



井 上 和 也 名 譽 教 授

井上和也教授略歴

(学歴・職歴)

昭和 16 年 9 月 18 日	京都市に生まれる
35 年 3 月	京都市立紫野高等学校卒業
35 年 4 月	京都大学工学部土木工学科入学
39 年 3 月	京都大学工学部土木工学科卒業
39 年 4 月	京都大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程入学
41 年 3 月	京都大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了
41 年 4 月	京都大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程進学
43 年 3 月	京都大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程中途退学
43 年 4 月	京都大学工学部助手
45 年 4 月	京都大学工学部講師
46 年 3 月	京都大学工学部助教授
平成 4 年 6 月	京都大学防災研究所教授 (湾域都市水害研究部門)
8 年 5 月	京都大学防災研究所教授 (水災害研究部門都市耐水分野)
15 年 5 月	京都大学防災研究所長

(学会・委員等歴)

昭和 54 年 5 月	土木学会関西支部商議員 (昭和 56 年 4 月まで)
昭和 56 年 6 月	土木学会水理委員会委員 (平成 2 年 5 月まで)
昭和 62 年 6 月	土木学会論文集編集委員 (平成 2 年 5 月まで)
平成 10 年 7 月	国土技術研究センター 湖沼技術研究会委員
平成 13 年 5 月	河川環境管理財団 河川整備基金運営委員会委員
平成 13 年 5 月	建築防災協会 地下空間における浸水対策検討会委員 (平成 14 年 3 月まで)
平成 13 年 6 月	国土技術研究センター 都市型水害対策検討委員会委員長 (平成 15 年 3 月まで)
平成 13 年 7 月	国土交通省 独立行政法人評価委員会臨時委員
平成 14 年 5 月	大阪府 都市型水害対策検討委員会委員長
平成 15 年 5 月	建築防災協会 地下街等浸水避難計画策定手法検討会委員 (平成 16 年 3 月まで)
平成 15 年 6 月	京都市 防災会議専門委員

井上和也 研究業績

論文

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1967	開水路流れの自由表面上における固体粒子の拡散特性について	第 11 回水理講演会講演集, 土木学会水理委員会, pp.71-76	岩佐義朗・今本博健・白砂孝夫
1970	Interfacial Mixing in Two-layered System of Fresh and Salt Waters	京都大学工学紀要, 第 32 巻 1 号, pp.23-31	Yoshiaki Iwasa
1970	Hydraulic Efficiency of Flood Detention Pools Evaluated by Means of Mathematical Simulation	京都大学工学紀要, 第 32 巻 3 号, pp.297-306	Yoshiaki Iwasa, Yoshiaki Tsunematsu
1971	Systems Simulation of Stream Flows, Systems Approach to Hydrology	Proc. 1st Bilateral US-JAPAN Seminar in Hydrology, Water Resources Pub., Fort Collins, Colo., USA, pp.226-242	Yoshiaki Iwasa, Yoshiaki Tsunematsu
1972	Thermal Stratification of Water in a Reservoir Connected with a Pumped Storage Reservoir	Proc. International Symposium on Stratified Flows, IAHR, Novosibirsk, Vol. 1, pp.237-249	Yoshiaki Iwasa
1973	Hydraulic Effects of Outlets on thermally Stratified Flows	Proc. 15th IAHR Congress, Vol. 4, Series D6, pp.43-52	Yoshiaki Iwasa, Masato Noguchi
1973	ダム貯水池の成層化過程	京都大学防災研究所年報, 第 16 号-B, pp.495-503	岩佐義朗・野口正人
1973	ダム貯水池の成層化と取・放水の影響	第 17 回水理講演会講演集, 土木学会水理委員会, pp.1-5	岩佐義朗・野口正人
1974	洪水流の数値シミュレーションに関する一考察	第 18 回水理講演会講演集, 土木学会水理委員会, pp.109-114	岩佐義朗
1975	Numerical Simulation of Floods by Means of Various Methods	Proc. International Symposium on Unsteady Flow in Open Channels, Newcastle-upon-Tyne, pp.k2.17-k2.25	Yoshiaki Iwasa
1976	開水路非定常流の数値計算法について	京都大学防災研究所年報, 第 19 号 B-2, pp.187-200	岩佐義朗・片山 猛
1978	不定流の数値計算法の洪水問題への適用	第 22 回水理講演会講演論文集, 土木学会水理委員会, pp.233-238	岩佐義朗・宮井 宏
1978	琵琶湖南湖の湖流と拡散に関する数値シミュレーション	京都大学防災研究所年報, 第 21 号 B-2, pp.293-305	岩佐義朗・足立敏之
1980	氾濫水の水理の数値解析法	京都大学防災研究所年報, 第 23 号 B-2, pp.305-317	岩佐義朗・水鳥雅文
1981	特性曲線法による二次元平面流れの数値解析法に関する 2, 3 の検討	京都大学防災研究所年報, 第 24 号 B-2, pp.387-396	岩佐義朗・吉田英信

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1981	Mathematical Simulation of Flood and Overland Flows	Proc. International Conference on Numerical Modelling of River, Channel and Overland Flow for Water Resources and Environmental Applications, Bratislava, IAHR, pp.1-12	Yoshiaki Iwasa
1982	河口感潮域の流れと拡散の数値シミュレーション	京都大学防災研究所年報, 第 25 号 B-2, pp.585-596	岩佐義朗・田中 靖
1982	Mathematical Simulation of Channel and Overland Flood Flows in View of Flood Disaster Engineering	Journal of Natural Disaster Science, Vol.4, No.1, pp.1-30	Yoshiaki Iwasa
1983	琵琶湖湖流の三次元的な解析	京都大学防災研究所年報, 第 26 号 B-2, pp.531-542	岩佐義朗・劉 樹坤・阿部 徹
1984	Plane Multi-Layered (or Three-Dimensional) Flow Analysis for Lake Biwa	Hydrosoft'84, Hydraulic Engineering Software, Elsevier, pp.2.3-2.16	Yoshiaki Iwasa
1984	Numerical Effect of Non-Linear Convective Terms on Two-Dimensional Flood Flows Invasion Analysis	Hydrosoft'84, Hydraulic Engineering Software, Elsevier, pp.2.17-2.28	Yoshiaki Iwasa
1985	三次元解析法による琵琶湖湖流に関する二、三の検討	第 29 回水理講演会論文集, 土木学会水理委員会, pp.751-756	岩佐義朗・松岡隆之
1985	Mathematical Simulation of Plane and Multi-layer Flows in a Large and Deep Lake	Proc. 21st IAHR Congress, Vol.2, pp.255-259	Yoshiaki Iwasa
1986	大川における塩分遡上の解析について	京都大学防災研究所年報, 第 29 号 B-2, pp.539-548	岩佐義朗・吉村義朗
1986	Large Eddy Simulation of a Shear Driven Flow in a Test Reservoir	Hydrosoft'86, Hydraulic Engineering Software, Proc. 2nd International Conference, Southampton, pp.209-218	Marko Ivetic, Yoshiaki Iwasa
1987	Numerical Analysis Two-Dimensional Free Surface Flow by Means of Finite Difference Method and its Applications to Practical Problems	Proc. ROC-JAPAN Joint Seminar on Water Resources Engineering, Taipei, pp.171-190	Yoshiaki Iwasa, Naoki Matsuo
1987	Comparative Study of Flood-Runoff Analysis in View of Disaster Research	Proc. US-ASIA Conference on Engineering for Mitigating Natural Hazards Damage, Bangkok, Thailand, pp.B12.1-B12.12	Yoshiaki Iwasa
1988	湖沼における大規模流れの水理学的研究および数値解析手法の検討	第 32 回水理講演会論文集, 土木学会水理委員会, pp.293-298	申 輝華・岩佐義朗
1988	湖の流れの数値解析に関する基礎的研究	京都大学防災研究所年報, 第 31 号 B-2, pp.575-588	申 輝華・岩佐義朗
1988	The Hydrodynamics of Lake Flows in View of Numerical Simulation Method	Proc. 6th Congress of Asian and Pacific Regional Division of IAHR, Kyoto, Vol.III, pp.217-224	Yoshiaki Iwasa, Huihua Shen

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1988	Operator Splitting Based Method for Numerical Simulation of Turbulent Flow in Lakes	Proc. 6th Congress of Asian and Pacific Regional Division of IAHR, Kyoto, Vol.III, pp.225-232	Marko Ivetic, Yoshiaki Iwasa
1989	Large Eddy Simulation for Large Water Bodies	Proc. International Conference on Computational Modeling and Experimental Method in Hydraulics, Dubrovnik, Yugoslavia, (Supplement), pp.1-12	Yoshiaki Iwasa
1989	2-D and 3-D Mathematical Models for Flood Analysis	Proc. Japan-China(Taipei) Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation, pp.475-484	Yoshiaki Iwasa
1990	Three-Dimensional Analysis of the Lake Biwa and Their Characteristics	Proc. 7th Congress of Asian and Pacific Regional Division of IAHR, Beijing, China, Vol.III, pp.239-244	Huihua Shen, Yoshiaki Iwasa
1990	魚道の呼び水効果に関する数値解析について	Proc. of the International Symposium on Fishways, Gifu, Japan, pp.499-504	為沢長雄・竹林征三
1992	氾濫水の地下空間への浸入過程に係る水理現象について - 管路・開水路流れの境界面の伝播解析 -	第 36 回水工学論文集, 土木学会水理委員会, pp.317-322	細田 尚・岩佐義朗
1992	沿岸水域における埋立が河口からの洪水流出に及ぼす影響の解析	京都大学防災研究所年報, 第 35 号 B-2, pp.153-167	岩佐義朗・木下昌樹
1993	3次元モデルによる塩水遡上の解析	水工学論文集, 第 37 巻, 土木学会水理委員会, pp.319-324	田中正博
1993	流木群の流動に関する研究 (2)-流木群の堰止め-	京都大学防災研究所年報, 第 36 号 B-2, pp.487-498	中川 一・池口正晃・坪野考樹
1993	管路・開水路流れの境界面の伝播を考慮した非定常流の数値解析法	京都大学防災研究所年報, 第 36 号 B-2, pp.595-607	細田 尚・多田彰秀
1993	河口感潮域における塩水侵入の解析	京都大学防災研究所年報, 第 36 号 B-2, pp.411-423	田中正博・坂口拓史・西澤賢太郎
1993	Numerical Simulation of Flooding in Cities in the Osaka Bay Area Due to Storm Surge	Proc. 3rd ROC-JAPAN Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation, pp.105-116	Hajime Nakagawa, Kazuhito Shimamoto
1993	流木群の流動と堰止めに関する研究	水工学論文集, 第 38 巻, 土木学会水理委員会, pp.543-550	中川 一・池口正晃・坪野考樹
1994	沿岸域における河川流出水の拡がりについて	京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-2, pp.489-500	坂口拓史・古寄裕三
1994	流木群の流動に関する研究 (3)-流木の回転を考慮した解析-	京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-2, pp.459-474	中川 一・池口正晃
1994	管路・開水路の境界面の伝播を伴う急変非定常流の解析法に関する基礎的研究	土木学会論文集, No.503, II-29, pp.89-97	細田 尚・多田彰秀・北原政宏

