

永久保存

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3538号

# 土木研究所資料

## 防災樹林帯の氾濫流制御効果

平成10年2月

建設省土木研究所  
河川部都市河川研究室

Copyright © (1998) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



土木研究所資料  
第3538号 1998年2月

## 防災樹林帯の氾濫流制御効果

都市河川研究室 室長 末次 忠司  
研究員 館 健一郎  
研究員 小林 裕明

### 要旨

超過洪水対策などで脚光を浴びている氾濫流制御手法の一つとして、防御地区の上流側に樹林帯を設置すること（防災樹林帯）を提案し、その効果についての基礎的な検討を行った。

氾濫流実験水路での実験の結果、防災樹林帯による効果（樹林帯背後での流体力の低減）は、樹木の抵抗による運動量損失とともに、氾濫流の阻害により生じる外向きの流れが樹林帯幅の外側へと運動量を運ぶことにより生じていることが分かった。また、二次元氾濫流モデルによるシミュレーションの結果、樹林帯奥行き長さ、樹林帯の透過係数（樹林帯の密度に対応）は樹林帯の流れの阻害の大きさに大きく関係しており、樹林帯背後での流体力の低下等に影響を与えていることが分かった。

キーワード：防災樹林帯、氾濫流制御、流体力、運動量、透過係数、二次元氾濫流モデル

# 目次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第1章 はじめに .....             | 1  |
| 1.1 氾濫原管理および氾濫流制御 .....    | 1  |
| 1.2 氾濫流制御手法の例 .....        | 2  |
| 第2章 樹木の効果について既往の知見 .....   | 7  |
| 2.1 河道内の樹木の効果 .....        | 7  |
| 2.2 堤内地の樹木の効果 .....        | 7  |
| 第3章 樹林帯の効果の指標 .....        | 12 |
| 3.1 樹林帯の抵抗の表現について .....    | 12 |
| 3.2 樹林帯の被害軽減効果の指標 .....    | 12 |
| 第4章 水理模型実験 .....           | 16 |
| 4.1 実験概要 .....             | 16 |
| 4.1.1 実験条件 .....           | 16 |
| 4.1.2 樹林帯条件および測定項目 .....   | 16 |
| 4.2 実験結果 .....             | 24 |
| 4.2.1 流況、測定結果の概要 .....     | 24 |
| 4.2.2 樹林帯による効果の平面分布 .....  | 30 |
| 4.2.3 樹林帯の諸元による効果の違い ..... | 33 |
| 4.3 実験のまとめ .....           | 37 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第5章 二次元氾濫モデルによる計算 .....       | 38 |
| 5.1 概要 .....                  | 38 |
| 5.2 計算モデル .....               | 38 |
| 5.3 実験の再現計算 .....             | 40 |
| 5.3.1 計算条件 .....              | 40 |
| 5.3.2 計算結果 .....              | 40 |
| 5.4 モデル氾濫原での計算 .....          | 48 |
| 5.4.1 計算条件 .....              | 48 |
| 5.4.2 計算結果 .....              | 52 |
| 5.4.3 樹林帯条件と効果の検討 .....       | 52 |
| 5.4.4 樹林帯に関する一般化指標による比較 ..... | 76 |
| 5.5 計算結果のまとめ .....            | 84 |
| 第6章 おわりに .....                | 86 |
| 参考文献 .....                    | 87 |
| 巻末資料 .....                    | 89 |

## 第1章 はじめに

我が国の近代の治水事業では、計画洪水を河道内に閉じこめるという考えの下で、主に河道内を対象とした諸策が講じられてきた。しかし、近年になって、水害防止を危機管理と捉え、洪水が氾濫した場合の被害を最小限に抑えるための対策を氾濫原に施す、いわゆる氾濫原管理という考え方が取り入れられてきている。氾濫原管理手法のうち、氾濫が生じた場合の被害最小化、又は被害分散のために氾濫水を積極的にコントロールする手法は、氾濫流制御と呼ばれている。

本報告書では、氾濫流制御手法のひとつとして「防災樹林帯」を提案している。これは、急勾配な氾濫原における一区域（集落など）を局所的に防御するため、防御地区の上流側に数十から数百メートルの帯状の樹林帯（以下、防災樹林帯と称することとする）を設置するというものである。防災樹林帯には、樹木群の抵抗により氾濫流速を低減させ、氾濫流の流向をそらし、土砂・流木等を堆積させることで、家屋流失などの甚大な被害を軽減する効果が期待される。

本報告書では、防災樹林帯の水理効果の基礎的な検討のために行った模型実験及び二次元不定流モデルによる検証計算、シミュレーション結果についてまとめている。

### 1.1 氾濫原管理および氾濫流制御

ここで、氾濫流制御手法の一つとして防災樹林帯を取り上げる意義について整理するため、近年脚光を浴びてきている治水手法（あるいは治水思想というべきか）である氾濫原管理、氾濫流制御について簡単に説明する。

このような治水手法が治水事業の表舞台でとりあげられたのは、昭和52年6月に河川審議会から発表された「総合的な治水対策の推進方策についての中間答申」が最初である。この答申は、都市河川での洪水流出ピーク流量の増大による水害の激化、各地での水害訴訟の頻発という状況を受けたものである。この答申では、「総合的な治水対策を実施し、水害による被害を最小限にとどめる」ことを目標として、河道のみを計画対象とした力づくの治水計画から、流域全体を対象としたソフトな治水対策への転換を主張しており、洪水氾濫の発生を前提とした土地利用や建築方式の設定や、水防・避難などの対応策の必要性についても言及されている。

さらに、昭和62年3月の河川審議会答申「超過洪水対策及びその推進方策について」では、「大都市地域の大河川において、計画高水位を上回る、又はそのおそれのある洪水すなわち超過洪水に対して、破堤による壊滅的な被害を回避するための超過洪水対策及びその推進方策」が提言されている。そこでは、高規格堤防の整備の強力な推進等のほか、氾濫流制御手法の調査研究の推進などに触れられており、氾濫の発生を前提とした対策の必要性が説かれている（以上、参考文献1））。

さらに、平成3年12月の河川審議会答申「今後の河川整備は、いかにあるべきか」においては、「壊滅

的被害を防ぐ超過洪水対策の推進」として、高規格堤防の整備や、二線堤による氾濫流制御、防水板を有する施設、ピロティー構造の建物のような氾濫に強い施設の建設を誘導する等の耐水型地域整備事業を進めること等による水害に強いまちづくりが提言されている。このような段階を経て、氾濫原管理、さらには氾濫流制御は、日本の治水手法の一つのオルタナティブとして注目されるようになってきている。

氾濫原管理のうちの氾濫流制御とは、破堤や越水により氾濫原（洪水氾濫時に浸水すると推定されるところ、ここでは特に堤内地）へと溢れ出した河川水の流れ（氾濫流）に対して対策を講じることにより、氾濫流の流量、流速、流向、水深、到達域、到達までの時間、浸水時間などをコントロールすることと定義できる。かつて、技術的な制限から氾濫を防ぐことが出来なかった時代には、全国各地に様々な氾濫流制御手法が存在したことが知られている。また、近年になってそのような伝統的手法を現代の治水に活かそうという動きもみられる。本報告書で取り扱う「防災樹林帯」も、そのような手法の一形態として捉えることができる。図 1-1 は氾濫原管理手法のうちの氾濫流制御手法について分類したものである。ここでは、氾濫流制御に対する理解を深める助けとなるよう、この図をもとに様々な氾濫流制御手法について説明する<sup>2)</sup>。

## 1.2 氾濫流制御手法の例

氾濫流制御手法は、「流況制御」および「氾濫水誘導」に大きく分類できると考えられる。「流況制御」とは、流下してくる氾濫流に対して作用することにより、流速、流向、水深、到達域、到達までの時間などをコントロールして被害を最小化、又は分散しようとするもので、防災樹林帯もこの範疇に含まれる。「氾濫水誘導」とは、浸水後の氾濫水を迅速に排除することで、被害を最小化しようというものである。

### (1) 流況制御

#### a) 二線堤

木曽三川流域などの氾濫常襲地帯でみられる集落の周囲を囲った堤防（輪中堤）のように、氾濫水の拡散を防ぐために氾濫原内に作られる堤防を総称して二線堤という。例えば、横堤の築堤や道路の嵩上げにより氾濫区域を限定して市街地の浸水を防ぐ「耐水型地域整備事業」（鳴瀬川流域の宮城県鹿島台町、大郷町等）や、集落に輪中堤や横堤を作る「田園地域集落治水事業」（桜川流域の茨城県つくば市、明野町、真壁町）が実施された<sup>3)</sup>。

#### b) 防災樹林帯

氾濫常襲地帯であった大井川下流域の扇状地には、舟型（三角）屋敷と呼ばれる独特の家屋群が数多く存在した。これらは、三角形や舟型をした敷地の土流側に植えられた樹林や盛土が氾濫水を二分して流向を反らすとともに、樹木群により水勢を弱めること、あるいは流木や土砂を堆積させることで家屋、人命、財産への被害を軽減する効果を有していたといわれている（参考 例えば 4)）。このような氾濫被害軽減手法にならない、急勾配な氾濫原において防御対象地区の上流側に帯状の樹林帯を設置することによって氾濫原の一区域を局所的に防御することを目指すのが、本報告書で対象としている「防災樹林帯」である（図 1-2）。

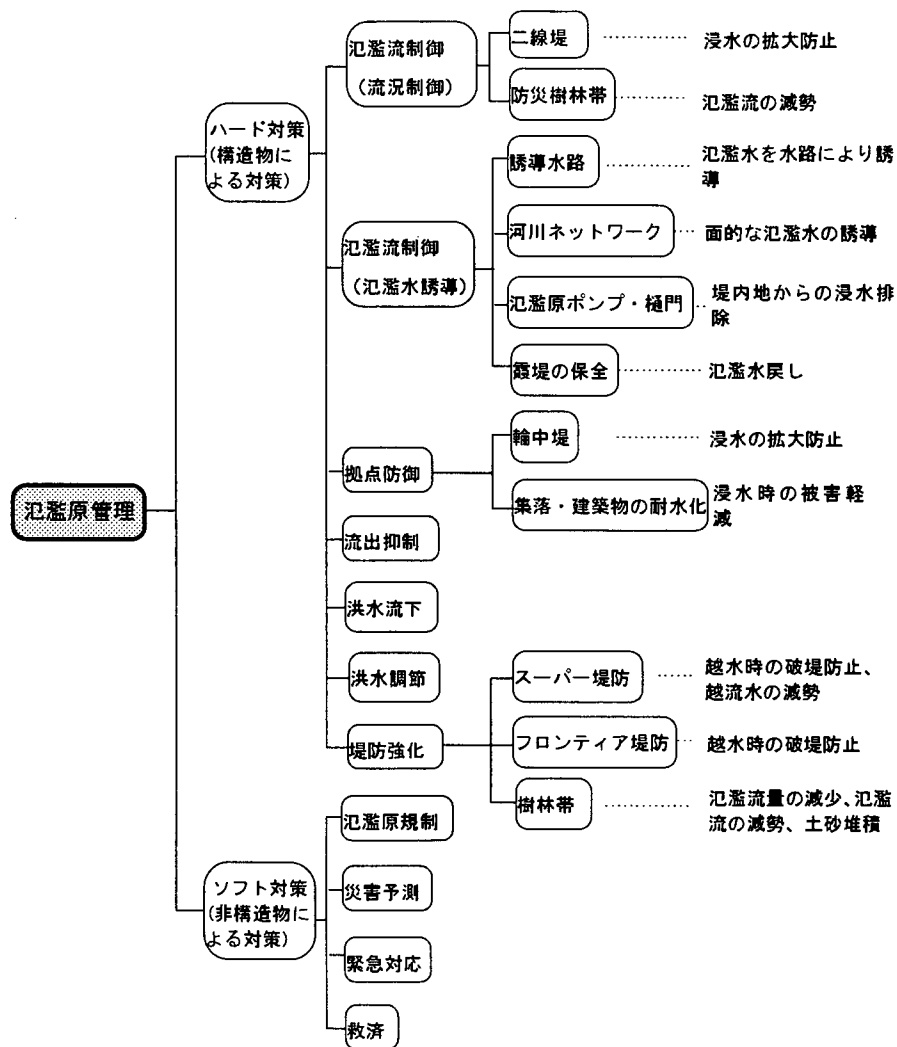


図 1-1 氾濫原管理と氾濫流制御手法

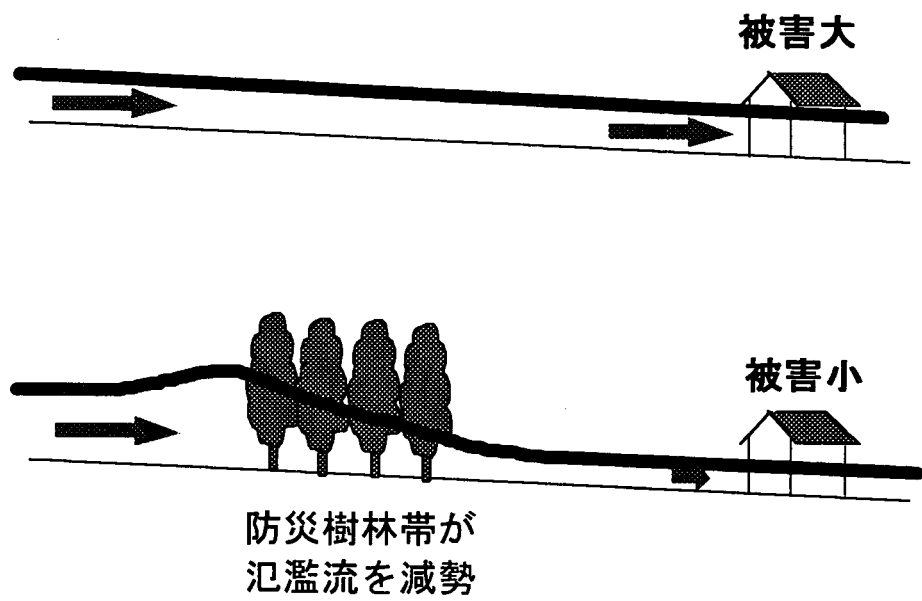


図 1-2 防災樹林帯の効果

## (2) 氾濫水誘導

### c) 誘導水路

水路には、氾濫水を誘導して氾濫水の排除を速める機能がある。例えば、昭和61年の小貝川破堤時には、既存の排水路及び仮設で作った緊急排水路を用いて千代田堀の排水樋門から氾濫水の排除が行われた。

### d) 河川ネットワーク

氾濫原にあるネットワーク状の水路網も、一定密度以上になると、面的に氾濫被害を軽減する効果を発揮すると考えられる。水路網には、浸水深を減少させるとともに、氾濫水の到達を遅らせ、浸水継続時間を短縮する効果がある。また、水路網には、排水施設への効率的な誘導の他、水路を越えての氾濫水の拡散防止、水路断面への氾濫水貯留等の効果もある。

水路網が実際の洪水氾濫時に機能を発揮した例として、昭和28年6月の筑後川流域の水害時の福岡県柳川市があげられる。この時、筑後川流域では大きな被害が出たにも関わらず、高密度な水路（クリーク）網で知られる福岡県柳川市街地一帯では影響はほとんどなかったという<sup>5)</sup>。ただしこの効果は定量的に証明された訳ではない。

### e) 氾濫原ポンプ・樋門

従来の治水計画では河道からの氾濫を防ぐことに主眼が置かれていたため、氾濫水の滞留の排除手段については積極的には考慮されてこなかった。しかし、実際に堤内地への氾濫が生じてしまった場合における氾濫水の迅速な排除は、被害住民や行政にとって死活問題である。そのような場合に行われた現場の対応には、堤防の人為破堤など表面化できないものも含まれているといわれる（例えば、6））。

氾濫水が滞留して排除が困難な閉鎖性流域において、水路がなくても氾濫原の河川際にポンプや樋門を設置すれば、迅速な浸水排除が行われるようになる。現在このようなポンプや樋門が設置されている例はないが、今後、その導入の検討も必要となってくるものと思われる。

### f) 霞堤

霞堤とは、富士川治水の信玄堤などで知られる端部が重なった不連続な堤防であるが、霞堤には、河道内での遊水機能と同時に、一旦氾濫した水を河道内に戻す作用があり、これも氾濫流制御の一つといえるであろう。このような霞堤は、近世には多くの河川でみられたものであるが、現在ではその多くが締め切られて連続堤とされている。

## (3) その他

破堤を回避して氾濫水をコントロールするという点からみれば、「堤防強化」手法のうちのスーパー堤防やフロンティア堤防も氾濫流制御の一メニューといえるだろう。氾濫流の減勢、氾濫流量の抑制、土砂の堆積のために河川沿いに保存される樹林帯もこの範疇に含まれると考えられる。スーパー堤防事業は、利根川、荒川、淀川などで積極的に推進されており、樹林帯についても、平成9年の河川法改正において制度化されている。

なお、流況制御手法として分類した手法は、氾濫水の到達範囲を限定して特定の区域を局所的に防御する

という意味から「拠点防御」に分類することもできると考えられる。

氾濫流制御手法の導入による氾濫水の到達の遅延化、浸水域の局所化又は分散化、浸水深の減少は、氾濫被害の軽減とともに住民の避難時間、避難路の確保を可能とする。しかし、氾濫流の挙動は河川や氾濫原の特性によって異なるため、氾濫流制御手法を取り入れる際には、それに応じた適切な手法を選択する必要がある。そのためには、個々の氾濫流制御手法の水理効果の把握が不可欠である。

## 第2章 樹木の効果について既往の知見

ここでは、水流の中にある樹木群の作用に関してこれまでに行われた調査・研究について触れておく。これらには、防災樹林帯の効果を検討する上での基礎となる情報が数多く含まれていると考えられる。

### 2.1 河道内の樹木の効果

流水中の樹木の作用についての研究は、河道内の樹木が流れに及ぼす影響を中心に進められてきた。例えば、福岡・藤田ら<sup>7)</sup>は、河道計画・管理における樹木群の取り扱いという観点から、流水中の樹木の抵抗特性や、樹木群が繁茂した河道の合成粗度係数の推定法、樹木群が存在する河道の不等流計算法などについての研究を行っている。また、ここでは河道内の樹木が横断、縦断方向に不均一に存在する場合の効果についての検討も行われている。

河道内の横断方向に不均一に樹木群（植生）が存在する流れにおいては、樹木群が抵抗として作用するのみならず、横断方向の流速分布の不均一性からせん断応力、大規模組織渦が発生することが知られている。このような現象に関しては、実験や解析、数値計算などにより主に水理学的観点からの研究が数多くなされている（例えば、池田ら<sup>8)</sup>）。

また、近年の河川環境の重要性の認識の高まりに伴い、治水的側面だけでなく環境的側面から植生の効果を検討することが数多くなされている。

### 2.2 堤内地の樹木の効果

以上のように、流れに対する樹木群の効果に関しては、主に河道内を対象とした研究がされてきた。しかし、第1章で述べたように、近年では河道からの氾濫を想定して被害を最小限に抑えるという氾濫流制御手法の必要性が認識されてきており、樹林が有する流れの減勢効果がもつ氾濫流制御機能も注目されるようになってきている。

土木研究所河川部による「水害防備林調査」<sup>9)</sup>では、伝統的治水手法の一種である水害防備林<sup>1</sup>（水防林）

---

<sup>1</sup> 水害の防御あるいは水害被害の軽減を目的に河道周辺（堤内地、堤外地、無堤地区）に設けられた樹林のこと。計画的に設置・育成されたものと、主に土地利用の関係から森林が河川沿いに残され次第に水害を防ぐ機能があると認められて、保全・育成されたものがある。富士川支川の笛吹川沿いにある万力林は有名である。堅固な治水施設が未整備な時代においては、これらは有効な洪水防御策と評価されていた。その後、築堤、護岸等の治水施設が整備されるにつれ、元々持っていた治水面での機能を喪失したものも多い。

を取り上げ、その一般的機能、歴史的変遷、現況実態などについての調査を行っている。そこでは、水防林の有する機能として、洪水流の減勢・緩和、堤防保護、土壌浸食防止、水流の固定、洪水流の拡散・分散、土砂堆積など多数あげられている。河道沿いの樹林帯については、破堤時、越水時の氾濫水の流出抑制、減勢、土砂堆積などの機能が認識され、平成9年の河川法改正において、堤防沿いの樹林帯を保全・育成できるようになった<sup>2</sup>。

また、洪水氾濫時の氾濫水の挙動を解析する氾濫シミュレーションにおける氾濫原内の樹木の取り扱い、対象とする現象の規模から、地表面粗度としている場合が多いと考えられる。例えば、岩佐ら<sup>10</sup>では、氾濫原の粗度係数 $n$ として、水田・畑地では0.025、宅地では0.040、山地では0.060を与えており、樹林の氾濫流への影響は「山地」の粗度係数として丸められた形で考慮されている。

一方、本報告書で対象としている、氾濫原を流下する流れに対しての樹木の効果については、定性的な範囲ではあるが以下のような調査事例がある。

#### (1) 狩野川台風における屋敷林の効果

昭和33年22号台風（狩野川台風）において、狩野川流域で激しい氾濫水に襲われた家屋のうち屋敷林を有する家屋には顕著な防災効果が認められたという報告がある<sup>11</sup>。以下に文献11)を引用して紹介する。

「大仁町中島の災害状況をみると、水上の方向に屋敷林をもっていた民家は、僅かな例外を除いて、ほとんど流出を免れたのに、屋敷林のない民家は多く流出した（図2-1）。

氾濫に際しては、屋敷林は激しい水勢を制御し、また流木類が直接家屋に衝突するのを防ぐ。なお函南村付近の常習滞水地域では、水面に生じる風浪のため、浸水家屋がはなはだしく破壊されるので、風浪に対する防波堤の役割を果たすといわれる。また濁流を制御することによって、林帯内に土砂の堆積を促し、堤防上の微高地を作り、水制効果をいっそう高めている。」

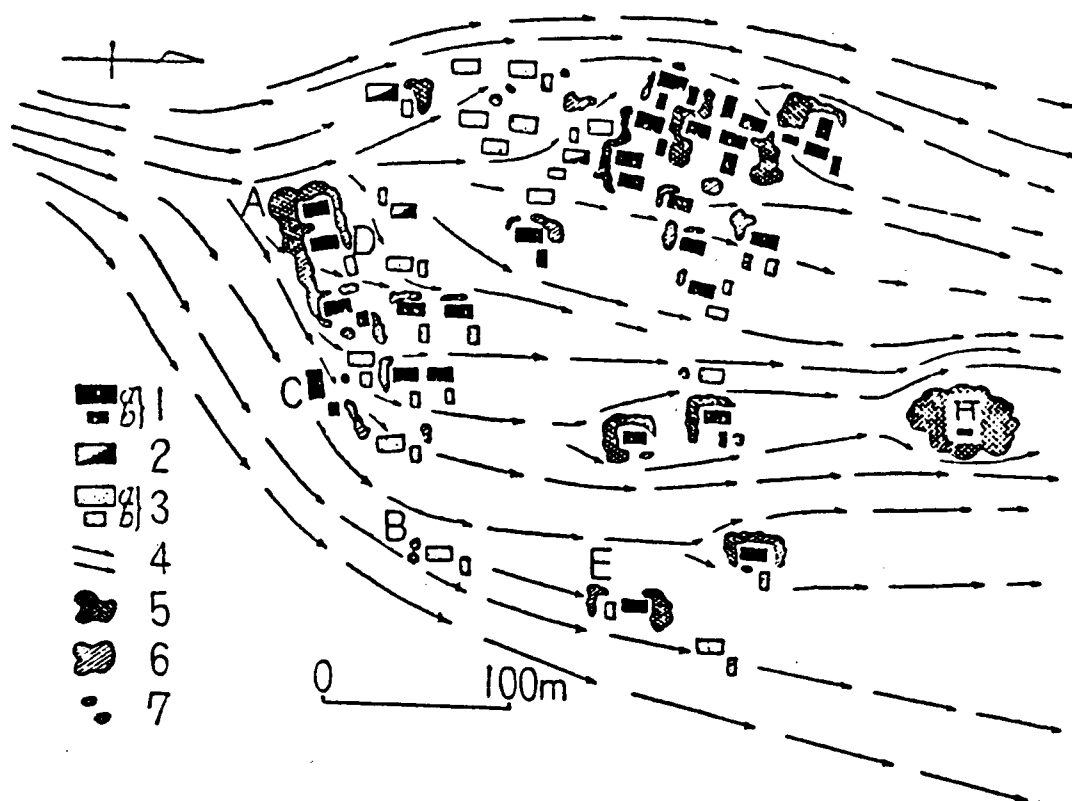
#### (2) 大井川舟形（三角）屋敷

大井川流域の氾濫常襲地帯には、舟形屋敷（別名三角宅地、三角屋敷）とよばれる家屋群が存在している。かつては大井川流域で約500あったというが、都市化により漸次減少している。近世以降の大井川下流域の新田開発に伴って屋敷を作るとき、大井川の氾濫から屋敷を守るために、舟形（三角）の敷地の触先を氾濫流に向けて造成したものであり、堤防が完備されていなかった時代の住民による一種の個人的対応である。

屋敷の触先の部分は鋭角をしており、そこに「ボタ」とよばれる樹林があつて盛土がされている（写真2-1、図2-2）。この鋭角部分が氾濫流を二分するとともに、樹林によって水勢を弱めることを目的としていると考えられている。大規模な氾濫流ではほとんどの民家が破壊、流出するが、かなり細分化された氾濫流に対

---

<sup>2</sup> 樹林帯制度<sup>12)</sup>：河川管理施設として位置付けられ、「堤防、ダム貯水池に沿って、帯状に設置された樹林であり、堤防やダム貯水池の治水上、利水上の機能を維持し、増進する効用を有するもの」と定義されている。この帯状の規模については、建設省令で定めることとされており、堤防沿いの樹林帯については、概ね幅20m、ダム貯水池沿いの樹林帯については、概ね50mと定められている。



1. 流失を免かれた家屋（ほとんど半壊状態）〔a. 住家  
b. 非住家〕
2. 大破しながらも辛うじて流失を免かれた家屋
3. 流失した家屋〔a. 住家 b. 非住家〕
4. 洪水の流向 5. とくに密な屋敷林（防災効果は大）
6. 疎な屋敷林（防災効果はやや劣る）
7. 独立樹（防災効果ははなはだしく劣る）

図 2-1 中島における屋敷林の分布と家屋の被害（狩野川台風）

（出典 栗林沢一：狩野川流域における集落の立地と災害の形態，地理学評論，1960. 3）



写真 2-1 舟型屋敷  
(出典 大井川町 大井川町史)

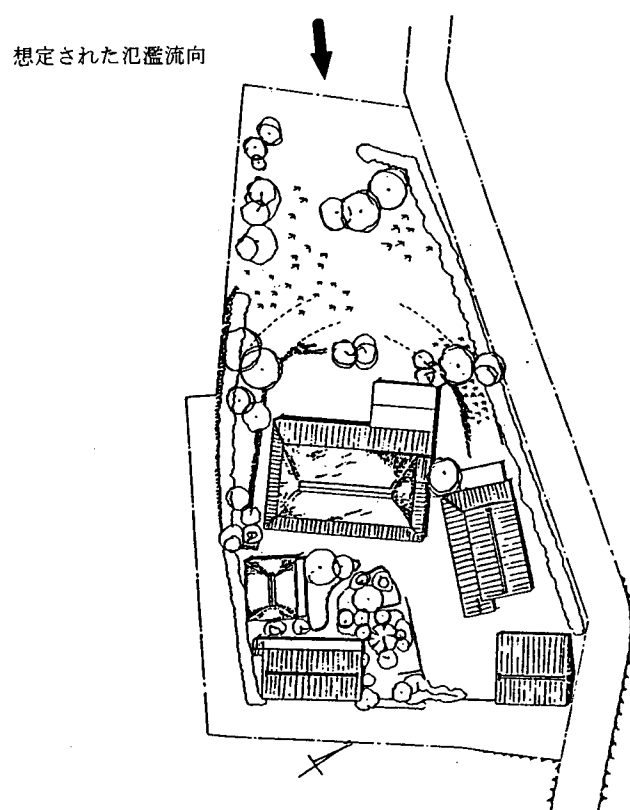


図 2-2 舟形屋敷図  
(出典 静岡県教育委員会編 静岡県文化財調査報告書第 1 2 集「静岡県の民家」)

してはこの舟形屋敷は極めて有効であるという（参考、例えば、5））。

その被害軽減効果の程度に関しては不明であるが、これだけの数の家屋が存在しているということ自体が氾濫に際して可成りの効果が認められたということを示唆しているといえるだろう。

河道内樹木や樹林帯が対象としている現象と比較して、本報告書が対象としている「防災樹林帯」の特徴を述べるとするならば、防災樹林帯は流下方向、横断方向の延長が限られており、その効果が平面方向に及ぶ範囲に着目して検討する必要があることと考えられる。ただし、流体に対する樹木の効果という点では、抵抗として扱う従来の手法を踏襲して問題はないと考えられる。

### 第3章 樹林帯の効果の指標

#### 3.1 樹林帯の抵抗の表現について

防災樹林帯が流れに与える影響を検討するにあたっては、樹木群の水理的な特性を一般的に表すことが必要である。特に、現実の樹林帯の効果を定量的に予測する上で、樹木群の抵抗特性の明確化は必須である。ここでは、参考文献13)にしたがって、以下のように樹林帯の抵抗特性を表現する。

control volume 内の水の重力と樹木群による抵抗の釣り合いを考えると、次の式が成り立つ。

$$\rho g V I = \frac{1}{2} \rho C_D n a V v^2 \quad (1)$$

ここに、 $V$ はcontrol volume 内の水の体積 ( $\text{m}^3$ )、 $I$ はエネルギー勾配、 $C_D$ は抗力係数(樹木の形状や密生度で変化する)、 $v$ は流速 ( $\text{m/s}$ ) である。 $n$ は単位体積の水中の樹木の本数 ( $1/\text{m}^3$ )、 $a$ は樹木一本当たりの投影面積 ( $\text{m}^2$ ) であり、 $n \cdot a$ は単位体積の水中の樹木の総投影面積 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) である。(1)式は次のように変形される。

エネルギー勾配  $I$  と樹林帯内の流速  $v$  は次のように表される。

$$v = K I^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$K = \frac{1}{\sqrt{n a C_D / 2g}} \quad (3)$$

ここに、 $K$ は透過係数(樹木抵抗の指標で大きいほど流れ易い、単位  $\text{m/s}$ ) である。以下、本報告書では、樹林の流体に対する阻害の大きさの指標として透過係数  $K$  を用いることとする。

なお、第4章で述べる模型実験結果については、模型実験と実現象の相似則を考える必要がある。模型実験がフルードの相似則に従うとすると、模型樹林帯の透過係数  $K_m$  と現地の樹林帯の透過係数  $K_p$  の間には、

$$K_m = K_p \sqrt{L_m / L_p} \quad (4)$$

の関係が成り立つ。ここに、 $L_m/L_p$ は模型の縮尺である。

#### 3.2 樹林帯の被害軽減効果の指標

次に、防災樹林帯による被害軽減効果を判断する指標について説明する。

本報告では、便宜的に流れの  $u^2 h$  ( $u$ : 流速、 $h$ : 水深) を流体力と称し、被害発生可能性の指標として用いる。

氾濫流による家屋への被害は、氾濫流の流体力  $u^2 h$  に関係するという報告<sup>14, 15)</sup>があり、1986年8月の吉田

川の氾濫の際の調査<sup>14)</sup>では、 $u^2h$  が  $1.5\text{m}^3/\text{s}^2$  を超えると家屋に何らかの被害を生じ、 $2.5\text{m}^3/\text{s}^2$  を超えると居住不可能となる家屋が出現すると報告している（図 3-1）。また、1983 年 7 月山陰豪雨による三隅川の氾濫の際の調査<sup>15)</sup>では、氾濫流の  $u^2h$  は最大  $35\text{m}^3/\text{s}^2$  程度に及び、流失家屋の方が、全壊家屋よりも流体力の平均値が大きかったと報告されている（図 3-2）。

実際の洪水氾濫時の被害程度には、家屋の構造や築後年数、流下物の影響など様々な要因が関係しており、被害発生限界の流体力を明確にすることは困難である。また、家屋群が存在する場合には、家屋の抵抗が氾濫流況に影響を及ぼし、個々の家屋に加わる抗力は家屋の密度や配置などによって変化することが知られており（例えば、福岡ら<sup>16)</sup>）、家屋を考慮しない場合の氾濫流の流体力  $u^2h$  は、実際に家屋に作用する流体力を表しているものではない。しかし、樹林帯が氾濫被害発生可能性に及ぼす影響の比較のためには、家屋を考慮しない場合の氾濫流の  $u^2h$  を指標として用いるのは妥当と考えられる。なお、家屋に実際に生じる被害を定量化する場合には、家屋が存在する条件での氾濫流況の検討が必要である。

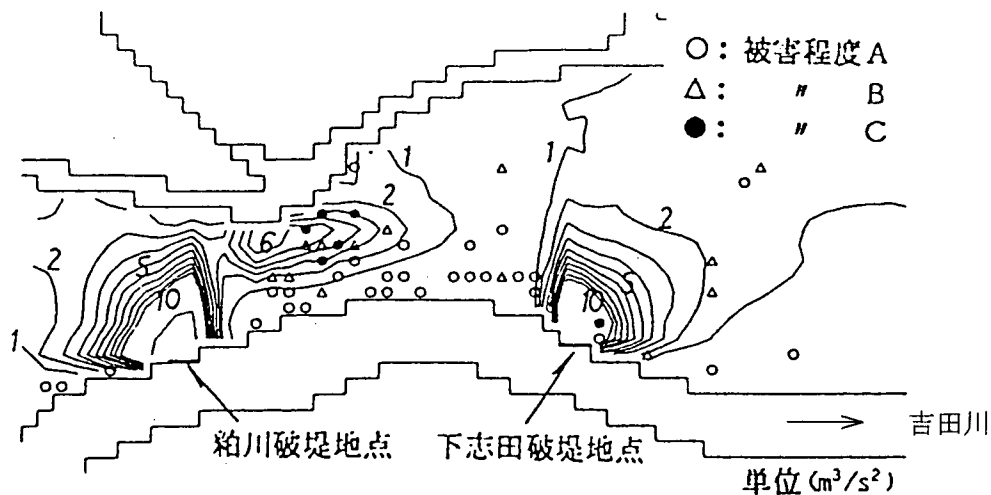


図 3-1(a) 吉田川氾濫における最大流体力（計算値）と家屋の被害分布

（被害程度度Aは板目、畳、壁以外の被害が認められないもの、Bは家屋に若干の被害があるものの住居可能な状態であるもの、Cは住居不可能なほどの大きな被害を受けているもの）

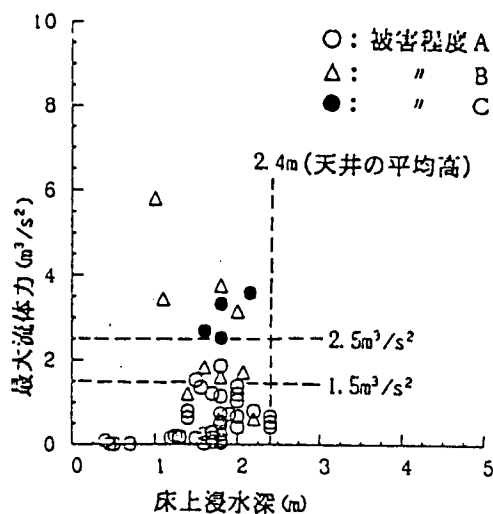


図 3-1(b) 吉田川氾濫における床上浸水深、最大流体力（計算値）および被害度

（被害程度度Aは板目、畳、壁以外の被害が認められないもの、Bは家屋に若干の被害があるものの住居可能な状態であるもの、Cは住居不可能なほどの大きな被害を受けているもの）

（出典 佐藤智，今村文彦，首藤伸夫：洪水氾濫の数値計算および家屋被害について—8610号台風による吉田川の場合—，第33回水理講演会論文集，pp. 331-336，1989. 2. ）

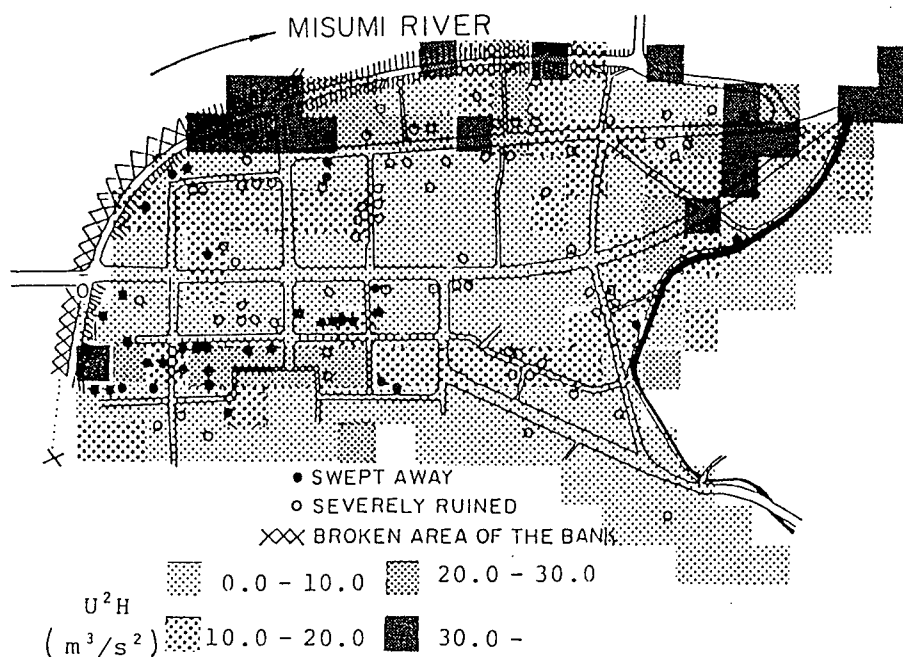


図 3-2(a) 三隅川氾濫における流体力（計算値）と家屋の被害分布

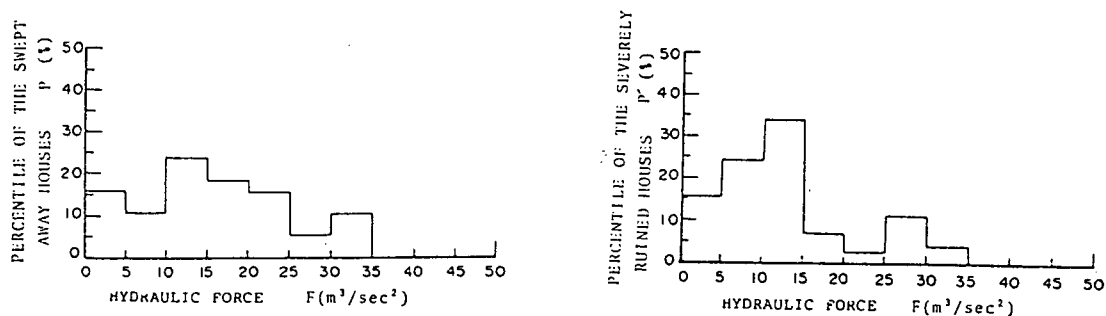


図 3-2(b) 三隅川氾濫における流体力（計算値）と家屋の被害

(出典 河田恵昭, 中川一: 三隅川の洪水災害—洪水氾濫と家屋の被害—, 京大防災研年報, 27B-2, pp. 179-196, 1984. 4. )

## 第4章 水理模型実験

本章では、防災樹林帯の水理効果の基礎的な検討のために行った実験について報告する。

### 4.1 実験概要

#### 4.1.1 実験条件

実験は、流下方向長さ 16m、幅 5.2m の氾濫流実験水路で行った。実験施設の概要、座標系の定義は図 4-1 のとおりである。水路勾配は 1/300、水路床の粗度係数  $n$  はボルトを貼り付けて約 0.020～0.022 に調整し、水路中心部に樹林帯模型を設置した。これは、フルード則による模型縮尺を 1/30 と想定すると、氾濫原勾配 1/300、氾濫原粗度  $n=0.035\sim0.039$  の扇状地に対応する。

実験流量として、 $0.29\text{m}^3/\text{s}$ （高流量条件）、 $0.11\text{m}^3/\text{s}$ （低流量条件）の 2 流量（単位幅流量はそれぞれ  $0.0558\text{m}^2/\text{s}$ 、 $0.0212\text{m}^2/\text{s}$ ）を定常流で与えた。氾濫流の外力条件を表 4-1 に示す。これらの流量条件を 1/30 縮尺で現地換算すると、樹林帯のない等流状態では  $u^2h=29.8\text{m}^3/\text{s}^2$ （高流量条件）、 $u^2h=7.3\text{m}^3/\text{s}^2$ （低流量条件）となる。これらの設定は、文献 14)、15) の氾濫時の家屋被害事例を参考に、家屋が流失する危険性が大きい  $u^2h=10\text{m}^3/\text{s}^2$  以上と家屋が流失する危険性が小さい  $u^2h=10\text{m}^3/\text{s}^2$  以下の水理条件となるようにしたものである。

