

技術紹介 2 地下捷水路設計における水理模型実験について

八重樫 匠
YAEGASHI Takumi
水工・砂防東日本事業部
水工第二部



近年、全国各地で気候変動等に伴う豪雨災害が激甚化・頻発化している。T県T市を流れるU川流域では、平成27年関東・東北豪雨、令和元年東日本台風と連続して甚大な浸水被害が発生した。これらの浸水被害を解消するためには、早急な河川改修が必要であるが、中心市街地を貫流する河川特性や、沿川の歴史的街並み・景観を生かした観光業への配慮から、河道拡幅等の改修は困難な状況であった。そこで、県道下を活用した地下河川（地下捷水路）を整備し、浸水被害の軽減を図る河川改修方針が計画された。地下捷水路は屈曲部・越流部等、各施設で生じる局所的な三次元的流況の把握が難しく、高度な数値解析による水理検討でも再現できない現象が多い。そのため、水理模型実験を実施し、数値解析では再現できない水理挙動の把握・解析を行った上で、適切な施設計画を策定する必要がある。

本稿では、地下捷水路へ流入する施設に着目し、数値解析及び実験結果を踏まえた適切な施設計画を提案した事例を紹介する。
キーワード：浸水被害、地下捷水路、水理挙動、水理模型実験、数値解析

1.はじめに

U川では、平成27年9月の関東・東北豪雨、令和元年10月の東日本台風の記録的豪雨により、甚大な浸水被害が発生した（写真-1）。これらの被害を受け、河川激甚災害対策特別緊急事業として、延長約2.4km(内径約5.5m)の地下捷水路が計画された（図-1）。

地下捷水路で生じる水理挙動は、局所損失、偏流、空気混入等、高度な数値解析による水理検討でも再現できない現象が多い。そのため、本施設では、流入部抽出模型（ $S=1/30$ ）、流出部抽出模型（ $S=1/30$ ）、管路全体模型での水理模型実験（ $SV=1/50$ 、 $SH=1/82$ ）を実施した。

本稿では、上記水理模型実験のうち、地下捷水路において最も重要な流入施設の抽出模型実験と数値解析結果を踏まえた適切な施設計画について紹介する。



写真-1 関東東北豪雨・東日本台風における被災状況
(左：平成27年9月、右：令和元年10月)

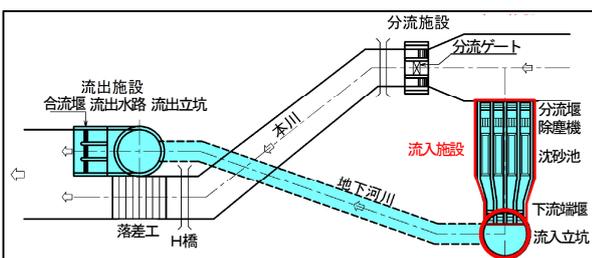


図-1 流入施設配置図

2.存在した課題

2-1.流入立坑の減勢形式

流入施設周辺は住宅地に囲まれており、用地制約下の施設計画の中で本川からの流入・落水に対して減勢させる必要があった。また、落水音や低周波音に対する騒音・振動対策も必要となるため、これらに対応した最適な施設形状を水理模型実験により確認・決定する必要があった。

2-2.沈砂池内流速の数値解析結果と実験結果の乖離

地下捷水路から自然流出できない土粒子は、流入施設内に設置する沈砂池により、地下捷水路のトンネル部に流入する前に取り除く必要がある。数値解析では、地下捷水路の流出立坑から自然流出可能な土粒子径は2.0mm未満となったため、沈砂池対象土粒子径を2.0mm以上（沈砂池内限界流速0.7m/s）に設定した。

水理模型実験での流速は、上層部で -0.17m/s 、下層部で 1.57m/s と数値解析値と大きく異なる結果（図-2）となったため、分流堰に減勢施設を計画し、流速分布を数値解析値まで低下させる必要であった。



