

堤防法線と低水路法線の上に位相差がある流れの水理

福岡捷二*1 宮崎節夫*2 高橋宏尚*3 加村大輔*4

By Shoji FUKUOKA, Setsuo MIYAZAKI, Hironao TAKAHASHI, Daisuke KAMURA

This paper reveals from the laboratory hydraulic experiment and analysis of the field data that in meandering compound channels where a considerable phase difference exists between levee alignment and main channel alignment, high velocity filaments occur in the shortest distance from the inner bank area to the next inner bank area in the main channel and then the bed is scoured more at the inner bank than at the outer bank, when a flood current is present in the flood channel.

The necessity of new river course design is stressed on the flow regimes that contain planned or designed structures with the objective of preventing bank erosion and taking into account the planar forms and hydrographs during flooding.

keywords: *phase shift, meandering compound channel, high velocity filament, bed variation*

1. はじめに

実河川では、堤防法線と低水路法線の蛇行位相が一致していることは少なく、両者の間に位相差が存在することが多い。このため高水敷の幅は流下方向に変化することになる。このような複断面蛇行河道における洪水流の平面構造と低水路内の河床変動については十分明らかにされていない。本研究はこの位相差が、複断面蛇行河道の流況、低水路内の河床変動、低水路と高水敷の間の流れの混合機構にどのような影響を及ぼすかについて、実河川における洪水表面流速ベクトルから表面流況を検討し、また実験によって詳細に位相差の影響を検討することを目的としている。

