

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属		役職
	佐藤 慎司 (さとうしんじ)	東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻		教授
②研究テーマ	名称	沿岸低平地における河川，下水道，海岸のシームレスモデルに基づく 実時間氾濫予測システムの構築		
	政策領域	[分野] 水防災技術分野	融合技術	河川工学，都市工学，海岸工学
		[公募課題] 都市等流域の浸水状況の 予測等に関する技術研究開発		
③研究経費 (単位: 万円)	平成24年度	平成25年度	平成26年度	総合計
※端数切り捨て。	1,602	1,705	1,693	5,000
④研究者氏名				
氏名		所属・役職 (※平成27年3月31日現在)		
古米 弘明		東京大学大学院工学系研究科・教授		
田島 芳満		東京大学大学院工学系研究科・教授		
渋尾 欣弘		東京大学大学院工学系研究科・特任助教		
佐貫 宏		東京大学大学院工学系研究科・特任研究員		
李 星愛		東京大学大学院工学系研究科・特任研究員		
吉村 耕平		東京大学大学院工学系研究科・特任研究員		
⑤研究の目的・目標				
<p>沿岸部に位置する都市等流域における浸水・氾濫予測には、既往の流出氾濫モデルに下水道システム、排水ポンプによる排水機能や沿岸部の水理特性をシームレスに統合した実時間解析モデルの構築が必要不可欠である。本研究の目的は各要素モデルの課題を解決し、各要素モデルを統合して、Common-MP上に登録可能なシステムを開発すること、さらに構築したモデルを都市化河川の代表として諸データの蓄積が豊富で、津波や高潮の影響も考えられる鶴見川に適用し、実時間浸水予測の性能を評価することとする。また構築するシステムの情報提供に関する要求性能としては、比較的リードタイムの長い洪水・高潮時には水位センサ等によるリアルタイムデータによるフィードバックも含めた氾濫域情報をリアルタイムで提供できることとし、リードタイムが短い津波に対しては、予め実施したシナリオベースの分析結果によるデータベースから適宜情報提供を行える様にする。また、本研究では、氾濫時における浸水・排水解析に基づき、氾濫対策事業としてモデル化されている多目的遊水地と下水道雨水貯留幹線等による氾濫軽減効果を試算・検証して、効率的な施設運用による浸水対策結果を紹介することも目的の一つである。</p>				

⑥研究成果

1. 研究の背景・目的

沿岸部都市等の流域における浸水・氾濫予測には、河川、下水道、海岸における各要素モデルの統合化が必要である。また、市街地の氾濫は低頻度事象であるため、連鎖的に発生する現象のすべてを正確に予測することは困難であり、観測された条件の変化に柔軟に対応してリアルタイムに浸水・氾濫を予測・修正し、これを水防活動や避難などに活用することが重要となる。河川、下水道、海岸における水理解析は、これまでもモデルの開発と高精度化が進められており、NILIM2.0や商用ソフトの開発も進んできている。しかしながら、実時間予測に活用するにはモデルの柔軟性と計算時間の面で改良が必要である。

本研究は、鶴見川流域を対象地域として、流域、河道、下水道、沿岸水理に関するサブモデルを氾濫モデルを介してシームレスに結合することにより、それぞれの氾濫因子（図-1）を考慮した氾濫予測モデルを構築し、氾濫因子の予測値に基づく実時間氾濫予測システムの開発を目的とした。

