

# 鶴見川における河岸の侵食・堆積速度と 平衡断面形状

THE EQUILIBRIUM CROSS-SECTION SHAPE AND THE RATE OF  
EROSION AND DEPOSITION IN THE TSURUMI RIVER

渡邊明英<sup>1</sup>・福岡捷二<sup>2</sup>・山口充弘<sup>3</sup>・柏木幸則<sup>4</sup>・山縣 聡<sup>5</sup>

Akihide WATANABE, Shoji FUKUOKA, Mitsuhiro YAMAGUCHI, Yukinori KASHIWAGI  
and Satoshi YAMAGATA

<sup>1</sup>正会員 工博 広島大学工学部 助教授 第四類(建設系) (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

<sup>2</sup>フェロー会員 Ph.D 工博 広島大学工学部 教授 第四類(建設系) (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

<sup>3</sup>正会員 建設省京浜工事事務所 流域調整課 課長 (〒230-0051 横浜市鶴見区鶴見中央2-18-1)

<sup>4</sup>正会員 工修 建設・環境研究所 (〒170-0013 豊島区東池袋2-23-2東池袋Qビル)

<sup>5</sup>学生員 広島大学大学院 博士課程前期 環境工学専攻 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

It is important to estimate erosive resistance of natural riverbank for river course design. Several studies on the erosion of consisting of cohesive soil have been made in recent years. In many of those studies, only cross sectional erosion depth has been paid attention to. But bank erosion progress with widening not only transverse but also flow direction. In the Tsurumi River the situation of bank erosion and deposition in straight channels and curved channels was investigated. Consequently, it was shown through the field observations in the Tsurumi River that the erosion speed of natural bank is about 60 cm/year and it is estimated that the equilibrium width to the large flood will be about 30 m - 40 m.

*Key Words : Erosive resistance, erosion mechanism, erosion rate, equilibrium cross section*

## 1. はじめに

河岸侵食を防止するために、様々な護岸工が設置される場合が多い。しかし、河川の水際は、多様な動植物の生育場、植生による景観の形成といった観点でも重要な役割を果たしているため、その処理方法が重要となる。近年では、多自然型護岸が施工されたり、自然河岸がそのまま存置されることが多くなりつつある。河道の特性や水理条件に対して、これらの工法を適切に使い分ける技術が現在求められている。このためには、自然河岸や多自然型河岸が洪水流に対してどの程度侵食されるかを把握する必要がある。しかしながら、自然堆積河岸や粘性土の侵食速度や侵食耐力については、室内実験<sup>1)2)</sup>や少ない現地実験<sup>3)4)</sup>や現地観測<sup>5)</sup>がある程度で、まだ十分に把握されていない。一方、大規模出水に対して河積を確保するために低水路幅をあらかじめ拡幅しておいても、河道内の堆積によって川幅が縮小する事例が、藤田ら<sup>6)7)</sup>によって報告されている。

河道の川幅を設計する際には、洪水流を安全に流下可能な河積を確保することが重要であるが、その河積が維持できなければならない。ある流量に対して河岸が侵食されなく、堆積が生じない断面形状を、いま平衡断面形状と呼ぶ。すなわち、河道維持の観点からすれば、低水路の変化が生じないような断面を確保することが理想的である。しかしながら、室内実験とは異なり、現実の出水規模は確率的であるので完全な平衡断面というものには存在しない。平衡断面や平衡川幅というものは流量確率に対応した確率分布を持つことになり、期待値的な平衡断面といった形で存在することになっていると考えられる。

本研究では、河道設計に対して重要な指標となる期待値としての平衡川幅などを明らかにすることを目的として、河岸が自然堆積河岸で構成されている鶴見川12~14 kmの範囲を調査地点に選び、実測データ、航空写真及び現地調査を基に、鶴見川における河岸侵食や低水路内堆積の速度、低水路変遷について検討を行った。

