

屈曲流路水衝部の流況の改善に関する基礎的実験

Characteristics and Control of Local Flow
in Downstream of River Bend

岡部健士^{*}・湯城豊勝^{**}・布川正博^{***}

By Takeshi OKABE, Toyokatsu YUUKI, Masahiro NUNOKAWA

This study is concerned with the countermeasures to local scour in the downstream of river bend. The characteristic of the local flow around the river bend and the influence of spur dikes and rib-type structures on the feature of the flow is investigated through model experiments. Some usefull information of the flow affected by the river bend without countermeasures is obtained. It is shown that a spur dike set at the mid of bend section remarkably improve the conditions of main flow as well as the secondary flow; the effect of the dike depends on the set-angle. It is also indicated that the combination of a rib-type structure and a spur dike produces good results.

Keywords: river bend, local flow, local scour, hydraulic countermeasure

1. まえがき

交互砂洲が発達した河川や網状河川では、中・低水時の流れが護岸によって流下方向を急変させられている箇所が数多く見られる。さらに、高水または低水護岸の線形の延長方向自体が比較的急激に変化する場合をも含めて、主流方向が河幅程度の短い延長距離内で変化する流路を、本文では仮に「屈曲流路」と呼び、いわゆる湾曲流路と区別する。

さて、筆者らはここ数年、主として交互砂洲に起因する屈曲流路の水衝部に発生する局所洗掘の機構と、その対策について、移動床モデル実験に基づく検討を行ってきた。そして、これまでの成果の一つとして、屈曲区間に水ハネとミオ筋の固定を狙いとした越流型上向き水制を設置することに併せて、水衝部の護岸法先に2次流に抵抗させるためのリブ状抵抗体を流路線形と平行に設置する方法が、かなり有効であることを見出した¹⁾。この結果の検証事例については次節で簡単に紹介するが、本研究では、さらに有効な対策案を模索するとともに、各種対策案の水理機能の評価モデルを構築する際の基礎とするために、平坦・固定床の条件のもとで、対策工がない場合における屈曲流路水衝部周辺の流れの特性の把握ならびに上述の水制およびリブ状抵抗体の設置が流れに及ぼす影響を調べることを目的とした水理実験を行った。

* 正会員 工博 徳島大学助教授 建設工学科 (〒770 徳島市南常三島町2-1)

** 正会員 工修 阿南工専助教授 土木工学科 (〒774 阿南市見能林町青木265)

*** 学生員 徳島大学大学院工学研究科 建設工学専攻 (〒770 徳島市南常三島町2-1)

2. 屈曲流路の局所洗掘対策の検討結果¹⁾

図-1のような屈曲角が45°、外岸の勾配が1/2の非対称台形断面水路(勾配=1/800)に粒径0.5mmの一樣砂を均一に敷き詰めて、屈曲部上流の掃流力が砂の移動限界を僅かに超える流量 2.5 l/sを通水し、最終段階で写真-1に示すような洗掘状況を得た。20~30cmの区間を中心に、外岸斜面沿いに測った洗掘深さが最大で11cmの洗掘孔が認められる。これに対して写真-2は、屈曲区間中央の外岸から不透水制模型を横断面から45°上流に振った角度で突き出すとともに、横断面内の2次流を抑制するために、図-2のような断面形の帯状抵抗物(以下、リブと呼ぶ)を、水衝部の護岸斜面上に1mの長さで設置した場合の結果である。水制先端から流路の中心線にほぼ平行な深いミオ筋が発達する一方、外岸に沿う洗掘がほぼ完全に抑止されている。なお、そのほか傾斜型粗度²⁾やベーン工³⁾についても検討したが、これらは一樣湾曲流路におけるほどの効果を発揮せず、逆に洗掘を助長する傾向すら呈した。この結果は、両者は主に2次流の制御を目的としているが、屈曲流路の局所洗掘は、主として水衝部での掃流力の増大に支配されるためと解釈された。