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1994	Numerical Analysis of Overland Flood Flows by Means of One- and Two-Dimensional Models	Proc. 5th JSPS-VCC Seminar on Integrated Engineering, pp.388-397	Hajime Nakagawa, Keiichi Toda
1995	台風特性の感度分析による大阪湾域部での高潮氾濫域の変化	水工学論文集, 第 39 巻, 土木学会水理委員会, pp.453-457	中川 一・島本和仁・上塚哲彦
1995	沿岸域における河川流出水の拡がりの解析(その 2)	京都大学防災研究所年報, 第 38 号 B-2, pp.465-476	古寄裕三・豊田政史
1995	大阪湾における高潮とその氾濫に関する研究	京都大学防災研究所年報, 第 38 号 B-2, pp.477-500	中川 一・島本和仁・武田 誠・上塚哲彦
1995	レベルモデルを用いた高潮解析 - 2次元モデルとの比較 -	京都大学防災研究所年報, 第 38 号 B-2, pp.501-516	武田 誠・中川 一・松村貴義
1995	Hydraulic Property of Vortex Flow Dropshaft	Proc. 26th IAHR Congress, Vol. 2, pp.108-113	Keiichi Toda
1995	Driftwood Behaviour in Horizontal Two-Dimensional Basins	Proc. 26th IAHR Congress, Vol. 1, pp.278-283	Hajime Nakagawa
1996	沿岸域における河川流出水の拡がりの解析	水工学論文集, 第 40 巻, 土木学会水理委員会, pp.473-478	古寄裕三・奥寺健彦・豊田政史
1996	高潮解析における数値解析モデルおよびその境界条件の検討	水工学論文集, 第 40 巻, 土木学会水理委員会, pp.1089-1094	武田 誠・上塚哲彦・松村貴義
1996	洪水ハザードマップの作成についての一考察	京都大学防災研究所年報, 第 39 号 B-2, pp.459-482	戸田圭一・栗原 哲・武田 誠・谷野知伸
1996	地下河川の流入立坑部の水理特性	京都大学防災研究所年報, 第 39 号 B-2, pp.483-497	戸田圭一・大本雄二・府川 新
1996	都市域における高潮氾濫解析	京都大学防災研究所年報, 第 39 号 B-2, pp.499-518	武田 誠・上塚哲彦・戸田圭一・林 秀樹
1996	Flooding in Sandwip Island in the 1991 Storm Surge Disasters	Jour. Japan Soc. of Natural Disaster Science, Vol. 15-2, pp.151-174	Hajime Nakagawa, Yoshiaki Kawata, Tomonobu Tanino
1996	Numerical Modelling of Salinity Intrusion into an Estuarine River	Hydraulic Engineering Software, Edit. W. R. Blain, Computational Mechanics Publications, pp.335-344	Keiichi Toda, Masahiro Tanaka
1996	Numerical Simulation of Overland Flood Flows in an Urban Bay Area	Hydraulic Engineering Software, Edit. W. R. Blain, Computational Mechanics Publications, pp.58-68	Makoto Takeda, Tetsuhiko Uetsuka, Keiichi Toda
1996	大阪湾域部の高潮氾濫解析, - 計算モデルの検証と高潮対策の有効性 -	海岸工学論文集, 第 43 巻, 土木学会海岸工学委員会, pp.256-260	武田 誠・上塚哲彦・戸田圭一・林 秀樹
1997	地下空間への氾濫浸水の解析	地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 2 巻, 土木学会地下空間研究委員会, pp.95-102	中川 一・戸田圭一・溝田敏夫
1997	高潮ハザードマップと避難対策に関する二・三の検討	京都大学防災研究所年報, 第 40 号 B-2, pp.445-460	武田 誠・戸田圭一・川池健司

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1997	中国およびベトナムの大都市における水災害の実態とその対策	京都大学防災研究所年報, 第 40 号 B-2, pp.323-331	戸田圭一・程 曉陶・長田信寿・武田 誠
1997	高潮と洪水の重畳災害に関する基礎的研究	海岸工学論文集, 第 44 巻, 土木学会海岸工学委員会, pp.351-355	武田 誠・平山克也・戸田圭一
1997	高潮ハザードマップと避難に関する二・三の検討	海岸工学論文集, 第 44 巻, 土木学会海岸工学委員会, pp.356-360	武田 誠・戸田圭一・川池健司
1998	市街地における氾濫解析モデルの考察	京都大学防災研究所年報, 第 41 号 B-2, pp.299-312	戸田圭一・林 秀樹・川池健司・坂井広正
1998	地下街の氾濫浸水解析	京都大学防災研究所年報, 第 41 号 B-2, pp.313-324	戸田圭一・谷野知伸・前田 修
1998	Hydraulic Study of Overland Flood Flows in an Urban Area with Underground Space	Proc. 4th International Conference on Development in Urban Drainage Modelling, Vol.1, pp.249-256	Keiichi Toda Tomonobu Tanino, Hideki Hayashi
1998	Hydraulic Design of Intake Structures of Deeply Located Underground Tunnel Systems	Proc. 4th International Conference on Development in Urban Drainage Modelling, Vol.1, pp.271-278	Keiichi Toda
1998	市街地の高潮氾濫解析法の研究	海岸工学論文集, 第 45 巻, 土木学会海岸工学委員会, pp.331-335	川池健司・戸田圭一・林 秀樹
1999	都市域における氾濫解析モデルに関する研究	水工学論文集, 第 43 巻, 土木学会水理委員会, pp.533-538	川池健司・林 秀樹
1999	大都市の地下空間の氾濫浸水解析	水工学論文集, 第 43 巻, 土木学会水理委員会, pp.539-544	戸田圭一・前田 修・谷野知伸
1999	街路ネットワークモデルに基づく高潮氾濫時の避難行動解析	海岸工学論文集, 第 46 巻, 土木学会海岸工学委員会, pp.351-355	川池健司・山上路生・戸田圭一
1999	Numerical Simulatin of Inundation Flow Due to Heavy Rainfall in Urban Area	Proc.'99 International Symposium on Flood Control, Beijing, China, pp.566-574	Keiichi Toda, Satoru Murase
1999	Mathematical Models for Overland Flood Flows and Their Application to Urban Area	Proc.'99 International Symposium on Flood Control, Beijing, China, pp.473-490	
2000	非構造格子の都市氾濫解析への適用	水工学論文集, 第 44 巻, 土木学会水理委員会, pp.461-466	川池健司・戸田圭一
2000	豪雨による京都市域の氾濫解析	水工学論文集, 第 44 巻, 土木学会水理委員会, pp.479-484	戸田圭一・村瀬賢・市川温・横尾英男
2000	1999 年福岡市における都市型水害について	京都大学防災研究所年報, 第 43 号 B-2, pp.307-323	戸田圭一・市川温・多田彰秀
2000	急傾斜都市における土砂・氾濫災害の解析	京都大学防災研究所年報, 第 43 号 B-2, pp.333-343	川池健司・戸田圭一・中川一・中井勉

発表年	論文名	発表誌名	共著者
2000	Overland Inundating Flow Analysis for Mekong Delta in Vietnam	Hydraulic Engineering Software VIII, Computational Mechanics Publications, pp.123-132	Keiichi Toda, Osamu Maeda
2000	Study on Disaster Overlapping of a Storm Surge and a River Flood	Hydraulic Engineering Software VIII, Computational Mechanics Publications, pp.373-382	Keiichi Toda, Makoto Takeda, Katsuya Hirayama
2000	Inundation Flow Modeling in Urban Area Based on the Unstructured Meshes	Hydraulic Engineering Software VIII, Computational Mechanics Publications, pp.457-466	Kenji Kawaike, Keiichi Toda
2000	Numerical Simulation of Inundation Flow Due to Heavy Rainfall in Urban Area	Proc. International European - Asian Workshop on Ecosystem and Flood 2000, pp.172-179	Keiichi Toda, Satoru Murase
2000	Analysis of Overland Flood Flow Intrusion into Underground Space in Urban Area	Jour. Hydrosience and Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.18, No.2, pp.43-54	Keiichi Toda, Osamu Maeda, Tomonobu Tanino
2000	Numerical Simulation Models on Inundation Flow in Urban Area	Jour. Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol. 18, No. 1, pp.119-126.	Kenji Kawaike, Hideki Hayashi
2000	豪雨による都市域の洪水氾濫解析	土木学会論文集, 土木学会, No.663/II-53, pp.1-10	戸田圭一・村瀬賢・市川温・横尾英男
2001	流出土砂が急傾斜都市氾濫解析に及ぼす影響	水工学論文集, 第45巻, 土木学会水理委員会, pp.883-888	川池健司・戸田圭一・中井勉
2001	東海豪雨災害と都市水害	京都大学防災研究所年報, 第44号A, pp.71-79	戸田圭一・川池健司
2001	豪雨時の河川親水エリアの危険度評価手法	京都大学防災研究所年報, 第44号B-2, pp.289-297	戸田圭一・川池健司・徳永智宏
2001	低平地河川流域における都市域の氾濫水理モデルの開発	京都大学防災研究所年報, 第44号B-2, pp.299-311	川池健司・戸田圭一・坂井広正・相良亮輔
2001	Inundation Flow Analysis in Urban Areas Considering Streets and Underground Space Effects	Proc. 29th IAHR Congress, Beijing, China, Vol. C, pp.416-423	Keiichi Toda, Ken Kuriyama, Osamu Maeda
2001	Inundation Flow Analysis Considering the Sediment Effect	Proc. 29th IAHR Congress, Beijing, China, Vol. C, pp.385-392	Kenji Kawaike, Keiichi Toda, Tsutomu Nakai
2002	都市域の氾濫解析モデルの開発	土木学会論文集, No.698/II-58, 土木学会, pp.1-10	川池健司・林秀樹・戸田圭一
2002	豪雨時の河川親水域の危険度解析	水工学論文集, 第46巻, 土木学会水理委員会, pp.355-360	戸田圭一・徳永智宏・川池健司
2002	低平地河川流域における内水氾濫解析法とその寝屋川流域への適用	水工学論文集, 第46巻, 土木学会水理委員会, pp.367-372	川池健司・戸田圭一・坂井広正・相良亮輔
2002	地下空間における浸水過程の解析について	京都大学防災研究所年報, 第45号B, pp.173-184	戸田圭一・川池健司・栗山健作・大八木亮

