

急流礫床河川における低水路護岸沿いの 深掘れ流路形成とその特性

FORMATION MECHANISM OF CHANNELS DEVELOPING ALONG THE LOW WATER REVETMENT IN GRAVEL BED RIVERS

長田健吾¹・安部友則²・福岡捷二³
Kengo OSADA, Tomonori ABE and Shoji FUKUOKA

¹正会員 博士(工学) 中央大学研究開発機構助教(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²正会員 国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所 所長(〒930-8537 富山市奥田新町2-1)

³フェロー会員 Ph.D 工博 中央大学研究開発機構教授(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

The low water revetment is installed for the purpose of mitigation of scour depth along the riverbank and bank erosion. However, if low water revetment is installed, the sand supply from bank erosion stops, moreover, the velocity along the low water revetment will increase the situation where the river bed along the riverbank is made to scour further as a result. Furthermore, the channel made along the riverbank is fixed and there is a possibility of bringing more flood discharge together along the riverbank. Furthermore, since the comparable height difference with the channel also increases in the flood plain and flow channel, the erosion width at the time of bank erosion occurring becomes larger, and the danger that erosion will reach even to the bank increases. This study investigates the relationships between the installation of low water revetment and the secular change of channel change in the Jogajji River. And, we consider the measure of bank erosion by the bed material without using the low water revetment.

Key Words : gravel bed river, low water revetment, bank erosion, scour depth
channel variation, boulder

1. はじめに

護岸工は、洪水時における河岸際の洗掘や河岸侵食の軽減を目的に設置される¹⁾。急流礫床河川では、洪水時のみお筋変動に伴う河床変動量が大きく、河岸際の洗掘や河岸侵食の発生場所および大きさを予測することが困難であるため、洪水後に被災した箇所や河岸近辺の洗掘深が大きい箇所について新規に護岸工を施工する、あるいは根継ぎをするなどの対策が採られることが多い。低水路護岸工は、河岸侵食を抑制し、安全性は増大するものの、護岸工を設置すると、その場所において流路が河岸方向に広がることを妨げられ、土砂供給量も減少する、さらには、護岸際の流速が増大するため、結果として護岸前面の河床をさらに洗掘させるような状況を作っている。また、河岸際に一度出来た流路が固定化され河岸から離れずに、より多くの洪水流量を河岸際に集める恐れもある。さらに、河床洗掘により高水敷と河岸際流路との比高差が増大するため、河岸侵食が発生した際の侵食

幅が大きくなり、堤防まで侵食が到達する危険性が高まる。

本研究では、常願寺川における低水路護岸工の設置と流路変動の経年変化の関係を調べ、低水路護岸工設置による河岸際流路の固定化および流路の縦断距離、流路深さ、流路幅の経年変化について検討する。また、高水敷と河岸際流路との比高差の増大について考察する。そして、低水路護岸工は必要な箇所に限定し、護岸工に代わる自然性の高い方法による河岸侵食対策について考察する。

2. 低水路護岸位置と河岸際流路の変動機構

(1) 常願寺川の概要

常願寺川は我が国有数の急流礫床河川であり、河口から7km付近に勾配変化点があり、その上流側は1/70程度の急流河川となっている。河床材料は、10kmから上流でD60が30cm程度となり、巨石が多く存在する区間となる。

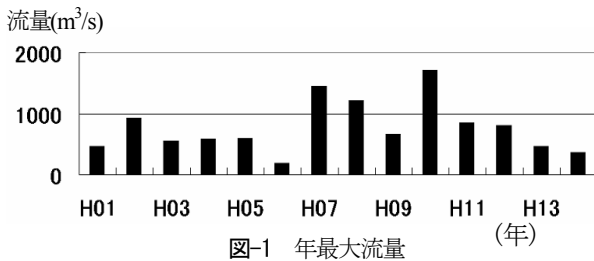
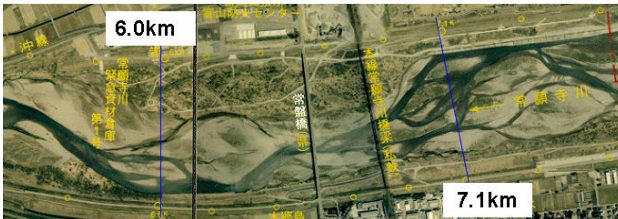


図-1 年最大流量



(a) 平成33年11月



(b) 平成15年4月

写真-1 5.5kmから7.5kmの流路変動
(常願寺川集成図より)

