

ISSN 0386—5878

土木研究所資料 第2933号

土 木 研 究 所 資 料

避難シミュレーション

—— 吉田川(鳴瀬川水系)を事例として ——

平成3年3月

建設省土木研究所
河川部総合治水研究室

Copyright © (1991) 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。

避難シミュレーション

——吉田川(鳴瀬川水系)を事例として——

総合治水研究室 室長 吉本 俊裕

研究員 須見 徹太郎*

永友 嘉嗣**

* 現 マレーシア国農業省灌漑排水局 Ampang 研究所

** 現 宮崎県

要 旨

本研究は、昭和61年8月洪水で大きな災害を受けた鳴瀬川水系吉田川を事例として、避難シミュレーション手法の研究を行なったものである。

キーワード：避難、避難シミュレーション、避難行動関数、避難行動解析図

災害や事故の時、まず第一に考えなければならないのは、人間の生命をどの様にして維持継続させ、被害を被らないようにするかである。いろいろな場面や害を避けるための対応策があるが、最もポピュラーなのは、人間が害を被る可能性の有る所から、無い所へ移動する一すなわち避難をすることである。

水害の分野においても、平常時から河川改修を行ったり、洪水時には水防を実施したりしているが、いよいよとなれば基本的には逃げなければならない。水害時の避難については、既に多くの調査や研究が行なわれており、それらのいくつかについては本文でレビューするが、実務的な観点から考えたとき、いろいろな意味から応用しづらいようなものが多いように思われる。つまり、避難は少なくとも現実的な人の動きを伴うものであるから、現象としてはいろいろな要素が絡み合っていて複雑なものであっても、実務的な取り扱いはできるだけシンプルな方がよい。避難を対象として研究や調査を行なう場合、詳しくれば良いとか数値解析手法を駆使すれば良いというものではなく、簡単で分かりやすく、一般の人でも少し勉強すれば避難にあたってどこが問題になるのかを追跡できるようなものが良い。そうでなければ、実務的にはなかなか使われない。

また、データの収集や設定に手間暇がかかるせいか、避難の解析に使用する原単位類について、机上のみの仮定に基づいていたり、その出所や根拠を曖昧にしたまま、それを使っていろいろな解析や分析を行なっているのも多く見受けられる。むしろ間違っているものから根拠だけはしっかり押さえて、それぞれの成果をレビューし、積み重ねをしていく必要があるだろう。このような問題意識を持ちつつ、本研究では、なるべく実務的な観点から避難の検討手法を組み立てた。

検討手法の研究にあたり対象とした河川は、鳴瀬川水系吉田川の直轄管理区間を中心とした河川及び流域である。本流域は、昭和61年 8月洪水で大きな災害を受けた地域である。なお、研究では実際の施策等も考慮しながら検討を行なったが、本研究はあくまで手法を検討するところに重点を置いており、研究結果が実際の施策を云々するものでないことはあらかじめ断っておきたい。

目 次

まえがき

1. 既往研究のレビューと本研究の概要	1
1.1 既往研究のレビュー	1
1.2 本研究の概要	6
2. 対象河川の概要	8
2.1 鳴瀬川・吉田川の河川・流域の概要	8
2.2 鳴瀬川・吉田川の治水計画の概要	8
2.3 昭和61年8月豪雨の概要	8
3. 避難シミュレーションの条件	22
3.1 氾濫及び避難シミュレーションの対象地域	22
3.2 氾濫シミュレーションの条件	22
3.3 避難ルート、避難対象地区	27
3.4 避難行動関数	27
4. 避難シミュレーションとその結果	40
4.1 氾濫シミュレーション結果	40
4.2 避難シミュレーションとその結果	40
5. おわりに	68
〈参考文献〉	69

1. 既往研究のレビューと本研究の概要

1. 1 既往研究のレビュー

本研究の内容に入る前に、水害時の避難に関する既往の研究について整理する（表1.1）。表1.1は手近かな文献を中心にまとめているので、大事なものが脱落していたり、その後の研究が進んでいたり、また、内容を誤解している部分もあると思うが、研究の現状について全体的な傾向はつかめると思う。これらの中には鋭い分析が行なわれていて示唆に富み、実際的な適用にも非常に参考になるものも多く含まれている。しかし、まえがきでも述べたように、避難は現実的な人の動きを伴うものであるから、それをシミュレーションとして行なう場合には、その方法なり結果は現実に役立てられるであろうことを強く意識したものでなければならない。そのような観点からみたとき、既往の研究の中には次のような問題点が散見される。

- ① 避難に係わる（係わると思われる）要素をたくさん取り込んで分析すればするほど、その研究やシミュレーション手法はレベルが高いのだという考え方がある。
- ② 数理的な手法を駆使して避難をシミュレートしている。
- ③ その避難シミュレーションを、どのような場合にどのような使い方をするのかについての、前提になる使用環境についてあまりはっきりしていないものがある。
- ④ 避難シミュレーションに使用するパラメーターの原単位等について、その根拠がなかったり、曖昧なものがある。

①及び②は、場合によっては非常に立派なことであるが、それをわざわざ問題点として取り上げたのは、次のような理由からである。避難は確かにいろいろな要素が絡む複雑な人の動きである。思いつくままに避難に係わる要素をあげてみると、図1.10¹⁾のようになる。しかし、複雑であるからシミュレーション手法も複雑でなければならないということではなく、行政の実務担当者にも一般の人々にも広く受け入れられ理解してもらうためには、なるべく取り扱いが容易で分かりやすいものでなければならないということである。また、要素を限度を越えて多く取り上げると、一つ一つの要素の把握が曖昧になり現実との対応が付けにくくなる。いろいろな要素があることは事実であるので、シミュレーションに活かすものと、そのほかの局面で活かすものとに分けることが必要である。

②は、机上の数字的な操作に偏ってしまい、現実と遊離したり、数値シミュレーションの結果としては分かるが、どの様な経過でそのような結果になるのかについて分析しようとする、電子計算機の膨大な出力用紙を逐一当たらないとなかなか理解できないようなものになっているということである。すなわち、シミュレーションの中身が半ばブラックボックス化されたような状況が生じ、一般の人々から表面的な理解はされても、足が地についた理解がされないために、なかなか利用されないとか、利用しようにも経過の理解が不十分なために、具体の施策となりにくい側面を持っている。

③は、どういう使い方が現実に可能なのかということが曖昧なままに研究が進められているものがあるということである。特に、発災時に人が現実に動いている状況下で、リアルタイム的に使えるものを研究の目的とするのであれば、使用の可能性についてのかかなり用心深い分析が必要である。まず、複雑な要素をたくさん取り込んだものは、それだけで使用に耐えない（緊急時に複雑な要素

表1.1 避難に関する既往の研究概要（その1）

論文名	概要	結果																								
洪水氾濫解析とリンクした避難のシミュレーション ¹⁾	避難施設・経路を結節点（ノード）とそれらを結合する経路（リンク）を組み合わせたネットワークで構成。 避難行動は、避難施設の選択をネットワーク理論の最短経路選択問題としてモデル化。 歩行速度については、西原を引用。	破堤30分前には避難命令を。 情報の伝達速度5m/s																								
名古屋市南部の水害での予警報・避難に関する住民意識と居住環境のアンケート調査研究 ²⁾	名古屋市南部を対象に、水害を予想した避難活動についてアンケート調査した。	各学区の避難に関する平均的な時間、距離、達成 <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th><th>単位</th><th>清水</th><th>中島</th><th>小西</th><th>荒子</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>避難時間</td><td>分</td><td>7.59</td><td>9.60</td><td>8.62</td><td>7.61</td></tr> <tr> <td>避難距離</td><td>m</td><td>179</td><td>362</td><td>263</td><td>182</td></tr> <tr> <td>避難速度</td><td>m/分</td><td>23.5</td><td>27.7</td><td>30.5</td><td>23.9</td></tr> </tbody> </table>	項目	単位	清水	中島	小西	荒子	避難時間	分	7.59	9.60	8.62	7.61	避難距離	m	179	362	263	182	避難速度	m/分	23.5	27.7	30.5	23.9
項目	単位	清水	中島	小西	荒子																					
避難時間	分	7.59	9.60	8.62	7.61																					
避難距離	m	179	362	263	182																					
避難速度	m/分	23.5	27.7	30.5	23.9																					
名古屋市南部における浸水位変化を考慮した水害避難のシミュレーション研究 ³⁾	名古屋市港区を対象に7ブロックに分割し、さらに地域分割して、次の条件によりシミュレートした。 ・想定避難人数を採用。 ・それぞれの地域に避難先を予定。 ・避難者はブロック内のみで行動する。 ・避難者は浸水の少ない最短経路を通る。 ・避難情報の伝達に確率モデルを採用。（時間の経過により伝達確率が1に近づく） ・浸水位によって歩行速度を変化させる。 歩行速度 <table border="1"> <thead> <tr> <th>浸水位 (cm)</th><th>速度 (m/分)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td><td>30</td></tr> <tr> <td>0~20</td><td>25</td></tr> <tr> <td>20~40</td><td>20</td></tr> <tr> <td>40~60</td><td>10</td></tr> <tr> <td>60~80</td><td>5</td></tr> <tr> <td>80~</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	浸水位 (cm)	速度 (m/分)	0	30	0~20	25	20~40	20	40~60	10	60~80	5	80~	0	浸水位の変化の相違による避難人数の経時的変化の相違を出力している。										
浸水位 (cm)	速度 (m/分)																									
0	30																									
0~20	25																									
20~40	20																									
40~60	10																									
60~80	5																									
80~	0																									
災害の発生状況に応じた避難誘導の方法 ⁴⁾	住民の潜在的避難行動に任せると、特定の避難所・路に集中して危険なため、避難領域の変更（避難誘導による）に焦点を当てたシミュレートをした。対象は岐阜市街地。 ・対象地域内の人口密度は一様である。 ・災害地を横切るように避難領域を変更し、それによってのみ出した住民を隣接避難地に誘導する。	災害が市街地内と外で発生した2つのパターンについて、全住民の90%が避難完了するまでの時間を求めた。 前者30分、後者18分																								

表1.1 避難に関する既往の研究概要（その2）

論文名	概要	結果
昭57.7長崎水害における住民の避難行動について ⁶⁾	S.57長崎水害について、被災・避難状況、水害情報の伝達状況、防災意識などをアンケートにより調査した。	・平均避難距離 長崎：土砂災害地641m 浸水災害地270m 諫早：592m ・避難のための時間 ＜最頻値＞ 長崎：土砂10分以内55% 浸水10分以内75% 諫早：10～30分48% ＜平均値＞ 長崎：土砂17分 浸水13分 諫早：13分 ・平均移動速度 長崎：土砂35m/分 浸水27m/分 諫早：44m/分
昭57.8大和川水害における住民の避難行動について ⁶⁾	S.57.8.1～3にかけて襲来した台風9号、10号により発生した大和川流域の王寺町、松原市について長崎災害と同様のアンケート調査をした。 (なお、襲来の順序としては10号→9号である。)	・平均避難距離 10号 9号 王寺町：890m 910m 松原市：400m 650m ・避難のための時間(平均) 10号 9号 王寺町：14分 16分 松原市：11分 18分 ・平均移動速度 10号 9号 王寺町：72m/分 73m/分 松原市：42m/分 50m/分 ・9号時(追い打ち時)の避難距離が長くなっているのは、10号時の経験から避難先を変更せず、最初から所定の所に行ったため。
低平地における浸水時の避難計画に関する一考察 ⁷⁾ — 岐阜県安八町の事例から —	S51.9災害に関して、住民からの聞き取り調査と、安八町が実施したアンケート調査結果とを合わせて、避難行動を避難条件より分析。	避難行動型を3つに分類 A型：浸水時刻より避難時刻が遅いもの (早期型) B型：(同時型) C型：(状況判断型) 安八町では、C型が被害を最小限に止め、その後の生活再建等で有効である。

表1.1 避難に関する既往の研究概要（その3）

論文名	概要	結果
水害時の避難行動に関する研究⁸⁾	千代川（鳥取市）、斐伊川（大東町、加茂町）、江の川（川本町、桜江町）を対象として、被災及び避難、水害への備え、水害対策への意見等についてアンケート調査をした。	・水害を予測していた人が、していなかった人よりもはるかに水害への備えをしていた。 ・被災経験と同種の経験を得るような災害シミュレーション記録映画の上映等を考えるべき。 ・避難場所の支持があった場合となかった場合の避難場所の安全性の差はあまり大きくない。 ・避難指導者の有無に避難の安全性は左右されない。（大災害時には組織的行動はとりにくい） ・避難行動の予測性は、事前にその情報を知っている方が、はるかに良い。
洪水災害時における地域避難システムの設計と評価⁹⁾	水害時の避難に関する総合的な検討。 ・避難に係わる要素・要因、システムとしてのつながりについて分析・体系化。 ・避難システムの現状について、市町村へのアンケート調査から分析。 ・避難システムを設計するための基本フレーム。 ・避難システムを評価するためのシミュレーションモデルの開発。 ・旧巨椋池干拓地流域での試算 避難シミュレーションの設定条件 ・警報は発令基地から同心円状に伝わる。 ・警報が伝達されれば、全ての人々が認知する。 ・警報を認知し避難を開始するまでの時間は無視する。 ・浸水深と避難開始率の関係 h=5cmで30%、5～45%で50%、45cmで20% ・避難施設の選択は、ネットワーク理論の最短経路選択問題としてモデル化。 ・歩行速度1.4m/s（仮定） （浸水深・疲労による歩行誘引率、群衆流動による歩行速度を別途設定） ・情報伝達速度 口コミ（10m/分）、広報車（85m/分）、サイレン（300m/分）	避難システムの設計と評価がこの手法で可能としている。

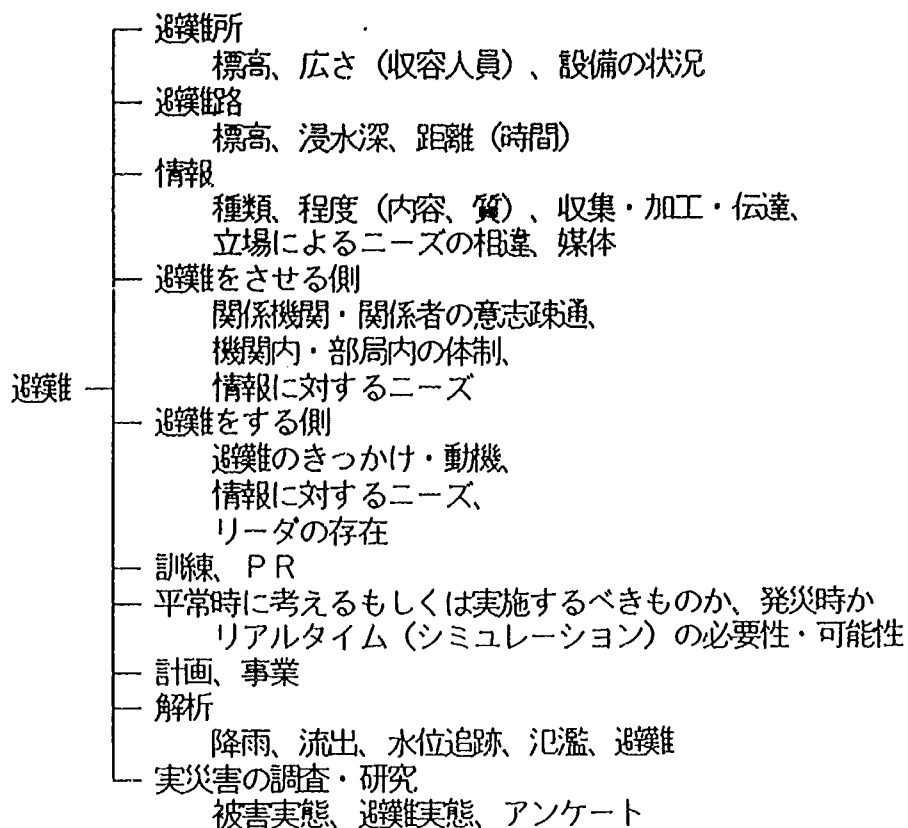


図1.1 避難に係わる要素・要因

をいちいち取り上げてはいられない）。次に、シミュレーション結果を現実に関わり合っている人々に伝える手段がない場合は、それをリアルタイム的に使うという目的で研究するのは意味がない。この場合には、不特定多数しかも流域に散在している人々に如何にして情報を伝達するかが目処が立ってから、避難シミュレーションを考えても遅くない（避難は一般の人々が実際に動いてはじめて目的を達成できるから、避難シミュレーションのオペレーターとその周辺にいる少数の人だけが結果を知り得ても意味がない）。上に述べた情報の伝達の問題は別にしても、少なくとも避難に間に合うだけのスピードでシミュレートしなければならない。これは避難に係わる河川の水位上昇、氾濫水の広がりなどのシミュレートないしは現地情報の収集も含めてである。

このようなことを考えると、リアルタイム的に避難シミュレーションを使うのはかなりの制約があることが分かる。もちろん可能性がないわけではないが、現実的に避難シミュレーションが活躍し得るのは、平常時にかなりの程度限定されるといえる。それでは平常時の利用としてどんなものがあるかという、（イ）平常時において、水防災担当者が発災時における避難計画を検討する。

（ロ）避難路、避難所の配置、標高などの設計、事業の理由付けに使う。（ハ）発災時を想定した水防災担当者の訓練に使う。（ニ）一般住民へのPR或は一般住民の避難訓練に使う。――などが考えられる。

避難をシミュレートする場合には、避難のスピードなど基本的に重要ないくつかの原単位が必要となる。④は、避難シミュレーションにおいて机上で仮定した原単位を使ったり、或は避難の実態

調査などにおいて漠然とした一般的な調査で終わり、シミュレーションで必要となる原単位を求めるなどといった、明確な視点を持って行なわれていないものがあるということである。避難シミュレーションはいくつかの基本的な原単位は必要であるが、①や②に関して述べたのと同じ理由により、原単位（要素）があればあるほど良いというものではない。シミュレーションはなるべく簡単に分かりやすいものにすべきであるし、従って原単位もあれもこれも関係がありそうだから取り上げれば良いというものではない。しかし、原単位を使う以上、その種類は少なくとも単に机上で仮定した値を使うのではなく、根拠が明確なものを使うべきであろう。ここで、根拠が明確であるという意味は、その根拠が絶対に正しい値であるという意味ではない。根拠は明確でも、それはなんらかの前提条件のもとに求められたものであり、それが異なれば、当然原単位も違ったものとなる。しかし、少なくとも根拠が明確であれば、どんな条件が相違して原単位が違つかの分析も可能になるし、次の実態調査等において原単位を調査する場合にも、その情報が活かされる。

1. 2 本研究の概要

1.1節で述べた分析と反省を踏まえつつ、本研究では次のような基本的な考え方に基づいて避難シミュレーションを行なった。

- ① 避難シミュレーションに使うパラメーターは、なるべく直感的に分かりやすいもので、あまり多くの種類を用いない。
- ② ①の原単位は、根拠のはっきりしたものをを用いる。
- ③ 避難の前提となる氾濫については、当研究室が改良を重ねてきた氾濫解析モデルを用いて計算したものをを用いる。
- ④ 避難シミュレーション手法は、流域治水対策の検討、対策事業の効果算定、対策や事業効果の対外的なPR等を使うことを直接的な目的として開発する。

①のパラメーターについては、1.1節の説明によりその主旨は明らかである。ここでパラメーターとしたものは、避難速度、湛水深、避難ルートなどである。避難については、避難する人々の考え方なども取り入れてシミュレーションするというようなことも考えられるが、シミュレーションそのものに活かすというよりも、むしろ水害対策全般の中でのPRの工夫、人々の教育・訓練等に活かされるべきものとする。

避難ルートについては、多数の選択肢の中から人々がその場その場で判断しながらルートを選択していくというようなモデルがよく用いられるが、氾濫水が迫ってくるような緊急時には、右往左往して避難するのではなく、あらかじめ安全なルートが定められていて、もしくは安全なルートを人々があらかじめ知っていて、そこを人々がマニュアル通りに避難するというのが実際的にも分かりやすく、さらには分かりやすい避難ができるように流域対策を考えていくというのが自然な姿であろう。そのような観点から、ここでは、あらかじめ地区毎に可能性の高い避難ルートを設定して、そこを人々が避難する場合にどのような問題が生じるかを検討した。このように避難ルートをあらかじめ設定することは、与件の与え過ぎのように考える方もおられると思うが、こうすることによって、実際に避難をする住民にとっても分かりやすく、水災害の行政担当者にとってもルート上にどのような問題があり、どのような対策をやらなければならないかの目標の絞られた検討が可能となると考えている。

②については、避難シミュレーションの対象とした流域とは別の流域ではあるが、緑川水系御船川（熊本県）の水害避難についてアンケート調査を実施し、特に避難スピードに関するデータが得られたので、これを中心に原単位を設定している。また、水中での歩行実験なども別途実施しており、これらのデータも参考にしている。

氾濫水の挙動をどの様にシミュレートするかは、避難シミュレーションの重要な前提条件である。③については、当研究室が白川（熊本県）、小貝川（茨城県）等で改良を重ねてきた開水路ポンドモデルを用いている。また、今回の対象流域の実績洪水によってあらかじめ検証を行なっている。

④の主旨についても、1.1節の主旨の説明から理解されると思う。すなわち、ここでの検討手法は、主に平常時を対象としている。防災対象分野のシミュレーションというと、すぐにリアルタイム的な発想に結びつける研究者や防災担当者が後を断たない、もしくは本来の意味でリアルタイム的には役に立たないシミュレーション・システムを膨大な時間と費用をかけて整備しているところもある。繰り返しになるが、実際の避難時に避難シミュレーションから得られた情報を避難している人々に伝達して役に立ててもらうためには、平常時的な使い方からすると越えなければならない高いハードルが幾つもあるのである。リアルタイム的な利用に関するハードルについては、詳しくは文献10) に述べているが、まとめると、(イ) 氾濫シミュレーションにかかる時間、(ロ) 氾濫シミュレーション結果と実際の氾濫の一致性、(ハ) 氾濫・避難シミュレーション情報の人々への伝達、――などがある。これらのハードルを越えるためには、(a) 水理計算技術の進歩に負う部分、(b) 氾濫区域、氾濫水深などの情報収集手段の進歩に負う部分、(c) 電子計算機の進歩に負う部分、(d) 情報伝達手段の進歩に負う部分、(e) さまざまな情報解析機器、収集・伝達機器の整備及び専門のオペレータの育成に負う部分、――などがある。いずれの部分も、現時点において解決もしくは一部解決の見通しがあるが、いずれも不完全である。例えば、(d) については、防災無線の整備が一部地域では行なわれているが、各個人に確実に情報が伝わらなかったり、全地域を包括したような情報は伝えられても、個別の地域に、その地域に適切な情報を個別に伝えるなどといったことはかなり難しいといっていよう。

以上のような基本的な考え方に基づいて、本研究の全体的な構成を示したのが図1.2 である。同図のうち、①は文献11) に、②は文献12) に、④は文献13) に詳しい報告をしているので、これらについては関係する部分を引用する程度に止め、③、⑤及び⑥について詳しく記述することにする。

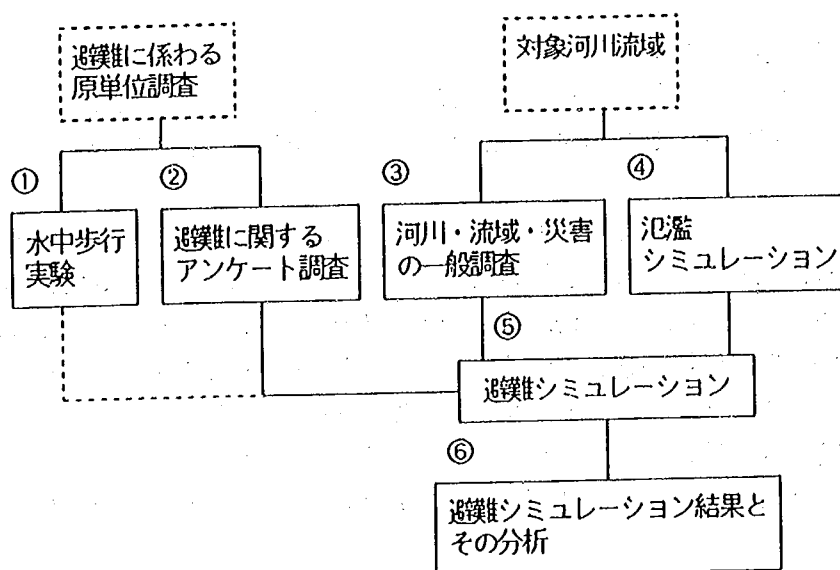


図1.2 本研究の構成

2. 対象河川の概要

2. 1 鳴瀬川・吉田川の河川・流域の概要

今回、避難シミュレーションの対象とした吉田川は、一級河川鳴瀬川の右支川で、北泉ヶ岳（1,253m）に源を発し、現在、鳴瀬川の河口近く鳴瀬町野蒜地点で鳴瀬川に合流している。図2.1に鳴瀬川及び吉田川の流域図、また、表2.1に両川の諸元及び経緯の概略を示しているが、鳴瀬川の流域面積760km²に対し、吉田川のそれは351km²でかなり大きなウエイトを占めている。

図2.2に示すように、吉田川は当初品井沼に注いでおり、小川を通じて鳴瀬川に合流する形態をとっていた。しかし、鳴瀬川の水位の影響で品井沼の排水が極めて悪かったため、品井沼から潜穴を掘り、高城川につないで、洪水の一部を松島湾に直接注ぐようにした。しかし、この潜穴は吉田川の洪水を処理するには十分でなかったため、吉田川を鳴瀬川沿いに背割り堤で流下させ、鳴瀬町野蒜地点で鳴瀬川に合流させる現在の形態とした。品井沼には吉田川の他に、もう一つ鶴田川という大きな支川が流入していたが、吉田川をサイフォンで横断して高城川につなぎ、松島湾に注ぐようにした。従って、現在の流域は、鳴瀬川水系の流域から鶴田川の流域が抜け落ちたような形態となっている。品井沼は吉田川の鳴瀬川への排水及び鶴田川の高城川への排水によって、平常時においては乾燥した水田地帯であるが、もともと低地であるため、吉田川や鶴田川が氾濫するような状況のような場合には、一面が沼地化する地形であることには現在でも変わりがない。

2. 2 鳴瀬川・吉田川の治水計画の概要

治水計画としては、宮城県が大正6年に鳴瀬川、江合川の改修計画を立て、その計画を引き継いだまま大正10年に国の直轄事業となった。昭和22年及び23年に計画を大きく上回る洪水があり、昭和24年に第1次の治水計画の改定を行なった。その後、鳴子ダムの計画等により第2次、第3次の改定を行ない、28年には旧北上川、江合川、鳴瀬川などを総合的に検討し、第4次の改定を行なった。さらに55年には、流域の開発状況等を見直して、第5次の改定を行ない、現在に至っている。図2.3及び図2.4に現在の計画高水流量配分図及び縦断面図を示している。吉田川の基準点「落合」における計画高水流量は1,600m³/sで、旧品井沼を通過する部分（9.6～20.5km区間）の計画高水勾配は1/6,000と緩く、中だるみの形状となっている。

