

直轄・補助区間の安全度バランス評価手法 に関する研究

A STUDY ON A METHOD FOR EVALUATING THE BALANCE OF SAFETY FROM FLOODS IN RIVER SECTIONS UNDER THE CONTROL OF CENTRAL AND PREFECTURAL GOVERNMENTS

調査第一部 主任研究員 庄司 強

治水の目的は、洪水による被害を防除もしくは最小化することであり、一般的には氾濫区域の重要度に
応じて河川改修の計画規模を定めて、計画的に河川の改修を実施している。しかしながら、突発的な河川
災害や浸水被害の発生によって、必ずしも計画的に進まない場合もある。

本検討は、このような歴史的な改修の結果として存している河川の水系全体としての治水安全度を評価
し、今後の河川整備の方策に反映することを目的として、実施したものである。

具体には、現況治水施設下における治水安全度を評価するとともに、河川整備計画において予定されて
いる支川補助区間の施設整備が、本川直轄区間へ及ぼす影響を治水安全度の観点から評価し、河川整備計
画で予定されている施設、整備の手順等の妥当性について検討を実施した。

また、これらの一連の検討を通じて、現在標準化されていない治水安全度バランスの評価手法について
とりまとめを行った。

Key Words: 河川整備計画、治水安全度、バランス

1. はじめに

一般に、治水計画の規模は、氾濫原の重要度（面積、
人口、資産、工業出荷額等）によって定められており、
通常は、人口・資産の稠密な氾濫原は下流域に存してい
ることが多いために、下流域の方が計画規模が高い場合
がほとんどである。

一級水系は、河川法に基づき、国土保全上または国民
経済上の重要性の観点から、国土交通大臣が直轄管理す
る大臣管理区間（直轄区間）と都道府県知事が管理をす
る指定区間（補助区間）に区分されており、下流河道区
間は、直轄において管理され、上流もしくは支川河道区
間は、県管理で計画の立案並びに治水施設の整備が行わ
れている。

直轄管理区間と県管理区間の治水計画上の整合は、水
系として被害を最小にするという観点から、上述したよ
うに一様な治水安全度の設定を行うのではなく、氾濫原
の重要度に応じた治水安全度を設定することによって保
たれているが、計画の対象とする降雨現象の時間的・空
間的スケールが異なるために、通過流量の観点から評価
した場合には、必ずしも整合が図れているとは言い難い

場合がある。このような場合には、直轄区間と補助区間
の異なる管理者間で合流部の計画高水流量の整合を図り、
治水計画の水系としての一貫性を保っている。

本検討では、河川整備の主体や事業進捗の違いにより、
治水安全度バランスの不均衡が懸念される山梨県甲府盆
地内を流下する富士川を対象に、本川直轄・支川補助区
間の治水安全度の現状を解明することで課題を抽出し、
ケーススタディーから得られた成果をとりまとめること
で、評価手法の標準化を図ることとした。

2. 検討対象とした富士川の概要

富士川は、幹線流路延長 128km、流域面積 3,990km²の
一級水系である。

富士川流域は、南アルプス、八ヶ岳、秩父山地等の
3,000m 級の急峻な山々に囲まれ、大臣管理区間の平均河
床勾配が 1/240 という急流河川であり、最上川、球磨川
と並んで日本三大急流の一つに数えられる。

甲府盆地の平地部は、御勅使川等の幾つかの河川が
造った複合扇状地から成っており古来から甲府盆地の平
地部で田畑を耕し、家を構えて安心して生活するには、
河川が氾濫しないように、堤防や水制などの治水施設を

整備する必要があった。

「河を治める者が国を治める」と言われるが、平地の少ない甲斐の国では言葉のとおり治水の成功こそが領国の安定の基本であった。

甲斐の国の領主であった武田信玄(1521～1573)が行った治水事業は、有名で、なかでも、“出し”と“霞堤”などを組み合わせた信玄堤や水害防備林と霞堤を組み合わせた万力林は、伝統的治水施設として現存し、所要の治水機能を発揮している。

現在、笛吹川と釜無川には、40箇所の霞堤が現存し、治水機能として、本川水位上昇時における霞堤部への背水による水位低減効果や氾濫した場合の氾濫水の河道戻りによる氾濫被害を軽減する機能が考えられ、河川整備計画においては、今後も霞堤を保全することを基本としている。

