

機関番号：33919

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 年度～2010 年度

課題番号：20510179

研究課題名 (和文) 都市雨水排除システムの計画理念とそれを反映できる計画手法に関する研究

研究課題名 (英文) A STUDY ON THE PHILOSOPHY AND METHODOLOGY FOR URBAN DRAINAGE SYSTEM DESIGN

研究代表者

張 昇平 (SHENG PING ZHANG)

名城大学・都市情報学部・教授

研究者番号：90278333

研究成果の概要 (和文)：

本研究は、都市雨水排除システム計画の方法論を新たに構成するためのもので、まず、強い短時間降雨の増加傾向を長期降雨量観測データで確認した。つぎに、シビル・ミニマムという都市雨水排除システムの計画理念の見直しなしには都市型水害問題の本質的解消が不能であると分析した。最後に、新しい計画設計理念として、安全設計理念を提案し、シミュレーションの結果に基づいて、その有効性、柔軟性、操作性等においても優れていることを示した。

研究成果の概要 (英文)：

This study conducted a hydrologic evaluation of the Conservative Design Philosophy for urban drainage system planning. After showing that the Civil Minimum Design Philosophy that has caused the insufficiency in urban drainage system capability, a proposal on the application of the Conservative Design Philosophy has been examined, and the simulation results have shown the possibility of the proposed Conservative Design Philosophy.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学

キーワード：水災害、都市排水

1. 研究開始当初の背景

近年、都市域、特に大都市では、いわゆる集中豪雨による局地的な都市型水害が頻発し、住民の財産・生活、都市活動に甚大な被害または影響を与えただけでなく、地下商店街などに水が溢れ、人的被害も発生している。問題の主な原因として、短時間降雨強度の増加と都市雨水排除システム整備の遅れが挙げられている。

本研究では、都市型水害の被害を軽減するため都市雨水排除システムの計画降雨レベルを引き上げあることを目的に、そのための論理構成（計画理念のあり方）とその計画理念を実現するための計画手法について検討する。

2. 研究の目的

- (1) 短時間降雨強度の変化傾向を特定し、

その変化傾向が既存の都市雨水排除システムに与える影響の大きさを評価する。

(2) 現在の都市雨水排除計画理念のもとで、短時間降雨強度の変化に対応するため取りうる対策とその限界を示す。

(3) これまでの検討により明らかとなった問題を総合的またはより本質的に解消・軽減する可能性を秘めているとされる対策として、近年アメリカを中心に盛んに検討されている都市雨水排除計画理念である安全設計理念を取り上げ、それを採用した場合の可能性と限界を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 短時間降雨強度の変化傾向に関する分析 短時間降雨強度の増加は、下水道を中心とする都市の雨水排水を担う施設にとって極めて深刻な問題である。下水道施設は集水域が小さいため、雨水流出の到達時間が通常20分～1時間程度と短いうえ、流出調節機能のある大規模な滞留・貯留施設もないことから、短時間降雨強度の大きな集中豪雨がそのまま表面流出となり浸水被害をもたらすことになる。

短時間降雨強度の変化を特定するために、以下に示す二つの分析を行う。まず、一つ目は地域的な強降雨の出現傾向に関する分析で、これにより地域的な降雨量・降雨強度の変化傾向を明らかにすることが期待される。つぎに、明らかとなった降雨量・降雨強度変化の地域分布を踏まえて地点別の降雨強度の変化量を明らかにしていく。

地域的な強降雨の出現傾向を分析するため、日本全国を一つの地域として、気象庁から発表された日本全国約1300か所の31年間(1976年～2007年)の時間降雨量データを用いた。

地域的な短時間降雨強度が増加しているという結果を都市雨水排除施設の計画問題と関連付けて考えようとする場合に、次に示す二つのことが問題になる。まず、個別の都市における短時間降雨強度の変化傾向が地域の平均的な変化傾向と必ず一致するという保障が全くないことである。むしろ、日本のように国土が長く、都市によっては、その気象学・地理学的条件が大きく異なることから、降雨強度の変化傾向も大きく異なることになり、その結果、平均値(降雨強度の平均的な変化傾向)が代表的な指標としてほとんど意味をなさない可能性が強い。よって、集水域のサイズが気象スケールと比較にならないほど小さい都市排水施設にとって、地域的な平均変化傾向ではなく、その集水域を代表している雨量観測地点の短時間降雨強度の変化傾向が問題の対象とすべきである。そして、たとえ、個別の都市(地点)における短時間降雨強度の増加傾向が示されたとしても、そ