発表年	論文名	発表誌名	共著者
2002	賀茂川親水域の豪雨による危険性について	京都大学防災研究所年報, 第 45 号 B, pp.185-196	戸田圭一・徳永智宏・川池健司
2002	低平地河川流域における氾濫解析モデルの高度化	京都大学防災研究所年報, 第 45 号 B, pp.197-208	川池健司・戸田圭一・相良亮輔
2002	Effects of Sediment Yield on Inundation Flow in a Hillside City	Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 20, No. 1, pp.151-166	Kenji Kawaike, Keiichi Toda, Tsutomu Nakai
2002	Inundation Analysis by Heavy Rainfall in Low-lying River Basin	Hydraulic Information Management, WIT Press, pp.223-232	Kenji Kawaike, Keiichi Toda, Ryosuke Sagara
2002	Simulation Model of Inundation Risk Due to Heavy Rainfall in Low-lying River Basin	Proc. International IAHR Symposium on Hydraulic and Hydrological Aspects of Reliability and Safety Assessment of Hydraulic Structure, CD-ROM, B-14, St. Petersburg, Russia	Kenji Kawaike, Keiichi Toda
2002	Characteritics of Recent Urban Floods in Japan and Countermeasures against Them	Flood Defense 2002, Vol. 2, Science Press, pp.1365-1371	Keiichi Toda
2002	Flood Hazard Analysis by the Integrated River Basin Model	Proc. 5th Taiwan-Japan Joint Seminar on Natural Hazards Mitigation, Taiwan, pp.109-117	Keiichi Toda, Kenji Kawaike, Tomohiro Tokunaga
2003	地下空間での浸水とその解析法	土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 8 巻, pp.187-194	戸田圭一・大八木亮・栗山健作
2003	複雑な地下空間における浸水解析	水工学論文集, 第 47 巻, 土木学会水理委員会, pp.877-882	戸田圭一・栗山健作・大八木 亮
2003	地下空間への浸水過程について	京都大学防災研究所年報第 46 号 B, pp.263-273	戸田圭一・中井勉・竹村典久・大八木亮
2003	Inundation Analysis of Complicated Underground Space with Subway	Proc. International Symposium on Disaster Mitigation and Basin-wide Water Management (ISDB2003), Niigata, Japan, pp.668-674	Keiichi Toda, Ryo Oyagi, Kensaku Kuriyama
2003	Hydraulic Model Tests of Inundation in Urban Area with Underground Space	Proc. 30th IAHR Congress, Theme B, Thessaloniki, Greece, pp.487-493	Taisuke Ishigaki, Keiichi Toda
2003	都市水害現象のモデリング その考え方と事例	平成 14 年度都市水害に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会西部支部, 九州大学西部地区自然災害資料センター, pp.28-33	戸田圭一・大八木亮
2003	寝屋川流域の内水氾濫解析	都市水害モデルの総合比較に関するワークショップ, 京都大学防災研究所, pp.39-46	川池健司・戸田圭一・野口正人
2004	複雑な地下空間の浸水実験	水工学論文集第 48 巻, 土木学会水工学委員会, pp.583-588	戸田圭一・大八木亮・中井勉・竹村典久

発表年	論文名	発表誌名	共著者
2004	枝線下水道を考慮した市街地氾濫解析	水工学論文集第 48 巻, 土木学会水工学委員会, pp.589-594	相良亮輔・錦織俊之・戸田圭一
2004	Flood Inundation Analysis Based on Unstructured Meshes for the Hanoi Central Area	Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.48, pp.601-606	Tat Thang Nguyen, Keiichi Toda
2004	低平地河川流域での豪雨による都市氾濫解析	土木学会論文集 No.761/II-67, pp.57-68	川池健司・戸田圭一・野口正人
2004	多層化した地下空間の浸水実験	地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 9 巻, 土木学会・地下空間研究委員会, pp.149-156	戸田圭一・中井勉・大八木亮
2004	都市水害時の地下空間の浸水過程について	京都大学防災研究所年報第 47 号 B, pp.293-302	戸田圭一・大八木亮・間島真嗣
2004	A model for Flood Inundation Analysis in Urban Area verification and application	Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No.47B, pp.303-315	Tat Thang Nguyen, Keiichi Toda, Kenji Kawaike
2004	Inundation Flow Analysis due to Heavy Rainfall in Low-lying River Basin	Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.22, No.1, pp.1-14	Kenji Kawaike, Keiichi Toda, Masato Noguchi
2004	都市域における小規模貯留施設の氾濫抑制効果	河川技術論文集第 10 巻, 土木学会水工学委員会河川部会, pp.25-30	中川吉人・戸田圭一・錦織俊之
2004	Inundation Analysis of Complicated Underground Space	Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.22, No.2, pp.47-58	Keiichi Toda, Kensaku Kuriyama, Ryo Oyagi
2004	Hydraulic Model Test of Inundation Water Intrusion in Underground Space	Proc. of the 4th International Symposium on Environmental Hydraulics and the 14th Congress of APD, IAHR, pp.1403-1409	Keiichi Toda, Tsutomu Nakai, Ryo Oyagi
2005	都市域の地上・地下空間を統合した浸水解析	水工学論文集第 49 巻, 土木学会水工学委員会, pp.601-606	間島真嗣・戸田圭一・大八木亮
2005	京都市域の地下空間の浸水解析	地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 10 巻, 土木学会・地下空間研究委員会, pp.141-146	大八木亮・間島真嗣・戸田圭一
2005	Inundation Analysis by Heavy Rainfall in Urban Area Considering Branch Sewer Effect	Proc. of the International Conference on Monitoring, Prediction and Mitigation of Water Related Disasters (MPD-2005), pp.137-142	Keiichi Toda, Toshiyuki Nishikori, Yoshito Nakagawa
2005	Experimental and Numerical Study on Ground and Underground Flooding in Urban Area	Proc. of the International Conference on Monitoring, Prediction and Mitigation of Water Related Disasters (MPD-2005), pp.149-154	Taisuke Ishigaki, Hajime Nakagawa, Keiichi Toda, Yasuyuki Baba

発表年	論文名	発表誌名	共著者
2005	The Development of Inundation Analysis System in Urban Area	Proc. of the International Conference on Monitoring, Prediction and Mitigation of Water Related Disasters (MPD-2005), pp.125-130	Makoto Takeda, Naoki Mmtsuo, Shigeru Hirashima, Yasunori Hirayama, Masahiro Tanaka

総説・講義ノート

発表年	論文名	発表誌名	共著者
1980	開水路流れの数値解析	水工学シリーズ A-6 (水工学に関する夏期研修会講義集), 土木学会水理委員会, pp.A6.1-A6.26	
1982	河川の水理	土木技術者のためのデ - タ処理と確率統計マニュアル, 水理編, 昭和 57 年度講習会テキスト, 土木学会関西支部, pp.58-85	
1990	川と湖の流れのシミュレーション	拡がりゆく工学 No.10, 京都大学工学部 (公開講座テキスト), pp.1-12	
1999	豪雨と氾濫災害	日本気象学会関西支部第 21 回夏季大学テキスト「大雨と災害」, 日本気象学会, pp.22-36	
2000	地下空間での水害 - 福岡水害から学ぶ-	21 世紀の水防災研究を考える - 最近の水災害から見えてくること - 要旨集, 京都大学防災研究所研究集会 12S-2, pp.1-6	
2001	都市の水害とその対策	総合工学 第 13 巻, 中部大学総合工学研究所, pp.155-166	
2001	地下空間の浸水とその対策	第 10 回河川講習会 - 水防法の改正と都市型水害対策- (社)建設コンサルタンツ協会, pp.3.1-3.10	
2001	都市の水害とその課題	京都大学防災研究所公開講座 (第 12 回) テキスト, pp.15-23	

著 書 (いずれも分担執筆)

発表年	論 文 名	発 表 誌 名
1972	漸変流の水理とその応用	石原藤次郎編：水工水理学，丸善
1974	ネットワ - クシステムの水理解析	土木学会編：土木工学における数値解析 / 流体解析 編，サイエンス社
1978	河道の水理	河川工学百年の歩みと淀川，建設省近畿地方建設局 編
1985	数値解析	土木学会編：水理公式集 - 昭和 60 年版 - ，技報堂
1989	力学モデルの数値解析	土木学会編：第四版 土木工学ハンドブック，技報 堂出版
1990	湖水位の変動，湖流	岩佐義朗編著：湖沼工学，山海堂
1993	開水路の非定常流	岩佐義朗・金丸昭治編：水理学 II，朝倉書店
2001	洪水災害	京都大学防災研究所編：防災学ハンドブック，朝倉 書店

洪水氾濫解析モデル

井上 和也

要 旨

河川の洪水と堤内地での氾濫を同時に解析する洪水氾濫解析モデルの基本をまとめるとともに、適用例を示し破堤による氾濫水の浸入および洪水の変形を明らかにする。また、都市型水害への適用を図るため、都市要素を考慮したモデルへと発展させ、非構造格子モデルや街路ネットワークモデルを特徴を考察するとともに、地下浸水の解析について適用例を示す。さらに、氾濫解析法の今後の課題を挙げ問題点を論ずる。

キーワード：洪水氾濫解析法，非構造格子モデル，街路ネットワークモデル，都市型水害，流域治水

1. はじめに

水災害についての事前情報提供のひとつとして、ハザードマップの整備が急がれている。ハザードマップには水災害に関する種々の情報が盛り込まれるが、最も基本となるのが浸水予測であり、そのためには洪水氾濫解析が必要である。

本稿では筆者がこれまでに研究してきた洪水氾濫解析法について、その発展、都市への適用および課題をまとめることにする。

2. 氾濫解析の発展

氾濫域が比較的狭くしかも氾濫域からの流出がななく閉鎖的な領域の場合、氾濫域を遊水池のようにみなして、河川からの氾濫流量と、氾濫域の地形から決まる水位 - 貯留量の関係とから、連続式だけを用いて、つまり水量だけから氾濫過程を求めることができる。この場合には、もちろん氾濫域での水の動き（流れ）は解析できない。

氾濫域が閉鎖的でなかったり、氾濫域がある程度の拡がりをもち流れを考慮しなければならないような場合には、氾濫の水量だけでなく氾濫流の運動も

解析する必要がある。そのような氾濫解析として、これまでさまざまな手法が展開されてきた。それらは、1次元的方法（河川縦断的方法）と2次元的方法（平面的な方法）とに大別できる。

前者は河川沿いの左岸側や右岸側（あるいは両岸）の氾濫域を含めて河道とみなし、これに1次元解析法を適用する方法である。そのときの1次元解析法には、水文学的な貯留関数法やマスキング法、あるいは水理学的な不定流解析法があり、それらのうちのどれを用いるかによって1次元的方法な氾濫解析法はさらに細分できる。また、水理学的な不定流解析では、連続式においては氾濫域を含めた全断面を有効とするが運動方程式においては氾濫域を除いた本来の河道部だけを有効とするような方法や、運動方程式においていくつかの項を省略して、diffusion wave model にする方法、あるいは kinematic wave model にする方法がある。

しかし、1次元解析法の前提となっている特定の主流方向は特殊な場合を除けば氾濫流には存在せず、氾濫流は氾濫域の地盤の高さにほぼ従って2次元に拡がると考えるのが、自然であり一般的である。現在おもに使われているのは、このような氾濫流の挙動を反映する2次元的方法な氾濫解析法である。ただ、

2次元的方法では解析のための計算量は1次元的方法に比べて著しく増大する。現在からみれば、上記の1次元的方法には、計算の量的能力が十分でなかった頃の余儀ない手段という一面がある。

2次元的方法のひとつにポンド法がある。この方法は、モデル化の考え方が後に挙げる方法とはやや異なるといえる。すなわち、ポンド法では、氾濫域を地形などの一様性にしたがって、格子（ポンド、多くの場合その形状は一定ではない）に分割するとともに、水理的に連結している2つのポンド間の流量はその間の通水能と2つのポンド間の水位差とから決まるとする。つまり、2つのポンド間では運動方程式を1次元のdiffusion wave modelで近似しているといえる。ポンドの水位はポンドについての連続式から決められる。SOGREAH (Société Grenobloise d'Etudes et d'Applications Hydraulique)では1970年にこの方法をメコンデルタ下流部（カンボジアやベトナム）に適用して氾濫防御に関する種々の代替案の検討を行っている（Report on Indicative Basin Plan, 1970, もっともこの地域におけるその後の内戦と混乱のためいずれの案も実施はもちろん、継続的な検討も行われていない）。

ポンド法では、連結しているポンド間の通水能がモデル・パラメータである。このモデル化は可視的な方法であり、計算量も後に挙げる方法に比べれば少ないのであるが、ポンドの数とともに通水能というパラメータの数も増加するため、ある程度以上の広さの氾濫域を対象とするとき、パラメータの同定がむずかしい課題となる。

