

四万十川橋・橋脚周辺の 局所洗掘に関する現地調査

FIELD INVESTIGATION OF LOCAL SCOUR AROUND THE PIER OF SHIMANTO-BRIDGE

門田章宏¹・竹林洋史²・湯城豊勝³・ヒカルド アラガオン⁴・鈴木幸一⁵
Akihiro KADOTA, Hiroshi TAKEBAYASHI, Toyokatsu YUKI, Ricardo de Aragao and Koichi SUZUKI

¹正会員 工博 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

²正会員 工博 徳島大学助手 工学部建設工学科

³正会員 工博 阿南高専助教授 建設システム工学科

⁴学生員 工修 愛媛大学大学院 理工学研究科生産工学専攻

⁵フェロー会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科

In the present study, temporary variation of bed morphology around the Gudo point near the Shimanto-bridge at 9.5km upstream from the river mouth of Shimanto River of Shikoku-island in Japan, were surveyed in detail to discuss the local scouring between bridge piers existing in the right bank side of the river. The scouring has progressed for a long period and it becomes the serious problem concerning with stability of river constructions. Also, an underwater TV camera was used to observe the inside of deep scoured hole. In addition, bricks were filled up under the ground at upstream and left-hand side of the bridge pier to measure the maximum scouring depth in the spot. Then, the small scouring was occurred and the bricked were carried away due to the floods.

Key Words : local scouring, bed morphology, underwater TV camera, scouring-depth measurement

1. はじめに

高知, 愛媛両県にまたがる渡川水系四万十川(図-1)は, その源を高知県東津野村船戸付近の不入山(標高1,336m)の東斜面に発し, 高岡郡窪川町において流れを西に向け, 四万十川最大の支流梶原川と源流から90kmの地点で合流した後, 幡多群西土佐村において再び流れを南に転じ, 広見川, 後川, 中筋川などに代表される大小70の様々な支流と合流しながら, 中村市下田において太平洋に注ぐ。流域面積は2,270km², 幹線流路延長196.0kmの四国有数の大河川で, 流域の約90%は山地である。平均河床勾配は, 源流から梶原川合流点までの上流部90kmが, 1.18%, 下流部106kmまでが0.12%と緩勾配になっている。気候は, 高地部を除いて温暖であり, 台風の進路に位置するため, 我が国でも有数の多雨地帯になっている。今回調査した四万十川橋のある具同地点での年平均流量は125.00m³/sであり, 平水流量は45 m³/s, 低水流量は23 m³/s程度となっている。年平均流量を比流量でみると, 5.51m³/s/100km²であり, 河状係数は590と安定している。

この四万十川の河口から約9.5kmに位置する四万十川橋(通称: 赤鉄橋)の右岸側では, 現在, 比較的大きな局所洗掘(平水面から約10mもの深掘れ)が発生しており,

