

II - 154

減勢池とエアバントを有する管路合流部の水理特性

建設省土木研究所 正会員 栗城 稔

建設省土木研究所 正会員 木内 豪

建設省土木研究所 正会員 田中 義人

1. はじめに

圧力式地下河川では、地上から導かれる洪水が流入立坑内の高落差を非圧力状態で落下する際に合流部の構造物に損傷を及ぼさないように減勢する必要がある。一方、圧力流れ時は合流部の水位が地上付近へ上昇しており、地下河川の設計に際しては計画流量に対して動水勾配線が所定の高さを越えないようにする必要がある。また、合流部において連行・輸送される空気は地下河川の流下能力を減じたり、立坑への噴き上げを起こすという水理的短所を持つので、何らかの対策が必要になる。

非圧力状態における減勢効果という点では合流部の底部に減勢池を設けることが有効であるが、減勢池を設けた場合の圧力流れにおけるエネルギー損失は、減勢池のないT字管に比べて大きくなることが予想される。そこで、減勢池を有する合流部の損失特性および合流部に併設されるエアバントの排気機能について水理模型実験により確認したので、その結果を報告する¹⁾。

2. 模型実験の概要

実験対象とした合流部は、現在計画が進められている地下河川の一部で、合流部には地上河川からの流入立坑(2本)と本管が接続し、合流後は全流量が本管下流へ流下する。その他に、流入立坑から減勢池に連行された空気を排出するためのエアバントが設けられる。また、管理用施設を収めるための空間も設けられ、減勢池の一部が切り欠かれた形になっている。模型(図1)はアクリル製で、縮尺は1/22である。実験は定常状態で、流入立坑、本管各部、減勢池底面での圧力水頭を計測し、本管下流端において連行空気量を測定した。実験ケースは表1のとおりである。

3. 実験結果

1. 合流部における損失量

合流部での圧力水頭差は、エネルギー損失による分と、合流により本管下流で速度水頭が増加するのを補償するための上流側の圧力増の分に分けて考えることができる。図2において、断面Ⅲの圧力水頭を基準として、断面Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの圧力水頭、全水頭を次のように定義する。

$$H_u = K_{Hu} \frac{v_u^2}{2g}, \quad H_1 = K_{H1} \frac{v_1^2}{2g}, \quad H_2 = K_{H2} \frac{v_2^2}{2g}$$

$$E_u = H_u + \frac{v_u^2}{2g} = \left[\left(\frac{Q_u}{Q} \right)^2 \left(\frac{D_u}{D} \right)^{-4} + K_{Hu} \right] \frac{v_u^2}{2g}, \quad E_1 = H_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \left[\left(\frac{Q_1}{Q} \right)^2 \left(\frac{D_1}{D} \right)^{-4} + K_{H1} \right] \frac{v_1^2}{2g}$$

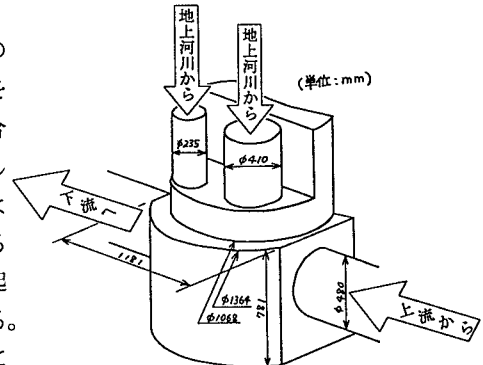


図1 減勢池模型

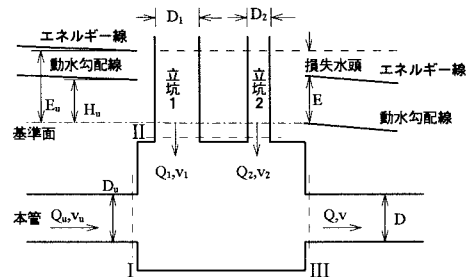


図2 合流前後の損失

表1 実験ケース一覧

	上流 流量(l/s)	立坑1 流量(l/s)	立坑2 流量(l/s)
立坑1 のみ	35.2	11.0	0.0
	35.2	22.0	0.0
	35.2	33.0	0.0
	35.2	44.0	0.0
	35.2	55.0	0.0
立坑2 のみ	35.2	0.0	4.4
	35.2	0.0	8.8
	35.2	0.0	15.0
立坑1 + 立坑2	17.6	44.0	8.8
	66.1	44.0	8.8
	35.2	44.0	8.8
	50.0	44.0	8.8
	48.4	33.0	6.6
	22.0	55.0	11.0
	8.8	66.0	13.2
	0.0	70.4	17.6
	74.8	11.0	2.2
	66.8	11.0	2.2

$$E_2 = H_2 + \frac{v_2^2}{2g} = \left[\left(\frac{Q_2}{Q} \right)^2 \left(\frac{D_2}{D} \right)^{-4} + K_{H2} \right] \frac{v_2^2}{2g}, \quad E = \frac{v^2}{2g}$$

運動量の保存則から合流部におけるエネルギーフラックスの差を ΔP とすると、

$$\Delta P = \rho g (E_u Q_u + E_l Q_l + E_2 Q_2 - E Q)$$

となる。ここで、合流部の損失が無く($\Delta P=0$)、合流する流れが互いに影響し合わないと仮定する($K_{HO} = K_{Hu} = K_{Hl} = K_{H2}$)と、圧力水頭差の比例係数 K_{HO} は次のようになる²⁾。

$$K_{HO} = 1 - \left(\frac{Q_u}{Q} \right)^3 \left(\frac{D_u}{D} \right)^{-4} - \left(\frac{Q_l}{Q} \right)^3 \left(\frac{D_l}{D} \right)^{-4} - \left(\frac{Q_2}{Q} \right)^3 \left(\frac{D_2}{D} \right)^{-4}$$

