

基礎水理シンポジウム
土木学会水工学委員会
基礎水理部会
2007年12月18日
於土木学会講堂

氾濫流とその解析

- 現状と今後取り組むべきこと -

京都大学防災研究所
附属流域災害研究センター
河川防災システム研究領域
中川 一

- 氾濫解析に関するこれまでの研究全般の流れと今後考えていくべき方向は？

氾濫解析の目的は？

1. 起こりえる氾濫現象の解析・・・例えば氾濫が発生したらいつどこで何が起こるかを知る。病院や変電所の冠水、地下空間の冠水など。準リアルタイムで解析し、情報を提供して被災軽減に寄与する。
2. 災害後の氾濫現象の分析・・・例えば氾濫原因、氾濫範囲の拡大要因と範囲の解析など。
3. 水害対策への適用・・・例えば排水機場の規模と配置などのハード対策や、ハザードマップ、避難システムの構築などのソフト対策など

氾濫災害は発生しているのか？

平成16年度の破堤氾濫災害

1. 信濃川水系五十嵐川・刈谷田川での破堤氾濫災害
(県管理の一級河川)
2. 九頭竜川水系足羽川での破堤氾濫災害
(県管理の一級河川)
3. 円山川水系円山川・出石川での破堤氾濫災害
(国土交通省管理の一級河川)
4. その他中小河川で多発

氾濫災害は発生しているのか？

平成17年度の氾濫災害

1. 宮崎県大淀川流域での氾濫災害(台風14号)
(国土交通省管理の一級河川)
2. 宮崎県五ヶ瀬川流域での氾濫災害(台風14号)
(国土交通省管理の一級河川)
3. 耳川、一ツ瀬川流域での氾濫災害(台風14号)
(宮崎県理の二級河川)
4. その他中小河川で多発

氾濫災害は発生しているのか？

平成18年度の氾濫災害

1. 鹿児島県川内川流域での氾濫災害(集中豪雨)
(国土交通省管理の一級河川)

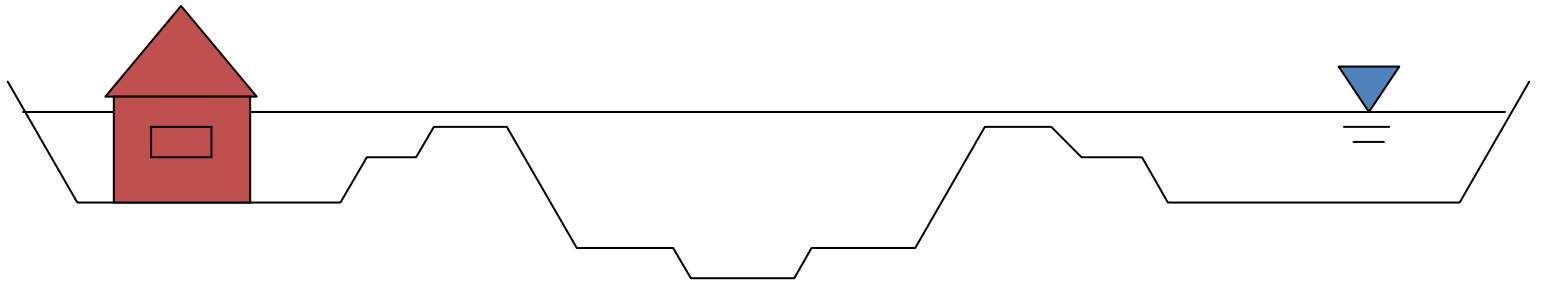
世界的に見ても各地で発生している

この分野の研究の必要性は理解できる

今までの技術では不十分？ → 現状認識

これまでの氾濫解析の流れ(技術)は？

- 氾濫原と河道とを一元化した準二次元解析



- ポンドモデル
- 浅水流方程式を用いた平面二次元解析 → 主流

洪水氾濫解析手法の分類

氾濫解析法	長 所	短 所
デカルト座標系モデル	格子形成が簡便、大まかな氾濫の状況を把握するのに好都合	構造物や道路の影響の考慮が困難
一般曲線座標系モデル	主要な道路に沿った格子形成が可能	格子形成が街路網の形状に依存
非構造格子モデル	複雑な地形や境界を取り込むのが容易	格子形成に時間と労力が必要
街路ネットワークモデル (ポンドモデル)	密集市街地において、建築物や道路の影響を考慮するのに最適	格子形成にかなりの時間と労力が必要

(川池(2001)による)

洪水氾濫解析における基礎式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = f_c N - gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} - \frac{\tau_{hx}}{\rho} + \frac{\tau_{sx}}{\rho} \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -f_c M - gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} - \frac{\tau_{hy}}{\rho} + \frac{\tau_{sy}}{\rho} \quad \dots (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q_r - q_o \quad \dots (3)$$

M, N : $M = uh, N = vh$ なる流量フラックス、 h : 水深、
 f_c : コリオリのパラメータ、 H : 水位で、 $H = h + z_b$ z_b : 地盤標高、
 g : 重力加速度、 ρ : 水の密度、 τ_{bx}, τ_{by} : それぞれ底面せん断応力の X
および Y 方向成分、 τ_{sx}, τ_{sy} : 自由表面上でのせん断応力、 τ_{hx}, τ_{hy}
: 水平方向の流体間のせん断応力、 q_r : 有効降雨強度、 q_o : 流出強度

底面せん断応力

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad \dots (4)$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad \dots (5)$$

水平粘性応力

$$\frac{\tau_{hx}}{\rho} = - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial M}{\partial y} \right) \right\} \quad \dots (6)$$

$$\frac{\tau_{hy}}{\rho} = - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial N}{\partial y} \right) \right\} \quad \dots (7)$$

基礎式をどう数値的に解くか？

数値解析手法による分類

- 有限差分法
- 有限体積法
- 有限要素法

数値解析手法は妥当か？

- 実際の洪水氾濫の再現計算による検証
 - 境界条件設定の問題(上下流端、地物等)
 - 検証データの不足の問題(水位痕跡程度)
 - 流量、粗度係数など、不確定要素の問題
 - その他
- その結果、モデル・解析手法の妥当性の検証が十分な信頼性を持ってしにくい
- 水理模型実験による検証
 - 相似則(小規模水理模型実験となりがち)
 - 模型作成の経費
 - (単純な模型実験になりがち、問題点が非顕在化)
 - 実験ケースが限られる
 - 不確定な水理条件が回避できる
- モデル・解析手法の妥当性をある程度の信頼性のもとに検証できる

洪水氾濫解析の利用は？

- 浸水想定区域図の作成(平成13、17年の水防法の改正)
(国 + 都道府県)
- ソフト対策としての洪水ハザードマップの作成
(平成19年6月末で637の市区町村が作成・公表。約1800市町村で作成が必要だがまだ1/3。都道府県管理河川で作成ゼロの都道府県:長野県、島根県、高知県、長崎県)
- 洪水氾濫解析とカップリングした住民避難行動解析
とそのソフト対策への活用(GISの利用)
- 治水投資効果の評価(治水経済調査マニュアル)



さらにより高度な洪水氾濫解析法の開発(統合化、地下)

自分の研究を振り返って氾濫解析のテーマで何をやってきたかを京大防災研究所年報に見る

- 1982年度：市街地における洪水氾濫水の挙動に関する研究
家屋群の存在が氾濫水の挙動に与える影響
(**氾濫解析**、**氾濫実験**) (図)
- 1983年度：三隅川の洪水災害 -洪水氾濫と家屋の被害- (図)
氾濫水の流体力と家屋流失、流木の問題
(**災害調査**、**氾濫解析**)
市街地における洪水氾濫と土砂堆積に関する研究
(水・**土砂氾濫実験**、**氾濫解析**)
- 1984年度：洪水氾濫による家屋流失の危険度評価
(**実験**、**解析**、**家屋流失**、**窓ガラスの破壊**) (図)
- 1985年度：堤防決壊による洪水危険度の評価に関する研究
(**掃流砂の氾濫堆積・侵食解析**)
- 1986年度：河川堤防の決壊に伴う浮遊砂の堆積に関する研究
(**浮遊砂堆積**)
土石流氾濫危険範囲の指定法に関する研究
(**土石流氾濫・堆積解析**)

1982年7月23日の長崎水害

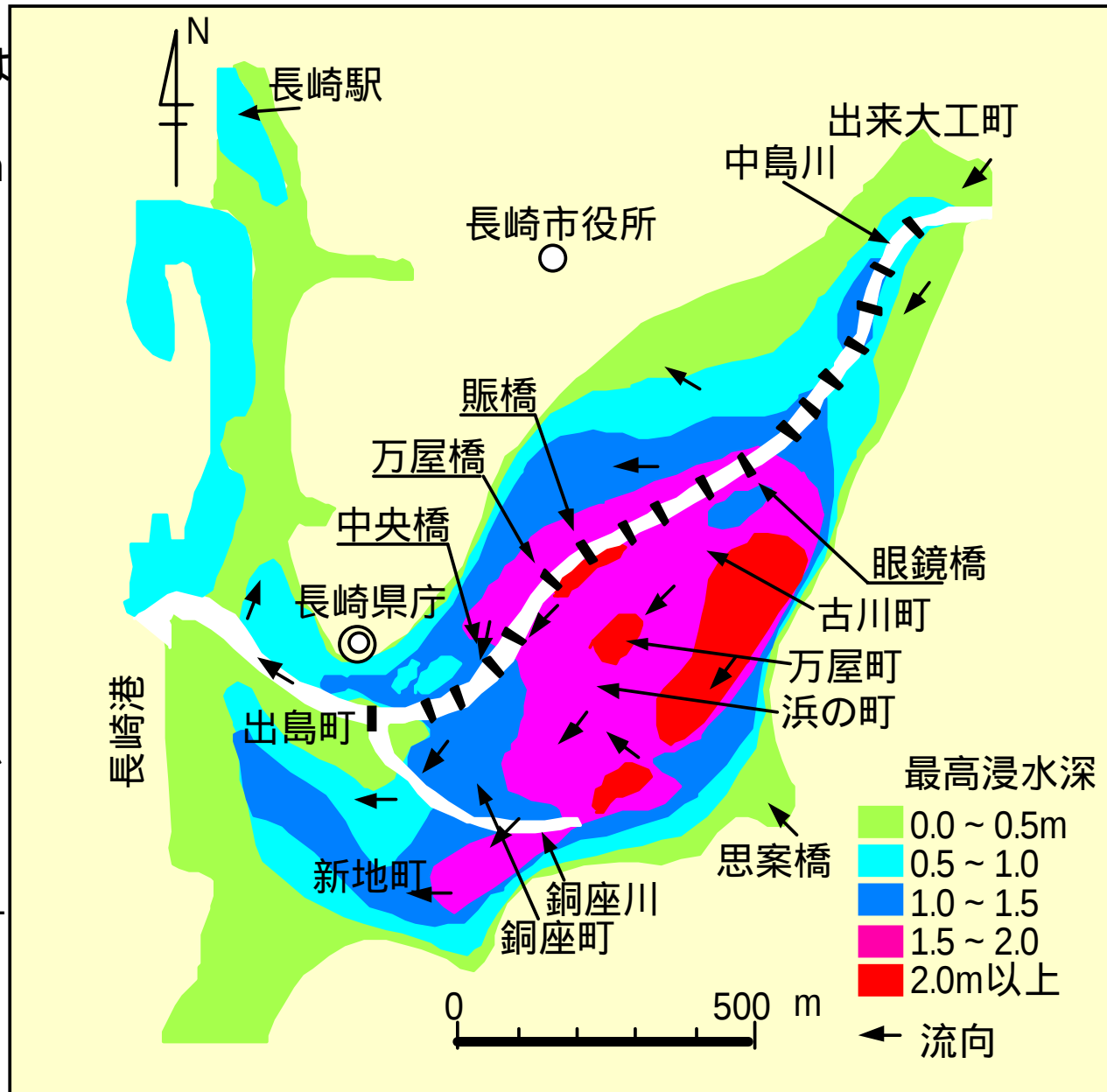
(1) 降雨状況

昭和57年7月23日長崎地方は記録的な豪雨に見舞われた。

- ・長与町では1時間に187mm
(19時～20時)の日本記録
- ・日雨量600mm以上
(23日9時～24日9時)
- ・降雨の80%が23日の17時～24時の7時間

(2) 浸水被害

- ・21時～21時30分頃浸水最大
- ・20時頃地下室への浸水開始
- ・20時30分頃市民病院の地下室浸水
- ・20時30分頃市民病院の地下室浸水・病院の機能が麻痺
- ・賑橋変電所が冠水し、浜の町一帯が停電



長崎水害 5 つの特徴

- 1 . 自動車の被害
(自動車による被害)
- 2 . 地下空間の被害
- 3 . 電話の輻輳
- 4 . ライフライン・
交通システムの被害
- 5 . 商工関係の被害大

1982年の段階で大きな警鐘が鳴らされていた

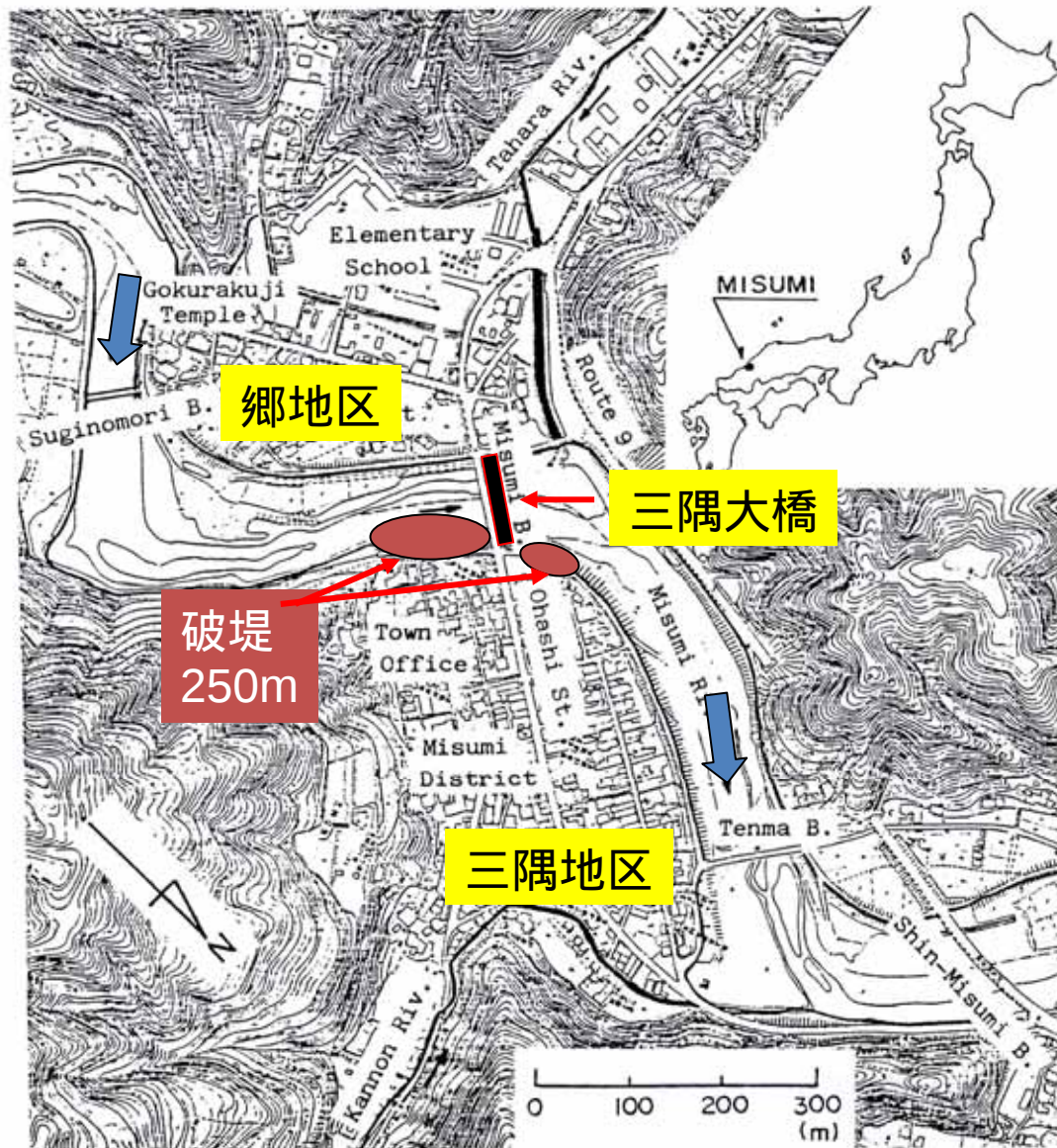
自分の研究を振り返って氾濫解析のテーマで何をやってきたかを京大防災研究所年報に見る

- 1982年度：市街地における洪水氾濫水の挙動に関する研究
 - 家屋群の存在が氾濫水の挙動に与える影響
 - (氾濫解析、氾濫実験)
- 1983年度：三隅川の洪水災害 -洪水氾濫と家屋の被害- (図)
 - 氾濫水の流体力と家屋流失、流木の問題
 - (災害調査、氾濫解析)
 - 市街地における洪水氾濫と土砂堆積に関する研究
 - (水・土砂氾濫実験、氾濫解析)
- 1984年度：洪水氾濫による家屋流失の危険度評価
 - (実験、解析、家屋流失、窓ガラスの破壊)
- 1985年度：堤防決壊による洪水危険度の評価に関する研究
 - (掃流砂の氾濫堆積・侵食解析)
- 1986年度：河川堤防の決壊に伴う浮遊砂の堆積に関する研究
 - (浮遊砂堆積)
 - 土石流氾濫危険範囲の指定法に関する研究
 - (土石流氾濫・堆積解析)

昭和58年山陰豪雨災害における三隅川での 破堤氾濫災害



昭和58年山陰豪雨災害における三隅川での 破堤氾濫災害



昭和58年山陰豪雨災害における三隅川での 破堤氾濫災害

破堤前



破堤後



落橋した三隅大橋



堤内地に氾濫・堆積した流木



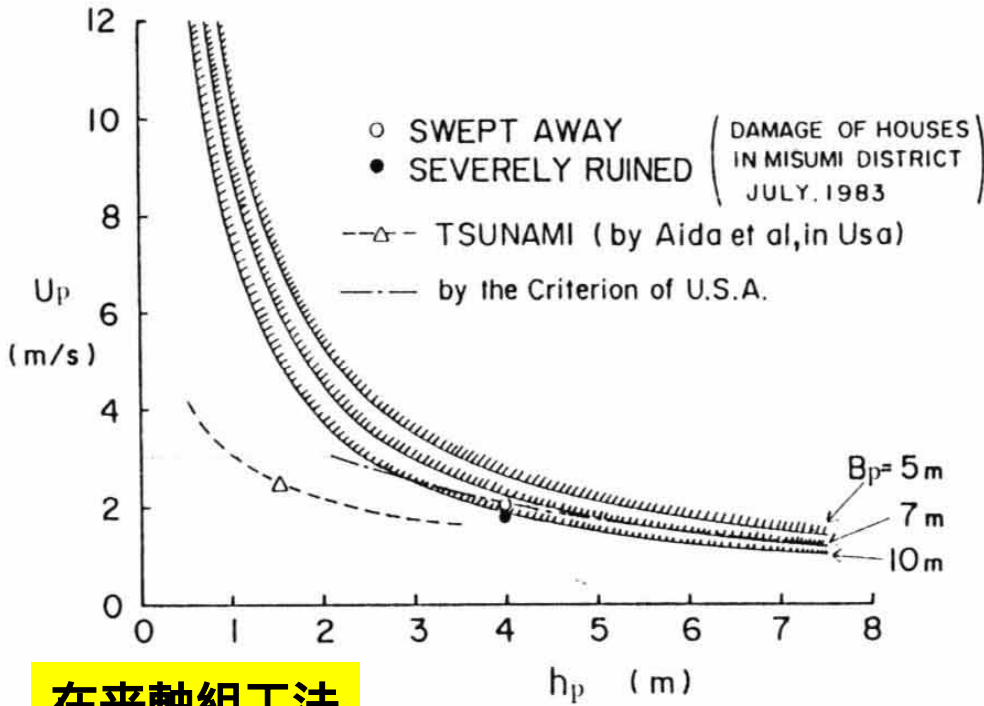
破堤氾濫の原因

- 計画高水流量 ($1700\text{m}^3/\text{s}$) を上回る大規模な洪水 (ピーク流量 $2700\text{m}^3/\text{s}$) の発生
- 三隅大橋の桁での河道水の堰上 → 落橋でさらに増大
- 流木の堰き止めによる河道水の堰上
- 堤防の水没 (越流氾濫と霞堤からの浸水)
- 流木の堤体への衝突？
- 橋直上流部での激しい乱流 → 堤体の洗掘
- その他の特徴
内岸側での破堤

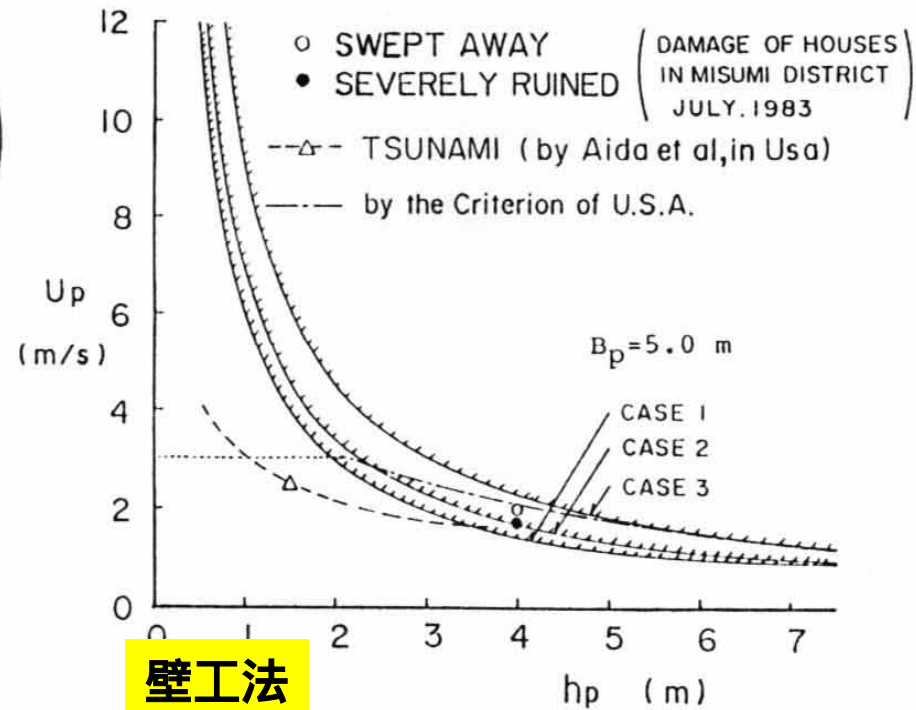
自分の研究を振り返って氾濫解析のテーマで何をやってきたかを京大防災研究所年報に見る

