

広島市浸水対策における整備計画 に関する研究

1. 調査の背景と目的

広島市は中国地方の大都市として発展して昭和55年には政令指定都市に指定されるなど、中国地方における政治、経済、文化の中心的存在にある。特に、広島市千田処理区（図-1参照）は、周囲を元安川、京橋川に囲まれた中州にあって、その中には広島城跡、県庁をはじめとする官公庁ならびに繁華街が集中している。

しかしながら、千田処理区では、最近の都市化の進展に伴い、空き地の減少や不浸透化により雨水流出量が増大したこと、土地の高度利用により汚水量が増大したことなどで結果的に浸水が発生しやすい状況になっている。

こうした状況から広島市では、浸水問題の解消を図るため、整備目標レベルを10年確率降雨とした雨水排水整備計画を策定し、現在、大規模雨水幹線の設置など浸水対策事業を進めている。このような大規模施設の設置など事業効果の発現に長期間を要するような場合、経済的な評価を行って最適な投資配分の基に事業を進めることが必要となる。

下水道事業の浸水軽減効果を検討する場合、現状では、その計測方法に河川における被害額策定方式¹⁾が適用される場合が多い。下水道と河川との浸水形態等は異なることを考えると、そのような効果の計測方法には、若干の検討を加える必要があるものと考えられる。

そこで本調査では、上記課題に対応した下水道の

雨水整備による費用効果の計測方法について検討することを目的とする。具体的には、広島市における下水道の雨水排水整備計画をケーススタディーにして、費用投資効果の計測方法と整備後の費用投資効果の試算結果について報告する。