K_{HO} は合流部での圧力差を求める係数で、実際にはさらに損失に伴う圧力差が生じ、以下ようになる。

$$K_{Hu} = K_{HO} + K'_u, \quad K_l = K_{HO} + K'_l, \quad K_2 = K_{HO} + K'_2$$

上流から下流への損失係数 K'_u, K'_l, K'_2 と合流比 $(Q_1+Q_2)/Q$ の関係を整理したのが図3～5である。各々の流入の組み合わせに対する、 K'_u, K'_l, K'_2 に関する回帰曲線を求めてエネルギー損失量を推定することができる。実験値がこれらの回帰式によるエネルギー損失量の推定値 $\pm 1.8\text{mm}$ (模型値)の範囲に存在する確率は95%である。

2. エアメントの排気効果

立坑内の空気の流れ現象は、模型と実物で気泡の浮上速度は基本的に同じであるにもかかわらず、立坑内の流速はフルード相似により実物の方が大きいため、模型における連行空気量の計測値を過小に評価することになる。そこで、次式³⁾により縮尺効果を考慮して、連行空気量の計測値から実物の連行空気量を推定した。

$$\beta_p / \beta_m = (1 - 0.8 / V_{bp})^3 \left(1 - e^{-2(V_{*p} - V_r) / V_{br}} \right) / (1 - 0.8 / V_{bm})^3 \left(1 - e^{-2(V_{*m} - V_r) / V_{br}} \right)$$

ここに、 β :連行空気率、 V_b :衝突速度、 V_o :連行後流速、 V_r :空気を輸送する最小の流速、 V_{br} :気泡の上昇速度である。添字 p, m はそれぞれ実物と模型での値であることを表す。実施設での連行空気率は、模型での連行空気率に縮尺効果 β_p / β_m を掛けて得られる。本管下流へ連行された空気の流量に占める割合を表2に示す。連行空気は水深が高くなるほど減少し、エアメントを設置することによって開水路流れでは5～6割、圧力流れでは3～4割程度減少した。

4. まとめ

エネルギーフラックスの考え方を導入し、合流比によって合流部前後の損失を整理することにより、減勢池を有する合流部の損失量を精度良く推定することができた。また、エ

アメントの排気効果を確認することができた。

参考文献) 1)栗城、木内、田中:首都圏外郭放水路合流部の水理模型実験報告書、土木研究所資料第3323号 1994, 2)Lindvall, G., Head Losses at Surcharged Manholes with a Main Pipe and 90° Lateral, Proceeding of the 3rd International Conference on Urban Storm Drainage, pp.137-146, 1984, 3)Ahmed, A.A., Irvine, D.A. and McKeogh, E.J., The Process of Aeration in Closed Conduit Hydraulic Structures, Proc. Symposium of Scale Effects in Modelling Hydraulic Structures, IAHR, 1984

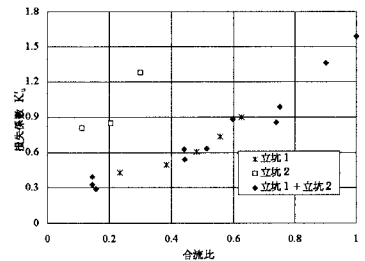


図3 上流からの損失係数

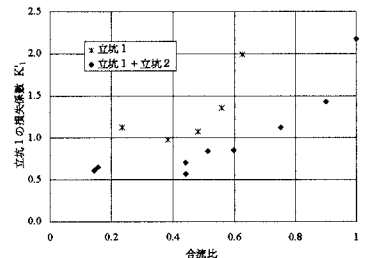


図4 立坑1からの損失係数

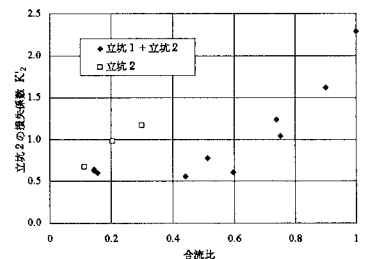


図5 立坑2からの損失係数

表2 連行空気率

状態	水深 *1)	流量 (l/s)			連行空気率(%) (模型)		縮尺 効果	連行空気率(%) (実物)	
		立坑1	立坑2	本管	エアメント有り、無し	エアメント有り、無し		エアメント有り、無し	エアメント有り、無し
開水路	0.5	44.0	8.8	35.2	2.10, 5.20	1.81	1.81	3.81, 9.44	
流れ	0.5	44.0	8.8	66.1	1.41, 2.67	1.82	1.82	2.56, 4.85	
圧力	1.2	44.0	8.8	35.2	0.21, 0.28	6.54	6.54	1.35, 1.82	
流れ	2.3	44.0	8.8	35.2	0.01, 0.03	6.54	6.54	0.10, 0.17	
*2)	3.3	44.0	8.8	35.2	-	6.54	6.54	-	-

*1)水深は減勢池底面からの水深(m) *2)水深が3.3mのケースでは空気の連行がほとんどなかったため、連行空気の計測を行わなかった