図-2 沈砂池内の流速分布（水理模型実験）

3.解決する技術

3-1.実験による合理的な流入立坑の減勢形式

流入立坑の減勢形式は、用地制約により比較的小規模な施設となる落下式を一次選定し、その中から本施

設条件に適する初期落下式と初期渦流式の2ケースを実験対象として選定した。モデルは、流入施設および流入立坑部分は共通で使用可能であるため、減勢形式部分をアタッチメントで付け替え可能となるよう製作した。初期落下式は4連の流入水路が立坑部で合流し、流入水を立坑部に衝突させて減勢する形式である。初期渦流式は4連の流入水路が外壁に沿って立坑に流入し、合流点で渦を発生させて減勢する形式である。実験内容は、HWL時及びLWL時（供用開始直後で粗度係数が良好かつ土砂堆積が生じない施設完成初期状態）の立坑内水位を想定し、立坑内流況の観測及び流入口からの騒音を計測した。

実験の結果、撮影データ・騒音計による測定値より、流況が安定し、騒音の小さい初期落下式が有効であることが判明した（写真-2）。初期渦流式の場合、減勢させるための渦がトンネル内に多くの空気を混入させながら流下する傾向となり、それに伴って騒音も発生した（写真-3）。本来、施設は複雑になるものの壁に沿って流入する初期渦流式の方が、流況の安定が期待できるが、当該施設は流入立坑高が低く、渦の安定に必要な高さが確保できていなかったものと推測される。立坑内の過度な空気混入はトンネル内に空気溜まりとして滞留し、断面阻害となるため、当該施設の流入施設減勢工は初期落下式が最適と考える。また、空気溜まりは流入立坑直下に空気孔を設置することで軽減されたため、本施設設計に反映する。



写真-2 初期落下式(左: 全体形状、右: 立坑内流況)



写真-3 初期渦流式(左: 全体形状、右: 立坑内流況)

3-2. 沈砂池内流速に対する減勢改良実験の実施

前述の通り、数値解析結果と水理模型実験結果で沈砂池内流速に乖離が生じた。上層部より下層部の流速が速いことから、このままの施設形状では、沈砂池内に土砂が沈降せず、地下捷水路のトンネル内に土砂が

流入・堆積する可能性があり、通水断面阻害の原因になると考えられた。

当該施設は用地制約上、流入施設の延長や沈砂池の拡幅等が困難であることから、計画沈砂池内で対応可能な減勢施設の設置・改良を行い、実験でその効果を確認した。改良前は分流堰からの落下水脈が潜流となり、減勢されずに沈砂池に流入したため、下層部の流向が主流となって流れていた。そこで、流向が上向きに分散するように分流堰の落下形状を改良した。減勢に対する改良は、沈砂池手前に副堰を設置し、潜流状態の下層部流速を上向きに分散させる改良も含め、複数の減勢形式を提案し、その効果について検証した。

実験の結果、分流堰越流落下部に段落ちステップ(H=2.0m)とシュートブロック(H=1.0m)を組み合わせた形式で、沈砂池沈降部(下層部)の流速が0.62m/sと数値解析値に近似した(図-3)。沈砂池内流速分布を確認すると、分流堰直下の中層部の流速が大きく、上・下層部は逆流の流速分布となったが、流入立坑手前で流況は安定し、数値解析結果とほぼ同等の流速分布となっていることが分かる。また下層部流速値は遅いため、沈降土砂の舞い上がりを防止し、沈砂池としての機能は発揮されると判断した。

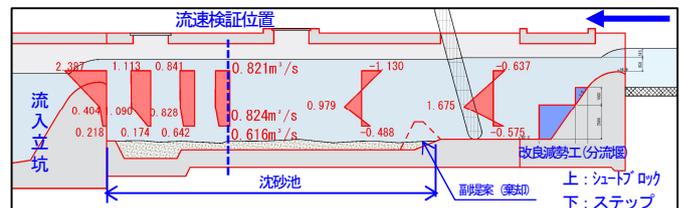


図-3 最終形状での沈砂池内流速分布

4. まとめ

本稿では、地下捷水路で生じる不明瞭な水理挙動を模型実験で確認し、施設設計へ反映する検討について紹介した。水理模型実験では、流入立坑の減勢形式や分流堰直下の減勢施設など様々な施設について、最適な施設計画を提案することができたと考えている。本業務を通して、数値解析だけでは再現できない水理挙動が多いという課題に対して、地下捷水路施設計画の設計資料として本実験結果を活用し、実験の有効性を実感することができた。本稿は紙面の関係より、水理模型実験の一部のみを紹介しているため、その他実験については公開されているYouTube¹⁾を参照されたい。

「参考」

1) T 県県土ちゃんねる

https://www.youtube.com/watch?v=W7sYGLB_UFk