

戦-31 河道の復元機構に着目した河床維持技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：水工研究グループ（河川・ダム水理）

研究担当者：箱石憲昭、福島雅紀

【要旨】

河道は通常外力条件に応じてある変動幅で変化しており、流量に応じた川幅、河床勾配に応じた粒径、供給土砂量に応じた河床勾配などが相互に関係し、ある状態を維持している。ここでは、このような河道の安定化機構を「河道の復元機構」と呼ぶが、一部の河川では砂利採取等の人為的な影響によって、極端な河道の変化、例えば、滞筋の深掘れ、樹林化による砂州の固定化、露岩などが生じている。このような河川では、復元機構が適切に働かずに何らかの修復措置を講ずる必要があると考えられ、河道の極端な変化を減らし、維持管理のしやすい河道を形成するための河床維持技術が求められている。そこで本研究では、河道の復元機構に着目した河道の設計技術を検討するものである。平成 22 年度は、実験水路を製作し予備的な実験を行うとともに、手取川で蓄積された定期横断測量成果および河床材料調査結果を整理した。

キーワード：自律的復元機構、河床材料、砂利採取、河川横断工作物、流砂量、水路実験

1. はじめに

河川横断構造物の建設や砂利採取などをきっかけとした河床低下によって、樹林化や露岩化等の河川環境の劣化、床止め・橋脚等の河川構造物の安定性の低下、砂浜の減少などの問題が顕在化し、水系一貫した土砂管理の必要性が高まってきたことは周知の事実である。河道は通常外力条件に応じてある変動幅で変化しており、流量に応じた川幅、河床勾配に応じた粒径、供給土砂量に応じた河床勾配など、それぞれが相互に関係し、ある状態を維持している。ここでは、このような河道の安定化機構を「河道の復元機構」と呼ぶが、上記の原因によって、極端な河道の変化、例えば、滞筋の深掘れ、樹林化による砂州の固定化、露岩などが生じている河川も多い。河道の地形変化については、「河床材料の平均粒径が同一であっても、その粒径分布（ d_{84}/d_{16} など）が異なることによって、堆積・洗掘の傾向、さらには河川構造物周辺の洗掘状況はかなり異なる」ことが、定性的ではあるが既往の模型実験等から確認されている。このような河道の極端な変化を減らし、維持管理のしやすい河道を形成するための河床維持技術が求められている。そこで本研究では、河道の復元機構に着目した河道の設計技術を確立するために、以下について検討するものとする。

- (1) 水路実験による河道の復元機構の解明
- (2) 河床材料と河道の応答に関する現地調査

- (3) 河道の復元機構に関する解析的検討

- (4) 河道の復元機構を考慮した河道設計手法に関する検討

なお、平成 22 年度は(1)に関連して実験水路を製作し予備実験を行った。(2)に関連しては、手取川で蓄積された定期横断測量成果および河床材料調査結果を整理した。以下、この 2 点について報告する。

2. 水路実験による河道の復元機構の解明

2. 1 実験の概要

実物の 1/10 縮尺を想定し、延長 60m、幅 3m、水路勾配 1/100 の移動床実験用の水路を 2 本製作した。実験水路構造図を図-1 に示す。なお、今回は 1 本の水路のみを用いて実験を行った。予備実験として、製作した実験水路の特性を把握するため、一様粒径（ $d_{50}=5.5\text{mm}$ ）の河床材料

