

無線転送装置と無人ボートを用いた河床形状観測

The river bed shape observation has been done by using radio transfer device and a radio control boat

井出康郎*・渡邊康玄** ・山下彰司*** ・加治昌秀**** ・崇田徳彦****
鳥谷部寿人**** ・金高州吾**** ・三浦敦禎**** ・市川嘉輝****

By Yasurou IDE, Yasuharu WATANABE, Syouji YAMASITA, Masahide KAJI, Naruhiko MUNETA,
Tosihito TOYABE, Syugo KANETAKA, Atuyosi MIURA, Yositeru ICHIKAWA

It is important in river design to grasp flood situation which is the most inferior definite condition in a river. For this significance, as far as the previous observational technique is concerned with Less accurate and difficulty to observe river bed shape in flood situation. Accordingly, the observation of the river bed shape which gives large influence to river drag and the condition of flow in detail at realtime is few. On this account, the river bed observation technique which was done by Kinoshita using radio control boat was developed and it became possible to do safe observation of riverbed shape quickly. This report describes the comparison of calculated bed load observational quantity from observation consequence with traditional theory value and actual measured value by sampler.

Keyword : Bed load transport, sand waves, observation, flood

1. まえがき

出水時の河川において、流れと河床は相互に密接に関係していることは古くからの知見であり、その現象を明確にすることは洪水管理において重要な課題である。しかし、実際にはそれぞれの現地における複雑な条件があるため、従来から得られてきた水理学的な解析結果や考察が実際に実河川の現象を的確に説明しているか否かの検証は現在でも出水時のデータの不足から十分になされているとは言えない。昭和56年8月に、石狩川は当時の計画規模を上回る大洪水を経験した。その際、観測されたデータ^{1) 2)}はその後の河道計画を立案する上でも非常に貴重な資料となっている。

しかし、その重要性に反し、河川抵抗や流れの状態に大きな影響を与えている河床形状に関し、面的自系列的に詳細な観測を行った例はあまり多くない。

この原因として、まず、出水時の河川において実際に現地に出向き観測を行うことに対し、機動性の面からかなりの制約を受けていること。また、実河川での洪水時の観測は、スケールの大きさや複雑さから調査観測手法の進展も進んでおらず、旧態然とした手法により行われている。さらに現地での観測において直接船等により観測を行うことが非常に困難で危険な作業となることがあげられる。このため、

*正会員	北海道開発局開発土木研究所環境水工部河川研究室	室長 (062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)
**正会員	北海道開発局開発土木研究所環境水工部河川研究室	副室長 (062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)
***正会員	北海道開発局開発土木研究所環境水工部河川研究室	主任研究員 (062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)
****正会員	北海道開発局開発土木研究所環境水工部河川研究室	研究員 (062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

著者らはラジコンボートを用いた木下らの手法³⁾をさらに発展させ、安全で迅速に広範囲の観測ができ、しかもリアルタイムに観測データを得ることができる無線によるデータ転送を行う手法を開発した⁴⁾。

本研究では開発した手法を概説するとともに、実際に小出水時に河床形状の観測を行い、河床波の移動速度から求めた掃流砂量について検討を行った結果を報告する。

2. 観測方法

図-1に現地における観測機器構成の概略を示す。音響測深器のセンサーを搭載した無人船(ラジコンエアースト)を地上(河岸、洪水時には堤防)から操縦し、無線を用いて音響測深器のセンサーから得られた水深データを地上の受信部へ送り、リアルタイムに水深データを得る。また、無人船(ラジコンエアースト)に装着した反射鏡(プリズム)を3次元自動追尾装置により自動追尾し無人船の位置データを得る。これらのデータをつき合わせて出水時の河床形状をリアルタイムに把握しようとするものである。

無人船(ラジコンエアースト)は、62ccのエンジンを2機搭載しており、流速2～3m/s程度まで河川を遡ることが可能である。出水時の流下ゴミへの対処からエアプロペラ式となっている。また、構造は流水の抵抗が少なく、しかも安定性を有する構造をとる。