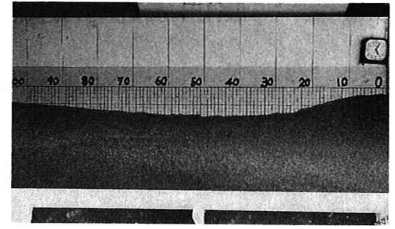


写真-1 対策工がない場合の洗掘

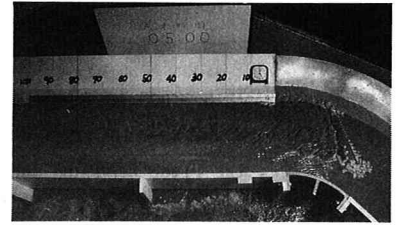


写真-2 水制とリブを設置した結果

3. 固定床モデル実験の方法と条件

本実験も図-1の水路で実施した。河床は、粒径1.65mmの均一砂を、その幅が30cmになるよう平坦に敷き詰め、ニスで固定した。なお、水路屈曲部は、内岸の曲率半径が30cmで、横断面形が直線部のものと同一に成型されている。実験では、洗掘対策工を設置しない場合(CASE: NCM)、および水制とリブが基本の対策工モデルを設置した場合に対し移動床実験と同一の流量を通水し、図-1の破線で示す断面において、水平方向の流速ベクトルを計測した。計測には、自作のピトー管を用いた。このピトー管は、図-3に示すように楔形に仕上げた2本の総圧管(外径2mm)を持ち、水平面内の流速と流向を計測できる。対策工モデルは、水制として一辺10mmの正方形断面の角材を、リブとしては高さ15mm、厚さ2mmのアルミ製L型材を用い、つぎの4種を設定した。

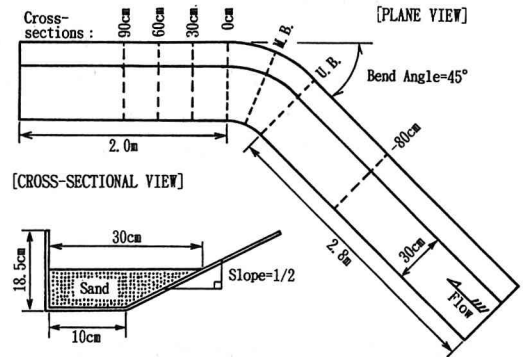


図-1 実験水路の概要と計測断面位置

い)CASE: SD1として、水制を図-1のM. B. 断面に元付けし(以下でも同様)、この断面から上向き45°の角度で、先端が水路床中心線と一致させて突き出す。
ii)CASE: HS1として、i)に加え、0cm断面の下流1mの区間の外岸上に、図-2の要領でリブを設置する。ii)CASE: SD2として、i)の水制の角度を上向き22.5°に変更する。iii)CASE: HS2として、ii)にii)と同一のリブを付け加える。

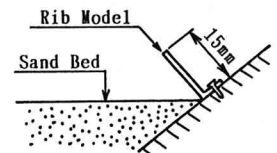


図-2 リブとその設置要領

3. 実験結果ならびに考察

3.1 平面流況

図-4は、同一の平面位置において、最下点を高さ3mmとし、その上は4mmピッチで設定した6~7個の測点の流速ベクトルを水深方向に平均して得た2次元平面流況図を全てのケースについて示したものである。対策工モデルを設置していないCASE: NCMにおいては、U. B. 断面(図-1参照)からM. B. 断面

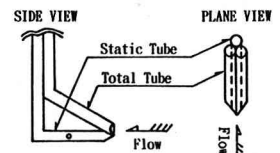


図-3 ピトー管の先端部

の間で一旦減速した外岸沿いの流れが0cm断面より下流で急速に加速されている。そして、90cm断面に至っても、それは-80cm断面に示された接近流のものよりかなり大きい値を持っている。これに対して、対策工モデルを付した場合では、いずれのケースにおいても、外岸沿いの領域での流速の増大が大幅に抑制され、外岸上を除けば、90cm断面に至ると接近流の状態にほとんど復している。対策工モデルによる水衝部周辺の流れの相違を見ると、水制の設置角度がそれに支配的な影響を及ぼしており、22.5°の場合の方が45°の場合より流れに及ぼす影響が大きいように思われるが、リップの有無による流況の相違は、本図を見る限りではほとんど認められない。一方、外岸から遠い場所の流れには、水制の直接の影響が現れている領域を除き、対策工による流況の変化として明らかな特徴は見受けられない。ところで、局所洗掘現象との関連では、水深平均化された流況よりも河床近傍の流況の方がより重要である。そこで、全ケースについて、外岸法先からの距離 y が2cm, 6cmおよび10cmの位置に着目し、高さが3mmおよび7mmの2点における流速の計測値に、カルマン定数を0.4, 切片定数を8.5とし、相当砂粒粗度には敷き詰めた砂の平均粒径を当てた粗面対数則を適用