図-1に、年最大流量を示す。H7年、H8年およびH10年に1000m³/sを超える洪水が発生している。常願寺川では、1000m³/sを超える洪水が発生すると、河道全体で河床が大きく変動し、滞筋の位置や洗掘深が大きく変化することが、黒田・福岡ら²⁾により明らかにされている。

(2) 低水路護岸位置と河岸際流路の経年変化

写真-1は、5.5kmから7.5km区間のH3年とH15年の航空写真を比較したものである。H3年では、6.4km付近で流路が左岸の河岸際に接しており、7.3km付近で右岸の河岸際に接している。しかし、H15年になると、左岸では6.0kmから7.1km付近まで河岸際に流路が接し、右岸では、7.1kmから7.5kmまで河岸際に流路が接しており、河岸際の流路が伸びていることがわかる。右岸の7.1kmから7.5kmでは、H5年からH7年にかけて低水路護岸工が施工されており、それ以降、河岸際に流路が固定化され離れない状態となっている。図-2は、5.1kmから8.0kmと11.1kmから13.5kmにおける最深河床位置の経年変化と、H14年時点における低水路護岸工の設置位置を示したものである。この図を見ると、H3年では最深河床位置が低水路中央付近に寄っていて蛇行振幅も小さいのに対して、H9年やH14年では、低水路護岸に接する流路の距離が伸び、蛇行振幅も大きくなっている。また、蛇行振幅が大きくなることで、河岸際に当たる流路の角度も大きくなっている。これは、後述するように河岸際流路が低下することにより、6.0kmから7.1kmの右岸および6.0kmよ

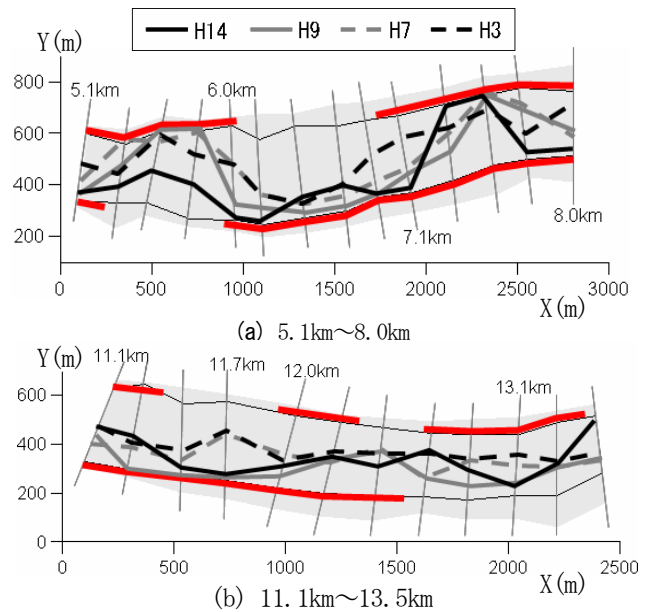


図-2 最深河床位置の経年変化

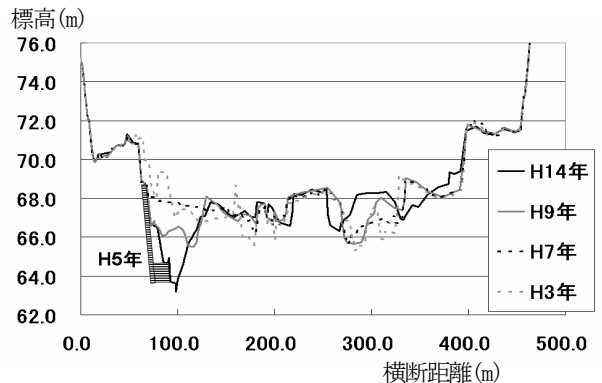
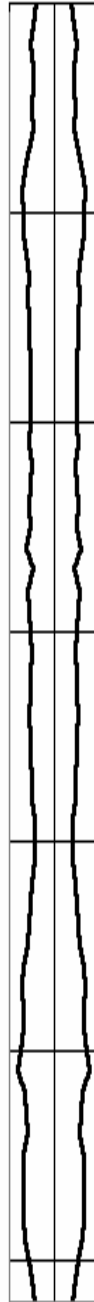


図-3 11.7km横断の経年変化と護岸位置

り下流の左岸に存在する砂州との比高差が、H3年に比べて大きくなり、それによる水はね効果が要因となっている。河岸に当たる流路の角度が大きくなることで、さらに河岸侵食や河岸際の洗掘深が大きくなる状況を作っている。このような比高の高い砂州をなくし、流路の蛇行線形を滑らかにすることが治水に重要である。図-3は、11.7km地点の横断の経年変化とH5年に施工された護岸工の設置位置を示した。H8年の洪水により、河床が大きく変動し、低水路護岸工沿いに流路が接するようになり、H10年の洪水により護床ブロックまで洗掘が到達している。河岸際流路の洗掘深が増加することで、高水敷と河岸際流路との比高差の増大も顕著になっている。