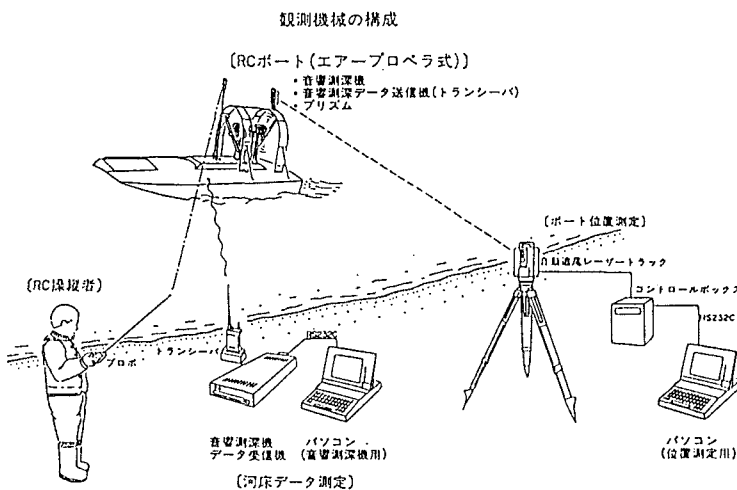


図-1 観測機器構成の概略

データ転送システム構成

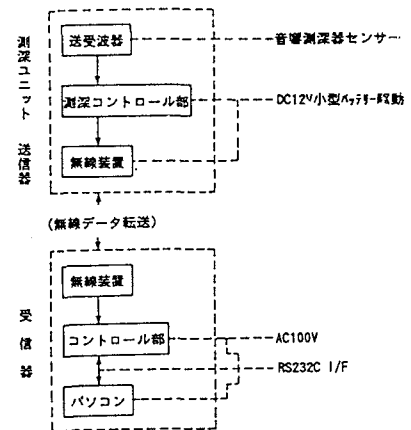


図-2 無線データ転送システム構成図

3次元自動追尾装置は、赤外線により無人船(ラジコンエアースト)に設置した反射鏡(プリズム)を自動追尾し約0.5sec間隔でリアルタイムにパソコン等のデータベースに3次元位置データを取り込む。反射鏡(プリズム)は多角形に上下2個ずつ固定しているため、波の影響により多少の上下動があっても自動追尾可能となる。

図-2に無線データ転送システムの構成図を示す。ラジコンエアーストに搭載する測深ユニットはコントロールボックス(送信部)、音響測深センサー、DC12Vバッテリー、無線機(業務用)から構成されており総重量が9kg程度と非常にコンパクトな設計となっている。通常の音響測深器は、有線でセンサーと記録部が繋がっており、そのまま搭載すると無人船(ラジコンエアースト)の機動性を損なう可能性がある。このため、有線の部分を無線化して、リアルタイムで観測された河床形状を受信機に接続したパソコンの画面上で把握できるようになっている。

本手法を用いた実際の観測作業に必要な人員はラジコンエアーストの操縦に1名、ラジコンエアーストの着水、燃料補給等の作業に3名、音響測深器データ受信システム及び3次元追尾装置のデータ収録に1名であり、最低限必要な人員は4～5名である。また、ラジコンエアーストの燃料タンクは3lでエンジンの出力全開時において約1時間程度継続して河川上を巡ることが可能である。

3. 観測概要

3-1. 豊平川夏期出水時の観測

石狩川水系豊平川雁来大橋近傍において、平成6年9月30日に生じた台風の影響による夏期小出水時に本手法を用いた河床形状観測を行った。図-3に観測対象とした雁来大橋近傍の概要図を示す。3次元追尾装置の設置点は図中に併記した。図-4にハイドログラフと河床形状観測時刻および併せて行った掃流砂、浮遊砂、高水流観、水位観測の観測時刻を示す。河床形状の観測は1時間に1回程度の間隔で行うこととし、1回の観測には約20分間の時間を要した。

観測時の水理量を表-1に示す。表中の水位は高水流観の第1断面の水位であり、水面勾配は高水流観の第1断面と第2断面の水位差から求めた。ここで、 h :水深、 Q :流量、 I :水面勾配、 V :平均流速、 τ_{*m} :無次元掃流利、 τ_{*cm} :無次元限界掃流利、 B :河幅、 Re_* :粒子レイノルズ数、 F_r :フルード数である。また、粒子比重: S 、平均粒径: d_m は出水中に採取した掃流砂の値である。

出水のピークは平成6年9月30日において、 $129\text{m}^3/\text{s}$ と小規模であった。しかし、この付近の河床材料は平均粒径 0.803mm 程度と小さく、ほぼ一様粒径であるため、観測時の水理量から河床が動いていることは十分に考えられる。