#### 4.1.2 樹林帯条件および測定項目

実験で用いる樹木模型として、直径 7mm の円柱に人工芝で作成した枝を付けたもの（枝あり模型）、直径 7mm の円柱（枝なし模型）の二種類を用い、水路中央に並べて樹林帯とした（図 4-2、図 4-3）。

測定ケースの一覧を表 4-2 に示す。樹木模型の間隔（中心間距離）は、7、8、9cm（格子状配列）、横断方向の本数（幅）は 22、16、12 本、流下方向の本数（奥行き）は 3、4、5 本に変化させて、樹林の密度、幅、奥行きを調整した。また、追加的な条件設定として、樹林帯の形状を変化させた（V字型）ケース、樹林帯上流および下流に横断的に盛土模型を設置したケース（図 4-4）、樹林帯前面および後面に横断的に低木模型を設置したケースを設定した。

枝なし模型（樹木間隔 8cm）は、抗力係数  $C_D$  が縮尺によって変わらないとすると、縮尺 1/30 のときの実寸法で直径 0.21m の円柱（幹だけの樹木）が  $1\text{m}^2$  あたり約 0.17 本生えている樹林に相当すると考えられる。

図 4-5 は、別途実験<sup>3)</sup>で測定した、樹林による抵抗を透過係数  $K$  で表した場合の  $K$  と水深  $h$  の関係である（樹

---

<sup>3)</sup> 延長 26m、幅 50cm の室内水路を用いて樹林模型の透過係数  $K$  を計測した。方法は、水路の位置区間（縦断方向に 6m）に渡って枝あり、枝なし樹木模型を設置し、流量（1.634～5.817l/s）、下流端水位を微調整して樹林帯部分が等流水深となる時の流量、水深を求めるというものである。流量、水深、水路勾配の関係から透過係数  $K$  が求まる。

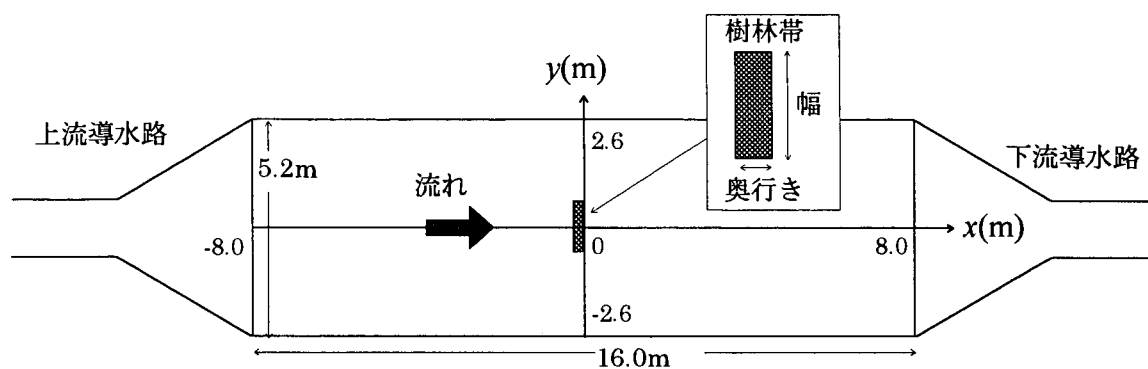


図 4-1 氾濫流実験水路概略図と座標系

表 4-1 外力条件設定（現地換算はフルード則による）

|           |                    | 単位幅流量<br>( $\text{m}^2/\text{s}$ ) | 等流流速<br>( $\text{m}/\text{s}$ ) | 等流水深<br>( $\text{m}$ ) |
|-----------|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 高流量<br>条件 | 実験水路               | 0.0558                             | 0.59                            | 0.095                  |
|           | 現地換算値<br>(1/30 縮尺) | 9.24                               | 3.3                             | 2.8                    |
| 低流量<br>条件 | 実験水路               | 0.0212                             | 0.38                            | 0.056                  |
|           | 現地換算値<br>(1/30 縮尺) | 3.57                               | 2.1                             | 1.7                    |

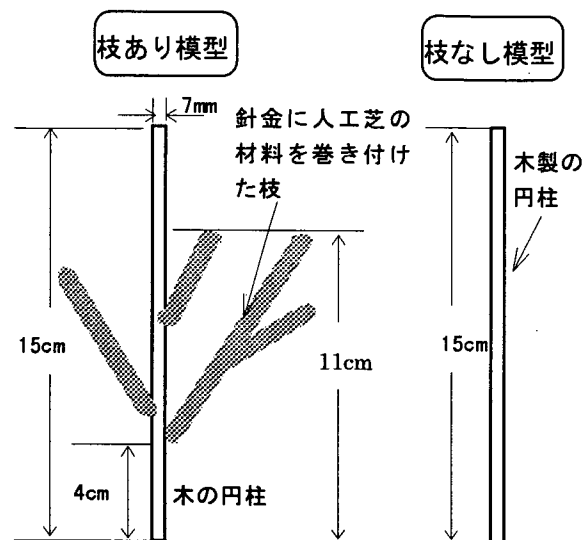


図 4-2 樹木模型

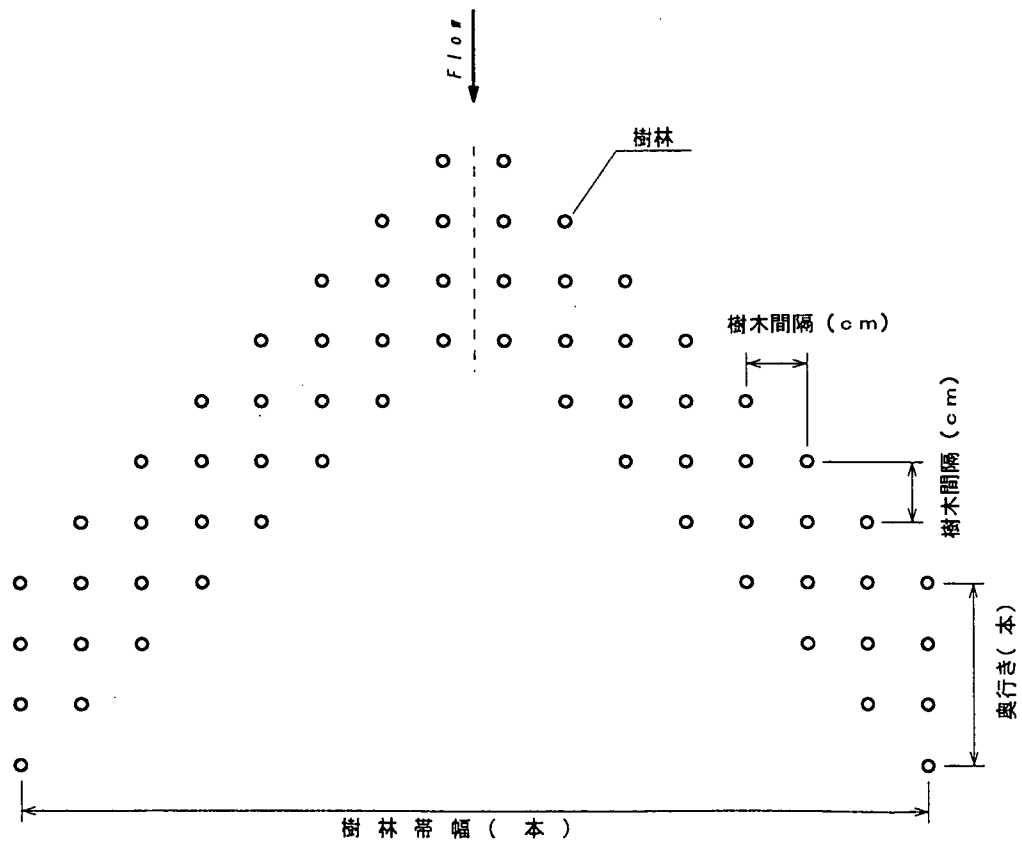
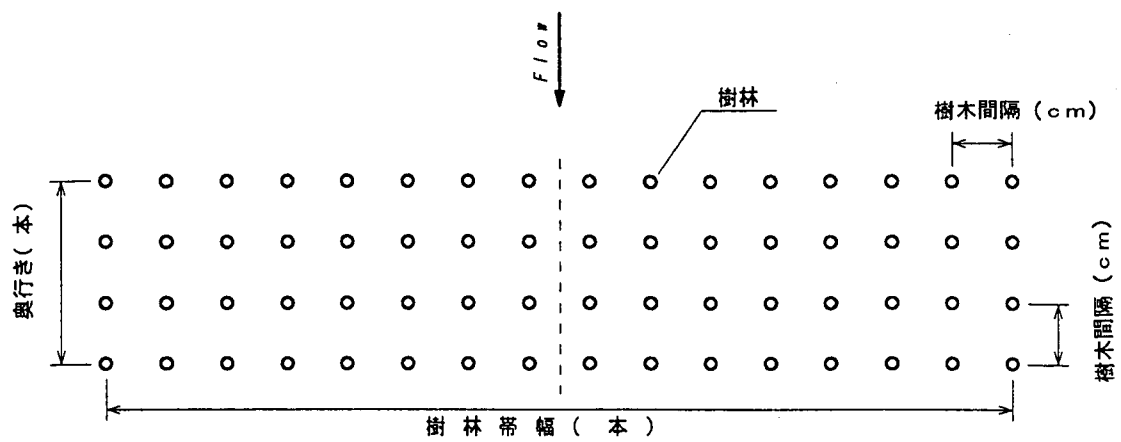


図 4-3 樹林帯配置図

表4-2 実験ケース一覧表

## 測定 I 基本ケース

| case | 流量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 樹木間隔<br>(cm) | 樹林帯幅<br>(本) | 樹林帯奥行き<br>(本) | 樹林帯形状<br>*1 | 枝の有無<br>*2 | 盛土の有無<br>*3 | 低木の有無<br>*4 | 備考       |
|------|---------------------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|------------|-------------|-------------|----------|
| 1    | 0.290<br>(高流量条件)                | 9            | 22          | 5             |             |            |             |             |          |
| 2    |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 3    |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 4    |                                 |              | 16          | 5             |             |            |             |             |          |
| 5    |                                 |              |             | 5             |             | x          |             |             |          |
| 6    |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 7    |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 8    |                                 |              | 12          | 5             |             |            |             |             |          |
| 9    |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 10   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 11   |                                 | 8            | 22          | 5             |             |            |             |             |          |
| 12   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 13   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 14   |                                 |              | 16          | 5             |             |            |             |             |          |
| 15   |                                 |              |             | 5             |             | x          |             |             |          |
| 16   |                                 |              |             | 5             | ○           |            |             |             |          |
| 17   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 18   |                                 |              |             | 4             |             | x          |             |             |          |
| 19   |                                 |              |             | 4             | ○           |            |             |             |          |
| 20   |                                 |              | 3           | 3             |             |            |             |             |          |
| 21   |                                 |              |             | 3             |             | x          |             |             |          |
| 22   |                                 |              |             | 3             | ○           |            |             |             |          |
| 23   |                                 | 7            | 12          | 5             |             |            |             |             |          |
| 24   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 25   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 26   |                                 |              | 22          | 5             |             |            |             |             |          |
| 27   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 28   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 29   |                                 |              | 16          | 5             |             |            |             |             |          |
| 30   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 31   |                                 |              |             | 4             |             | x          |             |             |          |
| 32   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 33   | 0.110<br>(低流量条件)                | 9            | 22          | 5             |             |            |             |             |          |
| 34   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 35   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 36   |                                 |              | 16          | 5             |             |            |             |             |          |
| 37   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 38   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 39   |                                 |              |             | 4             |             |            | y=-0.32m    |             | y=-0.32m |
| 40   |                                 |              | 12          | 4             |             |            |             |             |          |
| 41   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 42   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 43   |                                 | 8            | 22          | 5             |             |            |             |             |          |
| 44   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 45   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 46   |                                 |              | 16          | 5             |             |            |             |             |          |
| 47   |                                 |              |             | 4             |             |            | y=0.08m     |             | y=0.08m  |
| 48   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 49   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 50   |                                 |              | 12          | 3             |             |            |             |             |          |
| 51   |                                 |              |             | 5             |             |            |             |             |          |
| 52   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 53   |                                 | 7            | 22          | 4             |             |            |             |             |          |
| 54   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 55   |                                 |              |             | 5             |             |            |             |             |          |
| 56   |                                 |              | 16          | 4             |             |            |             |             |          |
| 57   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 58   |                                 |              |             | 4             |             |            | y=-0.32m    |             | y=-0.32m |
| 59   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 60   |                                 |              | 12          | 3             |             |            |             |             |          |
| 61   |                                 |              |             | 5             |             |            |             |             |          |
| 62   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 63   |                                 | 9            | 22          | 5             |             |            |             |             |          |
| 64   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 65   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |
| 66   |                                 |              | 16          | 5             |             |            |             |             |          |
| 67   |                                 |              |             | 4             |             |            |             |             |          |
| 68   |                                 |              |             | 3             |             |            |             |             |          |

- \*1 樹林帯形状 印なし:長方形 ○:V字型  
 \*2 枝の有無 印なし:枝あり模型 ×:枝なし模型  
 \*3 盛土の有無 印なし:盛土なし 盛土ありの場合はその位置  
 \*4 低木の有無 印なし:低木なし 低木ありの場合はその位置

表4-2 実験ケース一覧表 (つづき)

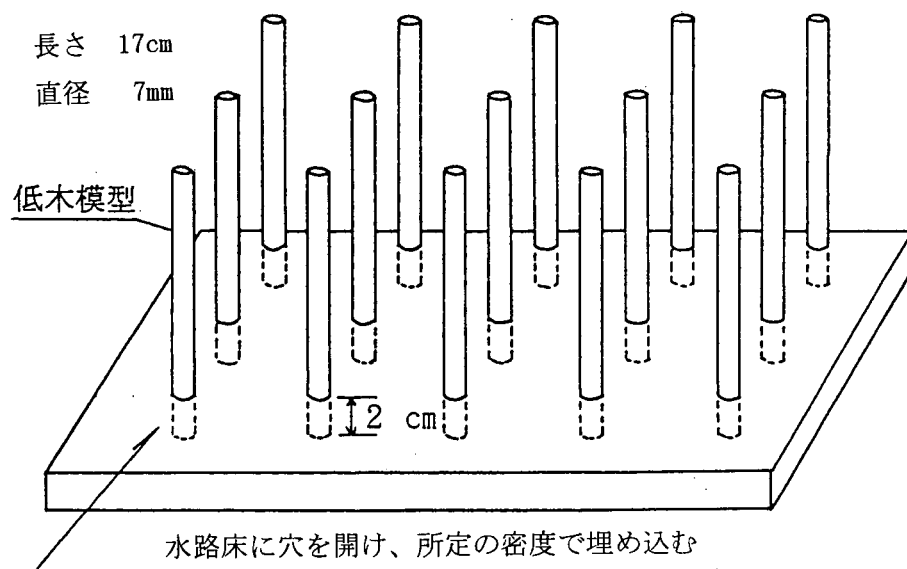
測定Ⅱ 詳細測定ケース

| case | 流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 樹木間隔<br>(cm) | 樹林帯幅<br>(本) | 樹林帯奥行き<br>(本) | 樹林帯形状<br>*1 | 枝の有無<br>*2 | 盛土の有無<br>*3 | 低木の有無<br>*4 | 備考         |
|------|---------------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|
| s-1  | 0.290<br>(高流量条件)          | 8            | 16          | 4             |             | ×          |             |             | case18と同条件 |
| s-2  |                           | 8            | 22          | 4             |             | ×          |             |             |            |
| s-3  |                           | 8            | 12          | 4             |             | ×          |             |             |            |
| s-4  |                           | 8            | 16          | 5             |             | ×          |             |             |            |
| s-5  |                           | 8            | 16          | 3             |             | ×          |             |             |            |
| s-6  |                           | 8            | 16          | 4             | ○           | ×          |             |             |            |
| s-7  |                           | 8            | 16          | 4             |             | ×          |             |             |            |
| s-8  |                           | 8            | 16          | 4             |             |            |             |             | case17と同条件 |

測定Ⅲ 追加測定ケース

| case | 流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 樹木間隔<br>(cm) | 樹林帯幅<br>(本) | 樹林帯奥行き<br>(本) | 樹林帯形状<br>*1 | 枝の有無<br>*2 | 盛土の有無<br>*3 | 低木の有無<br>*4 | 備考 |
|------|---------------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|------------|-------------|-------------|----|
| a-1  | 0.290<br>(高流量条件)          | 16(千鳥状)      | 8           | 2             |             |            |             |             |    |
| a-2  |                           | 8            | 16          | 2             |             |            |             |             |    |
| a-3  |                           | 16(千鳥状)      | 8           | 1             |             |            |             |             |    |
| a-4  |                           | 8            | 6           | 2             |             |            |             |             |    |

- \*1 樹林帯形状 印なし:長方形 ○:V字型  
 \*2 枝の有無 印なし:枝あり模型 ×:枝なし模型  
 \*3 盛土の有無 印なし:盛土なし 盛土ありの場合はその位置  
 \*4 低木の有無 印なし:低木なし 低木ありの場合はその位置



低木模型

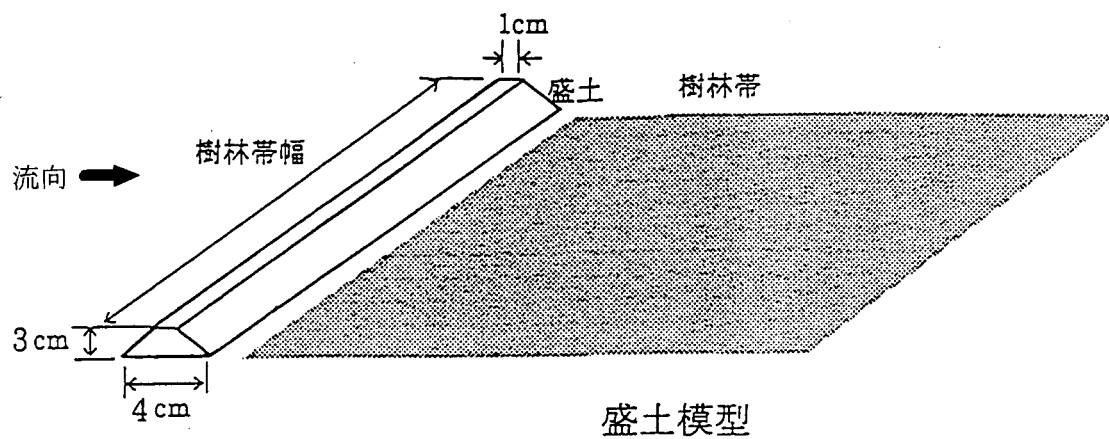


図 4-4 低木・盛土模型

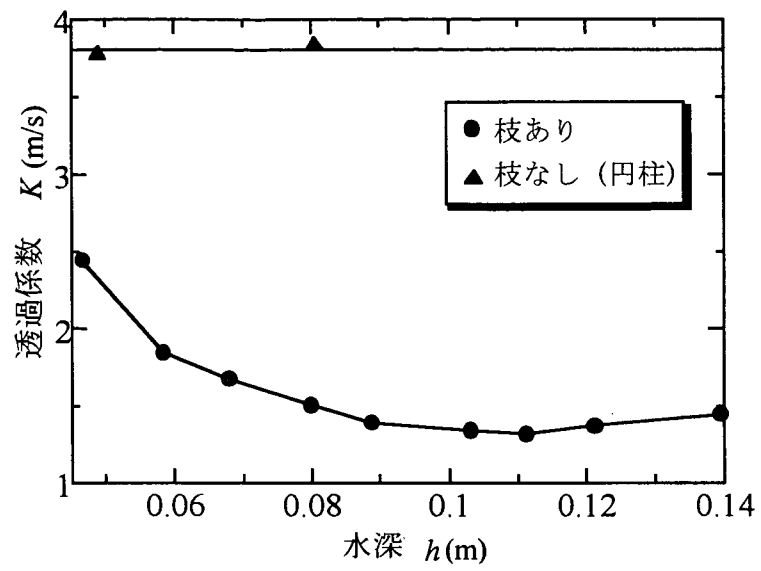


図 4-5 樹林帯模型透過係数  $K$   
(樹木間隔 8cm、格子状配列)

木間隔 8cm、格子状配列)。枝あり模型は鉛直方向に不均一に枝がついているため水深により  $K$  は変化し、水深 10cm では約 1.3m/s (模型縮尺 1/30 の実寸法では約 7.1m/s) である。この値は抗力係数  $C_D=1.0$  とした場合の直径 0.2m の円柱が 1m<sup>2</sup> あたりの 1.94 本生えている樹林相当である。

測定項目は、水深 (ポイントゲージ)、河床から水深の 6 割の高さでの  $x$ 、 $y$  方向流速 (2 次元電磁流速計) の平面分布である。測定点は、樹林帯幅中心縦断線 ( $y=0$  m) において  $x=-3.0\sim 4.0$  m、 $y=0.5, 1.0, 1.5$  m において  $x=-1.5\sim 3.0$  m、それぞれ縦断方向に 0.5m 刻みで設定した (測定 I)。測定点数は 1 ケース当たり 45 点である。測定点を図 4-6 に示す。なお、主要なケースについては樹林帯周辺をより詳細に測定した (測定 II、測定点は図 4-7)。また、写真、ビデオによる樹林帯周辺の流況観測、サーボ式水位計による水面変動の計測も行った (測定点は図 4-8)。

上述の 68 ケースに加え、樹木間隔を 16cm (千鳥状配置) にしたケース、樹林帯奥行きを 2 本にしたケース、樹林帯幅を 6 本にしたケースを設定し、樹林帯幅中心縦断線 ( $y=0$  m) 上、 $y=0.4$  m および  $y=1.04$  m 横断線上での水深および  $x$ 、 $y$  方向流速を測定した (測定 III)。この測定の目的は、上述の 68 ケースの測定では、条件間の樹木間隔、樹林帯幅、樹林帯奥行きの差が小さすぎ、樹林帯の効果の違いがさほど明確にならなかったからである。

## 4.2 実験結果

### 4.2.1 流況、測定結果の概要

氾濫外力として与えた 2 流量、特に高流量条件での流れはかなり激しいため、水表面には波打ちがみられた。したがって、水深測定では水面変動の振幅の中心の値を計測した。また、樹林帯内部での水深、流速の測定値に関しては、樹木の枝などの影響で流れが非常に不均一なため、精度としてはさほど高いものではないといえる。

流況観察では、流れは樹林帯の上流側でほぼ樹林帯幅に渡って堰上げられ、樹林帯の下流でほぼ樹林帯幅に渡って流速、水深が低下している様子がみられた。また、樹林帯によって流れが阻害される結果、樹林帯上流の堰上げから樹林帯の外側 (横断方向) に向かう流れが生じていた。また、樹林帯のやや下流側、樹林帯境界付近には、流れが淀んだ部分 (死水域のような部分) がみられた (写真 4-1)。

樹林帯下流の流速、水深低下域とその外側との境界線は、樹林帯の端 (横断方向) から斜め外側に向かって延びており、その角度は流下に伴って小さく ( $\alpha$  軸と平行に近く) なっていた。また、その境界は、樹林帯に近い程明瞭であり、水平方向の混合の効果のため、流下に伴い不明瞭になっていた。写真、ビデオによる流況観察を行った結果、樹林帯境界 (横断方向) 付近では、強い水平方向の混合が見られたが、サーボ式水位計による水面変動の計測では樹林帯周辺での周期的な変動は把握できず、周期的な渦の発生は特定できなかった。

なお、上記の観察結果は、枝あり模型においては明確に確認できたが、枝なし模型を用いた実験の場合は、流れに対する樹林帯の効果が小さいため、さほど明確ではない (写真 4-2)。

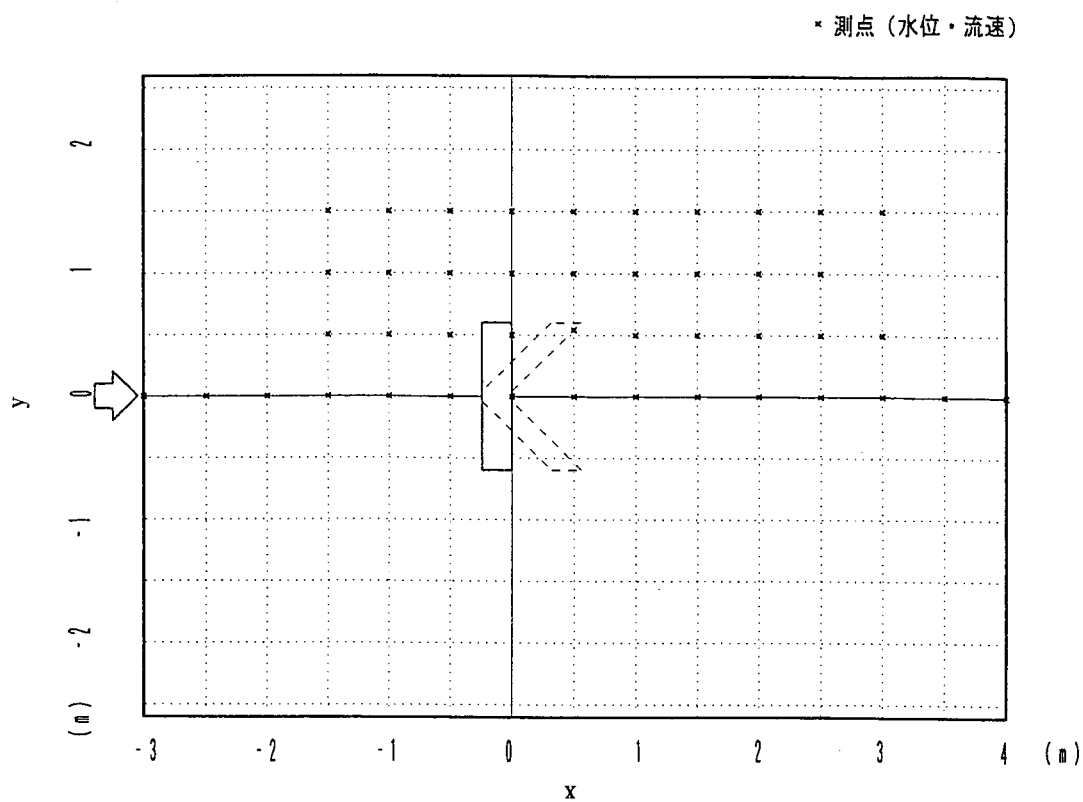


図 4-6 水深・流速測定点

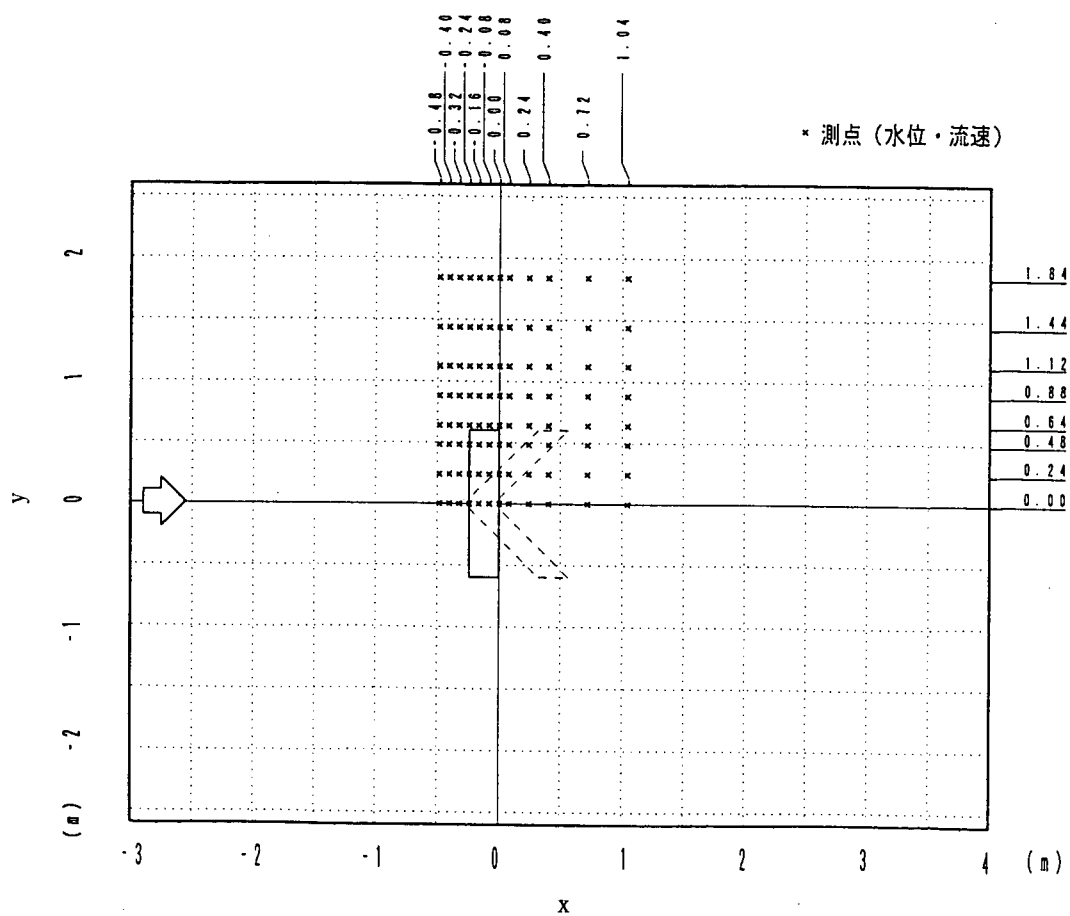


図 4-7 水深・流速測定点 (詳細測定)

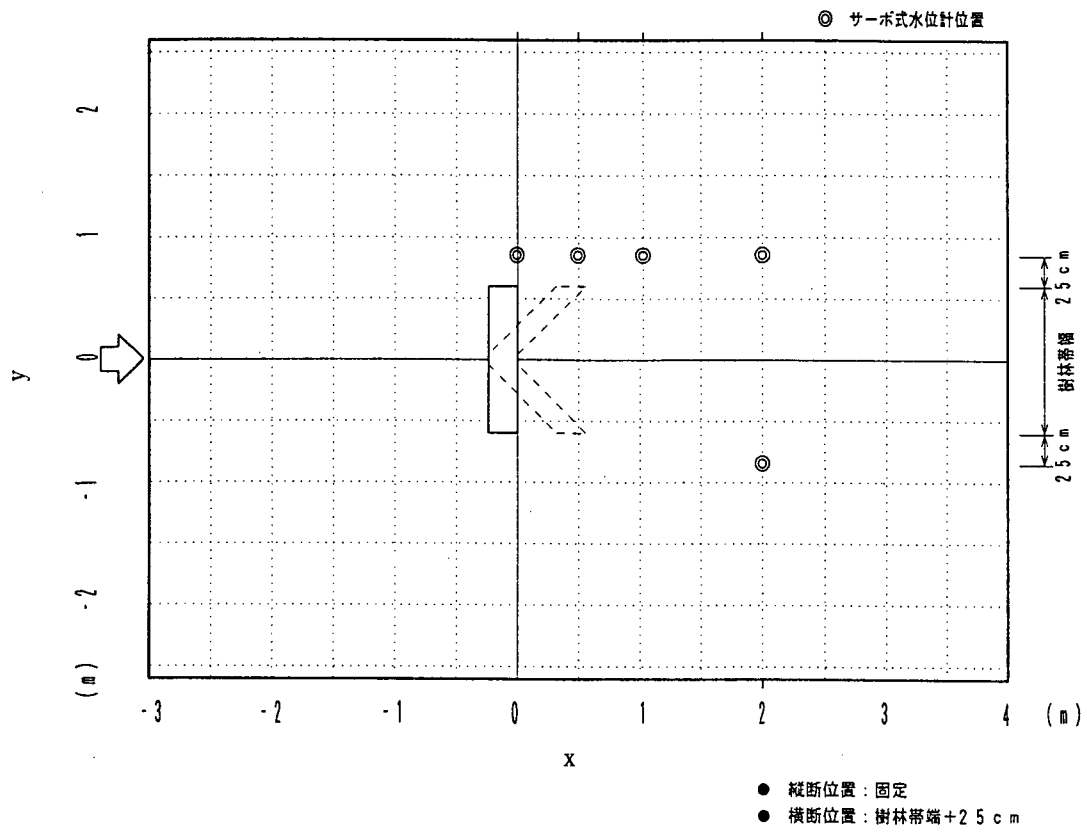


図 4-8 測定点 (サーボ式水位計)

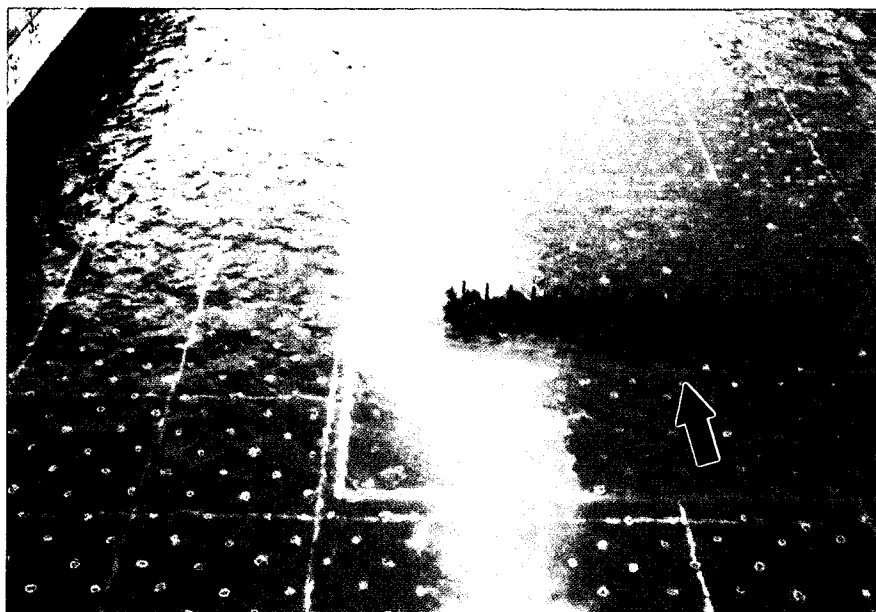


写真 4-1 (a) case17 の流況

(枝あり模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 4 本、高流量条件)

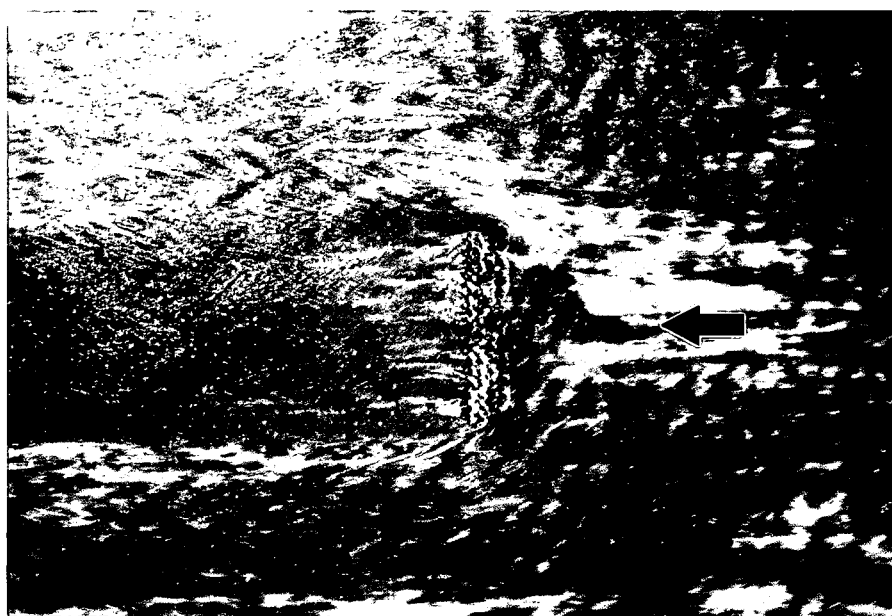
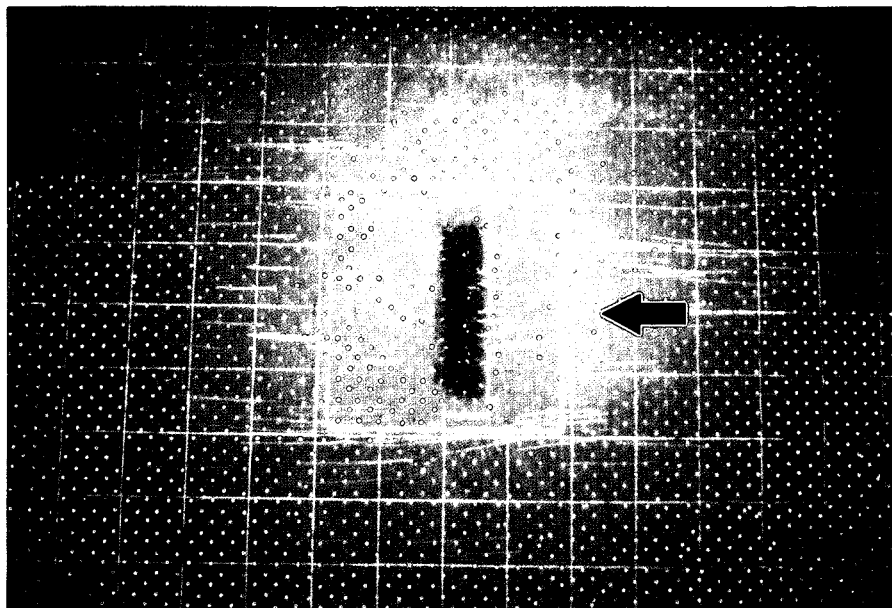


写真 4-1 (b) case17 の流況

(枝あり模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 4 本、高流量条件)

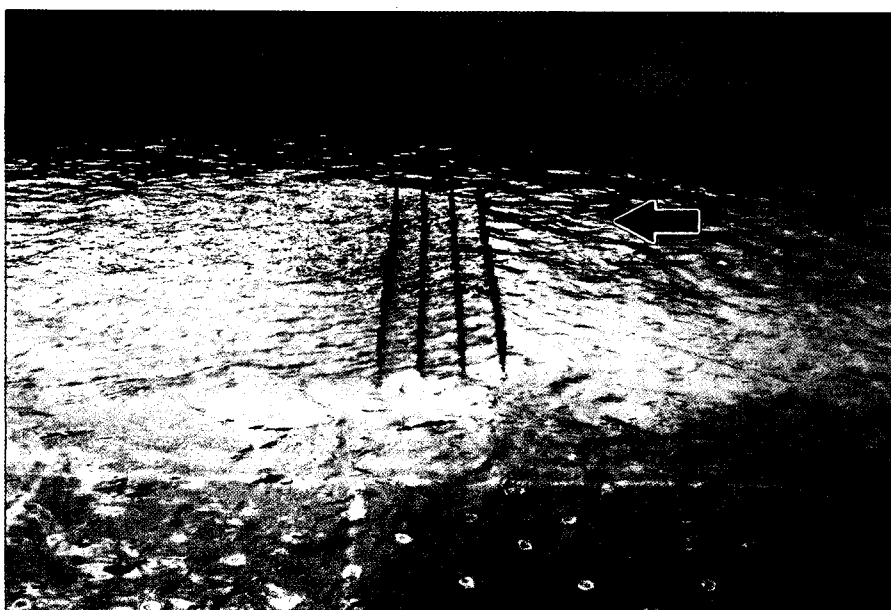
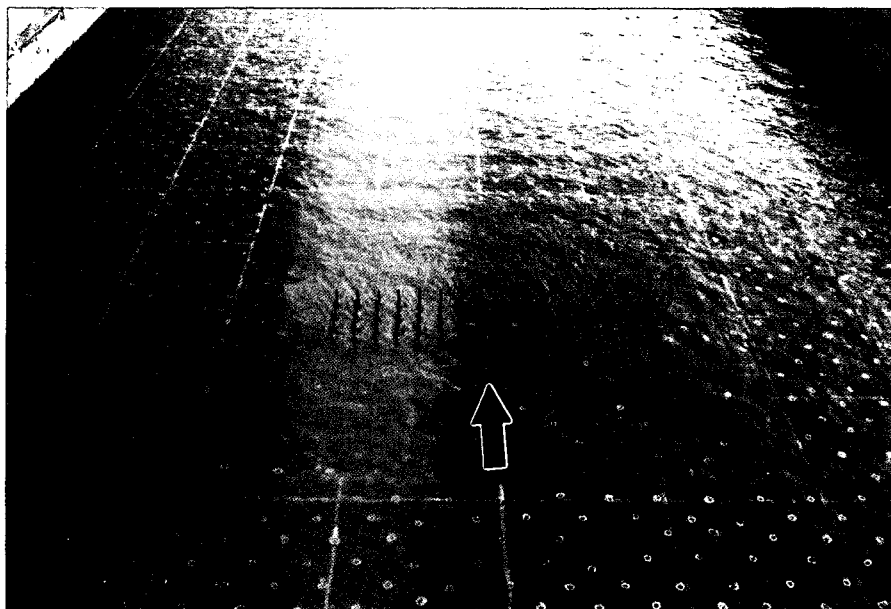


