

寝屋川北部地下河川における急勾配区間の減勢構造に関する水理模型実験について

矢野 定男¹

¹大阪府寝屋川水系改修工営所 工務課 (〒536-0023大阪市城東区東中浜4-6-35)

寝屋川北部地下河川においては、大深度地下を使用する縦断線形へ見直したことで急勾配区間に高速流が発生する課題に対して、管内に設置した栈粗度等の対策工の減勢効果を模型実験により確認し、減勢可能な構造諸元が得られたことを報告する。

キーワード 大深度地下使用, 地下河川, 水理模型実験, 急勾配, 減勢

1. はじめに

寝屋川流域はその大部分が低平地で、流域面積の約 3/4 は雨水が河川に自然に流れ込まない「内水域」である。また、雨水の出口は寝屋川の京橋口（旧淀川合流点）ただ一か所しかないため、過去からも内水浸水の被害に悩まされてきた。

流域の浸水被害から流域住民の暮らしを守り、安全で快適なまちづくりを行うため、総合治水対策として、通常の河道改修だけではなく、治水緑地や流域調節池等の貯留施設の整備に加えて、道路等の公共施設の地下空間を活用した放流施設である 2 本の「地下河川」の整備を進めている。そのうち北部地下河川では、淀川水系寝屋川ブロック河川整備計画（H27.3）に基づき、30 年の整備期間で鶴見立坑から下流の大川（旧淀川）への排水機場までを整備することとしている（図-1.1）。

本内容では、大深度地下を使用する縦断線形へ見直したことで急勾配区間に高速流が発生する課題に対して、管内に設置した栈粗度等の対策工の減勢効果を模型実験により確認し、減勢可能な構造諸元が得られたことを報告する。

2. 寝屋川北部地下河川の概要

寝屋川北部地下河川は、上流端を寝屋川市讃良東町、下流端を大阪市都島区中野町とし、全長

14.3km、放流量 250m³/s の地下放水路である。

平成 4 年度より工事着手し、完成した一定区間ごとに貯留施設として順次暫定運用している。古川調節池（鶴見立坑～古川取水立坑）、北島調節池（古川取水立坑～北島立坑）および門真調節池（北島立

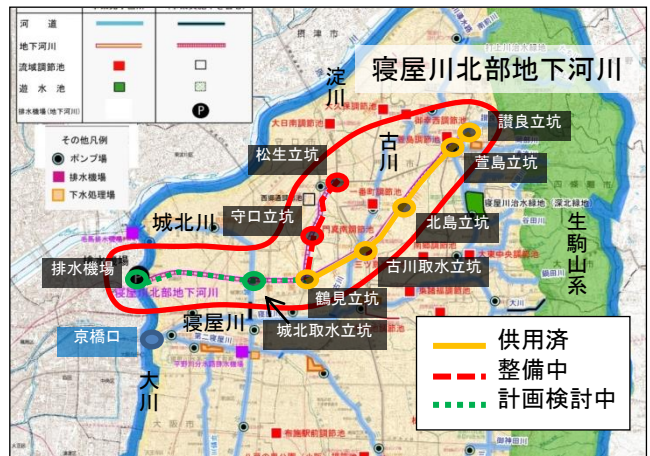


図-1.1 寝屋川北部地下河川位置図

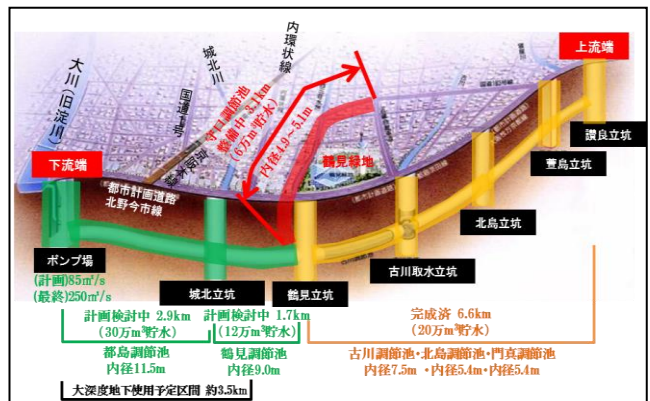


図-2.1 寝屋川北部地下河川の概要

坑～讚良立坑)が供用済みであり約 20 万 m³の雨水が貯留可能である。現在、守口調節池(鶴見立坑～松生立坑)が事業中で、6 万 m³の貯留容量が追加される予定となっている(図-2.1)。