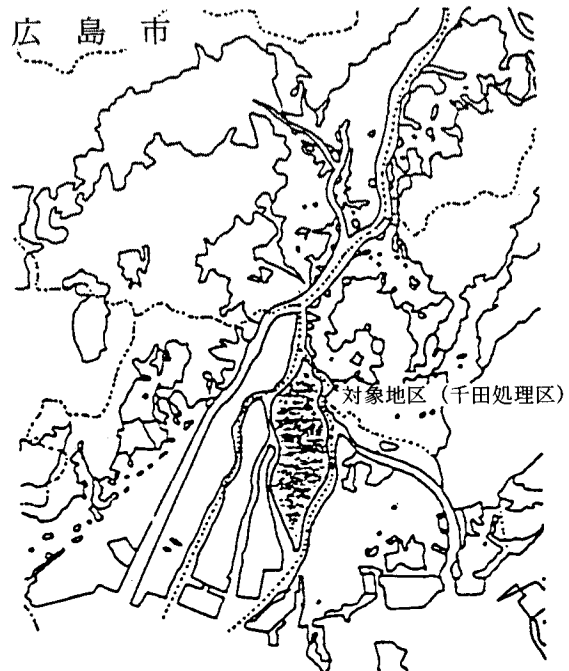


図-1 広島市千田処理区の位置図

2. 基礎調査

本調査の調査手順を図-2に示す。

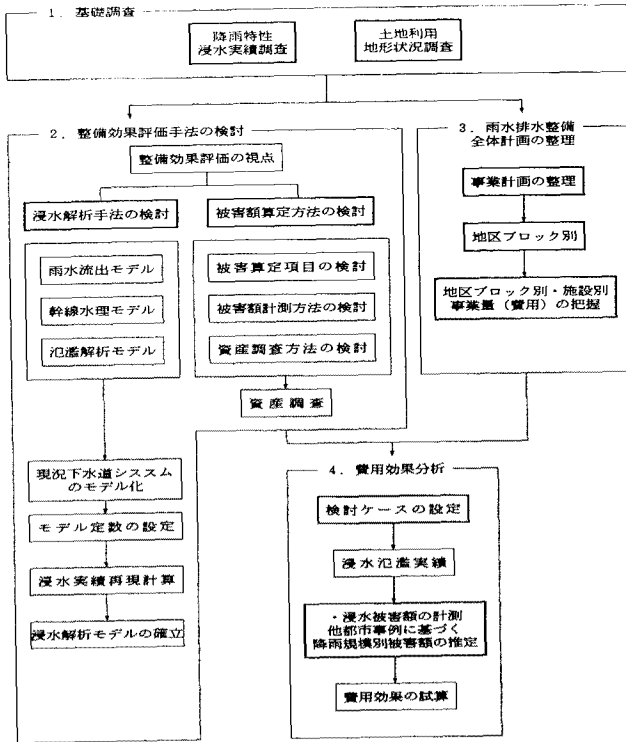


図-2 調査手順

2.1 降雨特性, 浸水実績調査

(1) 降雨特性

図-3は、広島地方気象台の観測データ（昭和12年から昭和62年までの51年間）と浸水件数から、1時間降雨量と浸水件数に関する経年変化状況を示したものである。これより、昭和62年降雨は、多大な浸水被害をもたらしたことがうかがえる。

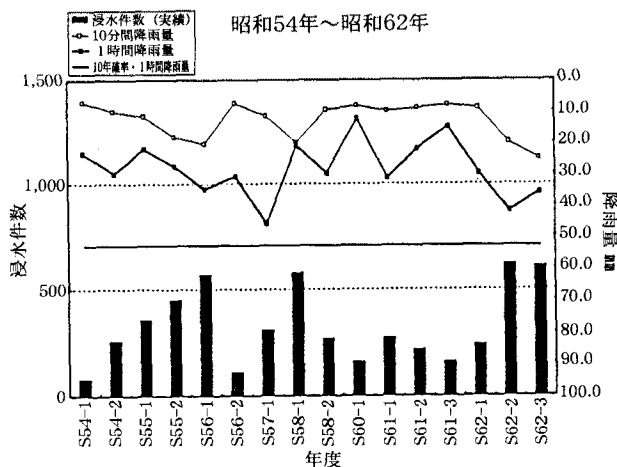


図-3 降雨量と浸水件数の経年変化

(2) 浸水実績

図-4は、昭和54年から昭和62年の千田区処理

区における浸水発生件数と継続時間別の降雨量との関係について示したものである。これより、7mm/10分かつ20mm/1時間以上の降雨量により、浸水が発生するものと推察される。特に、10分間降雨量と浸水発生件数との関連が強く、浸水は主に到達時間の短い枝線レベルで発生しているものと想定される。

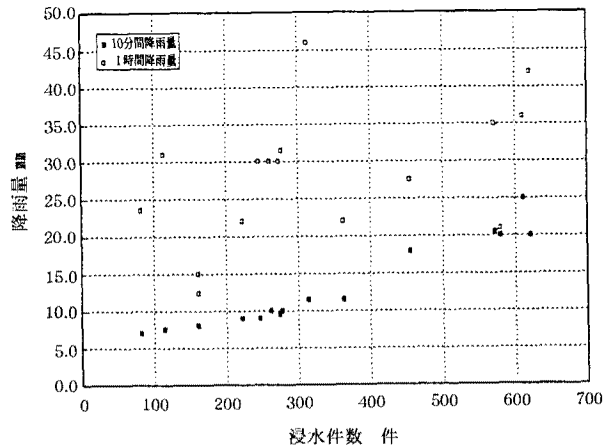


図-4 浸水発生件数と継続時間別の降雨量

2.2 土地利用, 地形状況調査

(1) 土地利用

表-1は、千田処理区における昭和60年時点で工種別面積の測定結果を示したものである。この結果、千田処理区内の流出係数は約0.72であり、ほぼ現在の雨水排水整備計画の計画値(0.75)に達しつつあることがわかる。

表-1 工種別面積の測定結果

区分	工種	基礎流出係数	面積 ha
不浸透域	水面	1.0	1.250
	道路	0.9	194.353
	屋根	0.9	174.462
浸透域	間地	0.3	96.476
	公園	0.2	47.205
不浸透面積率			0.720
流出係数			0.723