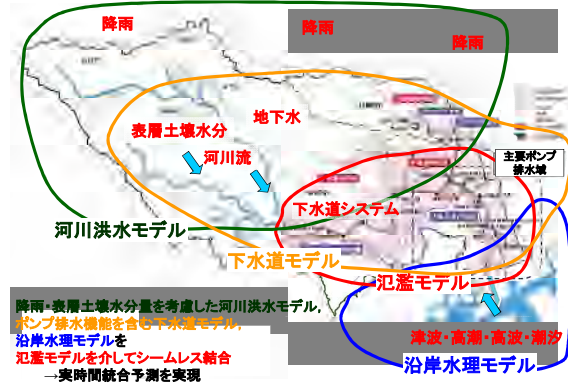


図-1 内水・外水氾濫因子とサブモデル

2. 研究内容と実施体制

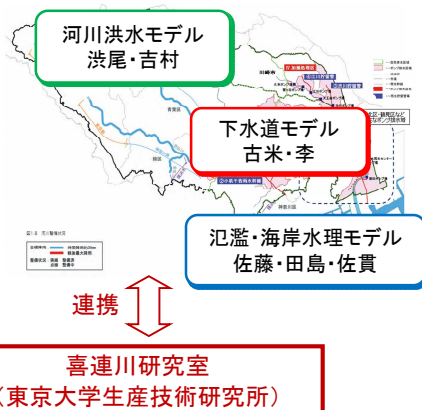
本研究は、平成 24～26 年度の 3 か年計画であり、

- (1)要素モデルの構築・検証・高速化
- (2)要素モデルのシームレス結合
- (3)ケーススタディと情報提供システムの構築

が主要な研究内容である。平成 24 年度では、主に各要素モデルの構築・検証・高速化に関する取組みを行った。平成 25 年度では、①シームレス結合スキームの実装、②統合モデルによる試験計算について実施した。最終年度の平成 26 年度では、①ケーススタディによるモデル検証、②フィードバックシステムの検討、③情報配信システムの構築について実施し、全体の研究成果を取り纏めた。

なお、大学ではシームレス研究会を組織し、各メンバーが密接に連携して研究を遂行した（図-2）。下水道に関しては、横浜市および日本上下水道コンサルタント協会とコンソーシアムを開催し、実務への研究展開を図った。また、関係各所（国交省、国総研、京浜河川事務所等）と意見交換会を定期的開催し、情報交換を行った。情報提供システムの構築にあたっては、喜連川研究室（東京大学生産技術研究所）との連携を図った。

■シームレス研究会



■下水道モデルコンソーシアム



図-2 研究実施体制

3. 研究成果

(1) シームレスモデルの構築

本研究では、流域、河道、下水道、沿岸水理に関するサブモデルをシームレスに結合し、それぞれの氾濫因子とその予測値に基づく実時間の氾濫予測モデル（シームレスモデル、図-3）を構築した。

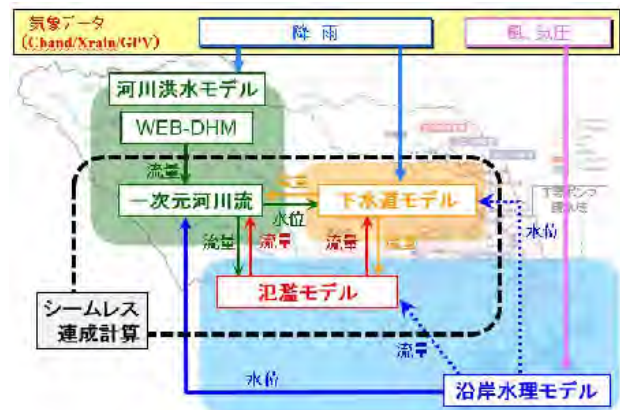


図-3 シームレスモデルの模式図

(2) 下水道ランピングモデルの構築

鶴見川流域における詳細な下水道管渠データについて整備した（図-4）。また、下水道流出計算の高速化のためのランピングモデルとその適切な構築方法について提案し（図-5）、精度よく流出現象を再現するための非線形貯留池モデル中のパラメータ補正方法を一般化した（図-6）。さらに、ポンプモデルを流量制限モデルで代替する方法も計算高速化に有効であることを示した。