2. 3 昭和61年8月豪雨の概要

今回の避難シミュレーション等は、吉田川流域、特に旧品井沼を中心に大きな災害をもたらした昭和61年8月豪雨を主な題材として事例研究を行なっているので、この豪雨について簡単なレビューをしておく。

昭和61年8月4日から5日にかけて、台風10号及びこの台風くずれの低気圧によって、宮城県一帯は豪雨にみまわれた（図2.5、2.6及び2.7）。このような状況のもと、気象台の注意報・警報の発表状況及び建設省北上川下流工事事務所の水防警報の発表状況は、表2.2及び表2.3のようになり、警報等が立て続けに出されている。吉田川の流域平均雨量は300mmを越え、このため吉田川は昭和22年、23年のカスリン、アイオン台風、25年の洪水以来36年ぶりの大出水となり、河道水位は8月5日8時過ぎに落合観測所で計画高水位を突破し（図2.8）、10時から11時過ぎにかけて直轄管理区間4箇所において越水、破堤し、旧品井沼を中心に氾濫・湛水した（図2.9及び写真2.1）。

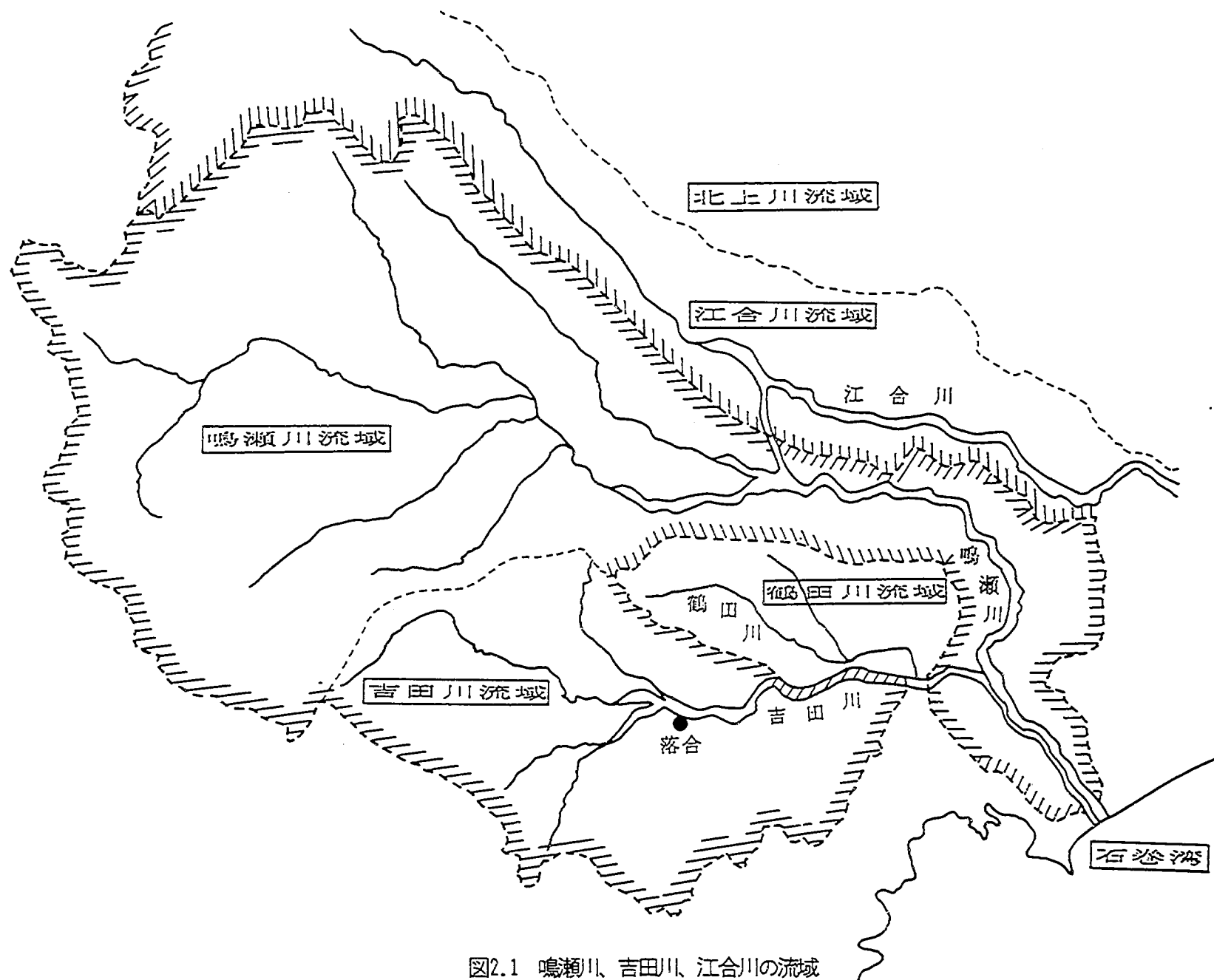
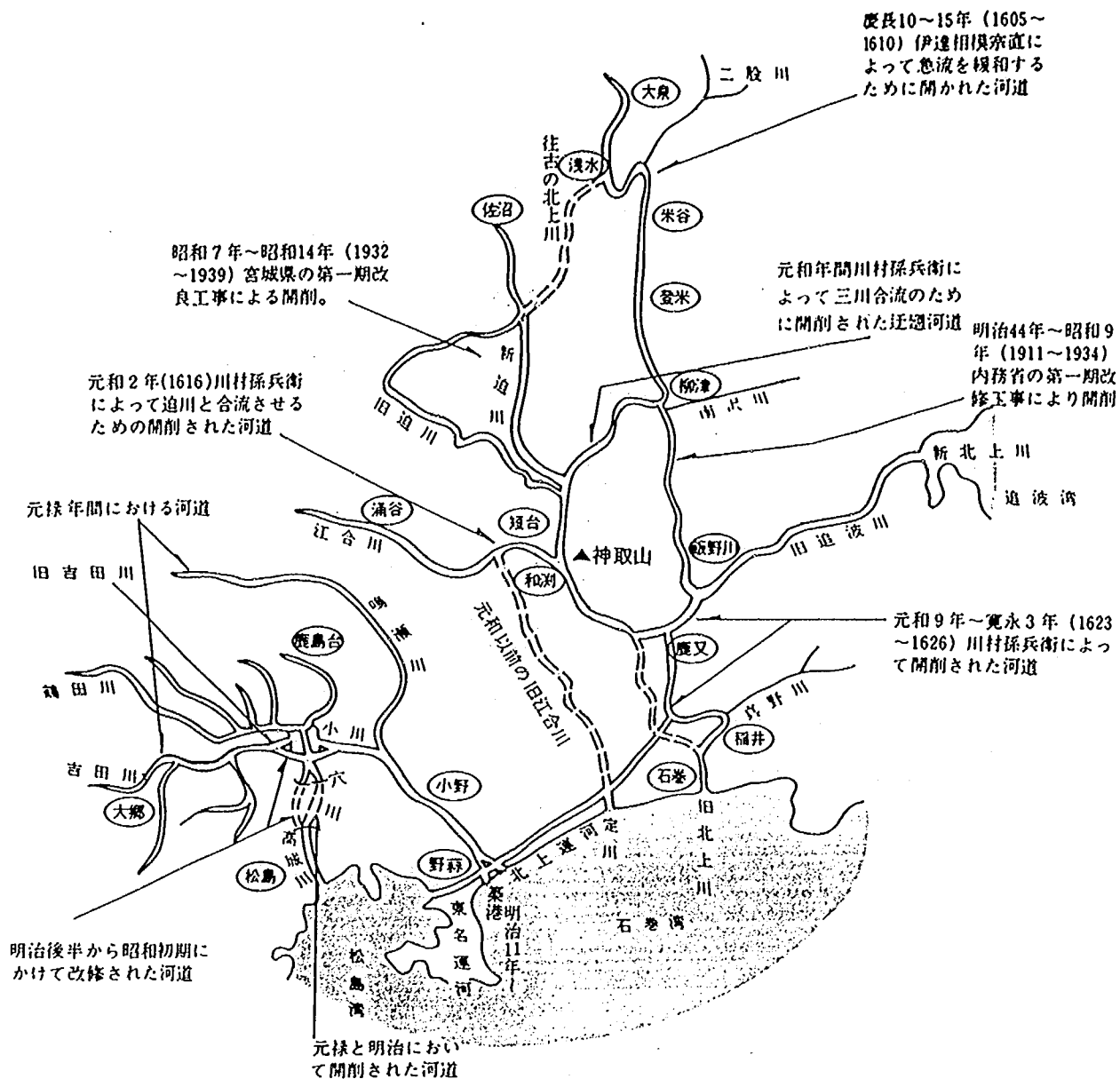


図2.1 鳴瀬川、吉田川、江合川の流域

表 2.1 鳴瀬川、吉田川の諸元及び経緯

河 川 名	鳴瀬川水系 鳴 瀬 川	鳴瀬川水系 吉 田 川
水 源 地	宮城県加美郡 小野田(船形山1,500m) 色麻町	宮城県黒川郡大和町(北泉ヶ岳1,253m)
流域面積 km ²	山地 平地 水面水路 全流域 760 (529, 209, 22)	山地 平地 水面水路 全流域 351 (274, 69, 8)
流路延長 km	全流域 411 (内幹川 89)	全流域 197 (内幹川 53)
想定氾濫面積 km ²	全流域 284 (大臣管理区間内 166)	全流域 75 (大臣管理区間内 53)
想定氾濫区域内 耕地面積 km ²	全流域 193 (大臣管理区間内 138)	全流域 58 (大臣管理区間内 42)
大臣管理区間 km	(幹川) 古川市及び三本木町地先より 石巻湾に至る 40.9 (支川) 多田川 3.5 鞍坪川 1.1	(幹川) 大和町地先より鳴瀬川合流点に 至る 31.9 (支川) 善川 0.8 竹林川 4.2
計画高水流量 m ³ /s	基準地点 基本高水 計画高水 三本木 4,100 3,100	基準地点 基本高水 計画高水 落 合 2,300 1,600
計 画 流 量 改 定 経 過	三本木地点 基本高水 計画高水 大正10年決定 1,200 昭和24年改定 3,000 昭和26年改定 3,000 昭和27年改定 3,000 昭和28年改定 3,000 昭和55年改定 4,100 3,100	落合地点(昭和28年改定では鹿島台地点) 基本高水 計画高水 大正10年決定 560 昭和24年改定 1,200 昭和26年改定 1,200 昭和27年改定 1,200 昭和28年改定 1,200 昭和55年改定 2,300 1,600
既往著名出水量	昭和22年9月(カスリン台風) 三本木 3,700 (推定)	昭和23年9月(アイオン台風) 落合 1,200 (推定)
改修事業経過	第一期工事 大正6年～9年(県施工) 第二期工事 大正10年～現在(直轄施工)	第一期工事 大正6年～9年(県施工) 第二期工事 大正14年～現在(直轄施工)



資料：宮城県史 8（土木）
宮城県史刊行会発行を参照

図2.2 鳴瀬川、北上川の河道変遷

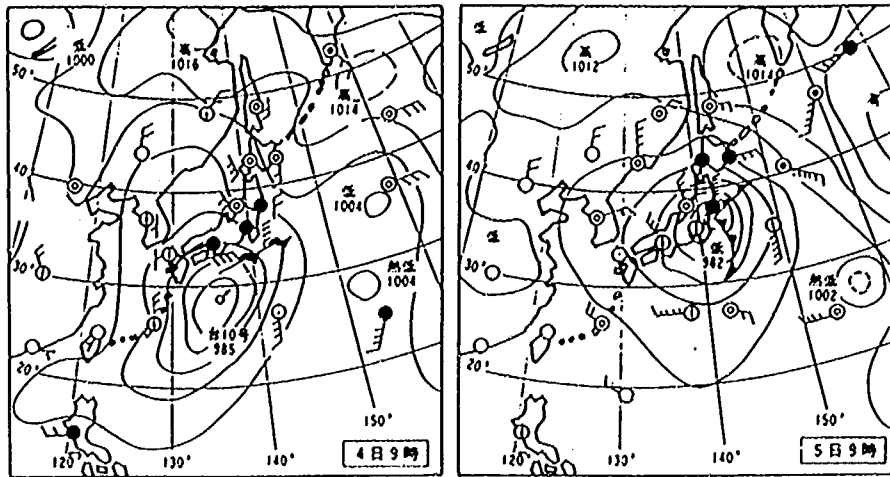


図2.5 昭和61年 8月災害時の地上天気

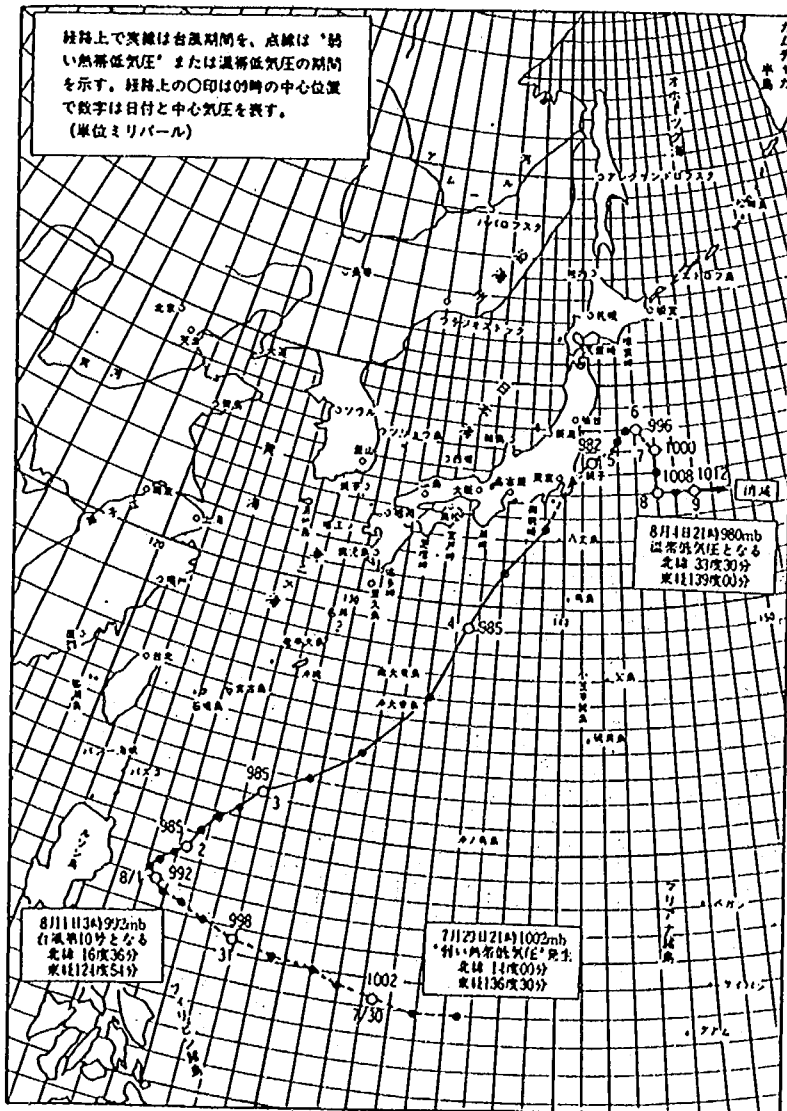


図2.6 昭和61年台風10号の経路

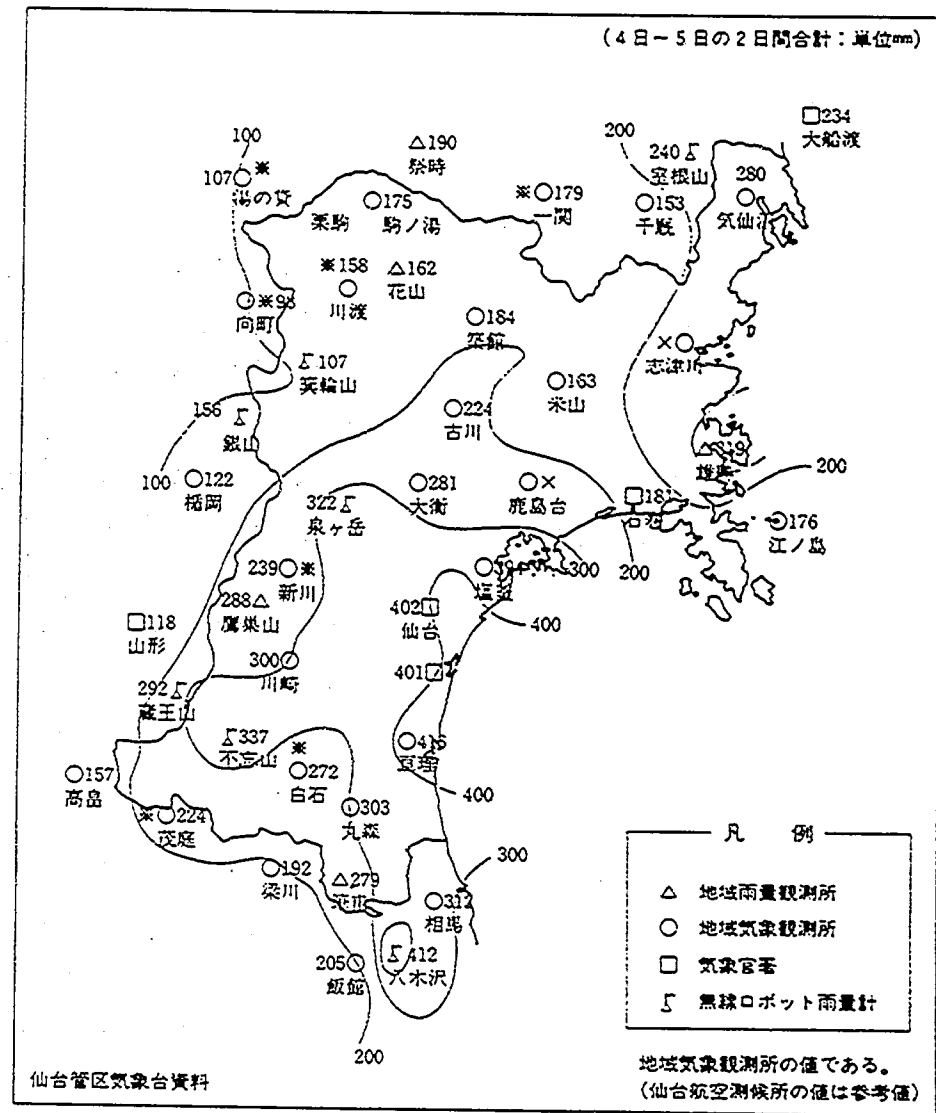
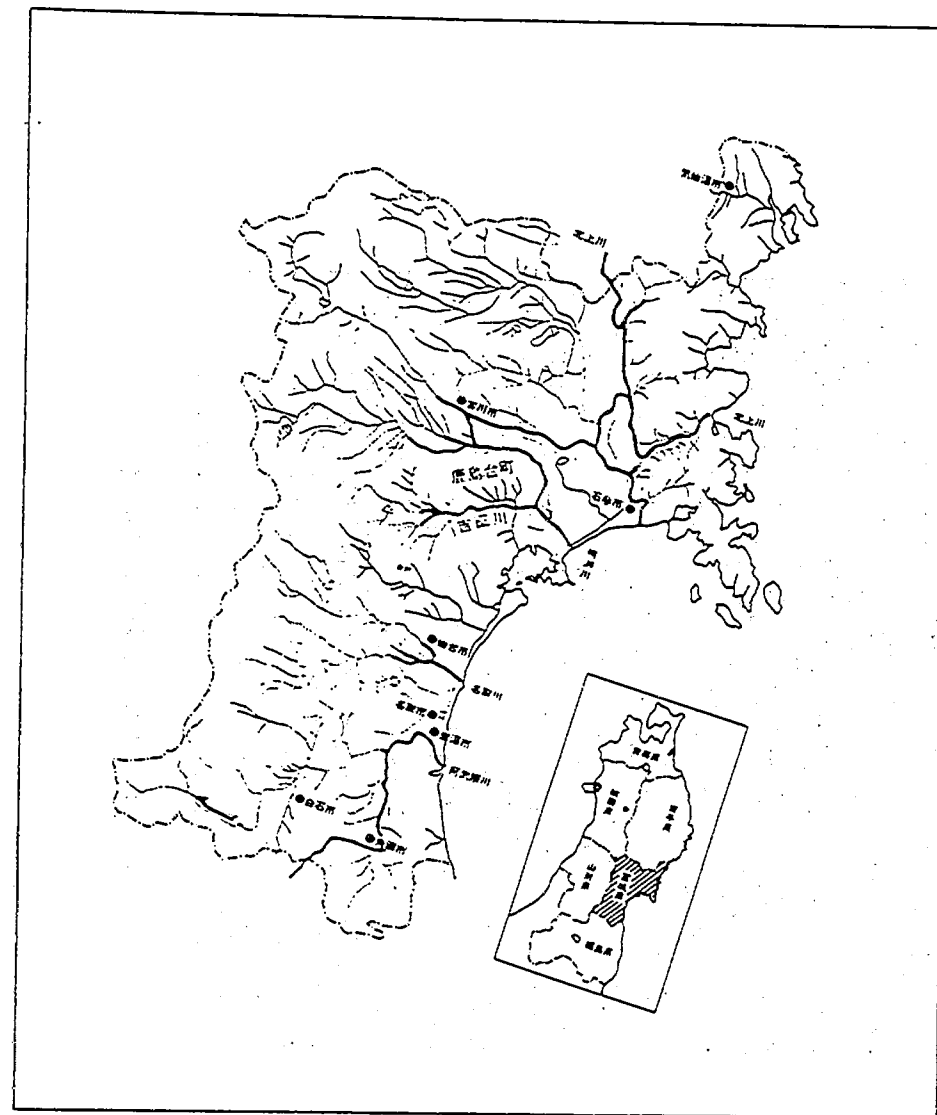


図2.7 宮城県内の河川と昭和61年 8月災害の降雨量分布

表2.2 昭和61年 8月災害時の気象注意報・警報の発表状況
(仙台管区気象台)

注 意 報 ・ 警 報 の 種 類	発 表 時 刻 日 時 分
強風・波浪・濃霧③ (沿岸の海域)	4・09・30
大雨・洪水・雷雨③」強風・波浪・濃霧③ (沿岸の海域)	4・10・45
強風・大雨・洪水・雷雨③」波浪・濃霧③ (沿岸の海域)	4・14・20
大雨・洪水④」強風・雷雨③」波浪・濃霧③ (沿岸の海域)	4・20・40
大雨・洪水④」強風③」波浪・濃霧③ (沿岸の海域)	5・00・00
大雨・洪水④」強風③」波浪・濃霧③ (沿岸の海域)	5・04・45(切替)
大雨・洪水・波浪④」強風③」濃霧③ (沿岸の海域)	5・10・50
洪水・波浪④」大雨・強風③」濃霧③ (沿岸の海域)	5・13・40
洪水・波浪④」強風・濃霧③ (沿岸の海域)	5・19・10
洪水④」強風・波浪・濃霧③ (沿岸の海域)	6・04・30
洪水③ (平野北部)」強風・波浪③ (沿岸の海域)	6・15・00
洪水③ (平野北部)	6・17・40
洪水③ (平野北部) 解除	7・07・45

④は警報、
③は注意報の略

表2.3 昭和61年 8月災害時の吉田川水防警報発表状況
(北上川下流工事事務所)

観測所名	水 防 管 理 団 体 及 び 区 域			水 防 警 報 発 表 状 況		
	水防管理団体	区 域	距 離	準 備	出 動	解 除
落 合	大和町、富谷町 大郷町	大和町吉岡国道4号 (高田橋)から柏川橋 まで	左岸12.0km	8/5	8/5	8/9
			右岸12.0km	2:10	3:10	9:10
柏 川	大郷町、鹿島台 町、松島町	柏川橋から 二子屋橋まで	左岸11.0km	8/5	8/5	8/9
			右岸11.0km	3:10	6:10	9:10
鹿 島 台	鳴瀬町、松島町	二子屋橋から 鳴瀬川合流点まで	左岸 8.9km	8/5	8/5	8/9
			右岸 8.9km	8:40	11:10	9:10