他の2次元的方法では、連続式と平面内の2方向の運動方程式とを連立させる。この場合、氾濫域に関する最も基本的なモデル・パラメータは粗度係数である。このような基本にたった氾濫解析法においては、以下のように要因をいろいろ組み合わせることが可能である（上のポンド法も結局は組み合わせの一つとみることができる）。

- 1) 用いる座標系: デカルト（直交直線）座標系、または一般（あるいは直交）曲線座標系。
- 2) 氾濫域の格子分割: 定型、または不定型（非構造格子）。
- 3) 運動方程式の近似: 運動方程式のすべての項を考慮するdynamic wave model、または一部の項を省略したdiffusion wave modelあるいはkinematic wave model。
- 4) 計算法: 差分法（いろいろ）、または有限要素法、その他。

3. 洪水氾濫解析法

以下には、2の分類のうち、i) デカルト座標系における定型（長方形）格子、ii) 運動方程式にはdynamic wave model、iii) 計算には差分法、を適用する最も基本的な例を取り上げ、河川の洪水が破堤により堤内地に氾濫する場合を考える。一般的な語法とは必ずしも一致しないが、ここでは便宜上、河川の流れを洪水、堤内地の流れを氾濫とそれぞれよぶことにする（岩佐・井上・水鳥、1980、井上、2001）。

一般に破堤や越流により河川から氾濫が生ずる場合には、河川の洪水流量は氾濫した分減少すること、また、氾濫水が堤内の低地に伝播しそこから再び河川に戻ったり氾濫の終末期に破堤点を通じて堤内地の氾濫水が河川に戻ったりすることが、並行して解析できるようにしなければならない。つまり、洪水氾濫解析法では河川の洪水と堤内地の氾濫水を同時に対象とする必要がある。そこで、前者には1次元解析法、後者には上記した2次元解析法を適用し、それらを想定された破堤点において越流公式によって結合するモデルとすることにする。

こうしたモデルが適用できるのは、河川整備が比較的進み河川と堤内地が堤防によって区別できる場合で、例としたのは淀川中流部の三川合流部付近（河川）と旧巨椋池干拓地（堤内地）である。なお、もし河川に無堤区間があって河川と堤内地が水理的に区別できない場合には、河川も堤内地もひっくるめて氾濫原とみなし、その全体に2次元解析法を適用するモデルが考えられる。

Fig. 1は対象とした河川区間、堤内地および解析の境界条件をまとめたものである。河川の上流端境界である横尾山（宇治川）、加茂（木津川）および納所（桂川）には、淀川の河川計画において1953年9月の5313号台風時の降雨から算定されている流量をそれぞれ与え、下流端境界である枚方（淀川）には水位－流量曲線を与える。破堤点として、淀川本川（宇治川）の向島のやや下流左岸の地点を考え、河川水位がOP+12.70mに達したときに破堤敷高OP+11.70m、破堤幅400mの破堤が生ずると想定する。

このケースの解析では、上記の破堤条件が満たされるのは9月25日16時（計算開始後10時間）であった。Fig. 2は、破堤後4時間および10時間での堤内地の流量フラックスと浸水深の分布である。破堤後、氾濫水は地盤が低い堤内地中央の凹部に向かっており、氾濫水が地盤の高い箇所を避けながら順次低地を侵してゆく様子がみられる。破堤後の時間が経過するに従い、流量フラックスは破堤点近傍を除きかなり小さくなっている。このときには堤内地での流

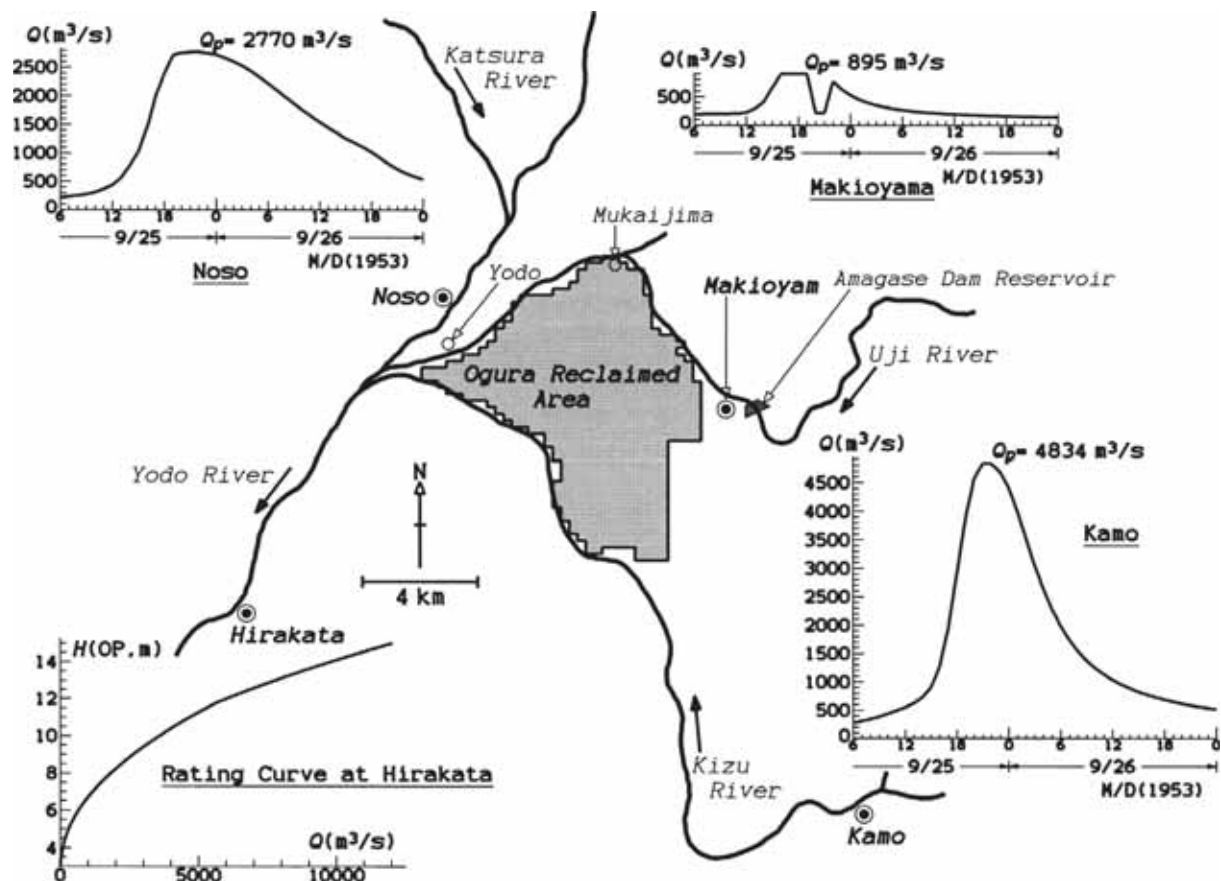


Fig. 1 Yodo river and Ogura reclaimed area

れそのものは小さく、水面は徐々に水平に近づき、侵入してくる氾濫水によって水位が徐々に上昇し地盤の高い周辺に浸水してゆく過程が現れている。

Fig. 2 のような出力の時間間隔を密にすれば動画化することが可能であり、最近ではそうした試みが実務的に行われていて、避難計画の作成やさらには実時間での氾濫情報の提供へと応用が拡張されている。

この氾濫が河川の洪水にどのような影響を与えるかを、淀川の基準点である枚方地点、および想定破堤点の直ぐ下流の淀地点でみたのが Fig. 3 である。枚方においては、破堤を想定しなかった場合の最大流量は約 $7740 \text{ m}^3/\text{s}$ であるのに対して、破堤を想定した場合は約 $6100 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、流量は最大で約 $1640 \text{ m}^3/\text{s}$ 減少し、また水位は約 1 m 低下することがみられる。破堤点から堤内地に流入する流量の最大値は約 $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ であって、これによって枚方では上記のように洪水の規模が低下している。破堤流量がそのまま枚方の流量減に結びつくのではないが、上流での破堤により枚方では洪水がかなり減少することがわかる。

淀地点においては、破堤した場合には、水位は約

1.20 m 低下し、また最大で約 $1350 \text{ m}^3/\text{s}$ にも達する逆流（淀より上流の破堤点に向かう流れ）が発生している。これは三川合流部からの逆流であって、それがほぼ最大になる時刻において三川合流部およびその上流の宇治川沿いの縦断的な流量分布を示すと Fig. 4 のようである。これより、桂川の洪水が合流点において二分され宇治川へ逆流していることがみられる。この地点では破堤していない場合でも Fig. 3 からわかるように流量は木津川や桂川と比べて小さく、天ヶ瀬ダムによる流量調節操作の影響が強く現れており、さらに限られた時間ではあるがわずかの逆流もみられる。しかし、このようなときでも水位は高いままにとどまっており、三川合流部からの堰上げの影響により宇治川の洪水疏通能力がきわめて小さくなることがわかる。宇治川沿いで破堤した場合には、天ヶ瀬ダムの洪水調節に加えて合流部からの影響がさらに顕著に現れ、水位は破堤がない場合に比べ低下するものの逆流が上記のように大規模となっており、三川合流部近傍の洪水の挙動の複雑さがうかがわれる。