3. 大深度地下使用法の適用

これまでの地下河川事業では、原則として公共用地の地下を占有して整備を進めてきたが、鶴見立坑より下流区間を整備するにあたり、都市計画道路都島茨田線の内環状線(国道 479 号)以西の整備が長期未着手であることが課題となっている。平成 25 年度に、事業主体の大阪市により長期未着手の都市計画道路の見直しが行われた結果、当該路線は存続するものの、概ね今後 30 年程度内に事業着手する方針が掲げられ、寝屋川北部地下河川の進捗との乖離が深刻になった。そこで、上面道路の進捗に影響されずに地下河川を整備できる方法として、大深度地下使用法の適用の手続きを進めている。

4. 急勾配区間の減勢工の検討

鶴見立坑から内環状線交差部の 1.2km の区間で通常深度から大深度へ約 30m 深度を下げるため、急勾配(i=1/37)が生じ、その流速は理論上 13m/s 程度で、河川砂防技術基準(案)同解説・設計編[I]におけるトンネル河川的设计流速 7m/s を大きく上回る。

そこで、水理模型実験を行うことによって急勾配区間の水理現象を把握し、管内で確実に減勢できる構造諸元や維持管理を含めた合理性を見出すとともに、計画縦断線形の妥当性を裏付けることとした。

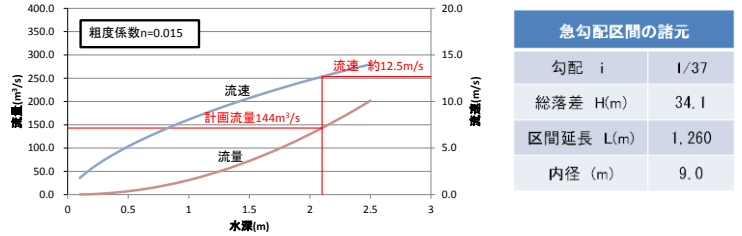


図-4.2 等流計算による理論上の流速

5. 模型実験の概要

(1) 検討の流れ

まず、①基礎模型で減勢工の構造諸元を変化させて、所定の効果が得られた構造について、②全体模型で詳細検討を行い、減勢構造の最適形状を見出すことにした。減勢形式は、階段工と棧粗度の 2 種類で、棧粗度には水平棧粗度と円形棧粗度がある。