写真 4-2 case18 の流況

(枝なし模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 4 本、高流量条件)

#### 4.2.2 樹林帯による効果の平面分布

図 4-9(a)、図 4-9(b)、図 4-9(c)はそれぞれ case17 (高流量条件、枝あり模型、樹木間隔 8cm の格子状配列 ( $K$  は水深 10cm で約 1.3m/s)、樹林帯の幅 16 本、奥行き 4 本) の水深コンター図、流速ベクトル図、流体力コンター図である。これらの図の値は樹林帯がない場合の同流量での等流の値で無次元化しており、水路横断方向に半分の領域だけ表示している。

図 4-9(a) の水深分布に着目すると、樹林帯より上流側では樹林帯の流下阻害による堰上げにより樹林帯がない場合の等流水深以上となっており、樹林帯より下流側では等流水深以下となり流下とともに回復している。さらに下流側では水深は徐々に低下して平面水路下流端 (段落ち) に漸近している。樹林帯幅よりも内側の水深の縦断変化は、樹林帯直上流で極大値をとり樹林帯内で急激に低下して樹林帯直下流で極小値となり、その後少し回復するような変化を示している。一方、樹林帯幅より外側では、樹林帯上流側の堰上げられた水深から樹林帯下流の低水深へと滑らかに変化している。

図 4-9(b) の流速ベクトルより、樹林帯後流部 (樹林帯幅の内側) では流速が減少しており、反対に樹林帯幅の外側では流速が増加しているのが分かる。流下に伴い樹林帯幅内外の流速差はやや減少している。また、樹林帯上流部では堰上げから外側へと向かう強い流れがみられる。

図 4-9(c) の流体力分布から分かるとおり、樹林帯による流体力の低減域 (すなわち家屋被災の危険性低下域) が樹林帯上流部から樹林帯背後にかけて広がっている。しかし、樹林帯幅の外側では堰上げから外に向かう流れにより流体力が増大しており、かえって被災危険性が高くなっている。ただし、今回実験を行った水路は幅が 5.2m であり、外側への流れが制限されているために流体力の上昇が大きく出ていることを考慮する必要がある。なお、流体力の最小値は樹林帯左右端の樹林帯よりやや下流側で生じているが、これは樹林帯からの剥離による死水域である。

図 4-10 は、図 4-9 と同条件で樹木模型のみを枝なし模型に変えた場合 (case18) の結果である。枝あり模型を用いた場合よりも透過係数  $K$  が大きく ( $K$  は約 3.8m/s)、流れの阻害<sup>4</sup>が小さい樹林帯と考えることができる。

図 4-10(a) の水深分布をみると、図 4-9(a) の枝ありの場合と比較して樹林帯上流側での堰上げが小さく、樹林帯下流側での水深の回復が早くなっている。

図 4-10(b) の流速ベクトルを図 4-9(b) の枝ありの場合と比較すると、枝なしの場合には堰上げから樹林帯外側へと向かう流れが弱く、樹林帯下流側での樹林帯幅内外の流速差も小さくなっている。

図 4-10(c) の流体力コンターを図 4-9(c) の枝ありの場合と比較すると、樹林帯下流の流体力低減域の面積が非常に小さくなっていると同時に、低下の度合いも小さくなっている。また、樹林帯幅よりも外側での流

---

<sup>4</sup> ここでいう「流れの阻害の大きさ」とは、樹林帯内の単位体積当たりの樹木本数、幹の太さ、枝・葉の繁り具合等によって決定される樹林帯が持つ抵抗特性 (本論分では透過係数  $K$  で表現) のことであり、樹林帯の抵抗により失われる運動量の大きさという意味ではない。以降用いる「流れの阻害の大きさ」も同様である。

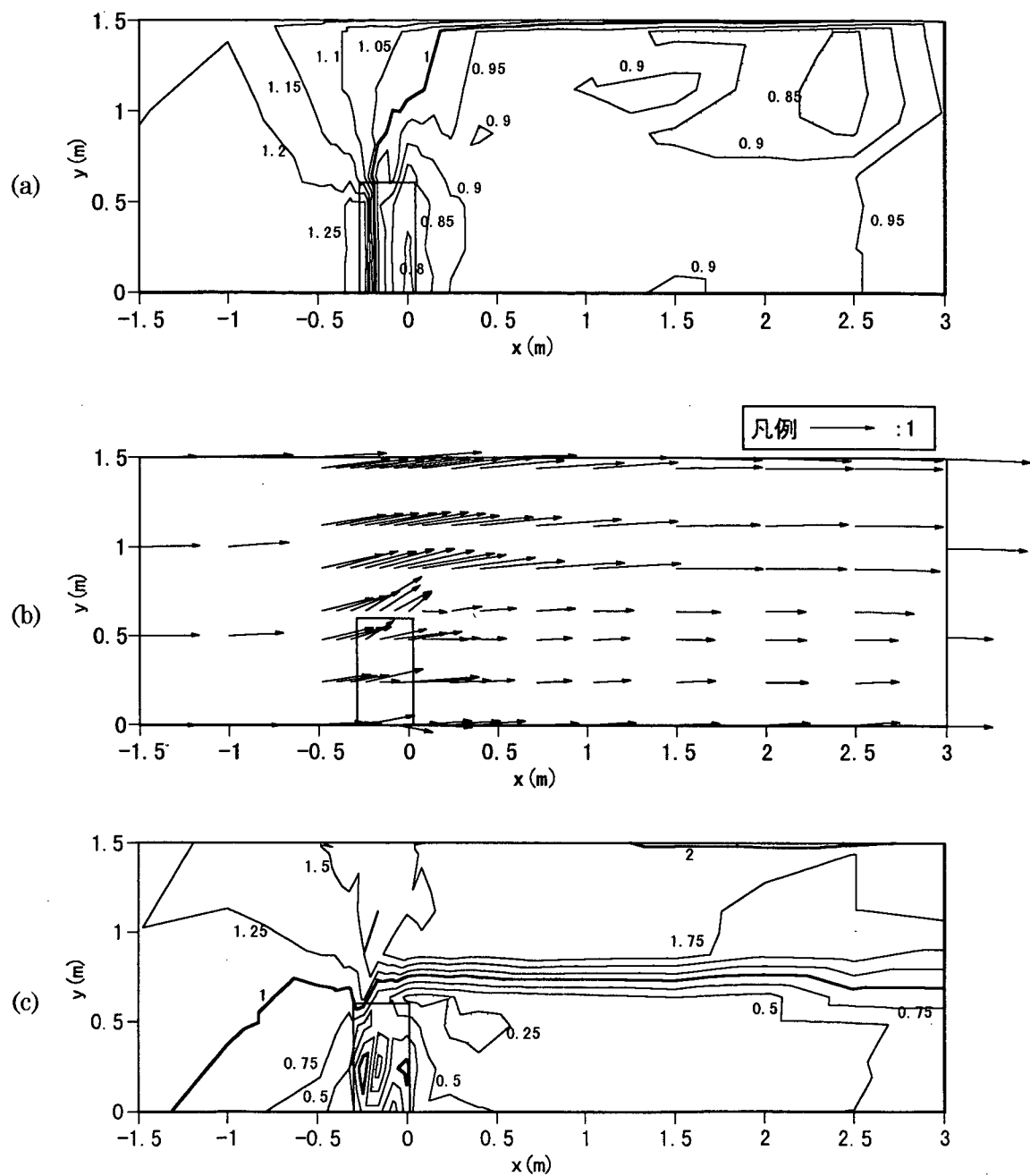


図 4-9 case17 の実験結果

(枝あり模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 4 本、高流量条件)

(a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  は樹林帯部)

(b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図

(c) 無次元流体力  $u^2 h / u_0^2 h_0$  コンター図

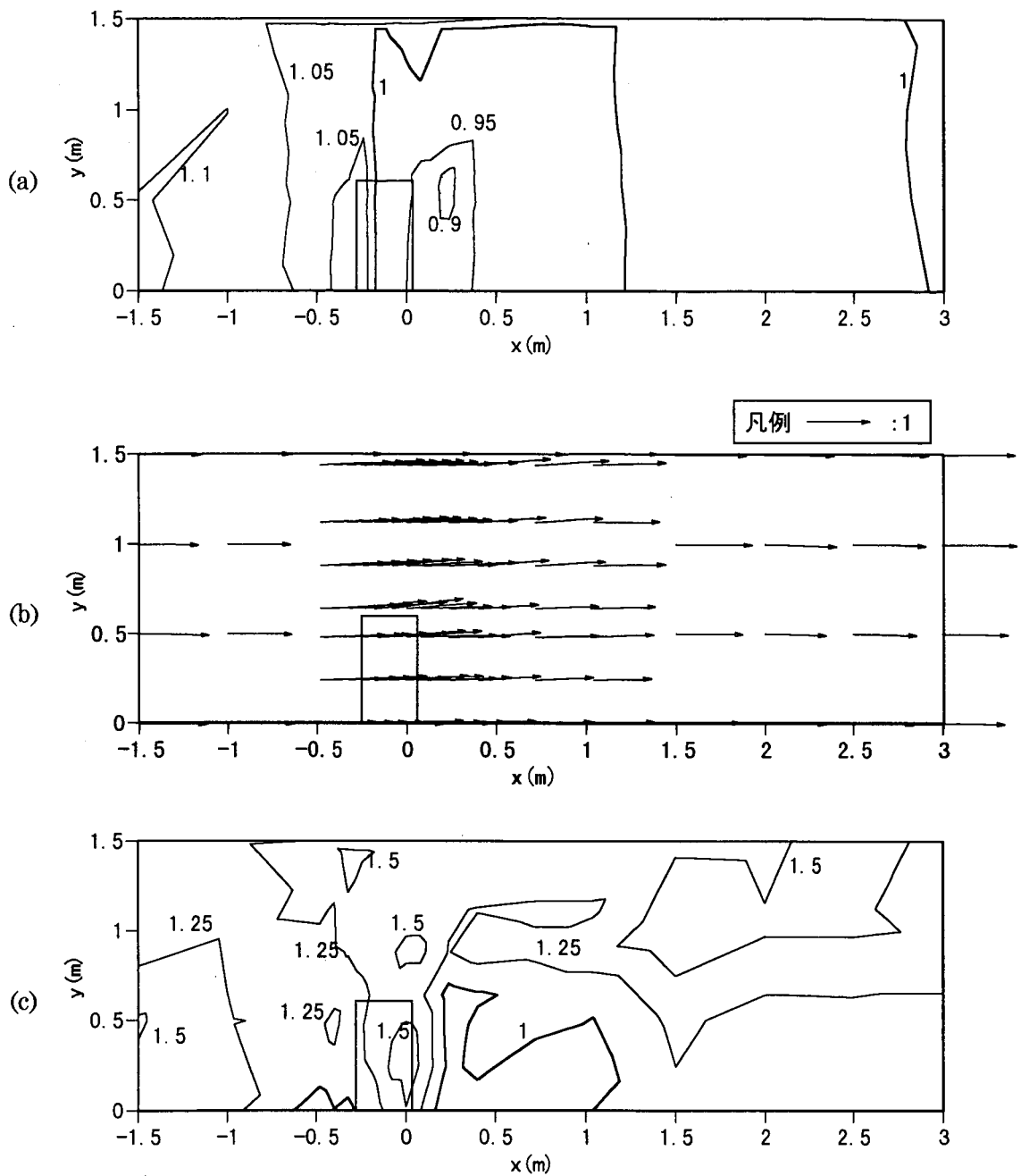


図 4-10 case18 の実験結果

(枝なし模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 4 本、高流量条件)

- (a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  は樹林帯部)
- (b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図
- (c) 無次元流体力  $u^2 h / u_0^2 h_0$  コンター図

体力の増大も小さい。この結果は、枝なし樹林模型は流れの阻害が小さい（透過係数  $K$  が大きい）ために樹林帯の抵抗による運動量損失が小さいことだけでなく、氾濫流の阻害により生じる外向きの流れが弱いいため、樹林帯幅の外側へと運動量を運ぶ効果が小さいことを表している。

以上から、防災樹林帯下流での流体力低減効果には、樹木の抵抗による運動量損失の効果とともに、氾濫流の阻害により生じる外向きの流れが樹林帯幅の外側へと運動量を運ぶ効果が働いていることが分かる。

#### 4.2.3 樹林帯の諸元による効果の違い

防災樹林帯を氾濫流制御に適用するためには、その効果（氾濫流の流体力の低下量と低下する範囲）と樹林帯の諸元（透過係数  $K$  等で表せる流れの阻害の大きさ、奥行き、幅、形状）、氾濫外力の規模等の関係を明確にする必要がある。以下に、それら個々の諸元の効果に関して、今回の実験条件の範囲内で行った検討について述べる。

##### a) 氾濫外力（氾濫流量）の効果

実験で与えた流量（氾濫外力）の効果に関しては、枝あり模型を用いて氾濫流量を変えた場合（高流量条件、低流量条件）の比較を行った結果、低流量条件では高流量条件よりも樹林の効果小さくなっていた。ただし、これは枝あり模型では高さ 4cm より上にだけ枝があるため、水深変化により樹林の透過係数  $K$  の値が大きく変化していたことが理由であり、氾濫外力の大小の影響に関しては今回の実験からは定量的な把握はできなかった。

##### b) 低木・盛土の効果

次に、樹林帯の上流側、下流側に低木あるいは盛土を設置した場合の効果について簡単に述べる。低木あるいは盛土を樹林帯上流側に設置した場合（case41、case42、case63、case64）には、どちらも設置しなかった場合（case40、case62）に比べ、樹林帯上流側の堰上げによる水深上昇がやや大きくなっていた。また、低木あるいは盛土を樹林帯下流側に設置した場合（case51、52）は、どちらも設置しなかった場合（case53）に比べ、樹林帯下流側での流速および流体力がやや低下していた。ただし、それらの効果は非常に小さかった。

##### c) 樹林帯の形状の効果

図 4-11 は、図 4-9（case18）と同条件で樹林帯形状のみを V 字型に変えた場合（case19）の結果である。ただし、case18 では樹林帯周辺の水深、流速を詳細に測定しているのに対して、case19 では 0.5m 間隔での測定しか行っていないため、図 4-11 の作図に用いたデータ数は少なくなっている。樹林帯の形状の変化に追従して樹林帯の効果の影響範囲も変化していることが分かる。測点数などの限界から今回の測定では明確に出来なかったが、樹林帯形状が長方形から V 字型に変化すると樹林帯への流入角が変わるため、流れに対する投影面積は同じでも樹林帯の効果の大きさは異なったものとなることが予想される。

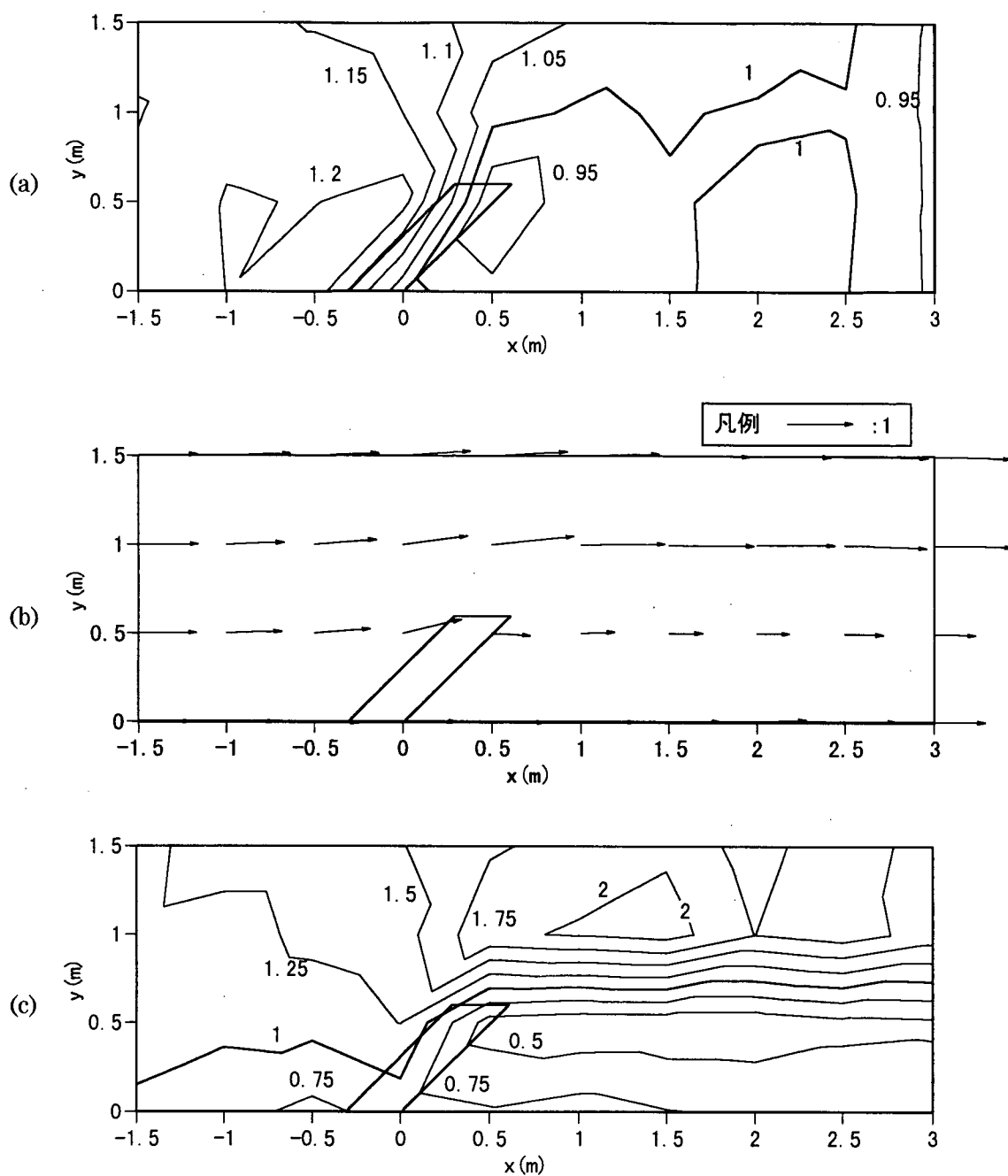


図 4-11 case19 の実験結果

(枝あり模型・8cm 間隔格子状配列、V字型、樹林帯幅 16 本×奥行き 4 本、高流量条件)

(a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  $\square$  は樹林帯部 )

(b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図

(c) 無次元流体力  $u^2 h / u_0^2 h_0$  コンター図

#### d) 樹林帯の幅の効果

図 4-9 が示すように、樹林帯後流部の流体力低下域の幅はほぼ樹林帯幅に等しくなっており、樹林帯幅よりも内側では横断方向にほぼ一様な流体力の低下がみられた。樹林帯幅が異なると堰上げの大きさや樹林帯幅内外の流速差による混合の影響が異なるため、流体力の低下量、低下が及ぶ下流側の距離などに違いが出ると考えられる。

なお、樹林帯幅を変化させたケースのコンター図および流速ベクトル図は、巻末資料に掲載している（図 A-1、図 A-2）。

#### e) 樹林帯の奥行き、流れの阻害の大きさの効果

次に、樹林帯の奥行き、流れの阻害の大きさと流体力の軽減の関係について考察する。

樹林帯の流れの阻害の大きさの効果については、他の条件は同等で枝の有無を変化させた図 4-9（枝あり模型）と図 4-10（枝なし模型）の比較にみられたように、透過係数  $K$  が小さいほど流れの阻害が大きく、樹林帯下流での流体力の低下が大きくなっていた。

樹林帯の奥行きの効果については、奥行きが長いほど樹林帯上流での堰上げが大きくなり、樹林帯下流側での流体力の低下が大きくなる傾向がみられた（巻末資料の図 A-3、図 A-4 参照）。

ここで、樹林帯の条件と被害可能性の軽減効果の関係について一般化できるような表現を考えてみる。

防災樹林帯による流体力の低減は、(A) 樹木群の抵抗による運動量損失効果と、(B) 横断方向への移流および拡散による効果に分けられると考えられる。

まず、(A) の効果について考えると、通常、樹木群の抵抗による単位幅、単位流下距離当たりの流体力（運動量）損失  $F(\text{Kg/ms}^2)$  は、

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho C_D n a u^2 h \\ &= \rho g \frac{1}{K^2} u^2 h \end{aligned} \quad (5)$$

とあらわされる。ここに、 $\rho$  は水の密度 ( $\text{Kg/m}^3$ )、 $C_D$  は抗力係数（樹木の形状や密生度で変化する）、 $u$  は流速 ( $\text{m/s}$ )、 $h$  は水深 ( $\text{m}$ )、 $n \cdot a$  は単位体積の水中の樹木の総投影面積 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )、 $K$  は透過係数 ( $\text{m/s}$ ) である。式(5)から、(A) の効果に関係する樹林帯の諸元としては、樹林帯の透過係数  $K$ （樹木群の密度）が考えられ、樹林帯の諸元ではないが氾濫流の外力（氾濫流の流体力  $u^2 h$ ）も樹林帯下流での流体力低下に影響を与えると考えられる。また、氾濫流が樹林帯内を流下する距離である奥行き長さ  $b$  も、樹林帯内での運動量損失量に大きく関係するであろう。以上から、ここでは樹林帯の流体力低減効果を表す指標として無次元数  $gb/K^2$  を考える。無次元数  $gb/K^2$  は、氾濫外力等に関わらず樹林帯諸元のみで決定される値である。

一方、(B) の効果に関係する樹林帯諸元としては、樹林帯幅  $w$  が考えられる。

無次元数  $gb/K^2$  と樹林帯下流側の無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  の関係を図にしたのが図 4-12 である。縦軸の無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  には、樹林帯の横断方向中心線 ( $y=0$ ) 上で  $x=1, 2, 3(\text{m})$  の 3 点の平均値を用いており、異なる樹林帯幅  $w$  毎に結果をプロットしている。なお、水深によって変化する枝付き模型の  $K$  には水深 9cm

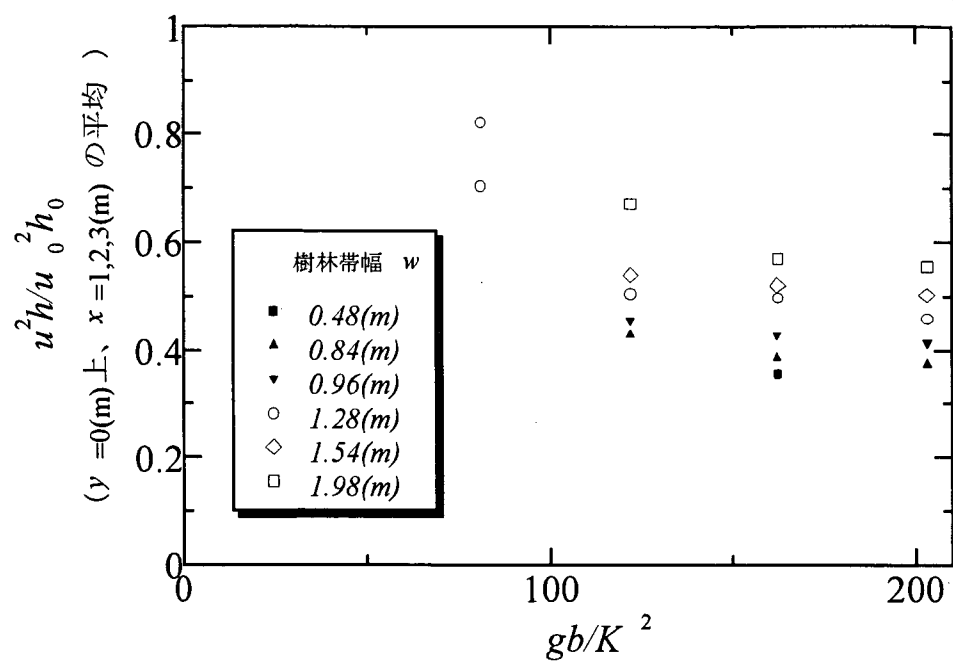


図 4-12 横断方向中心線 ( $y=0$ ) 上、樹林帯下流の無次元流体力  $u^2h/u_0^2h_0$  と無次元数  $gb/K^2$

での値を用い、樹林帯奥行き長さ  $b$ =(樹木間隔×奥行き本数)、樹林帯幅  $w$ =(樹木間隔×幅本数)とした。

図4-12にみられるように、無次元数  $gb/K^2$  が大きくなるにつれて樹林帯下流側での無次元流体力  $u^2h/u_0^2h_0$  が小さくなっている。すなわち、無次元数  $gb/K^2$  の大きくなるほど樹林帯部分での運動量損失が大きくなっている。しかし、その関係は線形的ではなく、無次元数  $gb/K^2$  が小さな領域では樹林帯下流の無次元流体力  $u^2h/u_0^2h_0$  の低下の勾配は大きい、無次元数  $gb/K^2$  が大きくなるにつれて無次元流体力  $u^2h/u_0^2h_0$  の低下の勾配は小さくなっている。これは、樹林帯内の上流側では、氾濫流が大きな運動量をもって樹林帯に流入するためにその損失が大きい、樹林帯内を流下するに従って徐々に運動量が失われ、樹林帯内の単位流下距離当たりの損失量が徐々に小さくなっていくことを表していると考えられる。樹林帯の奥行き長さをより長くしていくと、樹林帯内の下流側では単位流下距離当たりの運動量損失と重力による加速が釣り合うようになると予想され、樹林帯下流側での無次元流体力  $u^2h/u_0^2h_0$  はその時の値に漸近値していくと考えられる。

図4-12にみられるように、樹林帯幅  $w$  が大きくなるほど樹林帯下流側での無次元流体力  $u^2h/u_0^2h_0$  が大きくなる傾向がある。この原因は、樹林帯幅  $w$  が大きいほど樹林帯の外側（横断方向の）を流下する流量が小さくなり、樹林帯部分を流下する流量が大きくなることにありと考えられる。実験水路は側壁によって氾濫原の幅が制限されており、それが樹林帯幅  $w$  による効果の違いに影響を与えているとも考えられる。したがって、樹林帯幅  $w$  による効果の違いに関しては、より多くの条件設定のもとでの検討が必要であろう。

なお、図4-12には、氾濫原勾配 1/300、氾濫流の単位幅流量  $0.0558(\text{m}^2/\text{s})$  という限定された条件での結果のみがプロットされているが、樹林帯の効果を定量的に把握するためには、それらの条件についての検討も必要となる。

#### 4.3 実験のまとめ

防災樹林帯による効果（樹林帯下流での流体力の低減）には、透過係数  $K$ 、樹林帯奥行き長さ  $b$  と関係がみられた。

しかし、防災樹林帯下流での流体力低減は、樹木の抵抗による運動量損失とともに氾濫流の阻害により生じる外向きの流れが樹林帯幅の外側へと運動量を運ぶことにより生じている。さらに、ここでは定量的に評価することは出来なかったが、樹林帯幅内外での流速差による混合も、樹林帯下流での流体力の低減に影響を及ぼしていると考えられる。したがって、樹林帯による流体力の低下効果の推定には、流下方向だけではなく横断方向に生じる現象の影響も考慮する必要があると考えられる。また、今回の実験では固定としていた氾濫原勾配や、定量的な比較が出来なかった氾濫外力の影響についても詳細な検討が必要である。

## 第5章 二次元氾濫モデルによる計算

### 5.1 概要

防災樹林帯による氾濫流制御手法を実際の氾濫原に適用するためには、効果を発揮させるために必要な樹林帯の流れの阻害の大きさ（透過係数  $K$ ）、奥行き、幅、形状などを知る必要がある。そのためには、諸条件を任意に変更できる数値計算により検討を行うのが有効である（実験では、影響範囲などを正確に知るためには多数の点を測定しなければならず困難）。ここでは、樹林帯のある氾濫原への二次元不定流モデルの適用性をみるために行った模型実験の検証計算および様々な条件を変化させたモデル流域における氾濫計算について報告する。

### 5.2 計算モデル

計算は、土木研究所都市河川研究室所有の二次元不定流モデル<sup>17)</sup>を部分的に改良して行った。二次元氾濫計算プログラムの基礎式は、2次元の運動方程式<sup>5)</sup>と連続式である。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uM) + \frac{\partial}{\partial y}(vM) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (6)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uN) + \frac{\partial}{\partial y}(vN) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (7)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (8)$$

$u$  : 流速  $x$  成分  $v$  : 流速  $y$  成分

$M$  :  $x$  方向流量フラックス ( $M=uh$ )

$N$  :  $y$  方向流量フラックス ( $N=vh$ )

$h$  : 水深  $H$  : 水位  $n$  : 合成粗度係数

計算では計算領域を差分化 (staggered-scheme) し、時間方向に陽形式で基礎方程式を解く。ただし、防災樹林帯の効果をモデルに取り込むため、以下の点の改良を行った。

#### ① 樹林帯による抵抗の項の付加

---

<sup>5)</sup> 氾濫流の計算は広範囲の氾濫原を対象とするため、計算速度や計算機の記憶容量の制限から二次元計算が行われる場合が多い。厳密には、今回の樹林帯周りの流れの計算に対して、水深方向の平均値を用いる「二次元」モデルの適用が妥当かどうかの検証も必要である。今回の実験で用いた枝あり樹木模型の枝の密度は水深方向に変化しており、流速の鉛直分布の効果などは無視し得ない可能性もある。

## ②拡散項の付加

## ③一般座標系への座標系の変換

### ①について

樹林帯内では、樹木の抵抗によって流速が低下するが、その程度は樹木の密生の度合いや樹木形態等により変化する。樹林が非水没でかつ水深方向に樹木形態が一様な場合、流水は水深方向に十分混合するため、水深方向平均流速での扱いが出来る。

今回の計算では、樹木による水深方向平均流速の低減の表現には、前章で用いた透過係数  $K$  を用い、抵抗項として運動方程式(6)、(7)に付加した。

### ②について

流水中に抵抗の大きな透過型の障害物（樹林）があると、樹林境界付近で流速が急変し、典型的な水平セン断流れが形成される。そのセン断力による水平方向の運動量輸送は、樹林帯内の流速を増加させ、周辺流速を低下させる。今回行った実験でみられたように、樹林帯直下流では顕著である樹林帯幅の内側（樹林帯下流）と樹林帯外側の流速差が流下に伴って平準化したのには、流速差により生じるセン断力による水平方向の運動量輸送の効果が大きいと考えられる。

平面流解析ではこの効果を渦動粘性によって評価することが多く、ここでもその方法を採用して拡散項を付加した。

①、②の改良によって、基礎方程式は以下になる。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uM) + \frac{\partial}{\partial y}(vM) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gr^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} - \frac{gM \sqrt{u^2 + v^2}}{K^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon \frac{\partial M}{\partial y} \right) \quad (9)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uN) + \frac{\partial}{\partial y}(vN) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gr^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} - \frac{gN \sqrt{u^2 + v^2}}{K^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon \frac{\partial N}{\partial y} \right) \quad (10)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (11)$$

$K$  : 透過係数

$\epsilon$  : 動粘性係数

ここでは、動粘性係数  $\epsilon$  を次式であらわす。

$$\epsilon = \frac{\kappa}{6} u^* h \quad (12)$$

$\kappa$  : カルマン定数 (=0.4)

$u^*$  : 摩擦速度

### ③について

樹林帯による効果的な氾濫被害軽減の検討のためには、樹林の配置を検討する必要がある。特に地形条件が単純でない場合には氾濫流向との関係についても吟味が必要である。

既存の二次元不定流計算プログラムは直交座標系に従う直交格子を採用しているが、この方法で様々な樹木配置を評価するには格子を小さくして樹林範囲の近似度を上げるしかなく、計算所要時間等を考慮すると

得策ではない。そこで、一般座標系にも対応できるようにプログラムの改良を行った。ただし、本報告で取り扱っている計算は全て直交座標系によるものである。

### 5.3 実験の再現計算

#### 5.3.1 計算条件

計算モデルの適用性をチェックするため、水理模型実験を対象に再現計算を行った。対象としたのは水理模型実験の case17、case19 の 2 ケースである。

計算領域 (16m×5.2m の氾濫実験水路) は流下方向、横断方向とも樹木間隔と同じ 0.08×0.08m の直交メッシュ (200×65=13,000 メッシュ) で分割し、樹木模型のあるメッシュには透過係数を用いて図 4-5 で示される抵抗を与えた。

境界条件として、水路上流端に実験時の流量 (0.290m³/s) を与えた。なお、上流端流量は計算開始時に 0 として、300秒をかけて実験時の値まで増加させた。下流端には等流計算による水深-流量関係式(13)を与えた。

$$q = \frac{1}{n} h^{\frac{5}{3}} i^2 \quad (13)$$

ただし、実測水深と計算水深の差が大きくなったため、下流端の水深-流量関係式に用いる粗度係数を微修正し、実測水深と計算水深の適合性がよい  $n$  を与えた。その値は  $n=0.0162$  である。

初期条件として全てのメッシュに水深 0、流速 0 を与え、計算値が定常になるまで計算を進めた。計算時間間隔は 0.02 秒で、定常状態になるまでには 600 秒程度の時間を要した。

#### 5.3.2 計算結果

図 5-1 は、case17 (高流量条件、枝あり模型、8cm 間隔格子状樹木配列、樹林帯の幅 16 本、奥行き 4 本) の計算結果である。同条件の実測結果である図 4-9 と比較してみると、計測値と計算結果は傾向としては一致している。部分的にみると、樹林帯内部での適合性が高いのに対して、樹林帯の外側および上流では流速の実測値よりも計算値が小さい結果となっている。流速から求めた流体力  $u^2h$  も同様である。

図 5-2、図 5-3、図 5-4 は、case17 の水深  $h$ 、流速  $u$ 、流体力  $u^2h$  の計算値と実測値の縦断分布である。連続線が計算値、点が実測値に対応する。それぞれ横断方向の断面毎 ( $y=0(\text{m})$ 、 $y=0.24(\text{m})$ 、 $y=0.48(\text{m})$ 、 $y=0.64(\text{m})$ 、 $y=0.88(\text{m})$ 、 $y=1.12(\text{m})$ 、 $y=1.44(\text{m})$ 、 $y=1.84(\text{m})$ ) に示している。なお、横断方向に最も外側の樹木は  $y=0.60(\text{m})$  に位置している。

図 5-2 に示されている水深  $h$  は比較的適合性が高いのに対し、図 5-3 に示されている流速  $u$  は、樹林帯上流から樹林帯内にかけて及び樹林帯幅の外側 ( $y=0.88(\text{m}) \sim y=1.84(\text{m})$ ) において計算値が実測値よりもかなり小さくなっている。結果として、同じ部分で図 5-4 に示されている流体力  $u^2h$  も計算値が実測値よりも小さくなっている。

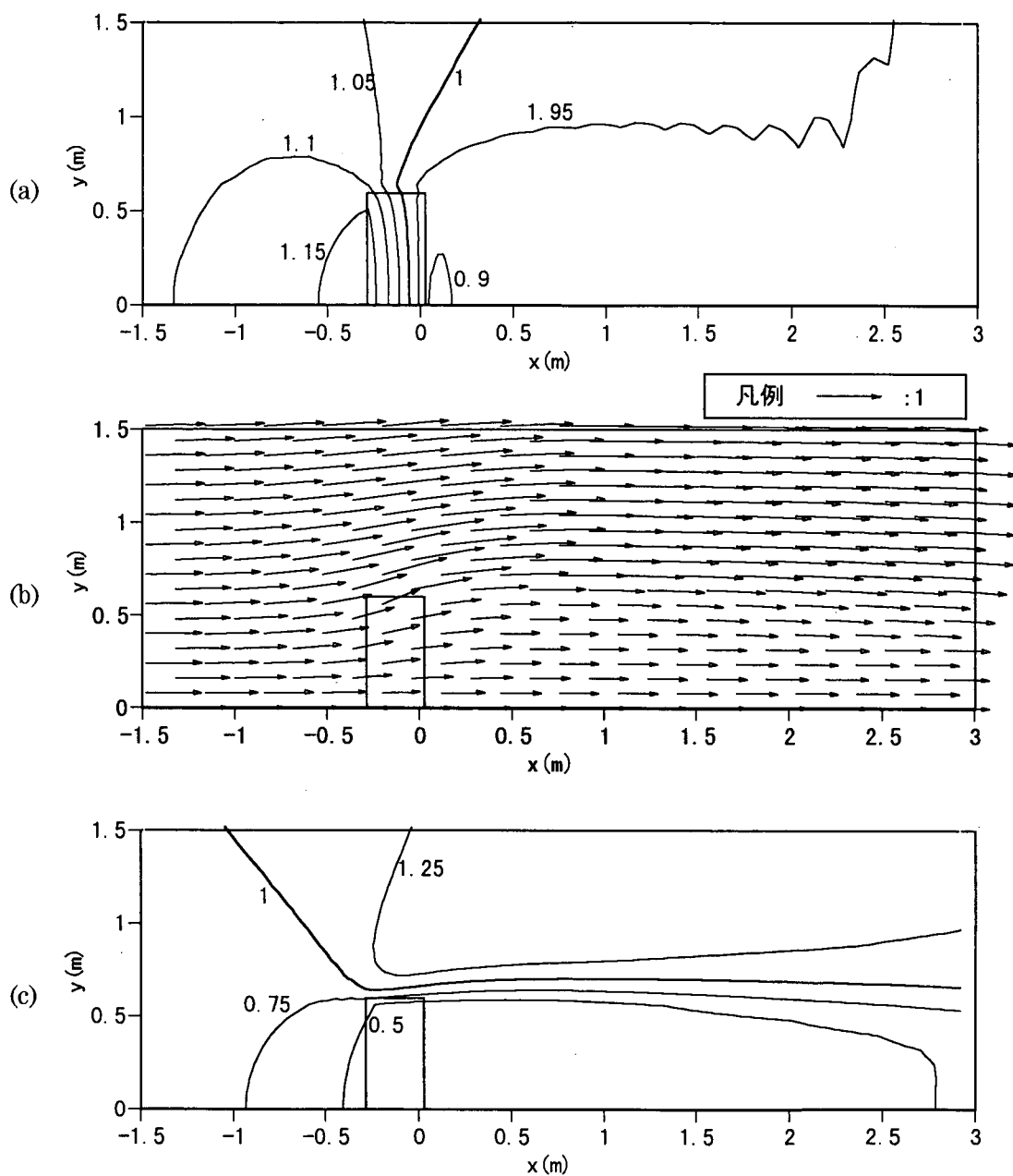


図 5-1 case17 の検証計算結果

(枝あり模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 4 本、高流量条件)

- (a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  は樹林帯部)
- (b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図
- (c) 無次元流体力  $u^2 h / u_0^2 h_0$  コンター図

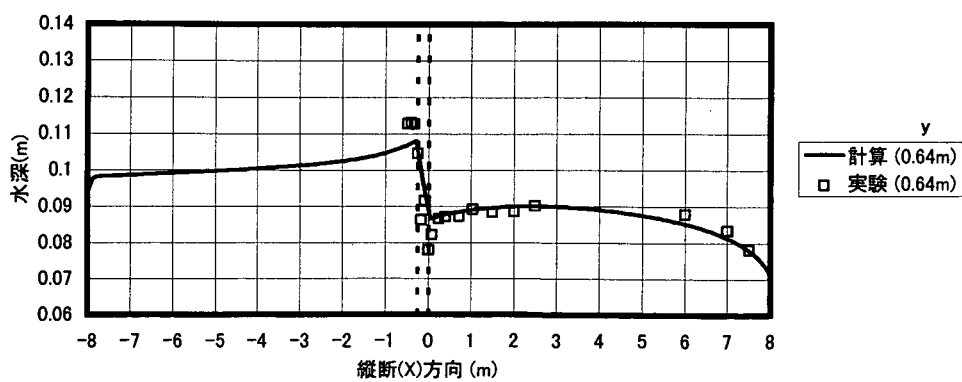
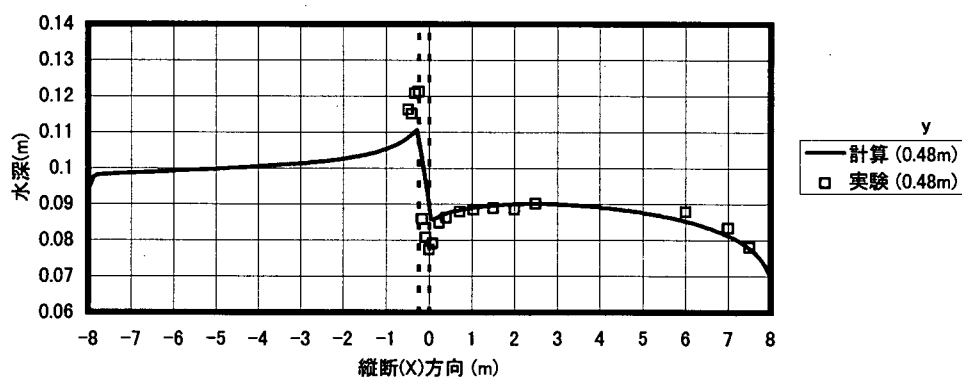
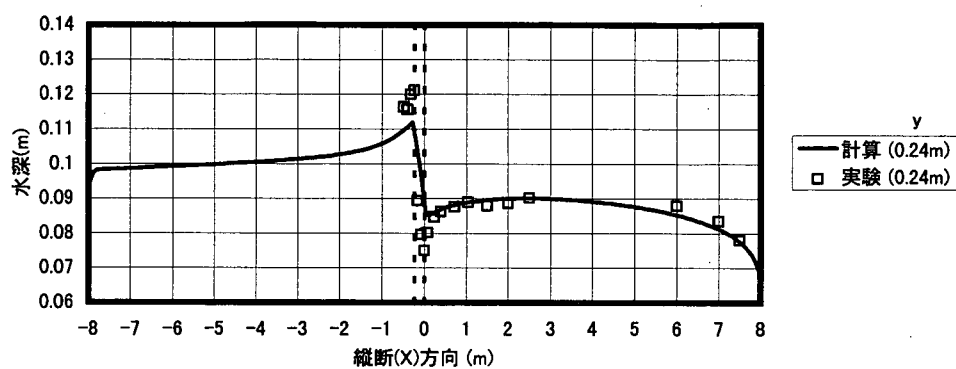
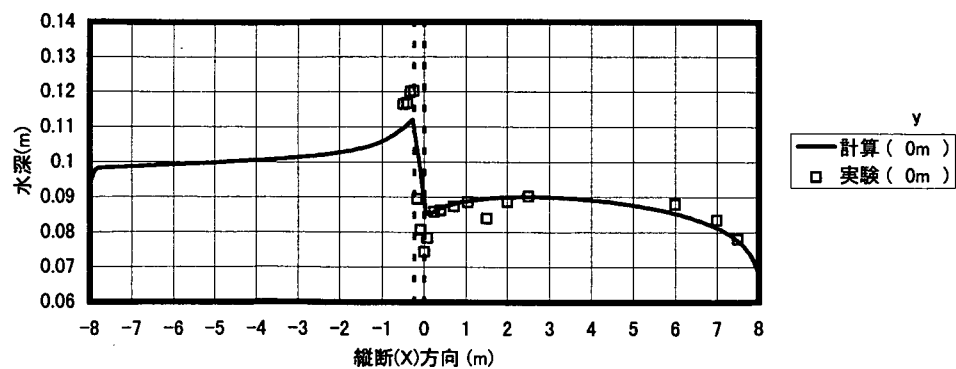