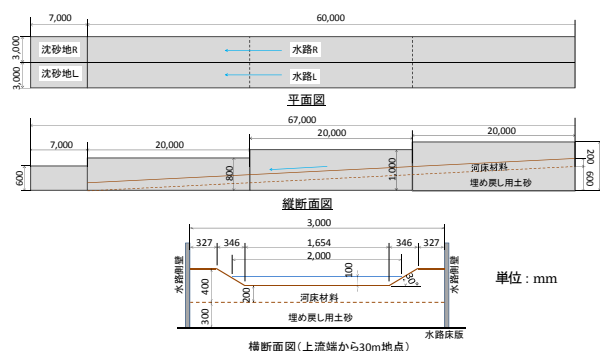


図-1 実験水路構造図

表-1 実験ケースの一覧

ケース	条件	流量	通水時間	備考
Case0	(1)	Q=128L/s	2時間	移動限界流量(約70L/s)と(2)の中間
	(2)	Q=189L/s	1時間	無次元掃流力0.1程度(粒径d=4.5mmでは0.14)
	(3)	Q=453L/s	20分間	河道満杯流量
	(4)	Q=189L/s	1時間	(2)と同じ
	(5)	Q=128L/s	2時間	(1)と同じ
Case1	(1)	Q=128L/s	5時間	通水4時間以降は水制を設置(上流端から19.9m地点)
Case2	(1)	Q=189L/s	2時間	無次元掃流力0.1程度(粒径d=4.5mmでは0.14)
	(2)	Q=83L/s	2時間	小流量を通水し、みお筋の発達を促した。
	(3)	Q=65L/s	4時間	同上

を用いて河床を整形し、通水に伴って生じる河床変動および流砂量を計測した。表-1に実験ケースの一覧を示す。Case0では、移動限界流量や河道満杯流量を確認し、Case1、2で使用する流量を決定した。その上で、Case1では無次元掃流力 τ_* を0.08程度、Case2では τ_* を0.1程度の一定条件で通水し、水路内の主に10断面で横断形、水位、流砂量の変化を記録した。

2. 2 実験の結果

流況および河床の変化について以下に示す。Case0では、条件(1)の流量Q=128L/s時に水路下流側で交互砂州が発達し、砂州の対岸側では側方侵食に伴い河道が湾曲した。侵食された河岸では砂礫がのり面を落下することで安息角程度の斜面勾配が常に維持される状況が確認された。条件(2)の流量Q=189L/s時には、条件(1)で形成された砂州が不明瞭となり平坦な河床形状へと変化した。その際、下流側の交互砂州が形成された区間では湾曲による側方侵食が進行し側壁まで侵食される場所も見られた。条件(3)の流量Q=453L/sになると、側壁近くの河床も冠水し、河道全幅にわたって河床材料が移動することで、側壁部と低水路との河床高の差が小さくなった。条件(4)の流量Q=189L/sでは、側壁近傍の局所洗掘が発達し、さらに条件(5)の流量Q=128L/sになると、流れが集中し洗掘がさらに進行した。特に、条件(1)で交互砂州が発達した区間では、モルタル床が露出するほど洗掘を受けた箇所も見られた。

Case1では、通水後2時間程度まではCase0と同様に交互砂州が形成されていた(図-2参照)が、2時間を超えた頃から交互砂州は消失し始め、4時間経過した時点では全体的に平坦な河床となり、大きな河床変動は見

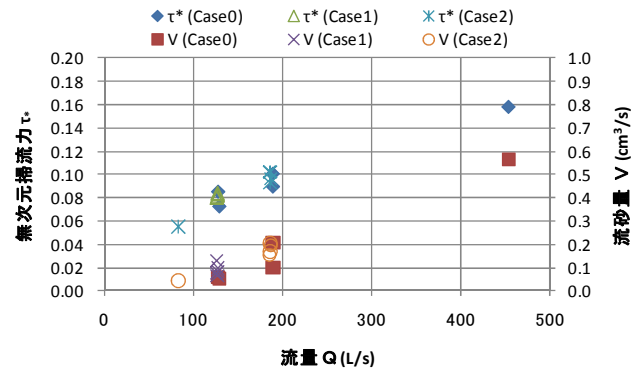


図-3 各実験ケースの流量と無次元掃流力・流砂量

られなくなった。そこで、上流から約20mの地点に長さ0.8mの水制模型を設置し砂州の発達を促した。これにより水制周辺は局所的な洗掘を生じ、洗掘で移動した河床材料は水制背後に堆積した。また、その水刎ね部に当たる下流の対岸側では、河床材料の移動が若干ではあるが活発となり側方侵食も進行した。

Case2では、Case1よりも河床材料が活発に移動し交互砂州が形成されるとともに局所洗掘も顕著となった。条件(1)で2時間通水後に、流量Q=83L/sに低下させると、形成された深掘れ部に流れが集中し、さらに洗掘が進行することでみお筋が明確となった。