(2) 地形状況

千田処理区は、地盤高1.0m~6.0m, 平均地表勾配0.4~1.3%であり、低平地にあることがわかる。

3. 雨水排水整備全体計画の概要

3. 1 計画諸元

広島市では、浸水問題の解消を図るため、整備目標レベルを10年確率降雨とした雨水排水整備計画（以下、現計画）を策定している。表-2は、旧計画と現計画との計画諸元についても示したものである。

表-2 旧計画と現計画との計画諸元の比較

項目	旧計画	現計画
確率年	-	10年
1時間降雨量	60mm	53mm $i=4919/(t+33)$
流出量算定式	実験式 ビュルクリ・チグラ型	合理式
流出係数	0.60 (千田処理区平均)	0.75

3. 2 事業実施計画

広島市の雨水排水整備計画における浸水対策は次のようである。

- ① 増補管の布設（雨水幹線、遮集幹線）
- ② ポンプ排水能力の増強

以下では、上記①および②の事業実施計画について示す。

- ① 増補管に関わる事業計画

図-5は、既設管の布設状況との増補管について示したものである。

- ② ポンプ場に関わる事業実施計画

雨水ポンプ能力 53m³/s
汚水ポンプ能力 2m³/s

計 55m³/s

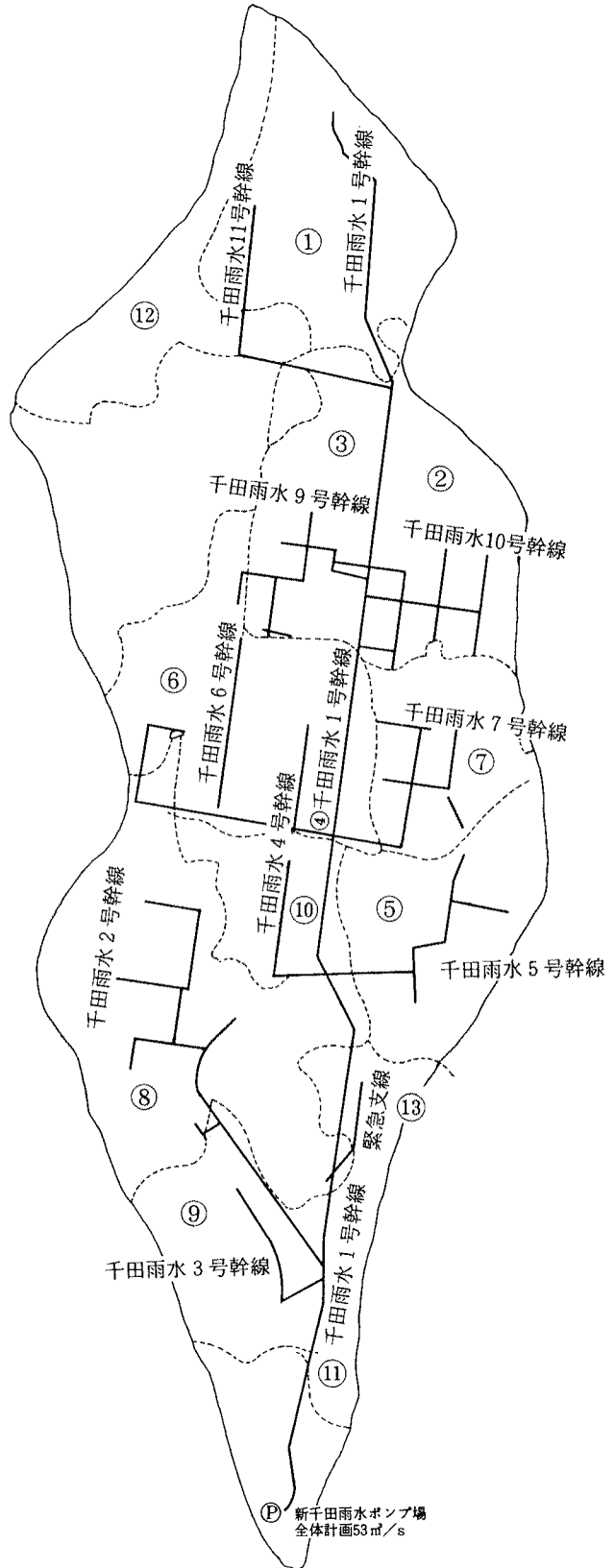


図-5 増補幹線に関わる計画及びブロック割り図

4. 整備効果評価手法の検討

本調査では、広島市千田処理区の浸水対策事業をケーススタディーにして、費用便益の計測方法について検討するものである。

下水道を対象とした場合の効果を実測するには、次の内容に留意する必要があると考える。

- ①都市域における下水道からの氾濫実態を表現できること
- ②その他氾濫実態に対応した被害項目、稠密化した都市域に対応した資産評価をすること

4. 1 浸水解析手法の検討

ここでは、浸水現象の影響評価を的確に把握するため、当該地区の浸水実態を考慮して、以下の浸水解析手法を採用する。

