

安部友則氏博士論文審査報告書

常願寺川は、その河床が大きな石や礫から構成され、我が国を代表する急流石礫河川である。常願寺川安政の大地震の山体崩壊により上流から流出してきた土砂が河床に堆積し、堤内地より河床が高いいわゆる天井川をなしていた。戦前の治水は、土砂により河床がさらに上がらないようにすることが、また、戦後は上昇した河床を有堤部では積極的に掘り下げることが主要な対策となっていた。過去から延々と進められてきた上流での土砂対策や、川底の掘削、水制群の設置、定期的な砂利採取等により、現在の常願寺川はかなり天井川が解消され、河床も全体としては安定している。しかし、流水の流心が堤防に寄ってきて堤防護岸の根を洗掘し、その安定を脅かしており、河岸侵食対策が課題となっている。

この河岸侵食から堤防を護るため、従来から護岸を施工してきた。しかし、護岸の施工により、短期的には河岸侵食は抑制されるが、河岸が直線化し自然河岸に比して摩擦抵抗が減ることによって護岸際の流速が増大することや、護岸側からの土砂の供給がないことにより、長期的には護岸前面の河床がさらに洗掘されている個所もある。そこでは、更なる洗掘から堤防を護るため、護岸の根継ぎ対策工を実施しているのが現状である。さらに、環境面からも、護岸で河川の水際を固めることは、河川の断面を複断面化し水際線を固定化して、水際部の環境を単調なものにし、生物の多様性を阻害する可能性も高い。そこで、石礫河川の河道の形成・維持機構に立脚した新しい対策工を検討し、従来からの護岸工は、緊急的に必要な箇所に限定するかまたは新しい対策工と組み合わせて設置していくなどの検討が必要となっている。

そのためには、石礫河川の河岸侵食や局所洗掘の機構を解明しなければならないが、その前提となる石礫河川の形成機構が十分明らかにされておらず、砂礫河川と同様の現象として扱われてきたのが現状である。河床材料は河道特性を表す重要な指標の1つであり、河床を構成する材料が異なる場合、その河道特性も大きく異なる。よって、石礫河川と河川中流部・下流部に見られる砂や礫を主とした砂礫河川とでは河道の安定機構や土砂輸送が大きく異なるはずである。特に、石礫河川においては、巨石の存在が重要である。巨石の持つ役割を十分明らかにした上で対策を講じることが重要である。そのためにも河床材料の視点から、石礫河川の河道形成機構を明らかにしなければならない。

もう一つの大きな課題は、洪水時の危機管理である。

近年我が国では、人々の生活が水に弱い電子システムに支えられるとともに、それらは河川の氾濫区域にある都市部に集中してきている。一方、近年頻繁に発生する豪雨により、計画規模以上の洪水が全国各地で頻繁に起こるようになってきている。そして、堤防決壊により河川からあふれ出した洪水の氾濫流が、流域の住民の生命、資産に多大なる被害を与えている。常願寺川の場合は左岸側の堤防が決壊すると、氾濫水は富山市まで達するため特に被害は甚大である。そのため、富山県内の河川で明治以降最初に河川改修に着手されたのが常願寺川であった。しかし、短期間にそれに対応できる治水施設を建設することは、時間的にも予算的にも困難な状況にある。また、たとえ計画規模の改修が完成したとして

も計画を超える洪水の可能性はあるのである。そこで、堤防決壊に対してする避難等の危機管理を強化していくことが重要である。

そのためには、まず、堤内地に流出する氾濫流による湛水と洗掘の被害の進行を精度良く予測できる技術が必要である。そして、精度の良い氾濫予測を行うためには、精度の良い洪水氾濫流量ハイドログラフを求めることが重要になる。しかし、従来行われている氾濫流量ハイドログラフの算定方法は、観測データを得るのが困難な堤防決壊幅と決壊点近傍の水位が必要なうえ、正面越流が前提となっている本間の式などの堰の越流公式から求めているため、精度良く氾濫流量を算定することは難しい。流域住民の避難をさらに的確に実施するためには、精度のよい堤防決壊時の氾濫流量の算定が必要である。

本論文では、上記の背景を踏まえ、これまで検討が不十分であった石礫河川の河道の形成機構、河岸の保護工について新しい技術的視点で検討し、さらに堤防決壊に伴う氾濫流量算定法の高度化を行っている。

本論文は全 8 章で構成され、本研究における各章の内容と成果の概要は以下のとおりである。

第 1 章「序論」では、本研究の背景、本研究に関する既往の研究、本研究の目的を述べ、本論文の構成を述べている。急流石礫河川における河床材料の粒度分布特性について述べ、その中の巨石、粗石の果たす役割について述べている。石礫河川では、河川中下流でみられる砂礫からなる河川とは異なり巨石の存在が、石礫河川特有の土砂移動機構、河道形成機構に関係していることを示し、その機構解明の必要性を述べている。さらに従来のコンクリートを用いた低水護岸がもたらしている問題点を示し、巨石を用いた新しい洗掘対策工法の必要性を述べている。また、堤防の決壊に伴う氾濫流量ハイドログラフの従来の算出法の課題と精度の高い方法を構築する必要性を述べ、精度上課題のある堰の越流公式を用いることなく、氾濫流量ハイドログラフの算定ができる新しい解析方法の確立の必要性を述べている。