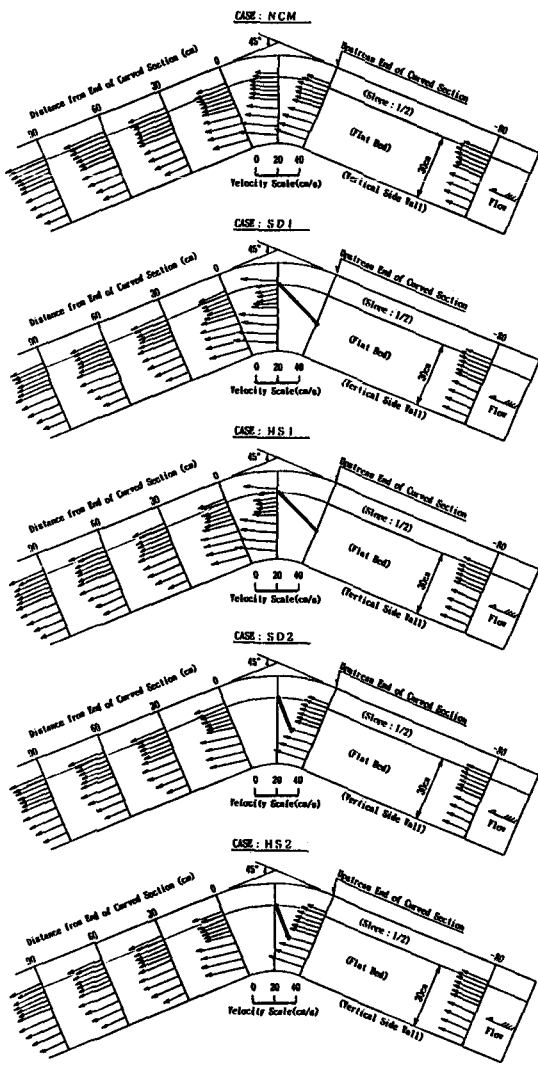


図-4 水深方向に平均化した流速ベクトル図

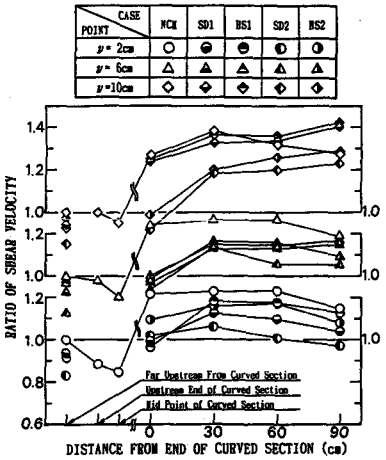


図-5 外岸付近の摩擦速度の比較

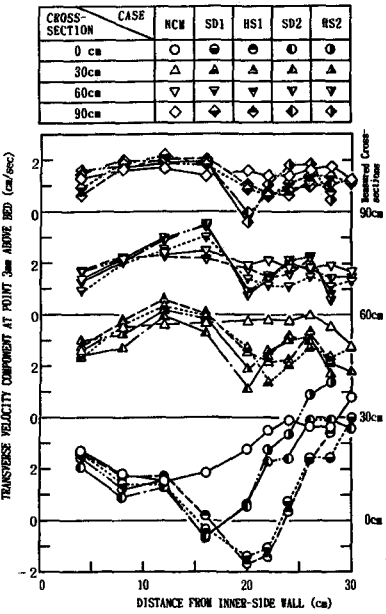


図-6 底面直上の横断方向流速の分布

して摩擦速度 u_s を推算し、さらに y の値ごとにCASE:NCMの-80cm断面での値で基準化して、その場所的变化を描くと図-5のようである。なお、この計算においては、上記の2点の流速から逆算された u_s の値を単純平均したものを推定値とした。さて、本図より、水制の設置角度は 45° よりも 22.5° とする方が掃流力を減少させるために効果的であることが分かる。また、リブを追加すると、わずかながらそれが増加する傾向があることもうかがえる。ついで、図-6では、3mmの高さにおける横断方向流速(内岸向きを正とする)の分布を描いている。ここでも、水制の角度が分布形状に支配的な影響を及ぼしており、当初リブに期待した外岸から内岸に向かう流れの抑制効果は比較的下流の断面で、しかもリブの近くの狭い範囲に限って認められるのみである。さらに、とくにCASE:SD2およびCASE:HS2において、二山型の分布形が現れている点が極めて興味深い。この点については2次流構造と関連付けながら次節で触れることにする。