の絶対的な変化量が都市雨水排除施設の計画を考える際に有意義な規模の変化に相当するかどうか、つまり、その変化がもたらす都市水文学的影響について正確に評価する必要がある。上記の課題を念頭に、横浜市を対象都市として選び、横浜地方気象台における1955年からの40年間にわたる5分間降雨量データを用いて詳しい分析を行った。

(2) 都市浸水被害をもたらす内的要因の分析 短時間降雨強度の増加に対応するための都市排水計画において取りうる対策を検討するためにはまず、都市浸水被害をもたらす原因を明らかにしなければならない。その主な浸水要因を取り除けるような都市雨水排除対策を実施することにより、浸水被害を効果的に削減することが初めて可能となる。このような考え方のもと、以下では、まず、都市浸水被害をもたらす内的要因について分析を行う。

(3) 現行計画降雨再現期間の問題点 短時間降雨強度の増加を深刻な都市型水害の外的要因とすれば、急激な都市化の進展に伴う人口・財産の集中、都市水文環境の変化が都市型水害をもたらす内的要因になる。しかしながら、これらの内的要因と外的要因がすべてそろったところで、浸水被害が必然的に発生することになるのかといえ、論理的にそのような必然性は存在しないのである。つまり、浸水被害の発生メカニズムを考えた場合に、これらの危険要因を都市型水害という最悪の結果に確実に結び付たものとしてなにかの機構が内在しているはずで、その機構こそより重大かつより本質的な浸水発生要因となる。本件では、モデルシミュレーションにより浸水発生機構の解明を試みる。

(4) 都市雨水排除システムの計画理念に関する検討 まず、現在採用されているシビル・ミニマムという都市雨水排除システムの計画理念を見直す際に、二通りの見直し方が考えられる。一つ目は、シビル・ミニマムという計画理念の枠組みを基本的に維持し、公共インフラサービスとしての都市雨水排除システムの最低レベルの適正化を図ることで見直しを行うことである。これに対し、当然、シビル・ミニマムという計画理念の枠組みを完全に放棄し、まったく新しい計画理念を採用することで見直しを実現する方法が考えられる。

そうすると、シビル・ミニマムという計画理念以外に、どのような新しい計画理念が考えられるかについて検討する必要性が生まれる。萩原・堤(2000)、Dodds et al. (2003)およびAlejandro et al. (2005)によれば、建設投資の経済効果を最大化する計画理念、

いわゆる（経済的）最適設計理念と、安全性を徹底的に追及する安全設計理念がもっともよく議論されている計画設計理念である。以下では、これらの設計理念について詳しく見てみることにする。

まず、最適設計理念では、都市雨水排除システムの建設により得られる限界効果が、建設による限界費用を上回っている限り、建設する都市雨水排除システムの能力レベルを上げ続け（排水施設の規模を拡大させ続け）、最終的に、限界効果が限界費用と一致する都市雨水排除システムの能力レベルを計画レベルとして採用するように計画規模が決定される。このように決定された規模をもつ都市雨水排除システムを建設すれば、雨水排除システムを建設することにより得られる総効果が最大化されることになり、このことが本計画理念を経済的最適設計理念と呼ばれる由縁である。

最適設計理念では、都市雨水排除システムの建設による効果を貨幣価値に直して評価する必要がある。しかしながら、浸水による直接被害を軽減する意味において都市雨水排除システムの建設による効果が金銭評価可能であるとしても、都市雨水排除システムは、都市住民の財産だけでなく、人命も浸水から守り、衛生的な都市環境を確保し、さらに都市における文明的な生活の基盤を提供するなどの意味において、より重大で、しかも本来から期待されているより本質的な役割も果たしていることについて金銭的评价是元来不可能である。たとえ何らかの方法論でもって建設効果が評価されても、それが建設効果に対する一つの限定的な見方に過ぎず、最適設計理念において想定した建設効果とは異なるものである。金銭評価された建設効果が真の建設効果の近似値であるという見方もあるが、近似誤差（近似精度）が明確に評価できないことから、近似値として見るべきではない。以上のことをまとめると、最適設計理念は、その基本的考え方は非常に明瞭かつ合理的であるが、その操作性には乗り越えられない重大障害が内包されており、実践的計画理念としては検討対象にはなりにくい。

