

都市河川工事の水防対策¹

大谷英夫²・石野和男³・土田政司⁴

糸井憲生⁵・山本峰夫⁶・川北雅章⁷・田中義久⁸

Hideo OHTANI, Kazuo ISHINO, Masashi TSUCHIDA,

Norio ITOI, Mineo YAMAMOTO, Masanori KAWAKITA and Yoshihisa TANAKA

1. はじめに

近年、大都市域での中小河川の護岸改修工事が進められている。

都市域の中小河川では、周囲に民家が立ち込めているため、工事に必要な作業ヤード等を仮設栈橋として河川内に設けることが多くなっている。

特に、護岸改修にともなう橋梁架替工事では、工事期間が数年間となるため仮設栈橋を通年にわたり河川内に設置する必要が生じている。また、災害復旧工事では、通年施工が条件となる場合もある。

ここで、河川内に通年にわたり仮設物を設置すると、それによる流水抵抗が増加し上流側の水位が上昇することとなる。すなわち、護岸からの溢水の危険性が増すこととなる。さらに、近年の都市域での大雨発生状況を調査すると、大雨は梅雨期や台風襲来時期だけでなく、乾季とされる11～12月にも発生し工事中の洪水の危険性が増している。

このような状況下で、河川工事計画時および工事中的水防対策は重要な課題となっている。

本報告では、平成2年度から平成9年度が工事期間の、横浜市宮川橋梁架替工事の水防対策検討を通じて実施してきた検討項目および結果^{1～6)}について報告する。

2. 対象河川および工事概要

本工事は、図-1に示す、横浜市南端の金沢区の平潟湾にそそぐ宮川を横断する京浜急行電鉄橋梁の架替工事である。宮川は、流域面積6.4km²、河川延長2.53km、工事区間前後の河床勾配が1/1057の二級河川である。工事区域は河口から約

870m上流の感潮域で、電鉄橋梁の直上流で最大支川の谷津川が合流している。工事区域の周辺は、江戸時代に埋め立てられた所で、上流では昭和30年代から宅地化が進み、それに伴い流出量が増加し河川の改修が進められて

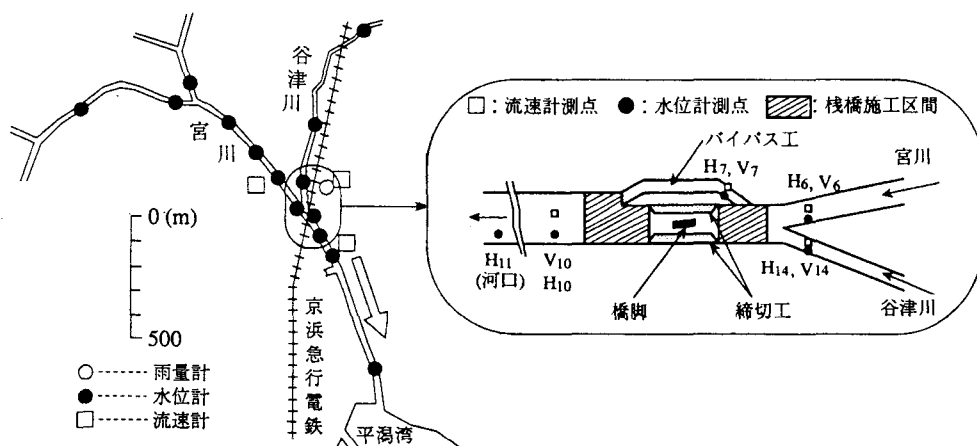


図-1 計測位置および施工状況平面図

¹ キーワード：都市河川，水防対策，橋梁架替，護岸改修，バイパス工事

^{2, 3} 大成建設技術研究所 (〒245 横浜市戸塚区名瀬町344-1) ⁴ 横浜市

^{5, 6} 京浜急行電鉄

^{7, 8} 大成・京急建設・大豊JV

いる。工事完成後の治水計画は、超過確率年6.3年、時間雨量50mm相当、工事区間の計画流量90m³/secである。本工事完成までの治水計画は、時間雨量30mm相当、工事区間の計画流量45m³/secである。工事は、周辺に民家、道路が接しているため、車庫線を含む5線の路線を変更せずに活線の状態で架け替える工事であり、当初工事計画は以下の通りであった。

- 1) 上下流での作業ヤードとしてのH鋼杭を用いた仮設栈橋の構築
- 2) 左右岸での仮締切工の構築
- 3) 既設橋脚撤去のための仮受橋脚の構築
- 4) 既設橋脚および橋台の撤去
- 5) 新設橋台の構築
- 6) 新設橋桁の架替
- 7) 仮設栈橋の撤去