各ケースの流量毎に地形計測を行い、通水中の水位観測結果と合わせて平均水深を求め、この平均水深を用いて無次元掃流力 τ_* を算定した。また、水路下流端に設置した沈砂池に堆積した河床材料の容積を計量し、通水時間を考慮して単位時間当たりの流砂量を算定した。各実験ケースの流量と無次元掃流力及び流砂量を図-3に示す。この一様粒径の河床材料に対する結果は、今後実施する予定の混合粒径の河床材料を用いた実験結果を解釈する上で基本的な情報となる。

3. 河道形状と河道の応答に関する調査

3. 1 手取川の概要

手取川は、その源を白山(標高2,702m)に発し、尾添川、大日川等の支川を合流しながら山間部を経て石川県白山市鶴来大国町付近に至り、穀倉地帯である加賀平野

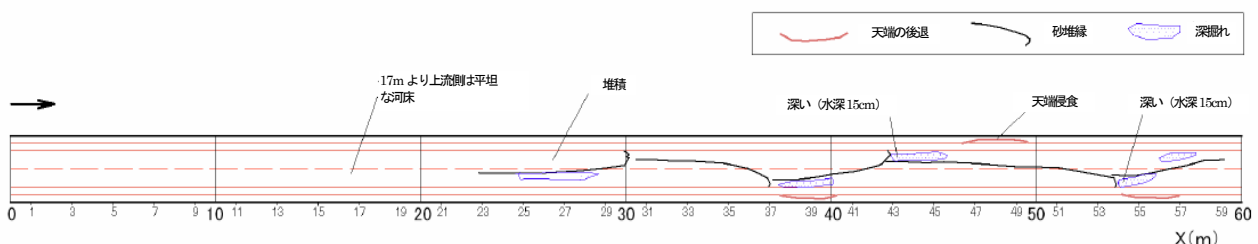


図-2 形成された砂州のスケッチ (Case1 - (1) 通水後1時間45分の状況)

を西流し、白山市湊町付近にて日本海にそそぐ、幹川流路延長 72km、流域面積 809km² の一級河川である。手取川流域は、上、中流の山地部と下流域の平野部に大別され、流域面積からみると山地面積の割合が約 9 割を占めており、平野と河川区域の面積はごくわずかである。上流域には治水、利水を目的とした手取川ダムが完成（昭和 55 年）しており、下流域の治水安全度の向上だけでなく、発電、上水道水の供給など広範囲にわたり大きな恩恵をもたらしている。下流域の平野部は、上流で発生した土砂が下流に運搬され、氾濫を繰り返すことで形成された扇状地であり、近世以降は、堤防を築いて河道は概ね固定されている。河道は、かつて、上流からの土砂供給や洪水時の河床の攪乱により、砂礫河床が形成され、扇状地河川独特の自然環境を形成してきた。しかし、近年では河床低下や河道内の樹木化の進行等により砂礫河床が減少し、河川環境が大きく変化している。この様な現況を踏まえ、手取川の原風景である石の河原の復元に向けた取り組みが求められている。

3. 2 定期横断測量成果の整理

手取川の直轄管理区間（河口～17.3km）では、定期横断測量を昭和 4 年からほぼ毎年縦断距離 200m 間隔で実施している。本検討では最新の平成 19 年度測量成果までのデータを入手し、概ね 5 年毎の測量成果を用いて整理した。代表的な断面として、距離標で 2.0km、8.0km、14.0km での整理結果を図－4 に示す。

手取川では砂利採取の影響で河床が低下してきたことが知られているが、いずれの断面を見ても昭和 4 年以降河床低下が進行してきたことを確認できる。特に、昭和 30 年代後半は砂利採取の最盛期であり、その時期での低下量は大きくなっている。14.0km 地点に着目すると、昭和 9 年の大水害を受けて右岸側の引堤を行っているが、その直後から右岸側の河床低下が進んでいる。この原因は砂利採取に加え、河道法線形の変化も影響したと考えられる。また、岩盤が比較的浅いところに存在していたことから露岩し、その影響で上流から供給される砂礫が堆積しにくい環境が形成されたと指摘されている。