図 5-2 case17 の水深  $h$  縦断分布

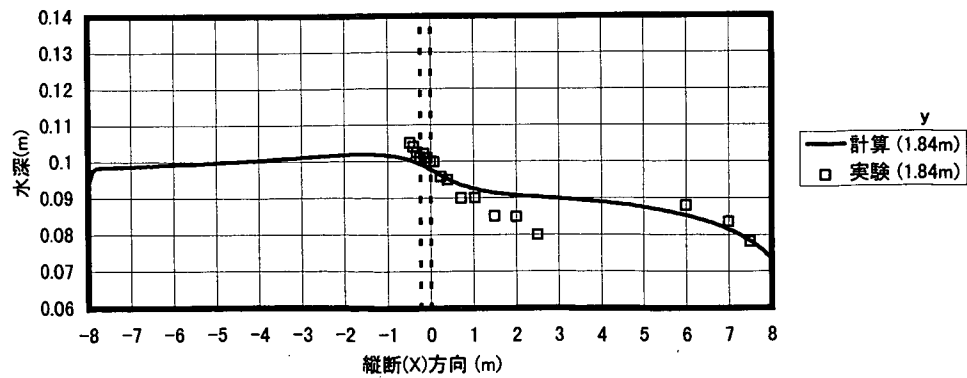
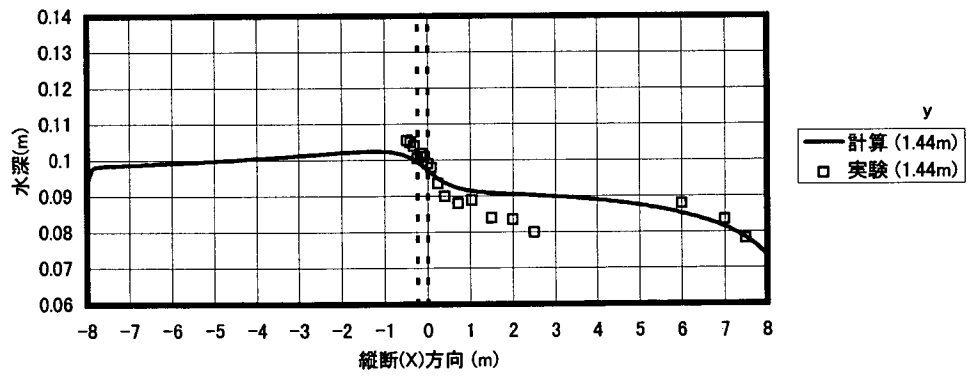
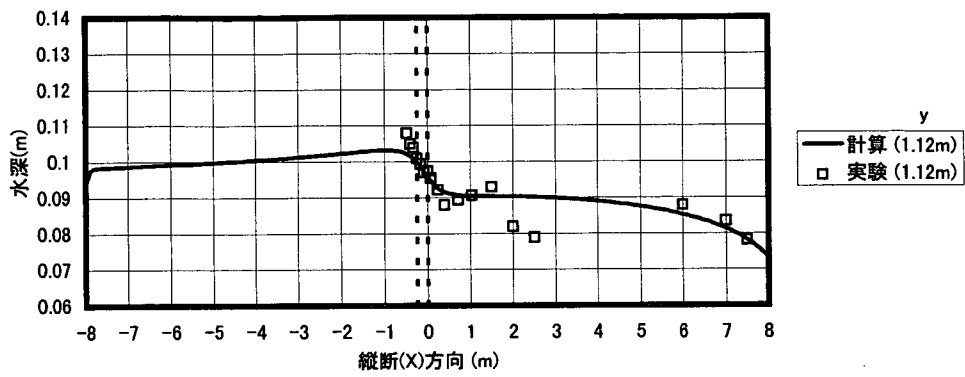
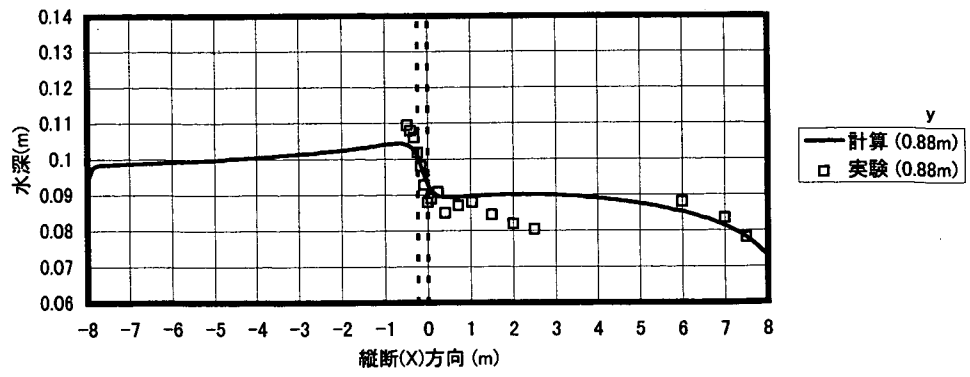


図 5-2 case17 の水深  $h$  縦断分布 (つづき)

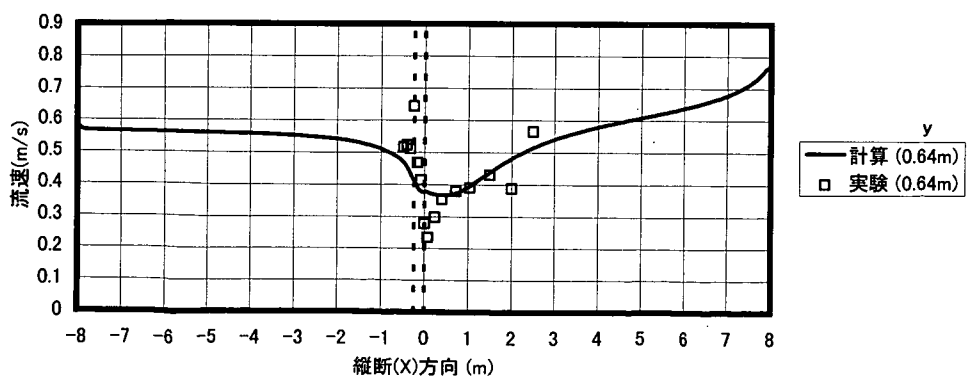
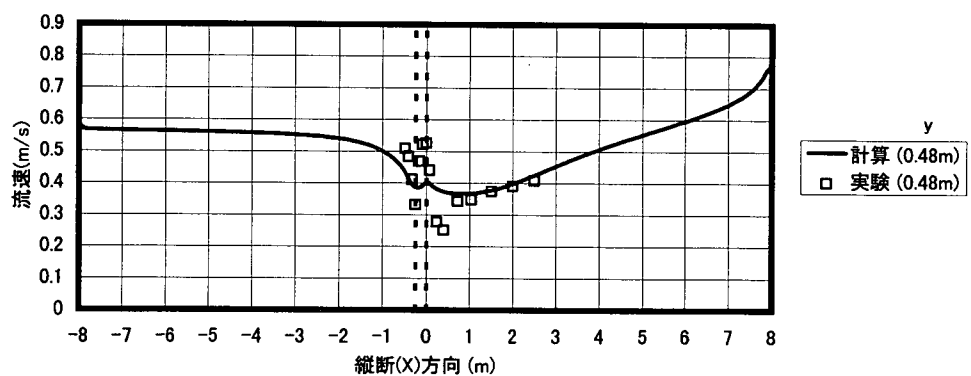
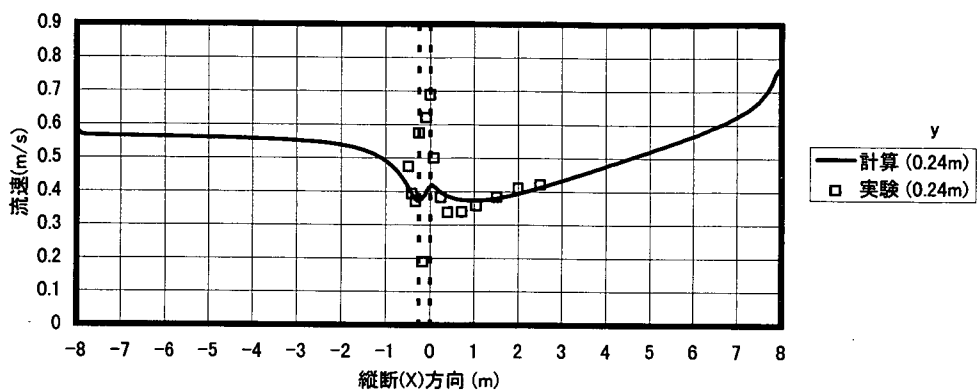
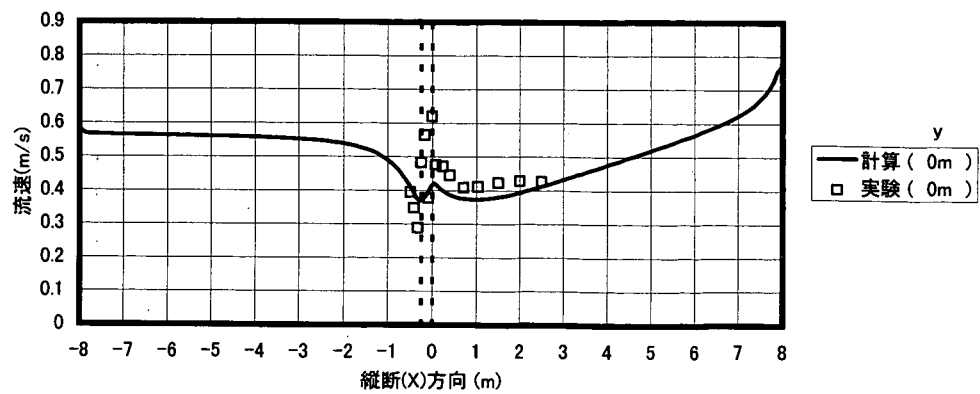


図 5-3 case17 の流速  $u$  縦断分布

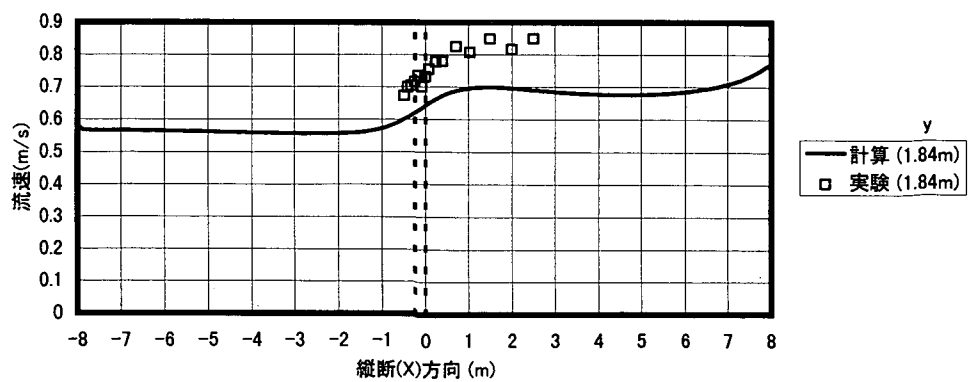
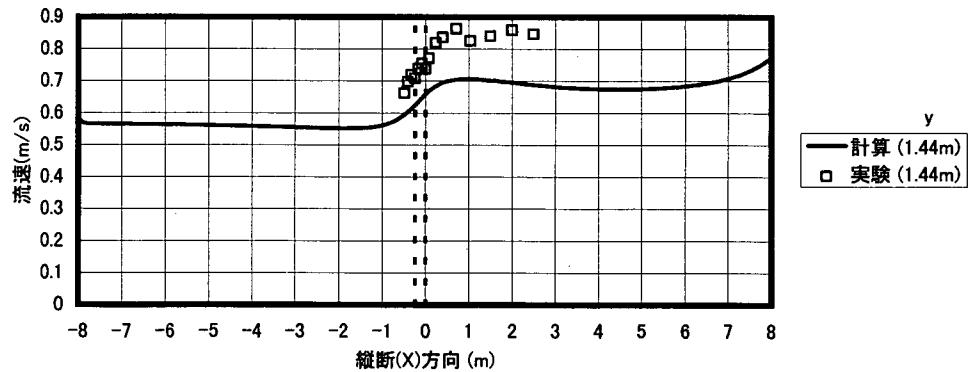
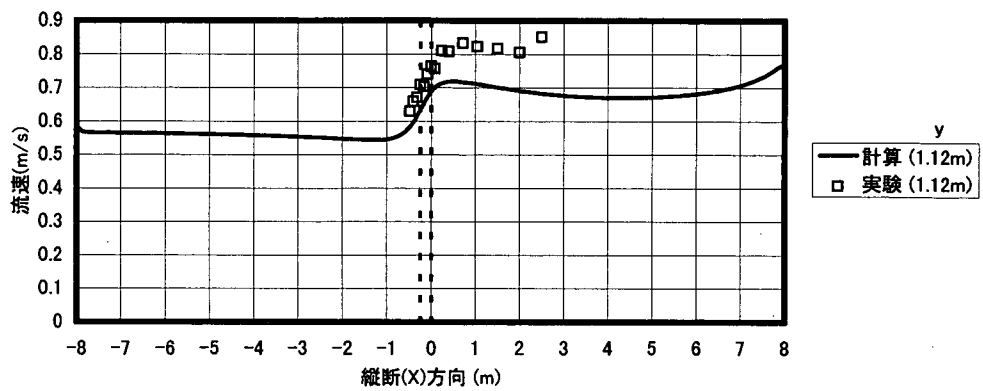
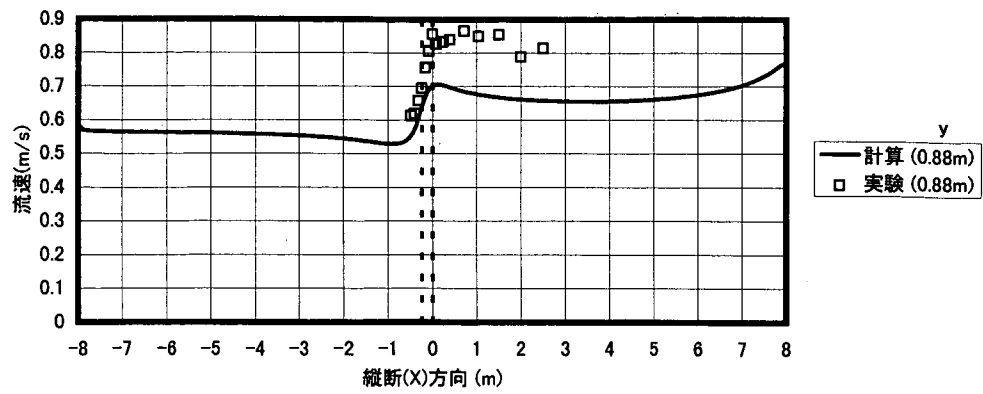


図 5-3 case17 の流速  $u$  縦断分布 (つづき)

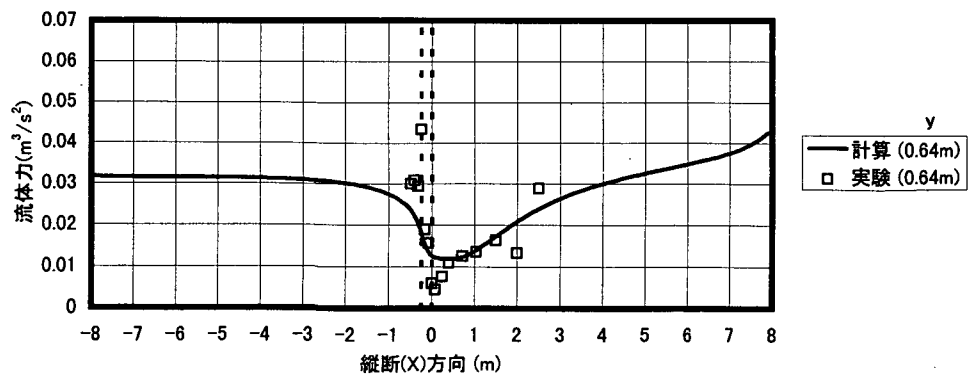
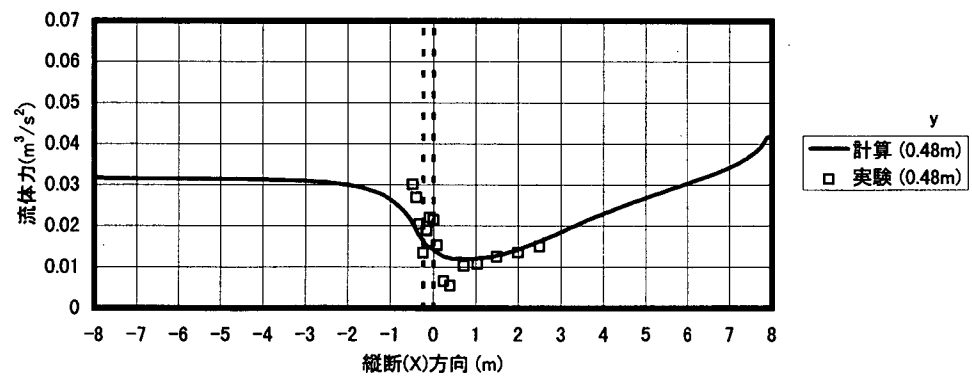
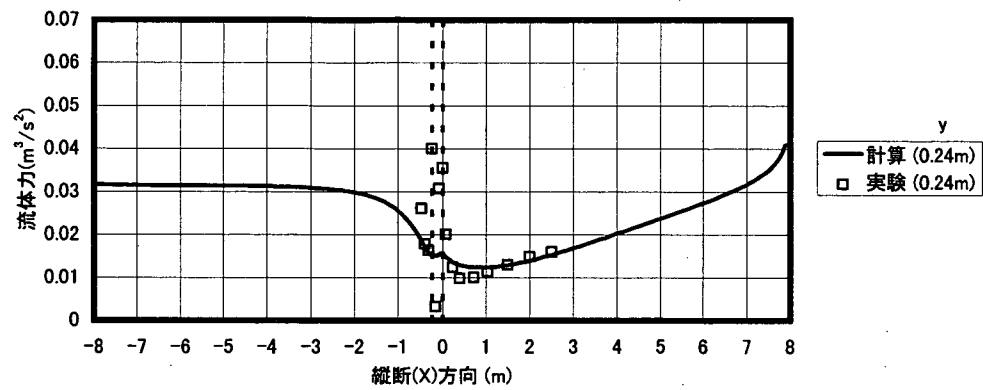
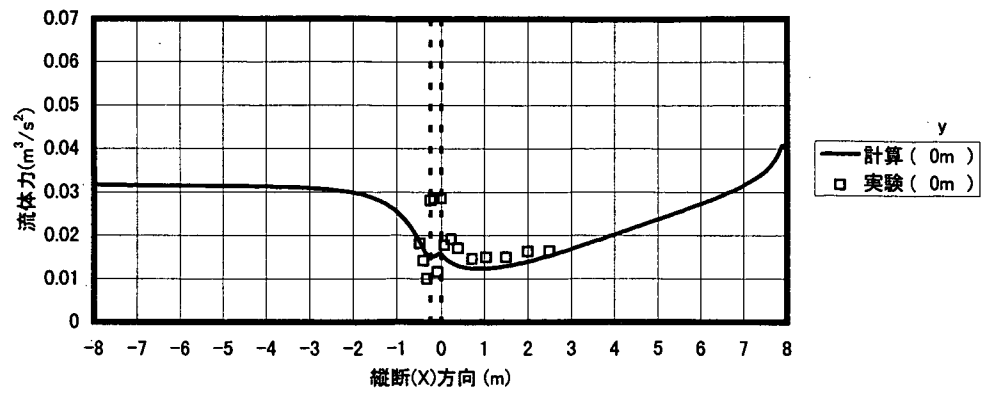


図 5-4 case17 の流体力  $u^2h$  縦断分布

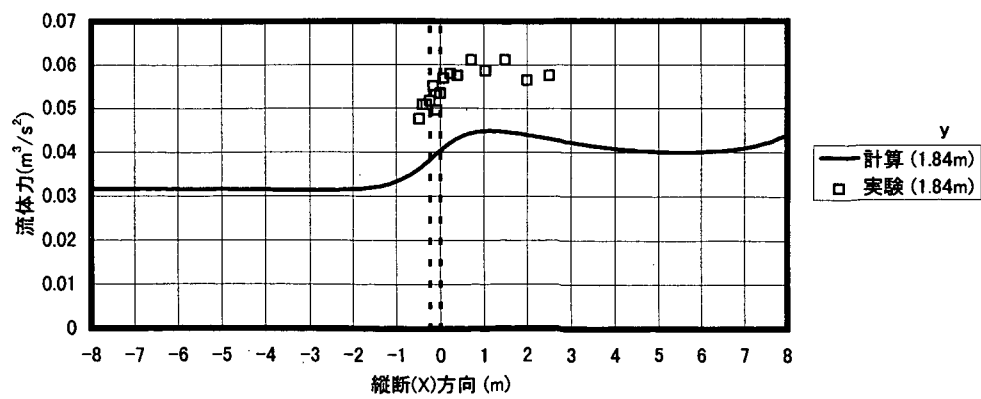
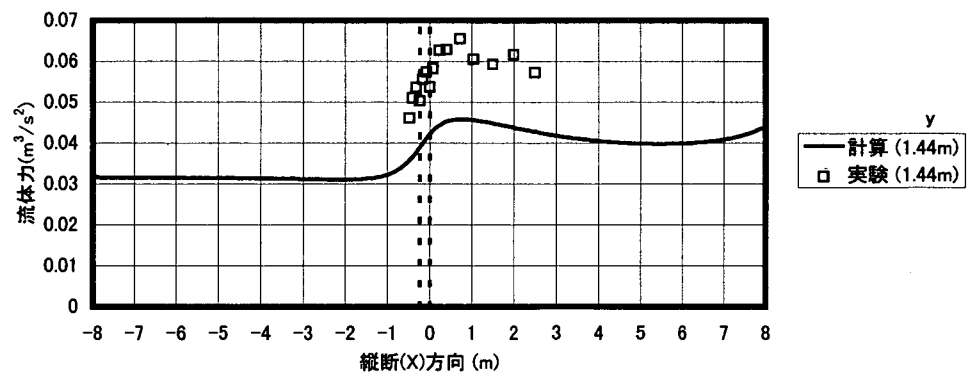
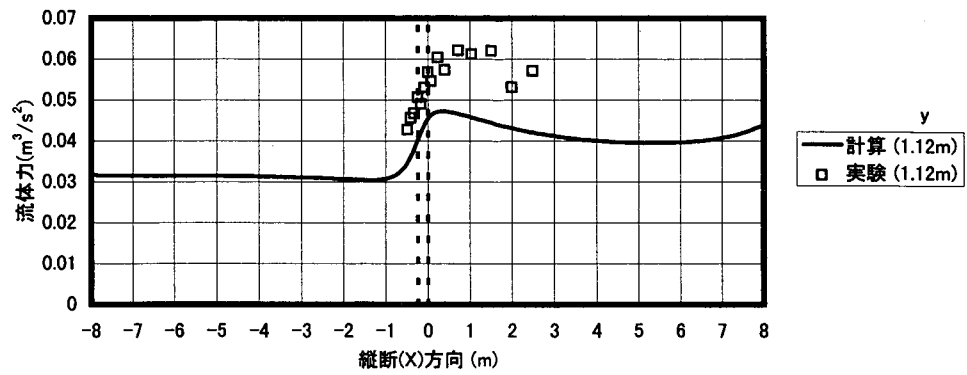
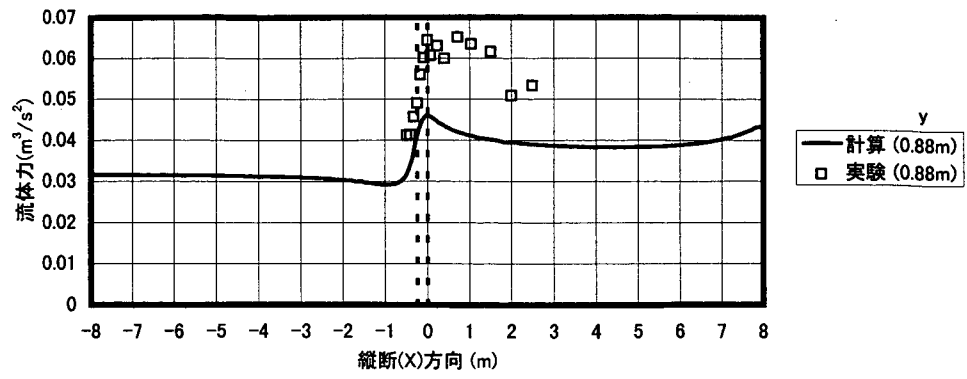


図 5-4 case17 の流体力  $u^2h$  縦断分布 (つづき)

この原因は、樹木による抵抗の大きさの設定にある（実測に比べて計算での樹木抵抗の効果が小さい）と考えられるが、詳細な検討による原因の明確化が必要である。

## 5.4 モデル氾濫原での計算

### 5.4.1 計算条件

ここでは、モデル的な氾濫原での数値シミュレーションによる防災樹林帯の効果の検討について報告する。効果の比較は氾濫水の流速、水深、流体力といった氾濫被害に直結する水理量に着目して行い、樹林帯の諸元を変えた場合に、それらの水理量はどう変化するかを検討した。

#### (1) モデル氾濫原

勾配 1/300、500×250m のモデル氾濫原に樹林帯がある場合を想定した（図 5-5）。氾濫原の粗度は建物を除いた平均的な氾濫原粗度係数にほぼ近い値である  $n=0.05$  とした。

#### (2) 氾濫外力

境界条件の与え方は基本的に実験の検証計算と同様である。

氾濫流量は、参考文献 14)、15)などを参考に、流体力  $u^2h$  が概ね 15、10、5m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup> となる量とし、それぞれ、1,627、1,218、742m<sup>3</sup>/s をモデル氾濫原上流から横断方向に一様に与えた。

#### (3) 樹林帯の透過係数

樹林帯メッシュには樹木の密生度に応じた抵抗を与え、その大きさは透過係数  $K$  で表した。透過係数  $K$  は、水深による変化はないものとし、固定値として樹木密度大 ( $K=14(\text{m/s})$ )、中 ( $K=12.5(\text{m/s})$ )、小 ( $K=11(\text{m/s})$ ) の3条件を与えた。

参考に、上記の透過係数を用いた根拠を説明しておく。ケヤキ、カワヤナギ、タチヤナギの樹木形態<sup>18)</sup>（表 5-1(a)）を参考に、平均的な樹木形態（表 5-1(b)）を想定した。それを用いて透過係数と水深の関係を求めた結果が図 5-6 である。透過係数の算出には以下の式を用いた。

$$K = \frac{1}{\sqrt{naC_D/2g}} \quad (14)$$

$$na = \frac{D \times h + d \times l \times n_{\text{branch}}}{L^2 \times h} \quad (15)$$

とした。ただし、 $C_D$ は抗力係数、 $na$ は単位体積の水中の樹木の総投影面積(m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)、 $D$ は幹直径(m)、 $d$ は枝直径(m)、 $l$ は枝長(m)、 $n_{\text{branch}}$ は枝数、 $L$ は樹木間隔(m)、 $h$ は浸水深(m)であり、抗力係数  $C_D$ は 1.2、樹木間隔  $L$ は樹木密度大で 2.1(m)、中で 2.4(m)、小で 2.7(m)としている。

図 5-6 より、透過係数は水深によって変化するもののほぼ一定値であると判断し、その平均的な値から樹木密度大 ( $K=14(\text{m/s})$ )、中 ( $K=12.5(\text{m/s})$ )、小 ( $K=11(\text{m/s})$ ) とした。

#### (4) 樹林帯形状

樹林帯の形状の違いによる影響を検討するため、通常の長方形の樹林帯形状以外に、角が上流側を向いた

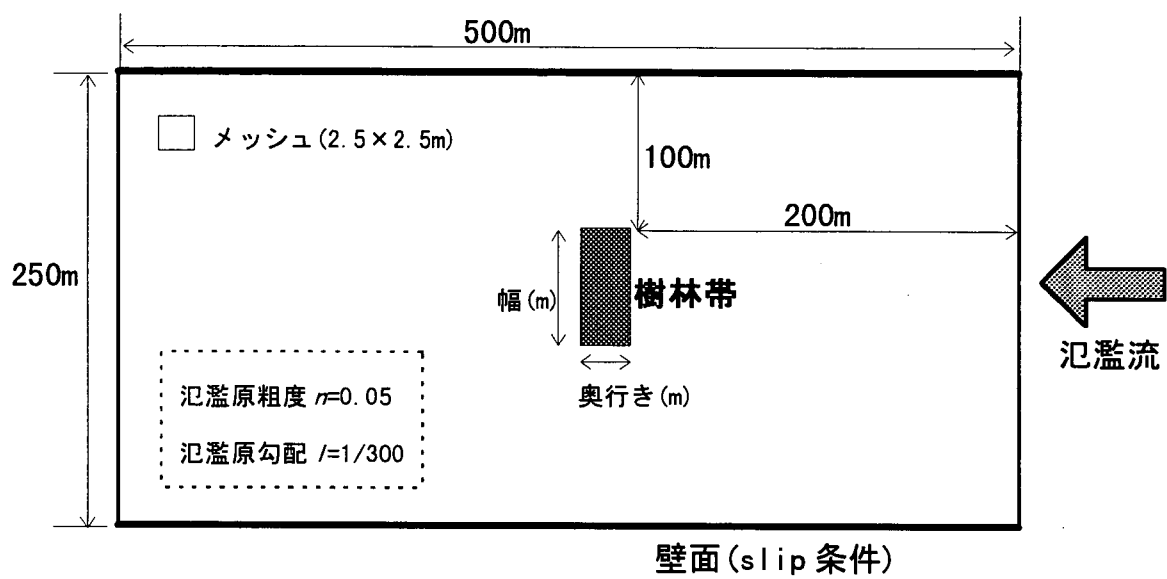


図 5-5 モデル氾濫原の概要

表 5-1(a) ケヤキ、カワヤナギ、タチヤナギの樹木形態

|         | ケヤキ | カワヤナギ | タチヤナギ |
|---------|-----|-------|-------|
| 樹高(m)   | 15  | 5     | 5     |
| 幹直径(cm) | 40  | 30    | 30    |
| 枝長(m)   | 5   | 2     | 0.5   |
| 枝直径(cm) | 5   | 2     | 3     |
| 枝数(本/m) | 10  | 3     | 5     |

(注) 枝数についてはケヤキは9 m以上、カワヤナギは2 m以上、  
タチヤナギは1 m以上で枝が生じるものとする。

表 5-1(b) 想定樹木形態

|         | 想定樹木 |
|---------|------|
| 幹直径(cm) | 30   |
| 枝長(m)   | 2    |
| 枝直径(cm) | 3    |
| 枝数(本/m) | 5    |

(注) 枝は60cm 以上で生じるものとする。

|         | 密 度 |     |     |
|---------|-----|-----|-----|
|         | 大   | 中   | 小   |
| 樹木間隔(m) | 2.1 | 2.4 | 2.7 |
| 抗力係数    | 1.2 |     |     |

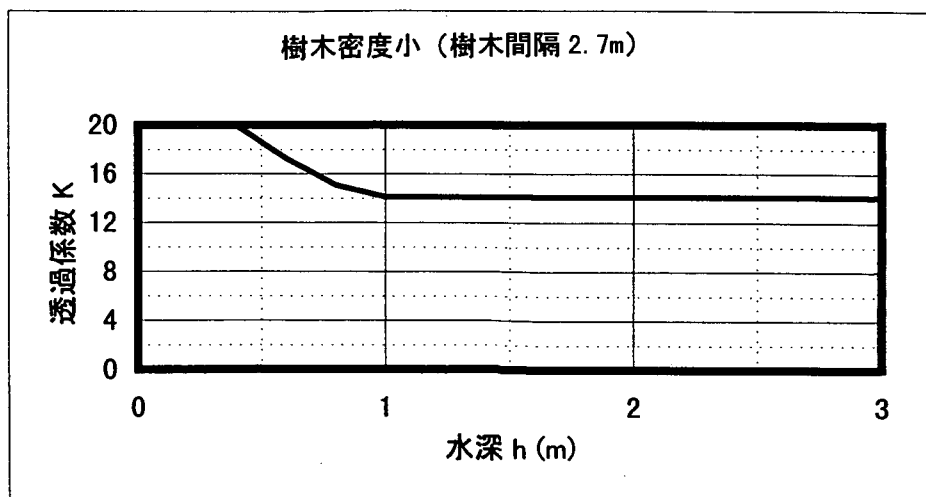
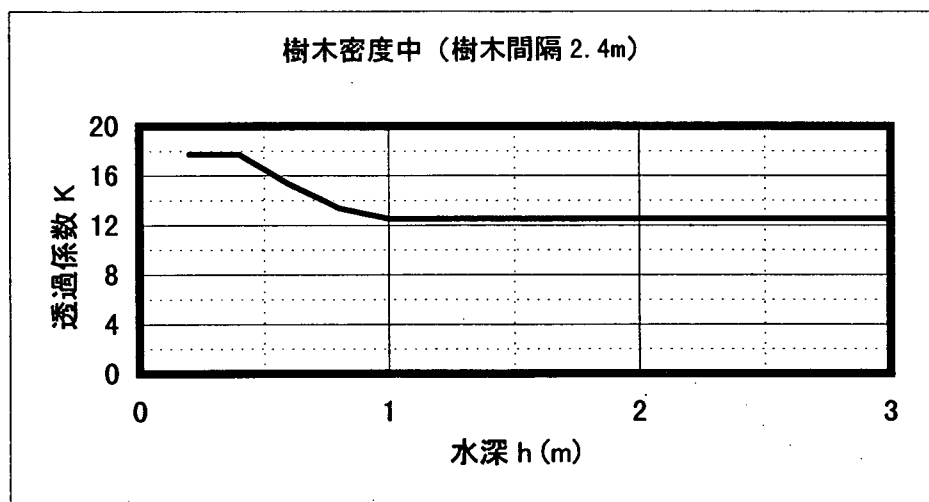
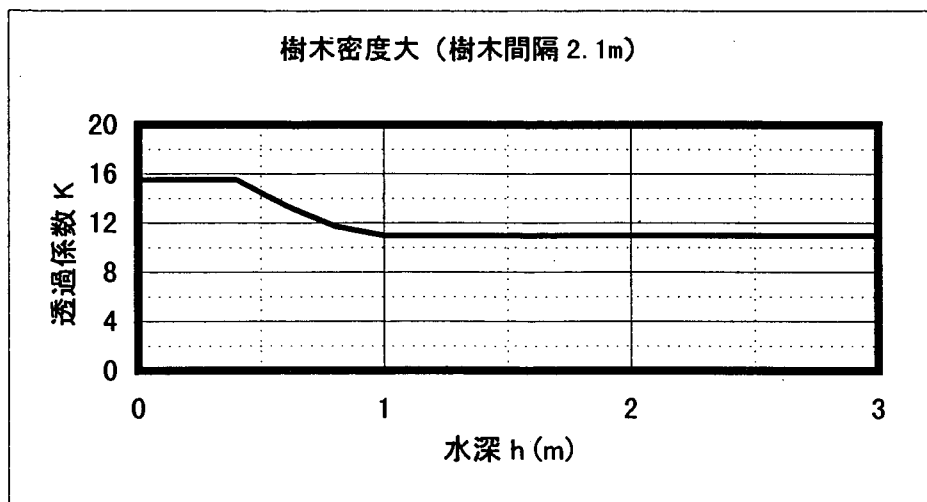


図 5-6 想定樹木形態の水深  $h$  と透過係数  $K$

V字型の樹林帯形状を設定した。V字の両翼の傾きは、 $x$ 、 $y$ 方向に1:1（急V字）および1:2（緩V字）とした。

#### (5) 氾濫流向

長方形の樹林帯の場合、氾濫流の流下方向に対して直角に設置すると考えられるが、氾濫流の流下方向が異なった場合にはどのような影響が生じるのだろうか。それを検討するため、長方形の樹林帯への氾濫流の入射方向を変化させた（樹林帯の設置角度を変化させた）ケースを設定した。氾濫流向は他のケースと同様とし、樹林帯を $x$ 、 $y$ 方向に1:2（急角度）および1:0.5（緩角度）の勾配で設置した。

氾濫原は $2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$ の直交メッシュで分割（計20,000メッシュ）し、氾濫原での流れが安定（定常状態）になるまで計算を行った。

変化させた条件は、氾濫流量、樹林帯透過係数 $K$ 、樹林帯幅（横断方向）、樹林帯奥行き（縦断方向）、形状（長方形、角度が急なV字、緩いV字）、氾濫流向である。計算条件の一覧を表5-2に示す。

#### 5.4.2 計算結果

計算結果の一例として、ケース13のものを図5-7に示す。無次元水深コンター図、流速ベクトル図、無次元流体力コンター図の順にならべてある。無次元化には、樹林帯が全く存在しないケース14の計算結果を用いている。

いずれのケースでも、樹林帯の上流側での水深上昇（堰上げ）、樹林帯下流での水深低下がみられた。また、樹林帯下流での流体力の低下（その影響範囲の幅はほぼ樹林帯幅と同じ）、樹林帯幅の外側での流体力の上昇など、模型実験で得られた結果と同様な流れがみられた。

#### 5.4.3 樹林帯条件と効果の検討

次に、条件間の比較について述べる。

樹林帯形状、氾濫流向の影響については定量的な比較が難しいので、傾向について簡単に説明する。図5-8は、樹林帯形状をV字型（急V字）にしたケース9の無次元流体力コンター図である。ケース13（樹林帯形状が長方形）とは形状以外の条件は同じである。形状をV字型に変化させた場合には、樹林帯による流体力の低下が著しい位置がV字の両端部の下流側に移動しており、長方形の樹林帯の場合（樹林帯幅とほぼ同じ幅にわたって一様に流体力の低下が及んでいた）とは異なっている。また、緩V字型のケース10も含めて比較した結果、流体力の低下が及ぶ面積は、V字の角度が大きくなるほど（氾濫流に対して鋭角になるほど）小さくなっていた。

図5-9は、氾濫流向を傾けたケース11（緩角度）の無次元流体力コンター図であるが、樹林帯形状をV字型に変えた場合と同様、流体力低下効果が大きい部分の位置が移動している。