*1 正会員 工博 Ph.D. 広島大学教授 工学部第四類（建設系）

（〒739 東広島市鏡山1-4-1）

*2 正会員 工修 (株)建設技術研究所 技術第3部

*3 正会員 工修 (株)東京建設コンサルタント 総合河川部

*4 学生員 広島大学大学院 前期博士課程 環境工学専攻

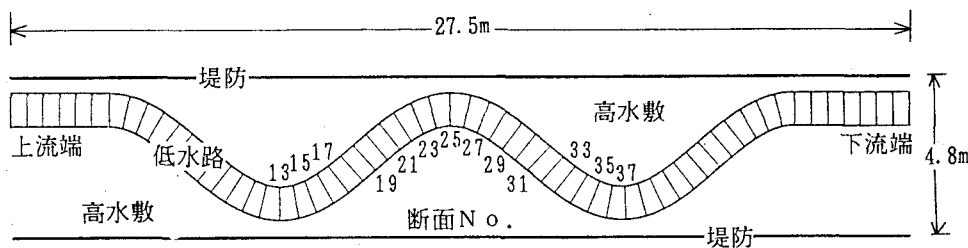


表-1 実験水路の諸元

水路長	27.5m
水路幅	4.8m
水路勾配	1/500
最大偏角	45°
蛇行波長	12.0m
波の数	2

図-1 実験水路の平面図

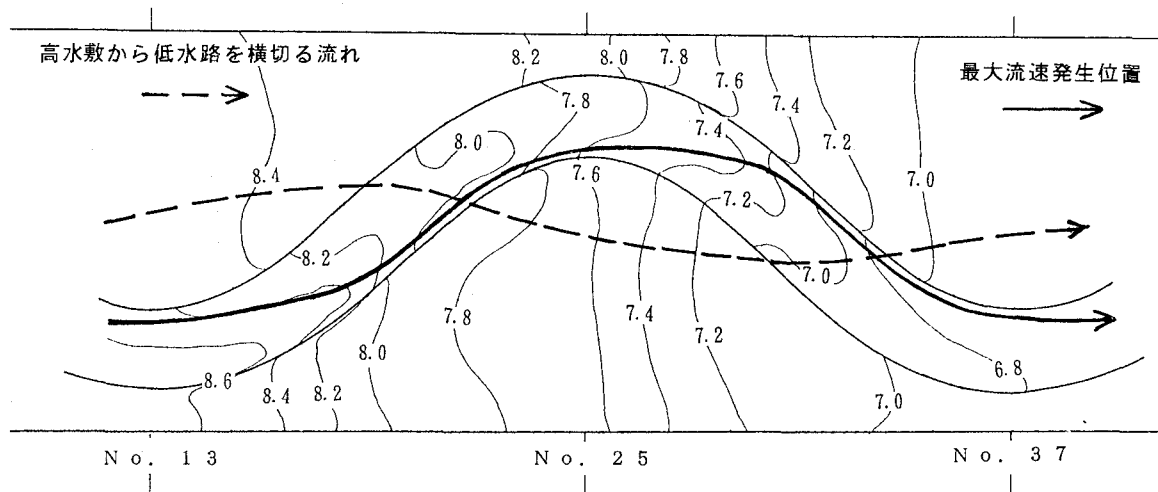


図-2 水位コンターと平均的な流れ場 単位 (mm)

2. 位相差の大きい複断面蛇行水路における流れと河床変動

2-1. 実験方法

実験水路の平面図を図-1に、諸元を表-1に示す。この水路を用いて、水路内に樹木群がない場合と低水路河岸沿いに樹木群が連続的にある場合の2通りについて行った。直線の堤防と正弦波形状の蛇行低水路で囲まれた部分は高水敷であり、その幅は流下方向に大きく変化している。低水路は幅1mで河床には粒径0.8mmのほぼ一様な砂が敷かれており、高水敷は人工芝で粗度付けがされている。流量69l/sの条件で、低水路河床がほぼ動的平衡状態を維持されるように、低水路の上流端で3分ごとに300ccの給砂を行った。樹木群模型には暗きょ排水に使われる多孔質材を用いた。1)

2-2. 全体的な流れ場と低水路内の河床変動

図-2は平均的な流れ場、図-3は水深平均流速ベクトルを示している。図-2と図-3から堤防法線と低水路法線の間大きな位相差がある河道の流れでは、水位は低水路の外岸側で内岸側より高いが、流速は小さく、最大流速発生位置を連ねた線は内岸から次の蛇行の内岸に向かう最短距離で生じている

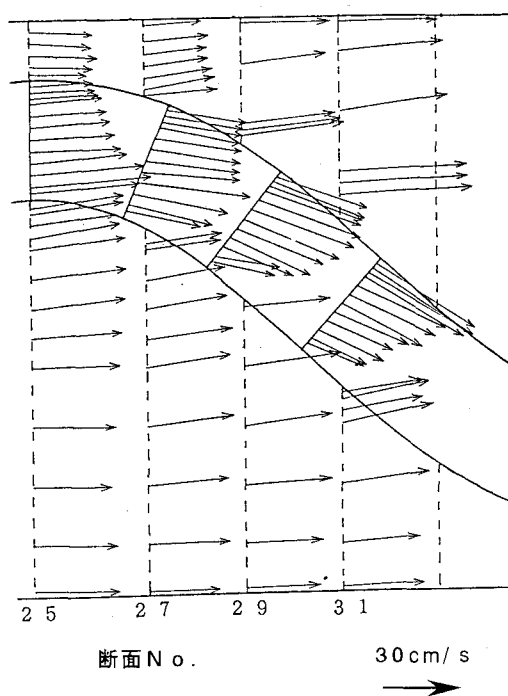


図-3 水深平均流速ベクトル

ことが分かる。この流れの状態をトレーサーとしてパンチくずと染料を用いて行った流れの可視化から示す。図-4はパンチくずが流れる状況を3秒ごとに、図-5は染料が流れる状況を5秒ごとに示したものである。4 m真上からビデオカメラで撮影したものを模式的に表している。パンチくずと染料は流速の大きい内岸に集中するものの、低水路と高水敷の間で水流の出入りがみられる。図-4の条件では、トレーサーはほぼ一様に高水敷上にまかれたが、蛇行変曲点付近から低水路内岸側に集中しながら流れている。これは図-2で示した最大流速発生位置を連ねた線と一致する。また次の蛇行変曲点付近から高水敷に流出したトレーサーは、大きな広がりを見せず低水路近傍を流れ、そのまま次の蛇行変曲点に到達するまでに低水路に再流入する。図-5の条件では、低水路の最大曲率位置で注入された染料のか