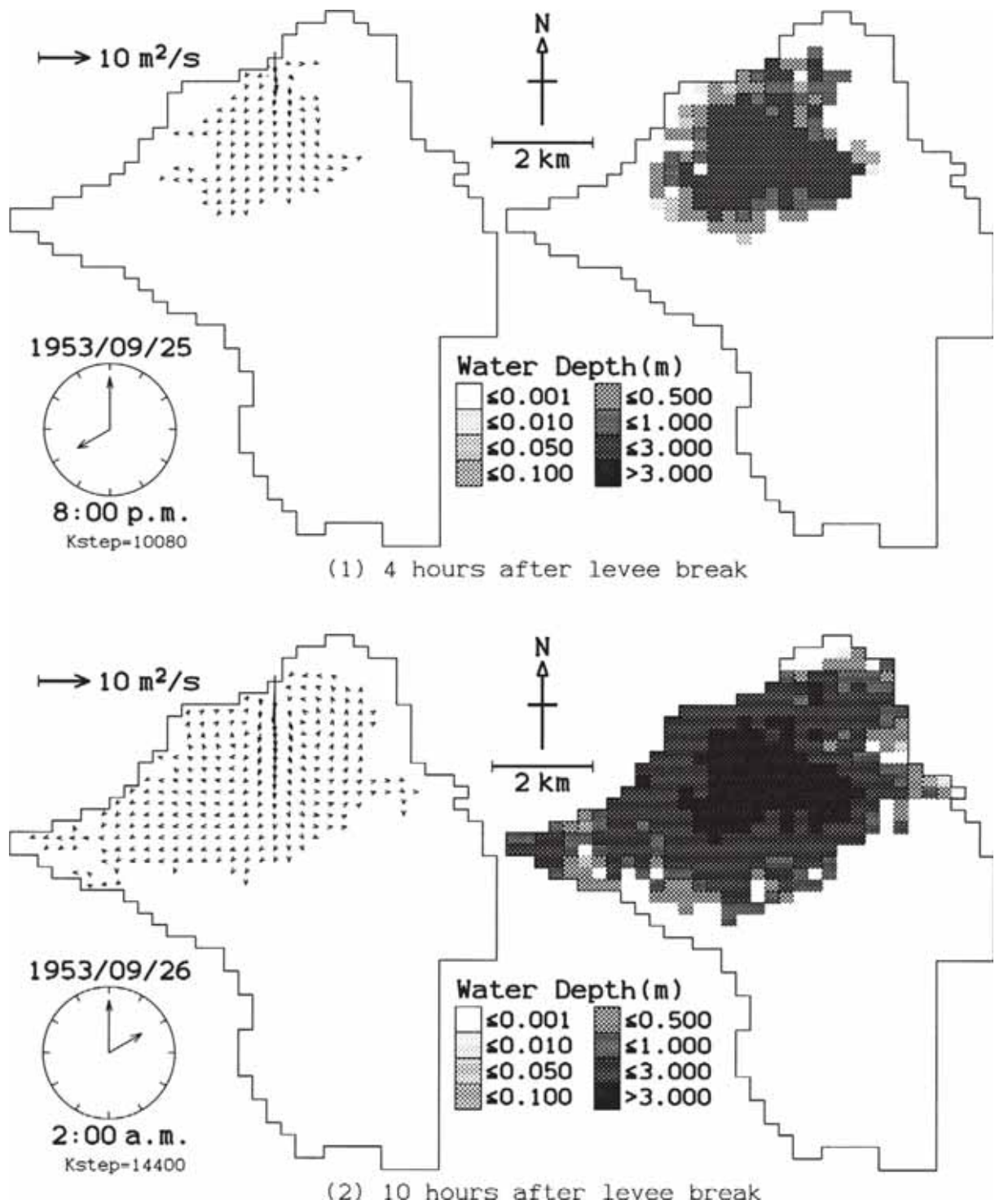


Fig. 2 Inundating process over Ogura reclaimed area

4. 都市における氾濫解析

都市における氾濫解析では、外水性にしろ内水性にしろ、街路、建物、市内河川、下水道、地下空間など、浸水の挙動に大きな影響を与える都市の要素を解析に取り込む必要がある。その基礎となるのが

都市の地形の表現である。3で示したようなデカルト座標系における正方形（あるいは長方形）の格子分割では、例えば都市の複雑な街路網や、やや大きな街路によって囲まれた住区（都市において町や丁とよばれ、より細かい街路を含む一群の家屋・建物からなる）の形状を表現することは、一般的にきわめ

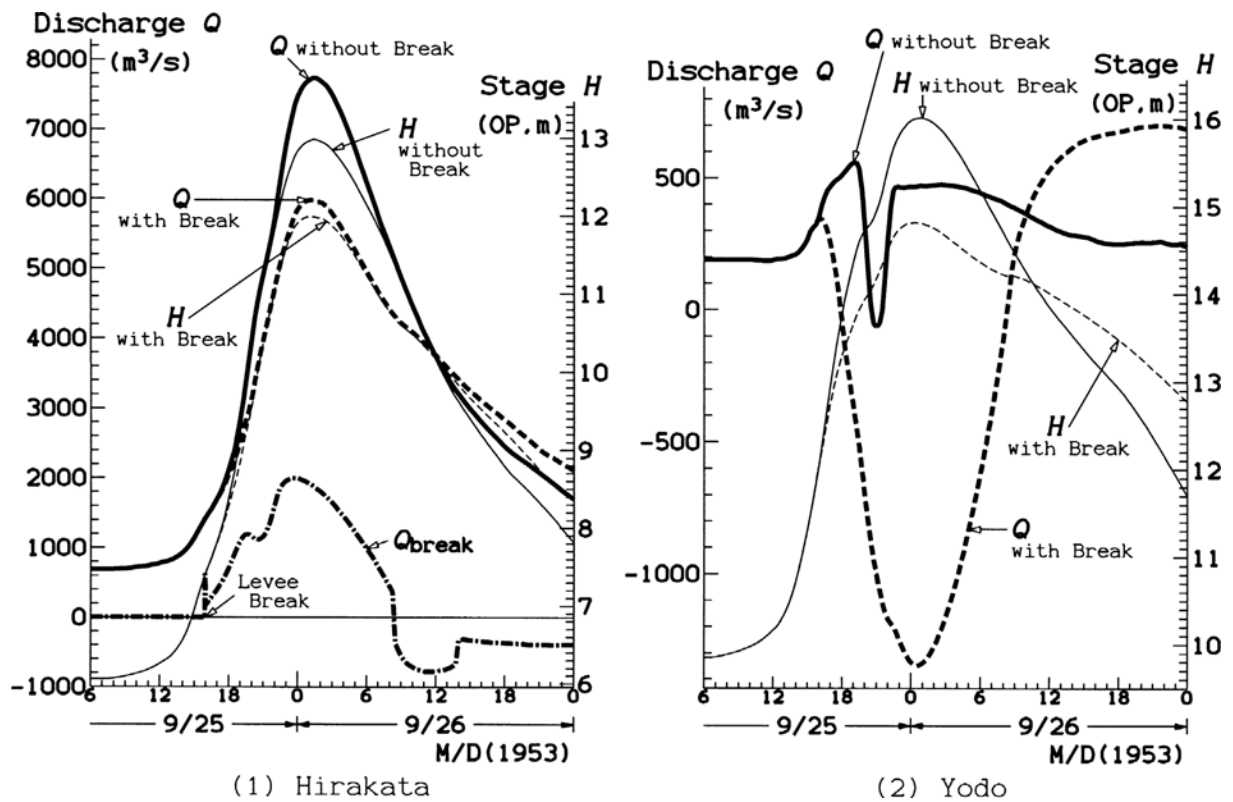


Fig. 3 Flood Hydrograph

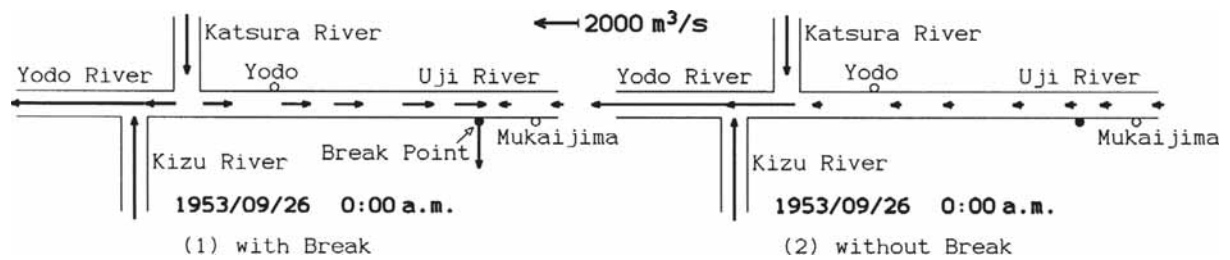


Fig. 4 Longitudinal discharge distribution along Uji river

てむずかしい。

このような地形表現の問題に関して、川池ら(2002a)の研究に従って述べる。考えるモデルは、3のモデルも含めつぎの4種類である。

- 1) デカルト座標系モデル:3の氾濫解析に適用した。
- 2) 一般曲線座標系モデル:主要な街路に沿った曲線座標系を用いる。
- 3) 非構造格子モデル:格子を任意形状とする(座標系としてはデカルト座標系)。
- 4) 街路ネットワークモデル:街路網をネットワークとみなし1次元解析法を用いる。

これらのモデルによる格子形成を概念的に示したのが Fig. 5 である。

4.1 格子の作成過程

それぞれのモデルの概要と、地形表現のための格子の作成方法などをまとめる。

(1) デカルト座標系モデル

地形図の上で解析対象領域を決定し、その全領域を包含するよう長方形解析格子を配置する。地形図上の原点と格子幅を決定すれば格子の平面形成は容易である。しかし、例えば国土数値情報を用いて格子に地盤高や土地利用属性などを与えるには、格子を地形図に重ね合わせる必要があり、この作業をコンピュータ化するのは思いの外むずかしい。また、これらの作業をすべて手作業に頼ると多くの手間と時間を必要とする。

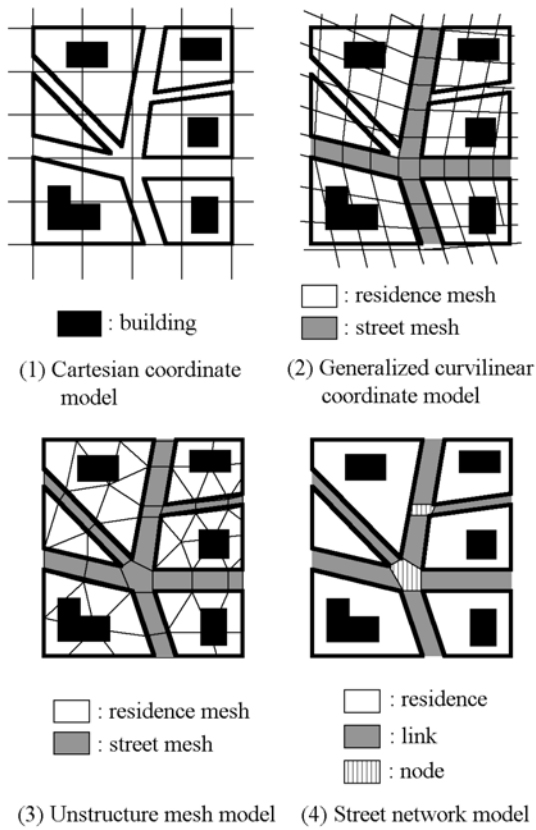


Fig. 5 Concept of 4 inundation models

(2) 一般曲線座標系モデル

地形図上でまず局所的に主要な2本の街路を選びその方向を座標軸の方向にとり、次にそれらをつなげて滑らかな曲線座標系を構成し、格子分割を行う。曲線座標系の構成には若干の経験を要する。各格子節点の平面座標はデジタイザなどで読み取る。格子の属性分け(格子が街路か住区か、など)および地盤高の決定法は、デカルト座標系の場合と同様であるが、国土数値情報あるいは数値地図で使われている経緯度線と曲線座標とは一致しないから、両者の対応(重ね合わせ)が、資料作成上の難点である。また、主要な街路が五叉路のようにになっている場合は基本的に無理がある。

(3) 非構造格子モデル

非構造格子とは形状および配置が規則的でない格子である。格子形成では、地形図上で氾濫水の挙動の一樣性が保たれるとみられる範囲を一格子にとる。すなわち、地盤高や土地利用状況がほぼ一樣である小領域や、盛土などを境界とする小領域などが一つの格子になる。格子間の接続関係は、各格子と各節点にそれぞれ通し番号を与え、格子を形成している節点番号を反時計回り(あるいは時計回り)に記述したデータを作成しておけば、解析に必要な格子辺の番号、格子面積、格子辺両端の節点番号および格子

の接続関係は計算により求めることができる。各節点の平面座標をデジタイザで読み取る。地盤高を与える作業は一般曲線座標系の場合と同様であり、その困難性もまた同様である。

(4) 街路ネットワークモデル

街路ネットワークモデルでは、市街地の街路に沿った氾濫水の伝播を重視し、まず街路網の形成する。すなわち、市街地を街路網と住区(つまり街路網以外の部分)に二分し、さらに街路網は、交差点(ノード)と交差点間の街路(リンク)から成るとする。ただし、ネットワークではノードやリンクは面積を有しないとされるが、実際の街路や交差点はともに有限の面積をもつから、それらはある大きさの格子として扱う。すべての節点の平面座標はデジタイザで読みとられる。街路ネットワークモデルでは、その特性から街路か街路でないかという格子の属性分けは容易である。地盤高データの作成には、地形図に記されている交差点の標高を用いて補間しなければならないことが多く、既存の数値情報を用いるだけでは困難なことがある。