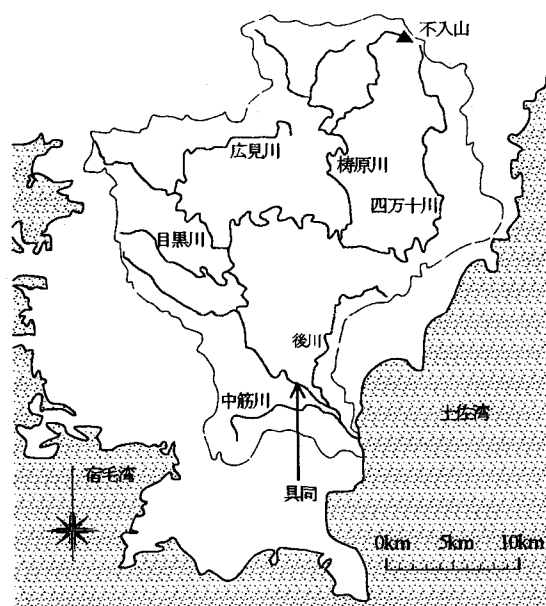


図-1 四万十川流域図

四万十川橋右岸側の低水護岸, 橋脚等の洗掘対策など様々な課題が挙げられている。

そこで本研究では, 四万十川橋のある具同付近の河床縦横断変化に関する従来の基礎資料調査を行った。次に, 橋脚周辺の現在の洗掘状況を調査するために横断面・平

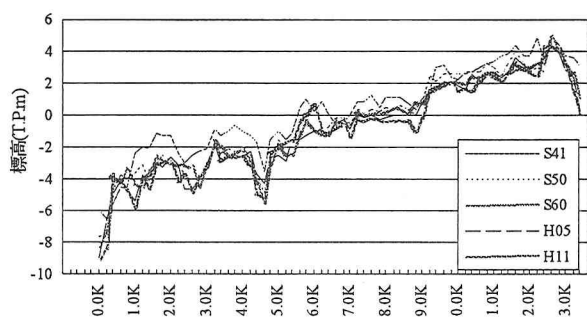


図-2 四万十川平均河床高縦断面図

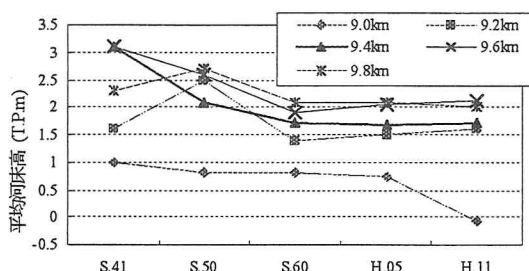


図-3 平均河床高の経年変化

面測量および粒度分布の調査を行い、水中ビデオロボットによる洗堀孔の様子を観察した。さらに、出水時の四万十川橋橋脚周辺の洗堀状況を観察する目的で、レンガ敷設を行い、出水時の飛散状況を見ることで最大洗堀深の実測を試みた。ここでは、その敷設状況および平成14年9月1日に発生した台風15号の出水による洗堀について観測した結果を述べる。なお、本研究は平成13年度開始の河川懇談会共同研究「河川構造物周辺の局所洗堀の実測と予測精度の向上」の一環として行われている。

2. 四万十川橋橋脚周辺の局所洗堀状況

(1) 具同地点とその周辺の河床縦横断面形状経年変化

四万十川橋は、全13橋脚のうち、太い橋脚8本(P1～P8)と細い橋脚5本(P9～P13)をもち、トラス構造の道路橋である。なお、橋脚の名称は左岸側から数えてP1, P2, …, P13とする。P1, P8の各橋脚間には約55mで、これらが河道内に存在している。本研究の対象となっている局所洗堀箇所は、P6とP7の間に発生している。

まず四万十川橋を中心とした上・下流区間(河口より9.0km～9.8km)の河床の状態をみてる。平均河床高縦断面図(図-2)より9.0km, 9.2km, 9.4km, 9.6km, 9.8km地点の値を読みとり、作成した昭和41年～平成11年の各横断面における平均河床高の経年変化図を図-3に示す。この図によると、四万十川橋直上・下流の9.4km地点と9.6km地点の平均河床高は、昭和41年から昭和60年の間減少し続けており、また、9.2kmと9.8km地点では昭和50年から昭和60年にかけて平均河床高は減少している。これら平均河床高の減少傾向は、四万十川における砂利採取¹⁾が原因であると考えられる。砂利採取は昭和40年度から昭和56