上述したような治水への努力により富士川(釜無川)と笛吹川に挟まれた氾濫平野部には、市街地が進展しており、釜無川・笛吹川本川の管理者は、国土交通省。市街地を流下する笛吹川の右支川荒川、濁川、平等川は、山梨県が管理者として鋭意計画的な河川整備が行われている。

資産・人口が多く集まる甲府市街地は、釜無川、笛吹川(直轄区間)と荒川、濁川等(補助区間)の浸水想定区域が重複しており、洪水被害の防除、最小化という観点から、直轄区間、補助区間のバランスのとれた整備が望まれている。流域図を図-1に、上流部の市街化状況を図-2に示す。



図-1 富士川流域図¹⁾

3. 検討の基本的な考え方

本検討では、人口・資産等の稠密な氾濫原を有する富士川本川清水端上流の直轄区間と甲府市街地を流下する支川補助区間(荒川、濁川、平等川)を対象範囲として、正確な治水安全度の把握を行うとともに、課題の抽出を行い、施設整備の手順などの方向性を示すことを目的として検討を行った。

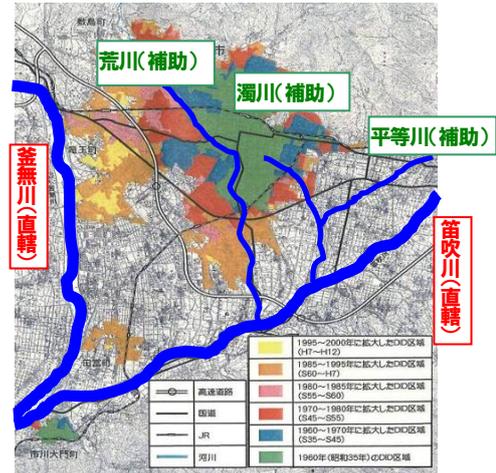


図-2 直轄と補助管理区間と市街地の関係¹⁾

治水安全度の評価は、破堤氾濫等を生じさせない洪水規模という観点から、計画高水位等の基準水位を超過する水位確率により、表すこととした。

そのため、検討にあたっては、まず治水の実態を把握するために使用する道具として、流出計算モデル及び河道水位計算モデルを用意する必要がある。

そして、水位確率により治水安全度を評価することから、モデルには、ダムや施設整備等の効果を表現できる流出モデルと直轄・補助区間の河道内の水位を時間変化の中で連続的に追跡できることが求められ、そのため不定流計算を組み合わせる全体のモデル構築を行うことを基本とした。

なお、本川水位への影響は、小さいと思われるものの現存する霞堤の影響も考慮することとした。

具体的には、対象範囲に現存する霞堤の本川水位に影響を及ぼすと思われる霞堤部への本川からの背水や流入支川からの氾濫戻り現象をモデルに組込むこととした。

また、河川整備計画において、現存する霞堤は、霞堤の有する治水機能を踏まえ今後も保全していくことを基本としているが、一方で、霞堤内における浸水被害も生じており、具体的な保全方策の検討が必要である。

そのため、各霞堤を対象として治水安全度の評価も併せて行い実態を把握することとした。

これらを踏まえ、使用するモデルは、不定流モデルとし、対象範囲は、人口・資産等の稠密な氾濫原を有する釜無川、笛吹川(直轄区間)と支川荒川、濁川、平等川(補助区間)の図-3に示す範囲とした。

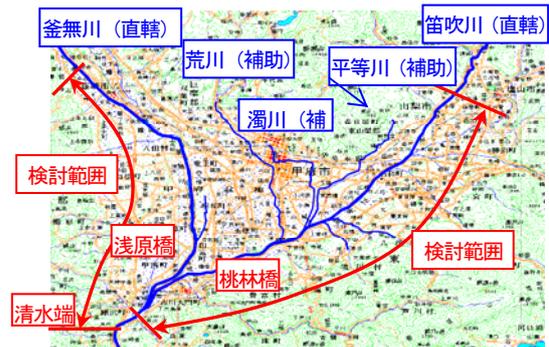


図-3 富士川検討対象区間

4. モデルの改良

検討に使用するモデルは、直轄区間の高水計画において用いられていたモデルを改良して使用することとした。

高水計画で用いられていたモデルが、治水安全度バランス検討を行うのに適切なモデルかどうかを確認し、必要に応じて、流出現象を精度良く反映するモデルへ改良することで、検討精度を確保することとした。