4.2 市街化と占有率・通過率

市街化の進行により、対象領域において街路が発達し建物が稠密になれば、氾濫解析においてその影響を考慮しなければならない。その方法の一つとして前項の格子作成方法の選択がある。しかしそれだけでなく、形成された格子(とくに住区)において、例えば鉄筋コンクリートなどの非浸水性の建物によって浸水域が遮蔽されていればその分だけ浸水面積が少なくなることを表現する必要がある。また、街路に接する住区の周縁に非浸水性の建物やその塀などがあればそれらを通しての水の出入りはなく、建物間の細い街路だけが氾濫水の住区への浸入に有効であることも表さなければならない。

このようなとくに住区と目される格子における上記の浸水状況をモデルに取り入れるため、格子の面積 A_o 中に占める非浸水性の建物の敷地面積を A_b として、占有率 $\lambda = A_b/A_o$ を定義し、当該の格子の連続式においては $A_o - A_b$ の面積が有効であると考え、空地率 $1 - \lambda$ を適用する。

同様に、格子(住区)の周縁長さ L_o のうち、氾濫水が通過できる長さ L_p の割合で通過率 $\beta = L_p/L_o$ を定義し、計算される流量フラックスに βL_o を乗じて連続式における流入あるいは流出流量とすることにする。

いうまでもなく、格子の占有率は、公園などのようにほぼ空地であれば低く、オフィス街のように浸水性の低い建物が密集してれば高くなる。また、格

子の周縁に浸水を妨げるものが少ないほど β は 1.0 に近づき、周縁が非浸水性の塀などで囲まれていれば β は低下する。一般には、市街化が進行すれば占有率は大きくなり、通過率は小さくなる。

この他に、建物などによる流れの障害を表すため、とくに住区とみなされる格子の粗度係数を大きく設定したり、運動方程式に抗力係数で表した抵抗項を付加したりすることが行われる。

4.3 大阪市の高潮氾濫解析への適用

大阪市港区周辺は大阪湾域に位置する低平地であり、過去に幾度も高潮氾濫災害を受けている。用いた格子は国土地理院の数値地図(標高)の1データが1格子に相当する程度の大きさではあったが、氾濫解析において最重要の標高が1mごとにしか記述されていなかったため、2500分の1都市計画図において不規則的配置でしか与えられていない値から反比例按分するような補間を行い地盤高データを作成せざるを得なかった。また、手作業で確認しながら各格子に街路か住区かの属性を与えた。Fig. 6このようにして得られた各モデルごとの格子である。

適用にあたっては、想定した破堤点から高潮によって堤内地へ流入する時間的に変化する流量を与える。別の解析で得られたその流量の最大値は約 $310 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、流入の継続時間は約3時間である。また、まったく市街化していないケース ($\lambda = 0.0, \beta = 1.0$) と、現状程度に市街化したケース (占有率 λ は平均して 0.70, 通過率 β は 0.60) とを考える。また、粗度係数 n には、街路とみられる格子では 0.043, 住区とみられる格子では 0.067 を与える。

Fig. 7 は、それぞれのケースについて、各モデルごとの浸水範囲を示した例である。市街化していないケースでは、街路ネットワークモデルが氾濫水の伝播をやや速く計算しているものの、他の手法と比較してその差はわずかである。つまり、4つの解析モデルは、市街化していない(格子や住区に建物が存在しない)場合には、ほとんど同じ結果をもたらすことがわかる。

一方、現状程度に市街化したケースでは、各モデルによって氾濫水の伝播の違いが現れている。伝播が最も速いのは街路ネットワークモデルで、ついで一般曲線座標系モデルと非構造格子モデルとがほぼ同程度、一番遅いのはデカルト座標系モデルである。図に示すように浸水開始3時間後には、デカルト座標系モデルでは、街路ネットワークモデルと比べ、氾濫水の先端位置に約 800m の遅れが生じている。

上記の順は実は、対象領域のうち街路とみなすことができた面積の大きさの順である。つまり、街路

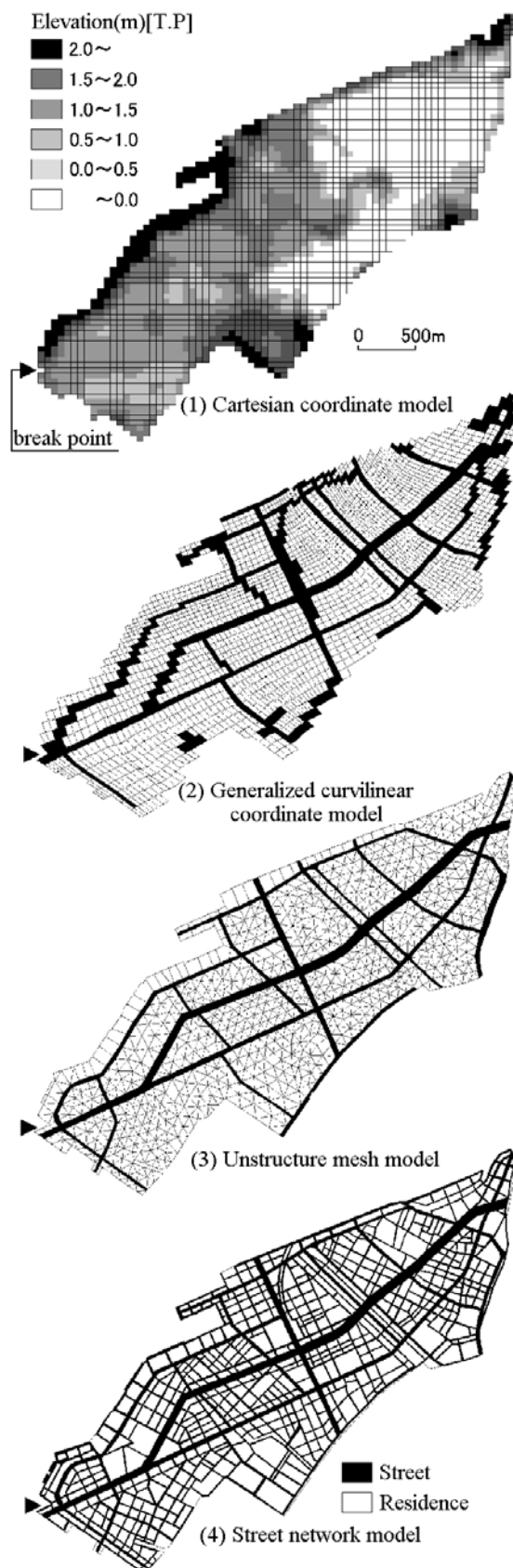


Fig. 6 Topography and mesh system in Osaka Minato-district

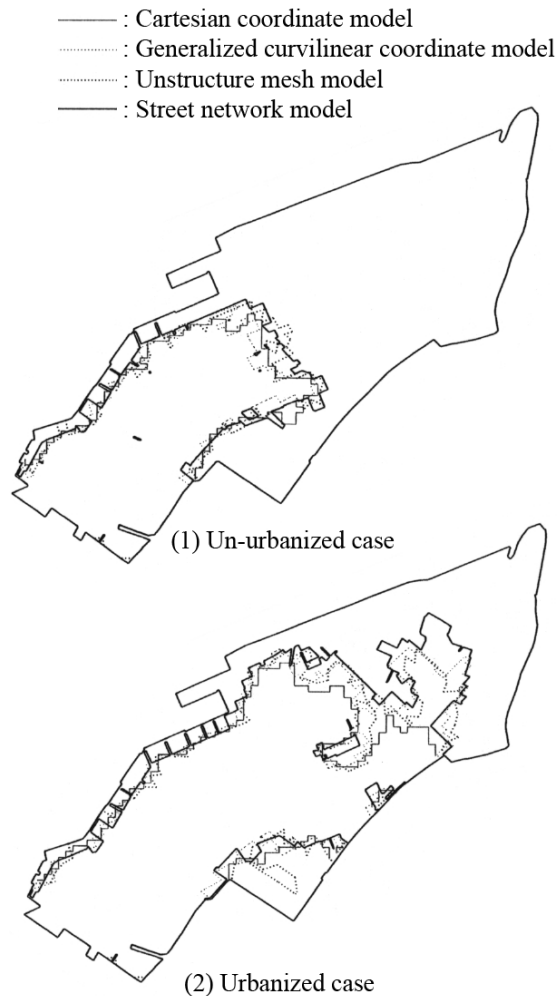


Fig. 7 Comparison of inundated area after 3 hours

格子と住区格子とを互いに排他的に区別できる度合いが高いモデルほど、いい換えれば街路を街路として扱える度合いが高いモデルほど、街路に沿う氾濫水の速い伝播を解析することができそうである。

以上から、都市の氾濫解析においては、格子の属性（街路か住区か）の区別が重要なことが知られ、その点で柔軟性に富む非構造格子モデルや街路ネットワークモデルが、都市域の建物による浸水域の遮蔽や街路沿いの伝播を考慮した氾濫解析に有用であるといえる。

4.4 各モデルの長所・短所

デカルト座標系モデルは、氾濫解析に広く一般的に用いられている。これは格子形成に要する時間や労力が4モデルの中では最も少なくすむという格子形成の簡便さによると考えられる。しかし、一つの格子に建物や街路が混在することになり、これらの影響を考慮した氾濫解析はできない。建物や街路を別々の格子に分離できるほど細かく格子分割する

考え方はあるが、それでは格子形成におけるデカルト座標系の利点を損なうことになりかねない。

一般曲線座標系モデルでは、座標軸を適切にとれば格子ごとに建物や街路の属性分けができる。したがって、デカルト座標系と比較して、市街地での氾濫解析に適したモデルといえる。上記の例では、ある程度の幅員をもつ主要道路のみに着目し、これらをもとに座標軸を構成した後、隣接する格子の大きさがなるべく同程度になるように格子分割を行った。その分、デカルト座標系モデルのように機械的な格子作成はできず、かなりの労力が要求される。さらに、座標軸は2本であるので、考慮できる道路の方向も2本に限られ、先述のように基本的な無理が生ずる場合がある。

非構造格子モデルの長所として、複雑な境界形状の領域に対して格子を形成しやすいことや、計算上重要でない領域では格子を粗くとれることなどが挙げられる。都市の氾濫水の挙動に大きな影響を及ぼしている、複雑な中小河川網やその場防、あるいは鉄道や高架道路などの連続盛土などの線状構造物を取り入れるのにも、非構造格子モデルが柔軟である。しかし一方、一般曲線座標系と同様、格子形成に要する時間と労力は多大である。

街路ネットワークモデルは、前に述べたように、密集市街地では建物が街路の両側に林立している、氾濫水は主にその建物に挟まれた街路沿いに伝播することを重視して開発されている。街路ネットワークモデルでは、この街路だけを取り出して格子を形成している。したがって、デカルト座標系モデルはもちろん一般曲線座標系モデルや非構造格子モデルと比較しても、かなり細かな街路までを取り上げることができ、街路を街路として扱える度合いは最も高い。しかしその反面、格子形成に要する時間と労力は4手法の中で最も大きい。