図-5は黒木、岸⁵⁾の中規模河床形態の領域区分図、図-6は芦田、道上⁶⁾の小規模河床形態の分類図、図-7は砂漣、砂堆の h/λ と Re_* の関係図⁵⁾である。なお、 λ は砂堆の波長である。それぞれの図に観測時の水理量をプロットした。まず、図-5において単列砂州発生領域に属している。図-6ではLower Regimeに入り砂漣、砂堆が発生していることが分かる。また、図-7においてDuneの領域に属した。以上の結果により雁来大橋近傍の河床には単列砂州がありこの上にDuneが発生していることが予想される。

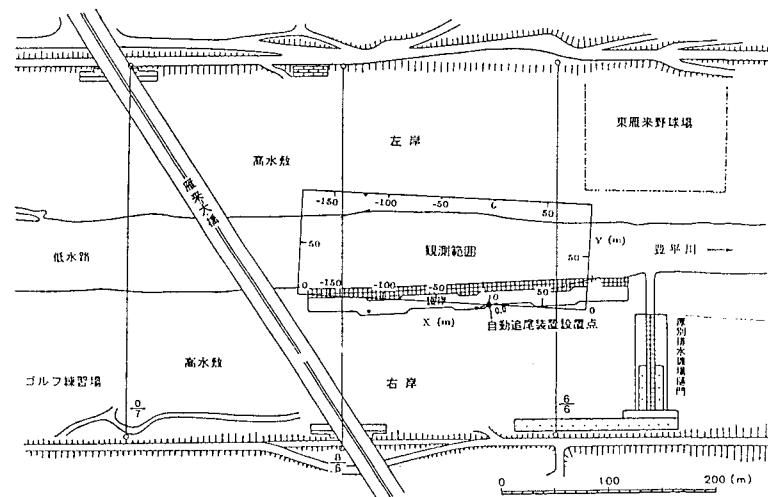


図-3 豊平川雁来大橋近傍概略図

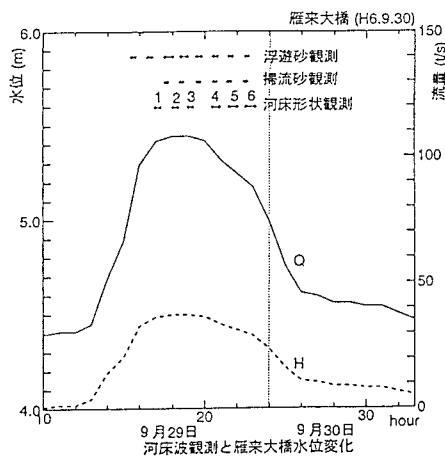


図-4 ハイドログラフと観測時刻

表-1 雁来大橋付近における基礎水理量の諸元

観測時刻	水深 h (m)	流量 Q (m^3/s)	水面勾配 I	平均流速 V (m/s)	粒子比重 S	平均粒径 d_m (mm)	τ_{*m}	τ_{*cm}	$\frac{B I^{0.2}}{h}$	$\frac{h}{d_m}$	Re_*	F_r
9.30.18	1.67	152	2500	0.76	1.716	0.832	0.469	0.034	11.4	2011	67	0.187
9.30.19	1.73	158	2708	0.76	1.704	0.723	0.518	0.034	10.9	2389	57	0.186
9.30.20	1.74	159	3030	0.81	1.748	0.385	0.853	0.044	10.6	4519	29	0.197
9.30.21	1.71	156	3030	0.78	1.663	0.751	0.452	0.034	10.7	2280	55	0.190
9.30.22	1.65	150	3126	0.73	1.649	0.7	0.458	0.034	11.0	2359	50	0.181
9.30.23	1.57	141	2703	0.72	1.598	0.436	0.832	0.041	11.9	3592	33	0.184