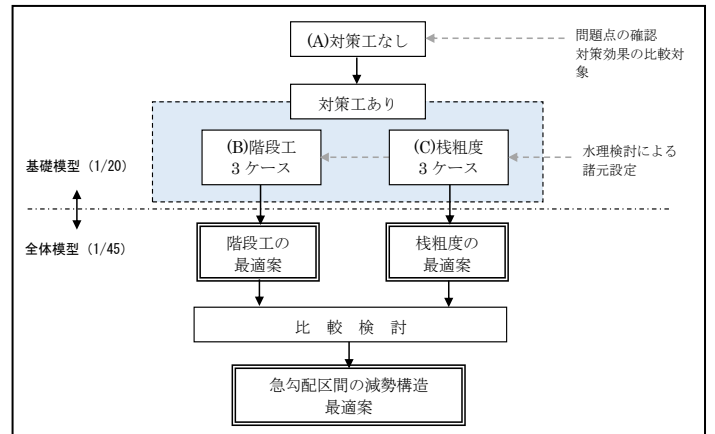


図-5.1 急勾配区間の減勢構造・検討フロー

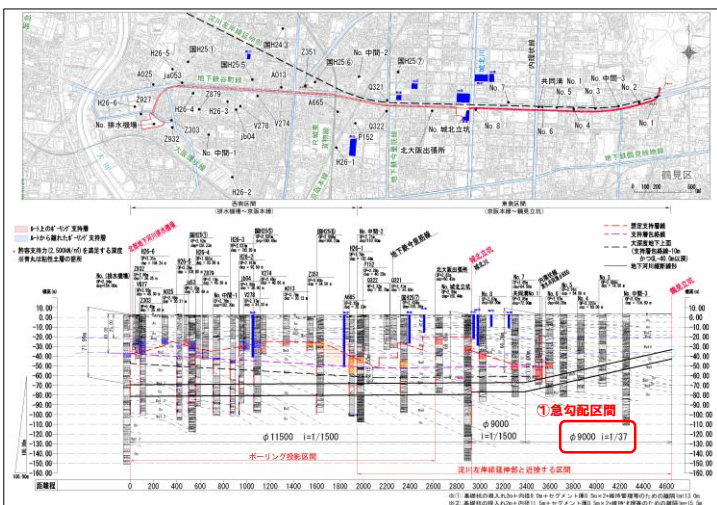


図-4.1 急勾配区間位置図

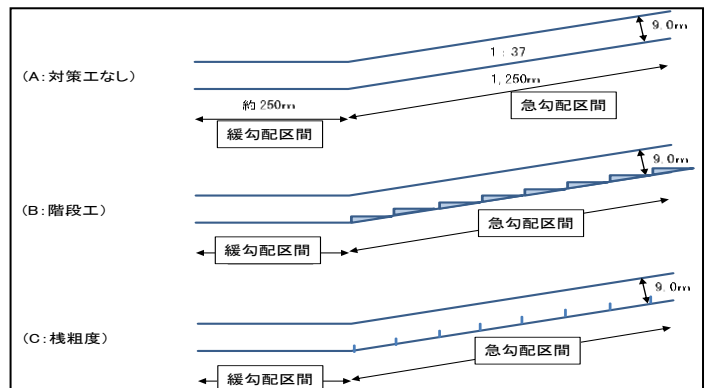


図-5.2 急勾配区間の減勢形式

(2) 模型の概要

実験ではフルードの相似則を用い、表 5-1 に示す模型縮尺を基礎模型では 1/20、全体模型では 1/45 とした。粗度係数を実物とあわせるとともに、乱流を再現するためにレイノルズ数を 10000 以上としている。

模型再現範囲は基礎模型で急勾配部の 300m 区間（概ね流速が安定する長さを半円状の開水路で再現）、全体模型を 1,260m（全区間）と下流水平区間 250m とした。

表-5.1 模型再現諸元 (scale : 1/20, 1/45)

諸元	実物	模型			備考
		1/20	1/45	1/60	
流量 $Q(m^3/s)$	144.0	0.0805	0.0106	0.0052	100%
水路再現長 $L(m)$	1,510	75.50	33.56	25.17	基礎模型は300m再現
水路高低差 $H(m)$	34.1	1.70	0.76	0.57	
水路管径 $D(m)$	9.00	0.450	0.200	0.150	
急勾配部水深 $h(m)$	3.42	0.171	0.076	0.057	case-3計算値
急勾配部流速 $V(m/s)$	5.40	1.207	0.805	0.697	"
満管時流速 $V_f(m/s)$	2.26	0.506	0.337	0.292	
満管時のRe数	2.04E+07	2.28E+05	6.75E+04	4.38E+04	$\geq 1.0E+04$ (乱流)
粗度係数 n	0.015	0.0091	0.0080	0.0076	≥ 0.009 (最小値)
		↑基礎模型	↑全体模型		

表-5.2 検討項目と評価基準

検討項目	評価基準	備考	
開水路時	流速	・急勾配区間及びそれに接続する緩勾配区間で流速が制限値 (7m/s) * ¹ 以下となっているか。 ・1段1段で加速することなく、比較的早期に一樣流速 (減速状態) となるか。	主に基礎模型で実施
	流況	・急勾配区間において流れがスムーズか。 (著しい水面変動が生じないか) ・勾配変化後の流況が安定しているか。	フルード数 * ³ が 1.0 付近では不安定で水面が波状となりやすい
	作用圧力	・対策工 (階段や棧) に構造上問題となる負圧 (-0.029MPa 以下) * ² が発生していないか。	基礎模型で実施
満管時	流水抵抗	・減勢構造が著しい阻害となっていないか (満管時の粗度が大きすぎないか)。 →排水機場地点での揚程高への影響	全体模型で実施
その他	遷移状況	・地下河川の水位変化により、開水路～管路の過渡的な状況下で問題となる現象が生じないか。	全体模型で実施
	維持管理	・泥や水が溜まりにくい構造であるか。 ・点検が容易か (車両の通行等)。	水通し構造付加の可能性

(4) 実験条件

実験は設計流量となる 100%をはじめ 75%、50%、25%および超過流量となる 130%の 5 ケースとし、減勢効果の評価は 100%流量とした。また、130%流量は完全減勢ではないが、構造物の破壊を誘発するような特異な現象が生じないことを確認することとした。主な実験ケースの模型設置状況を写真-5.1 に示す。円形棧粗度では車両通行を踏まえて、水通しを設けている。

