

急流河川における浸水想定区域の検討手法

A study on flood hazard areas based on the characteristics of flooding from steep slope river

齋藤 博之¹・白井 正巳²・湧川 勝己³・金澤 裕勝⁴・佐古 俊介⁵

Hiroyuki SAITO, Masami SHIRAI, Katsumi WAKIGAWA, Hirokatsu KANAZAWA, and Shunsuke SAKO

¹正会員 工修 MSc 国土交通省道路局 地方道・環境課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関 2-1-3)

²国土交通省北陸地方整備局 河川部 (〒951-8505 新潟県新潟市白山浦 1-425-2)

³財団法人国土技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-1-12)

⁴財団法人国土技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-1-12)

⁵正会員 工修 財団法人国土技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-1-12)

The Flood Fighting Law revised in 2001 stipulates that areas that are expected to be inundated with overflowing river water during the design rainfall assumed for river development should be designated as flood hazard areas and that the flood hazard areas and the expected flood depths should be publicized, to minimize flood damage.

Such information should be provided to the public even for rapids such as the Joganji and Kurobe Rivers. Adequate information should be provided on rapids while considering their unique river channel and the characteristics of flooding because they exhibit unique flow and flooding patterns during a flood.

This study focuses on the following two topics to reduce flood damage in rapids.

- Assessment of calculation methods for identifying flooding while considering the characteristics of flooding from steep slope river.
- Preparation of a hazard map that reflects the characteristics of flooding from steep slope river.

Key Words : Flood fighting law, hazard map, flooding from steep slope river

1. はじめに

水災による被害を軽減するため、平成13年に水防法が改正され、河川が氾濫した場合に浸水が想定される区域を浸水想定区域として指定するとともに、常願寺川や黒部川を代表とするような急流河川においても、これらの情報を公表する必要性が生じた。

しかし、洪水時の急流河川は、場合によっては堤防侵食破壊を引き起こすほどの流れ方をするとともに、家屋を押し流すような大きなエネルギーを持った氾濫流が別の川のようになって流れるなどの特有の現象を有している。

急流河川はこの様な特性を有しているため、浸水想定区域、及び浸水した場合に想定される水深等を公表するにあたっては、これら特性を十分に反映した適切

な情報とする必要がある。

そこで本研究においては、急流河川における浸水想定区域図を作成するにあたって、次の課題について検討を行った。

①急流河川の特性を反映した氾濫計算手法の検討
②急流河川の特性を反映した浸水想定区域図の作成
前者については、既往洪水における破堤現象の整理と黒部川昭和44年洪水の再現計算を通して、急流河川の特性を反映した破堤条件や地盤データを用いる氾濫計算手法の検討を行った。

後者については、①の検討成果を踏まえて浸水想定区域図の作成を行うとともに、急流河川における浸水想定区域図において表現すべき情報について検討を行った。

2. 急流河川における破堤・氾濫現象の整理

これまでの知見から、急流河川における破堤の要因、洪水の流出・流下特性について、定性的にはある程度説明することができるが、破堤の詳細なメカニズムや外力との関係、氾濫流の流れの強さなどについては十分明らかになっていない。しかし、浸水想定区域図に急流河川の特性を反映するため、その基礎資料を得る氾濫計算において、急流河川特有の破堤現象を取り込むとともに特有の氾濫現象を再現できる計算手法を設定する必要がある。

ここでは、急流河川における破堤・氾濫現象の把握を行って整理した破堤条件等を用いて、比較的詳細な洪水記録が残っている黒部川昭和44年洪水を対象に、既往の氾濫シミュレーション手法による再現計算を行い、その検証を通じて設定条件等の検討を行うものとした。

(1) 急流河川の一般的特性

本研究における急流河川とは、洪水時の流水によって堤防が侵食破壊されるなどの他、その氾濫流が家屋を破壊するほどの大きなエネルギーを持って別の川となって流れるような現象を有するため、危機管理の観点から、洪水時における住民の避難が難しい河川と位置づけられる。流域の地形、洪水の流出流下形態、氾濫形態等による急流河川の特性を整理すると、表1のようになる。