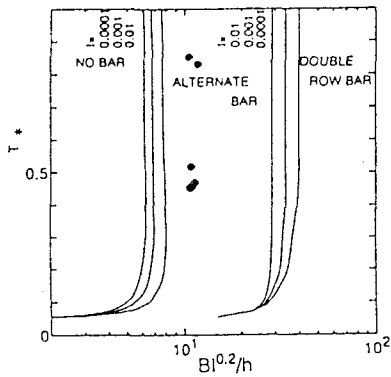


図-5 中規模河床形態の区分

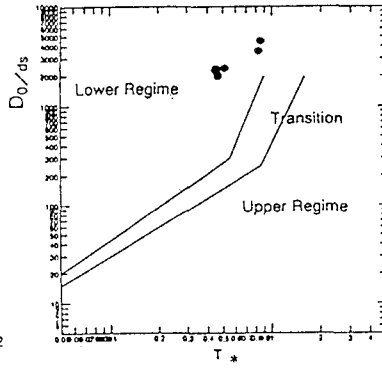


図-6 小規模河床形態の区分

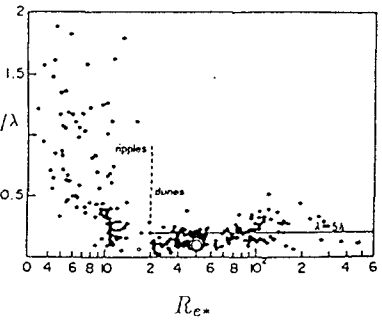


図-7 砂漣、砂堆の h/λ と R_{ex} の関係図

4. 観測結果と考察

河床コンター図を得るために3次元自動追尾装置および無線水深データ転送システムから約0.5sec間隔で得たデータについて時刻を合わせ x, y, z の3次元のデータを得る。なお、ここで z を得るために用いた水深データは音響測深器特有のエコーを取り除いた後の値である。

図-8 に z のデータ間を平均補完値を用いて描いた河床コンター図について9月30日に行った計6回の観測結果を観測順に並べた。河床には波長12m ~ 20m程度、水深の6 ~ 12倍程度の *Dune* が発生していることが図から認められる。図中に記した(a1)の *Dune* は以降の観測時刻に(a2)、(a3)、(a4)と移動