3. 3 河床材料調査結果の整理

手取川の河床材料調査は、昭和 41 年度以降実施され、昭和 41 年から昭和 46 年までは毎年 500m 間隔で、昭和 50 年は 1.0km 間隔で、昭和 54 年は 1.0km 間隔で（一部 400m 間隔を含む）、平成 5 年及び平成 11 年は 2.0km 間隔で、平成 21 年は 200m 間隔で調査が行われている。調査方法については、昭和 41 年から平成 11 年は JIS、北陸地方整備局調査関係共通仕様書等に基づきほぼ同様の調

査方法であったが、平成 21 年は線格子法を含めた調査方法とされた。

代表的な断面として、前節と同様に 2.0km、8.0km、14.0km 地点の粒径加積曲線を図－5 に示す。前述したように、調査法や調査場所（高水敷から水際かなど）の違いを考慮して結果を比較する必要があることから、平成 21 年度および高水敷の調査結果を除いて考察するものとする。2.0km 地点および 8.0km 地点では河床材料は一時的に粗粒化し、その後細粒化していることを理解できる。一方、14.0km 地点では昭和 40 年代は粒径 100mm を超える材料が多かったが、昭和 50 年代以降は 100mm を超える材料が少なくなり細粒化してきたことを理解できる。

3. 4 河床変動と粒径変化の関係

上記の整理結果を踏まえて、河床変動と河床材料の粒径変化について考察すると、以下の点を指摘できる。2km 地点および 8km 地点においては、砂利採取の影響で一時的に粗粒化した部分が見られ、その後上流から供給された土砂で従前の粒径に戻ってきたと考えられる。一方、14km 地点では、河道法線形の変化によって河床が低下し、昭和初期には岩盤が露出する状況が見られていたと推測され、その結果として大粒径の礫が河床に止まりにくくなり、細粒化が進行したものと予想された。上記の考察については、代表断面を対象とした単純な考察を述べたものであり、その他の地点も含めて今後詳細に検討する必要があることは追記しておく。具体的には、河道法線形の変化による河床変動について確認する必要がある。また、手取川ダムの建設（昭和 55 年）、上流河道における砂利採取、出水の発生状況などの影響も含めて検討していく予定である。

4. まとめ

以下に平成 22 年度の主な成果を整理するとともに、今後の予定を述べる。

- 1) 実験に用いる水路の諸元を検討し、それに応じて実験水路を製作した。その上で、予備通水を行い、 $d_{50}=5.5\text{mm}$ のほぼ一様粒径の河床材料に対する河床変動特性および流砂量を確認した。今後は、上記の結果を基礎情報として、平均粒径は同程度としつつも粒度分布の異なる河床材料を使った場合の河床変動特性等を調査することとしている。
- 2) 手取川の定期横断測量成果および河床材料調査結果を整理し、河床変動と粒径変化との関係について考察した。露岩することで進行する河床材料の細粒化については仮説の段階であり、上記の水路実験等を通じて