表1 急流河川の特性

項 目	特 徴
①洪水の流出特性	流域及び河床勾配が急なため、洪水波形がシャープで洪水到達時間が短い。このため洪水の予測が難しく、安全な避難体制の確保が困難である。
②洪水の流下特性	洪水時の流れのエネルギーが非常に大きく、緩流河川の数倍の土砂移動能力を有している。砂州の移動が大きいため露筋は固定せず、ほぼ全川にわたって単列・複列の砂州が形成されている。また、洪水時の砂州の移動等に伴い、偏流や流れの集中等の乱れが発生する。
③破堤特性	侵食・洗掘による破堤が多い。その要因は砂州の移動等起因するものであり、どの地点においても被災を受ける恐れがある。堤防の欠壊開始から短時間で破堤し、破堤幅も大きい。
④氾濫水の流下特性	氾濫流は大きく拡がらず、河道沿い付近を中心に等高線と直角の方向に速い速度で流下する。また、旧河道や用排水路等のやや地盤が低い箇所を流下する傾向にあり、微地形による影響を受ける。

(2) 急流河川の氾濫計算における破堤条件の設定

氾濫計算を行う際の破堤条件の設定においては、破堤タイミングの他に破堤幅、破堤敷高が計算上の重要な条件となる。既往の破堤関係資料や研究成果等から、急流河川における破堤の考え方を次のように整理した。

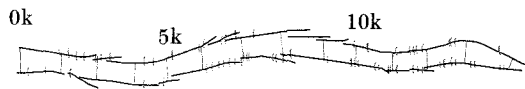
a) 破堤要因

急流河川における破堤の主な原因は、洪水時の砂州の移動に伴う偏流等による侵食・洗掘によるものである。黒部川や手取川における既往被災地点を見ると、ほぼ全ての地点において被災履歴があることが分かる(図1)。このことから、洪水時の砂州の移動が大きい急流河川においては、全ての地点で破堤するおそれがあるといえる。また、側方侵食の破堤メカニズムから、一般的な河川においては安全に洪水を流し得ると判断される水位以下であっても、急流河川では破堤する恐れがある。

したがって、急流河川の破堤地点は、河道の流下能力から設定される地点の他、洪水時の河岸侵食・洗掘によって破堤するおそれのある地点を加えて設定する必要がある。

また、破堤水位の設定であるが、急流河川においては、水位が必ずしも計画高水位に達しない場合でも破堤が生じる。破堤時刻並びに水位は、河岸侵食を発生させる外力とその継続時間、河岸の保護工の洗掘・侵食に対する耐力などの様々な要因によって規定されるが、これらの現象は十分解明されるに至っていない。したがって、当面は既往の破堤事例を参考に、水位が計画高水位に達しない場合にはピーク水位で破堤するものとした。

(黒部川の既往被災地点)



(手取川の既往被災地点)

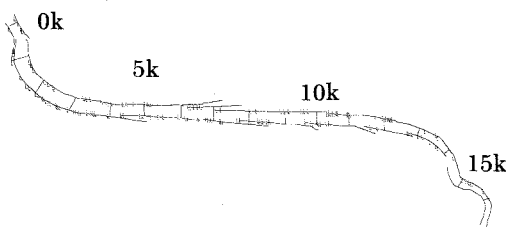


図1 既往洪水による被災箇所概略位置図

b) 破堤幅

全国の破堤事例を用いて破堤幅と川幅の関係を整理した。緩流河川の破堤幅は川幅より小さい場合が多い¹⁾が、急流河川の場合は概ね河道流下幅相当であると考えられた(図2)。

