

洪水危険度評価地図について
On the flood risk mapping

建設省土木研究所 正員 吉野文雄
建設省熊本工務所 正員 山本雅史
建設省土木研究所 正員 ○吉川勝秀

はじめに

我国では、古来治水施設の拡充を図りながら氾濫原内の土地利用を高度化してきた。かつては、洪水の危険度に応じた土地利用が行われてきたといえる。ところが、近年では大規模な治水対策が実施されたことにより、氾濫原に居住する人々の洪水の危険性に対する認識が薄れつつあり、一旦氾濫が生じると大きな被害が生じるようになってきている。

洪水被害は、その時点の治水施設のもとで安全に流下させうる以上の降雨流出があった場合に生じる。そのような降雨流出（洪水）は、通常は異常洪水あるいは超過洪水と呼ばれている。一般に、治水施設の規模の向上には限りがあり、かつ目標とする施設が完成するまでには長い年月が必要である。計画が完成したとしても、その施設の規模を上回る超過洪水は生じうるし、また完成までの途中段階においては、超過洪水にみまわれる可能性がさらに高い。したがって、いつの時点においても、超過洪水を考慮に入れた治水計画あるいは土地利用を考える必要があるといえる。

本文は、洪水（水害）危険度を評価する手法について検討したものであり、洪水危険度評価地図の作成方法、作成された洪水危険度評価地図の特徴およびそれと治水計画との関連について検討を加えたものである。洪水危険度評価地図は、超過洪水を考慮に入れた治水計画、土地利用計画を検討する際の基本となるものである。

1. 洪水危険度評価地図の位置づけ

洪水危険度評価地図の作成について論じるにあたり、超過洪水生起頻度および治水対策との関連において、洪水危険度評価地図の位置づけを明確にしておきたい。

超過洪水の生起する確率は、次のように示される。被害を生じさせないで安全に流下させうる洪水の規模を F_0 とし、洪水流出 F_0 を生じさせる降雨のリターン・ペリオドを T_0 年とすると、確率平均としてみた超過洪水の再現期間は T_0 年である。一方、治水施設の規模を F_0 とし、 T 年間その施設が利用されるとすると、その期間内に超過洪水が生じる確率 P は次式で与えられる¹⁾

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_0} \right)^T \dots\dots\dots(1)$$

したがって、例えば大河川で当面の目標とされている戦後最大洪水の平均的なリターン・ペリオドを40年と仮定し、それに対処しうる施設が40年利用されたとすると、確率 P は0.63となり、超過洪水の生起する可能性は相当大きいことがわかる。しかも、戦後最大洪水に対する河川の整備率は、1981年時点で58%といわれている。

次に、超過洪水が生じた場合の被害についてみると、洪水被害額 D および年平均被害額 $\overline{D}$ は次のように表示される²⁾

$$D = D(F, F_0, S) \dots\dots\dots(2)$$

$$\overline{D} = \int_{F_0}^{\infty} Pr(F) \cdot D(F, F_0, S) \cdot dF \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 F ：洪水流出量、 F_0 ：治水施設の規模、 S ：被害ポテンシャル、 $Pr(F)$ ： F の生起確率密度関数である。

洪水被害は、洪水氾濫が生じ、かつその区域内に資産が存在する場合に生じる。したがって、超過洪水が生じた場合の被害を知るためには、降雨規模ごとの浸水状況および被害ポテンシャルの分布状況を知る必要がある。浸水状況図に関しては、我国でもその公示が行われ始めており、また米国では氾濫原管理のために100年洪水に対する浸水予想区域の線引きが行われている³⁾。洪水被害額は、治水経済調査要綱により直接被害額の算定が可能である。^{2), 4), 5)} 米国においても類似した算定が行われている。⁴⁾

浸水状況図は、超過洪水により浸水する区域および浸水深等により、洪水被害の生じる可能性のある区域を示すものである。洪水被害額分布図は、さらに被害ポテンシャルを考慮に入れて、被害額そのものを示すものである。これらの洪水危険度評価地図を治水対策との関連でとらえてみると、表一に示される総合的な治水計画に含まれる対策のうち、被害ポテンシャル調整を考える上できわめて有効な手段であると考えられる。