この当初計画の下で、不等流計算を用いて工事期間中の水位を予測した結果、上流で溢水する可能性が高いことが示された。この溢水の可能性を低減する目的で、

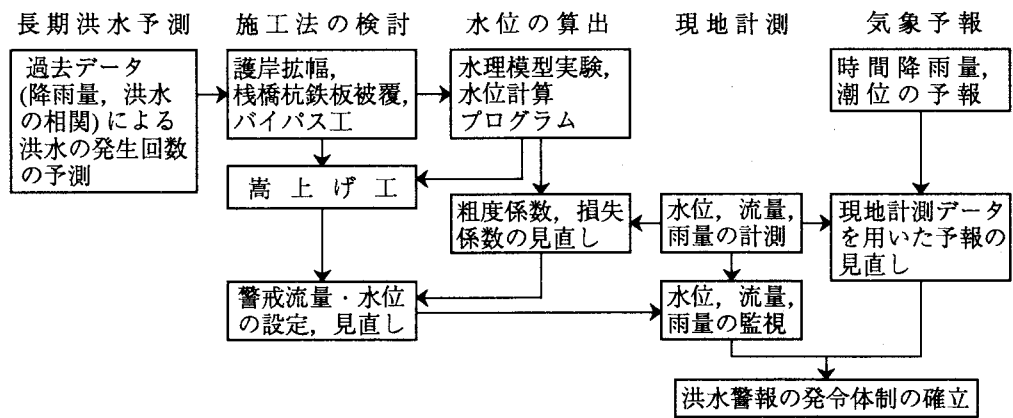


図-2 洪水対策確立フロー

図-2に示すフローで洪水対策を検討した。その結果、本工事では新規性のある対策として、

- ・ 栈橋杭の流下方向の鉄板被覆、仮締切工の開放およびバイパス工の設置による水位低減工の採用
 - ・ 水位、流量、雨量の現地計測による予測水位の検証
 - ・ 現地計測結果を用いた洪水予測および気象予報を併用した洪水監視
- を実施した。以下に図-2に示した検討内容と結果を示す。

3. 検討内容と結果

3. 1 長期洪水予測

過去30年間の横浜地方気象台の降雨データを用いて、降雨量再現期待値20, 30, 40, 50mm/hrに対する年平均出現回数を求めた。⁷⁾ 検討結果を表-1に示す。表から、管理基準値である30mm/hrは、年に1.4回程度出現する可能性があることが判った。また、当工事区間は、感潮区間であるので管理基準降雨量とH.W.L以上の水位が重なることにより洪水の危険性が発生する。このため、過去の代表的降雨時の

潮位を調査した。その結果、平成2年9月30日(台風20号)、平成2年11月30日(台風28号)のデータによれば、台風中心付近の最大雨量25~30mm/hrと満潮位の重なりにより洪水発生の可能性があることが示された。

3. 2 水理模型実験

当工事は、以下に示す水理上の特徴および検討事項を有する。

- ・ 図-1に示すように当工事区間内の上流部で支川が合流している。
- ・ 当工事区間の中央部では、既設橋脚設置断面の兩岸に仮締切工が施工される。

表-1 横浜地方気象台の過去30年程度の降雨データを用いて算定した、時間降雨量再現期待値に対する年平均出現回数および再現期間

再現期待値	岩井法による再現期間		経験的再現期間	
	再現期間	年平均出現回数	再現期間	年平均出現回数
20mm/hr	0.33年	3.03回	0.27年	3.77回
30mm/hr	0.70年	1.43回	0.73年	1.37回
40mm/hr	1.87年	0.53回	1.50年	0.67回
50mm/hr	5.27年	0.19回	4.29年	0.23回

また、同時にこの上下流に仮設栈橋が施工される。

- ・既設護岸拡幅工、栈橋杭の流下方向の鉄板被覆、仮締切工の開放およびバイパス工の設置による水位低減工を検討する。

これらの事項を明らかにするために、縮尺1/20の水理模型実験を実施した。実験条件、方法、主な実験結果を以下に示す。

- ・実験条件；河口水位 H.W.L, 粗度係数 $n=0.030$, 河口水深 $h=2.54\text{m}$, 流量 $Q=20,30,45\text{m}^3/\text{sec}$, 河床勾配 $i=1/1057$
- ・測定項目；水位、流速分布
- ・実験ケース；工事計画に従い、表-2に示す11ケースを用いた。

表-2 実験条件

	中央橋脚	護岸拡幅	下流栈橋		上流栈橋		締切工		バイパス
			設置	対策	設置	対策	閉塞	開放	
Case 1-1 現況河川の再現	○	×	×	×	×	×	×	×	×
Case 1-2 河川拡幅後	○	○	×	×	×	×	×	×	×
Case 2-1-a 下流栈橋杭打設後	○	○	○	×	×	×	×	×	×
Case 2-1-b 下流栈橋対策後	○	○	○	○	×	×	×	×	×
Case 2-2-a 上流栈橋杭打設後	○	○	○	○	○	×	×	×	×
Case 2-2-b 上流栈橋対策後	○	○	○	○	○	○	×	×	×
Case 2-3-a 仮締切工閉塞後	○	○	○	○	○	○	○	×	×
Case 2-3-b 仮締切工開放後	○	○	○	○	○	○	×	○	×
Case 3 中央橋脚撤去後	×	○	○	○	○	○	×	○	×
Case 4 バイパス設置後	○	○	○	○	○	○	○	×	○
Case 5 バイパス設置後	○	○	○	○	○	○	×	○	○