既往のモデルを確認の結果、流出モデルにおいては、検討対象としている各支川補助区間からの流出量が把握できない点や河道モデルにおいては、霞堤部の背水や天端越水等の水理現象を考慮していない点の課題があった。

そのため、モデルに下記の具体的な要件を求め、改良することとした。

- ・ 直轄区間の釜無川、笛吹川及び補助区間の主要支川が同時に解析でき、互いの水位・流量の変化に対する影響が連続して考慮できること。
- ・ 直轄区間と補助区間の河川改修による効果や影響が考慮できること。
- ・ 上流区間での越水・氾濫による下流区間への流入量の減少、これに伴う河道水位の低減等も考慮できること。
- ・ 河川から霞堤への越水や霞堤から河川への戻り等も考慮できること。

上述の必要要件を満たしたモデルの改良が必要となるが、特に、治水安全度バランスの把握において着目している釜無川、笛吹川に挟まれる甲府市街地からの流出・河道現象が精度良く算出できるよう念頭におき、モデル改良を行った。

上述の必要要件を満たすために以下の点を改良した。

(1) 流出モデル

各支川補助区間からの流出量が表現できるように図-4に示すとおり流域分割を細分化した。

- ・ 甲府市街地を流下する補助区間の3支川（荒川、濁川、平等川）流域の分割
- ・ 霞堤に流入する支川（常永川、浅川、境川）の流域分割

(2) 河道モデル

- ・ 直轄区間と支川補助区間を接続しネットワーク化した1次元不定流モデルとした。
- ・ 霞堤をモデル化し、河道モデルに接続した。
- ・ 河道からの氾濫域への氾濫モデルとした。

これらの改良を行い、モデルの妥当性を近年の主要洪水を対象として検証したところ、痕跡水位や基準地点での観測水位、観測流量の実績を概ね再現していた。

また、検討の対象としている支川補助区間合流部における水位についても十分に再現されていた。

これらのことから十分な適用性を有すると判断し、改良したモデルを使用し検討することとした。

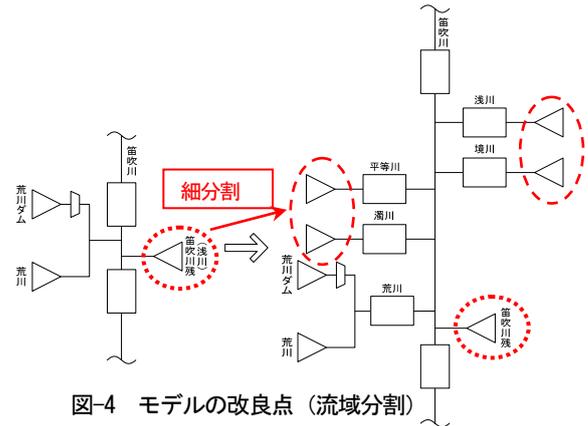


図-4 モデルの改良点（流域分割）

5. 治水安全度の把握

治水安全度の把握を行うにあたり、検討の材料となる検討対象降雨は、治水安全度バランス評価が、様々な降雨事象下での相対的な安全度比較であることから、偏った空間分布での単一の降雨により評価をすることは、不適切であると考え、富士川流域における実績降雨の時空間分布を整理し、降雨の空間的な特性を把握したうえで、複数の降雨時空間分布を用い平均的に評価することのできる、総合確率方式を用い、河道水位を算出することとした。

改良したモデルに、総合確率手法による複数の降雨パターンをあてはめることにより、様々な降雨のもとでの、河道の水理現象をシミュレーションした。

そして、図-5に示す手順により、各降雨パターンの評価水位に達する河道水位の生起確率を求め、平均化することで治水安全度を表現することとした。

評価水位は、洪水流を安全に流下させることのできる、計画高水位評価と計画堤防に対する断面形状を考慮したスライドダウン評価とし、評価対象区間の治水安全度を適切に把握するために、対象河道区間において、ピーク流量を生起させる支配時間毎に安全度を評価し、本川と支川を適切に評価することとした。

具体には、複数の洪水パターンを複数確率規模に引き伸ばし、確率規模別雨量によるハイドロ（貯留関数法による流出計算結果）を河道モデル（一次元不定流計算による河道計算）に与えることで、各計算ケースにおけるピーク水位を計算する。

