

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386-5878
土木研究所資料第3695号

土 木 研 究 所 資 料

二線堤の氾濫流制御機能と被害軽減効果

平成12年 2 月

建設省土木研究所
河川部都市河川研究室

Copyright © (2000) 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。

二線堤の氾濫流制御機能と被害軽減効果

都市河川研究室 室 長 末次 忠司
交流研究員 都丸 真人¹⁾
研 究 員 館 健一郎

要 旨

近年、河川改修は鋭意進められているが、未だ治水安全度が十分でない河川もある。また、完成堤防でも超過洪水が発生すれば破堤の危険性もある。したがって、万一破堤氾濫が発生した場合には、二線堤などの氾濫流制御施設を活用することにより被害を最小限に抑えることが重要と考えられる。

本調査は、氾濫流制御施設としての二線堤に着目し、氾濫解析によるケーススタディを通して、二線堤の有する氾濫流制御効果と問題点について評価したものである。

キーワード：二線堤、氾濫流制御、氾濫解析、二次元不定流モデル

1) 交流研究員在職期間（平成10年4月1日から平成11年3月31日まで）

目次

第1章	はじめに	1
第2章	既往研究成果の整理	2
2.1	全国に現存する二線堤の実態調査	2
2.2	二線堤の効果に関する検討	4
2.3	二線堤による生ずる利害関係についての検討	6
第3章	氾濫流制御を考慮した治水計画の事例　－水害に強いまちづくり （宮城県鹿島台町、大郷町、松島町）の二線堤－	8
3.1	水害に強いまちづくりの概要	8
3.2	二線堤整備の概要	9
3.3	二線堤形状の決定過程	9
3.3.1	基本方針	9
3.3.2	ルート	12
3.3.3	高さ	12
3.3.4	その他（流下断面）	12
3.4	二線堤設置に伴う調整手法	13
3.5	住民の意識	14
3.5.1	調査概要	14
3.5.2	質問内容	14
3.5.3	回答状況	14
3.5.4	結果	14
3.6	まとめ（問題点等）	23
第4章	ケーススタディ	24
4.1	二線堤に期待される機能と効果	25

4.2	モデル氾濫原の概要と対象二線堤の選定	25
4.3	A川における二線堤の効果	29
4.3.1	氾濫シミュレーションの概要	29
4.3.2	A川右岸における二線堤の効果	30
4.4	B川における二線堤の効果	37
4.4.1	氾濫シミュレーションの概要	37
4.4.2	B川左岸における二線堤の効果	38
4.5	C川における二線堤の効果	45
4.5.1	氾濫シミュレーションの概要	45
4.5.2	C川右岸における二線堤の効果	46

第5章 二線堤の効果及び問題点 53

5.1	二線堤の水理的機能の評価	53
5.1.1	水理的機能に関わる項目	53
5.1.2	氾濫水貯留機能の評価	54
5.1.3	流向制御機能の評価	54
5.2	二線堤の浸水被害軽減効果の評価	61
5.2.1	浸水被害軽減効果に関わる項目	62
5.2.2	浸水被害軽減効果の評価	62
5.2.3	浸水被害軽減への氾濫原特性の影響の整理	63
5.2.4	最適盛土高の設定	63
5.3	施策としての評価	65
5.4	二線堤の問題点	65
5.4.1	二線堤による被害増大区域への対策	66
5.4.2	越水に関する問題点	66

第6章 おわりに 68

参考文献	69
参考資料 (氾濫シミュレーション結果)	75

第1章 はじめに

かつて、現在のように近代的河川改修技術や重機をもって河川整備が強力に推進される以前には、多くの河川で洪水氾濫が頻発していた。人々も、氾濫は防ぎようのないものと考え、いかにして被害を小さくするかに知恵を絞り、そのための対策に多くの労力を費やしてきた。このような対策の例としては、木曽三川流域などの氾濫常習地帯でみられる集落・農地を囲った堤防（輪中堤）や、溢れた水を下流側で河道内に戻す効果がある不連続堤（霞堤）などがあげられる。

現在、全国の河川において河川改修が鋭意進められている。しかしながら、現在の改修計画の完成までにはまだまだ時間がかかるうえ、計画が完成したとしても、超過洪水（計画時に想定された確率規模を上回る規模の洪水）が発生した場合には破堤を防ぎきれぬ保証はなく、大規模な氾濫被害が発生する可能性を完全に払拭することは不可能である。このような河川整備そのものが有する限界を認識したうえで、河道だけでなく氾濫原を総合的に管理することで洪水氾濫被害を防ぐ、いわゆる「氾濫原管理」の重要性が認識され、諸施策が実施されている。氾濫原管理手法のうち、破堤や越水により氾濫原へと溢れ出る水に対して対策を講じることにより、氾濫流量、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を、氾濫流制御と呼んでいる。

このように、現在脚光を浴びている氾濫流制御手法であるが、考えてみれば、輪中堤、霞堤など、かつて多くの地域で行われていた経験的河川技術を、現代的にアレンジして取り込んだものといえる。しかしながら、土地利用が高度化し、利害関係が複雑化した現代社会で氾濫流制御を導入するためには、かつての経験に基づいた技術から、より工学的な根拠が明らかな技術へと発展させる必要がある。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、氾濫流制御手法の導入による水理効果の把握が不可欠である。また、氾濫流制御による被害軽減は、土地利用など氾濫原の社会的条件によっても影響をうけるため、社会的条件と氾濫流制御効果の関係も明らかにしなければならない。

本報告書で検討対象としているのは、氾濫流制御手法のうち、氾濫水の拡散を防ぐために氾濫原内に作られる堤防、すなわち二線堤である。二線堤の設置により、氾濫水の到達の遅延化、浸水域の局所化、浸水深の減少がはかられ、氾濫被害を軽減するとともに住民の避難時間、避難路の確保が可能となる。実際に実施された二線堤整備事業としては、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）がある。

本報告書は、二線堤の効果と地形条件、土地利用等との関係を評価することで、氾濫流制御を用いた治水計画の立案に資する基礎資料とすることを目指している。

第2章 既往研究成果の整理

ここでは、過去の二線堤に関する研究事例を収集し、二線堤の効果を検討する上での基礎的な知見として整理する。

2.1 全国に現存する二線堤の実態調査

現存する二線堤を対象として、その実態について全国的調査を行った例として、「土木研究所資料 二線堤の全国実態と具体事例」¹⁾がある。二線堤の現況に関する全体像が把握できると考えられるので若干紹介する。

この調査では、建設省河川関係の全事務所へのアンケート調査を行い、全国の二線堤の現況を把握している。また、いくつかの代表的な二線堤の詳細について事例調査を行っている。

この調査では、全国の二線堤を成立過程から5つに分類している(図2-1-1、図2-1-2)。これらのうち、本報告書が対象とするのは、C(二番堤)、D(輪中堤)のように、治水上の意図をもって新たに設置される二線堤である。

アンケートの結果、存在数は全国で253箇所、総延長647.2kmであった(ただし、この数字はあくまでも建設省の河川関係の事務所が把握していた数字である)。河川形態では、緩流部と分類された勾配1/500以下の割合が堤防数で77%、延長で87%と高い、また、成立過程からの分類では、類型A(霞堤の締め切り)が34箇所、B(堤防法線の変更・整備)が83箇所、C(二番堤)が16箇所、D(輪中堤)が5箇所、E(堤防以外の盛土構造物)が115箇所である。このように、成立過程からみると、新規の治水事業や道路等河川以外の整備により結果として二線堤となったもの(A、B、E)が多く、地先防衛対策のため意図的に築造されたもの(C、D)は少ない。また、興味深い点として、成立過程から治水上の役割を期待されていたC、D

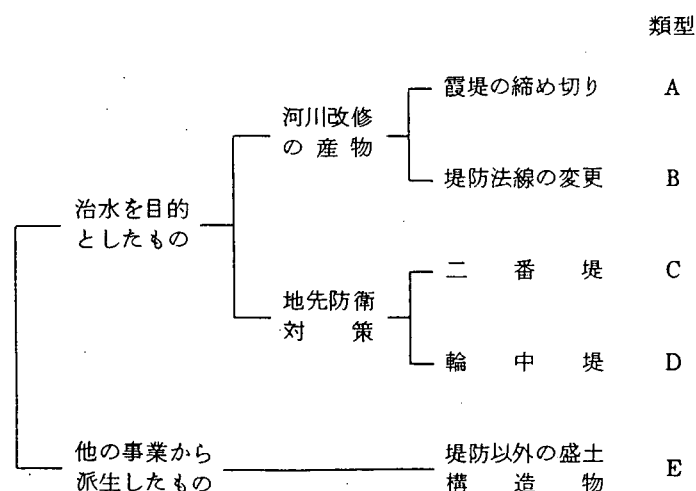


図2-1-1 成立過程による二線堤の分類²⁾

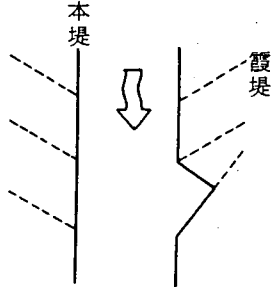
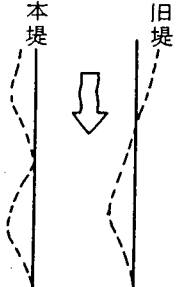
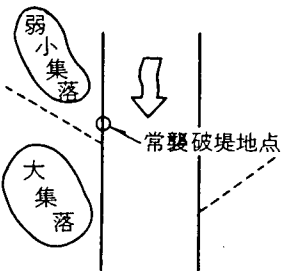
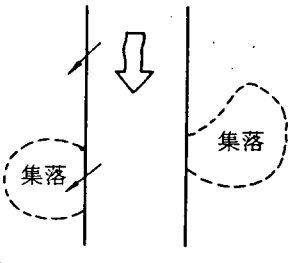
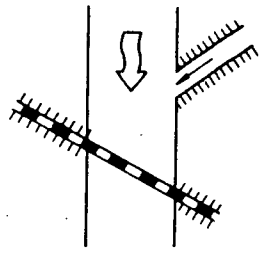
タイプ	A	B	C	D	E
説 明	霞堤から連続堤への移行にともない、霞堤が堤内地に残存したもの。	堤防法線の整備にともない旧堤内地に残存したもの。	大集落を防御する目的で建設されたもの。本来の二線堤の機能を備えている。	近代治水施設整備段階以前において、地域防災を主として建設されたもの。	人工構造物（道路、鉄道、支川堤防）により本川堤に対し、二線堤の形状を示すもの。
形 状					
特 色	扇状地もしくは急流河川に多くみられ、霞堤はそのまま残されることが多い。霞堤には遊水効果をねらったものと、二線堤の機能を色濃くしたものがあるが、後者のケースでは住民の反対が強く撤去されることは少ない。	ショートカットをした場合、旧堤が一時残存し、二線堤の役割を果たすことがある。昭和56年小貝川の破堤では、残存する旧堤が竜ヶ崎市街を氾濫から防いだ。	常襲破堤地点下流に建設され、二線堤上流は遊水池のような形状となっている。	ある集落の本堤が破堤すれば輪中堤そのものが二線堤となり、特定の集落が犠牲となって堤内地全体の安全を保障する。	
事 例	・福島荒川 ・安倍川 ・庄内川 ・豊川 ・庄川	・太田川（静岡） ・小貝川 ・木曽川中流部 ・富士川 ・太田川 ・岩木川 ・雲出川 ・梯川	・中条堤（利根川） ・四方寺堤（利根川） ・横手堤（荒川） ・佃堤（荒川）	・木曽川輪中堤（下流部を除く） ・根古名川（利根川）	事例多数

図 2-1-2 成立過程からみた二線堤の分類²⁾

については、存在位置がすべて緩流部である点が上げられる。このことは、二線堤が機能を発揮するのは、比較的氾濫流の流れが穏やかな緩流部であることを示していると考えられる。

2.2 二線堤の効果に関する検討

既往の二線堤に関する調査・研究は、現存する二線堤に関して、主に治水史的な観点から、成立過程、成立時の治水上の意義、現況などを調査したものが多いように見受けられるが、いくつかの既往調査では、二線堤が治水効果を発揮した事例について、効果の検討がなされている。ただし、多くは定性的検討に留まっている。以下に、二線堤が治水効果を発揮した事例、効果の検討が行われた事例をいくつか紹介する。

○荒川中流域の二線堤

「土木研究所資料 荒川流域の二線堤に関する調査報告書」²⁾では、荒川中流域のかつての氾濫常襲地帯に残存する江戸期の二線堤について事例調査を行い、洪水被害軽減対策としての可能性を検討している。

ここで取り上げられているのは、荒川中流域の埼玉県比企郡吉見町にある横手堤及び旧大囲堤、埼玉県富士見市と志木市の境界にある佃堤である。断面形状からみて脆弱と考えられる横手堤、佃堤については、本川堤防の越水破堤に対して耐久力がないと考えられ、小規模の氾濫や内水氾濫にのみ効果が期待できるとしている。一方、本堤並みの高さを有する旧大囲堤については、本川の越水破堤にも耐えられるとしている。実際、昭和13年の大出水の時に、本川堤防の破堤により吉見全域が被害を被ったが、旧大囲堤と新堤に囲まれた地域は浸水を免れたという。

また、横手堤、旧大囲堤の現況での氾濫水の拡大防止機能（氾濫流堰止め機能）及びそれぞれに設置されている陸間幅と締め切りの影響について、開水路ポンドモデルによる検討が行われている³⁾。それによると現況二線堤があることにより、二線堤下流での①ピーク流量の低減、②氾濫水先端及びピークの到達時間の遅延、③最大流速・水深の低減の効果がみられるという結果が得られている。また、検討ケースの条件下では、陸間形態の相違の影響は小さかったとしている。このように、二線堤の効果は、破堤点と二線堤の位置関係等に大きく影響を受ける点が、効果の評価に際しての難点である。

○中条堤

中条堤は、利根川中流の酒巻・瀬戸井とよばれる狭窄部の上流右岸、支川福川が利根川に合流する付近に接続して、利根川とほぼ直角方向にのびている。対岸には利根川の上流に向かって文祿堤と呼ばれる堤防がのびており、狭窄部を中心に両側にのびる二つの堤防は漏斗状となっている。江戸時代初期から、漏斗状部分の上流側は中規模以上の洪水時に意識的に氾濫させ、下流側への氾濫流下を防止してきた。この控堤により利根川下流部の洪水が調節されてきたことから、利根川治水の要としての役割を担ってきた。中条堤より上流には妻沼をはじめ大小の集落があるが、ここには集落を囲む小堤があるとともに、住居は盛土した水屋となっている。

宮村³⁾は明治43年洪水による中条堤上流の浸水位をもとに遊水効果を試算しているが、遊水地面積49km²、遊水地容量1.12億m³にもものぼり、渡良瀬遊水地を上回る規模であるとしている。

○輪中堤

木曾川・長良川・揖斐川の下流域は、古来洪水常襲地帯であった。これら木曾三川下流域の西美濃輪中地帯

には、輪中と呼ばれる堤防に囲まれた集落が存在する。輪中堤は、もともと自然堤防の微高地を繋いで形成されたものである。

輪之内町の福束輪中は、西美濃輪中地帯のほぼ中央に位置し、東を長良川、西を揖斐川、南北を長良・揖斐川を結ぶ小河川で囲まれている。近年の河川改修の進展により、洪水への危機感が薄れると同時に、地域を分断する、道路整備の邪魔になるなどの意見が多くなり、福束輪中も北部にある中村川左岸堤の撤去が検討されていた。しかし、昭和51年9月12日、台風17号により輪之内町の北側に位置する安八町の長良川右岸が破堤した際、切割部（道路が輪中堤を横断する部分）に土壌が積まれ、羽目板を落として締め切ることで、氾濫流の伝播が阻止された。このように、決壊地より下流で標高が低いにも関わらず、福束輪中は氾濫水の流入を防止できた。しかし、上流側の森部、中村、中須、大明神、北今ヶ淵、墨俣などの輪中は撤去されていたため、大きな被害を受けることとなった。

この災害の後、輪之内町では輪中堤の有用性が再認識され、保存が決定された。

○茨城県竜ヶ崎市並木堤⁴⁾

茨城県竜ヶ崎市の主要部分は沖積低地であり、古来小貝川などからの洪水氾濫に悩まされてきた。そのため、市の周辺では、水塚や小貝川の流路と平行する横堤等の水防施設が作られてきた。旧小貝川沿いに発達した自然堤防上には、古い集落が東南方向に連続しており、その堤内地側に竜ヶ崎の旧市街地がある。この自然堤防は17世紀中頃から土盛りされ、集落の控堤として活用されるようになった。特に竜ヶ崎旧市街地を守る控堤は松並木となっていて、並木堤と呼ばれている。

昭和56年8月の小貝川の破堤氾濫では、並木堤に3kmにわたって土壌が積まれ、旧市街地への氾濫の拡大が阻止された。並木堤で止まった氾濫流は、南の論所排水（江川）を通じて流下した。

一方、並木堤よりも小貝川の方に進出していた新市街地では多くの浸水被害が発生した。

○日本堤と隅田堤（東京府）⁵⁾

日本堤は、江戸時代に荒川（現在の隅田川）右岸に築造された堤防で、荒川から斜め方向に約1.4kmの長さで敷設されていた。対岸の左岸には、荒川に沿って隅田堤と呼ばれる堤防が延びていた。これらの堤防が接近する部分は、漏斗状をなす狭窄部を形成しており、堤の上流を遊水地帯として、浅草より下流の江戸市街地へと氾濫水が流下するのを防いでいた。堤防より上流域の堤外地は水田を主とした土地利用となっていた。

明治29年の利根川洪水では、江戸川右岸からの破堤に伴う氾濫水が中川、綾瀬川を激しく襲い、破堤させた。しかし、中川、綾瀬川が破堤し、同時に荒川の洪水が重なったにも関わらず、これらの二線堤により東京府下の市街地は浸水を免れたという。一方で、これらの二線堤より上流の埼玉県側は水害を被っていたが、その抜本的解決策となったのが、荒川放水路の開削である。

○仮想的な氾濫流制御施設の設置効果の検討事例

福岡ら⁶⁾は、「A川」流域を対象とした氾濫解析により、樋管、樹林帯の設置、道路の嵩上げ（道路高が低く水が集中する区間約100mに対して1mの嵩上げ）を行うことによる氾濫水の排水の迅速化について検討している。この検討における道路の嵩上げは、堰上げた氾濫水を樋管まで誘導して速やかに排除するためのものであり、氾濫区域の分割という二線堤の主機能とは少し目的が異なっている。しかし、これらの対策により、浸水面積及び床上浸水以上の浸水割合の減少、氾濫水の到達時間の遅延化などの効果が得られるとしている。

2.3 二線堤により生ずる利害関係についての検討

二線堤には、氾濫原を区切ることで市街地など資産が集中した区域を防御する、下流への氾濫流の拡散を防ぎ、氾濫流の到達時間を遅くするなどの効果がある。二線堤の存在によりこのような利益を得る区域もあれば、二線堤の存在によりかえって大きな被害を被る区域もあり得る。

二線堤設置により、場合によっては、ある程度の氾濫の許容を強いる区域が生じることになるかもしれない。そうした場合に、二線堤による防御区域と、場合によっては二線堤設置により被害が増大する区域の間での感情的な溝が生じ、不利益を被ると考える区域の人々が不公平感を持つ可能性がある。歴史的にみても、為政者が意図的に治水安全度に違いを設けて被害軽減を図った場合、防御される側と被害を被る側との間で、堤防の高さや強度を巡って論争が繰り返されてきた。このような堤防は「論所堤」と呼ばれている。例えば、利根川の中条堤の場合、上流の氾濫域である上郷と防御される下郷との間でたびたび争議が繰り返された³⁾。

このように、二線堤の導入は、「河道内に洪水を閉じこめておくことによる治水」の枠を越え、「場合によっては浸水を許容する」ような治水手法の導入へと踏み入れる可能性を有している。二線堤の是非に関する議論は、今後、流域全体を視野に入れた治水のあり方を探っていくうえでさけては通れない議論、すなわち、「氾濫許容型治水」のあり方に関する非常に根元的な問いかけへと行き着く。いかにして不利益を被る区域の人に対して相応の手当をするか、法制度上も「氾濫許容」区域をどのように位置づけるか等々である。これらは、より多くのスペースをさき、より掘り下げた考察を行う必要のある内容であるが、ここでは、過去の検討事例として、以下の参考文献を紹介しておくにとどめる。

山本による「洪水防御による受益および負担の調整に関する調査資料 ー総合的な治水対策のためにー」⁴⁾では、計画遊水地における補償方式、河川管理者からは土地利用の制限を課されていない常襲湛水地である「自然遊水地」の補償問題、木曾川の輪中堤やバイパス建設に伴う内水氾濫対策などの論所堤に関する事例調査が行われており、二線堤の設置により生じる問題を考える上でも参考となる有益な知見が述べられている。

このなかで、自然遊水地について言及された部分を紹介する。自然遊水地は、法による厳格な規定に基づかない「氾濫許容」の事例として、二線堤のように計画的な氾濫域としての規定をとまなわない(と考えられる)氾濫許容方式に類するものと考えからである。

洪水防御計画において明確に位置づけられ、河川管理者の管理に服する遊水地は「計画遊水地」と呼ばれている。それに対して、元来自然的に常襲湛水地であることにより、下流の流量増を抑制する機能を有しているような場所は「自然遊水地」と呼ばれている。計画遊水地では、地役権の設定、湛水による損失を補填する基金の設立など、湛水による損失に対する調整が行われているが、自然遊水地に対しては、現在、河川管理者からの土地利用の制限はなされておらず、それ故、湛水被害に対して河川管理者からの補償はない(このような土地は通常都市計画法第7条によって市街化を抑制すべき市街化調整区域とされている場合が多い)。

報告書では、流域管理的な視点から、自然遊水地を下流のための洪水防御施設として明確に位置づける必要が生じた場合には、自然遊水地区の地権者から、何らかの対処(浸水の解消や補償等)が求められることになるだろうとしている。さらに、「今後、自然遊水地を明確に治水計画の対象とする場合には治水投資の受益の

調整組織と調整原理の確立がもめられることになろう」というように、受益者負担制度の導入による解決の可能性を示唆している。二線堤の導入に対する社会的な反応を考えると、一考に値する内容である。

第3章 氾濫流制御を考慮した治水計画の事例 — 水害に強いまちづくり（宮城県鹿島台町、大郷町、松島町）の二線堤 —

ここまでにとりあげた事例は、新規の治水事業や道路等河川以外の整備により結果として二線堤となったものや、意図的に築造された二線堤ではあるがその成立年代が古いものが多い。今後の河川計画において二線堤を積極的に整備していくうえでの参考とするためには、現在の社会状況のもとで二線堤整備を行った事例を調査するのが望ましい。そこで、鳴瀬川流域の宮城県鹿島台町、大郷町、松島町の二線堤整備事例^{7), 8), 9), 10), 11)}をとりあげ、整備の経緯、二線堤計画の方法、それに対する住民の反応等について調査した結果を報告する。

3.1 水害に強いまちづくりの概要

宮城県中央部のやや北よりに位置する鹿島台町、大郷町、松島町は、昔から一級河川鳴瀬川及び右支川の吉田川の氾濫で大きな被害を被ってきた。丘陵地と川に挟まれるように位置する3町域は、もともと品井沼と呼ばれた湖沼地帯であり、元禄時代からの干拓によって農地として開発されてきた。しかし、もともとが低湿地

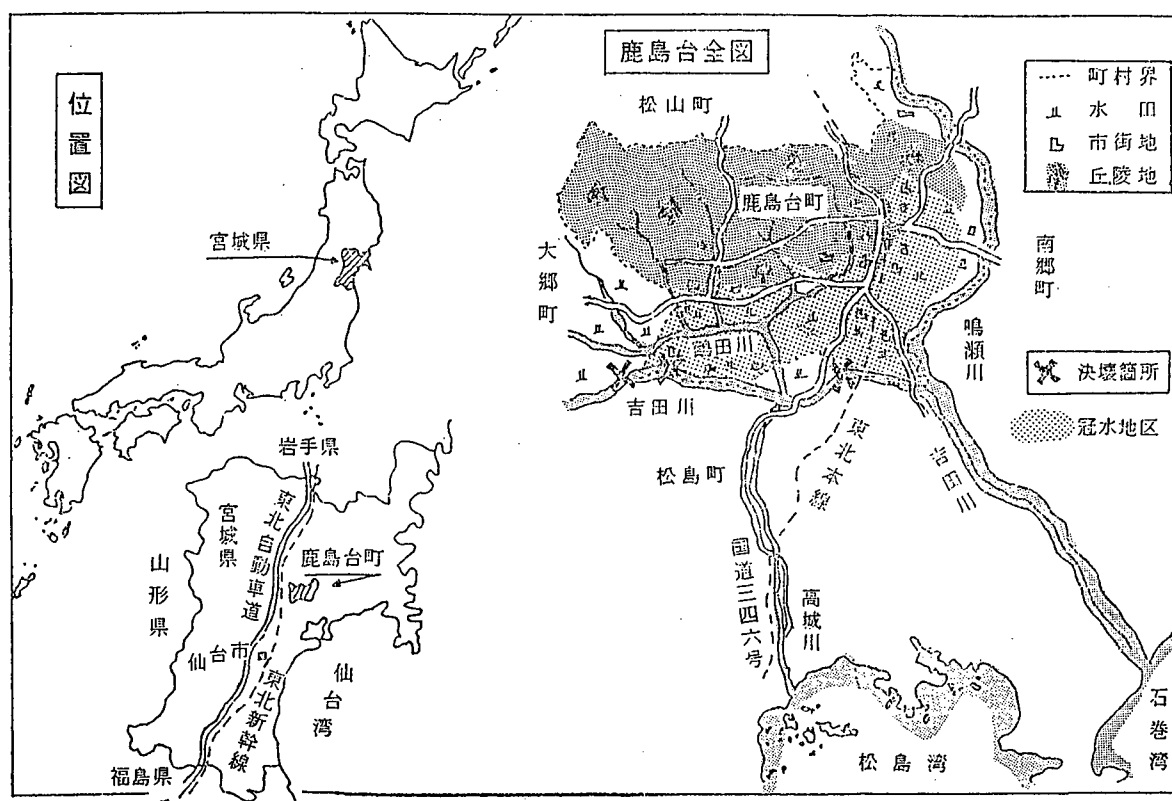


図3-1-1 鹿島台町・大郷町・松島町の位置と昭和61年災害の堤防決壊箇所

帯なことから、浸水常襲地帯となっていた。大正時代からは、国による本格的な河川改修が開始され、昭和25年以降は大きな水害に見舞われることもなかった（図3-1-1）。品井沼干拓地は、昭和33年9月洪水を契機として立てられた計画により遊水地とされている。

しかし、昭和61年8月5日、記録的な豪雨により、吉田川の左岸4箇所（うち、1箇所は上流の大和町）で破堤し、水田5,660ha、家屋2,300戸浸水、排水機場も全て浸水するという激甚な被害が生じた。これを契機に、吉田川は直轄河川激甚災害対策特別緊急事業に採択され、昭和63年には、鹿島台、大郷、松島の3町は、二線堤や水防災拠点などの総合的な整備による「水害に強いまちづくり事業」のモデル地区に指定された。翌平成元年3月には、鹿島台、松島、大郷の3町を対象とした「水害に強いまちづくり基本構想」が策定された。「水害に強いまちづくり事業」は、平成4年度に「耐水型地域整備事業」へ、平成9年度には「冠水被害軽減対策事業」と事業名を変えながら、着実に推進されている。

この事業は、吉田川の河道改修、側帯の整備、二線堤の設置、水防災拠点の設置、氾濫水排水の迅速化、警報・避難システムの整備、洪水被害に対する補償制度の整備などから成り立っているが、とりわけ事業の柱となるのが、氾濫水から鹿島台の中心部を守るために輪中状に設置される二線堤である。また、構想段階ではあるが、氾濫流制御に併せて適切な土地利用の誘導（規制）も検討されている。

3.2 二線堤整備の概要

二線堤は、市街地が密集している鹿島台駅周辺及び住宅密集地域を堤防（輪中堤）や道路の嵩上げによって囲い、鳴瀬川や吉田川の堤防が破堤しても家屋等が浸水することがないようにするものである。氾濫区域の分割は、いくつかの案を作成し、それぞれの案に対して吉田川、鳴瀬川の数カ所を破堤地点と想定して氾濫計算（開水路ポンドモデル）による検討が行われた。その結果、氾濫する区域は浸水深を考慮して大きく2分割されることとなり、鹿島台町中心部は輪中堤により完全に防御されることとなった（図3-2-1、図3-2-2）。

二線堤そのものは、大きく分けて、国道346号バイパス区間（計画延長5,620m、高さ6.6m、県の道路事業費により事業中）、河川単独区間（計画延長1,100m、完成）、現道嵩上・拡幅区間（計画延長635m）から成る。

破堤が生じた場合の被害軽減効果は、流域をブロックに分割した開水路ポンドモデルによる氾濫計算により検討されている。それによると、二線堤の整備により、多くのブロックの最高湛水深は昭和61年8月実績洪水よりも低くなる。二線堤近傍の一部のブロックについては、湛水深の上昇が他よりも大きいという結果になっているが、湛水深の上昇率は数％であり、家屋に対する被害についても、治水経済調査による被害区分で見ると違いがないなどから、特に問題になる程度ではないとしている。

3.3 二線堤形状の決定過程

3.3.1 基本方針

二線堤整備計画の基本は、中心市街地を守るための二線堤の形成、周辺集落のブロック化による氾濫拡大の

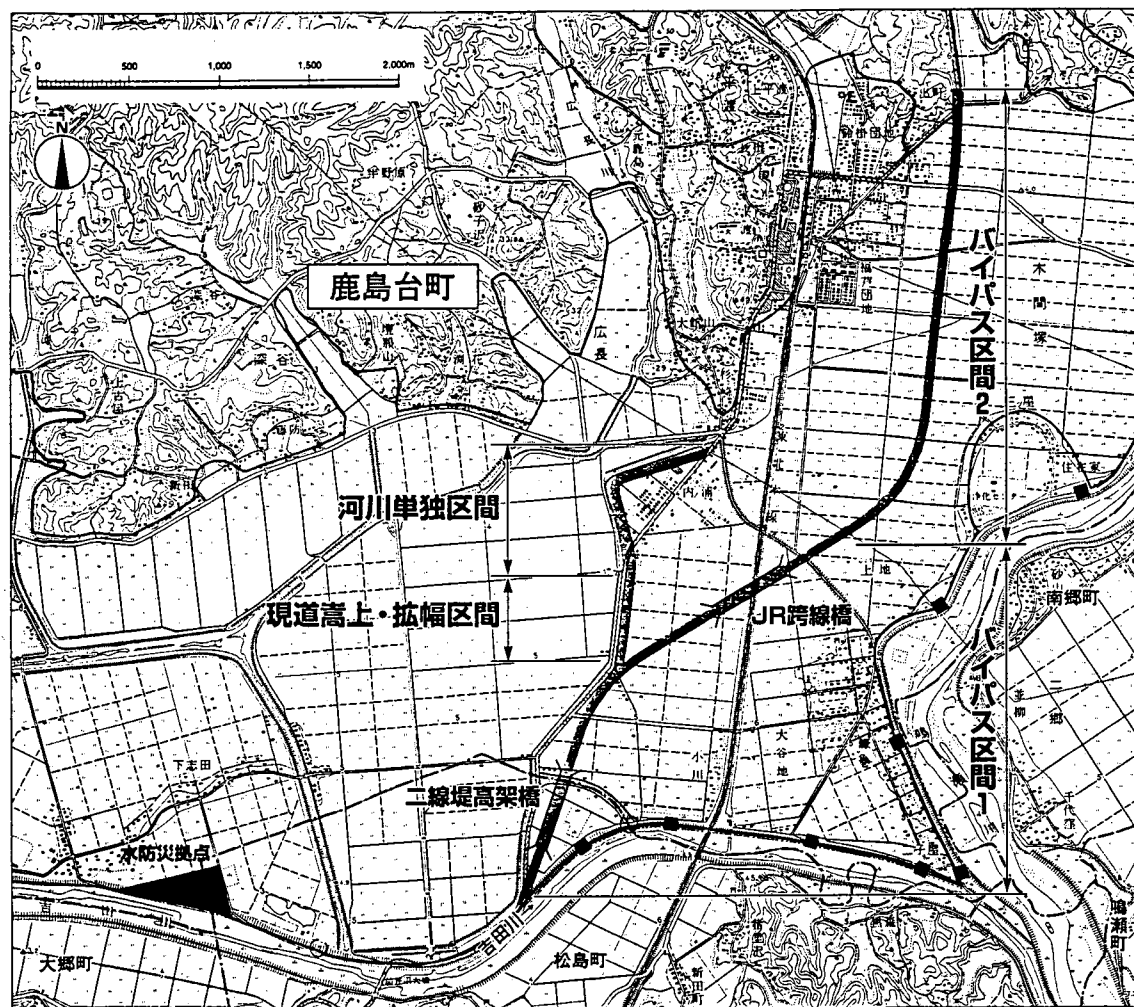
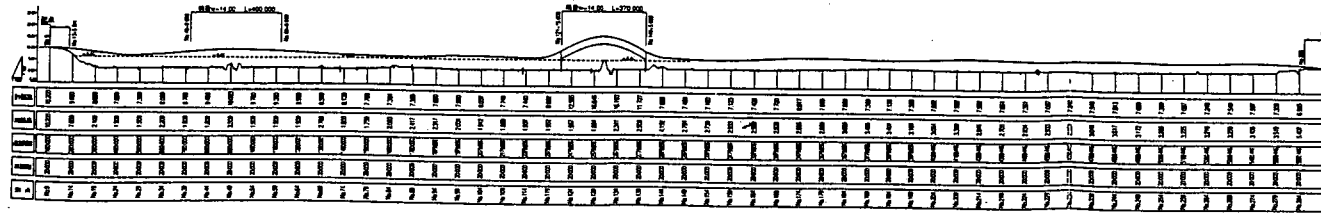


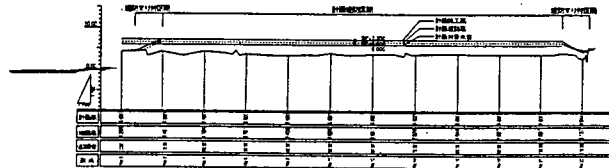
図 3-2-1 二線堤の位置図（建設省東北地方建設局北上川下流工事事務所パンフレット「水害につよいまちづくり」より）

■縦断面図

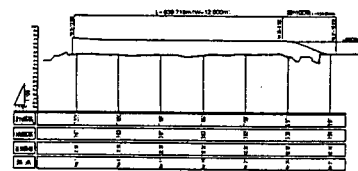


バイパス区間1・2

河川単独区間

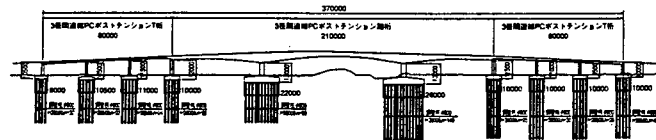


現道嵩上・拡幅区間

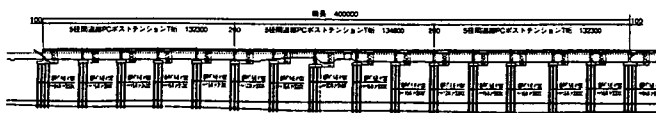


■橋梁部側面図

JR跨線橋

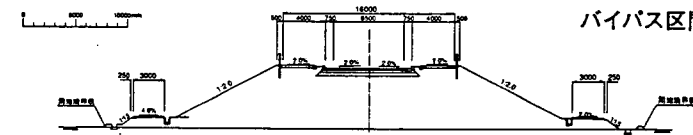


二線堤高架橋

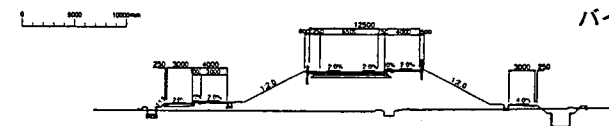


■標準横断面図

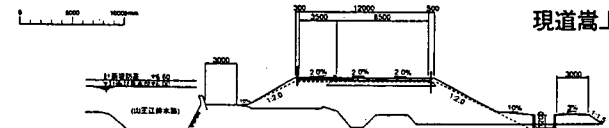
バイパス区間1



バイパス区間2



現道嵩上・拡幅区間



河川単独区間

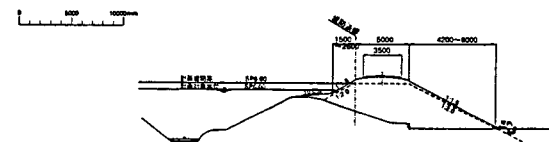


図 3-2-2 二線堤の形状（建設省東北地方建設局北上川下流工事事務所パンフレット「水害につよいまちづくり」より）

防止の2点である。氾濫区域の小分割は地域全体の被害を大きく軽減するが、一方では氾濫区域の被害の増大が著しくなり、住民のコンセンサスを得にくい。このため、中心市街地を囲繞し、氾濫域を大きく二分する二線堤により氾濫の拡大を防止するという方針がとられた。また、二線堤を国道346号バイパスと兼用することで事業の効率化を図るとともに、洪水時の河川巡視、水防活動、救助活動、復旧活動等緊急時の通路として有効利用できる形とすることとされた。

3.3.2 ルート

上記の基本方針のもと、ルートが決定された。市街地西側のルートは、既存の品井沼遊水地周囲堤に合わせの形で決定され、市街地東側ルート（バイパス区間）は、平成7年の都市計画マスタープランなどの計画との調整により決定された。すなわち、氾濫流の水利特性だけでなく、既存の施設や今後の土地利用計画等を考慮してルート選定された。

3.3.3 高さ

二線堤の構造上最も重要な要素である二線堤の高さであるが、決定には以下の点が考慮された。

- ・ 昭和61年8月洪水の実績氾濫水位がS. P. 5.6mであること
- ・ 現存の二線堤の連続盛土の高さが概ね6.0m程度であること
- ・ 特にJ R東北本線が平均的にS. P. 6.0mであること（二線堤が高いと交差部の構造が複雑になる）
- ・ 避難路等の利用を考えると昭和61年8月実績＋余裕高程度が良い点
- ・ 氾濫拡大防止施設により従前にくらべ被害の増大する区域が生じないこと
- ・ 氾濫解析結果から概ね妥当な高さであること

上記より、S. P. 6.0mに「河川管理施設等構造令」の最低余裕高0.6mを足したS. P. 6.6mとした。

3.3.4 その他（流下断面）

鹿島台町の二線堤計画で特徴的なのは、バイパス区間において「二線堤高架橋」、「J R跨線橋」の高架区間がある点である。ヒアリングによると、J R跨線橋部分は閉鎖し、鹿島台市街区域への浸水を防御することであるが、「二線堤高架橋」（小川地先）については高架部を閉じず、氾濫水の疎通を許すとのことである。

「二線堤高架橋」を開いたままとする理由は、氾濫時に二線堤の東西どちらかの湛水位が上がり過ぎるのを防ぎ、住民の不公平感を緩和することにあるという。なお、計画策定時の検討では次のような経緯から、二線堤に疎通断面を設けることとされた⁸⁾。

二線堤バイパスは、バイパス機能の他に管理用通路等の機能も兼ねることから、破堤氾濫時にも通行不能となるような氾濫流の越流はさけなければならず、湛水深を二線堤計画水位のS. P. 6.0m以下に保つ必要がある。氾濫解析（開水路ポンドモデル）を行った結果、連続盛土で計画した場合に一部で二線堤の計画水位を越える可能性があることが判明したため、小川地先に疎通断面を設けることとした。氾濫解析により、断面幅を360mとすることで、S. P. 6.0mに抑えられると判断され、連続高架式での疎通断面確保が計画に入れられた（二線堤高架橋の橋長は400m）。

二線堤計画の策定においては、浸水を許容する区域での湛水深の制御を検討する必要がある。二線堤の破堤防止や通路機能確保のため、越水しない水深に抑えたり、区域で許容できる浸水深以下に抑えたりする必要がある。

あるからである。鹿島台町でみられる高架部分は、そのような湛水深制御の方法の一つである。

3.4 二線堤設置に伴う調整手法

鹿島台町の中心地区は、二線堤（輪中堤）によって囲まれることにより治水安全度が増し、それに伴う市街地の拡大が予想されるが、二線堤の外側は水田及び水田所有者の居住地となっている。この地域の無秩序な市街化を抑制し、洪水時の被害を大きくしないため、輪中堤の外側における宅地化規制条例の制定等が検討された。同時に、住宅のピロティ化や住宅盛土に対しての行政による一部費用負担なども検討された。しかし、これらの施策には住民の私権の制限が含まれるため、未だ制定されていない。

平成2年7月に取りまとめられた「鳴瀬川水系吉田川 水害に強いまちづくり事業計画書（参考資料）¹⁰⁾」では、土地利用の誘導と規制条例に関する以下のような試案が示されている。

(1) 誘導条例・規制条例の試案（鹿島台町低平地部防災区域建築条例(案)）

建築基準法第39条¹⁾の規定による災害危険区域としての低平地防災区域の指定及びその区間における災害防止上必要な建築物の敷地及び構造による制限に基づき、標高 8.00m 以下の区域を低平地防災区域（第1種地：出水による危険のおそれのある農用地の存する区域、第2種地域：出水による危険のおそれのある農村集落の存する地域）を指定する。さらに、第1種区域においては、区域内に住宅・併用住宅・共同住宅・寄宿舍の他、常時居住の用に供する建築物を建築してはならない、第2種区域において建築物を建築する場合においては、建築物の地盤面の高さは、標高 6.00m 以上とする、低平地防災区域内において建築物を建築する場合においては、建築物の構造は、耐水構造とし避難設備を設置しなければならないとしている。

(2) 鹿島台町を水害から守る条例

町長は、鹿島台町を水害に強い構造とするため、「水害防備保全区域（吉田川・鳴瀬川及び鶴田川とこれと一体をなして低平地の様相を呈している区域）」、「地域発展促進区域（水害に強い構造により住民が安心して居住できる区域）」を指定することができる。水害防備保全区域においては、建築物その他の工作物の新築・改修・増築又は移転、宅地の造成・土地の開墾・土石の採取又は集積その他の区画形質の変更などを行う際は町長の許可が必要となる。

(3) 水害に強い居住地整備事業

「鹿島台町における河川の堤防と二線堤に囲まれた低平地において、氾濫水による壊滅的な被害を軽減させ、水害に対する強い構造を有した地域構造の形成を促進し、町の適正な発展と活性化等を図るため、河川の堤防と二線堤に囲まれた低平地の宅地の耐水化建築を促進させる」として、吉田川堤防、鳴瀬川堤防及び二線堤に囲まれた標高 6m 未満の低平地での家屋の新築、改築に対して、耐水構造（ピロティ等）建築への改築費、盛土を伴った家屋の新築費（盛土費用）の一部を補助するというもの。

(4) 補償制度

¹⁾建築基準法第39条（災害危険区域） 1.地方公共団体は、条例で津波・高潮・出水等による危険の著しい区域を災害危険区域として指定することができる。 2.災害危険区域内における住居の用に供する建築物の建築の禁止その他建築物の建築に関する制限で災害防止上必要なものは、前項の条例で定める。

二線堤堤外地区の既存家屋等への補償制度が検討された。税制上の優遇、融資・融通・補助・貸付の優遇、見舞金・義援金、水害保険制度、町民災害準備基金などが検討項目である。

3.5 住民の意識

「災害に強いまちづくり」では、河川改修により治水安全度は向上するものの、二線堤により完全に防御される地区（鹿島台市街周辺）と防御されない地区（万一の破堤時の浸水を許容）が生じる。このことを住民はどのように受け止めているのだろうか。土木研究所都市河川研究室では、住民の水害への意識、「災害に強いまちづくり」事業全般に関する調査も含め、アンケートを実施した。