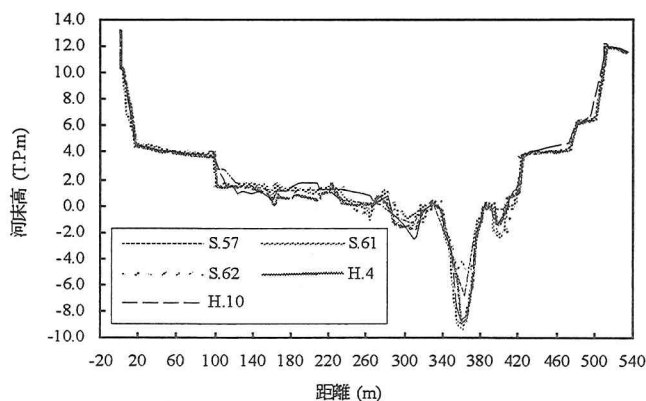


図-4 具同地点における河床横断面の経年変化図

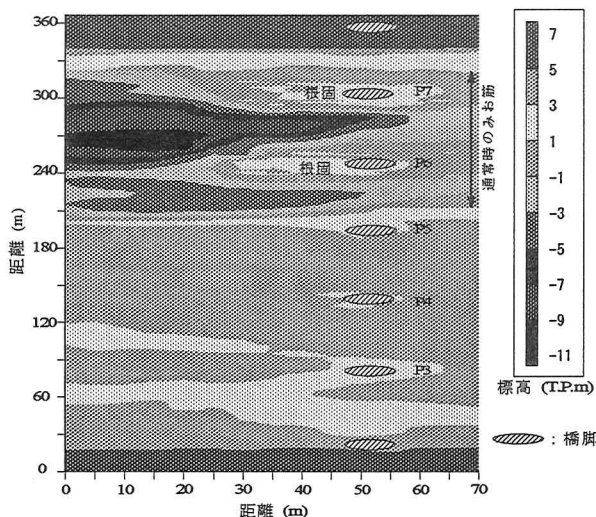


図-5 橋脚周辺の河床高

年度にかけて行われており、土砂の採取地点は入田(12.2km)、百笑樋門(9.6km)、具同下流(9.5km)、河口左岸など広範囲で行われており、9.4kmと9.6km地点の平均河床高の昭和41年から昭和60年の間における減少は、入田、百笑樋門、具同下流での砂利採取に大きく影響を受けていたものと考えられる。特に入田では、ほぼ毎年砂利採取が行われており、平均河床高減少の大きな原因であると考えられる。また、9.2km、9.8km地点の昭和41年から昭和50年にかけての平均河床高の増加は、出水による土砂の堆積、または、入田など四万十川橋上流区間での砂利採取が少なかったことが原因ではないかと考えられる。昭和57年度以降は砂利採取が行われていないので、昭和60年から平成11年にかけては9.2km～9.8km地点の平均河床高は安定しており、特に9.2km, 9.6km地点においては若干の増加傾向にあるといえる。

四万十川橋のある具同地点における河床横断面の経年変化(図-4)をみると局所洗堀の状況がよくわかる。局所洗堀部分において昭和61年から昭和62年にかけて4m以上の河床高の非常に大きな増加がみられるが、この増加は昭和60年、61年の最大流量が他の年よりも比較的少なかったため、流速が遅くなり、局所洗堀部分に土砂が堆積しやすい状況にあったことが原因であると考えられる。昭和62年以降は最大流量も中規模程度のものが