その結果をもとに、対象河道区間において、ピーク流量を生起させる支配時間毎の洪水パターン別に任意の評価水位に達する確率規模を求め、それを平均化することで、ある断面の評価水位に対する治水安全度を算定した。

一連の検討手法により、算出された各断面の治水安全度を縦断的に整理し比較することで、本川直轄区間と支川補助区間の治水安全度バランスを把握することとした。

また、霞堤部の治水安全度の把握では、浸水原因を分

析し、治水安全度の評価を行った。

検討の結果、治水安全度の評価は、以下のとおりであることが、明らかとなった。

治水安全度を図面表記したものを図-6 に示す。

(1) 現況の施設状況下での治水安全度バランスの把握

- 直轄区間、釜無川及び笛吹川の治水安全度は、相対的に以下の区間が低い。
 - 釜無川、笛吹川の合流点下流
 - 笛吹川上流石和付近
- 補助区間、支川荒川、濁川の治水安全度は高く、平等川の治水安全度は、低い。
- 直轄区間と補助区間の治水安全度バランスは、支川補助区間平等川で相対的に低い。

(2) 河川整備計画による施設整備後の治水安全度バランスの把握

河川整備計画による施設整備が、支川補助区間で先行的に実施された場合、下流直轄区間への流量増の影響により治水安全度バランスが崩れることが、懸念される。

そこで、施設整備計画と順序の2つの観点より、治水安全度の評価を行った。

その結果、支川補助区間の施設整備による直轄区間の治水安全度への影響は、以下のとおりであることが、明らかとなった。

- 荒川、濁川の現況治水安全度は、高く、ほとんどの区間で直轄区間並みの安全度をもっており、一部の区間が改修されたとしても直轄区間への流入量に、大きな変化はなく、影響は生じない。
- 平等川の現況安全度は、相対的に低く 1/30 程度である。そのため改修により直轄区間への流入量が、増加することとなるが、増量は、30m³/s 程度であり、直轄区間の治水安全度への影響は小さい。

補助区間の先行的な施設整備による、直轄区間の治水安全度及び本支川の治水安全度への影響は、小さい。

(3) 霞堤部の安全度評価

- 治水安全度は、本川水位が 1/20 確率規模の水位になった場合、背水によりほとんどの霞堤部の開口部が浸水することが明らかとなった。
- 霞堤部の浸水原因は、本川の背水のみで浸水する箇所、本川の背水と流入支川の流下能力不足により浸水する箇所、流入支川の流下能力不足のみで浸水する箇所の3パターンがあることが明らかとなった。

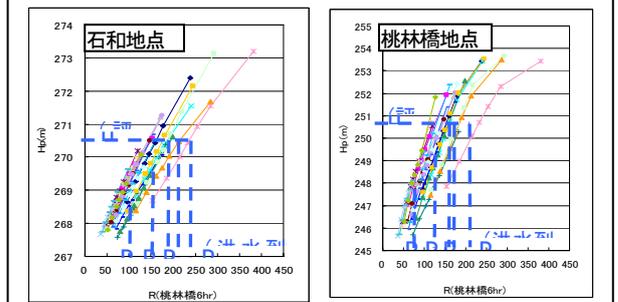
①確率雨量の算出 ⇒ 清水端 2 日雨量、清水端 9hr 雨量、桃林橋 6hr 雨量、浅原橋 6hr 雨量、荒川 4hr 雨量の確率規模別雨量の算定。

②雨の引伸ばし ⇒ 対象 21 洪水を清水端 2 日雨量で確率規模別に引伸ばす。
(7 ケース : 1/5、1/10、1/20、1/30、1/50、1/100、1/1000)
引伸ばし雨における清水端 9hr 雨量、桃林橋 6 時間雨量、浅原橋 4hr 雨量、荒川 4hr 雨量を求める。

③流出計算 ⇒ 21 洪水を清水端 2 日雨量で確率規模別に引伸ばした雨を用いて、流出計算を行う。

④河道計算 ⇒ 流出計算で求めたハイドロを用いて、21 洪水パターン 7 確率規模の計 147 ケースの不定流計算を行い、各断面におけるピーク水位を算出する。

⑤ピーク水位～洪水到達時間雨量の関係作成
各断面において、21 洪水パターン別のピーク水位とそのときの洪水到達時間雨量の関係を作成する。(洪水到達時間雨量：釜無は浅原橋 6hr 雨量、笛吹は桃林橋 6hr 雨量、合流点より下流は清水端 9hr 雨量、荒川等支川は荒川 4hr 雨量)
⑥評価水位に達する洪水到達時間雨量の算出
各断面において、洪水パターン別の評価水位に達する洪水到達時間雨量を求める。