つぎに、安全設計理念について考える。安全設計理念では、都市域について人間活動が行われる以前の、いわば原始的な状態を想定して、現在の都市雨水流出先となった河川や地下水などの公共用水域において原始状態の水文環境を完全に回復・再現させるように、言い換えれば、都市域における人間活動がその地域の水文環境に与えた影響をほぼ完全に打ち消すように、都市雨水排除システムの計画レベルが決定される。この計画レベルの決定プロセスから分かるように、安全設計理念でいう「安全」は、都市住民の生命も財産

も守るという、人間を中心に見た安全性ではなく、水文環境がほぼ完全に守られていることで生態系の安全性が確保されている意味になる。当然のことながら、安全設計理念は、都市排水施設の水量関連の計画にも水質関連の計画にも適応可能であり、しかも、水量水質両方の計画に同時に適用されて初めて真の意味において安全設計の理念が実現されたことになる。また、安全計画設計を行う際、現在の都市域において、人間活動が開始される前の水文環境さえ特定できれば、あとは、都市域における水量水質のシミュレーションモデルを用いれば、計画設計が可能となり、計画理念として操作性には問題がない。ちなみに、人間活動が開始される前の水文環境を特定するためには、基本的に土地利用の情報だけが必要であり、新興都市では土地利用の資料が入手できる場合が多く、古くから形成されている都市では地理または地質的条件を手掛かりに、類似の条件を持つ地域と比較することによりその水文環境を推測することは可能である。

これまで、都市雨水排除システムの計画理念としてよく考えられるものについて説明したが、ここで、本節の最初で述べた一つ目の計画理念、つまり、シビル・ミニマムの計画理念の枠組みを維持しながらミニマムレベルとしての都市排水システムの計画レベルの適正化を図る方法について、もう一度考えてみることにする。ミニマムレベルに相当する計画レベルの適正化を図るためには、当然適正化の基準が必要になる。その基準を設定することが計画理念を設定することと何ら変わりもないのである。たとえば、効率性を適正化の基準とすれば、計画レベルの適正化が自動的に最適設計理念を採用したことを意味し、生態系の安全性を最優先することを適正化の基準とすれば安全設計理念を採用したことになる。よって、計画レベルの適正化は、明確な適正化基準が伴わないかぎり、理念なき計画設計理念であり、実践的な計画設計理念にはなりえないことが分かる。

なお、安全設計理念の有効性を実証するために、モデルシミュレーションを行った。

4. 研究成果

(1) 短時間降雨郷土の変化 まず、地域的な変化として、最大時間降雨強度が 50mm/h を超えた降雨の数が増加傾向にあることを明らかにした。ちなみに、日本の多くの都市における現行の雨水排除施設の計画降雨強度がおおよそ 50mm/h であり、これを超えた降雨強度を超過降雨といい、それが出現した場合には、特別な対策（超過降雨対策）が取られていないかぎり、浸水被害が発生することとなる。また、同様な増加傾向がより強い降雨についても認められるかを調べるために、前

述の降雨データをもとに、最大時間降雨強度が80mm/hを超えた降雨の数を1000か所あたりの数に直して比較した結果、これも明らかな増加傾向を示した。ちなみに、降雨強度80mm/hの降雨は日本の主な都市における再現期間100年の降雨とほぼ同規模のものである。さらに分かりやすく言うと、世界中で現在考えられている都市雨水排除施設での排除対象降雨（内水被害対策目標）としては再現期間100年規模の降雨が一つの上限として一般的に位置付けられている。

地点別の降雨変化については、横浜市での詳細分析結果から継続時間20分を中心に、継続時間1時間未満の短時間降雨強度が、入手できたデータ期間（1955年から1994年までの40年間）において増加したことが明確に示された。

