ＩＳＳＮ　０３８６－５８７８
土木研究所資料　第４１４７号

土 木 研 究 所 資 料

人の利用がある砂防設備における親水利用の適用性評価の一考察

平成 21 年 7 月

独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム

Copyright © (2009) 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 Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事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、独立行政法人土木研究所理事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。

土 木 研 究 所 資 料
第 4147 号　2009 年 7 月

人の利用がある砂防設備における親水利用の適用性評価の一考察

土砂管理研究グループ　火山・土石流チーム　上席研究員　田村　圭司
〃　〃　主任研究員　山越　隆雄
〃　〃　元交流研究員　松田　如水*1

要　旨

本書は、親水利用の安全に資する目的で、フラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害の軽減に向け、親水利用区間を対象として、親水利用の適用性を、主に、河道の外力特性と避難可能性の二つの側面から評価するための技術的事項について取りまとめたものである。

*1 現 パシフィックコンサルタンツ（株）

キーワード：フラッシュフラッド（鉄砲水）　親水整備　砂防設備

はじめに

山地や中山間地を流下する渓流は、景観、水質、生態系等の自然環境に優れているものが多いことから、休養やレクリエーション活動のニーズが高い。渓流での親水利用は、水遊びや釣りなどに限らず、バーベキューやキャンプなどに伴う利用も多い。これらの利用は、親水利用のニーズから整備された親水拠点（親水性の高い広場状の場所）に多く、隣接背後地の公園整備と一体となった親水施設も数多く存在する。利用者層は多様であり、水遊びなどを目的とした幼児や児童が占める割合も大きい。夏期には、多くの利用者で賑わい、地域の活性化に繋がっている。特に、近年では、利用形態の多様化が進み、利用者層も拡大している。

しかし、その一方で、フラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害も発生しており、しばしば、取り残され事故（対岸や中州に取り残される）も発生している。これらには、平常時の利用水深から数 cm 程度の増水でも、外力が急に大きくなるなど、人的被害の発生が懸念されるような河道特性（河道の外力特性）を有している場合がある。このため、親水利用区間では、親水利用の適用水深など、親水利用の適用性を評価しておくことが必要であると考えられる。ただし、現状では、親水利用におけるリスク分析や適用性の評価は、ほとんど実施されていないようである。

公共物である河川では、排他的な使用でない限りは、原則として自由使用が認められている。このため、河川利用における危険の回避は、利用者の責任において行われることが基本である。しかし、親水利用を目的とした整備により、積極的に水辺へのアクセス性を高め、水辺へ誘導し、親水利用を促す場合には、水難事故などの発生の危険性について検討する必要があると思われる。

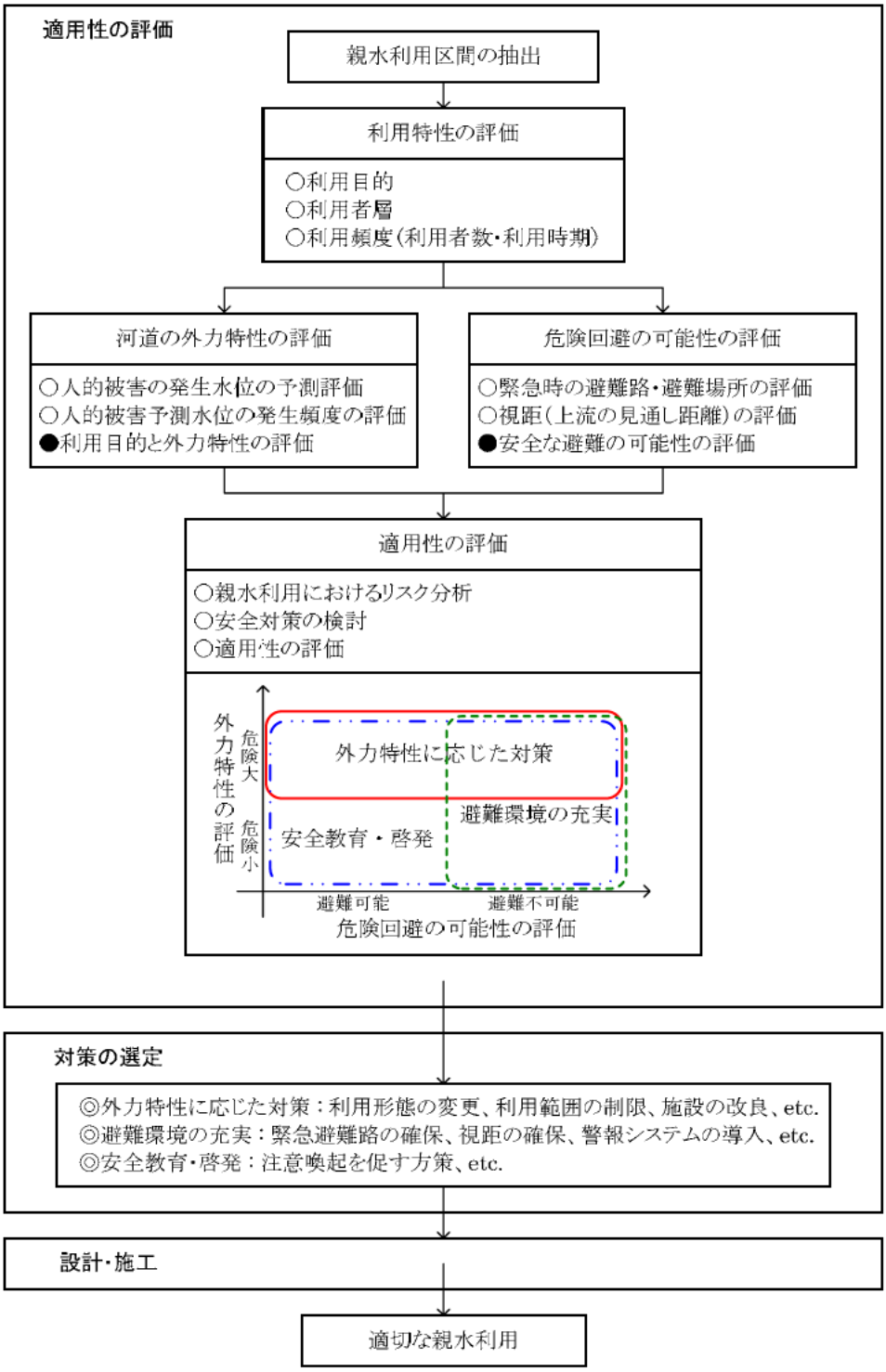
親水利用などの野外活動の特徴として、遊びに内在するリスクを楽しむということが挙げられる。この場合のリスクとは遊びの楽しみの要素で冒険や挑戦の対象となるもので、小さなリスクへの対応を学ぶことで経験的に危険を予測し、事故を回避できるようになる。これは、災害時の“生きる力”を育むことに繋がるものと捉えられる。