○… 設置又は実施 ×… 設置せず又は実施せず

- ・主な実験結果；

- 現況河川の流下可能流量は、 $45\text{m}^3/\text{sec}$ である。
- 当初計画の水位上昇最大値は、 0.90m
- 栈橋杭の流下方向の鉄板被覆による水位低減値は、 0.20m
- 仮締切工の開放による水位低減値は、 0.20m
- バイパス工の設置による水位低減値は、 0.39m

これらの結果から、当工事では計画流量に対しては鉄板被覆工とバイパス工および護岸の嵩上げ工で対処し、仮締切工の開放は計画流量以上が発生した場合に行なうこととした。

3. 3 栈橋杭の流下方向の鉄板被覆効果を考慮した水位計算方法の検討

通常の仮設栈橋の杭は群杭であり、各杭の後方に発生する剥離渦が水位上昇の原因の一つとなる。当工事では、群杭からの剥離渦の発生を阻止するために図-3に示す栈橋杭の流下方向の鉄板被覆工を採用した。採用に当たって、3.2に示した水理模型実験においてその効果を確認し、鉄板被覆効果を考慮した水位計算方法を検討したので以下に示す。

3. 3. 1 実験条件および方法

3.2において実験の全体概要を示した。本項では、鉄板被覆効果を検討した実験について実験条件および方法を示す。実験ケースは、図-4(a)の施工前の河

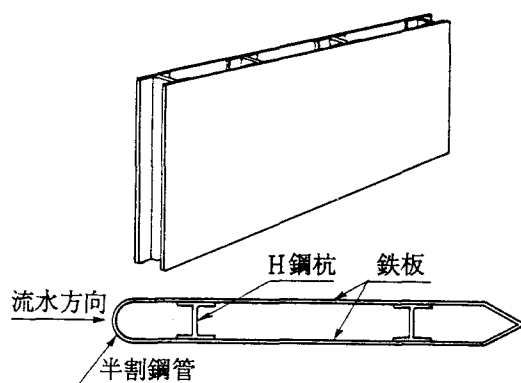


図-3 仮設栈橋鉄板被覆工

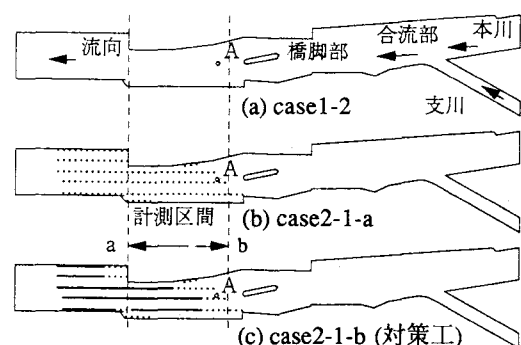


図-4 実験水路

幅を拡幅した状態（表-2のcase1-2）、図-4(b)のH鋼杭を打設した状態（表-2のcase2-1-a）、図-4(c)の鉄板被覆工を施した状態（表-2のcase2-1-b）である。工事区間は、橋脚上流で本川と支川が合流し橋脚部を経て、すでに護岸改修が完了している下流部へ接続される。仮設栈橋杭の模型はH鋼350Hを模擬した塩ビ製で、図-4(b)に示すように横断方向の間隔20cm、流下方向に10cmで格子状に配列し、打設区間は橋脚下流約3mとした。case2-1-bでは図-4(c)に示すように鉄板被覆工をベニア板で模擬した。また、鉄板被覆工の効果を見るために、図-4の比較的断面が一樣な区間a-bで水面形を水路中央縦断方向にポイントゲージで測定した。栈橋杭打設区間の河道断面は、図-5に示す形状で、断面平均の水路幅は約70cmである。表-3に実験条件を示す。水理条件は、フルード相似則を用い、マンニングの粗度係数 n は栈橋粗度により現地粗度で $n=0.03$ に設定した。水位は栈橋杭の影響のない下流側で設定した。表-3に示すように流量は各ケースともに11.18, 16.77, 25.16(l/s)の3パターンを設定した。なお、栈橋杭に対する Re 数は約 5×10^3 で十分大きく、抗力係数 C は実物と同様であると考える。