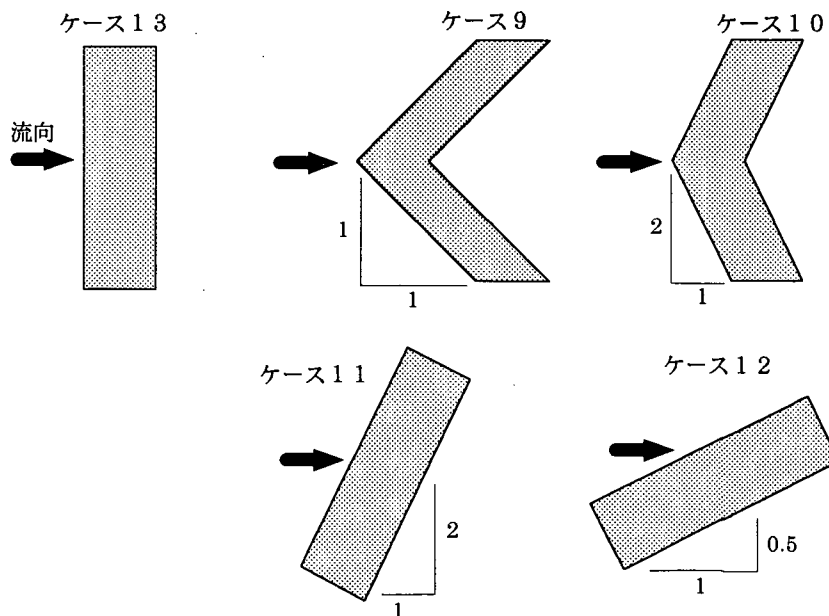
次に、長方形の樹林帯に対して氾濫流が正面から流下してくる場合を対象に、条件設定毎の違いを比較する。比較は次にあげる樹林帯の条件に着目して行った。

①樹林帯奥行き長さ $b$ に関して（他の条件は同等で、樹林帯の奥行き長さ $b$ のみ異なるケース7、ケース8、

表 5-2 計算条件一覧

| ケース<br>番 号 | 流 量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 防災樹林帯                                  |                            |                             |     | 氾 濫 流 向 | 備 考     |
|------------|----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----|---------|---------|
|            |                                  | 透 過 係 数 $K$<br>( $\text{m}/\text{s}$ ) | 幅<br>$w$<br>( $\text{m}$ ) | 奥 行 き $b$<br>( $\text{m}$ ) | 形 状 |         |         |
| 1          | 1,627                            | 12.5                                   | 50                         | 15                          | 長方形 | 上流側から   | 流量大     |
| 2          | 742                              | 12.5                                   | 50                         | 15                          | 長方形 | 上流側から   | 流量小     |
| 3          | 1,218                            | 11                                     | 50                         | 15                          | 長方形 | 上流側から   | 密度大     |
| 4          | 1,218                            | 14                                     | 50                         | 15                          | 長方形 | 上流側から   | 密度小     |
| 5          | 1,218                            | 12.5                                   | 60                         | 15                          | 長方形 | 上流側から   | 幅大      |
| 6          | 1,218                            | 12.5                                   | 40                         | 15                          | 長方形 | 上流側から   | 幅小      |
| 7          | 1,218                            | 12.5                                   | 50                         | 20                          | 長方形 | 上流側から   | 奥行き大    |
| 8          | 1,218                            | 12.5                                   | 50                         | 10                          | 長方形 | 上流側から   | 奥行き小    |
| 9          | 1,218                            | 12.5                                   | 50                         | 15                          | 急V字 | 上流側から   | 形状V字    |
| 10         | 1,218                            | 12.5                                   | 50                         | 15                          | 緩V字 | 上流側から   | 形状V字    |
| 11         | 1,218                            | 12.5                                   | 50                         | 15                          | 長方形 | 緩角度斜め   | 氾濫流向斜め  |
| 12         | 1,218                            | 12.5                                   | 50                         | 15                          | 長方形 | 急角度斜め   | 氾濫流向斜め  |
| 13         | 1,218                            | 12.5                                   | 50                         | 15                          | 長方形 | 上流側から   | 基準ケース   |
| 14         | 1,218                            | 12.5                                   | 50                         | 15                          | 長方形 | 上流側から   | 樹林帯なし   |
| 15         | 1,218                            | 12.5                                   | 200                        | 15                          | 長方形 | 上流側から   | 流路幅いっぱい |

形状、流向の変更



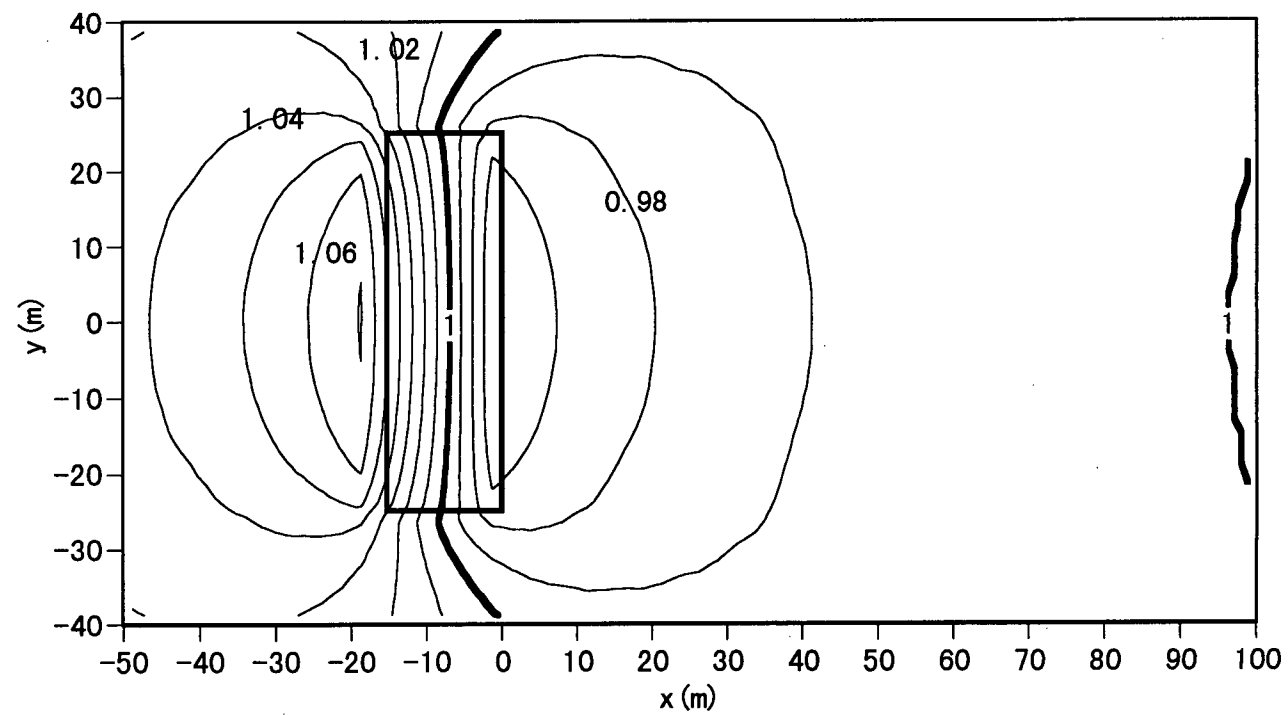


図 5-7 ケース 1 3 の計算結果 (樹林帯周辺の無次元水深コンター)

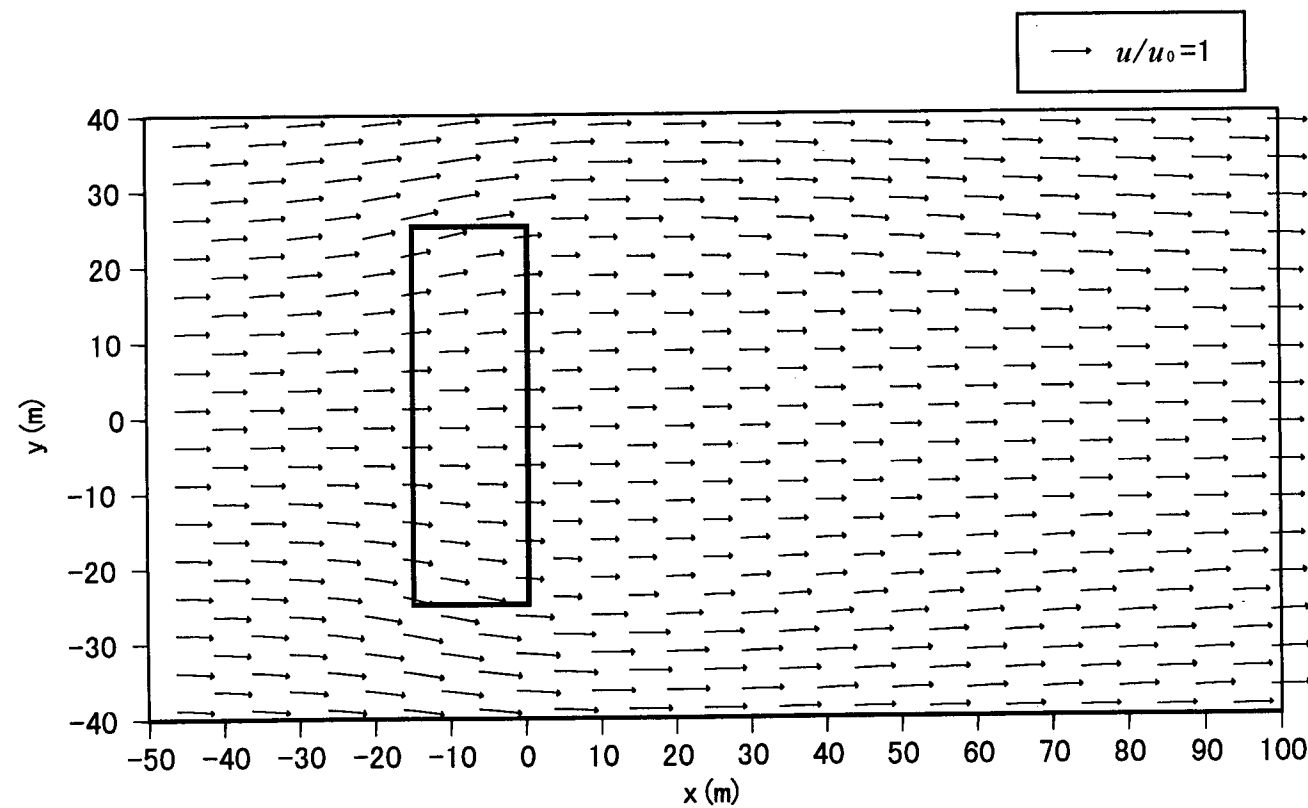


図 5-7(つづき) ケース 1 3 の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流速ベクトル)

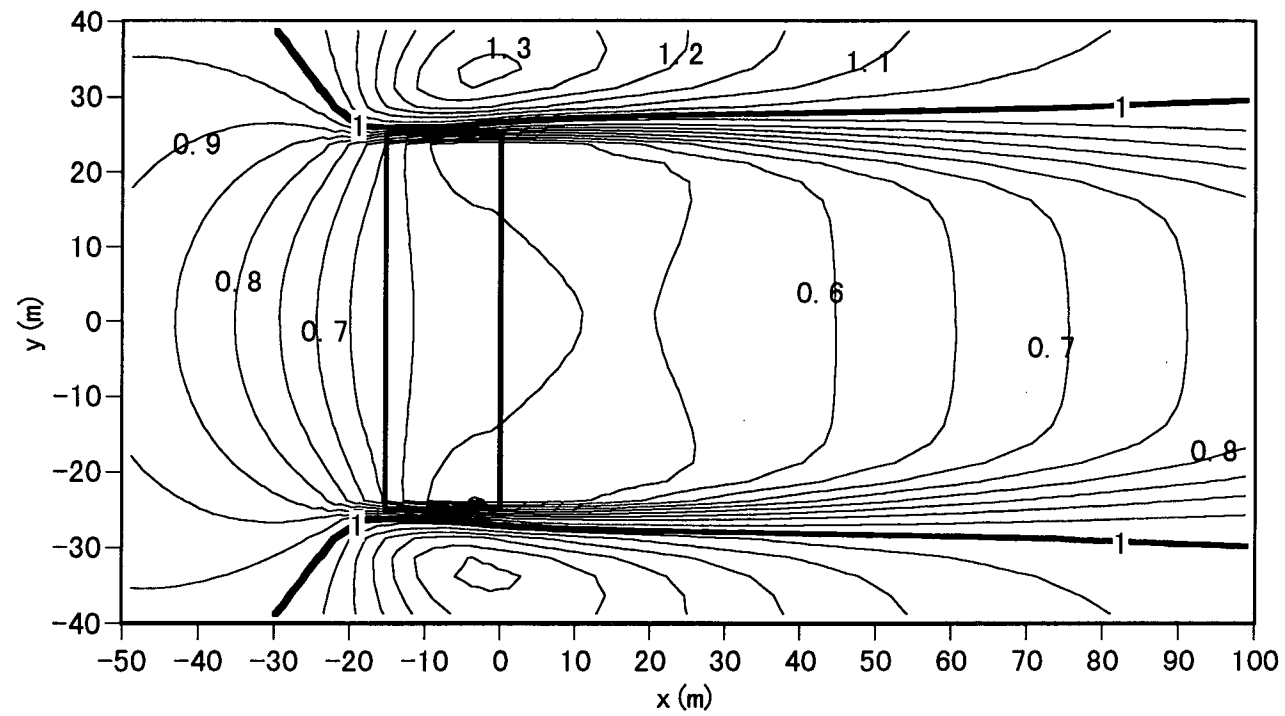


図 5-7(つづき) ケース 1 3 の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

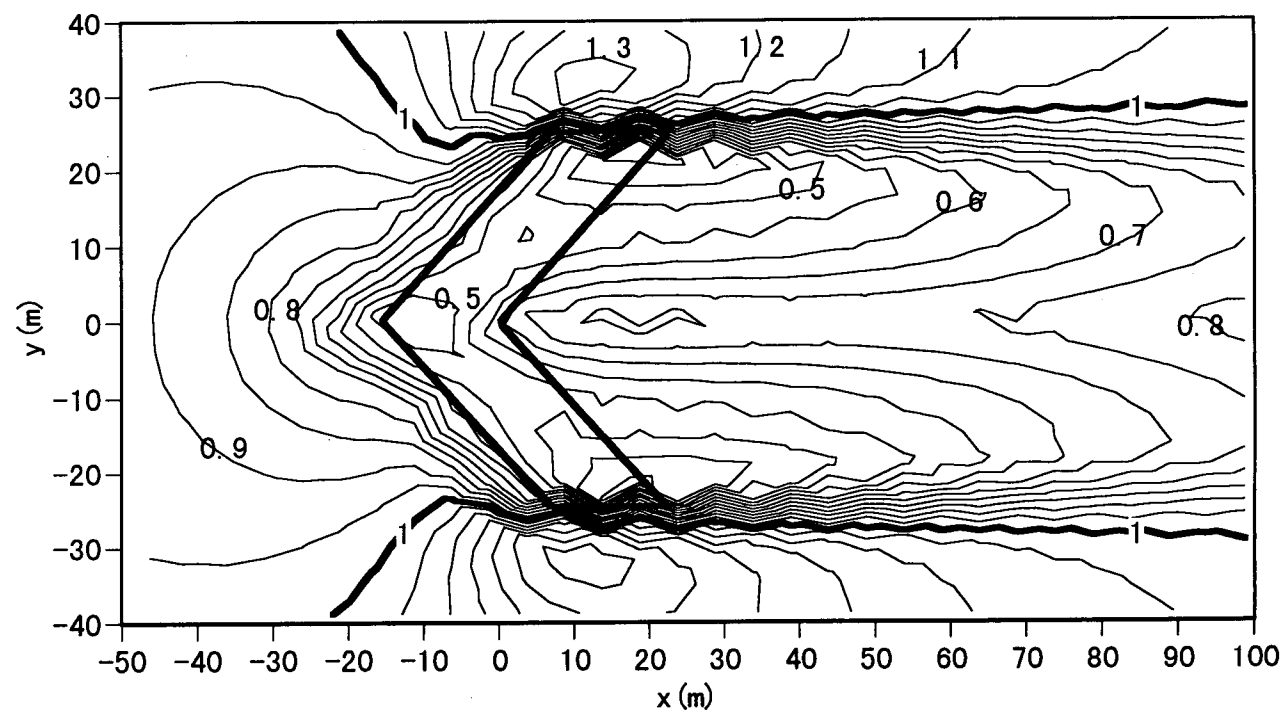


図 5-8 ケース 9 (急V字型) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

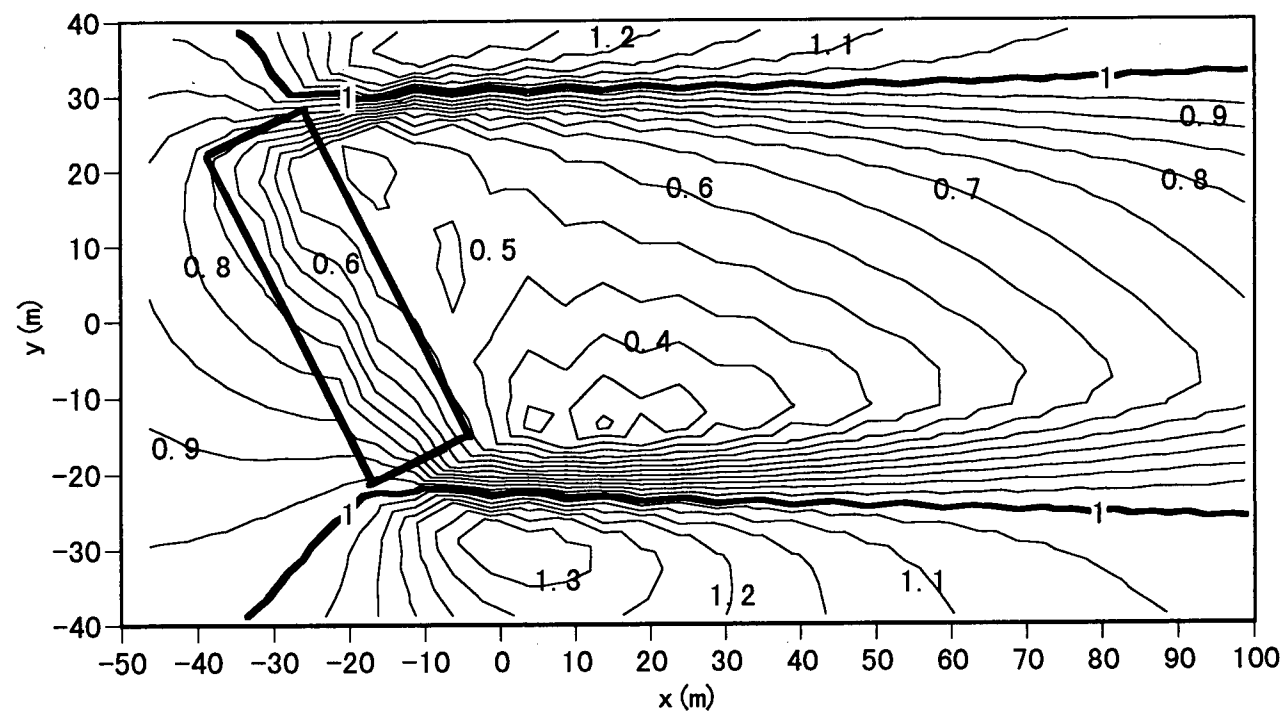


図 5-9 ケース 1 1 (氾濫流向 緩角度斜め) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

### ケース13の比較

- ②樹林帯の透過係数  $K$  に関して (他の条件は同等で、樹林帯の透過係数  $K$  のみ異なるケース3、ケース4、ケース13の比較)
- ③樹林帯の幅  $w$  に関して (他の条件は同等で、樹林帯の横断方向幅  $w$  のみ異なるケース5、ケース6、ケース13の比較)
- ④氾濫外力 (上流側に与えた氾濫流の流体力  $u^2h$ ) に関して (他の条件は同等で、氾濫流量のみ異なるケース1、ケース2、ケース13の比較)

### ①樹林帯奥行き長さ $b$ に関する比較

図5-10は、他の条件は同等で樹林帯の奥行き長さ  $b$  のみ異なる3ケースについて、(a)無次元水深  $h/h_0$ 、(b)無次元流速  $u/u_0$ 、(c)無次元流体力  $u^2h/u_0^2h_0$  の縦断分布を示したものである。それぞれ、樹林帯中心縦断面 ( $y=0(\text{m})$ )、樹林帯中心と樹林帯境界の中間の縦断面 ( $y=12.5(\text{m})$ )、樹林帯境界縦断面 ( $y=25(\text{m})$ ) について示している。

(a)の無次元水深  $h/h_0$  縦断分布より、樹林帯奥行きが長いケースの方が樹林帯上流側での水深が大きく、樹林帯下流側での水深が小さいことが分かる。これは、樹林帯による流れの阻害が樹林帯奥行きに応じて大きくなっており、上流側での堰上げもそれに従うからである。

(b)の無次元流速  $u/u_0$  縦断分布より、樹林帯中央 ( $y=0(\text{m})$ ) および樹林帯中央と樹林帯境界の中間 ( $y=12.5(\text{m})$ ) では樹林帯の上下流ともに樹林帯奥行きが長いケースの流速が小さくなっている。樹林帯境界 ( $y=25(\text{m})$ ) では樹林帯部分 (樹林帯側面) で流速が増加している。この流速の増加は樹林帯の外側への迂回流の影響である。また、樹林帯境界では、樹林帯よりも下流側での流速の低下は小さい。

(c)の無次元流体力  $u^2h/u_0^2h_0$  縦断分布も(b)の無次元流速と同様な傾向を示し、樹林帯奥行きが長くなるにつれて樹林帯幅より内側の流体力は小さくなっている。

図5-11(a)、(b)、(c)は、樹林帯直下流 ( $x=1.25(\text{m})$ )、樹林帯幅中心 ( $y=0(\text{m})$ ) での(a)無次元水深  $h/h_0$ 、(b)無次元流速  $u/u_0$ 、(c)無次元流体力  $u^2h/u_0^2h_0$  と樹林帯奥行き  $b(\text{m})$  の関係を示したものである。樹林帯直下流の一地点を着目点とした理由は、樹林帯による流体力の低下効果が最も明確に現れる (その後の流下による流体力変化の影響が少ない) 場所と考えられるからである。

図5-11より、樹林帯奥行き長さが長くなるにつれて樹林帯による運動量損失が大きくなり、樹林帯直下流での流速、流体力が小さくなることが分かる。

次に、樹林帯の効果の及ぶ範囲について考察するため、樹林帯の効果の影響距離  $l(\text{m})$  を考える。影響距離  $l$  の定義は以下のとおりである。

$$l(f_c) = A(f_c) / w \quad (16)$$

ここに、 $A(f_c)$  は樹林帯より下流側の氾濫原で無次元流体力が  $f_c$  以下となっている面積、 $w$  は樹林帯幅である。影響距離  $l$  は樹林帯による流体力低下が及んでいる樹林帯下流端からの距離の平均に相当する。

図5-12は、樹林帯の奥行き  $b$  に対して樹林帯の効果の影響距離がどのように変化しているかを、様々な  $f_c$  に対して示したものである。樹林帯奥行きが長くなるほど、その影響距離も長くなっていることが示されて

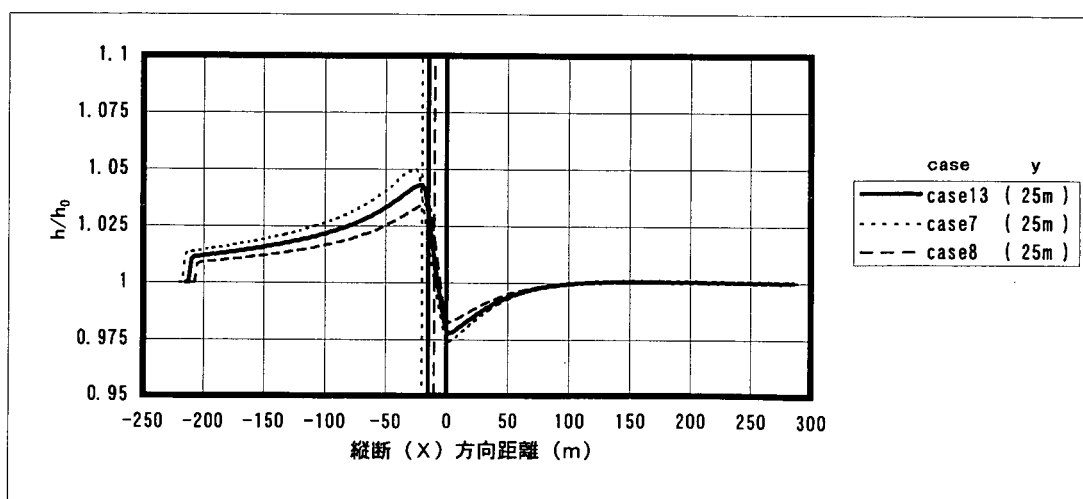
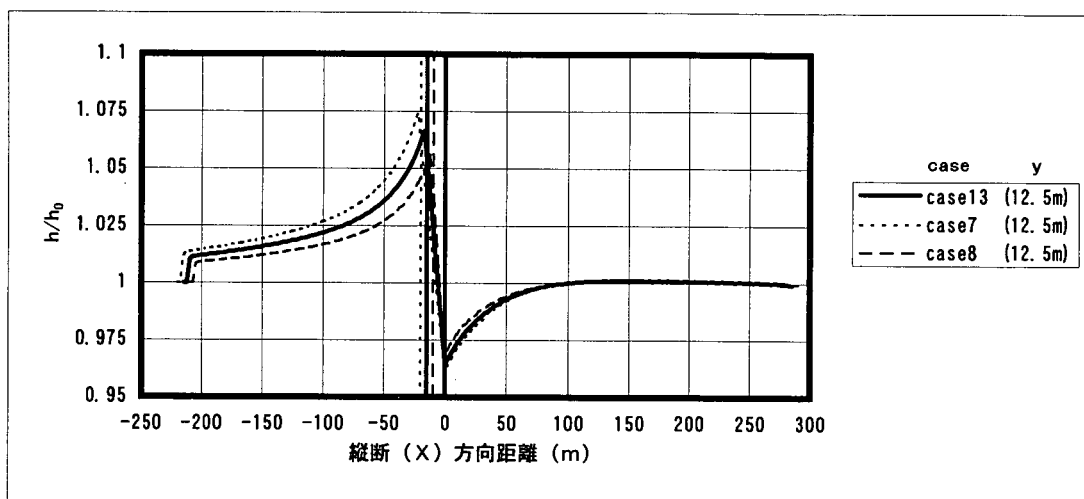
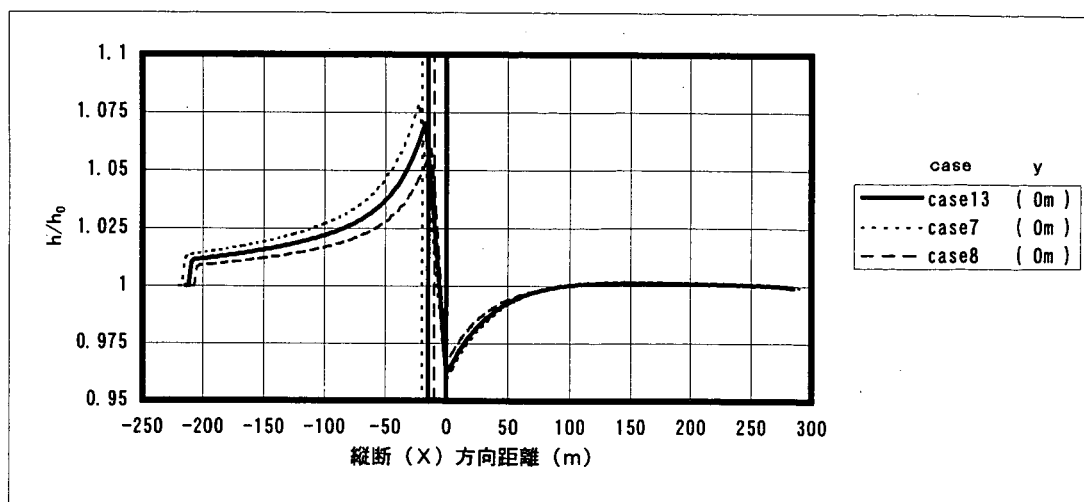


図 5-10(a) 無次元水深縦断分布 (樹林帯奥行き  $b$  による比較)

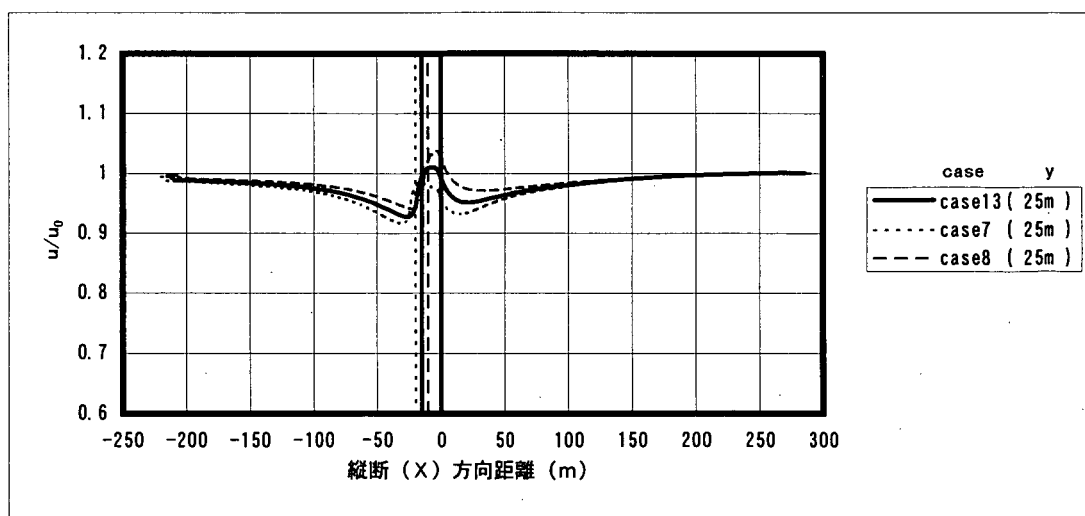
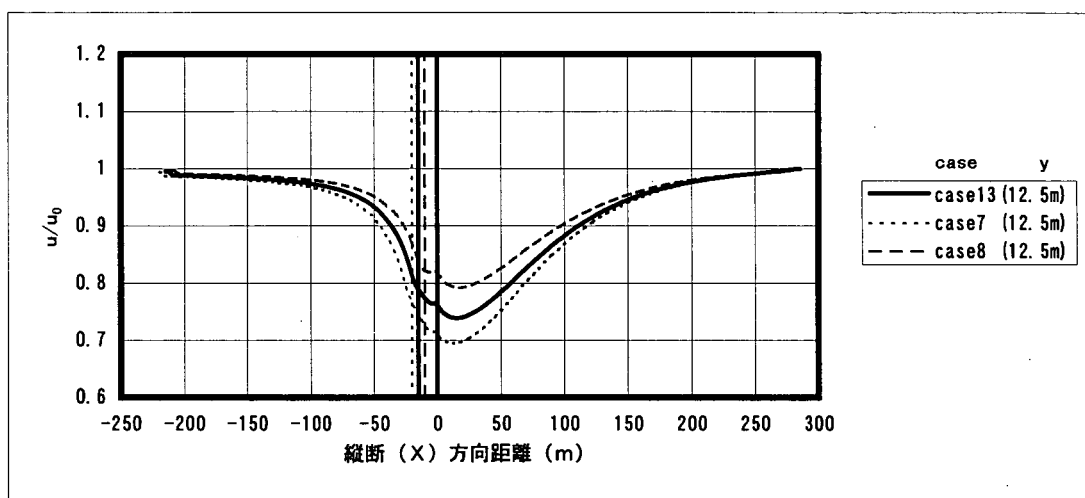
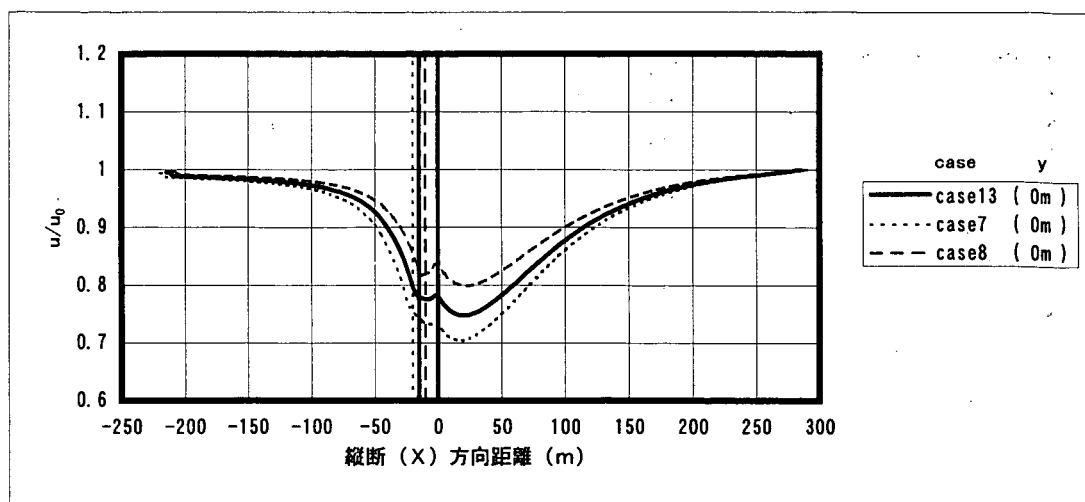


図 5-10(b) 無次元流速縦断分布 (樹林帯奥行き  $b$  による比較)

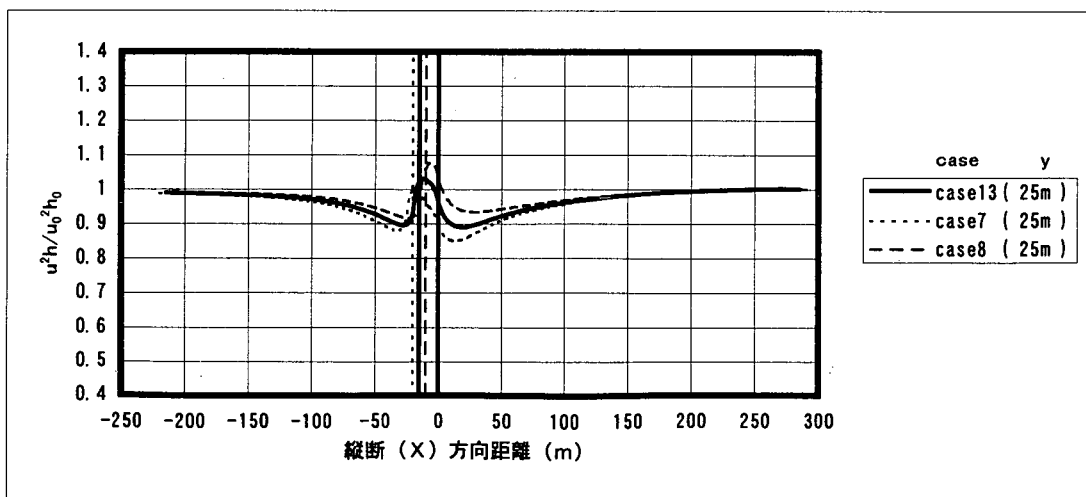
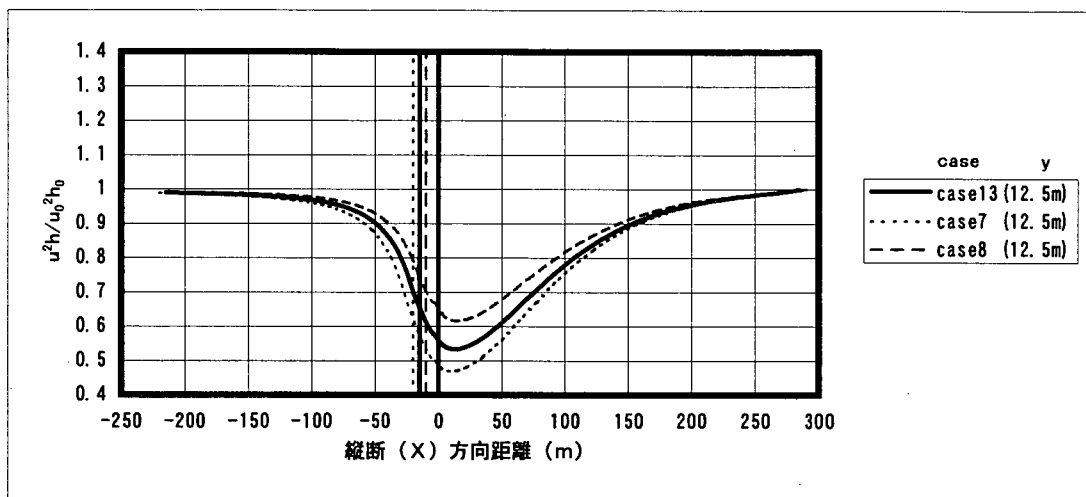
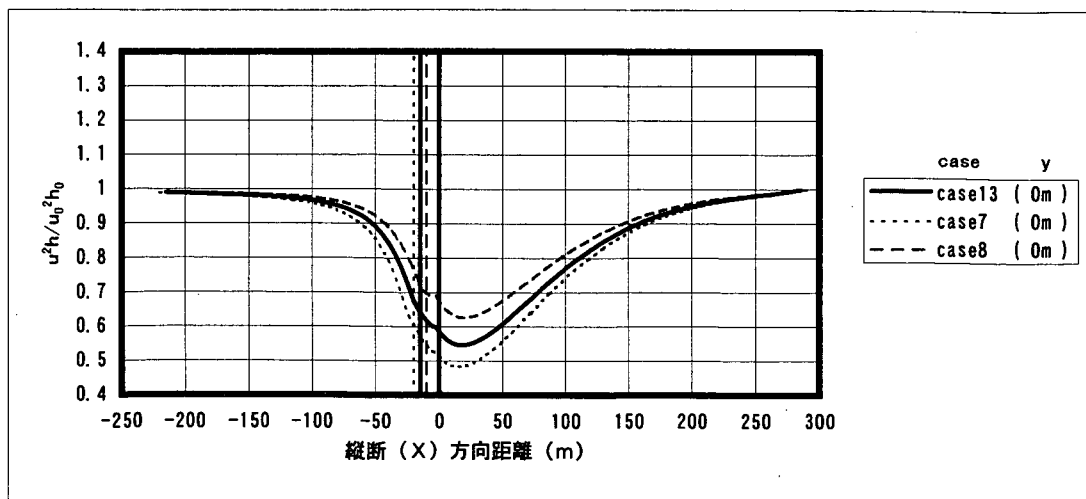


図 5-10(c) 無次元流体力縦断分布 (樹林帯奥行き  $b$  による比較)