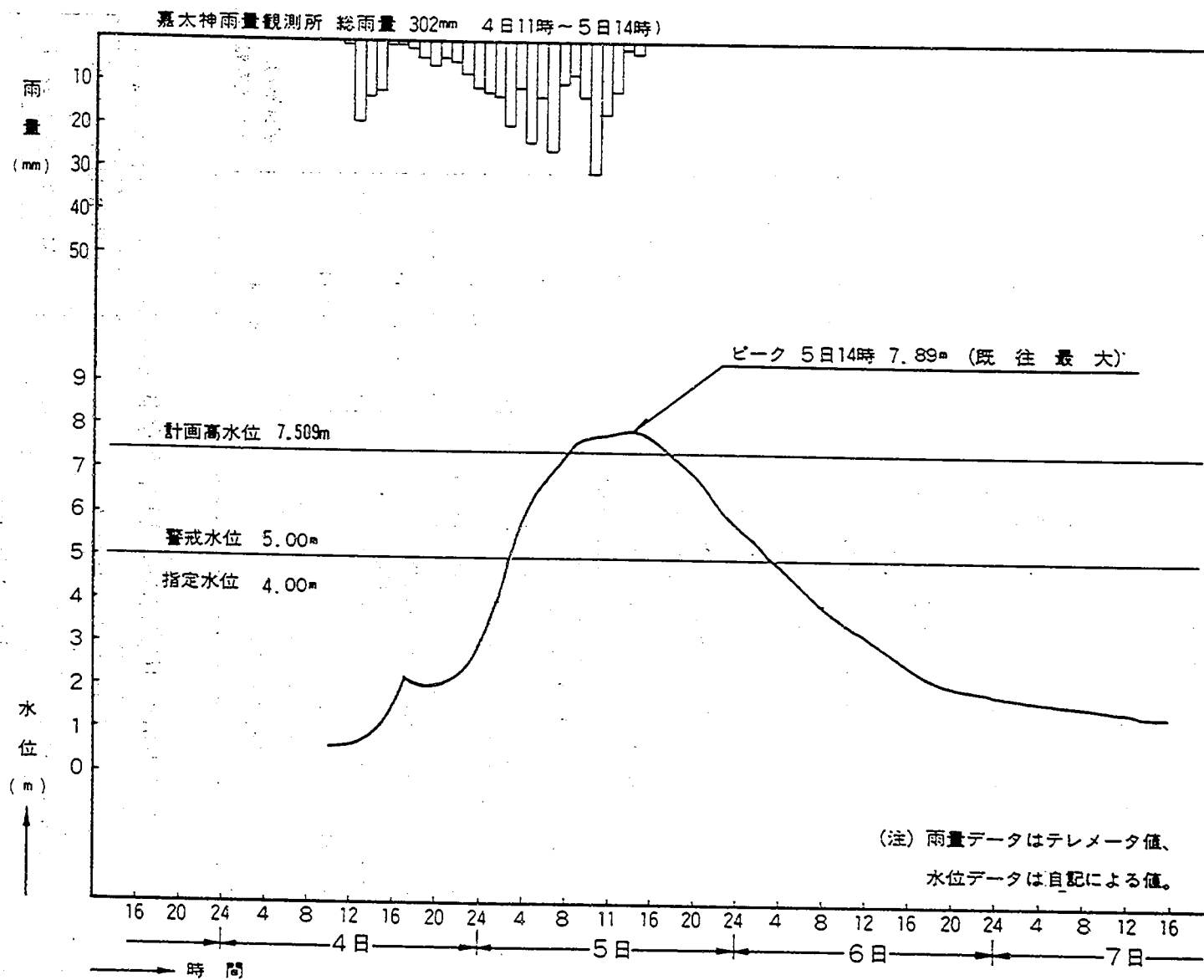


図2.8 昭和61年 8月災害時の落合地点出水状況

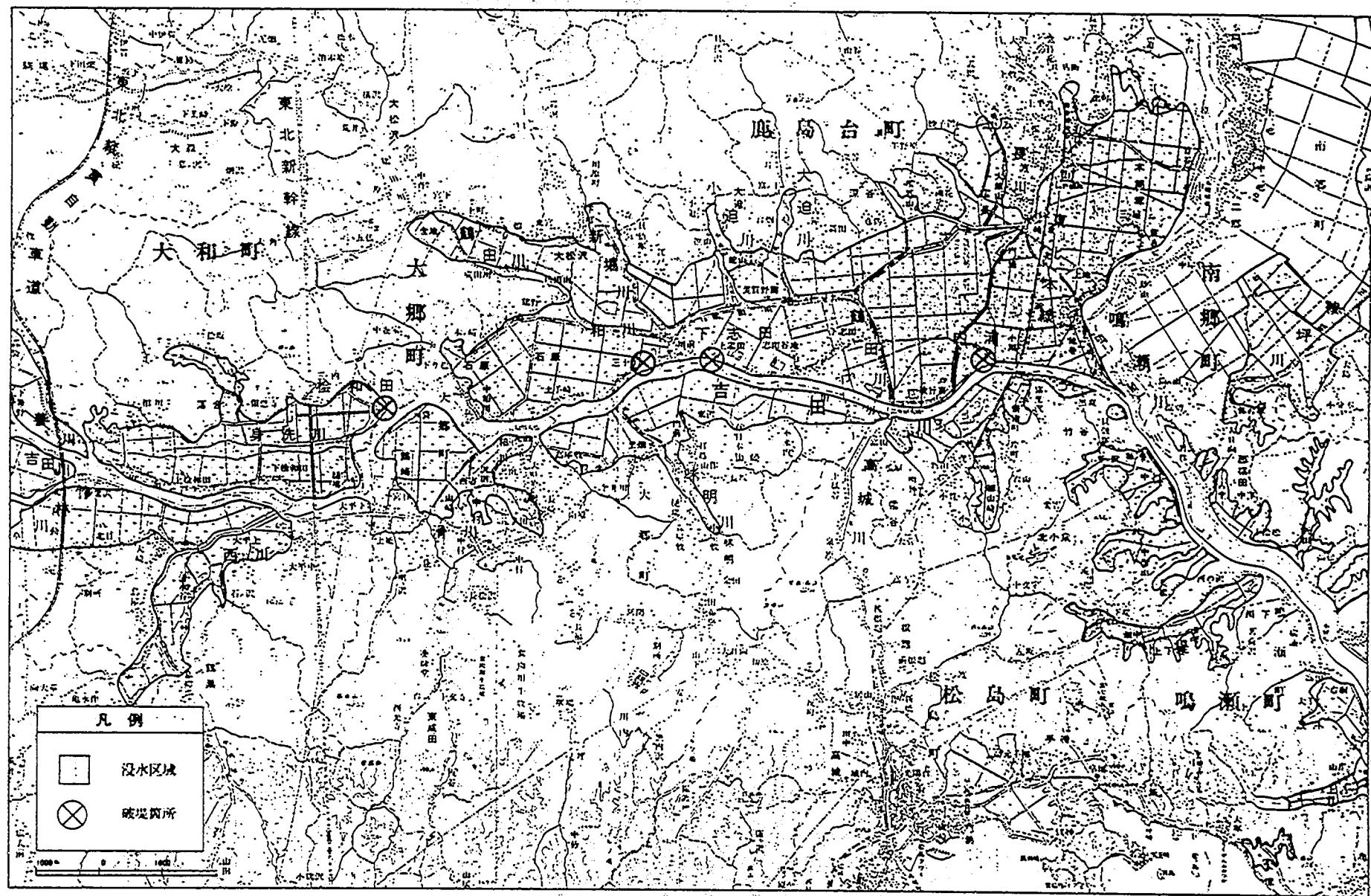


図2.9 昭和61年 8月災害時の吉田川浸水区域



写真2.1 昭和61年 8月災害時の吉田川氾濫状況

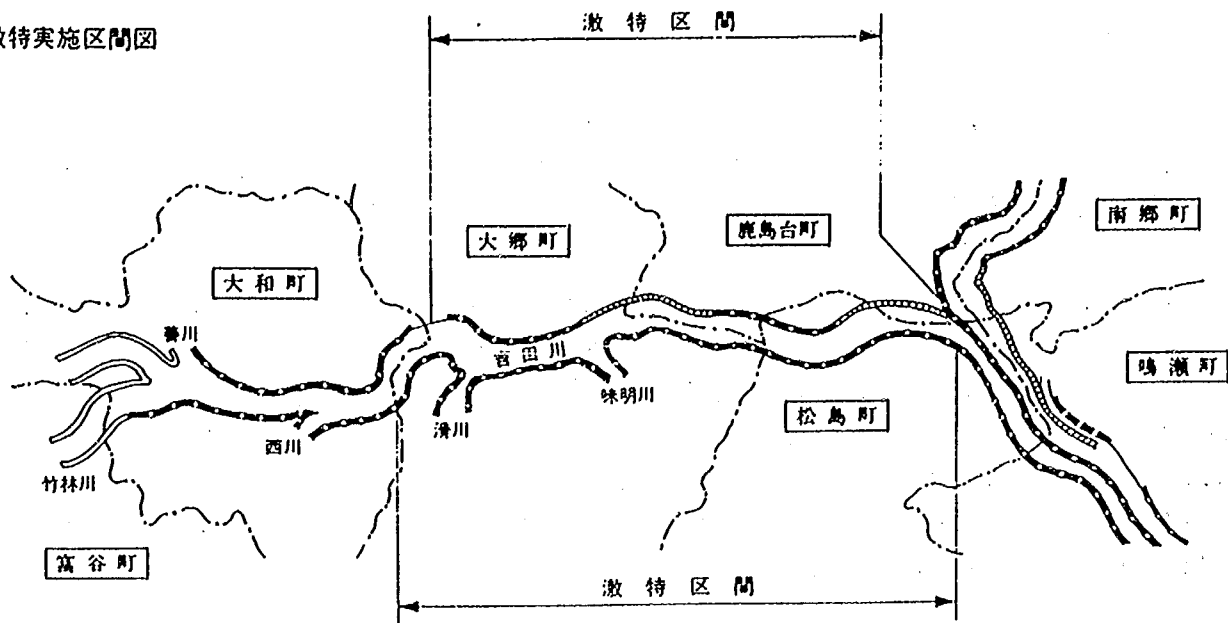
この豪雨で宮城県内において死者5人、床上浸水約10,800戸、公共土木施設災害約477億円の被害が出た（表2.4）。また、被害のひどかった吉田川の直轄管理区間において、緊急に河川を改修して再度災害を防止する観点から全体事業費約87億円で直轄河川激甚災害対策特別緊急事業（激特）を昭和61年度から5ケ年の予定で実施している（図2.10）。

表2.4 昭和61年 8月災害による宮城県内被害状況一覧表

宮城県消防防災課発表 (昭和61年10月31日現在)

区 分	単位	数 量	被害額(千円)	備 考
人	死 亡 者	人	5	
	目 撃 者	人	0	
	負 傷 者	人	12	重傷4人 軽傷8人
	罹 災 者	世帯	11,936	全壊 半壊 一部破損 床上浸水
	罹 災 者	人	42,198	
住 宅	全 壊 ・ 焼 出	戸	68	
	半 壊 ・ 半 焼 出	戸	194	
	一部破損	戸	857	
	床上浸水	戸	10,817	
	床上浸水	戸	22,158	
小 計	戸	34,091	11,403,118	
民 生 施 設	住 家 等	棟	9,563	2,134,716 住宅 作業所 集会所等
	病 院	ヶ所	20	365,710
	診療所等	ヶ所	22	82,700
	水道施設	ヶ所	180	392,180 31市町村 3広域水道
	清掃施設	施設	14	310,020
商 工	その他の衛生施設	ヶ所	20	39,660
	小 計		1,130,370	
	工 場	ヶ所	660	7,217,535
	倉 庫	ヶ所	3,414	16,847,312
	その他の営業建築物	ヶ所	231	1,371,250
小 計	戸		25,436,097	
農 林 漁 業	農 水	ha	2,648	2,269,000 主砂漠人等
	畑 作	ha	398	731,000 法製丸等
	農業用施設	ヶ所	3,138	13,120,000 農道 水路 関係水陸等
	小 計		16,120,000	
	農 作 物	ha		19,154,203 稲15,740,045千円 野菜2,659,196千円
水 産	水産用施設	ヶ所	539,449	農業施設組合等
	小 計		19,693,652	
水 産 施 設	水産施設等	ha		22,540
	漁 船	隻	44	3,864
	漁 港	ヶ所	4	5,000
	水産・農産施設	ヶ所	221	55,207
	水産物等	kg	106,758	48,803 加工 魚類 ありり 水産製品等
水 産 施 設	漁業用施設	ヶ所	19	121,160
	小 計		231,034	
林 業	林地・林道・山	ヶ所	880	5,064,210 林地299ヶ所 林道519ヶ所 山32ヶ所
	林 業 施 設	ヶ所	5	12,320
	そ の 他	ヶ所	94	24,040
	小 計		5,104,570	
	小 学 校	校	19	53,356
教 育 施 設	中 学 校	校	14	81,229
	高 校	校	28	458,992 公立25校 私立3校
	そ の 他	校	36	110,328 公民館 私立幼稚園等
	文 化 財	ヶ所	4	133,500
	小 計		810,405	
公 共 施 設	道 路	ヶ所	1,703	7,197,300 国管理分10ヶ所
	橋 梁	ヶ所	45	954,400
	河 川	ヶ所	1,861	38,598,800 国管理分110ヶ所
	海 岸	ヶ所	9	698,187
	砂 防 設 備	ヶ所	9	231,500
公 共 施 設	防 護	ヶ所	9	15,858
	小 計		47,696,045	
警 防 施 設	警 防 施 設	ヶ所	10	14,861
	交 通 安 全 施 設	ヶ所	541	21,281
	警 察 機 関	ヶ所	19	7,659
	小 計		43,801	
そ の 他	鉄道その他交通施設	ヶ所		1,182,000 仙台地下鉄 阿部記念館 陸海鉄道 国鉄
	電 力 施 設	ヶ所	1,072	361,000
	通 信 施 設	ヶ所		180,000 NTT(電柱・ケーブル等)
	社会福祉施設	ヶ所	39	133,369
	医 院	ヶ所	33	312,300 下水道 防衛 公園
地 域 施 設	ガ ス 施 設	ヶ所		7,952
	住 宅 (公 営)	ヶ所		458,290 131用地・878戸
	工業用水道施設	ヶ所	3	191,363
	そ の 他	ヶ所		183,208 登山道等
	小 計		3,009,562	
総 計	戸		132,878,409	

激特実施区間図



激特事業実施横断面図

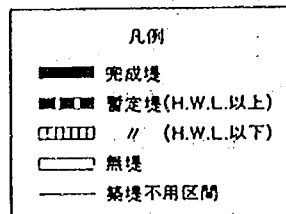
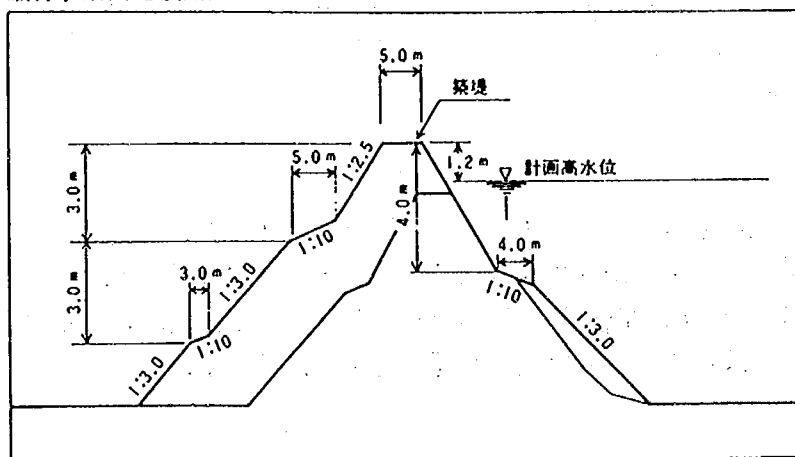


図2.10 昭和61年 8月災害による激甚災害対策特別緊急事業

3. 避難英准シミュレーションの条件

3. 1 氾濫及び避難シミュレーションの対象地域

本研究では、氾濫シミュレーションの対象地域として、図3.1 に示した吉田川の直轄管理区間で、越水・破堤した4箇所（上流から、檜和田（大和町）、粕川（大郷町）、下志田（鹿島台町）、内浦（松島町））に関連する地域を取り上げた（図3.1 で太線で囲っている区域）。

次に、避難シミュレーションについては、上記4つの地域のうち、檜和田地域は上流の単独の氾濫域であることから今回の対象地域から除外し、また、下流3地域（旧品位沼を中心とした地域）のうち、品井沼遊水地（鶴田川、広長川、国道346号線に囲まれる地域は、平常時、主に田圃として耕作されているが、洪水時には鶴田川と広長川合流点付近に設けられた越流堰により、鶴田川の水が越流し湛水する治水上の計画的な遊水地である）より下流の地域についても、人家密集地域の地盤標高が高かったりもしくはすぐ近くに高台を控えていたり、或は東北本線が実質上の避難路として機能することなどから、今回の対象地域から除外した。

3. 2 氾濫シミュレーションの条件

3.1節で述べた氾濫シミュレーション対象地域において、開水路ポンドモデルによる氾濫解析を行なった。開水路ポンドモデルについては、文献13) に詳しくまとめているので、ここでは本研究での氾濫解析の条件のみについて述べる。

(1) 検討対象地域のメッシュ分割と結合条件

対象地域の地形条件等を考慮して、地域を図3.2 に示すように、500m×500m程度の不定形メッシュ（ポンド）に分割した。ポンドの数は170個、境界の数は518個のモデルとなっている。

ポンドを表わすデータとしては、各ポンドの標高(H)～面積(A)の関係であり、表3.1 に示すような種類の条件によって互いの境界が結ばれたり、或は境界処理が行なわれている。

(2) 吉田川の河道、破堤条件

吉田川の河道については、対象区間の現況断面を138の断面で表わし、水位(H)、水面幅(B)、断面積(A)、潤辺(S)及び全水面幅(F)のデータを用いている。なお、下流端条件としては、図3.3 に示すH～Q関係を用いている。

また、破堤地点としては、図3.4 に示すように昭和61年8月洪水で破堤した4地点とし、破堤形状については、図3.5 に示すように、洪水後に測定された破堤形状を複数の矩形で近似している。

(3) 検討対象洪水

洪水としてどのようなものを取り上げるかは、避難シミュレーションの設計とも密接に絡むが、ここでは実績の洪水と、河川の治水計画を上回る洪水を考えることにして、

- ・洪水1：昭和61年8月洪水（実績、超過確率1/60相当）
 - ・洪水2：昭和61年8月洪水を引き伸ばしたもの（超過確率1/200相当）
- の2種類を設定した。

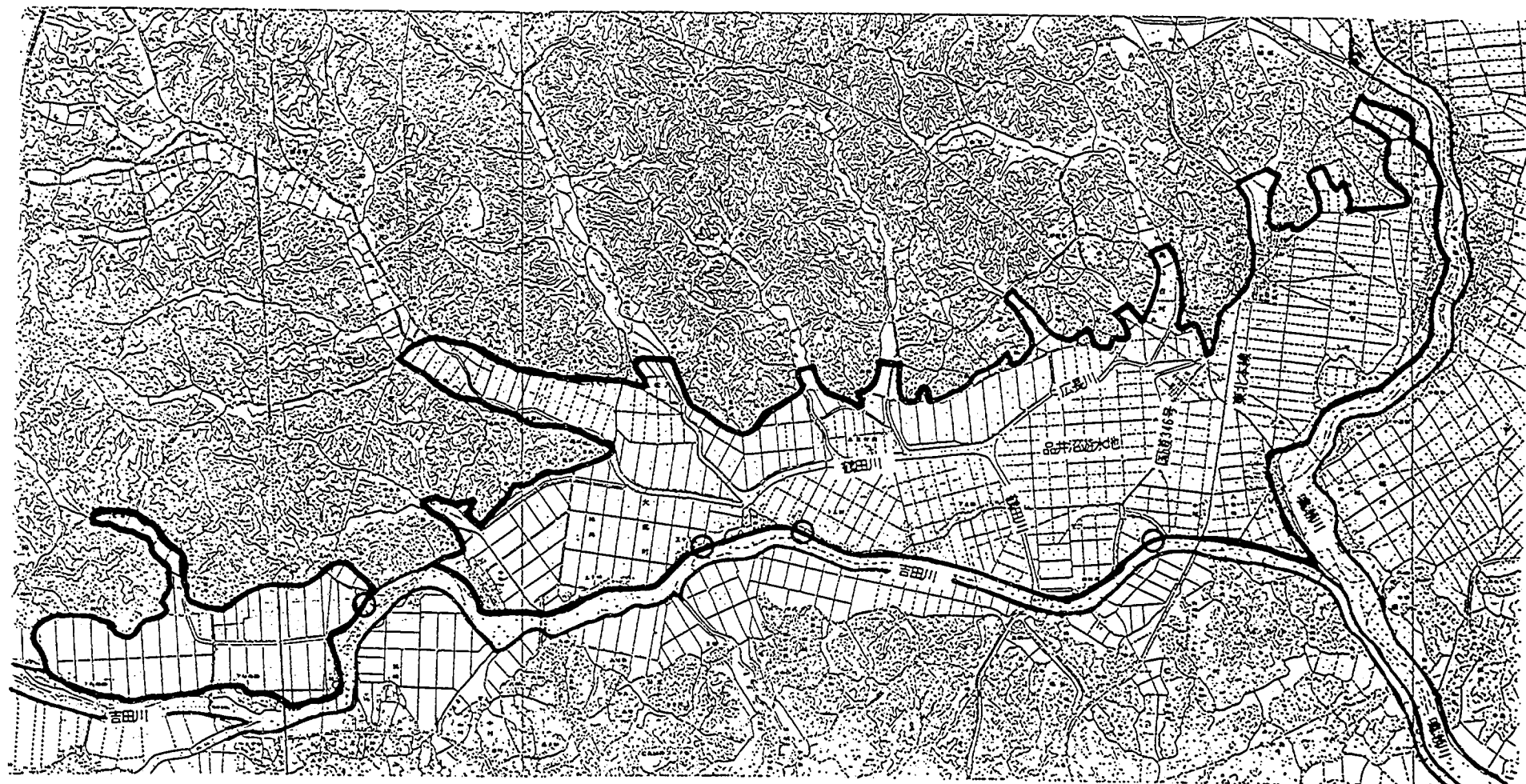


図3.1 吉田川の氾濫域

○: 破壊地点

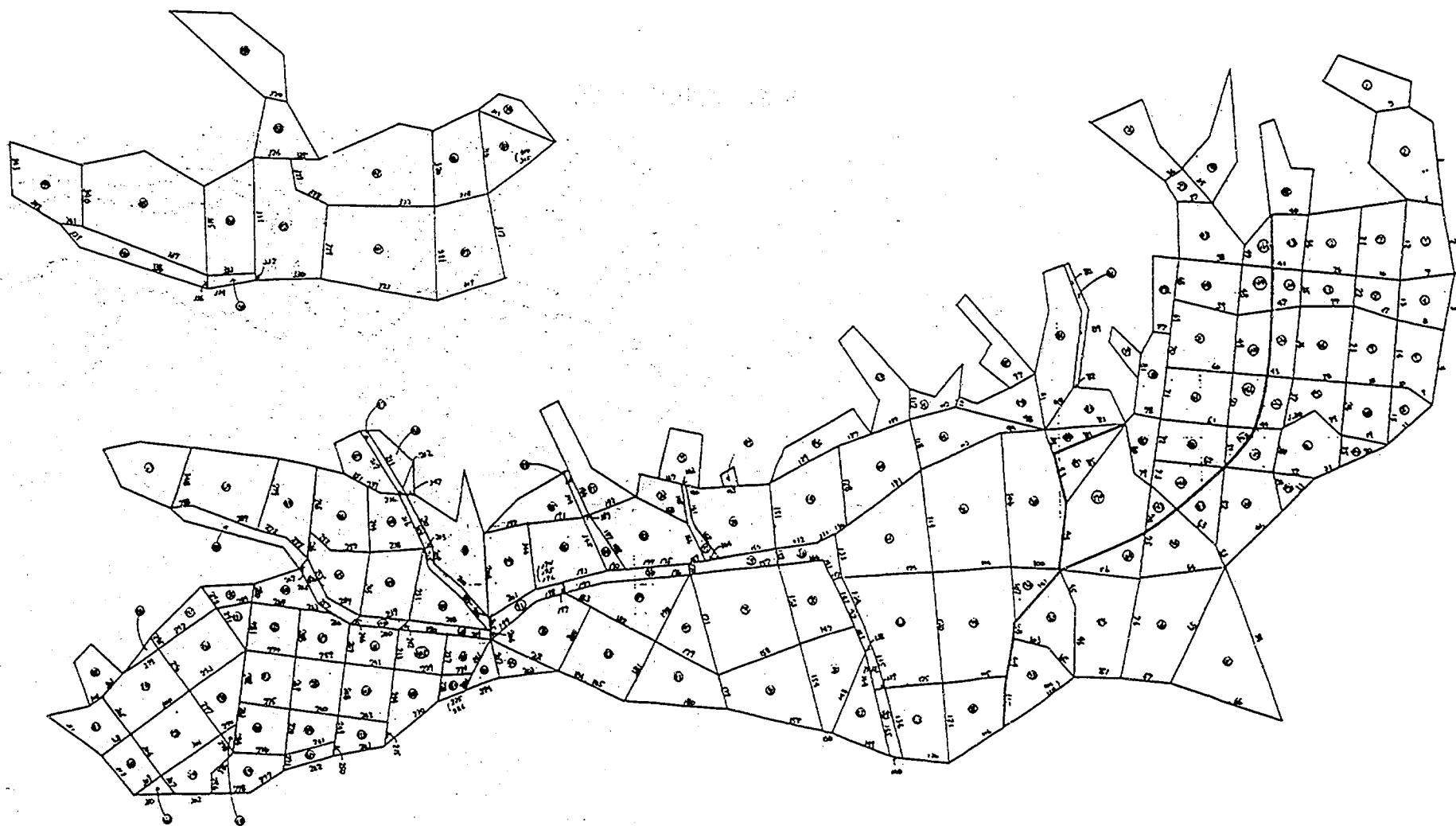


図3.2 汎濫計算メッシュ分割

表3.1 氾濫計算の境界結合条件

種 別	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
樋 門	敷 高	幅	天端高	—	水門あり、なし
水 路	河 床 高	幅	長 さ	—	—
越 流	天 端 高	幅	最高標高	最低標高	距離
破堤時刻を与える 場合	—	—	破堤番号	破堤日	破堤開始時刻
破堤を水位で判断 する場合	破堤地点 天端高	—	破堤番号	—	破堤地点天端高を河道水 位が越えた時、破堤開始
直 結	地 盤 高	幅	距 離	—	—
サイフォン	断 面 積	呑口敷高	—	—	—
ポ ン プ	ポンプの容量	稼働水位	停止日	停止時刻	—

