

II -85

角端型流入口を持つ急勾配管路における
流入特性と流況東京都立大学大学院 正員 宇井正和
東京都立大学大学院 正員 安川 浩

1. まえがき

角端型流入口の管内流況への影響は豪雨時での下水管渠あるいは貯留用大型地下河川の疎通能力を左右する重要な問題である。この流入口付き管路における特性としては、1) 流入水位が管口径の5倍近く高くなっても管路流れにならない、2) エアーポケットの発生、3) 管路流れと開水路流れの交互流 (pulsating flow) の発生等々がある。角端型流入口付き管路の特性に関しては Zech ら他多くの実験的研究があるが、そこでの現象と定式化の対応が十分とは言えない。ここでは交互流発生の要因等を睨みながら再実験したものである。

2. 実験装置

実験装置は図-1に示すように、架傾台の上に直径10cm、長さ1mの亚克力製管路を14本連結したもので、管路先端には角端型流入口を取り付けた。三角堰付き計量水槽および上流側整流水槽にはサーボ式水位計を設置し変動水位を計測した。管路勾配は1/300、1/150、

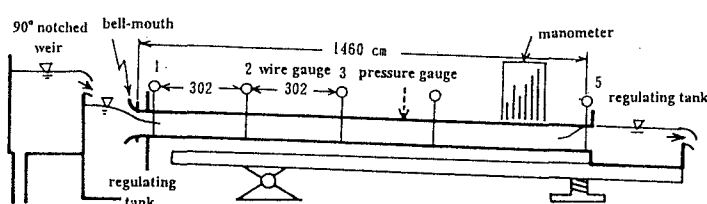


図-1 実験用管路装置

1/90、1/50の4通りとし、急勾配と共に緩勾配管路の特性も計測した。実験は、三角堰付き計量水槽からの既知流量を供給し、それを流しうる上流側整流水槽の水位（管口底部からの水位）と管内流況を調べた。

3. 実験結果と流量特性

図-2は角端型の特性を明確に表している1/50勾配管路における流入水位と流量との関係である。この図より、水位・流量曲線は履歴曲線を描くことが分かる。管路勾配が緩やかになるに伴い、この履歴曲線の囲む領域は小さくなり、1/300勾配管路では消滅し一本の単調な曲線となる。この水位・流量特性の中で流況の変化する点はB, C, E, Fである。B点は整流水槽水位が増していき管口部が閉塞される点であり、C点は管路全体が満管になる水位である。E点は流量を減少させたときにエアーの連行が始まる点であり、F点は管路全体が開水路流れとなった点である。流況の特性を区分毎の水位・流量の関係式と共に検討する。

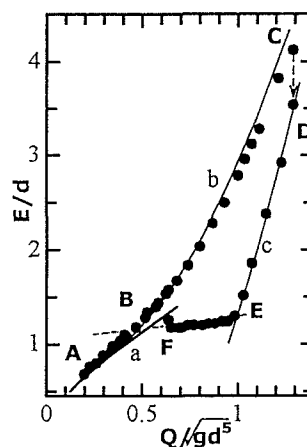


図-2 流入水位と流量

区間 A-B. この区間は流入水位が管頂より低く、管口部が閉塞されない範囲である。従って管口部で限界水深を取るものと考え、流入流量 Q は比エネルギー E の式より以下のように求めることが出来る。

$$E = \frac{A}{2B} + h, \quad \frac{\alpha Q^2 B}{g A^3} = 1 \quad (1)$$

h は限界水深、 A は流積、 B は水面幅である。上式による結果が曲線-aである。この曲線は流量が増すと実測値から離れていく。この事は管口部流積が増すにつれ限界水深の位置がずれるためと考えられる。

Key Words: 流入口, 管路, 遷移流, エアポケット

〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1

区間 B-C. この区間では管口部は閉塞するが管内は開水路として機能している。従って、図-3 のような流れを考え、縮流部の水深を $y_2 = 0.62$ と仮定した。流量 Q は次式から求めた。

$$E = \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} + y_2 \dots\dots\dots (2)$$