しかし、冒険や挑戦といった遊びの価値とは関係なく、判断不可能な危険性であるハザードや、負傷事故や致死事故の原因となるハザードは除去する必要がある。

本書は、親水利用の安全に資する目的で、フラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害の軽減に向け、親水利用区間を対象として、親水利用の適用性を評価するための技術的事項に関する一考察である。特に、児童の利用が多い親水拠点などへの適用を想定した。本書の活用により、親水利用者の安全性の観点から、親水利用の適用性が適切に評価され、適切な親水利用推進の一助となることを希望する。

評価・対策の基本的な考え方（親水利用の適用性の評価と対策のながれ）

親水利用のある渓流でのフラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害を軽減し、安全な親水利用を促すため、親水利用の適用性を評価し、効果的・効率的な対策を推進する。



親水利用区間の評価と対策のながれ

目次

1.基本方針 **1**
1.1 目的 1
1.2 内容 1
1.3 基本方針 2
1.4 適用性の評価のながれ 3
2. 利用特性の評価 **4**
2.1 親水利用区間の抽出 4
2.2 利用特性の評価 6
3. 河道の外力特性の評価 **7**
3.1 人的被害の発生水位の予測評価 7
3.1.1 人体モデルの設定 8
3.1.2 外力モデルの設定 9
3.1.3 人的被害の予測評価 10
3.2 人的被害予測水位の発生頻度の評価 11
3.2.1 親水利用時の水位の評価 12
3.2.2 急激な水位上昇の発生頻度の評価 13
3.3 利用目的と外力特性の評価 14
4. 危険回避の可能性の評価 **15**
4.1 緊急時の避難路・避難場所の評価 15
4.2 視距（上流の見通し距離）の評価 15
4.3 安全な避難の可能性の評価 16
5. 適用性の評価 **17**
5.1 親水利用におけるリスク分析 17
5.2 安全対策の検討 18
5.2.1 安全教育・啓発 18
5.2.2 避難環境の充実 19
5.2.3 外力特性に応じた対策 20
5.3 適用性の評価 21

1. 目的と内容

1.1 目的

本書の目的は、砂防設備の親水利用の適用性（利用目的に応じた安全な親水利用の可能性）を評価し、適切な安全対策を講じる際に考慮すべき事項を取りまとめて示し、もって、人の利用がある砂防設備でのフラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害の軽減の一助となることを目的とする。

【解説】

近年、局地的大雨によるフラッシュフラッド（鉄砲水）など、親水利用者の水難事故の増加が懸念されている。一方、親水利用のニーズの高まりとともに、親水利用における快適性や安全性の社会的要求が高まっている。

本書は、人の利用がある砂防設備のある親水利用区間を対象とした。この場合の親水利用区間とは、親水利用を促す区間をいう。本書の目的は、フラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害の軽減である。

1.2 内容

親水利用の適用性について、河道の外力特性と危険回避の可能性の観点から、親水利用区間のリスク分析を行い、効果的な対策を選定するための評価手法について記載する。

【解説】

親水利用を目的とした整備により、積極的に水辺のアクセス性を高め、水辺へ誘導し、親水利用を促す場合には、水難事故などの発生の危険性について検討する必要がある。

近年、フラッシュフラッド（鉄砲水）による親水利用者の人的被害が増加している可能性がある。一方、河道の外力特性や、危険回避の可能性の観点からの親水利用のリスク分析は、これまでほとんど実施されていない。

本書は、親水利用の適用性（利用目的に応じた安全な親水利用の可能性）について、河道の外力特性と危険回避の可能性の観点から、効率的に親水利用区間のリスク分析を行い、効果的な対策を選定するための評価手法について記載した。本手法は、利用の実態に応じた順応的な管理を念頭に、親水利用の適用性を評価し、適切な親水利用を推進することを目指している。これにより、親水利用の目的や利用目標が明確となり、安全性の高い親水利用が推進されることが期待される。

なお、本書の内容は、技術的水準の向上その他必要に応じて改訂されるべき内容のものである。

1.3 基本方針

親水利用の適用性を評価し、改善すべき環境要因を把握することで、効率的・効果的な対策を推進する。

【解説】

局地的大雨と称される短時間豪雨の発生は、フラッシュフラッド（鉄砲水）の発生に繋がる危険が高く、しばしば、河道内の親水利用者や工事関係者などの人的被害が発生する。

事故や災害は、環境要因と人的要因が重なり合うときに発生する。河道内の親水利用者がフラッシュフラッド（鉄砲水）に巻き込まれる場合、環境要因としては、フラッシュフラッド（鉄砲水）という外力、河道の外力特性（断面形状や縦断形状などの影響による流速や水深などの特性）、避難路・避難場所、視距（上流の見通し距離）などが挙げられる。このうち、気象要因や流出要因によるフラッシュフラッド（鉄砲水）という外力そのものを評価し、コントロールすることは難しい。しかし、河道の外力特性や、避難路や避難場所といった環境要因を評価し、コントロールすることは可能である。また、警報システムなどの適切な環境を準備することで、フラッシュフラッド（鉄砲水）に巻き込まれる前に安全な避難が可能になるなど、人的被害の発生を軽減することが可能になる。

すなわち、親水利用の適用性を評価し、改善すべき環境要因を把握することで、効率的・効果的な対策を推進することが可能となる。

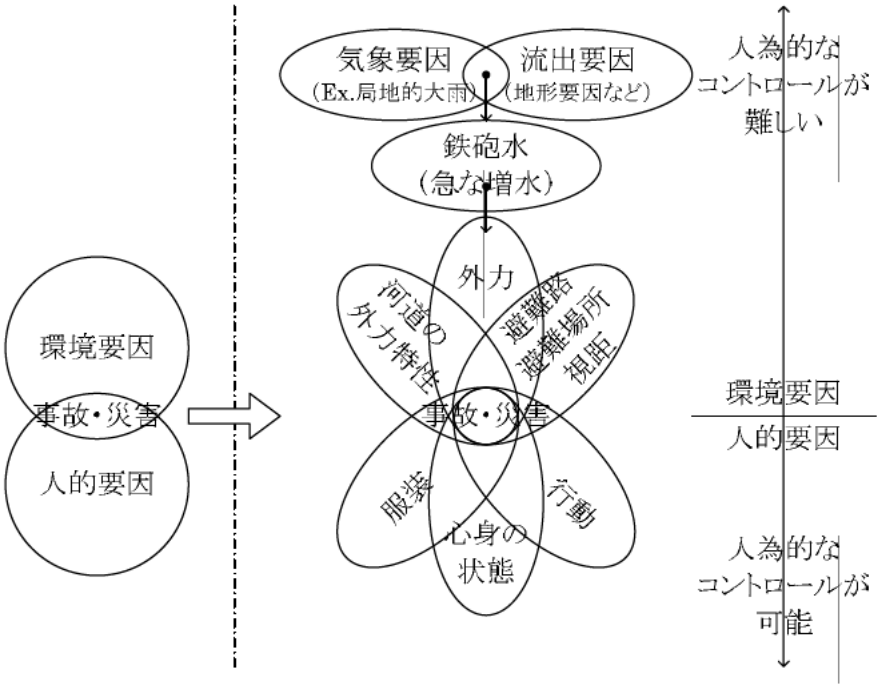


図 1.3.1　フラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害の発生 [1] を参考に作成

1.4 適用性の評価のながれ

親水利用区間の利用特性を整理・評価し、河道の外力特性や、危険回避の可能性の観点から、適用性の評価を行い、効率的・効果的な対策を推進する。

【解説】

対象となる親水利用区間の利用特性（利用目的、利用者層、利用頻度など）を整理・評価し、河道の外力特性（人的被害の発生水位、人的被害予測水位の発生頻度）や、危険回避の可能性（避難路・避難場所、視距）の観点から、適用性の評価を行い、適切な親水利用に向けた効率的・効果的な対策を推進する。