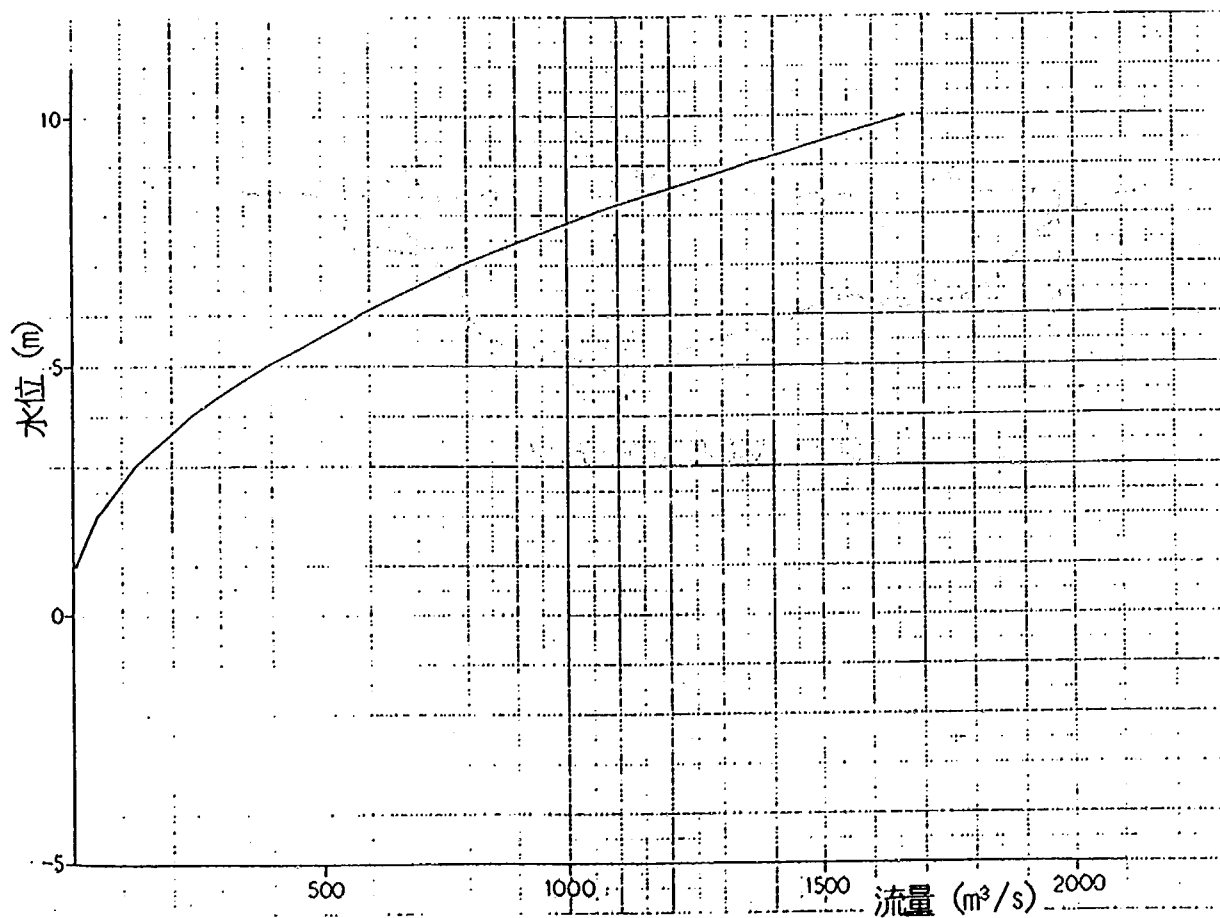


図3.3 河道下流端条件（水位～流量）

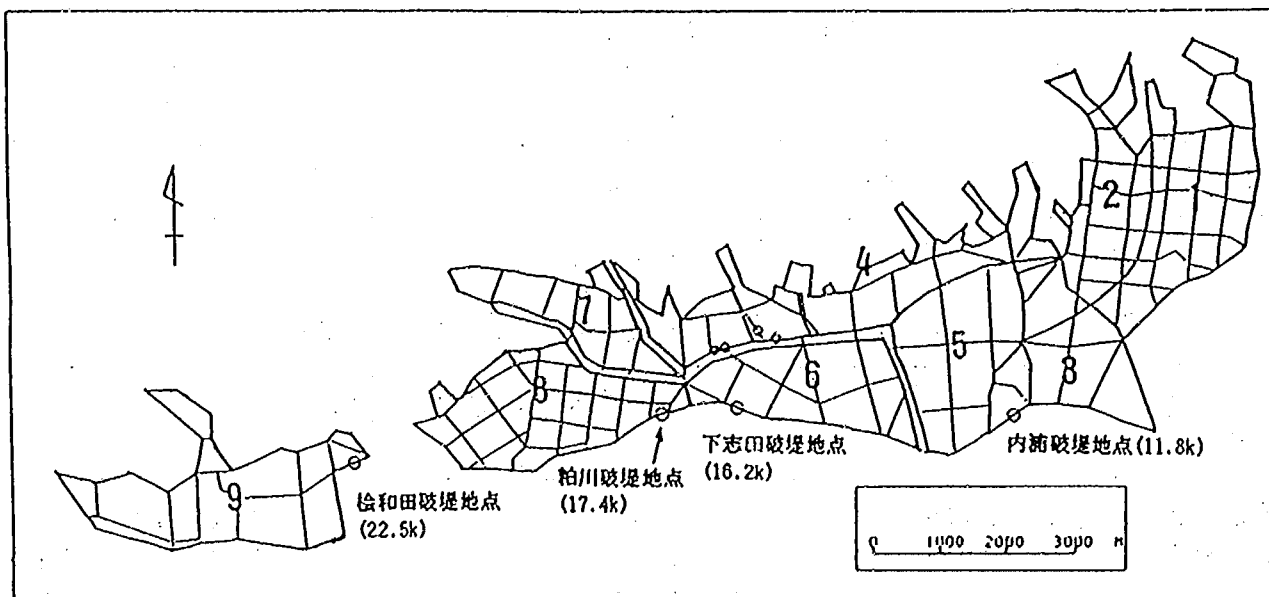


図3.4 破堤地点

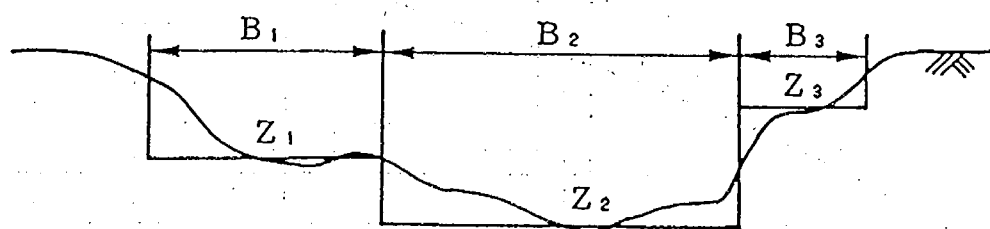


図3.5 破堤形状のモデル化

3. 3 避難ルート、避難対象地区

本研究では、1.2節でも述べたように、實際上可能性の高いと思われるルートをあらかじめ設定する方法をとっている。従って、流域に散在している集落の人々は、ここで設定した同一のルートに沿って避難すると仮定している。

図3.6 は、現地の地形状況に基づいて設定した避難ルート（現況ルート）である。設定にあたって、昭和61年 8月洪水で破堤した吉田川の堤防は通行できないとした。上志田、下志田の集落の人々は吉田川の左岸堤防沿いに下流へ逃げ、品井沼大橋を渡るというルート（ルートA）を、川前の人々は、比較的構造のしっかりした新堀川沿いの道路を通して山手の方向へ逃げるというルート（ルートB）を設定した。また、三十丁、土手崎、中粕川の人々も、粕川大橋の取り付け道路が低くて使えないので、比較的構造のしっかりしたポンド内の道路を通して山手の方向へ逃げるというルート（ルートC）を設定した。

また、避難ルートや場所を改善する事業が行なわれたとき、それがどの程度の効果を持つのかを推定するために、対象地域内に避難地や橋梁が新たに設置された場合のケースについても検討した（図3.7）。下志田の吉田川堤防沿いに避難地を新たに設けて、上志田、下志田の人々の避難地とし、川前地先の吉田川に橋梁を架けて川前の人々の避難先を吉田川の対岸に求め、さらに、粕川大橋の取り付け道路を嵩上げし氾濫時にも渡れるようにして、三十丁、土手崎の人々の避難のルートの延長を短くした（これらのルート名を現況ルートのルート名に対応させて、それぞれA'、A''、B'、C'、C'' とする）。

避難ルートの諸元（距離、標高）は、氾濫モデルのポンド単位で設定するものとした。距離はポンドの大きさから設定され、標高については、ルートがポンドとポンドの境界の場合は境界の標高を避難路の標高とし、ルートがポンドの中を通る場合は、地形図よりルートの標高を設定している。

このようにして設定した避難路の距離及び標高は表3.2 のようになっており、また、各集落の家屋数と人口は表3.3 のようになっている。

3. 4 避難行動関数

避難シミュレーションを行なうには、人々がどのような状況の時に逃げるかとか、あるいは逃げられるかという条件設定が必要である。前述したように、その条件にはいろいろな要因が絡んでいる。避難所までの距離、避難所までの時間、避難路の浸水状況、男女・年齢等の別、避難所の収容人員、避難速度、避難等に関する情報の有無、昼夜の別、避難に関する人々の態度・考え方、水害経験の有無、事前の訓練の有無、住居の構造（木造・コンクリートの別、平屋・2階建て以上の別）、等々のようにさまざまなものが考えられる。しかし、前にも述べたように、考えられるからといって、考えられるものをなるべく取り上げれば良いというものではない。一般に要因が多くなればなるほど、数が多いことによるわかりにくさが増し、要因間の相互作用もあって曖昧な部分が生じ、要因の定量化のためのデータの抽出も難しくなる。実務的な立場であれば、なおさらのこと、直感的に分かりやすく、データの抽出が容易で、その根拠のはっきりしているものがよい。特に、上にあげた要因のうち、人々の知識や考え方に係わる部分は、かなり曖昧な部分がある。例えば、水害の経験の有無については、経験が有った方が避難に関してプラス材料として働くことと理解される場合が多いが、経験が仇になって安心が生じマイナス材料として働くこともある。また、避難所の収容人員が問題にされることも多いが、これについても、その中身をよく議論しておく必要がある。すなわち、収容人員に大きく分けて2つの意味があるように思われる。一つは、命からがら避難し

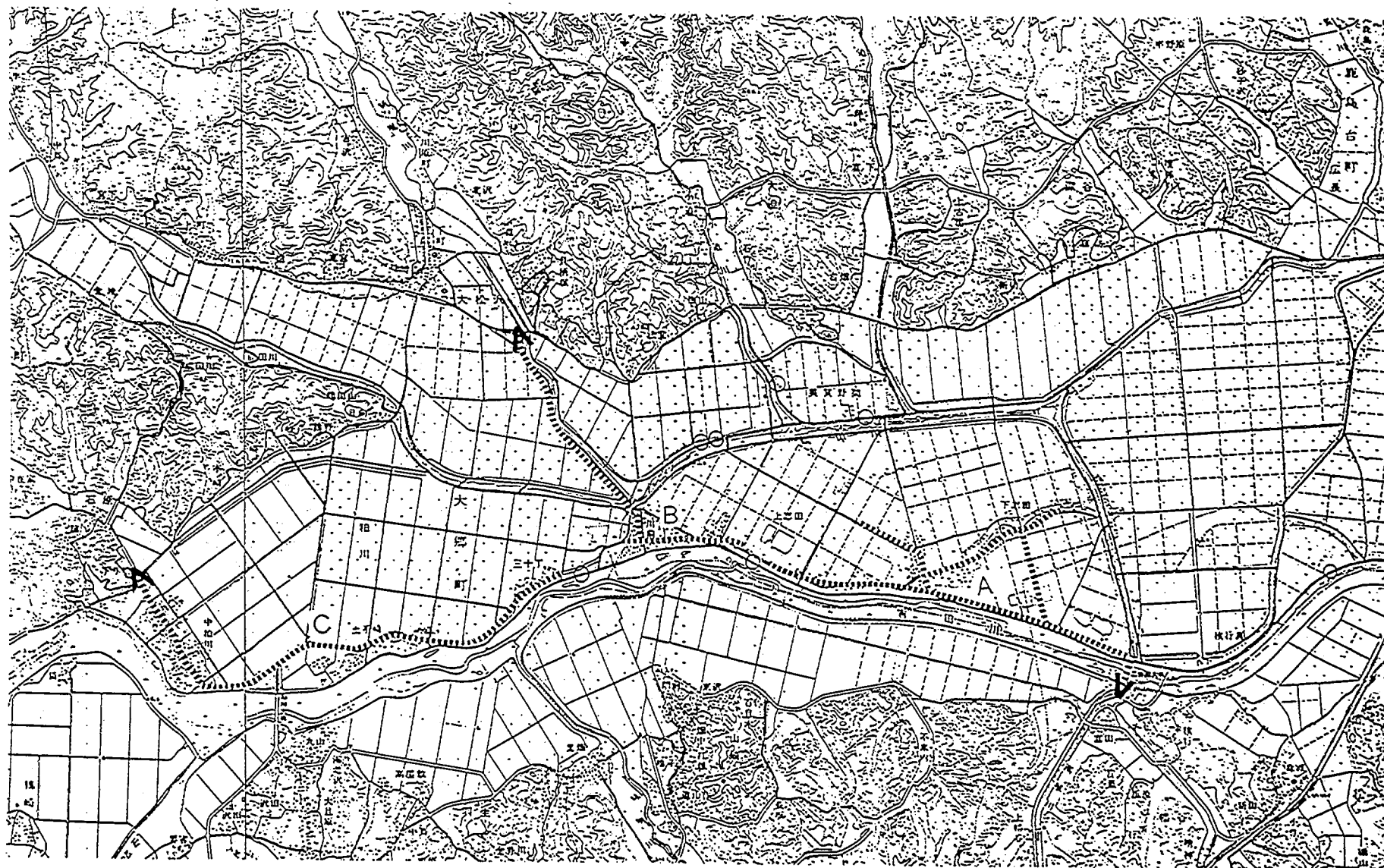


図3.6 避難ルート（現況）

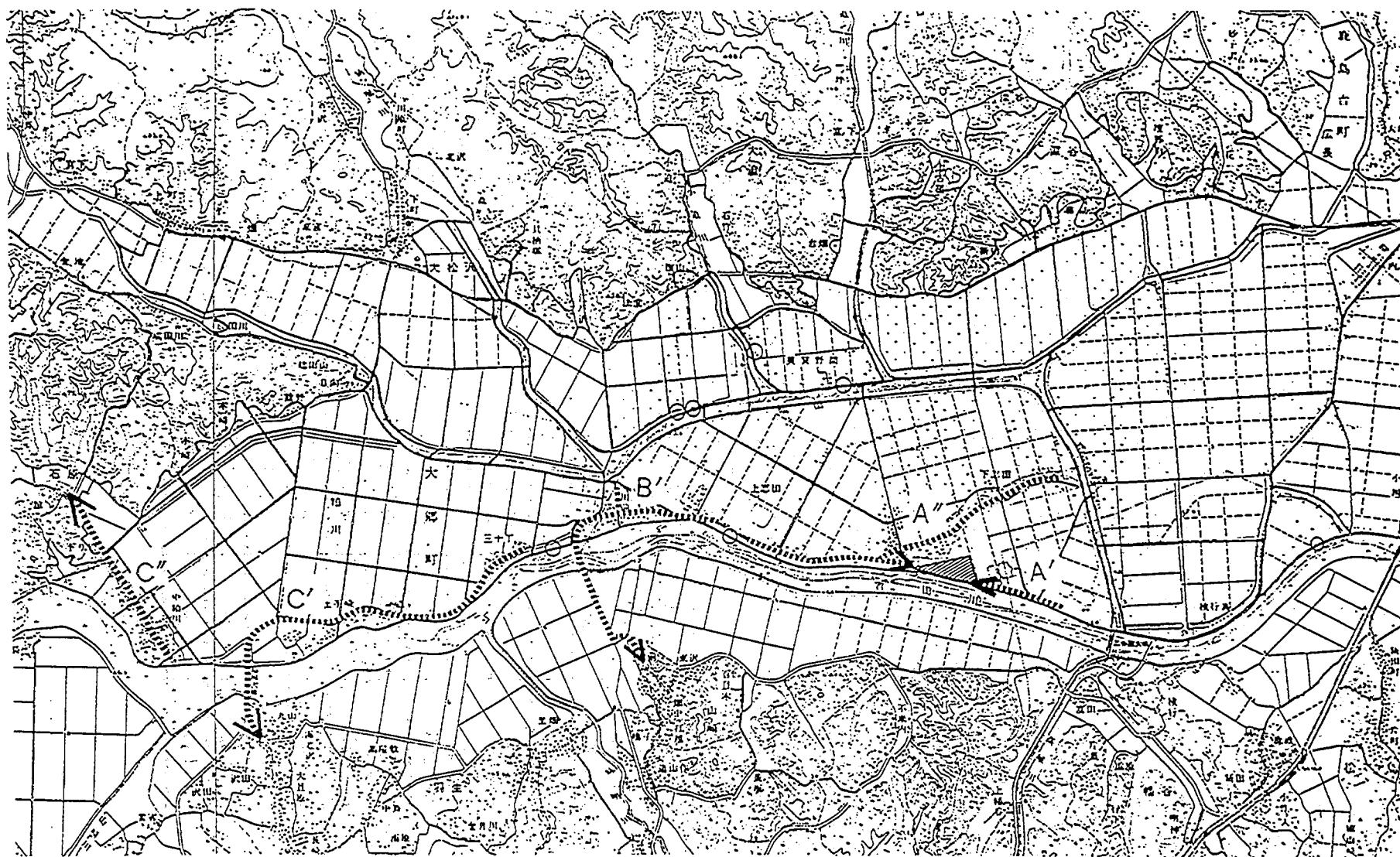


図3.7 避難ルート (改良)

表3.2 避難路の標高及び距離

対象ボンドNo		位 置	標 高	距離 (m)
①	②			
72	吉田川	境界上	10.3	550
71	吉田川	境界上	10.3	200
80	吉田川	境界上	9.8	852
71	—	ボンドの中	2.3	280
71	80	境界上	2.5	758
80	—	ボンドの中	3.1	380
80	91	境界上	2.5	335
90	91	境界上	2.1	625
91	—	ボンドの中	3.0	875
92	—	ボンドの中	3.5	294
95	—	ボンドの中	3.8	555
103	—	ボンドの中	3.9	350
95	103	境界上	4.0	400
99	100	境界上	6.3	900
98	108	境界上	6.7	548
106	—	ボンドの中	4.3	300
113	—	ボンドの中	4.9	520
119	120	境界上	5.1	473
124	125	境界上	5.0	450
125	139	境界上	5.5	275
139	—	ボンドの中	5.4	275
143	—	ボンドの中	6.6	117
142	—	ボンドの中	6.2	215
141	—	ボンドの中	5.9	400

表3.3 集落別家屋数、人口

集落名	ボンドNo	家屋数 (戸)	人口 (人)
下志田	70	13	52
	71	23	92
	72	8	32
	79	14	56
	80	58	232
上志田	89	3	12
	90	3	12
	91	19	76
	92	7	28
	94	13	52
川 前	95	19	76
	103	12	48
三十丁	106	16	64
土手崎	120	8	32
	125	8	32
中粕川	141	24	96
	142	75	300
	143	3	12

て、とりあえず身体の置き場所さえあればよいという意味と、もう一つは、避難が比較的長期に亘り、避難所に寝泊まりする必要があるという意味である。降雨の継続時間や浸水時間にも関係するが、避難シミュレーションとして取り上げるという観点からすれば、とりあえず災いを避けて命を守るという刹那的な人の動きを追いかけているはずであるから、収容人員については、前者の意味が強いのではないかと考えられる。とすれば、避難所が、それほど広い面積でなくても相当数の人数がとりあえず避難することは可能であり、収容人員が避難に関して特別な制約条件にならないことになる。本研究でも、避難所の収容人員を避難の制約条件としていないが、避難所のあり方等についてはいろいろな意見があると考えられる（例えば、避難所は当然寝泊まりができて、食事は一食欠かさず供給できるべきである、云々）ので、もう少し広範で実態に即した議論をする必要があるだろう。

いろいろな議論はあるものの、このように考えてくると、避難の基本的な要因としては、避難所までの距離・時間、避難路の浸水状況、避難の速度などで、しかもこれらは理解しやすい指標であることが分かる。しかし、避難の基本的な要因については、それが基本的であるにもかかわらず、従来十分な調査・研究がなされてきたとは言い難く、避難に関する要因の分析を主体とした調査・研究では、基本的な要因についてそれを定量化しようという目的意識に欠けていたり、また、要因を使用する立場の避難シミュレーションを主体とした調査・研究では、数値を机上で仮定したり、根拠の不明確なものを使った事例が多かったように見受けられる。

そこで、ここでは一連の調査・研究において、避難シミュレーションに先立ち、上に述べた避難の基本的要因に焦点を当てた避難行動調査を行なった。避難行動調査は、本来であれば、ここで避難シミュレーションの対象地域としている吉田川流域で行なうのがよいと考えられるが、吉田川の災害が昭和61年で若干時間が経過し、流域の人々の詳細な記憶が薄れてきていることから、昭和63年5月に大災害の発生した緑川水系御船川で調査を行なうことにした。吉田川と御船川では流域特性や出水特性が異なるが、ここでは基本的な要因の定量化手法や、避難シミュレーション手法を検討することに主な目的があるので、根拠の明らかな数値を用いることにした。御船川の調査結果については文献12)に詳しくまとめているので、ここでは、本報告書の主要目的である避難シミュレーションに関係する部分のみを引用することにする。

(1) 避難率

避難シミュレーションを行なうに当たっては、そこに住んでいる人々が避難するのかもしれないのが、第一段階の選択肢となる。御船川の調査では、被災を受けた住民を対象に避難行動のアンケートを行なった。このアンケートにおいて、避難の有無に関係すると思われる23項目を選び、避難の有無を外的基準として数量化理論Ⅱ類を用いて分析し、寄与率によって、最終的に次の5項目が避難の有無に対して影響があるとの結論を得た。

- ① 居住年数
- ② 家屋の構造
- ③ 浸水深
- ④ 浸水時間
- ⑤ 避難命令の有無

いま、避難した者の比率を「避難率」と呼ぶことにすると、避難率を避難シミュレーションに活かそうとすれば、避難率を上記5項目の関数として定量化することが必要である。しかし、上記5

項目は避難率に影響のある項目であり、全ての項目について定量化できる、もしくは、しなければならないというものではない。以下に、定量化の要約を述べる。

①の居住年数については、約20年周期で避難率に増減がみられたが、たまたま過去のある時期に大災害があったとか、幼少時に災害を経験したのか大人になってから経験したのかなどの条件が複雑に絡んで明確な関数関係を設定するには至っていない(図3.8)。

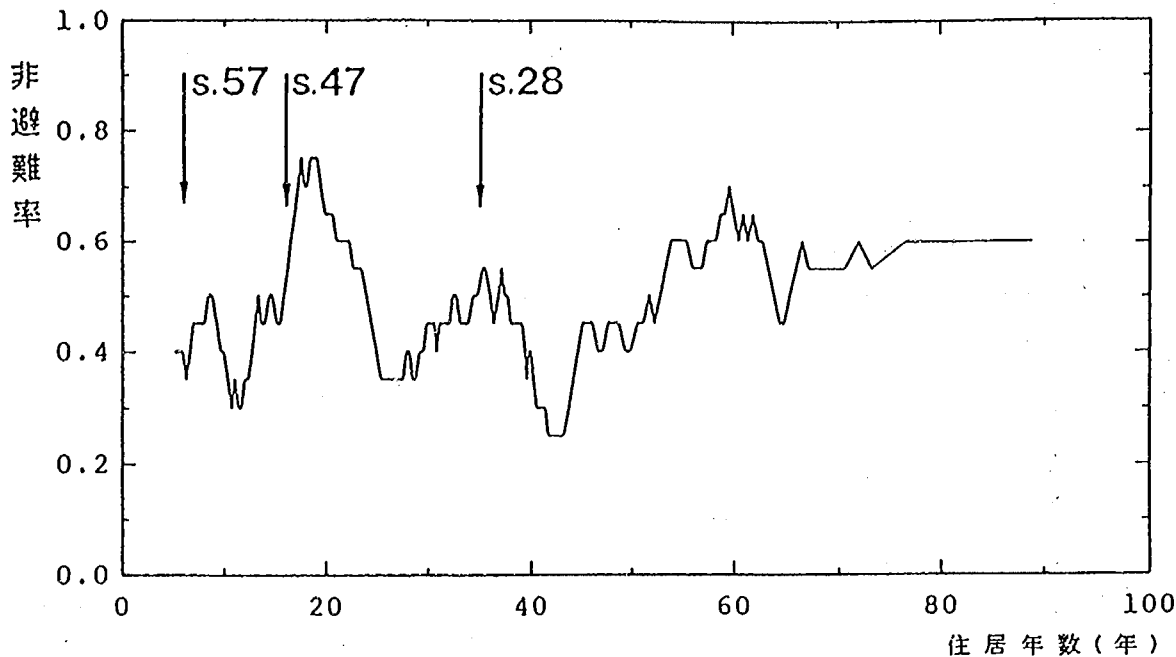


図3.8 御船川における居住年数に対する非避難率

②の家屋の構造については、平屋と二階建ての区別によって、次のような関数関係が設定された(図3.9)。

<平屋>

- ・避難率 $y1_o = 0.35$ (床下浸水 50cm以下)
- $(0.5/60)x_o + 0.2$ (床上浸水 $0\text{cm} \leq x_o < 60\text{cm}$)
- 0.7 (床上浸水 $60\text{cm} \leq x_o < 100\text{cm}$)
- ・非避難率 $y1_n = 0.65$ (床下浸水 50cm以下)
- $-(0.5/60)x_o + 0.8$ (床上浸水 $0\text{cm} \leq x_o < 60\text{cm}$)
- 0.3 (床上浸水 $60\text{cm} \leq x_o < 120\text{cm}$)
- ・二階避難率 $y1_s = 0$

<二階建て>

- ・避難率 $y2_o = 0.1$ (床下浸水 50cm以下)
- $(0.4/110)x_o$ (床上浸水 $0\text{cm} \leq x_o < 110\text{cm}$)
- 0.4 (床上浸水 $110\text{cm} \leq x_o < 120\text{cm}$)
- ・非避難率 $y2_n = 0.9$ (床下浸水 $0\text{cm} \leq x_u < 30\text{cm}$)
- $-(0.3/20)(x_u - 30) + 0.9$ (床下浸水 $30\text{cm} \leq x_u < 50\text{cm}$)

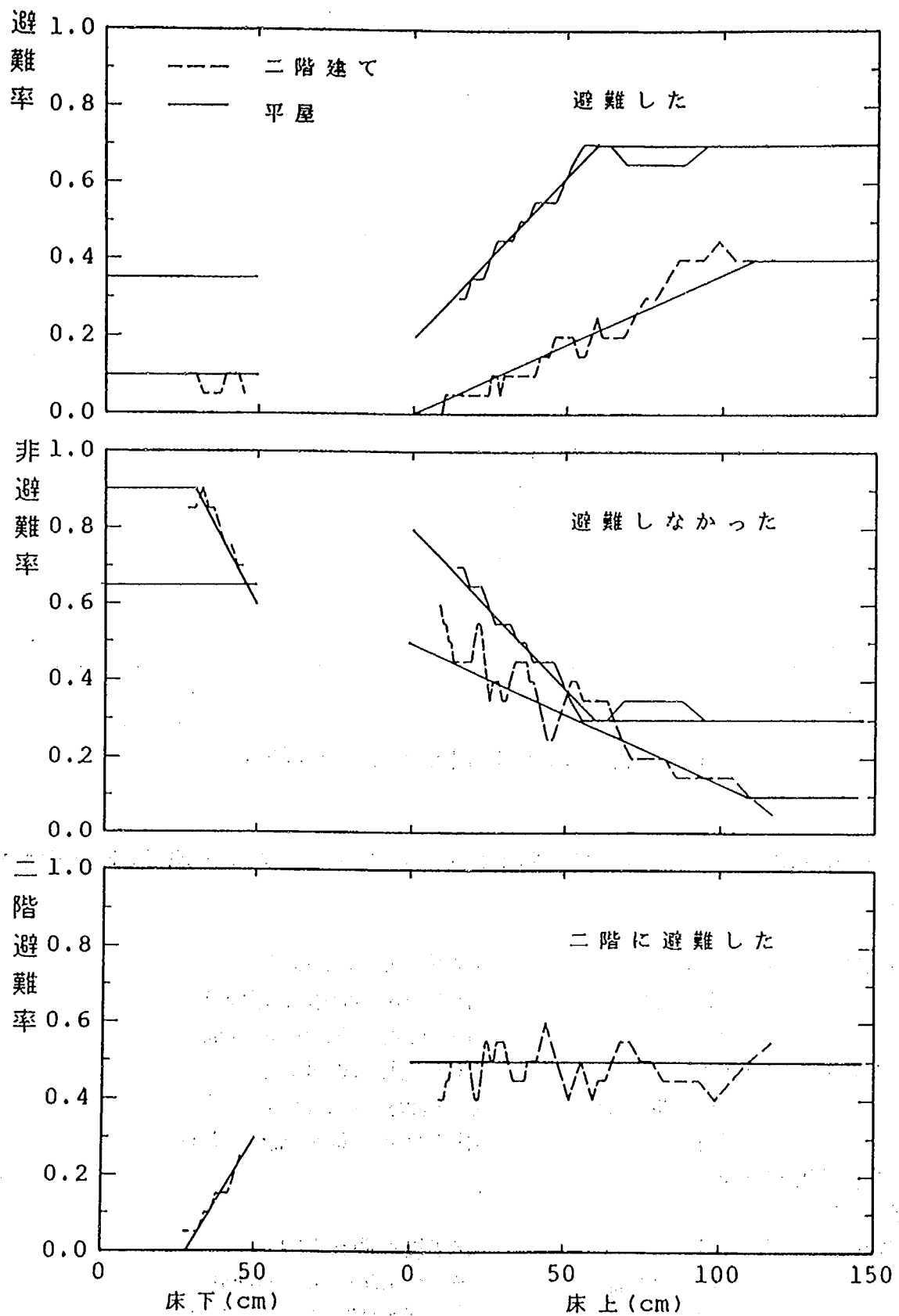


図3.9 御船川における避難率等の評価関数 (平屋、二階建ての別)