常願寺川の4.0kmから17.7kmの区間における低水路護岸工が設置されている区間と、河岸際に接した流路の特徴について調べ両者の関係について検討を行った。用いたデータは、設置された低水路護岸工の平面図(施工区間、施工年度が示されている)および横断施工図と、定期横断測量結果(H3年、H6年、H7年、H9年、H14年)および常願寺川の航空写真(H3年11月、H7年11月、H8年7月、H15年4月)である。図-4は、H3年からH14年までの河岸際に接した場所(灰色で塗りつぶした箇所)とその

| 距離 | H14年左岸 | H9年左岸 | H7年左岸 | H6年左岸 | H3年左岸 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 4.0km | | | | | |
| 4.2km | | | | | |
| 4.4km | | | | | |
| 4.6km | | | 500m A1 | | |
| 4.8km | 300m C | 300m C | C | | 200m C |
| 5.1km | A1 | A1 | B | | |
| 5.3km | | | | | |
| 5.5km | | | | | |
| 5.7km | | | | | |
| 6.0km | 1300mA1 | | | | |
| 6.2km | A1 | 850m A1 | | | |
| 6.4km | A1 | A1 | 300m A1 | 200m B | 200m B |
| 6.6km | A1 | A1 | A1 | | |
| 6.8km | A1 | A1 | | | |
| 7.1km | A2 | A1 | | | |
| 7.3km | A1 | | | | |
| 7.5km | | | | | |
| 7.7km | 900m B | 200m B | | | |
| 8.0km | A1 | | | | |
| 8.2km | A2 | 1000mA1 | 150m B | | |
| 8.4km | A1 | A1 | | | |
| 8.6km | B | B | | | |
| 8.8km | A1 | A1 | 700m A1 | | 300m A2 |
| 9.1km | C | C | C | | C |
| 9.3km | | | C | | |
| 9.5km | 250m A1 | | A1 | | |
| 9.7km | | | | | |
| 10.0km | | | | | |
| 10.2km | 500m A2 | 500m A1 | | | |
| 10.4km | A1 | A1 | | | 200m A1 |
| 10.6km | A1 | B | | | |
| 10.8km | | | | | |
| 11.1km | | | | | |
| 11.3km | | 700m B | 250m B | 250m B | 250m B |
| 11.5km | 500m A1 | A1 | | | |
| 11.7km | A2 | A1 | | | |
| 12.0km | A1 | A1 | 200m A1 | | 200m A1 |
| 12.2km | | | | | |
| 12.4km | | | | | |
| 12.6km | | | | | |
| 12.8km | | | | | |
| 13.1km | 200m C | | | | |
| 13.3km | | | | | |
| 13.5km | | | | | |
| 13.7km | 200m A1 | 200m A1 | | | |
| 14.0km | | | | | |
| 14.2km | | | | | |
| 14.4km | | | | | |
| 14.6km | | | | | |
| 14.8km | | | | | |
| 15.1km | | | | | |
| 15.3km | | | | | |
| 15.5km | | | | | |
| 15.7km | 250m A1 | | | 200m A1 | 500m A1 |
| 16.0km | | | | | A1 |
| 16.2km | 200m A2 | 200m A2 | 200m A2 | 200m A2 | A2 |
| 16.4km | | | | | |
| 16.6km | | | | | |
| 16.8km | | | | | |
| 17.1km | | | | | |
| 17.3km | | | | | |
| 17.5km | | | | | |
| 17.7km | | | | | |