3.2 横断面内の流況

屈曲流路水衝部の流れの内部構造を全体的に把握するために、横断面内における流路延長方向の流速成分(以下、簡単に主流流速と呼ぶ)のコンター図を描いた。紙面の関係上、それらの内で重要と思われるものを掲載すると図-7~11のようである。コンター線に付した数字は断面平均流速に対する局所流速の比を表す。

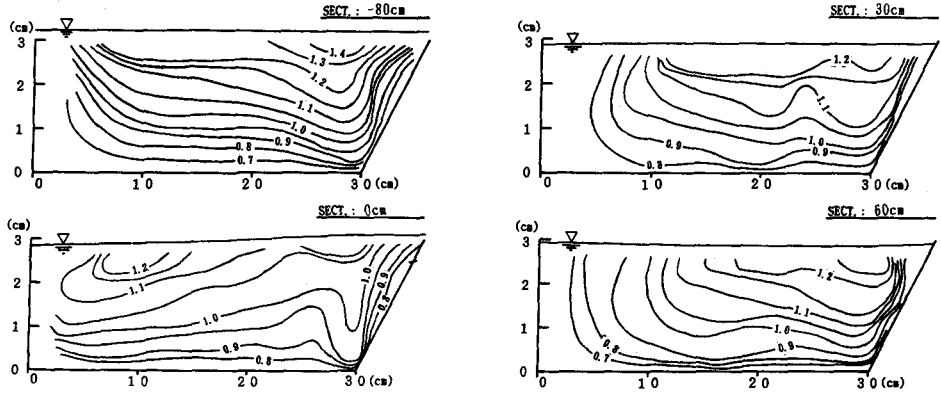


図-7 CASE:NCMにおける流れの断面内主流流速コンター

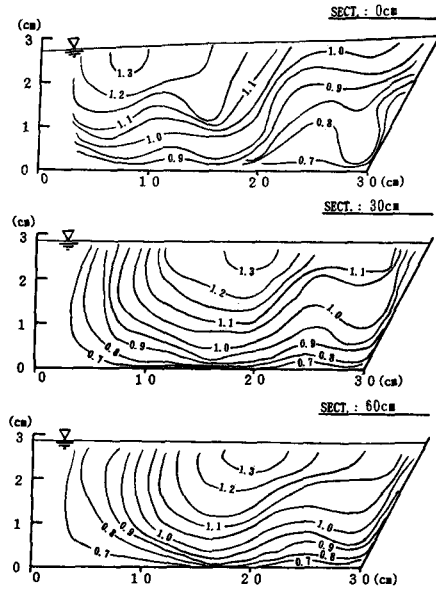


図-8 CASE:SD1の主流流速コンター

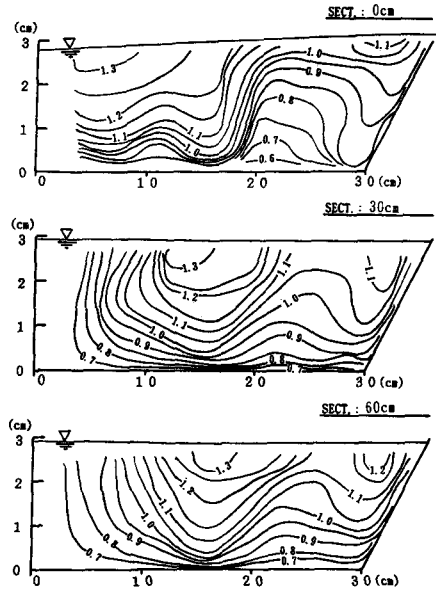


図-9 CASE:SD2の主流流速コンター

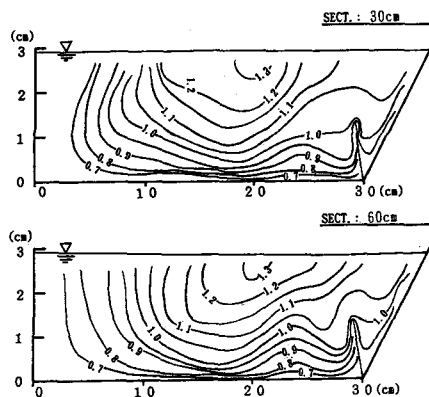


図-10 CASE:HS1の主流流速コンター

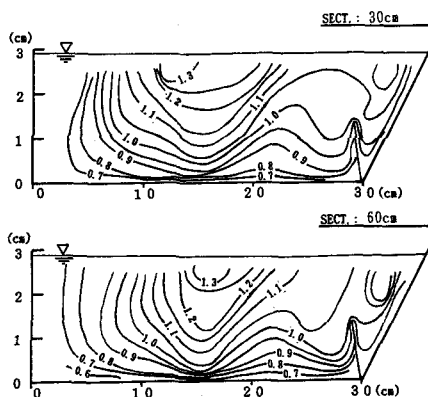


図-11 CASE:HS2の主流流速コンター

さらに、図-12～16には、計測した横断方向流速からその水深平均値を差し引いた、いわゆる2次流の水平成分の断面内分布のうちから主要なものを抜粋して示している。