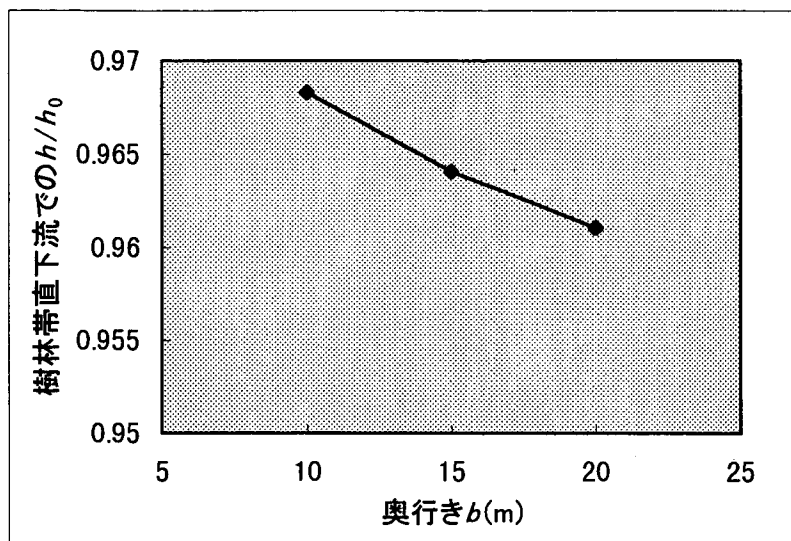


図5-11(a) 樹林帯奥行き $b$ と樹林帯直下流の $h/h_0$

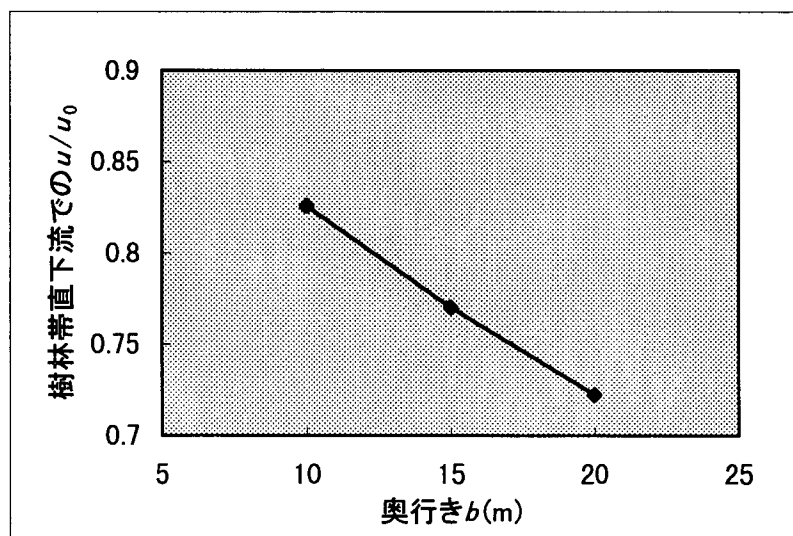


図5-11(b) 樹林帯奥行き $b$ と樹林帯直下流の $u/u_0$

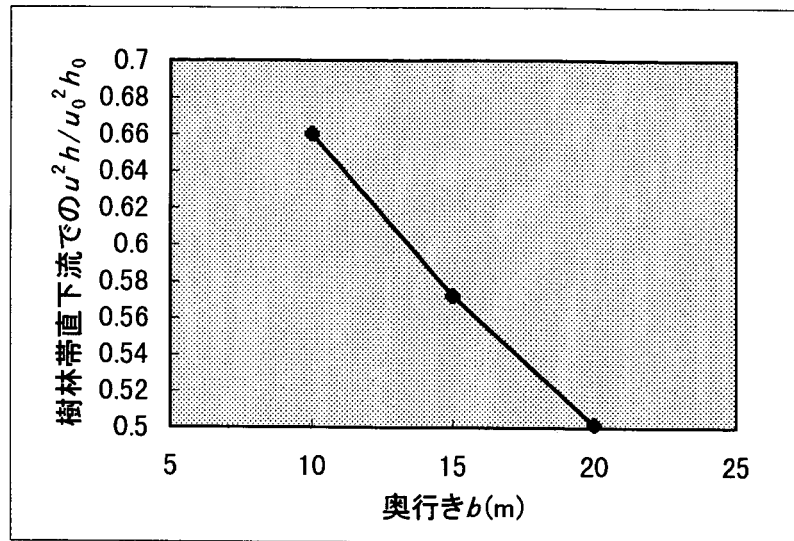


図5-11(c) 樹林帯奥行き $b$ と樹林帯直下流の $u^2 h / u_0^2 h_0$

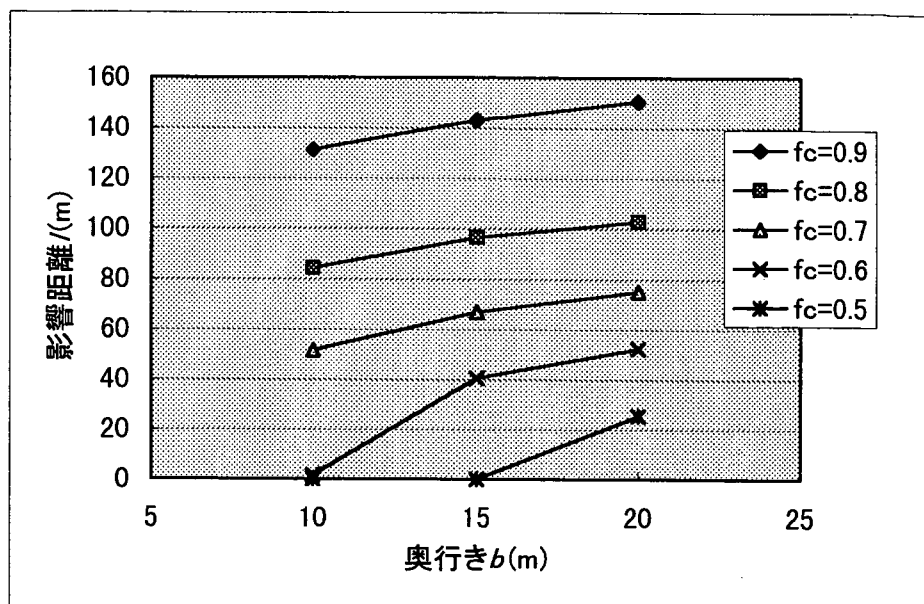


図5-12 樹林帯奥行き $b$ と影響距離 $l$

いる。

なお、影響距離  $l$  には、氾濫外力や氾濫原勾配の違いが大きく影響を与えられ、影響距離  $l$  についての定量的な検討には、それらの違いも考慮する必要があると考えられる。

## ② 樹林帯の透過係数 $K$ に関する比較

図 5-13 は、他の条件は同等で樹林帯の透過係数  $K$  のみ異なる 3 ケースについて、(a) 無次元水深  $h/h_0$ 、(b) 無次元流速  $u/u_0$ 、(c) 無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  の縦断分布を示したものである。それぞれ、樹林帯中心縦断面 ( $y=0(\text{m})$ )、樹林帯中心と樹林帯境界の中間の縦断面 ( $y=12.5(\text{m})$ )、樹林帯境界縦断面 ( $y=25(\text{m})$ ) について示している。

樹林帯の透過係数は、その値が大きい程流れに対する阻害の大きさは小さくなる。(a) の無次元水深  $h/h_0$  縦断分布、(b) の無次元流速  $u/u_0$  縦断分布、(c) の無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  縦断分布のいずれをみても、流れの阻害の大きさに対して、図 5-10 の樹林帯奥行き長さの比較の場合と同様の傾向がみられる。

図 5-14(a)、(b)、(c) は、樹林帯直下流 ( $x=1.25(\text{m})$ )、樹林帯幅中心 ( $y=0(\text{m})$ ) での (a) 無次元水深  $h/h_0$ 、(b) 無次元流速  $u/u_0$ 、(c) 無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  と透過係数  $K$  の関係を示したものである。透過係数が大きくなる (樹木の密度が小さくなる) にしたがって樹林帯による運動量損失が小さくなり、樹林帯直下流での流速、流体力が大きくでてくることが分かる。

図 5-15 は、透過係数  $K$  に対して樹林帯の効果の影響距離  $l$  がどのように変化しているかを示したものであるが、樹林帯の透過係数が大きくなるほど、その影響距離も短くなっていることが分かる。

## ③ 樹林帯の幅 $w$ に関する比較

図 5-16 は、他の条件は同等で樹林帯の幅  $w$  のみ異なる 3 ケースについて、(a) 無次元水深  $h/h_0$ 、(b) 無次元流速  $u/u_0$ 、(c) 無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  の縦断分布を示したものである。それぞれ、樹林帯中心縦断面 ( $y=0(\text{m})$ )、樹林帯中心と樹林帯境界の中間の縦断面 (ケース 1 3 では  $y=12.5(\text{m})$ 、ケース 5 では  $y=15(\text{m})$ 、ケース 6 では  $y=10(\text{m})$ )、樹林帯境界縦断面 (ケース 1 3 では  $y=25(\text{m})$ 、ケース 5 では  $y=30(\text{m})$ 、ケース 6 では  $y=20(\text{m})$ ) について示している。

(a) の無次元水深  $h/h_0$  縦断分布より、どの縦断線についても樹林帯幅が長いケースの方が樹林帯上流側での水深が大きい (堰上げが大きい) ことが分かる。しかし、樹林帯下流側での水深にはほとんど差がみられない。樹林帯幅が長くなるほど樹林帯の位置する横断面での流れの阻害が大きくなることが、樹林帯上流側での水深にそのような傾向がみられる理由であると考えられる。

(b) の無次元流速  $u/u_0$  縦断分布より、樹林帯の上流側では幅が長くなるにつれて流速が小さくなっていることが分かる。この傾向は、どの縦断線にも共通している。これは、(a) の無次元水深  $h/h_0$  縦断分布でみられたように樹林帯幅が長いほど堰上げが大きいことに対応していると考えられる。しかし、樹林帯の下流側では、反対に、樹林帯幅が長くなるにつれて流速が大きくなっている。これもどの縦断線にも共通している。

(c) の無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  縦断分布も (b) の無次元流速と同様な傾向を示しており、樹林帯幅が長くなるにつれて樹林帯下流側での流体力が小さくなっている。

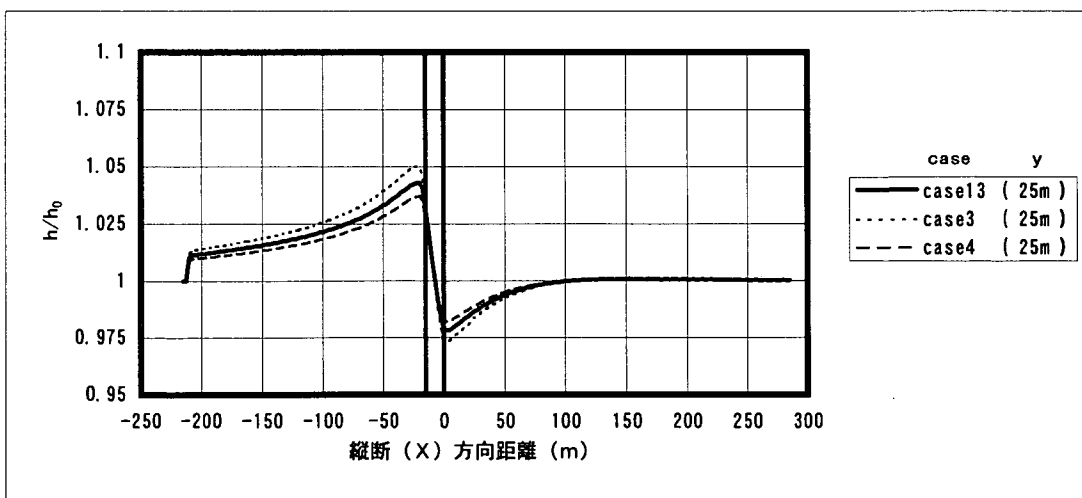
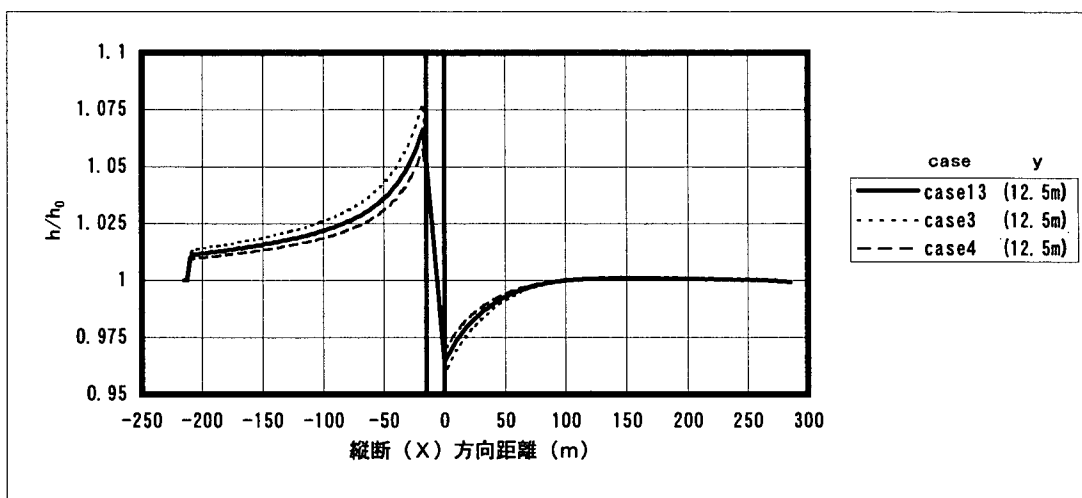
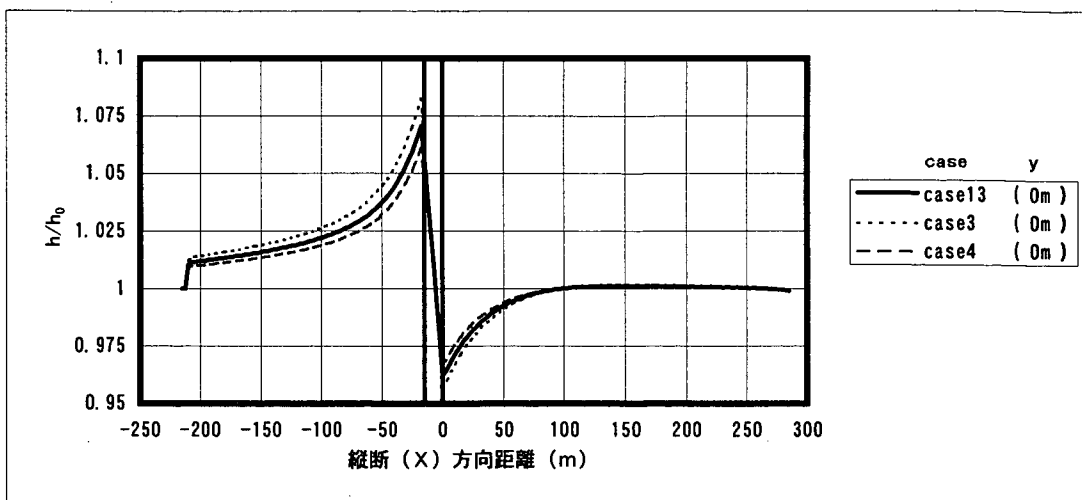


図 5-13(a) 無次元水深縦断分布 (透過係数  $K$  による比較)

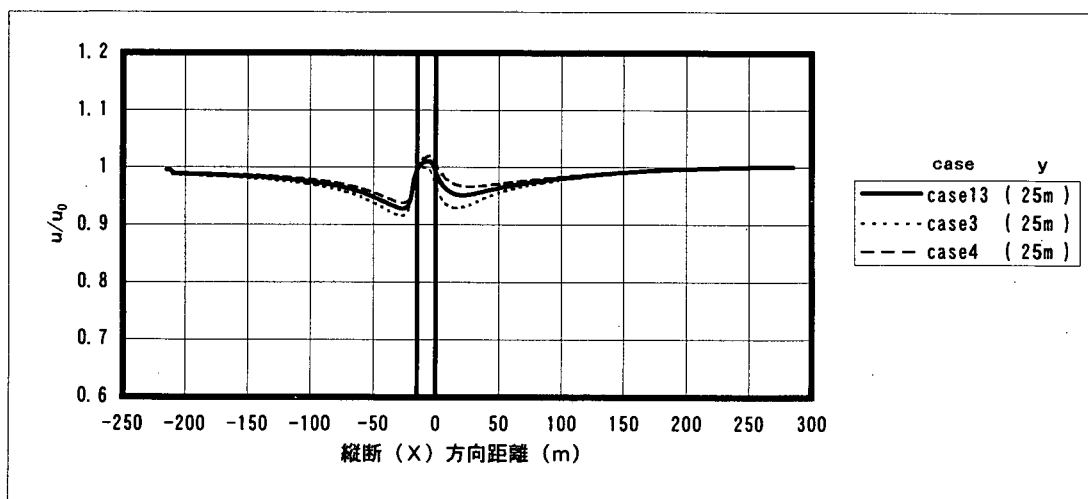
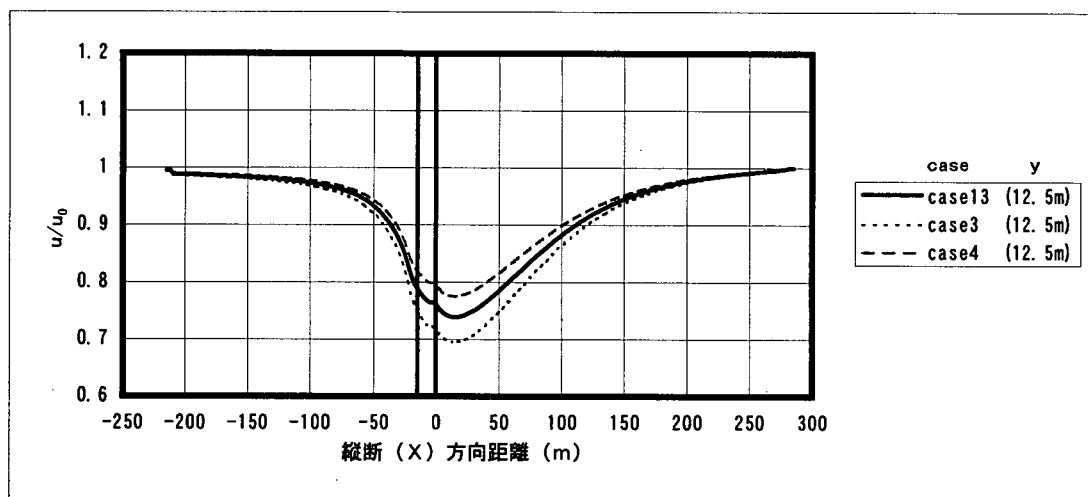
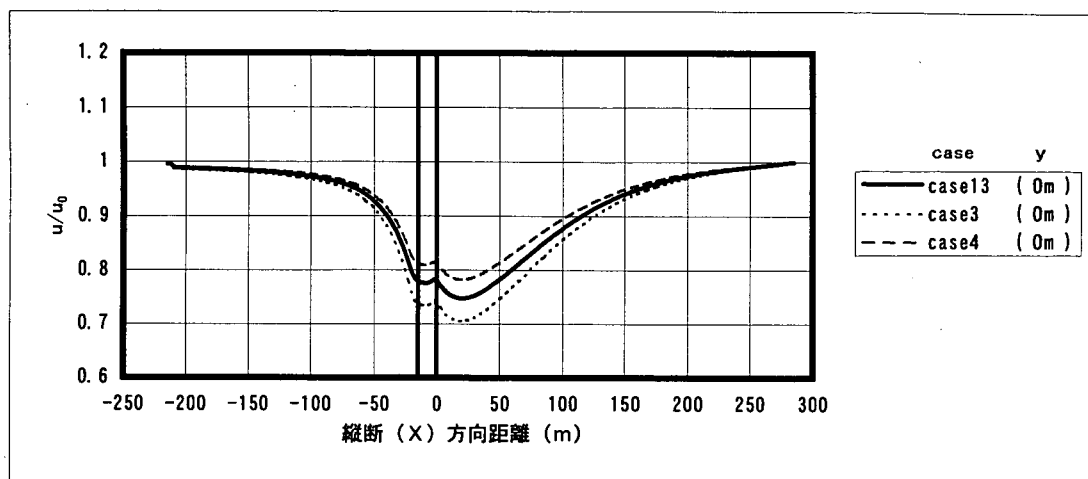


図 5-13(b) 無次元流速縦断分布 (透過係数  $K$  による比較)

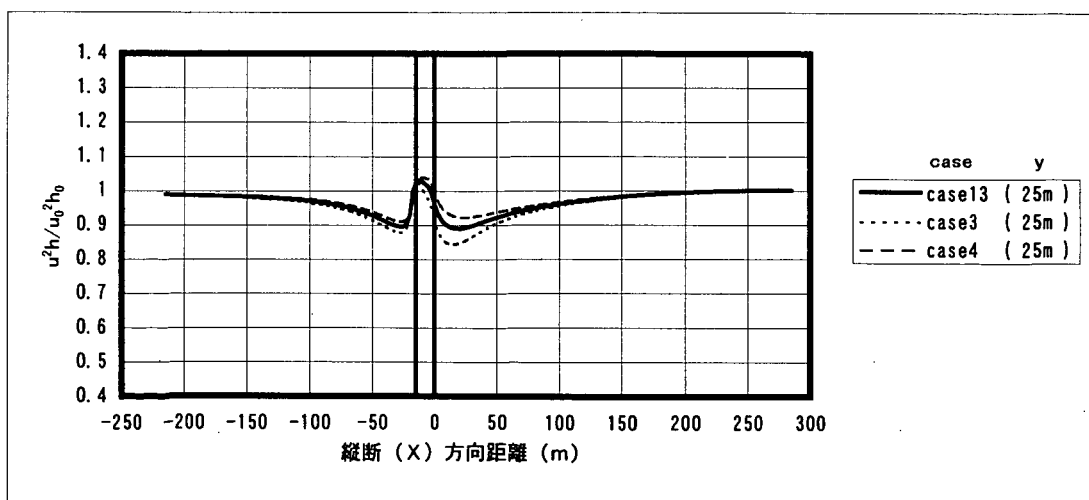
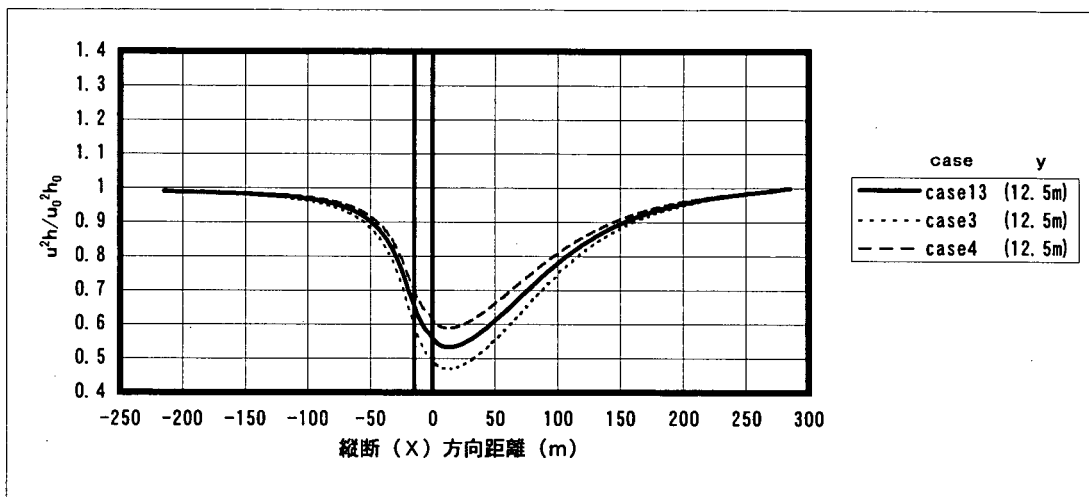
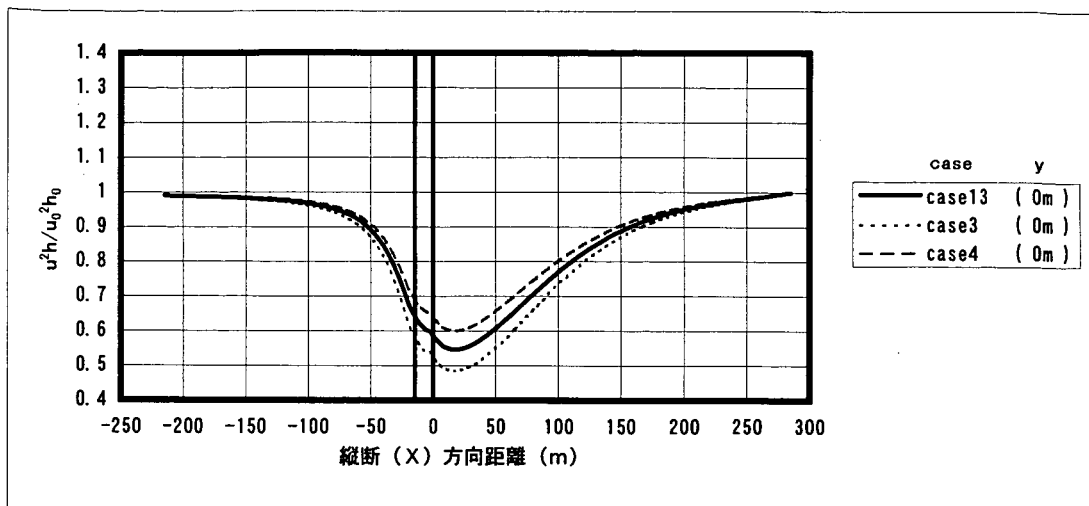


図 5-13(c) 無次元流体力縦断分布 (透過係数  $K$  による比較)

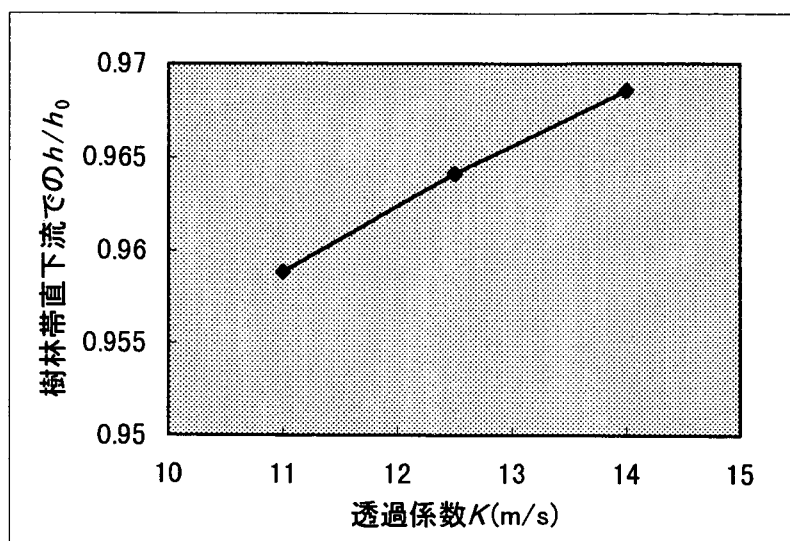


図5-14(a) 透過係数 $K$ と樹林帯直下流の $h/h_0$

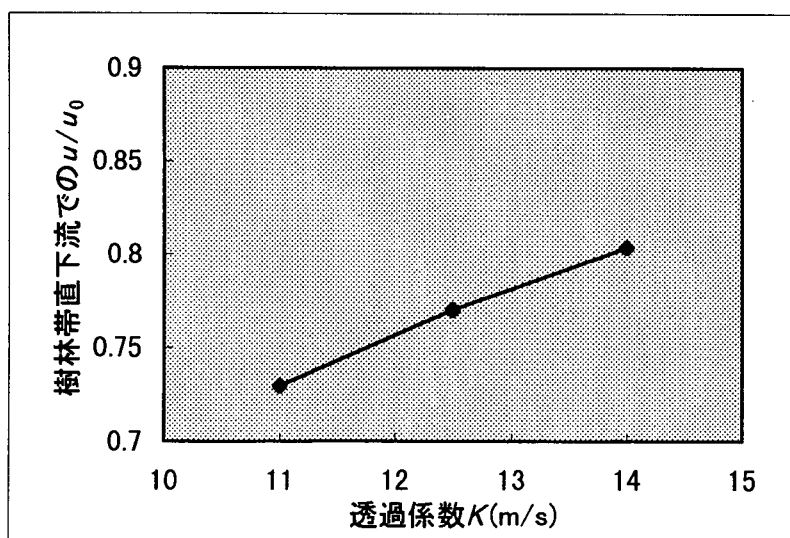


図5-14(b) 透過係数 $K$ と樹林帯直下流の $u/u_0$

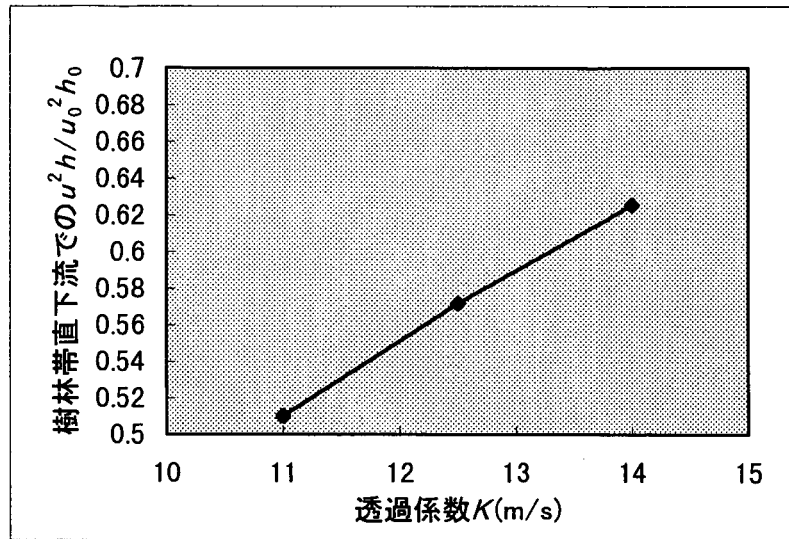


図5-14(c) 透過係数 $K$ と樹林帯直下流の $u^2 h / u_0^2 h_0$

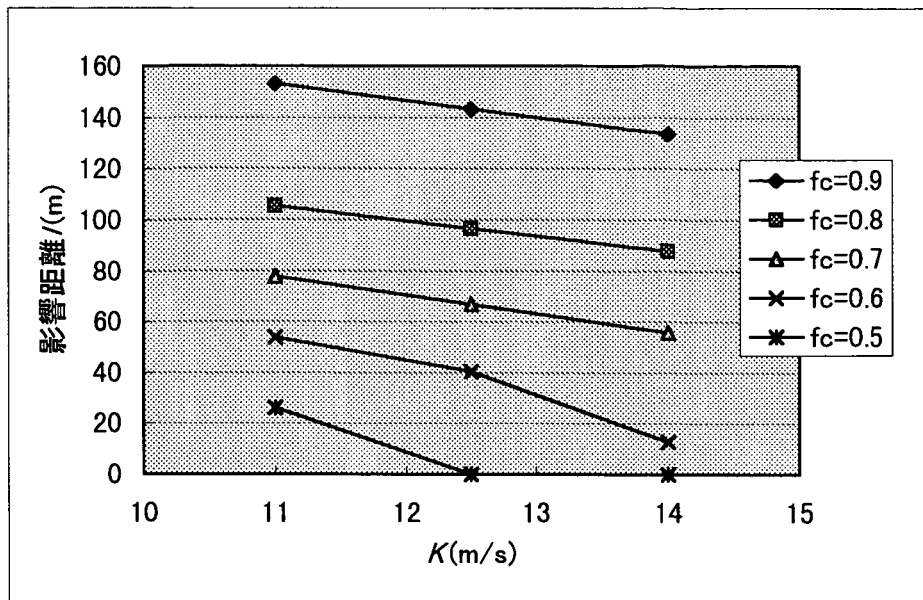


图5-15 透過係数 $K$ と影響距離 $l$

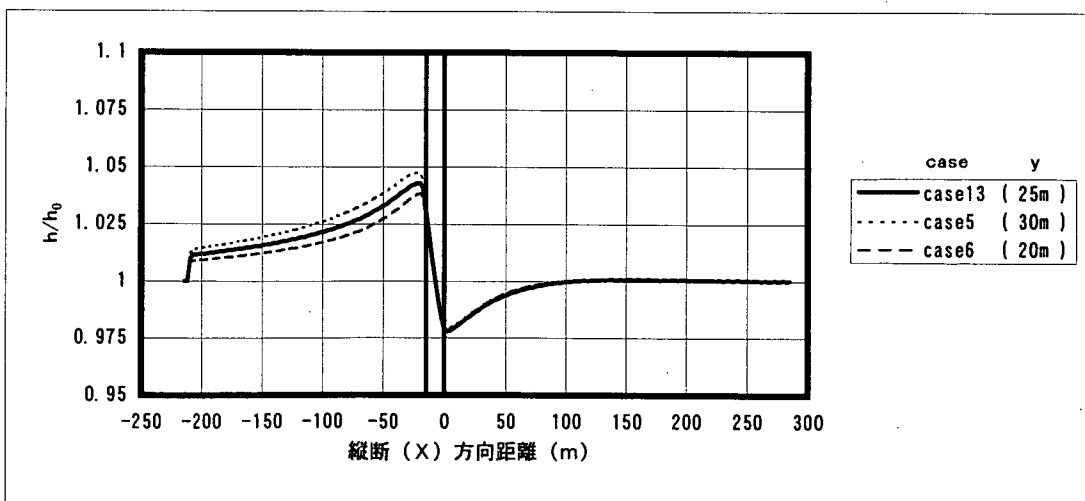
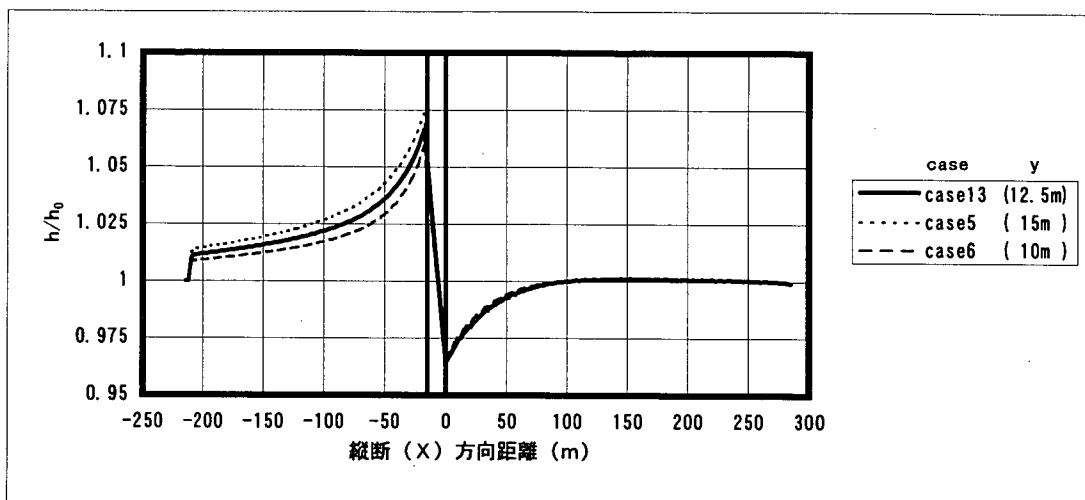
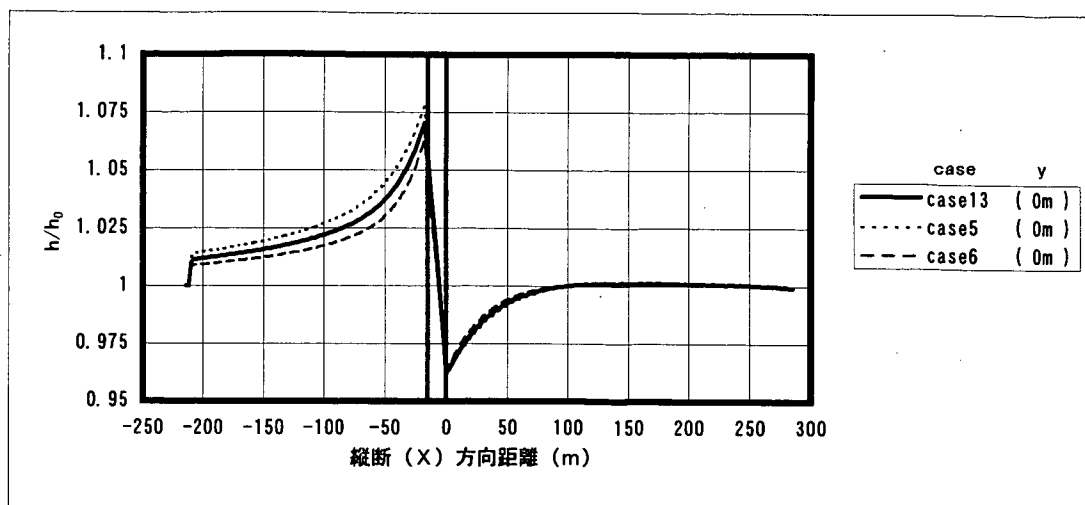


図 5-16 (a) 無次元水深縦断分布 (樹林帯幅  $w$  による比較)

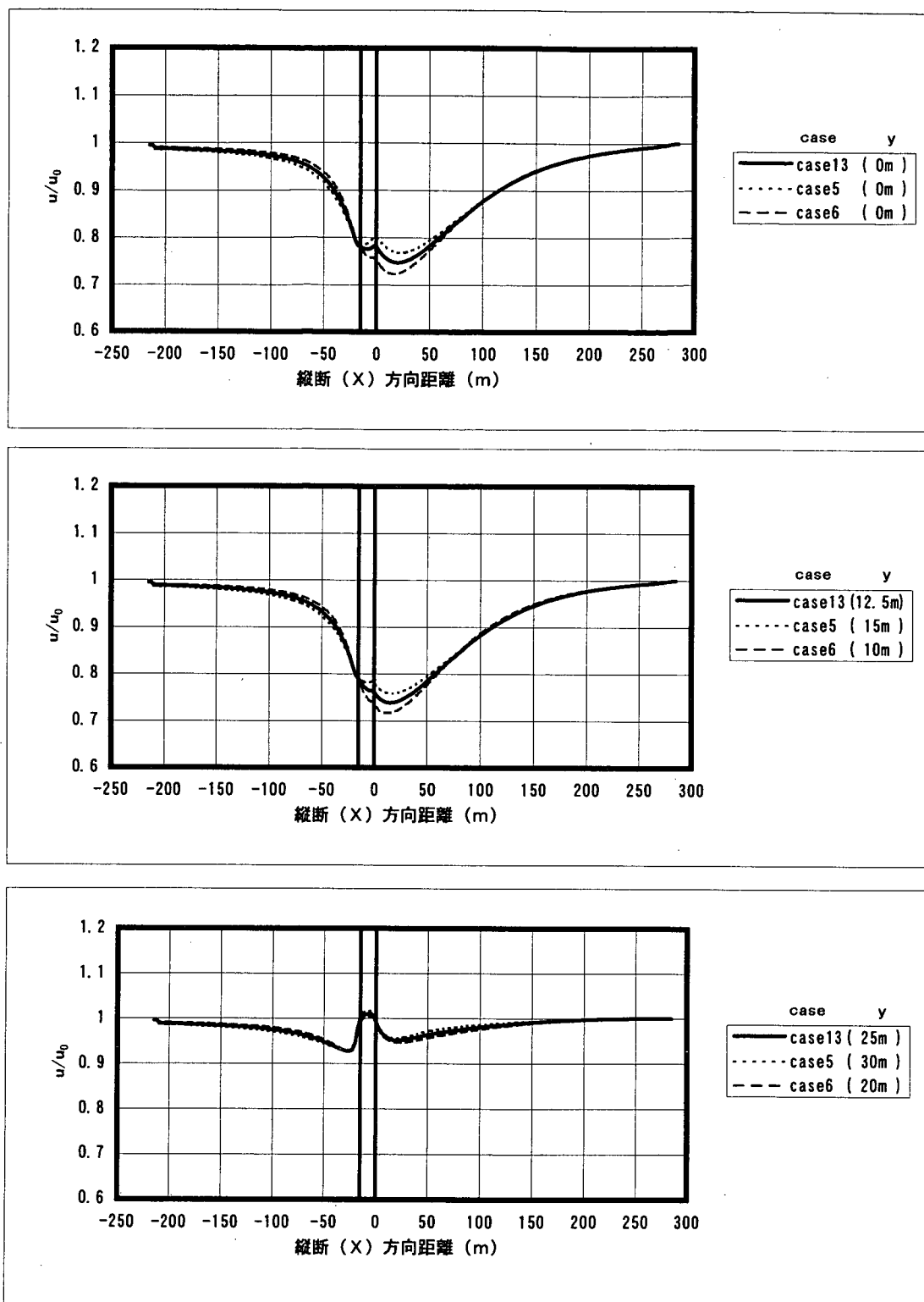


図 5-16(b) 無次元流速縦断分布 (樹林帯幅  $w$  による比較)

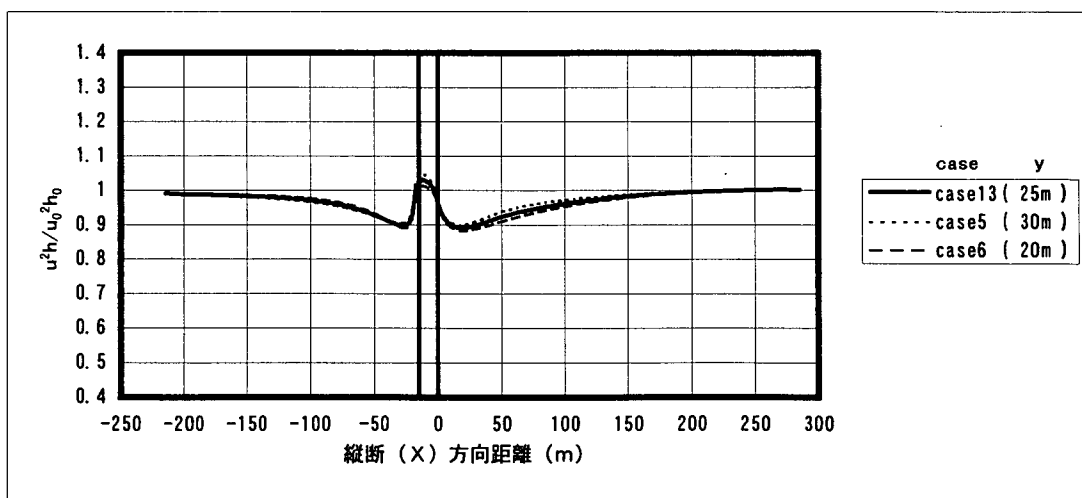
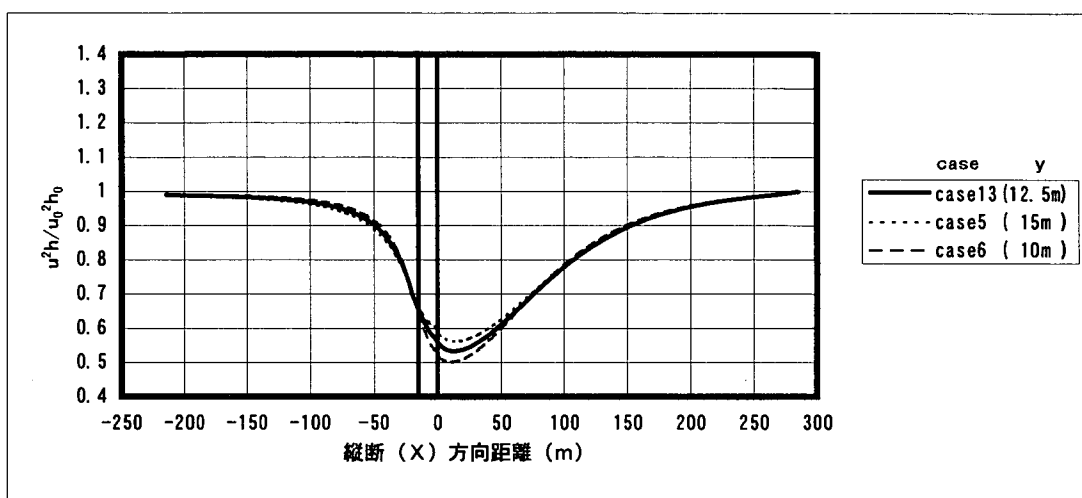
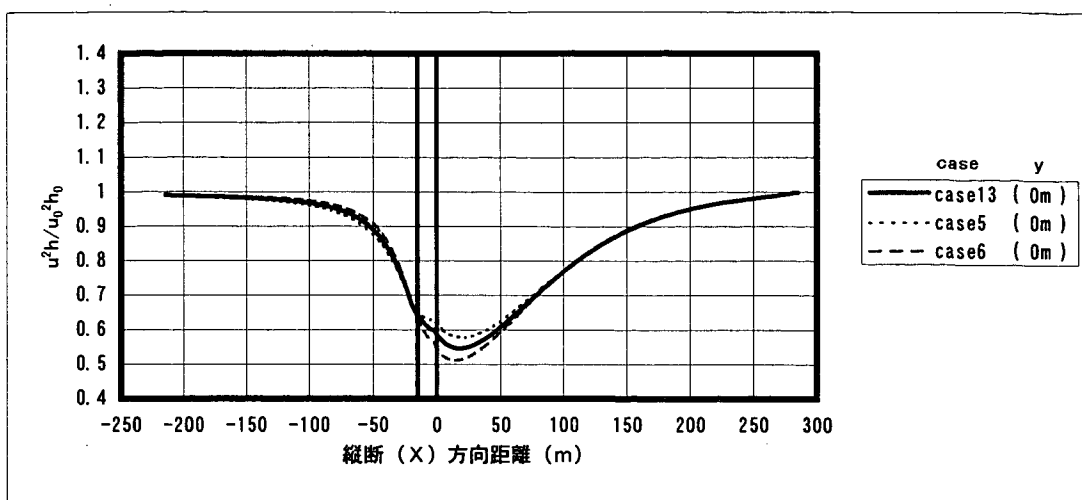