3.5.1 調査概要

鹿島台町の8地区（昭和61年8月洪水での浸水被害のあるなし、二線堤の内外を考慮して区分）を対象とし、地区内の家に調査員が無作為で配布（平成10年5月20日配布）、期限を指定して郵送回答して貰った。

調査地区の判別は回答用紙に記した番号で行った。地域区分を以下に示す（図3-5-1）。

- I 東北本線より西の市街地（昭和61年8月浸水なし・二線堤防御地区）
- II 東北本線より東の市街地（昭和61年8月浸水あり・二線堤防御地区）
- III 竹谷地区（鳴瀬川沿いの微高地の集落）（昭和61年8月浸水なし・二線堤非防御地区）
- IV 内ノ浦（品井沼の東側、国道近く）（昭和61年8月浸水あり・二線堤防御地区）
- V 内浦樋管北側の田園地帯集落（昭和61年8月浸水あり・二線堤非防御地区）
- VI 鎌巻地区（鳴瀬・吉田川旧合流点近く）（昭和61年8月浸水あり・二線堤非防御地区）
- VII 下志田地区（昭和61年8月浸水あり・二線堤非防御地区）
- VIII 品井沼北側山際（昭和61年8月あり及びなし・耐水型地域整備事業による防御地区）

※上記において、二線堤防御地区とは市街地を取り囲む輪中状のブロックの市街地側を意味する。

3.5.2 質問内容

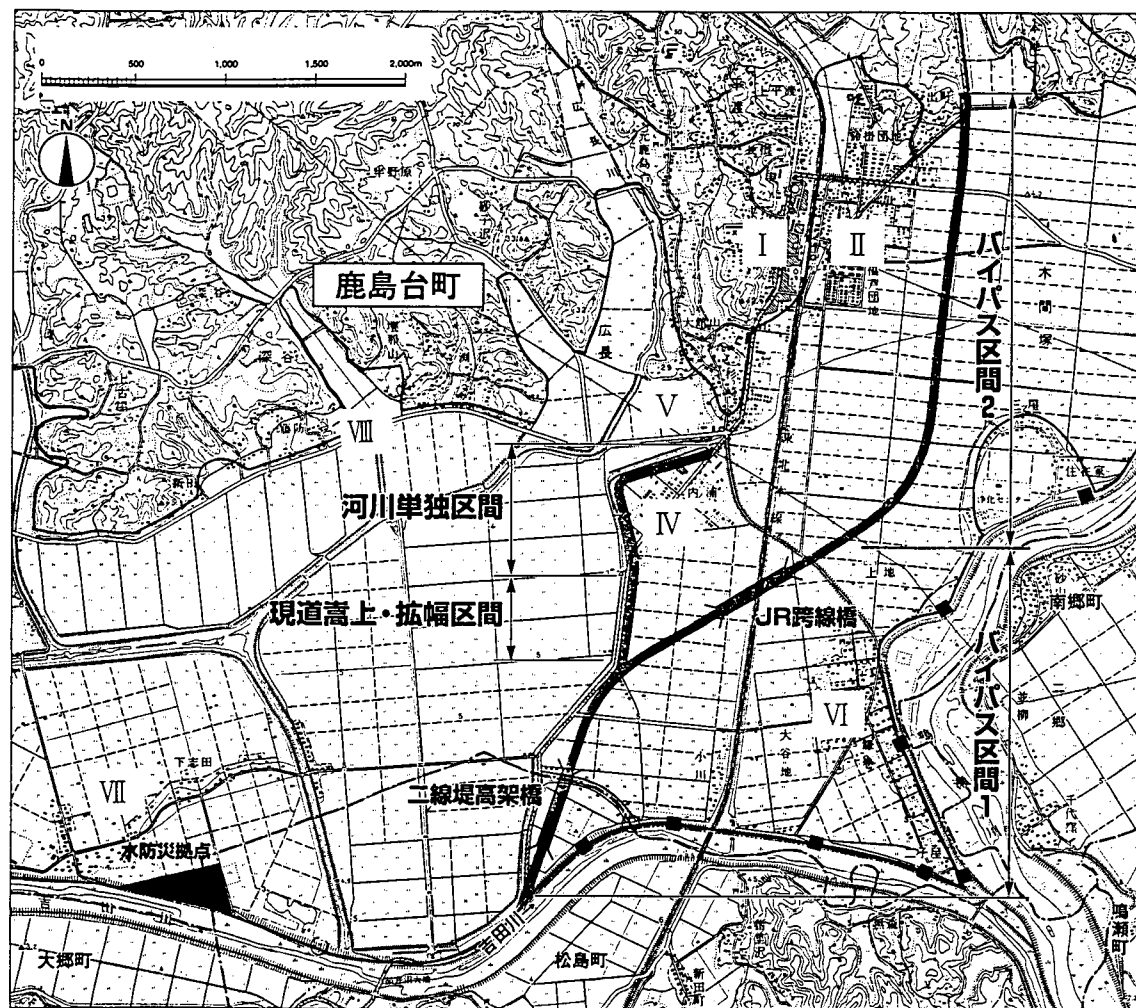
家族構成、昭和61年8月吉田川水害の経験の有無、被害内容、家庭での水害対策の有無、各戸防災無線（町が配布）の利用、洪水ハザードマップの認知・利用、二線堤の認知・整備への意見、水防災拠点の認知、自由意見

3.5.3 回答状況

1地区につき10戸、計80通を配布した。うち、返送されたのは32通（回収率40%）であった。各地区でみると、I（線路より西市街地）の2通が最低で、VIII（品井沼北側山際）の6通が最高である。各地区平均で4.0通であった。

各質問項目に関する回答率は高かったが、各自の書き込みの欄などでは、質問内容とずれた回答もみられた。

3.5.4 結果



III

図 3-5-1 調査票配布区域（建設省東北地方建設局北上川下流工事事務所パンフレット「水害につよいまちづくり」をもとに作成）

・家族構成

家族の人数の平均は4.94人。農業地域ということもあり、祖父母（あるいは片方）と同居している世帯が多く、明らかなだけで21世帯ある。災害弱者である高齢者をもつ家庭が多いとみることができる。

・昭和61年8月の吉田川水害の経験および被害（図3-5-2、図3-5-3）

回答者32人中、29人が水害を経験している（91％）。

また、その時の被害の有無を聞いた結果は、当初地区分類で想定した浸水の有無とほぼ対応した結果となっており、Ⅰ、Ⅲ地区の回答者（6人）は浸水被害なしとしている。被害内容を聞いた結果、回答を記述した人では床上浸水による家財道具、家屋への被害が最も多い。回答中の最大浸水深はⅦ地区（下志田地区）の床上2.6mである。また、田園地帯の集落では、農作物への影響（収穫なしなど）、農機具の被害をあげた人が多かった。

・家庭での水害対策（図3-5-4、図3-5-5）

避難場所の確認は、あり（20人）、なし（12人）であった。特徴的なのは、昭和61年水害の被害を受けなかったⅢ地区（竹谷地区）では、全ての回答者が避難経路の確認をしていないことである。しかし床上浸水被害を被った世帯でも、避難経路を確認していない世帯がみられた（7人／28人）。特に、昭和61年水害で甚大な被害を受けたⅦ地区（下志田地区）では、床上2mおよび天井までの浸水を経験した2世帯が避難経路の確認を行っていないとしている。この理由として、地域の危険性から避難場所を知っていることは当然であるから、避難は不可能だからの二通り考えられるが、今回のアンケートからは分からなかった。ただし、2世帯のうちの1世帯は、家庭での水害対策を講じていない理由として、「地理的条件、物理的条件、吉田川上流の開発などを考えるとあきらめに近い心理だから」としている。

家庭での備えについて、対策ありとした人は12人（ただし、避難場所の確認のみの人は除き、不明とした）で、その内容は、「物置小屋の屋根裏を改修してものをあげられるようにした」、「家屋新築時に盛土」、「農協の建物更生保険への加入」などをあげている。対策開始時期は、昭和61年の水害後が多い。また、水害時の対策なしと回答した人のうちの2人は、「せいぜい避難場所に早く行けるくらい」、「あきらめに近い心理」と書いており、水害が起ってしまったら被害は避けられないと観念している向きもある。

・各戸防災無線の利用について

鹿島台町では、携帯可能な防災無線を、各戸に配布している（自治省管轄の補助で行われた）。通常時は消防・水防演習や交通安全等のお知らせなどに利用されているが、昭和61年以降大きな水害を経験していないため、実際の災害で利用された例はない。

アンケートでの各戸防災無線の利用の有無への回答も、ほとんどが利用経験なしとしている。利用経験ありとした場合も、上記の使用例と、台風時の河川の水位の報告に使用（1人）のみであった。

・洪水ハザードマップについて（図3-5-6、図3-5-7）

ハザードマップの存在の認知については、知っている（22人）、知らない（9人）となっている。

利用のための備えをしているかどうかについては、存在を知っている人のうち11人（11／22）が利用のための備え（壁に貼るなど）をしていると答えている。その11人のうちの2人は昭和61年の水害経験がない（水害経験がない人は全体で3人）。また、備えをしている11人のうち4人は水害による被害を受けて

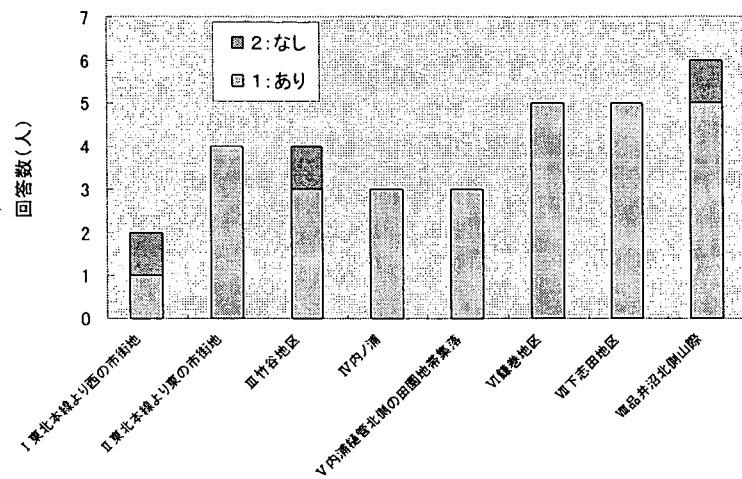


図 3-5-2 昭和61年8月水害の経験

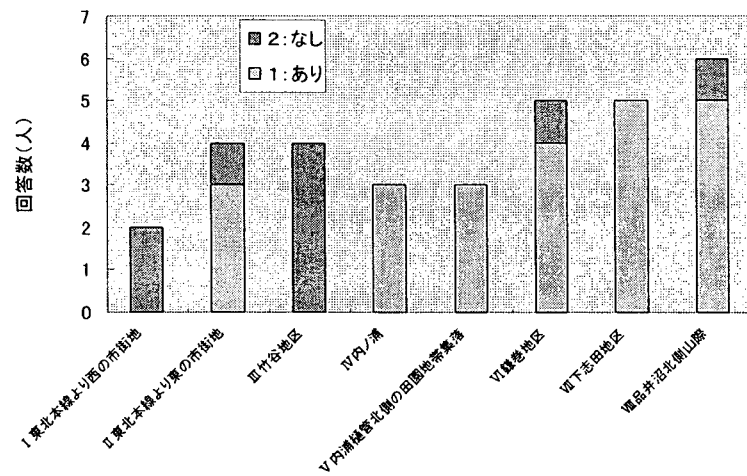


図 3-5-3 昭和61年8月水害による被害

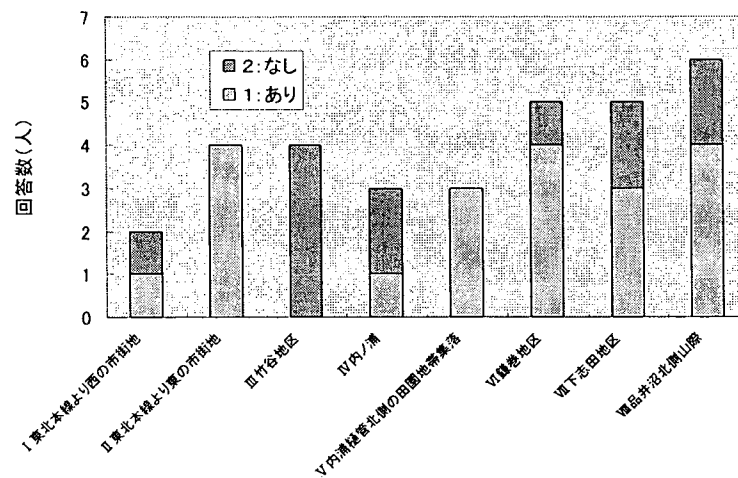


図 3-5-4 避難場所・経路の確認

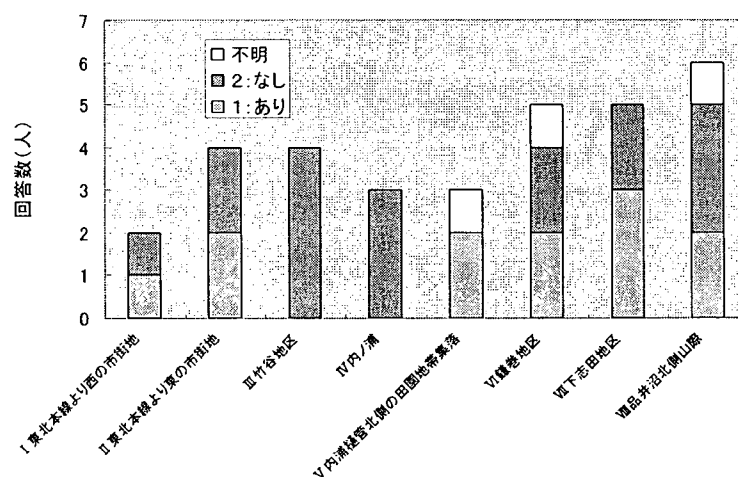


図 3-5-5 家庭での備え

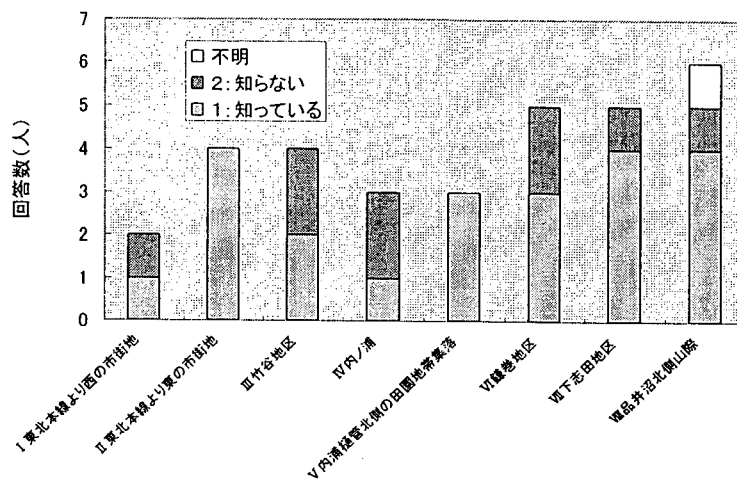


図 3-5-6 洪水ハザードマップの認知

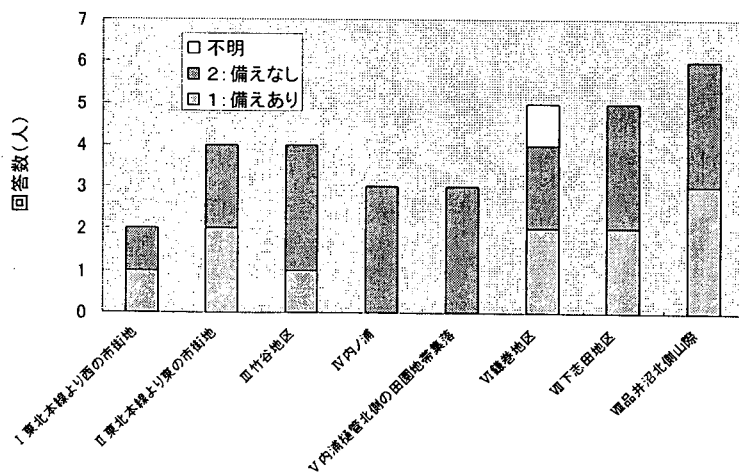


図 3-5-7 洪水ハザードマップ利用のための備え

いない。ハザードマップの利用のための備えは、さほど水害経験と関係ないようにみえる。

ハザードマップの利用経験については、1人（どのような利用を考えて答えたのかは不明）を除いた全ての人で利用経験なしと答えている。これは、ハザードマップ配布後に大きな災害が生じていないことによる。

・二線堤について（図3-5-8、図3-5-9）

二線堤事業の認知度は高く、31人/32人が知っている。これは、事業の規模の大きさ（施工中の二線堤は国道からよく見える）から当然のことと考えられる。

整備についてどう考えているかについては、是非整備すべき（19人）、出来れば整備すべき（9人）、整備する必要なし（2人）、その他（1人）となっている。整備する必要なしとした人は全て二線堤非防御区域に住んでいる人であり、その他の一人も事業への否定的意見を述べており、「二線堤の外側はどうなるのか」としている。整備する必要なしとした人は、その理由として、二線堤非防御区域への対策不足や、二線堤設置以前よりも被害が大きくなることへの懸念を示している。また、出来れば整備すべきとした人にも、それらの問題を指摘する意見が多かった。しかし、昭和61年水害で大きな被害を被ったⅦ地区（下志田地区）では、回答者5人のうち、2人が是非整備すべき、2人が出来れば整備すべき、1人がその他（否定的意見）としており、被害増大の懸念はあるけれども、メリットも大きいため、全体としては二線堤事業について肯定的な意見をもっているのではないかとと思われる。

・水防災拠点について（図3-5-10）

水防災拠点の存在について、31人中11人が知らないと回答している。二線堤に比べて所在地が中心市街地から離れているために、認知度がやや低くなったと考えられる。

・自由意見

今後、国・県・町がどのような事業を行っていくべきか、現在行われている事業についてどう思うかについて、自由に書いて貰った。書き込みがあったのは20名である。

- * 二線堤を早急に整備して欲しい（6人程度）
- * 二線堤整備の事業の進捗の遅さや進め方に関する批判（2人）
- * 何度お願いしても防災無線をつけてもらえない…（1人）
- * 下志田方面以外の川（竹谷川）にも力を入れて欲しい（1人）
- * 二線堤に囲まれた地域の排水不良の懸念（1人）
- * 水害対策等の事業に伴う自然破壊への配慮、浸水、生態に配慮した施工（3人）
- * 情報公開を進めるべき（1人）
- * 防災拠点の下の道路を水田に通うために良くして欲しい（1人）
- * 情報不足への対応（災害時？）（1人）
- * 河道内の樹木の処理、河道掘削の要望（4人）
- * 水害のないまちづくり（吉田川の抜本的改修、バイパス、全面護岸等）（4人）

二線堤事業の早期完成を望んでいるとともに、吉田川河道の流下能力の向上（樹木の伐採、河床掘削）を望む声も多い。住民としては、「水害につよい町づくり」の推進には賛成しているが、やはり「水害のない町づくり」を望んでいると見ることができる。

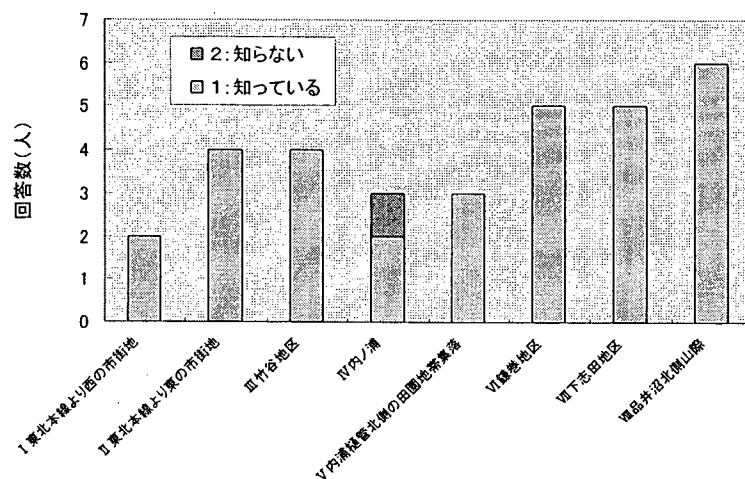


図 3-5-8 二線堤の認知

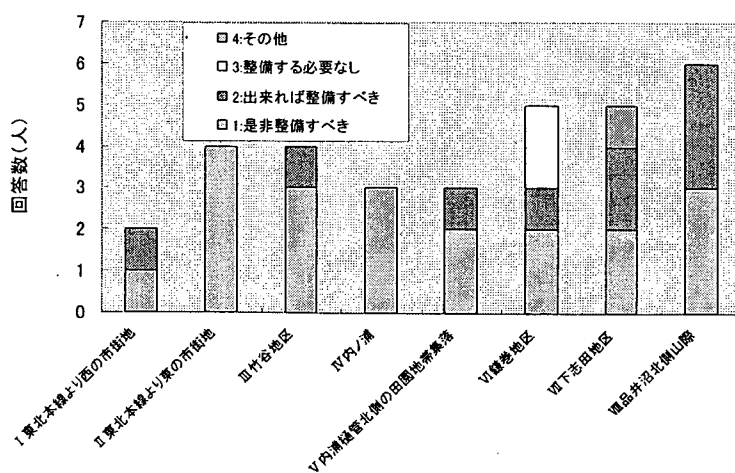


図 3-5-9 二線堤への考え

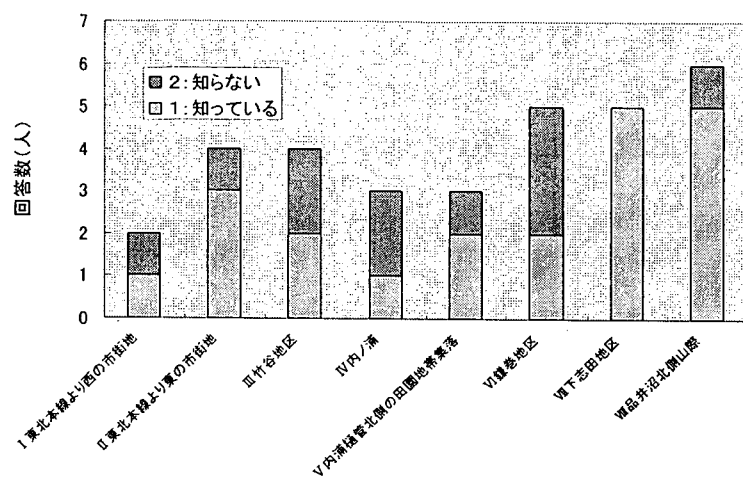


図-3-5-10 水防災拠点の認知

3.6 まとめ（問題点等）

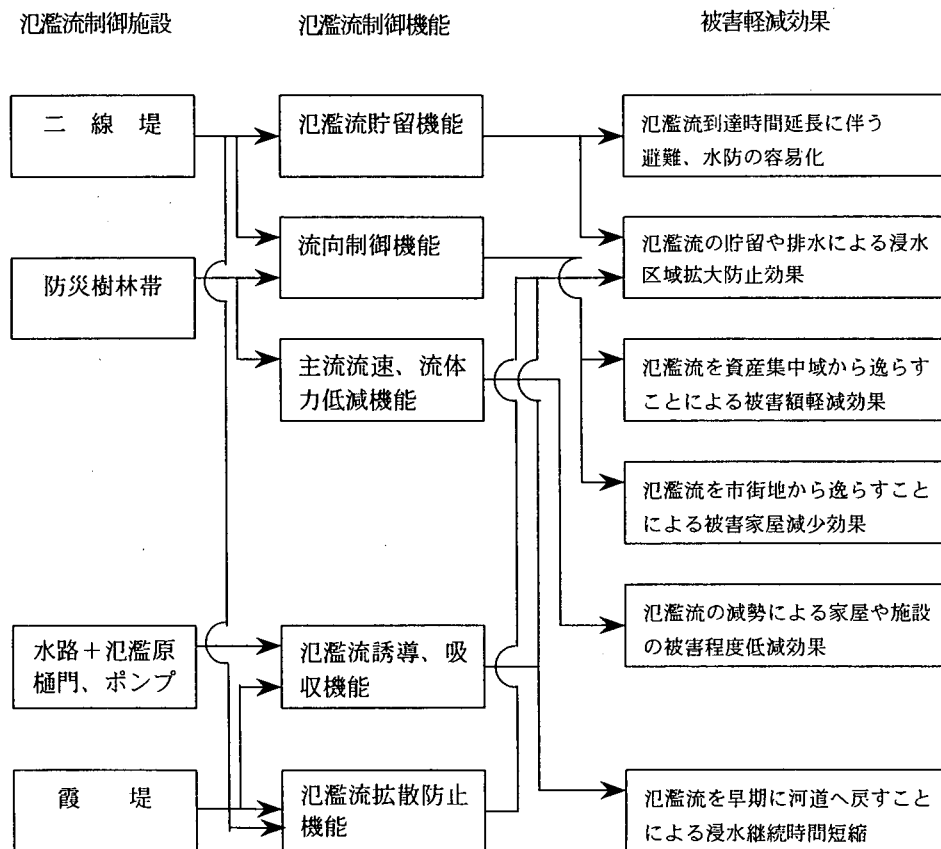
「水害に強いまちづくり」の当初計画では、二線堤や水防災拠点の整備などの構造物による対策に加えて、災害危険区域指定（建築基準法第39条に準拠）による土地利用誘導・規制、危険区域の建物の耐水化への融資斡旋や利子補助、水害保険制度の整備や保険助成、危険区域の集団移転などのソフト対策が検討されていた。しかし、これらは土地所有者の権利に関わる微妙な問題であり、行政としてそれらの施策を実行するのは困難な点も多い。また、建築規制や集団移転を行うためには新たな土地が必要であるが、そのような土地の確保も困難である。したがって、氾濫流制御に伴う調整のための土地利用の誘導、規制のための条例は策定されていない。

二線堤の性質からして、整備により上下流で被害が減少する区域、増大する区域が生じるのは不可避であり、二線堤を挟んだ地域での不公平感や地域対立の芽をはらんでいるともいえる。その点では、昔からそのあり方が地域住民の論争を引き起こしてきた「論所堤」に通じるものがある。封建社会においては、そのような諍いを強権をもって押さえ込むなどの方法がとられたことであろう。しかし、現代社会においては、個々人の権利を尊重し、関係者全ての理解が得られるような解決策が図られなければならない。そのための手段としては、土地利用の規制・誘導、補助、損失に対する補償、保険などのソフト的な対策以外にはありえない。二線堤を含めた氾濫流制御を推進していくためには、そのようなソフト対策を支援するような仕組みを作り上げることが今後の課題である。

第4章 ケーススタディ

破堤氾濫時の市街地における浸水被害軽減を図るための二線堤配置計画を仮想的に立案する。そのモデル氾濫原を対象とした氾濫シミュレーションにより、二線堤の氾濫流制御機能と浸水被害軽減効果を評価し、二線堤に被害軽減効果がある場合とない場合の地形条件や氾濫形態等について整理する。

二線堤の効果は、破堤点と二線堤の位置関係、氾濫の規模、市街地や資産の分布と二線堤の位置関係など、個々の流域固有の条件に大きく左右される。したがって、検討を行うにあたっての条件設定如何により、定量的な効果は大きく変化してしまう。今回の検討では、そのような限界を理解した上で、対象となる氾濫原を3箇所とすることで個々の氾濫原の特性による効果の違いを相対的に比較検討することとし、条件設定における恣意性を極力排除するため、現在の氾濫原が有する条件に即した検討条件を設定する（既存の道路、鉄道の路線に従う）こととする。すなわち、既成市街地の中での設置の現実性を重視した条件設定ものとの比較を行う。



注）氾濫被害軽減効果の程度は、地形条件、氾濫形態、資産分布と施設の位置関係などにより異なる。

図 4-1-1 氾濫流制御施設の氾濫被害軽減効果

4.1 二線堤に期待される機能と効果

一般に、二線堤や防災樹林帯などの氾濫流制御施設に期待される機能を浸水被害軽減効果として、図4-1-1に示す項目をあげることができる。この内、二線堤に期待される機能としては、氾濫流を貯留し下流へ流下させないあるいはこれを遅らせる氾濫流貯留機能や氾濫流を二線堤に沿って誘導し流向を変更する流向制御機能などがある。二線堤下流に市街地がある場合には、避難時間の確保や浸水被害の防止、軽減等を図ることができるものと考えられる。

4.2 モデル氾濫原の概要と対象二線堤の選定

本調査では、モデル氾濫原としてA川右岸、B川左岸、C川右岸の3箇所を対象とする。各対象箇所の氾濫原特性の概要は表4-2-1の通りである。図4-2-1に概要図を示す。モデル氾濫原の設定には、氾濫形態や勾配が異なる場所の間での比較ができることを考慮した。すなわち、氾濫形態については、A川が沿川流下型、B川が拡散型、C川が拡散型・沿川流下型・貯留型の組合せという違いの比較ができ、勾配については、比較的緩いA川及びB川に対して勾配が急なC川という違いの比較ができることを考慮した。2.1で紹介した全国の二線堤実態調査の結果では、ほとんどの二線堤が緩流部（勾配1/500以下）に位置していたが、この分類によるとC川のみが急流部ということになる。

第3章でとりあげた宮城県鹿島台町の二線堤設置事例にみられるように、二線堤路線の選定は、氾濫水に対する水理的効果、被害軽減効果を考慮して行われるとともに、既存の盛土の存在や将来的都市計画に基づき設置される道路計画などを勘案して行われる。

上に掲げた3つのモデル氾濫原における二線堤路線を選定する場合も、河川との位置関係、市街地・資産

表4-2-1 モデル氾濫原の概要

項 目	A川右岸	B川左岸	C川右岸
氾濫形態	沿川流下型	拡散型	上流：拡散型 中流：沿川流下型 最下流：貯留型
氾濫原平均勾配	1/1000	1/1250	1/200～1/500
資産分布	下流部に密集市街地がある。	中流部に密集市街地がある。	集落が点在。最下流部に市街地がある。
二線堤機能が期待できる構造物	密集市街地の上流に氾濫原を斜めに横断する形で鉄道が走る。	密集市街地の上流に接するように道路が氾濫原を横断している。	最下流部の市街地の上流で道路が氾濫原を横断している。
その他		道路の先に池と河川があって氾濫流の吸収効果が期待できる。	最下流部の市街地へ向かって逆勾配となる。最下流部は貯留型の地形となる。

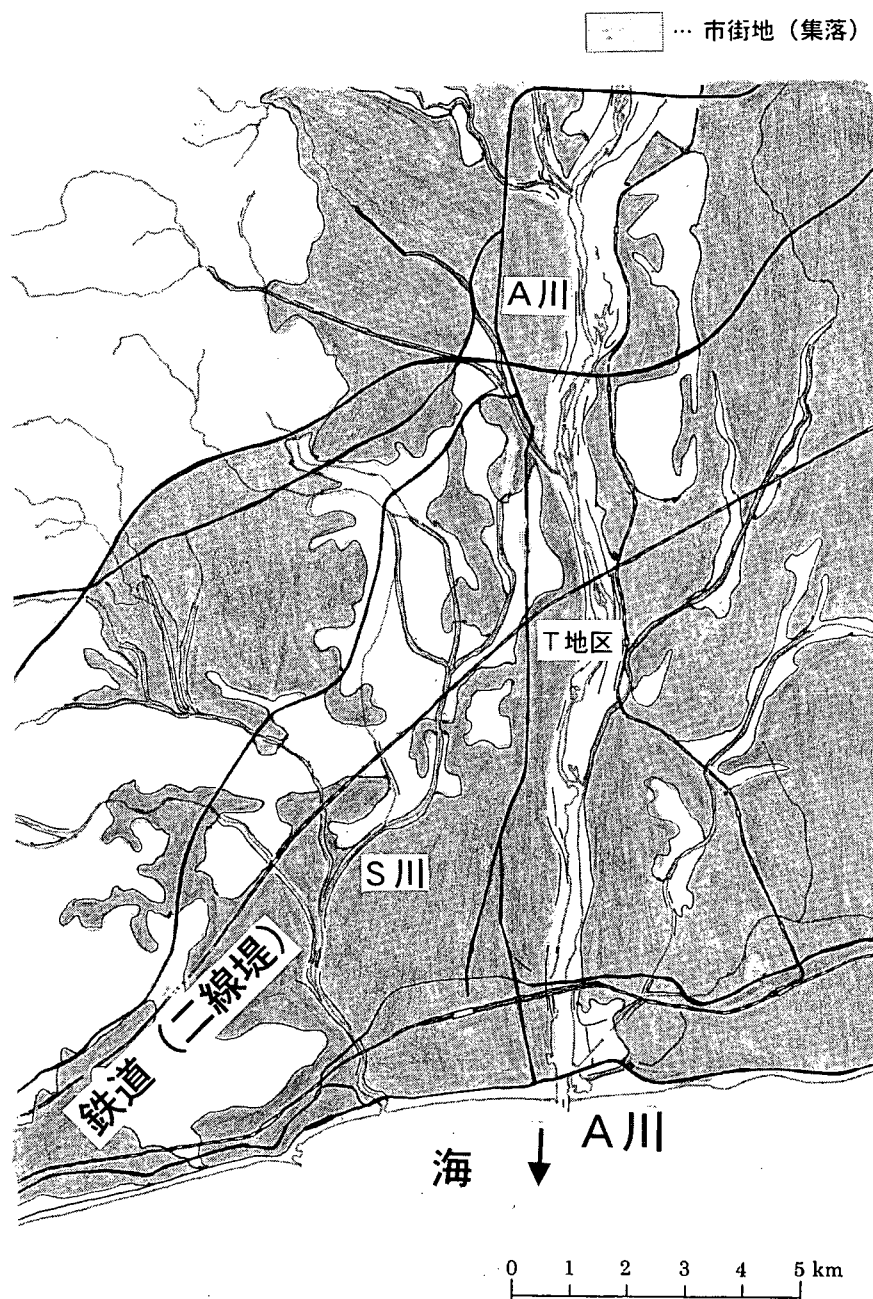


図 4-2-1(1) 氾濫原概要図 (A川)

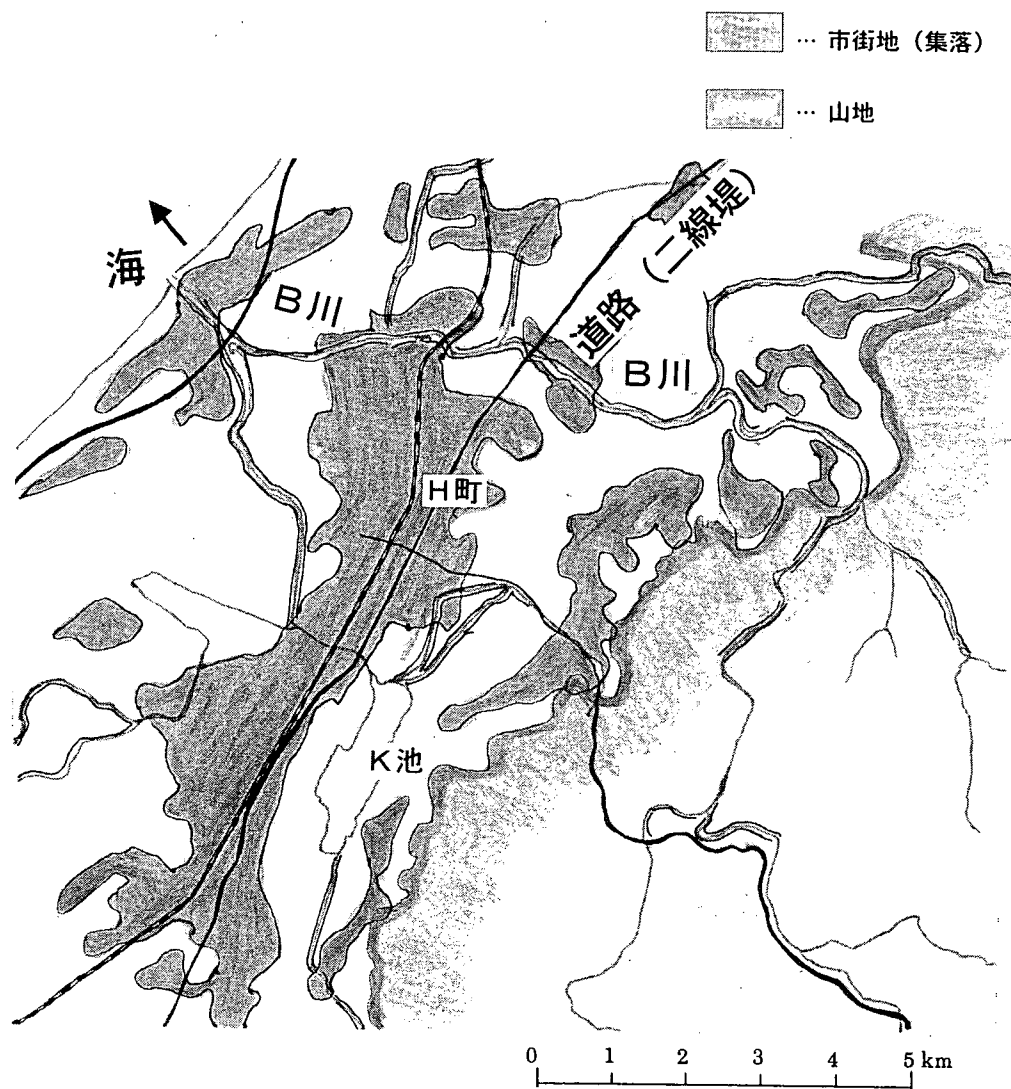


図 4-2-1(2) 氾濫原概要図 (B川)

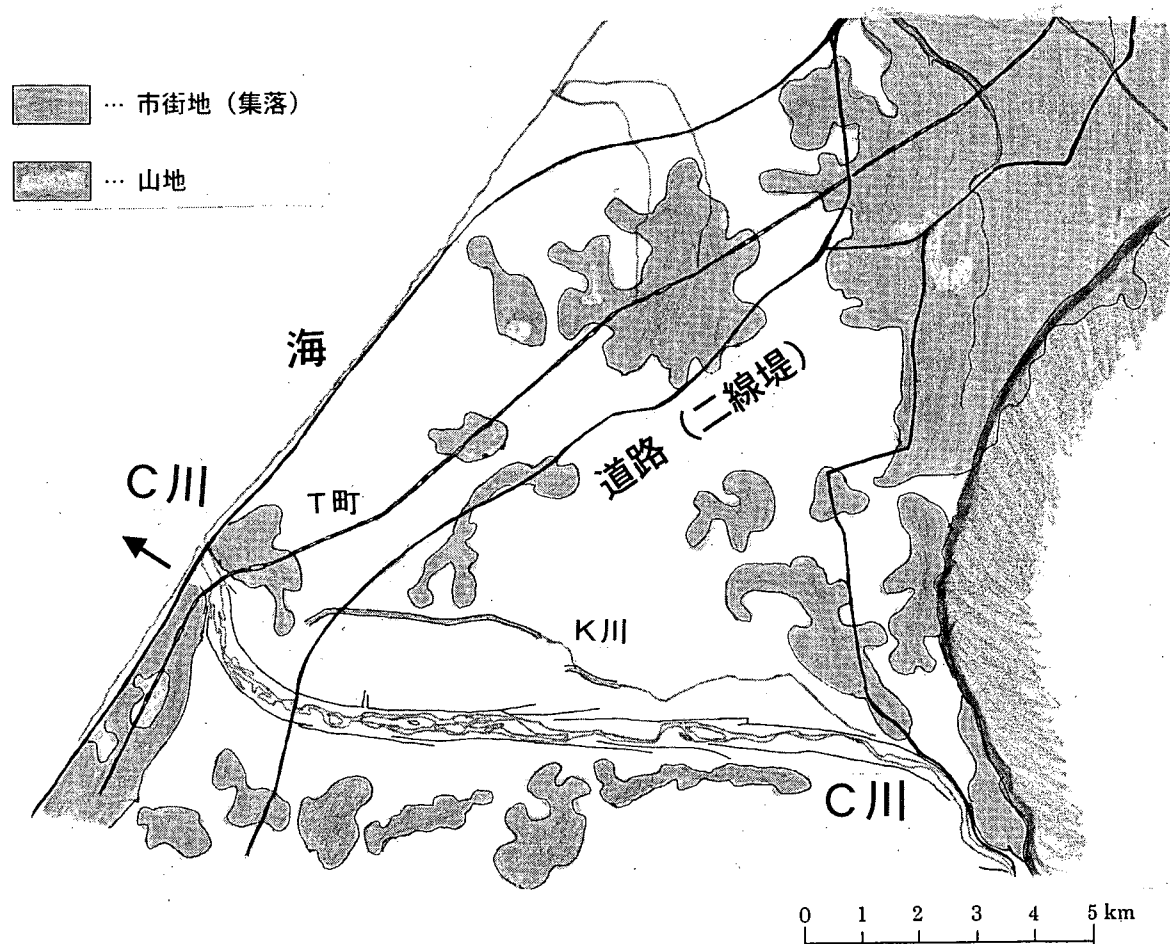


図 4-2-1(3) 氾濫原概要図 (C川)

の分布などから、二線堤下流の市街地・資産を防御する効果が想定される場所を二線堤路線とする。路線の詳細を決定するにあたっては、実現可能性からあまりにもかけ離れてしまうのは好ましくないため、既存の盛土施設を活用することを考える。おそらく、既存の盛土は、二線堤としての計画とは何ら関係のない条件のもとで設置されたと考えられ、モデル検討とはいえ、検討結果を最も大きく左右する路線選定がそのような条件に左右されることは望ましくないと思われるかもしれない。しかし、ここでは、最も現実性が高い条件設定を行う点を優先し、既存の道路、鉄道等を利用する。

これより、本調査の対象二線堤として次の施設を選定する。

- ・ A川右岸：氾濫原を斜めに横断する鉄道
- ・ B川左岸：密集市街地に接する道路
- ・ C川右岸：市街地上流に位置する道路

二線堤上流での湛水深が増加して二線堤高を越えた場合、越水により下流へと浸水が伝播していくようにモデル化している（二線堤上流側の湛水深上昇を抑制）。なお、二線堤の越水による破堤は考慮されていない。

4.3 A川における二線堤の効果

A川右岸について、氾濫シミュレーションを実施し二線堤の氾濫流制御機能と浸水被害軽減効果を検討する。

4.3.1 氾濫シミュレーションの概要

A川右岸における氾濫シミュレーションの概要は以下の通りである。

氾濫計算手法	二次元不定流計算法
氾濫原の分割	約125m×125m 矩形メッシュ
氾濫原粗度係数	土地利用毎の粗度係数の違いを考慮した合成粗度係数をメッシュ毎に与える。
河道上流端流量	昭和46年8月洪水波形、確率規模1/150（A川計画対象洪水）
河道下流端水位	T.P. 2.71m をレベルで与える。
破堤箇所	A川右岸 10.0K（流下能力が低い箇所）
破堤条件	破堤開始条件：計画高水位（破堤開始水位 T.P. 12.71m） 破堤敷高 T.P. 11.8m、破堤幅 330m（湾曲部における最大破堤幅推定式 ¹²⁾ より）
氾濫容量*	322 万 m ³
対象二線堤の現状	A川 9 K 地点で交差。カルバートが多く橋梁構造に近いため、現状で二線堤としての機能は無い。
盛土越流量算定手法	本間越流公式