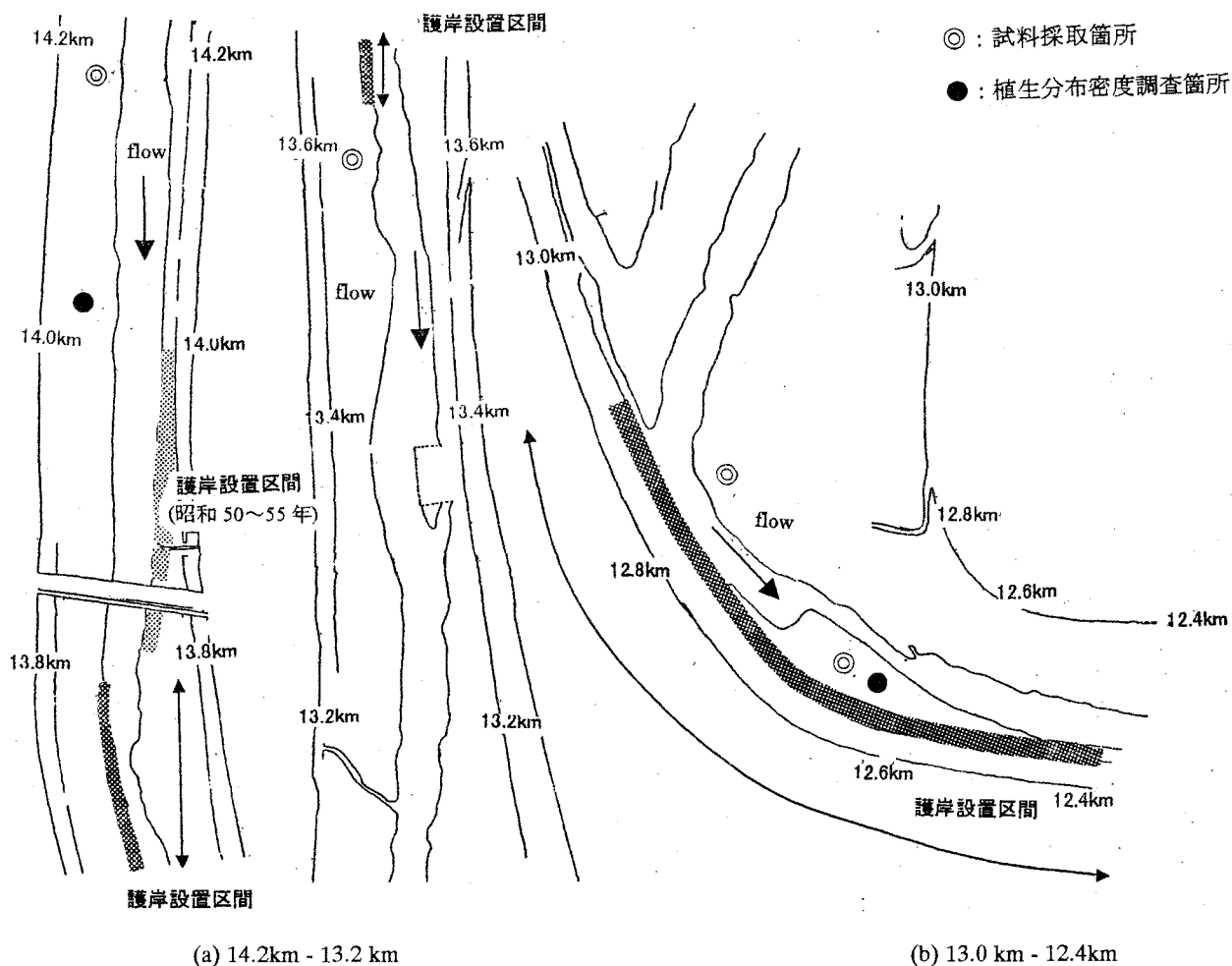


図-1 鶴見川河道平面形 (14.2 km ~ 12.4 km)

## 2. 鶴見川の概要

鶴見川は、東京都町田市の大森丘陵上小山田の奥に源を発して東京都稲城市の一部、神奈川県川崎市、横浜市の一部を東流し、中下流部で大きく蛇行しつつ支流を集めて流れ、横浜市鶴見区生麦付近で東京湾に注ぐ全長 42.5 km、流域面積 235 km<sup>2</sup>の典型的な都市河川である。昭和30年頃は、流域の10%が市街地に過ぎなかったが、昭和41年には20%に拡大し、昭和61年には実に70%が市街地化されている。このため、各地域に集中して雨が降ったとき、降水が急速に川に流れ込むので、昔に比べて、流量が著しく増大したという背景がある。

### (1) 調査区間と河岸土質

図-1に調査区間の平面形を示す。調査区間は河口から14.2 km - 12.4 kmの範囲であり、14.2 km - 13.8 kmの直線部、13.8 km - 13.0 kmの緩やかな曲線部及び13.0 km - 12.4 kmの湾曲部から成っている。