⑦評価水位に対する確率(安全度)の算定
各断面において、各洪水パターンで評価水位(スライドダウン評価高)に達する日雨量を対象とするのではなく対象区間においてピーク流量を生起させる洪水到達時間雨量に対応した確率規模を求め、21 洪水分の確率を平均し、評価水位に対応する確率(安全度)を求める。

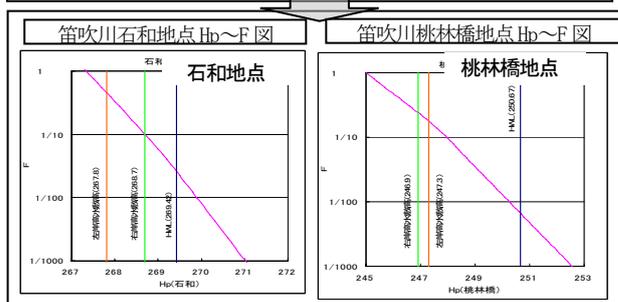
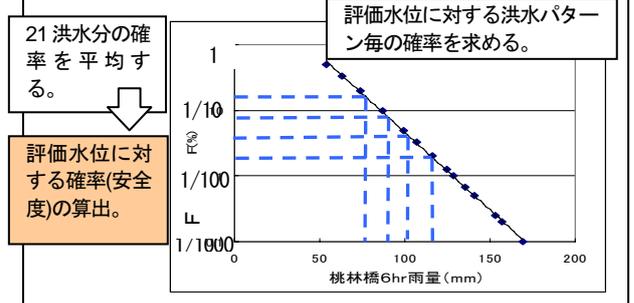
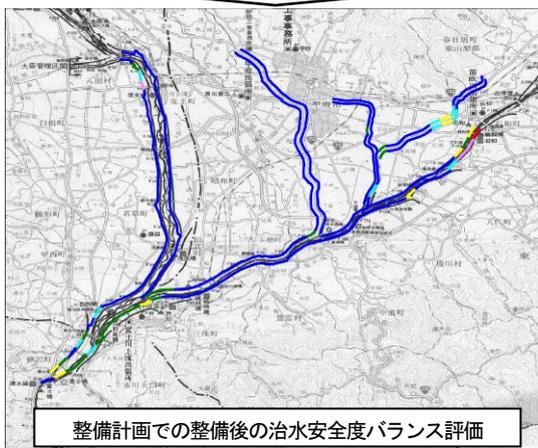
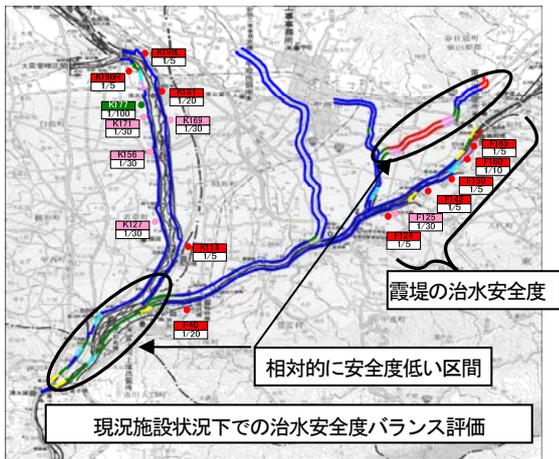


図-5 治水安全度の算出方法



色区分	治水安全度
赤	1/20 \geq (確率規模) で危険な区域
桃	1/20 < (確率規模) \leq 1/30 で危険な区域
黄	1/30 < (確率規模) \leq 1/50 で危険な区域
緑	1/50 < (確率規模) \leq 1/80 で危険な区域
青	1/80 < (確率規模) \leq 1/100 で危険な区域
藍	1/100 < (確率規模) で危険な区域

図-6 上段：現況施設状況下の治水安全度バランス
下段：整備計画での整備後の安全度バランス

6. 治水安全度の表記方法

直轄・補助区間の治水安全度バランスの把握を行うという観点から直轄流域を対象とした清水端でピーク流量を生じるような時空間スケールの大きい降雨を用いて治水安全度を表記をした。