$-(0.4/110)x_o+0.5$	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<110\text{cm}$)
0.1	(床上浸水 $110\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)
・二階避難率 $y_2=0$	(床下浸水 $0\text{cm}\leq x_u<30\text{cm}$)
$(0.3/20)(x_u-30)$	(床下浸水 $30\text{cm}\leq x_u<50\text{cm}$)
0.5	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)

ここに、 x_u ：床下浸水深、 x_o ：床上浸水深

但し、吉田川の避難シミュレーションでは、家屋に関する情報が得られなかったために、この避難関数は使用していない。

③の浸水深については、次のような関数関係が得られている(図3.10)。

・避難率 $y_o=0.2$	(床下浸水 50cm 以下)
$(0.4/70)x_o+0.1$	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<70\text{cm}$)
0.5	(床上浸水 $70\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)
・非避難率 $y_n=0.8$	(床下浸水 $0\text{cm}\leq x_u<30\text{cm}$)
$-(0.2/20)(x_u-30)+0.8$	(床下浸水 $30\text{cm}\leq x_u<50\text{cm}$)
$-(0.4/70)x_o+0.6$	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<70\text{cm}$)
0.2	(床上浸水 $70\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)
・二階避難率 $y_s=0$	(床下浸水 $0\text{cm}\leq x_u<30\text{cm}$)
$(0.2/20)(x_u-30)$	(床下浸水 $30\text{cm}\leq x_u<50\text{cm}$)
0.3	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)

④の浸水時間については、氾濫特性との関連が深く、御船川の水害では浸水時間の長い所ほど避難者が少なかった傾向があった。従って、④については避難率の分析対象から除外している。

最後に、⑤の避難命令の有無については、次のような関数関係が得られている(図3.11)。関数を比べると分かるように避難命令の有無によって、避難率はあまり変わらないので、今回の避難シミュレーションでは避難命令有りの場合について検討している。

<避難命令有り>

・避難率 $y_o=y_o+0.1$	(床下浸水 50cm 以下)
$y_o+0.1$	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)
・非避難率 $y_n=0.65$	(床下浸水 50cm 以下)
y_n	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)
・二階避難率 $y_s=0.1$	(床下浸水 50cm 以下)
$y_s-0.1$	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)

<避難命令無し>

・避難率 $y_n=y_o-0.1$	(床下浸水 50cm 以下)
$y_o-0.1$	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)
・非避難率 $y_n=y_n+0.1$	(床下浸水 50cm 以下)
y_n	(床上浸水 $70\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)
・二階避難率 $y_n=y_s$	(床下浸水 50cm 以下)
$y_s+0.1$	(床上浸水 $0\text{cm}\leq x_o<120\text{cm}$)

結論的にいえば、今回の避難シミュレーションでは、③(浸水深)と⑤(避難命令有り)を避難

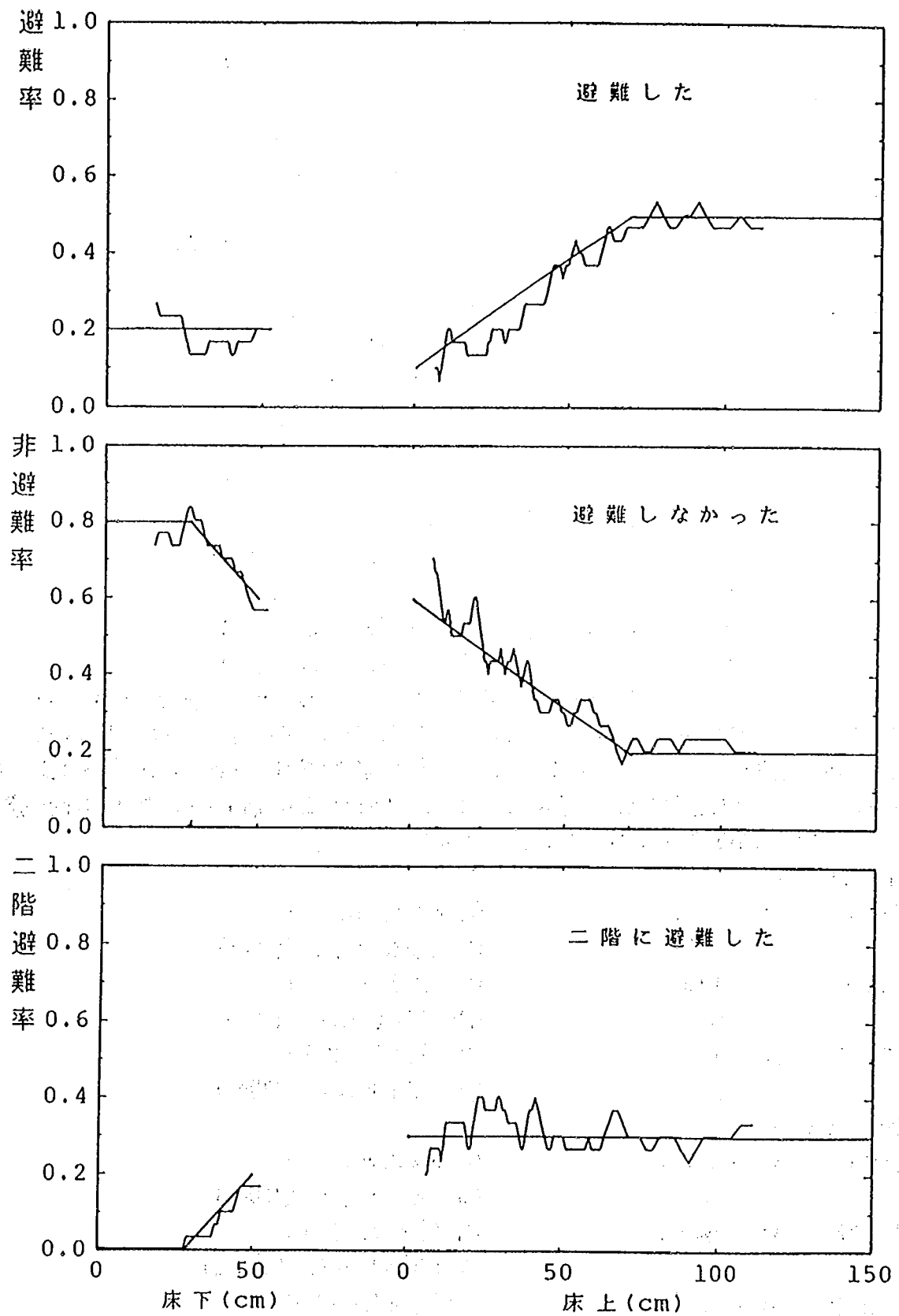


図3.10 御船川における避難率等の評価関数 (浸水梁)

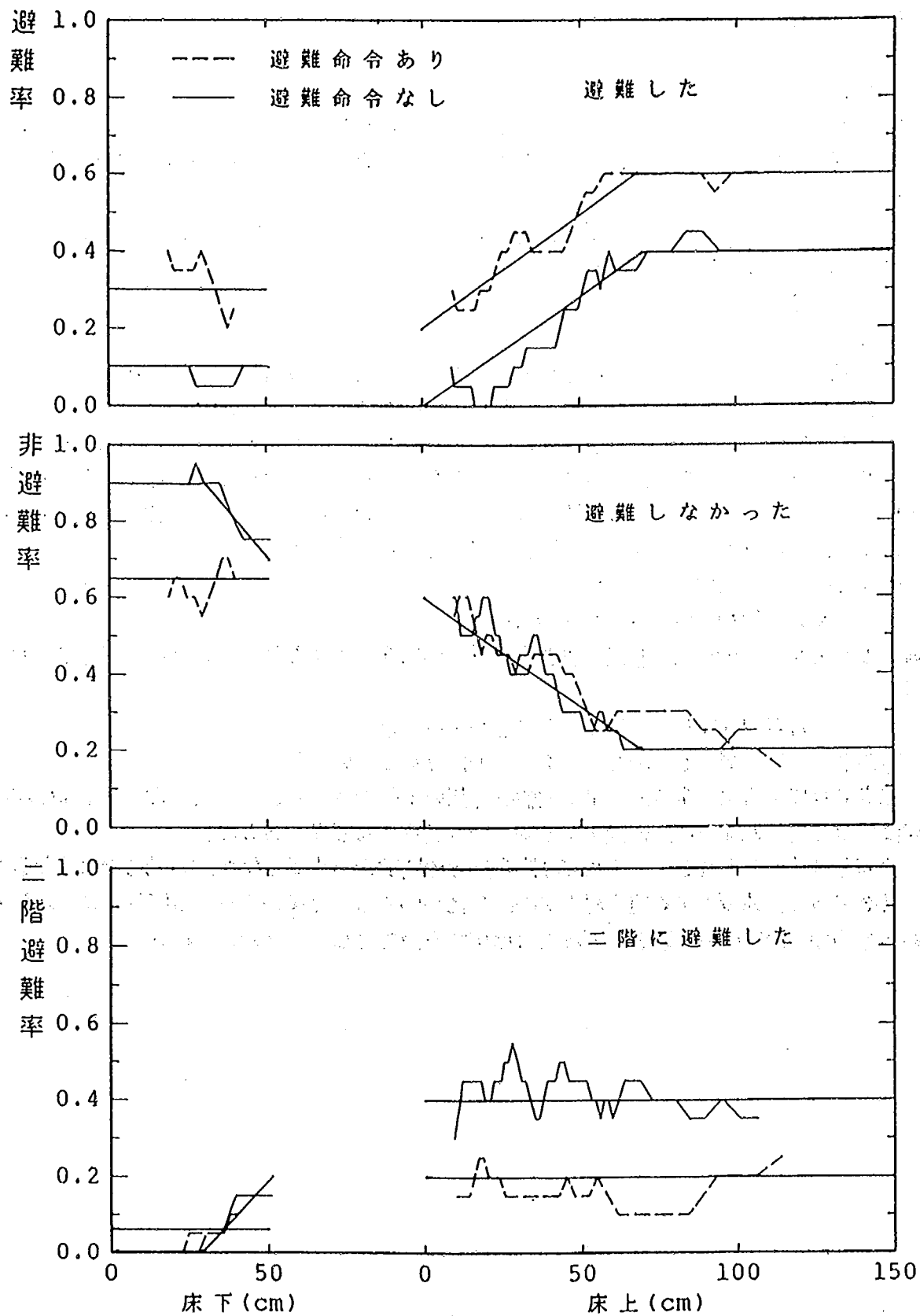


図3.11 御船川における避難率等の評価関数 (避難命令の有無)

率の関数として使用している。

(2) 避難速度

今回の避難シミュレーションでは、避難は全て徒歩によるものとした。この時の避難速度が問題となるが、同じく御船川の避難行動に関するアンケート調査によると、表3.4のような結果が得られている。

一方、土木研究所が行なった水中歩行実験（文献11）によると、次のような結果が得られている。

$v=0.82\sim0.86\text{m/s}$ （水深50cm）

$v=0.64\sim0.69\text{m/s}$ （水深100cm）

$v=0.52\text{m/s}$ （水深120cm）

水中歩行実験は、日中に青年男子を被験者として、土木研究所構内の実験水路を用いて行なったもので、流水が清水であることもあって、かなり良い条件での水中歩行速度であると考えられる。従って、この数値が避難速度の上限値に近いものとみることも可能であろう。御船川の事例においても、一部データにかなりの避難速度になっているものもあるが、全般的には実験の結果を下回る数字となっている。そこで、今回は御船川の結果の平均値を目安として、避難速度を次のように設定した。なお、1.4m以上の浸水深では歩行が困難であると仮定した。

$v=0.5\text{m/s}$ （浸水深0.5m未満）

$v=0.3\text{m/s}$ （浸水深0.5m以上1.4m未満）

避難速度を男女別、年齢別、避難距離別或は昼夜別に変化させるなどの細かい設定方法も考えられるが、

- ① もともと避難速度にある程度のばらつきがあること。
 - ② 避難者の属性に関する詳細なデータが一般には得にくいこと。
 - ③ 氾濫計算による浸水深予測は平均地盤高を用いて行なうことから、全体的な浸水深の状況把握はできても、個々の地点の浸水深予測という意味では限界があること。
 - ④ 要因を多く取り入れると、それだけ避難速度の関数形が複雑となり、実用的でなくなること。
- などを考慮すると、速度の絶対値や浸水深の区分については、今後のデータの積み重ねや議論の余地はあるものの、設定の方法論としてはこの程度で十分ではないかと考えられる。

表3.4 御船川における避難速度の集計

避難時間 min	避難距離 m	避難速度 m/s	家族 人数 人	12才 以下	65才 以上	途中 の 浸水	途中の 最深水深	途中の 平均水深	避難の 手段	備 考
60 5 10 20 30 17 20 10	100 100 100 150 800 400 500 1000	0.028 0.333 0.167 0.125 0.444 0.392 0.417 1.667	1 6 2 5 5 2 4 1	- 2 - - - - - -	1 - 2 - 2 1 1 -	無 無 無 無 無 無 無 無	- - - - - - - -	- - - - - - - -	徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩	65才以上一人暮らし
16 22	436 394	0.454 0.305	徒歩・浸水無しの平均値 (1のデータを除く) " (全データ)							
5 5 5 35 2 5 5 5 5 20 5 10 15 20 5 1 20 2 40	300 50 20 200 10 200 100 100 500 100 300 350 20 10 700 150 7 80 150 200	1.000 0.167 0.067 0.095 0.083 0.667 0.333 0.333 1.667 0.333 0.250 1.167 0.033 0.011 0.583 0.500 0.117 0.067 1.250 0.083	4 6 6 7 3 2 3 2 4 2 2 5 2 6 4 6 2 3 2 2	- - 2 2 - - 1 - - - - 2 1 - - - - - -	- 3 1 - - 2 - 1 - 2 - - 2 - - 1 - 1 1	有 有 有 有 有 有 有 有 有 有 有 有 有 有 有 有 有 有 有	不明 不明 膝 膝 膝 膝 腰 腰 腰 腰 腰 腰 腰 胸 胸 胸 胸 胸 胸 胸 背丈以上	腰 腰 不明 不明 くるぶし 膝 膝 不明 くるぶし 腰 腰 腰 腰 腰 胸 不明 不明 腰 胸 胸 不明	徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩 徒歩	
11 12	177 258	0.275 0.356	徒歩・浸水有りの平均値 (全データ) " (避難距離100m以下を除く)							

4. 避難シミュレーションとその結果

4. 1 氾濫シミュレーション結果

3.2節で述べた条件で氾濫計算を行ない、その結果を主要ポンド毎の水位変化で示したのが、図4.1(a)～(d)である。同図には地形図から推定した集落の市街地標高も示している。集落及び避難路の水深は、当該ポンドの水位変化との差として経時的に計算され、3.4節で述べた避難行動関数を使って人々を避難させ、シミュレーションを行なうことになる。

4. 2 避難シミュレーションとその結果

(1) 避難行動解析図

4.1節の氾濫シミュレーション結果と3.4節の避難行動関数を重ね合わせることによって避難シミュレーションを行なうことができるが、それぞれの結果なり、関数がばらばらのままでは非常に分かりにくい。分かりやすくするためには、次に説明するような避難行動解析図を作成すると良い。

図4.2(a)～(i)は、ルートAについて、実績洪水について解析した図である。同図は、避難者の居住していたポンド（どのポンドから避難を開始したか）に注目して、ポンド毎に作成している。いま、同図のうち、ポンド92の例（図4.2(i)）を使い、順を追って説明する。

- ① 横軸に時間の経過、縦軸にルート（距離）をとる。
- ② 縦軸には関係するポンド名や河川名を入れ、かつ、その区間の避難距離で区切る。
- ③ 氾濫シミュレーション結果（水位変化）と避難ルートの標高の差をとり、水深が0.5mになった時点の区切りを入れる（今回の避難行動関数は、水深0.5mを境に関数形（避難速度）を変えている）。また、浸水深が1.4mになった時点で移動が不可能としているので、ここにも区切りを入れる。
- ④ 10分間隔（今回は10分間隔でシミュレートした）で、ポンド（集落）の浸水深を出す。所定の条件に水深が達した場合には、3.4節の(1)で設定した避難率により、その都度、「ポンドの居住者×避難率」の人数が避難を開始する。
- ⑤ 避難を開始した人々は、避難路の水深に応じて、3.4節の(2)で設定した避難速度でルート上を移動する。この移動状況は、図上で斜めの直線として表わされている。
- ⑥ 避難を開始しても、途中で浸水深が1.4mになれば、その避難者はそこで立ち往生となり、避難未完了人数としてカウントする。
- ⑦ 運良く、1.4mのラインにかからずに目的地まで到達した避難者は、避難完了人数としてカウントする。
- ⑧ 避難完了者、避難未完了者の人数は、それぞれの斜めの線の最後に数字で書き込まれている（ポンド92から避難を開始した人のうち、早めに避難を開始した8人が無事目的地までたどり着き、遅れて避難を開始した8人（ $=1+1+1+1+1+1+1+1$ ）が、途中で立ち往生している）。
- ⑨ なお、ポンド92から避難を開始した場合、この図の縦軸の一部区間についてはルート上関係がないので、その部分は破線で飛ばしてある（逆に、図のこの区間を詰めて書いてもよいが、同じルートでもポンド毎に別の下図を準備しなければならないから面倒になる）。
- ⑩ 他のポンドから避難した人についても同様の作業をしてシミュレーションを完了する。

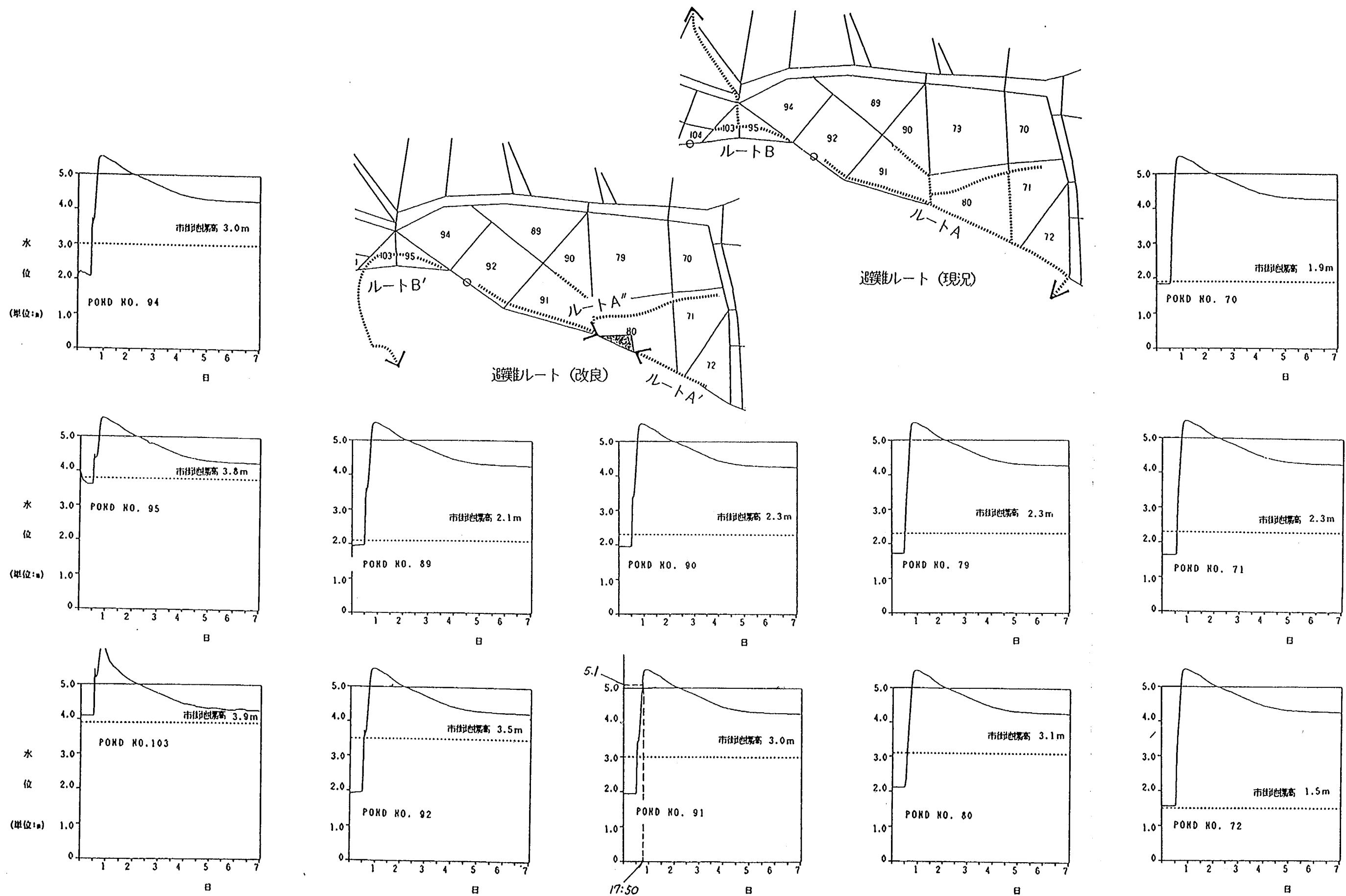


図4.1(a) 各ポンドにおける水位変化 (洪水1—その1)