c) 破堤敷高

破堤が生じた場合の破堤口の最終的な高さ(破堤敷高)は、広い高水敷が形成されている緩流河川では高

水敷高または堤内地盤高程度である。これに対し、急流河川では、側方侵食による破堤であるため、破堤口が河床高付近まで侵食・洗掘されている場合が多い。

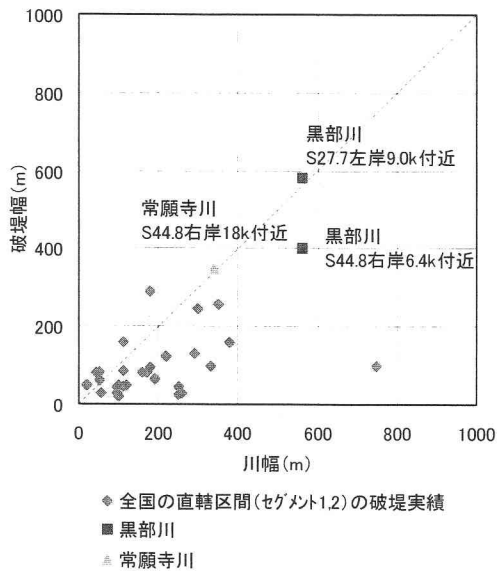


図2 急流河川における破堤幅と川幅の関係

d) 破堤速度

急流河川における破堤事例を見ると、堤防の欠壊開始から30分程度の僅かな時間で破堤し、短時間のうちに最終的な破堤幅及び破堤敷高に達している。

急流河川における破堤の主な原因は、侵食・洗掘であることから、破堤に至る場合には、堤防が侵食・洗掘によって徐々に薄くなり、最終的に破堤するのが殆どと考えられる。したがって、破堤すると短時間のうちに最終的な破堤幅及び破堤敷高に達するものと考えられる。

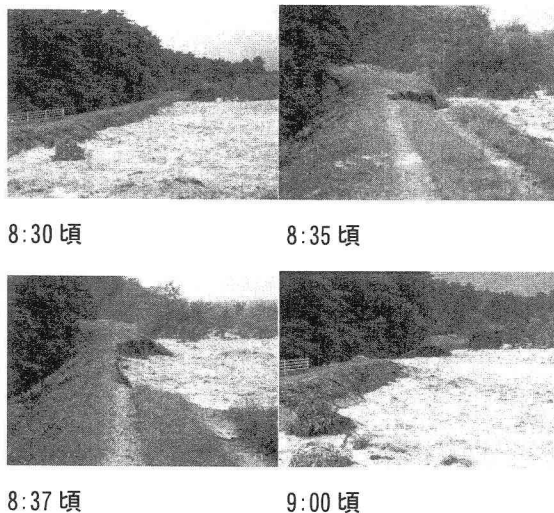


図3 阿武隈川支川荒川破堤状況

(3) 黒部川昭和44年洪水における破堤・氾濫現象

黒部川昭和44年洪水における破堤・氾濫現象を新聞記事や地元関係者のヒアリングにより把握した。それを整理したものを表2に示す。堤内地に流入した氾濫流は、500m～1,000m程度の流下幅で、概ね等高線と直角方向に流下している。氾濫流の流速は1m/sec強であったことが新聞記事より明らかとなった。また、この洪水においては、氾濫水は、霞堤の間のような流水の集中した箇所では表土を剥がすような強い流れであったが、拡散した箇所では家屋を破壊するような強い流れは生じていなかったことも明らかとなった。

表2 氾濫シミュレーションの検証のために使用したデータ

項目	使用可能なデータ
越流地点及び破堤幅	右岸6.2k～6.4k(400m) (多くは霞堤を通して河川に戻る) 右岸5.6k～5.8k(100m)及び右岸5.8k～6.0k(80m) (下流へ氾濫)
越流時刻	右岸6.2k～6.4k: 16:30頃 右岸5.6k～5.8k(100m)及び 右岸5.8k～6.0k(80m): 16:50分頃
破堤敷高	堤内地盤高まで破堤
破堤の進行時間	破堤開始から約10分程度で完全破堤
越流水深	S44断面での破堤時不等流計算水位と堤内地盤高の差は約2.2m
氾濫流の方向	概ね等高線に直角の方向
浸水深	国道8号線で堰き上げ、越流水深は最大1.3m程度
浸水範囲	氾濫流の幅は500m～1,000m
到達時間	破堤地点から国道8号線までの1.5km : 約20分 → 1.25m/s 国道8号線から海岸までの4.5k : 約1時間 → 1.25m/s