(1) 雨水流出モデル

このモデルは、枝線管渠網からの雨水流出量を算定するものであり、降雨損失機構、雨水流出機構を表現するものである。雨水流出モデルとしては、従来より多くの手法が提案されているが、都市域での適用実績が豊富な修正RRL法を用いる。特に、当該地区では枝線管渠は実験式で整備されてきているため、管渠のサーチャージ現象は必須であると考えられるため、この現象を考慮したうえで修正RRL法を運用することとする。

(2) 幹線部水理解析モデル

幹線管渠内の流れは、放流先河川の水位上昇やポンプの運転状況によっては、背水の影響が上流側管渠にまで及び流出がスムーズにならないことも想定される。ここでは、下流端の水位変動による流れの変化の様子を把握するため、一次元不定流モデルを適用する。

(3) 氾濫解析モデル

当該地区のように全体的に平坦な場所では、氾濫形態として、拡散型もしくは貯留型といったタイプに明確に分類することは困難であり、溢水地点の分布状況により、拡散型と貯留型の氾濫形態が混在する形態になるものと思われる。このため、一次元的な氾濫解析を適用するのは困難であると考え、平面2次元氾濫解析を適用する。

4. 2 被害額算定方法の検討

(1) 被害算定項目の検討

被害額算定は、従来の河川における被害額算定方式に根拠するが、下水道による都市域の浸水は、河川によるそれと比較して、①浸水域および浸水

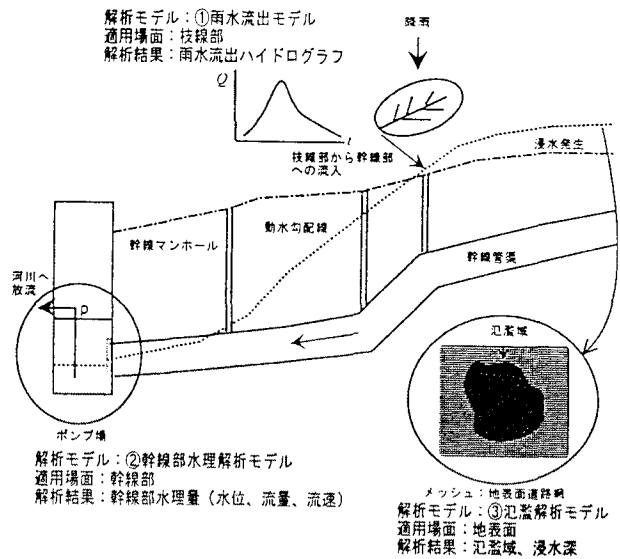


図-6 浸水解析モデルの適用場面

深が小さい、②浸水時間が短い・水勢が小さい、③土地利用・資産集積密度が高い等の点に留意する必要がある。

このため、下水道の浸水による被害項目としては、建物や施設への浸水による直接的な被害はもちろんのこと、都市機能や都市生活への影響など間接的な被害について考慮する必要がある。本調査では、図-7に示すように被害項目を設定する。