2. 洪水危険度評価地図作成の方法

洪水危険度評価地図の作成にあたり、筆者らは次の四つの方法について検討を行っている。第一の方法は、地形学的に氾濫原を調べ、さらに自然堤防あるいは旧河道といった微地形に着目することにより浸水の可能性を知ろうとするものであり、これを地形学的方法 (Geomorphological approach) と呼ぶことにする。第二の方法は、既往の実績氾濫に基づくものであり、既往洪水による方法 (Historical approach) である。第三の方法は水理・水文学的な解析による方法 (Hydrological-hydraulic approach) である。第四の方法は、水理水文学的な方法による浸水区域の推定に加えて、式(2)、(3)により被害額をも算定する方法 (Damage approach) である。

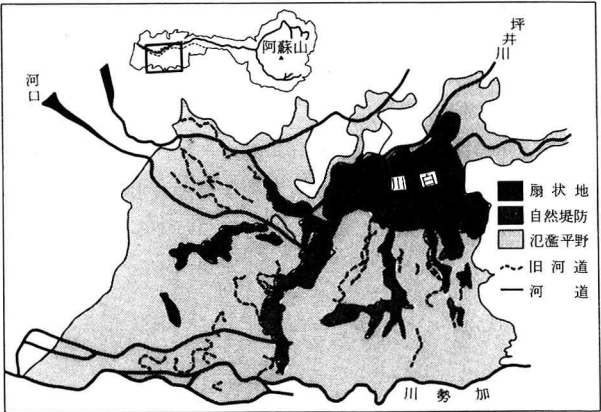
以下に、それぞれの手法の考え方、および洪水危険度評価地図の事例を示す。

1) 地形学的方法による洪水危険度評価地図

流域の地形は、地形学上何種類かの地形単位に分類される。^{6), 7)} それらのうち、氾濫原 (扇状地、三角州、自然堤防、氾濫平野等) は上流から運搬された土砂が低地に堆積することにより形成されたものである。この地域は、過去に氾濫が発生した場所であり、今後もその可能性がある。氾濫原内においても、旧河道や後背湿地等の相対的に低い区域では浸水危険度が高く、自然堤防等の砂質微高地ではその危険度は低い。これらの個々の地形単位は微地形と呼ばれている。氾濫原内の古い村落あるいは道路が自然堤防上に発達していることは広く知られている。地形学的方法の詳細については他の文献に譲ることにして、^{6), 7)} 地形学的方法による洪水危険度評価地図の

表一 総合的な治水計画の考え方

洪水の変形	被害ポテンシャルの調整	被害の調整	無対応
洪水防御	土地利用の誘導・規制	洪水予警報	被害甘受
堤防	土地利用規制	水防活動	
河川改修	宅地開発指導	緊急対応	
放水路	建築基準	避難	
貯水池	公的な土地の買収	災害救助	
高潮堤	補助による再配置	復旧計画	
		公的援助	
流域処理	建築物の耐水化	洪水保険	
流出抑制	低位開口部の閉そく	税金の免除	
(雨水貯留、地下浸透)	高床建築物		
遊水機能保全	盛土		
再植林	耐水外装・家具		
侵食対策	下水の逆流防止弁		
気象修正			



図一 地形分類図 (白川下流域)

例を示すことにする。

図-1は白川(流域面積約480km²)の下流に位置する氾濫原の地形分類図であり、氾濫原が河川の左岸に広く分布し、その内部の3箇所で大規模な自然堤防が発達していることがわかる。現在の白川は天井川であり、氾濫水が左岸に流入した場合には、氾濫水は旧河道跡の相対的に低い区域に集中しながら流下すると推定される。したがって、その区域の浸水危険度は大であり、逆に大規模な自然堤防上は相対的に安全性が高いことがわかる。図に等高線を記入すれば、さらに詳しく氾濫水の挙動を推定することができる。

図-2は、都市化が急激に進んでいるA川(流域面積約35km²)の地形分類図であり、河川沿いの低地においては同様に浸水の危険性があることがわかる。

2) 既往洪水による方法の洪水危険度評価地図

既往の氾濫を伴う洪水の際の浸水区域から、浸水の危険性を推定することができる。図-3、4はそれぞれ白川およびA川の浸水実績図である。

白川は2日降雨の超過確率約1/30程度の降雨により氾濫が生じると推定されている。図-3に示した浸水実績は、超過確率約1/150というきわめて大規模な洪水によってもたらされたものである。図中には最大浸水位が示されており、扇状地部分(図中右上)ではきわめて強い流れが生じるとともに浸水深が大きい、たん水継続期間は短い。氾濫原内の旧河道沿いは浸水深が大きく、氾濫水の流路となっている。相対的に高い自然堤防上では浸水が見られない。図-1と図-3を対比すると、地形分類図から読み取れる浸水危険度の高い区域での浸水が顕著であることが知られる。