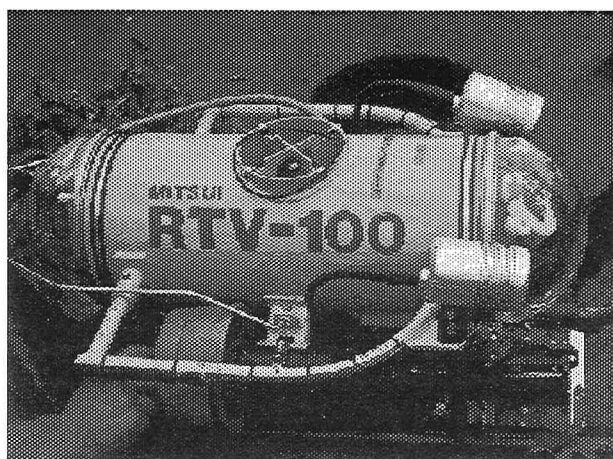


写真-1 水中ビデオロボット



写真-2 ①地点の様子



写真-3 ②地点の様子

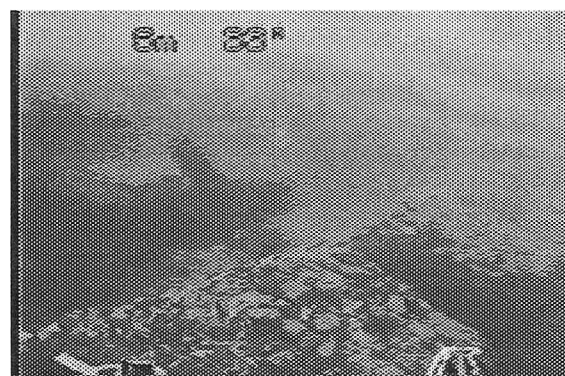


写真-4 ③地点の様子

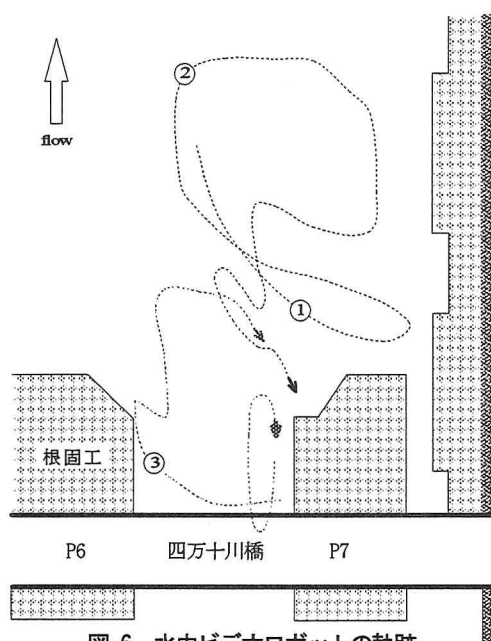


図-6 水中ビデオロボットの軌跡

多く、また、平成4年には洪水をともなう最大流量(9,400 m^3/s)が発生したために、昭和62年から平成4年にかけて河床高が大きく低下している。しかし、平成10年の河床高は平成4年のものとはほぼ同じであるため、河床は安定しているものと考えられ、局所洗掘部の最大洗掘深もT.P.9m前後であると考えられる。

(2) 四万十川橋周辺の横断面および平面測量

出水前後の河床形状の変化を見るために、また橋脚付近の洗掘状況を詳細に把握することを主眼に、横断面および平面測量を行った。図-5に四万十川橋の下流側約40mと上流側約15mの区間の平面図を示す。各断面の測量データを平均して作図したため、細かな部分では現地の状態を再現していないが、大まかな河床形状は読みとることができる。これによると洗掘は橋脚がある部分から始まり、下流側に進むほど深くなっていき、約T.P.10mの深さまで達していることがわかる。

(3) 水中ビデオロボットによる洗掘孔の撮影

今回の調査に使用した水中ビデオロボット(Mitsui RTV-100)は、長さ約84cm、幅約53cm、高さ約36cm、空中重量は約25kgである(写真-1)。また、カメラの方位、ロボットの水面からの深さを収録することが可能である。水中ビデオロボットを用いた洗掘孔の観測では、根固め工の状態を撮影できるだけでなく、カメラにスケールを写し込むことにより、洗掘孔付近の粒度分布についても観測を行った。カメラの映像に映し出された方位記録から、大まかな位置を算定し、撮影箇所の軌跡を描いたものを図-6に示す。計3回撮影が行われ、1回目の洗掘孔内の撮影は四万十川橋の下流の範囲、2回目の撮影は橋脚P7の左岸側から始まり、主にP6橋脚とP7橋脚の間の撮影が行われた。3回目の撮影では、2回目と同様にP7橋脚の左岸側から撮影が開始され、橋脚P7の根固め工の状態