- 1982年度：市街地における洪水氾濫水の挙動に関する研究
 - 家屋群の存在が氾濫水の挙動に与える影響
 - (氾濫解析、氾濫実験)
- 1983年度：三隅川の洪水災害 -洪水氾濫と家屋の被害-
 - 氾濫水の流体力と家屋流失との関係
 - (災害調査、氾濫解析)
 - 市街地における洪水氾濫と土砂堆積に関する研究
 - (水・土砂氾濫実験、氾濫解析)
- 1984年度：洪水氾濫による家屋流失の危険度評価
 - (実験、解析、家屋流失、窓ガラスの破壊) (図)
- 1985年度：堤防決壊による洪水危険度の評価に関する研究
 - (掃流砂の氾濫堆積・侵食解析)
- 1986年度：河川堤防の決壊に伴う浮遊砂の堆積に関する研究
 - (浮遊砂堆積)
 - 土石流氾濫危険範囲の指定法に関する研究
 - (土石流氾濫・堆積解析)

木造家屋の流失危険度



在来軸組工法



壁工法

$$U_p h_p > C / \sqrt{B_p} \quad C = \sqrt{\frac{M_v}{(h_c/h) \cdot (C_D/2) \cdot 1000}} = 23.2$$

$$M_v = 418,730 \text{ Nm}, \quad h_c/h = 0.732, \quad C_D/2 = 1.064$$

M_v : 木造家屋の耐力モーメント , h_c : 流体力の作用点高さ , B_p : 家屋の幅

家屋による抵抗力(佐藤・今村ら)

$$\frac{\tau_{ky}}{\rho} = \frac{1}{2} C_{Dk} \frac{k \ell_k}{\Delta x \Delta y h} N \sqrt{M^2 + N^2}$$

$$\frac{\tau_{kx}}{\rho} = \frac{1}{2} C_{Dk} \frac{k \ell_k}{\Delta x \Delta y h} M \sqrt{M^2 + N^2}$$

流体力が $1.5\text{m}^3/\text{s}^2$ 以上：家屋被害発生

流体力が $2.5\text{m}^3/\text{s}^2$ 以上：居住不可能

見かけ上、応力のような形で家屋からの抵抗力を基礎式に直接組み込むことの妥当性の問題。

流れの応力構造が変化するとした取り扱い。

家屋に作用する流体力(重枝・秋山ら)

$$D_x = \rho \oint_{\partial\Omega'} \frac{1}{2} g h^2 n_x dL'$$

$$D_y = \rho \oint_{\partial\Omega'} \frac{1}{2} g h^2 n_y dL'$$

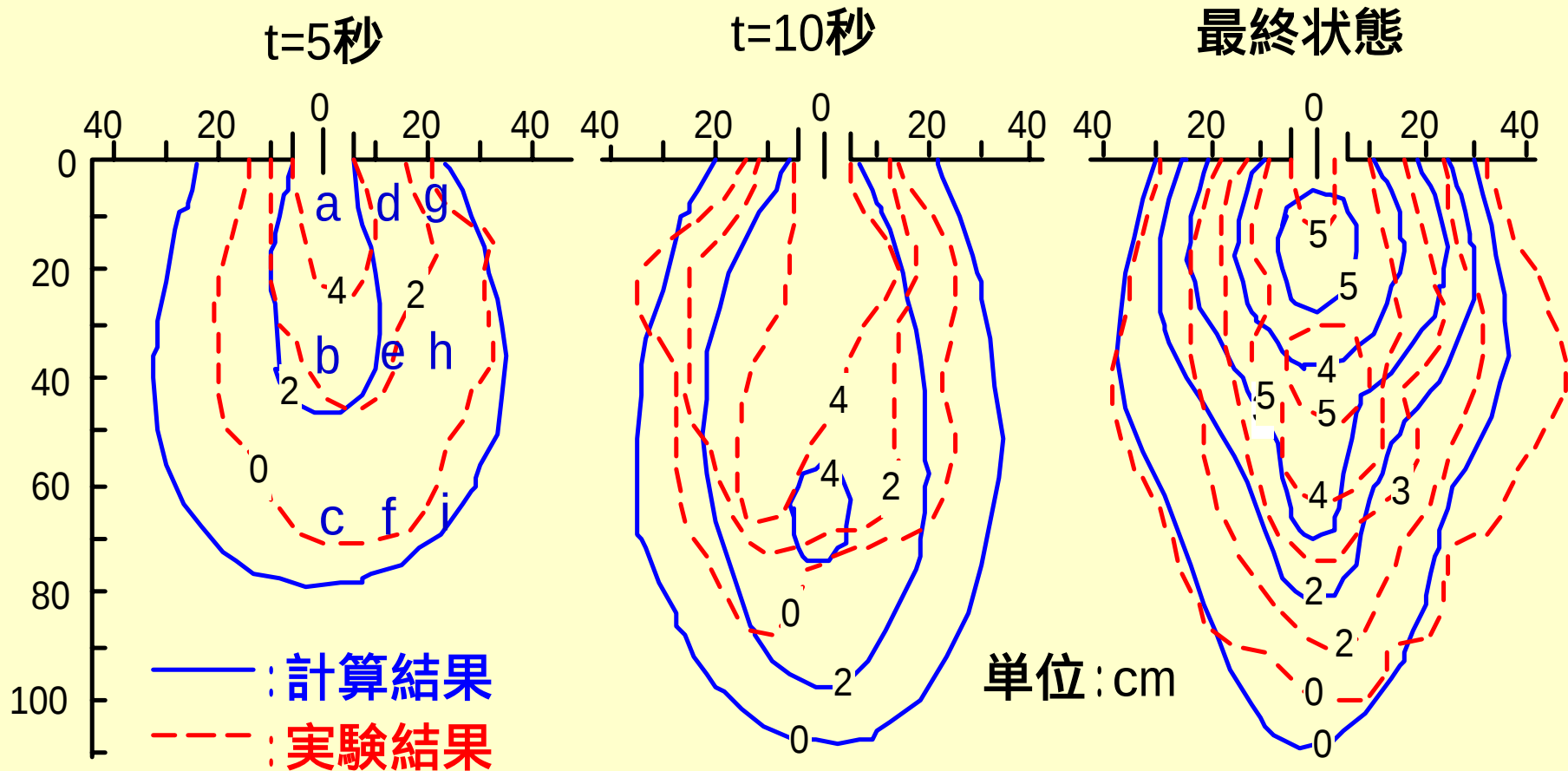
洪水氾濫解析では通常、家屋一戸一戸の存在を考慮して計算できないので、家屋群中に存在する家屋に作用する流体力として、この成果をどのように洪水氾濫解析に組み込むか。

場所によっては家屋に作用する力として静水圧だけでなく、動圧も考慮する必要。

自分の研究を振り返って氾濫解析のテーマで何をやってきたかを京大防災研究所年報に見る

- 1982年度：市街地における洪水氾濫水の挙動に関する研究
 - 家屋群の存在が氾濫水の挙動に与える影響
 - (氾濫解析、氾濫実験)
- 1983年度：三隅川の洪水災害 -洪水氾濫と家屋の被害-
 - 氾濫水の流体力と家屋流失との関係
 - (災害調査、氾濫解析)
 - 市街地における洪水氾濫と土砂堆積に関する研究
 - (水・土砂氾濫実験、氾濫解析)
- 1984年度：洪水氾濫による家屋流失の危険度評価
 - (実験、解析、家屋流失、窓ガラスの破壊)
- 1985年度：堤防決壊による洪水危険度の評価に関する研究
 - (掃流砂の氾濫堆積・侵食解析)
- 1986年度：河川堤防の決壊に伴う浮遊砂の堆積に関する研究
 - (浮遊砂堆積)
 - 土石流氾濫危険範囲の指定法に関する研究 (図)
 - (土石流氾濫・堆積解析) (1982年の長崎豪雨災害)

土石流氾濫・堆積に関する実験結果と 計算結果との比較



a ~ i : 最終状態での土砂採取地点

自分の研究を振り返って氾濫解析のテーマで何をやってきたかを京大防災研究所年報に見る

1987年度：排水路網を考慮した洪水氾濫解析

(**排水路**からの流出、氾濫)

扇状地における土砂氾濫災害危険度の評価

(土石流氾濫・堆積実験・数値解析)

1988年度：洪水氾濫水の動態を考慮した避難システムの評価に関する研究

(**避難行動**解析) ← 水害危険度とは何か？ソフト対策も考慮

堤防決壊による土砂堆積のシミュレーション

(土砂氾濫・堆積の数値解析)

1989年度：洪水氾濫に伴う地下街浸水のシミュレーション

(**地下空間**の浸水実験、数値解析) ← 1982長崎水害

1990年度：堤内地における流木群の挙動に関する研究

(**流木**の流動) ← 1983山陰豪雨水害、流木被害の顕在化

1991年度：流木群の流動に関する研究

自然ダムの越流決壊によって形成される洪水の予測

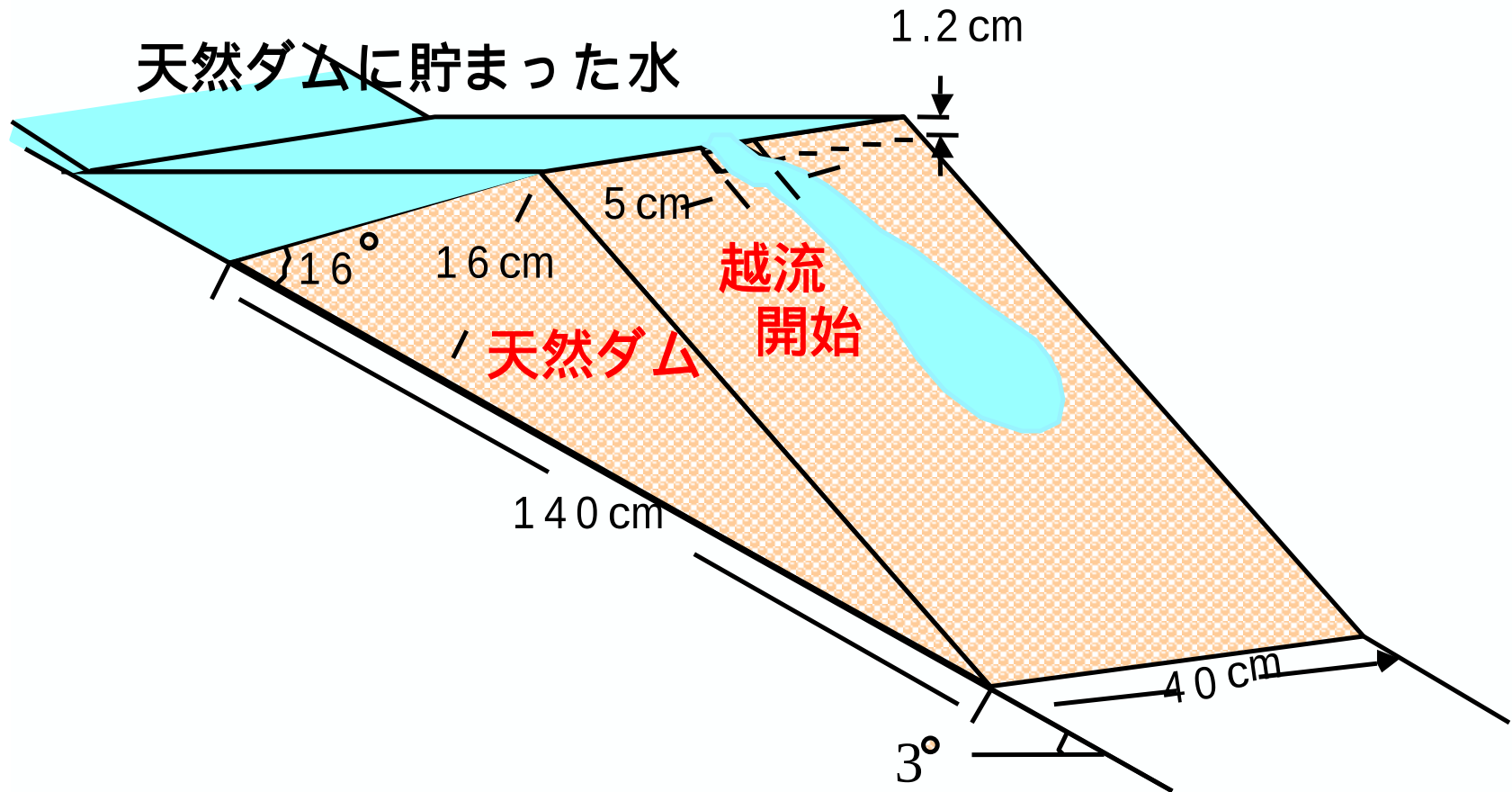
(**天然ダム**の決壊計算) (図)

1992年度：流木群の流動に関する研究(2) -流木群の堰止め-

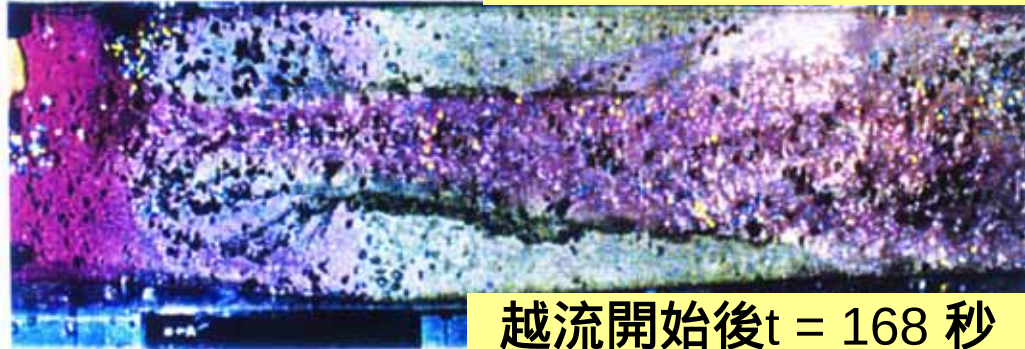
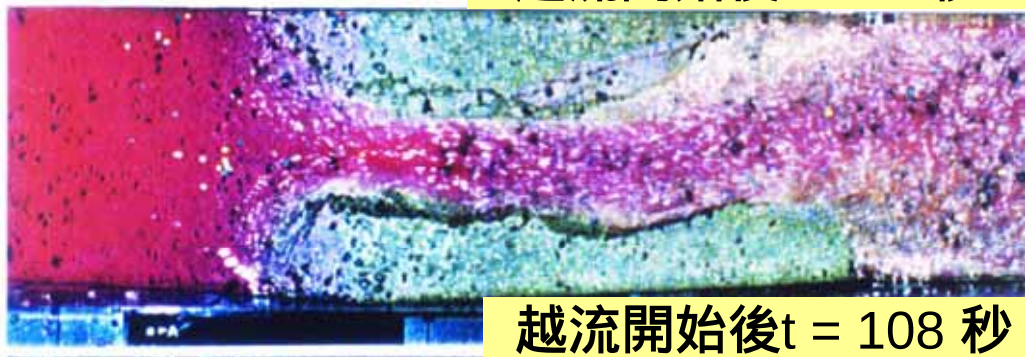
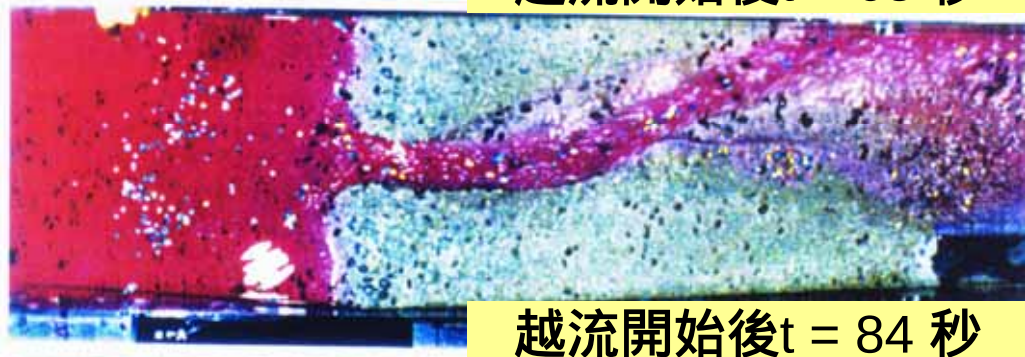
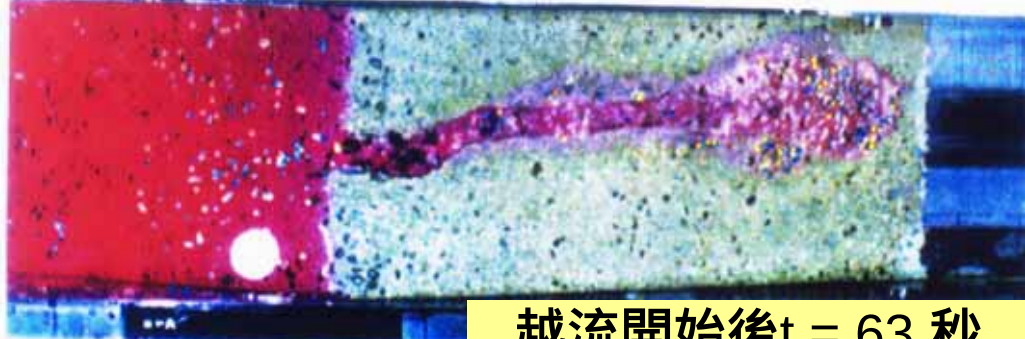
(流木の**堰止め**)

越流決壊過程の数学モデルに基づく地形 変動と洪水ハイドログラフの予測

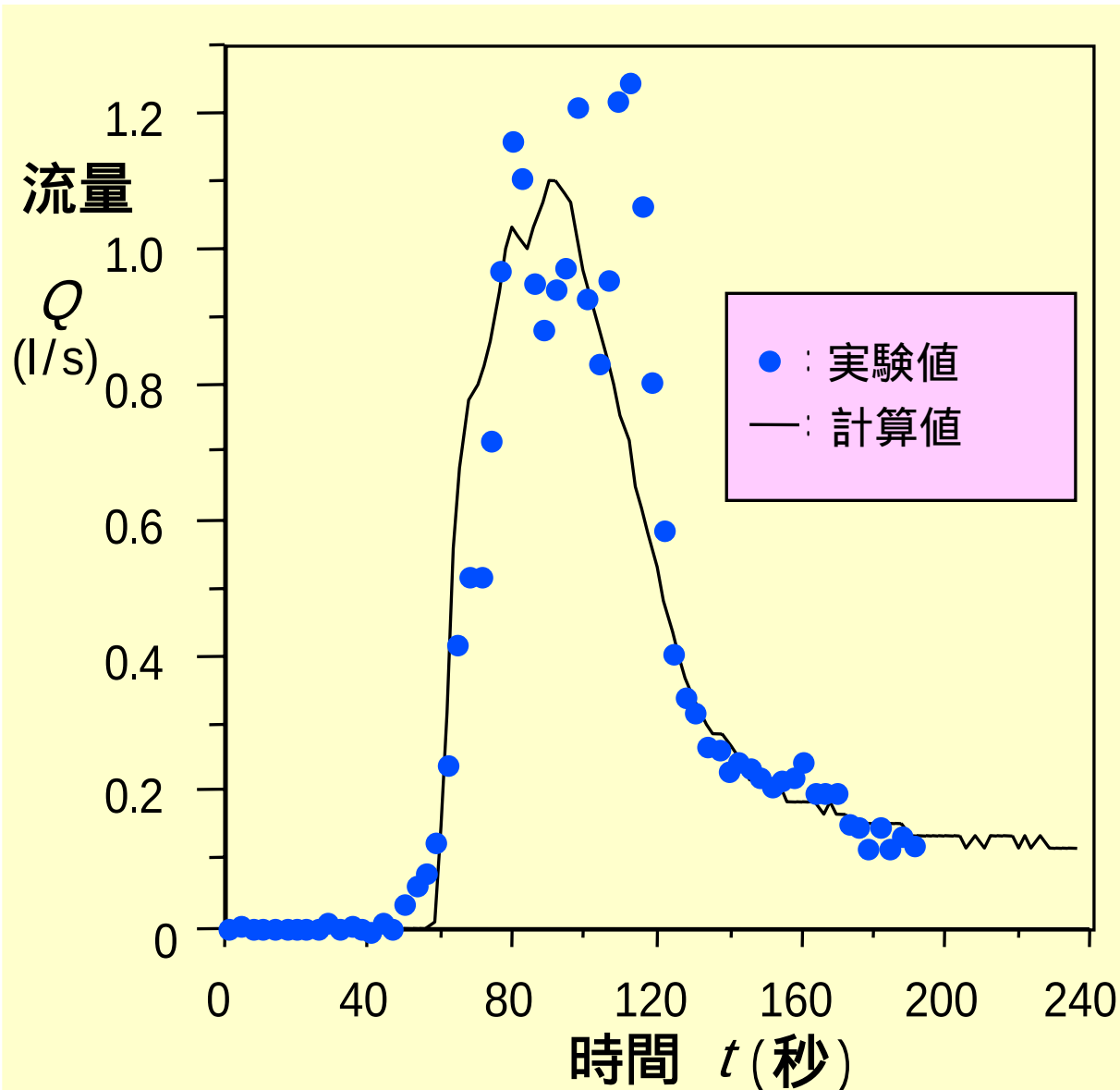
天然ダムの初期形状(越流が始まった状態)



天然ダムの決壊 過程(実験)