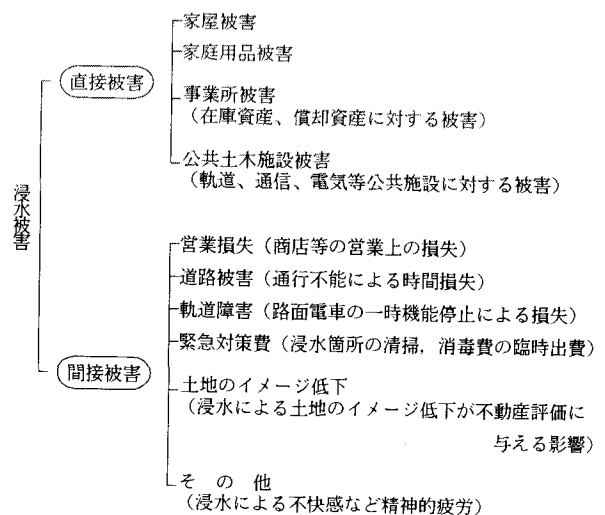


図-7 下水道の浸水による被害項目

(2) 資産評価方法の検討

都市域における住居形態を考慮して、高層、低層における資産評価を行い、被害額の算定には低層部分の資産を対象として考える。

5. 費用効果分析

費用投資効果の評価指標としては、便益、(B)と費用(C)の比率 B/C 、その差 $B-C$ が考えられる。 B/C は事業の効率性を計る指標であるのに対して、 $B-C$ は事業の純便益の大きさを計るものである。これまでの雨水排水整備計画に関わる費用効果分析³⁾では B/C による評価事例が多いが、公共事業であるといった性質上、純便益についても重要であると考えられる。ここでは、 B/C および $B-C$ の2つの指標により費用投資効果を検討する。

5.1 検討ケースの設計

本調査では、従来の「治経調」方式による被害額算定の課題に対応した手法を用いて、整備後の費用投資効果を試算することを目的としている。

実際には、降雨規模別、増補施設の整備状況に応じて浸水シミュレーションにより費用投資効果を検討する必要がある。しかしながら、費用投資効果の試算が目的であるため、過去最大の被害をもたらしたとされる昭和62年7月14日降雨の被害実態をベースにして想定被害額を算定する。降雨規模別の想定被害額については、排水形態、浸水形態からみて当該地区と類似すると思われる他都市の事例に基づき算定する。

5.2 昭和62年7月14日降雨の想定被害額

下表に、本調査で対象とする被害項目を示す。

表-3 「治経調」方式と今回検討方式との比較

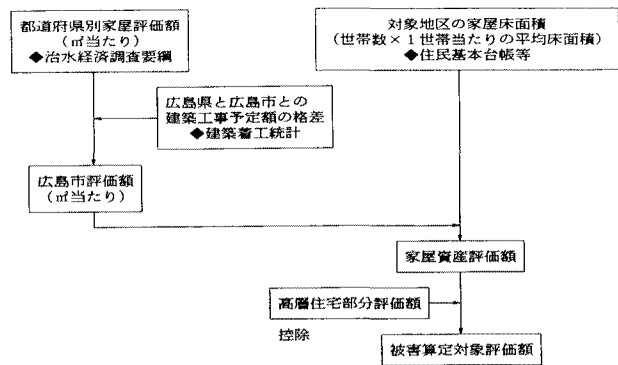
被害項目	「治経調」方式	今回検討方針
直接被害項目	考慮	考慮
間接被害・営業損失	考慮	考慮
道路障害	除外	考慮
軌道障害	除外	除外
緊急対策費	除外	考慮
地価への影響	除外	除外
交通渋滞による精神的損失	除外	考慮
浸水に対する不快感	除外	考慮