*氾濫容量：破堤点から氾濫原へと流入する氾濫水の総量

氾濫計算ケースとして、対象二線堤の現況施設を含め次の4ケースを想定する。盛土高は上流側メッシュ地盤を基準とする。盛土する場合カルバートは設置しないものとする。

ケース	平均盛土高	盛土高の範囲	備 考
A-1	0 m	—	二線堤無し (現況)
A-2	1 m	—	現況+1 m
A-3	2 m	—	現況+2 m
A-4	3 m	—	現況+3 m

なお、氾濫計算手法の概要については、参考文献13)等を参考とされたい。

4.3.2 A川右岸における二線堤の効果

氾濫シミュレーションを実施し、二線堤の氾濫流制御機能と被害軽減効果を定量的に把握する。

各ケースの氾濫計算結果（最大浸水区域図、氾濫流到達時間区域図、浸水被害額分布図、氾濫流速ベクトル図）は、巻末に参考資料として示している。

(1) 二線堤越流量

表4-3-1、図4-3-1に、二線堤の越流量、越流量（累積越流量）を示す。これより、二線堤が無い場合の二線堤位置下流容量476万 m^3 に対し、盛土を1mとすることにより越流量は176万 m^3 へ低減することがわかる。さらに、盛土を高くすることにより下流への越流量はほぼ0となる。したがって、二線堤の下流市街地に対する氾濫流到達時間の遅延効果や浸水被害軽減効果が期待される。反面、上流に対しては浸水被害拡大の影響を与えるおそれがある。

(2) 氾濫流到達時間

図4-3-2に盛土高と到達時間の関係を示す。ここで、到達時間とは二線堤下流の家屋集落のいずれかに到達した時間である。また、家屋集落としては100世帯以上を含むメッシュをとった。

二線堤が無い場合には、下流の家屋集落までの氾濫流到達時間は約3時間であるが、盛土1mの場合は約4時間、盛土2mの場合は約5時間と、盛土高1mにつき1時間程度の到達時間遅延効果が見られる。これは、二線堤の盛土に伴う氾濫流貯留機能の向上による。

なお、盛土3mの場合には、下流市街地への浸水は解消される。

建設省土木研究所都市河川研究室では、1995年7月豪雨における関川水害時の避難行動について分析している¹⁰⁾。この中で、同研究室は、水害発生後1週間後と1ヶ月後に被災地区を対象に避難実態調査及びアンケート調査を実施した。これによれば、成人の避難可能水深は0.5m程度（膝下）で、この時の避難速度は約1.6Km/hrとしている。また、避難を考え始めてから避難することを決めるまでの避難決断時間は、多くは1時間以内、さらに、避難することを決めてから家を出るまでに要する時間は30分程度となっている。

二線堤が無い場合、A川右岸の二線堤位置下流域で最も早く氾濫流が到達するのはT地区周辺である。T

表 4-3-1 二線堤越流量、越流容量

ケース	最大越流量 (m^3/s)	総越流容量 (万 m^3)	備 考
A-1	295.2	476	二線堤位置通過流量
A-2	119.9	176	
A-3	14.2	57	
A-4	0.7	1	

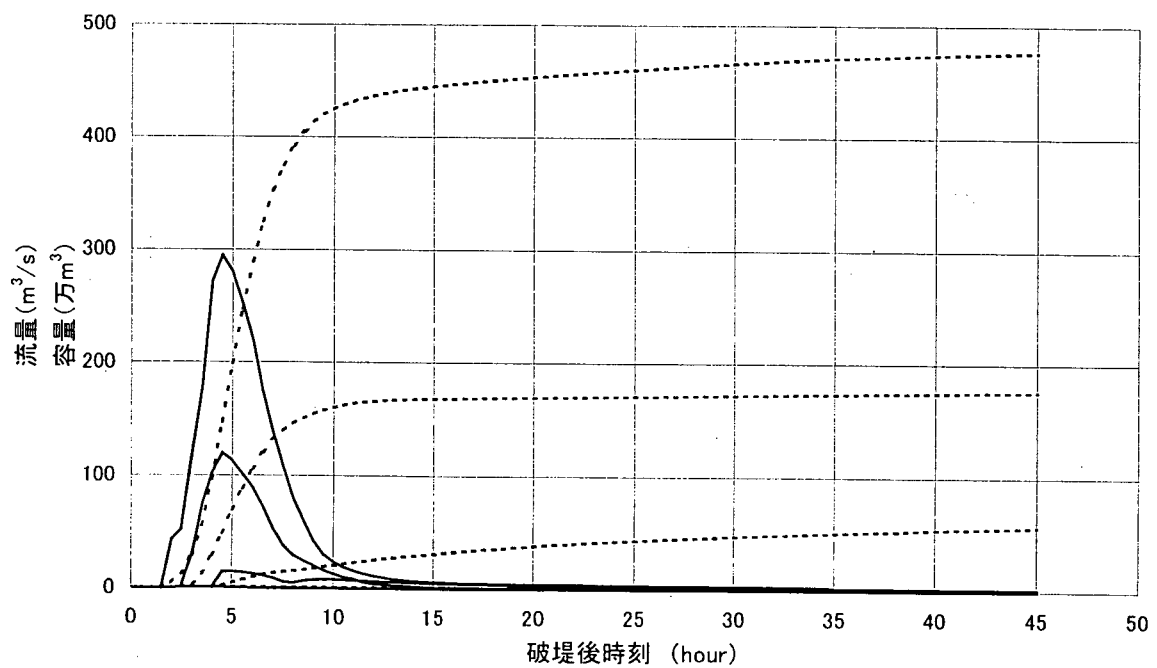


図 4-3-1 二線堤越流量、越流容量

実線：越流流量（上からケースA-1～4）、破線：越流容量（上からケースA-1～4）

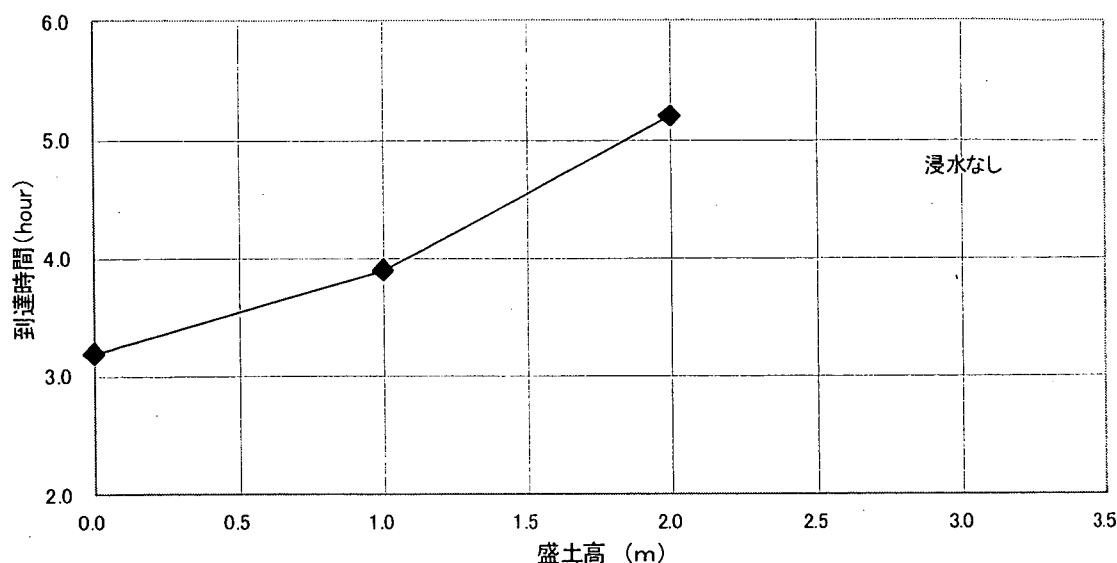


図 4-3-2 二線堤盛土による下流家屋集落への氾濫流到達時間遅延効果

地区から氾濫流に対して安全な場所（例えばS川対岸）まで約1.5Kmであるから、上記の避難速度や避難に要する時間を考慮すれば、避難を考え始めてから安全な場所へ着くまでの所要時間は約2.5時間となる。シミュレーション結果では、二線堤が無い場合の下流域への氾濫流到達時間は最短で約3時間なので、破堤開始時点で避難を考え始めたとしても避難可能であるが、上記の研究では、老人、子供などの災害弱者がいる場合や家財道具を移動する場合には、さらに1時間程度時間がかかることも考えられるため、二線堤を盛土して氾濫流の到達を遅延させることが有効となるものと考えられる。

(3) 浸水区域面積・最大浸水深

表 4-3-2 に二線堤上下流別の浸水区域面積、最大浸水深平均値を整理した。図 4-3-3～図 4-3-5 に盛土高と浸水区域面積、最大浸水深平均値及び浸水深ランク毎世帯数との関係を示す。なお、浸水深ランクの設定は、

表 4-3-2 浸水区域面積と最大浸水深平均値

ケース	浸水区域面積 (ha)			最大浸水深平均値 (m)	
	二線堤上流	二線堤下流	全 域	二線堤上流	二線堤下流
A-1	318.8	627.0	945.8	0.60	0.54
A-2	381.5	558.8	940.3	0.63	0.56
A-3	447.7	96.9	544.6	0.91	0.30
A-4	500.8	1.6	502.4	0.88	0.16

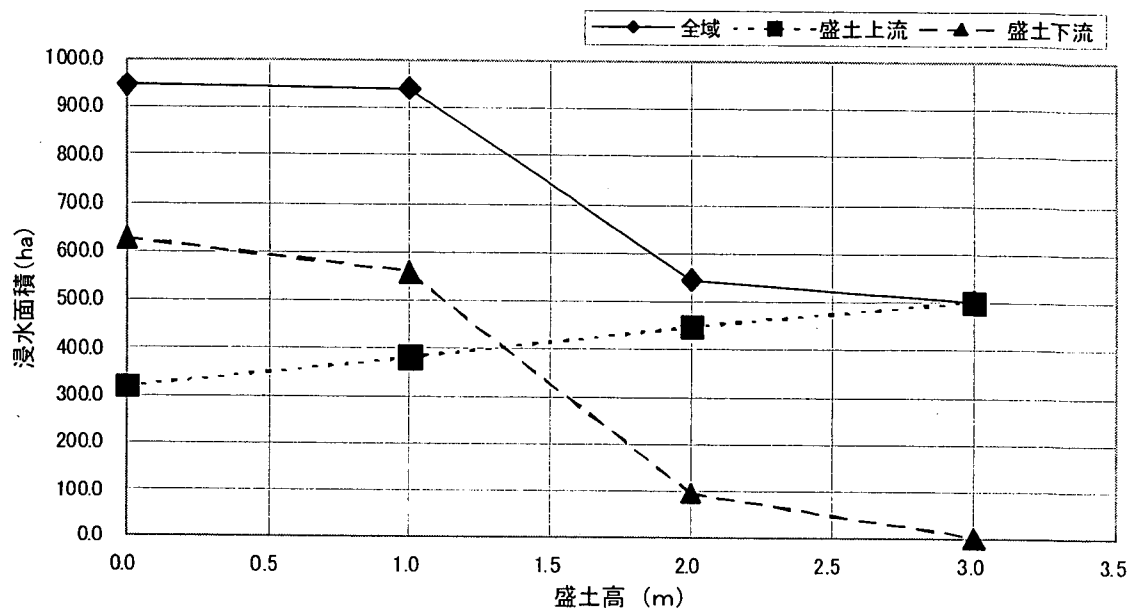


図 4-3-3 二線堤盛土高と浸水区域面積の関係

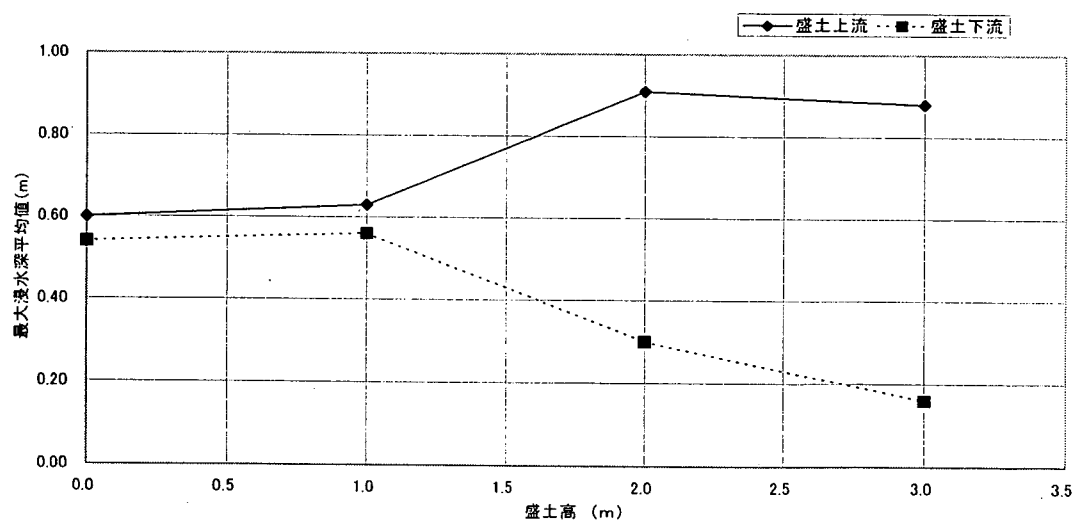


図 4-3-4 二線堤盛土高と最大浸水深平均値との関係

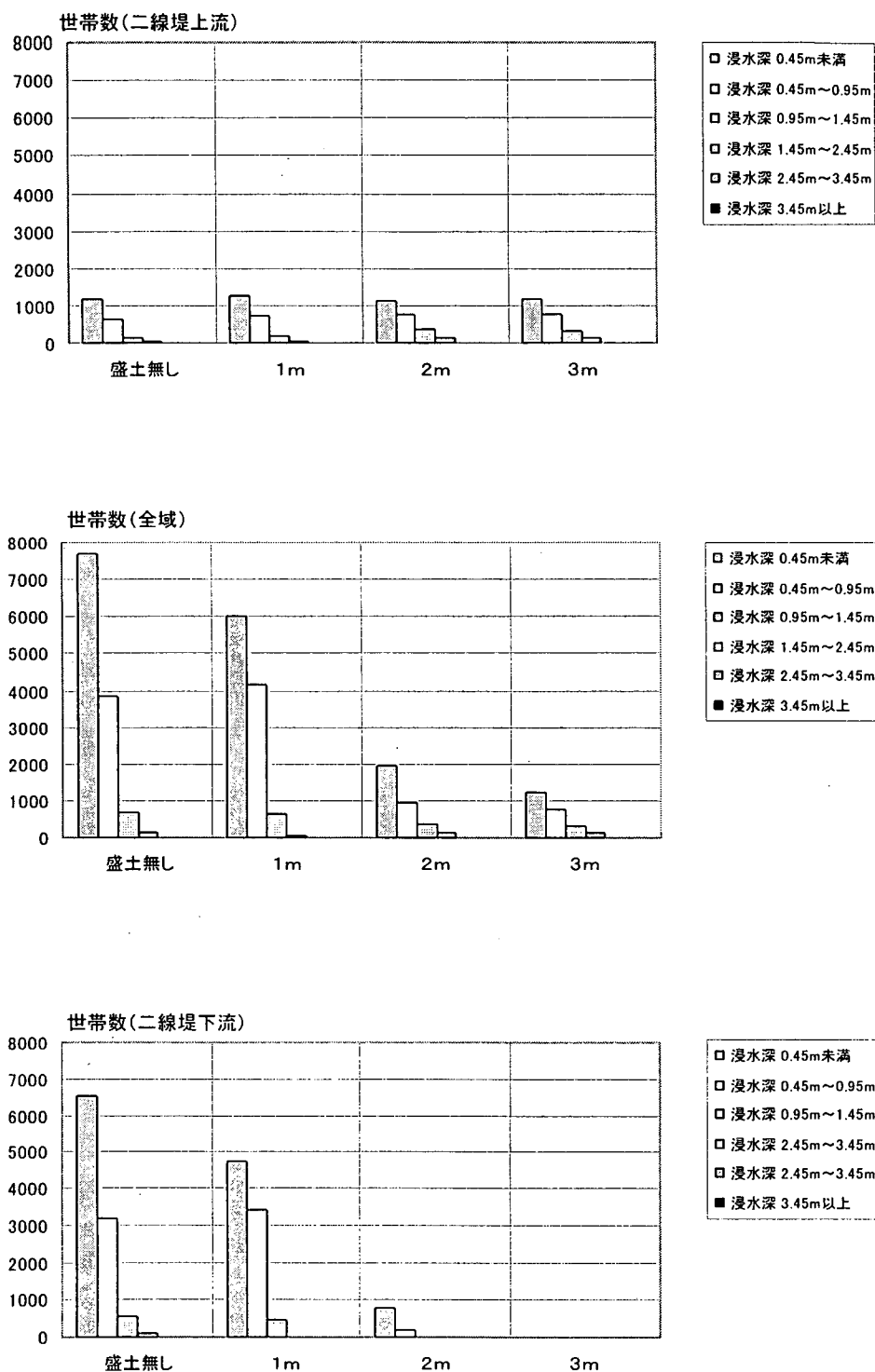


図 4-3-5 二線堤盛土高と浸水深ランク毎世帯数の関係

平成11年現在の治水経済調査要綱に準じており、0.45m以上を床上浸水としている。

図4-3-3から分かるように、盛土を高くすることにより、二線堤上流では浸水区域面積が拡大する傾向が、下流では浸水区域面積が縮小する傾向が見られる。二線堤下流に対する効果は二線堤上流に対する影響より相対的に大きく、全体としては浸水区域面積が縮小している。同様に、図4-3-4から分かるように、盛土を高くすることにより、二線堤上流では最大浸水深平均値が増大し、下流では低減する。上流の最大浸水深平均値は盛土高によらず家屋床上であるのに対し、下流の最大浸水深平均値は盛土を高くすることにより、家屋床上から床下へと低減する。こうした傾向は、図4-3-5の浸水深ランク毎世帯数の分布を見てもわかる。二線堤上流では盛土による浸水世帯数分布の変化は小さいが、二線堤下流では浸水世帯数の低減が著しい。特に、盛土高が2m以上の場合、床上0.5m以上の浸水は解消される。これらのことは、二線堤がその下流へ与える被害軽減効果が、その上流へ与える被害拡大の影響より大きく、氾濫原全体として被害軽減効果が期待できることを示している。

盛土高の増大に対する上流側の浸水区域面積や最大浸水深の変化量は、氾濫原地形形状や斜面に対する二線堤の角度の影響を受けるものと考えられる。A川右岸の場合、二線堤が氾濫原斜面方向に対して斜めになっている（堤防から離れるほど地盤が低い方へずれる）ため、二線堤に遮られた氾濫流は二線堤に沿って流向を変え拡散するような挙動を示す。それにより、上流の浸水区域面積は拡大するが、最大浸水深の増加量は盛土高の変化量と比べ小さくなる。

巻末のシミュレーション結果図を参照すればわかるように、二線堤を盛土すると氾濫流が二線堤に沿う形で流下し、二線堤とS川堤防に囲まれた箇所まで到達する。S川堤防は二線堤盛土高と比べ高いため氾濫流がこの堤防を越えてS川へ排水されることはないが、例えばこの箇所に氾濫原ポンプや氾濫原樋門を設置し、氾濫流をS川へ排水することにより二線堤上流側の浸水被害を緩和すること、さらに、二線堤に並行して水路を設けることにより氾濫水を誘導し、この効果を増長すること等も考えられる。

(4) 浸水被害額

図4-3-6に盛土高と浸水被害額の関係を示す。盛土を高くすることにより、二線堤上流では浸水被害額が増大し、下流では軽減する。二線堤下流に対する効果は二線堤上流に対する影響より相対的に大きく、全体として浸水被害額は軽減されている。

二線堤盛土による上流側の浸水被害額の増加量は、氾濫原地形や斜面に対する二線堤の角度に加え資産分布の影響を受けるものと考えられる。図4-3-7に盛土高と上流浸水区域における浸水世帯密度の関係を示すが、これにより盛土高が大きくなると浸水世帯密度が小さくなること、すなわち、新たに浸水する区域の方が世帯の分布が少ないことが分かる。このような場合には、二線堤盛土による上流への被害拡大の影響が比較的小さく抑制でき、氾濫原全体として、二線堤による浸水被害軽減効果が得られる可能性が高いものと考えられる。

また、(3)で述べたような、氾濫原ポンプ、氾濫水誘導水路などを併用することにより、上流側の浸水被害額増をより小さく抑え、氾濫原全体としての浸水被害額をより軽減することができるものと考えられる。

(5) A川における二線堤の効果のまとめ

以上の結果を再整理する。

○(1)では、二線堤盛土の氾濫流貯留機能により二線堤下流の市街地に対し氾濫流到達時間遅延効果が期待できることを示した。盛土高が1 m高くなる毎に到達時間は約1時間遅延され、これにより、老人や子供を連れた避難であってもある程度余裕を持って避難が行えるようになることが

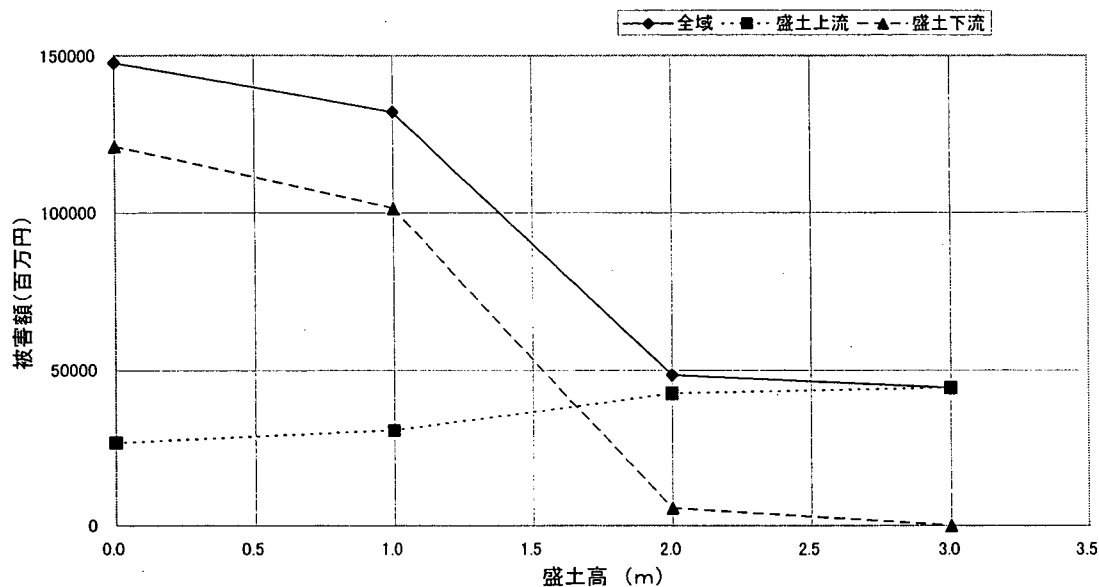


図 4-3-6 二線堤盛土高と浸水被害額の関係

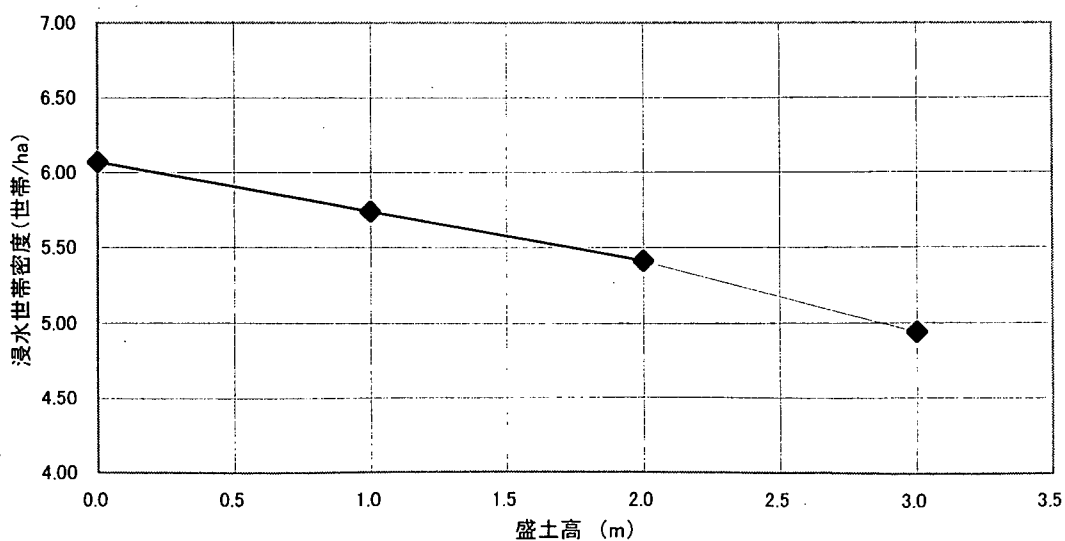


図 4-3-7 二線堤盛土高と浸水世帯密度の関係 (盛土上流)

期待される。

○(2)では、二線堤上流の浸水面積増の程度は下流の浸水面積低減の程度と比べ小さいこと、上流側で浸水面積は増えるものの、浸水深を小さく抑え、被害率としてはあまり変わらないことを示した。これは、二線堤の向きが氾濫原斜面方向に対して斜めであることから流向制御機能が向上したことによると考えられる。

○(3)では、二線堤盛土により新たに浸水する区域の資産分布が比較的少ないことから、二線堤上流の被害額の増加が比較的小さいこと、二線堤により下流への氾濫ボリュームが低減されるため、下流の密集市街地において浸水被害が大きく軽減されること、さらに、その結果、全体として浸水被害軽減効果が期待されることを示した。

○いずれにしても、二線堤設置により、上流側では浸水被害が増加することになる。これに対して、他の氾濫流制御施設を併用して上流側の被害増をできるだけ緩和することが考えられる。A川右岸で考えられる施設は、例えば氾濫原ポンプ、氾濫水誘導水路などである。

4.4 B川における二線堤の効果

B川左岸について、氾濫シミュレーションを実施し二線堤の氾濫流制御機能と浸水被害軽減効果を検討する。

4.4.1 氾濫シミュレーションの概要

B川左岸における氾濫シミュレーションの概要は以下の通りである。

氾濫計算手法	二次元不定流計算法
氾濫原の分割	250m×250m 矩形メッシュ
氾濫原粗度係数	土地利用毎の粗度係数の違いを考慮した合成粗度係数をメッシュ毎に与える。
河道上流端流量	昭和43年8月洪水波形、確率規模 1/100 (B川計画対象洪水)
河道下流端水位	T.P 1.107m をレベルで与える。
破堤箇所	B川左岸 7.4K (流下能力が低い箇所)
破堤条件	破堤開始条件：計画高水位 (破堤開始水位 T.P. 6.06m) 破堤敷高 T.P. 3.20m、破堤幅 130m (湾曲部における最大破堤幅推定式 ¹²⁾ より)
氾濫容量*	1199 万 m ³
対象二線堤の現状	B川 5 K 地点で交差。現状では路面高と地盤高の左は平均的に約 0.3m 程度で二線堤としての機能はあまり無い。
盛土越流量算定手法	本間越流公式

*氾濫容量：破堤点から氾濫原へと流入する氾濫水の総量

氾濫計算ケースとして、対象二線堤の現況施設を基本として次の4ケースを想定する。盛土高は上流側メ

ツシュ地盤を基準とする。盛土する場合カルバートは設置しないものとする。なお、それぞれのモデル氾濫原での盛土高の設定は、総越流容量がほぼなくなる程度を最大とし、盛土高 0m と最大高さの間に 4 ケース設定している。したがって、それぞれの氾濫原で盛土高の設定値は異なる。

ケース	平均盛土高	盛土高の範囲	備 考
B-1	0m	—	二線堤無し
B-2	0.3m	0.05m～0.70m	現 況
B-3	0.8m	0.55m～1.20m	現況+0.5m
B-4	1.3m	1.05m～1.70m	現況+1.0m

4.4.2 B川左岸における二線堤の効果

氾濫シミュレーションを実施し、二線堤の氾濫流制御機能と被害軽減効果を定量的に把握する。

(1) 二線堤越流量

表 4-4-1、図 4-4-1 に、二線堤の越流量、越流容量を示す。これより、二線堤が無い場合の二線堤位置流下容量 585 万 m^3 に対し、盛土を 0.8m とすることにより越流容量は 221 万 m^3 へ低減することがわかる。さらに、盛土を高くすることにより下流への越流量は 0 となる。したがって、二線堤の下流市街地に対する氾濫流到達時間の遅延効果や浸水被害軽減効果が期待される。反面、上流に対しては浸水被害拡大の影響を与えるおそれがある。

(2) 氾濫流到達時間

図 4-4-2 に盛土高と到達時間の関係を示す。ここで、到達時間とは二線堤下流の家屋集落のいずれかに到達した時間のことである。また、家屋集落として 100 世帯以上を含むメッシュをとった。

表 4-4-1 二線堤越流量、越流容量

ケース	最大越流量 (m^3/s)	総越流容量 (万 m^3)	備 考
B-1	231.0	585	二線堤位置通過流量
B-2	193.8	396	
B-3	151.8	221	
B-4	0.0	0	

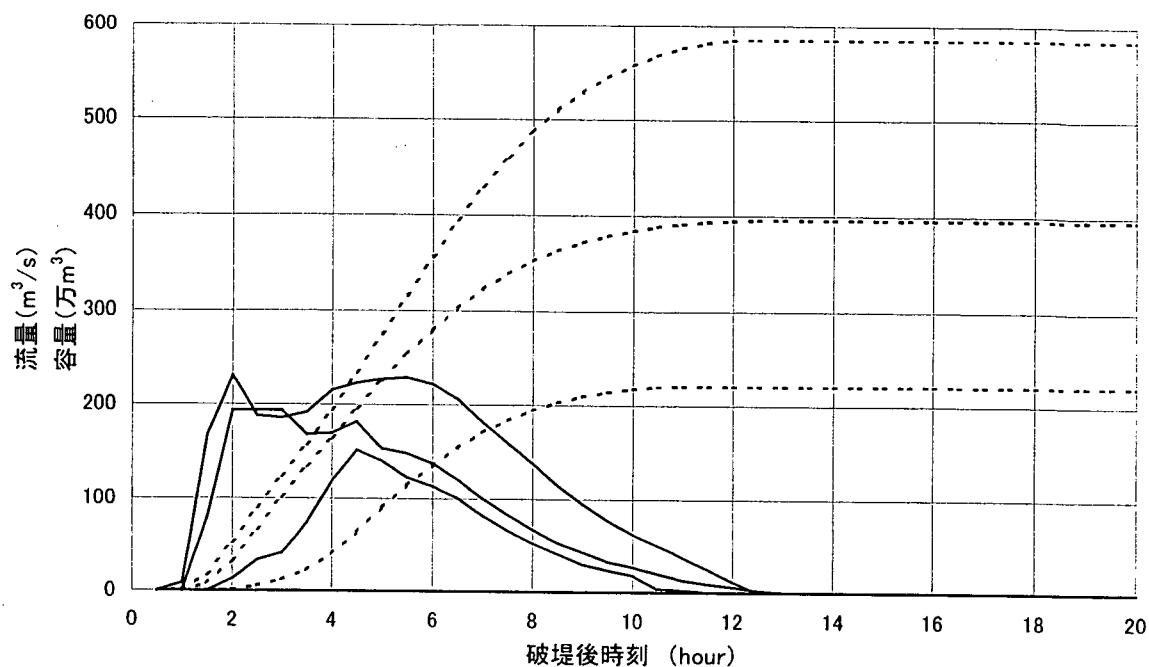


図 4-4-1 二線堤越流量、越流容量

実線：越流量（上からケースB-1～4）、破線：越流容量（上からケースB-1～4）

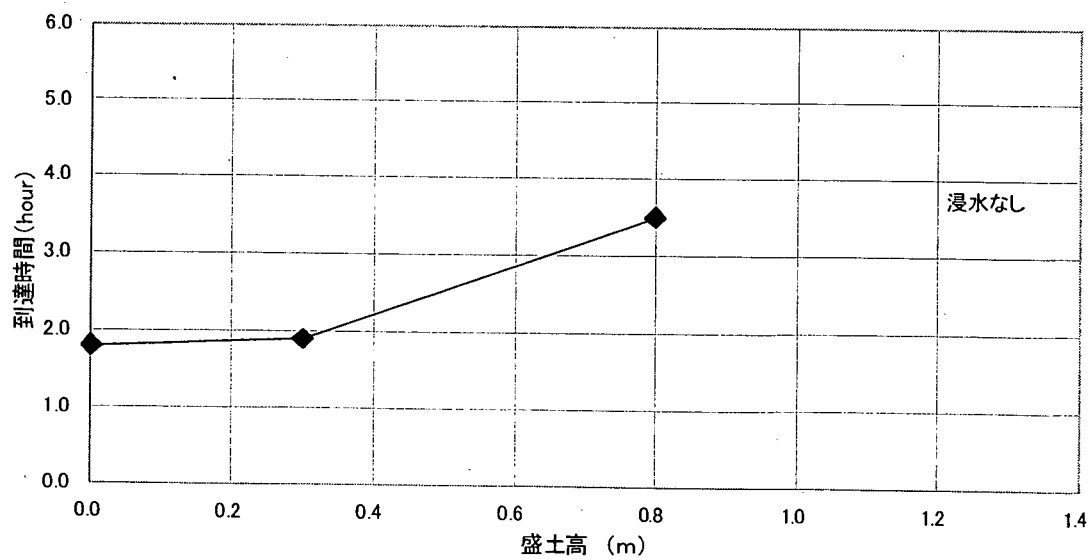


図 4-4-2 二線堤盛土による下流家屋集落への氾濫流到達時間延長効果

二線堤が無い場合には、下流の家屋集落までの氾濫流到達時間は約2時間であるが、盛土0.8mの場合は約3.5時間と到達時間遅延効果が見られる。これは、二線堤の盛土に伴う氾濫流貯留機能の向上による。なお、盛土1.3mの場合には、下流市街地への浸水は解消される。

A川の場合と同様に避難に要する時間と氾濫流到達時間遅延効果との関係を見てみると以下ようになる。

二線堤が無い場合、B川左岸の二線堤位置下流域で最も早く氾濫流が到達するのはH町周辺である。H町から氾濫流に対して安全な場所（例えばM川対岸）まで約2.5Kmであるから、避難速度や避難に要する時間を考慮すれば、避難を考え始めてから安全な場所へ着くまでの所要時間は約3時間となる。シミュレーション結果では、二線堤が無い場合の下流域への氾濫流到達時間は最短で2時間弱なので、破堤開始時点で避難を考え始めたとなると避難途中で氾濫流が到達してしまう危険性がある。これに対して、0.8mの盛土をする場合には、二線堤下流への氾濫流到達時間を3.5時間程度まで遅延することができ、より安全な避難を可能とすることが期待される。

また、老人、子供などの災害弱者がいる場合や家財道具を移動する場合には、避難にさらに時間がかかることも考えられ、二線堤を盛土して氾濫流の到達を遅延させることが有効であると考えられる。

(3) 浸水区域面積・最大浸水深

表4-4-2に二線堤上下流別の浸水区域面積、最大浸水深平均値を整理し、図4-4-3～4-4-5に盛土高と浸水区域面積、最大浸水深平均値及び浸水深ランク毎世帯数との関係を示す。

図4-4-3から分かるように、盛土を高くすることにより、二線堤上流では浸水区域面積が拡大する傾向が、下流では浸水区域面積が縮小する傾向が見られる。二線堤下流に対する効果は二線堤上流に対する影響より相対的に大きく、盛土高が1.3mの場合は、全体としては浸水区域面積が縮小している。同様に、図4-4-4から分かるように、盛土を高くすることにより、二線堤上流では最大浸水深平均値が増大し、下流では低減する。ただし、上流の最大浸水深平均値の増加量は最大で0.09mと小さいのに対し、下流の最大浸水深平均値は盛土を高くすることにより、最大で0.91mの低減がある。図4-4-5の浸水深ランク毎の世帯数をみると、二線堤上流では床上浸水0.5m以下（浸水深0.45～0.95m）の世帯が床上浸水0.5m以上（浸水深0.95～1.45m）の範囲へ若干シフトするが、下流での床上浸水世帯減少数の方が大きいため、全体として床上浸水世帯数は減少する。これらのことは、二線堤がその下流へ与える被害軽減効果が、その上流へ与える被害拡大の影響より大きく、

表4-4-2 浸水区域面積と最大浸水深平均値

ケース	浸水区域面積 (ha)			最大浸水深平均値 (m)	
	二線堤上流	二線堤下流	全 域	二線堤上流	二線堤下流
B-1	793.8	662.5	1456.3	0.96	0.91
B-2	893.8	600.0	1493.8	0.94	0.71
B-3	875.0	562.5	1437.5	1.02	0.49
B-4	943.8	0.0	943.8	1.05	0.00

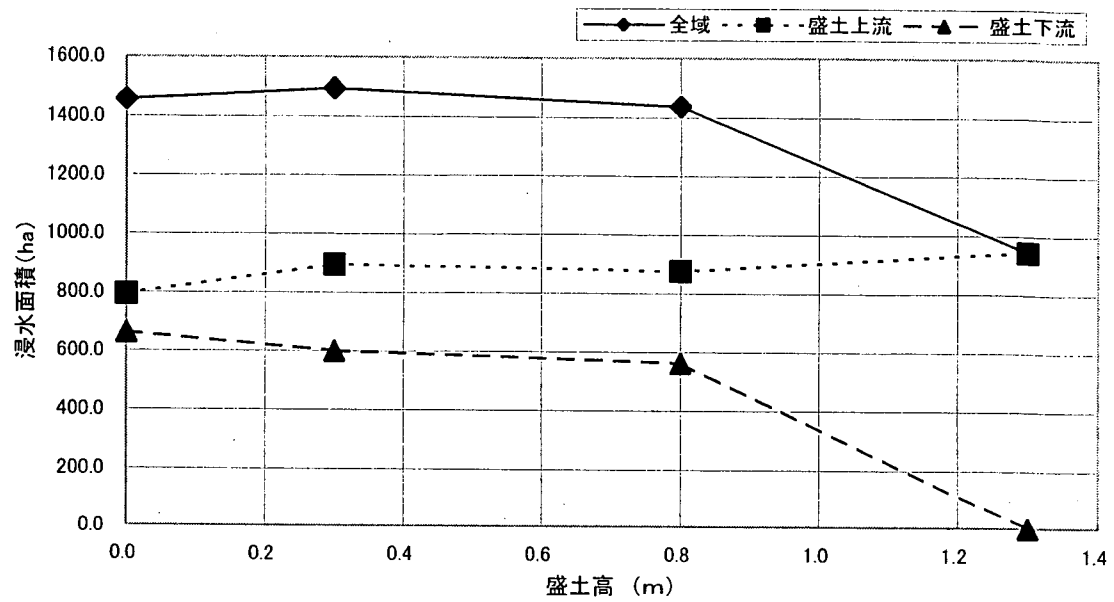


図 4-4-3 二線堤盛土高と浸水面積の関係

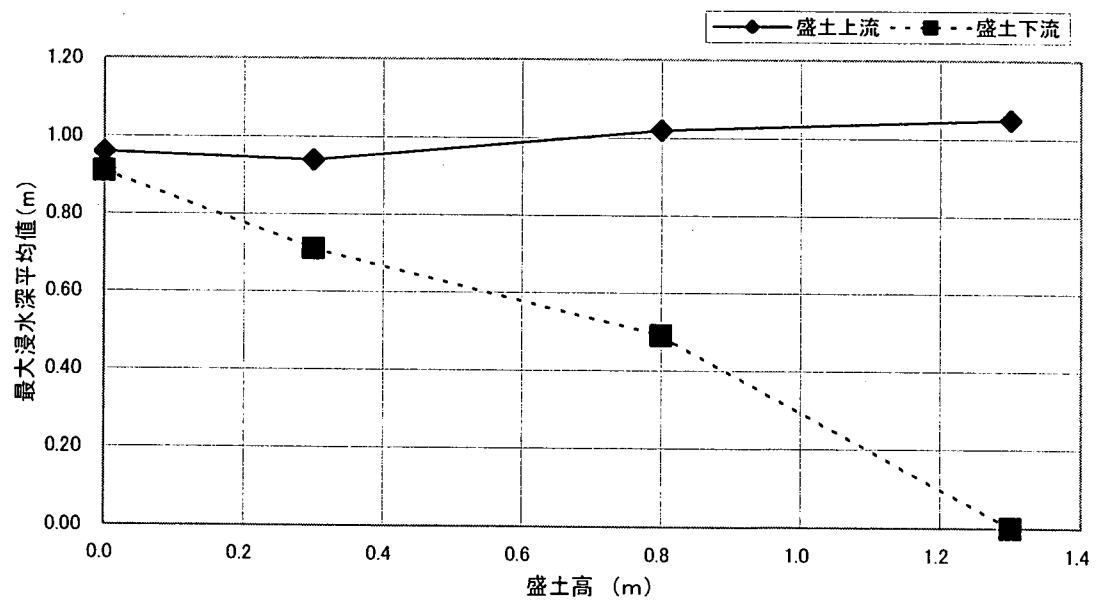


図 4-4-4 二線堤盛土高と最大浸水深平均値の関係

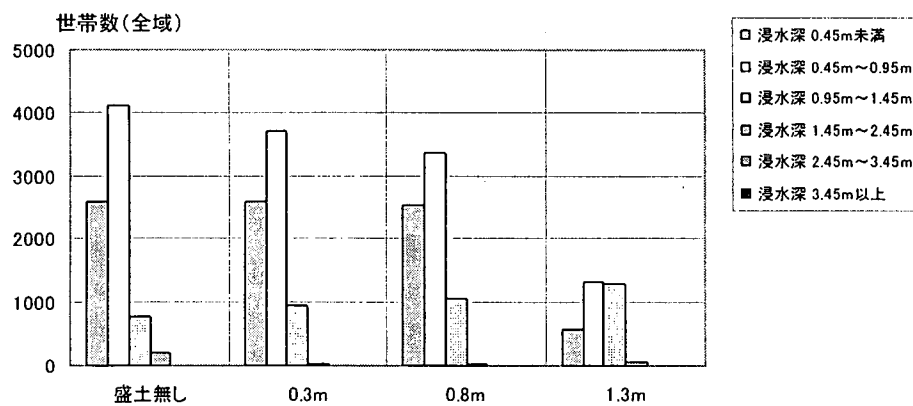
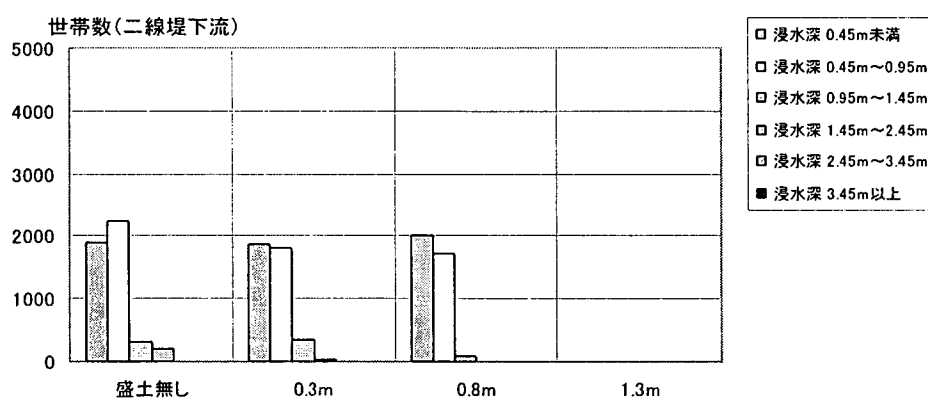
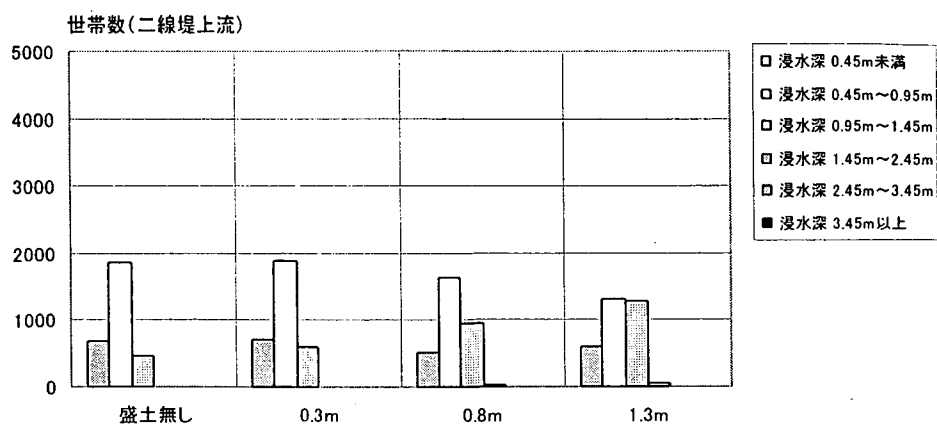