3. 氾濫計算条件と妥当性の検証及び感度分析

氾濫計算の妥当性検証における氾濫条件については、次の4点を基本的考え方とした。

①当時の新聞記事やヒアリング等により得られた破堤に関する実現象を極力モデルに組み込む。②実際の氾濫状況から氾濫流のピーク流量を推定し、越流公式の適用方法を検討する。③メッシュの大きさ、計算の刻み時間(Δt)の違いによる氾濫流の流下方向や到達時間の差異を確認する。④盛土構造物や水路等を含む微地形を考慮することによる氾濫状況の差異を確認する。

(1) 越流公式に関する分析

黒部川昭和44年洪水における氾濫流のピーク流量を推定したところ、表3のように正面越流公式(本間公式)より小さめに算出される横越流公式の方が適合性の高いことが分かった¹⁾。

表3 越流公式の分析

【検証条件】国道8号線付近における氾濫状況

項目	設定値	設定根拠
氾濫流の幅	700m	洪水被災地域図
氾濫流の水深	0.3~0.5m	新聞記事より
氾濫流の流速	1.25m/sec	新聞記事より

したがって、最大流量は $700\text{m} \times 0.3 \sim 0.5\text{m} \times 1.25\text{m/s} = 260 \sim 410\text{m}^3/\text{sec}$

【検討結果】破堤地点の状況

項目	設定値	設定根拠
破堤幅	180m	実績値
越流水深	2.2m	(不定流計算による破堤時水位)-(堤内地盤高)

越流量：正面越流とした場合 900 m^3/sec
横越流とした場合 150 m^3/sec

(2) メッシュ幅に関する分析

急流河川における地形、微地形を表現するため、河床勾配にあわせた適切なメッシュ幅の採用が必要となるが、図4に示すように、1/2,500都市計画図と1/250,000地形図から作成した250mメッシュと50mメッシュを比較した場合、250mメッシュでは地形が十分モデル化できていないことが分かる。

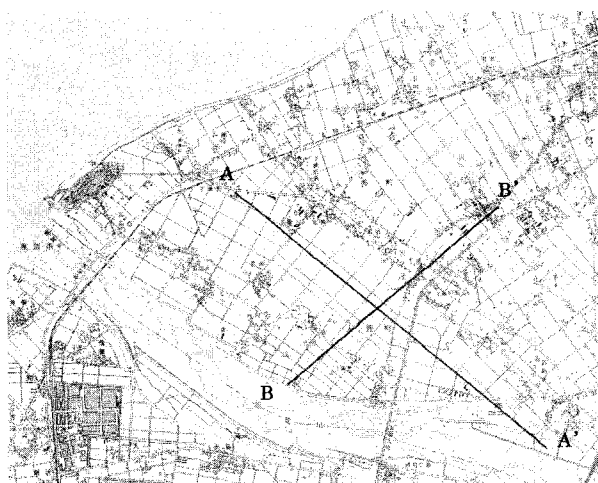
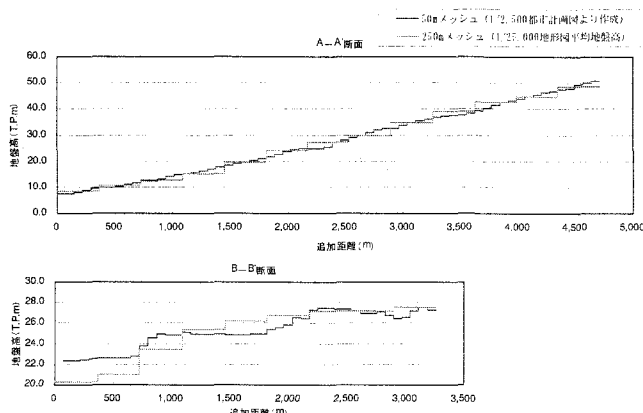


図4 250mメッシュと50mメッシュの比較

さらに、現在、黒部川流域において最も詳細な標高データを得ることの可能な都市計画図においては、データ密度が4haに1点程度、コンタラインも2.5mピッチ(入善町の例)と粗いことから、メッシュ幅を極端に小さくしたとしても微地形を十分反映した正確な地盤データを表現できるものではないと考えられる。