河岸の土質試料は、14.2 km付近右岸の上層、13.6 km付近右岸下層、12.8 km付近左岸の下層、12.6 km

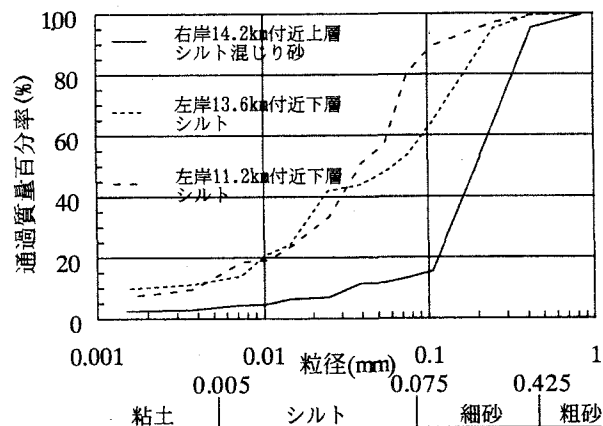


図-2 粒径加積曲線

付近の右岸下層から採取した。

図-2は、それらの試料の粒径加積曲線を示している。河岸は主にシルト混じり砂とシルトで構成されている。特に上層の堆積土砂では砂が多い。河床材料は基本的に砂であり、堆積して砂州となっているが、部分的に土丹と呼ばれる堅い粘土層がある場所も見られる。

表-1 亀の子橋地点における昭和58年から平成9年まで(15年間)の鶴見川洪水頻度

洪水規模 ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	200 - 300	300 - 400	400 - 500	500 - 600	600 - 700	700 - 800
出水年度	S63, H1, H2, H6, H9	S58, S60, S61, H1, H3 (S57)	H5	S61, H2, H5 (S56)	H3, H8 (S51)	H3

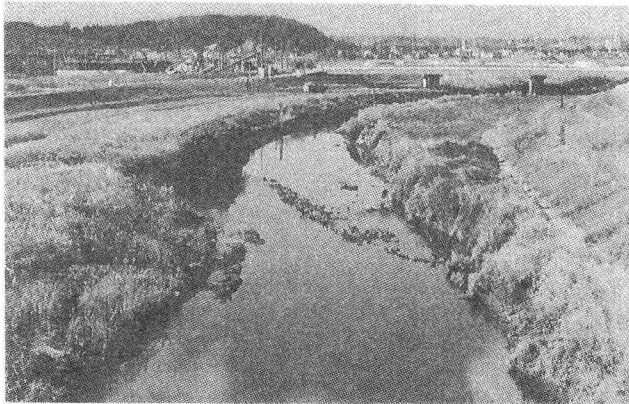


写真-1 鶴見川13.6 km - 13.8 km 付近

写真-1は、調査区間である鶴見川13.6 km - 13.8 km 付近の状況を示している。これより、河岸近傍に植生が繁茂していること、高水敷の比高が高い様子などの特徴が見てとれる。

図-3は200 m毎の区間と各区間の平均的なヨシ・オギ類の低水路水際からの分布幅を示している。植生の繁茂している所におけるその繁茂幅は20 m - 30 mであった。植生分布幅が0 mの区間は護岸の設置箇所であり、工事等によって失われたと推測される。14.0 km付近右岸、13.9 km付近左岸、12.6 km付近右岸におけるヨシ・オギ類の生育密度は、それぞれ135 本/m<sup>2</sup>、170 本/m<sup>2</sup>、167 本/m<sup>2</sup>、平均157 本/m<sup>2</sup>であり、標準的な生育密度である。河岸近くに生育しているヨシの高さは、1.5 m程度である。

図-4は、13.8 km付近の河岸状況を示している。河岸の高さは約3 mであり、土質は二層構造を成している。上層は厚さ約2 mのシルト混じり砂であり、下層は厚さ約1 mのシルトである。ヨシの地下茎は上層のシルト混じり砂の層のみに匍匐している。下層の形状は階段状に侵食されており、小さな崩落土塊が落ちていた。砂分が主体であるため、シルト混じり砂の上層河岸は傾斜している。図-5は、13.2 km - 13.0 km区間の河岸状況を示している。ここでは、河岸材料はシルトのみで構成され、河岸面は鉛直に切り立っている。地下茎は高水敷上から1 m程度までしか地中に達していない。鶴見川における本調査区における現在の河岸比高は約3 m - 4 mと高くなっているため、河岸上層のみに繁茂しているヨシ原・オギ原では、河岸側面を被覆することはできず、横断方向の侵食低減効果が期待できない。現地では、ヨシ原による大きなヒサシ形状も見られず、ヨシ原も小さな土塊として崩落し、河岸面を被覆できていなかった。しかし、草本による表面の被覆と地下茎による土壌の緊縛によって鉛直方向の侵食低