3. 3. 2 実験結果及び考察

水路縦断方向の水面形を図-6に示す。case2-1-aでは栈橋杭の流水抵抗により水位は上昇し、case1-2に比べ水面勾配が急になっている。鉄板被覆工を施したcase2-1-bでは、case2-1-aと比べ水位が低下すると共に水面勾配は緩やかとなり、鉄板被覆工の効果が顕著に現れた。ここで鉄板被覆工の効果を定量的に把握するためにcase2-1-bの抵抗係数 β を求める。山本ら⁸⁾は河道中に打設されたH鋼杭中の流れの基礎式を式(1)で表している。

$$-i + \frac{dh}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 + \frac{n^2 Q^2}{R^{4/3} A^2} + \beta \frac{Q^2 t}{g A^2 B} = 0 \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 i :水路勾配、 h :水深、 x :流下方向の距離、 A :流積、 R :径深、 g :重力加速度、 B :水路幅、 t :杭の幅、 α :エネルギー係数、 β :杭による抵抗係数である。 β はH鋼杭の流れ方向の間隔 L 、抗力係数 C を用いて $\beta = C/2L$ で表され次元を有する。図-7に、図-4中のA点における流量 Q と水位 H の関係を示す。この図からcase2-1-bにおける水位上昇は、流量 Q の2乗に比例するとみなせるので、式(1)の第5項と同様の式形で抵抗係数 β を評価する。式(1)を計算することによって水面形が図-6の実験結果に合致するように β の値を求めた。計算結果を図-8に示す。抵抗係数 β は、無対策時 $\beta=0.19$ から鉄板被覆工を施したことにより $\beta=0.1$ まで減少した。なお、これらの水理模型実験結果は、次項3.4の図-12に示すように現地計測により検証されている。

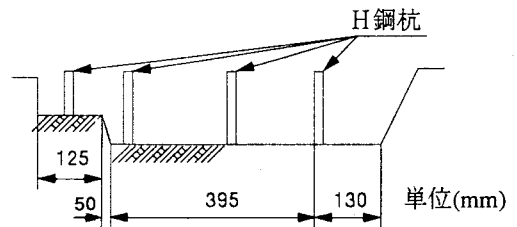


図-5 計測区間の代表的な水路断面

表-3 実験条件 ($Q=25.16(l/s)$)

case	栈橋杭	対策工	Fr	Re
1-2	×	×	0.27	5280
2-1-a	○	×	0.27	4531
2-1-b	○	○	0.27	4872

注) Re の長さのスケールは杭幅である
○は施工された状態を表す

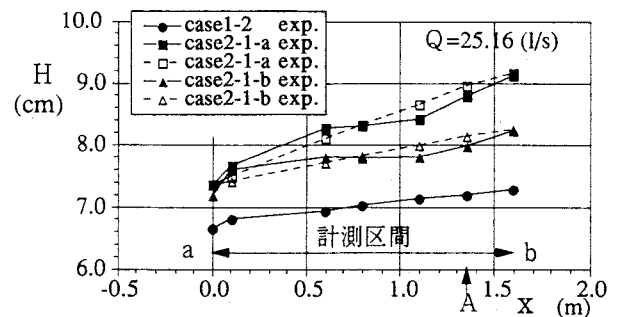


図-6 区間a-bの水面形

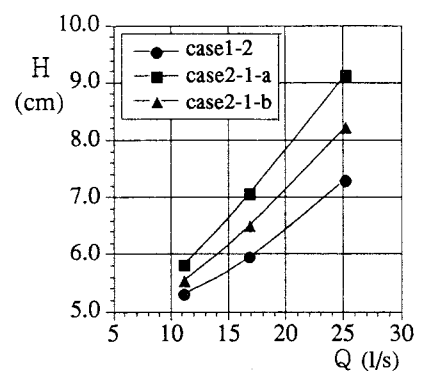


図-7 水位流量曲線(点A)

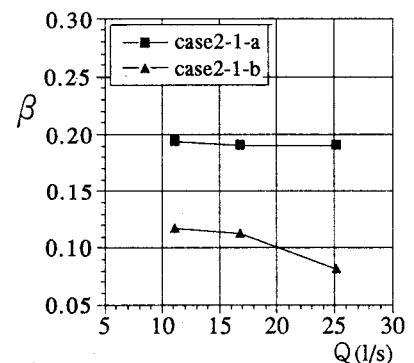


図-8 抵抗係数 β

3. 4 水位,流量,雨量の現地計測による予測水位の検証

本工事では、3.2, 3.3に示した縮尺1/20の水理実験を用いて、工事施工フローにしたがい、水位上昇低減対策としての既設護岸拡幅工、栈橋杭を流水方向に鉄板被覆する流水抵抗低下工³⁾およびバイパス工法等の効果を検討し、現地施工している。このような通年施工状態で、水位上昇低減対策の効果を現地で検討した例は見当たらない。そこで、台風通過等の比較的降雨量の多い時期での詳細流量計測を含めた現地計測を実施した。本項では、現地計測結果と水理実験結果を比較した水位上昇低減対策の検証結果を示す。

3. 4. 1 現地計測方法

図-1に現地計測位置および施工状況平面図を示した。水位は本川で11ヶ所、支川で3ヶ所、計14ヶ所の地点で計測した。本川・支川の流量を正確に把握するために、大雨時にV₆, V₁₄の地点で8台の電磁流速計を用いて一断面多点流速計測を実施した。