これらの理由からメッシュ幅については50mピッチを採用するものとした。

(3) 微地形の反映に関する分析

盛土構造物や水路の有無等の微地形による氾濫流の流下方向や到達時間の差異を確認するため、黒部川昭和44年洪水における破堤条件と越流量を用いて、50mメッシュの氾濫計算を行い、①盛土構造物考慮の有無、②水路考慮の有無、の感度分析を行った。

その結果、氾濫域内の盛土構造物(堤防、霞堤、鉄道、主要道路等)は、氾濫水の伝搬、氾濫範囲、浸水深に影響を及ぼしていること、水路については、メッシュ幅の1/5程度の幅(50mメッシュの場合10m)を有する場合に粗度係数として考慮しても、氾濫流に差異はほとんど生じていないことが明らかとなったため、検証計算においては、高さ50cm以上の盛土構造物は極力地盤データに取り込むものとした。

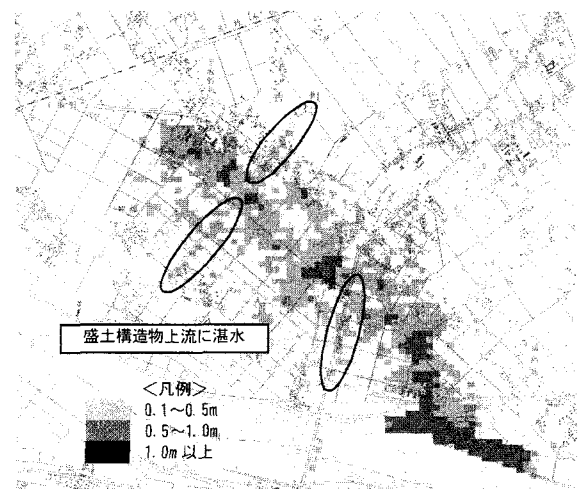


図5 盛土構造物を考慮した場合の計算結果

(4) 氾濫計算に関する妥当性の検証

前記の感度分析を踏まえ、黒部川昭和44年洪水の再現計算を行った。その結果を図6に示すが、浸水範囲、流速及び氾濫流の到達時間等の氾濫現象が概ね良好に再現されており、本計算手法及び使用データ等の妥当性が確認された。また、摩擦速度を用いた流体力の検証においても、地盤が掘れるような大きなエネルギーとはなっていないことが確認された。

これらの検討結果から、急流河川の氾濫計算を実施するにあたっては、従来の「氾濫計算シミュレーション・マニュアル(案)(平成8年2月建設省土木研究所)」に計算手法そのものは準拠²⁾するものであるが、急流河川特有の現象である侵食破堤に関しては、表4のような条件設定を行い、さらに適切なメッシュ幅や微地形データを用いることによって、十分な精度の氾濫計算が行えることが明らかとなった。

表 4 急流河川における条件設定

項 目	考 え 方
破堤開始水位	水位が計画高水位に達したときを破堤開始水位とする。水位が計画高水位に達しないときは洪水ピーク水位で破堤するものとする。
破堤幅	実績値がある場合はそれを参考に設定する。実績値がない場合は、河道の流下幅と同程度を破堤幅とする。なお、川幅100m程度以下の河川では「氾濫計算マニュアル」に記載の式を採用する。また、破堤開始とともに最終の破堤幅まで瞬時に破堤するものとする。
破堤敷高	最終の破堤敷高は堤内地盤高と河床高の高い方とする。
破堤の時間進行	破堤開始とともに最終の破堤敷高、破堤幅まで瞬時に破堤するものとする。
越流量	破堤箇所毎に河川の平面形状や既往の破堤実績を考慮して、適切な越流公式を用いる。
微地形の扱い	高さ50cm以上の盛土構造物、霞堤、水路等を極力地盤データに取り込む。
氾濫計算	地形勾配を考慮して、適切なメッシュ幅を設定する。メッシュ幅の目安は以下のとおり。 1×Δx×Δy≤0.5m (1:勾配, Δx:メッシュ幅)