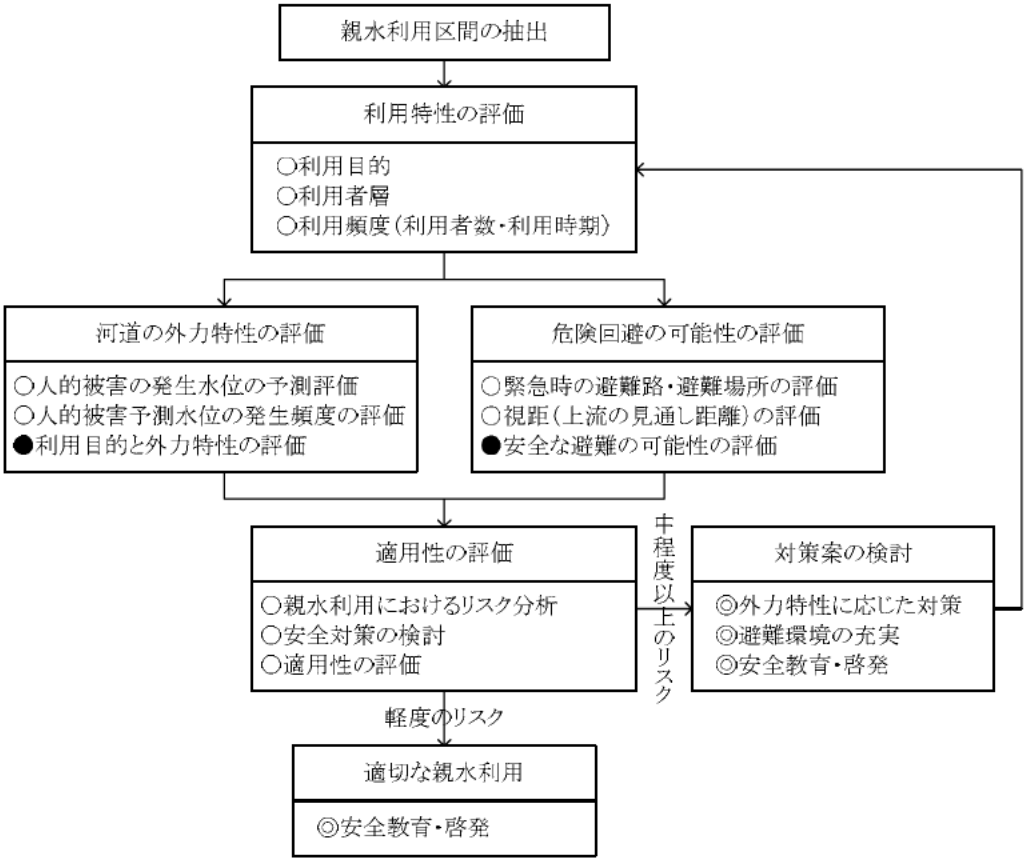


図 1.4.1　親水利用の適用性の評価のながれ

2. 利用特性の評価

2.1 親水利用区間の抽出

本書における親水利用区間とは、主として親水利用のニーズから親水整備された区間を対象とする。ただし、親水整備されていない場合でも、親水利用の頻度が高い区間については、利用状況に応じて対象とすることが望ましい。

【解説】

急峻な山地流域を流下する渓流は、景観、水質、生態系等の自然環境に優れているため、普段の生活を離れた休養やレクリエーション活動に適している。近年は、利用形態の多様化が進み、利用者層も拡大している。

渓流での親水利用は、水遊びや釣りが多く、バーベキューやキャンプなどに伴う利用も多い。このような利用は、親水利用のニーズから親水整備された親水拠点（親水性の高い広場状の場所）に多く、隣接背後地の公園整備と一体となった親水施設も数多く存在する。これらの施設の利用者層は多様であるが、一般に水遊びなどを目的とした幼児や児童が占める割合が大きい。夏期には、多くの利用者で賑わい、地域の活性化に繋がっている。

なお、近年では、渓流における利用形態が多様化し、川下りを目的としたラフティングやキャニオニング、リバーボードなど、急流を下ってのスリルを楽しむレジャーによる利用が増加している。その一方で、急流に流されることによる水難事故や、急激な増水に流されるなどの水難事故も発生している。

表 2.1.1　渓流での親水利用

親水利用の状況	親水利用	河川指定区間・砂防指定地	親水整備（施設整備）
1.　親水整備の無い自然河道での親水利用があるもの（河川指定区間や砂防指定地ではない）	○	×	×
2.　親水整備の無い自然河道での親水利用があるもの（河川指定区間または砂防指定地）	○	○	×
3.　親水整備が有り親水利用があるもの（河川指定区間や砂防指定地ではない）	○	×	○
4.　親水整備は無いが、目的外利用としての親水利用があるもの（河川指定区間または砂防指定地）	○	○	×
5.　親水整備（施設整備）が有り親水利用があるもの（河川指定区間または砂防指定地）	○	○	○

※5 には、河川または砂防管理者が整備したものと、市町村などが整備した施設を含むものがある。

図 2.1.1　親水利用の例（目的外利用としての親水利用）

（国土交通省砂防部提供　※表 2.1.1　4.に該当　左：栃木県日光市、右：三重県いなべ市）

図 2.1.2　親水利用の例（親水整備のある施設での親水利用：水辺の楽校など）

（国土交通省砂防部提供　※表 2.1.1　5.に該当　左：鳥取県伯耆町、右：島根県雲南市）

図 2.1.3　親水利用の例（親水整備のある施設の親水利用：砂防環境整備事業など）

（国土交通省砂防部提供　※表 2.1.1　5.に該当　左：香川県高松市、右：滋賀県甲賀市）

2.2 利用特性の評価

親水利用区間の適切な安全管理に向け、利用目的を明確にし、利用者層や利用頻度などの基本条件を整理する。既存施設では、利用の実態に応じた順応的な管理を念頭に、利用者層や利用頻度などの利用特性を評価する。

【解説】

親水利用区間の適切な安全管理に向け、利用目的を明確にし、利用者層や利用頻度などの基本条件を整理する。既存施設では、利用の実態に応じた順応的な管理を念頭に、利用者層や利用頻度などの利用特性を評価する。また、利用目的と利用の実態について評価する。