流れの方向

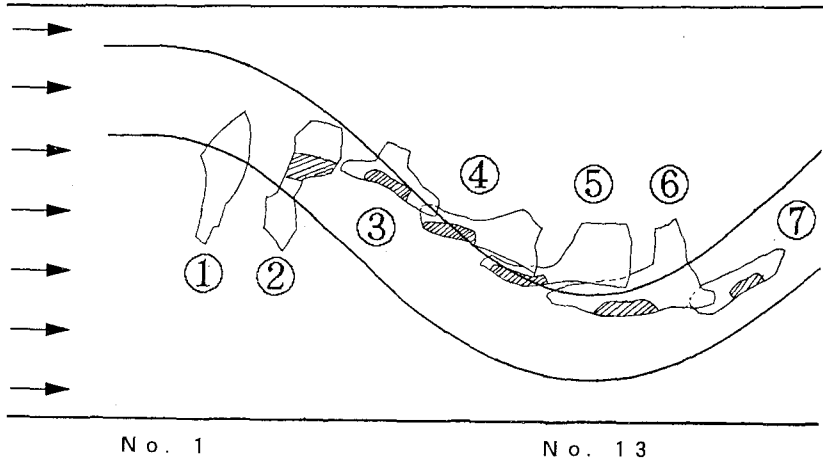


図-4 パンチくずによる流れの可視化（3秒間隔）
斜線部はパンチくずの濃度の高い部分

流れの方向

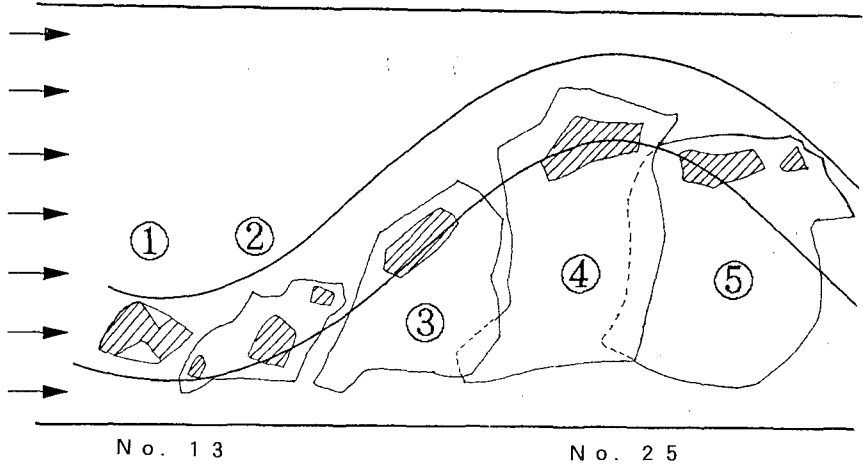


図-5 染料による流れの可視化（5秒間隔）