図-4 鶴見川流域の下水道管渠データ

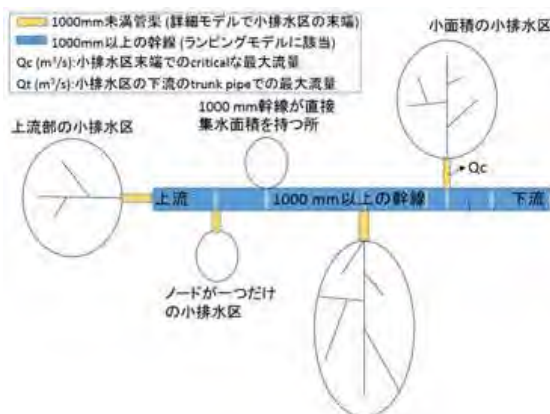


図-5 ランピングモデルと小排水区概念図

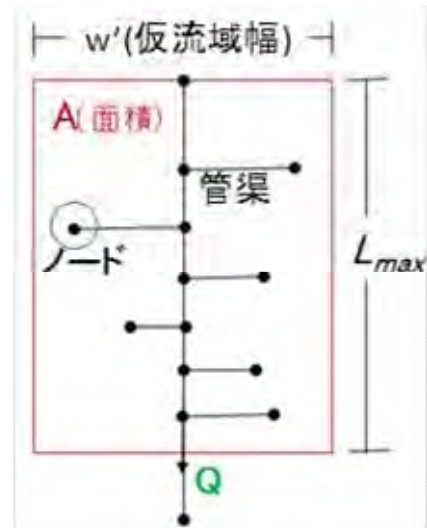


図-6 小排水区と属性地の模式図

(3) ケーススタディ

1) 過去の出水に対する再現計算

2014年10月6日に発生した大規模出水を対象に再現計算を実施し、河道水位、浸水状況、洪水調節施設による貯留量実績等からシームレスモデルの妥当性を検証した(表-1)。

表-1 洪水調節施設による貯留量(m3)の再現結果

貯留量\施設名	多目的遊水地	新羽末広幹線
実績値	1,536,000	380,000
計算値 (Cband入力)	1,667,000	373,000
計算値 (Xband入力)	1,852,000	384,100

2) 極端な降雨条件に対するケース

上記出水時の降雨条件をベースとして、その1.5~2倍の極端な降雨条件を設定し、その条件下での氾濫範囲について算出した。特に、降雨条件を2倍としたケースでは、河川からの越流により浸水する結果が得られた(図-7)。

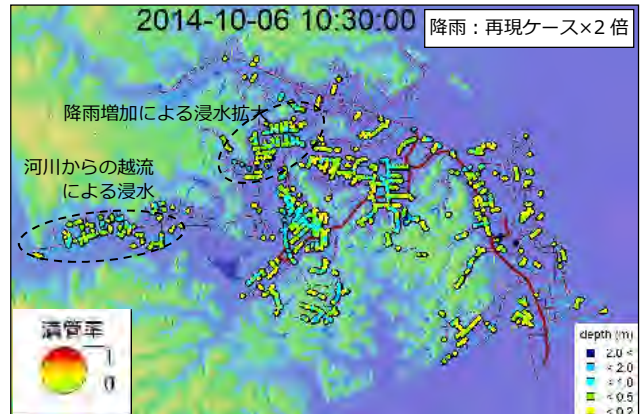


図-7 浸水解析結果(極端な降雨条件のケース)

3) 降雨および高潮が作用するケース

降雨に高潮を加味した複合外力作用下での氾濫範囲についても算出した。東京湾の計画高潮位(=偏差3m)を想定したケースでは鶴見川河口付近のエリアで浸水範囲が拡大した(図-8)。

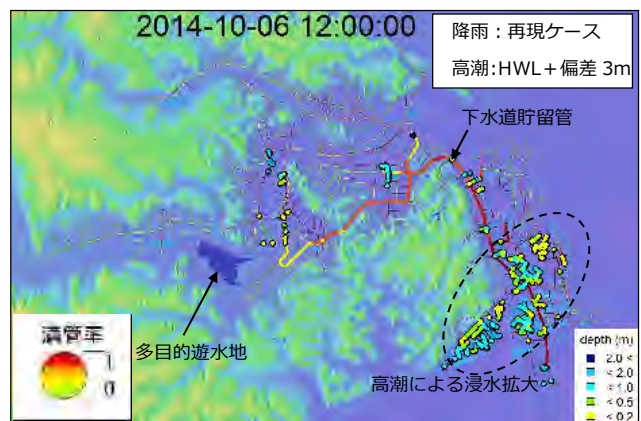


図-8 浸水解析結果(降雨+高潮のケース)