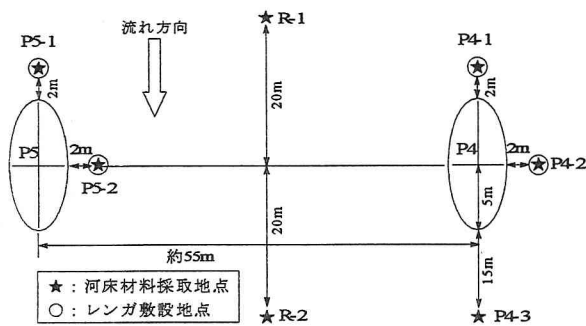


図-7 レンガ敷設地点、河床材料採取地点とその名称



写真-6 下層を掘った様子

を確認することができた。

四万十川橋から下流の図中①地点(写真-2)付近では、細かな砂が堆積している箇所からやや大きめの礫(約2cmから10cm)の分布する境界が存在していることが確認できた。ここは流速の速い所と流れのよどんでいる所との境界でもあることから、細かな砂が堆積しやすい状況にあると考えられる。図中②地点(写真-3)の橋脚間の流れが速い箇所では細かな砂は掃流されており、約3cmから15cm程度の大きめの礫が分布していることが確認された。次に橋脚P6の根固め工の右岸側付近を撮影した。③地点(写真-4)では当初予想されていた根固め工の崩壊はなく、下流側に自然と高さを減少させ河床まで達するといった設置時とほぼ同様の状態が保たれていると推察された。また根固めブロック間に10cmから25cm程の大きめの礫が堆積していた。最深部で約10mの深さがある洗掘孔は水面上からの観測は困難であり、今回の水中ビデオロボットによる洗掘孔内の撮影は通常観測不可能な箇所を詳細に見ることができたといえる。

(4) 橋脚周辺の粒度分布調査

橋脚周辺の河床における粒度分布の調査を行うために、粒度分析資料採取を行った。土砂の採取箇所を図-7に示す。後述の4箇所について、レンガ敷設を行う前に上層30cm(写真-5)、下層20cm(写真-6)を掘り進め、それぞれ二層の砂礫を採取した。上層は10数cm程度の玉石(写真-7)が占めており30cmとしたが、下層については粒度の変化が見られず細かな粒径のものが多かったため

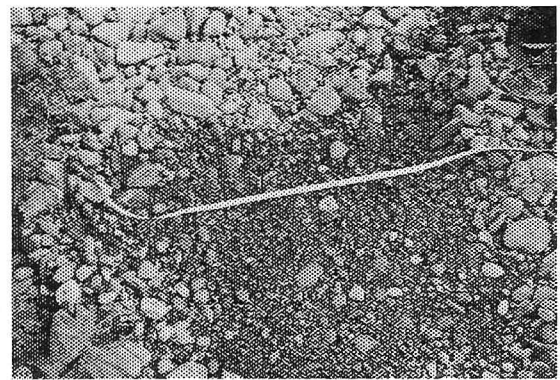


写真-5 上層を掘った様子



写真-7 河床の表層

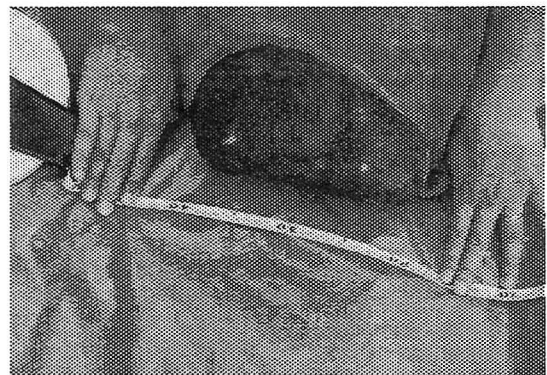


写真-8 掘り出された玉石

20cmとした。また、橋脚前後周辺の粒度分布を見るために、さらにP4の中心点から下流側20mの地点の採取、およびP4とP5の中心点から上下流20mの2地点の採取を行った。粒度試験の結果、橋脚周辺の表層礫は約10～20cmの玉石で覆われており、その表層を取り除くと湿潤した状態であり細砂(やや粘性の土も含む)と玉石で構成されていた。掘り進めて行く内にP4の上流側では、約45cmの深さに突然大きな玉石が二つ掘り出され、20cm×15cm×15cm程度のもの(写真-8)が見られ、以前に起きた出水で起きた粗粒化の現象ではないかと考えられる。

各資料採取地点において行われた粒度分布調査より得られた通過重量百分率の一例としてP4のものを図-8に示す。これをみると、表層を構成している土砂の方が、下層の土砂の粒径より大きいことがわかる。これは河原全体において河床表面の粗粒化が起こっているものと考え