図-4にはA川での既往の三洪水の浸水実績を示した。それぞれの洪水の1日降雨量の超過確率は、約1/50(1958年洪水), 約1/20(1981年洪水), 約1/3(1979年洪水)であり、これらより降雨規模ごとの浸水区域を推定することができる。また、図-2と図-4を対比す

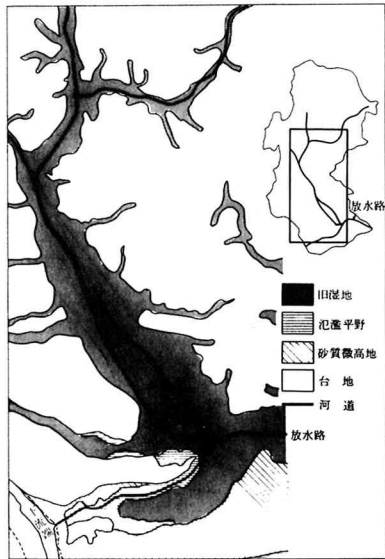


図-2 地形分類図(A川)

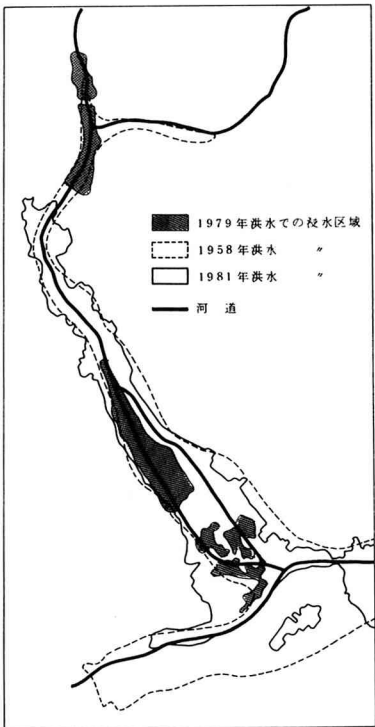


図-4 浸水実績図(A川, 1958年, '79年, '81年洪水)

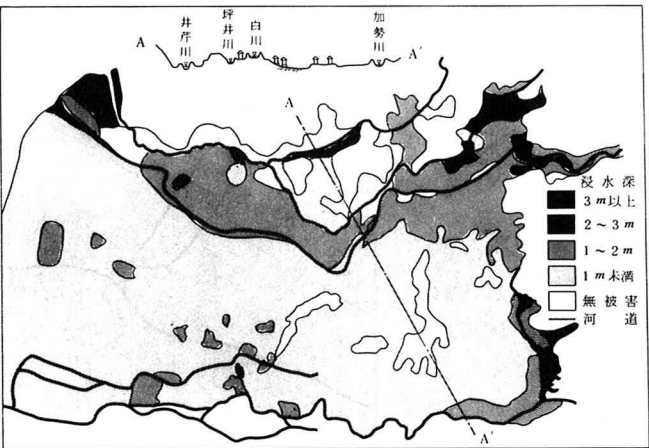


図-3 浸水実績図(白川, 1953年洪水)

ると、地形分類図上の氾濫原での浸水危険度をさらに詳しく知ることができる。

既往実績洪水データが多数ある河川では、降雨量についての統計解析を行うことにより、降雨規模（降雨確率）ごとの浸水区域をより詳細に解析することも可能である。

3) 水理・水文学的方法による洪水危険度評価地図

降雨流出解析を行った後、河道からの越流計算と氾濫原内の水の移動計算を行うことにより、浸水区域を求めることができる。A 川を対称とした解析において用いた水理モデルおよび水文モデルを図-5 に示した。A 川は無堤であることから、表に示されるような河道および氾濫原を一体とした取り扱いが可能である²⁾。有堤河川での氾濫水の挙動の解析には、平面タンクモデル等が用いられる^{8)~10)}。