4) ランピング手法による効果検証

ランピング手法により構築した下水道内水氾濫モデルについて、計算結果の比較し精度を検証した。ランピングにより浸水状況は概ね再現でき(図-9)、流出量については詳細モデルに比べやや安全側に評価された(図-10)。計算速度はランピングの条件等によって8~114倍に高速化された。

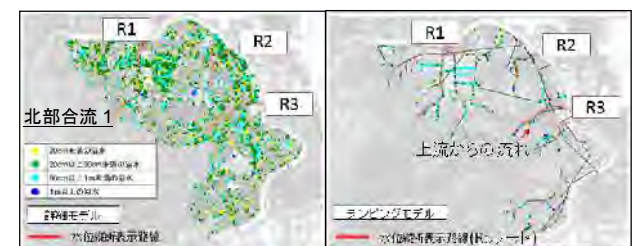


図-9 詳細モデルとランピングモデルによる溢水状況の比較

5) 都市浸水対策事業による氾濫軽減効果

2014年10月の再現計算をベースに、具体的な都市浸水対策事業による氾濫軽減効果について試算した。

多目的遊水地の場合、約90cmの河道水位低減効果となった(図-11)。また、下水道貯留管の場合、降雨条件が極端なほど氾濫軽減効果が発揮された。

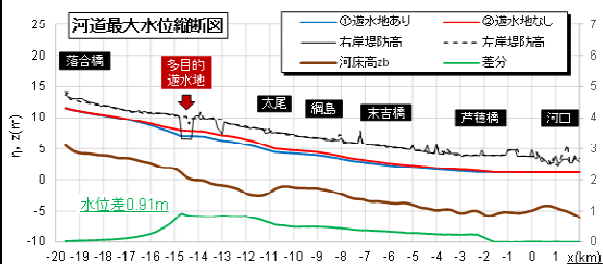


図-11 河道水位に対する多目的遊水地の効果

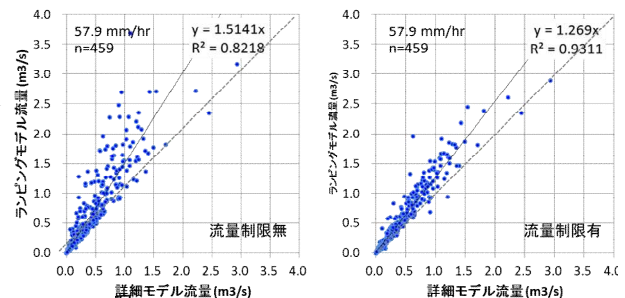


図-10 ランピングモデルによる計算精度の比較

6) 数値予報GPVを用いた浸水予測計算

数値予報GPVを用いた浸水予測計算を基に、実時間浸水予測モデルとしてのシームレスモデルの検証を行い、入力降雨の精度において課題を確認した。

(4) フィードバックシステムの検討

現在、利用可能な落合橋地点の観測流量を用い、計算流量をフィードバック補正する方法を検討した。定率方式および差分方式の2つについて検討したところ、双方とも出水ピークの時間帯の補正流量にばらつきがみられた(図-12)。効果的なフィードバック手法については検討の余地を残した。

(5) 情報提供システムの構築

1) 提供情報に関する検討

行政担当者との意見交換を踏まえ、対象者毎に必要な情報を抽出し(表-2)、統合モデルによる氾濫解析結果と照らし合わせて、提供する情報の内容や頻度について検討を行った。

2) 情報提供システムの構築

対象者毎に必要な情報について、リアルタイムで提供可能なシステムを構築した(図-13)。システムの構築にあたってはシームレス化された各要素モデル群との連携を行い、自動実行に関する検討を行った。リードタイムが短い津波については、事前計算結果を提供する方法について検討を行った(山中ら、2014)。また、情報提供システムの構築にあたって、汎用性の高いUNIX互換OSでの動作を想定し、必要に応じてWindows系OS上での動作も考慮した。

3) 計算結果の可視化

情報提供システムの構築にあたっては、ツールの汎用性を考慮し、開発した独自の可視化ツールを用いて統合モデルでの計算結果に関する時系列情報や空間情報を分かりやすく可視化し、WEB表示システムを作成した(図-14)。