まずCASE:NCMのコンター図に注目する。-80cm断面では、内岸近傍を除き、中村・富永ら⁴⁾が直線・台形水路で得たものと極めてよく類似している。外岸と河床の隅角部へのコンター線の沈み込みと、外岸斜面上におけるその盛り上がり特徴があるが、これは隅角部から水深程度内岸寄りの水面上にある最大流速点から隅角部に向かう2次流に起因している。一方、屈曲区間の下流側では、系統的な流況の変化が見られる。すなわち、0cm断面では、最大流速点が内岸側にあり、外岸側では、屈曲区間で減速された主流(図-4参照)と、強い2次流(図-12参照)のために外岸斜面に沿って潜り込んだ高速流とが重なり、コンター線が複雑に歪まされている。そして、流下につれて、最大流速点は急速に外岸側に移動し、コンターの歪みも内岸方向に拡散するように緩和されている。対策工モデルの設置は、流況を大きく変化させる。図-8および9は、水制だけを設置した場合の状況を示している。いずれにおいても水路中央部に明瞭な流量の集中領域が現れていることに注目される。この傾向は、水制角度が 22.5° の場合におけるもののほうが 45° の場合より顕著で、持続性も強い。この結果と図-10および11に示されたリブを付加した場合とを比較してみると、リブの設置は流量集中を強化していることが分かる。これは、リブと河床の間の隅角部に向かって流れ込み、河床の近くで内岸方向に方向転換する比較的高速の流れが運動量を補給するためと推察される。このような流量集中域と移動床におけるミオ筋形成との間には密接な関係があることは言うまでもない。