1. The first part of the report discusses the general situation of the company and the results of the audit.

2. The second part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

3. The third part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

4. The fourth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

5. The fifth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

6. The sixth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

7. The seventh part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

8. The eighth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

9. The ninth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

10. The tenth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

11. The eleventh part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

12. The twelfth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

13. The thirteenth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

14. The fourteenth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

15. The fifteenth part of the report discusses the results of the audit and the recommendations made by the auditor.

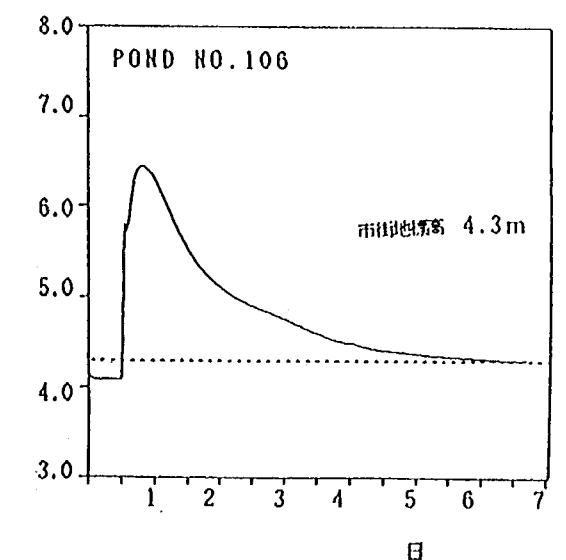
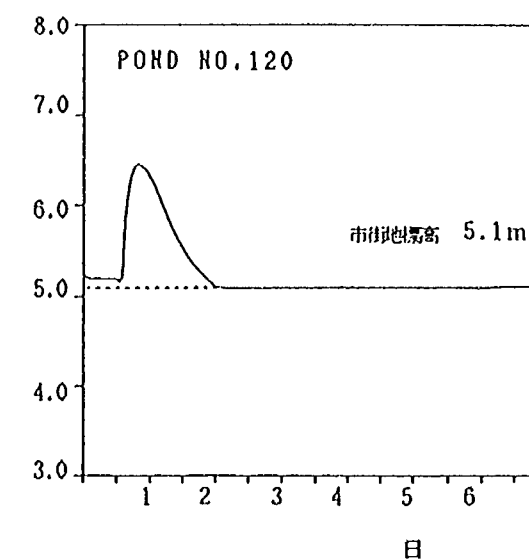
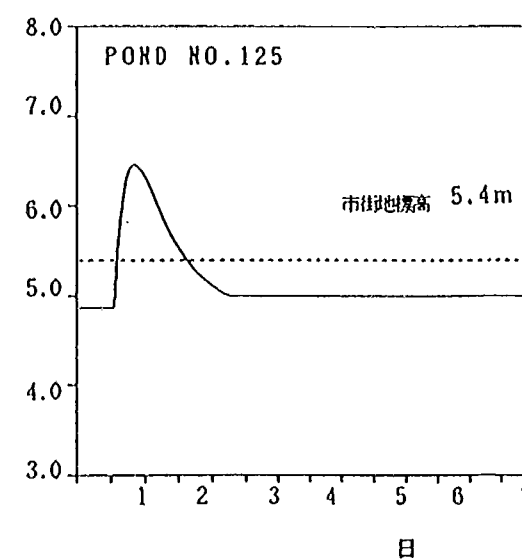
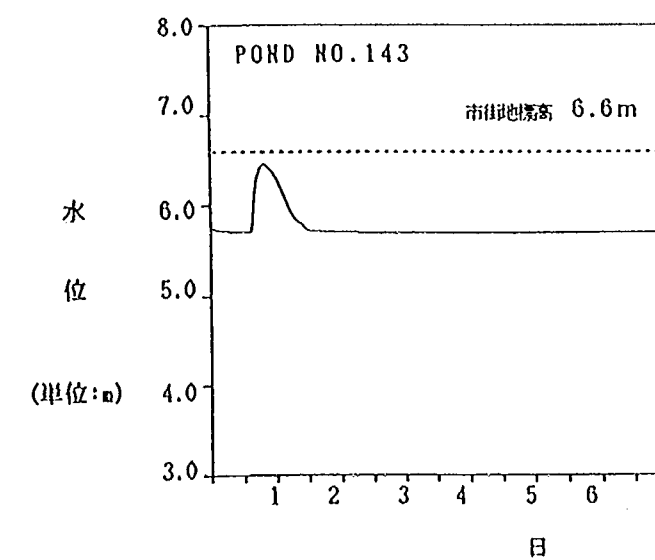
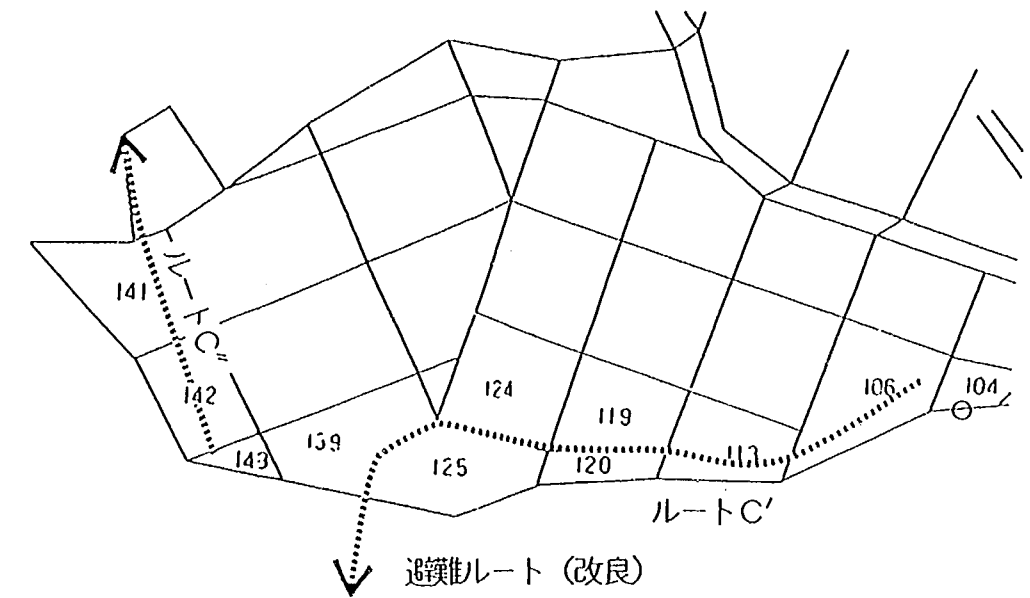
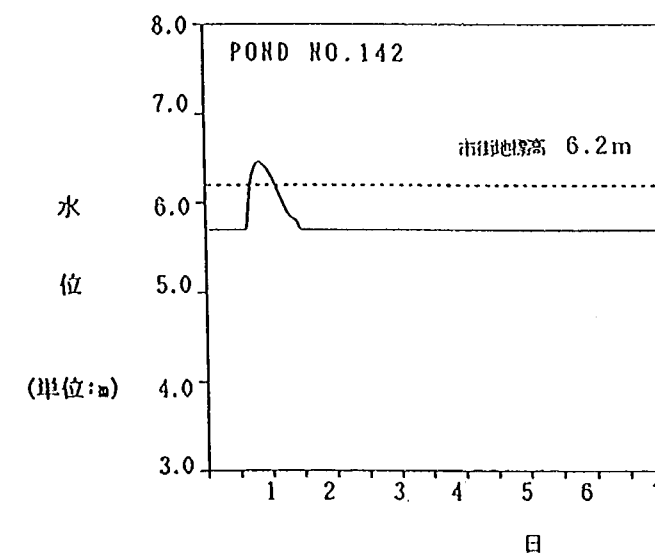
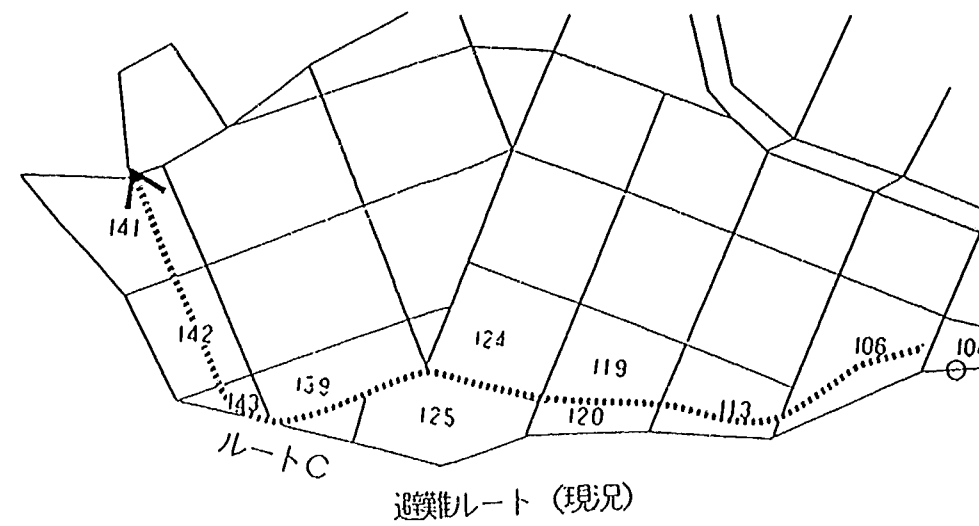
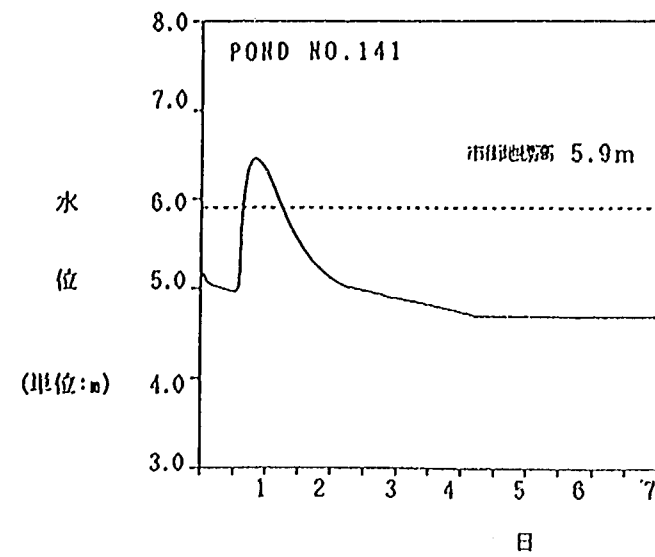


図4.1(b) 各ポンドにおける水位変化 (洪水1—その2)

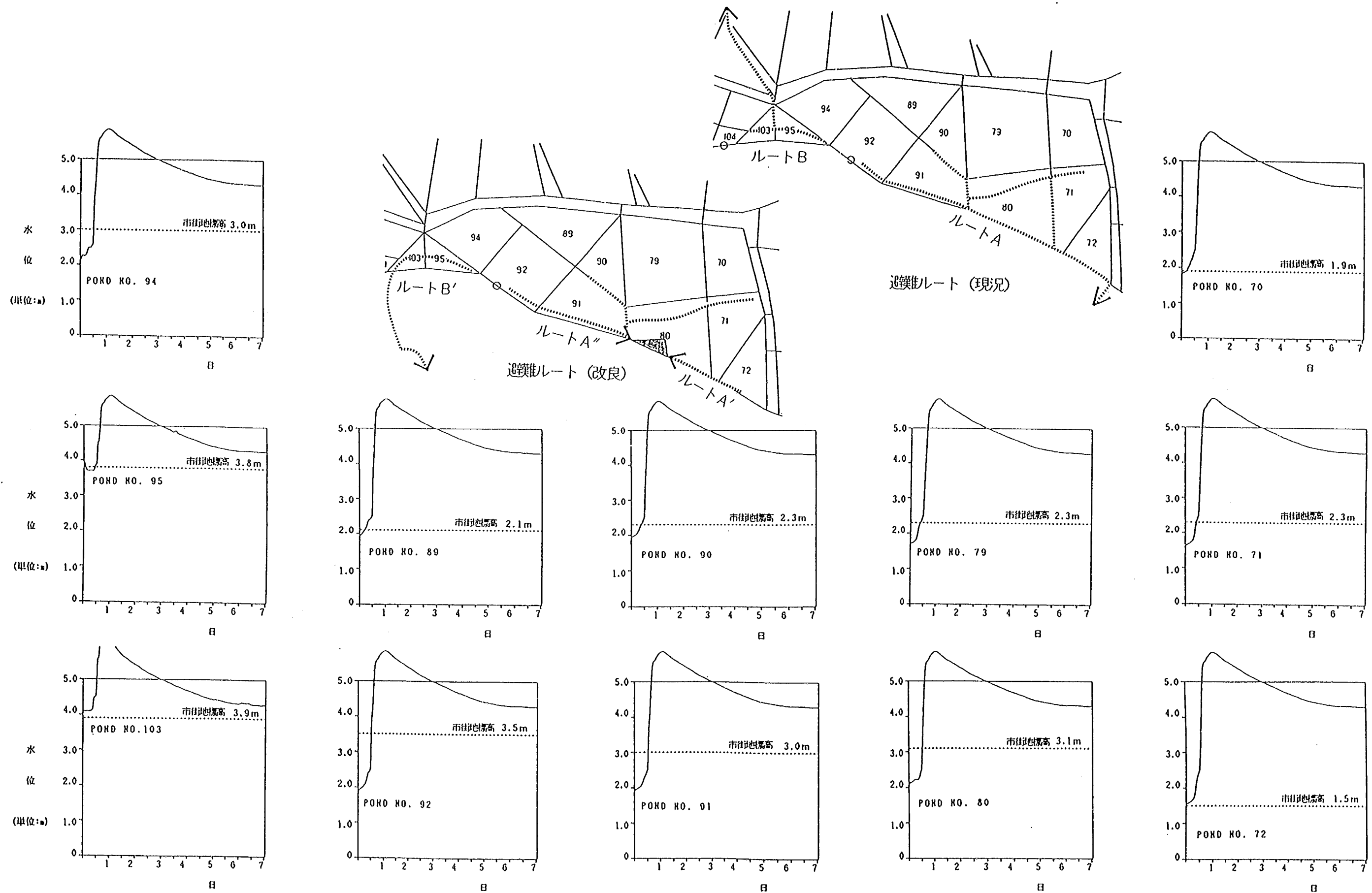


図4.1(c) 各ポンドにおける水位変化 (洪水2—その1)

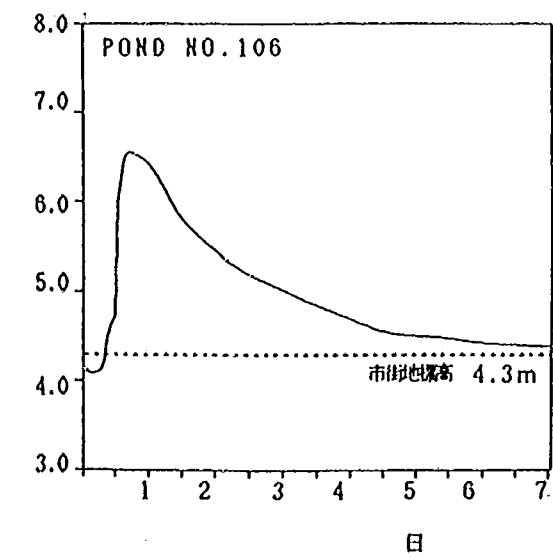
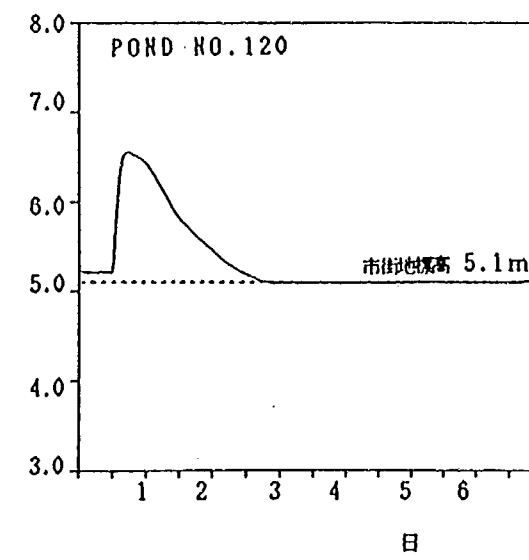
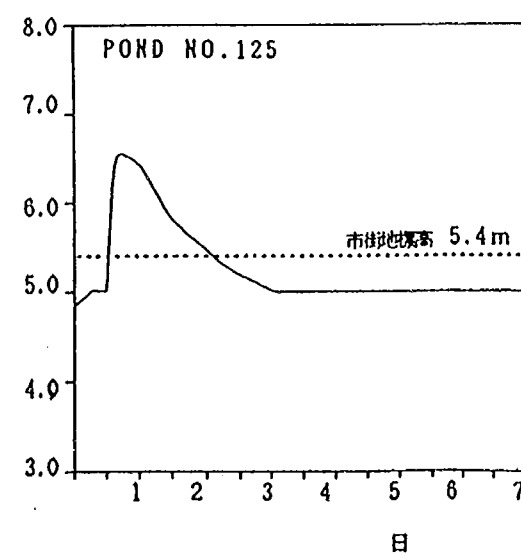
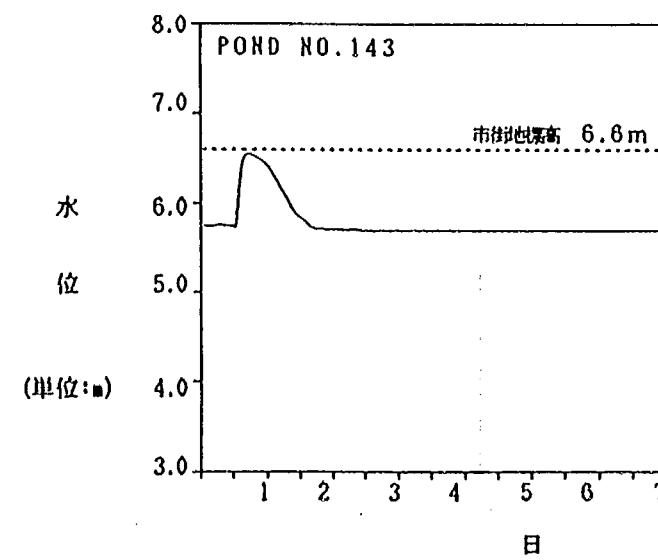
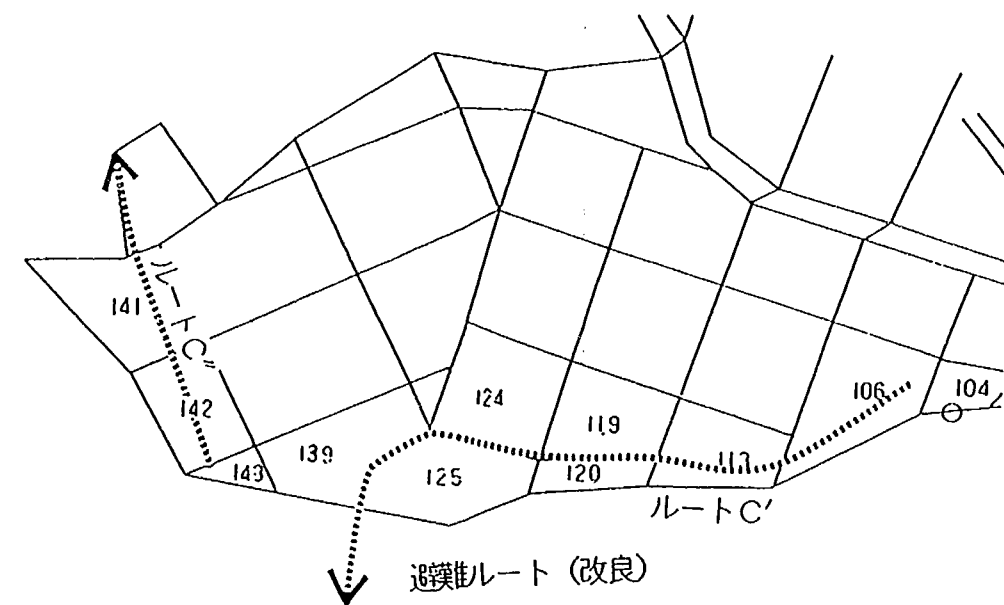
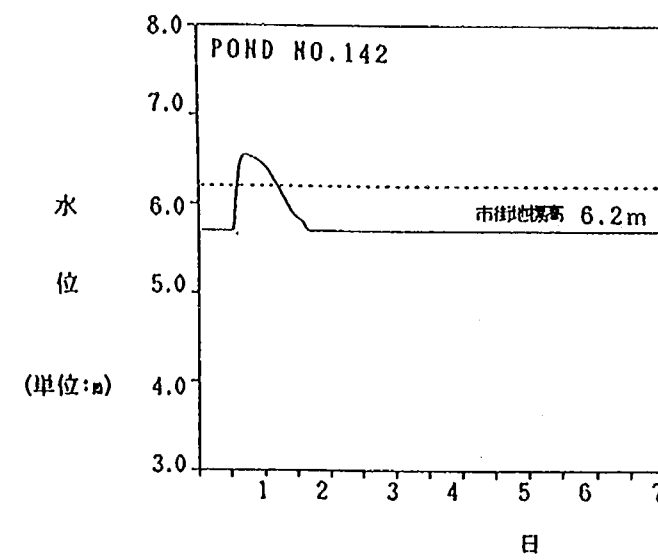
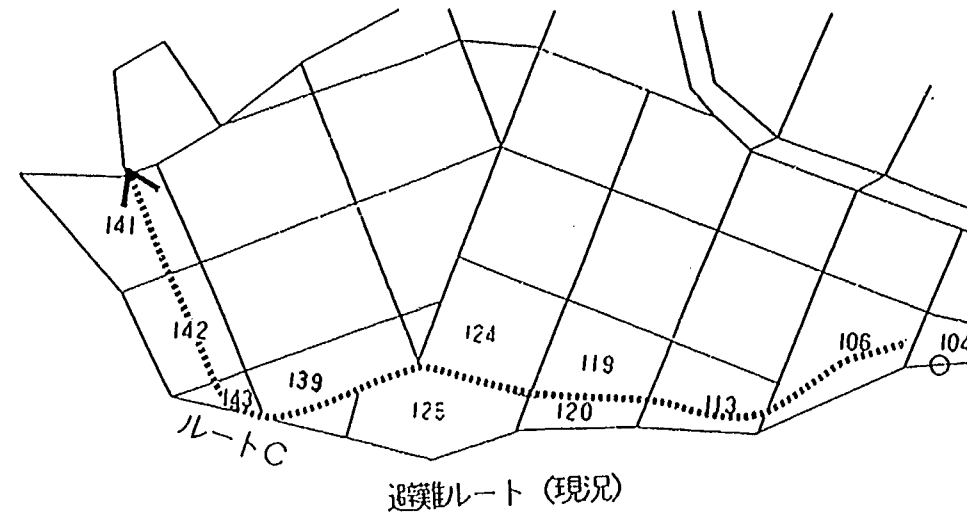
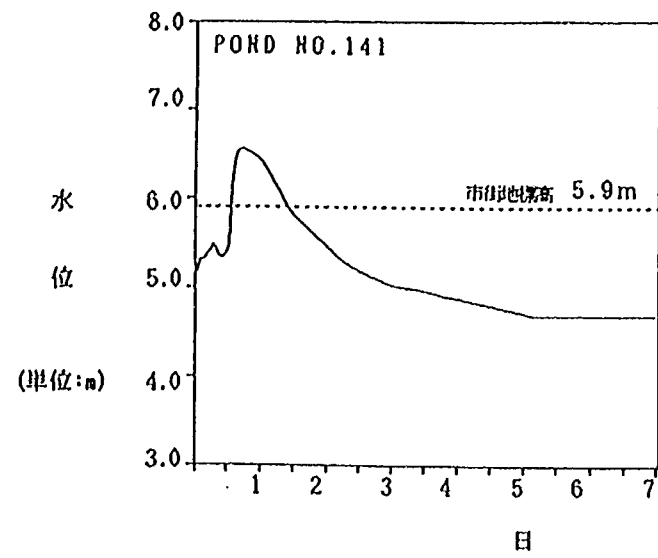
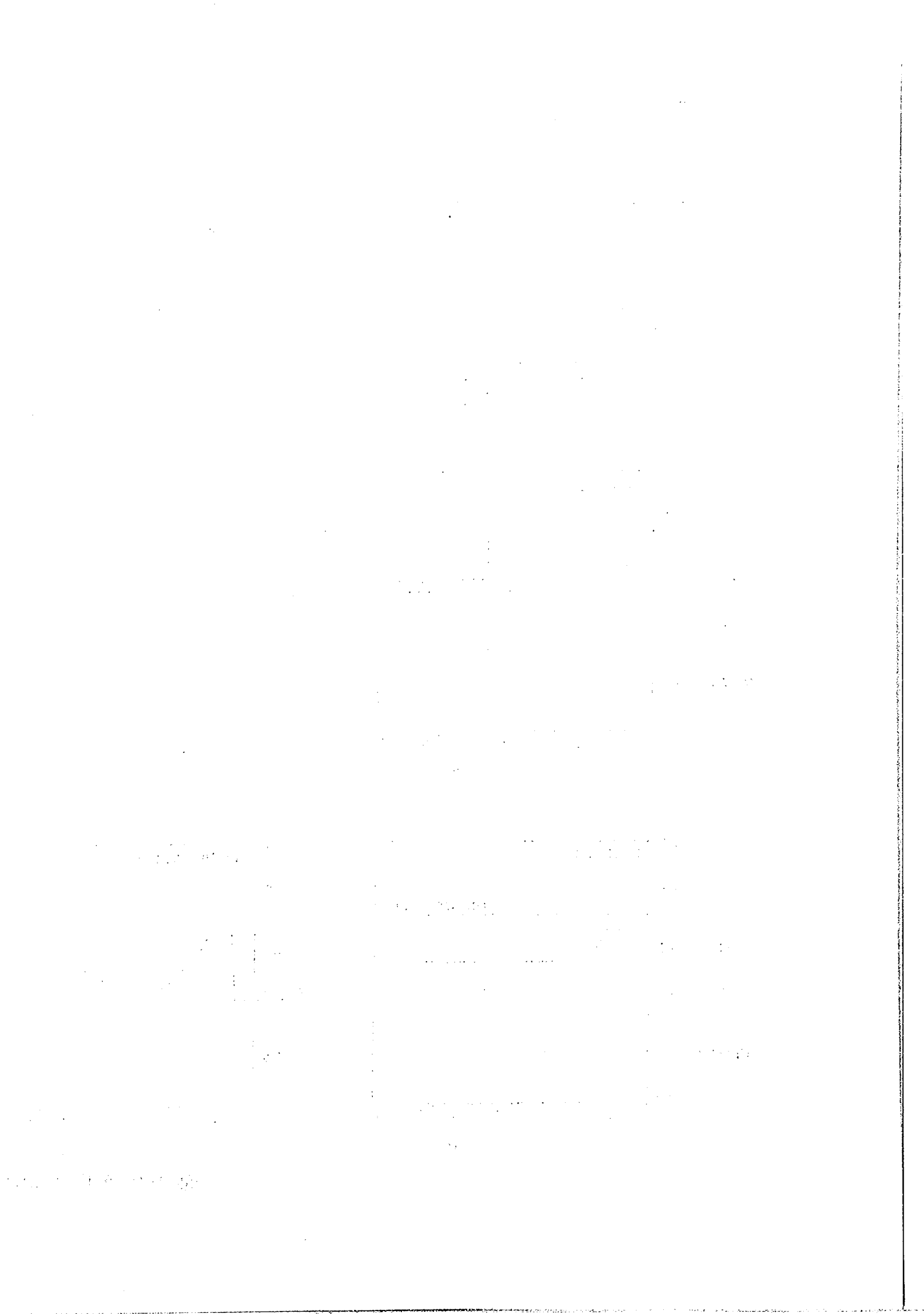


図4.1(d) 各ポンドにおける水位変化 (洪水2—その2)