既存施設を対象とした親水利用の実態調査は、河川水辺の国勢調査マニュアル（案）に示される“河川空間利用実態調査”に準じて実施することが望ましいが、調査回数や調査内容は、利用の実態に応じて変更してもよい。

表 2.2.1　利用特性の整理結果の例

<table>
<tr><td>都道府県</td><td>○○県</td><td>担当機関</td><td>○○県△事務所</td><td>施設名</td><td>△△流路工</td></tr>
<tr><td colspan="3">利用目的</td><td colspan="2">適用水深</td><td>利用者層</td></tr>
<tr><td colspan="3">背後地の整備と一体となった親水利用。生涯学習、自然環境教育や自然保護・保全活動の拠点施設として利用。児童の水遊びなどの親水利用を目的とする。</td><td colspan="2">水遊び：20cm 以下</td><td>児童、および児童を含む保護者。キャンプ等の利用者。</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">区間</td><td rowspan="2">季節</td><td rowspan="2">合計
(人/日)</td><td colspan="4">利用形態別内訳</td><td colspan="4">利用場所別内訳</td></tr>
<tr><td>水遊び</td><td>釣り</td><td>スポーツ</td><td>散策等</td><td>水域内</td><td>水際</td><td>高水敷</td><td>河岸
(堤防)</td></tr>
<tr><td></td><td>春期</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>夏期</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>秋期</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

3. 河道の外力特性の評価

3.1 人的被害の発生水位の予測評価

河道内の親水利用者などの人的被害の多くは、流されることにより発生する。歩行面の摩擦力よりも身体に作用する流体力が大きくなる場合には自立が困難となるため、この場合に人的被害が発生するものとして取り扱う。

【解説】

河道内の親水利用者などのフラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害は、流されることにより発生する。遭遇者は、身体に作用する流体力に対して歩行面の摩擦により抵抗するものとして、自立が困難になる場合に人的被害が発生するものとして扱う[例えば 2),3),4)]。条件を示すと以下の通りである。

$$f \cdot (mg - w) \leq \alpha \int 0.5 \rho C_D u^2 dS + \int \rho C_M \frac{\partial u}{\partial t} dV \qquad (1)$$

左辺は河道（河床）面の摩擦力であり、右辺はモリソン式に基づく流体力である。右辺第 1 項は抗力、右辺第 2 項は慣性力を示す。

ここに、f：摩擦係数（≅0.4～0.7）、m：人体の質量、g：重力加速度、w：流水中の人体に作用する浮力、α：安全率（歩行者の体力や流れに対する感じ方による影響（≅2））、ρ：流体の密度、C_D：抗力係数（≅1.0）、u：洪水流速、dS：人体の流れに対する微小投影面積、C_M：質量係数（≅2.0）、dV：浸水した人体部分の体積要素である。

ここで、fは、須賀らによる摩擦係数実験[2)]を参考として、玉石・砂利に 0.4、砂・土に 0.5、コンクリートなどの歩行面に 0.7 とする。

なお、フラッシュフラッド（鉄砲水）は、洪水先頭部が段波として流下する場合がしばしばある。この場合、抗力と慣性力に、段波による衝撃力が加わることになる。

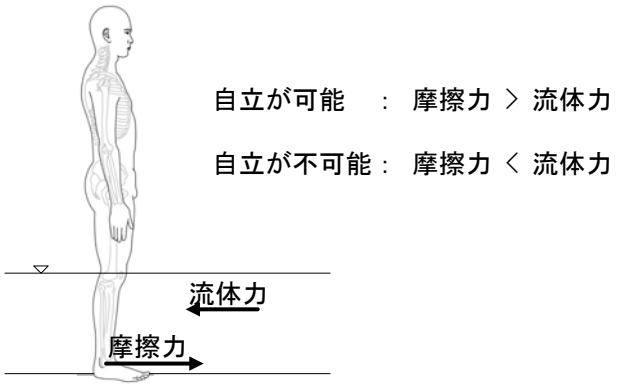


図 3.1.1　人的被害の発生条件

3.1.1 人体モデルの設定

人的被害の予測評価の人体モデルは、親水利用の目的や利用者層に応じて設定する。人体モデルは、人体形状を近似したモデルを基本とする。

【解説】

人的被害の予測評価の人体モデルは、親水利用の目的や利用者層に応じて設定する。人体モデルは、人体寸法計測調査[5),6)]などの結果を採用し、人体の各部分（脚、胴、腕、頭部）の形状を円柱等の形状にて近似した人体モデルを基本とする。

児童などの利用が多い親水拠点では、水遊びなどの利用が中心となることや、類似事例との比較を行うため、当面、児童（6 歳児）を想定した評価を行うものとする。ただし、利用目的や利用者層が明確になっている場合にはこの限りではない。

【備考】

急流河川を対象とした親水利用調査[7)]を基にした人的被害の予測評価では、人体寸法計測調査[5),6)]の結果を採用した。参考として、表 3.1.1 に人体モデルに適用した身長および体重を示す。

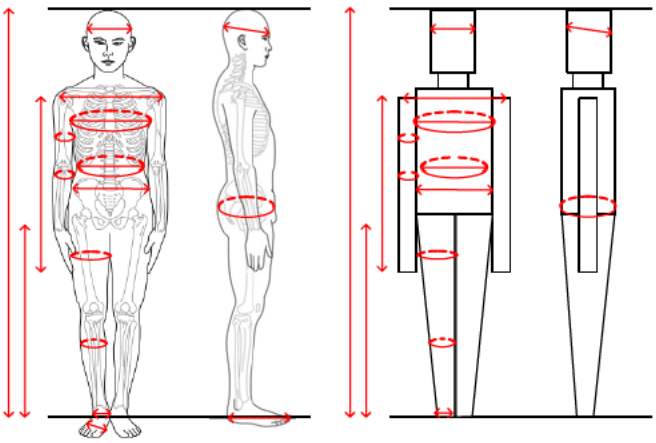


図 3.1.2　人体モデルによる形状近似の例

表 3.1.1　人体モデルに適用した身長および体重の例

	児童男性	青年男性	高齢男性	児童女性	青年女性	高齢女性
身長 (cm)	116.6	170.6	160.9	115.8	158.6	149.3
体重 (kg)	21.5	59.5	60.6	21.0	53.5	55.3

※児童：6 歳、青年：20 歳、高齢：60～70 歳を想定

※本書では、学校教育法、道路交通法を参考とし、就学前後の 6 歳児を児童とした。

3.1.2 外力モデルの設定

親水利用の代表地点を選定し、当該地点での水深が変化する場合の人体に作用する流体力を算定する。流速の算定は、河道および水理条件に応じて適切に選択する。

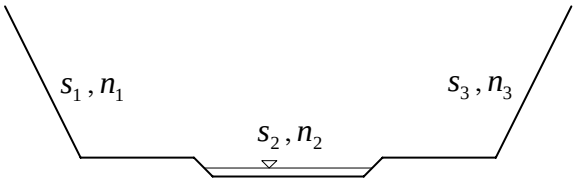
【解説】

水遊びなど水域内での親水利用がある場合、親水利用されている横断的な位置や利用の範囲は様々である。このため、利用の実態に応じて代表地点での親水利用の適用水深や人的被害の予測評価を行うことを想定し、代表地点（予測評価地点）での水深が変化する場合に人体に作用する流体力を算定する。