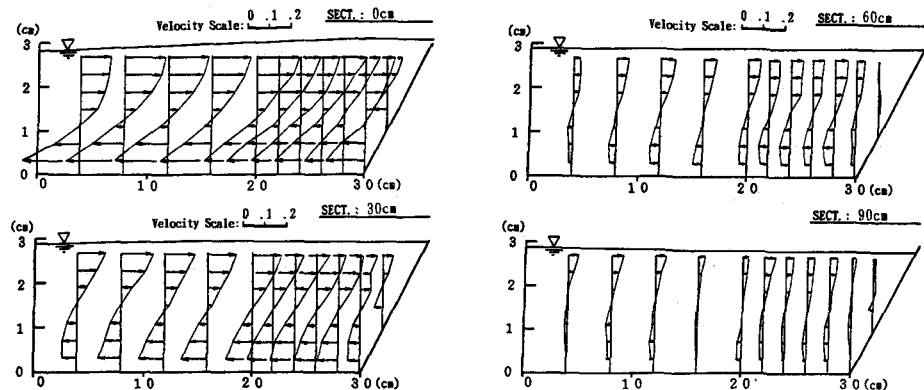


図-12 CASE:NCMにおける2次流の水平成分の断面内分布

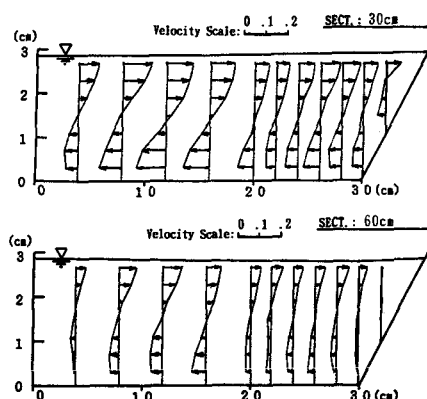


図-13 CASE:SD1の2次流水平成分の分布

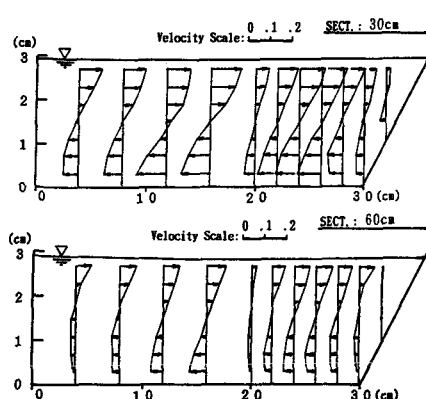


図-14 CASE:SD2の2次流水平成分の分布

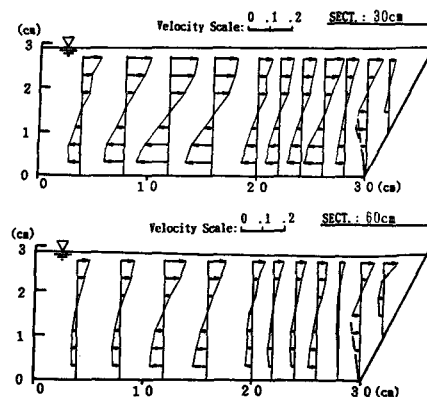


図-15 CASE:HS1の2次流水平成分の分布

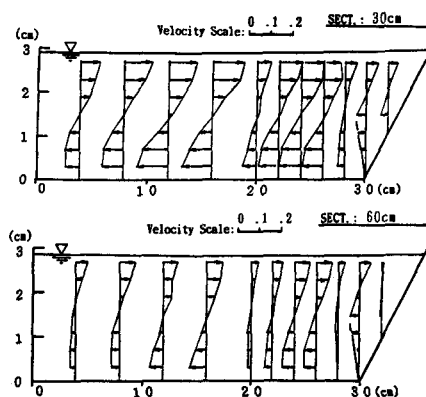


図-16 CASE:HS2の2次流水平成分の分布

最後に、2次流の特性について述べる。CASE:NCMの場合、0cm断面では一様湾曲流路とほぼ同様で、水平成分の鉛直分布は、いずれも1/2水深点より下方で転向点を持つ、下に凸の曲線形である。しかし、その下流では、水深の中央に転向点を持つ、上下対称のS字形を呈している。一方、対策工モデルを設置した場合には、水制とリブの影響で、鉛直分布形が縦・横断方向に複雑に変化している。4ケースに共通した特徴として、内岸からの距離が20cmの周辺で2次流水平成分が一度減少する傾向がある。図-6で見られた二山型の分布形が全水深に及んでいると言える。また、その両側での水平成分の増加率が内岸側で大きく外岸側で小さいのは、ここに一對の縦渦構造があることを示唆している。水制の角度による相違は、さほど明瞭ではないが、外岸沿いの領域の2次流成分が 22.5° の場合に 45° のものより若干増大している。リブによる2次流抑制効果は $y=2\text{cm}$ の点では明らかであるが、さらに内岸側では逆に、それを強める傾向も認められる。

4. あとがき

本研究では、屈曲流路水衝部の流れの特性と、これに及ぼす水制とリブの影響を実験的に検討した。その結果、水衝部の平面流況や2次流の基本的な特性がかなり明らかにされた。水制については、水衝部の掃流力分布や外岸から離れて出現する流量集中領域の様相と設置角度との関係が定性的に把握された。リブについては、2次流構造への微妙な影響を介して、水制の水理機能の強化に寄与することが示唆された。

[参考文献]

- 1) 岡部・布川: 第44回中四年講概要集(1992), 294-295.
- 2) 大同: 水工学論文集, 第35巻(1992), 495-500.
- 3) 福岡ほか: 水工学論文集, 第34巻(1990), 325-330.
- 4) 中村ほか: 第41回年講概要集(1986), 273-274.