(2) 短時間降雨強度の増加による影響 日本の主な都市における都市雨水排除施設の計画降雨の規模は、時間降雨50mm程度である。たとえば、横浜市の現行計画では、計画降雨が、再現期間5年で最大時間降雨強度47mm/hとなっている。この降雨規模に対し、15mm/h近くの降雨強度の増加が単純に30%以上の増加を意味し、既存の都市雨水排除施設に与える影響は、浸水シミュレーション結果を持ち出すまでもなく、甚大であることが容易に想像される。さらに、注目すべきこととして、時間降雨強度でみた場合に、将来計画における計画降雨の規模(58mm/h)でさえ、現行計画（再現期間5年）の降雨強度に対する増加を吸収しきれない。このことは、将来計画における都市雨水排除対策がすべて完全に実施されても、同市における浸水被害が軽減されることもなく、むしろ悪化するという危険な傾向にあることを意味する。

(3) 都市浸水被害の原因分析 浸水の発生との関係についていえば、短時間降雨強度の増加は外的要因、または誘因に相当し、これに対して、都市化および都市化に伴う都市水文環境の変化は内部要因、または条件に相当するものであり、いずれも浸水被害発生 of 直接的な原因、または主因ではない。日本の浸水被害をもたらした直接的な原因は日本の都市雨水排除システムの計画理念にあること、具体的には、日本で今も採用されているシビル・ミニマムという都市雨水排除システムの計画理念は、短時間降雨強度の観点からみても、水文環境や都市住民の生活レベルまたは要望からみても、あるいはアメリカと比較してみても、能力的に不十分な都市雨水排除システムを作ってしまった。都市排水システムに代表されるような、能力的に不十分な公共施設を作りつづけることが、公共投資に求められる効率性の観点からは非常に問題であ

る。

(4) 安全設計理念の有効性 モデル流域でのシミュレーション結果が安全設計理念の有効性を示した。まず、安全設計理念は、地域本来の自然な水文環境の回復を目標に考案されたもので、自然との共生を図り、持続可能な都市生活を実現するという、現在多くの先進都市で追求されている都市計画の理念とも完全に一致するものである。つぎに、安全設計理念の基本枠組みが大変柔軟で、多様な開発または整備オプションを同時に扱うことが可能である。たとえば、都市水文環境にマイナスな影響を及ぼしそうな開発計画があれば、その影響を打ち消すような都市水文環境整備を同時に実施するように対応することが、安全設計理念の枠組みにおいて許容されている。また、安全設計理念は、操作性に富んでおり、これに基づいた計画設計が簡単で分かりやすく、住民への説明責任が強く求められている時代状況を考えれば、都市雨水排除システムの計画に責任を持つ行政にとっては非常に頼れる計画理念といえる。さらに、安全設計理念は、水量の計画だけでなく、水質の計画にも適用でき、従来の雨水計画において面源負荷対応など水質計画がほぼ抜け落ちている問題を解消し、水量計画と同一の計画理念のもとで面源対策などの水質計画の作成が可能となる。最後に、安全設計理念は、従来採用されてきたどの計画理念とも完全に整合性がとれる。つまり、いずれの設計理念で計画された施設についても、安全設計理念に基づいてその能力の過不足を再評価することができ、その結果、いずれの計画設計理念で計画された施設のアップグレードや更新計画も、安全設計理念に基づいて行うことが可能である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 張昇平：都市雨水排除計画における安全設計理念に関する水文学的検証、都市情報学研究、No. 15, 15-27, 2010.
(査読あり)
- ② Jie Qi, S.P. Zhang: Homogeneous Versus Hybrid: Discourses on Japanese Language Education for Foreigners, Electronic Proc. Of 2011 Annual Meeting of AERA, Vol. 1, 802-831, 2010.
(査読あり)
- ③ S.P. Zhang: Water Resources

Distribution and Sustainable
Development in China, 環境資源工
学、Vol.55, No.4, 212-218, 2008.
(査読あり)

[学会発表] (計2件)

- ① Jie Qi, S.P. Zhang: Homogeneous Versus Hybrid: Discourses on Japanese Language Education for Foreigners, 2011 Annual Meeting of AERA, April 9, 2010, New Orleans, USA.
- ② Jie Qi, S.P. Zhang: Globalization and Educational Reform in Contemporary Japan, APERA Annual Conference, November 27, 2008, Singapore.

[図書] (計1件)

- ① 張昇平他多数: 水と緑の計画学、京都大学学術出版会、2010. 975頁。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

張 昇平 (SHENG PING ZHANG)
名城大学・都市情報学部・教授
研究者番号: 90278333