| 距離 | H14年右岸 | H9年右岸 | H7年右岸 | H6年右岸 | H3年右岸 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 4.0km | 500m A1 | 500m A1 | 500m A1 | | |
| 4.2km | A1 | A1 | A1 | 250m A1 | 250m A1 |
| 4.4km | | | | | |
| 4.6km | | | | | |
| 4.8km | 500m A2 | | | | |
| 5.1km | A1 | | | | |
| 5.3km | A1 | 500m A1 | 150m A1 | | |
| 5.5km | | A1 | | 250m A1 | 250m A1 |
| 5.7km | | A1 | 200m B | | |
| 6.0km | | | | | |
| 6.2km | | | | | |
| 6.4km | | | | | |
| 6.6km | | | | | |
| 6.8km | | | | | |
| 7.1km | 600m A1 | 200m A1 | | | |
| 7.3km | A1 | | | | |
| 7.5km | A1 | 200m A1 | 150m A1 | | |
| 7.7km | | | | | |
| 8.0km | | | | | |
| 8.2km | | | | | |
| 8.4km | 150m A1 | 150m A1 | | | |
| 8.6km | | | | | |
| 8.8km | | | | | |
| 9.1km | | | | | |
| 9.3km | 200m A2 | 200m A2 | 200m A2 | 200m A2 | 200m A2 |
| 9.5km | | | | | |
| 9.7km | 100m B | | | | |
| 10.0km | | | | | |
| 10.2km | | | | | |
| 10.4km | 200m A1 | | | | |
| 10.6km | | | | | |
| 10.8km | | | | | |
| 11.1km | | | | | |
| 11.3km | | | | | |
| 11.5km | | | | | |
| 11.7km | | | | | |
| 12.0km | 700m A1 | 200m A1 | 200m C | | |
| 12.2km | A1 | | | | |
| 12.4km | C | | | | |
| 12.6km | A1 | | 150m C | | |
| 12.8km | | | | 200m A1 | 200m A1 |
| 13.1km | | | | | |
| 13.3km | | | | | |
| 13.5km | 700m A1 | | | | |
| 13.7km | A1 | 500m C | | | |
| 14.0km | A1 | A1 | 400m C | 300m C | 300m C |
| 14.2km | A1 | A1 | C | | |
| 14.4km | | | | | |
| 14.6km | | | | | |
| 14.8km | | | | | |
| 15.1km | | | | | |
| 15.3km | | | | | |
| 15.5km | | | | | |
| 15.7km | | | | | |
| 16.0km | | | | | |
| 16.2km | | | | | |
| 16.4km | | | | | |
| 16.6km | | | | | |
| 16.8km | | | | | |
| 17.1km | | | | | |
| 17.3km | | | | | |
| 17.5km | | | | | |
| 17.7km | | | | | |

-300 0 300 低水路幅(m)

図-4 低水路護岸工設置位置と河岸際流路の経年変化

長さ、そして護岸工が設置されている箇所（既存は黒、その期間内に新規施工および改修された箇所はしま模様で表示）を示している。また、河岸際に接した流路の中で、護岸工に流路が接している、もしくは護岸工と流路の間が20m以内の箇所をA、護岸工と流路の間が20m～30m以内の箇所をB、自然河岸の箇所をCとして、図内に表示した。Aは、さらにA1およびA2に分け、A2は、既に護床ブロックまで洗掘が到達している箇所であり、それ以外をA1とした。左右岸を分けて示しており、その間には低水路幅を示した。この図を見ると、経年的に河岸際に接する流路の距離が延びており、例えば、6.0km

から7.3kmの左岸では、H3年時点で200m（6.4km地点）接していた流路が、H9年で850m、H14年で1300mと、洪水ごとに河岸際流路の距離が延びていることが分かる。他の区間でも、低水路護岸を設置した区間において河岸際流路の距離が経年的に延びていることが分かる。次に、河岸際に接した流路の流路幅と流路深さについて検討を行う。流路幅は、各断面の低水路平均河床高を算出し、その河床高での水路幅とした。流路深さは、低水路平均河床高からの流路の洗掘深とした。図-5が、H3年、H9年、H14年の流路幅と流路深さを示したものである。流路幅を見ると、とくに6.0kmから8.0km付近で大きな値を示し