流体力の算定に採用する流速の算定は、親水利用の実態を考慮し、河床勾配や粗度などの河道条件を設定する。流体力算定のための粗度は計画粗度と同じ値である必要はない。河床や河岸（護岸など）の状況を考慮し、建設省河川砂防技術基準（案）同解説（調査編）に示されている平均流速公式レベル 1a で用いられている方法など、水深の変化を考慮して粗度係数の設定を行うものとする。

流速の算定手法は、マニングの平均流速公式あるいはそれを拡張したものを用いる。河道幅の狭い単断面河道または単断面とみなせる程度の複断面河道の場合は、河岸法面粗度の影響を受けるなど、潤辺内での粗度の状況の変化が相対的に大きくなりやすいため、平均流速公式レベル 1a の採用を基本とする。また、河道幅が十分に広く、流水断面が性質の異なる断面に分割できる場合、河道状況に応じて、平均流速公式レベル 2～3 を採用する。

なお、帯工などの横断構造物がある場合には、水位によって流れの形態が変化する場合があるため、流速の算定は、河道および水理条件に応じて適切に選択する。



合成粗度係数 N

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{m} (n_i^{3/2} \cdot s_i)^{2/3}}{\left(\sum_{i=1}^{m} s_i\right)^{2/3}}$$

※ s_i, n_2 ：同一粗度を持つ i 番目の潤辺と粗度係数

図 3.1.3　合成粗度係数の算定

3.1.3 人的被害の発生水位の評価

人的被害の発生は、予測評価地点での“摩擦力 - 流体力”にて評価する。“摩擦力 ≥ 流体力”となる最大の水深を親水利用可能最大水深とする。親水利用可能最大水深は、人的被害の発生が予測される水深として取り扱う。また、このときの水位を人的被害の発生水位とし、人的被害予測水位とする。

【解説】

人的被害の発生水位の予測評価は、予測評価地点での任意の水深での“摩擦力 - 流体力”にて評価する。ここで、洪水波形の設定は困難であると考えられることから、当面、人的被害の発生は、流体力を抗力にて表現した以下の条件により算定する[2)]。

$$f \cdot (mg - w) \leq \alpha \int 0.5 \rho C_D u^2 dS \qquad (2)$$

予測評価地点は、利用の実態を考慮して設定し、複数地点を設定することが望ましい。ここで、図 3.1.4 に示すように、親水利用の実態によっては、同一水位であっても、選定すべき予測評価地点が異なる。

式（2）では、水位の時間的な変化は考慮していない。人的被害の予測は、予測評価地点に親水利用者が自立していることを想定し、単位幅で水深を変化（例えば、1cm 毎に水深を変化させるなど）させ、それぞれの水深での摩擦力と流体力の差より、人的被害の発生水深を算定する。すなわち、“摩擦力 ≥ 流体力”となる最大の水深が、予測評価地点での親水利用の限界となる水深（親水利用可能最大水深）となる。

ここで、予測評価地点での親水利用可能最大水深と、親水利用目的より要求される水深（Ex. 水遊びなどの親水利用：児童が 0.20m 以下で流されないなど）を比較し、親水利用目的より要求される水深が確保できているかを比較し、予測評価地点の親水利用の適用性（利用目的に応じた安全な親水利用の可能性）を評価する。

すなわち、親水利用目的に応じた水深が確保できない場合は、外力特性に応じた対策が必要であるものとして取り扱う（5 章参照）。

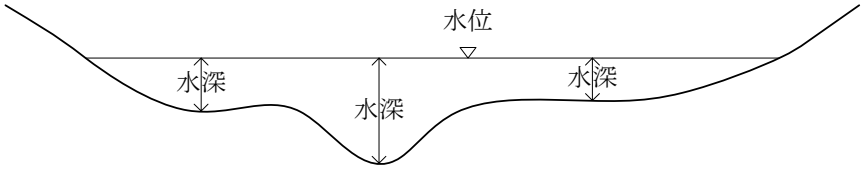


図 3.1.4　予測評価地点の水位と水深

予測評価地点の外力モデルの設定は、前小節 3.2.2 に示したとおりであるが、平常時などに予測評価地点の水深と流速を計測し、人的被害の予測評価に採用した外力の算定結果の妥当性を検証することを基本とする。

なお、親水利用可能最大水深は、人的被害の発生が予測される水深として取り扱う。また、このときの水位を人的被害予測水位とする。

【備考】

親水利用が可能な水深、すなわち“摩擦力 > 流体力”の条件を満足する場合でも、以下のような理由から、実際には流されてしまうことがある。

○ 利用者の不注意など（足を滑らせたなど）

○ 局所的な流れ（構造物や巨礫の周辺など、局所的に強い流れが発生している場合がある。また、河床が局所洗掘を受けている場合がある）※本評価手法では平均流速を使用している点に留意する。

○ 浮遊物の混入（流木などの浮遊物が混入している場合、人体に作用する流体力が大きくなる）

3.2 人的被害予測水位の発生頻度の評価

人的被害予測水位の発生頻度は、原則として、親水利用時の水位との比較、および急な増水の発生頻度との比較により評価する。

【解説】

前節での人的被害の発生水位の評価は、予測評価地点において、水位（水深）を変化させ、親水利用の限界となる人的被害予測水位を算定するものであった。したがって、この限りにおいて、親水利用の目的より要求される利用が可能であるかを検証することができる。

しかし、人的被害の発生水位の評価では、水位の時間変化や発生頻度の評価がないため、実際には、流況が極めて安定している河川であっても目標とする親水利用が難しいと判断される結果が得られる場合が想定される。このため、予測評価地点での人的被害予測水位の発生頻度を評価し、親水利用の目的より要求される利用が可能であるかを評価する必要がある。

人的被害予測水位の発生頻度が高いほど、安全な親水利用が困難となる。以下に、安全な親水利用が困難となる条件を示す。

1. 親水利用時の水位（親水流量に相当する水位）が人的被害予測水位を上回る。
2. 人的被害予測水位を上回る急な増水の発生頻度が高い。

3.2.1 親水利用時の水位の評価

親水利用時の水位（親水流量に相当する水位）が、予測評価地点における人的被害予測水位を上回る場合、予測評価地点での安全な親水利用を満足していないとして取り扱う。

【解説】

親水利用時の水位（親水流量に相当する水位）が、予測評価地点での人的被害予測水位を上回る場合、予測評価地点での安全な親水利用を満足していないとして取り扱う。

親水流量が設定されていない場合は、水位や流量などの水文観測データから、水位-流量関係式を求め、流況曲線を作成し、低水量を親水流量として扱う（表 3.2.1）。

ただし、水文資料が存在しない場合は、親水利用時期の水位観測調査や、親水利用の実績などから、親水利用時の水位を設定してもよい。

親水利用時の水位（親水流量に相当する水位）が、人的被害予測水位を上回る場合、外力特性に応じた対策が必要であるものとして取り扱う（5 章）。

表 3.2.1　流況と維持日数

名称	維持日数	支配確率（%）	維持不可日数
渇水量	355	97.26	10
低水量	275	75.34	90
平水量	185	50.68	180
豊水量	95	20.03	270