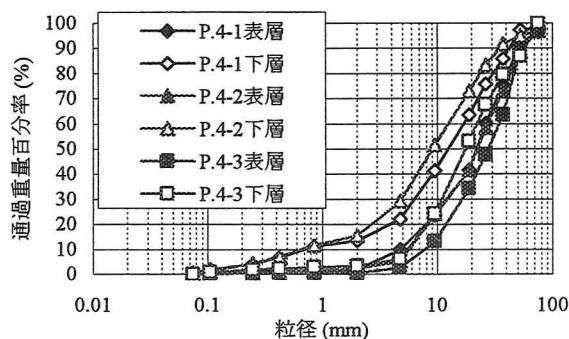


図-8 通過重量百分率 (P4)

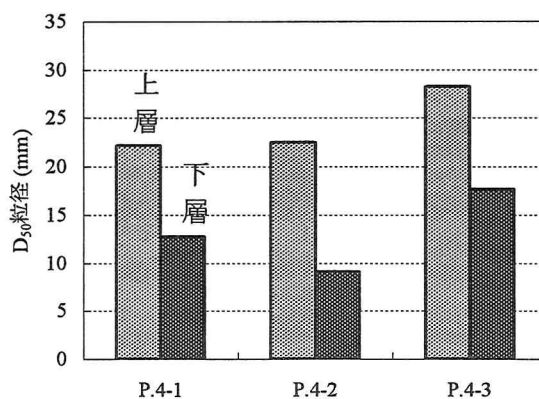


図-9 P4における D_{50} 粒径

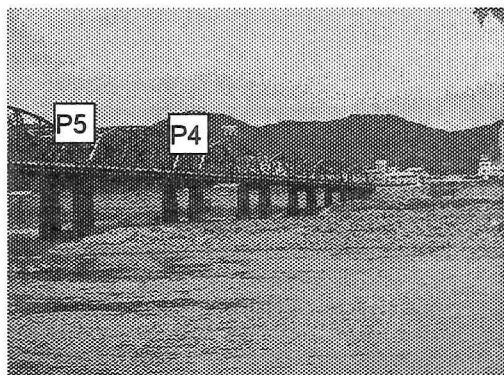


写真-9 P4, P5 (右岸より撮影)

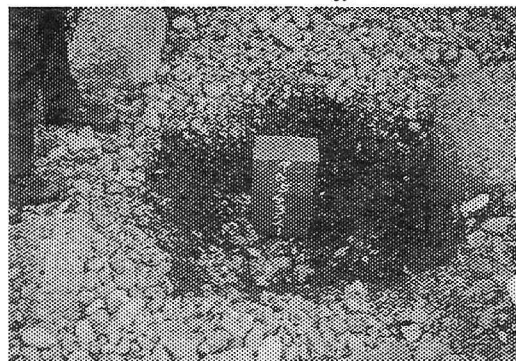


写真-10 レンガの根固め底部からの積み上げ

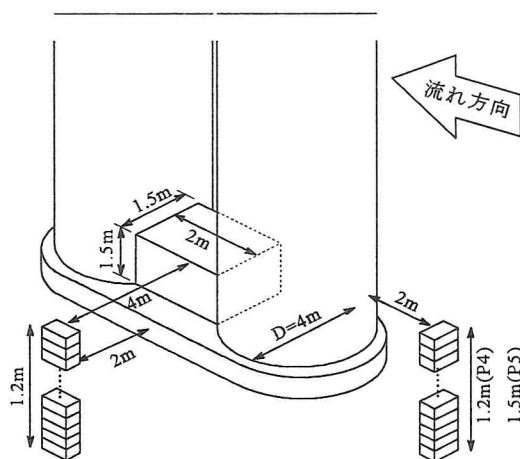


図-10 レンガ敷設の概略図

られる。また、このことはP4についての D_{50} の粒径を表した図-9でも見ることができる。特にP.4-3の表層の D_{50} 粒径は他の地点よりも大きいことから、橋脚の下流側では表層に比較的大きな粒径の土砂が堆積しやすくなることが考えられる。P.4-3では事前に予想されていたように橋脚による縮流の影響で、橋脚周辺から流出した土砂の堆積があり、図に示されるように比較的大きな粒径のものが堆積したと考えられる。