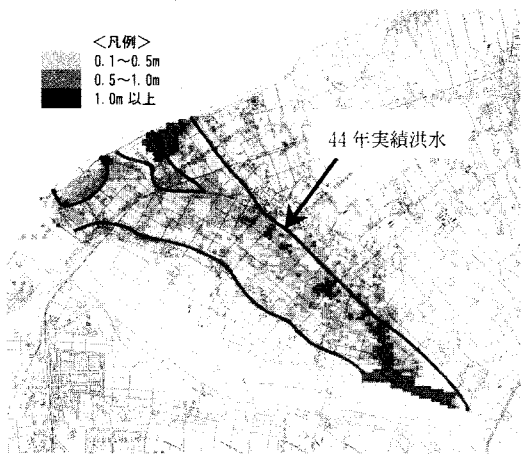


図 6 黒部川昭和 44 年実績洪水と再現計算の比較

4. 急流河川における浸水想定区域図

浸水想定区域図は、浸水範囲やその浸水深などの洪水氾濫時に想定される状況を示すものであり、洪水氾濫時の避難等に関する適切な対応の検討に活用されることが期待されているものである。

緩流河川に比べ流れのエネルギーが大きい急流河川が破堤氾濫した場合、氾濫域に甚大な被害が生じる恐れがある。また、破堤のメカニズムや氾濫流の特性などにより避難活動が困難であることが予想されるため、急流河川では、よりきめの細かい危機管理方策が必要であると考えられる。

そのため、急流河川の浸水想定区域図において表現すべき情報と、表現された情報の活用について検討を行った。

(1) 浸水想定区域図において表現すべき情報

「浸水想定区域図作成マニュアル」(平成 13 年 7 月国土交通省河川局治水課発刊)では、水防法の規定による浸水想定区域の指定・公表時に使用される浸水想

定区域図は、全破堤地点からの氾濫シミュレーション結果を包絡して算出した浸水範囲、水深等を示すものとしている³⁾。

しかし、急流河川では、前述したようにその特性から、浸水範囲や浸水深以外に氾濫流の流速や到達時間等が避難のための重要な情報となるため、最大流速及び氾濫流の最短到達時間(いずれも全破堤地点の包絡値)を浸水想定区域図の参考付図として公表することが必要であると考えられた。

また、破堤地点毎の浸水範囲、水深や氾濫流の流速や到達時間等の浸水情報は、被災予測や避難場所の設定、避難ルートの検討において有益な情報になることから、自治体の防災担当者による、この情報を基にした避難計画検討等の活用が考えられる。

浸水想定区域図において表現すべき情報としては、流域住民向けと、防災担当者向けの 2 種があると考えられ、それらは以下のように整理される。

- ・主に一般住民向けとしては、全破堤地点からの氾濫シミュレーション結果の包絡より算出した浸水範囲、水深、流速の最大、及び最短の氾濫流到達時間
- ・主に防災担当者向けとしては、各破堤地点毎の氾濫シミュレーション結果から算出した浸水範囲、水深、流速、歩行困難度、流体力の最大、及び最短の氾濫流到達時間と時系列変化

(2) 表現された情報の活用

急流河川における破堤・氾濫による被害を最小限に抑えるためには、治水施設の整備による安全度の向上に加え、水防活動や迅速な避難活動による被害の回避・軽減、破堤・氾濫を想定した被害軽減方策の実施等の危機管理が重要である。

今回、検討を行った急流河川の浸水想定区域図で提供する浸水範囲、水深、流速、及び氾濫流の到達時間等と、各市町村の持つ防災情報を併せて活用することによって、住民に対する危機管理意識の啓発、及び地域防災計画の見直しや洪水ハザードマップの作成が可能となる⁴⁾。(図 7、図 8、図 9)

5. 結論

本研究においては、急流河川の浸水想定区域図作成における課題であった、急流河川の特性を反映した氾濫計算手法の検討、及び浸水想定区域図の作成について検討を行ったものであるが、その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 既往の破堤事例から急流河川の破堤・氾濫現象を把握し、急流河川における破堤条件設定の考え方