(1) 直接被害額の算定結果

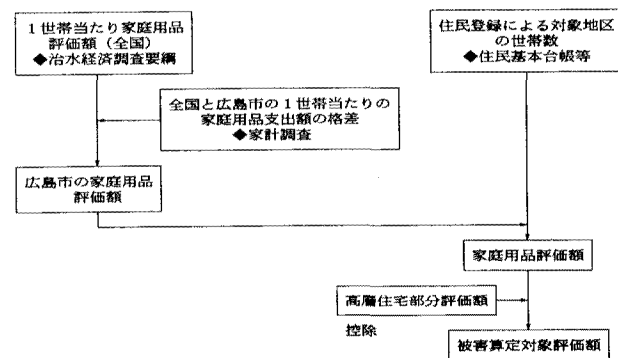
① 資産評価額の算出方法

図-8は、直接被害の算定に関わる一般資産の評価額算定方法について示したものである。この方法は、全国と対象地区との評価額の格差の是正、被害対象資産として高層部分の資産控除していることが特徴として挙げられる。

● 一般家屋資産評価額



● 家庭用品評価額



● 事業所資産評価額

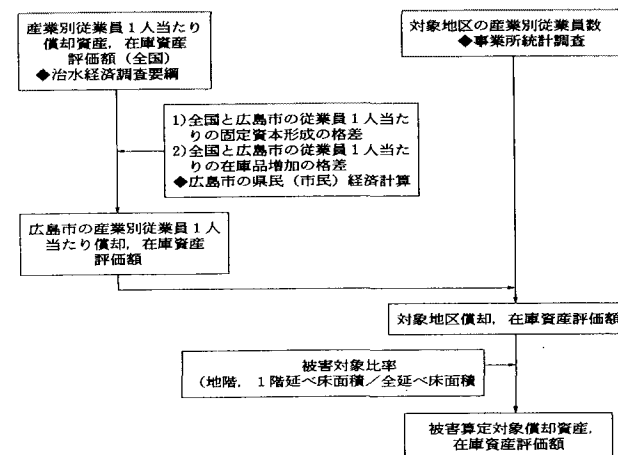


図-8 資産評価額の算出方法

- ② 地区ブロック別の一般資産の分布状況
地区ブロック割り図で示した、各ブロック別の資産密度を図-9に示す。

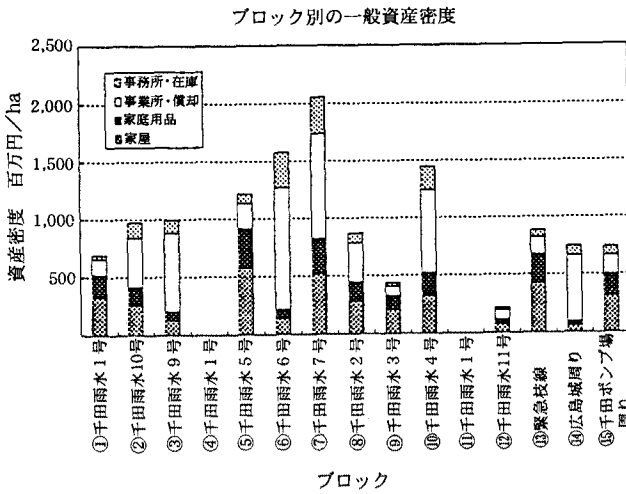


図-9 地区ブロック別の資産密度

- ③ 被害額の算定結果
検討対象降雨の被害想定は以下のようである。

- 床上浸水の最高値：浸水深40cm (床上10cm)
- 床下浸水面積/全浸水面積：74.7%
- 床上浸水面積/全浸水面積：25.3%
- 公共土木施設被害：市中心部では、電力、水道、ガス、電話等の幹線は共同溝化が進められており、浸水による被害はないと想定

上記の内容に地区ブロック別の資産分布と「治経調」にある浸水深別の被害率から、直接被害額は2,467百万円と算定された。

(2) 間接被害額の算定結果

表-4は、間接被害額の算定方法と被害額の算定結果について示したものである。

表-4 間接被害額の算定方法と被害額の算定結果

被害項目	算定方法	被害額 百万円
営業損失	一般資産被害額の6% (「治経調」と同様)	148
道路障害	時間当たりの被害額×浸水時間×浸水面積率	4
軌道障害	除外	-
緊急対策費	路面清掃費、側溝清掃費、住宅の清掃費、消毒費、事業所の清掃費、消毒費の積み上げ	712
地価への影響	除外	-
精神的損失	走行台数×浸水時間×時間評価額 ³⁾	296
不快感	家屋・家庭用品被害額の57.5% ³⁾	916
合計		2,076