しかしながら、流域住民にとっての密接な地先の河川の治水安全度を表現するという観点では、対象とした降雨の時空間分布に課題がある。

これは、直轄区間で用いる時空間スケールの大きい、清水端上流域2日雨量の降雨確率をそのまま支川（補助区間）で表記すると、対象とする時空間スケールが異なることから、住民に身近な支川補助区間では、安全度の高い評価に受け取られ、誤解を招く可能性があるからである。

この課題を解決するため、更に下記の二つの方法にて

評価・表記を試みた。

(1) 県（補助区間）計画の確率規模相当の雨量での表記

清水端上流域と支川県計画における2日雨量1/100確率規模の雨量は、清水端上流が、321mmに対し、支川県計画では、381mmであり、同じ確率規模の雨量でも違いがある。

そのため、清水端上流域を対象とした区分雨量と確率規模の関係を基に支川流域の区分を表記した場合、安全度の高い区分となり危険側の表記となる。

このことから支川流域では、清水端上流域を対象とした雨量と同程度の県雨量を県計画の確率規模で区分し、更に身近に感じられるように相当する時間雨量を併記することとした。

例えば、清水端上流2日雨量321mm(1/100)は、県計画(甲府)では、331mm(1/50)に相当することから1/100の区分ではなく1/50の色区分にて表記する。表記図を図-7に示す。

ここでは、県計画の確率規模を基に区分表記したことから直轄区間の降雨を対象とした治水安全度の区分表記に比べ、支川補助区間の実態にあった区分により表現されることとなった。

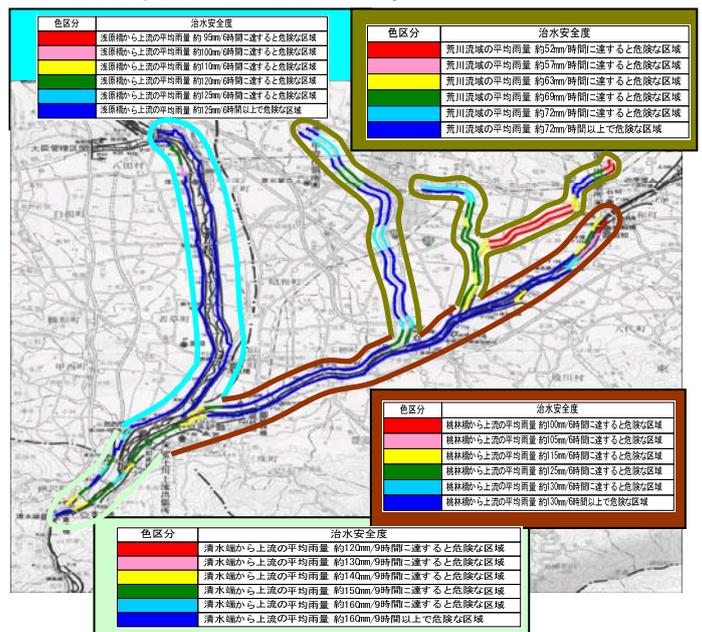


図-7 県計画の確率規模相当の表記によるバランス図

(2) DADの降雨特性を踏まえた表記

直轄と補助区間では、台風性や雷雨性など、対象とする降雨の時空間スケールが異なることから、流域面積と流域平均雨量の関係より別々の降雨で評価することとした。

具体には、荒川で計画している県計画2日雨量380mm(1/100)の降雨は、流域面積の規模の違いから清水端上流全体に一樣に生起しないと思われる。

これは、「高水計画検討の手引き(案)」によれば、流域平均最大雨量(Depth)が流域面積(Area)と継続時間

(Durational) の関連式で表現され (DAD 曲線)、関東では以下の値が算定されているからである。

下記に関係式を示す。

$$\text{関東} : P = 151.3t^{0.468} \exp(-0.039t^{-0.22}A^{0.50})$$

ここで、P : 流域平均最大雨量 (mm)
 A : 流域面積 (km²)
 t : 降雨継続時間 (hr)

本式をもとに算出した荒川上流域 (A=182.3 km²) と清水端上流域 (A=2,179.1km²) での可能最大時間雨量は、表-1 のとおりとなり、清水端上流域平均で見ると、荒川の降雨の 0.3~0.5 倍程度となっている。

このことから流域面積の小さい補助区間で県の計画規模 (1/100) の降雨が生起したとき、DAD の雨量特性を踏まえた降雨を直轄流域全体に与え、算出された河道水位を堤防高と比較し、治水安全度を表記した。