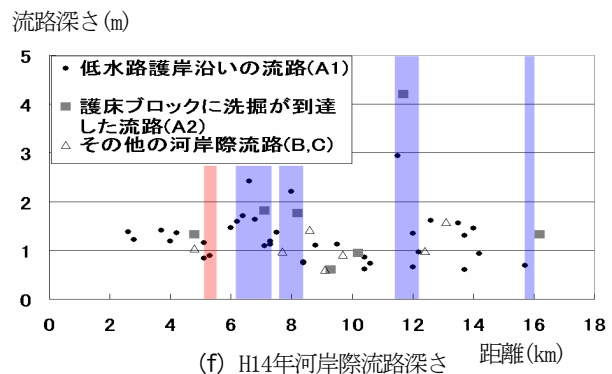
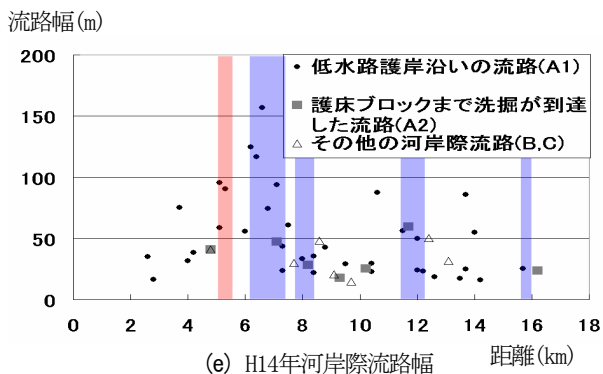
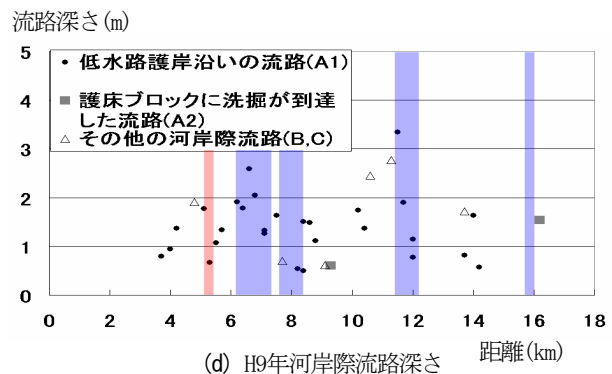
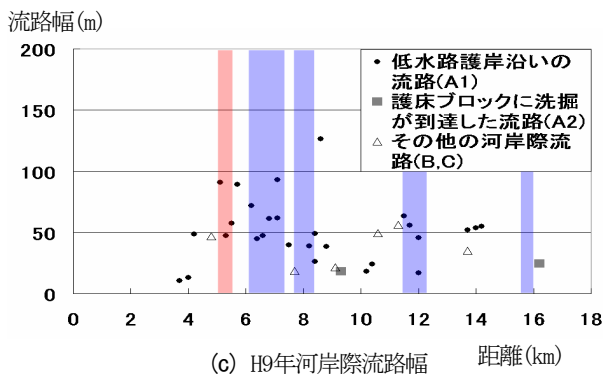
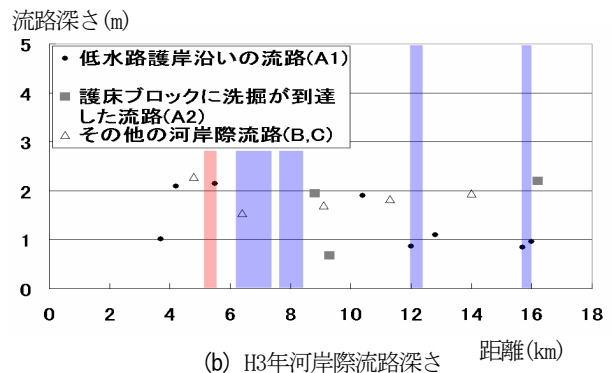
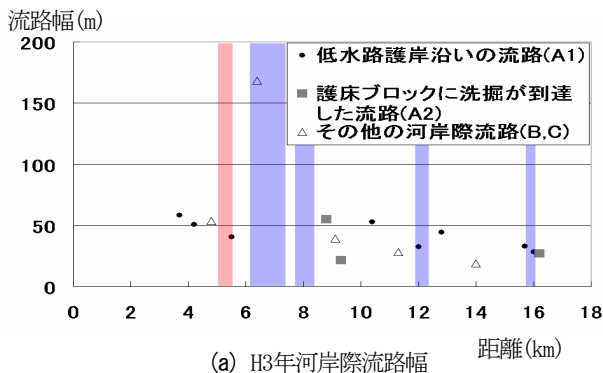


図-5 河岸際流路の流路幅、流路深さと護岸水制設置位置

表-1 護岸水制設置区間

| 水制設置区間 | 施工年度 |
|--------------------|--------|
| 5.1km-5.5km (右岸) | S59~H1 |
| 6.2km-7.3km (左岸) | S59~H5 |
| 7.7km-8.4km (左岸) | S61~H1 |
| 11.5km-12.2km (左岸) | H1~H5 |
| 15.7km-16.0km (左岸) | H1 |

ており、経年的に流路幅が広がっていることが分かる。この区間の、流路深さも図-5(f)を見ると分かるように、平均値よりも高い値を示している。この区間では、河岸際に接する流路の距離が延びるとともに、その流路幅、流路深さも発達していることが分かる。また、流路深さで見ると、11.1kmから12.0kmにおける洗掘深の増加が顕著に現れている。

(3) 河岸際流路の発達と比高差拡大に関する考察

河岸際流路が発達した要因について考察する。一般に、急流礫床河川では、河岸侵食による流路への給砂によって河岸沿いの流路の平衡が保たれていると考えられる。護岸工を設置すると、河岸侵食に伴う給砂が減少すること、河岸が直線化し摩擦が減ることによって流速が増大することが流路の洗掘深の増大に影響していると考えられる。その他の要因の1つに護岸水制の設置が挙げられる。常願寺川では、護岸工とともに、50m間隔で護岸水制(六脚ブロックを2・3段積み重ねた、長さ約15mから