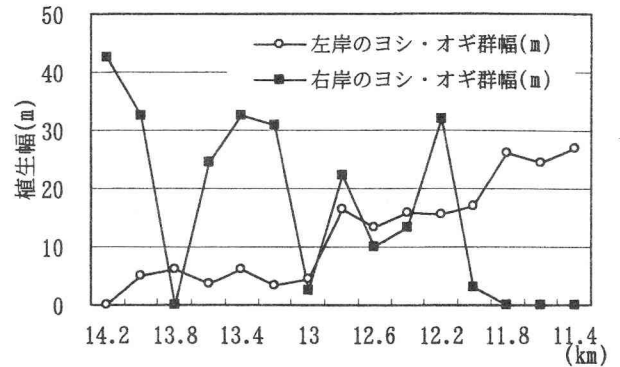


図-3 植生分布

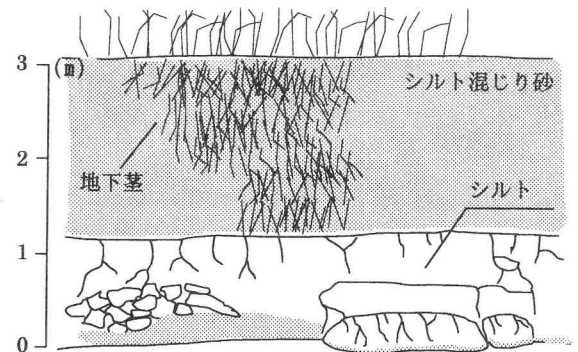


図-4 13.8 km 付近左岸の河岸崩落状況

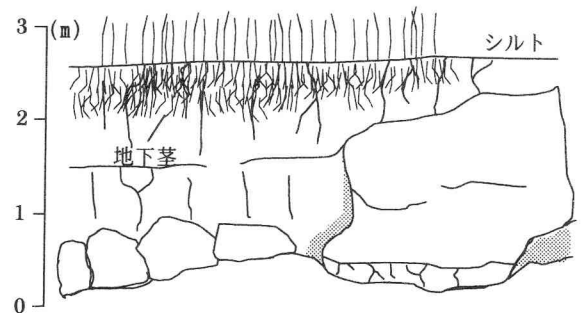


図-5 13.2 km 付近右岸の河岸崩落状況

減効果はある。また、現地のヨシ・オギ原内には顕著な土砂堆積が見られた。鶴見川の本来の河岸構成は基本的にシルト単層である。河岸が2層構造をなしている区間は、かつてその部分が人工的に掘削された場所であり、そこに植生が繁茂し、洪水時に砂が自然堆積して形成された河岸であると思われる。

## (2) 出水状況

表-1は、調査区間内の流量観測地点である亀の子橋(13.9 km付近)における高水の出水頻度を表わしている。鶴見川における出水は台風等によるものが多く、平均的にはほぼ毎年出水があると考えて良い。

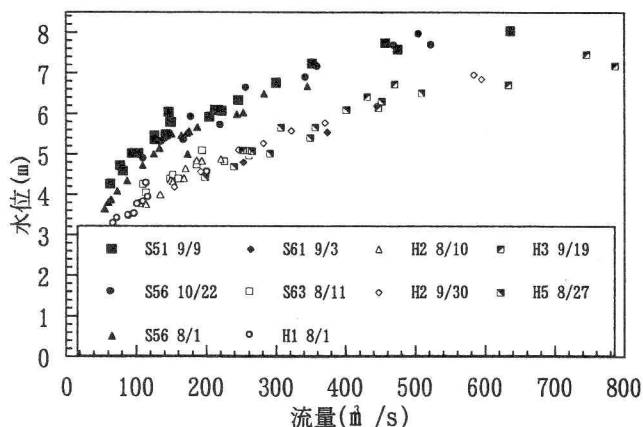


図-6 高水時の水位と流量の関係(亀の子橋)