以上をまとめると以下のようなようである。氾濫域内の平均的な流速やおおまかな浸水深分布を知りたいときには、デカルト座標系モデルを適用すればよい。対象領域の都市化が進み、道路や建造物の影響を考慮したいときには、主要な道路に沿った格子形成が容易な場合は一般曲線座標系モデルを、複雑な道路網や地形を扱う場合は非構造格子モデルが適用が望ましい。さらに道路を伝う氾濫水の挙動を詳細に表現したい場合には街路ネットワークモデルの適用が考えられる。

5. 地下浸水

都市の水害において注目・憂慮されているのが、

地下空間への浸水である。地表に氾濫が生じている場合、その水量に比較して地下空間の容積は通常それほど大きくはなく、地上の浸水が地下に侵入すると、閉じられた空間である地下では急激な水深の上昇を覚悟しなければならない。これが地下浸水の恐ろしさの理由の一つである。

福岡市や東京都で1999年に地下室の浸水により人が亡くなるという事例が発生している現実から、その防災対策は急務である。そのためにはまず地下空間における氾濫水の挙動を知る必要がある。以下においては、京都御池地下街を対象に行った水理実験および水理解析について述べる(井上・戸田ほか, 2003)。

5.1 地下浸水解析モデル

地下空間の浸水を解析するモデルのうち、最も単純なのは、地下空間全体を一つの貯水槽とみなし、流入した水量と流出(もしあれば)した水量との差から、この貯水槽の水量と水深を求めるモデルである。地下空間が多層の場合には、各層ごとに一つの貯水槽とみなし、同様の方法を適用するモデルがある。このようなモデルでは、地表あるいは上層から下層へ流入する流量をどのように表すかが重要である。多くの場合、階段を通して流入するときの流量公式を適用する。

地下空間は同一階でも必ずしも床面高は一定ではなく水平とは限らない。また、浸水は流入口から始まり次第にその階に拡がってゆくから、とくに広い地下街では同一階での浸水の流れ(伝播)を考慮しなければならない。このような場合には、地下空間を平面的に分割することが必要であり、それに伴い平面的な流れを表すことも必要となる。

このように、地下空間の浸水挙動を解析するには、2で述べた地上の氾濫水と同様に多様な組み合わせによるモデルが考えられる。しかし、地表に比べ地下空間は面積が限られていることや形状(地形)が単純なことから、地表のように複雑な解析モデルを適用しなくてもよいことが多いであろう。

以上のことから、ここではポンド法を適用することにする。すなわち、i) 地下空間を地盤高や階層によって小領域に分割し、各小領域を貯留槽(ポンド)とみなす、ii) 地下空間をこれらの貯留槽が連結された空間とする、iii) 貯留槽間の流量の算定には、移流項を省略した非定常流の運動方程式を適用する(diffusion wave modelに非定常項も含める)、iv) 貯留槽についての連続式から水位を求める、というモデルであり、さらに地下空間特有の満水状態を取り扱えるように、v) スロットモデルにより開水路・管

路状態を区別しない、ことを加える。

5.2 御池地下街の浸水実験

防災研究所宇治川オープンラボラトリーに京都・御池地下街の1/30モデルを作成し、水理実験を行った結果を挙げる。Fig. 8は御池地下街の概要で、地下1階は商店街と駐車場、地下2階は駐車場、地下3階は地下鉄プラットフォームである。地下空間の容積は、地下1, 2階がそれぞれ約 $91 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、地下3階が $2.2 \times 10^3 \text{ m}^3$ である。別の実験で、この地下街の直ぐ東に位置する鴨川から $100 \text{ m}^3/\text{s}$ の越水があったときに御池地下街へいくつもの階段を通じて流入する流量を求め(合計で約 $30 \text{ m}^3/\text{s}$)、これを地下街への境界条件とする。

Fig. 9は、実験結果から得られる流入開始から30分後および60分後の浸水状況である。特徴をまとめると以下のようである。

- 1) 地下1階および2階では西半分比べて東半分の床面高が低い。浸水は東部(鴨川に近い方)から生ずるとしている。このため、これらの階のとくに東部では浸水深の上昇が速い。
- 2) 地下1階では30分後には1m以上に浸水深に達するが、その後はあまり上昇していない。これは、地下1階は地下3階(地下鉄プラットフォーム)につながっており、浸水した水は地下3階へ流れ込み、そこからさらに地下鉄軌道に流出して、地下1階では浸水深に関しては定常状態に達しているからである。
- 3) 地下2階は駐車場専用であり他の階とはつながっていないので、流入した水の流出先はなく浸水深は増加する一方で、最終的には天井に達する。
- 4) 地下3階は床面積が小さく、地下1階から流入してくる水で極めて短時間のうちに水没するほどになる。

5.3 浸水解析と検証

先に述べたポンド法によるモデルには多くの係数が含まれている。それらは、ある実験ケースの結果によって調整し、その値を他の実験ケースにもそのまま適用して検証を進める。調整された係数のうち主なものは以下のようである。

- 粗度係数 n : 地下1, 2階の東部では0.04, それ以外では0.03, 下層から上層へ流入する管路(みなし)では1.0
- 流量係数 μ_o : 0.55
- 仮想スロット面積係数 β : 0.01

Fig. 10は検証結果の一例として、地下1階東中

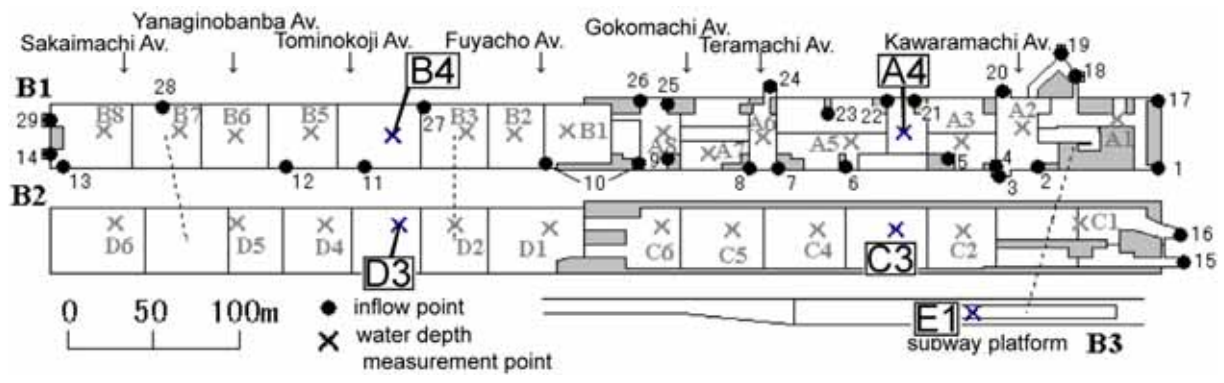


Fig. 8 Kyoto Oike underground mall

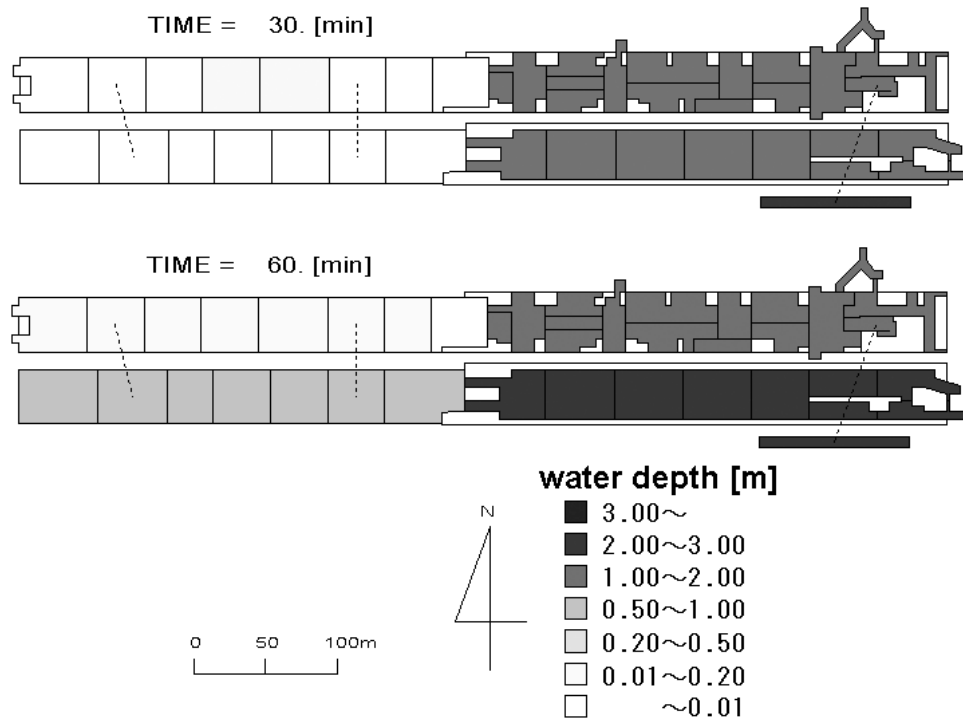


Fig. 9 Inundation water depth

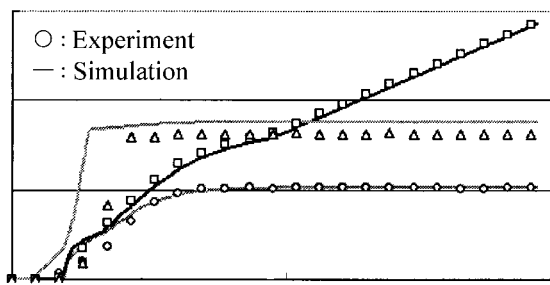


Fig. 10 Comparison of experiment and simulation result

央 (A), 地下2階東中央 (B) および地下3階 (C) における浸水深の時間変化について、実験結果と上記のモデルによる解析結果とを比較したものである。図

より明らかなように、B地点での立ち上がりの部分を除けば、実験結果と解析結果はかなり良好に一致しており、ここでのモデルにより実験結果をかなり正しく再現できることがわかる。なお、この実験では満水状態は発生していない。

ポンド法の長所はモデル構成が比較的簡単で計算労力がそれほど多くないことであり（短所は含まれる多くの係数の調整が難しいこと）、地下氾濫に関してはこのようなポンド法でかなり良好な結果が得られるのは、地下氾濫では対象空間の規模が地上のそれと比較して小さなことが大きく与っているであろう。

6. 氾濫解析の課題

氾濫解析は今日では種々に応用されている。単に氾濫現象の解析だけでなく、例えば河川改修計画における段階的工事の順序付けや便益の算定、水害ハザードマップ作成のための浸水予測、水害情報の実時間的提供、避難計画の策定などを挙げることができる。ここでは、氾濫解析の課題について管見を述べる。

(1) 解析の正確さ: 氾濫解析においていつも問題されるのが、その結果がどの程度実際を表しているかである。実際の氾濫においては最大の浸水深を示す痕跡がところどころで得られるくらいで、解析結果を十分に検証できるほどの資料は得られない。一方、解析ではいずれにしても一定の大きさをもった格子での水理量を求めるのであるから、あまりに局所的な現象に拘泥してもきりが無い。水理実験によって検証することが考えられるが、種々の制約からそれがつねに実行可能とは限らない。結局現状では、痕跡などの検証材料を総合的にみて、また地形や地物の状況を全体的にみて、さらに過去の事例を参照して、解析結果に大きな矛盾がないかどうかを判断基準とせざるを得ない。