第 2 章「常願寺川の概要と課題」では、本論文の研究の対象となったわが国の代表的な急流石礫河川である常願寺川の概要、洪水流、河床変動特性、河床粒度分布特性等を述べ、実験、解析の前提条件となる常願寺川的基本的な特性を説明している。また、常願寺川の水害と治水の歴史を説明し、現在までに多くの課題が解決されてきたが、急流河川ゆえの大きなエネルギーを有する流れのために、一度洪水が発生すると大きな河床変動や局所洗掘、さらには堤防決壊の可能性といった課題が発生していることを具体的に説明している。

第 3 章「常願寺川での現地実験」では、石礫河川の洪水時の土砂移動による河道形成機

構の解明と 堤防決壊時の氾濫流量ハイドログラフの信頼度の高い算定方法の確立のために、常願寺川の河川敷の川底を掘削し、堤防盛土をすることにより、現地河床材料を用いた長さ110m、幅7mの直線水路と長さ120m、幅7mの蛇行水路を作り実験を行った。石礫河川の河床材料は、常願寺川の河口から11kmの地点では、50%粒径が15cm、90%粒径が50cm程度と砂から巨石までの広い粒度分布から構成されている。室内実験では 巨石を含む広い粒度範囲の河床材料を用いた実験は不可能であり、信頼できる結果を得ることが困難である。このため現地実験を行っている。流量は、常願寺川の単位幅当たりの平均年最大流量に相当する量を流下させることにより、常願寺川で起こっている洪水流と土砂移動とほぼ相似の水理現象を水路で再現している。現地実験は2004年、2005年、2006年の3回にわたって実施されており、それぞれの実験ごとに実施内容と結果がまとめられている。特に、時空間的に変化する洪水流を水路内に発生させ、その観測を適切に行うことが結果の精度に大きな影響を与えることから、観測現場において多くの工夫が行われている。多点での水位の時間変化（水面形）、河床材料測定、堤防決壊による氾濫流量の発生などに新しい方法と観測法が採用され、高精度の解析を可能にしている。

第4章「石礫河川の河床材料調査法」では、石礫河川の河道形成機構を解明するためには、河床表層を構成する巨石が重要な役割を果たすこと、確実にかつ効率的に粒度分布を把握する必要があることを示している。河床材料調査法として、従来から採用されてきたふるい分け試験法の他に、新しい調査法である表層画像解析法を適用し、両者を比較検討しその有利な点、不利な点を論じている。常願寺川のように山体崩壊による多量の土石の流出から生じた石礫河川の河床材料は巨石から砂まで広い粒度からなり、その粒度分布形は、河道の各地点で相似形をなしている。その結果、60%粒径で無次元化した粒径河積曲線は、一つの粒度分布形にまとまることを示した。表層画像解析法は、短時間に広範囲の河床材料調査を行うことができ、河床表層を構成する巨石等を含む河床材料の粒度分布を現地の状況を確認しながら確実にかつ効率的に把握でき、石礫河川に適した河床材料調査法であることを示した。

第5章「石礫河川の河道形成機構」では、最初に、石礫河川の河床にある80%粒径程度の大きな石が核となって洪水流の大きな流体力を受け持ち、そのため周囲に存在する小さな砂礫も移動せずに存在でき、流量に応じた静的安定な河道断面を形成することを明らかにしている。これは、流れの限界掃流力以上の河床粒子のみが移動し動的に安定な河道を形成する砂礫河川とは異なる河道形成の機構である。次に、石礫河川の安定な横断面形状を規定する流量、勾配、代表粒径の間の力学関係を検討し、無次元水面幅、無次元水深と無次元流量の間の関係を導き、さらに、流れの抵抗係数を無次元流量から評価する抵抗関数を作成している。これらの関係は、石礫河川の現地実験結果を説明し、石礫河道設計のための有効な考え方と資料を提供している。

第6章「巨石を用いた新たな河岸侵食対策」では、第5章で解明された石礫河川の河道形成機構に基づいて新しい護岸設計方法を提案し、その効果を検証している。常願寺川で施工されてきたコンクリート護岸が、護岸沿いに水流を集め、結果的に護岸前面の洗掘をもたらした河岸を危険にさらしてきたことを経年的な現地測量資料より示し、その問題点を解消するために、自然河岸の前面が洗掘・侵食されている箇所に、河道に存在する巨石を適切に並べ、巨石背後の盛土と一体化した河岸侵食対策工を施工した。巨石護岸の設計法の狙いは、強い水流を巨石群で受け、水際の粗さの増大により護岸際の流速を軽減し、河床の洗掘力を低下させるとともに、盛土と一体化した護岸工の水際線形を工夫することによって、主流を河岸から流心に向けることにある。実際に洪水を受けた巨石護岸は、十分その役割を果たし、設計法の有効性を実証している。

第7章「堤防決壊に伴う氾濫流量ハイドログラフの算定法」では、堤防決壊実験によって、に伴う氾濫流量の算定方法を確立している。まず、新しい氾濫流量ハイドログラフの算定方法を構築し、本研究で実施した常願寺川現地実験に適用することで、本解析法の有効性について検討している。さらに、既往の氾濫流量ハイドログラフの算定方法を常願寺川現地実験に適用し、本解析法と比較・検討している。

第8章「結論と今後の課題」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題について述べている。

以上、本論文は、実験室では再現できない巨石を含む石礫河川の河道形成について現地河川に作られた実験水路での観測から、その機構を明らかにし説明するとともに、堤防の決壊により流出する氾濫流量の時間変化を高精度に算定する方法を確立したもので、その成果は、河川工学上重要な意味を有している。

よって本論文は、博士（工博）の申請論文として価値があるものと認められる。