20m程度)が施工されている。表-1に護岸水制が設置された区間と施工年度を示した。図-5には、その護岸水制設置区間を着色して示しており、水制工の設置区間と河岸際流路が発達している区間が対応している。水制があると、その先端で局所洗掘が生じ、それが起因となって流路の深さが増し、河岸際の流路が発達したと考えられる。しかし、水制の背後には土砂が堆積しており、それにより河岸は守られている。もう1つの要因として、上述した低水路内の横断比高差の拡大が挙げられる。図-6は、各断面の低水路平均河床からの変動高さや護岸の設置位置を経年的に示したものである。6.0kmから7.1km付近の経年変化を見ると、左岸の河岸沿いに流路が発達し、逆

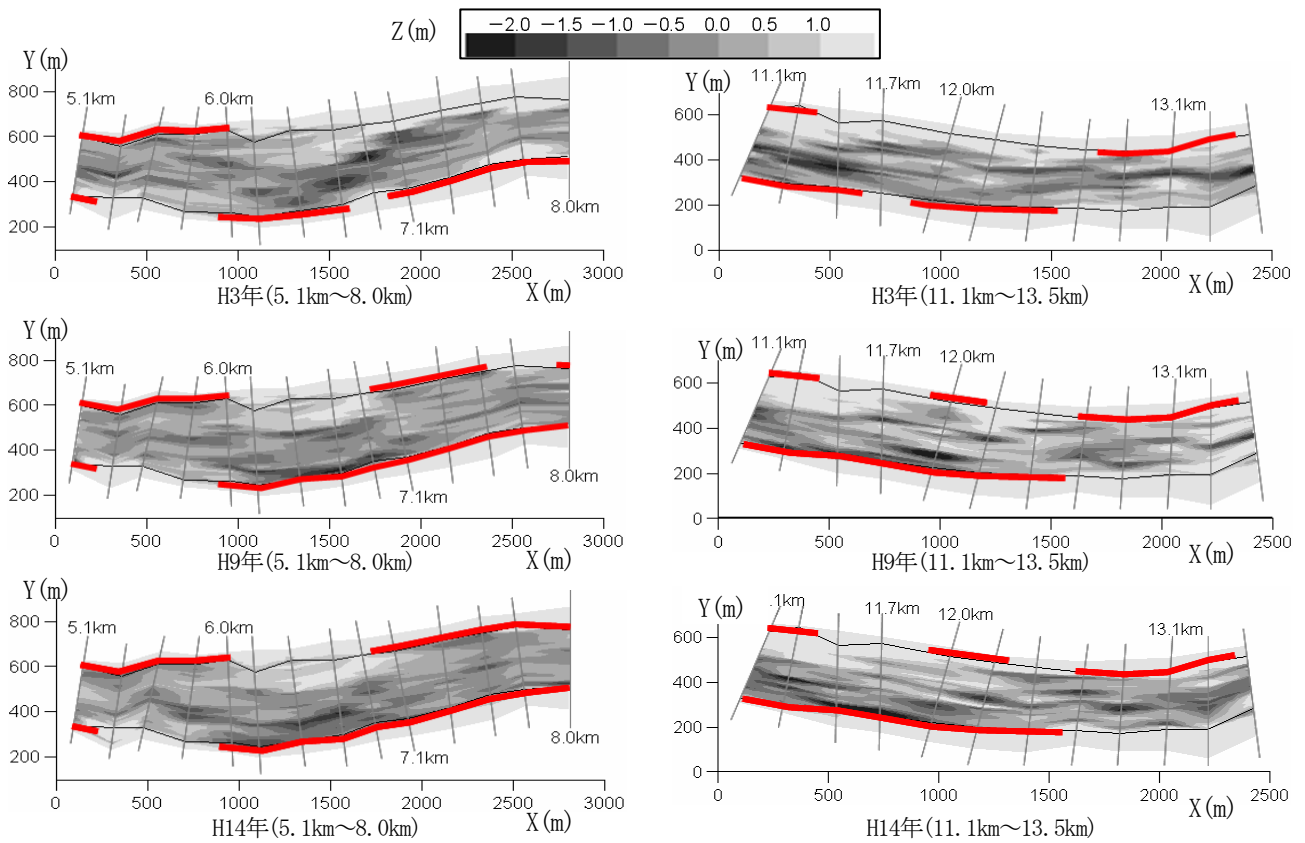


図-6 低水路平均河床位からの変動高さコンター

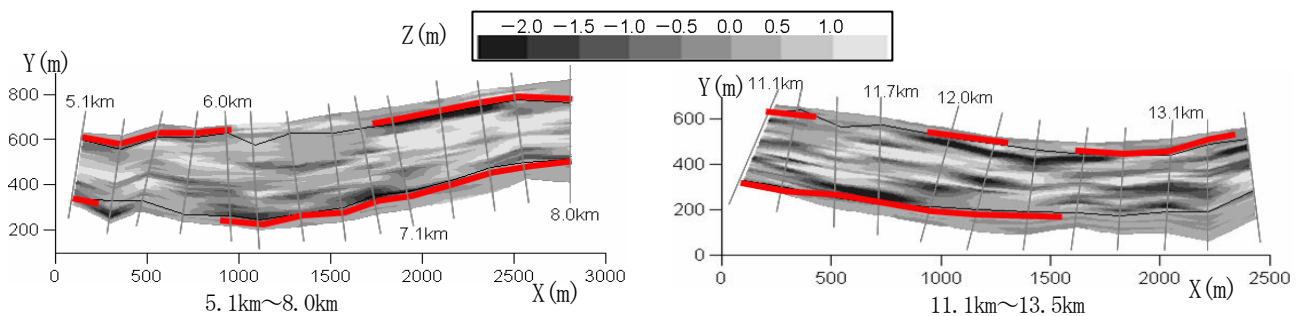


図-7 H3年からH14年の河床変動量

に右岸側は堆積傾向にあることが分かる。このような傾向は、11.7 Km付近でも見られ、11.7km付近の左岸側の河岸沿いで経年的に河床低下が生じているのに対して、右岸側は堆積傾向となり、流路が左岸側に固定化されてきていることが分かる。