3. レンガ敷設による洗掘深の実測

(1) 橋脚周辺における河床のレンガ敷設

出水が発生したときに、どの程度の最大洗掘深が生ず

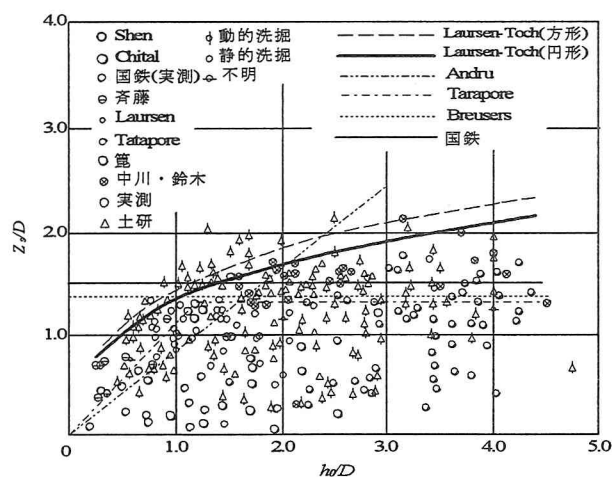
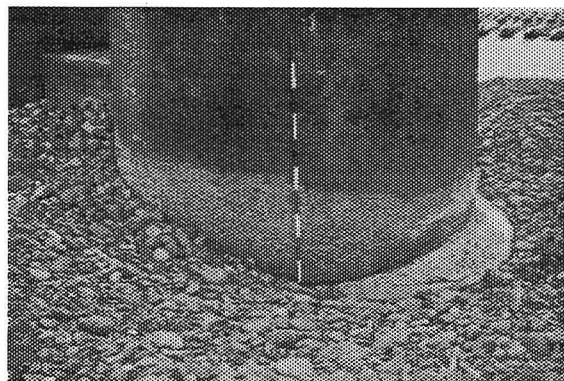
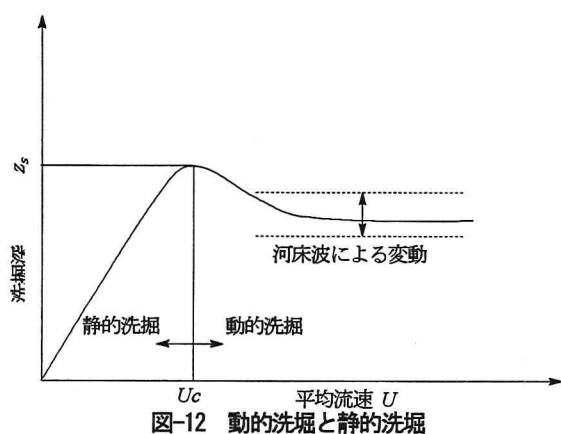


図-11 平衡最大洗掘深 (水理公式集平成11年版)

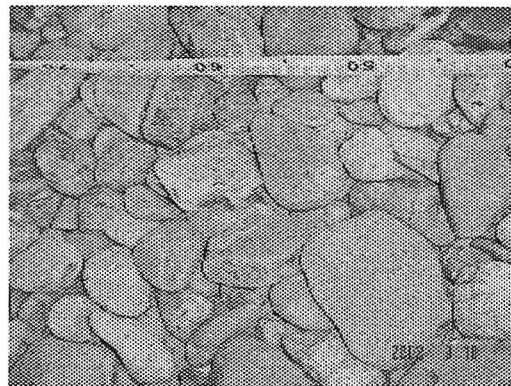
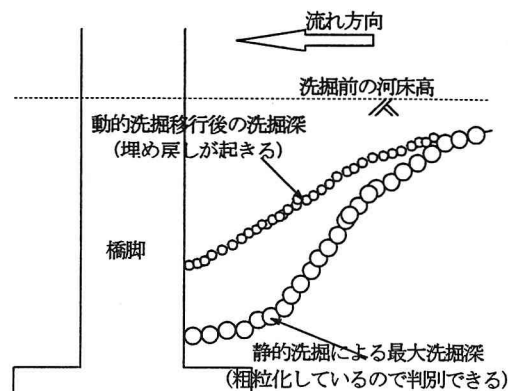
るかを実測する目的で、左岸側のやや平坦な箇所P4およびP5の二つの橋脚(写真-9)の上流側および左岸側にレンガ敷設を行った。橋脚周辺は根固め工が施されており、その位置まで掘り進め番号を付けたレンガを底部から周辺の河床の高さまで積み上げ(写真-10)、その後埋め戻しを行い周辺の河床高と合わせるようにほぼ平坦ならした。レンガ敷設箇所(図-7)は、橋脚の縦断・横断中心線を通り、かつ橋脚上流端部から上流側2m、橋脚コンクリート面から左岸側4m(橋脚左岸端部から左岸側2m)の位置とした。レンガ単体のサイズは高さ6cm、長さ21cm、幅9.4cmである。また、積み上げたレンガの深さは、上流側でP4について1.2m、P5については1.5mである。また、左岸側のレンガの敷設は、P4, P5ともに深