天然ダムの決壊による洪水ハイドログラフ ー計算結果と実験結果との比較ー



自分の研究を振り返って氾濫解析のテーマで何をやってきたかを京大防災研究所年報に見る

- 1993年度: 流木群の流動に関する研究(3) -流木の回転運動を考慮した解析-
(流木の回転運動) (図)
- 1994年度: 大阪湾における高潮とその氾濫に関する研究 (高潮の氾濫解析)
- 1996年度: GISを用いた避難行動の解析
-岐阜県吉城郡上宝村栃尾地区周辺を対象に- (GISの利用)
- 1997年度: 平成9年鹿児島県出水市針原川で発生した土石流災害について
(土石流氾濫・堆積の再現計算)
- 1999年度: 湾内に流出した流木群の挙動解析 ← モデルの現場への適用性
- 2000年度: 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 -
(非構造格子、対策の効果の評価)
- 2002年度: 都市における洪水氾濫
- 大規模な洪水氾濫模型装置を用いた実験と解析 -
(非構造格子、大規模模型、地上から地下空間への浸水)
- 2003年度: 住区内での浸水を考慮した洪水氾濫の実験と解析 (非構造格子、住区)

流木群の流動解析

基礎式

(流木群の流動式)

並進運動

$$(m_k + mC_M) \frac{du_k}{dt} =$$

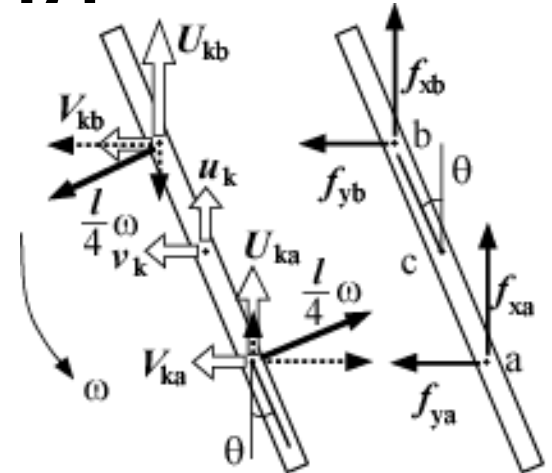
$$m(1 + C_M) \frac{dU_k}{dt} - m_k g \frac{\partial H_k}{\partial x} - \frac{1}{2} \rho C_{Dx} W_k (u_k - U_k) A_{kx} - \frac{1}{2} \rho_a C_{Dx} \tilde{W}_k (u_k - W_{kx}) \tilde{A}_{kx}$$

$$(m_k + mC_M) \frac{dv_k}{dt} =$$

$$m(1 + C_M) \frac{dV_k}{dt} - m_k g \frac{\partial H_k}{\partial y} - \frac{1}{2} \rho C_{Dy} W_k (v_k - V_k) A_{ky} - \frac{1}{2} \rho_a C_{Dy} \tilde{W}_k (v_k - W_{ky}) \tilde{A}_{ky}$$

回転運動

$$I \frac{d^2 \theta_k}{dt^2} = \frac{\ell}{4} \{ (f_{xa} - f_{xb}) \sin \theta_k - (f_{ya} - f_{yb}) \cos \theta_k \}$$



二次元氾濫場における流木群の流動に関する実験

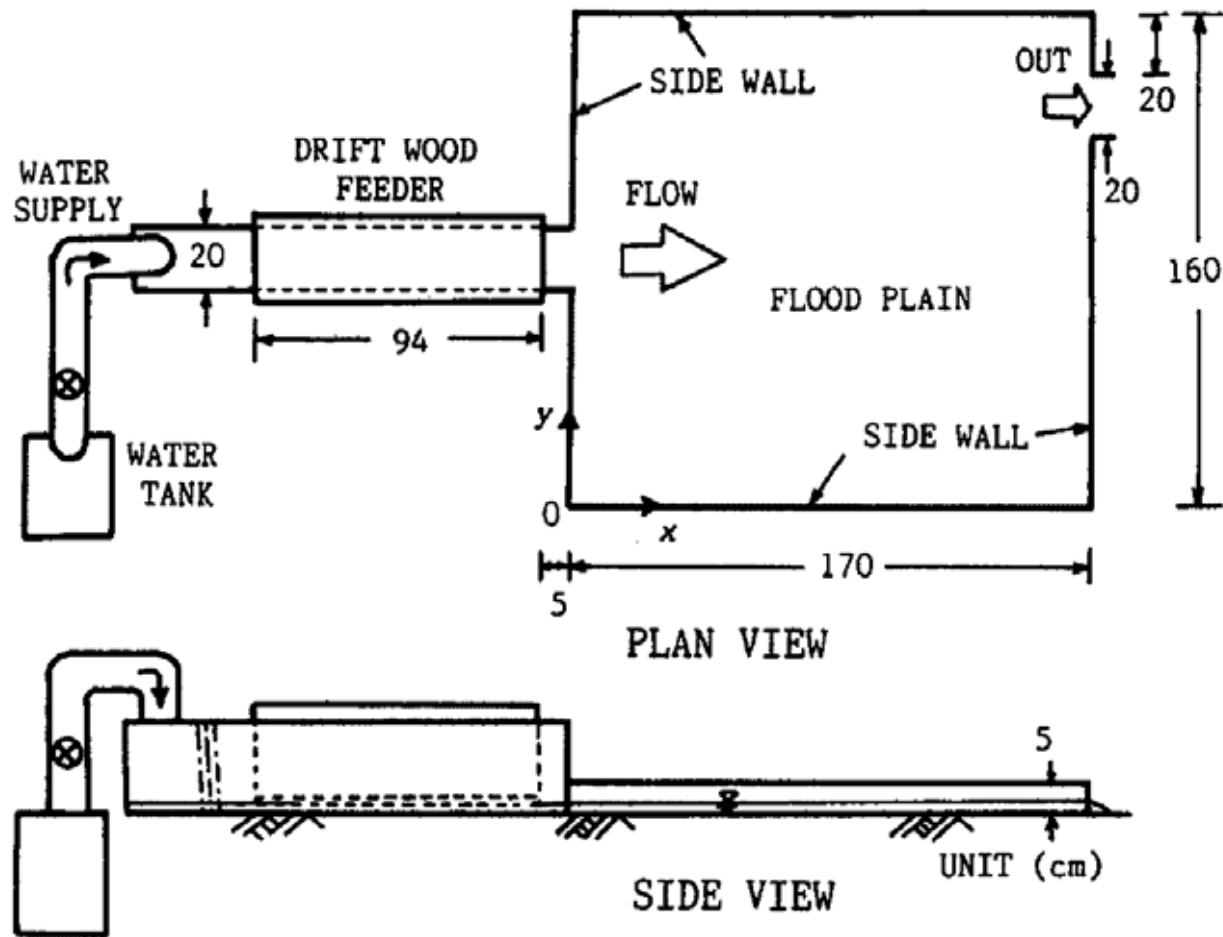
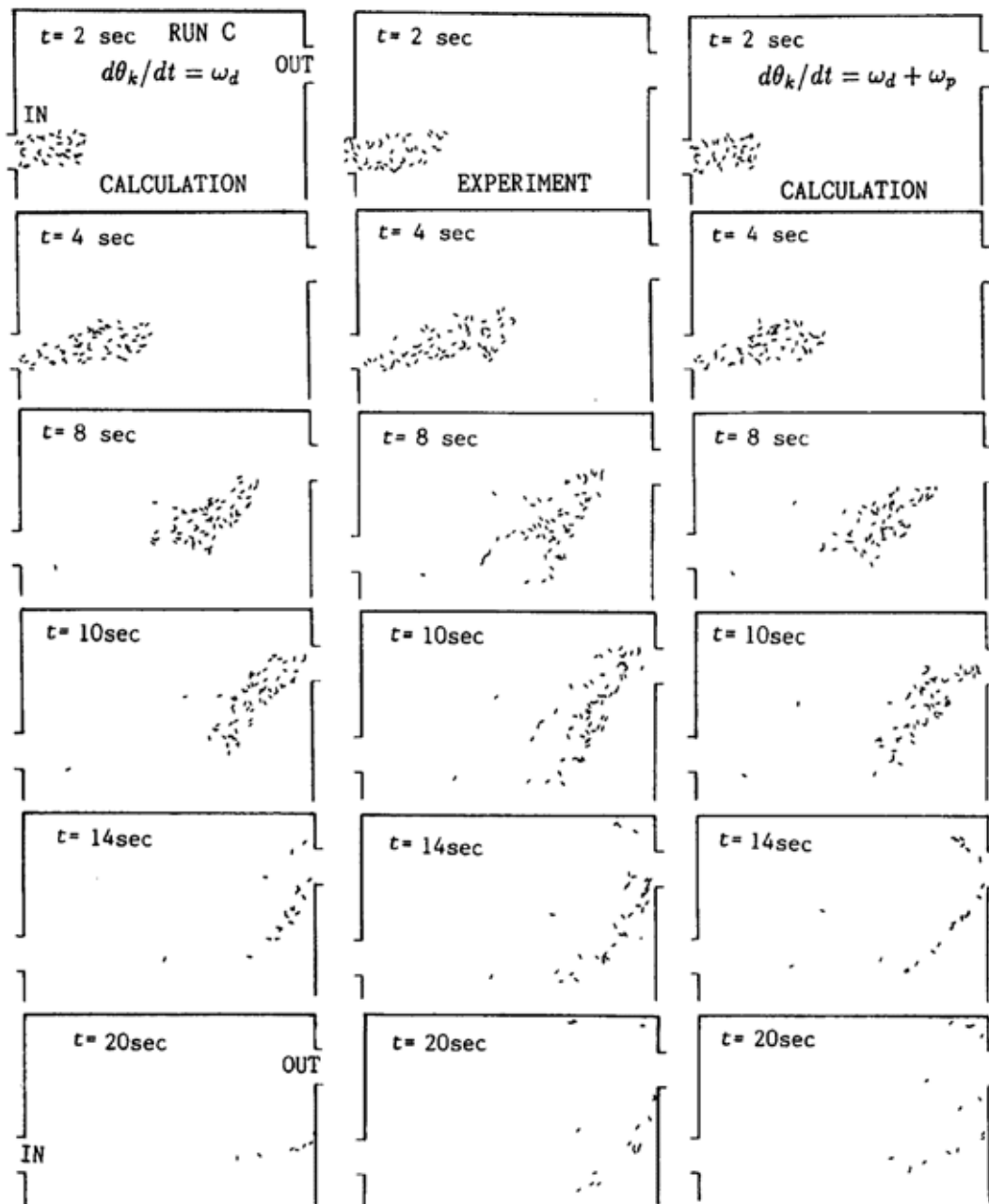


Fig. 11. Experimental set-up for the two-dimensional diffusion of drift wood.

計算((8)式)

実験

計算(回転角速度に変動量)



二次元氾濫場における流木の流動に関する実験結果と計算結果との比較

自分の研究を振り返って氾濫解析のテーマで何をやってきたかを京大防災研究所年報に見る

- 1993年度: 流木群の流動に関する研究(3) -流木の回転運動を考慮した解析-
(流木の回転運動)
- 1994年度: 大阪湾における高潮とその氾濫に関する研究 (高潮の氾濫解析)
- 1996年度: GISを用いた避難行動の解析
-岐阜県吉城郡上宝村栃尾地区周辺を対象に- (GISの利用)
- 1997年度: 平成9年鹿児島県出水市針原川で発生した土石流災害について
(土石流氾濫・堆積の再現計算)
- 1999年度: 湾内に流出した流木群の挙動解析 ← モデルの現場への適用性(図)
- 2000年度: 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 -
(非構造格子、対策の効果の評価)
- 2002年度: 都市における洪水氾濫
- 大規模な洪水氾濫模型装置を用いた実験と解析 -
(非構造格子、大規模模型、地上から地下空間への浸水)
- 2003年度: 住区内での浸水を考慮した洪水氾濫の実験と解析 (非構造格子、住区)

Fig.2 Driftwood flow directions (source Asahi Newspaper, July 6, 1990) Arrived at Satamisaki Peninsula on 00:00 July 5

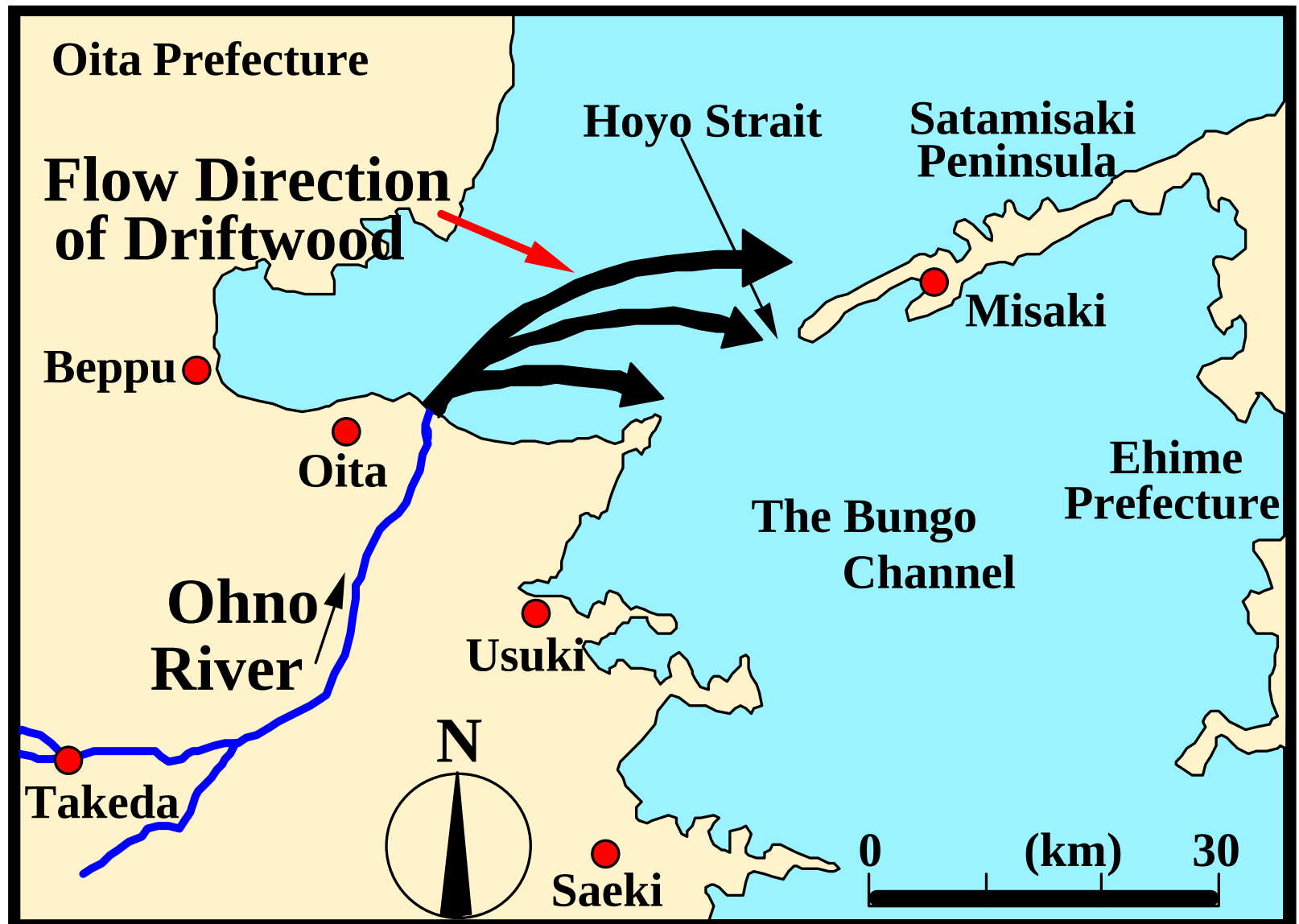


Photo 1 Driftwood belt showing fishing boats removing driftwood (about noon July 5, 1990)



4. Conditions for Calculations

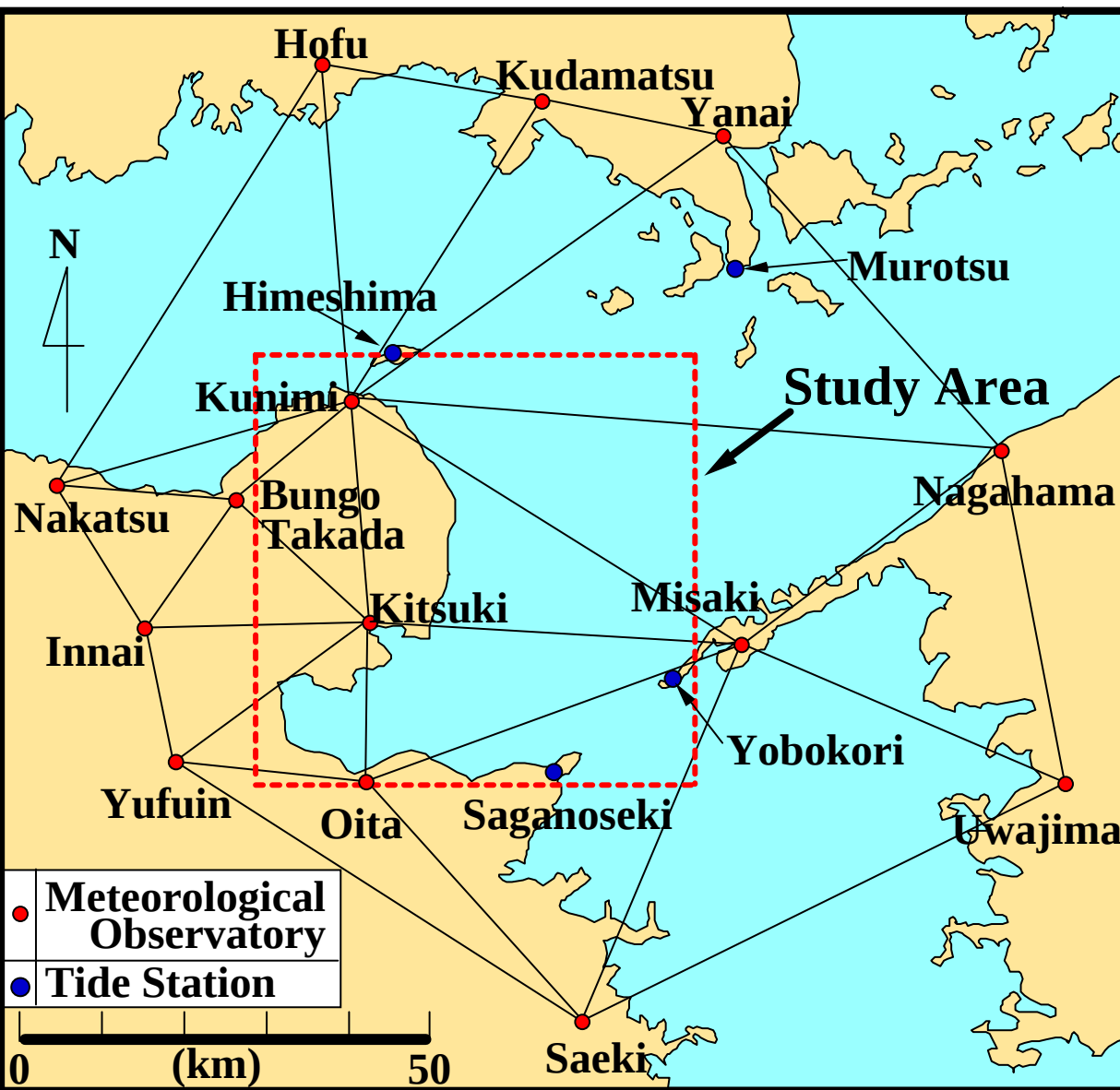


Fig.4 Locations of meteorological observatories and tide stations. The square enclosed by dotted line shows the computational domain.

Boundary Conditions

[Tidal Conditions:]

Interpolated Astronomical Tide Levels

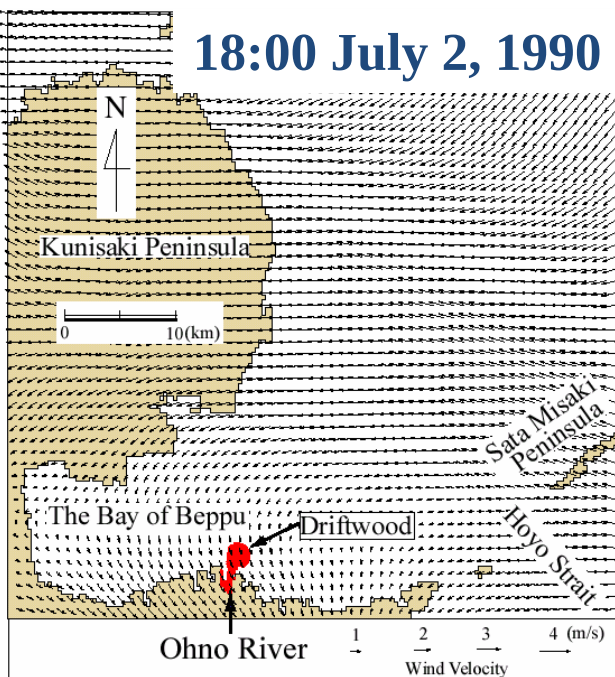
- Himeshima (30 comps.)
- Murotsu (12 comps.)
- Saganoseki (22 comps.)
- Yobokori (22 comps.)