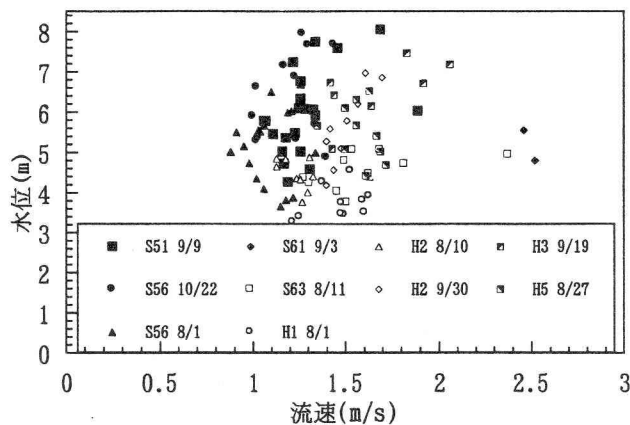


図-7 高水時の水位と流速の関係(亀の子橋)

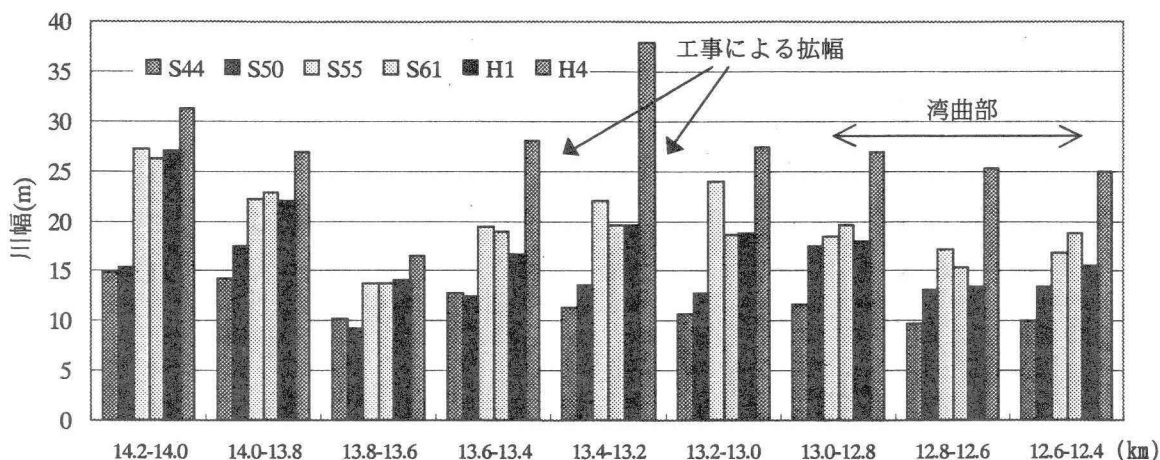


図-8 昭和44年,昭和50年,昭和55年,昭和61年,平成1年,平成4年の各区間の平均川幅

その洪水継続時間を水位が高い時間で見ると、多くの場合、平均的にはおよそ10時間から20時間程度であるが、長い場合には数日に及ぶ場合もある。表-1は、昭和58年から平成9年までの15ヶ年における高水速報、水位～流量曲線図、流量観測結果などから作成し、それ以前の主要洪水を加えたものである。ただし、これらは各年度における主要洪水の観測結果から作成されているので、観測されていない中小規模の洪水については記載漏れている可能性がある。この期間では流域の開発はほぼ終了しており、この間における洪水流出特性の著しい経年変化は認められなかった。

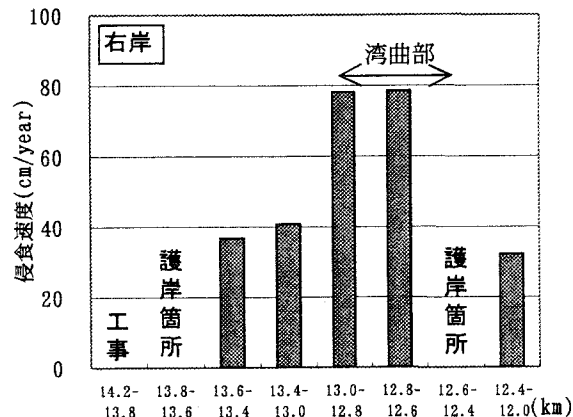
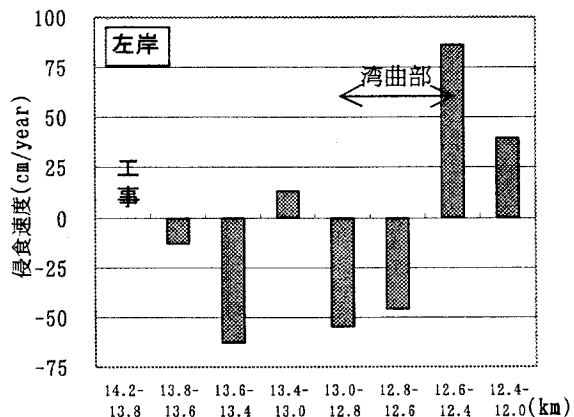
表-1から、高水数が冠水すると考えられる水位が4 m - 5 m以上となる200 m<sup>3</sup>/s以上の高水は、少なくとも概ね年に1回以上、水位が6 m以上になる500 m<sup>3</sup>/s以上の出水でも3年に1回程度の割合で頻発していることが分かる。図-6は表-1に示した主要洪水における出水時の水位～流量関係を、図-7は水位～流速関係を示している。これより、出水ピーク時における流速は1.7-2.5 m/s程度であり、侵食や拡幅によって断面が広がることにより、昭和61年以降では同一流量に対して水位が低下していることが分かる。近年では出水時に2.0 m/sを越えることはほとんどなく、概ね1.0～1.7 m/s程度の流速になっている。