図 4-4-5 二線堤盛土高と浸水深ランク毎世帯数の関係

氾濫原全体として被害軽減効果が期待できることを示している。

盛土高の増大に対する上流側の浸水区域面積や最大浸水深の変化量は、氾濫原地形や斜面に対する二線堤の角度の影響を受けるものと考えられる。B川左岸の場合、河道沿いでは二線堤が氾濫原斜面方向に対してやや斜めとなっているのに加え、河道から少し離れると斜面方向と二線堤と平行となる。B川左岸ではもともと拡散型の氾濫形態を示すが、二線堤に遮られた氾濫流は二線堤に沿って流向を変え拡散傾向を助長する。それにより、上流の浸水区域面積は拡大するが、最大浸水深の増加は小さくなる。B川左岸では、二線堤に誘導された氾濫流の流下先に、氾濫流を排水する機能を有するK池とこれに接続したM川もあり、上流浸水深の増加は平均的にはほとんど生じない。

B川左岸の二線堤上流域にはK池へ流入する水路（現在の氾濫モデルでは考慮されていない）があり、これらの水路を氾濫水の誘導水路として活用することも考えられる。

(4) 浸水被害額

図 4-4-6 に盛土高と浸水被害額の関係を示す。盛土を高くすることにより、二線堤上流では浸水被害額が増大し、下流では軽減する。二線堤下流に対する効果は二線堤上流に対する影響より相対的に大きく、全体として浸水被害額は軽減されている。

二線堤盛土による上流側の浸水被害額の増加量は、氾濫原地形や斜面に対する二線堤の角度に加え資産分布の影響を受けるものと考えられる。図 4-4-7 に盛土高と上流浸水区域における浸水世帯密度の関係を示すが、これにより盛土高が大きくなると浸水世帯密度が小さくなる、すなわち、新たに浸水する区域の方が世帯の分布が少ないことが分かる。このような場合には、二線堤盛土による上流への被害拡大の影響が比較的小さく抑制でき、氾濫原全体として、二線堤による浸水被害軽減効果が得られる可能性が高いものと考えられる。

また、(3)で述べたように、氾濫水誘導水路などを活用することにより、上流側の浸水被害額増をより小さく抑え、氾濫原全体としての浸水被害額をより軽減することができるものと考えられる。

(5) B川における二線堤の効果のまとめ

以上の結果を再整理する。

○(1)では、二線堤盛土の氾濫流貯留機能により二線堤下流の市街地に対し氾濫流到達時間延長効果が期待できることを示した。盛土高が1m高くなると到達時間は約1.5時間延長され、これにより、氾濫流に対してより安全な避難が行えるようになることが期待される。

○(2)では、二線堤上流の浸水面積増の程度は下流の浸水面積低減の程度と比べ小さいこと、上流側で浸水面積は増えるものの、浸水深を小さく抑え、被害率としてはあまり変わらないことを示した。これは、二線堤の向きが氾濫原斜面方向に対して斜めであることから流向制御機能が向上したことによると考えられる。とくに、氾濫流の流下先に氾濫流を排水する施設等があるため、この効果を助長するものと考えられる。

○(3)では、二線堤盛土により新たに浸水する区域の資産分布が比較的少ないことから、二線堤上流の被害額の増加が比較的小さいこと、二線堤により下流への氾濫ボリュームが低減されるため、下流の密集市街地において浸水被害が大きく軽減されること、さらに、その結果、全体として浸水被害軽減効果が期待されることを示した。

○いずれにしても、二線堤設置により、上流側では浸水被害が増加することになる。これに対して、他の氾

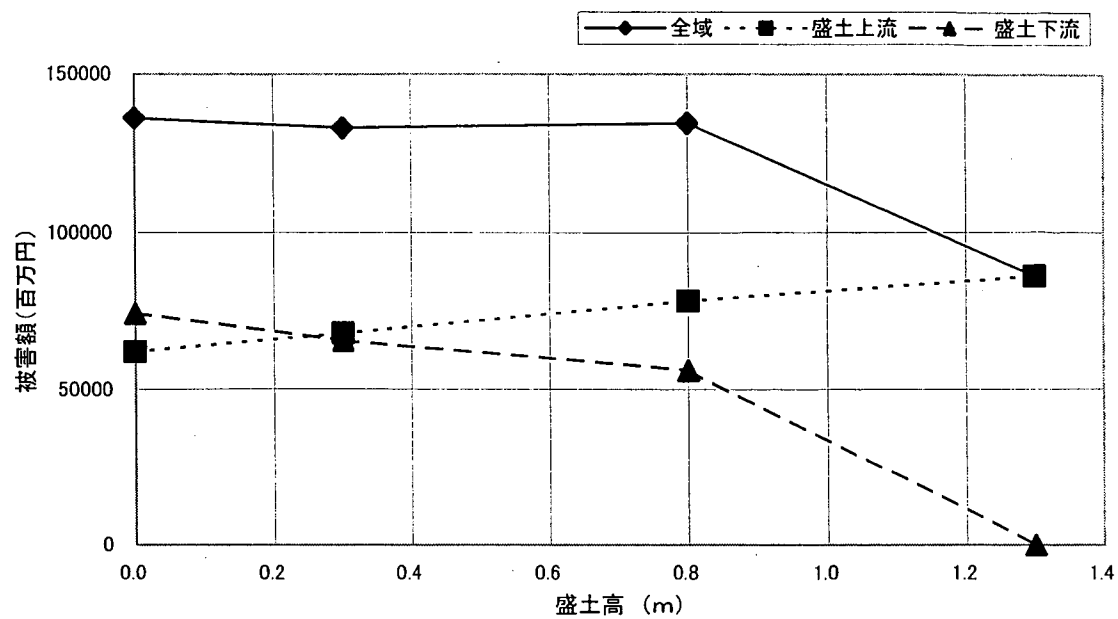


図 4-4-6 二線堤盛土高と浸水被害額の関係

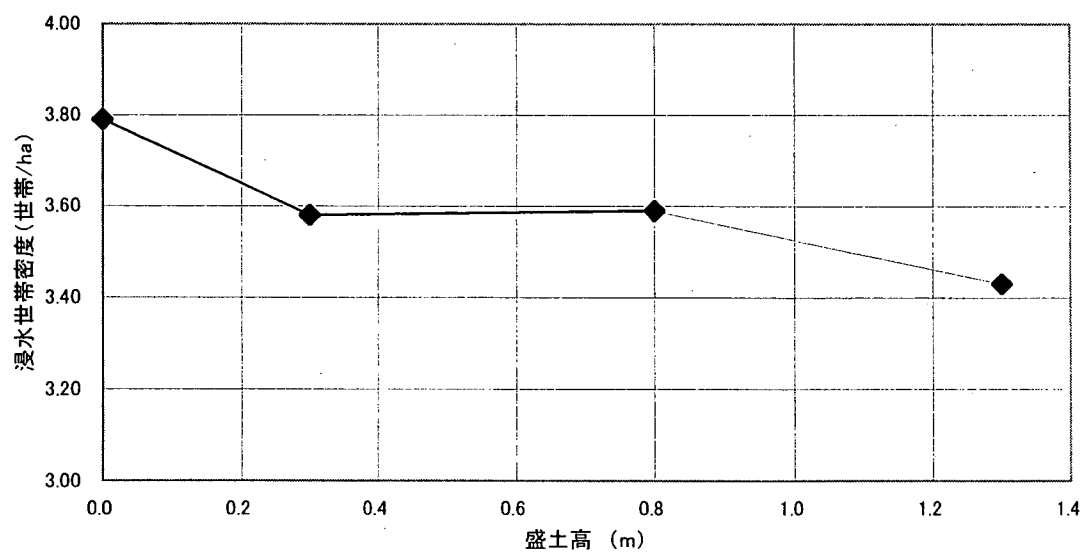


図 4-4-7 二線堤盛土高と世帯密度の関係 (盛土上流)

溢流制御施設を併用して上流側の被害増をできるだけ緩和することが考えられる。B川左岸で考えられる施設は、例えば氾濫水誘導水路などである。

4.5 C川における二線堤の効果

C川右岸について、氾濫シミュレーションを実施し二線堤の氾濫流制御機能と浸水被害軽減効果を検討する。

4.5.1 氾濫シミュレーションの概要

C川右岸における氾濫シミュレーションの概要は以下の通りである。

氾濫計算手法	二次元不定流計算法
氾濫原の分割	約 250m×250m 矩形メッシュ
氾濫原粗度係数	土地利用毎の粗度係数の違いを考慮した合成粗度係数をメッシュ毎に与える。
河道上流端流量	昭和 33 年 7 月、昭和 34 年 7 月の平均的な洪水波形、確率規模 1/100 (C川計画対象洪水)
河道下流端水位	T.P 4. 30m (計画高水位) をレベルで与える。
破堤箇所	C川右岸 5. 0K
破堤条件	破堤開始条件：ピーク水位 (破堤開始水位 T. P. 22. 30m) 破堤敷高 T. P. 20. 00m、破堤幅 400m (川幅)
氾濫容量*	885 万 m ³
対象二線堤の現状	C川 3 K 地点で交差。路面の比高は 2m 程度あるが、カルバートが多く、現状で二線堤としての機能はあまり無い。
盛土越流量算定手法	本間越流公式

*氾濫容量：破堤点から氾濫原へと流入する氾濫水の総量

氾濫計算ケースとして、対象二線堤の現況施設を基本として次の 4 ケースを想定する。盛土高は上流側メッシュ地盤を基準とする。盛土する場合カルバートは設置しないものとする。

ケース	平均盛土高	盛土高の範囲	備考
C-1	0m	—	二線堤無し
C-2	2m	0. 2m～5. 2m	現況
C-3	3m	1. 2m～6. 2m	現況+1m
C-4	4m	2. 2m～7. 2m	現況+2m

表 4-5-1 二線堤越流量、越流容量

ケース	最大越流量 (m^3/s)	総越流容量 (万 m^3)	備 考
C-1	446.4	575	二線堤位置通過流量
C-2	328.0	351	
C-3	298.4	319	
C-4	159.6	190	

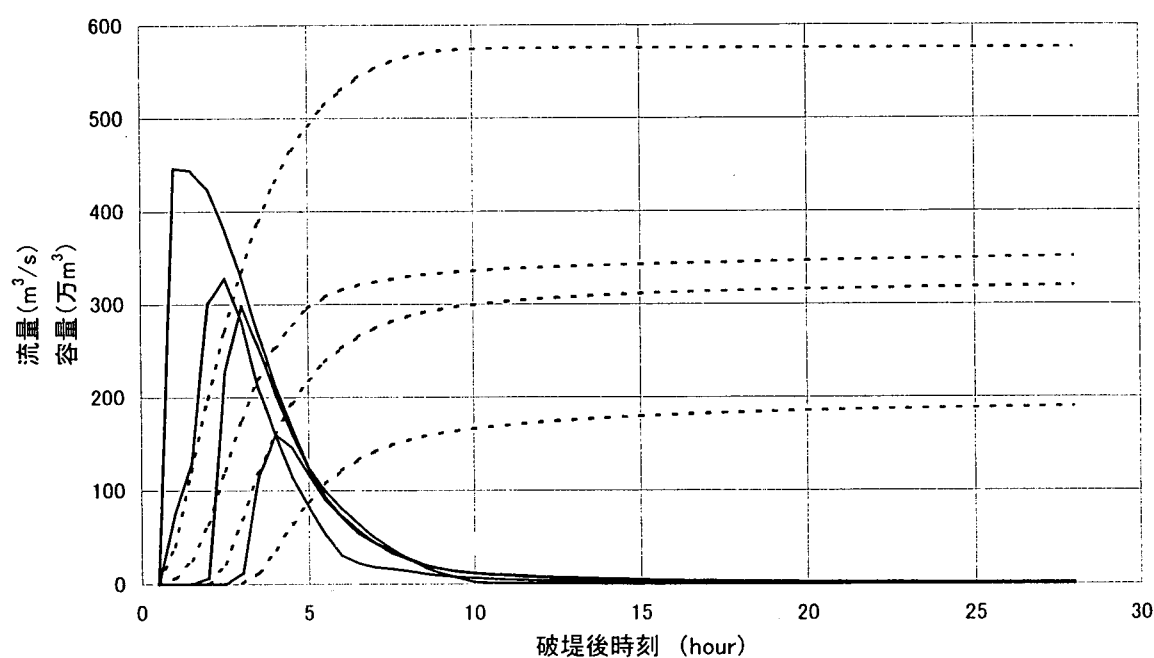


図 4-5-1 二線堤越流量、越流容量

実線：越流流量（上からケースC-1～4）、破線：越流容量（上からケースC-1～4）

4.5.2 C川右岸における二線堤の効果

氾濫シミュレーションを実施し、二線堤の氾濫流制御機能と被害軽減効果を定量的に把握する。

(1) 二線堤越流量

表 4-5-1、図 4-5-1 に、二線堤の越流量、越流容量を示す。これより、二線堤が無い場合の二線堤位置流下容量 575 万 m^3 に対し、盛土を 2m とすることにより越流容量は 351 万 m^3 へ低減することがわかる。さらに、

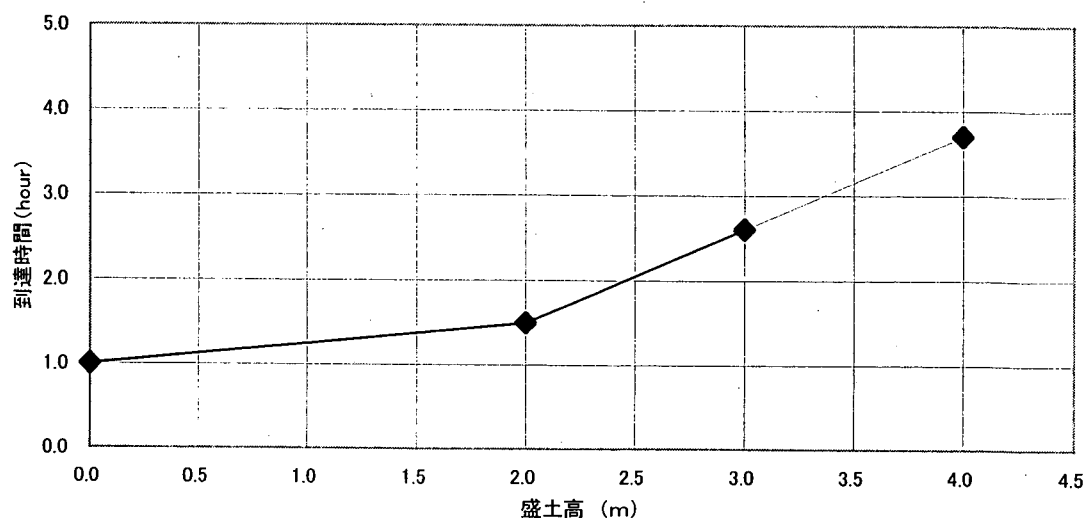


図 4-5-2 二線堤盛土による下流家屋集落への氾濫流到達時間延長効果

表 4-5-2 浸水区域面積と最大浸水深平均値

ケース	浸水区域面積 (ha)			最大浸水深平均値 (m)	
	二線堤上流	二線堤下流	全 域	二線堤上流	二線堤下流
C-1	478.1	697.7	1175.8	0.49	0.90
C-2	497.4	671.9	1169.3	1.04	0.77
C-3	497.4	600.8	1098.2	1.41	0.70
C-4	497.4	542.7	1040.1	1.83	0.48

盛土を高くすることにより下流への越流量は低減し、二線堤の下流市街地に対する氾濫流到達時間の遅延効果や浸水被害軽減効果が期待される。反面、上流に対しては浸水被害拡大の影響を与えるおそれがある。

(2) 氾濫流到達時間

図 4-5-2 に盛土高と到達時間の関係を示す。ここで、到達時間とは二線堤下流の家屋集落のいずれかに到達した時間のことである。また、家屋集落として 50 世帯以上を含むメッシュをとった。

二線堤が無い場合には、下流の家屋集落までの氾濫流到達時間は約 1 時間であるが、盛土 2m の場合は約 1.5 時間、盛土 3m の場合は約 2.5 時間、盛土 4m の場合は約 3.5 時間と、到達時間遅延効果が見られる。これは、二線堤の盛土に伴う氾濫流滞留機能の向上による。

二線堤が無い場合、C 川右岸の二線堤位置下流域で最も早く氾濫流が到達するのは T 町地区周辺である。T 町地区から氾濫流に対して安全な場所（例えば海沿いの高台）まで約 1 km であるから、避難速度や避難に要する時間を考慮すれば、避難を考え始めてから安全な場所へ着くまでの所要時間は約 2 時間となる。シミュレ

ーション結果では、二線堤が無い場合の下流域への氾濫流到達時間は最短で約1時間なので、破堤開始時点で避難を考え始めたとなると避難途中で氾濫流が到達してしまう危険性がある。これに対して、3mの盛土をする場合には、二線堤下流への氾濫流到達時間を2.5時間程度まで遅延することができ、より安全な避難を可能とすることが期待される。また、老人、子供などの災害弱者がいる場合や家財道具を移動する場合には、避難にさらに時間がかかることも考えられ、二線堤を盛土して氾濫流の到達を遅延させることが有効であると考えられる。

(3) 浸水区域面積・最大浸水深

表 4-5-2 に二線堤上下流別の浸水区域面積、最大浸水深平均値を整理し、図 4-5-3～4-5-5 に盛土高と浸水区域面積、最大浸水深平均値及び浸水深ランク毎世帯数との関係を示す。

図 4-5-3 から分かるように、盛土を高くすると、二線堤下流では浸水区域面積が縮小する傾向が見られるが、上流では浸水区域面積はほとんど変化しない。従って、全体としても浸水区域面積は縮小する。同様に、図 4-4-4 から分かるように、盛土を高くすることにより、二線堤上流では最大浸水深平均値が増大し、下流では低減する。盛土高が増すにつれ、上流の最大浸水深平均値は大きく増加し、二線堤が無い場合の最大浸水深平均値 0.49m に対して、盛土 2m の場合は約 1.04m、盛土 3m の場合は 1.41m、盛土 4m の場合は 1.83m となる。下流の最大浸水深平均値は二線堤が無い場合に 0.90m であるのに対し、盛土 4m の場合でも 0.48m と低減量は比較的小さい。図 4-4-5 の浸水深ランク毎世帯数で見ると、二線堤上流では盛土無しの場合には浸水世帯は全て床上浸水 0.5m 未満（浸水深 0.95m 以下）であるのに対し、盛土することにより床上浸水深が大きい方向へシフトし、最大で床上浸水 3m 以上の世帯が生じる。二線堤下流では、盛土高を高くすることにより浸水深の小さい方向へシフトするが、盛土 4m でも床上浸水 0.5m 以上（浸水深 0.95～1.45m）の世帯数が残ってしまう。

盛土高の増大に対する上流側の浸水区域面積や最大浸水深の変化量は、氾濫原地形や斜面に対する二線堤の角度の影響を受けるものと考えられる。C川右岸の場合、二線堤が氾濫原斜面方向に対してほぼ直交しているため、二線堤に遮られた氾濫流は拡散せず、同じ区域で水深を増大させる方向に働く。加えて、氾濫原勾配が大きいこともあり、上流の浸水区域面積としては変わらないが、最大浸水深の増加量が大きくなる。

C川右岸にはC川 0.4Km 付近で合流するK川があって、二線堤と交差している。従って、N川を二線堤上流における氾濫水の排水路として活用することが考えられる。また、二線堤上流に貯留された氾濫水を氾濫原ポンプなどにより直接C川へ排水することも考えられる。

(4) 浸水被害額

図 4-5-6 に盛土高と浸水被害額の関係を示す。盛土を高くすることにより、二線堤上流では浸水被害額が増大し、下流では軽減する。二線堤下流に対する効果は二線堤上流に対する影響より相対的に小さく、全体として浸水被害額は増加している。

二線堤盛土による上流側の浸水被害額の増加量は、氾濫原地形形状や斜面に対する二線堤の角度に加え資産分布の影響を受けるものと考えられる。図 4-5-7 に盛土高と上流浸水区域における浸水世帯密度の関係を示すが、これにより盛土高が大きくなっても浸水世帯密度は変わらないことが分かる。しかし、(3)の結果から分かるように、盛土高が大きくなると浸水深が大きくなり、従って被害率が大きくなる。治水経済調査要綱（平成 11 年現在）に示されている家屋、家庭用品資産被害率は表 4-5-3 の通りであるが、これに従えば、C川右

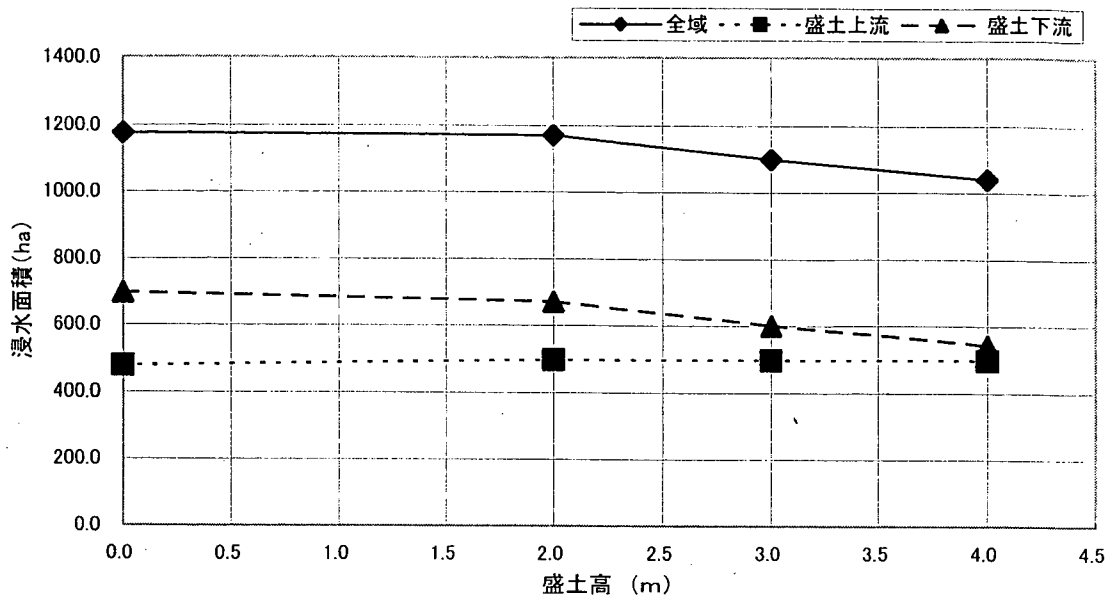


図 4-5-3 二線堤盛土高と浸水面積の関係

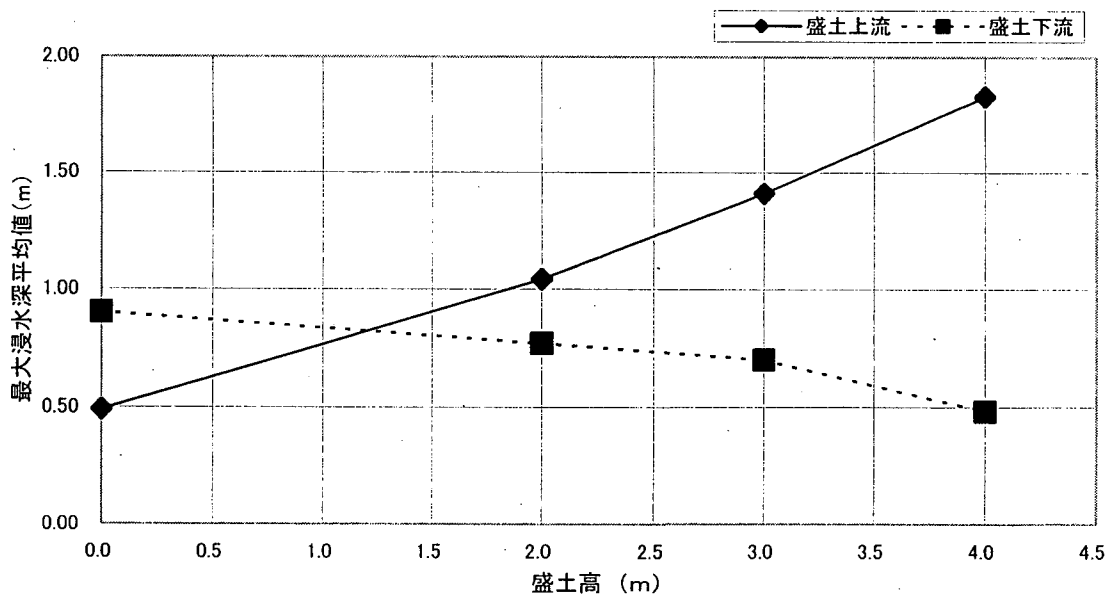


図 4-5-4 二線堤盛土高と最大浸水深平均値の関係

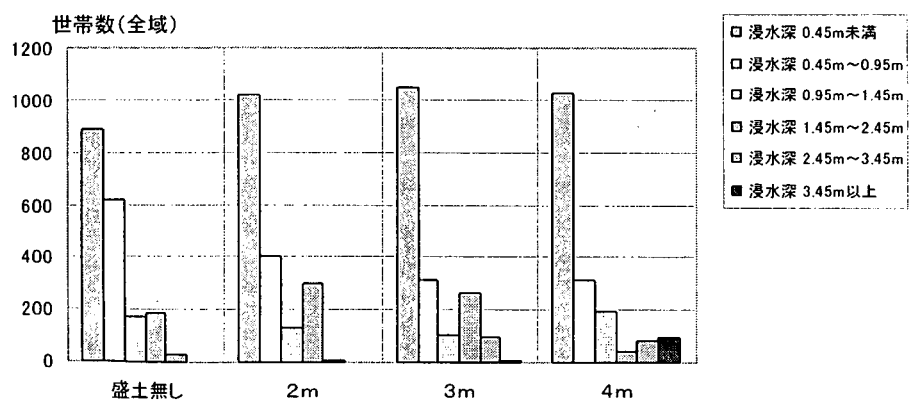
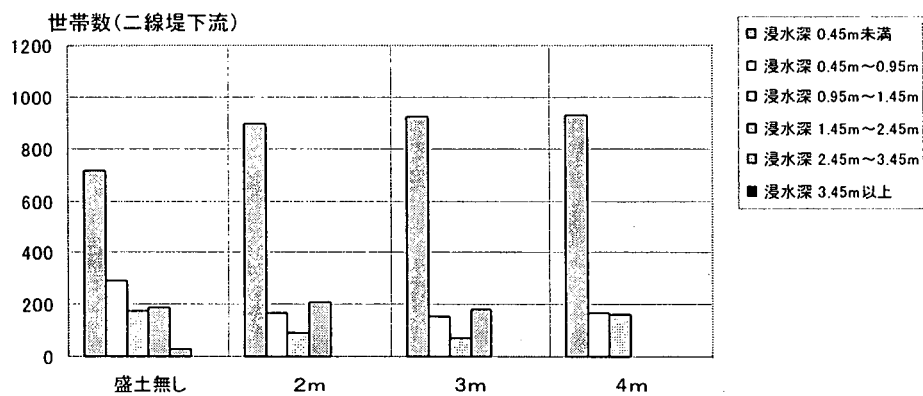
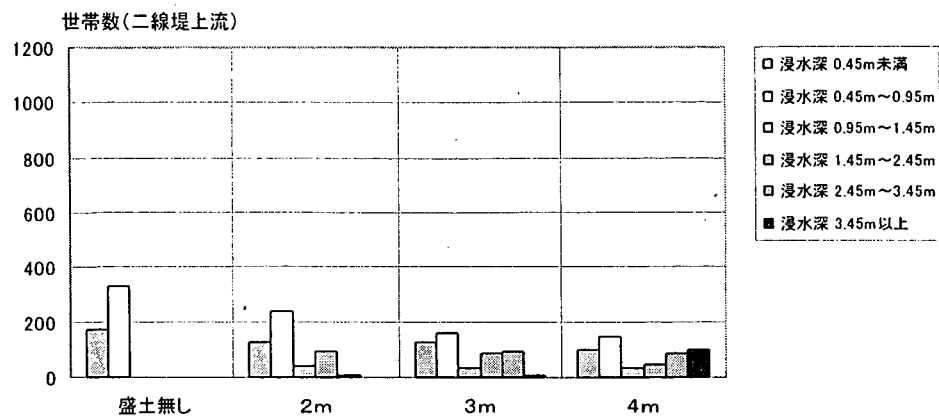


図 4-5-5 二線堤盛土高と浸水深ランク毎世帯数の関係

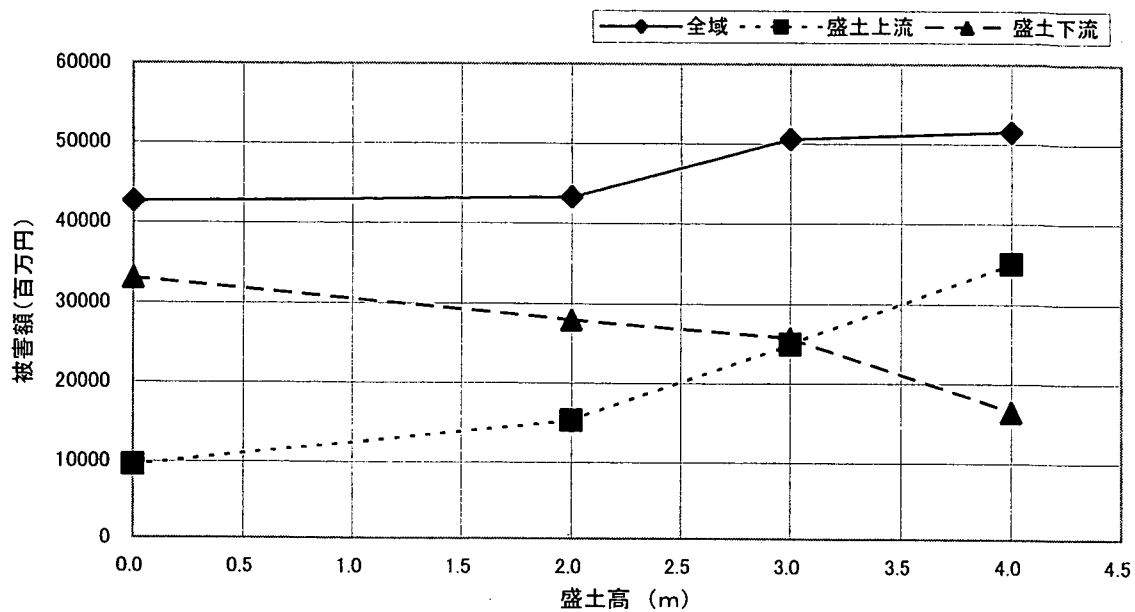


図 4-5-6 二線堤盛土高と浸水被害額の関係

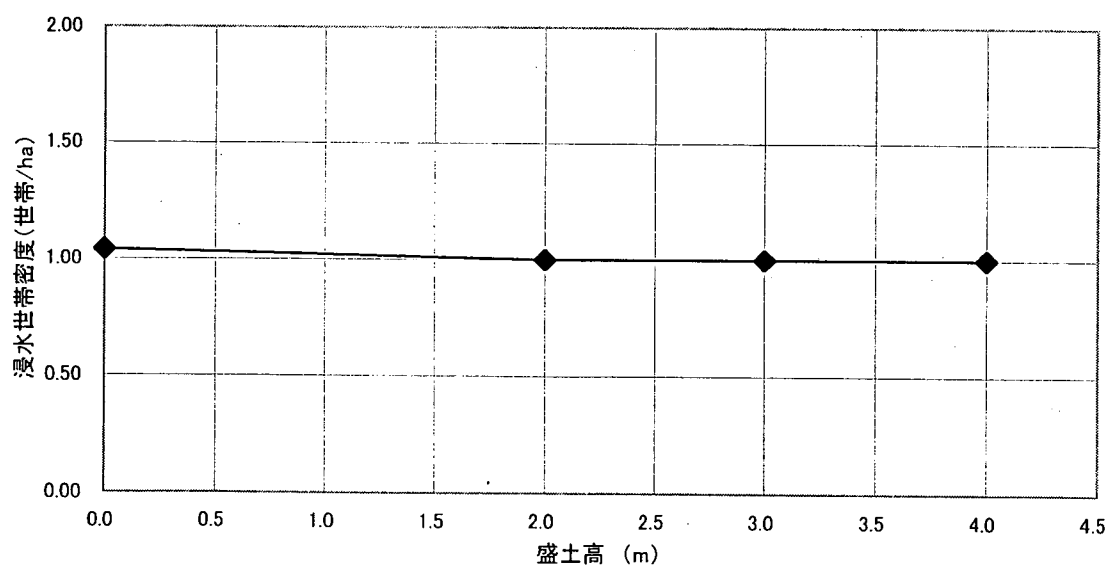


図 4-5-7 二線堤盛土高と浸水世帯密度の関係 (盛土上流)

岸の場合、浸水深が0.49mから1.04mに増加すると家屋資産被害率は約1.4倍に、1.83mに増加すると約2.7倍となる等、この影響は大きい。C川右岸の場合には、この影響もあって、二線堤盛土による上流の被害額増が大きくなるため、氾濫原全体として、二線堤による浸水被害軽減効果が期待できなくなると考えられる。

ただし、(3)の最後で述べたように、他の氾濫流制御施設を活用することにより二線堤上流の浸水被害増を抑制し、全体として浸水被害を低減させる可能性もある。

(5) C川における二線堤の効果のまとめ

以上の結果を再整理する。

○(1)では、二線堤盛土の氾濫流貯留機能により二線堤下流の市街地に対し氾濫流到達時間遅延効果が期待できることを示した。盛土高が1m高くなると到達時間は約1時間延長され、これにより、氾濫流に対してより安全な避難が行えるようになることが期待される。

○(2)では、二線堤上流の浸水面積増の程度は下流の浸水面積低減の程度と比べ小さいこと、上流側での浸水面積増は小さいものの、浸水深増が大きく、被害率の増分が大きくなることを示した。これは、二線堤の向きが氾濫原斜面方向に対して直交していることから流向制御機能が働かないことによると考えられる。

○(3)では、二線堤により下流への氾濫ボリュームが低減されるため下流の集落において浸水被害が軽減されること、二線堤上流で新たに浸水する区域は少ないが、被害率の増分が大きく、二線堤上流の被害額増が比較的大きくなること、さらに、その結果、全体として浸水被害額は増大することを示した。

○二線堤設置により増加する上流側の浸水被害に対して、他の氾濫流制御施設を併用して上流側の被害増をできるだけ抑制し、全体として浸水被害額の軽減を図ることが考えられる。C川右岸で考えられる施設は、例えば氾濫原ポンプや氾濫水誘導水路などである。

表 4-5-3 家屋、家庭用品の被害率

項目 浸水深		家屋資産被害率			家庭用品 被害率
		地盤勾配 1/1000 未満	地盤勾配 1/1000～1/500	地盤勾配 1/500 以上	
床下		0.032	0.044	0.050	0.021
床 上	50cm 未満	0.092	0.126	0.144	0.145
	50～99cm	0.119	0.176	0.205	0.326
	100～ 199cm	0.266	0.343	0.382	0.508
	200～ 299cm	0.580	0.647	0.681	0.928
	300cm 以上	0.834	0.870	0.888	0.991

注 1) 治水経済調査要綱（平成 11 年現在）

2) 今回の検討では、地盤高からの浸水深 45cm 以上を床上浸水とした。

3) C川右岸地盤勾配は 1/400 程度

第5章 二線堤の効果及び問題点

第4章のケーススタディの結果を踏まえ、二線堤に期待される氾濫流制御機能及び被害軽減効果についてとりまとめ、これらと地形条件、氾濫形態あるいは資産分布等との関係を明らかにするとともに、問題点を整理する。

5.1 二線堤の水理的機能の評価

ケーススタディ結果より、二線堤は水理的機能として氾濫水貯留機能や流向制御機能を有するものと考えられる。これらの水理的機能について、地形条件や二線堤条件などとの関係を評価する。

5.1.1 水理的機能に関わる項目

二線堤の水理的機能に関わる事項として、氾濫形態、氾濫原勾配、二線堤盛土高、二線堤長、二線堤角度、氾濫容量、あるいはこれらの条件から決まる地形的な貯留可能量などが考えられる。

A、B、C川に関するこれらの諸元を表 5-1-1 に示す。二線堤上流における貯留可能量は地形条件を単純化して求めた。A川は氾濫原斜面方向との角度が大きいため貯留部分の地形形状を三角錐と仮定して体積を求め、B、C川は盛土と地盤に囲まれる三角柱の体積を求めている。貯留可能量推定結果を図 5-1-1 に示す。実流域の地形は複雑で、ここで求めた貯留可能量は実際の貯留量と異なると考えられるが、定性的には傾向を表現しているものと考えられる。同じ盛土高さでの貯留可能量は、氾濫原勾配が大きいC川の場合、A、B川に比べ小さくなる。

表 5-1-1 二線堤の水理的機能に影響を与える事項

項 目	A川	B川	C川
氾濫原勾配	1/1,000	1/1,250	1/200~1/500
氾濫形態	沿川流下	拡 散	二線堤上流：沿川流下 二線堤下流：貯 留
氾濫容量 (万 m ³)	322	1,199	885
二線堤長 (m)	3,000	4,400	5,000
氾濫原斜面に対する二線堤角度*	45°	60° (河道から離れると斜面方向と平行となる。)	90°
二線堤上流における貯留可能量／氾濫容量	0(盛土なし) 0.22(盛土高 1m) 0.88(盛土高 2m) 1.98(盛土高 3m)	0(盛土なし) 0.23(盛土高 1m) 0.92(盛土高 2m) 2.06(盛土高 3m)	0(盛土なし) 0.06(盛土高 1m) 0.23(盛土高 2m) 0.51(盛土高 3m)

*二線堤角度は、斜面方向に対する下流側の角度を表している。

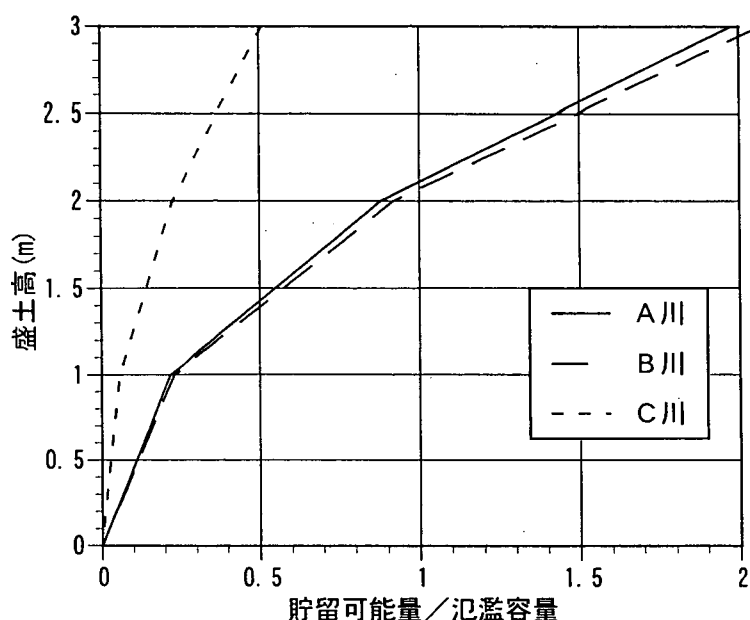


図 5-1-1 地形から求めた貯留可能量（氾濫容量で無次元化）と盛土高の関係

5.1.2 氾濫水貯留機能の評価

二線堤の氾濫水貯留機能が浸水状況に与える影響として、二線堤下流市街地への氾濫流到達時間、浸水面積、上流浸水深などがある。そこで二線堤の氾濫水貯留機能を評価するため、5.1.1で整理した地形及び二線堤条件と到達時間や浸水区域面積などの関係を見ることにする。

まず、貯留可能量（氾濫容量で無次元化）と下流市街地への氾濫水到達時間との関係を整理すると、図 5-1-2 に示すように貯留可能量が大きいほど到達時間が大きくなる。これは、氾濫容量に対する貯留可能量が大きくなることにより、浸水深が氾濫流が二線堤を越えるため水位に達するまでの所要時間が長くなるためである。

また、図 5-1-3 に、貯留可能量（氾濫容量で無次元化）と二線堤下流浸水面積の関係を示した。同図の浸水面積は、二線堤が無い場合の値で除した値で整理している。盛土を高くし氾濫水貯留機能を向上させると二線堤越水量が低減し、下流浸水面積も低減する。ただし、下流浸水面積（二線堤越水量）は、単純に貯留可能量（二線堤高さによる）だけで決まるわけではなく、氾濫流に対する二線堤角度等も影響するため、B川のように貯留可能量が小さくても二線堤越水量を小さく抑えることができる場合や、C川のように貯留可能量の割に二線堤越水量が大きい場合もある。

以上のことから、二線堤は一般に氾濫水貯留機能を有しており、二線堤下流への氾濫水到達時間の遅延や二線堤下流の浸水面積の低減効果を有していることがわかる。

5.1.3 流向制御機能の評価

流向制御機能を評価するため、図 5-1-4 に二線堤無し・ありの流速ベクトル図を、図 5-1-5 には、盛土高を氾濫原勾配で割った値（盛土高／氾濫原勾配）と二線堤上流浸水面積の変化率（二線堤がない場合からの浸水面積増加量を、二線堤がない場合の浸水面積で除した値）の関係を示す。盛土高／氾濫原勾配は、およそ二線堤上流域における湛水域の上流方向の長さに相当する。したがって、二線堤の設置による二線堤上流での