図 5-16(c) 無次元流体力縦断分布 (樹林帯幅  $w$  による比較)

図 5-17(a)、(b)、(c)は、樹林帯直下流 ( $x=1.25(\text{m})$ )、樹林帯幅中心 ( $y=0(\text{m})$ ) での(a)無次元水深  $h/h_0$ 、(b)無次元流速  $u/u_0$ 、(c)無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  と樹林帯幅  $w(\text{m})$  の関係を示したものである。樹林帯幅が大きいほど樹林帯直下流での流速、流体力が大きくなっている。

図 5-18 は、樹林帯幅  $w$  に対して樹林帯の効果の影響距離  $l$  がどのように変化しているかを示したものであるが、樹林帯幅の違いによる影響距離の違いは明確にはみられない。樹林帯幅の違いは樹林帯下流側における樹林帯境界付近の混合の効果に影響を与え、影響距離にも違いがあらわれるものと予想していたが、実際にはその関与は小さいようである。

以上のように、今回の計算条件の下では、樹林帯幅  $w$  が大きいほど樹林帯下流での流速、流体力が大きくなる傾向がみられた。この原因は、模型実験結果 (4.2.3 参照) と同様に、樹林帯幅  $w$  が大きいほど樹林帯の外側 (横断方向の) を流下する流量が少なくなり、樹林帯部分を流下する流量が大きくなることにあって考えられる。

#### ④ 氾濫外力に関する比較

図 5-19(a)、(b)、(c)は、樹林帯直下流 ( $x=1.25(\text{m})$ )、樹林帯幅中心 ( $y=0(\text{m})$ ) での(a)無次元水深  $h/h_m$ 、(b)無次元流速  $u/u_m$ 、(c)無次元流体力  $u^2 h/u_m^2 h_m$  と氾濫流の外力  $u_m^2 h_m(\text{m}^3/\text{s})$  の関係を示したものである。なお、 $h_m$ 、 $u_m$  は氾濫原上流端に与えた単位幅流量  $q$ 、氾濫原勾配  $I$ 、氾濫原粗度  $n$  から求まる氾濫流の等流水深および等流流速である。ここでは、それらより求めた氾濫流の等流流体力  $u_m^2 h_m$  を氾濫流の外力としている。また、無次元化の基準としても  $h_m$ 、 $u_m$ 、 $u_m^2 h_m$  を用いている。

図 5-19(c) より、氾濫外力が大きくなるにつれて樹林帯による運動量損失が大きくなり、樹林帯直下流での無次元流体力が小さくなることが分かる。

図 5-20 は、氾濫外力  $u_m^2 h_m$  と、樹林帯直下流 ( $x=1.25(\text{m})$ )、樹林帯幅中心 ( $y=0(\text{m})$ ) での流体力低下量 ( $u_m^2 h_m - u^2 h$ ) の関係を示したものである。ここで「流体力低下量」が意味しているのは、樹林帯の直下流の流体力と氾濫外力の等流流体力との差である。図から分かるように、流体力低下量は氾濫外力の流体力にほぼ比例していると考えられる。

#### 5.4.4 樹林帯に関する一般化指標による比較

ここでは、樹林帯の流体力低減効果を表す指標として 4.2.3 で示した無次元数  $gb/K^2$  を用い、樹林帯幅  $w$ 、樹林帯氾濫外力 (氾濫流の流体力  $u^2 h$ ) の影響を検討してみる。

図 5-21 は、無次元数  $gb/K^2$  と樹林帯直下流での無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  の関係を樹林帯幅  $w$  ごとに表している。 $gb/K^2$  が大きくなるほど樹林帯直下流の無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  は小さくなっている。すなわち、 $gb/K^2$  が大きくなるほど樹林帯による流体力の低減量も大きくなることが分かる。また、無次元数  $gb/K^2$  が同じ樹林帯でも、樹林帯幅  $w$  の違いによって流体力の低減量には差があり、樹林帯幅  $w$  が大きくなるほど流体力低減量は小さくなっている。

図 5-22 は、無次元数  $gb/K^2$  と影響距離  $l$  の関係を示しているが、 $gb/K^2$  が大きくなるほど影響距離が長くなる傾向がみられる。また、図 5-23 は、樹林帯  $w$  の違いによる影響距離  $l$  の変化を示したものであるが、樹

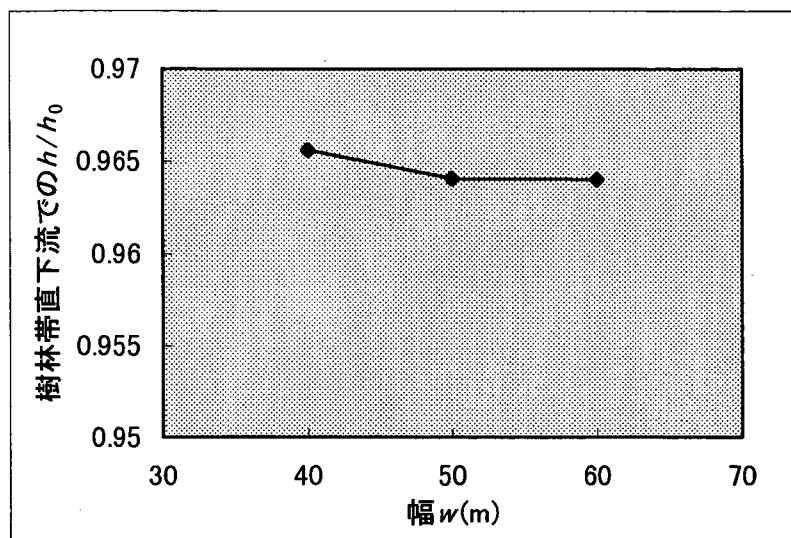


図5-17(a) 樹林帯幅 $w$ と樹林帯直下流の $h/h_0$

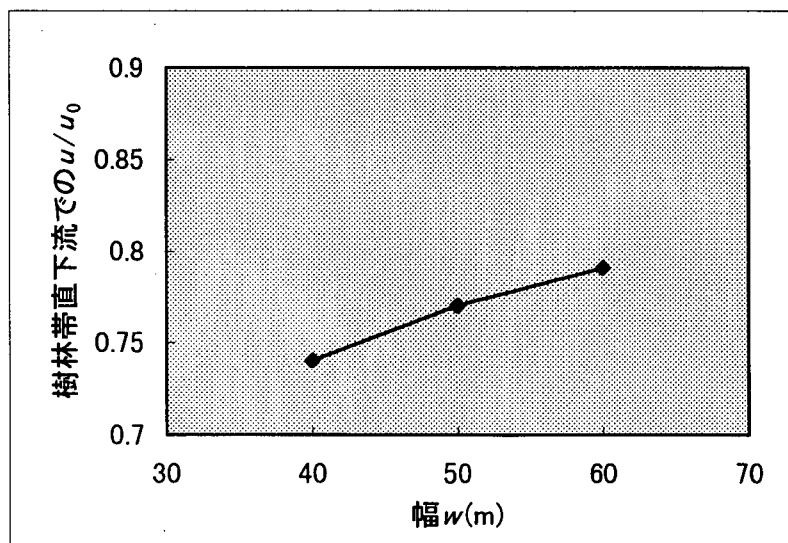


図5-17(b) 樹林帯幅 $w$ と樹林帯直下流の $u/u_0$

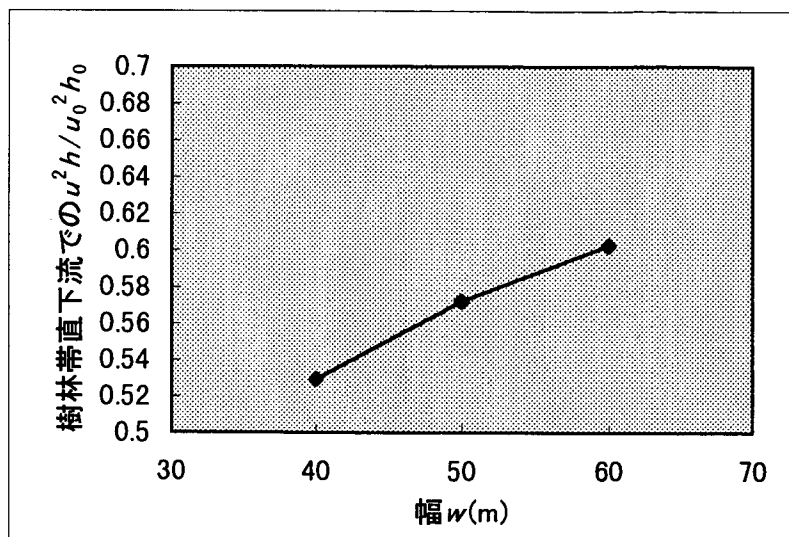


図5-17(c) 樹林帯幅 $w$ と樹林帯直下流の $u^2 h / u_0^2 h_0$

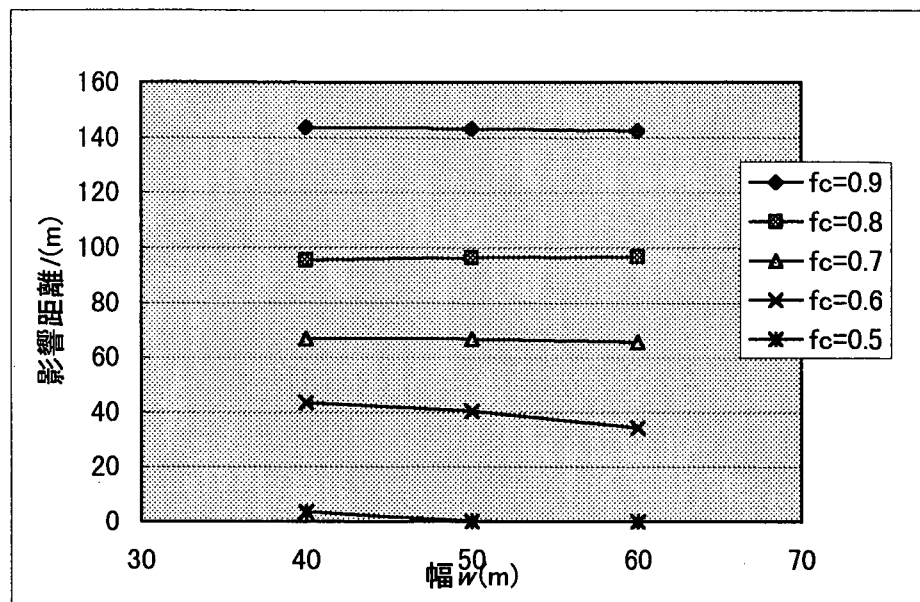


図5-18 樹林帯幅 $w$ と影響距離 $l$

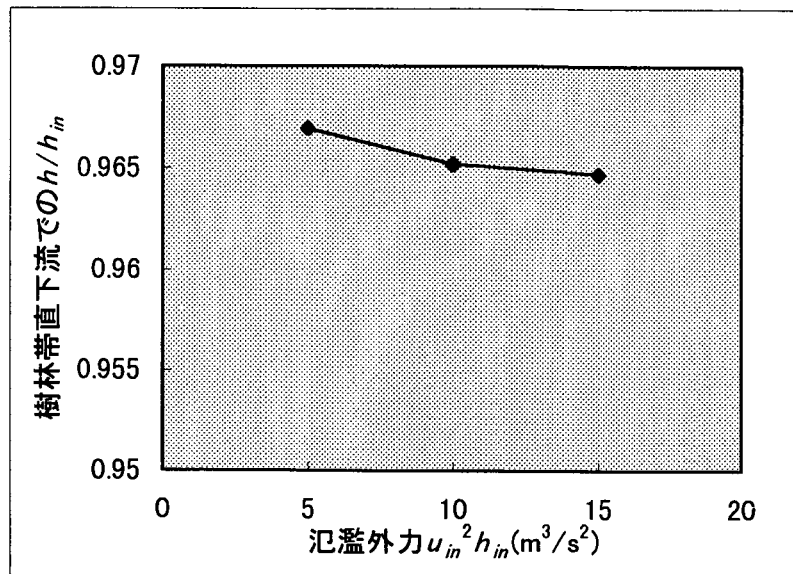


図5-19(a) 氾濫外力  $u_{in}^2 h_{in}$  と樹林帯直下流の  $h/h_{in}$

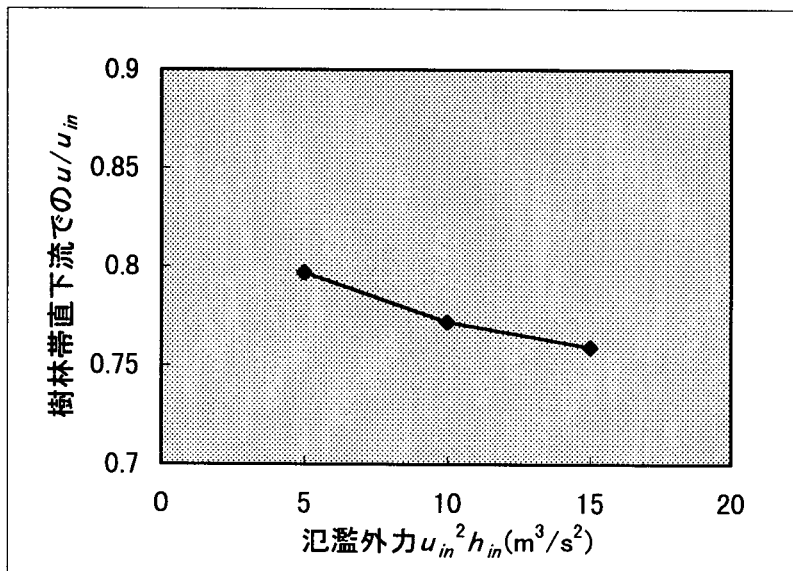


図5-19(b) 氾濫外力  $u_{in}^2 h_{in}$  と樹林帯直下流の  $u/u_{in}$

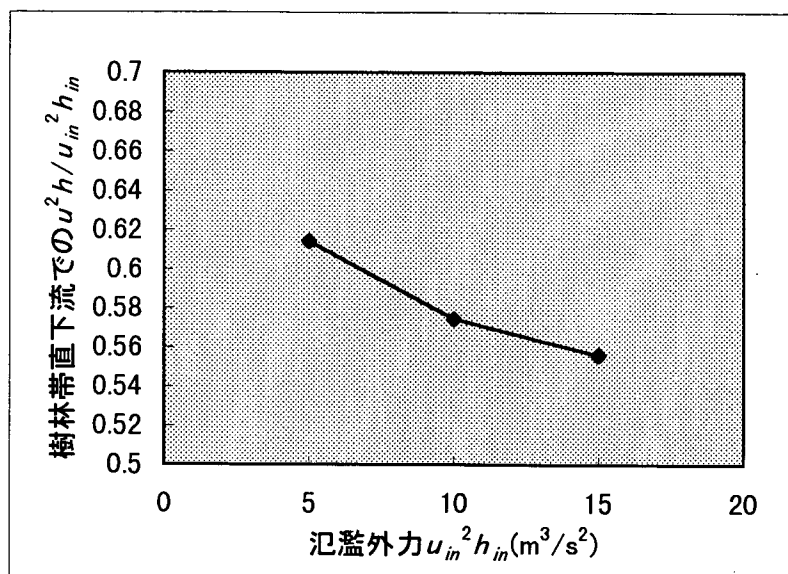


図5-19(c) 汎濫外力  $u_{in}^2 h_{in}$  と樹林帯直下流の  $u^2 h / u_{in}^2 h_{in}$

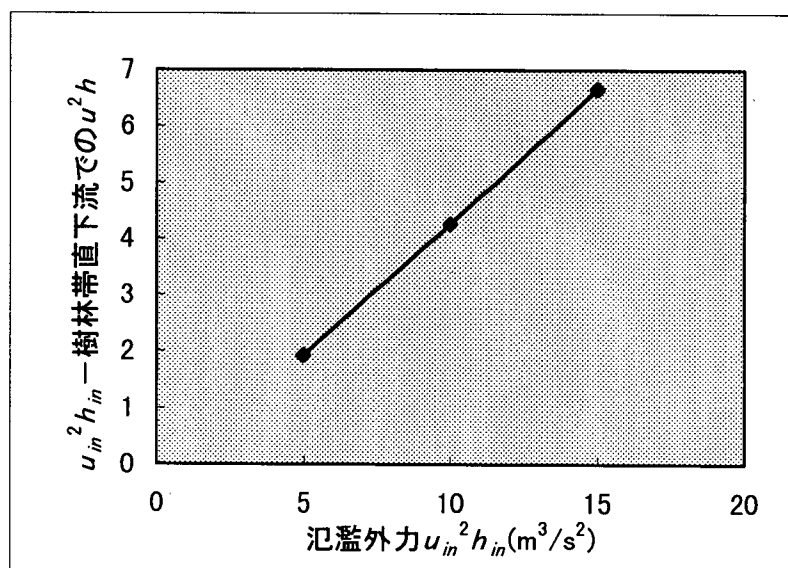


図5-20 汎濫外力  $u_{in}^2 h_{in}$  と樹林帯直下流の  $u_{in}^2 h_{in} - u^2 h$

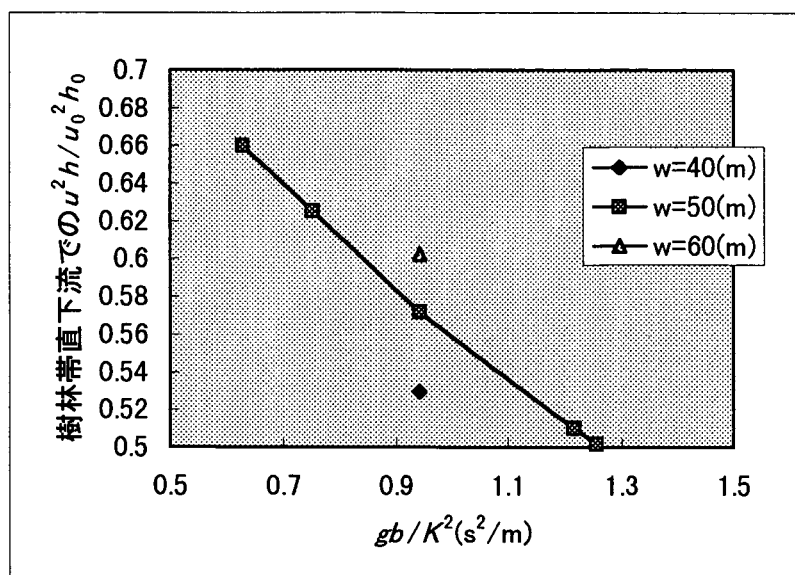


図5-21  $gb/K^2$ と樹林帯直下流の $u^2h/u_0^2h_0$   
(樹林帯幅毎に表示)

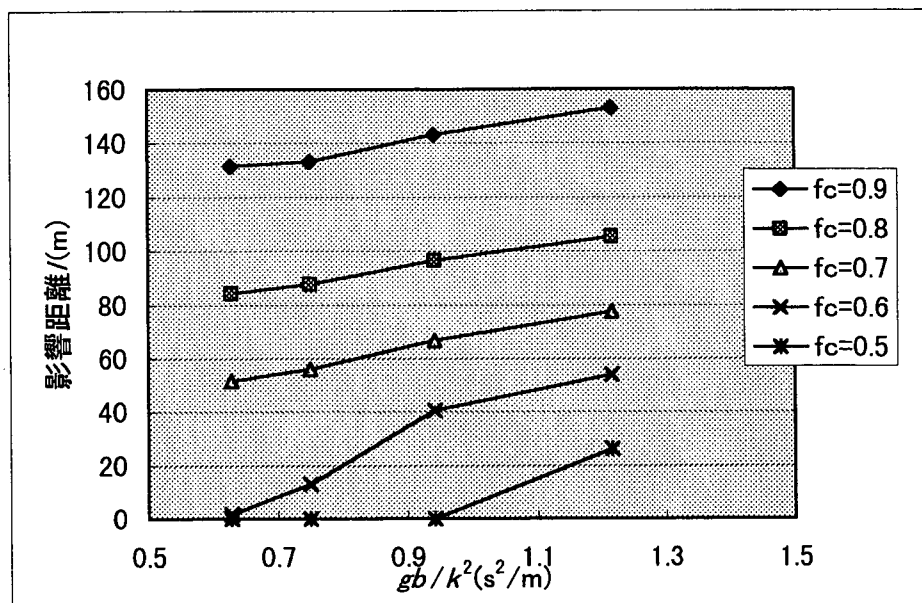


図5-22  $gb/K^2$  と影響距離 $l$

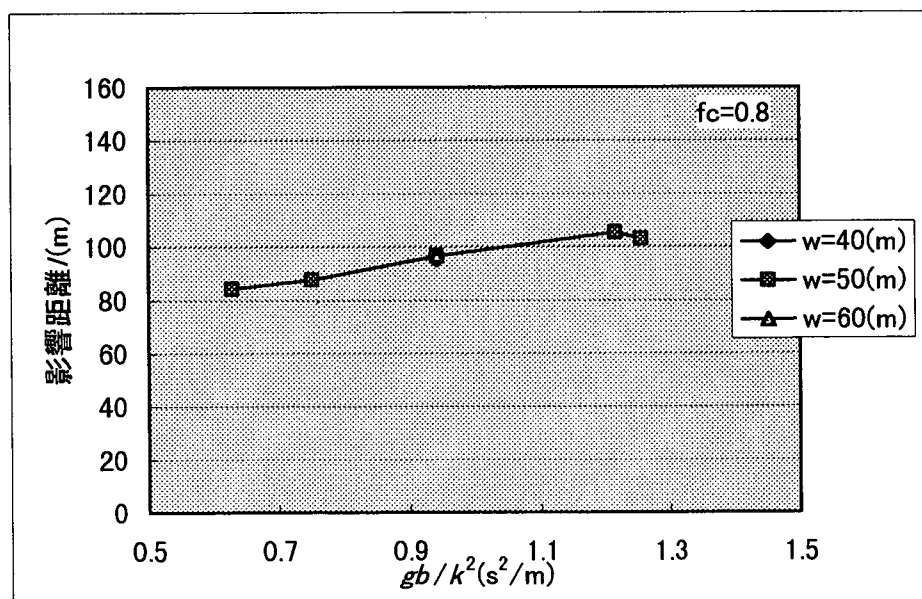


図5-23  $gb/K^2$  と影響距離 $l$  ( $f_c=0.8$ )  
(幅 $w$  による比較)

林帯幅の変化による影響距離の変化はほとんどみられない。

次に、無次元数  $gb/K^2$  と流体力低減効果、さらには氾濫外力の大きさがどのような関係にあるかを検討してみる。図 5-24 は、無次元数  $gb/K^2$  と樹林帯直下流での無次元流体力  $u^2h/u_m^2h_m$  の関係を氾濫外力の等流流体力  $u_m^2h_m$  ごとに表している（樹林帯直下流での流体力無次元化には氾濫外力の等流流体力  $u_m^2h_m$  を用いている）。氾濫外力の等流流体力  $u_m^2h_m$  が同じならば樹林帯による流体力の低減率と  $gb/K^2$  の間には関係がみられるが、 $u_m^2h_m$  が変わると、同じ  $gb/K^2$  でも流体力の低減率は異なっている。氾濫外力が大きくなるほど流体力の低減率も大きくなっている。

樹林帯直下流での流体力の低下は、樹林帯の諸元で決まる無次元数  $gb/K^2$  以外にも、氾濫外力の大きさ（氾濫外力の等流流体力  $u_m^2h_m$ ）に関係していることが分かる。

## 5.5 計算結果のまとめ

二次元氾濫モデルの樹林帯周辺の流れへの適用性をチェックするため、水理模型実験を対象に再現計算を行った。その結果、傾向としては計測値と計算結果は一致していたが、樹林帯の外側と樹林帯の上流での流速および流体力については実測値よりも計算値が小さくなっていた。この原因については詳細な検討が必要である。

続いて、モデル氾濫原を設定し、樹林帯の条件をさまざまに変化させてのシミュレーションを行い、樹林帯の諸条件のうちの樹林帯奥行き長さ、樹林帯の透過係数、樹林帯幅の影響について検討した。

樹林帯奥行き長さ  $b$  については、長くなるにしたがって、樹林帯上流側での水深上昇（堰上げ）、樹林帯下流側での流体力の低下、樹林帯よりも下流側で樹林帯幅（横断方向）の外側での流体力の増加量が大きくなっていた。また、樹林帯による流体力の低下が及ぶ距離（影響距離）も樹林帯奥行き長さに伴い増加していた。

樹林帯の透過係数  $K$  の低下も奥行き長さと同様な影響を与えていた。これは、奥行き長さの増加、透過係数の低下のどちらも樹林帯の流れに対する障害の大きさを増加させる効果を有しているからである。

樹林帯幅  $w$  の増加は、今回の計算条件の下では、樹林帯上流側での堰上げを大きくするとともに、樹林帯下流側での流体力の低下を小さくする方向で影響を与えていた。しかし、影響距離には樹林帯幅による違いはみられなかった。

さらに、樹林帯奥行き長さ  $b$ 、透過係数  $K$  を組み合わせた無次元数  $gb/K^2$  の影響をみてみたが、樹林帯による流体力の低下量には、この指標との関係がみられた。

ただし、今回の検討に用いたケースは少ないので、樹林帯幅、氾濫外力の影響などに関してはより多数のケースを用いての検討を行う必要があると考えられる。

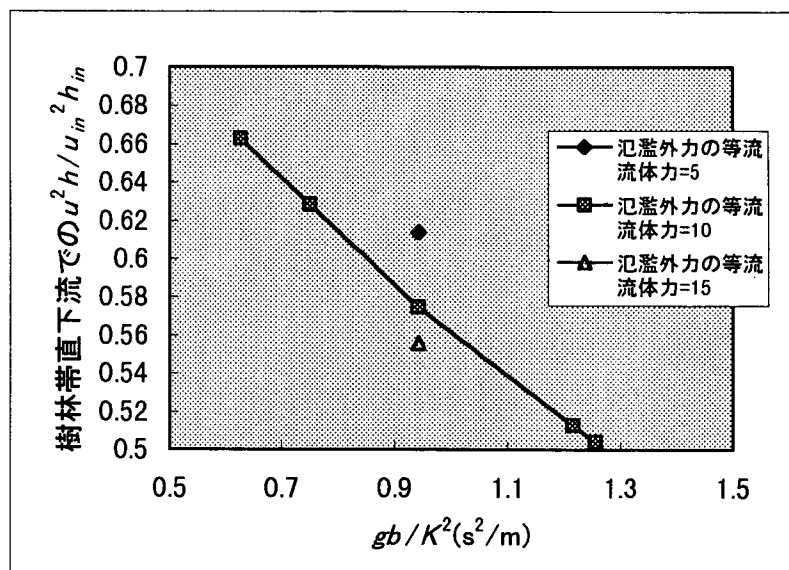


図5-24  $gb/K^2$ と樹林帯直下流の $u^2h/u_{in}^2h_{in}$   
(氾濫外力毎に表示)

## 第6章 おわりに

本報告書では、超過洪水対策などで脚光を浴びている氾濫流制御手法の一つとして防御地区の上流側に樹林帯を設置すること（防災樹林帯）を提案し、その効果についての基礎的な検討結果を示した。

氾濫流実験水路での模型実験の結果、防災樹林帯による効果（樹林帯下流での流体力の低減）は、樹木の抵抗による運動量損失とともに、氾濫流の阻害により生じる外向きの流れが樹林帯幅の外側へと運動量を運ぶことにより生じていることが分かった。

モデル氾濫原を設定し、二次元不定流モデルによるシミュレーションを行った結果、樹林帯奥行き長さ、樹林帯の透過係数（樹林帯の密度に対応）は樹林帯の流れの阻害の大きさに大きく関係しており、樹林帯上流側での水深上昇（堰上げ）、樹林帯下流での流体力の低下、樹林帯よりも下流側で樹林帯幅（横断方向）の外側での流体力の増加に大きく影響を与えていることが分かった。

現時点は、以上のような定性的な検討を終えた段階であるが、今後は樹林帯の諸条件の影響を定量的に把握していく予定である。

最後に、防災樹林帯の事業化に関して言及しておく。

平成9年の河川法改正で位置付けられた「樹林帯」は、河道から氾濫原への流出抑制、堤防裏の洗堀防止、破堤拡大の防止などを目的としており、その規模は概ね幅 20 mとされている。それに対して、本論文で扱った「防災樹林帯」は防御対象地区の上流側に設置することから、設置位置は必然的に河川から離れた堤内地になる。防災樹林帯の事業化にあたっては、そのような施設を法的にどのように位置付けるかについての検討が必要となろう。その際に参考となる事例は、現況河道では洪水氾濫の危険性が高いうえ計画の完成までに時間がかかると考えられる地域に対して実施されている「耐水型地域整備事業」や「田園地域集落治水事業」であると考えられる。これらの事業では、道路の嵩上げや氾濫原内での新たな築堤によって二線堤の整備が進められており、防災樹林帯も河道から離れた場所への施設整備という点ではこれに類似するものであると考えられる。

なお、現在、都市河川研究室では建設省治水課と一緒に事業化方策について検討を行っている。

## 参考文献

- 1) 大熊孝：洪水と治水の河川史 水害の制圧から受容へ，第五章 自然と共存する水害への対応，平凡社，1988.
- 2) 末次忠司：氾濫原管理のための氾濫流制御と避難体制の強化，氾濫原危機管理国際ワークショップ論文集，pp. 173-185，1996. 11.
- 3) 建設大臣官房政策課／会計課監修，建設政策研究会編著：'96 建設行政ハンドブック ー建設省の事業・制度のすべてー，大成出版社，1996.
- 4) 大井川町：大井川町史.
- 5) 柳川市教育委員会：私たちの住む柳川市，1986.
- 6) 建設省河川局・水政課：鳥居川の堤防破堤，河川，No. 589，日本河川協会，1995.
- 7) 福岡捷二，藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響，土木研究所報告第 180 号，pp. 129-192，1990. 1.
- 8) 池田駿介，太田賢一，長谷川洋：側岸部植生境界の周期渦の発生機構，土木学会論文集，443 号，pp. 47-54，1992.
- 9) 浜口達男，本間久枝，井出康郎，高橋克彦，松浦茂樹，島谷幸宏，小栗幸雄，藤田光一：水害防備林調査、土木研究所資料，第 2479 号，1987. 3.
- 10) 岩佐義朗，井上和也，水鳥雅文：氾濫水の水理の数値解析法，京大防災研究所年報第 23 号 B-2，1980.
- 11) 栗林沢一：狩野川流域における集落の立地と災害の形態，地理学評論，pp. 166-173，1960. 3.
- 12) 建設省河川局・水政課：新しい河川制度の構築（人と川とのふれあいの世界へ）～平成 9 年河川法改正について～，建設月報，No. 582，pp. 33-35，1997. 12.
- 13) 福岡捷二，藤田光一，平林桂，坂野章：樹木群の流水抵抗について，第 31 回水理講演会論文集，pp. 335-340，1987. 2.
- 14) 佐藤智，今村文彦，首藤伸夫：洪水氾濫の数値計算および家屋被害についてー8610 号台風による吉田川の場合ー，第 33 回水理講演会論文集，pp. 331-336，1989. 2.
- 15) 河田恵昭，中川一：三隅川の洪水災害ー洪水氾濫と家屋の被害ー，京大防災研年報，27B-2，pp. 179-196，1984. 4.
- 16) 福岡捷二，川島幹雄，横山洋，水口雅教：家屋群に作用する氾濫流の流体力に関する実験的研究，水工学論文集 第 41 巻，pp. 693-698，1997. 2.
- 17) 栗城稔・末次忠司・海野仁・田中義人・小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）ーシミュレーションの手引き及び新モデルの検証ー，土木研究所資料第 3400 号，1996. 2.
- 18) 原色樹木大図鑑，北隆館.



## 巻 末 資 料

実験および計算結果のうち、本文中に掲載していない主要なケースを示す。

### 水理模型実験結果

無次元水深コンター図  
無次元流速ベクトル図  
無次元流体力コンター図

### 二次元汜濫モデルによる計算結果

無次元流体力コンター図



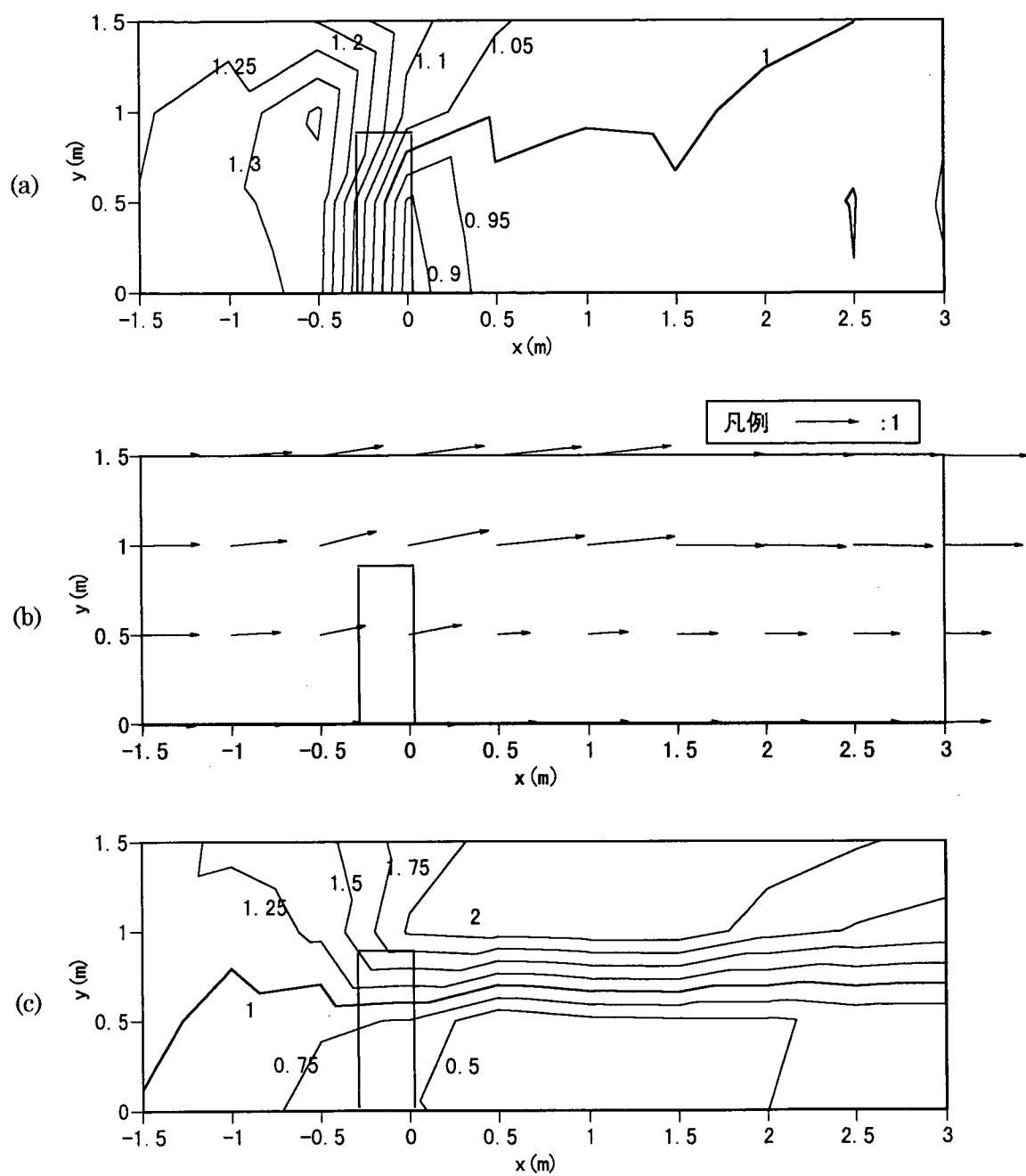


図 A-1 case12 (樹林帯幅大) の実験結果

(枝あり模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 22 本×奥行き 4 本、高流量条件)

- (a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  は樹林帯部)
- (b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図
- (c) 無次元流体力  $u^2 h / u_0^2 h_0$  コンター図

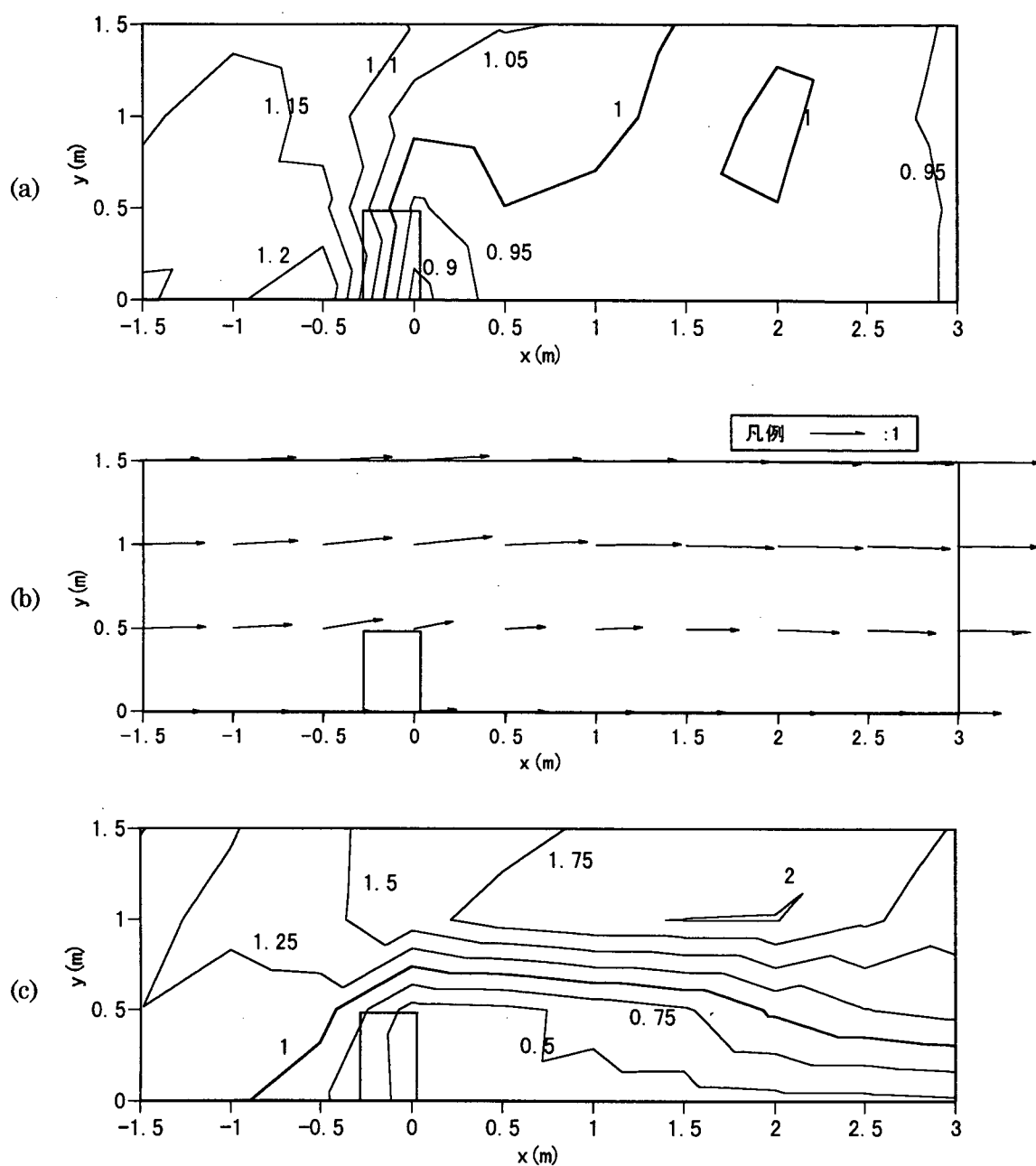


図 A-2 case24 (樹林帯幅小) の実験結果

(枝あり模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 12 本×奥行き 4 本、高流量条件)