他の区間でも、例えば12.6km付近の左岸、14.2km付近の左岸において砂州が形成されており、その対岸では河岸侵食が発生し、その後、河岸に接した流路の距離が徐々に延びてきている。このように、低水路内で横断比高差が拡大することで、流水が河床低下した側の河岸に集中するようになり、河岸際に接した流路の流路幅、流路深さが大きく発達したと考えられる。

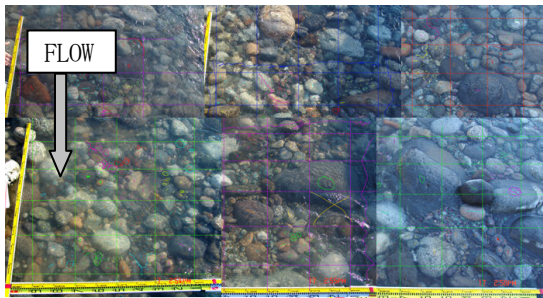
図-7は、H3年からH14年の河床変動量を示している。低水路河岸際での河床低下が顕著に現れており、高水敷との比高差の拡大が経年的に進んでいることが分かる。このように常願寺川においては、高水敷と河岸際流路の比高差の拡大、低水路内での横断比高差の拡大が進行し

ており、蛇行振幅の増加も見られることから、河岸侵食の危険性がさらに高まっていると考えられる。これらを改善することが治水上重要な課題である。低水路護岸工は必要な箇所限定し、護岸工に代わる合理的な河岸侵食対策工を検討することが必要である。

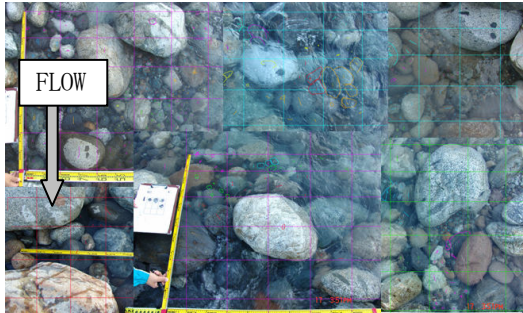
3. 巨石を用いた河岸侵食対策の考察

河岸侵食を軽減するためには、低水路内の横断比高差および高水敷と河岸際流路との比高差を小さくすること、また、流路の蛇行線形を滑らかにすることが重要である。ここでは、そのような課題の改善策として、河道内にある巨石を用いた方法について考察する。