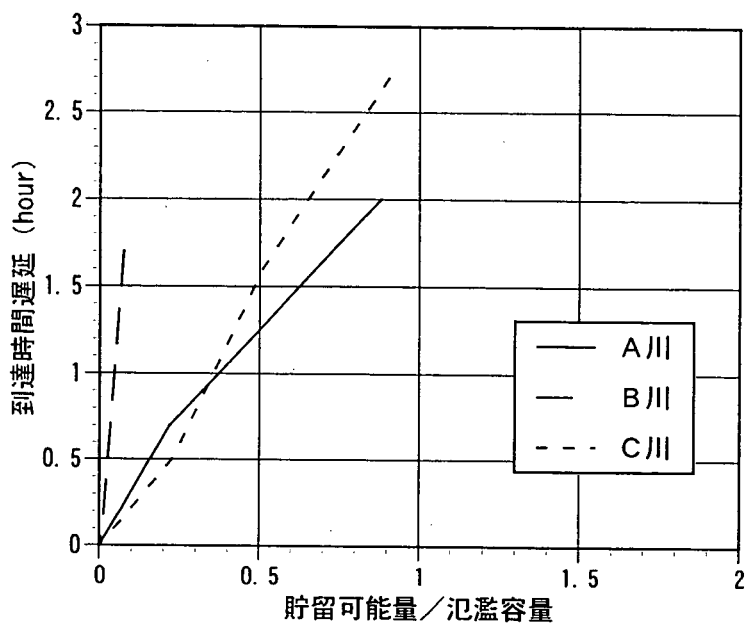


図 5-1-2 貯留可能量と到達時間遅延効果の関係

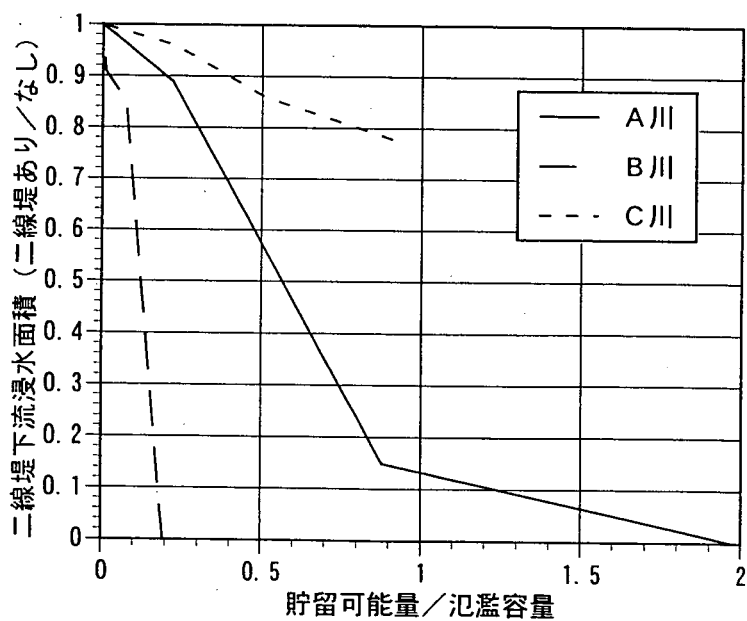
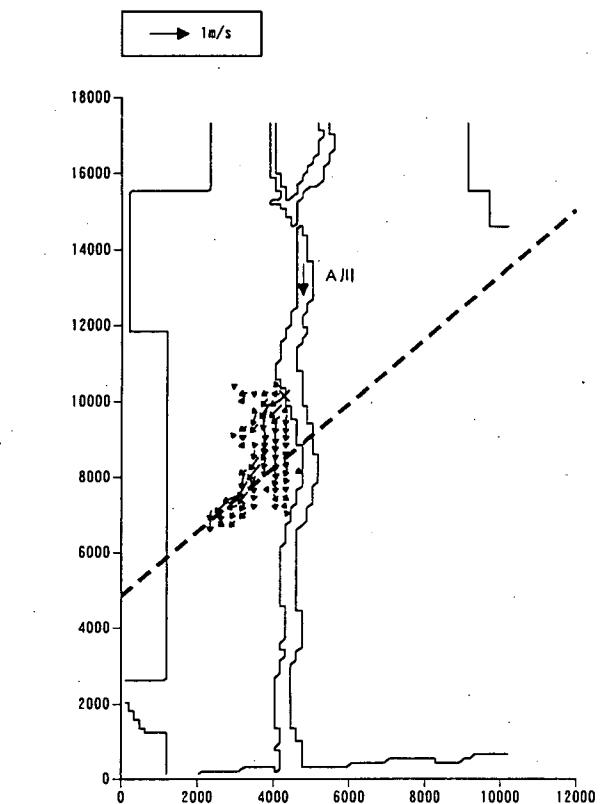
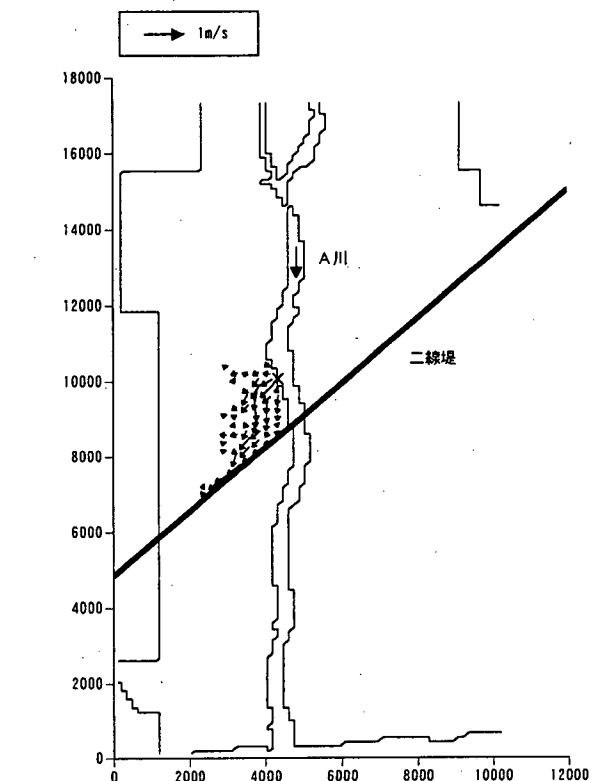


図 5-1-3 貯留可能量と二線堤下流浸水面積の関係

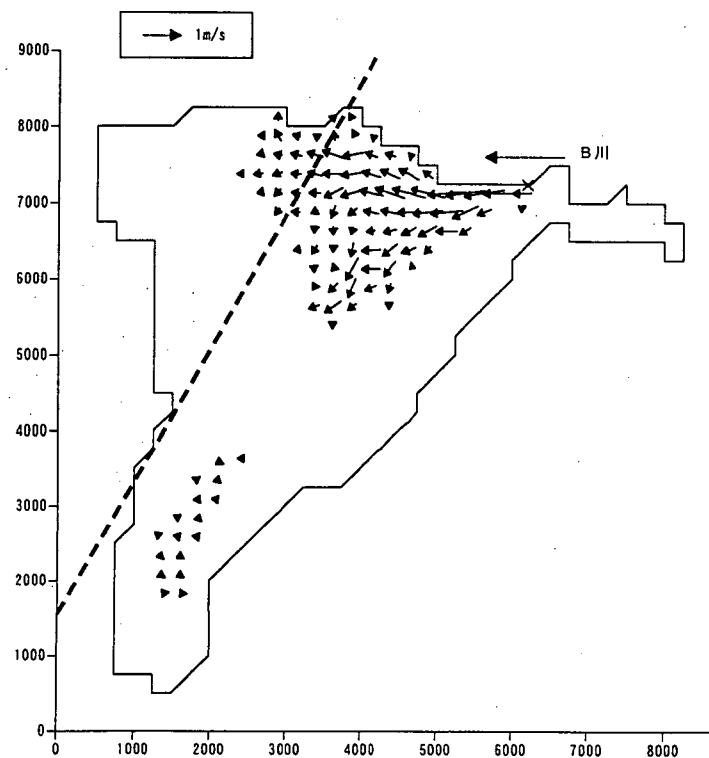


A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後240分、ケース1：二線堤無し）

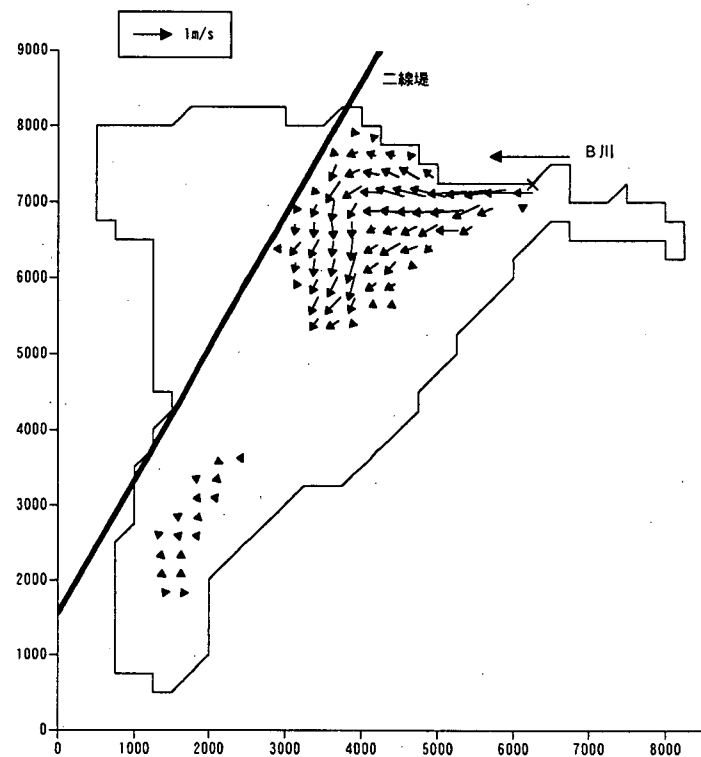


A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後240分、ケース4：盛土3m）

図 5-1-4(1) 二線堤無し・ありの流速ベクトル図（A川）

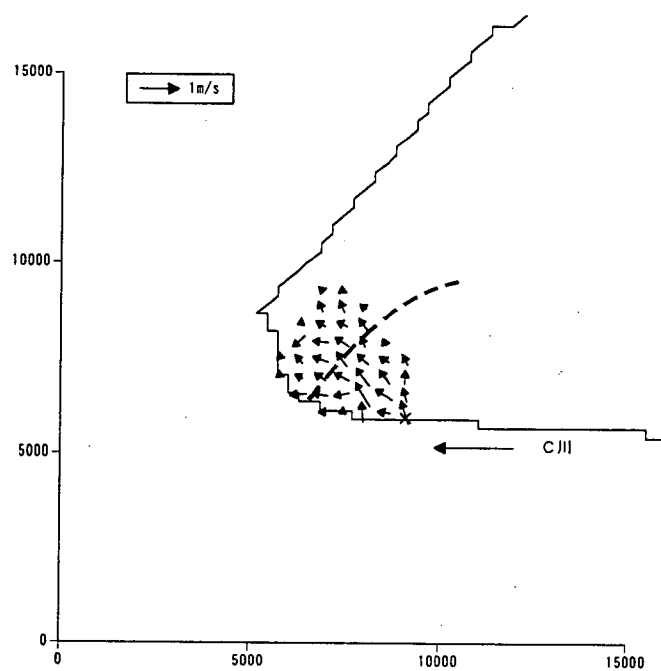


B川左岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後120分、ケース1：二線堤無し）

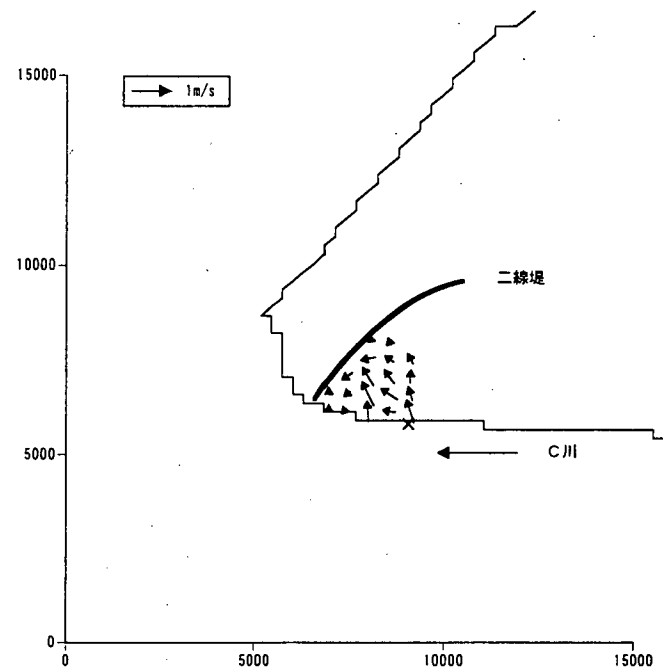


B川左岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後120分、ケース4：盛土1.3m）

図5-1-4(2) 二線堤無し・ありの流速ベクトル図（B川）



C川右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後90分、ケース1：二線堤無し）



C川右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後90分、ケース4：盛土4m）

図 5-1-4(3) 二線堤無し・ありの流速ベクトル図（C川）

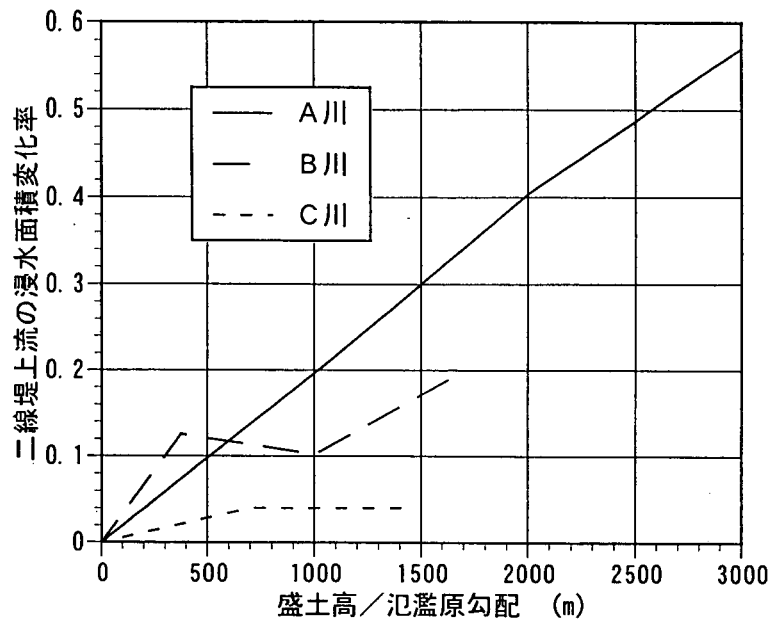


図 5-1-5 盛土高/氾濫原勾配と二線堤上流浸水面積変化率の関係

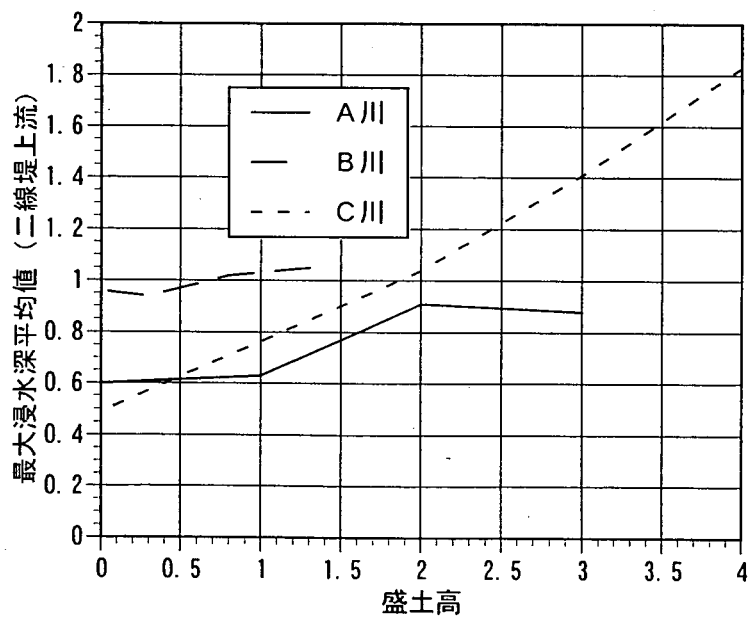


図 5-1-6 盛土高と二線堤上流での最大浸水深平均値の関係

表 5-1-2 二線堤による水理的効果のまとめ

河 川		A川	B川	C川
項 目	到達時間遅延	1m の盛土に対し約 1hr の遅延効果がある。	1m の盛土に対し約 2hr の遅延効果がある。	1m の盛土に対し約 1hr の遅延効果がある。
	浸水面積	2m の盛土により、 上流：約 40% 増 下流：約 85% 減 全域：約 42% 減	1.3m の盛土により、 上流：約 19% 増 下流：解消 全域：約 35% 減	2m の盛土により、 上流：約 4% 増 下流：約 4% 減 全域：微減
	浸水深	上流：若干増加 下流：2m の盛土により床上 0.5m 以上の浸水は解消される。	上流：若干増加 下流：0.8m の盛土により床上 1m 以上の浸水は解消される	上流：盛土により床上 1m ~3m 以上の浸水が増加する。 下流：2m の盛土により床上 2m 以上の浸水は解消される

浸水面積の増加と対応関係にあると考えられる。なお、C川の氾濫原勾配は1/200~1/500であるが、ここでは1/350としている。

C川の二線堤は、角度が氾濫原斜面に対し直交しており、氾濫形態が沿川流下型であることから、氾濫流向を変更、拡散する機能はない。従って、二線堤盛土により二線堤上流浸水面積が拡大することもない。さらに、氾濫原勾配が急なため、勾配が緩い場合に比べて狭い領域に氾濫水が貯留される。これに対して、A川二線堤は氾濫原斜面方向に対し斜めとなっていることから、二線堤が無い場合に本川沿いに流下する氾濫流が二線堤により流向を変更され、二線堤上流浸水面積が拡大する。また、B川二線堤は、河道沿いの斜面方向に対してはほぼ直交するが、河道から離れるとK池及び周辺低地へ向かう斜面方向と平行になる。B川はもともと拡散型の氾濫形態を有しているが、二線堤により氾濫流の拡散傾向が増長され、二線堤上流浸水面積が拡大することになる。

図 5-1-5 をみると、盛土高/氾濫原勾配の値が同じ程度でも、C川に比べて、A川、B川における二線堤上流浸水面積変化率が大きい。このことは、A川、B川における浸水面積の変化率は、勾配の影響による浸水面積の変化率よりも大きくなっている、すなわち、二線堤角度等の影響による拡散効果が大きいことを示しており、二線堤上流における氾濫状況は、氾濫原勾配のみで決まっているのではないことが分かる。

一方で、A川、B川二線堤では、上流側での浸水面積が拡大する反面、氾濫水を広い範囲に拡散できるため二線堤上流域の浸水深増加量を小さく抑えることができる。図 5-1-6 に盛土高と二線堤上流における最大浸水深平均値の関係を示す。A川、B川では、盛土高が増加しても二線堤上流における浸水深はほとんど増加しないが、C川では、盛土高が増加すると二線堤上流における浸水深も大きく増加する。C川におけるこの傾向の原因としては、氾濫原勾配が大きいこと、湛水する区域が狭く水深が深くなること、さらに、流向制御機能（氾濫流を拡散させる機能）が小さいため、狭い区域に湛水することがあげられる。

このように、氾濫原勾配が緩い程、二線堤上流の氾濫水が薄く広く貯留されるが、氾濫原斜面方向（氾濫流

流下方向)と二線堤のなす角度が小さい場合には、氾濫流の拡散傾向が生じ、あるいは増長され、二線堤上流で浸水面積が拡大するものの浸水深増加量の緩和が引き起こされる。

表 5-1-2 に二線堤による水理的効果のまとめを示す。

5.2 二線堤の浸水被害軽減効果の評価

5.1 では、ケーススタディの結果を踏まえながら二線堤の水理的機能について整理した。ここでは、二線堤上下流の資産分布等を考慮し、二線堤の浸水被害額軽減効果について評価する。

表 5-2-1 各河川流域の資産分布

項 目		A川	B川	C川
氾濫域内資産額	二線堤上流	82017 (17%)	136375 (42%)	31190 (32%)
	二線堤下流	397679 (83%)	188501 (58%)	65229 (68%)
	合計	479696	324876	96419
世帯密度	二線堤無し	6.07	3.79	1.04
	二線堤あり	5.41	3.43	1.00

註1) 資産額は二線堤無しの場合の氾濫域内資産額：百万円、() 書は合計に対する割合

2) 氾濫域内世帯密度の二線堤ありは盛土高さ 2m (A川、C川)、1.3m (B川) の場合：世帯/ha

表 5-2-2 二線堤による被害額の変化

項 目	A川 (2m の盛土の場合)	B川 (1.3m の盛土の場合)	C川 (2m の盛土の場合)
二線堤上流域	約 6.1% 増	約 3.9% 増	約 6.0% 増
二線堤下流域	約 9.5% 減	被害なし (浸水解消)	約 1.6% 減
全 域	約 6.7% 減	約 3.7% 減	約 1% 増
評 価	二線堤で氾濫流をかなり遮断でき、しかも、下流への資産分布割合が大きいことから被害軽減効果は大きい。	それほど高くない二線堤で氾濫流を遮断でき、上流側での浸水被害増が小さく抑えられることから、被害額をかなり軽減できる。	上雄域での浸水深の増加が大きく、上流域での被害額の増加が著しく大きいため、被害はかえって大きくなる。

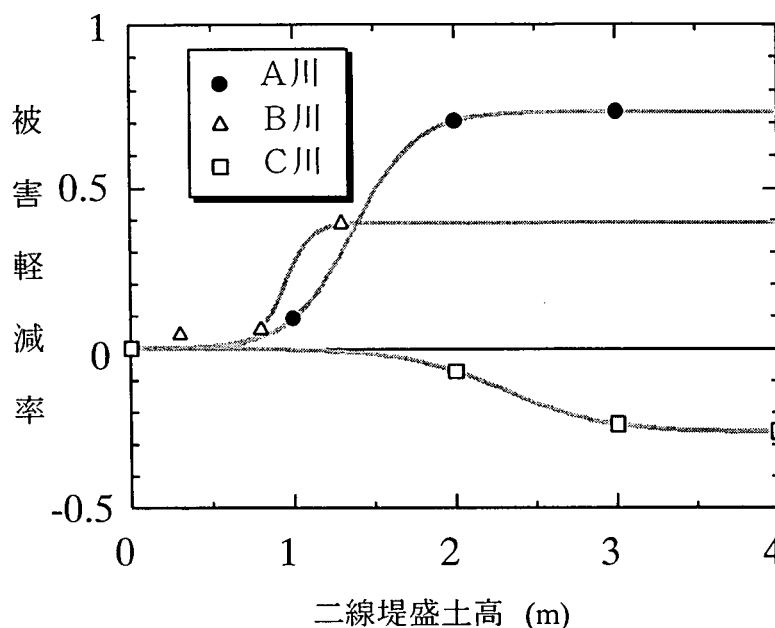


図 5-2-1 二線堤盛土高と被害軽減率

5.2.1 浸水被害軽減効果に関わる項目

5.1で整理したように、二線堤はその下流域に対しては浸水深や浸水面積を低減する効果を有するが、その上流域に対しては逆に浸水深や浸水面積を増大することになる。氾濫域全体の浸水被害額軽減効果を評価する場合には、こうした水理的な機能に関わる条件の他に二線堤上下流の資産分布や二線堤上流の浸水拡大域における資産分布などが重要となる。表 5-2-1 に各河川の資産分布に関わる諸元を整理した。

5.2.2 浸水被害額軽減効果の評価

表 5-2-2 に、二線堤による被害額の変化のまとめを示す。また、図 5-2-1 に二線堤盛土高と被害軽減率（盛土なしの場合の被害額からの減少額／盛土なしの場合の被害額）の関係を示す。

ここで、二線堤盛土高の変化と被害軽減率の変化の関係について述べておく。図 5-2-1 のグラフから分かるとおり、盛土高を高くすることにより被害が増加するか軽減するかに関わらず、盛土高の増加と被害軽減率の変化には共通する傾向がみられる。盛土なしの状態から盛土高を高くしていった場合、盛土高が低いうちは被害軽減率の変化は小さいが、さらに盛土高を高くしていくと急激に変化が生じ、さらに高くしていくと被害軽減率の変化は頭打ちとなって一定の値に収束するような変化をたどる。盛土高が低い領域での被害軽減率の変化が小さい理由は、浸水深変化が生じて浸水深の絶対値は小さい範囲に収まるため、被害額の変化に寄与しない（0.45m 以下の浸水は全て床下浸水と見なされるため、それ以下での浸水深の変化は被害額の変化に結びつかない）ことによると推測される。また、盛土高が高い領域で被害軽減率が一定の値に収束するのは、盛土高がある一定の高さ以上になると越流が生じなくなり、浸水形態に変化が生じなくなることによると考えられる（越流が生じない盛土高ささえ確保されれば、どんなに高くしても浸水分布は変化しない）。

A、B川では氾濫域全体としての被害額軽減効果が得られるのに対し、C川では逆に被害額が増加してい

る。その原因は、二線堤上下流での資産分布とともに、二線堤氾濫形態や二線堤角度、地形条件の影響により二線堤盛土が上流浸水深の上昇に直接つながり、二線堤上流での被害率の上昇をもたらすことに起因している。

A川のように、二線堤下流域の資産の比率が大きい場合には、下流域における浸水面積、浸水深の低下による浸水被害軽減の効果が大きく、上流域における浸水面積、浸水深の増加による浸水被害増加を上回る。したがって、全体としての被害額軽減効果が大きくなることが期待される。

また、A、B川のように、二線堤の設置により上流域における氾濫域内世帯密度が小さくなることは、二線堤の設置により拡大した浸水域の資産が比較的少ないことを示している。このような場合には、上流域の浸水面積の増加による浸水被害額の増加が比較的小さく抑制される。したがって、相対的に下流域での被害額の低下が大きくなり、全体としての被害額軽減効果が大きくなることが期待される。反対に、二線堤の設置により上流域における氾濫域内世帯密度が大きくなるか変化しない場合は、浸水面積の増加に伴って被害が増加する、あるいは浸水面積の増加がない場合も浸水深の増加により被害が増加することとなる。

C川は、二線堤下流域の資産分布比率が比較的大きいものの、二線堤の設置による上流域の氾濫域内世帯密度の変化が非常に小さい（浸水域は二線堤の設置有無によってほとんど変化しない）ため、上流域における浸水深の増加が直接被害増に結びつき、全体としての被害率も著しく上昇している。

5.2.3 浸水被害軽減への氾濫原特性の影響の整理

二線堤の設置による効果には、二線堤下流への氾濫水到達時間の遅延（避難時間の確保）、二線堤下流に到達する氾濫水の容量を減少させることによる浸水面積・浸水深の低減、それに伴う被害額の低減がある。それらについては、二線堤上流における氾濫水の貯留可能性が大きいほど大きな効果が得られるものと考えられる。

氾濫原全体としての氾濫被害軽減効果は、二線堤上流側の浸水面積・浸水深の増加による被害額の増加との関係によって異なる。まず、二線堤上流域における資産に比べ、下流域における資産が多い場合、下流域における被害軽減額が上流域における被害増加額を上回ることにより、全体としての被害が軽減される（資産分布の効果）。さらに、二線堤上流での氾濫が薄く広く広がる場合には上流域での被害増は小さく抑えられるが、反対に、深く狭く堪る場合には上流域での被害増は大きくなる（二線堤上流における氾濫形態の効果）。後者については、一般に、氾濫原勾配が緩いほど、二線堤上流での浸水面積の増加は大きくなるが、浸水深の増加は小さくなり、被害増加が抑制される。さらに、氾濫原勾配に対する二線堤の角度の関係から、二線堤上流での氾濫水が拡散される傾向がある場合、浸水面積の増加は大きくなるが、浸水深の増加は小さく抑えられ、被害増加が抑制される。

このような氾濫原の特性と被害への影響を整理すると、図5-2-2のようになる。図中、縦軸の下流資産と上流資産の比が大きいほど、横軸の勾配（図では逆数）が緩いほど被害軽減率は大きくなる。ただし、二線堤上流での被害は勾配だけではなく、地形・二線堤角度に応じた氾濫特性の影響も受ける。二線堤上流の氾濫特性が拡散傾向の場合、勾配を緩くする（被害軽減率を大きくする）方向に働き、二線堤上流の氾濫特性が貯留傾向にある場合、勾配をきつくする（被害軽減率を小さくする）方向に働く。

5.2.4 最適盛土高の設定

図5-2-1でみられるような盛土高と被害軽減率の変化の関係をもとに、最適盛土高さの設定について考察する。図5-2-1のグラフは、今回の検討で設定した確率規模の洪水氾濫に対するものであるが、洪水氾濫の規模

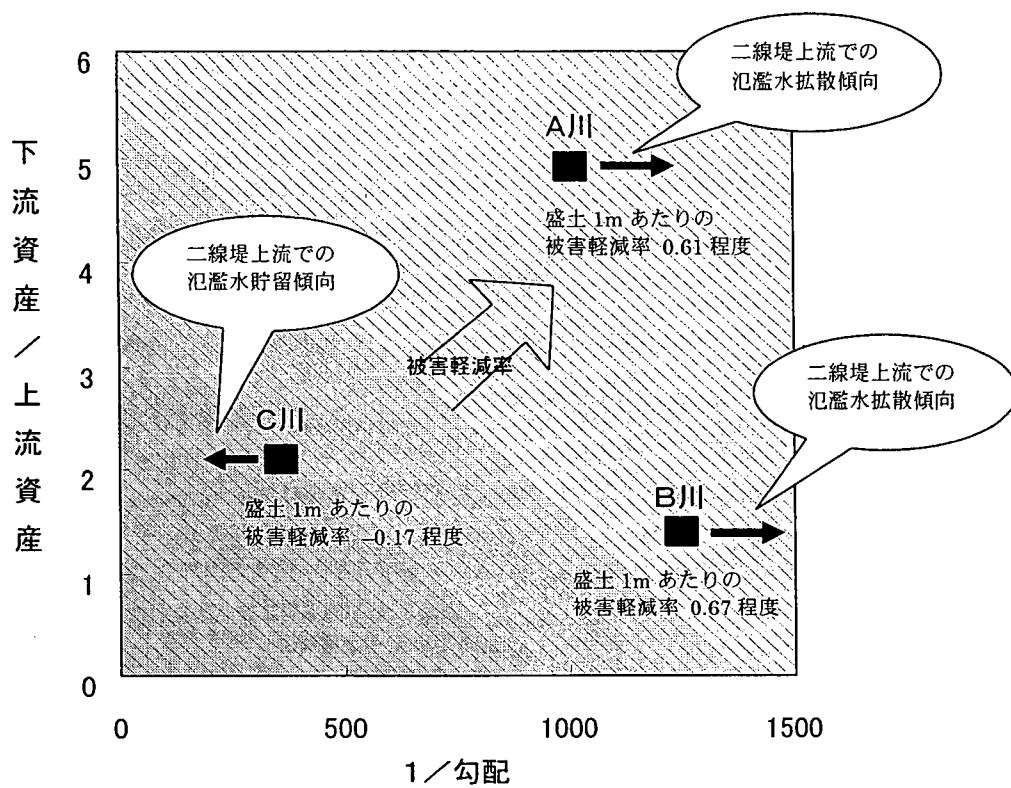


図 5-2-2 氾濫原特性と被害軽減効果

(盛土 1m あたりの被害軽減率は、最も変化が大きい区間から計算)

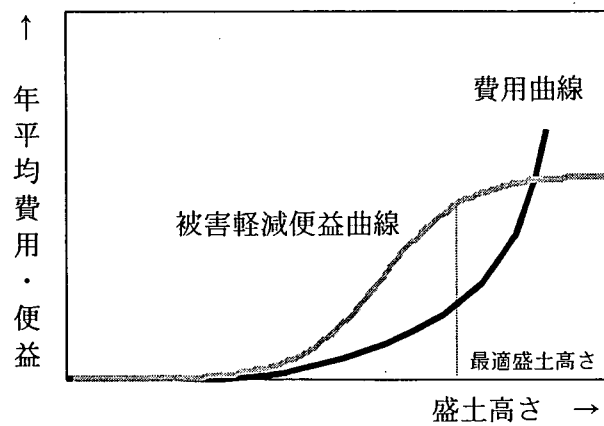


図 5-2-3 最適盛土高さ設定の概念図

に応じた発生確率（再現期間）を考慮して二線堤の設置による年平均被害軽減額の期待値と二線堤盛土高の関係を求めると、おそらく、同様の曲線（盛土高が低いうちは変化が小さく、盛土高が高くなると急激に変化、さらに高くなると一定値に収束）になるものと想像される。また、二線堤盛土の築造にかかる年平均費用と盛土高さの関係を求めると、盛土高さに応じて逡増するような曲線になるものと考えられる（築造に必要な土量は高さの二乗で増えるから）。図 5-2-3 に二線堤設置による年平均費用曲線、被害軽減便益曲線の概念図を示す。

効率性からいって最適な盛土高さは、年平均費用と便益の差（比）が最も大きくなる高さである。期待便益、費用の算定により図 5-2-3 のような曲線を求めることにより、最適な二線堤盛土高さの設定が可能になるものと考えられる。

5.3 施策としての評価

二線堤を施策として導入する場合には、全体としての被害軽減効果だけでなく、域内の被害バランスへの配慮が必要となる。二線堤の設置による全体の被害軽減、特に資産集中域や市街化した区域の被害軽減が大きく、二線堤上流域の被害増が生じるとしてもそれが許容できるものである限り、二線堤は施策として有効であると考えられる。

今回のケーススタディーで取り上げたA川、B川、C川の場合、以下が施策としての評価を行うにあたってのポイントとなるものと考えられる。

- ・ 二線堤下流区域と上流区域の資産分布の違いが明確に分かれていて、二線堤により防御される区域における被害軽減が顕著かどうか

この点では、A川において二線堤下流の資産が上流資産を大きく上回っており、比較的防御区域（下流側）、氾濫許容区域（上流側）としての設定に妥当性が見いだせるものと考えられる。

- ・ 氾濫原勾配、二線堤の角度、地形、氾濫形態などの条件により、上流域での被害増が抑制されるかどうか。
さらには、被害増が許容できる範囲のものであるかどうか。

A川、B川では、二線堤の設置により拡大する氾濫域内の世帯密度が比較的低いことから、上流域での被害増が抑制されている。二線堤の導入には好ましい資産分布形態と考えられる。

ただし、A川、B川における被害増が許容できる範囲であるかの判断は今回の検討の範囲ではできないので、あくまでも最低限の必要条件を満たしているということである。

一方、C川では、床下から床上など被害増が明らかに許容を越えていると考えられる。

もちろん、上記の評価は、机上のものであり、現実に施策の計画をたてるうえでは、より深く掘り下げた検討がなされねばならない。

5.4 二線堤の問題点

本資料におけるケーススタディーでは、以下に示す点についての検討はなされていない。しかし、それらは二

線堤整備にあたって非常に重要となる問題点である。

5.4.1 二線堤による被害増大区域への対策

二線堤上下流の資産分布や地形条件、二線堤配置等の条件によっては、氾濫域全体として浸水被害額軽減効果が期待できる。今回のケーススタディにおけるA川、B川がそうである。しかし、二線堤上下流毎に見ると、二線堤下流に対しては氾濫流の到達を遅延し水防や避難を容易にする効果や浸水被害を軽減するという効果を有するものの、二線堤上流に対しては浸水被害を拡大するという影響を与える危険性がある。今回のケーススタディにおけるC川のように、上流被害の増大が大きく、下流側の被害軽減効果を上回ってしまう場合もある。また、C川のように二線堤による上流域の被害が非常に大きい場合には、上流域住民からの理解は全く得られないであろう。

二線堤により、その上流において浸水被害の拡大が予想される場合には、できるだけ被害増を抑制するような対応策が必要となる。

○他の氾濫流制御施設を併用して上流域の浸水被害増を緩和する。例えば、氾濫原ポンプ、氾濫水誘導水路により上流域の氾濫水を域外に強制的に排除する方法や、二線堤にカルバートなどを設置して上流域の湛水量を制御する（コントロールされた流量の下流への伝播は許容する）などの方法が考えられる。

○二線堤築造後に新たに浸水被害が生じるあるいは被害の程度が増大すると予想される地域について、何らかの補償措置（移転、住宅盛土、被害の補償など）を行う。

5.4.2 越水に関する問題点

平成10年8月末豪雨時の余笹川等における構造物被災の中で目を引いたものの一つに、橋梁の取付盛土の被災がある。これは、河道の流下能力を超える洪水が河道、氾濫原一体となって流下した際に、取付盛土を越水して流れ、まるで越水破堤するように破壊されたものと言われ、取付盛土の多くが被災した¹⁵⁾。

盛土構造物である二線堤についても、氾濫流が越水すれば同様の問題が生じ、破壊される危険性があると考えられる。万一、二線堤が破壊されれば期待される機能と効果が得られないばかりでなく、二線堤上流の水深が大きい時点で破壊される場合などは二線堤が無い場合より被害が拡大するおそれもある。二線堤破堤の防止策としては、以下の二通りの方法が考えられる。

○氾濫流を越水させない。

○越水しても破壊されない強度を確保する。

まず、越水させないためには、二線堤高さの設定時に十分な高さを見込むことが考えられる。すなわち、二線堤高さに「計画高水位」を設定し、その高さを確保するという考えであるが、河道の計画高水位同様、超過的な浸水位が発生した場合の対策を想定しておく必要がある。また、二線堤上流側での湛水量を制御し、上流浸水深を抑制することも考えられる。このためには、氾濫原ポンプ、氾濫水誘導水路、二線堤を通じての氾濫水の伝播を許容する二線堤カルバートの設置などの対策が考えられる。

二線堤カルバート等を通じての氾濫水の移動を許容する場合にも、二線堤が流水により破壊されない強度の確保が必要である。

越水しても破壊されない強度の確保については、盛土等で二線堤を築造する（あるいは既存の道路盛土等を活用する）場合、表面を越流堤のように被覆することで強度を確保することが考えられる。しかし、二線堤延長が長い場合には費用が嵩むうえ、絶対に破堤しない強度を確保するのには技術的にも困難が伴うため、基本的には越流させない方向で対策を立てるのが望ましいと考えられる。

第6章 おわりに

本報告書では、氾濫流制御施設の一つである二線堤を対象として、その水理的効果、被害軽減効果に関する検討を行った。二線堤の効果は、流域が有する特性に大きく影響を受けることが分かり、二線堤による氾濫被害軽減手法の適用が可能な流域には、いくつかの条件があることが示された。

二線堤による氾濫流制御手法を実際の施策にとりいれるためには、その施策が流域住民に受け入れられなければならない。しかし、二線堤による氾濫流制御には、流域の一部区域に対しては、全く被害軽減効果がない、あるいは被害がかえって増大してしまうという可能性があり、全住民のコンセンサスを形成するうえで、このような区域の住民の理解が得られるかどうかが鍵となる。したがって、二線堤による氾濫流制御の実施には、二線堤設置による被害軽減効果が明確であり、さらに、二線堤設置により起こりうる被害増についても許容できる範囲に収まっていることが必要条件となる。

しかし、“被害が許容できる”かどうかの判断は非常に微妙な問題で、単純に被害額の総和が一定値以下かどうかなどで一律に判断できるものではない。おそらく、地域の治水の歴史、地域の住民のメンタリティー、将来的なまちづくり計画などにより影響を受けるものと考えられ、この点でも、地域特性に応じた条件の検討が必要となる。また、ある程度の被害増がさけられないとしても、それを補償していくような対策を実施していくことが重要である。

二線堤のような流域対策の実施は、古来治水事業が抱えていた地域間の対立（例えば、「論所堤」にみられるような）の存在を白日の下にさらす結果となる可能性も秘めており、その調整は容易ではないものと想像される。しかし、このような地域間の軋轢は、治水事業が本質的に抱えているものであり、解決策を探っていく過程で、地域の将来的な治水対策のあり方についての幅広い議論が深まるものと考えられる。二線堤の導入に当たっては、その効果（負の面を含めて）を明らかにしたうえで、将来の地域のあり方に関するヴィジョンを含めた議論が行われ、最終的に政策的な判断が下される必要がある。

今後の課題としては、住民の“氾濫許容”についてのより掘り下げた検討が必要と考える。氾濫をある程度許容しなければ成らない（超過的な洪水も含めると、これは全ての流域住民に当てはまる訳でもあるが）場合、いかにそれにより生じる損失を小さくするか、あるいは、社会的なコンセンサスをいかに形成していくかが重要である。今後は、社会的・制度的な側面も含めた検討がますます必要とされていくものとする。

参考文献

- 1) 浜口達男・金木誠・中島輝雄：二線堤の全国実態と具体事例，土木研究所資料第 2451 号，1987. 2.
- 2) 浜口達男・鎌田照章・中島輝雄：荒川流域の二線堤に関する実態調査報告書，土木研究所資料第 2328 号，1986. 2.
- 3) 宮村忠：水害 治水と水防の知恵：中公新書 7 6 8，1985.
- 4) 国立防災科学技術センター編：1981 年 8 月 24 日台風 15 号による小貝川破堤水害調査報告，主要災害調査第 20 号，1983. 2.
- 5) 福岡捷二・松永宜夫：密集市街地における洪水氾濫流解析と氾濫流制御の試み，水工学論文集，第 36 巻，pp. 311-136，1992. 2.
- 6) 建設省土木研究所総合治水研究室：治水研究(7) 洪水防御による受益および負担の調整に関する調査資料—総合的な治水対策のために—，1983.
- 7) 鹿島文永（鹿島台町長）：台風 10 号の災害，河川，No. 488，1987. 3.
- 8) 建設省東北地方建設局北上川下流工事事務所，水害に強いまちづくり事業 計画概要，1995. 3.
- 9) 宮城県鹿島台町・大郷町・松島町：水害に強いまちづくり 基本構想，1989. 11.
- 10) 鹿島台町・松島町・大郷町・建設省東北地方建設局・宮城県：鳴瀬川水系吉田川水害に強いまちづくり事業計画書（参考資料），1990. 7.
- 11) 鹿島台町・松島町・大郷町・建設省東北地方建設局・宮城県：鳴瀬川水系吉田川水害に強いまちづくり事業計画書（案），1991. 1.
- 12) 土木研究所河川部総合治水研究室，白川調査報告書，土木研究所資料第 1826 号，1982. 3.
- 13) 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）—シミュレーションの手引き及び新モデルの検証—，土木研究所資料第 3400 号，1996. 2.
- 14) 栗城稔・末次忠司・海野仁・小林裕明・田中義人：関川水害時の避難行動分析，土木研究所資料第 3536 号，1998. 2.
- 15) 土木研究所 福島県・栃木県豪雨災害現地調査団：平成 10 年 8 月末豪雨による福島県・栃木県河川・道路災害現地調査速報，土木技術資料，Vol. 40，No. 11，pp. 38-45，1998. 11.