(2) 解析に要する計算時間: 計算時間は、格子数(対象領域をどの程度細かく分割するか)と計算ステップ数(解析の継続時間)の積でほぼ決まる。陽的な解析法を適用する場合、計算の安定性の条件から、格子の大きさが半分になれば(格子数は4倍になる)、計算の時間間隔も半分にする必要があり(計算ステップ数は2倍になる)、結局、計算総量は8倍になる。しかし一方、陽的な解析法では計算の進行は格子の順序には依らないから、ベクトル化や並列化が比較的容易である。このような特性と計算機・パソコンの高速化を活かせば、計算時間は今日ではそれほど大きな問題ではないと思う。しかし、それでもなお実務において、例えば広域の氾濫解析をきわめて細かい格子で行う場合や、水害情報を実時間的に提供しようとする場合などのように、つねにより高速な計算方法が求められているのが実情である(計算能力と課題のレベルとがいたちごっこになっていて、このような事情は氾濫解析だけではない)。便宜上の手段ではあるが、問題の性質によっては、計算時間の多くを占める移流項を省略することが考えられる。

(3) 地形の表現: 解析モデルとしての地形の表現方法については4で述べた。目下のところ非構造格子モデルが多く氾濫解析で採用されているが、格子形成の労力を考えるといつも牛刀をふるっているような気がする。先述のようにおおまかな浸水状況を知

るときにはデカルト座標モデルが有用であり、その場合にもう少し簡易に(正確さは少し犠牲にして)種々の地形を表現する方法も必要である。やや古い方法ではあるが、例えば盛土構造物を長方形格子の辺上に沿わせる(全体としてみれば鋸歯状になるが)のも一つの方法であろう。

(4) 統合型氾濫解析モデル: 都市の氾濫解析では、これまでに述べてきたような2次元的な解析に加えて、下水道による雨水排水系と市内河川(網)系を追加しなければならない。また、当該都市の背後が山地であるときには雨水流出系(水文学でいう流出解析)も含める必要がある。つまり、i) 山地からの流出系、ii) 下水道系、iii) 河川網系、iv) 氾濫系、の4つのサブモデルを統合したモデルとしなければならない。筆者らは、このような統合型のモデルを開発するとともに、京都市や寝屋川流域(大阪府)に適用してきた(戸田ら、2001、川池ら、2002b)。また、都市においては河川と下水道の連携・役割分担が重要であることから、とくに下水道による排水過程に焦点を絞った解析も行った(相良ら、2004)。さらに、統合型モデルを流域調節地などの治水施設の機能分析にも応用した(Inoue et al., 2002、中川(吉)ら、2004)

近年の都市型水害の頻発は河川の洪水疏通能力のみに頼った治水計画の限界を示している。流域開発による洪水流量の増加を河川のみを負担させるのではなく、流域全体で治水を図る流域治水の重要性が指摘されている。各種の規模の流域治水施策がどの程度の負担能力をもつかの検討には統合型モデルの充実が欠かせない。今後はその高度化が図られるとともに、流域治水施策の計画・設計・管理・操作などへの適用が拡大することを期待している。

(5) 土砂災害への応用: 周知のように、土石流などの災害に対して、氾濫解析にさらに土砂の動態を連立させたモデルを適用して、その拡がりや伝播を解析する研究が行われている(例えば、中川(一)ら、2001)。都市型水害と関連して筆者が関心をもっているのは傾斜都市における土砂災害であり、その例は阪神風水害(1938年)や長崎水害(1982年)である。土砂動態を氾濫解析に含めることはモデル化を一段とむずかしくするが、都市が山地に接するまでに発達している例の多いわが国においては、今後の重要な課題であろう。

(6) 氾濫解析とGIS: 氾濫解析の現在の応用例は本節冒頭に挙げた。ハザードマップにしる避難計画にしるいずれの応用においても重要なのは、解析モデルそのものと並んで、入出力の自動化・視覚化を高めることである。4で詳述したように、地形情報をモデルに取り込むのに多大の労力を要しているが、例

例えば破堤箇所があらかじめはわからないのに氾濫情報を実時間的に提供しようとする場合、地形情報の入力を何らかの方法で自動化する技術がその前提として不可欠である。出力においても、コマ切れの平面的な浸水深分布図では切迫感に乏しくまた一般には理解しにくい。動画化および立体的な視覚化はすばやい理解と判断のためにも欠かせない。そのための一つの方法がGISやビジュアル技術との結合である。これらの分野の専門家と共同研究が必要と思われる。

7. あとがき

筆者が氾濫解析法の研究を始めたのは1978年頃で、畏友・宮井宏氏(当時は建設省淀川ダム統合管理事務所長)から宇治川が破堤したとき旧巨椋池干拓地で氾濫がどのように広がるかを解析できないだろうか、と相談を受けてからである。琵琶湖南湖の湖流解析で少しは2次元流れに馴れてきた頃である。それまでは河川工学においては1次元流れの解析が圧倒的に主であったが、湖沼や沿岸域など2次元的な広がりをもつ水域の流れや水質がいろいろの面で問題になってきたことや、計算機の利用が一般化してきたことが相乗的に作用して、対象水域や解析手法が徐々に広がっていたという背景がある。

氾濫は基本的には平面内の2次元流れであり、大気や海洋あるいは沿岸域の流れの解析で広く使用されている方法を適用すればよいはずと考えた。ただ、当時では2次元の氾濫解析の例はきわめて少なかったようで、筆者の目にはいったのはXanthopoulosら(1976)がdiffusion wave modelによりダム破壊流れの解析を行っているごく簡単な報文だけであった。

わが国では地形の変化のスケールが小さいことや洪水の時間的変化が速いことから、運動方程式にはdynamic wave modelを適用する必要があると考え、琵琶湖南湖の湖流解析のプログラムをもとに氾濫解析プログラムのコーディングを始めた。計算機利用が普及してきていたとはいえ、まだ当時は入力にはカード、出力にはラインプリンターを用い、計算機センターにバッチ処理として計算を依頼するという方式が主であった(TSS方式への移行期であった)。プログラムのわずかなミスごとにカードを打ち直し計算機センターへ重いカードを持って走ることの繰り返しで、プログラムをまともにランさせ所要の結果を得るには修士課程学生であった水鳥雅文氏(現電力中央研究所)に知力だけでなく気力、体力でも大変な苦勞をかけた。

防災研究所においては、都市における水害を主要

テーマとする研究室を担当することになった。中川一助教授(当時)や博士課程学生の武田誠氏(現中部大学)の協力を得て、河川からの洪水氾濫だけでなく、洪水氾濫に伴う漂流物(流木)の挙動や、高潮や津波などの海性の氾濫解析にも研究対象を拡げていたが、某日、取材記者から京都市に豪雨があれほどのようなことが起こるか尋ねられ即答に窮した。それまでは災害規模が大きくなりがちな外水性の氾濫災害を対象にしていたが、この質問がきっかけとなって外水性氾濫だけではなく排水能力を超える豪雨によって生ずる内水性氾濫も含まれる都市型水害の解析法の研究を進めることになった。新しく着任された戸田圭一助教授(当時)、博士課程学生の川池健司氏(現長崎大学)たちとともに、都市周辺部の山地からの洪水流出、都市の地形表現方法、排水施設の主役である下水道の機能解析、地表で排水機能を分担する都市河川網のモデル化、統合型氾濫解析モデルの開発、地下空間の浸水解析などの研究を行った。

このような解析的な研究で問題なのは検証が十分行えないことである。検証を行うには時間を追った氾濫過程の記録が望ましいが、そのような資料が必要なほど集まることはまずない。前述のように、実際の氾濫で事後に集められる痕跡を検証材料としているが必ずしも十分ではない。つまるところ、詳しく検証するには実験しかないのである。2000年の東海水害の後、河田恵昭教授が組織された科学技術振興調整費による「都市複合空間水害の総合減災システムの開発」に洪水災害の分担テーマで参加することになり、これにより宇治川オープンラボラトリに作成された京都市街地模型と御池地下街模型を用いて氾濫現象の水理実験ができるようになった。大規模な模型実験装置であり今後もこれにより有効に検証が進むことを期待している。

こうしてふりかえってみると、それぞれの時々適時に最適の示唆や助言、あるいは支援を受けて研究を進めることができたとあらためて強く感じる。研究室においては、一人ひとりのお名前は挙げないが、多くの職員、学生諸氏の全面的な助力も受けてきた。ここにこれらのことを記して各位に深甚の謝意を表します。

最後に、本稿をまとめるにあたっては米山望助教授に多大な助けをいただきました。あわせて感謝を申し上げます。

参考文献

井上和也(2001):洪水氾濫流の解析,水理公式集例

- 題プログラム集, 第2編例題 2-3, 土木学会水理委員会, pp.1-8.
- 井上和也・戸田圭一・中井勉・竹村典久・大八木亮(2003): 地下空間への浸水過程について, 京都大学防災研究所年報, 第46号 B-2, pp.263-273.
- 岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文(1980): 氾濫水の水利の数値解析法, 京都大学防災研究所年報, 第23号 B-2, pp.305-317.
- 川池健司・井上和也・林秀樹・戸田圭一(2002a): 都市域の氾濫解析モデルの開発, 土木学会論文集, No.698/II-58, 土木学会, pp.1-10.
- 川池健司・井上和也・戸田圭一・坂井広正・相良亮輔(2002b): 低平地河川流域における内水氾濫解析法とその寝屋川流域への適用, 水工学論文集, 第46巻, 土木学会水理委員会, pp.367-372.
- 相良亮輔・錦織俊之・井上和也・戸田圭一(2004): 枝線下水道を考慮した市街地氾濫解析, 水工学論文集第48巻, 土木学会水工学委員会, pp.589-594.
- 戸田圭一・井上和也・村瀬賢・市川温・横尾英男(2000): 豪雨による都市域の洪水氾濫解析, 土木学会論文集, 土木学会, No.663/II-53, pp.1-10.
- 中川一・高橋保・里深好文・川池健司(2001): 1999年ベネズエラのカムリグランデ流域で発生した土砂災害について-数値シミュレーションによる再現計算と砂防施設配置効果の評価-, 京都大学防災研究所年報, 第44号 B-2, pp.207-228.
- 中川吉人・戸田圭一・錦織俊之・井上和也(2004): 都市域における小規模貯留施設の氾濫抑制効果, 河川技術論文集第10巻, 土木学会水工学委員会河川部会, pp.25-30.
- Inoue K., Kawaike K. and Toda K. (2002): Simulation Model of Inundation Risk Due to Heavy Rainfall in Low-lying River Basin, Proc. International IAHR Symposium on Hydraulic and Hydrological Aspects of Reliability and Safety Assessment of Hydraulic Structure, St. Petersburg, Russia, CD-ROM, B-14.
- Report on indicative basin plan (1970), Committee for the coordination of investigation of the Lower Mekong basin, Annex V-2, pp.18-21.
- Xanthopoulos, Th. and Koutitas, Ch. (1976): Numerical simulation of a two-dimensional flood wave propagation due to dam failure, Jour. Hydraulic Research, Vol.14, No.4, pp.321-331.

Flood Inundation Simulation Model

Kazuya INOUE

Synopsis

A flood inundation simulation model which can treat both river flood and inundation in a flood-prone area simultaneously is described. Through the application, the inundation process due to river bank break and the change of flood hydrograph are shown. To simulate complicated urban flood inundation, models which take the urban factors into account are developed by means of such as unstructured mesh model and the street network model. The simulation result of underground inundation is also introduced. The future tasks of flood inundation model and the problems to be solved are discussed.

Key Words : flood inundation simulation, unstructured mesh model, street network model, urban flood, flood management in river basin