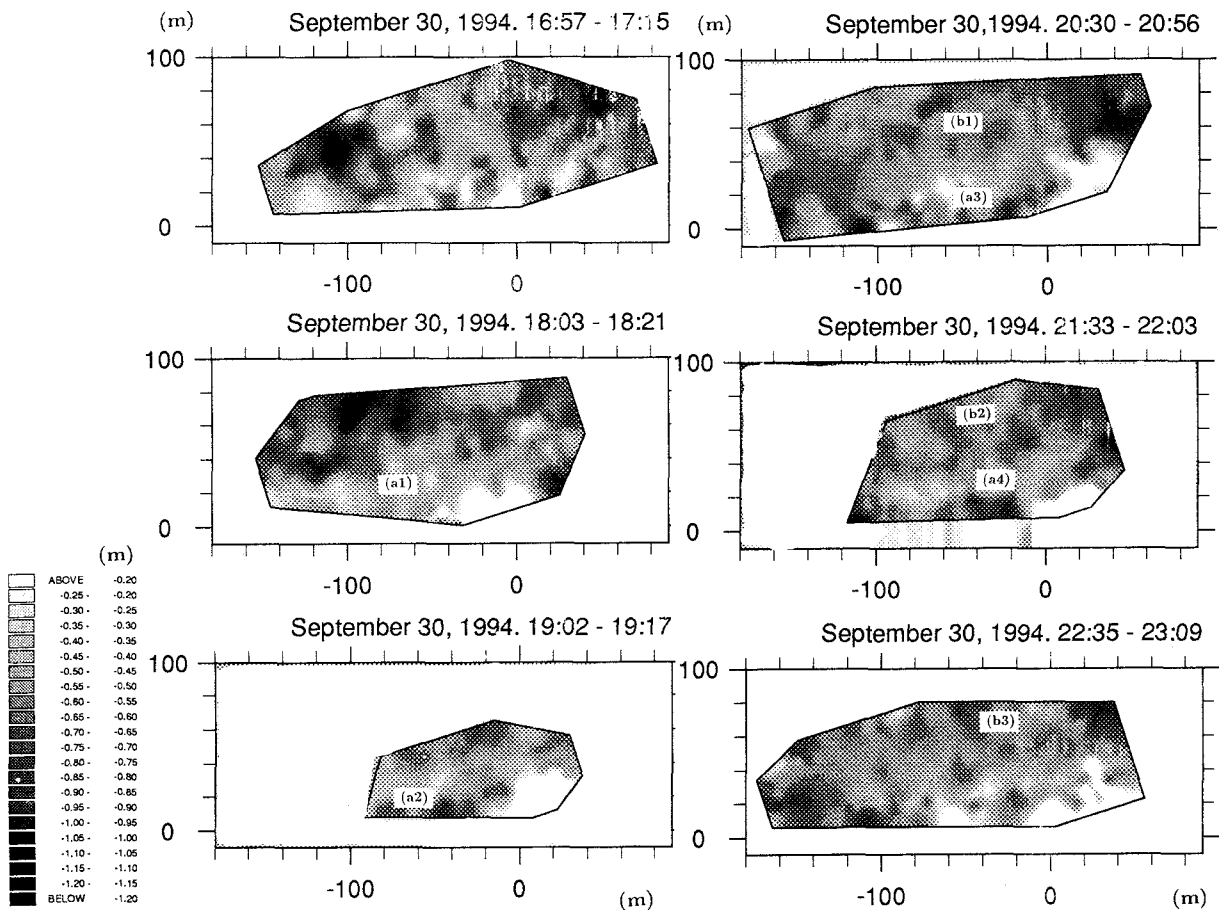


図-8 河床形状コンター図

し、各観測時間で下流へ10m～15m程度の移動が認められる。また、(b1)のDuneについても同様の傾向が見られる。今回観測されたDuneは約10～15m/hrの速度で下流に移動している。

また、図-9に河床コンター図のデータをもとに描いた縦断面(流心付近)の河床変化量を示す。横軸には縦断方向距離、縦軸には河床について1回前の観測値(2-1については66分前)からの変化量を示した。図-9で各縦断位置における河床は約±20cmで高低変動を繰り返す。これは観測から次の観測までに波高40cmのDuneが通過していることを意味している。また、変化量が正であるということは河床の堆積を示し、Duneの先端部の移動量を表していることになる。

5. 流砂量の検討

Duneの上を流れる掃流砂はDuneの先端部に落ち込む。このとき掃流砂の移動がDuneの先端部の移動として、これ以外に流砂が存在しないものと仮定し、前項で求められたDuneの移動速度から流砂量の検討を行うこととする。

まず、図-10の横軸にはほぼ同時刻に土研式流砂量採取器を用いて観測された掃流砂量の実測結果を示す。縦軸には図-9の代表値から求めたDuneの移動量、波高から算定した掃流砂量を示した。Duneの移動速度は代表値のみであり、掃流砂の測定回数も少ないため、ここで相関関係について説明することはできないが、掃流砂量はほぼ同程度のオーダーとなる結果が得られた。今回の観測でDuneではなく中規模河床形態の形状と移動速度をとらえることが可能である場合、中規模河床形態は河幅規模の現象であり、全体的な平均値が得られることから、出水時の河床形状測定によりかなりの精度で掃流砂量を算定することが可能であるといえよう。

また、図-11に掃流力と掃流砂量の関係を示す。比較のためLeo C. van Rijnの式⁸⁾、芦田・道上の式⁶⁾、Meyer Peter - Mullerの式⁹⁾から求めた理論値を併記した。土研式採取器で採取した掃流砂量、及び、河床波の移動速度から求めた掃流砂量は共に理論値とほぼ一致した。このことにより、今回のような出水時の河床波の面的な把握が掃流砂量を算定する手段として有用であることが示された。