Wind Conditions:

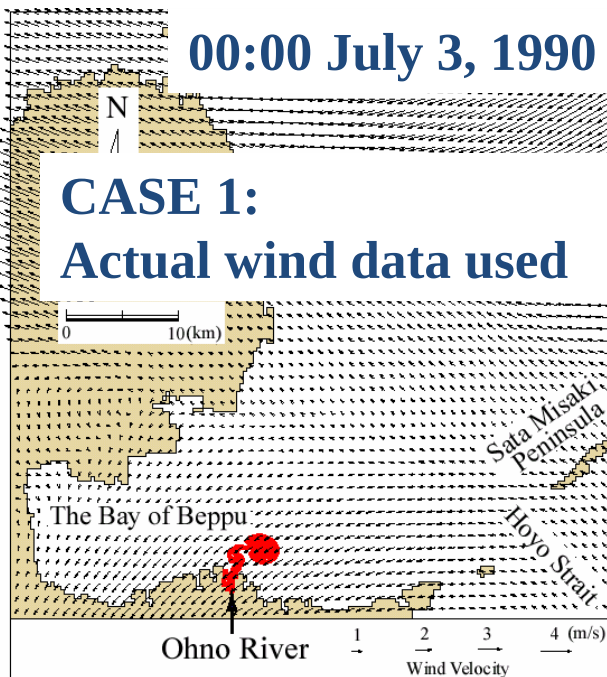
CASE1: Actual wind data

CASE2: $W_x = W_y = 5\text{m/s}$

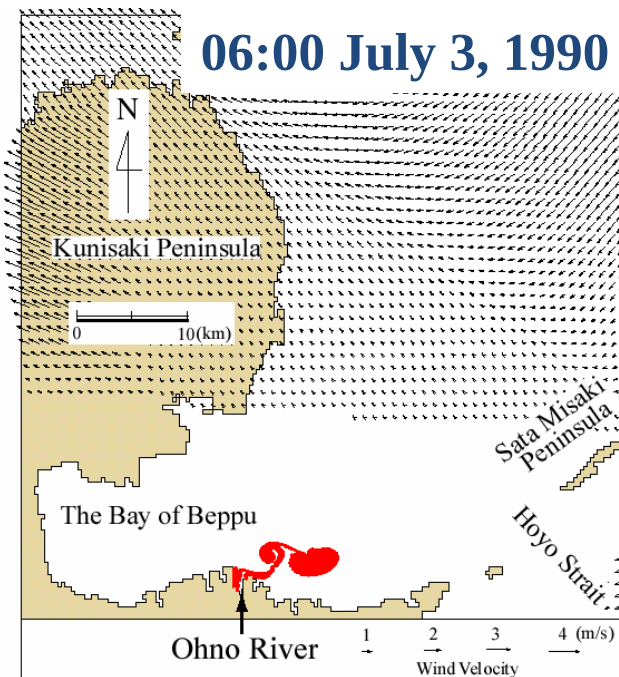
18:00 July 2, 1990



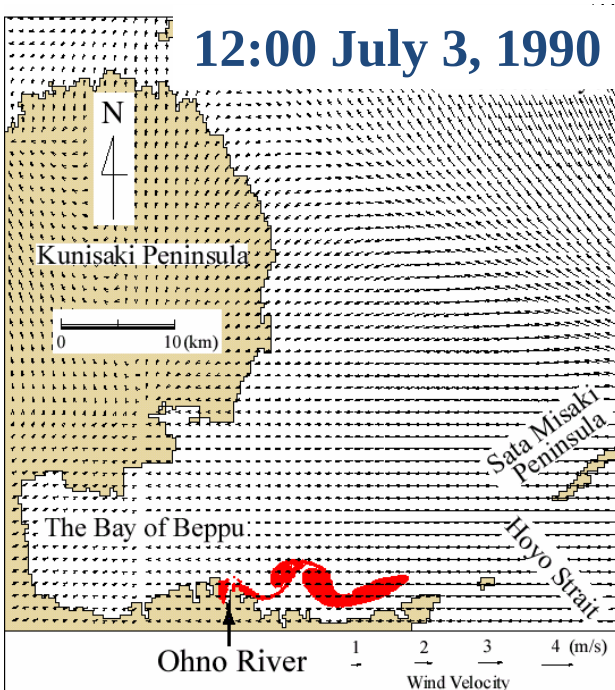
00:00 July 3, 1990



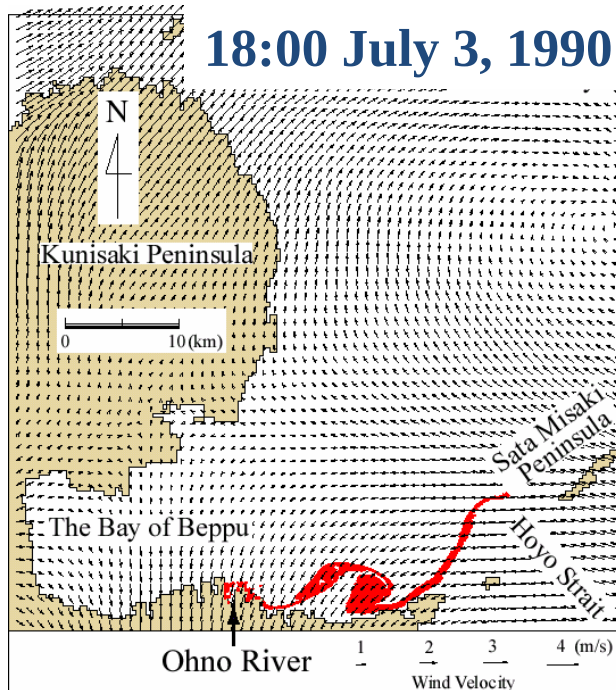
06:00 July 3, 1990



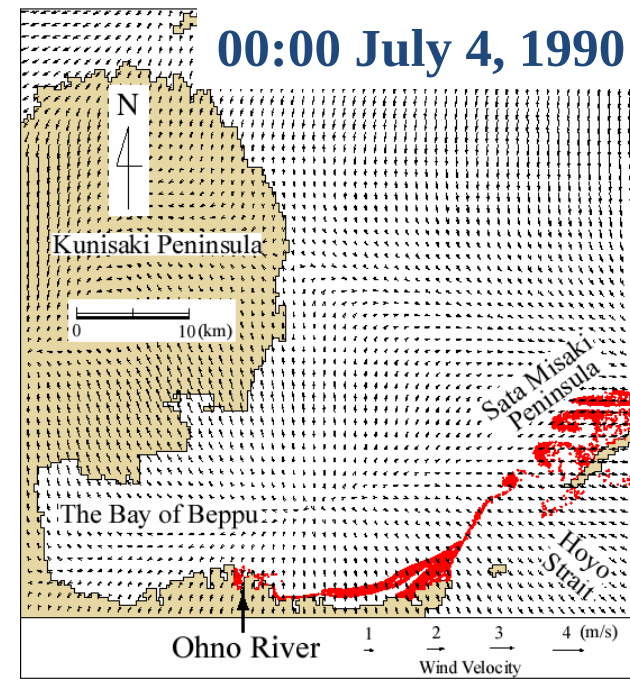
12:00 July 3, 1990



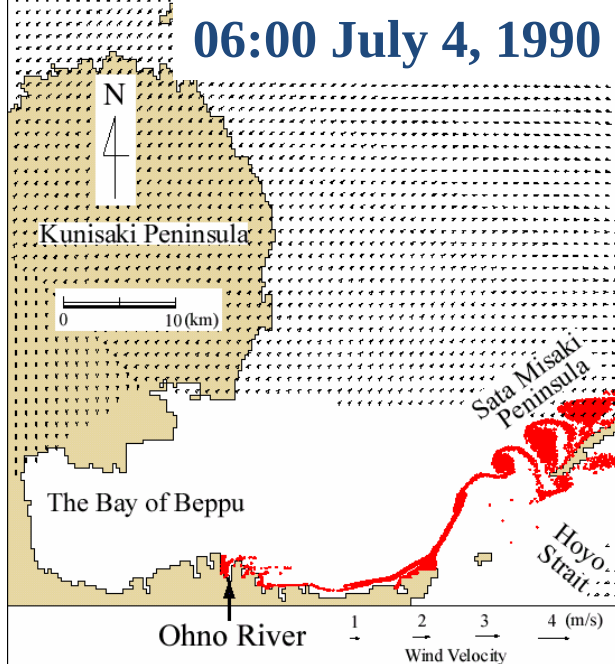
18:00 July 3, 1990



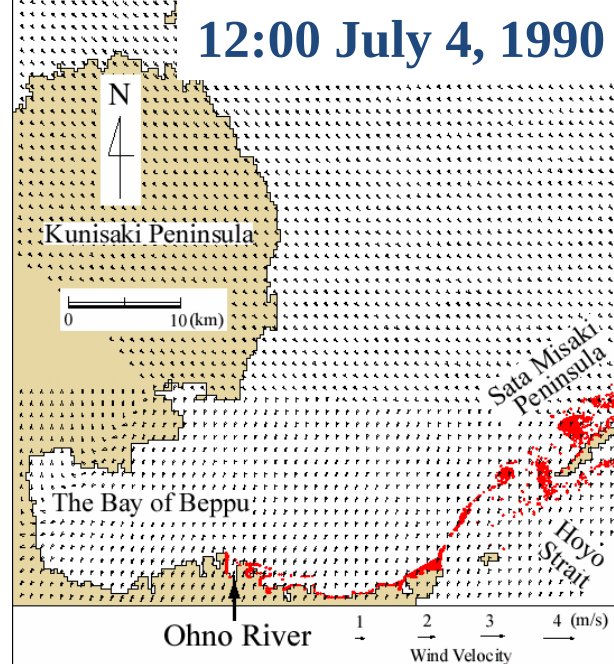
00:00 July 4, 1990



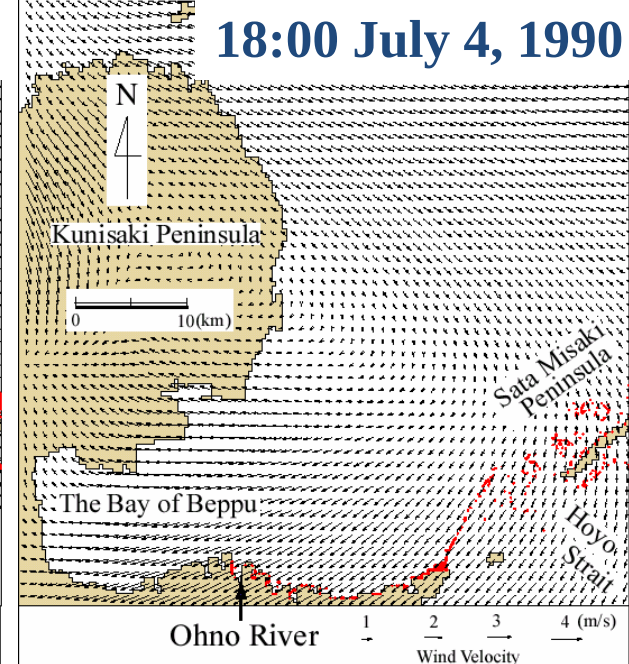
06:00 July 4, 1990



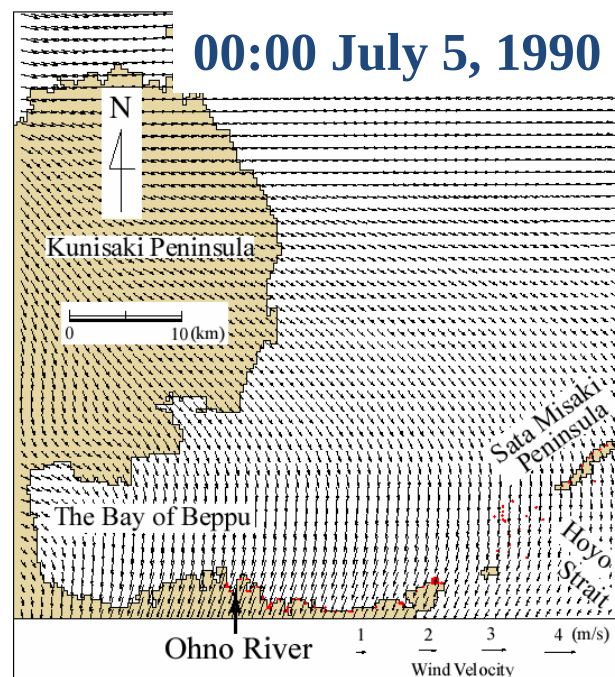
12:00 July 4, 1990



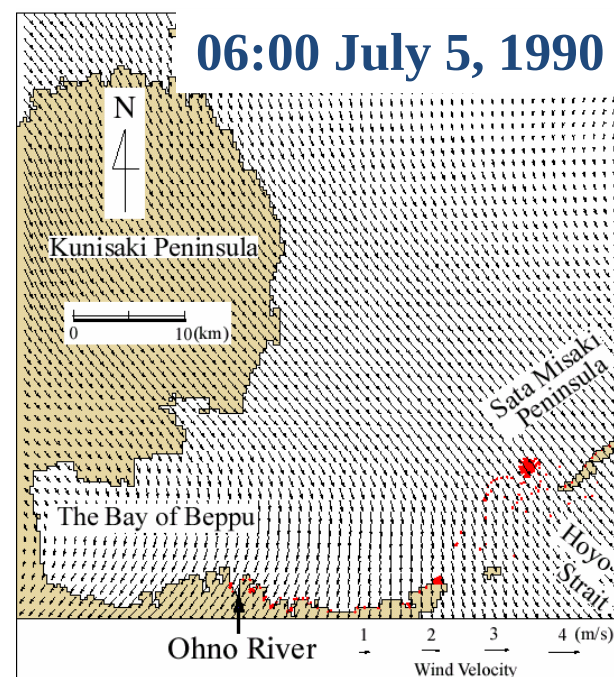
18:00 July 4, 1990



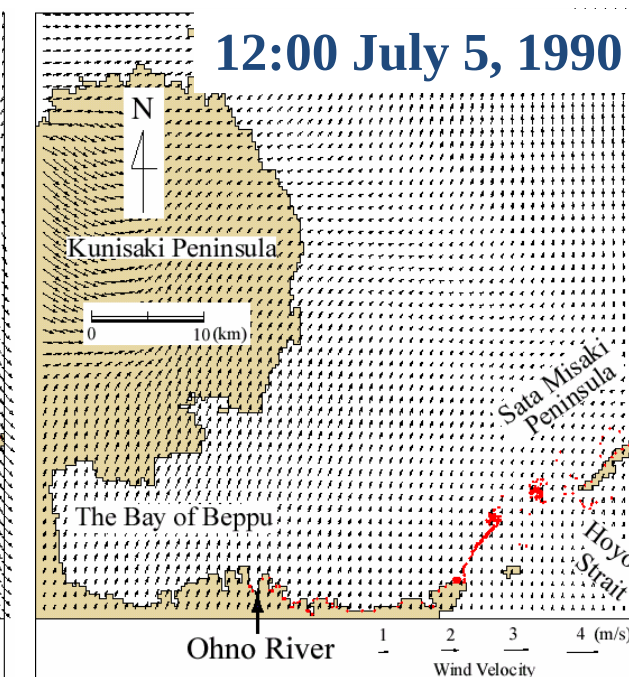
00:00 July 5, 1990



06:00 July 5, 1990



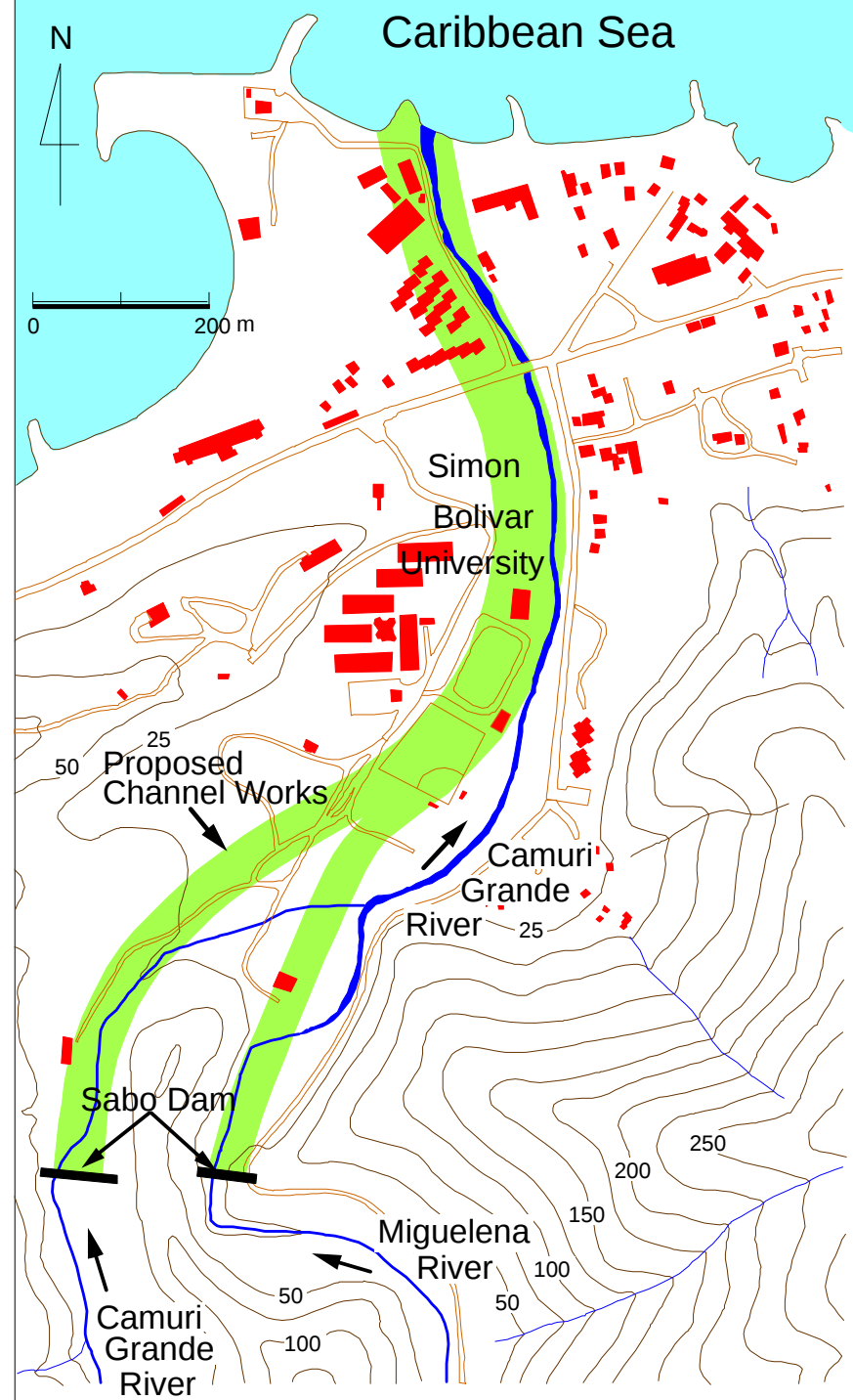
12:00 July 5, 1990



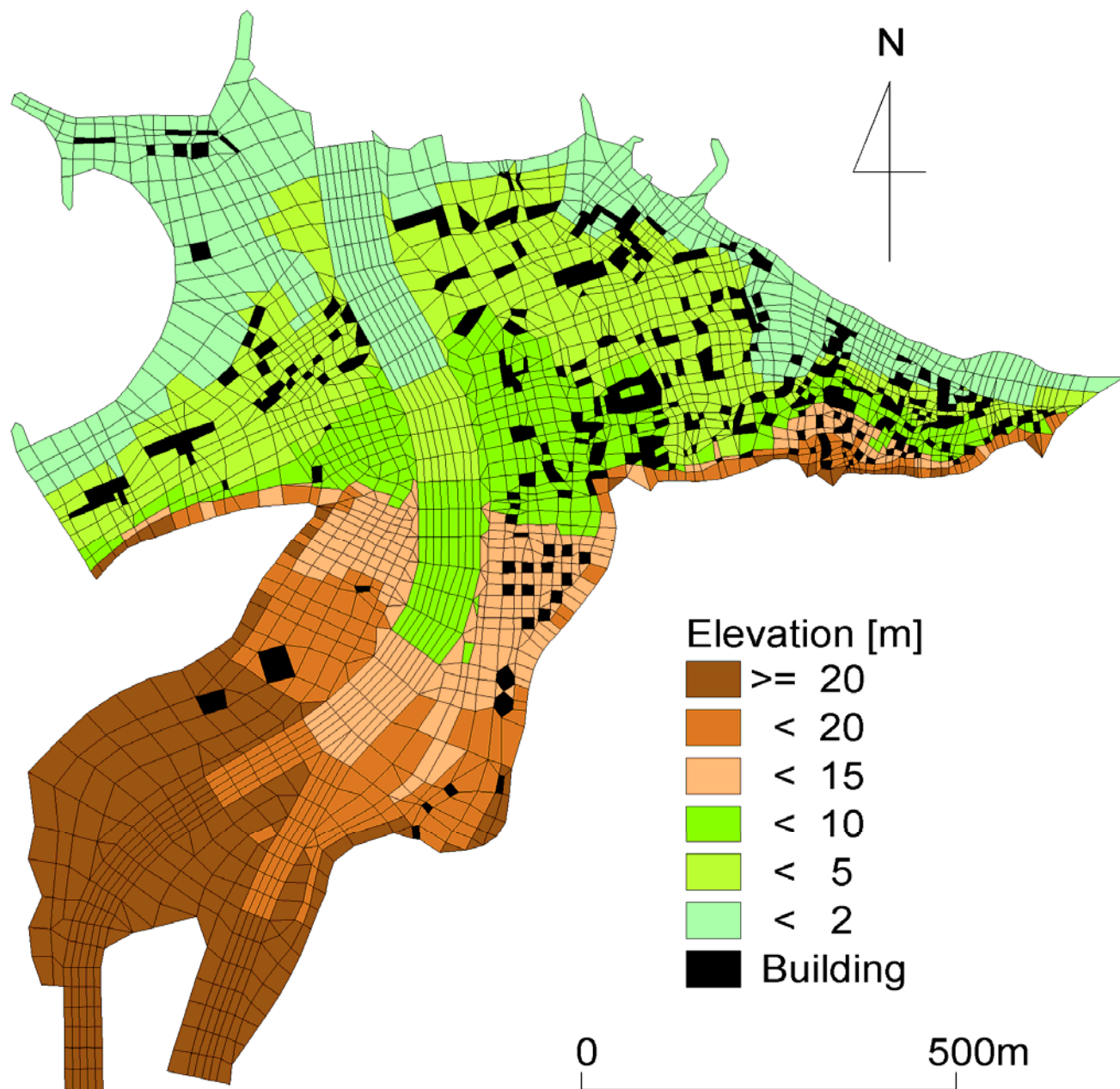
自分の研究を振り返って氾濫解析のテーマで何をやってきたかを京大防災研究所年報に見る

