

II-9

地下河川の流下能力に関するリスク分析

建設省土木研究所 正会員 小林 裕明
 " 正会員 栗城 稔
 " 正会員 木内 豪

1. はじめに

都市化の進行した流域では、高い地価とそれに伴う国土の高度利用の理由で地表部における河道の拡幅等の河川改修がなかなか進展しない場合も多い。このため、放水路や調節池を地下部に設けて治水安全度の向上を図ろうとする事例が増加している。これらの施設は概して巨大な構造物となるため、実際の計画・設計段階では、設計手法そのものや水理現象の評価に関連して様々な検討課題が生じてくる。著者らは、2つの河川をつなぐ圧力式地下河川を対象に、設計時に内在する各種の不確実要素や超過洪水によって流下能力がどれだけ変動する可能性があるかについてリスク分析¹⁾を行ったので、ここにその概要を報告する。

2. 対象河川と分析手法

分析対象としたのは、図1に示す形式で事業が進んでいる圧力式地下河川である。このような地下河川が有効となるのは、取水側河川の取水地点下流での河道改修が進展せず、一方では排出先河川に放流する余裕がある場合である。

分析には実際の諸元を用いた。本地下河川の計画で用い

られている排水先河川と取水側河川の降雨規模は双方とも1/30で、分流量は150m³/s、分流比は100%である。

地下河川の流下能力 Q_{cap} は、 Manning則およびDarcy-Weisbach型の局所損失を用いて次式で表される。

$$Q_{cap}^2 = g \pi^2 (H_u - H_a) / 8 \left(12.7g \frac{n^2 L}{D^{16/3}} + \frac{k}{D^4} \right)$$

ここに、 H_u : 上流立坑内水位、 H_a : 排出先河川水位、 D : 管径、 L : 管長、 k : 局所損失係数の合計値、 n : Manningの粗度係数である。なお、立坑内の摩擦損失は考慮していない。

地下河川の流下能力を左右する不確実要素として管体に関するものと排水先河川の水位を考慮し、表1に示す確率密度分布を想定した。シールド工法などでは管径や管長の標準偏差はもっと小さな値になると思われる。次の2ケースを地下河川の流下能力に関して望ましくない状態と考え、その状態が1年間に生起する確率をリスク R_1 及び R_2 と定義した(図2)。

表1 各不確実要素の分布形

不確実要素	分布形	平均値 μ	標準偏差 σ
管径	正規分布	9 m	4.5 cm
管長	正規分布	2 km	10 m
粗度係数	正規分布	0.015	0.0015
損失係数	正規分布	3.28	0.116 μ *
排水先流量**	対数正規分布	7.162	0.681

*下水道の本管損失の実験値から定めた関係

**H-Q曲線より水位の確率密度分布に変換した。

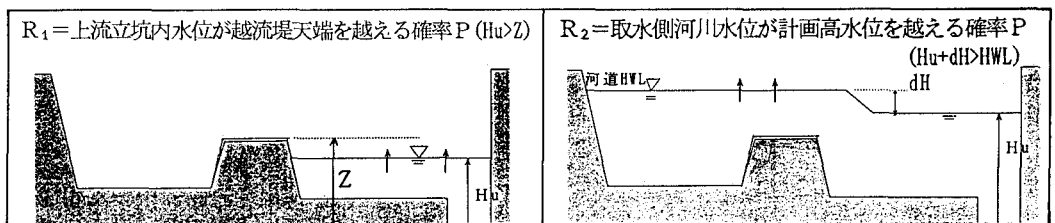


図2 リスクの定義（概念図）

ここで、 dH は取水側河川水位が計画高水位の時に所定の分流量を越流させ得る最小の水位差で、分流量と越流堤諸元により異なる。このリスクの定義は、取水側の立坑内水位を所与の条件とし、それ以外の不確実性を考慮して算定される流下能力の確率密度分布において、分流量 Q_b を流下能力が下回る確率と捉えることができる。すなわち、

$$R_i = P(Q^i_{c.a.p} < Q_b), \quad Q^1_{c.a.p} = Q_{c.a.p}(H_u = Z), \quad Q^2_{c.a.p} = Q_{c.a.p}(H_u + dH = HWL)$$