斜線部は染料濃度の高い部分

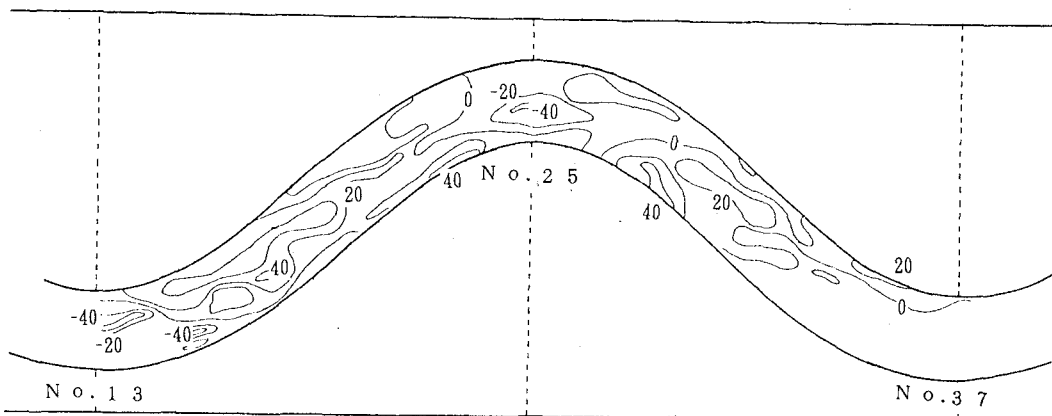


図-6 河床コンター図 単位 (mm)

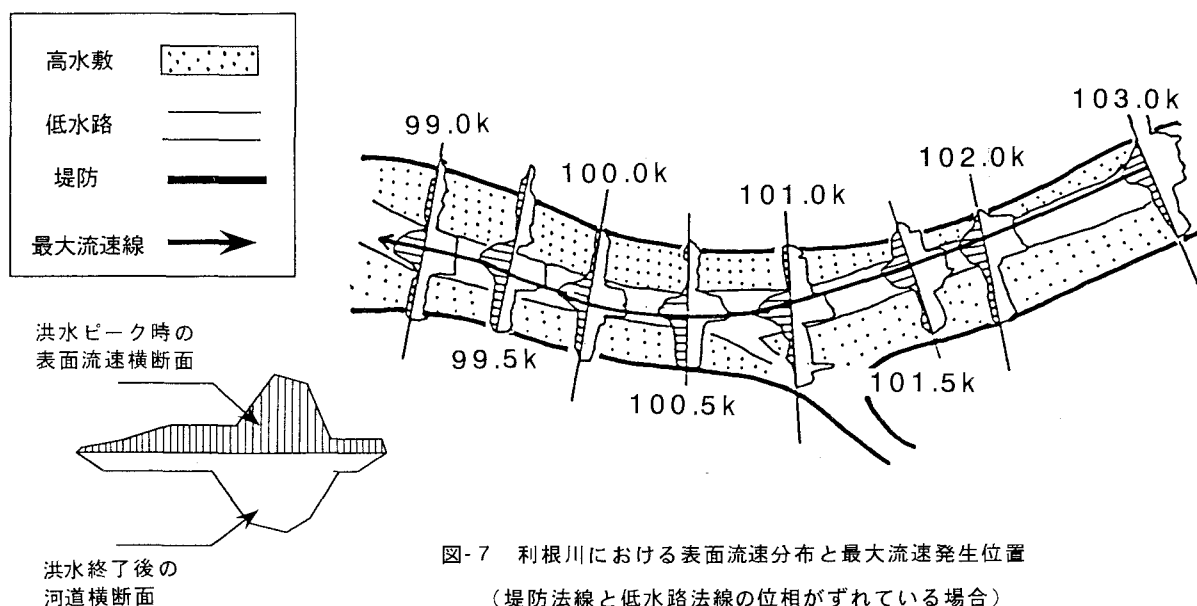


図-7 利根川における表面流速分布と最大流速発生位置
(堤防法線と低水路法線の位相がずれている場合)