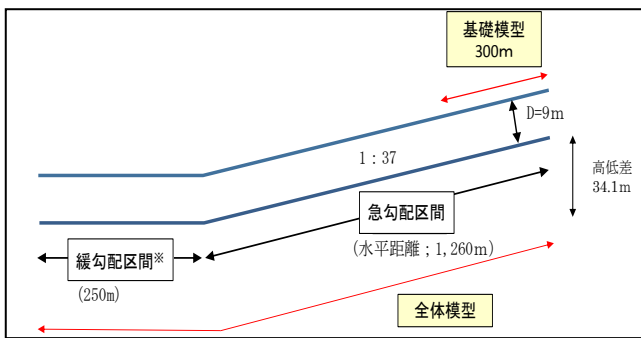


図-5.3 模型再現範囲

(3) 評価

実験での検討項目とその評価基準は表-5.2 に示すとおりである。

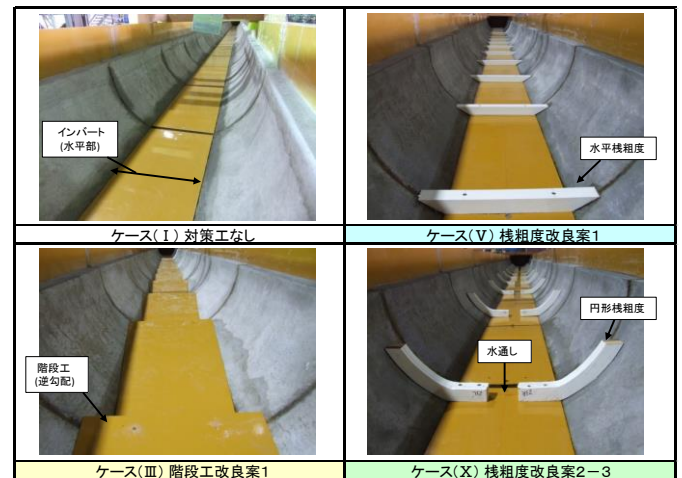


写真-5.1 基礎模型実験の各ケースの模型状況

(5) 基礎模型実験

主な実験ケースの100%流量時の流況を写真-5.2に示す。対策工なしでは流速約13m/sとなり、図-4.2に示す理論上とほぼ同程度となった。階段工は当初目論んだ効果がなかったことから、水平棧粗度および円形棧粗度に特化して、設置間隔等を変化させて、効果が得られる手法を見出すことになった。

図-5.4では各ケースでの水深、6割水深での流速に加え、エネルギー線を確認した。階段工については、流速が7m/s以上になることに加え、エネルギー線が再現区間である300mで収束しないことから、減勢していないことがわかる。一方、水平棧粗度および円形棧粗度では、流速が7m/s以下に収まるとともに、エネルギー線も収束し、300m区間で十分に減勢したと評価できる。

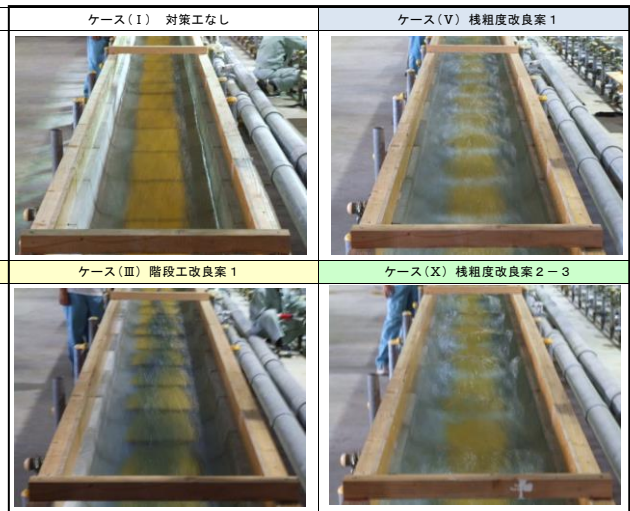


写真-5.2 計画(100%)流量時の流況

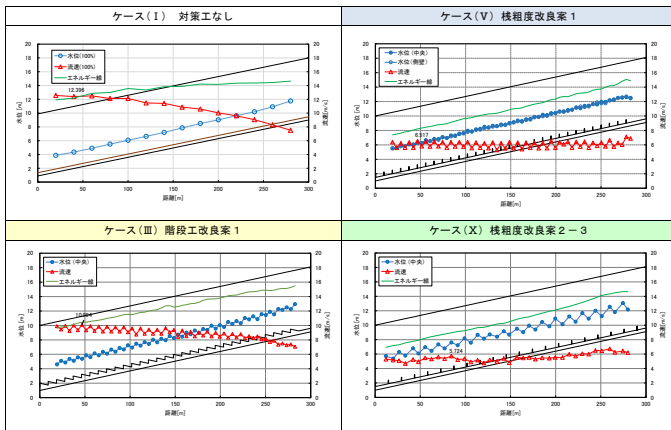


図-5.4 各ケースの水深、流速およびエネルギー線

なお、紙面制約上、その他のケースの結果は掲載できないが、表-5.3に各ケースの構造諸元および評価をまとめている。なお、効果が得られた水平棧粗度および円形棧粗度のケースでは、1断面15点の流速を測定し、6割水深の流速と大差ないこと、また、棧粗度の周辺に発生する負圧を測定し、コンクリートを破壊する規模の負圧が発生していないことを確認している。