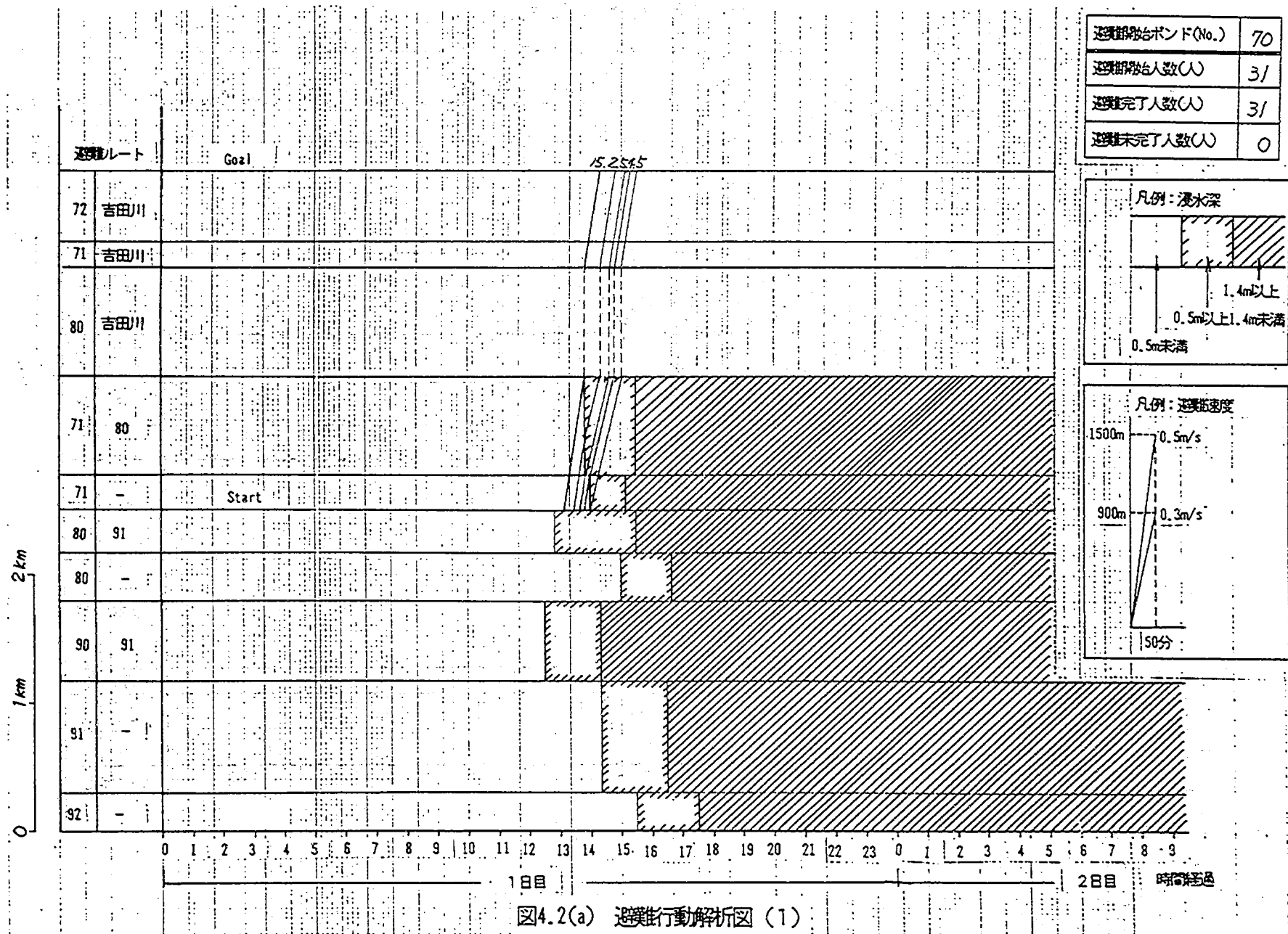
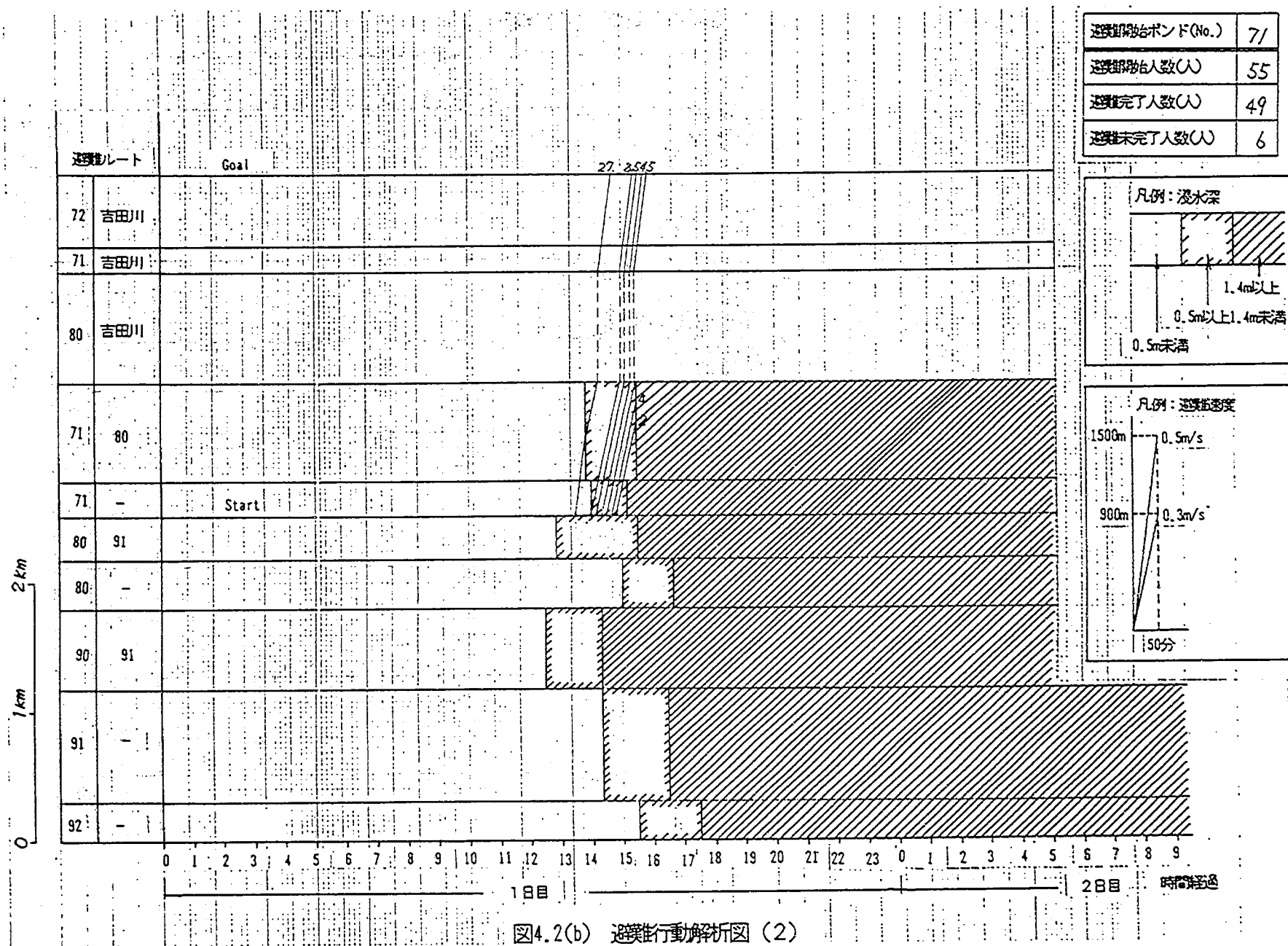


図4.2(a) 避難行動解析図(1)



避難開始ポイント(No.)	71
避難開始人数(人)	55
避難完了人数(人)	49
避難未完了人数(人)	6

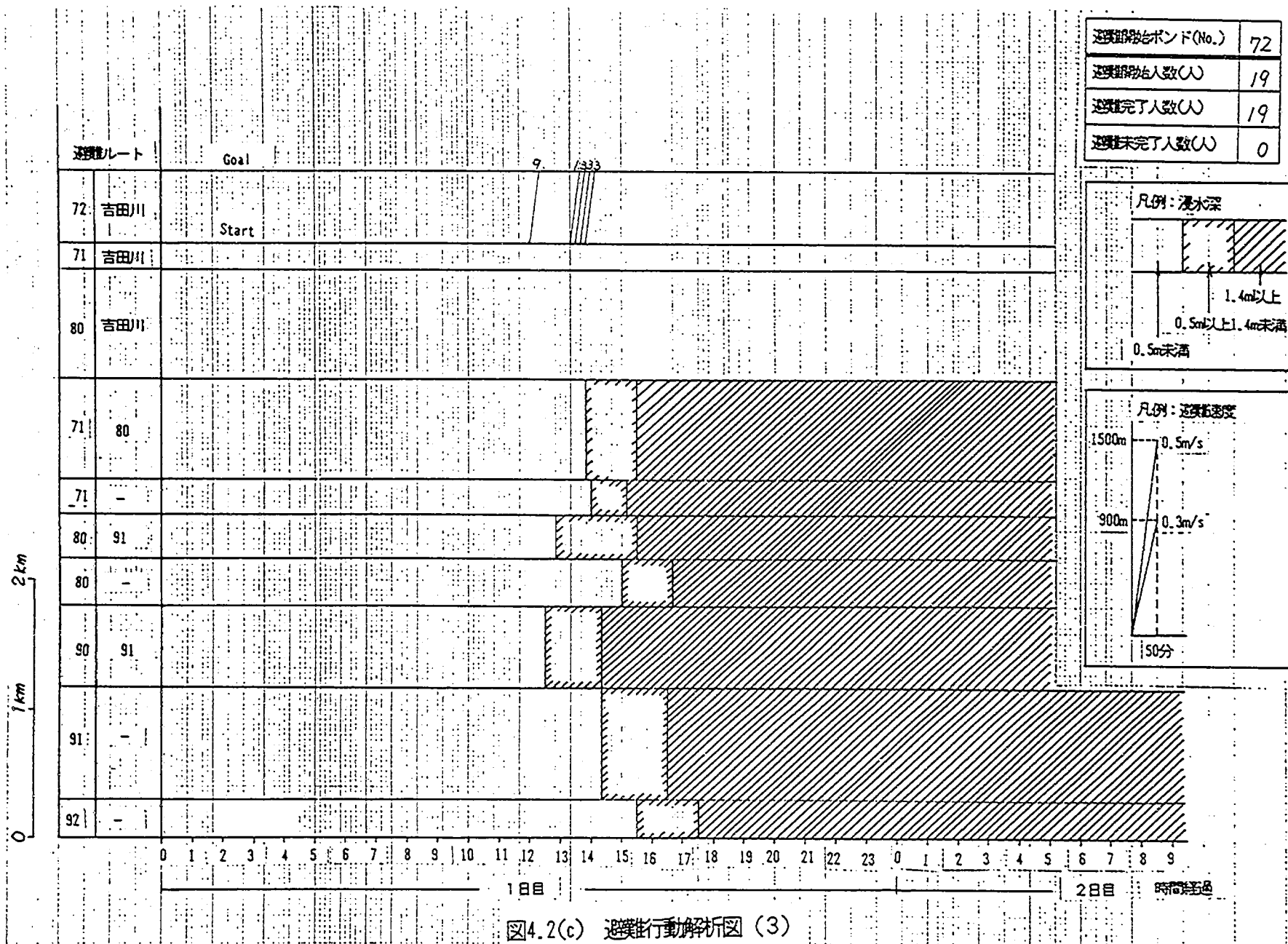
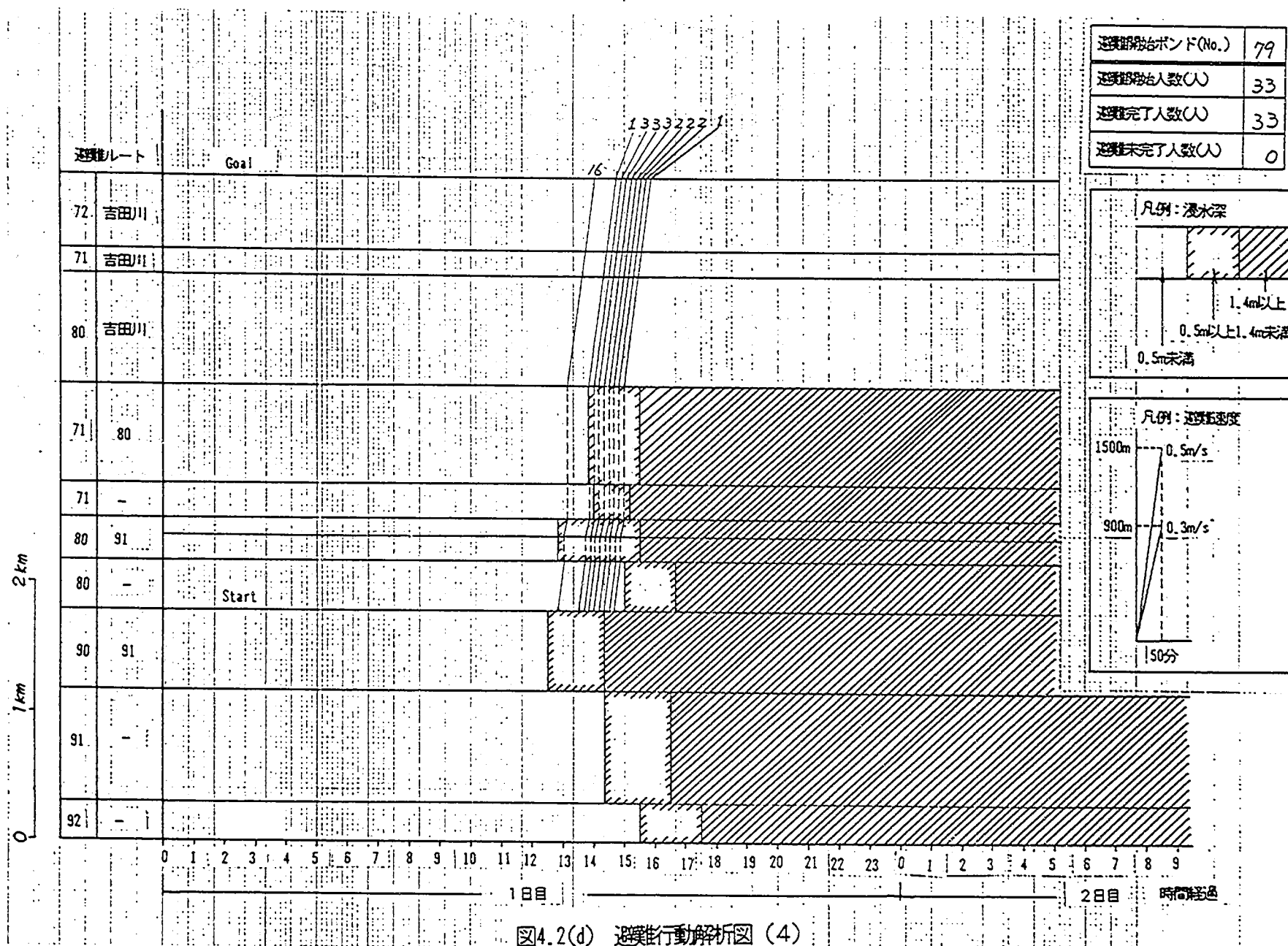


図4.2(c) 避難行動解析図 (3)



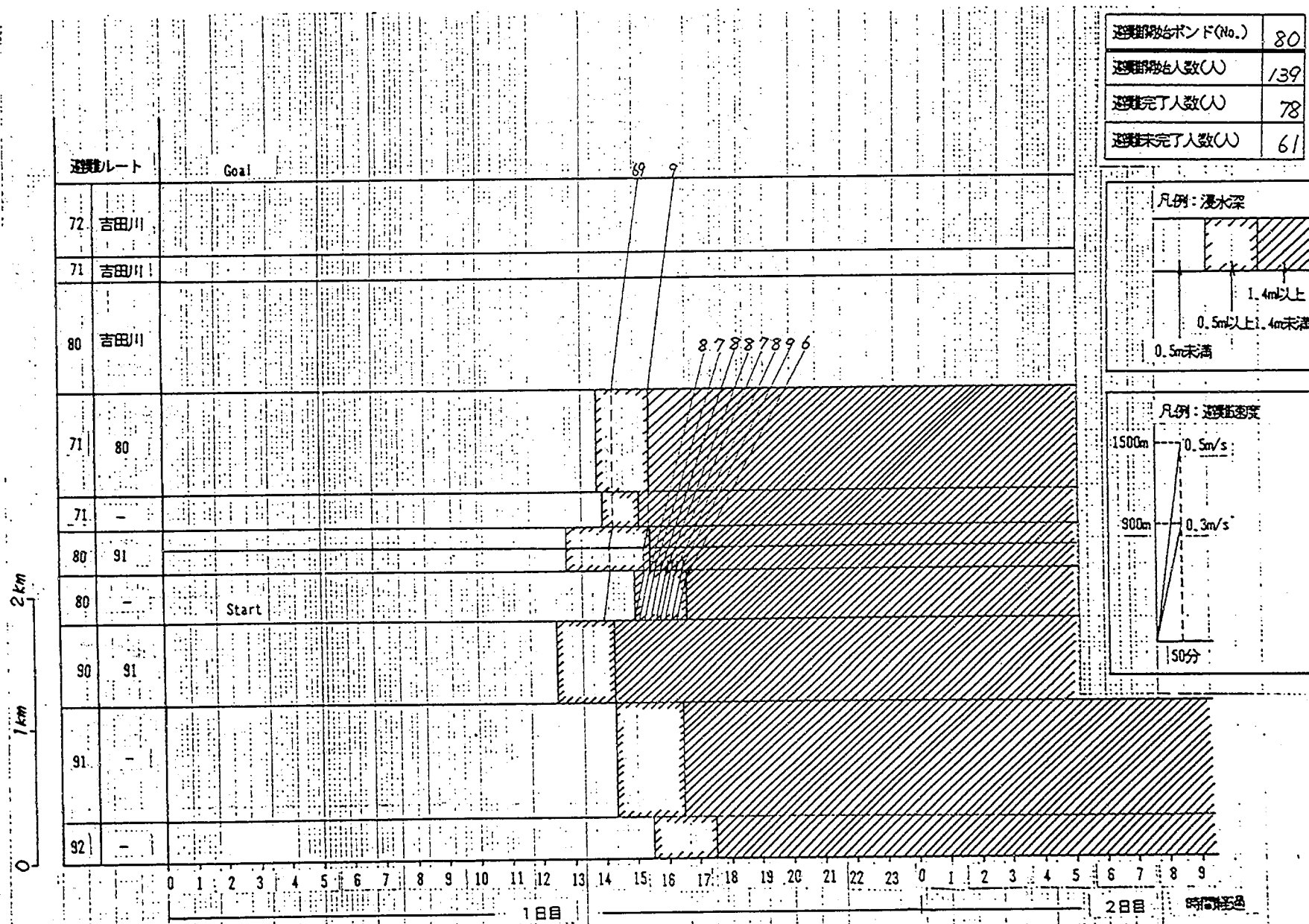


図4.2(e) 避難行動解析図 (5)

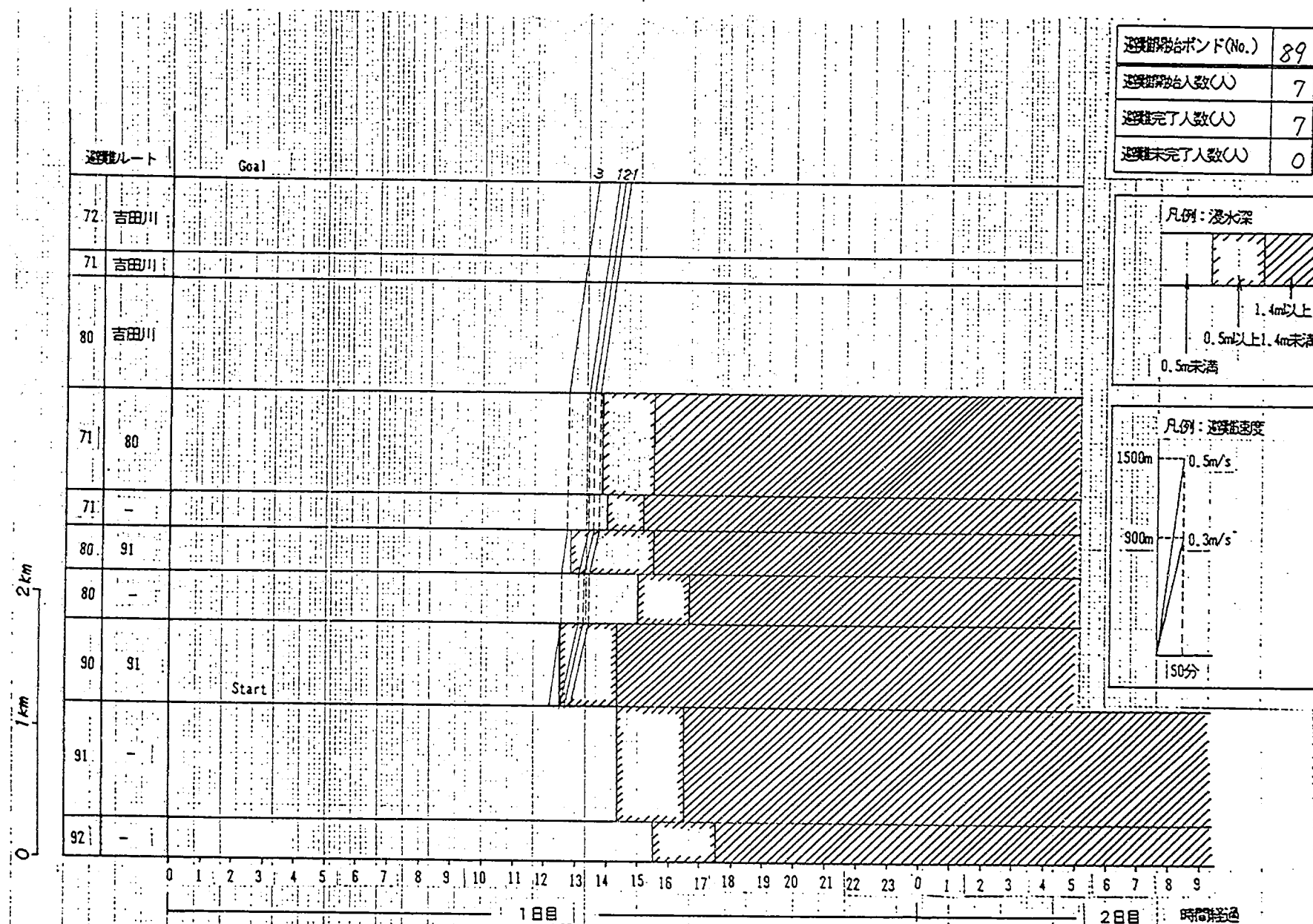


図4.2(f) 避難行動解析図 (6)

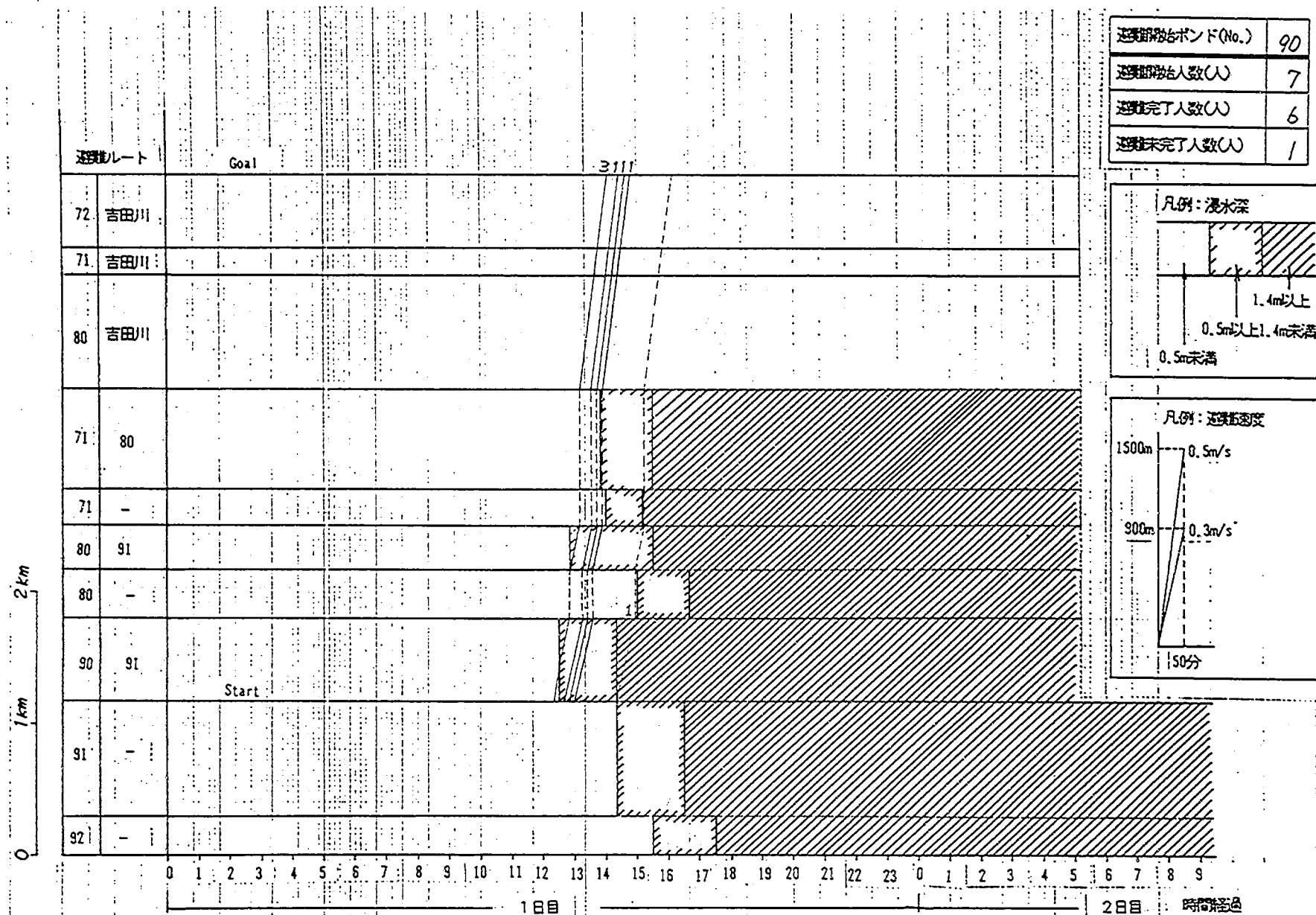


図4.2(g) 避難行動解析図 (7)

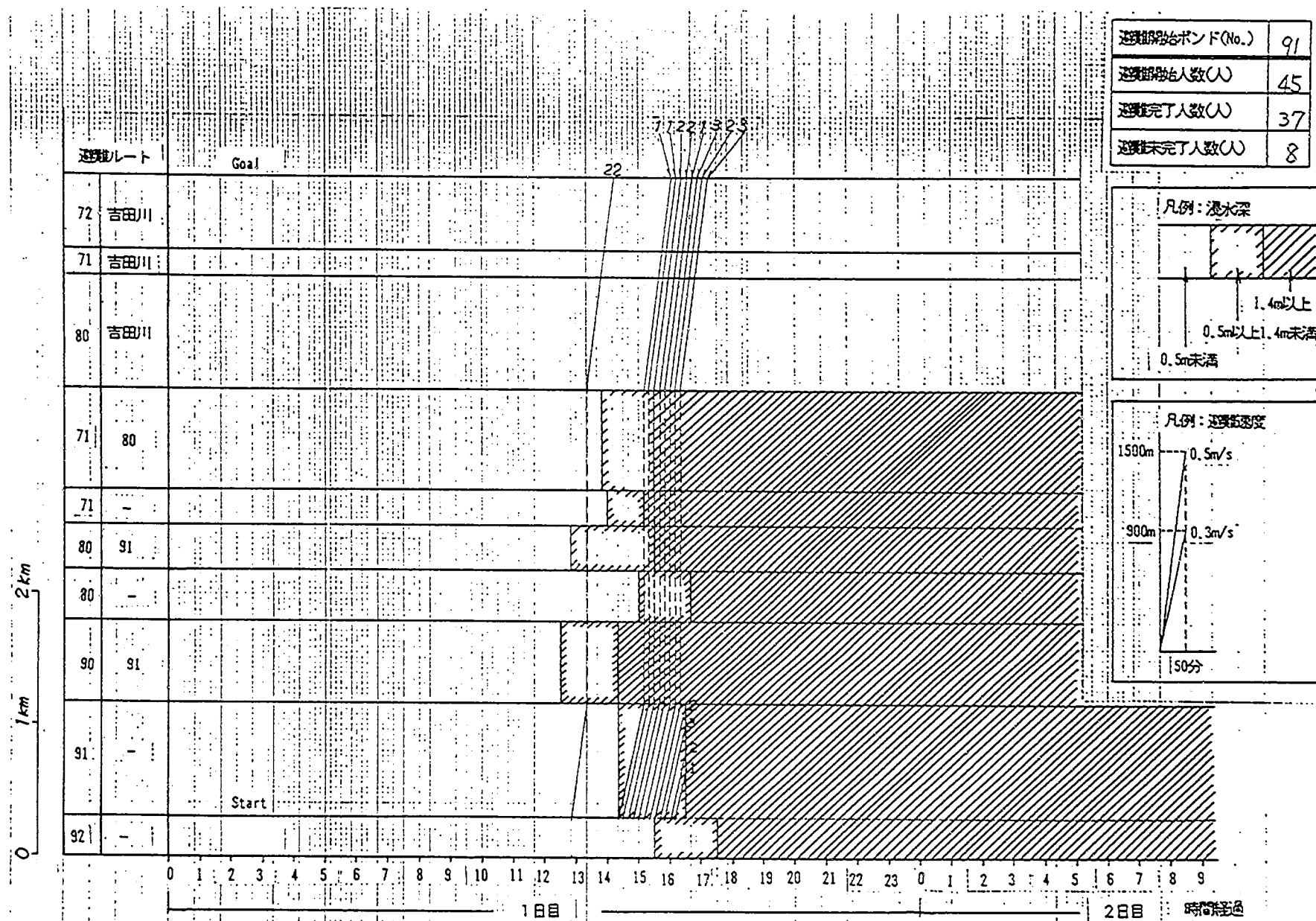


图4.2(h) 避讓行動解析図 (8)