流量や水位が増大しても平均流速が大きく変化する傾向は見られなかった。したがって、河岸侵食を引き起こす洪水外力として、大出水時を除いて1.0～1.7 m/sの洪水が少なくとも年間平均で10～20時間以上作用していることになる。

### 3. 河道の変動

#### (1) 低水路川幅の変動

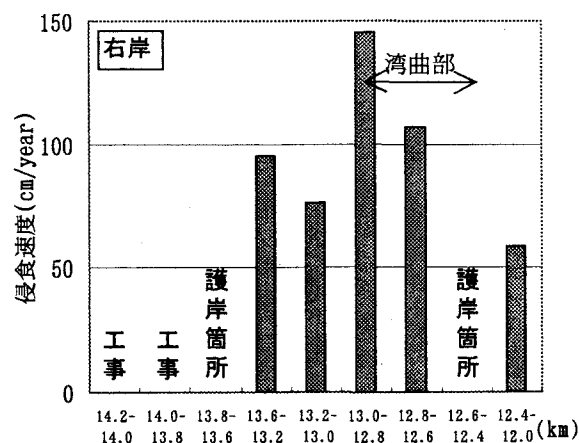
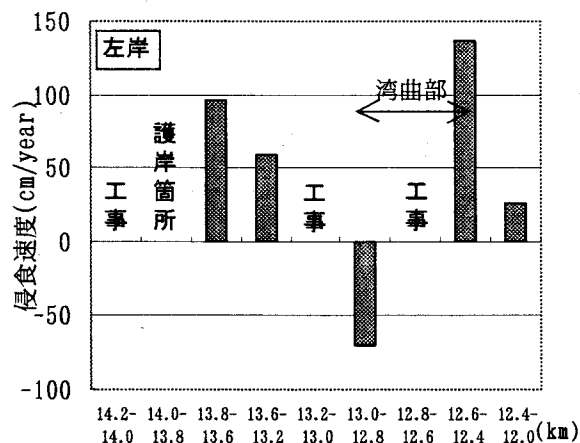
図-8は、昭和44年～平成4年の期間において200 m毎に区切った区間の平均低水路川幅を表わしている。これは河道平面図における低水路位置の径年変化から求めたものであり、この区間には工事による拡幅や護岸箇所も含まれている。侵食は側方侵食の幅を、堆積は低水路内で鉛直方向に生じた堆積面積を幅で表わしている。まず、200 m間隔で平均された各年の低水路川幅は、縦断的にほぼ同様な値をとっていることがわかる。昭和51年から昭和55年にかけて見ると、昭和51年に生じた洪水により、直線部及び湾曲部を問わず、全ての区間で低水路川幅が急激に増大している。一方、昭和55～61年では、いくつかの区間で低水路川幅が縮小しているのがわかる。この期間では昭和61年まで500 m<sup>3</sup>/s規模の出水がなかったためであると考えられる。



(a) 左岸

(b) 右岸

図-9 昭和44年から昭和50年の侵食速度



(a) 左岸

(b) 右岸

図-10 昭和50年から昭和55年の侵食速度

すなわち、以前の大規模出水時に河岸が侵食されて低水路川幅が広がっていたが、この期間では大きな出水がなく、出水時の流速が小さくなっていたために、土砂を掃流する能力が低下し、低水路内部で土砂堆積が生じたためであると考えられる。昭和61年～平成元年にかけても大きな変化が見られないが、この期間でも昭和61年の出水を除いて大きな出水がなかったためであると考えられる。