(6) 研究成果とりまとめ

研究成果のとりまとめを行い、他流域に本研究で構築した統合モデルを適用する場合の方法・手順や留意点等を整理した。

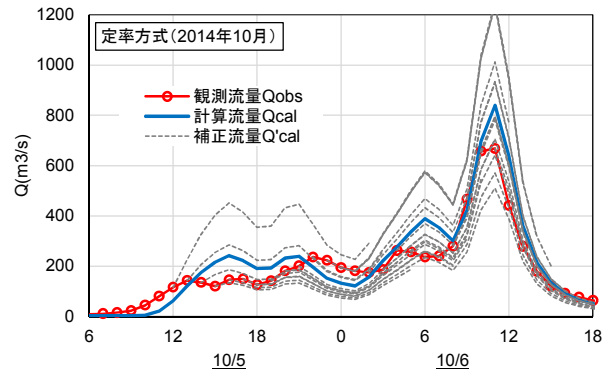


図-12 計算流量のフィードバック補正結果(定率方式)

表-2 対象者毎の提供情報に関する整理

	河川	下水道	港湾	防災部局	市民
降雨(実績・予測)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
河川流量	<input type="checkbox"/>				
河川水位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
河口水位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
地下貯留管効果		<input type="checkbox"/>			
遊水地貯留効果	<input type="checkbox"/>				
ポンプ排水量	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
内水氾濫発生箇所				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
越流発生箇所	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
氾濫予測時刻	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
時系列予測情報	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