- 1993年度: 流木群の流動に関する研究(3) -流木の回転運動を考慮した解析-
(流木の回転運動)
- 1994年度: 大阪湾における高潮とその氾濫に関する研究 (高潮の氾濫解析)
- 1996年度: GISを用いた避難行動の解析
-岐阜県吉城郡上宝村栃尾地区周辺を対象に- (GISの利用)
- 1997年度: 平成9年鹿児島県出水市針原川で発生した土石流災害について
(土石流氾濫・堆積の再現計算)
- 1999年度: 湾内に流出した流木群の挙動解析 ← モデルの現場への適用性
- 2000年度: 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 -
(非構造格子、対策の効果の評価) (図)
- 2002年度: 都市における洪水氾濫
- 大規模な洪水氾濫模型装置を用いた実験と解析 -
(非構造格子、大規模模型、地上から地下空間への浸水)
- 2003年度: 住区内での浸水を考慮した洪水氾濫の実験と解析 (非構造格子、住区)

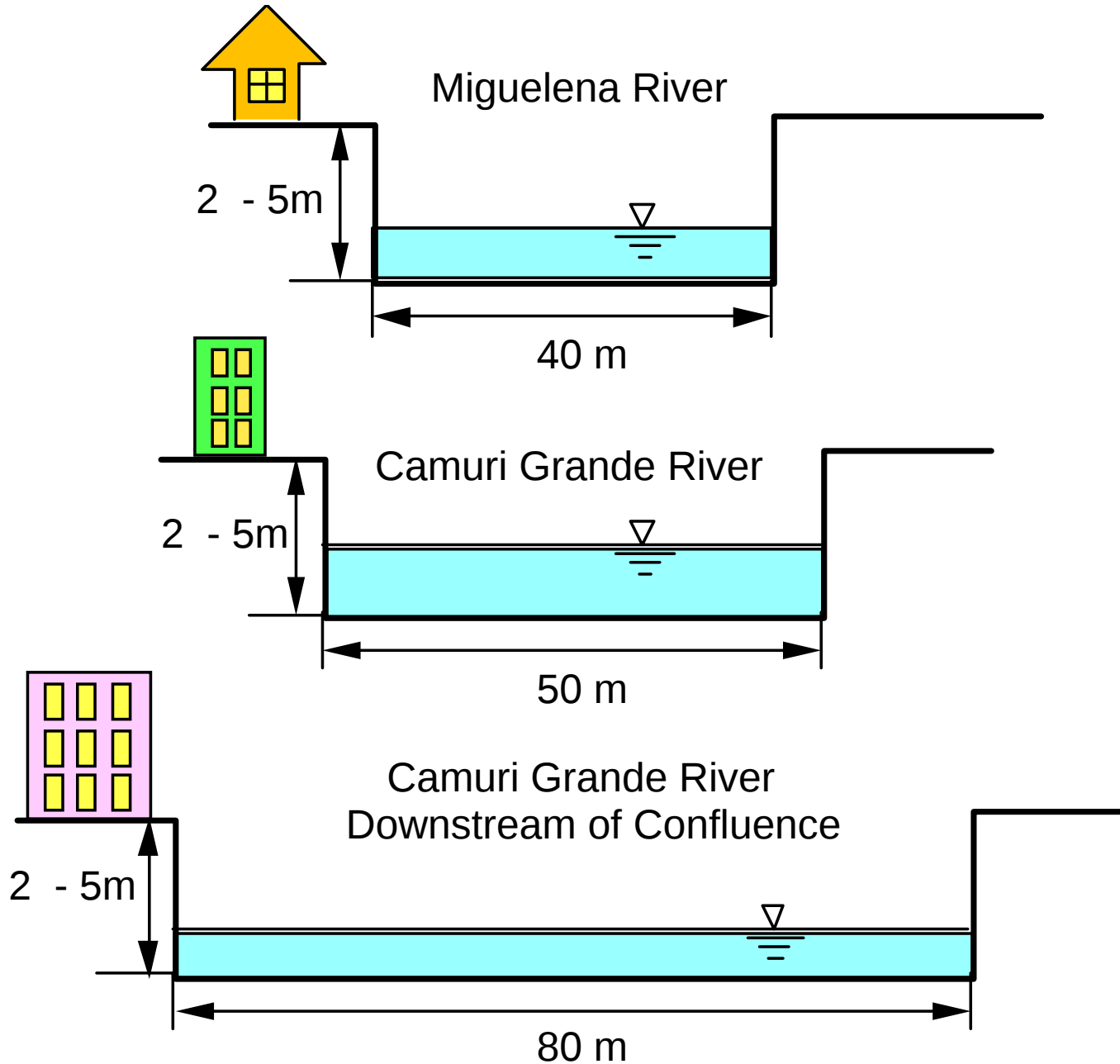
南米ベネズエラでの土砂災害 の場合 —砂防施設の効果の評価—



有限体積法による計算メッシュと標高 (非構造格子)



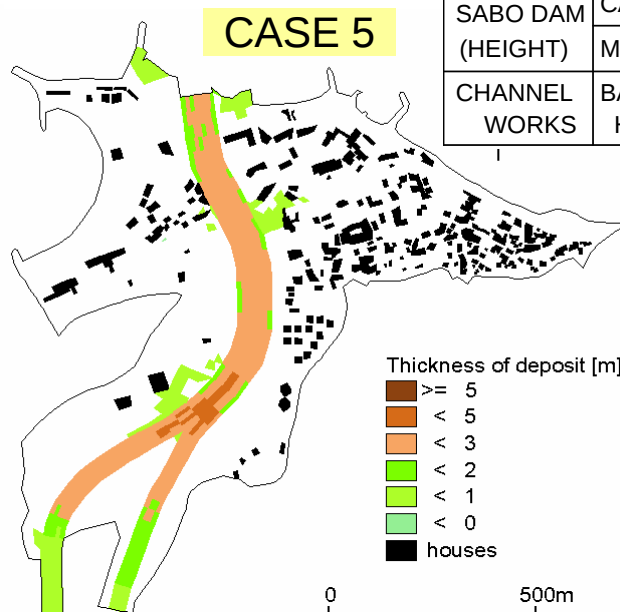
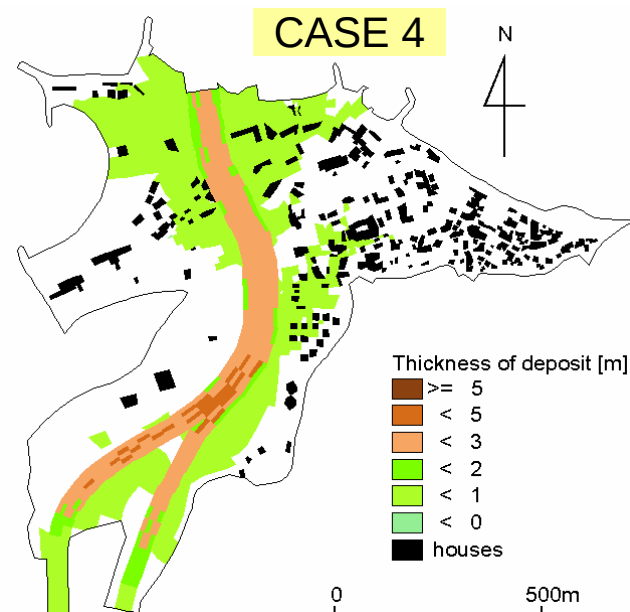
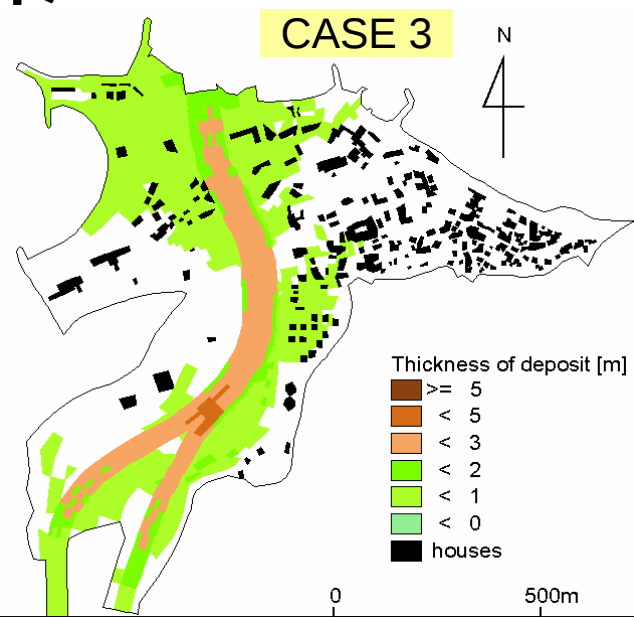
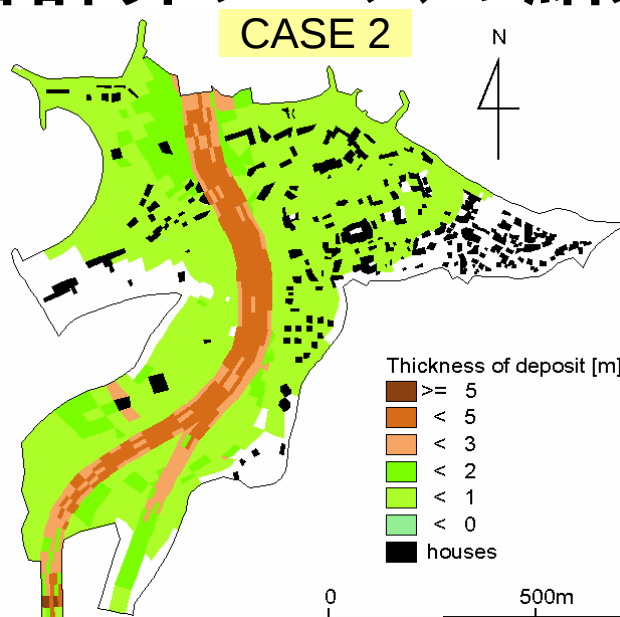
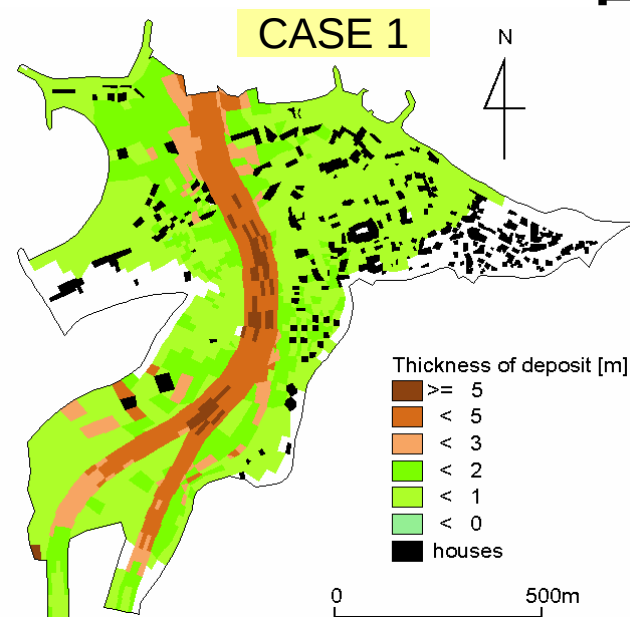
流路工の断面



計算ケース

CASE NO.		CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5
SABO WORKS						
SABO DAM (HEIGHT)	CAMURI	NO	10 m	20 m	20 m	20 m
	MIGUELENA	NO	10 m	10 m	10 m	10 m
CHANNEL WORKS	BANK HEIGHT	2m	2m	2m	3m	5m

各計算ケースの結果

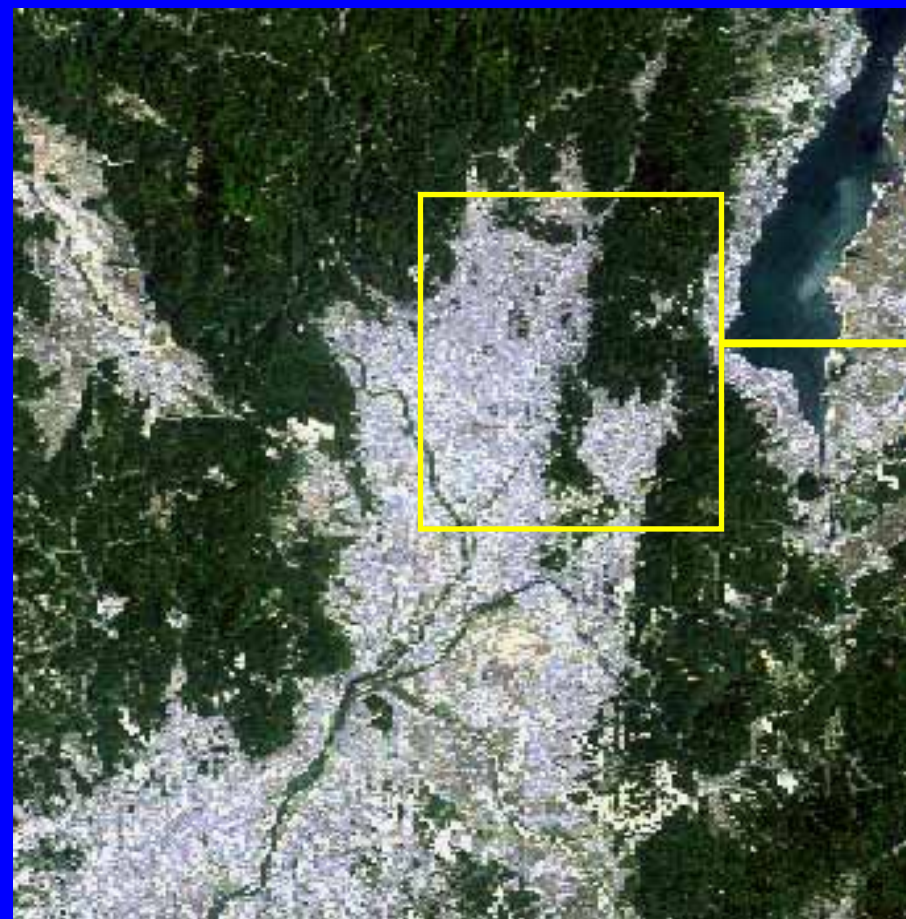


CASE NO.		CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5
SABO WORKS						
SABO DAM (HEIGHT)	CAMURI	NO	10 m	20 m	20 m	20 m
	MIGUELENA	NO	10 m	10 m	10 m	10 m
CHANNEL WORKS	BANK HEIGHT	2m	2m	2m	3m	5m

自分の研究を振り返って氾濫解析のテーマで何をやってきたかを京大防災研究所年報に見る

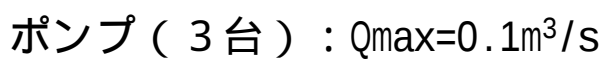
- 1993年度: 流木群の流動に関する研究(3) -流木の回転運動を考慮した解析-
(流木の回転運動)
- 1994年度: 大阪湾における高潮とその氾濫に関する研究 (高潮の氾濫解析)
- 1996年度: GISを用いた避難行動の解析
-岐阜県吉城郡上宝村栃尾地区周辺を対象に- (GISの利用)
- 1997年度: 平成9年鹿児島県出水市針原川で発生した土石流災害について
(土石流氾濫・堆積の再現計算)
- 1999年度: 湾内に流出した流木群の挙動解析 ← モデルの現場への適用性
- 2000年度: 1999年ベネズエラのカムリグランデ流域で発生した土砂災害について
- 数値シミュレーションによる再現計算と砂防施設配置効果の評価 -
(非構造格子、対策の効果の評価)
- 2002年度: 都市における洪水氾濫
- 大規模な洪水氾濫模型装置を用いた実験と解析 - (図)
(非構造格子、大規模模型、地上から地下空間への浸水)
- 2003年度: 住区内での浸水を考慮した洪水氾濫の実験と解析 (非構造格子、住区)

京都市域を対象とした洪水氾濫実験



実験装置 (1/100)

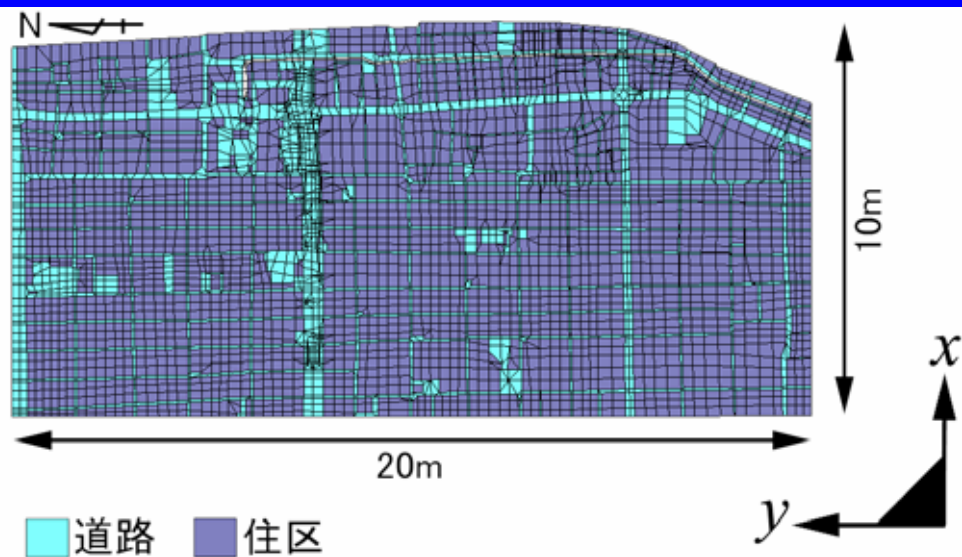
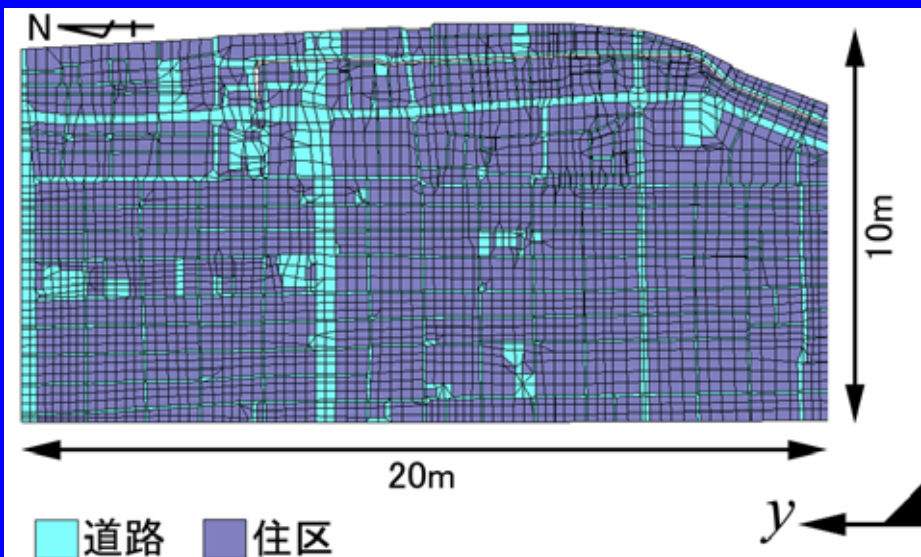
→ N



格子分割

(地下浸水無し、メッシュ数:5,314)

(地下浸水有り、メッシュ数:5,860)

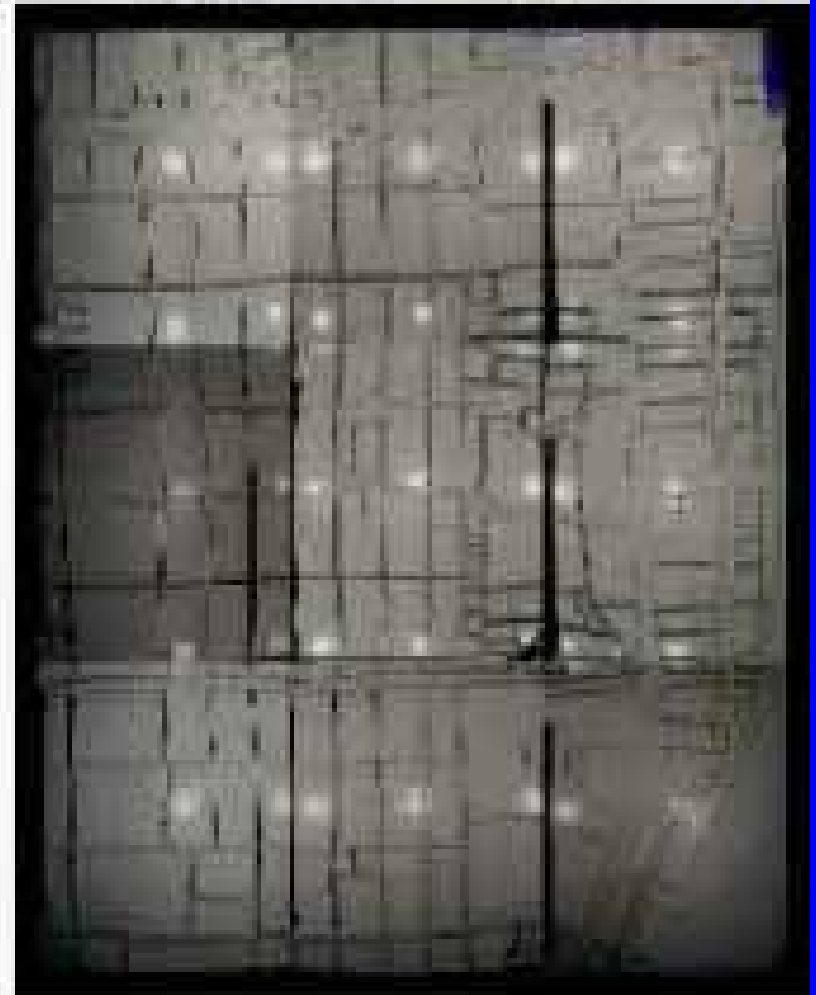


京都市域を対象とした洪水氾濫実験(1 / 100)

実験
(街路のみでの氾濫)



実験
(住区 + 街路での氾濫)