【備考】

水位（流量）観測データが存在しない場合には、概況を把握するため、親水利用期間の水位観測調査を実施することが望ましい。

3.2.2 急激な水位上昇の発生頻度の評価

水位（流量）の観測データの検証により、人的被害予測水位を上回る急激な水位上昇（流量増加）の発生が認められた場合は、フラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害の危険があるものとして取り扱う。

【解説】

フラッシュフラッド（鉄砲水）による親水利用者の水難事故の増加が懸念されている。予測評価地点の近傍の上下流に水位（流量）観測地点が存在する場合は、観測データを基に、短時間の急激な水位上昇（流量増加）の発生頻度を把握する。評価期間は、親水利用時期を対象とした過去 3～5 年とする。評価期間内にて、人的被害予測水位を上回る急激な水位上昇（流量増加）の発生が認められた場合は、フラッシュフラッド（鉄砲水）による人的被害の危険があるものと考える。また、過去にフラッシュフラッド（鉄砲水）による水難事故の発生や取り残され事故などの実績がある場合も同様である。この場合、外力特性に応じた対策のみでの対応は難しいことが想定されるため、発生頻度にもよるが、避難環境の充実などにより、人的被害の軽減をはかるものとして取り扱う。

水位（流量）の観測データは 10 分間隔以下の観測データの採用を基本とする。なお、急激な水位上昇とは、水位変動がほとんどない親水利用可能な水位から人的被害予測水位を上回るまでの時間が 10 分より短いものとする。

水位（流量）のデータが存在しない場合は、概況を把握するため、親水利用期間の水位観測調査を実施することが望ましい。特に、過去にフラッシュフラッド（鉄砲水）による水難事故の発生や取り残され事故などの実績があるなど、フラッシュフラッド（鉄砲水）の発生頻度が高いと考えられる場合には、水位観測の実施を想定する。

【備考】

フラッシュフラッド（鉄砲水）は、局地的大雨（局地的な短時間豪雨）により発生することが多いことから、降雨の地域特性があること（例えば、地方によって降雨特性が異なる。また、局地的には、台風等による影響により、ある一定の地域の一定の方向に向かった斜面に集中して雨が降るなど）など、局地的大雨が発生しやすい流域を判定できる可能性がある。ただし、フラッシュフラッド（鉄砲水）の発生は、流域の流出条件によっても異なる。

なお、源流部などの局地的大雨は、地上雨量計の観測網では捉えられない場合が少なくない[9)]

3.3 利用目的と外力特性の評価

人的被害予測水位、および発生頻度の評価結果より、予測評価地点での親水利用目的に対する外力特性を評価する。

【解説】

人的被害予測水位、および発生頻度の評価結果より、予測評価地点での親水利用目的に対する外力特性を評価する。

親水利用時の水位（親水流量に相当する水位）が、予測評価地点での人的被害予測水位を上回る場合、想定する親水利用目的に対して安全な親水利用は難しい。この場合、外力特性に応じた対策（5 章）について、検討する必要がある。

また、親水利用時の水位（親水流量に相当する水位）が、予測評価地点での人的被害予測水位を下回る場合で、かつ、人的被害予測水位を超える急激な水位上昇の発生頻度が高いと判定された場合には、予測評価地点での親水利用は可能であるが、フラッシュフラッド（鉄砲水）の発生に十分留意する必要があり、避難環境の充実（5 章）について、検討する必要がある。

4. 危険回避の可能性の評価

4.1 緊急時の避難路・避難場所の評価

源流部などの局所的な短時間豪雨などにより、フラッシュフラッド（鉄砲水）が発生することがある。緊急時に河道から避難できる避難路や避難場所の現状を評価する。

【解説】

親水利用者が、急激な増水などの異変を回避するためには、河道内からの緊急避難が必要であり、河道からの迅速な避難が可能なほど、人的被害は軽減される可能性が高い。この場合の避難路とは、階段やスロープなどの昇降施設として整備されたものばかりでなく、河岸勾配が十分緩い場合など、緊急時の避難が可能な場合は、避難路として扱うものとする。

4.2 視距（上流の見通し距離）の評価

フラッシュフラッド（鉄砲水）が発生した場合、河道内の親水利用者は、親水利用地点から上流の見通せる範囲で発生した異変を認識することにより避難行動に移るものと考えられるため、親水利用区間における視距（上流の見通し距離）の現状を評価する。

【解説】

既往の災害事例における生存者の証言から、多くの場合、河道内の親水利用者や工事関係者の危険の認識や避難行動は、上流の異変（水位や流量の変化）を視覚にて捉えることを契機としている[8)]。必ずしも、十分な視距（上流の見通し距離）があれば、上流の異変を捉えることができるとは限らないが、少なくとも視距が短い場合よりは、上流の異変を捉えることができる可能性があり、避難の可能性が大きくなると考えられる。

急流河川では、一般に河床勾配が急であり、河道幅も下流河川に比べると狭いため、水域内での親水利用時における視距は、相対的に短くなりやすい。視距が短い場合には、増水の直前まで、上流側の水位の変化を捉えることができないことが懸念される。なお、視距は、親水利用地点における親水利用者の視点に十分配慮する必要がある。

4.3 安全な避難の可能性の評価

親水利用が想定される地点において、上流の異変を捉えた場合に、安全な避難が可能であるか、避難の可能性を評価する。

【解説】

親水利用者が、視距（上流の見通し距離）にて、フラッシュフラッド（鉄砲水）などの上流の異変を捉えた場合に、避難行動を開始し、昇降施設などの避難路まで安全にたどり着き、河道からの避難が可能であるか、避難の可能性について評価する。

評価地点（避難開始地点）は、避難路まで距離や視距の観点から、親水利用されている範囲内で、避難に最も不利な条件となる地点を選点する。安全な避難の可能性の評価は、評価地点（避難開始地点）にて、上流の異変を捉え、避難を開始した場合の避難の可否で評価する。評価条件は、避難の可能性の観点から、当面、表 4.3.1 を採用する。