参考資料（氾濫シミュレーション結果）

◆A川右岸氾濫シミュレーション結果

- ・ 最大浸水深分布図
- ・ 氾濫流到達時間分布図
- ・ 浸水被害額分布図
- ・ 氾濫流流速ベクトル図

◆B川左岸氾濫シミュレーション結果

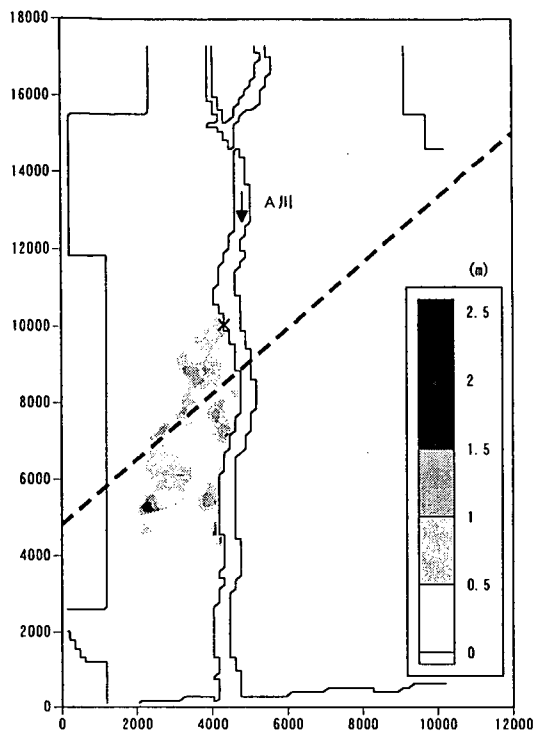
- ・ 最大浸水深分布図
- ・ 氾濫流到達時間分布図
- ・ 浸水被害額分布図
- ・ 氾濫流流速ベクトル図

◆C川右岸氾濫シミュレーション結果

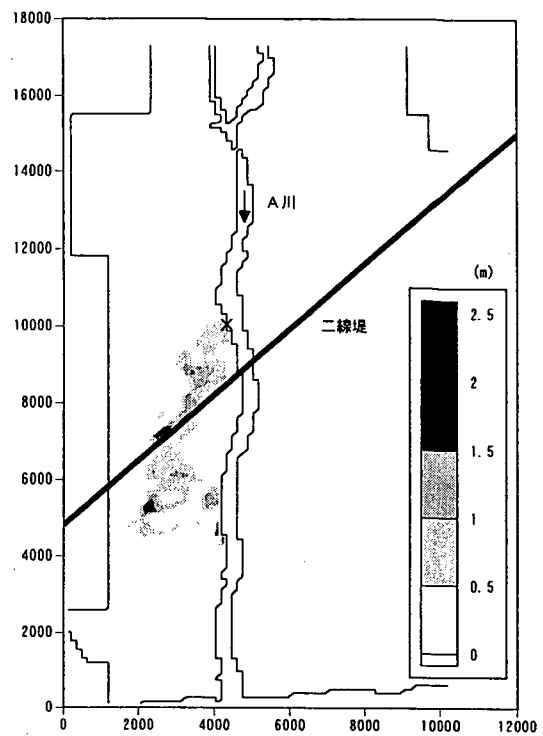
- ・ 最大浸水深分布図
- ・ 氾濫流到達時間分布図
- ・ 浸水被害額分布図
- ・ 氾濫流流速ベクトル図

◆A川右岸氾濫シミュレーション結果

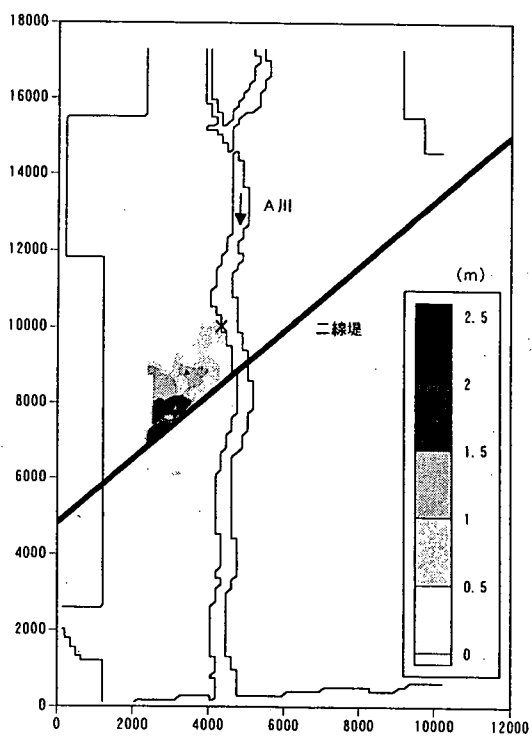
- ・ 最大浸水深分布図
- ・ 氾濫流到達時間分布図
- ・ 浸水被害額分布図
- ・ 氾濫流流速ベクトル図



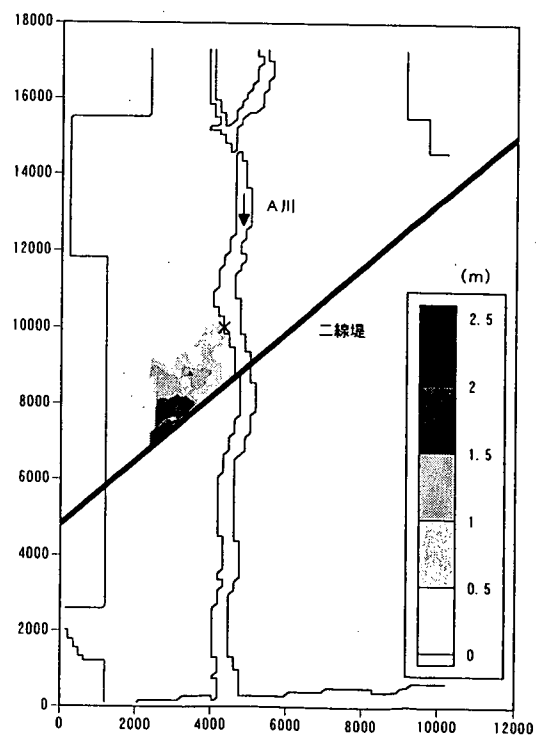
A川右岸最大浸水深分布図（ケース1：二線堤無し）



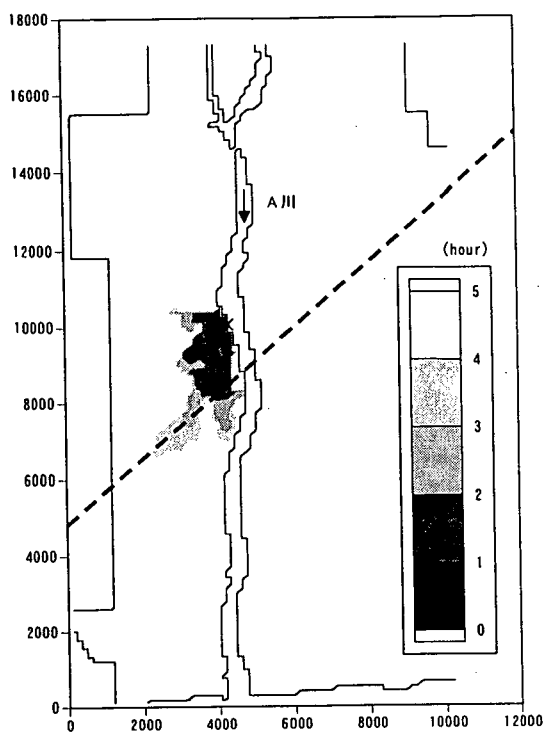
A川右岸最大浸水深分布図（ケース2：盛土1m）



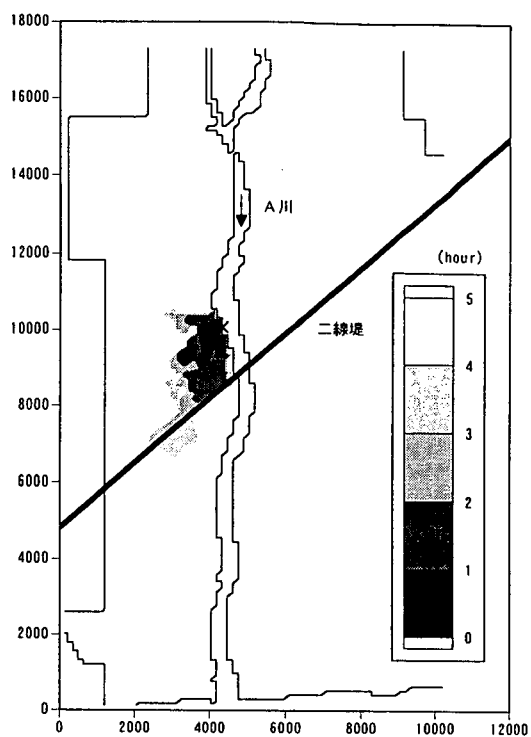
A川右岸最大浸水深分布図（ケース3：盛土2m）



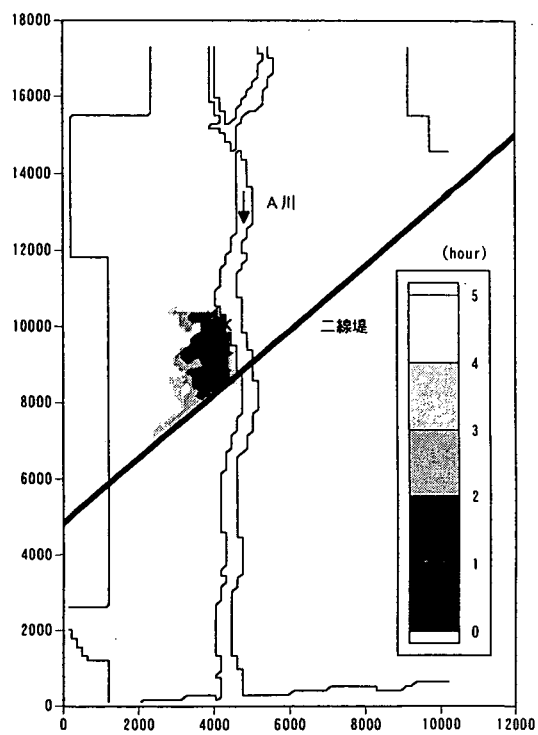
A川右岸最大浸水深分布図（ケース4：盛土3m）



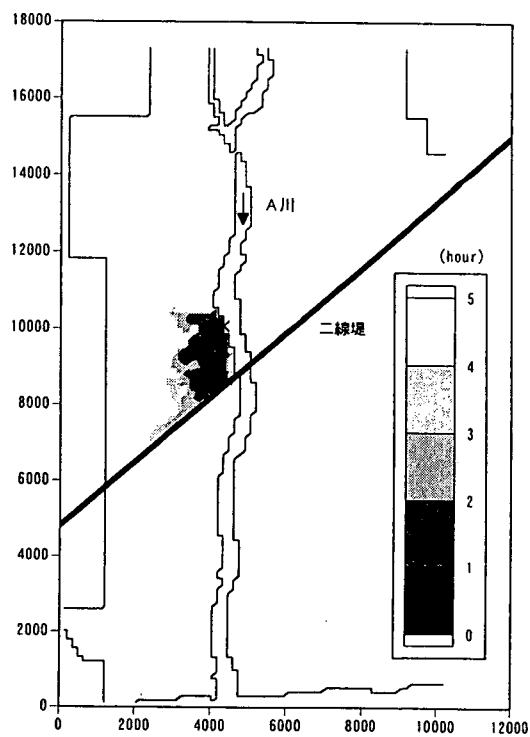
A川右岸氾濫流等到達時間図（ケース1：二線堤無し）



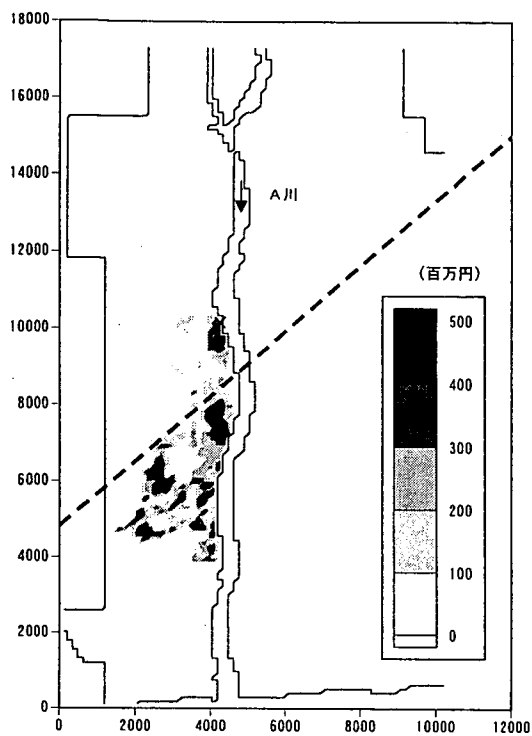
A川右岸氾濫流等到達時間図（ケース2：盛土1m）



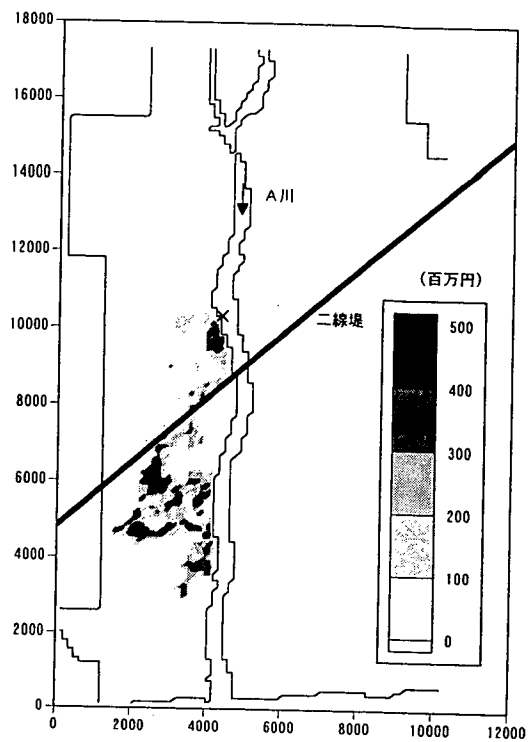
A川右岸氾濫流等到達時間図（ケース3：盛土2m）



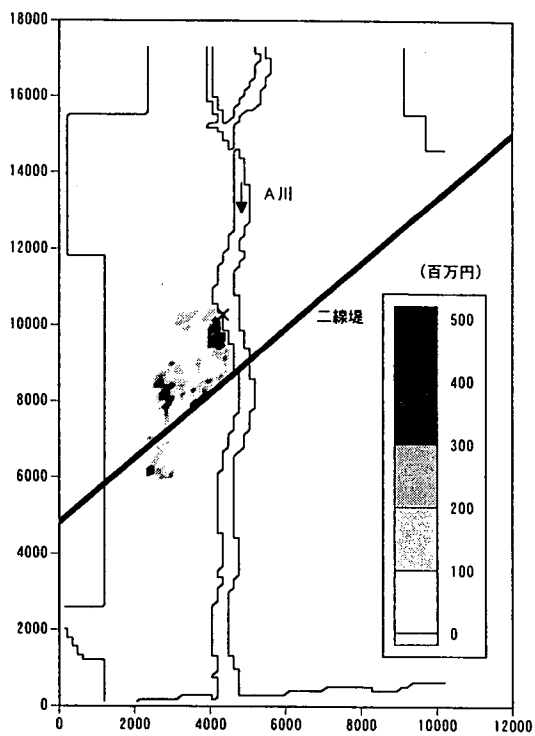
A川右岸氾濫流等到達時間図（ケース4：盛土3m）



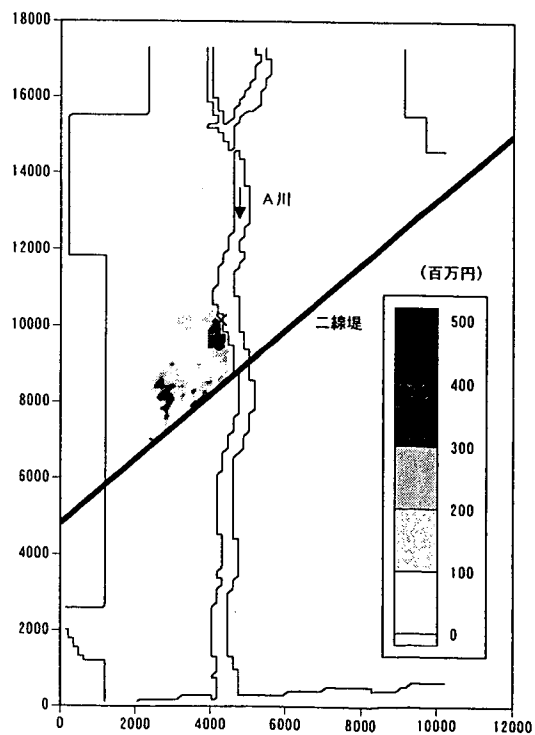
A川右岸浸水被害額分布図（ケース1：二線堤無し）



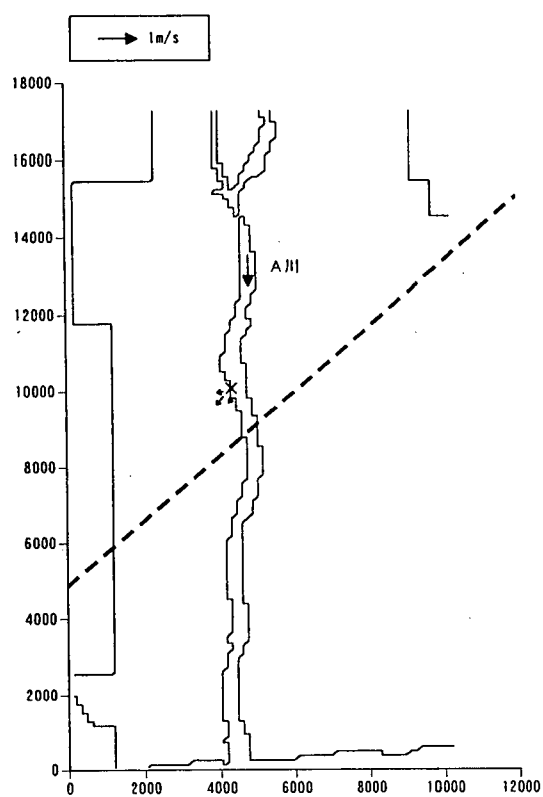
A川右岸浸水被害額分布図（ケース2：盛土1m）



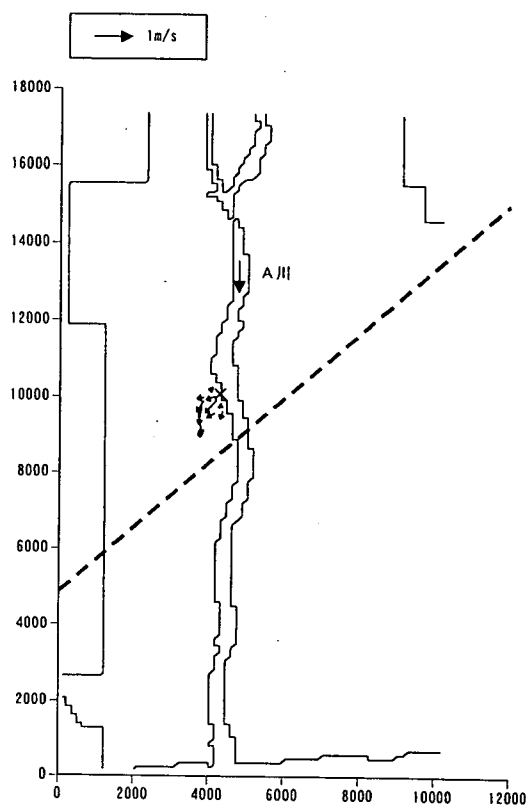
A川右岸浸水被害額分布図（ケース3：盛土2m）



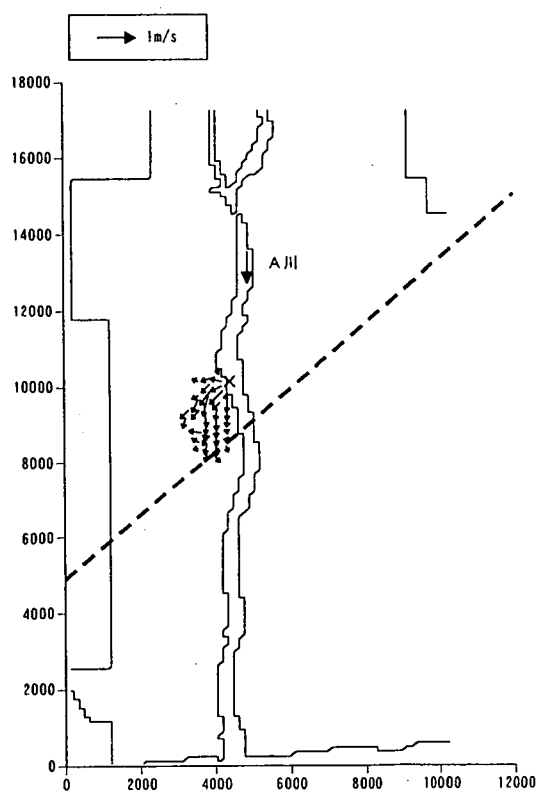
A川右岸浸水被害額分布図（ケース4：盛土3m）



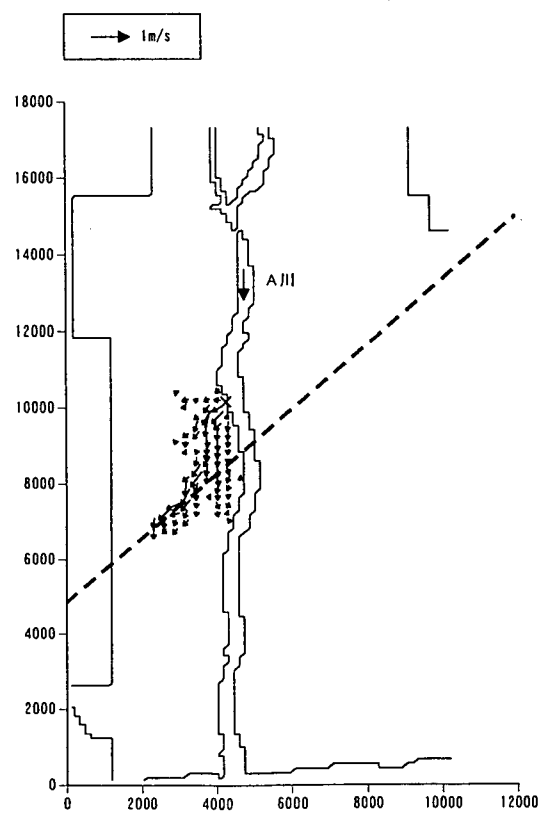
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後30分、ケース1：二線堤無し）



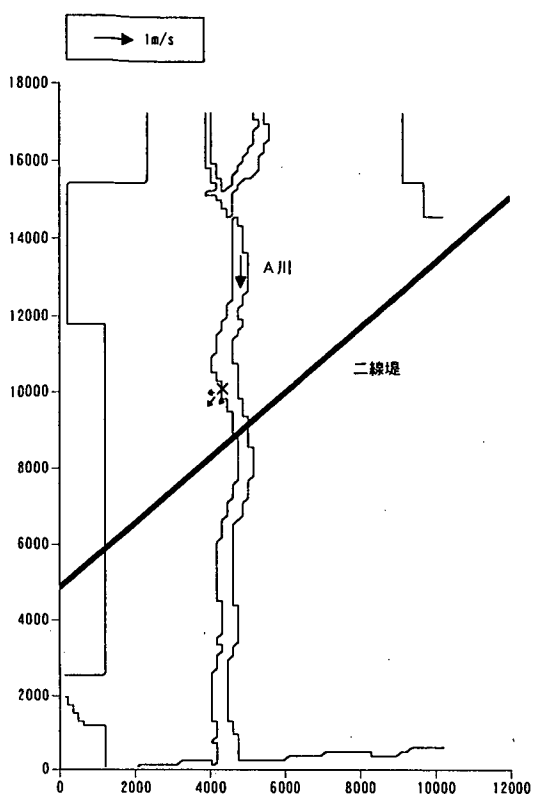
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後60分、ケース1：二線堤無し）



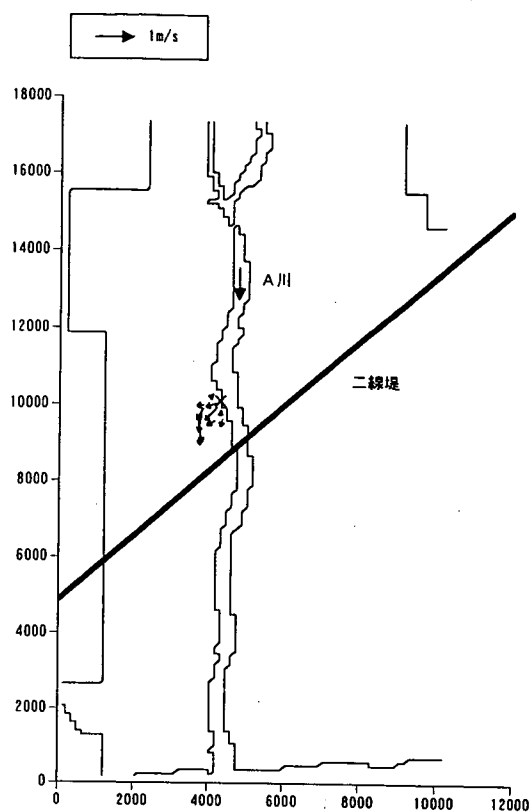
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後120分、ケース1：二線堤無し）



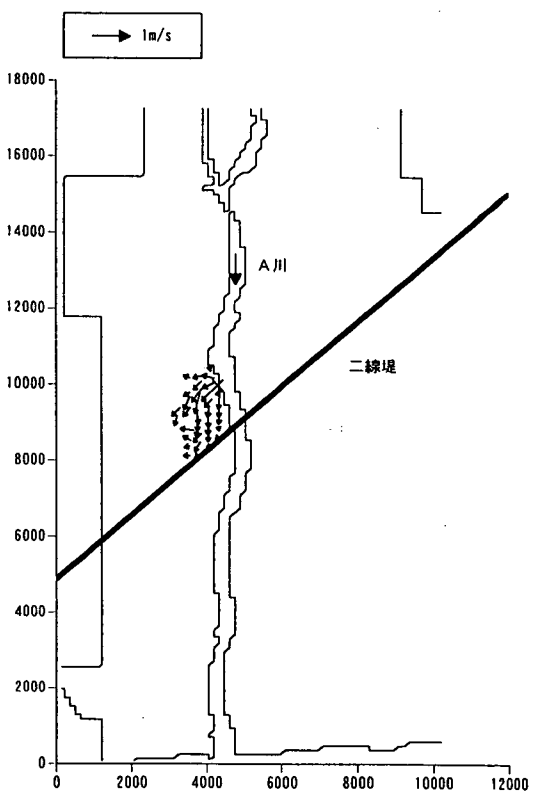
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後240分、ケース1：二線堤無し）



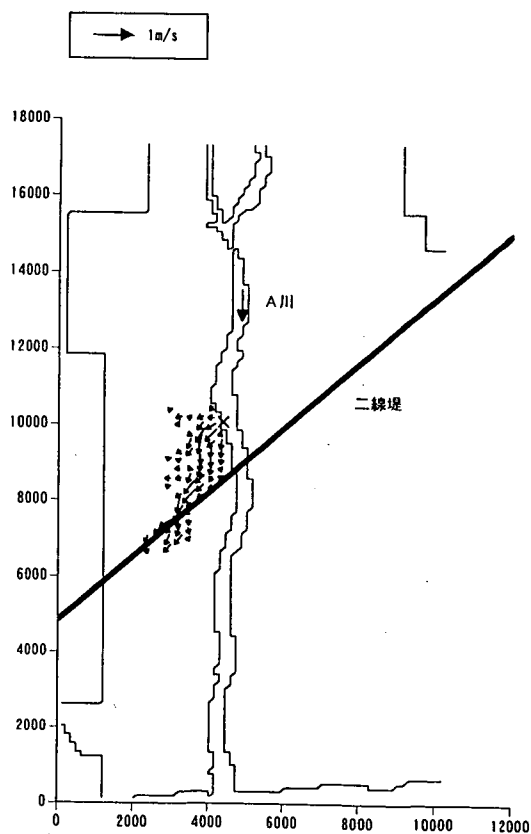
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後30分、ケース2：盛土1m）



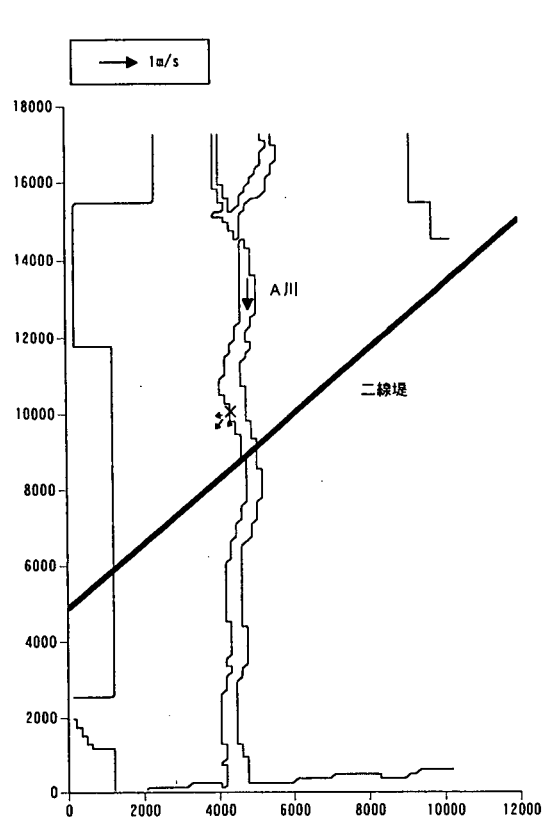
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後60分、ケース2：盛土1m）



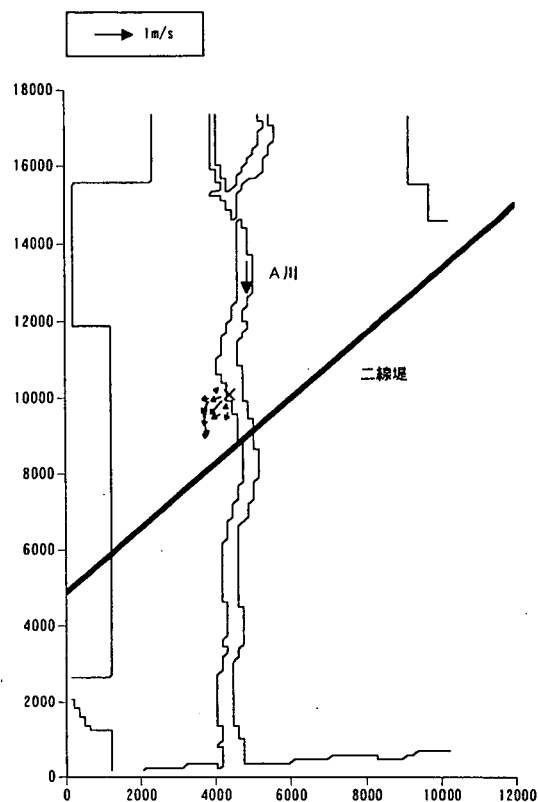
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後120分、ケース2：盛土1m）



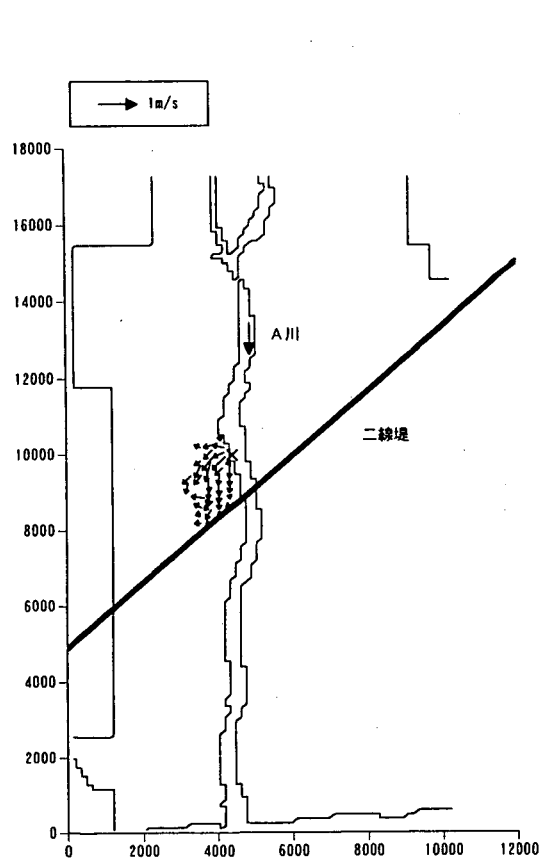
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後240分、ケース2：盛土1m）



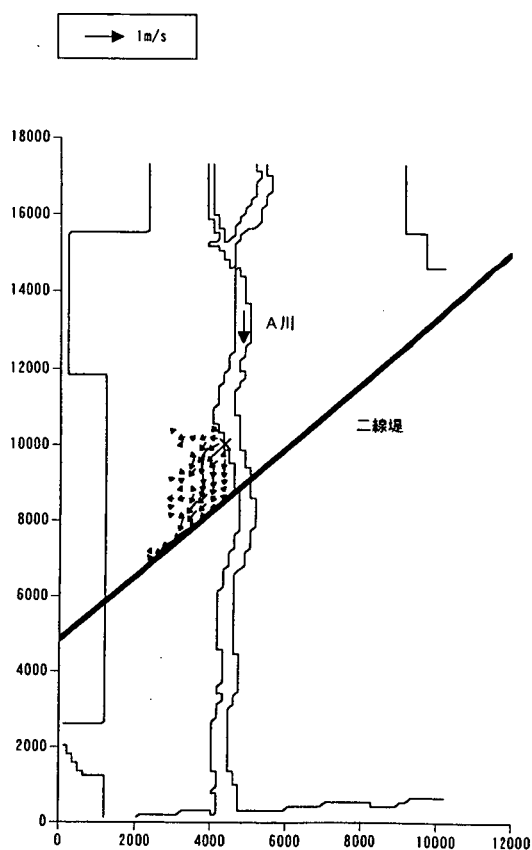
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後30分、ケース3：盛土2m）



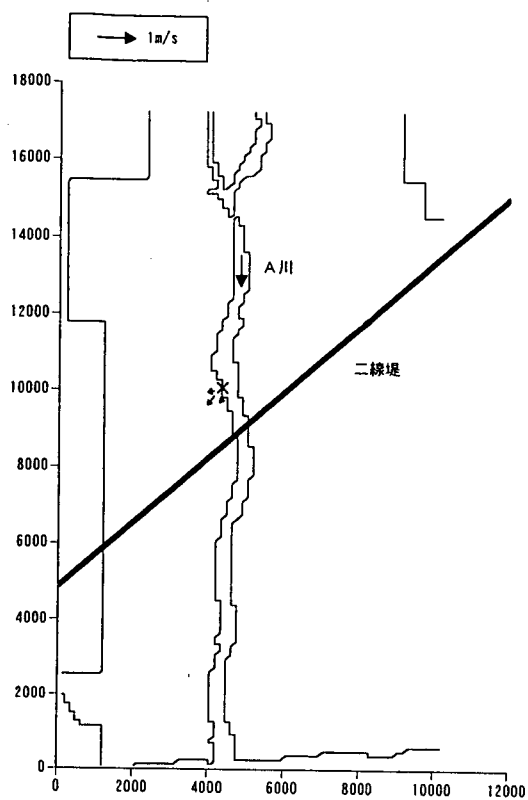
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後60分、ケース3：盛土2m）



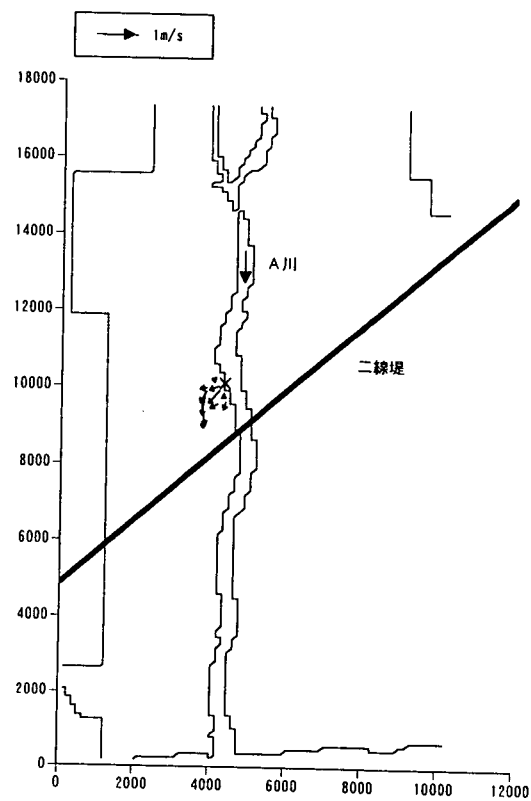
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後120分、ケース3：盛土2m）



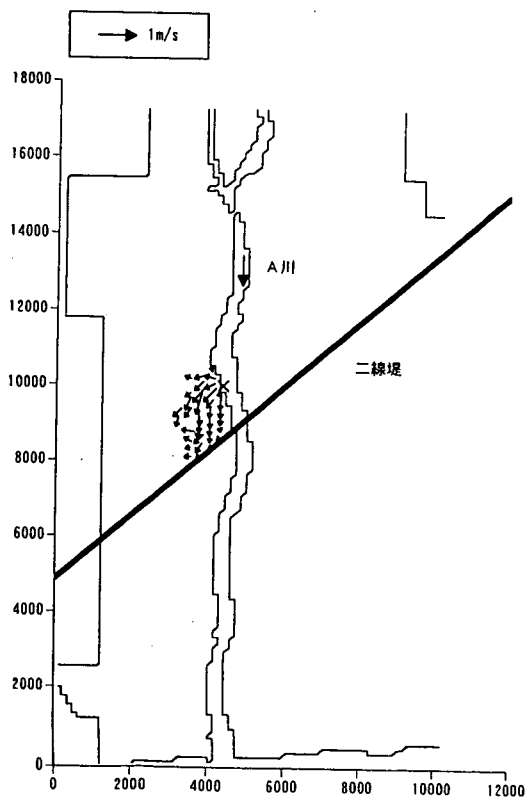
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後240分、ケース3：盛土2m）



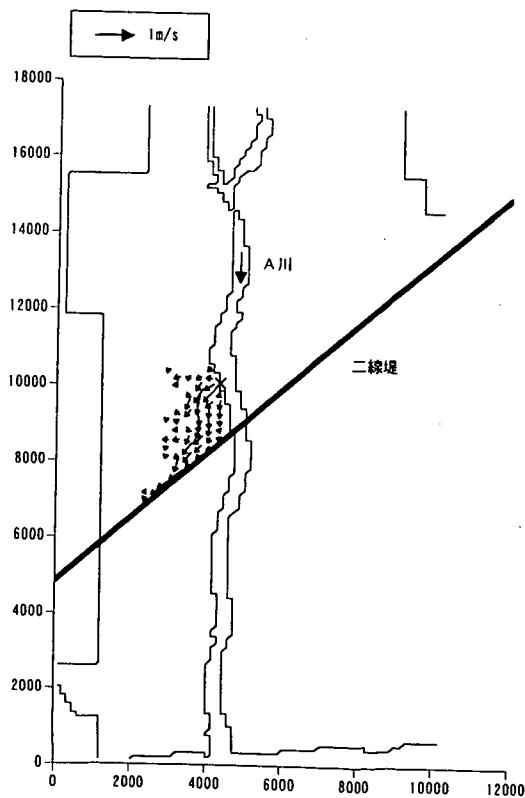
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後30分、ケース4：盛土3m）



A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後60分、ケース4：盛土3m）



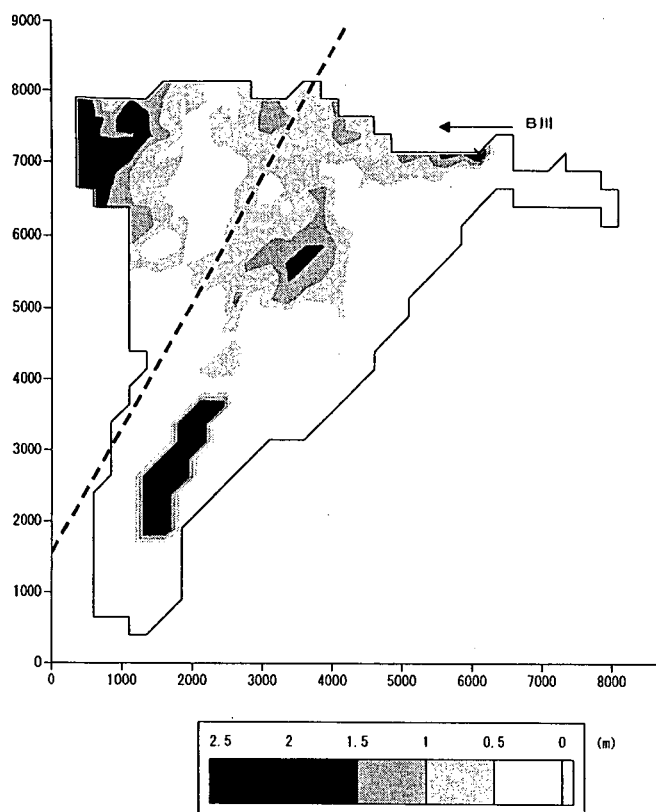
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後120分、ケース4：盛土3m）



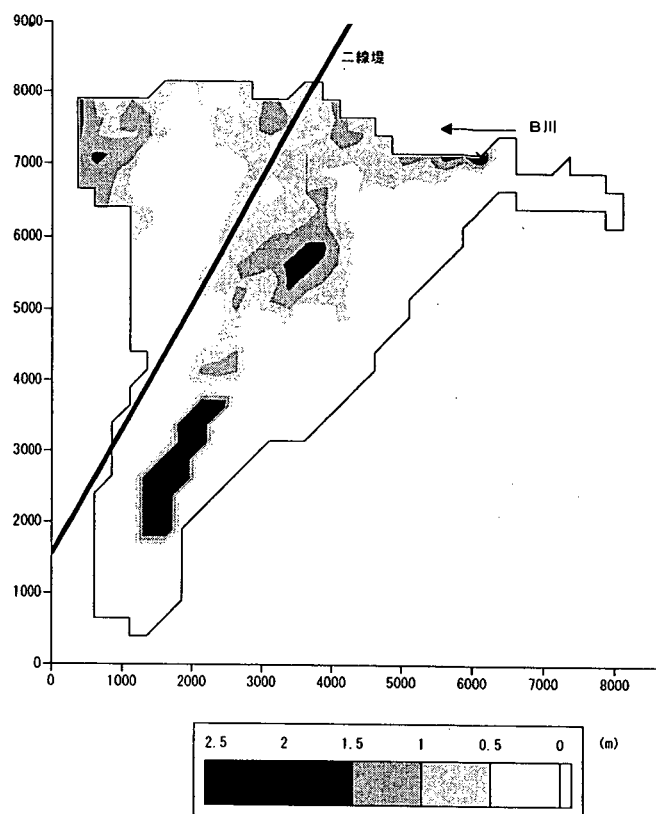
A川右岸氾濫流速ベクトル分布図（破堤開始後240分、ケース4：盛土3m）

◆B川左岸氾濫シミュレーション結果

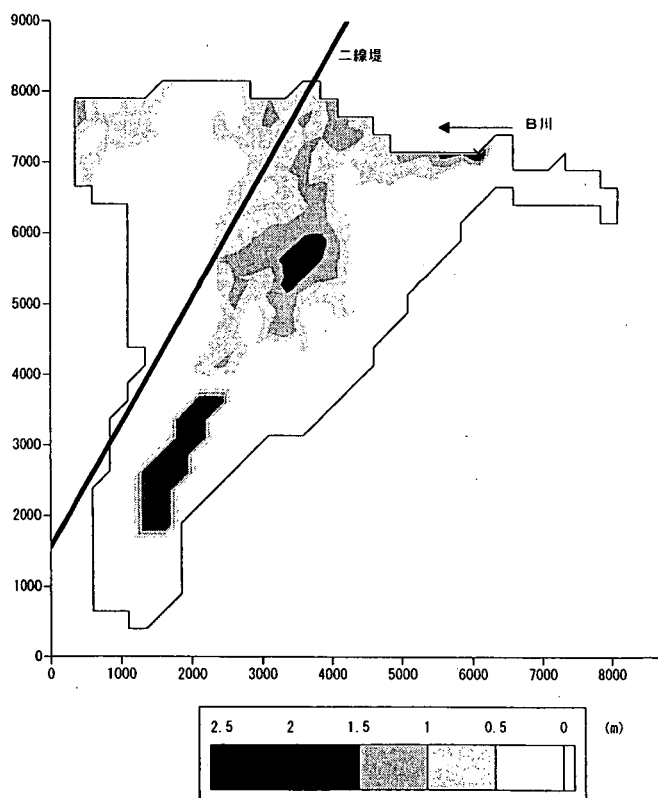
- ・ 最大浸水深分布図
- ・ 氾濫流到達時間分布図
- ・ 浸水被害額分布図
- ・ 氾濫流流速ベクトル図