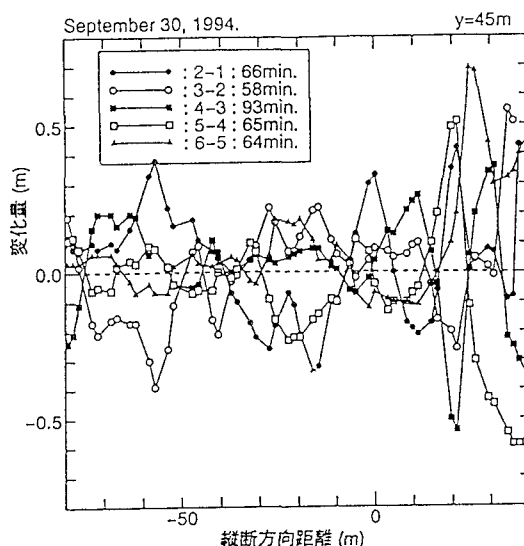


図-9 河床の変化量

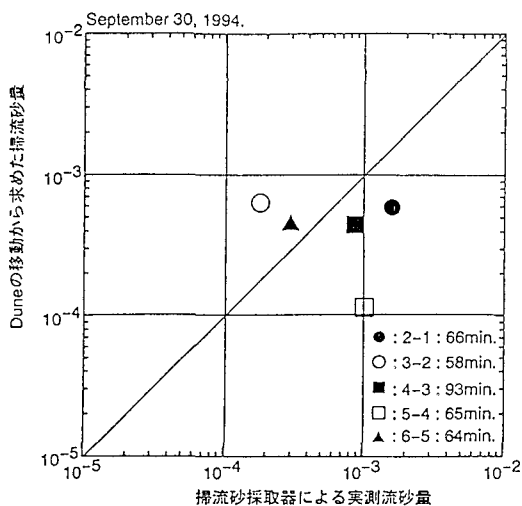


図-10 掃流砂採取器による
実測掃流砂量との比較

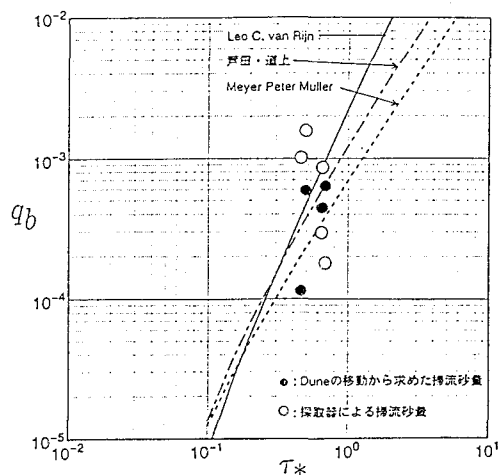


図-11 理論式との比較

6. あとがき

本手法を用いた河床形状観測により無人船(ラジコンエアーボート)を走らせた軌跡の河床データを得て、小出水時に生ずる砂連、砂堆の波高、波長に至るまで詳細な計測ができることが判明した。しかし、観測したデータをもとに2次元または3次的に河床コンター図及び河床鳥瞰図として小規模河床形態を表現するには、今回の場合、流れに遡って河床計測を実施したため横断方向のデータは不足していた。小規模河床形態に主眼をおいて観測する場合には横断方向のデータについても密に計測する必要がある。

この手法は機動性を生かした中規模河床形態の観測に適している。しかし、出水ピークが夜間を迎え、夜間に観測を行うことを余儀なくされた場合、RCの操縦者が無人船(ラジコンボート)を見通すことが可能な範囲が限られる。このため今回の観測では、中規模河床形態を十分におさえることができるほど広範囲の観測を行うことができなかった。この問題に対し、夜間に観測を行う場合において投光器等の台数を増やし、3次元自動追尾装置を見通しの良い所に設置するなどの工夫を行い、広い観測範囲を保つことで対処していく必要がある。

今回は一例の観測事例のみで、河床波から掃流砂量を求めるという方法について検討を行った。今後はこの方法で現地観測を続け、算定法についてより多くの出水時の観測データから精度の確認等の詳細な観測を進めていく考えである。

最後に、今回の観測を行うにあたり(株)北開水工コンサルタントの福田正一、住友裕明氏、(株)福田水門センターの伊藤勲氏、並びに(株)シン技術コンサルタントの山崎文明氏の御協力をいただいた。ここに記して、謝辞とかえる次第である。

参考文献

- 1) 高木譲治, 牧野成雄, 竹本成行, 森田康志: 石狩川下流部における洪水流と河床変動の観測, 第26回水理講演会論文集, pp.57~62, 1982
- 2) 板倉忠興, 岸 力, 山口 甲, 黒木幹男, 清水康行: 昭和56年8月洪水における石狩川下流部での河床波観測について, 第30回水理講演会論文集, pp.481~486, 1986
- 3) 木下良作: 洪水時河床音響調査用RCエアーボートの開発, 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, pp.215~220, 1993
- 4) 開発土木研究所 河川研究室: 河川における現地観測手法の開発, 開発土木研究所月報, pp.51~54, No.497, 1994
- 5) 黒木幹男, 岸 力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文集 第342号, 1984
- 6) 芦田和夫, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第206号, 1972
- 7) 水理委員会研究小委員会: 移動床流れにおける河床形態と粗度, 土木学会論文集, 第210号, 1973
- 8) Leo C. van Rijn : Sediment Transport, Part 1, J.Hyd.Eng.ASCE, Vol.110, No.10, October, 1984
- 9) Meyer-Peter, E., and Muller, R. : Formulas for Bed-Load Transport, Proc. 2nd IAHR Meeting, Stockholm, 1948