たまりも同様に、蛇行変曲点から次の最大曲率断面まで内岸側を通りその後外岸側に移っていく。低水路から離れた高水敷上は染料の濃度が薄く、その堤防側は直線的に流れている。高水敷上の流れは図-3の流速ベクトル図からも分かるように、低水路から離れた地点では直線的な流れとなっているが、低水路近傍では低水路の流れに強く影響されている。図-6は初期の平坦な河床高からの偏差を示した河床コンター図である。外岸側の河床では洗掘は生じず、内岸側の河床で大きな洗掘がみられる。これらは、これまでの河道計画で想定してきた流れと河床変動とは異なる結果を示している。この原因は、低水路内の二次流の発達程度の差によるものと考えられる。すなわち、堤防法線と低水路法線の間に位相差がある複断面蛇行流れにおいては、高水敷幅が流下方向に変化しているため、図-2の点線で示されるように、高水敷から低水路を横切る流れが低水路の蛇行法線と逆位相の関係で存在している。このため堤防法線と低水路法線がほぼ一致している複断面蛇行河道及び単断面の蛇行河道の流れのような遠心力による二次流が発達できず、低水路内の流れはポテンシャル流れに近い流れとなっている。この結果蛇行部の内岸から次の内岸へ速い流れが生じ、低水路の内岸側の掃流力が大きくなり、河床の洗掘も内岸側で大きくなっている。

3. 実河川の航空写真を用いた検討

3-1. 検討方法

江の川及び利根川において洪水時に撮られた航空写真より表面流速分布をもとめ、これと洪水後に測定された横断河床形状結果を用いて、堤防法線と低水路法線の間に位相差がある場合の複断面蛇行河道における洪水流と河床変動について検討する。実河川では川幅に比して水深が小さいので、表面の流況は流れ全体を代表していると考えてよい。対象洪水は江の川昭和58年7月23日洪水、利根川昭和56年8月24日洪水である。

3-2. 堤防法線と低水路法線の位相差がない場合の洪水流の表面流況

堤防法線と低水路法線がほぼ一致している複断面蛇行河道及び単断面からなる蛇行河道では、洪水流の遠心力的作用により流速は外岸側で大きくなり、外岸側寄りの河床が深掘れし、内岸側に堆積することが知られている。この代表例として、両者の位相がほぼ一致している利根川103.0k~99.0k区間を選ぶ。図-7は低水路内で表面流速が最大となる位置を連ねた線を示す。これを見ると蛇行部の外岸側で最大流速位置が現れており、また、ほぼその位置で河床の深掘れが生じていることが分かる。

3-3. 位相差がある場合の洪水流の表面流況

図-8に江の川下流の30.0k～23.0k区間の最大流速線図を示す。この区間は堤防法線と低水路法線の位相が一致して、河岸段丘の幅が流下方向に変化している。最大流速発生位置を連ねた線は低水路内の内岸及びそれらを連ねた線上に現れており、3-2.で述べた堤防法線と低水路法線がほぼ一致している複断面蛇行河道の洪水流況とは異なっている。江の川に比較して、河床勾配が小さく川幅が大きい利根川において堤防法線と低水路法線の位相が一致していない64.0k～61.0k区間の最大流速線を図-9に示す。64.0k付近から蛇行の最大曲率断面である62.0k付近までは、江の川と同様に最大流速発生位置を連ねた線は内岸に沿って現れている。

3-4. 複断面蛇行河道における河岸侵食対策の留意点

実験水路の結果と実河川の洪水航空写真からいずれも最大流速が内岸から次の内岸の最短経路に現れることが示された。しかし、河床形状については両者の間に相違点がみられる。実河川の資料による河床横断形状を見ると、図-8と図-9で最大流速発生位置を連ねた線と河床の深掘れ位置は一致していない。すなわち、最大流速は内岸側に見られるが、深掘れは外岸側に位置しており、実験から得られた内岸側河床で洗掘が発生するという結果と異なる。この原因を図-10を用いて説明する。洪水時の河床の横断形は高水敷上に