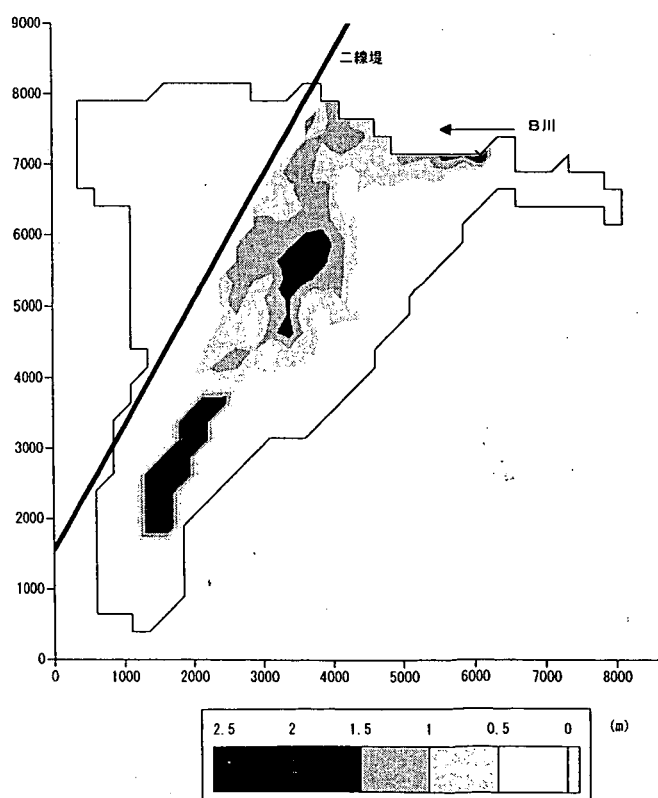
Ｂ川左岸最大浸水深分布図（ケース１：二線堤無し）



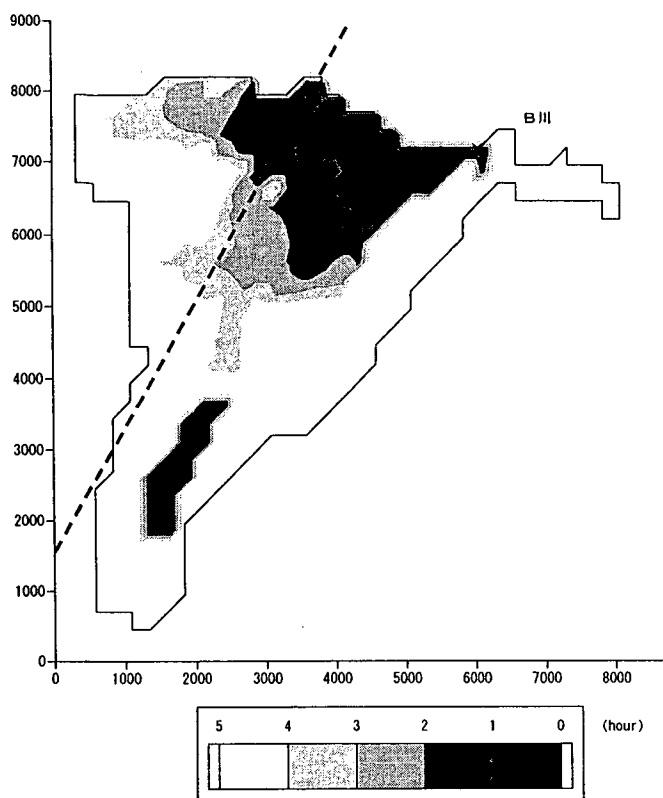
Ｂ川左岸最大浸水深分布図（ケース２：盛土０．３ｍ、現況）



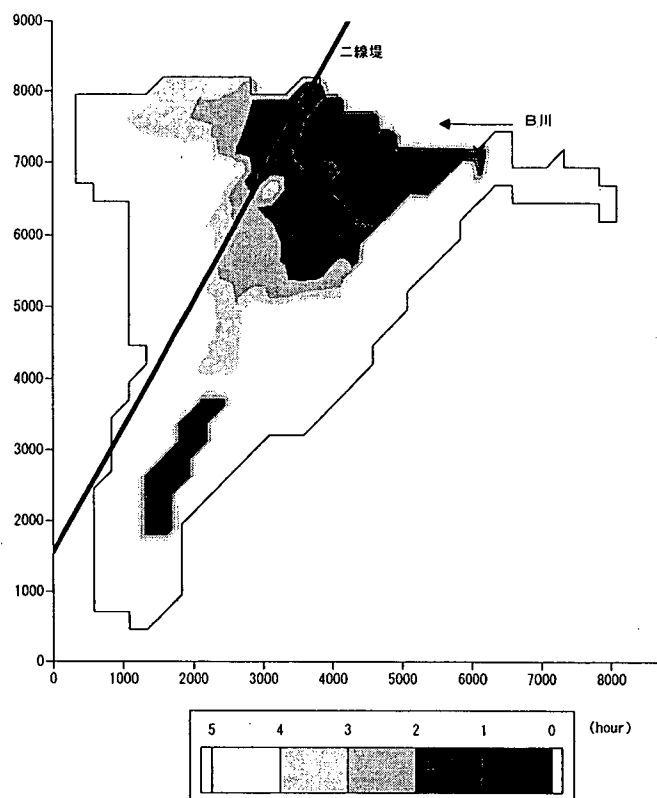
Ｂ川左岸最大浸水深分布図（ケース３：盛土０．８ｍ）



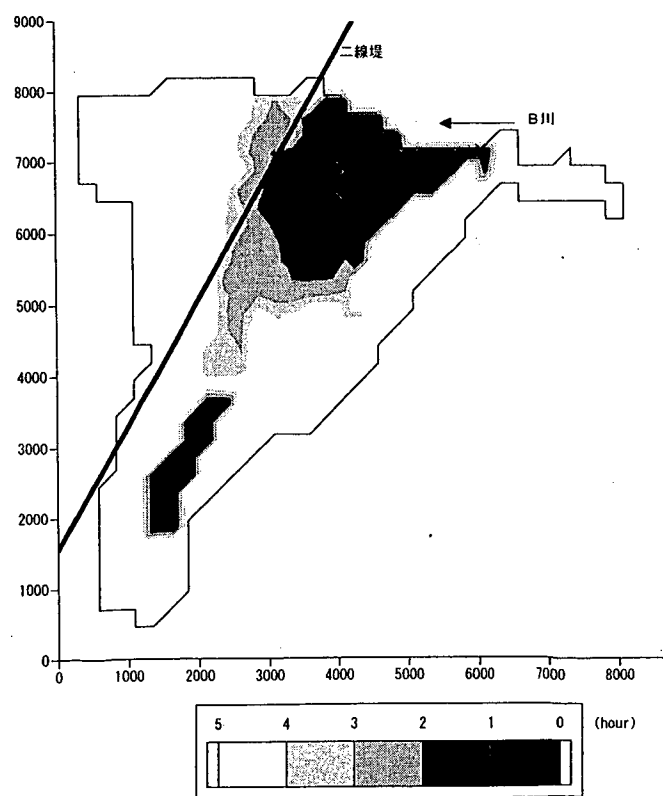
Ｂ川左岸最大浸水深分布図（ケース４：盛土１．３ｍ）



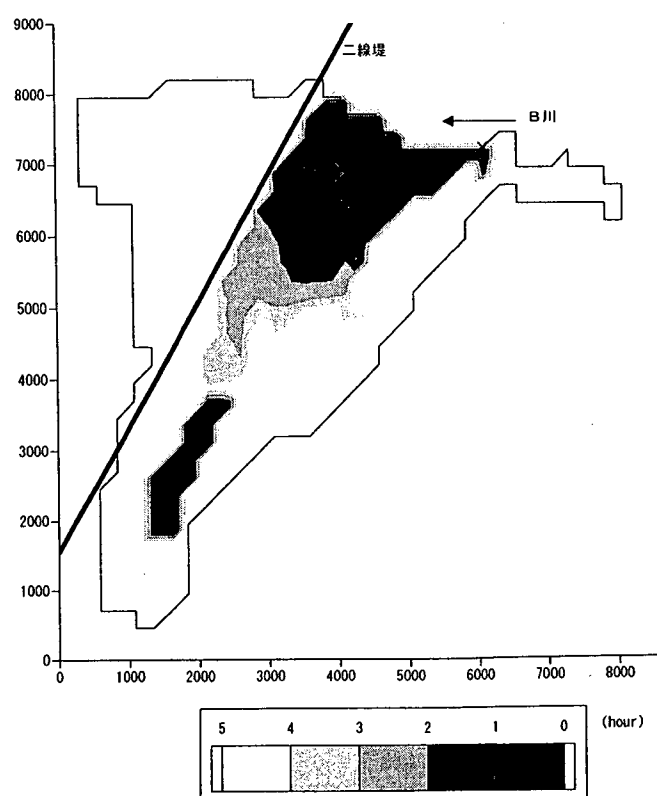
B川左岸氾濫等到達時間区域図（ケース1：二線堤無し）



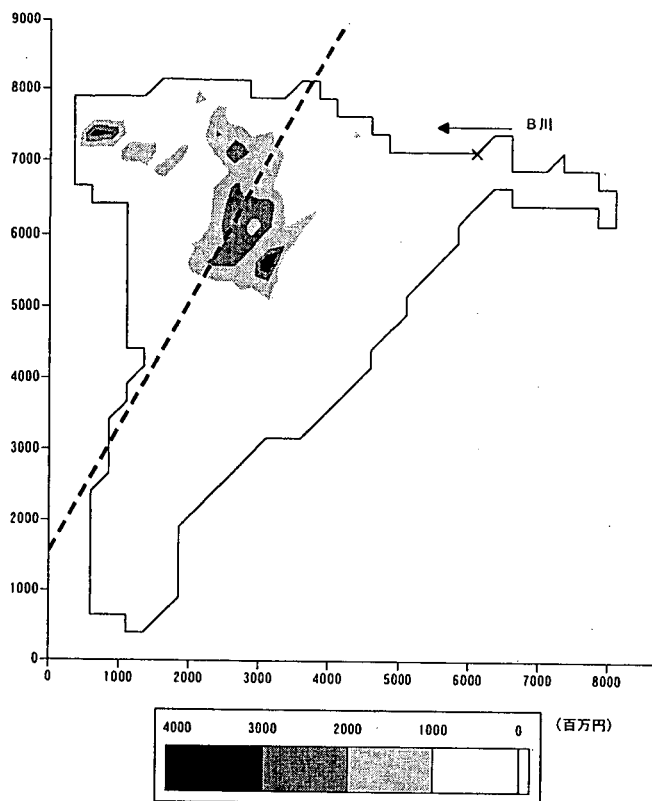
B川左岸氾濫等到達時間区域図（ケース2：盛土0.3m、現況）



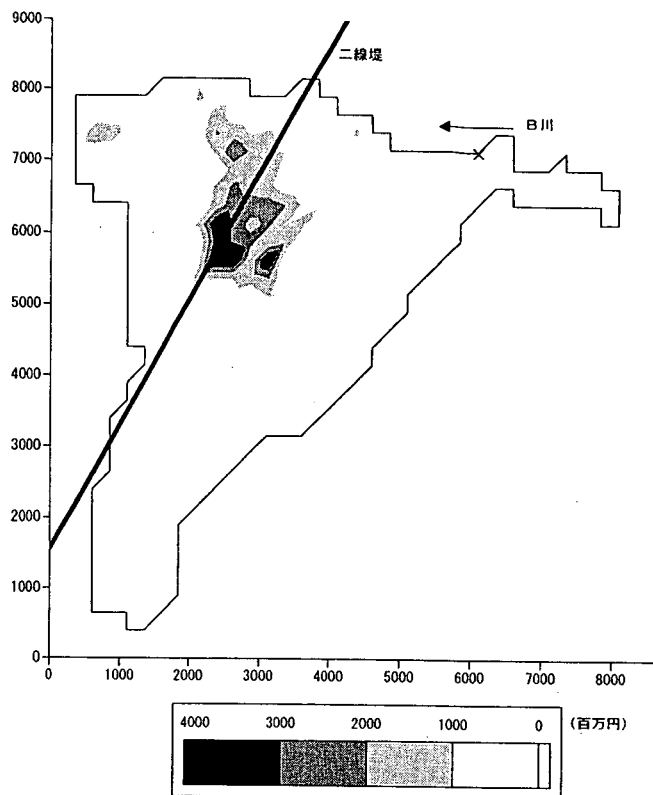
B川左岸氾濫等到達時間区域図（ケース3：盛土0.8m）



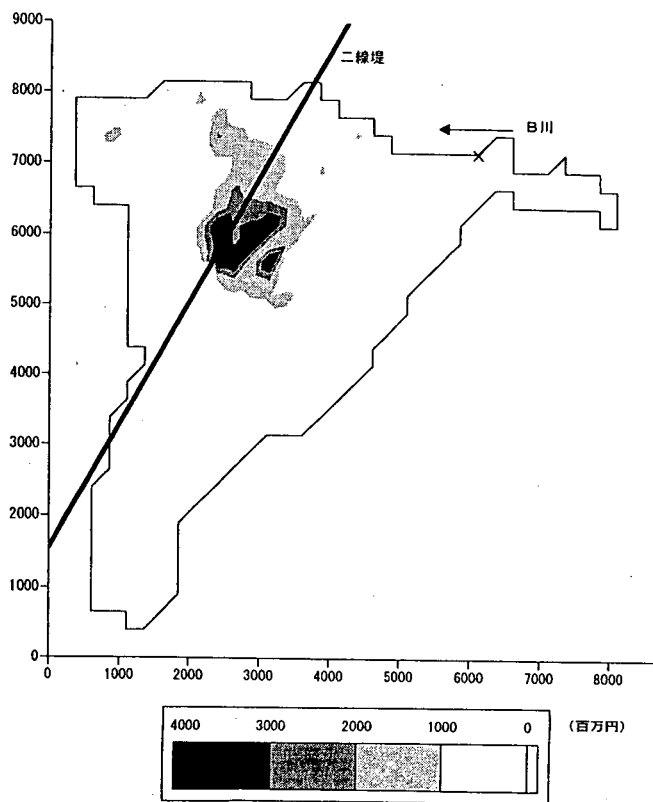
B川左岸氾濫等到達時間区域図（ケース4：盛土1.3m）



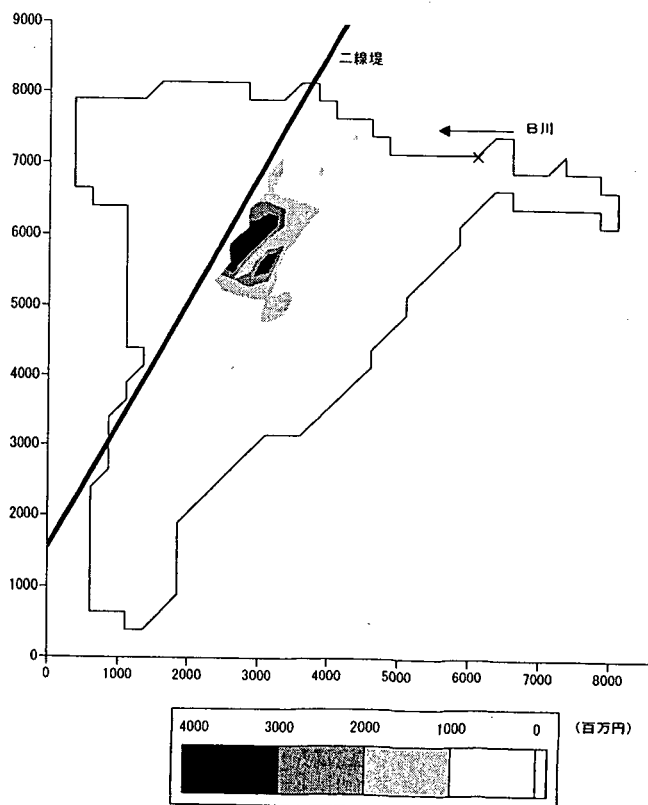
B川左岸浸水被害額分布図 (ケース1: 二線堤無し)



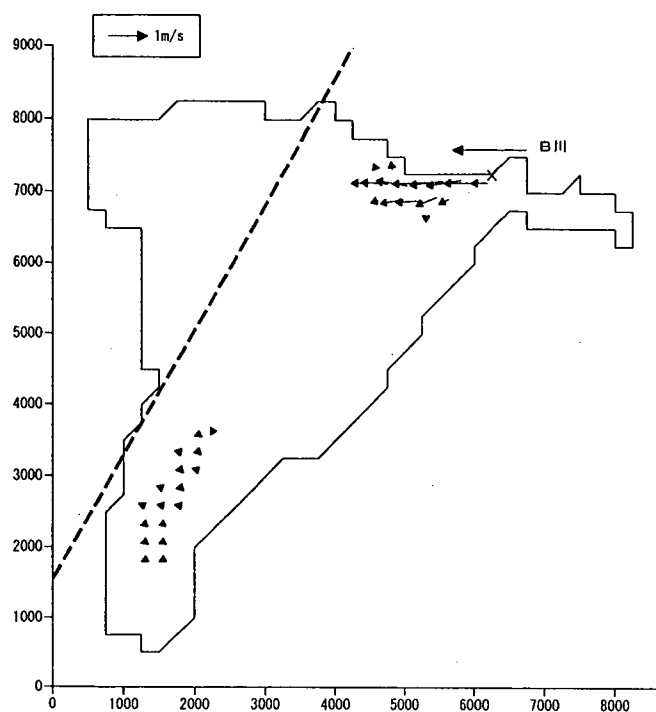
B川左岸浸水被害額分布図 (ケース2: 盛土0.3m、現況)



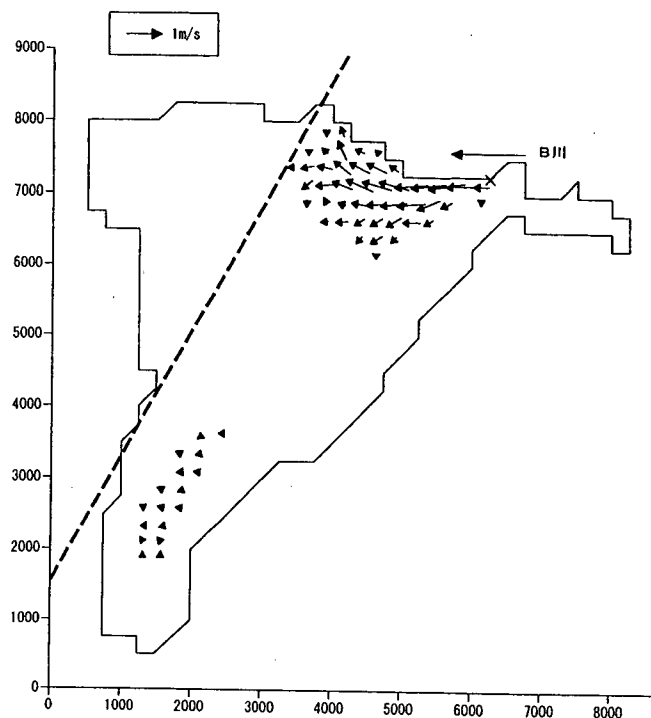
B川左岸浸水被害額分布図 (ケース3: 盛土0.8m)



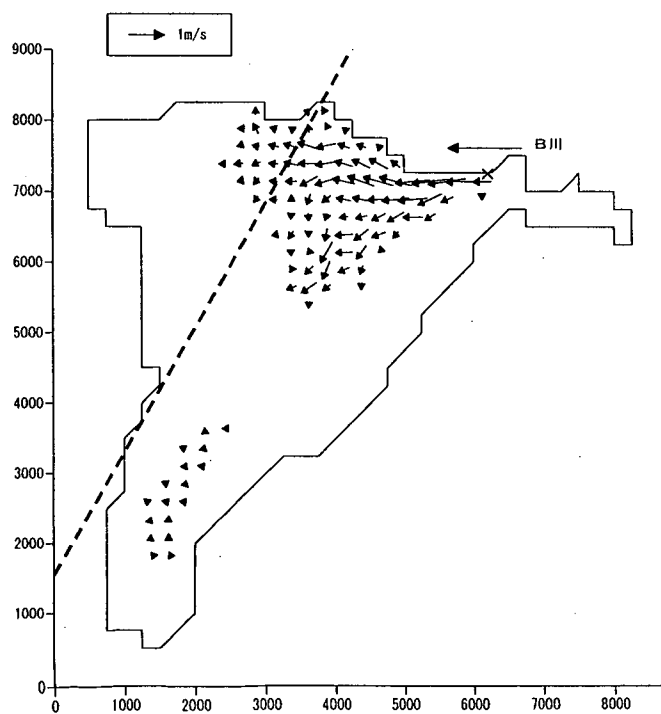
B川左岸浸水被害額分布図 (ケース4: 盛土1.3m)



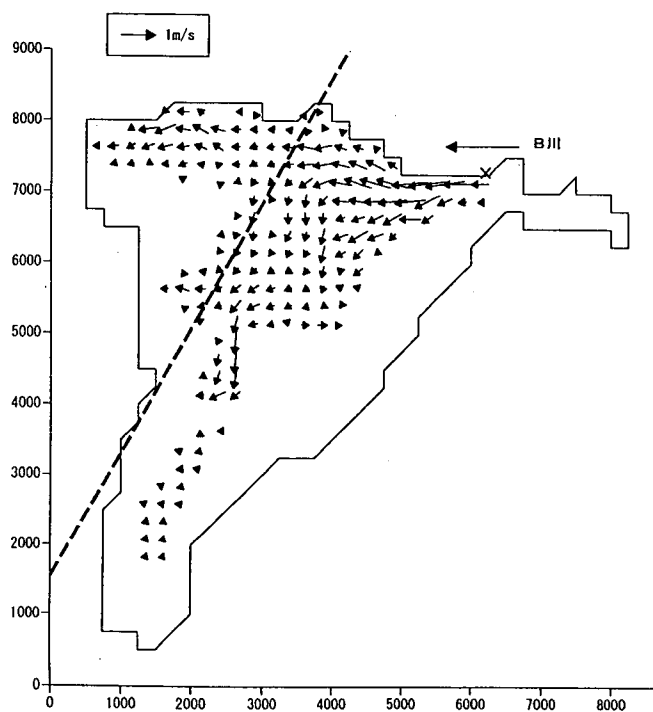
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後30分、ケース1：二線堤無し）



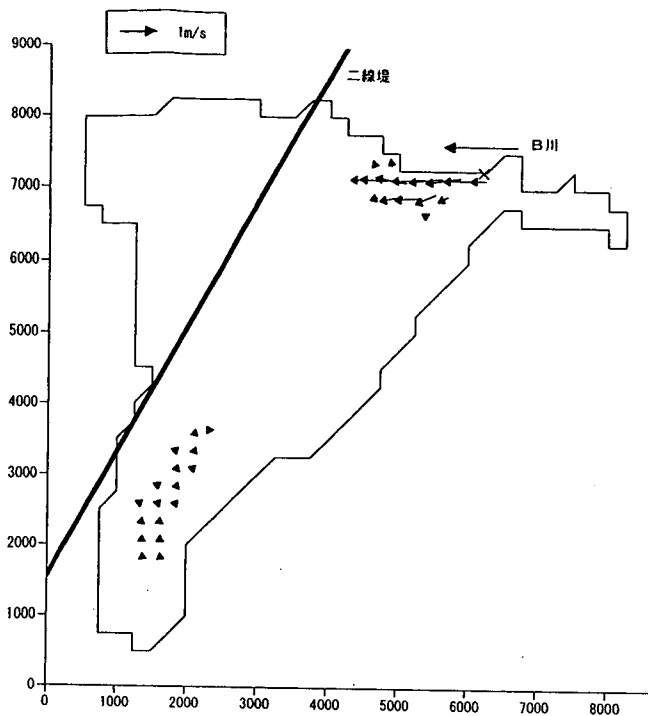
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後60分、ケース1：二線堤無し）



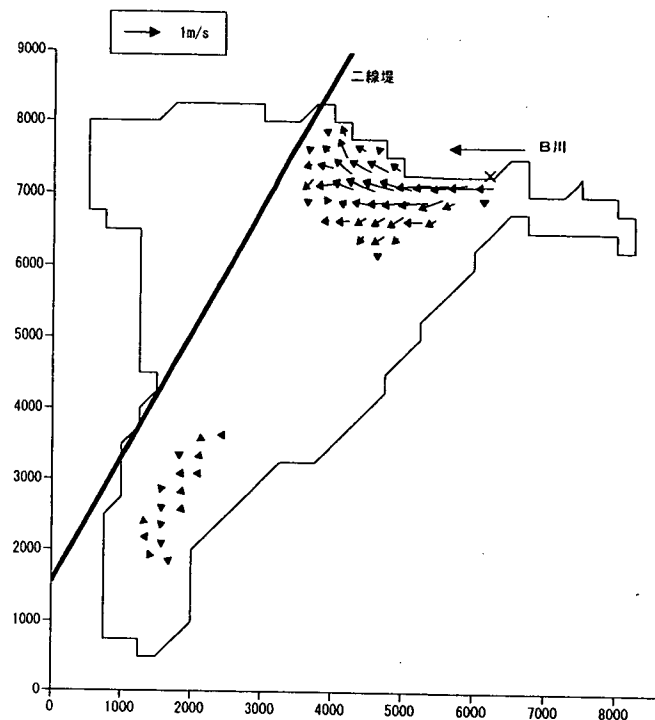
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後120分、ケース1：二線堤無し）



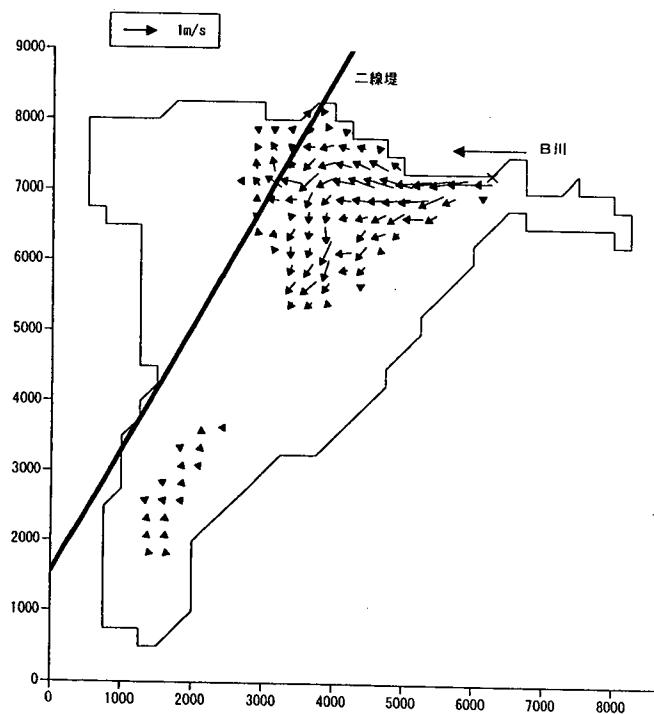
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後240分、ケース1：二線堤無し）



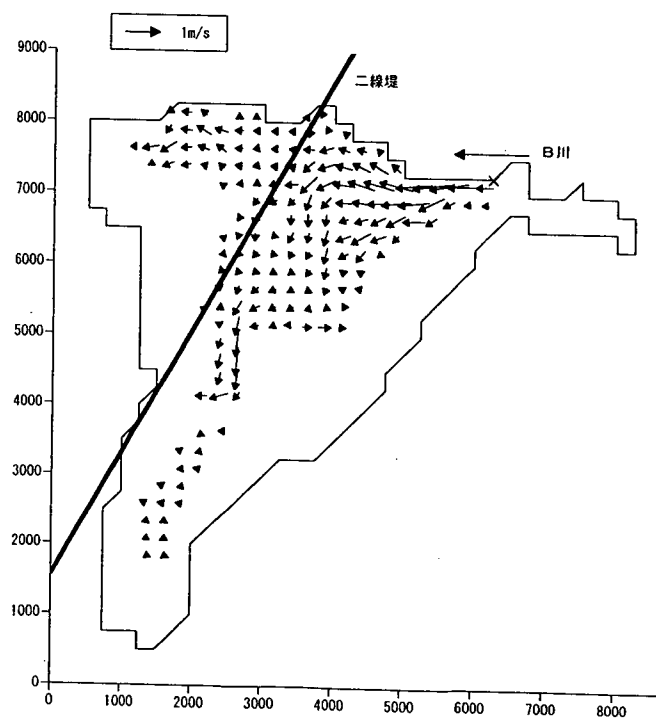
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後30分、ケース2：盛土0.3m、現況）



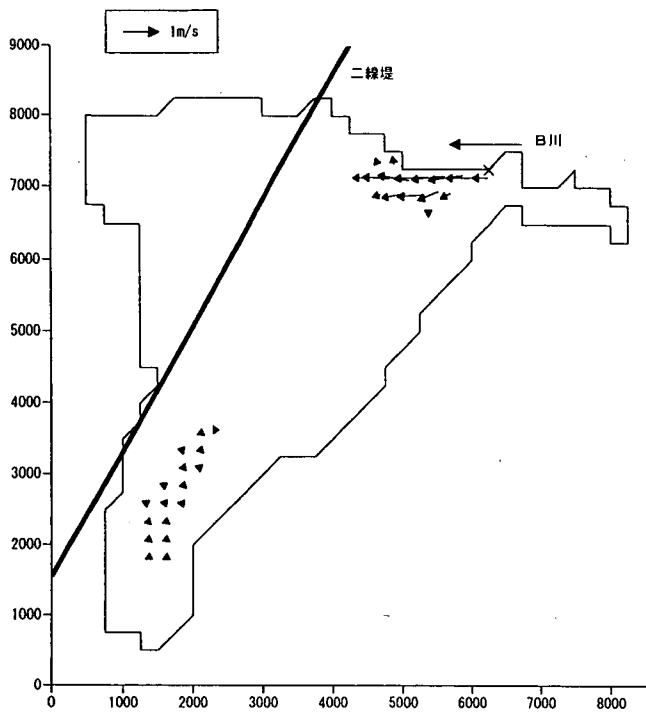
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後60分、ケース2：盛土0.3m、現況）



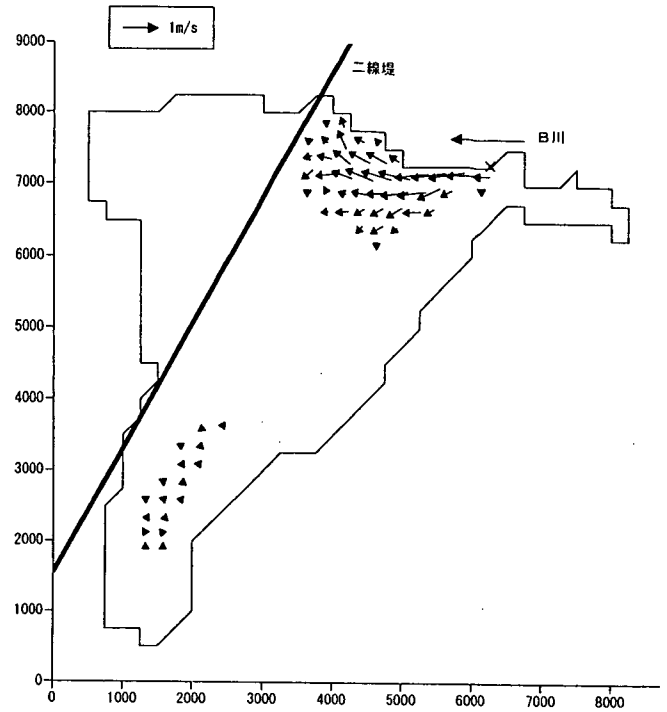
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後120分、ケース2：盛土0.3m、現況）



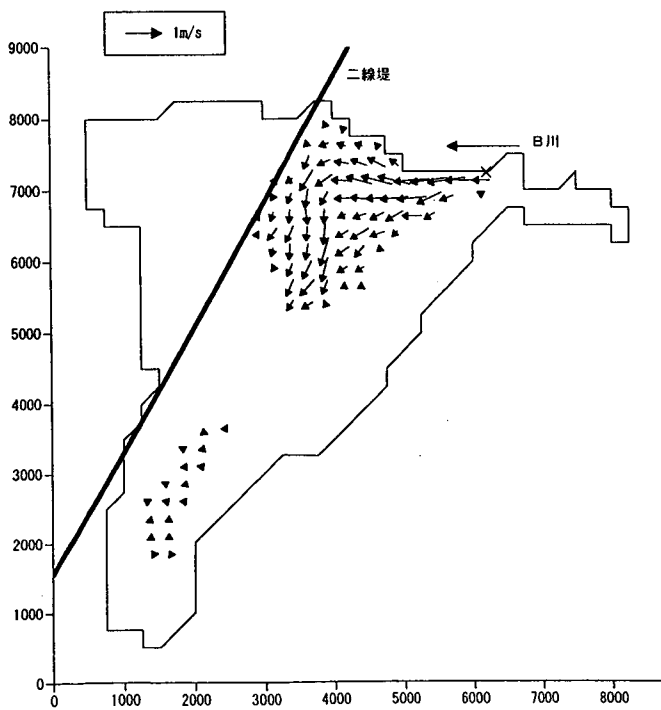
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後240分、ケース2：盛土0.3m、現況）



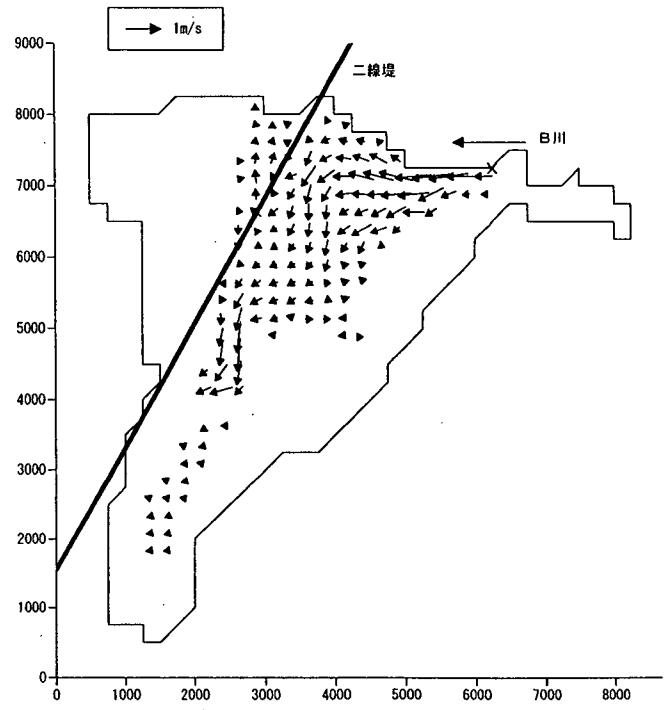
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後30分、ケース3：盛土0.8m）



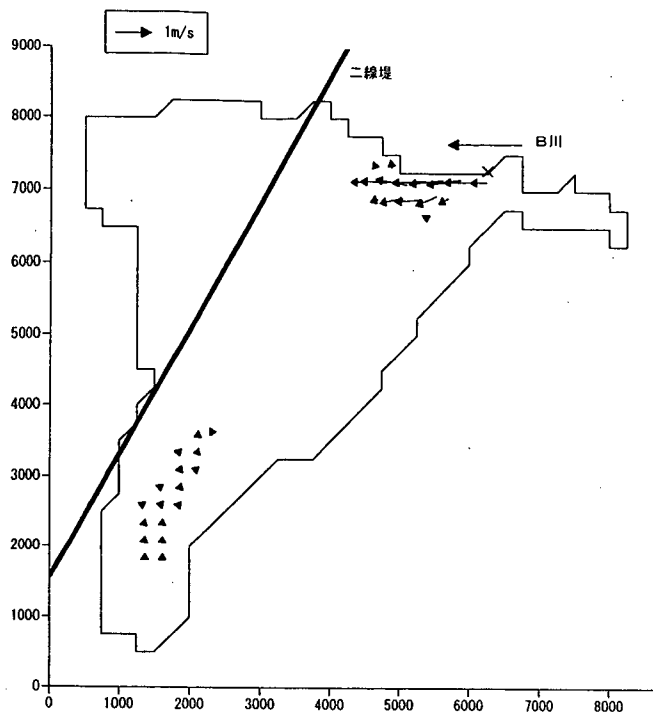
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後60分、ケース3：盛土0.8m）



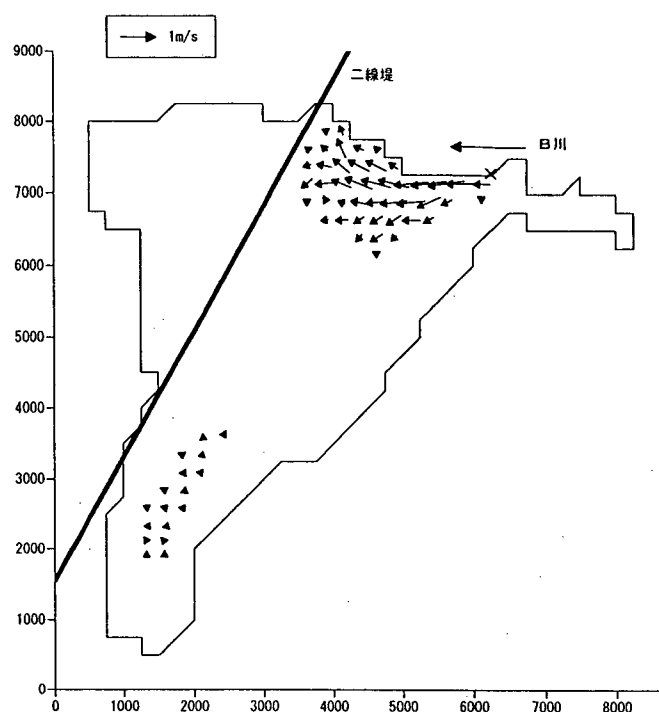
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後120分、ケース3：盛土0.8m）



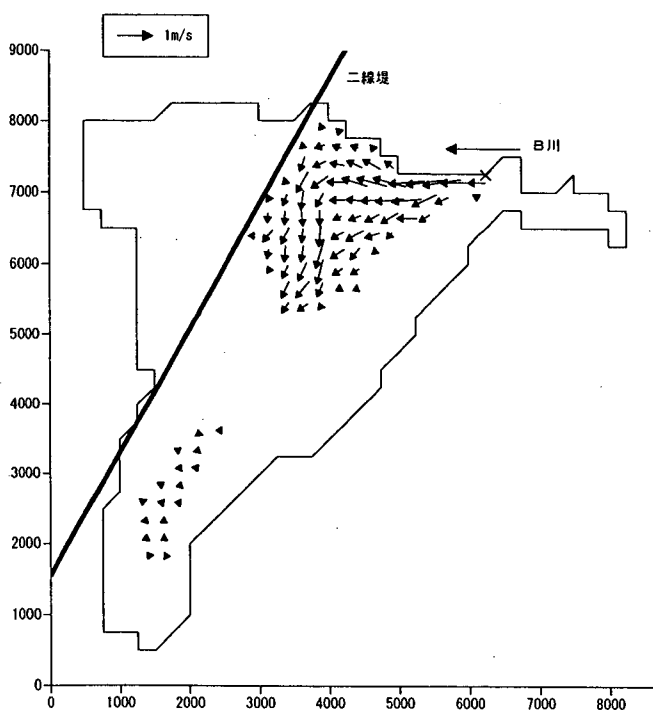
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後240分、ケース3：盛土0.8m）



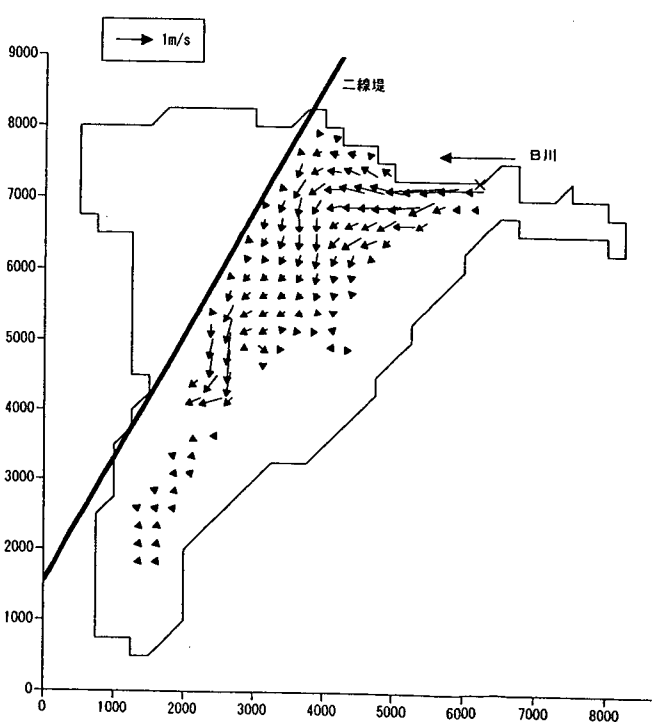
B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後30分、ケース4：盛土1.3m）