A 川での解析では、地形分類図および大縮尺地形図 (Topographical map) を基礎データとして氾濫原を分割し、既往損失実績を検証データとして用いることによりモデルを同定した。図-6 に現況河道のもとで 30mm/hr, 50mm/hr, 70mm/hr, 90mm/hr 強度の中央集中型降雨が降ったとした場合の浸水区域を示した。それぞれの降雨の超過確率は約 1/1, 約 1/3, 約 1/10, および約 1/30 である。図より、A 川では 30mm/hr 強度の降雨ですでに一部の区域で浸水が生じることがわかる。また降雨強度が増すことにより浸水区域がどのように拡大していくかを知ることができる。下流域では 50mm/hr 強度降雨で初めて浸水が生じているが、これは下流域において河川改修が行われたためである。

水理・水文学的方法を用いた場合には、降雨規模ごとの浸水状況が明らかとなるばかりでなく、河川改修といった治水対策の影響、あるいは流域の都市化の影響を考慮に入れることが可能である。

4) 被害による方法の洪水危険度評価地図

洪水被害額は、特別に大きい流速の生じる区域を除くと、浸水深と被害ポテンシャルから算定することができる^{2), 4), 3)}。したがって、水理・水文学的方法により求められた浸水深と被害ポテンシャル調査

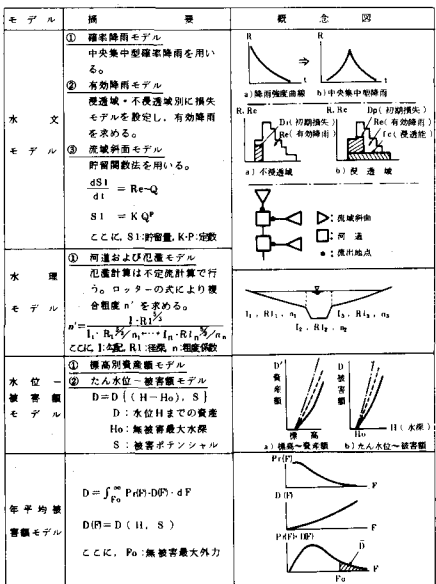


図-5 流出・氾濫、被害解析モデルの例^{2), 12)}

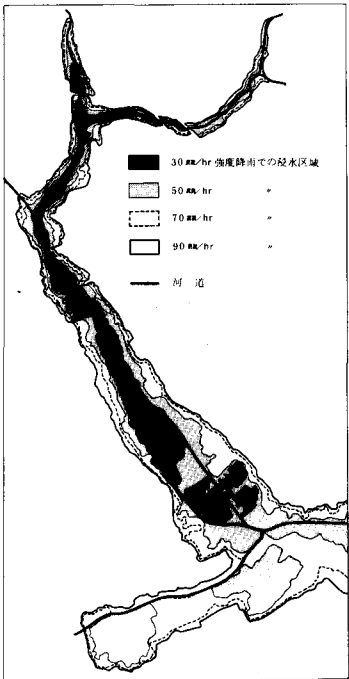


図-6 水理・水文解析モデルにより求めた浸水図 (A 川, 1980 年時点)

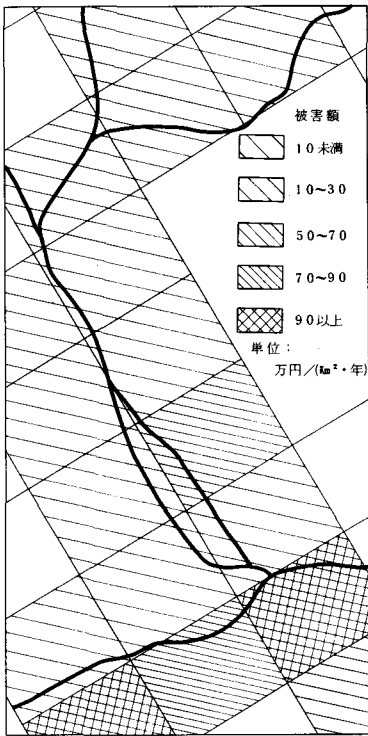


図-7 年平均洪水被害額の分布図

の結果を用いることにより、その分布状況を推定することが可能である。式(2)に基づいた計算からある¹¹⁾洪水時の被害額の分布を求めることができ、式(3)を用いれば年平均被害額の分布を推定することができる。図-7は、A川において1Km²メッシュごと1年平均被害額を算定し、その分布状況を示したものである。図-6と図-7を対比すると、浸水の危険性の高い区域は中流域であるのに対し、年平均被害額は下流域で大きくなっていることがわかる。これは、下流域の被害ポテンシャルが中流域のそれに比較して大きいためである。