(a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  は樹林帯部)

(b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図

(c) 無次元流体力  $u^2 h/u_0^2 h_0$  コンター図

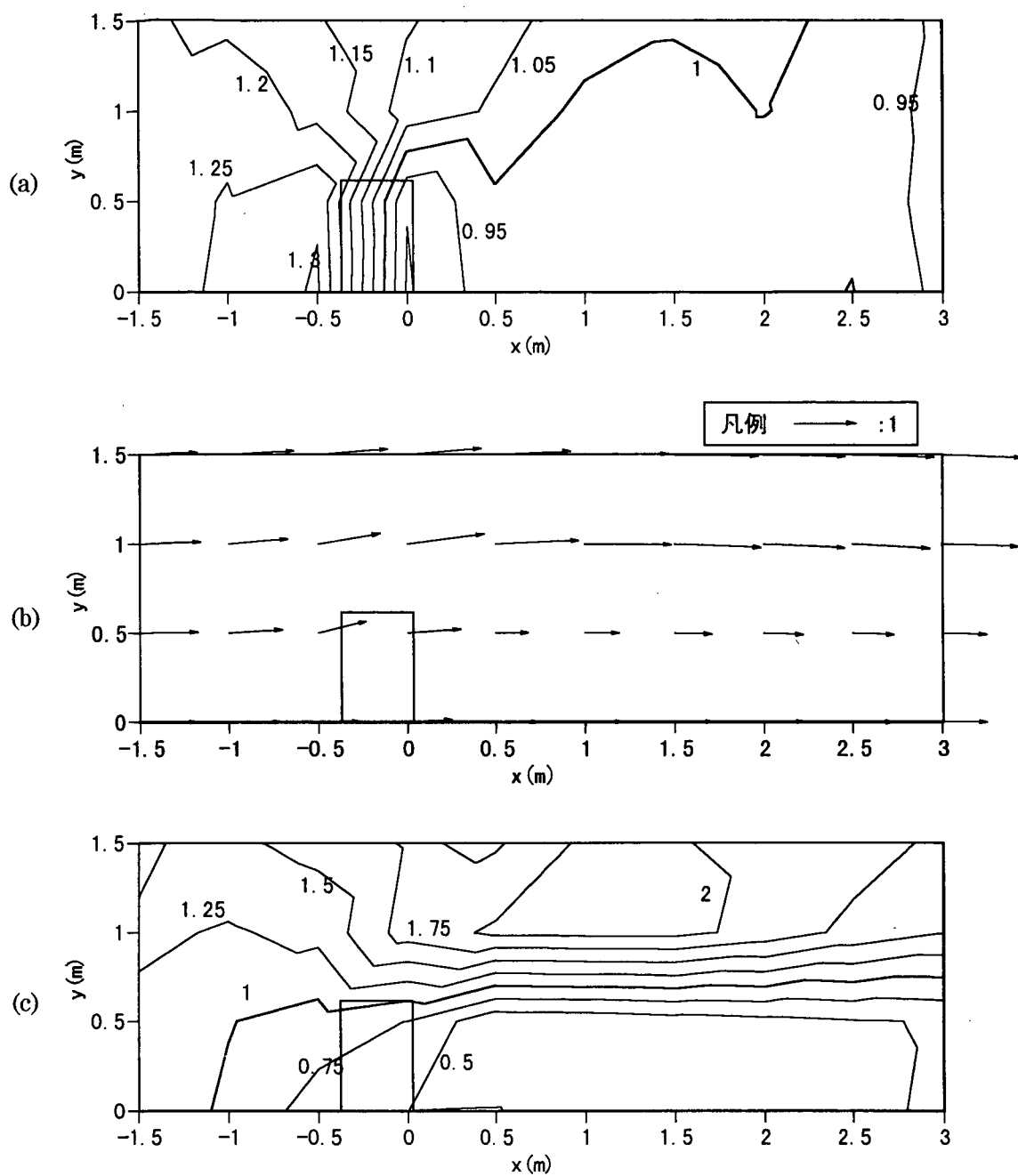


図 A-3 case14 (樹林帯奥行き大) の実験結果

(枝あり模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 5 本、高流量条件)

(a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  は樹林帯部)

(b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図

(c) 無次元流体力  $u^2 h / u_0^2 h_0$  コンター図

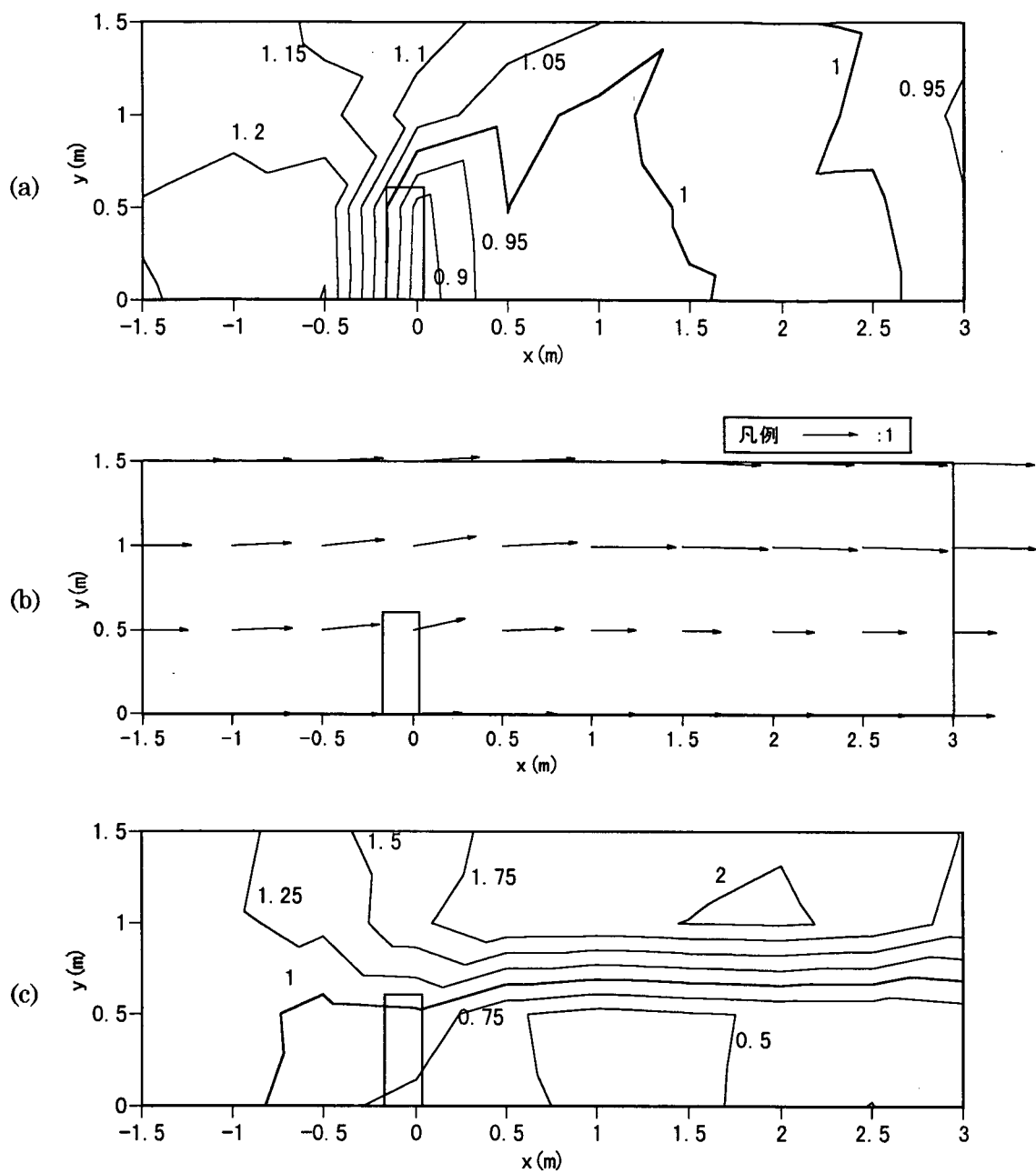


図 A-4 case20 (樹林帯奥行き小) の実験結果

(枝あり模型・8cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 3 本、高流量条件)

(a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  は樹林帯部)

(b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図

(c) 無次元流体力  $u^2 h / u_0^2 h_0$  コンター図

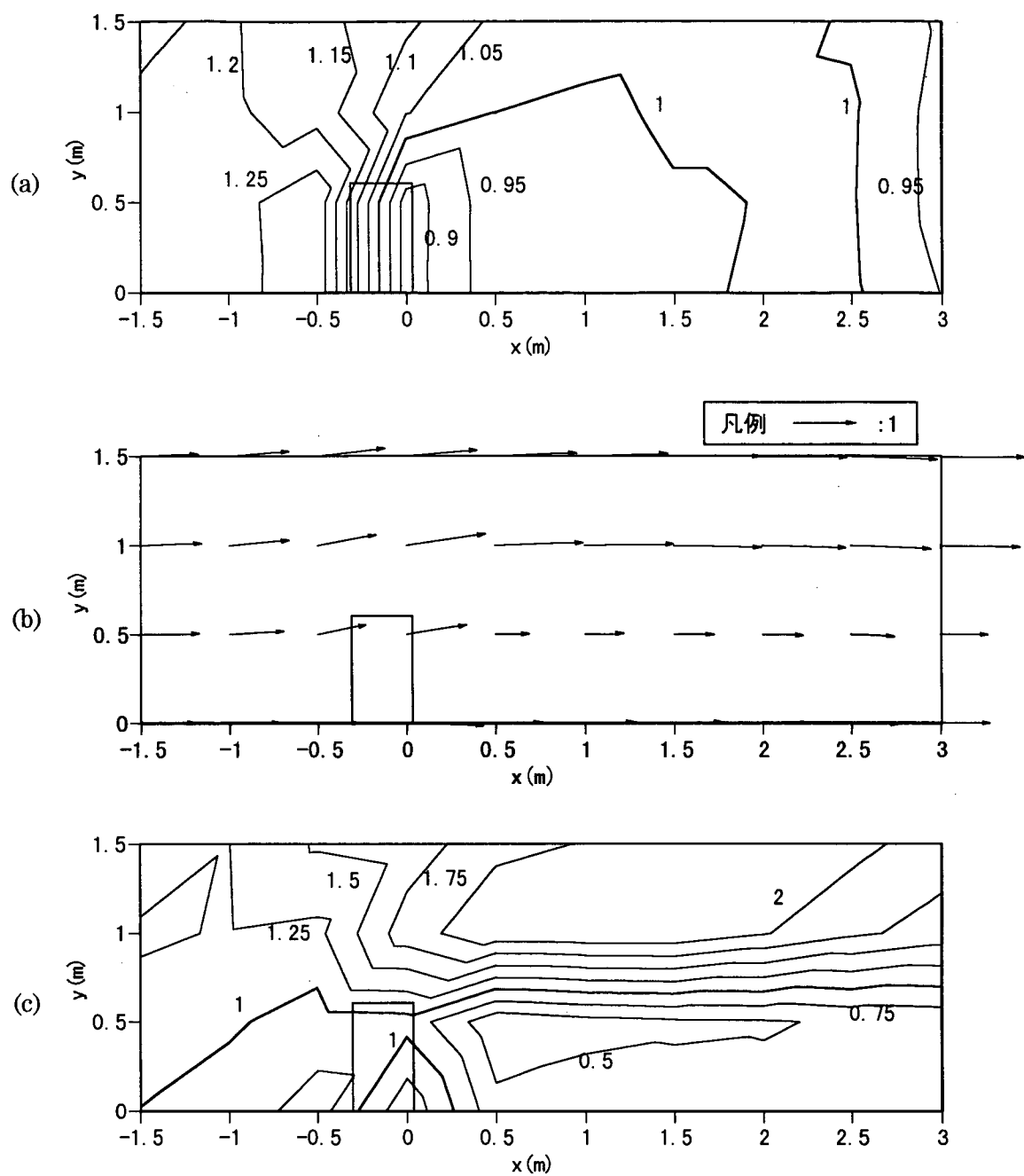


図 A-5 case6 (樹木間隔大) の実験結果

(枝あり模型・9cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 4 本、高流量条件)

- (a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  は樹林帯部)
- (b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図
- (c) 無次元流体力  $u^2 h / u_0^2 h_0$  コンター図

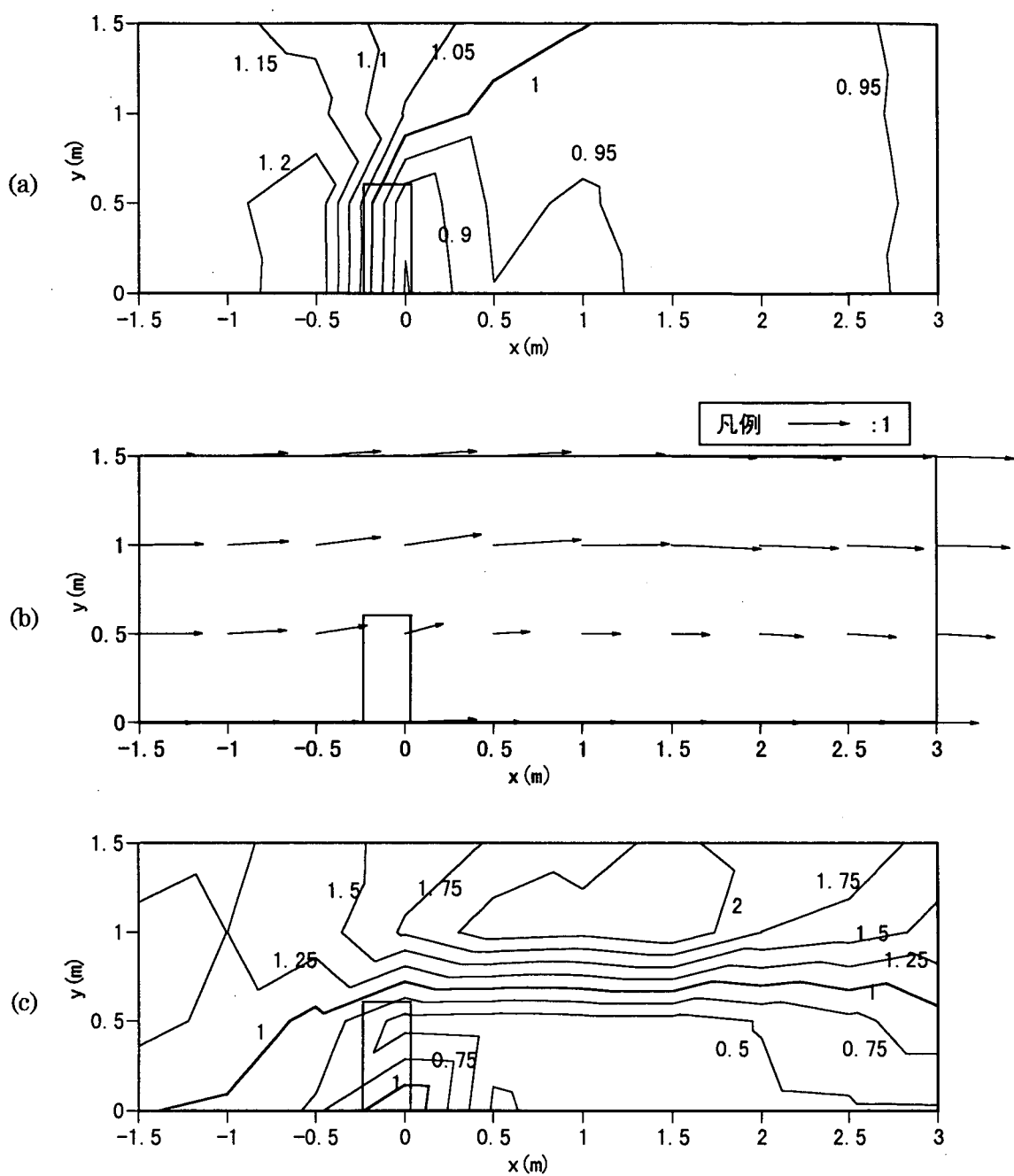


図 A-6 case30 (樹木間隔小) の実験結果

(枝あり模型・7cm 間隔格子状配列・樹林帯幅 16 本×奥行き 4 本、高流量条件)

(a) 無次元水深  $h/h_0$  コンター図 (  は樹林帯部)

(b) 無次元流速  $u/u_0$  ベクトル図

(c) 無次元流体力  $u^2 h / u_0^2 h_0$  コンター図

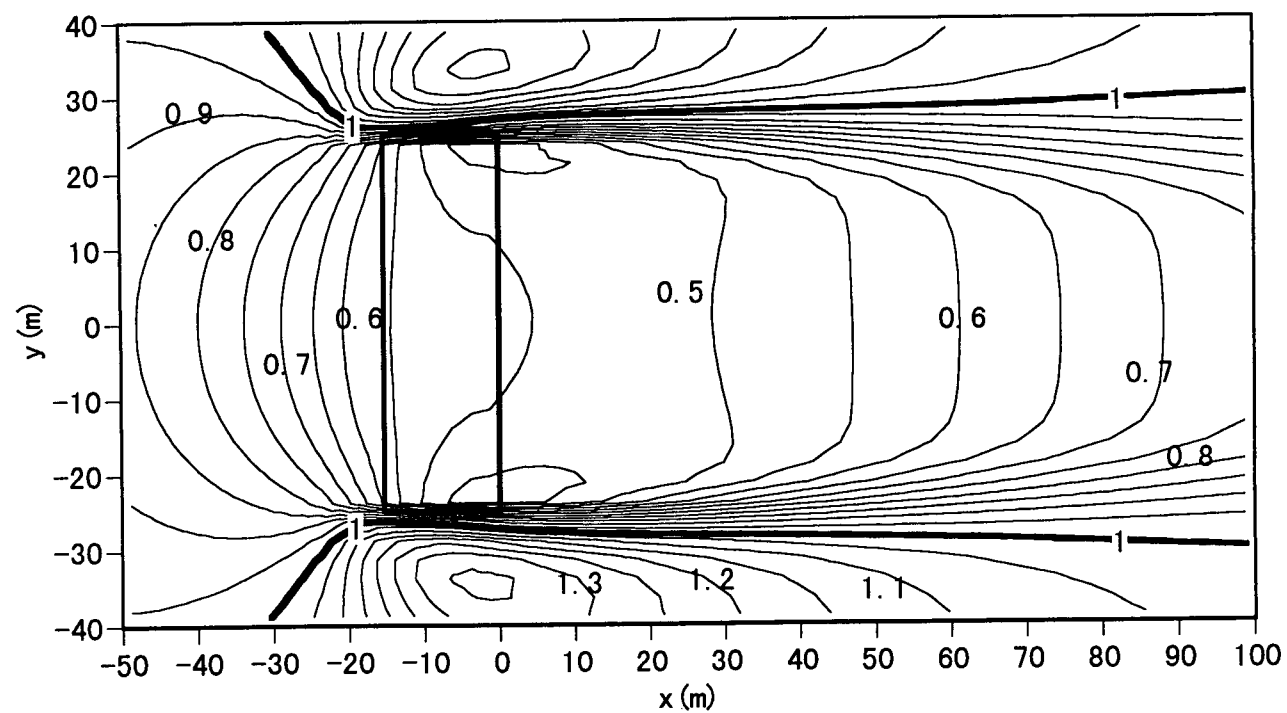


図 A-7 ケース 3 (樹林密度大) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

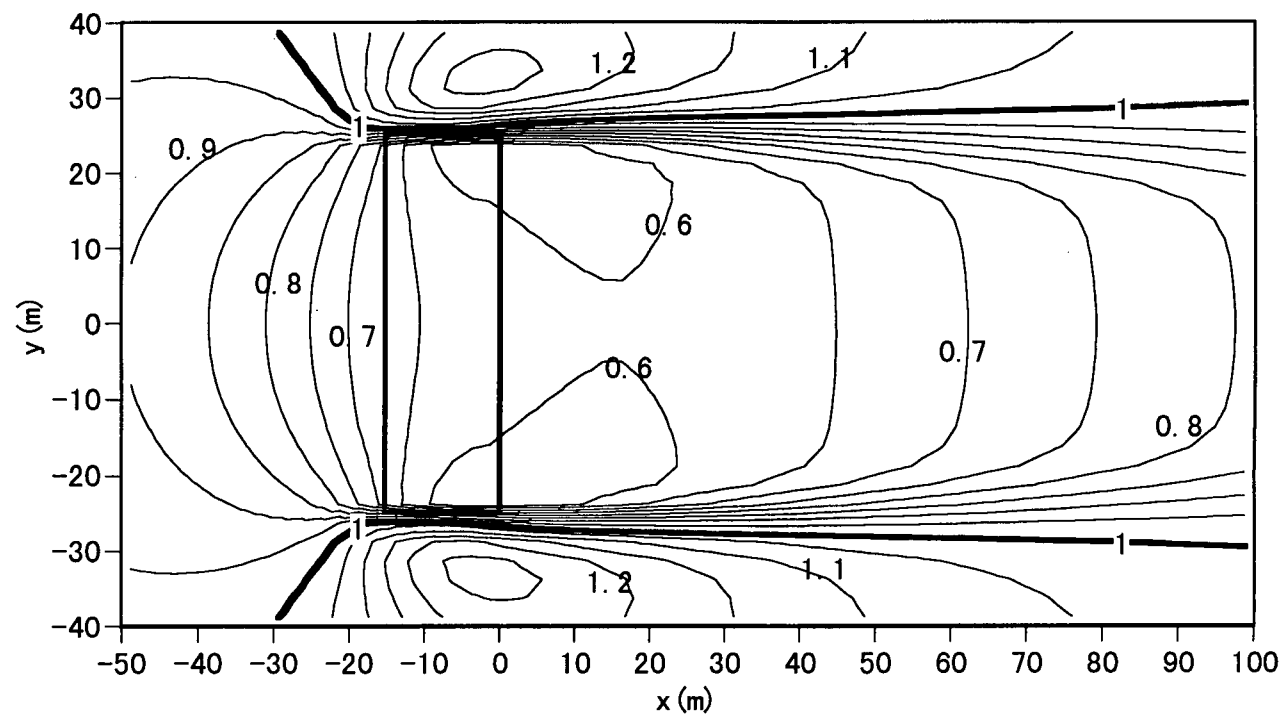


図 A-8 ケース 4 (樹林密度小) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

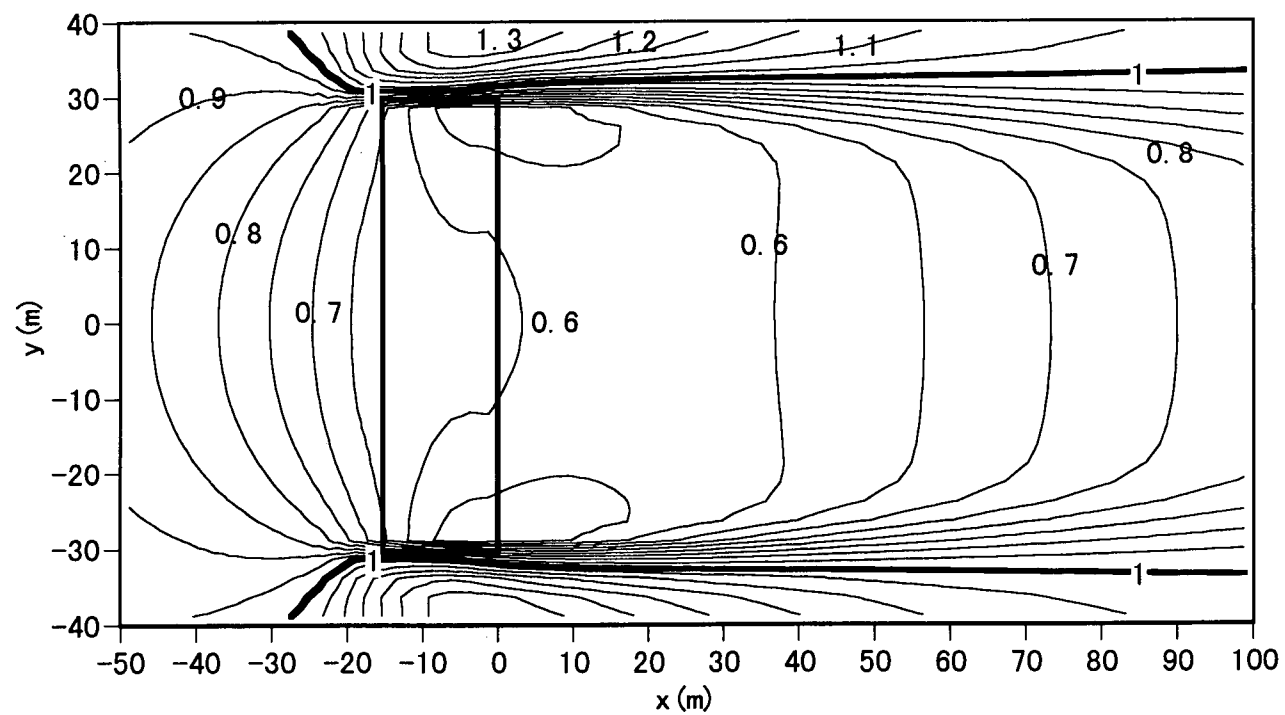


図 A-9 ケース 5 (樹林幅大) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

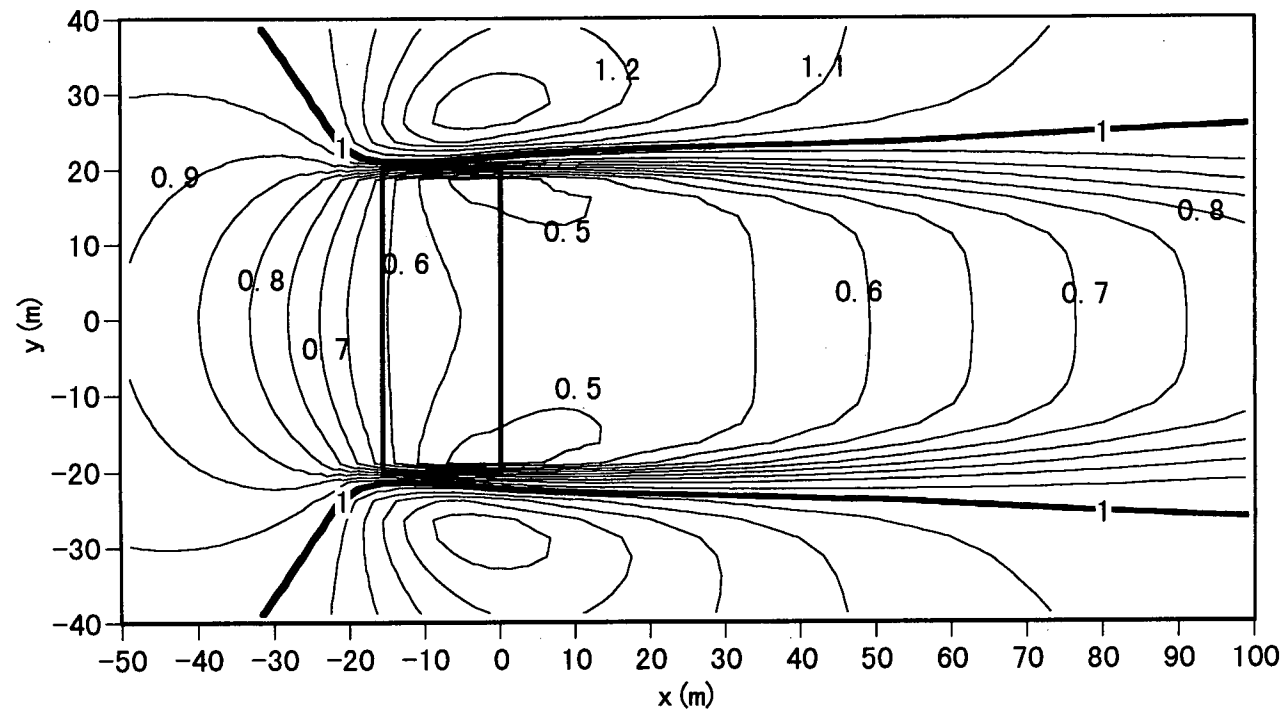


図 A-10 ケース 6 (樹林幅小) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

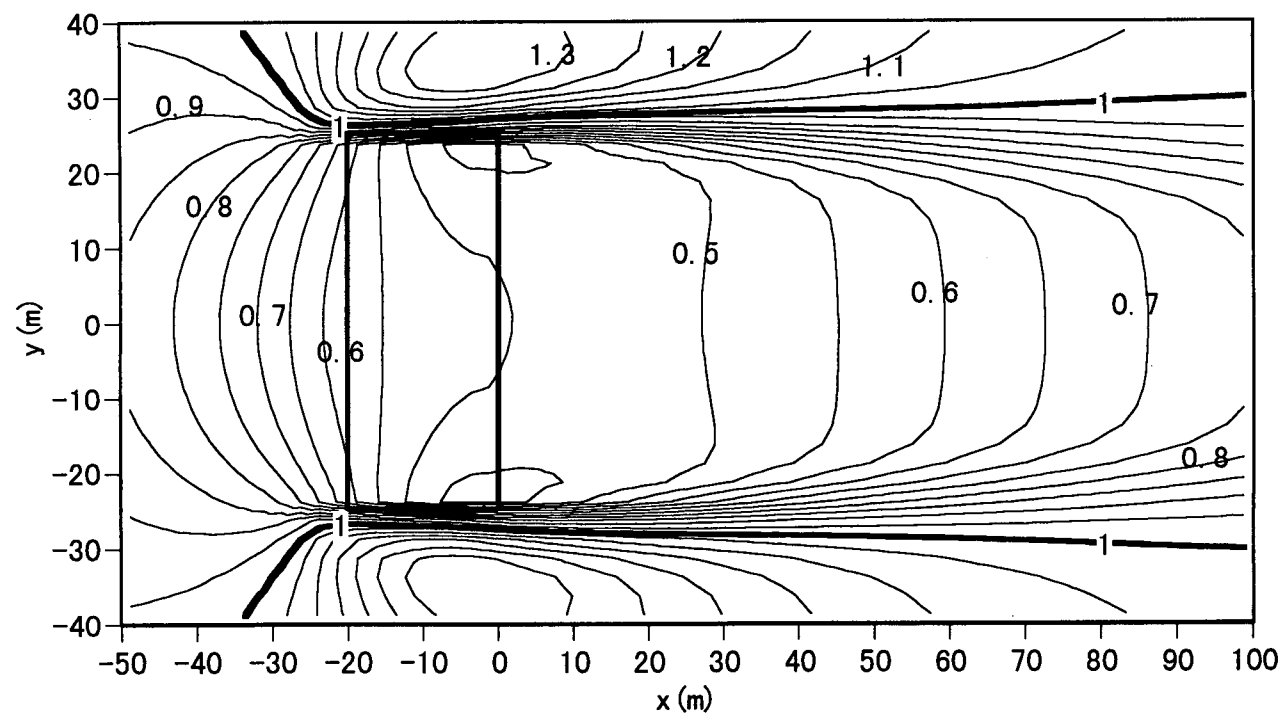


図 A-11 ケース 7 (樹林奥行き大) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

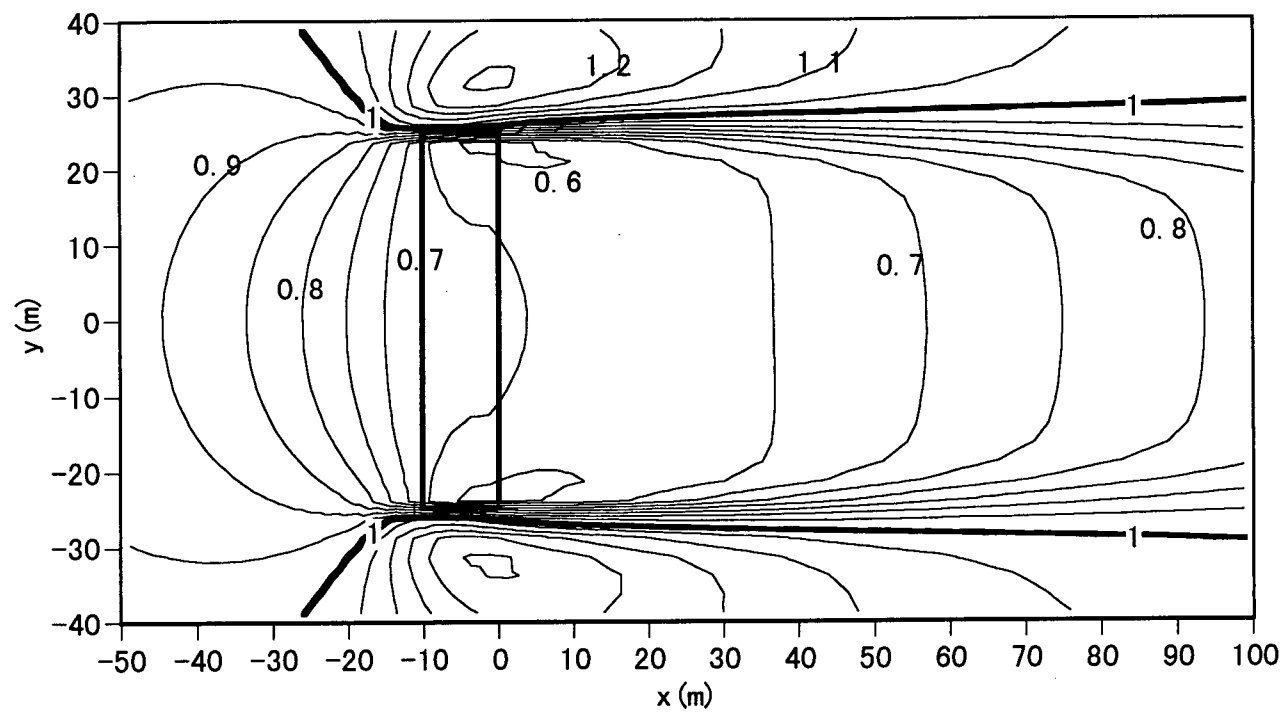


図 A-12 ケース 8 (樹林奥行き小) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

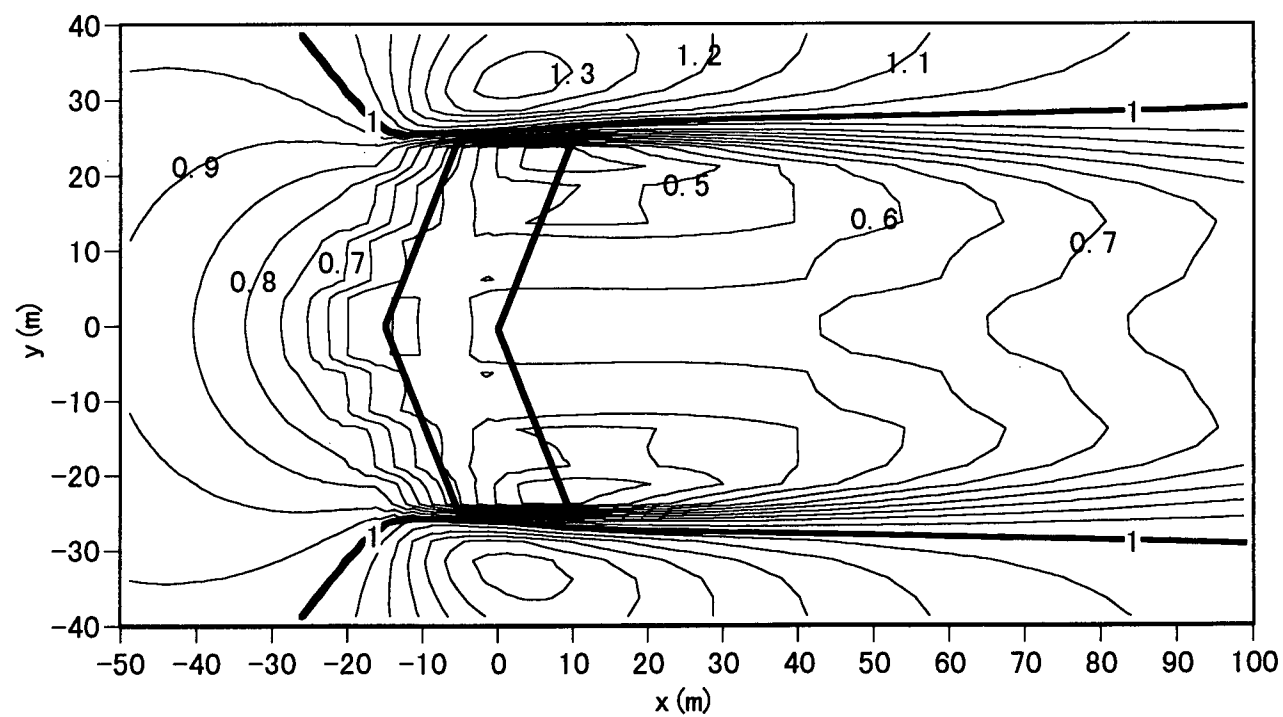


図 A-13 ケース 10 (緩V字形状) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)

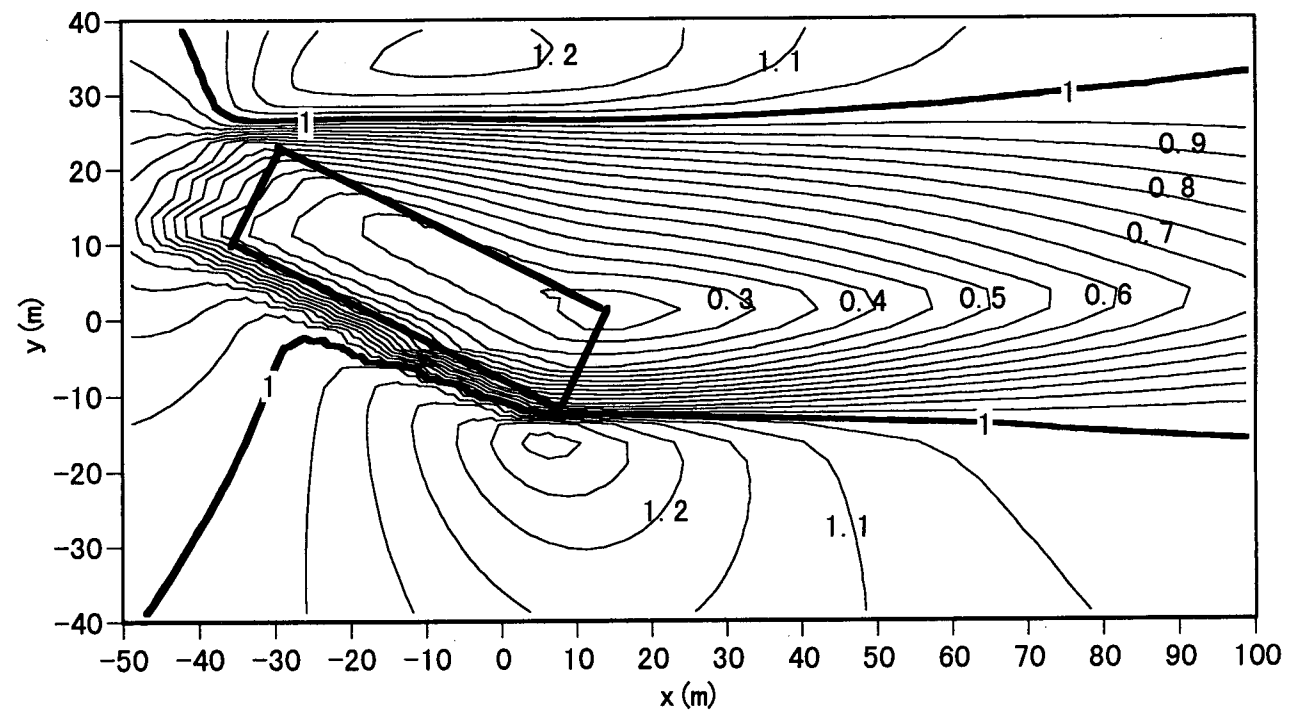


図 A-14 ケース 1 2 (流向 急角度斜め) の計算結果 (樹林帯周辺の無次元流体力コンター)