B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後60分、ケース4：盛土1.3m）



B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後120分、ケース4：盛土1.3m）

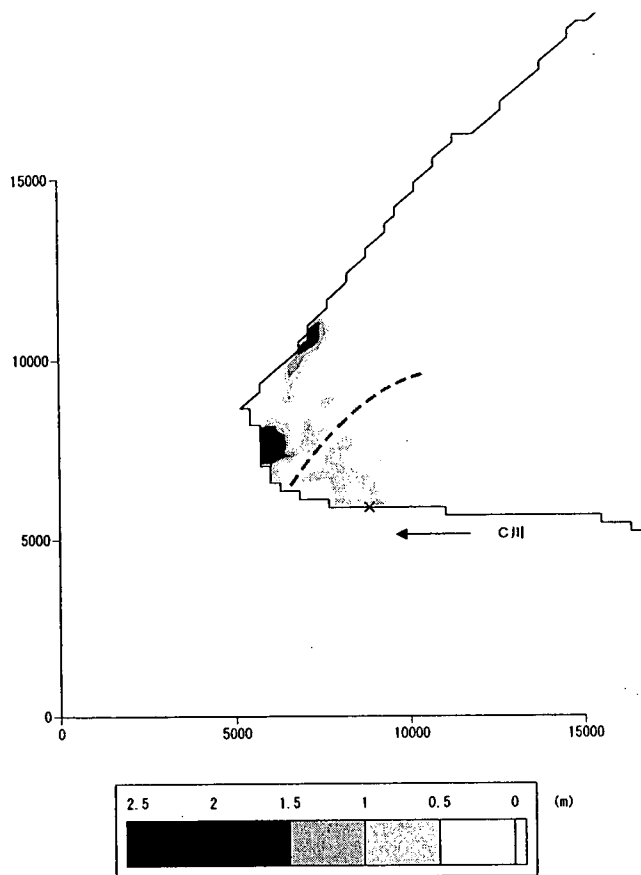


B川左岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後240分、ケース4：盛土1.3m）

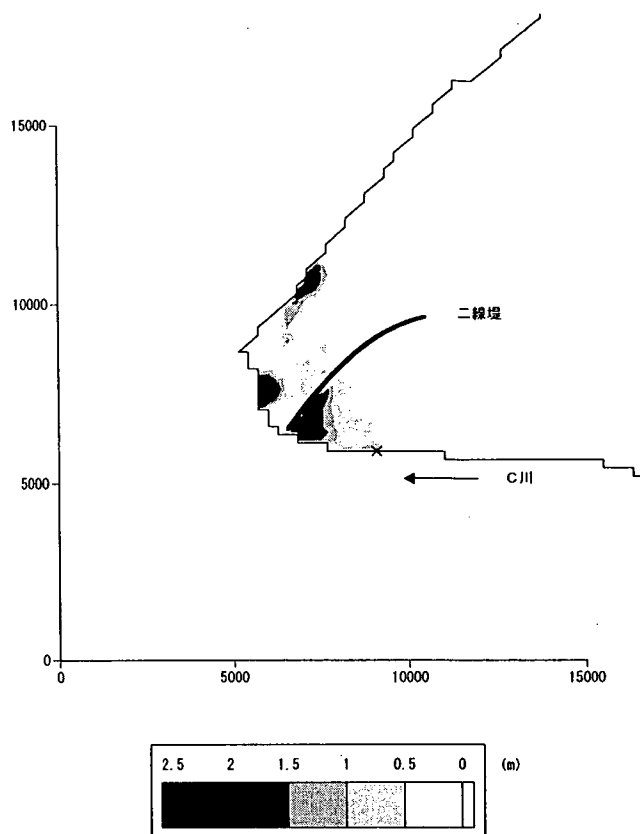
◆C川右岸氾濫シミュレーション結果

- ・ 最大浸水深分布図
- ・ 氾濫流到達時間分布図
- ・ 浸水被害額分布図
- ・ 氾濫流流速ベクトル図

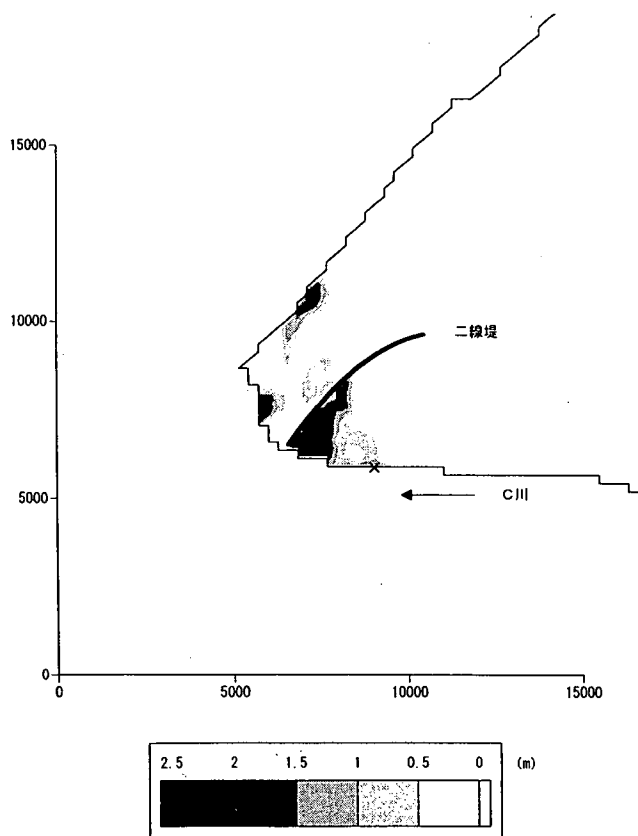




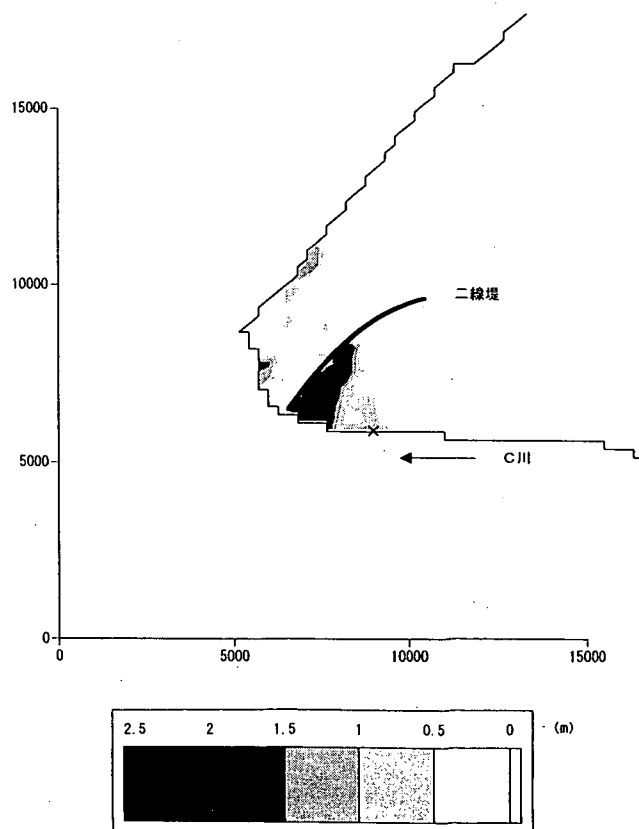
C川右岸最大浸水深分布図（ケース1：二線堤無し）



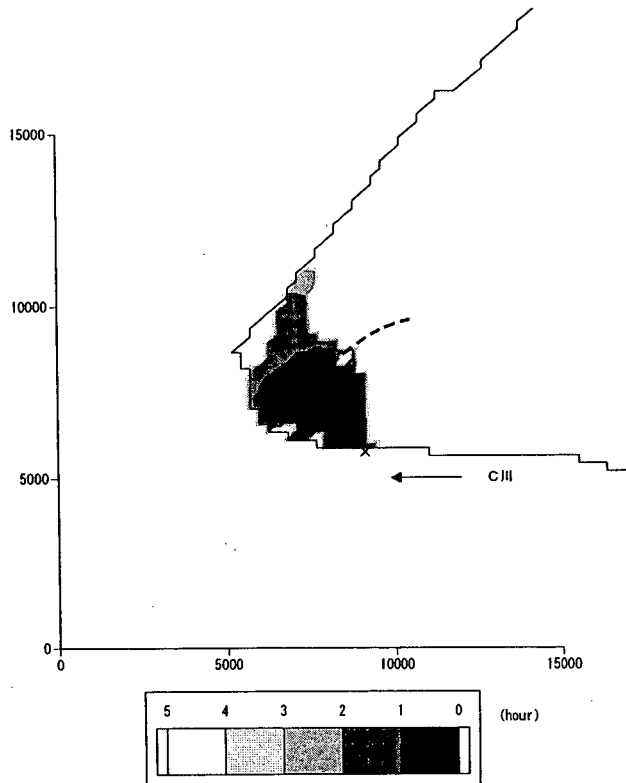
C川右岸最大浸水深分布図（ケース2：盛土2m、現況）



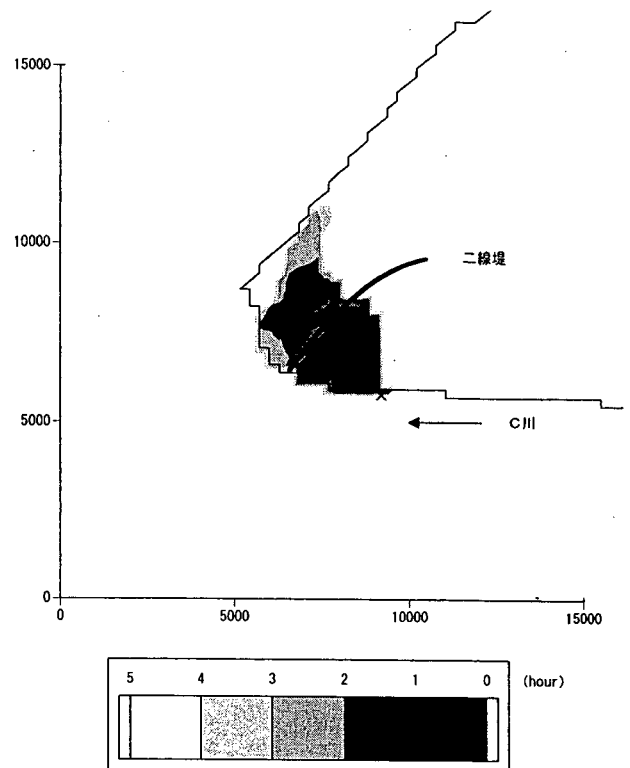
C川右岸最大浸水深分布図（ケース3：盛土3m）



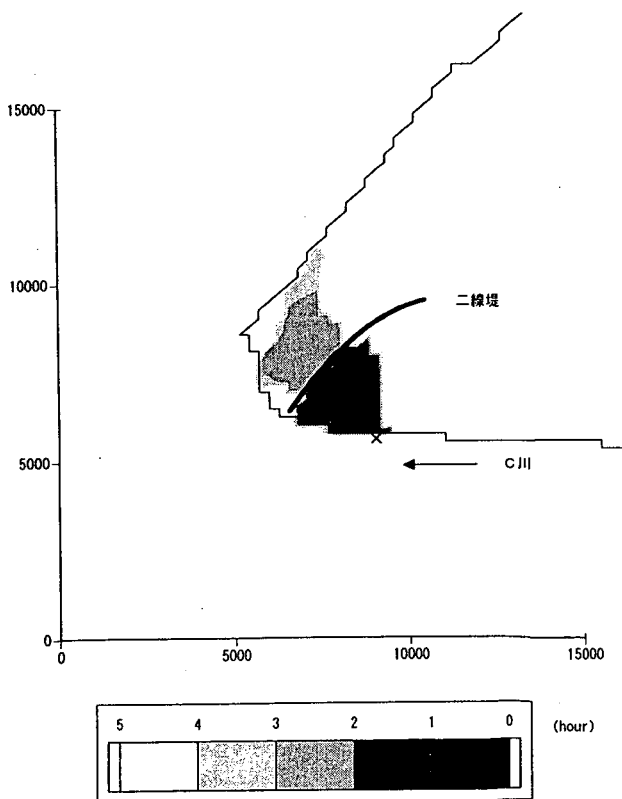
C川右岸最大浸水深分布図（ケース4：盛土4m）



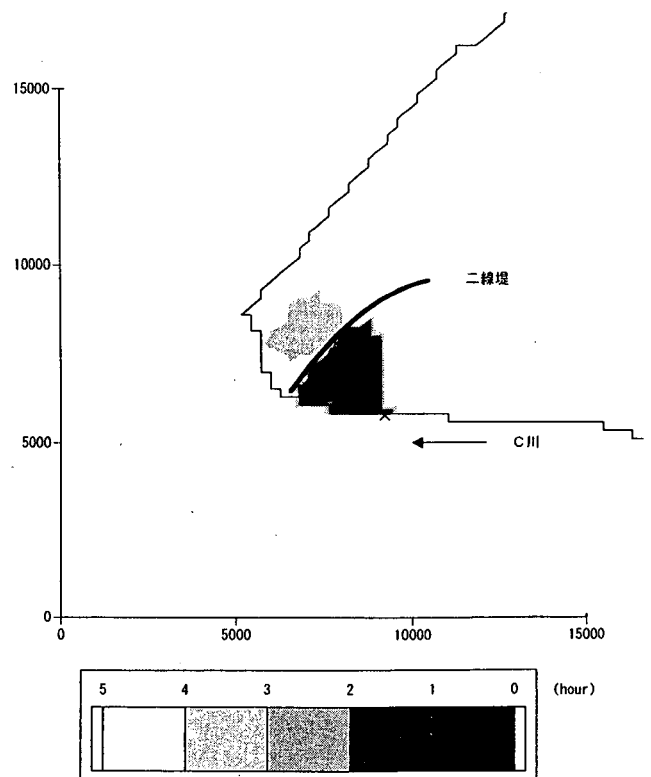
C川右岸氾濫等到達時間区域図 (ケース 1 : 二線堤無し)



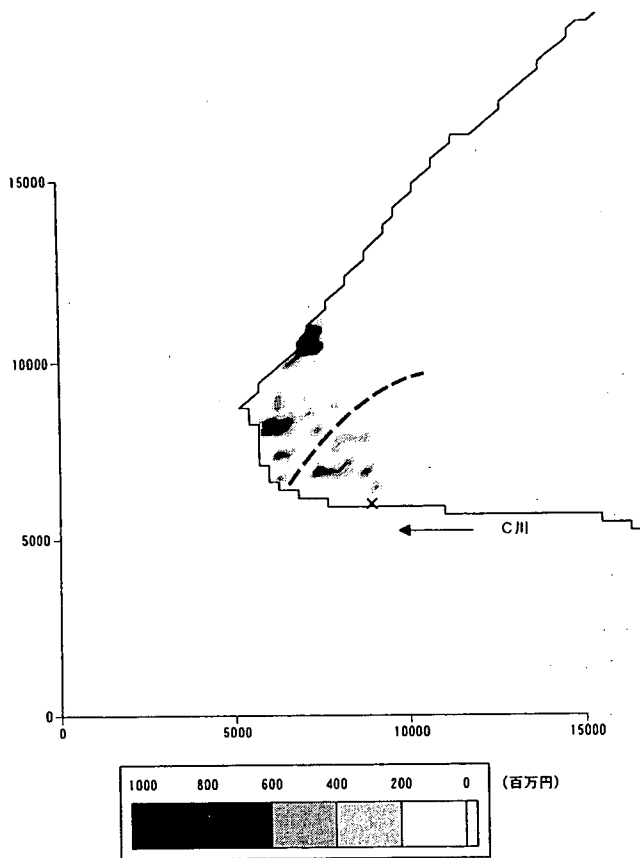
C川右岸氾濫等到達時間区域図 (ケース 2 : 盛土 2 m、現況)



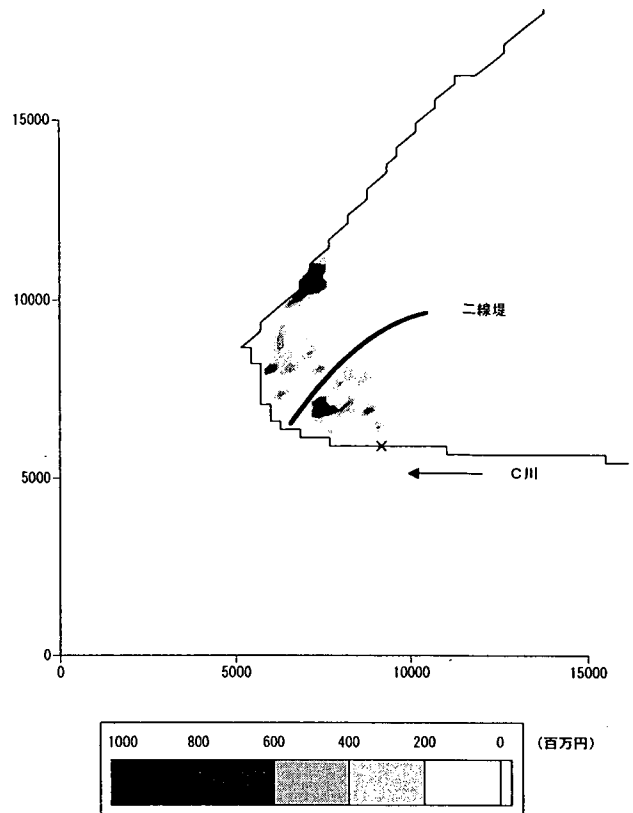
C川右岸氾濫等到達時間区域図 (ケース 3 : 盛土 3 m)



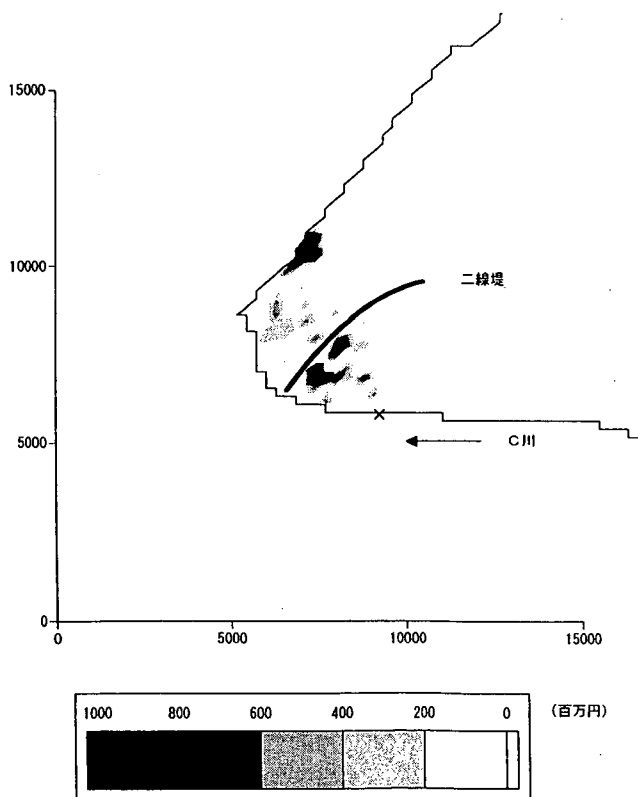
C川右岸氾濫等到達時間区域図 (ケース 4 : 盛土 4 m)



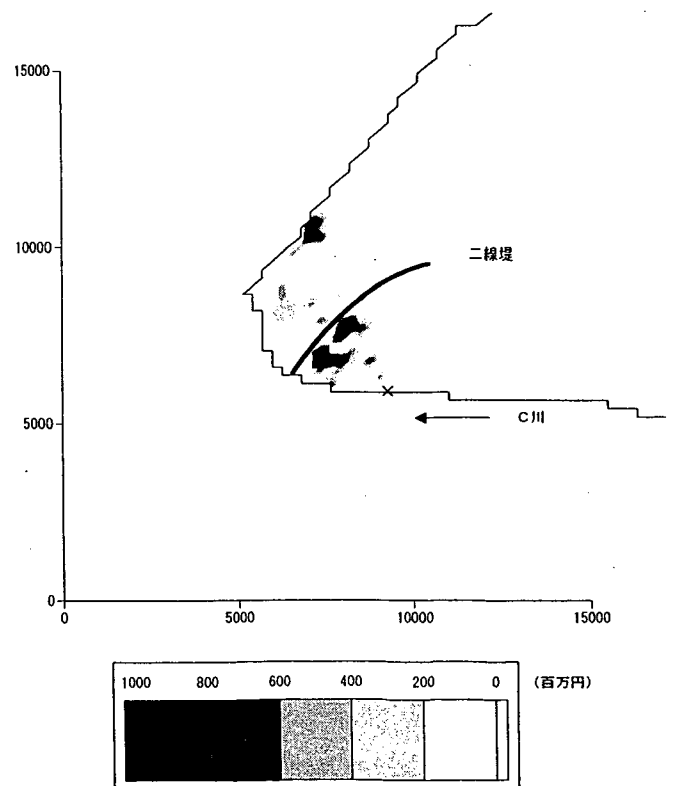
C川右岸浸水被害額分布図 (ケース1: 二線堤無し)



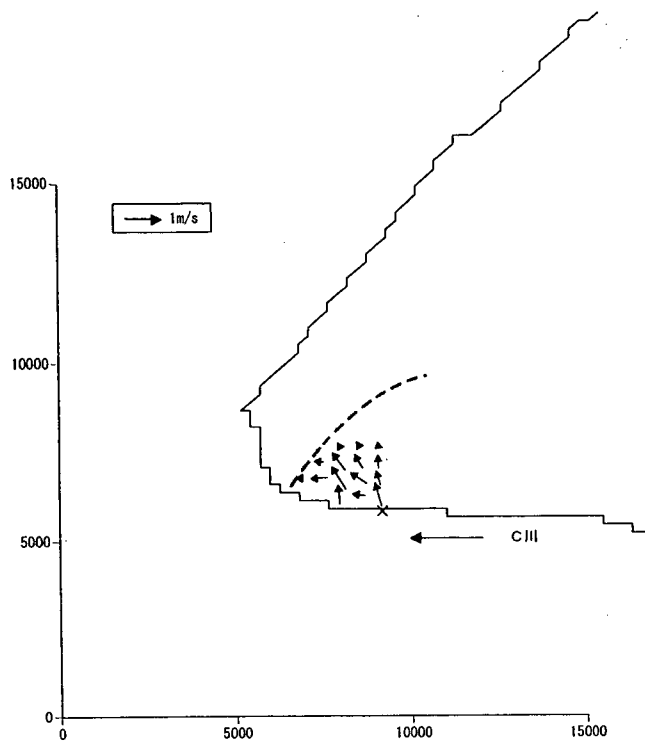
C川右岸浸水被害額分布図 (ケース2: 盛土2.0m、現況)



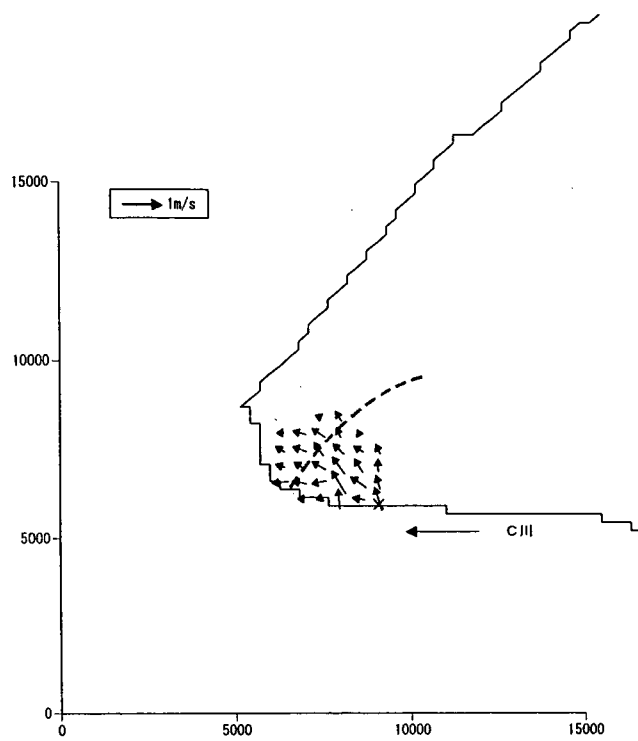
C川右岸浸水被害額分布図 (ケース3: 盛土3.0m)



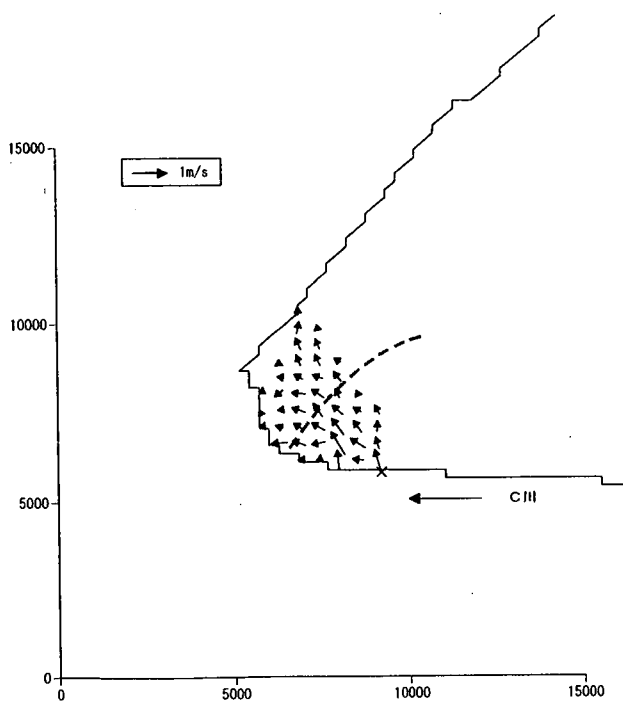
C川右岸浸水被害額分布図 (ケース4: 盛土4.0m)



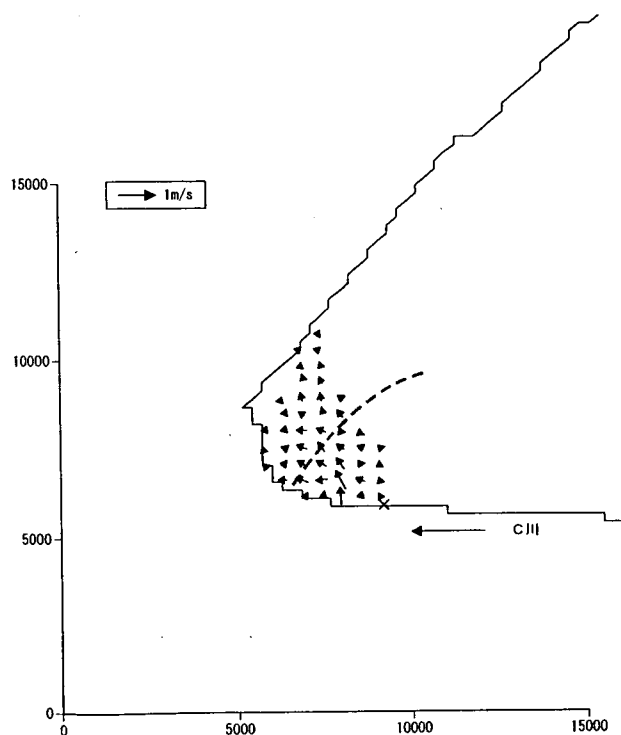
CIII右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後30分、ケース1：二線堤無し）



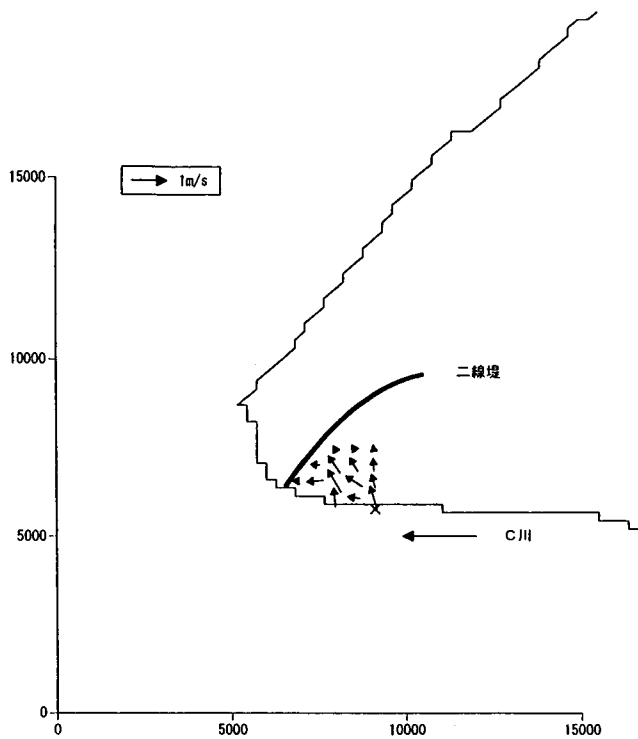
CIII右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後60分、ケース1：二線堤無し）



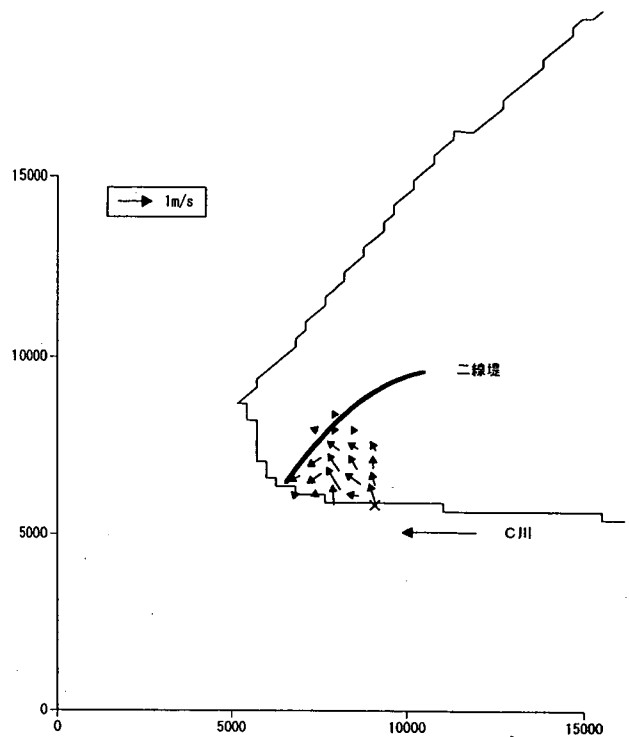
CIII右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後120分、ケース1：二線堤無し）



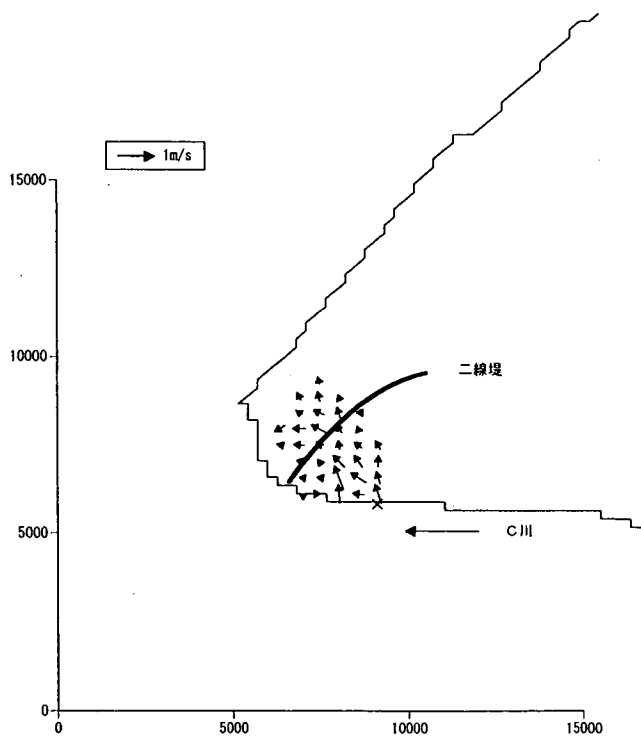
CIII右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後240分、ケース1：二線堤無し）



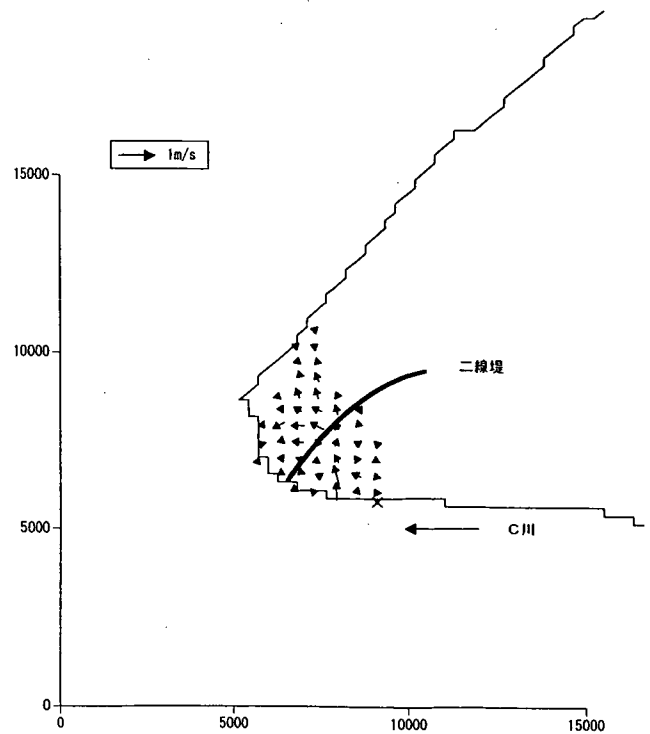
C川右岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後30分、ケース2：盛土2m、現況）



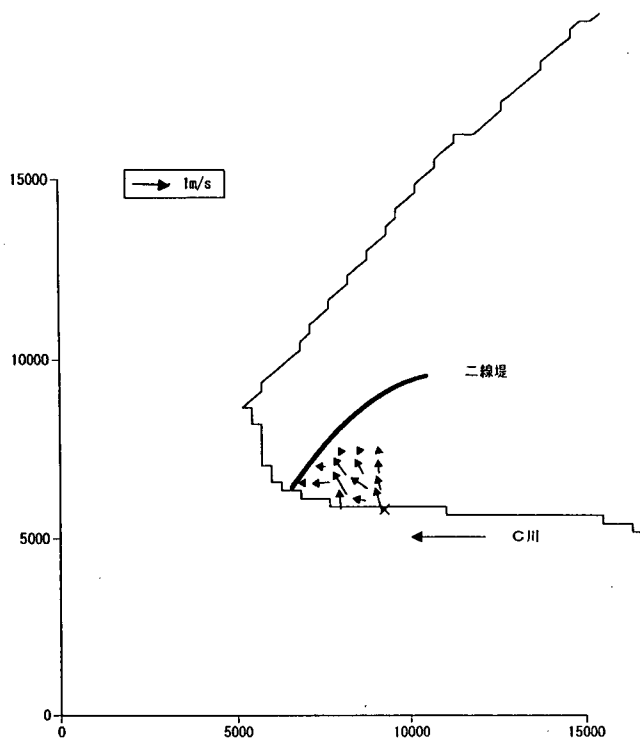
C川右岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後60分、ケース2：盛土2m、現況）



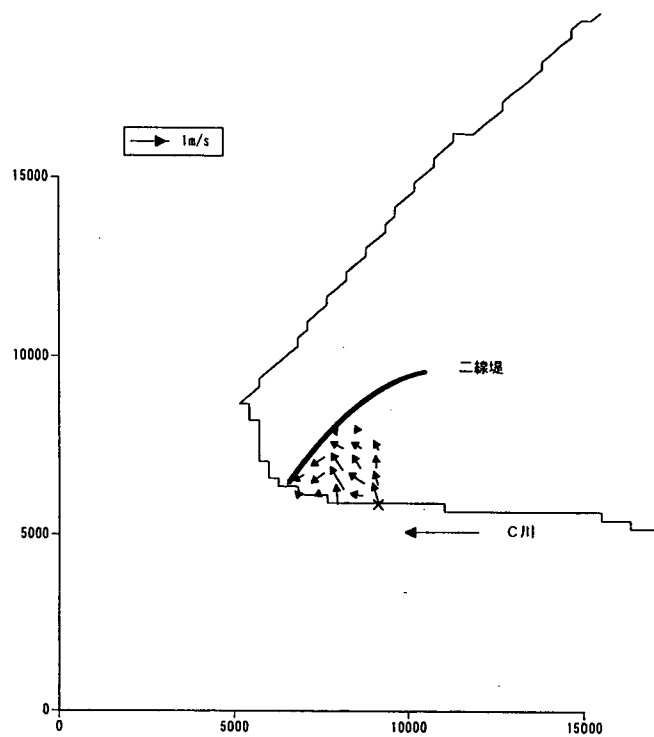
C川右岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後120分、ケース2：盛土2m、現況）



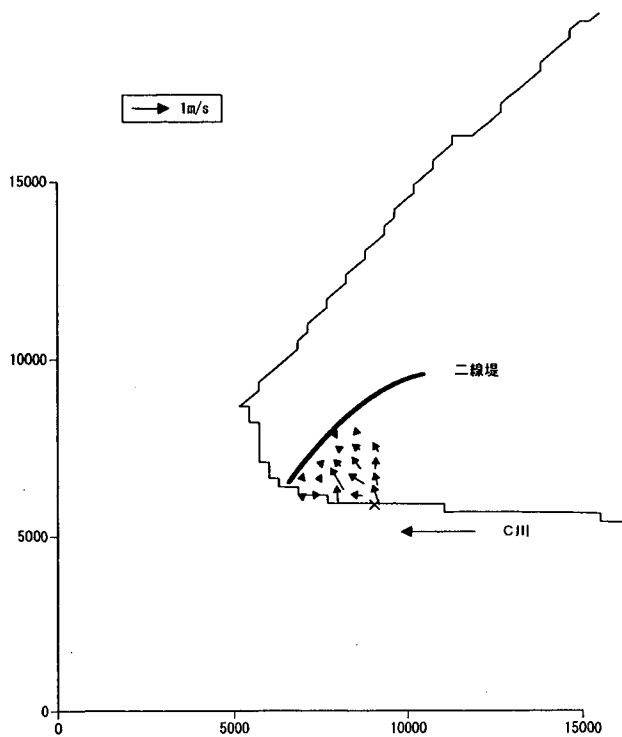
C川右岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後240分、ケース2：盛土2m、現況）



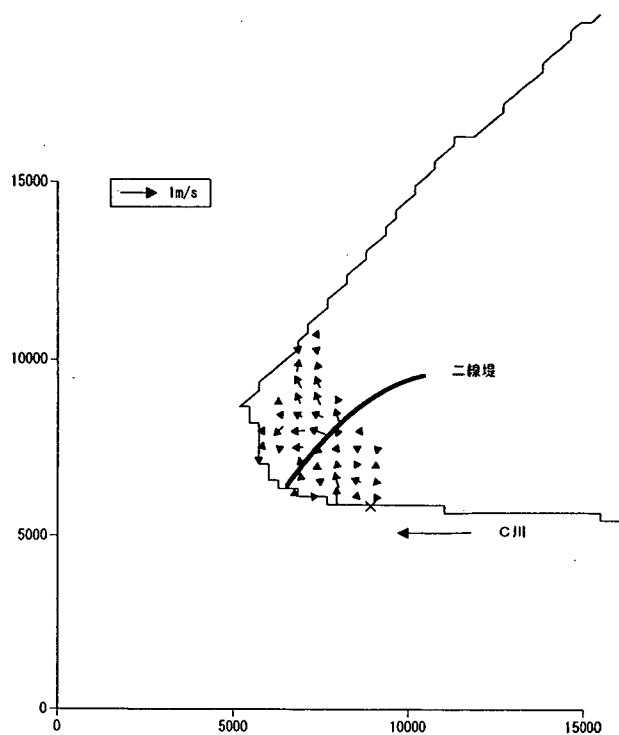
C川右岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後30分、ケース3：盛土3m）



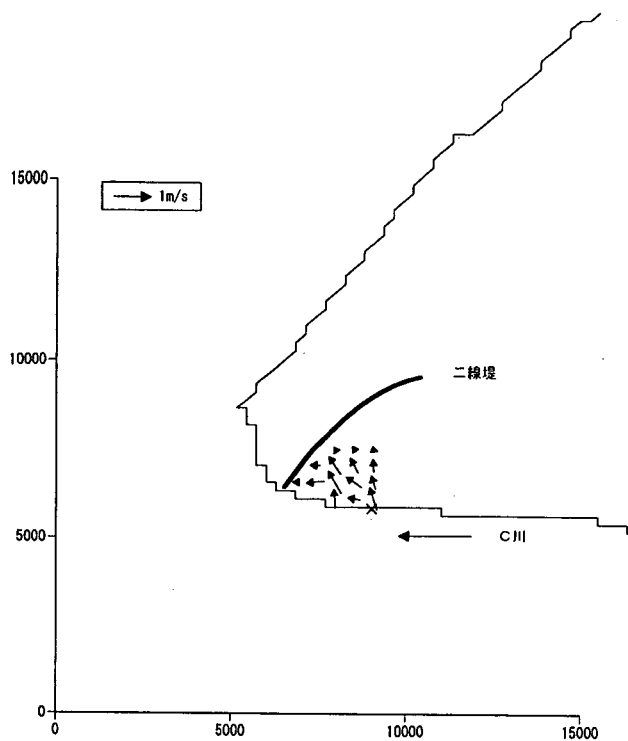
C川右岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後60分、ケース3：盛土3m）



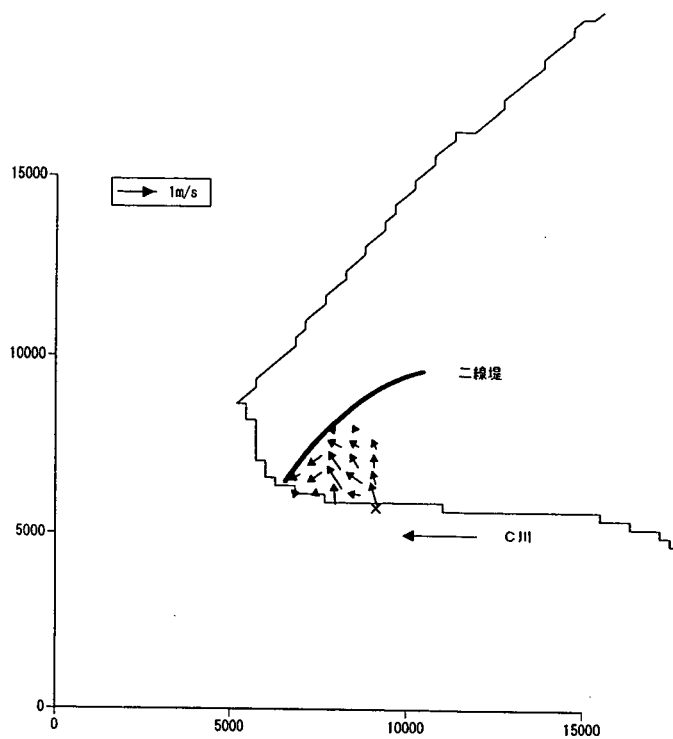
C川右岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後120分、ケース3：盛土3m）



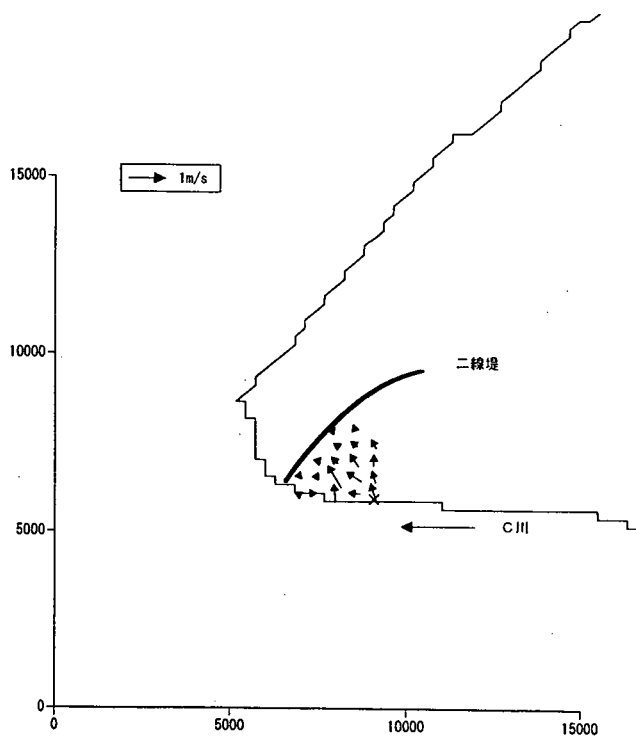
C川右岸氾濫流流速ベクトル図（破堤開始後240分、ケース3：盛土3m）



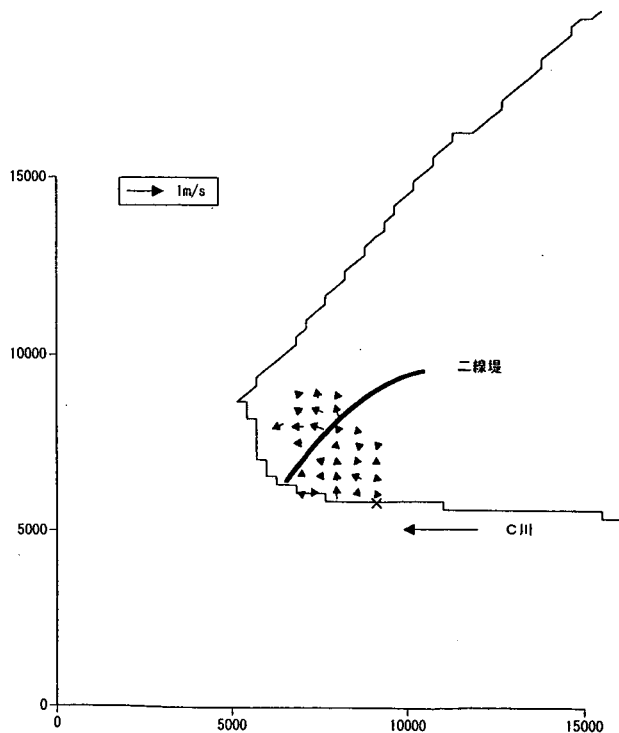
C 川右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後 30 分、ケース 4：盛土 4 m）



C 川右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後 60 分、ケース 4：盛土 4 m）



C 川右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後 120 分、ケース 4：盛土 4 m）



C 川右岸氾濫流速ベクトル図（破堤開始後 240 分、ケース 4：盛土 4 m）