3. 洪水危険度評価地図の特徴

洪水危険度評価地図作成手法の概要とそれぞれの手法に基づいて作成された洪水危険度評価地図を例示した。以下では、それぞれの手法に基づく洪水危険度評価地図の特徴および適用範囲について検討する。

表-2は、上に述べた四つの手法に基づく洪水危険度評価地図の基本的な特徴、有効性、治水計画との関連および洪水危険度評価地図作成のための主要データを示したものである。表に記した特性は、各手法に基づく洪水危険度評価地図が基本的に内包するものである。地形学的方法是主として定性的な浸水の危険性を示すものであり、定量的な評価は今後の課題である。この方法は、我国のように河川の流路が固定され、かつ大規模な治水対策が実施されている流域では、小規模な超過洪水に対しては信頼性が低く、きわめて大規模な超過洪水に対してのみ有効であろう。東南アジア等の自然状態に近い河川流域に対しては有効と考えられる。

既往実績洪水によるものは信頼性が最も高い。しかし治水対策の効果、あるいは流域の都市化による流出への影響が大きい場合には、それらを十分に考慮することができないと言う欠点がある。また十分な既往洪水データがない場合には、降雨規模ごとの浸水区域を定めることができない。

水理・水文学的方法あるいは被害による方法に基づく場合には、洪水危険度を浸水位や被害額で定量的に予測することが可能であり、かつ治水対策の効果や流域の都市化の影響を反映させることができる。図-8には、A川において1958年から1979年までの流域の都市化および河川改修が浸水に与える影響を分析した結果を示した。¹²⁾図には、流域の都市化に起因した降雨流出の増大のために浸水位が上昇すること、また下流域を中心とした河川改修により大幅に浸水位が低下することが示されている。同様に、流域の都市化により氾濫原の土地利用が高度化したことによる被害額の増加や治水対策による被害の軽減についても分析することができる。²⁾このような分析を行うと、大河川では河川改修や貯水池の建設、農業排水施設の整備による流出の変化、河川堤防による氾濫の防止等による影響が無視できず、また都市化が顕著な中小河川では流出の変化や治水対策の効果が大きいことが知られる。したがって、我国の多くの河川流域の洪水危険度評価地図の作成には、水理・水文学的

表-2 洪水危険度評価地図の特徴

基本項目 方法	基本的な特性	有効性	治水対策との関連	主要データ
地形学的方法	・氾濫水の移動を定性的に推定できる ・地形に注目することにより、危険度のランクづけができる ・洪水規模との定量的な対応づけがむずかしい ・治水対策、流域の都市化の影響が反映されない	・自然状態に近い流域全体 ・氾濫原内の水の移動 ・治水容量を大きく上回る異常洪水時の浸水	・土地利用の誘導等の氾濫原管理(定性的) ・水防	・地形分類図 ・地形図 ・航空写真 ・洪水実績図 ・e.t.c.
既往洪水による方法	・実績なので信頼性が高い。(治水対策、流域の都市化の影響が無視しうる場合) ・実績データが多い場合には、降雨規模ごとの浸水区域が定まる ・治水対策、流域の都市化の影響が反映されない	・治水対策、流域の都市化の影響 ・浸水区域の推定	・土地利用の誘導(盛土、耐水化含む)等の氾濫原管理 ・水防	・地形図、地形分類図 ・航空写真 ・降雨流量データ(頻度解析に用いる) ・河道・堤防縦断面図 ・河道・氾濫原横断面図 ・e.t.c.
水理・水文学的方法	・降雨規模ごとの浸水区域を求めることができる ・治水対策、流域の都市化による影響を反映しうる	・あらゆる流域 ・浸水の予測	・土地利用の誘導等の氾濫原管理(定性的) ・治水対策の効果の把握 ・水防	・地形学的方法で用いるデータ(定性的な特性の把握) ・既往洪水による方法で用いるデータ(モデルの検証) ・雨量観測
被害による方法	・基本的には水理・水文学的方法と同じ ・上流の都市化が洪水被害の可能性を示すのに対し、洪水危険度を被害額で直接的に評価しうる	・あらゆる流域 ・被害額の予測	・土地利用の誘導等の氾濫原管理 ・通常の治水対策の効果の評価 ・超過洪水対策の評価	・水理・水文学的方法で用いるデータ ・被害ポテンシャルデータ ・被害率