まず、急流礫床河川における河床の安定機構について考察する。写真-2は、2004年に常願寺川で行われた現地



(a) 掃流力の小さい場合の安定した状態



(b) 掃流力の高い場合の安定した状態

写真-2 掃流力の違いによる河床表層状態の変化

実験²⁾の通水後の河床表層画像であり、写真-2(a)が小さな掃流力(約560g/s・cm²)で安定した河床表層の状態、写真-2(b)は大きな掃流力(約1140g/s・cm²)で安定した河床表層の状態を現している。掃流力が小さい場合、その流れに見合った中小の礫が河床の安定に貢献し、巨石は表面を少し露出した程度で存在している。掃流力が大きくなると、中小の礫が抜け出し、埋まっていた巨石が大きく露出することで、流れの抵抗となり、河床の安定に大きく貢献する。その周囲の材料もその流れ場に見合った配置となっており、例えば巨石と巨石の間の流れが速い所には次に大きな粗石が存在し、小さな砂礫は巨石の後流域などに留まることが出来る。このように巨石が核となって、河床を安定化させる。

河岸侵食を軽減するための巨石を用いた方法について考察する。図-8の(a)および(b)は、5.5kmから7.5km付近のH3年とH14年における河道の状態を示したものである。図-8(a)に示すように、H3年時点では流路の蛇行振幅が小さく、河岸際の流路も距離が短い状態であった。しかし、洪水により河岸侵食が起こるとともに、比高の高い砂州が発達することにより、流路の蛇行振幅が大きくなり、河岸に接する流路の距離も伸び、図-8(b)に示す現況の状態になったと考えられる。今以上に護岸工の延長を大きくしないために、流路線形の改善と河岸際流路の深掘れ軽減対策として、図-8(c)に示すように、河道内にある巨石を流路線形が滑らかになるように河岸前面に配置する。巨石を置くことにより、洪水流を滑らかにすることで、上流から流送されてくる種々の大きさの河床材料によって自然に写真-2(b)のような状態になり、洗掘深が抑えられ、その侵食も軽減され、比高の軽減および流路の蛇

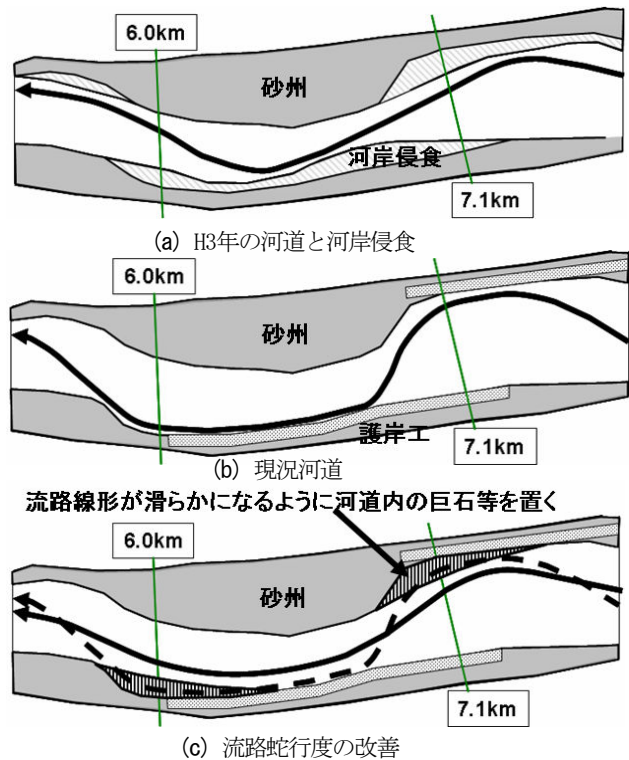


図-8 流路蛇行度の改善策

行線形の改善に繋がることを期待するものである。巨石を河床に適切に配置することによって、自然の力で河床が安定化し、結果として河岸沿いの流路延長が短くなり、河岸も安定化できればよいと考えている。今後、この方法を現地で試みる予定である。以上のことから、流砂の面から健全な河道を維持するために、巨石などの大きな河床材料を河川外に持ち出さず、自然の安定した河道にすることが重要である。

4. 結論

本研究では、常願寺川において、低水路護岸位置と河岸際に接した流路との関係について検討を行った。河岸際流路の距離が経年的に伸びている要因として、低水路内の砂州の発達、低水路護岸際の深掘れによる高水敷と河岸際流路との比高差の増大、流路の蛇行線形の増大などが挙げられる。これらを改善することが治水上重要であり、河道内に存在する巨石を用いた方法による流路是正の試みについて考察を行った。

参考文献

- 1) 福岡捷二：洪水の水利と河道の設計法，治水と環境の調和した川づくり，森北出版，2005
- 2) 黒田勇一，福岡捷二，山本輝，吉田和弘，井内拓馬：礫床河川の滞筋形成機構と河床粒度分布特性，河川技術論文集，第11巻，pp. 363-368，2005。

(2007. 4. 5受付)