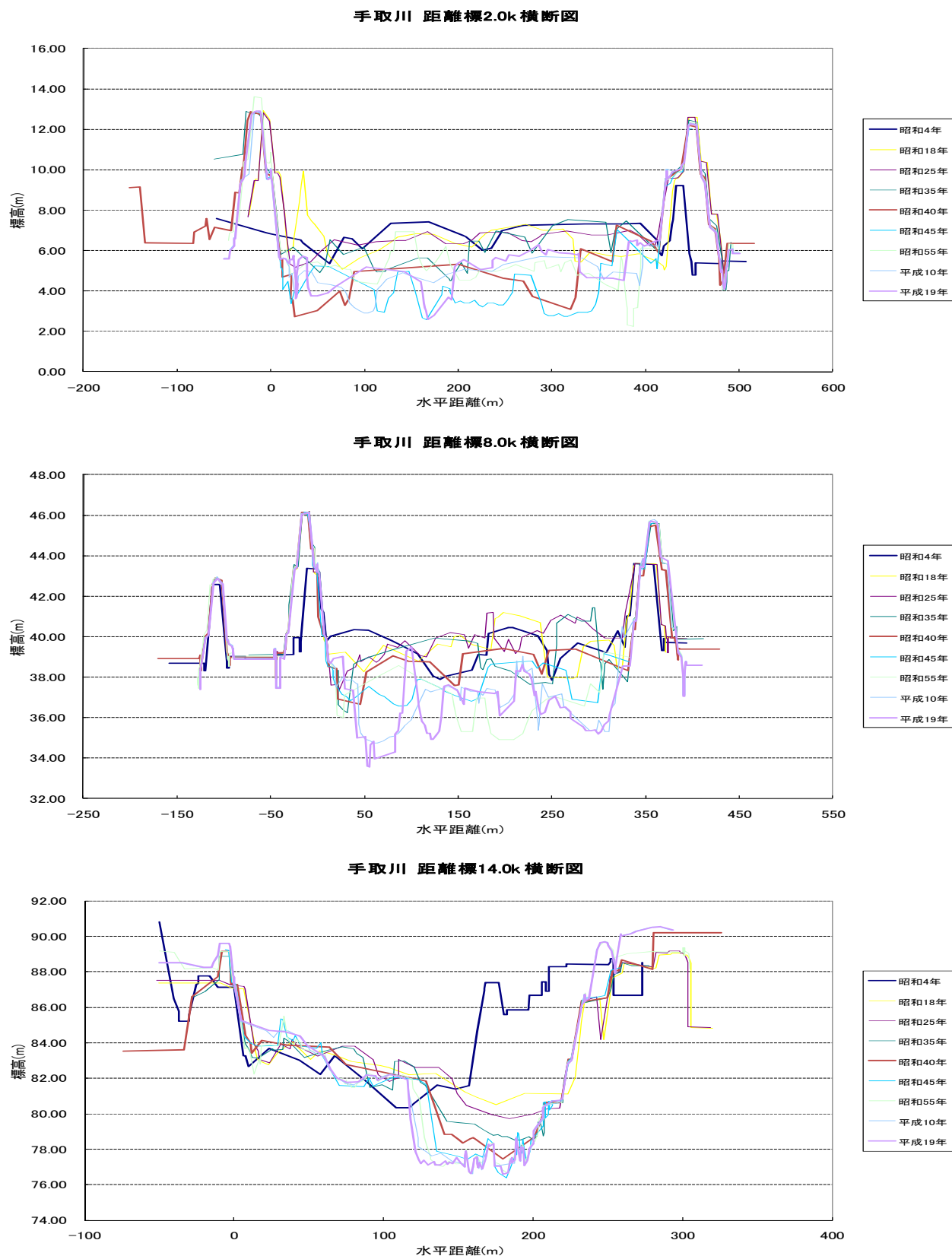


図-4 手取川における代表断面の横断形の変化

確認することも含めて、今後の検討課題としたい。また、露岩箇所の下流にはアーマー化した地点も見られ、

アーマー化と河床変動との関係についても確認する予定である。

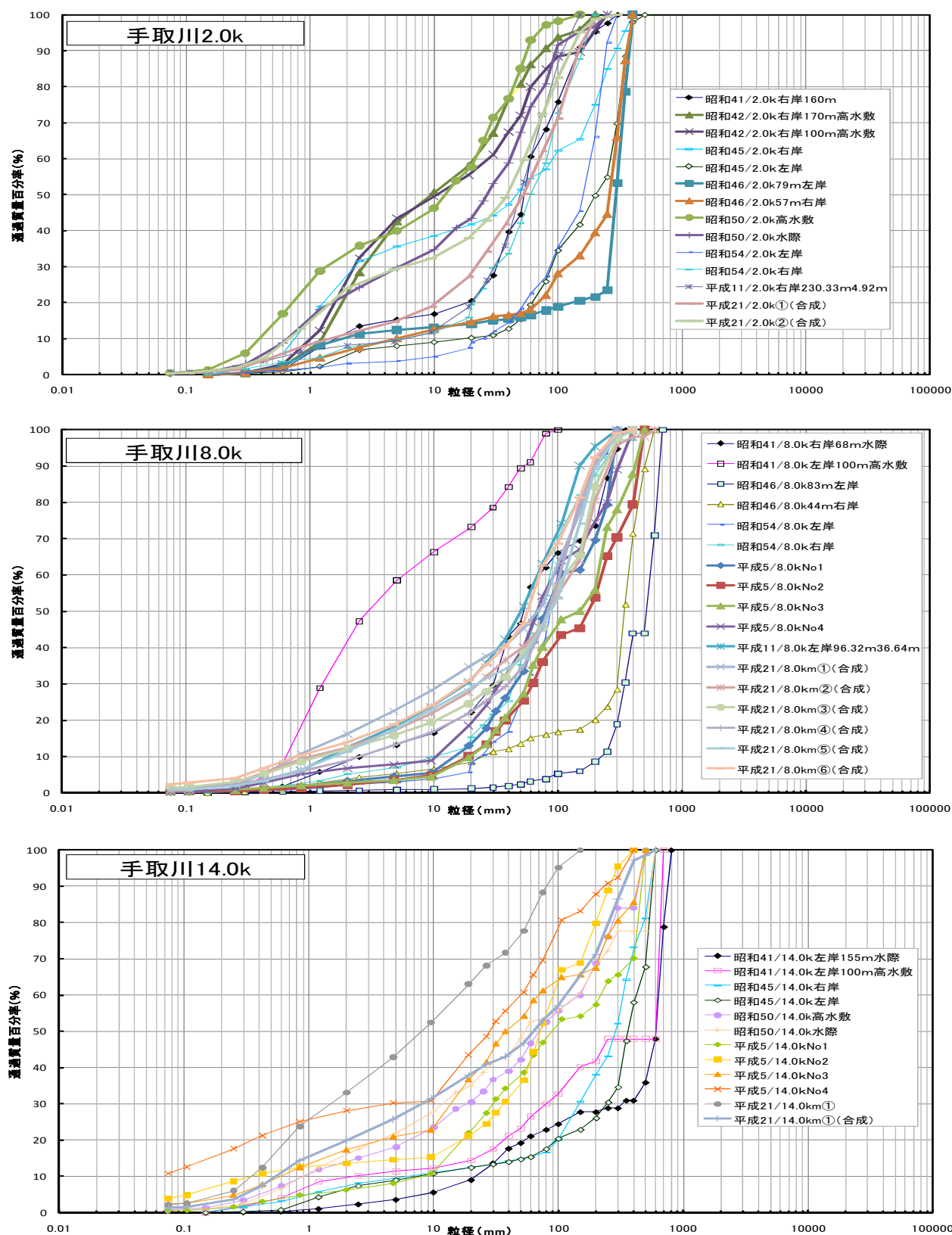


図-5 代表断面における粒度分布の変化

謝辞

手取川の定期横断測量成果及び河床材料調査結果については、国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所

から提供していただいた。また、実験水路は国土交通省国土技術政策総合研究所の所有する河川水理実験施設に設置させていただいた。ここに記して、謝意を表します。

STUDY ON RIVERBED MAINTAINANCE TECHNOLOGY BASED ON RIVER RESTORATION MECHANISM.

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2010-2013

Research Team : River and Dam Hydraulic
Engineering Research Team

Author : HAKOISHI Noriaki

FUKUSHIMA Masaki

Abstract : In general, river channel changes in accordance with natural impact, in particular, flood impact within a certain fluctuating range. For example, channel width may be determined by water discharge and channel slope may be determined by riverbed materials and so on. Here, such stabilizing characteristics of river channel are called “river restoration mechanism”. However, the mechanism may be lost by getting gravels out of riverbed and decreasing sediment supply from upstream area. In the study, function of each size of material in the riverbed will be investigated mainly by flume experiments, and field data will be also collected to analyze relationships between channel shape and riverbed materials. In FY2010, a large flume of 60m long and 3m wide was constructed, and fundamental experiment was implemented under a condition of uniform bed material. As for field data, regular cross-sectional surveying data and sieve analyzing data of riverbed material were collected and summarized.

Key words : River restoration mechanism, Riverbed material, Riverbed excavation, Cross-river structure, Bed load, Flume experiment