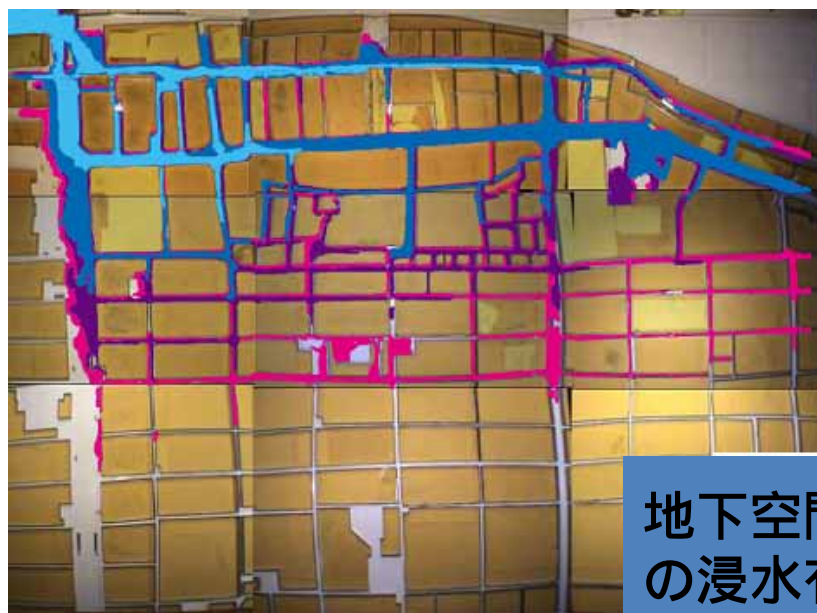
越流氾濫

氾濫域の時間変化

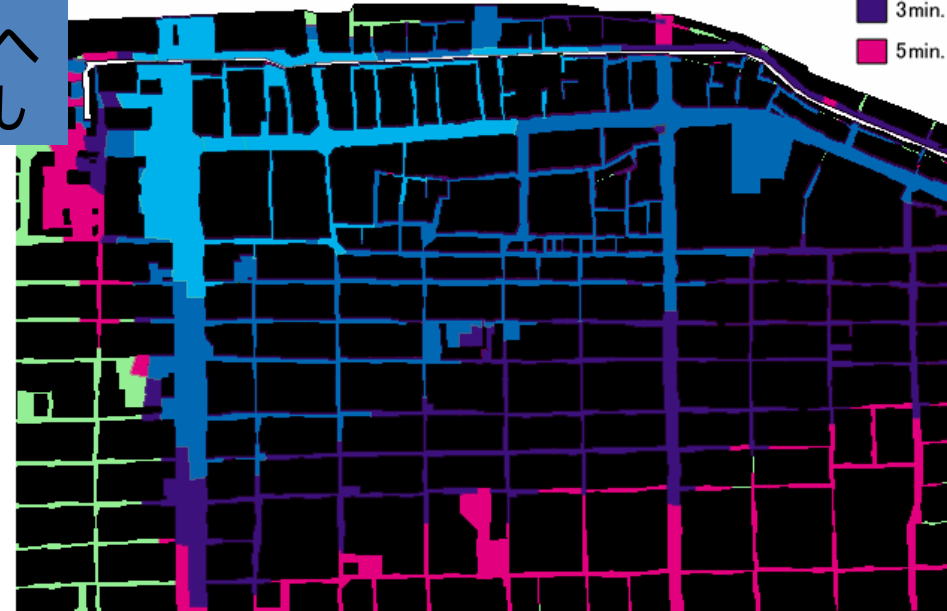
地下空間への
の浸水無し



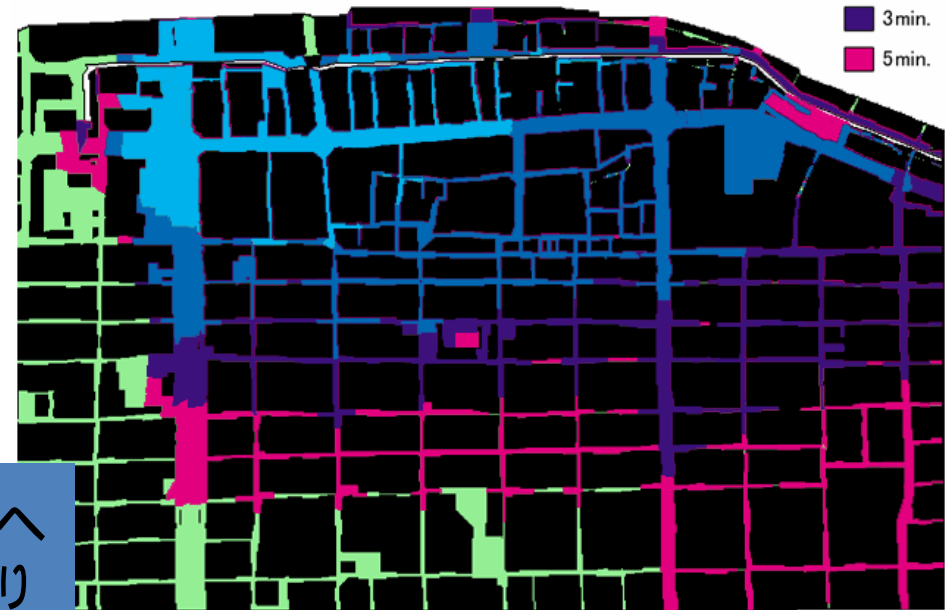
実験結果



地下空間への
の浸水有り



計算結果



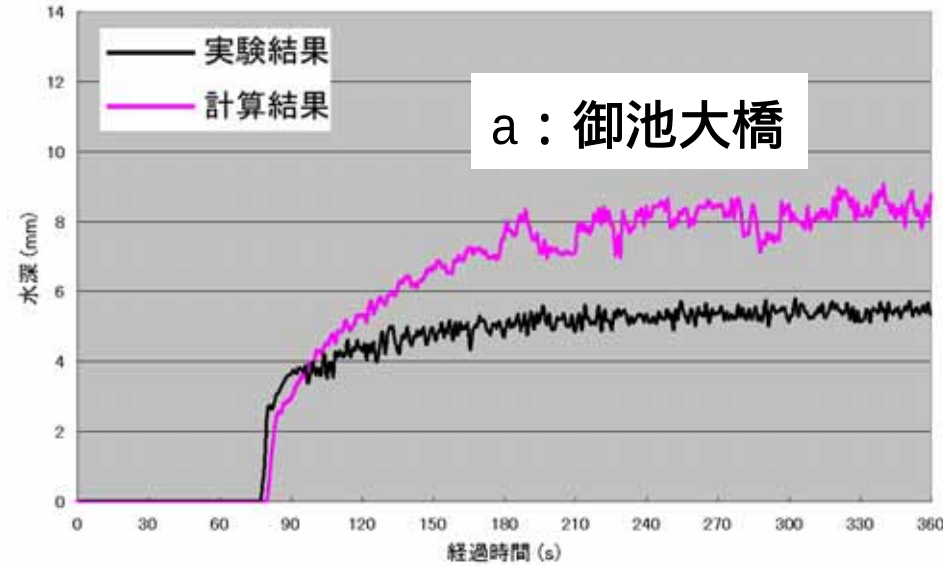
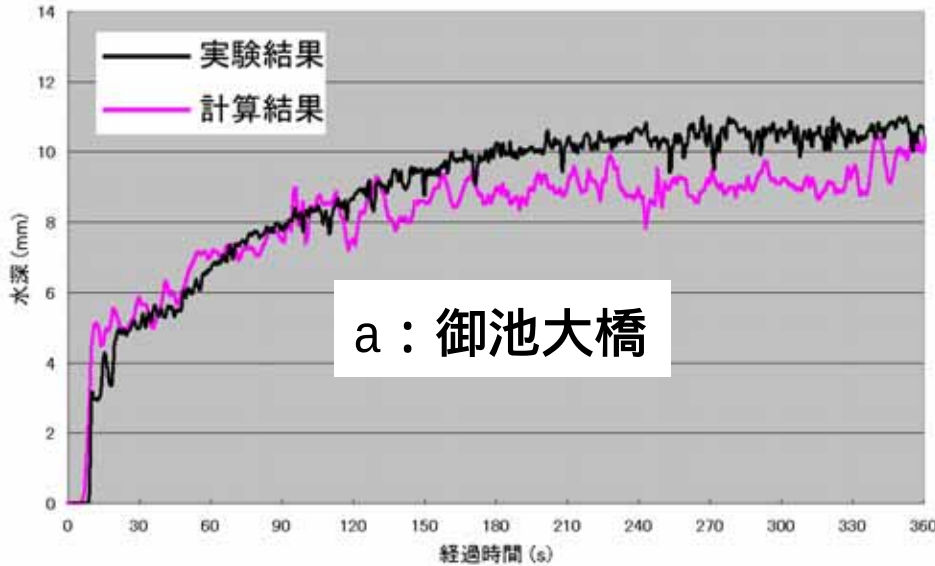
1 min.
2 min.
3 min.
5 min.

1 min.
2 min.
3 min.
5 min.

地下への浸水無し

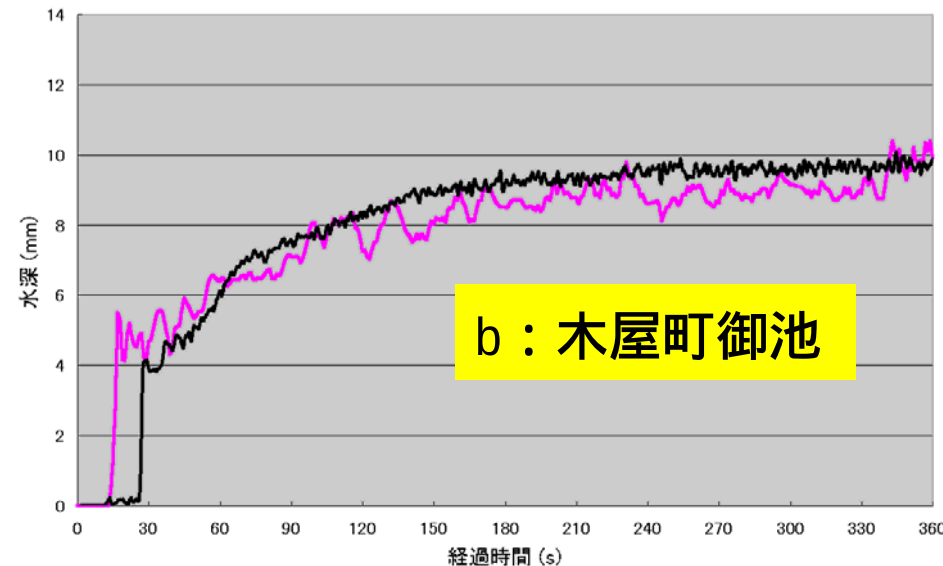
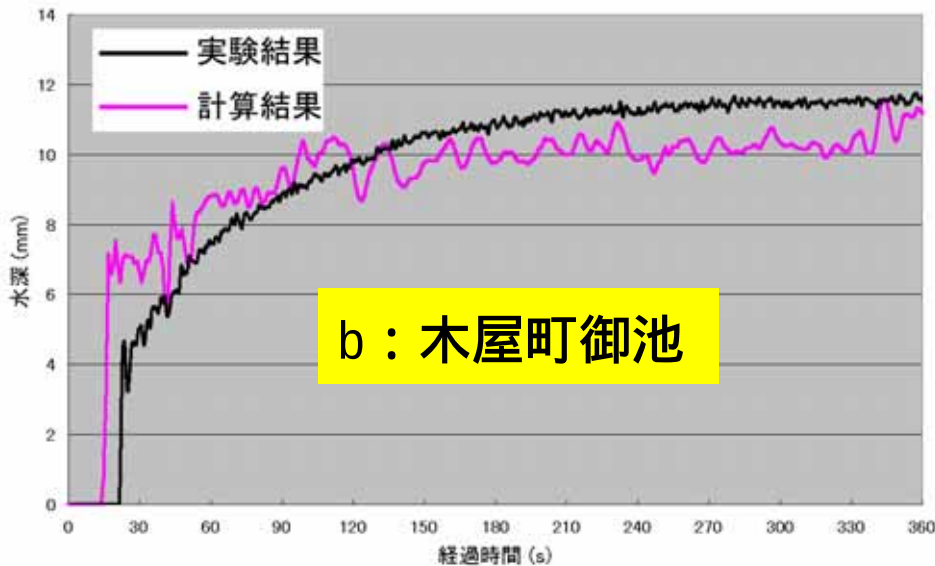
氾濫水深の時間変化

地下への浸水有り



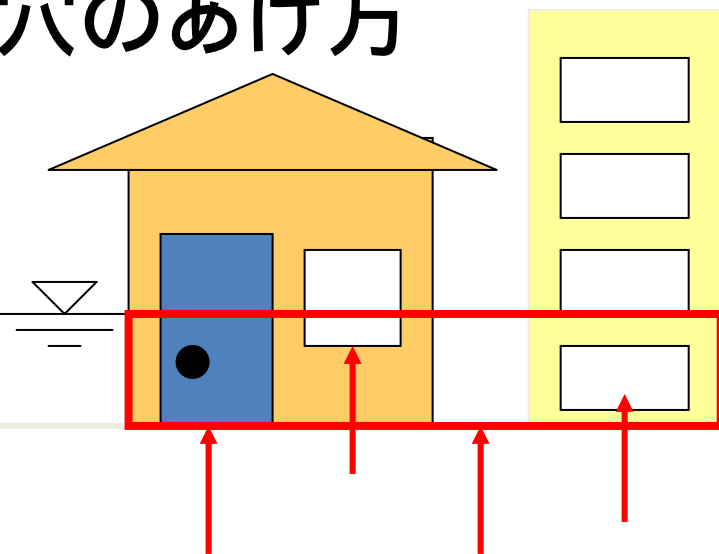
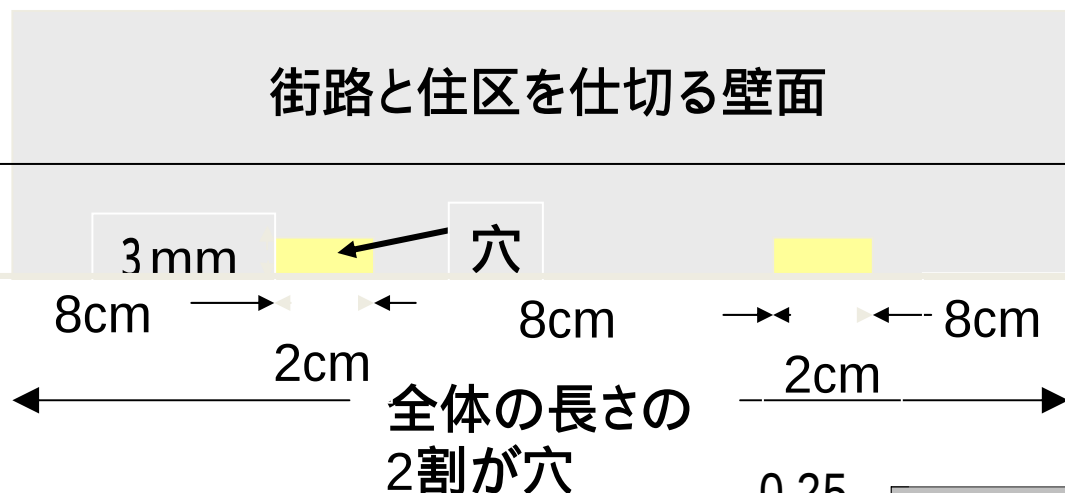
地下への浸水無し