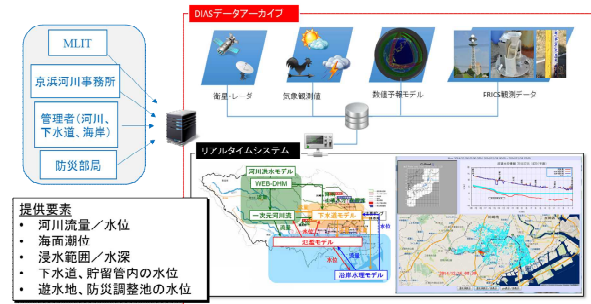


図-13 情報提供システムの概念図

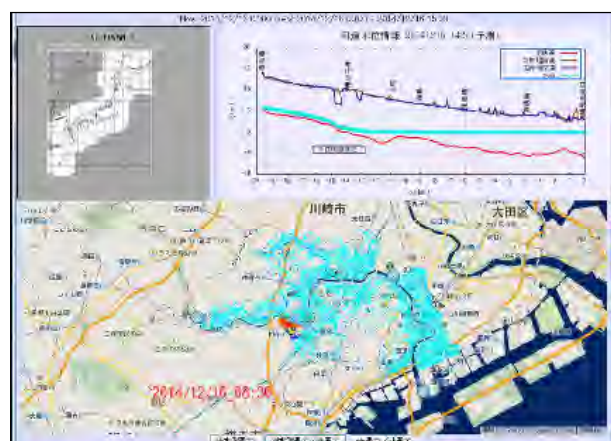


図-14 浸水予測情報のWEB表示

⑦研究成果の発表状況

■これまでに発表した代表的な論文

- 1) 洪尾欣弘・生駒栄司・Oliver C.SAAVEDRA V.・Lei WANG・Petra KOUDELOVA・喜連川優・小池俊雄：リアルタイムアンサンブル洪水予測実用化システムの開発、第58回水工学講演会、2013
- 2) 吉村耕平・田島芳満・佐貫 宏・洪尾欣弘・佐藤慎司・小池俊雄：低平地都市河川におけるリアルタイム洪水シミュレーションモデルの開発、第58回水工学講演会、2013
- 3) 寺口敏生・李 星愛・古米弘明：豪雨時における流出特性評価を目的とした小排水区の類型化、第50回下水道研究発表会、2013
- 4) 李 星愛・寺口敏生・古米弘明：都市浸水解析計算の高速化を目的としたランピング手法の検討、第50回下水道研究発表会、2013
- 5) Hiroshi SANUKI, Yoshimitsu TAJIMA, Harry YEH and Shinji SATO : Dynamics of the tsunami flooding to the river basin, Coastal Dynamics 2013
- 6) 佐貫 宏・竹森 涼・田島芳満・佐藤慎司：ビデオ映像と数値シミュレーションに基づく河川津波の氾濫解析、第60回海岸工学講演会、2013
- 7) 佐貫 宏・高川智博・田島芳満・佐藤慎司：流向に着目した2011年東北地方太平洋沖地震津波の挙動解析、第60回海岸工学講演会、2013
- 8) 濱田佳大・佐藤慎司・田島芳満・劉 海江・佐貫 宏：静岡県馬込川における2009年台風18号による高潮遡上の実態、第60回海岸工学講演会、2013
- 9) 水橋光希・田島芳満・佐藤慎司・佐貫 宏：地下管路との水の流入出を考慮した津波氾濫モデルの構築、第60回海岸工学講演会、2013
- 10) 李星愛・古米弘明：浸水解析における排水区集約化に伴う表面流出モデル係数の調整に関する統計的手法、第51回下水道研究発表会講演集、2014
- 11) 遠藤雅也・古米弘明：雨水流出解析モデルにおける排水区集約化による計算の高速化と商用モデルの比較、第51回下水道研究発表会講演集、2014
- 12) 山中悠資、佐藤慎司、田島芳満、下園武範、佐貫 宏：線形ブシネスク理論に基づく高速津波計算システムの構築、第61回海岸工学講演会、2014
- 13) 深沢壮騎、佐貫 宏、田島芳満：木戸川河口部における津波映像分析と数値モデルに基づく津波の河川遡上の特性分析、第61回海岸工学講演会、2014
- 14) 山本健吾、佐々木勇弥、佐貫 宏、下園武範、田島芳満、佐藤慎司：天竜川河口部における砂州の変形と水理特性に関する現地観測、第61回海岸工学講演会、2014
- 15) Hiroshi SANUKI, Tomohiro TAKAGAWA, Yoshimitsu TAJIMA, and Shinji SATO : Analysis of flooding directions of the 2011 Earthquake Tohoku Tsunami, ICCE 2014
- 16) Yusuke Yamanaka, Nanae Kita, Yoshimitsu Tajima, Takaaki Kato : Sensitivity Analysis of Damages around Katsushika Ward, Tokyo, Dependent on Locations of Levee Breach along the Arakawa River, International Alliance for Sustainable Urbanization and Regeneration, 2014.

■国際会議、学会等における発表状況

ICCE、EGU、海岸工学講演会、水工学講演会、下水道研究発表会 他

■研究発成果としての事業化、製品化などの普及状況

複合外力による内水・外水氾濫解析が可能なシームレスモデルが完成し、実運用化に向けて、モデル予測値をウェブ上でリアルタイム発信可能なプロトタイプが完成した。

■企業とのタイアップ状況

下水道内水氾濫予測については、横浜市と全国上下水道コンサルタント協会および東京大学による、下水道氾濫解析のためのアドホックな研究コンソーシアムを構築した。この研究会組織を活用して、下水道データの共有を基軸に、多様な下水道モデルによる下水道内水氾濫解析の事例を収集できる仕組みとした。

⑧研究成果の社会への情報発信

なし

⑨表彰、受領歴

なし

⑩研究の今後の課題・展望等

本研究では、高速かつ十分な精度を有するモデル構築が実現できたが、実データによるフィードバックシステム等の幾つかの課題と、実務への利用へ向けて継続的な研究開発が望まれる。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

本研究で開発したシームレスモデルは、構成する要素モデルから適用範囲の広さが特徴的であり、本モデルのように広範囲を高速かつ高精度に予測できる一体解析モデルは他にあまり例がないと考える。本研究では鶴見川流域を対象としたが、モデルの汎用性から、他流域への適用も十分可能である。その際、適用する流域のスケールや入手可能なデータによって、計算速度や計算精度に制約が出る可能性もあるものの、解析にあたっての手順はほぼ共通と考えている。本研究で得られた成果は、さまざまな流域の計画、管理、防災に関わる意思決定に大いに役立つものと考えている。