- (3) 被害額総額計
直接被害額、間接被害額の合計は45.43億円であり、そのうち間接被害の割合は約45%である。

5. 3 降雨規模別の想定被害額

① 降雨の確率分布

確率評価の方法としては、

- 確率紙による方法 (例：Hazen法, Thomas法)
- 分布関数式による方法 (例：正規分布, 極値分布等) がある。

ここでは、比較よく用いられている正規分布、対数正規分布の2つを候補として抽出し、Thomas Plot 公式によるPlotting Positionとの適合度から対数正規分布モデルを選定した。

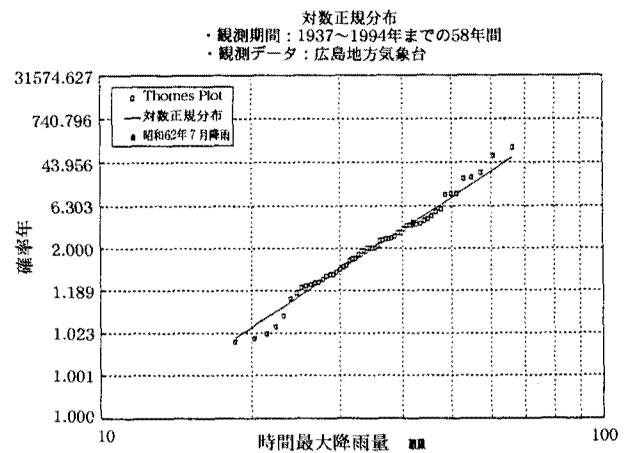


図-10 時間最大降雨量の確率分布

② 無害規模、昭和62年7月14日規模の設定

- 無害降雨規模：無害降雨の規模は、過去の浸水状況から、時間10mm以下の降雨時における浸水はないものと判断した。これを図-10に適用し、無害降雨規模は1.0年として設定した。
- 昭和62年7月14日降雨規模：時間42mmであることから、降雨規模は3.7年と算定された。

③ 降雨規模別の想定被害額の算定結果

検討対象とする最大降雨規模は100年とするが、昭和62年7月14日は約3.7年の降雨規模であるため、それ以上の降雨時での想定被害額を求めることができない。

ここでは、既往の調査結果³⁾から、地形、土地利用、排水形態、被害の類似している事例を参考にして、降雨規模別、整備状況別の想定被害額を算定する。

表-5は、想定被害額に関する既往の調査結果に

ついて示したものである。

表-5 想定被害額の既往の調査結果 (N市O地区)

降雨規模 確率年	整備前		1/10整備	
	想定被害額 百万円	整備前 5年確率降雨 に対する倍率	想定被害額 百万円	整備前 5年確率降雨 に対する倍率
1.1	0	-		
5.0	1,846	1.000		
10.0	3,532	1.913	0	-
30.0	7,040	3.814	511	0.277
50.0	8,200	4.432	877	0.475
100.0	10,338	5.600	1,460	0.791

当該地区における降雨規模別、整備状況別（整備前、1/10整備後）の想定被害額については、次式により求めた。

降雨規模別の想定被害額＝
当該地区 3.7 年の被害額×整備前 5年確率に対する倍率

5. 4 想定年平均被害軽減期待額

表-6は、当該地区における想定年平均被害額軽減期待額の算定結果について示したものである。これより、1/10整備による年平均被害額軽減期待額は4,050百万円であると算定された。