さ1.2mまで行った。レンガ敷設の概略図を図-10に示す。なお、最大洗掘深と水深の関係の従来の結果(例えば水理公式集²⁾など。図-11)によると、根固め工が橋脚周辺に存在しないと仮定した場合、橋脚幅 $D=4.5\text{m}$ 、出水時の橋脚P4,P5付近の水深 $h_0=3.4\text{m}$ として、最大洗掘深 z_s は 5.4m となるが、ここでは根固め工までの洗掘が限界であると考え、上記のようなレンガ敷設さとした。あくまで推測であるが、これまでの主な洪水履歴から考えると中規模の出水(約 $7000\text{m}^3/\text{s}$ 程度)であれば動的洗掘(図-12)が起きて上流からの流砂が発生すると考えられ、またレンガの飛散数を見ることで最大洗掘深の計測が可能であると考えられる。また、出水後の洗掘孔を掘り起し、出水開始直後の初期に静的洗掘が起きている時点の粗粒化が起きている位置を判定することによっても最大洗掘深を推定することができる(図-13)。

(2) 出水によるレンガ飛散状況

平成13年7月にレンガ敷設を実施後、約1年余りの間に出水が二度発生した。初めの出水は平成13年9月14日に出水が発生し水位約4(TP.m)、最大約 $2700\text{m}^3/\text{s}$ の流量を記録し、P5上流のレンガが1個消失した。さらに、平成14年9月1日に台風15号による出水が発生し、具同観測所において、水位が4.9(TP.m)、流量が $3100\text{m}^3/\text{s}$ を記録した。上記の橋脚周辺に埋設したレンガのうちP5上流に埋設したレンガが全部で7個流出した。これらの出水後行った観測では、洗掘箇所周辺からの洗掘孔(写真-11)の深さは64cmであり、レンガ設置当初からの変化は約76cmと算



定される。また、洗掘孔の表面を見ると比較的大きな粒径の玉石で覆われており(写真-12)、埋戻しによる砂の堆積が見られなかったため、動的洗掘が発生するほどの大きな出水ではなく、橋脚上流が静的洗掘状態であったと考えられる。これらの結果より、レンガ敷設による最大洗掘深の測定が適用可能であることが認められた。

4. おわりに

本研究では、四万十川橋右岸側に発生する局所洗掘状況を、既往の資料と併せて現地測量を行い、また水中ビデオロボットによる洗掘孔内の様子を観察した。さらに橋脚周辺の洗掘の実測を目的に、レンガ飛散による計測を試みた。今後もこの計測を中・大規模の出水に対して行うとともに、現地の橋脚モデルや粒度分布を基に室内実験や数値計算による解析も行う予定である。

最後に、本研究を遂行するにあたり、国土交通省四国地方整備局中村工事事務所ならびに徳島工事事務所より多大なご協力を頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土庁土地局国土調査課：四国南部地域主要水系調査書，平成8年3月。pp.7-198, 1996.
- 2) 土木学会：水理公式集平成11年版，pp.128-224, 1999.

(2002. 9. 30受付)