凡 例
 浸水した場合に想定される水深
 0 5m未満の区域
 0.5~1.0m未満の区域
 1.0~2.0m未満の区域
 2.0~5.0m未満の区域
 5.0m以上の区域

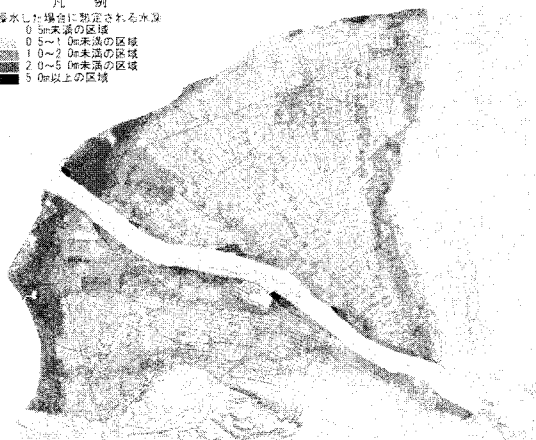


図7 黒部川浸水想定区域図（最大浸水深）

凡 例
 浸水した場合に想定される
 はん流の最短到達時間
 30分未満の区域
 30分~1時間未満の区域
 1時間~2時間未満の区域
 2時間以上の区域



図8 黒部川浸水想定区域図（氾濫流最短到達時間）

を整理するとともに、検証計算や感度分析の検討
 を行って氾濫計算の精度を高めるために必要な破

(2003. 4. 11受付)

凡 例
 浸水した場合に想定される
 はん流の最大流速
 0.5m/s未満の区域
 0.5以上~1.5m/s未満の区域
 1.5m/s以上の区域

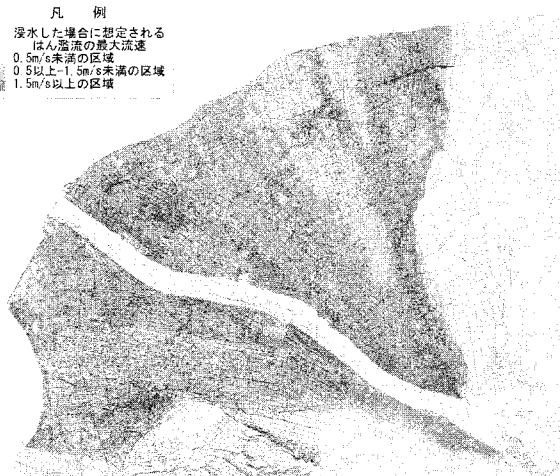


図9 黒部川浸水想定区域図（最大流速）

堤流量の算定や使用する地盤メッシュデータ等の
 計算条件を明らかにした。

② 急流河川における浸水想定区域図においては、そ

の氾濫特性を表現するため、浸水範囲及びその浸
 水深だけでなく、流速や洪水到達時間等の情報も
 併せて示すことが必要である。

本研究で得られた成果を活用して水災被害の防止軽
 減に努めていくことが重要であるが、本研究における
 今後の課題としては、未だ解明されていない急流河川
 の洪水時の現象についての解明に努め、砂州の移動に
 伴う河岸の侵食・洗掘現象に起因する破堤メカニズム
 や氾濫流の局所的流れ等の現象をより高い精度で表現
 できる氾濫計算技術の研究や、氾濫流に含まれる土砂
 の堆積や洗掘現象を考慮した複合的な氾濫計算手法の
 研究を行っていく必要がある。

謝辞：本研究の実施にあたり、広島大学大学院 福岡
 捷二教授はじめ、浸水想定区域指定公表検討委員
 会の先生方からご協力を得た。ここに併せて深甚
 なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 栗城 稔・末次忠司・小林裕明他：横越流特性を考
 慮した破堤氾濫流量公式の検討、土木技術資料、
 Vol138、No. 11
- 2) 氾濫シミュレーション・マニュアル（案） 土木研
 究所資料第 3400 号 平成 8 年 2 月
- 3) 浸水想定区域図作成マニュアル 平成 13 年 7 月国
 土交通省河川局治水課
- 4) 洪水ハザードマップ作成要領 解説と作成手順例 平成
 14 年 9 月 財団法人河川情報センター