表-6 想定年平均被害軽減期待額の算定結果

施設 整備 標準	降雨 規模	年平均 超過確率 ①	年平均 生起確率 ②	降雨規模別 想定被害額 ③	年平均 被害額 ④	EB ④の累計 ⑤
現況	1.00	0.99999	-	0	0	0
	3.70	0.27348	0.72651	4,543	1,650	1,650
	10.00	0.10000	0.17348	8,692	1,148	2,798
	30.00	0.03333	0.06667	17,325	867	3,666
	50.00	0.02000	0.01333	20,180	250	3,916
	100.00	0.01000	0.01000	25,442	228	4,144

施設 整備 標準	降雨 規模	年平均 超過確率 ①	年平均 生起確率 ②	降雨規模別 想定被害額 ③	年平均 被害額 ④	EB ④の累計 ⑤
1/10	10.00	0.10000	-	0	0	0
	30.00	0.03333	0.06667	1,258	42	42
	50.00	0.02000	0.01333	2,158	23	65
	100.00	0.01000	0.01000	3,593	29	93

5. 5 費用効果の資産

(1) 費用効果算定式

●費用C＝

$$\text{年利子} + \text{年償却費} = I \times \left[i + \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

●便益B＝EB－M

ここに、C：年費用、B：年便益、I：計画規模別事業費、i：事業費、n：施設の耐用年数、M：施設の年維持管理費、EB：想定年平均被害軽減期待額を示す。

(2) 年費用の算定

表-7に年費用の算定結果を示す。

表-7 年費用の算定結果

施設	計画 規模別 事業費 百万円	利率 %	耐用 年数 年	年費用 百万円	備考
管渠	32,836	4.5	50	1,662	増補幹線
ポンプ場・土木施設	15,132	4.5	50	766	連続壁工
ポンプ場・土木施設	11,562	4.5	50	585	上屋、沈砂池等
ポンプ場・設備	10,693	4.5	20	822	ポンプ施設等
合計	70,223	-	-	3,834	-

(3) 費用効果の試算結果

表-8は、費用効果の試算結果について示したものであり、B/Cに関して被害額の算定で今回検討方式による方法では、「治経調」による方法に比べて0.4程度高く0.9以上になることがわかる。

表-8 費用投資効果の試算結果

被害額 算定手法	整備 標準	年平均被害軽減 期待額EB 百万円	B=EB-1×0.005 百万円	年費用 C 百万円	B/C	B-C 百万円
「治経調」	1/10.0	2,499	2,148	3,834	0.560	-1,687
今回検討方式	1/10.0	4,050	3,699	3,834	0.965	-135

6. 今後の課題

本調査では、広島市の雨水排水整備計画をケーススタディーにして、都市部における下水道による浸水被害を対象とした場合の費用投資効果の計測方法と整備後の費用投資効果の試算結果について報告した。

今後の課題を以下に示す。

- ① 降雨規模別、整備状況に応じた浸水シミュレーションを通じて被害額を算定する必要がある。

- ② 間接被害項目のうち、検討対象外とした軌道障害、地価への影響および「治経調」による手法を援用した営業損失について、被害額の計測方法について検討する必要がある。
- ③ 被害項目として、その他の間接被害項目（自動販売機の被害、地下駐車場の被害等）を考慮する事も必要であると考えられる。
- ④ 便益測定の方法については、大別として2つの方法論が考えられる。一つは、被害項目ごとに被害額を積み上げる方法であり、もう一つは、計量経済モデルによる方法である。

本調査では、前者の方法を採用しているが、計測

方法が煩雑であることや被害の重複計算に注意する等の課題がある。今後は、後者の計量経済モデルに基づく方法に該当するヘドニックアプローチによる便益測定方法についても検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 治水経済調査要綱：建設省河川局河川計画課
- 2) 鈴木章：浸水被害額の定量化方法に関する検討，下水道協会誌Vol.327, No312, 平成2年5月
- 3) 大都市下水道事業の雨水整備に関する検討報告書その4, 大都市における雨水整備研究会, 平成2年3月

● この研究に関する問い合わせは

技術部長
技術部主任研究員
技術部研究員
技術部研究員

中尾 正和
百崎 和博
古北 克
氷見 直孝