また本支川合流流量の確認のためにV₁₀を、バイパス工内の流下流量測定のためにV₇を計測した。計測時には、樹木の枝葉等のゴミが流下していて、特に流量計測ではゴミ対策が必要であった。降雨量はH₁₄地点で計測した。

3. 4. 2 現地計測結果及び考察

図-9に計測期間中最大降雨が発生した時点での水位、流量、雨量の時系列計測値を示す。なお、図には天文潮位を並示してある。図から、天文潮位と河口水位H₁₁に偏差が見られる。この偏差（河口水位上昇量）と気圧の相関を図-10に示す。図-10の考察は3.5.4に示す。また、図-9から降雨ピークと流量ピークの時間差は14～22分程度の短時間であることが示された。図-11に、V₁₄地点の河川中央位置での鉛直流速分布を示す。図から鉛直流速分布は1/7乗則で近似されることがわかる。図-9に示した流量は、図-11の結果と左右岸方向計4点で同時流速計測した結果を用いて求めた。図-12に栈橋杭の流下方向鉄板被覆

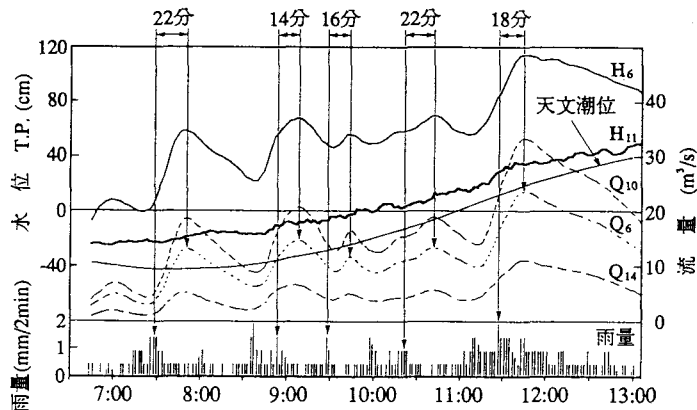


図-9 水位、流量、雨量の時系列計測値(1993年8月27日)

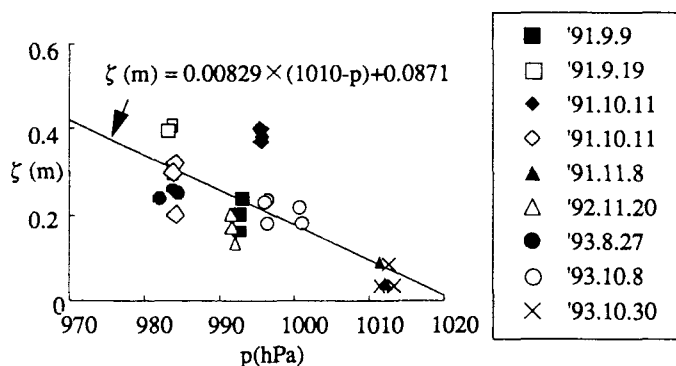


図-10 大雨時の気圧と河口水位上昇量の関係

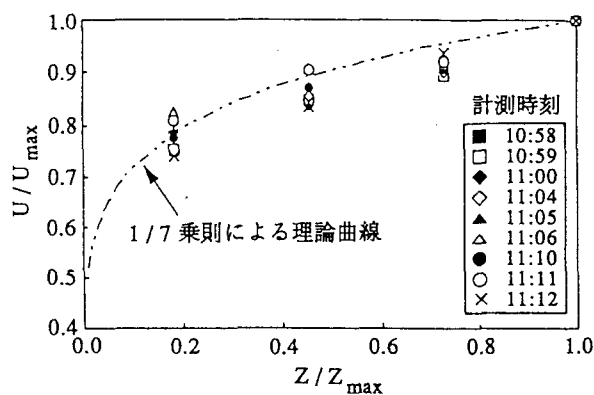


図-11 V₁₄地点河川中央部鉛直流速分布

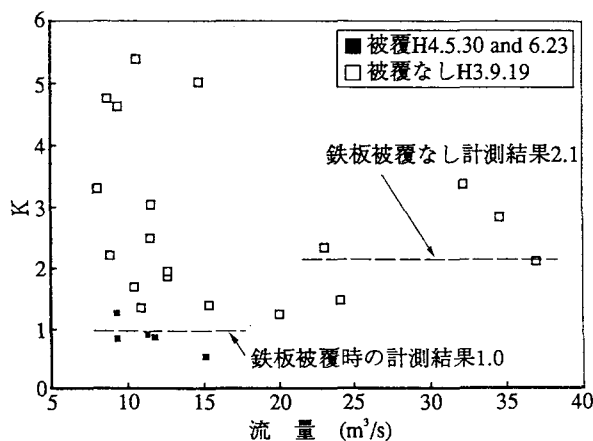


図-12 栈橋杭鉄板被覆の効果
(橋脚下流側栈橋のみ施工時)