地下への浸水有り



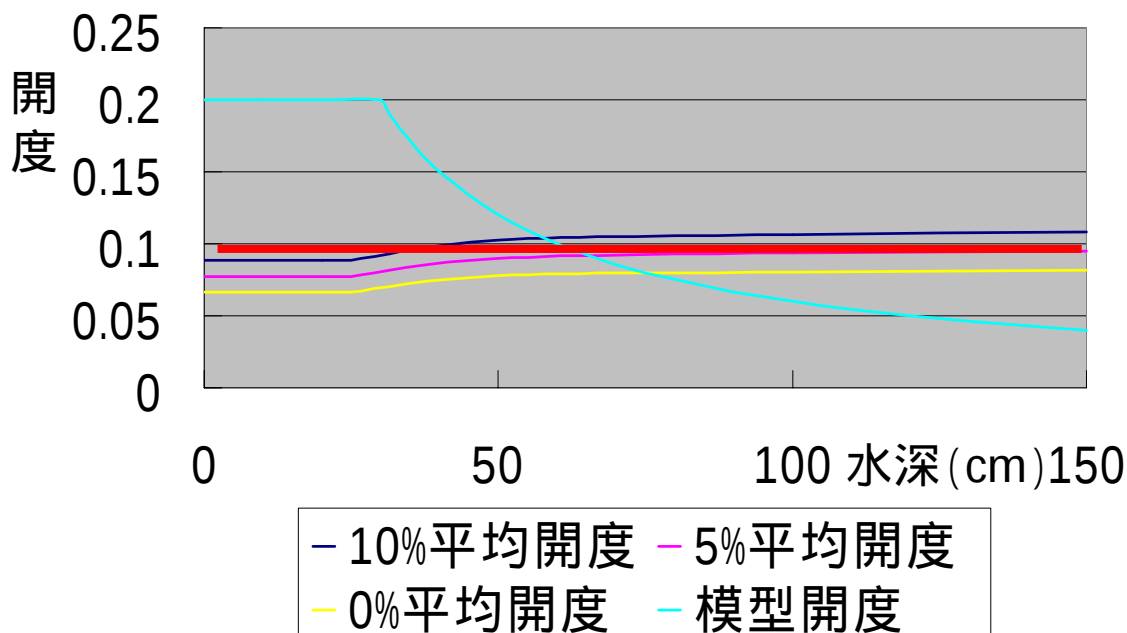
開度

住区を囲む仕切りへの穴のあけ方



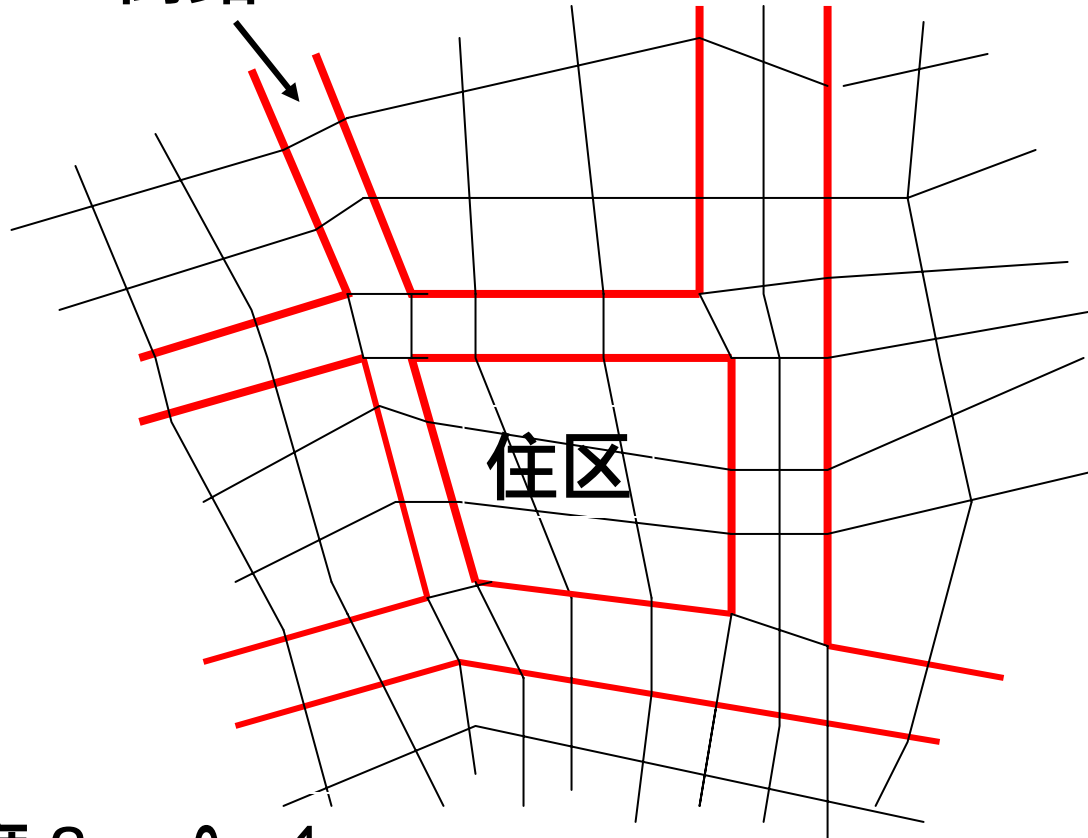
$$\text{開度 } \beta = f(h)$$

10%平均開度: ドアや窓からの浸水を考慮。浸水断面積の10%から浸水。0%平均開度ではドアや窓からの浸水はなく、細街路等から住区に浸水。



開度の設定

街路



住区

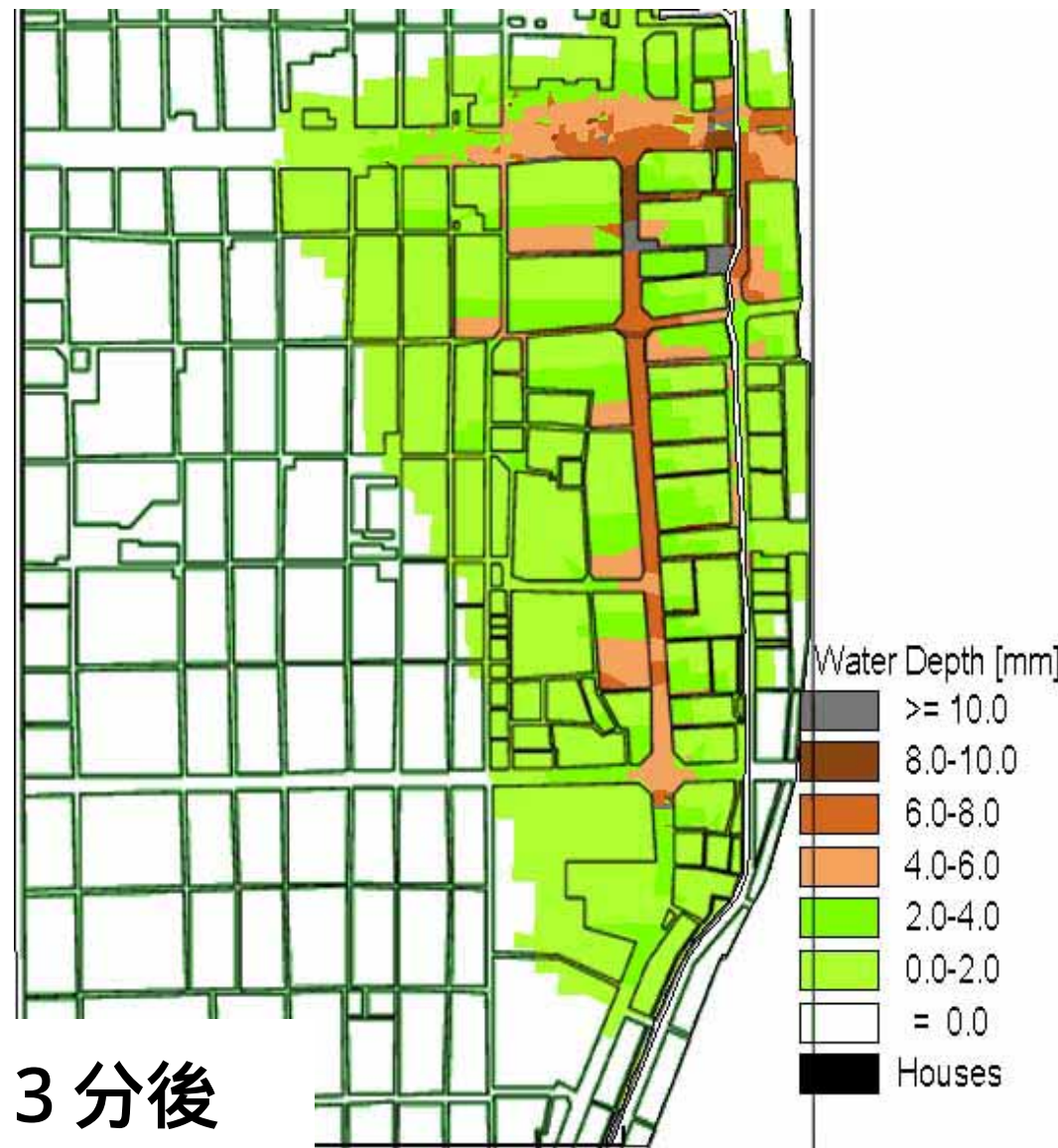
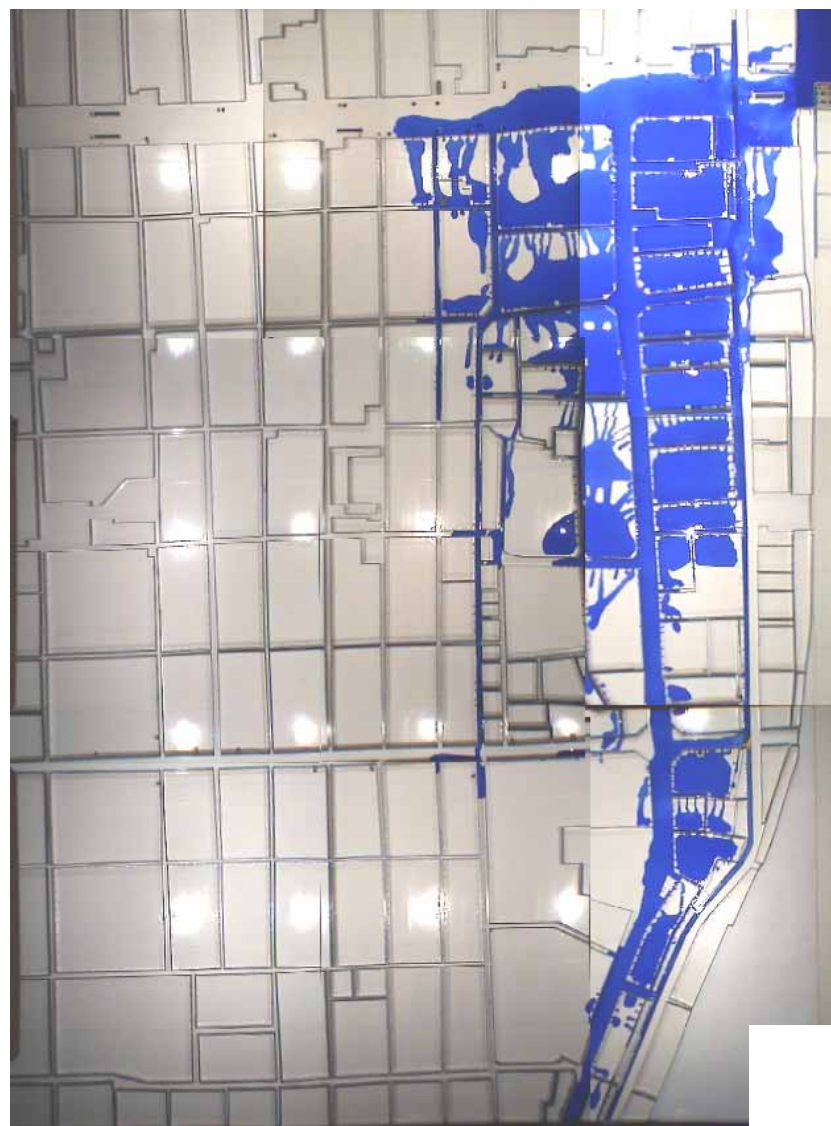
— : 開度 $\beta = 0.1$

— : 開度 $\beta = 1.0$

$M^* = \beta M, N^* = \beta N$ と補正

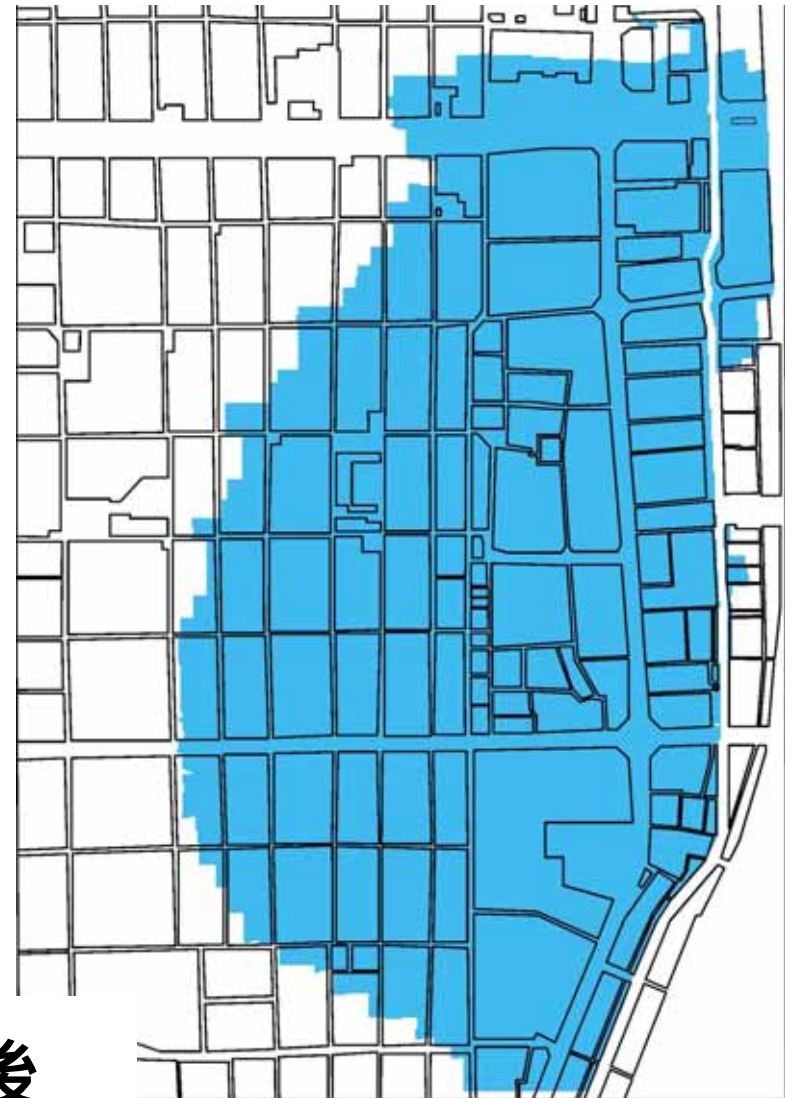
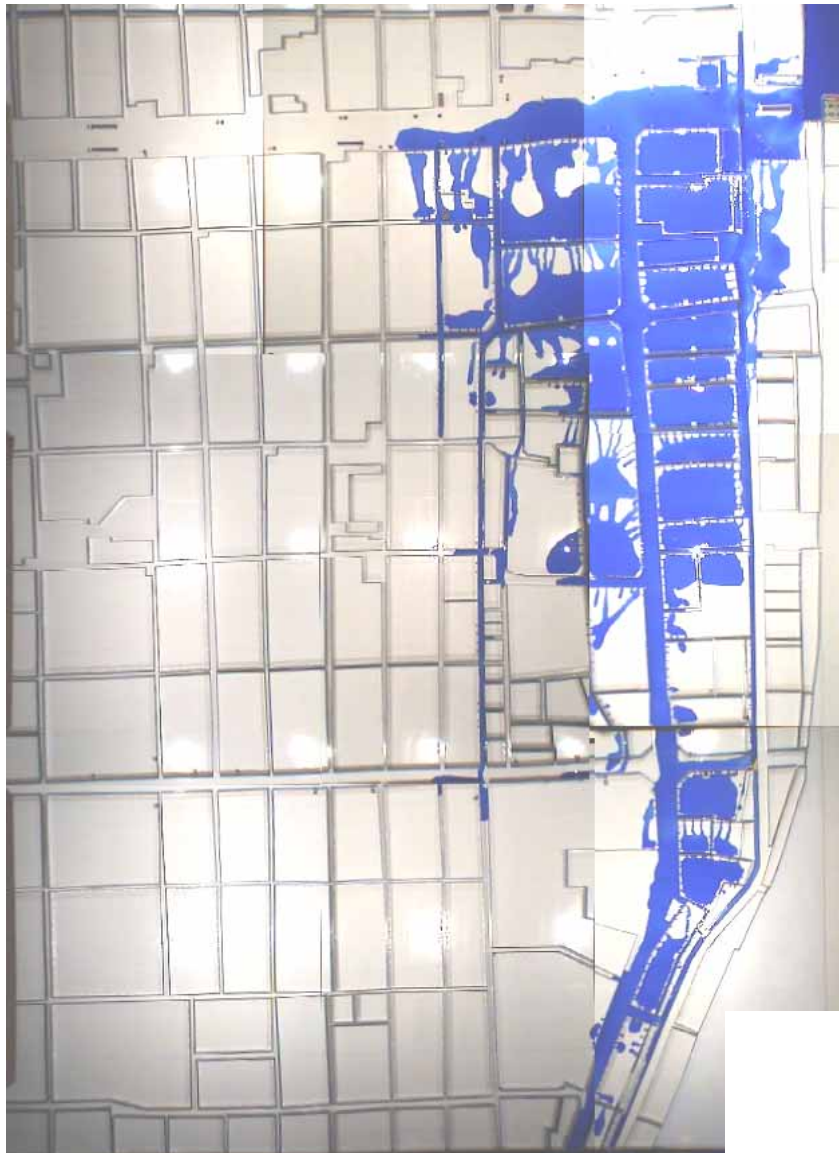
実験結果と計算結果との比較

(住区への浸水有り、地下浸水なし、開度0.1)



3 分後

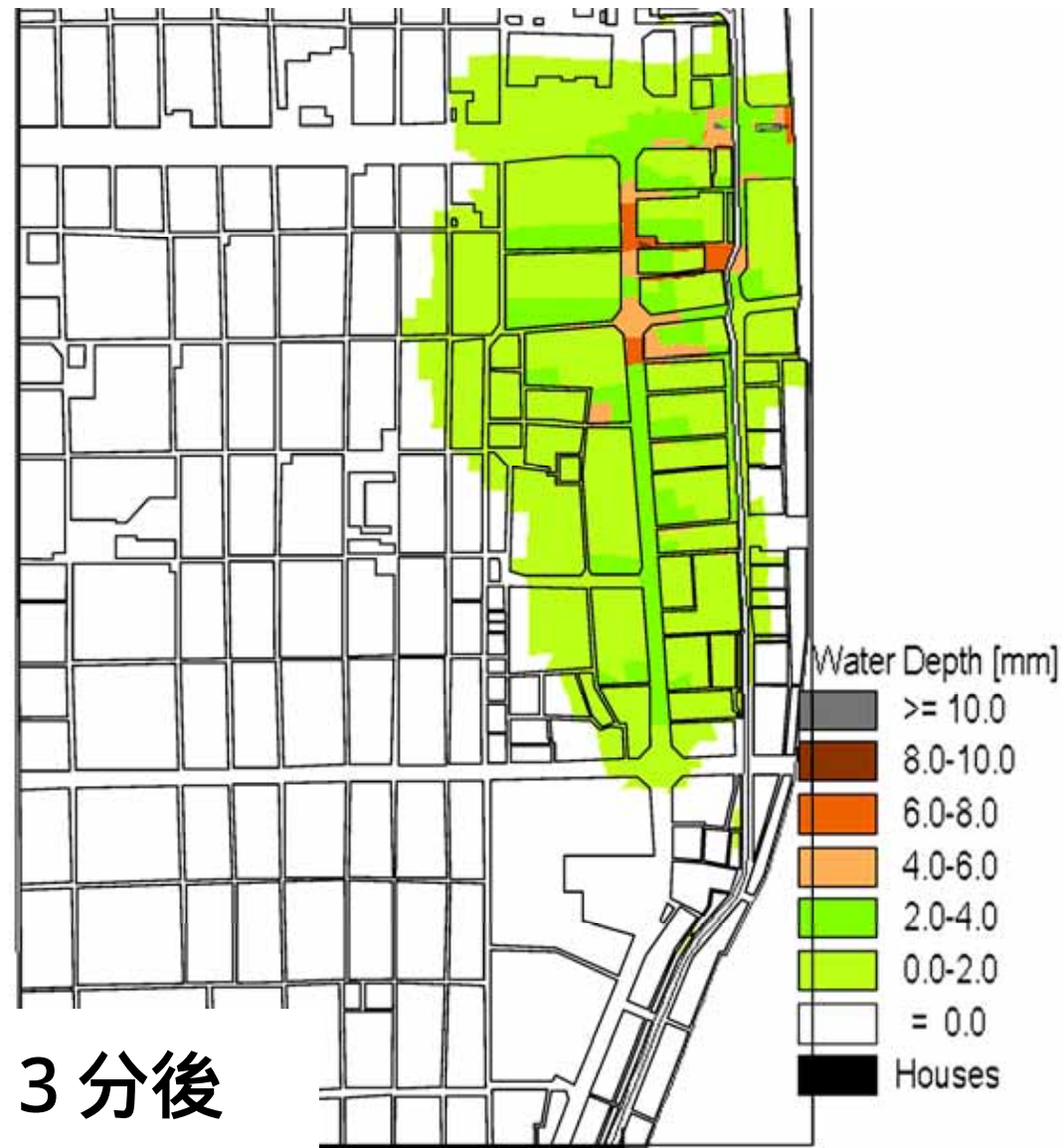
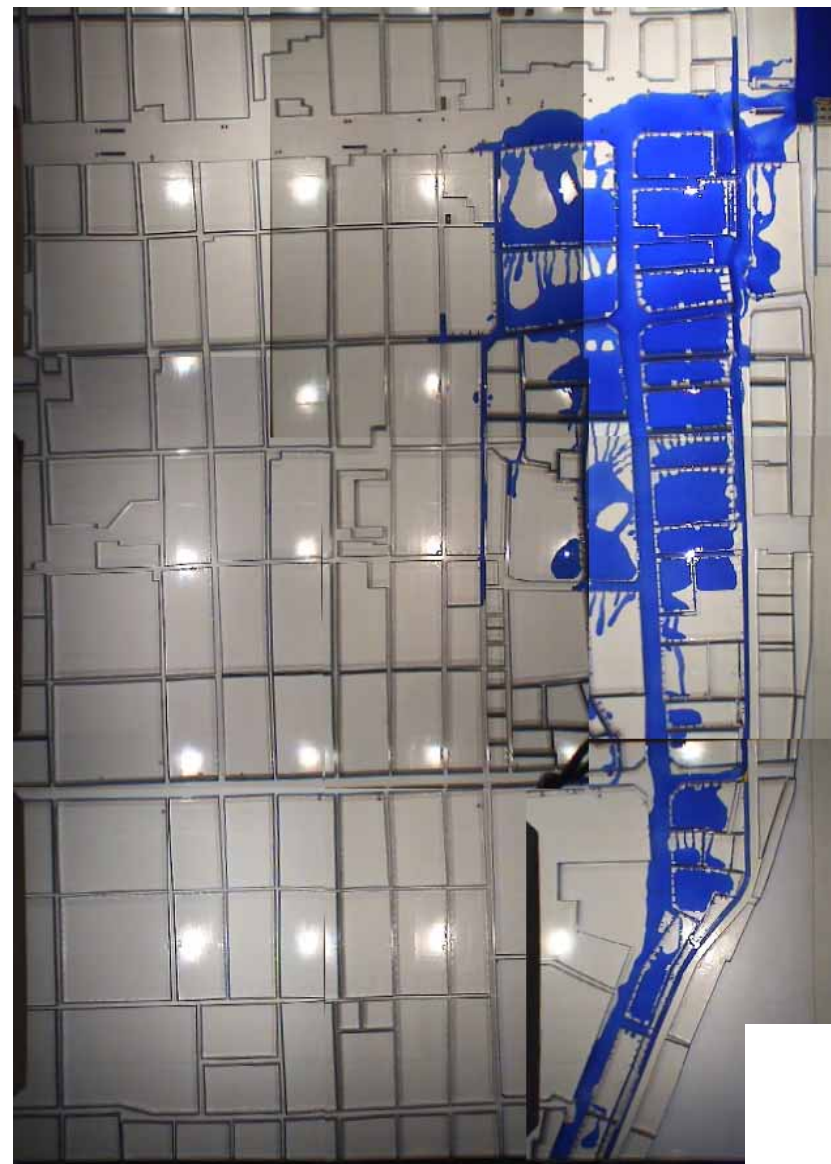
実験結果と計算結果との比較 (住区への浸水有り、地下浸水なし：開度1.0)



3 分後

実験結果と計算結果との比較

(住区への浸水有り、地下浸水あり：開度0.1)

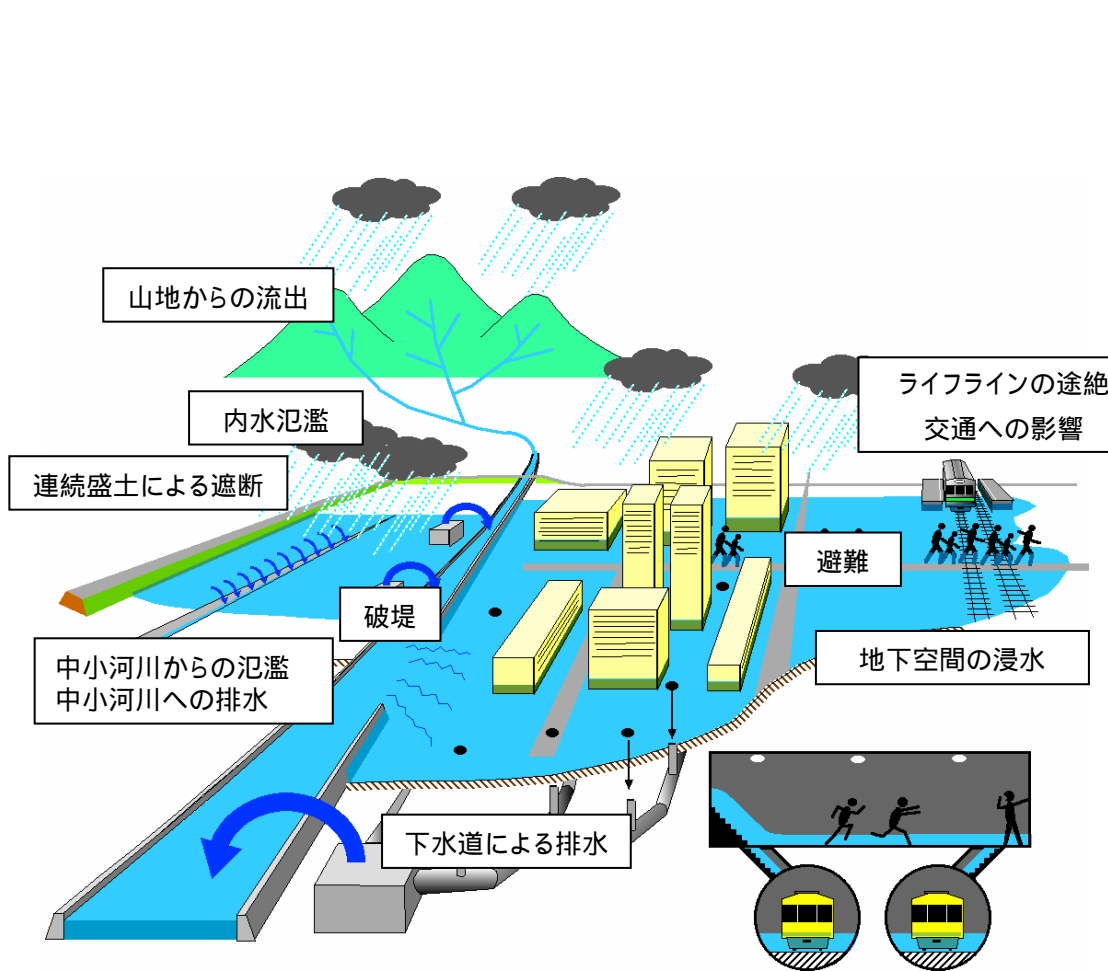


3 分後

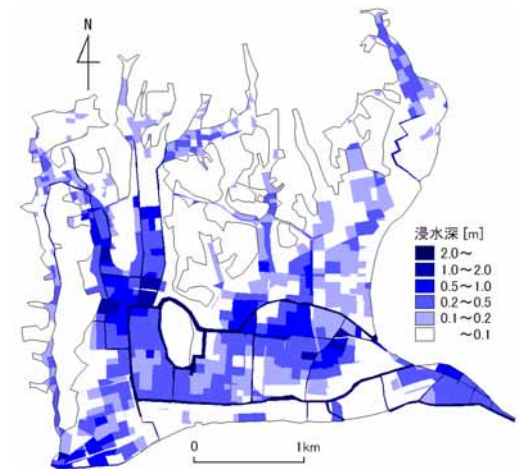
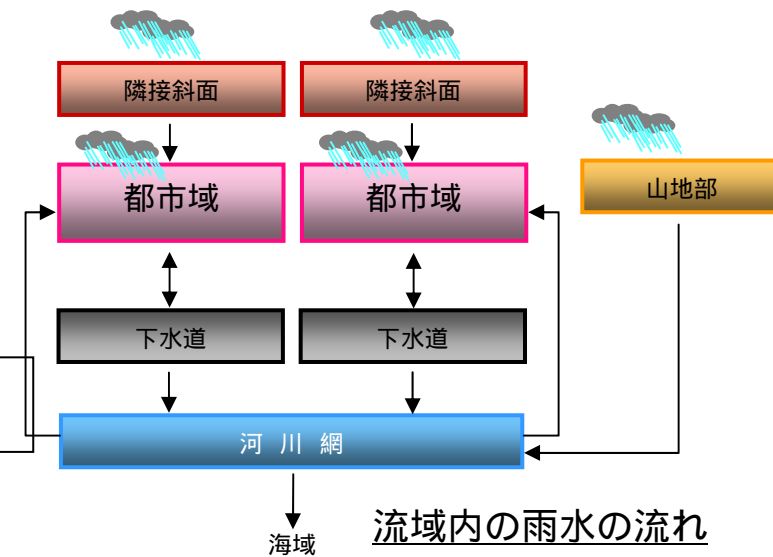
氾濫解析の取り扱いでもう少し 知恵が要る？