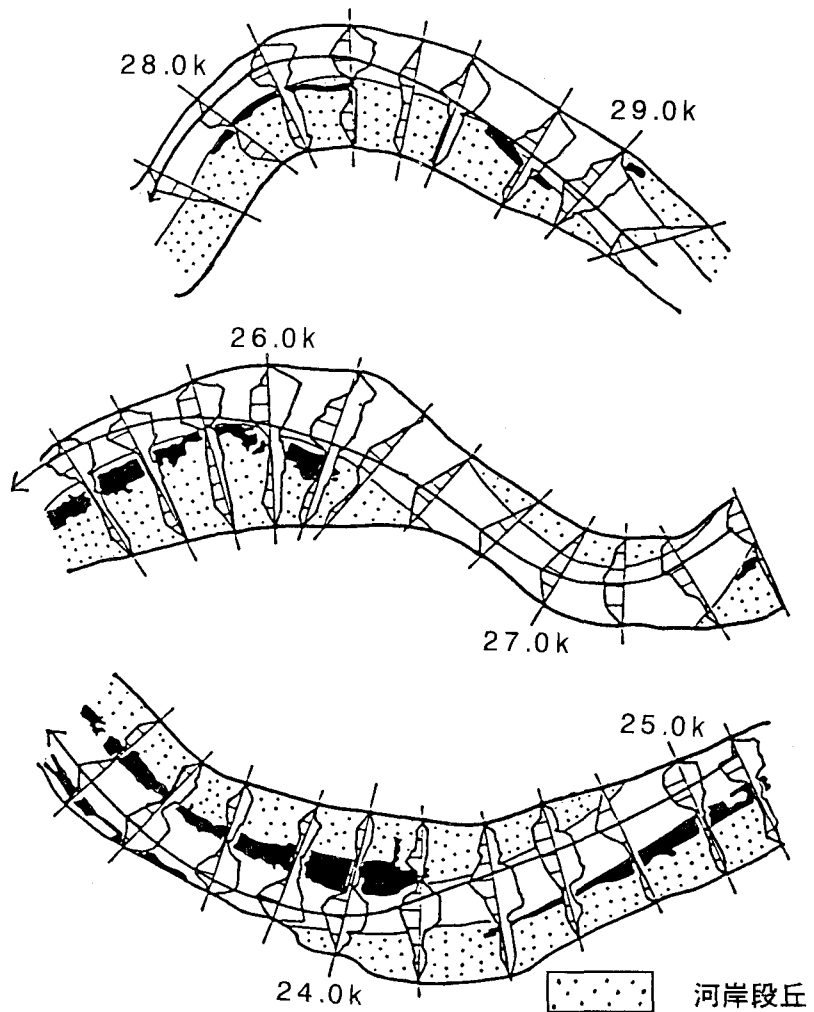


図-8 江の川における表面流速分布と最大流速発生位置
(堤防法線と低水路法線の位相がずれている場合)

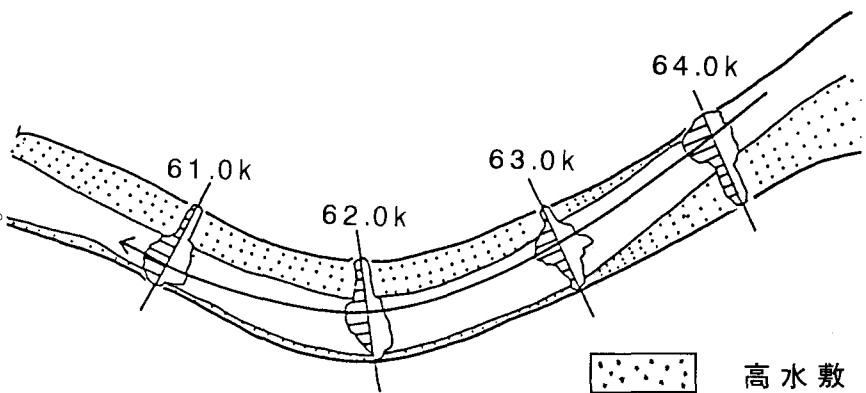


図-9 利根川における表面流速分布と最大流速発生位置
(堤防法線と低水路法線の位相がずれている場合)