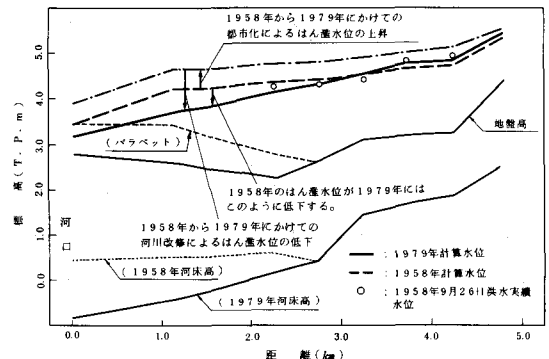


図-8 流域の都市化、河川改修による浸水位の変化 (A川、1958年洪水の雨量に対する浸水位)

方法あるいは被害による方法が有効であるといえよう。ただし、これら二つの方法を用いて洪水危険度評価地図を作成する上では、水理・水文モデルの精度向上、被害算定モデルの精度向上が必要である。

4. ま と め

超過洪水は計画完成後においてもある確率で生起する可能性があり、計画完成までの途中段階においてはさらに多頻度に生起する可能性がある。このことから、超過洪水を考慮に入れた治水計画が必要であるといえる。本文では、そのための有効な手段の一つと考えられる洪水危険度評価地図について検討した。

洪水危険度評価地図の作成方法として、地形学的方法、既往洪水による方法、水理・水文学的方法および被害による方法を提示した。そして、それぞれの手法に基づく洪水危険度評価地図を例示し、それらの特徴を述べるとともに、相互の比較を行った。その結果、大規模な治水対策が実施された流域や都市化が顕著である流域では、水理・水文学的方法あるいは被害による方法が有効であることが明らかとなった。これら二つの方法に基づく洪水危険度評価地図の作成においては、地形学的方法による結果は浸水状況を定性的に把握し、氾濫原を分割するために用いる。また既往洪水による方法による結果はモデルを検証する上で活用する。

洪水危険度評価地図は、土地利用の誘導あるいは建築物の耐水化、盛土といった氾濫原の土地利用管理計画、水防、避難計画等に対しても有効であり、また氾濫原に居住する人々が治水の実状を認識する上でも役立つ。水理・水文学的方法および被害による方法は治水対策の効果の評価を行う上でも有効である。これらのことから、洪水危険度評価地図が広く活用されることが望まれる。

最後に、本文をまとめる上で国土地理院赤桐毅一氏（現国土庁）に有益な助言を頂いたことを記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 矢野勝正編：水災害の科学，技報堂，1971
- 2) 山口高志・吉川勝秀・角田学：都市化流域における洪水災害の把握と治水対策に関する研究，土木学会論文報告集，№313，1981
- 3) Department of the Army Office of the Chief of Engineers：A Perspective on Flood Plain Regulations for Flood Plain Management, Washington, D.C. 20314, 1976
- 4) 山口高志・吉川勝秀・角田学：治水計画の策定および評価に関する研究(Ⅰ)，土木研究所報告，№156，1981
- 5) 建設省河川局：治水経済調査要綱，1968～'80および水害統計，1962～'68
- 6) 大矢雅彦：水害地形分類図と伊勢湾台風による水害，地理調査所時報，№24，1960
- 7) Takekazu Akagiri：Geomorphological Mapping for Prediction of Flooding, Japan International Cooperation Agency, 1981
- 8) 建設省庄内川工事々務所：庄内川洪水防御システム策定報告書（概要版），1977
- 9) 石崎勝義・大村善雄：低平地河川の治水方式について，第25回水理講演会論文集，1981
- 10) 大達俊夫・水橋誠・泊耕一：洪水避難システムの検討について，第33回建設省技術研究会報告，1979
- 11) 吉野文雄・中島輝雄：氾濫計算結果を利用した浸水危険度評価法に関する一検討，第35回土木学会講，1980
- 12) 吉野文雄・吉川勝秀・中島輝雄：流域の都市化に起因する洪水災害の変化，第25回水理講演会論文集，1981
- 13) 木村俊晃：狩野川洪水の検討－異常災害に如何に対処するか－，土木研究所報告，№106，1960
- 14) 吉川秀夫：河川災害と改良復旧，季刊防災，№47，1974
- 15) 石崎勝義：超過外力と河川計画，土木技術資料，№17，№4，1974
- 16) 吉川秀夫・吉川勝秀：計画超過洪水を考慮する水資源計画に関する考察，土木学会論文報告集（投稿中）