表 4.3.1　フラッシュフラッド（鉄砲水）による避難の可能性の評価条件（案）

項目	評価条件	備考
洪水波形（洪水先頭部）	洪水先頭部が 3.0～4.0m/s の段波として流下し、急激に 1m 増水する。 追いつかれた場合には安全な避難はできないものとして取り扱う。	洪水先頭部の流下速度、水位上昇の設定は、過去の発生事例 [9] より、当面左記の値を採用する 洪水先頭部の流下速度などが想定できる場合は適切な条件を採用する。
避難速度	1.0～1.2m/s	過去の実験結果や避難行動シミュレーションにおける採用値を採用した [10),11)]。
視距（上流の見通し距離）	評価地点の値とする。	
視距にて異変を確認し、避難を開始するまでの時間	0s～	一般に、異変を確認後、避難開始までの時間を要する。
避難経路	評価地点から緊急時の避難路までの経路。	必ずしも直線距離とならない場合がある。
評価地点（避難開始地点）	親水利用の想定される範囲内での任意の地点とする。	親水利用の想定される範囲内で避難路までの最遠地点についても評価する。

※参考：都賀川：洪水先頭部が 3m/s 程度の段波として流下し、10 分間に 1.34m 水位が上昇した。

※実際には、フラッシュフラッド（鉄砲水）を捉えた場合、異変を確認し、避難を開始までの時間を要することが通常である。また、異変の気づきの遅れなど、避難が遅れる場合がある。

5. 適用性の評価

5.1 親水利用におけるリスク分析

河道の外力特性の評価と危険回避の可能性の評価より、親水利用におけるリスク分析を行う。

【解説】

河道の外力特性の評価、および危険回避の可能性の評価より、安全対策に向けた親水利用におけるリスク分析を行う（図 5.1.1）。

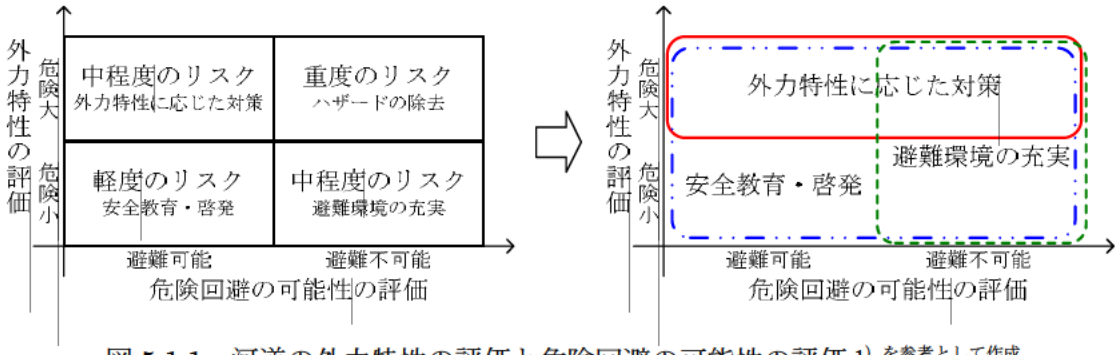


図 5.1.1　河道の外力特性の評価と危険回避の可能性の評価 1) を参考として作成

○ 軽度のリスク（安全教育・啓発）：親水利用の目的に対して河道の外力条件は満足しており、迅速な避難も可能であると考えられる施設では、現状と同様の利用が可能であるが、利用者へのフラッシュフラッド（鉄砲水）に対する注意喚起を促す方策が必要である。なお、注意喚起を促す方策は、すべてのリスクに対して講じる必要がある。

○ 中程度のリスク（避難環境の充実）：親水利用の目的に対して河道の外力条件は満足しているが、フラッシュフラッド（鉄砲水）が発生した場合に避難が困難であると考えられる親水利用施設では、避難環境を充実させる対策が効果的である。

○ 中程度のリスク（外力特性に応じた対策）：親水利用の目的に対して河道の外力が大きいが、フラッシュフラッド（鉄砲水）が発生した場合でも避難が可能と考えられる親水利用施設では、親水利用形態の変更など、外力特性に応じた対策が効果的であると考えられる。

○ 重度のリスク・ハザードの除去（外力特性に応じた対策・避難環境の充実）：親水利用の目的に対して河道の外力が大きく、フラッシュフラッド（鉄砲水）が発生した場合に避難が不可能と考えられる親水利用施設では、安全評価に適合していないものとして直ちに対策を講じる必要がある。

5.2 安全対策の検討

5.2.1 安全教育・啓発

親水利用を促す区間では、利用者へのフラッシュフラッド（鉄砲水）に対する注意喚起を促す方策が必要である。

【解説】

親水利用者の人的被害の軽減のため、親水利用施設の利用条件を明記するなど、利用者が危険性をあらかじめ適切に知ることができるように情報提供することが求められる。一方、不測の危険性に対しては、あくまでも利用者の自己責任が原則である。このため、利用者が容易に関連情報を入手できるようにすることが必要である。

親水利用を促す区間では、利用者へのフラッシュフラッド（鉄砲水）に対する注意喚起を促す方策が必要である。なお、安全教育・啓発は、あらゆる主体からあらゆる機会を通じて、継続的に実施されることが重要である。

表 5.2.1　親水利用施設での注意喚起を促す看板の記載内容（案）

記載項目（案）	記載例
○想定する親水利用 ○親水利用の適用水深 ○局地的大雨の危険性 ○フラッシュフラッド（鉄砲水）の危険性 ○避難路の概況 ○情報の入手先 ○施設管理者名	急な増水に注意！ ○○親水公園は、小学生以上の児童の利用を想定しています。水遊びは○cm 程度までの範囲を想定しています。流れの速い場所や深い場所には近づかないようにしましょう。 上流などで急に大雨が降ると、急な増水が発生することがあります。○○親水公園で雨が降っていなくても、上流で雨が降っていると考えられる場合や、急に大雨が降ってきた場合には川からあがりましょう。 なお、緊急時の避難路は地図の通りです。 地図 雨量情報：○○○　http// 水位情報：○○○　http// ○○事務所

【備考】

本書では、“親水利用を前提とする施設”、“親水利用を前提としないが利用に配慮すべき施設”を対象とした。“親水利用を前提としない施設”では、立ち入り禁止の表示やフェンスなどの施設の設置が必要である。

5.2.2 避難環境の充実

フラッシュフラッド（鉄砲水）が発生した場合に、親水利用者の安全な避難が困難であると評価された場合、緊急時の避難路・避難場所の確保が必要であり、視距の確保が有効である。また、必要に応じて、水位警報装置などの情報機器の導入を検討する。

【解説】

フラッシュフラッド（鉄砲水）が発生した場合に、親水利用者の安全な避難が困難であると評価された場合、緊急時の避難路などの確保が必要である。また、視距の確保が有効であると考えられる。

視距の確保が難しく、緊急時の避難路などの確保が難しい場合には、水位警報装置などの情報機器の導入を検討する。このような親水利用区間のうち、利用者数が多く、利用頻度も高い親水利用区間では、水位警報装置などの情報機器の導入が適当である。また、過去にフラッシュフラッド（鉄砲水）による水難事故や取り残され事故などの実績があるなど、人的被害の発生頻度が高いと考えられる場合も同様である。

なお、既に水位警報装置などの情報機器が導入されている場合は、実績をふまえて情報機器の機能を評価し、安全な避難の実効性について評価する。また、背後地の公園整備などとあわせて親水利用がはかられている場合など、親水利用における監視人制度が採用されている場合がある。この場合、安全管理の実態を把握し、安全な避難の実効性について評価する。