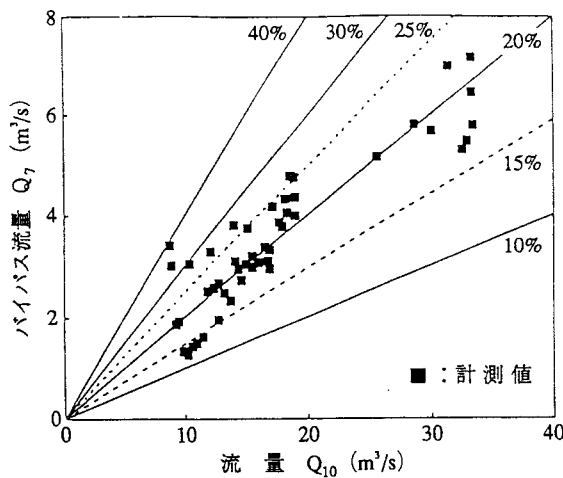


図-13 宮川合流全流量 Q_{10} とバイパス流量 Q_7 の関係

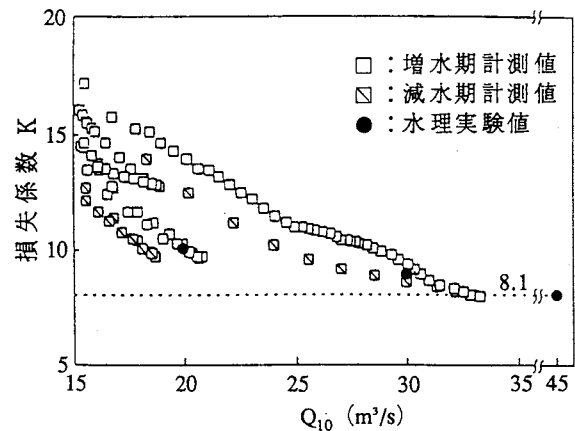


図-14 施工区間の損失係数 K と流量 Q_{10} の関係

の効果を示す。図から、栈橋杭鉄板被覆は損失係数 K にして約半分の低減効果が示された。この低減効果は水理実験結果にはほぼ等しい。

図-13に本川合流全流量 Q_{10} とバイパス流量 Q_7 の計測結果を示す。水理実験では、 Q_{10} の25%の流量が Q_7 に流れた。現地ではバイパス部の地下埋設物等の影響で当初計画の断面が確保できない部分もあったため、 Q_7/Q_{10} 比は25%より低く平均で20%程度となっている。図-14に、図-1に示した施工区間全体の損失係数 K と合流流量 Q_{10} の関係を示す。図-14には定常状態を仮定した水理実験結果も並示してある。図から、通常の洪水波に見られるパターンすなわち増水期にまず、大きな水面勾配が生じ、減水期には水面勾配が下がる傾向が当地点でも発生していることがわかる。また、工事の洪水対策にとって重要な大流量時、すなわち高水位時の損失係数は、水理実験結果にはほぼ等しいことがわかる。よって水理実験結果を用いて水位予測が可能であることが検証された。

3. 5 現地計測結果を用いた洪水予測および気象予報を併用した洪水監視

本項では3.4に示した現地計測結果を用いた比較的簡易な水位予測方法と気象予報を併用した洪水監視について示す。

3. 5. 1 対象河川の特性和水位予測に必要なパラメータ

当工事中的対象河川の洪水予測に関する特性は、①仮設構造物による背水があり、仮設状態も月単位、年単位で変化すること、②都市域であり、流域面積も小さく、流出流量は降雨の変動に対して敏感に応答すること、③河口に近いため潮位の影響が大きく、低気圧により河口水位は上昇すること、等である。そのため、①から③を考慮した水位予測を行なうためには、実験、計算による仮設物の抵抗特性の評価、現地観測による対象流域特性を把握することが必要となった。そこで、表-4に示す項目について検討を行なった。

表-4 水位予測に必要な項目

	項 目	パ ラ メ ー タ	方 位
河 道 抵 抗	河 口 水 位	天文潮位 η	潮位計算
		低気圧による高潮偏差 ξ	現地計測と気圧データの入手
	施工区間 流水抵抗	損失係数 K	施工区間上下水位差 Δh の現地計測
	施工区間より 上流側の水位	合流点を基準とした水位差と 流量の関係	現地計測による経験式の推定
流 出 予 測	流 出 流 量	合理式の f (流出係数)	雨量と流量の現地計測
気象情報入手	気圧, 予測雨量, 降雨時間帯		日本気象協会より即時入手