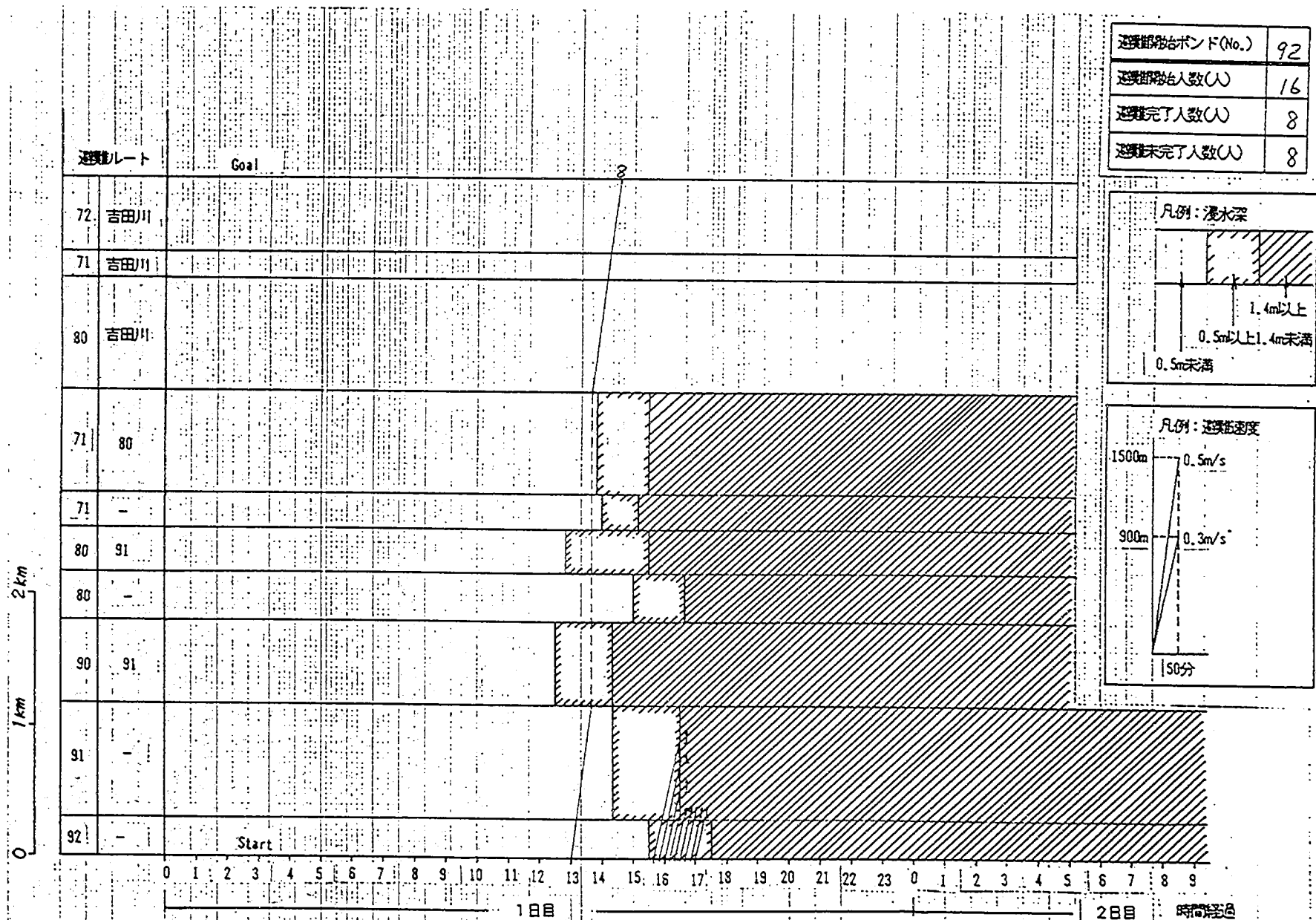


図4.2(i) 避難行動解析図(9)

このような解析図による避難シミュレーションは、一件面倒くさく、ぎこちないやり方のように思われるかも知れないが、

- ① 避難ルートの中のどの辺が危ないか？ 逆に、避難ルートのどこを強化しなければならないか？
- ② 避難行動関数の設定等に課題はないのか？

などを、分かりやすく、目で追える形で提示できるようになる。

また、氾濫シミュレーションによる避難路の水位の変化図とこの解析図を組み合わせることによって、避難路の嵩上げ高を検討することができる。同じくポンド92から避難した人の例で説明する。ポンド92から避難した人が一人残らず避難を完了するためには、図4.2(i)を見ると分かるように、最後（1日目の17時）に避難を開始した一人がポンド91の中の避難路を無事通過できればよい。すなわち、ポンド91の避難路の浸水深が1.4mになる前に、最後の一人がポンド91を通過してしまえばよい。その時刻は、最後の一人の避難の軌跡を延長し、ポンド91の避難ルートの最終端との交点から1日目の17:50と求めることができる。この時刻における水位は図4.1(a)から約5.1mであり、この時刻において避難ルートの浸水深が1.4m未満であるためには、避難路の現況高さが3.0mであるので、 $0.7\text{m}(=5.1-1.4-3.0)$ の嵩上げが必要ということになる。

他のポンドから避難を開始した人についても、同じ手順で避難路の嵩上げ高を検討することができる。いま、ルートAの実績洪水について、避難路の嵩上げ高を各ポンド毎に分析し、それをまとめると図4.3のようになる。図4.3において注意すべきことは、ポンド91上の避難路の嵩上げ高さが、ポンド91自身から避難を開始した人々がポンド91を無事通過するための嵩上げ高さ0.3mと、ポンド92から避難を開始した人々がポンド91を無事通過するための嵩上げ高さ0.7mとの、大きい方の条件によって決まるということである。すなわち、ポンド91上の避難路は、この場合、0.7m嵩上げする必要がある。

なお、今回の検討では浸水深1.4mを移動の限界としているので、このような結果になるが、他の限界値を設定した場合も同様の分析ができる。

(2) 避難シミュレーション結果

(1)で示した避難行動解析図は、個々のポンド毎に示しているため、全体の結果を理解するにはわかりにくい。そこで、各ルート毎にまとめて表示したのが図4.4(a)～(c)である。この図では、避難行動解析図の縦軸を活かし、横軸の時間経過は省略した形となっている。その替わりに、そのルートに係わるポンドは、すべて一つの図としてまとめられている。

さらに、全体の結果をまとめたのが、表4.1(a)～(d)及び表4.2である。表4.2を見ると、洪水1(1/60相当、実績洪水)と洪水2(1/200相当)とでは、洪水規模がかなり異なるにもかかわらず、避難完了人数の割合はそれほど変わらない。この理由が特徴的に現われているルートB上のポンド95に注目して、洪水1と洪水2の避難行動解析図を比較してみると、次のようなことが分かる(図4.5(a),(b))。すなわち、洪水1と洪水2では浸水深1.4mになる時刻はほとんど違いがないが、0.5mになるのは洪水2の方がかなり早い。従って、ここで設定した避難行動関数に従えば、洪水2の時にはかなり早い段階で避難を開始した人が多く、浸水深がそれほど大きくならないうちに避難を完了した人が多かったということが分かる。このことは、避難シミュレーションの方法論からいえば、避難行動関数の設定の重要性が分かり、また人々に避難をさせる政策論からいえば、なるべく早い段階で避難を開始させるようにすれば、大きな洪水でも生きながらえる確率が高くなることを意味している。

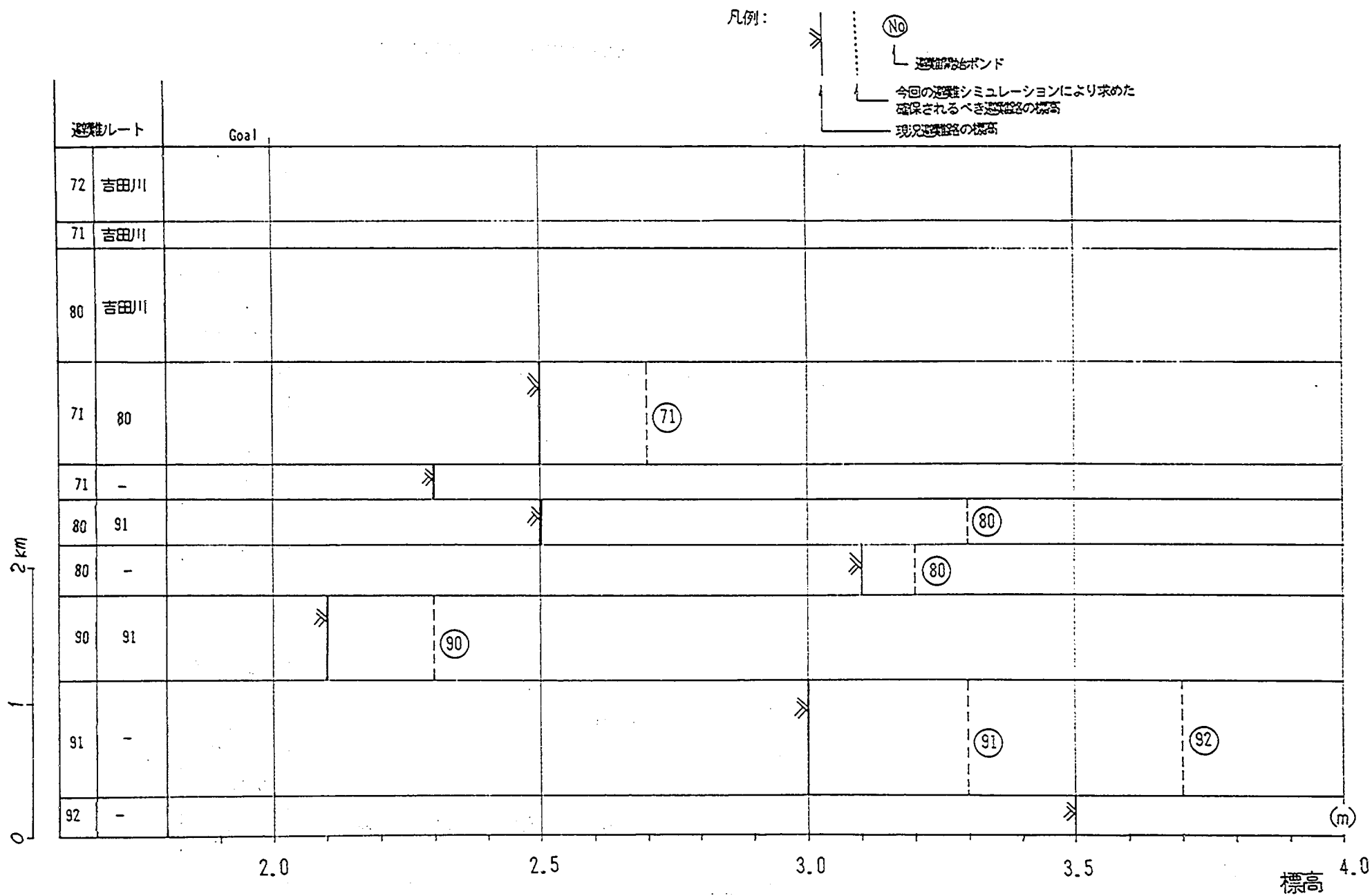


図4.3 避難経路の高上げ高の検討結果 (ルートA、洪水1)

		避難完了人数(人)										避難完了人数(人)
避難ルート		Goal	31	49	19	33	78	7	6	37	8	
72	吉田川											0
71	吉田川				72							0
80	吉田川											0
71	80			6 ×								6
71	-											0
80	91		70	71								0
80	-						8 ×					61
90	91				79	80			1 ×			1
91	-						89	90	8 ×	8 ×		16
92	-									91	92	0

図4.4(a) ルート毎の避難シミュレーション結果 (ルートA、洪水1)

		避難完了人数(人)			避難未完了人数(人)	
避難ルート		Goal 14				14 / 90
98	108					0
99	100					0
95	103	31 X	45 X	14 X		90
103	-					0
95	-			(103)	0	
		(94)	(95)			

図4.4(b) ルート毎の避難シミュレーション結果 (ルートB、洪水1)

避難ルート		避難完了人数(人)						避難完了人数(人)
		Goal	31	19	15	90	31	
141	—							0
142	—						(141)	0
143	—						(142)	0
139	—							0
125	139							0
124	125				2			2
119	120				(125)			0
113	—			(120)				0
106	—		7					7
			(106)					

図4.4(c) ルート毎の避難シミュレーション結果 (ルートC、洪水1)

表4.1(a) 避難シミュレーション結果 (避難ルートは現況、洪水1)

集落名	ボンドNo	人口 (人)	避難開始 人数	完了	未完了	避難ルート
下志田	70	52	31	31	0	A
	71	92	55	49	6	
	72	32	19	19	0	
	79	56	33	33	0	
	80	232	139	78	61	
上志田	89	12	7	7	0	
	90	12	7	6	1	
	91	76	45	37	8	
	92	28	16	8	8	
	94	52	31	0	31	
川 前	95	76	45	0	45	B
	103	48	28	14	14	
三十丁	106	64	38	31	7	C
土手崎	120	32	19	19	0	
	125	32	17	15	2	
中柏川	141	96	31	31	0	
	142	300	90	90	0	
	143	12	0	0	0	
計	—	1,304	651	468	183	—

表4.1(b) 避難シミュレーション結果 (避難ルートは改良、洪水1)

集落名	ボンドNo	人口 (人)	避難開始 人数	完了	未完了	避難ルート
下志田	70	52	31	31	0	A*
	71	92	55	49	6	
	72	32	19	19	0	A'
	79	56	33	33	0	
	80	232	139	78	61	A*
上志田	89	12	7	7	0	
	90	12	7	6	1	
	91	76	45	37	8	
	92	28	16	8	8	
	94	52	31	0	31	
川 前	95	76	45	0	45	B'
	103	48	28	21	7	
三十丁	106	64	38	31	7	C'
土手崎	120	32	19	19	0	
	125	32	17	15	2	
中柏川	141	96	31	31	0	C'
	142	300	90	90	0	
	143	12	0	0	0	
計	—	1,304	651	475	176	—

表4.1(c) 避難シミュレーション結果（避難ルートは現況、洪水2）

集落名	ボンドNo	人口 (人)	避難開始 人数	完了	未完了	避難ルート
下志田	70	52	31	31	0	A
	71	92	55	39	16	
	72	32	19	19	0	
	79	56	33	30	3	
	80	232	139	69	70	
上志田	89	12	7	5	2	
	90	12	7	3	4	
	91	76	45	36	9	
	92	28	16	8	8	
	94	52	31	0	31	
川 前	95	76	45	22	23	B
	103	48	42	34	8	
三十丁	106	64	38	34	4	C
土手崎	120	32	19	17	2	
	125	32	18	14	4	
中柏川	141	96	35	35	0	
	142	300	90	90	0	
	143	12	0	0	0	
計	—	1,304	670	486	184	—

表4.1(d) 避難シミュレーション結果（避難ルートは改良、洪水2）

集落名	ボンドNo	人口 (人)	避難開始 人数	完了	未完了	避難ルート
下志田	70	52	31	31	0	A'
	71	92	55	39	16	A'
	72	32	19	19	0	
	79	56	33	30	3	A'
	80	232	139	69	70	
上志田	89	12	7	5	2	
	90	12	7	3	4	
	91	76	45	36	9	
	92	28	16	8	8	
	94	52	31	0	31	
川 前	95	76	45	22	23	B'
	103	48	42	38	4	
三十丁	106	64	38	34	4	C'
土手崎	120	32	19	17	2	
	125	32	18	14	4	
中柏川	141	96	35	35	0	C'
	142	300	90	90	0	
	143	12	0	0	0	
計	—	1,304	670	490	180	—

表4.2 避難シミュレーション結果まとめ (人)

対象洪水	避難路改良の有無	避難開始人数	避難完了人数 (%)	避難未完了人数 (%)
洪水1 (1/60相当)	現 況	651	468 (71.9)	183 (28.1)
	改 良	651	475 (73.0)	176 (27.0)
洪水2 (1/200相当)	現 況	670	486 (72.5)	184 (27.5)
	改 良	670	490 (73.1)	180 (26.9)

また、避難ルートの改良の有無については、当然のことながら避難ルートを改良した時の方の避難完了人数が増加している。但し、今回設定した改良案では、避難完了人数が大幅に増加したということにはなっていない。今回の改良案は、避難ルートを変更し、避難距離を短縮することに主眼をおいたもので、その分の効果があったものと考えられるが、ルート途中の標高の低い所で立ち往生する人数が多いので、前述の避難路の嵩上げの検討で示したような途中ルートの質的改良を行なえば（高さを高くすれば）、避難完了人数も大幅に増えるものと考えられる。

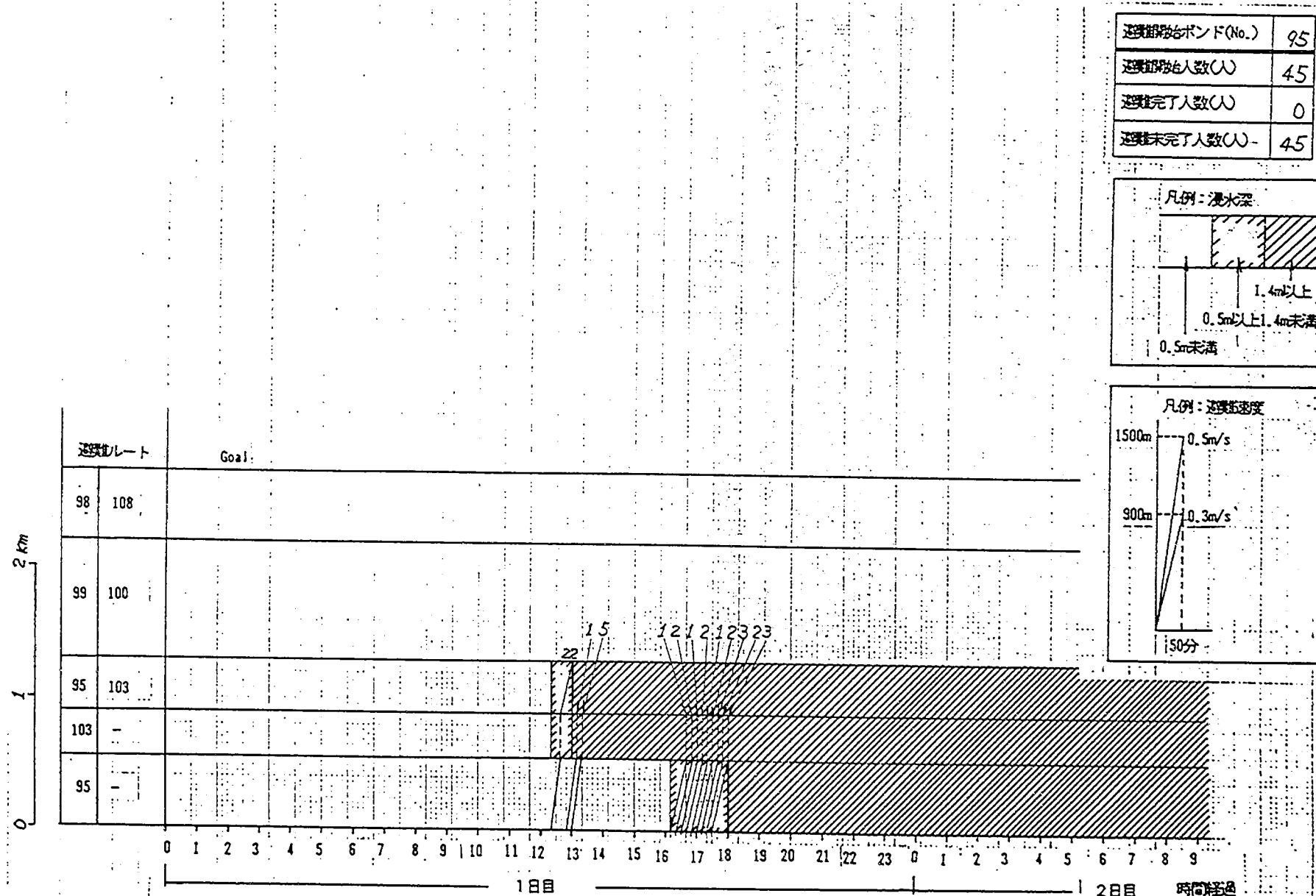


図4.5(a) 洪水1のときのバンド95の避難行動解析図(ルートB)

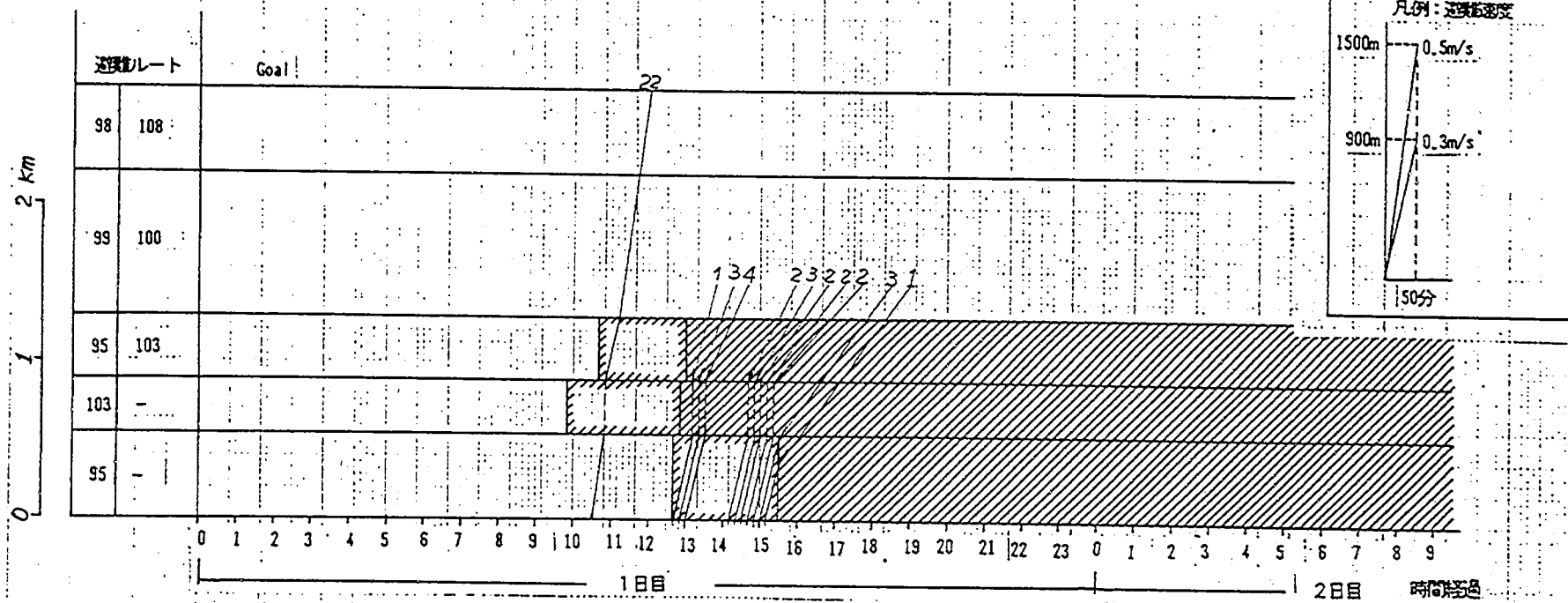


図4.5(b) 洪水2のときの Pond 95 の避難行動解析図 (ルートB)

5. おわりに

氾濫シミュレーションと組み合わせた避難シミュレーションについて、主に直感的な分かりやすさや実用性という観点から、その手法を検討した。避難行動関数の設定の仕方によって避難の状況が微妙に変化すると考えられるので、設定の仕方や他の流域でのケーススタディをもう少し積み重ねる必要があるが、基本的な方法論については提示できたのではないかと考えている。

なお、検討手法の研究が主な目的であるから、まえがきにも書いたように、本文に出ている具体的な数字が実際の施策と直接関連するものでないことは、あらためてお断りしておきたい。

最後になりましたが、本研究を行なうにあたって、東北地方建設局北上川下流工事事務所をはじめとして、多くの機関及び方々から多大の協力をいただきました。厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 高橋保、中川一、東山基：洪水氾濫解析とリンクした避難のシミュレーション、第33回水理講演会、1989
- 2) 長尾正志、細井正延、羽島明満、内山道明：名古屋市南部の水害での予警報・避難に関する住民意識と居住環境のアンケート調査研究、第20回自然災害科学総合シンポジウム、1983
- 3) 長尾正志、伴勇二、森田徹：名古屋市南部における浸水位変化を考慮した水害避難のシミュレーション研究、第43回土木学会年次学術講演会、1988
- 4) 大野栄治、加藤晃、浅井誠治：災害の発生状況に応じた避難誘導の方法、第43回土木学会年次学術講演会、1988
- 5) 今本博健、石垣泰輔、大年邦雄：昭57.7長崎水害における住民の避難行動について、京大防災研究所年報第26号B-2、1983
- 6) 今本博健、石垣泰輔、大年邦雄：昭57.8大和川水害における住民の避難行動について、京大防災研究所年報第26号B-2、1983
- 7) 山田啓一：低平地における浸水時の避難計画に関する一考察——岐阜県安八町の事例から——、水利科学 No.158 第28巻第 3号、1984
- 8) 道上正規：水害時の避難行動に関する研究、鳥取大学工学部研究報告第10巻第 1号、1979
- 9) 西原巧：洪水災害時における地域避難システムの設計と評価、水利科学No.147第26巻第 4号、1982
- 10) 吉本俊裕：水災害対策を考える上でのいくつかの視点、文部省重点領域研究「自然災害」研究報告集、都市域における異常出水の予測とその流出抑制工法に関する研究、1990
- 11) 吉本俊裕、末次忠司、桐生祝男：水害時の避難体制の強化に関する検討、土木研究所資料第2565号、1988
- 12) 吉本俊裕、須見徹太郎、永友嘉嗣：水害時の避難行動に関する調査報告書——緑川水系御船川昭和63年 5月洪水における避難行動——、土木研究所資料第2862号、1990
- 13) 吉本俊裕、須見徹太郎、永友嘉嗣：開水路ポンドモデルによる氾濫解析、土木研究所資料第2749号、1989

4. The fourth part of the document discusses the implications of the findings. It suggests that the results have significant implications for the field of research and may lead to further developments in the future.

5. The fifth part of the document concludes the study. It summarizes the main findings and provides a final statement on the importance of the research.

避難シミュレーション

—吉田川(鳴瀬川水系)を事例として—

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2933号

平成3年3月 (1991)

総合治水研究室 吉本俊裕
他2名

要旨

本研究は、昭和61年8月洪水で大きな災害を受けた鳴瀬川水系
吉田川を事例として、避難シミュレーション手法の研究を行った
ものである。

キーワード：避難、避難シミュレーション、避難行動関数、避難行動解析図



郵便はがき

切手を
はって
下さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

河川部総合治水研究室

御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2933号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印