水が流れている時点で測定するのが望ましいが、主に技術的な問題から洪水終了後に河川の横断測量によって測定している。そのため、測定される河床の形状は洪水流量がピーク流量から減じ、低水路満杯以下の流量時に形成されたものと考えられる。この段階になると洪水流は単断面河道での蛇行流れの状態となり、低水路の曲がりによる遠心力の影響で外岸側の流速が速くなり、外岸側の河床が深掘れする（図-10のA）。一方、表面流速分布はほぼ洪水のピーク時に撮影された航空写真から求めている。もし表面流速と同様に洪水ピーク時に河床横断形が測定されていたならば、実験結果と同様に内岸の流速が速くなるために、内岸側の河床で深掘れが発生しているものと考えられる（図中B）。複断面蛇行河道では、流れ場及び横断形状は堤防法線と低水路法線の位相差（流下方向の高水敷幅の変化）、河道の断面形状、及び洪水が高水敷上を流れている時間、すなわちハイδροグラフに大きく関係している。河岸侵食対策はこれらの要素を十分に考慮しながら実施する必要がある。

4. おわりに

堤防法線と低水路法線の間位相差がある河道で、高水敷上に洪水流が流れている場合には、低水路内の最大流速は内岸から次の内岸への最短経路に現れる。この結果は実験及び実河川の洪水時の資料からも明かである。河床の洗掘は、洪水ピーク時には内岸側で起こっていると考えられ、その程度は洪水ハイδροグラフ、位相差の程度に大きく関係している。高水敷上の流れは低水路近傍で低水路側を向き、蛇行変曲点付近から低水路に入り、対岸の高水敷に出ていく流れのパターンを繰り返す。例えば、低水路内岸側は流速が小さいと考えられてきたことから、内岸側は多自然型川づくりの重要なポイントとして選ばれ、また、外岸側よりも内岸側の方が橋脚の設置位置として適当であると考えられることが多かった。このようにここで得られた結果は複断面の河道計画で想定されてきた流況及び河床変動と異なる場合も起こり得るため、必要に応じて明らかにされた点を河道計画に反映していくことが必要である。

参考文献

- 1) 福岡捷二・藤田光一：土木研究所報告第180号、1990。

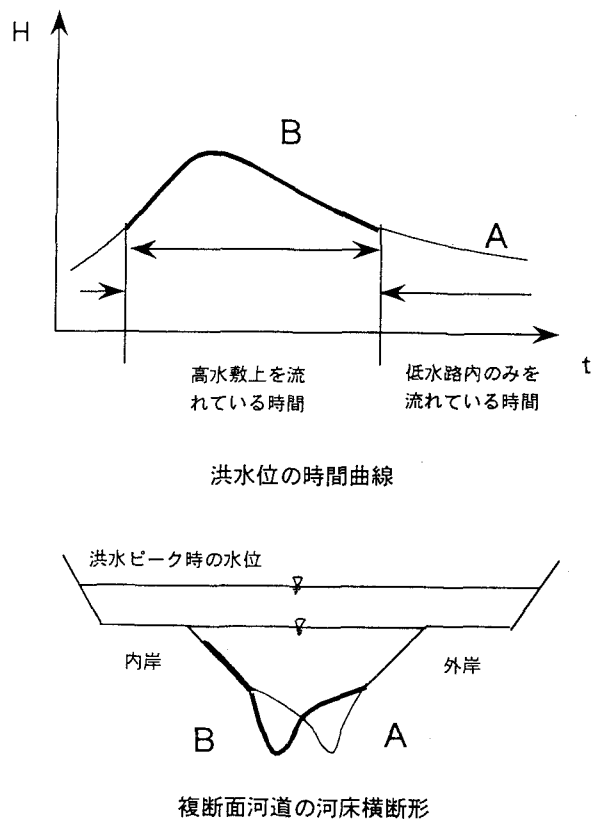


図-10 深掘れ位置と洪水位の関係