3. 5. 2 施工区間の流水抵抗特性と水位予測方法の開発工程

図-15に、仮設構造物の抵抗特性（損失係数 K ）を用いて求めた施工期間中の水位変化と、水位予測方法開発工程を示す。水位は対象河川の流下可能最大流量を用いて実験および計算により求めた。損失係数 K を用いて、任意の流量での仮設構造物による水位上昇量が予測できる。図-15では、5年目後半から1年間、洪水に対して最も警戒が必要な施工状態となることがわかる。そこで、工事期間の後半を目標に水位予測手法を確立することにした。工事開始直後から水位の監視と流量計測を目的に常時観測を始めた。初期の一年半で、表-4に関する観測結果の解析、仮設構造物の損失係数の検証に努め、2年目の終りには、積み重なったデータから大雨に対する水位の概算を予測できるに至った。予測精度を高めるための多点流速計測を三年目までに終了し、水位予測に必要な基礎データを取得し、さらにパソコンにより水位予測ができるようにシステム化した。

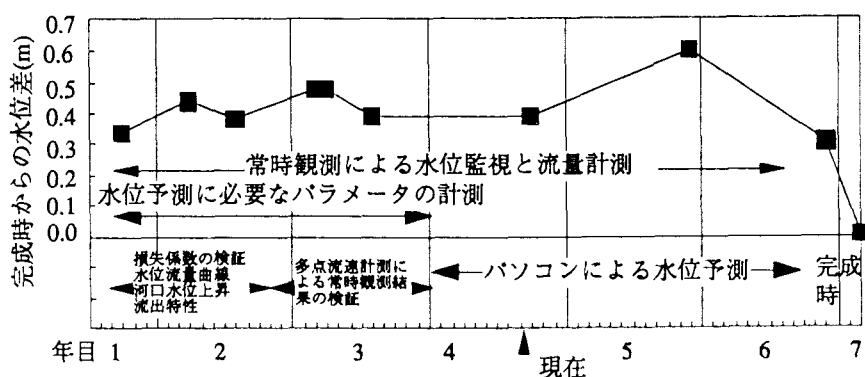


図-15 施工区間上流地点の水位変化計算値と水位予測方法開発工程

3. 5. 3 対象河道の抵抗特性と流域の流出特性

施工区間から上流側の水位予測地点水位は、観測によって得られた水位と流量の関係から求めた。水位予測地点は、比較的護岸高の低いところを選定し、本川3点、支川2点とした。対象河川が感潮河川であること、河川内の仮設状態により上流側の水位が影響されてしまうことから、施工区間直上流点を基準水位とし、図-16に示すように基準水位との水位差と流量の関係（以下「水位差-流量曲線」と呼ぶ）を水位予測地点について求めた。流域の流出特性については、流域を本川、支川と二つに分け、それぞれ合理式を用いて流出係数を求めた。このとき、洪水到達時間は、雨量のピーク時と流量のピーク時の差の2倍とした。得られた流出係数 f は、ばらつきがみられたものの安全側の値をとって、本川 $f=0.5$ 、支川 $f=0.7$ とした。これらの値が、都市域の流出係数の値と比較して小さい理由は、流域面積に下水による対象河川以外への排水域を考慮していないためである。

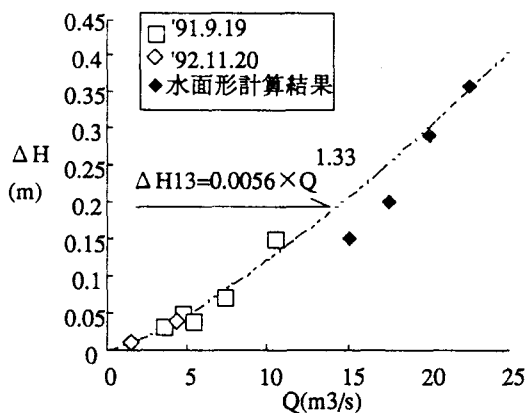


図-16 予測地点N0.13の水位差—流量曲線

3. 5. 4 低気圧による河口水位上昇量

図-10に、大雨時の気圧と河口水位上昇量の関係を示した。河口水位上昇量は、潮位表から得られる予測潮位と観測で得られた河口水位の差である。両者は比較的高い相関を示したため近似直線を求めた。河口水位上昇量は、本来、風にも起因するが、対象河口が東京湾の湾口に近いため、河口部の位置している湾の面積が小さく吹送距離が短いことにより、風の影響は考慮していない。なお、気圧値は気象庁より入手した。

3. 5. 5 水位予測方法

水位予測計算フローを図-17に示す。入力には仮設構造物の損失係数 K と日本気象協会から入手できる予測降雨量、気圧、そして潮位を計算するための時刻である。図-18に水位の予測値と実測値の比較を示す。比較的よい一致がみられるが、高水位時には安全側の予測が行なわれている。これは、流出係数を安全側に設定したことに起因するものであるが、このとき実測水位は洪水対策上設定した警戒水位に達していた。

3. 5. 6 気象予報を併用した洪水監視

本工事では、3.5.5に示した水位予測計算フローに気象予報値を入力することにより水位を予測している。また、警戒水位が予測された場合には、リアルタイムの計測データによる洪水監視とともに、降雨ピーク発生時刻とピーク水位発生時刻との時間差が短いことを考慮して、仮締切のゲート開放や溢水危険箇所への土のう設置等の準備を行っている。