- メッシュ内の家屋の取り扱い
- 塀や小さな水路など、現象を大きく規定するが考慮するには全体のスケールから見ると小さすぎるものの取り扱い
- 橋梁、穴あき盛土構造物、アンダーパス、カルバートなど、現象を大きく支配するが、立体的な構造であるため平面流れでは影響を考慮しにくいものの取り扱い
- 複雑な雨水の排水ネットワークの取り扱い
- 地上の氾濫から地下への浸水の取り扱い

都市域の氾濫災害の予測とその対策



都市域で水害が発生したときに予想される事象

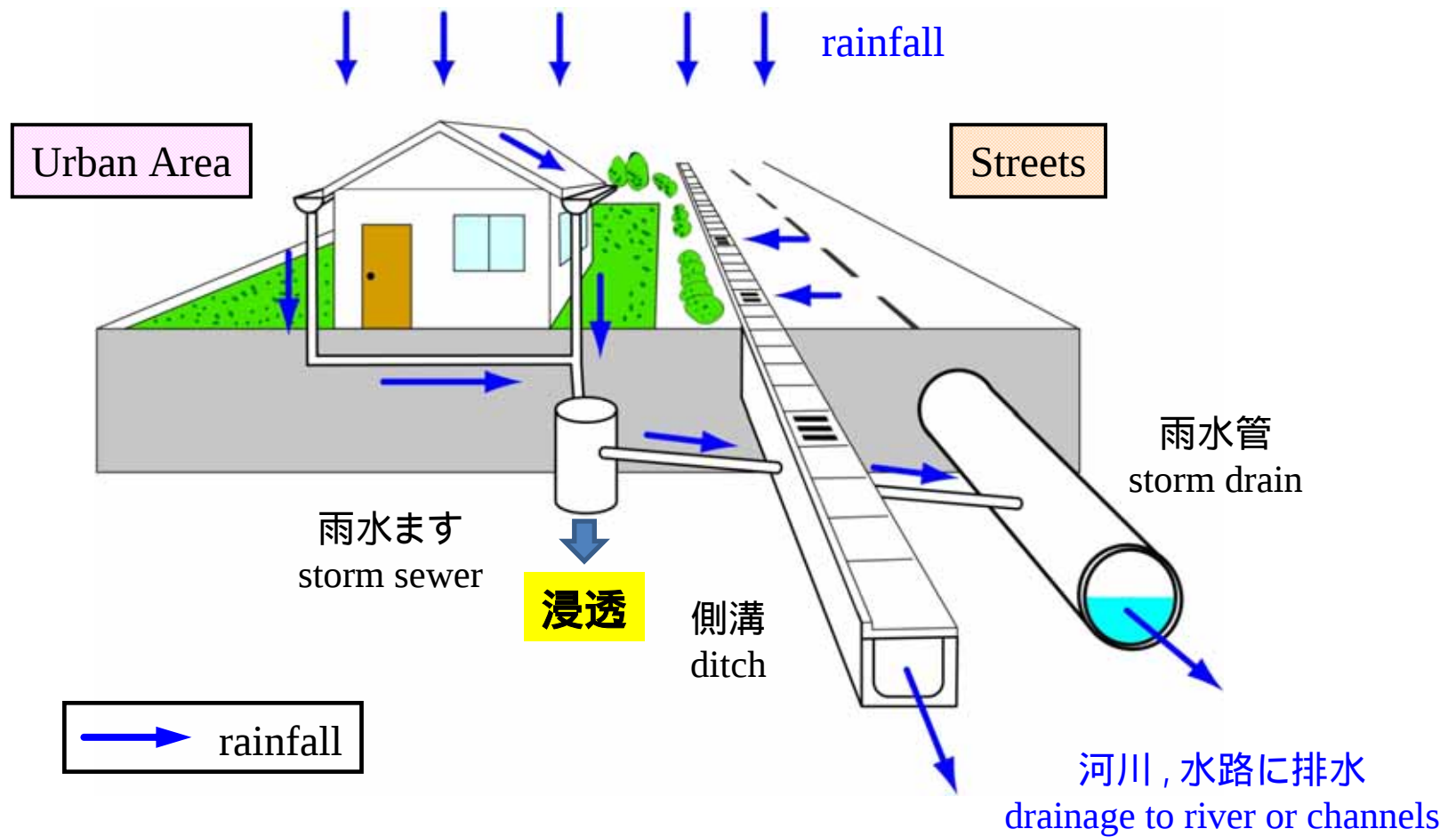


松江市に適用した解析結果の一例
(最大浸水深)

今後の課題と展望

1. 各種データベースの利活用による多様なアウトプットとデータ入出力処理の簡素化
 - ・レーザプロファイラーによる標高データの利活用
 - ・道路・地下鉄網や下水網データ等の利活用
(GISベース)
 - ・人口(夜間、昼間)、資産、学校(場所、収容規模)、病院(規模)等のデータの利活用
2. 各種水害軽減対策施設の効果を定量的に評価可能とするモデルの構築
 - ・排水機場のポンプの処理能力、最適規模と配置
 - ・各戸貯留や雨水浸透マス設置の効果を流域単位で解析
 - ・交通への影響評価と対策の効果

都市域における雨水流出過程のイメージ



今後の課題と展望

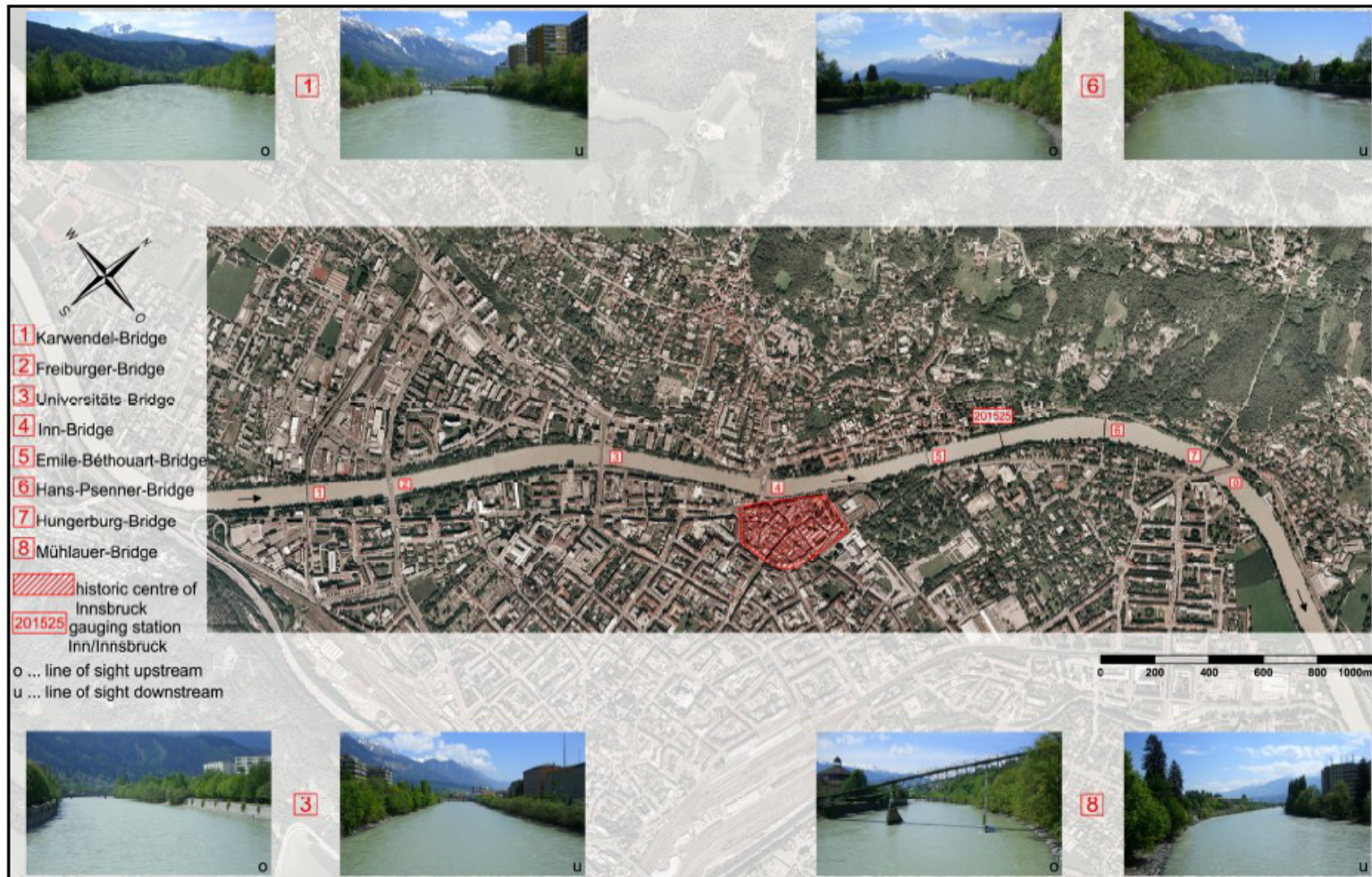
3. 河川の3次元流れの解析とカップリングした 氾濫解析

- ・マニアックと思っていた→そうでもなさそう。

河川構造物の存在(例えば工事中の仮設の橋梁等)が氾濫原因となることもある。これによる氾濫規模の分析に応用。1, 2次元解析では困難。

- ・このような研究は既にヨーロッパではツール(FLOW-3D)を利用して実施。PhDの学生が第32回IAHR会議で研究発表していた。

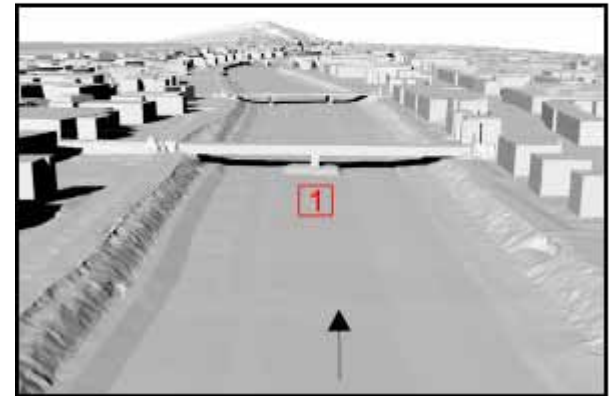
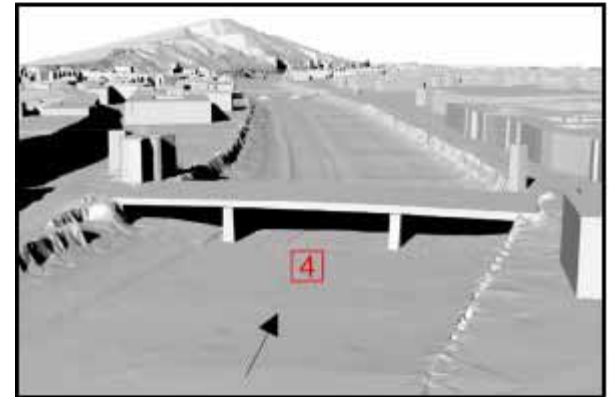
Three-dimensional modeling of an extreme flood event for the city of INNSBRUCK

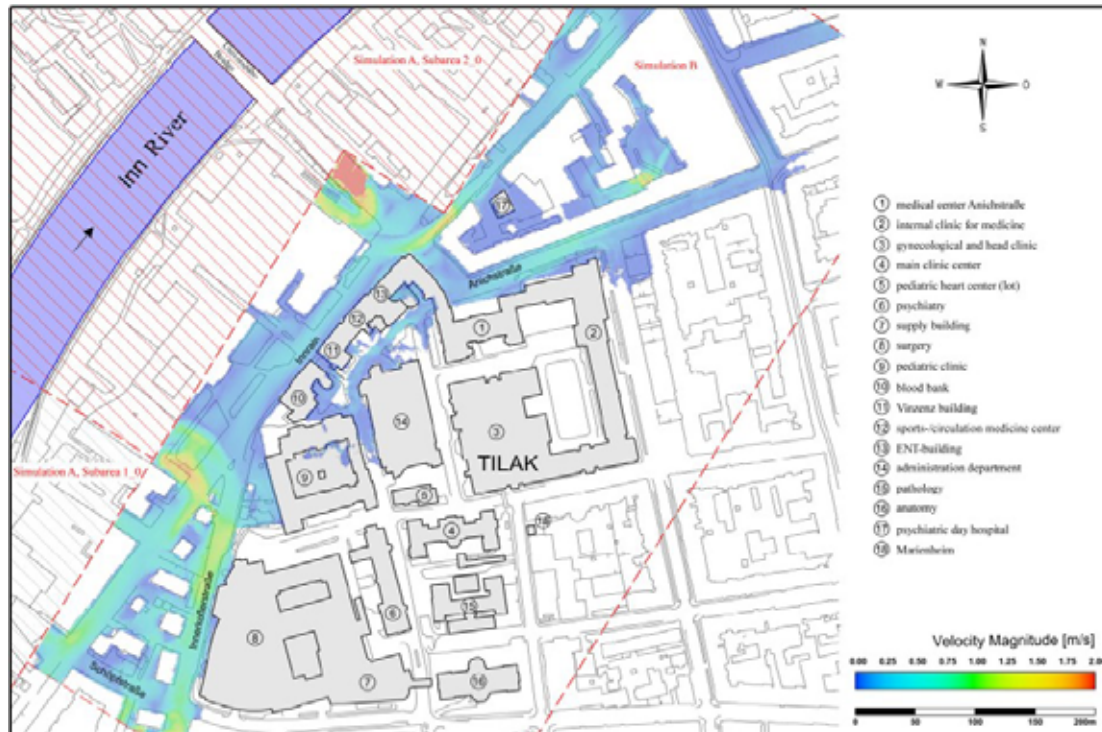
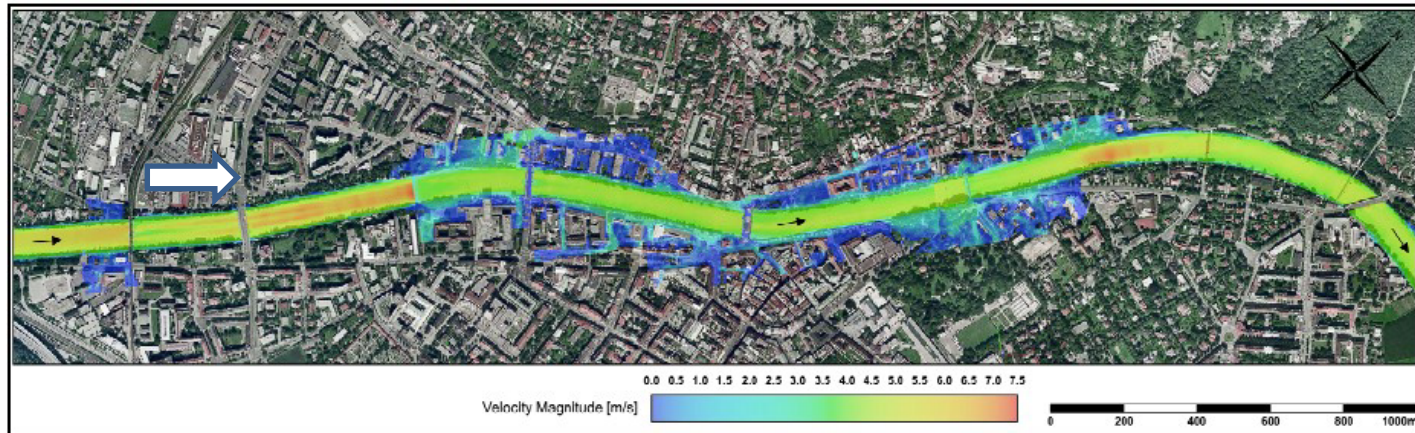


In August 2005 an extreme flood occurred at the Inn River endangering the historic centre of Innsbruck.

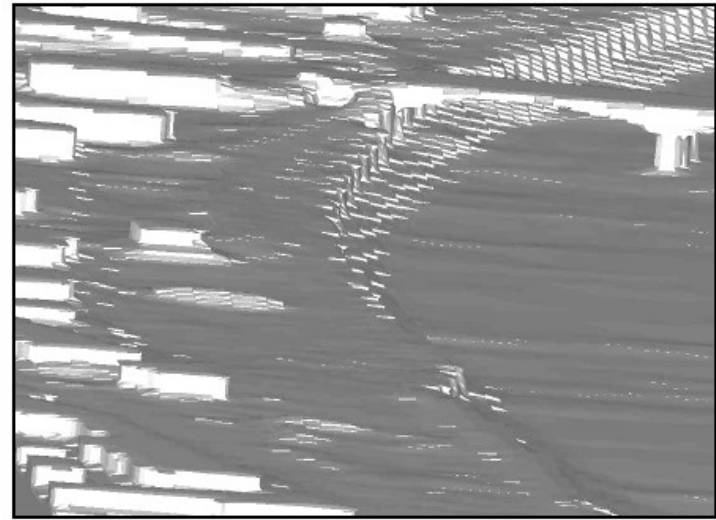
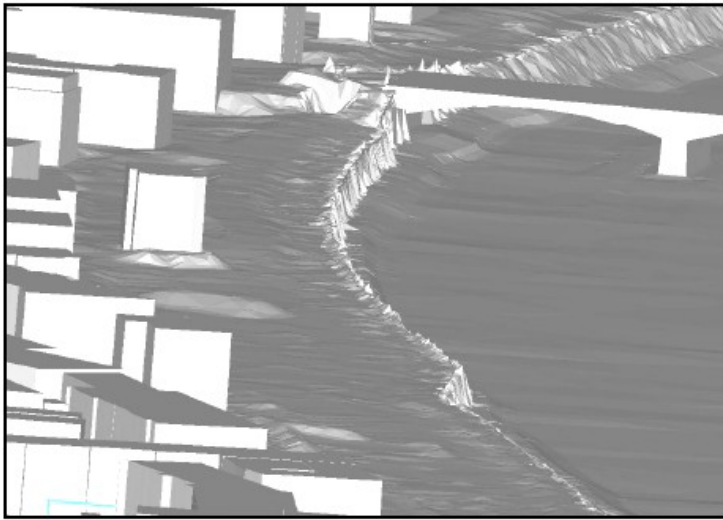


- Three-dimensional numerical simulations were performed using the commercial software FLOW-3D.
- FLOW-3D is a three-dimensional Navier-Stokes solver suited for accurate free-surface flow computations using the so-called Volume of Fluid (VOF) approach.
- FLOW-3D allows it to import three-dimensional objects as stereophotography files.





Results, general map & detail analysis



Digital terrain model(left), discretised model(right)

- The accuracy of the discretisation of the digital terrain model primarily depends on the algorithms used in the preprocessing step of the solver.
- FLOW-3D uses the FAVOR method(Fractional Area/Volume Obstacle Representation) to reproduce terrain surface. In doing so maximal inaccuracies can reach the cell dimensions in a worst case.
- The VOF method – that is the method in FLOW-3D to specify the position of the water surface – influences the accuracy of the calculated water levels.
- Regarding the combination of these influences, local discrepancies of up to about ten percent of the computed water levels have to be expected at maximum.

今後の課題と展望

4. 堤防決壊過程を組み込んだリアルタイムの洪水氾濫解析と解析結果の広報

- ・堤防決壊過程の解析に不明確な要素が多いため、信頼性が低い。しかし、東海豪雨災害のような大規模な氾濫では、リアルタイムの氾濫情報の提供が重要。

5. 家屋の流失危険範囲の予測も含めた破堤氾濫解析

- ・避難勧告・指示が遅れた場合、指定避難所に移動するのが危険となることもあり、自宅の2階以上の階に避難することも勧められている。家屋の安全性(流失危険度)についても検討する必要がある。できれば洪水ハザードマップ上に情報の掲載も。

今後の課題と展望

6. 温暖化に伴う海面上昇、台風の巨大化、豪雨の激甚化に関わるハザードの予測
- ・都市域における高潮氾濫の規模予測と対策の効果の評価
 - ・斜面崩壊の頻度・規模予測と都市域における土砂流出による土砂氾濫・堆積範囲(特別警戒区域、警戒区域など)の見直し等
 - ・世界文化遺産など、歴史遺産(動かせない)をいかに都市水害から守るか、ビジョンがない。被災対象(保全対象)を人や一般家屋以外にも広げる。

今後の課題と展望

7. モデルの検証のための実験データ、現地データの共有
8. 論文作成のための研究とともに、その成果を戦略的に利活用、PRする(対外国ソフト、FLOW-2D,3D) 努力が必要。→ 今年の土木学会研究討論会

ご清聴ありがとうございました