治水安全度の表記図を図-8 に示す。

表-1 DAD 関係を用いた荒川上流域と清水端上流域の降雨比較

t	4hr	24hr	1hr
荒川上流域	196.3	515.4	89.4
清水端上流域	75.6	270.9	24.5
清水端/荒川	0.39	0.53	0.27

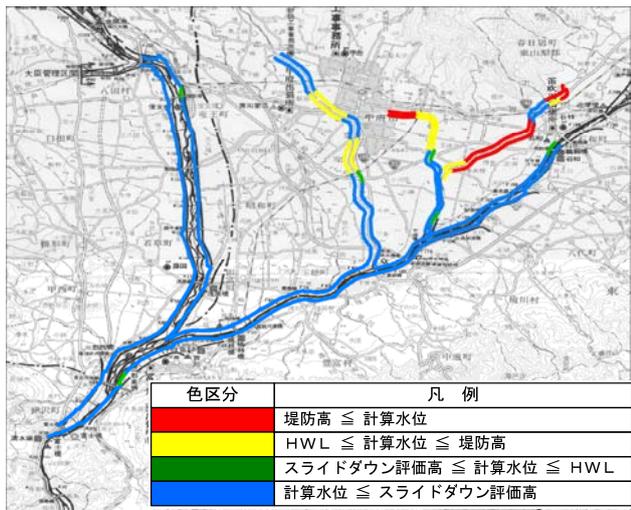


図-8 県の計画降雨を用いた DAD 関係から想定した表記

評価の結果から、補助区間上流部の未改修区間において計算水位が堤防高を上回り危険な状態となり、下流直轄区間では、安全度の高い状況が示された。

これら二つの表記手法は、表記内容の前提条件に複雑さがあるものの地域住民にとって身近な地先の河川の安全度という視点では、有効な表記であると思われる。

7. まとめ

本検討では、富士川上流域をケーススタディーとして、本川直轄区間と支川補助区間の治水安全度バランスの検討を行い、以下の成果を得た。

本川直轄区間、支川補助区間に対して、同一氾濫原という観点から、相対的に各区間の治水安全度が評価できるように、同じ考え方、手法 (同一のモノサシ) を用いた治水安全度評価手法を提案した。

具体的なポイントは以下のとおりであり、他水系においても標準的に適用できるものとする。

- 水位による確率評価：河道 (器) の有する流下能力や堤防等の整備を適切に評価するため、断面ごとに確率規模別水位を算定し、計画高水位等の基準水位と計算水位との関係から治水安全度を算出する。
- 水位算定に与える外力：降雨の時空間的偏りから生じる安全度のバラツキをできる限り排除するため、複数の洪水パターン、洪水規模を用いる「総合確率法」により水位を算定する。

国土交通省が有する富士川を対象とした既存流出計算モデル、河道水位計算モデルを効率的に活用し、支川補助区間の河川や霞堤も含めて治水安全度評価ができるモデル化方法を提案した。

また、本モデル化を行うと共に、その妥当性を検証したうえで、富士川における治水安全度バランスの検討を実施し、以下の点を把握した。

- 本川直轄区間と支川補助区間の現況施設状況下での治水安全度バランス
- 支川補助区間が改修されることによる本川直轄区間への影響、治水安全度バランスの変化
- 富士川に現存する霞堤部の治水安全度

今後の方向性として、本検討での水位確率を用いた治水安全度バランスの把握が、比較的精度良く得られたことから、治水計画や整備手順等立案時のツールとして全国的に用いられ、治水安全度バランスを踏まえた河川整備が図られるように手法の公表、普及を図ることが重要と考える。

また、治水安全度の表記方法については、治水安全度評価の前提条件の説明を含めて、一般にわかりやすい表現方法等を更に検討必要がある。

表記方法を工夫することにより、一般向けの治水事業の妥当性などを示す資料や洪水時の避難判断資料などとして、広く活用されることは、検討成果の付加価値を更に高め、有益であるとする。

参考文献

- 1) 国土交通省甲府河川国道事務所: 信玄堤による遊水池・洪水対策効果と、都市化の進展による遊水池用地の工業・住宅用地化の開発効果との比較に関する研究, 2006
- 2) 国土交通省甲府河川国道事務所ホームページ <http://www.ktr.mlit.go.jp/koufu/>