となる。最終的には、ある分流量についてのリスク及び分流量の確率密度分布を考慮した場合のリスクを算定した。流下能力の確率密度分布は、それぞれの不確実要素について $\mu \pm 3\sigma$ の範囲を10等分して離散的に近似した²⁾。このようにして算定された流下能力の確率密度分布の積分値は、ほぼ1に等しくなるはずであるが、実際には、0.998～0.999であった。

3. 分析結果

管体に関する不確実要素に起因するリスクは、取水側河川が1/30降雨確率（すなわち計画分流量150 m^3/s ）、排出先河川が1/30確率降雨のとき、 $R_1=0.015$ 、 $R_2=0.0$ であった。これは、安全率として管体の直径を10%増にし、連行空気や堆積土砂による断面閉塞が無いと仮定した場合である。断面割増しをしない場合には、当然ながら $R_1=0.50$ となる。なお、断面割増しは連行空気や堆積土砂による断面閉塞を予め考慮しているものであるが、実際にどのくらい流水断面の縮小が生じているかは、沈砂池の効果や維持管理の頻度、エアイベントの有無などにより異なってくるものである。

次に、管体に関するものと排水先河川水位の両方を不確実要素として考慮した場合に算定される流下能力分布を図3に示す。断面割増しの有無により約11%平均値に違いが現れる（イベントのため21%にならない）。この流下能力分布と分流量の確率密度分布を用いて、断面割増しの有無別に分流量とリスク値 R_1 、 R_2 の関係を求めた（図4）。これによると、流下能力を分流量が上回るリスクは、もぐり越流あるいは不完全越流状態で取水側河川水位を計画高水位まで許容すれば、断面を割増した場合（完全越流状態）のリスクよりも小さくなる。また、断面割増しの有無によるリスク値の比は分流量の増加にしたがって小さくなる。

なお、下流水位の不確実要素だけを考慮する場合には、解析的にリスクの値を算定できる。また、各不確実要素が流下能力の確率密度分布の分散に寄与する度合いも解析的にわかるが、ここでは説明を省略した。

4. おわりに

リスク値自体は感覚的に理解しづらいと思われるが、安全率の相対的評価や超過洪水に対する施設の信頼性を把握するには有効である。また、本手法はここでとり上げた以外の様々な形式の地下河川（ポンプ排水、開水路流れ等）にも適用できるものである。

謝 辞：リスク分析プログラムの作成等について（株）パンフィックコンサルタンツ水工部の協力を得たので、ここに記して謝意を表します。

参考文献：1) Tung, Y.-K., and L.W. Mays, Risk Analysis for Hydraulic Design, J. Hyd. Div., ASCE., vol. 106, no. HY5, pp. 893-913, 1980., 2) 伊藤、亀田（訳）：土木・建築のための確率統計の基礎（丸善），p. 168-188.

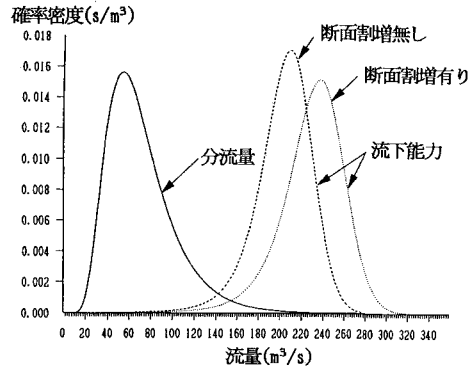


図3 分流量と流下能力の確率密度分布

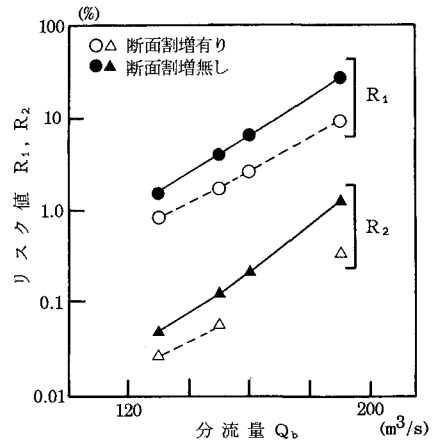


図4 分流量とリスク値の関係