表 5.2.2　避難環境の充実（案）

対策（案）	概要	備考
緊急時の避難路・避難場所の確保	人的被害の発生を軽減するため、緊急時の避難路・避難場所を確保するもの。	避難経路が長い場合に、特に有効であると考えられる。
視距（上流の見通し距離）の確保	危険回避、および避難の可能性の観点から、上流の異変を視認できるよう視距を確保するもの。	段波として流下する場合は特に有効であると考えられる。
警報システムなど情報機器の導入など	人的被害の発生を軽減するため、降雨情報や水位情報などを契機として、急激な増水の危険性を伝達するもの。	人的被害の発生頻度が高い場合には、特に有効であると考えられる。

【備考】

水位警報装置など情報機器は、どの地点で、何を計測して、どのように伝達されるのかなどの観点から、機能の評価を行う必要がある。警報装置は、大雨・洪水注意報および警報の発表と連動して作動する方式や、親水利用区間の上流で観測した雨量情報と連動して作動する方式、親水利用区間の上流で観測した水位情報と連動して作動する方式などがある。

5.2.3 外力特性に応じた対策

親水利用目的に対して、河道の外力特性が大きく、目的とする親水利用に適さないと評価された場合、利用形態の変更や、利用の範囲の制限、施設の改良などの対策が考えられる。

【解説】

親水利用目的に対して、河道の外力特性が大きく、目的とする親水利用に適さないと評価された場合、利用形態の変更や、利用範囲の制限、施設の改良などの対策が考えられる。

ここで、利用形態の変更とは、外力特性に応じた親水利用に変更することである。適切でない親水利用が少ない場合には、特に有効であると考えられる。利用範囲の制限とは、親水利用を外力特性に適した範囲に制限するものである。施設の改良とは、河道の拡幅や河床勾配の緩勾配化などにより、親水利用に適した外力特性に矯正するものであり、複断面河道の場合、低水路の拡幅や小規模落差工の採用などが考えられる。

なお、対策の採用は、親水利用の現状や地域のニーズをふまえ、効果的な対策を採用することに十分留意する。

表 5.2.3　外力特性に応じた対策（案）

対策（案）	概要	備考
利用形態の変更	利用形態を“水遊び”から“散策”へ変更するなど、外力特性に応じた親水利用に変更することで、人的被害の発生を回避するもの。	適切でない親水利用が少ない場合には特に有効であると考えられる。
利用範囲の制限	“水遊び”の利用範囲を、水深が浅く河床勾配の緩い区間に制限するなど、親水利用を外力特性に適した範囲に制限することで、人的被害の最小化をはかるもの。	親水利用の可能な範囲を明示する必要がある。
施設の改良	河道の拡幅や河床勾配の緩勾配化などにより、親水利用に適した外力特性に矯正するもの。	利用のニーズが高い場合などには有効であると考えられる。

5.3 適用性の評価

リスク分析をふまえて検討した安全対策が適切であるかを判定するため、安全対策を採用した場合の親水利用の適用性を評価する。

【解説】

親水利用におけるリスク分析より、効果的な安全対策を検討する。また、リスク分析をふまえて検討した安全対策が適切であるかを判定するため、安全対策を採用した場合の親水利用の適用性を評価する。

なお、リスク分析の結果、対象となる親水施設が、重度のリスクを抱え、かつ、効果的な安全対策を採用することが困難な場合は、親水利用を行わないものとする。

【備考】

本書では、安全対策として、外力特性に応じた対策（利用形態の変更、親水利用の範囲の制限、施設の改良による外力特性の強制）、避難環境の充実（緊急時の避難路・避難場所の確保、視距の確保、水位警報装置などの情報機器の導入など）について記載した。これらは、基本的な対策の考え方を示したものである。

本書は“適用性の評価”について記載した。“対策の選定”では“適用性の評価”に基づき、施設の利用特性や立地条件等を考慮し、適切な対策を選定する。

【用語】

渓流：河川の上流域のこと。ここでは砂防指定地を流下する急流河川とした。

河道の外力特性：河道の断面形状や縦断形状、あるいは粗度により、ある水深での流速は大きく異なる。ここでは、河道に特有な水位-流速による流体力の特性とした。

フラッシュフラッド（鉄砲水）：急流河川などに発生する非常に急激な増水のこと。しばしば土砂や流木を巻き込むことがある。ただし、どちらかというと水が主体の現象である。

局地的大雨：狭い範囲における大雨。特に集中豪雨よりも降雨範囲が狭く、継続時間が短いものをいう。

リスク：危害・損害などに遭う高い可能性。または、自ら覚悟して冒す危険。一般的には、「ある行動に伴って（あるいは行動しないことによって）、危険に遭う可能性や損をする可能性を意味する概念」と理解されている。

ハザード：偶然性の強い危険を意味し、危険物・障害物などをいう。潜在的に危険の原因となりうるものすべて。

※　ハザードは潜在的に危険の原因となりうるものすべてをいい、リスクは実際にそれが起こって現実の危険となる可能性を組み合わせた概念である。ゆえにハザードがあるとしてもそれがまず起こりえないような事象であればリスクは低く、一方確率は低いとしても起こった場合の結果が甚大であれば、リスクは高いということになる。

【参考文献】

1） 荻須隆雄, 齋藤歓能, 関口準, 遊び場の安全ハンドブック, 玉川大学出版部, 2004.

2） 須賀堯三・上阪恒夫・吉田高樹・浜口憲一郎・陳志軒, 水害時の安全避難行動（水中歩行）に関する検討, 水工学論文集, 第 39 巻, 1995.

3） 越村俊一, 津波の市街地氾濫シミュレーションと人的被害評価, 文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」平成１７年度成果報告書、2006.

4） 越村俊一, Harold Mofjeld, 片田敏孝, 河田恵昭, 津波の市街地氾濫による人的被害に関する一評価法 - 米国シアトルウォーターフロントにおけるケーススタディ -, 海岸工学論文集, 第 49 巻, 土木学会, 2002.

5） 河内まき子・持丸正明・岩澤洋・三谷誠二：日本人人体寸法データベース 1997-98, 通商産業省工業技術院くらしと JIS センター. 2000.

6） 人間生活工学研究センター, 子どもの身体寸法データベース, 2005-2007.

7） 国土交通省河川局砂防部, 人の利用がある砂防設備におけるフラッシュフラッド（鉄砲水）に関する調査, 2009.

8） 松田如水・山越隆雄・田村圭司, 鉄砲水による人的被害の軽減に向けた一考察, 平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.162-163, 2009.

9） 独立行政法人土木研究所, 近年発生した鉄砲水災害事例, 土木研究所資料, 2009.

10） 消防科学総合センター, 地域防災データ総覧 地域避難編, pp91-96, 1987.

11） 西原巧, 氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究, 京都大学学位論文, 1983.

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4147 July 2009

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754