また、平成元年～平成4年にかけても、縦断的に侵食が生じている。これは、主に平成3年に頻発した大規模な出水に応じて河岸が侵食されたことを示していると思われる。平成3年の最大流量は784 m<sup>3</sup>/sであり、ピーク時には流速2 m/sまで達している。ただし、13.2 km -13.4 km 地点における大きな川幅は、侵食によるものではない。この場所は、平成元年度の工事によって高水敷が掘削されており、幅約30 m、高さ約4 mにわたって断面積が増大していた区間である。この区間では、他の区間で侵食が生じた期間に、掘削された高水敷へ急速に土砂が堆積し、川幅が10m以上縮小している。これは、800 m<sup>3</sup>/s規模の出水であっても、少なくとも低水路幅40 mを越えて侵食されることがないことを示している。

これらの結果から、以下のことが考えられる。まず、洪水の流量規模に対応する平衡断面がある。

鶴見川の河岸侵食速度は下層シルト部の侵食速度で表わされると考えられ、その速度は洪水時の流速で決まる。一方、河道内に土砂が堆積するかどうかは洪水時の流速で決まる。このようにして、一つの流量規模に対して1つの動的平衡川幅が決まることになる。次に、流量が変動すると河道はその流量規模に応じた動的平衡断面に近づこうとし、その時点における低水路川幅に対して低水路幅が拡大するか縮小するかが決まることになる。すなわち、室内実験のように洪水時の侵食によって低水路幅が単調に拡幅してやがて静的平衡断面を形成するわけではない。

鶴見川の場合には、河岸構成材料に対して、その低水路幅は、500 m<sup>3</sup>/s規模の洪水では20m - 30mの範囲に平衡していくと考えられる。この出水規模と川幅ではピーク時の流速はおおよそ流量観測から1.7 m/s程度以下であることが分かっている。出水規模が700 m<sup>3</sup>/s - 800 m<sup>3</sup>/sになるとこの川幅では流速が2.0 m/s程度まで達するので、流速が減少するまで拡幅しようとする。この出水規模に対応する川幅は30 m - 40 mの範囲に平衡していくと考えられる。実際の流量規模が確率的に生じるのであれば、河道の平衡川幅も確率分布をもって存在する。しかし、1洪水中でも流量が時間的に変化するので、川幅変化の追従速度についてはさらに検討する必要がある。

(2) 低水路線形や護岸施工が侵食速度に与える影響  
次に、低水路河道の平面形状が侵食速度に与える影響や低水路位置の変化を見る。

図-9は、昭和44年～50年における左岸と右岸の侵食速度を示している。侵食速度は、次のように定義されている。各期間の低水路平面形の変化量を200 m毎に区切られた区間距離で除して低水路の変動とし、さらにそれを各期間で除して、各区間を代表する平均侵食速度としている。ただし、明らかに工事によると思われる河道整正量は除いている。左岸13.6 km - 13.4 kmでは低水路内堆積により河岸位置が右岸側に移動しているが、右岸13.6 km - 13.4 kmでは侵食され、さらに河道を広げている。これは、図-1に示した平面形から分かるように、上流の低水路法線の影響を受けて、流れが右岸側に偏流したために侵食と堆積を生じて、結果として低水路が右岸側に移動したことを示す。13.4 km - 13.2 kmでも同様なことがいえる。13.2 km - 13.0 kmでは上流の拡幅、下流の湾曲の影響を受け、左右両岸で侵食が生じて拡幅している。湾曲部である13.0 km - 12.8 kmでは左岸が堆積により約55 cm/yearで右岸側に移動し、右岸が約78 cm/yearで川幅を広げている。これより河道全体としては右岸側に23 cm/yearで移動したことになる。同様に12.8～12.6 kmでも右岸側が約79 cm/yearで河道を広げ、左岸は46 cm/yearで内側に向かって移動している。この湾曲部では、32 cm/yearの速度で低水路河道が右岸側に移動した。先に示したようにこの期間における川幅の変化はほとんどない。しかし、湾曲部においては河岸侵食と内岸部堆積の高水敷化によって低水路位置が移動しており、安定な状態になっているわけではない。