この Q を図示したのが曲線-bである。曲線は水位が B 点近傍ではよく合っているが流量が増してくると水位が大きくなり実測値から離れてくる。これは水かぶり小さい間は管口部での流入はスルースゲート下部の流れに似るが、水位が増すとオリフィスからの噴流ようになる。そこで Strauß らは以下の式を提案している。

$$\frac{Q}{\sqrt{gd^5}} = C \frac{\pi}{4} \sqrt{2} \left(\frac{E}{d} - 0.5 \right)^{1/2} \phi, \quad \phi = 1 - \frac{1}{128 \left(\frac{E}{d} - 0.5 \right)^2} \dots\dots\dots (3)$$

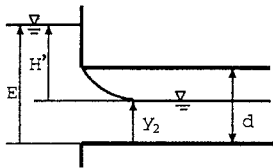


図-3 管口閉塞時の流入

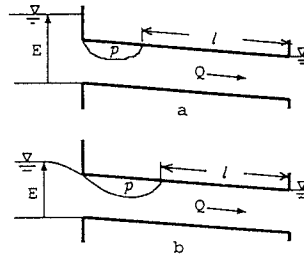


図-4 流量の増加と減少時の流入水面

しかし、Zech らは彼らの計測値と合わせるために、補正係数 ϕ をさらに修正しているが、理論的には (2) 式の y_2 を正しく求めることが必要であろう。管路内下流では S3 水面形によって水位が漸増し、水面が管頂に接触して満管流れが発生する。管勾配が急の場合はこの満管流れが急速に伸張し、瞬く間に全管に及ぶ。管路全体が満管流れ (被圧流) になると流入水位は急減し、C から D に降下する。

D-E 区間 この区間は管路全体が被圧流として流れているため流量は次式に従う。

$$E - d = \ell S_0 + 0.5d + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \left(1 + f \frac{\ell}{d} \right) \dots\dots\dots (4)$$

右辺の $0.5d$ は管路端が自由放流のため水面高を管軸上にとったことによる。計算値は曲線-cである。

E-F 区間. E 点は流入水位の降下により管口からエアの連行が始まる点である。エアは管口直後にエアポケットを作る。流入量の減少に伴いその領域は伸び、水位は直線 E-F に沿って変化する。流入量の大きな変化に対して流入水位が極めて微小なことがわかる。この区間の流れは B-C 区間での管・開水路流れの混在流と似た状態ではあるが、整流水槽から管口へ流入する水面形状が基本的に異なっている。図-4 は管口への流入状況を模式的に表したものである。a-図は B-C 区間での流入水位が十分上がった時の流況であり流入水面は水平である。このときはエアの連行はなく、閉じこめられたエアは大気圧より大きい。b-図は管口からのエアの連行が生じているときの状況で、水槽水面は管口部へ向かって吸い込まれるように低下している。従ってこの状況でのエアポケット内圧力は僅かに負圧である。

両方とも管内流量は満管で流れている部分の長さでエアポケット内の圧力等に依存するが、a-図はエアポケットでの損失を加味する必要がある。一方 b-図では流入水位が管口部より僅かに大きいだけであり、流量変化に比し E の変化は微小なため、エアポケット内圧力の正確な計測が必要である。全管が開水路流れになると F から J にジャンプし、その後は B-C 曲線上に沿って変化する。

4. 結論

角端型流入口を持つ管路の流況を実験的に検討した。この流入水位と流量の関係は履歴特性を有することを確認し、各区分毎に流況とその時の流量算定式を検討した。流入量が減少するときの管・開水路流れ混在流は増加するときの混在流とは異なり僅かに負圧で、pulsating flow の発生を有しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 宇井、安川、管内流量と流入水深の関係について、土木学会第 52 回年講、1997
- 2) Zech, Y., Huberlant, B. and A. Reffat, Hydraulics of Sewers: Intake Conditions and Instabilities, 4th of ICUSD, 1987