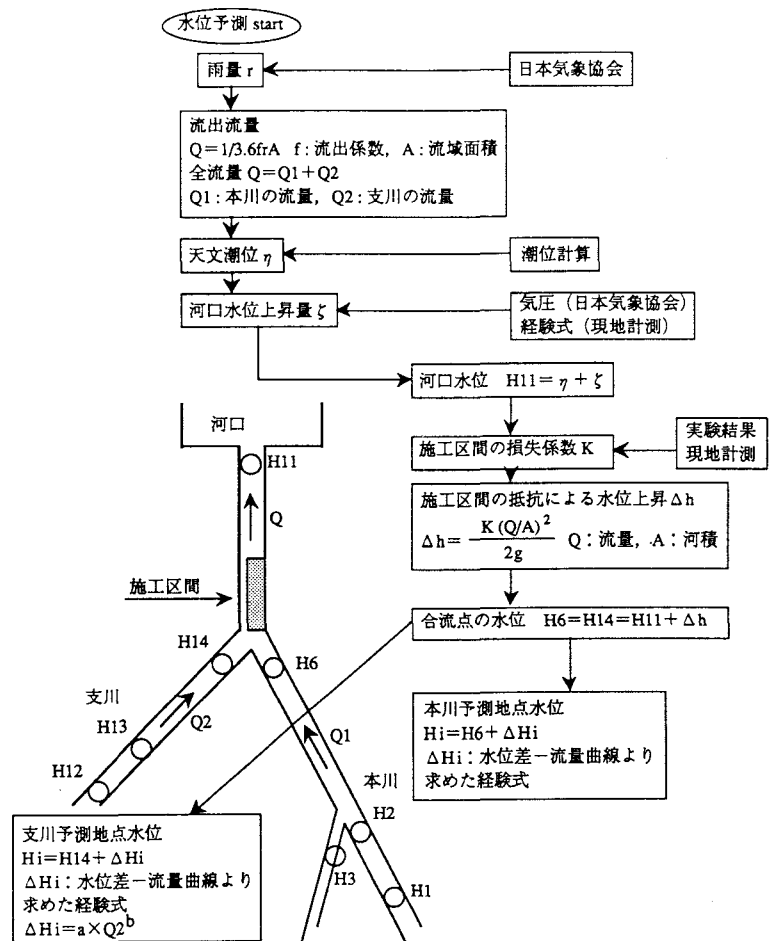


図-17 宮川橋梁架替工事で作成した水位予測計算フロー図

4. まとめ

本報告では、平成2年度から平成9年度が工事期間の横浜市宮川橋梁架替工事の水防対策検討を通じて実施してきた項目の中で、新規性のある対策として、

- ・ 棧橋杭の流下方向の鉄板被覆、仮締切の開放およびバイパス工の設置による水位低減工の採用
- ・ 水位、流量、雨量の現地計測による予測水位の検証
- ・ 現地計測結果を用いた洪水予測および気象予報を併用し洪水監視

を主としてその検討項目および結果について報告した。

これらの結果が、今後の工事の参考となれば幸いである。

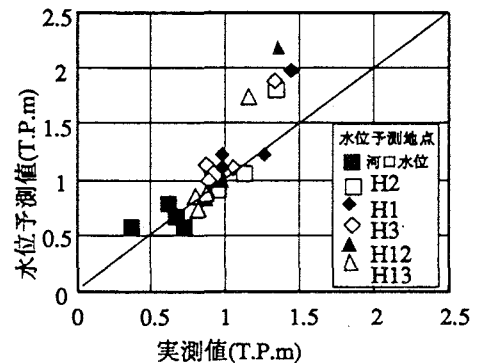


図-18 水位予測値と実測値の比較

参考文献

- 1) 阿部他；仮設棧橋の流水低下工法について，土木学会第47回年次講演会Ⅱ-67，1992.9
- 2) 大浪他；河川横断橋梁架替工事中の洪水対策，土木学会第48回年次講演会Ⅵ-158，1993.9
- 3) 泰山他；工事中水位上昇低減対策の検証現地計測，土木学会第49回年次講演会Ⅱ-198，1994.9
- 4) 泰山他；河川横断橋梁架替工事の大雨時水位予測方法，土木学会第49回年次講演会Ⅵ-319，1994.9
- 5) 泰山他；都市河川工事におけるバイパス閉塞時の水位上昇量の考え方，土木学会第50回年次講演会Ⅵ-36，1995.9
- 6) 日経コンストラクション；洪水期でも川中に仮設物を据える，日経BP社，pp80-83，1994.10.28
- 7) 岩井，石黒；応用水文統計学，森北出版，1970
- 8) 山本，黒羽；H鋼杭設置時における河道水理特性について，昭和52年東京都土木技研年報，pp195-204，1977