表-5.3 各ケースの構造諸元および評価

ケース名	1段の高さ	階段水平区間 または 水平ピッチ	階段段数 または 棧粗度数	備考	評価
ケース(I) 対策工なし	無	無	0	(case-0)	-
階段式 ケース(II) 階段工	50cm	18.5m	68	(case-1)ステップ:水平	没
ケース(III) 階段工改良案1	50cm	9.25m	136	(case-3)ステップ:逆勾配	x
水平棧粗度式 ケース(IV) 棧粗度	50cm	18.5m	68	(case-5)	x
ケース(V) 棧粗度改良案1	50cm	9.25m	136	(case-7)	O
ケース(VI) 棧粗度改良案1-1	50cm	9.25m	136	水平棧粗度 【水通しb=0.5m,中央配置】	x
ケース(VI-2) 棧粗度改良案1-2	50cm	9.25m	136	水平棧粗度 【水通し;千鳥配置】	x
円形棧粗度式 ケース(IV) 棧粗度改良案2	50cm	18.5m	68	円形棧粗度【水通しなし】	x
ケース(V) 棧粗度改良案2-1	50cm	18.5m	68	円形棧粗度【水通しb=1.0m】	x
ケース(VI) 棧粗度改良案2-2	50cm	14.8m	85	〃 (ピッチ4/5)	Δ
ケース(VI) 棧粗度改良案2-3	50cm	14.8m	85	〃 (ピッチ4/5) 棧設置高短縮(1/2)	O

・階段式の対策工について、ケースIII(改良案)を先行して確認し、減勢効果が認められなかったため、ケースII(原案)は廃案とした。
・円形棧粗度案は、大阪市の実験事例の実験事例に従い、改良案の1つとして設定した。

(6) 全体模型実験

基礎模型実験では、主に流速の低減を中心に減勢効果を確認したが、全体模型実験では、それに加えて、勾配変化点での跳水による影響や下流ポンプ排水時に課題となる満管時の粗度による抵抗の増分を確認している。流速の低減については、基礎模型実験とほぼ同様の結果であった。図-5.5に示すように勾配変化点での跳水の影響はほぼないこと、また、開水路から満管に遷移する状況で空気が溜まることなく抜けることも確認できた。

満管時の下流端における粗度による抵抗は、水頭差により水平棧粗度で約0.70m、円形棧粗度で約1.15mとなったが、その対処方法として管径を大きくするか、ポンプ能力を増強するかを比較し、後者の方が経済的であると試算している。







	ケースV[水平棧相度案]	ケースX[円形棧相度案]
Q:100%		
Q:130%		
流況	<p>【流量100%】 勾配変化点で跳水が発生し、やや水面が波状となるものの比較的安定している。</p> <p>【流量130%】 やや波状度合いが大きくなる。 → 流況上の顕著な問題は見られない。</p>	<p>【流量100%】 水面の波状度合いがやや大きく、勾配変化点付近の跳水位置が明確ではない。</p> <p>【流量130%】 100%時より波状度合いは減少する傾向となる。 → 流況上の顕著な問題は見られない。</p>
	ケースV[水平棧相度改良案]	ケースX[円形棧相度改良案]
		

図-5.5 勾配変化点の跳水の影響および開水路から満管への遷移時の流況

6. おわりに

今回の実験結果から、当初目標とした減勢効果を得る2手法が見つかった。今後は、急勾配区間の施工にあわせて、流速等をモニタリングすることで、実際生じる水理的課題を把握・整理し、更に学識経験者にご意見を賜りながら、下流のポンプ施設整備時までには、対応方針を決めたいと考えている。

(謝辞)

今回の実験では、大阪府河川構造物等審議会「大深度地下使用検討部会」で審議をするにあたり、京都大学大学院 戸田教授、関西大学環境都市工学部 石垣教授および京都大学防災研究所 川池准教授には、技術指導や実験指導を含め、さまざまなご指導を賜り、厚く御礼を申し上げます。