案が考えられ、処理場建設計画の有効な情報となろう。また、処理場については処理機能の弾力性、幹線管渠については施設の安全率・余裕度といった概念が段階的な下水道整備計画策定において整理される必要があると考えられる。面整備や雨水排除計画においては地域の面的拮据りが問題となるため、地域特性の把握と計画情報としての評価が課題となる。さらに、本報で対象にしたような大規模施設を段階的に建設していく方式の対案として、分散型施設による下水道整備計画案の評価が地域特性と関連して必要となろう。

本報でのアプローチについては単純化した想定地域で行ったものであり、その費用等の設定も、実績に照らして一般的な値を採用したが今後は具体的な地域を選定し、幹線増設に係る制約条件等を明確にしたうえで、3.で示した計画策定手順を具体的に適用し、その適用性を明らかにしていく必要がある。

最後に本報作成にあたり、終始熱心な討議・協力をいただいた株式会社日水コン、下水道本部長堤 武氏、システム開発室萩原良巳氏、今田俊彦氏、蔵重俊夫氏及び下水道事業部平林正守氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) 堤他：下水道整備計画に関するシステム論的研究Ⅱ — とくに線整備について —、土木学会第9回衛生工学研究討論会講演論文集、1973。
- 2) Baziw, J. and Scherer, C.R. : Wastewater Treatment Capacity Expansion with Time-varying Assimilative Constraints, Water Resources Research, Vol.15, No.2, 1979など。

- 3) 長尾、森杉、吉田：非弾力性需要のもとにおける段階的建設について、土木学会論文報告集、No. 250, 1976.
- 4) 堤、萩原他：下水処理場を対象とした多段的施設建設計画について、NSC研究年報 Vol 1, 1973.