図-10に昭和50～55年の左右両岸の侵食速度を示す。14.0 km - 13.2 kmで大きな侵食が生じている。これは14.0 km - 13.8 kmの右岸と13.8 km - 13.6 kmの左岸に護岸箇所があり、縦断的に昭和50年における川幅が狭かったことによる。湾曲部である13.0 km - 12.8 kmでは左岸が約70 cm/yearで河道内側に移動し、右岸は約145 cm/yearで河道を広げている。これより河道は右側に約76 cm/yearで移動したことになる。

### (3) 高水敷上の土砂堆積

平成11年度に行った現地調査において、高水敷オギ植生帯の中に顕著な堆積が見られた。鶴見川は都市河川であり、洪水流とともにゴミ（菓子類のビニル袋、アキ缶等）と一緒に流されており、これらが堆積土砂層の中に埋没していた。これらのゴミには、製造年月日、賞味期限等が記載されている。堆積箇所では植生により、鉛直方向には侵食されにくいことを考えれば、この記載年度から堆積期間と堆積高さを求めることができる。一度沈降したゴミが再度浮上し、二次的に堆積した可能性も考えられるが、少なくとも記載年度以降に堆積したことは明らかであり、最低の堆積速度を見積もることができる。

13.8 km付近の左岸の比高は約3 mであり、上層に

は砂が堆積している。この低水路水際には平成4年から平成10年までの6年間で約90 cm - 100 cm厚の砂が堆積している。13.6付近左岸では、比高約4 mであり、上層部に8年間で90cmの堆積が生じている。13.4 km付近左岸では8年間で160 cm、4年間で20 cmの砂が堆積している。この期間には大きな出水があるが、200 m<sup>3</sup>/s級の出水であれば十分に冠水するため、堆積過程はしばしば生じていたと思われる。これらの土砂堆積は断面測量でも確認されており、当時比高が低かった左岸低水路際には平成元年から平成7年の6年間に1 m以上も堆積している。なお、元々比高が高かった右岸側では顕著な土砂堆積は見られていない。したがって、周囲に比べて河岸の比高が低い場合には、周囲と同程度の高さになるまで急速に土砂が堆積すると考えられる。

## 4. おわりに

低水路幅を設計する場合には、必要な流下能力と断面維持の容易さを考える必要がある。このとき、平均的に安定するであろう川幅の期待値を考慮することが重要である。これを見出すためには、自然堆積河岸や粘性土河岸の耐侵食力の評価と河道内における土砂堆積速度を求めることが肝要である。

粘性土河岸の耐侵食特性を持つ鶴見川では、500 m<sup>3</sup>/s級の出水に対して川幅20 m - 30 m、800 m<sup>3</sup>/s級の出水に対して川幅30 m - 40 mになろうとすること、河道湾曲部においては、40 cm/year - 80 cm/yearで低水路の位置が移動していることが見出された。また、右岸と左岸で比高が異なる場合には、比高が低い河岸の植生帯に急速に土砂が堆積する。その速度は平均的に10 - 20 cm/year程度であろうと推定された。

### 参考文献

- 1) 福岡捷二, 渡邊明英, 小俣篤, 片山敏男, 島本重寿, 柏木幸則: 河岸侵食速度に及ぼす土質構造の影響, 水工学論文集Vol.42, pp.1021-1026, 1998.
- 2) 福岡捷二, 渡邊明英, 片山敏男, 板屋英治, 柏木幸則, 山縣聡, 林基樹: 粘性土(シルト)河岸の流水による侵食拡大機構, 水工学論文集Vol.43, pp.695-700, 1999.
- 3) 福岡捷二, 木暮陽一, 佐藤健二, 大東道郎: 自然堆積河岸の侵食過程, 水工学論文集Vol.37, pp.643-648, 1993.
- 4) 北川明, 宇多高明, 福岡捷二, 竹本典道, 服部敦, 浜口憲一郎: 一関遊水地における越流小堤の耐侵食力に関する現地実験, 水工学論文集Vol.39, pp.489-494, 1995.
- 5) 服部敦, 藤田光一, 平館治, 赤川正一, 湯川茂夫: 粘性土からなる自然河岸の侵食に関する現地観測とその予測計算について, 水工学論文集Vol.43, pp.713-718, 1999.
- 6) 藤田光一, Moody, J.A., 宇多高明, Meade, R.H.: 川幅縮小機構についての考察-パウダー川と川内川の観察結果から-, 第2回河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, pp.183-190, 1995.
- 7) 藤田光一, John A. Moody, 宇多高明, 藤井征政人: ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小, 土木学会論文集No.551/II-37, pp.47-62, 1996.

(1999. 4. 26受付)