第Ⅱ部門　　水管橋に作用する津波波力に関する一考察

京都大学工学部　　学生会員　○栗山　透
京都大学防災研究所　　正会員　　米山　望

1. 緒論

1.1 研究の背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波により沿岸部を中心として甚大な被害を受けた．襲来した津波は河川を遡上し，水管橋の流失被害が生じた．水管橋はライフラインを担うため被災すれば周辺地域の迅速な復旧の妨げとなる．そこで本研究では特に水管橋に作用する流体力に関する数値解析を行う．

図.1 遡上津波によって流失した釜石市矢の浦水管橋

（釜石市HP，水工学委員会東日本大震災調査団報告書より）

1.2 水管橋に作用する流体力

水管橋に作用する流体力の評価方法は道路橋示方書・同解説に準拠しており，次式で表される．

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho v^2 A \qquad (1.1)$$

ここにF:流体力，C_d:抗力係数，ρ:水の密度，v:平均流速，A:投影面積である．このうち抗力係数は構造物の断面形状により定まっている無次元数であり，水管橋上部工のように断面が円形の構造物では$C_d = 1.2$となる．また$C_d = 1.2$となるのは一様流中でレイノルズ数が$R_e = 10^4 \sim 3 \times 10^5$の範囲である(図.2参照)．ここでのレイノルズ数は，

$$R_e = \frac{vd}{\nu} \qquad (1.2)$$

である．ただし，v:平均流速，d:水管橋の直径，ν:動粘性係数である．

1.3 一様流と遡上津波の相違点

現状では一様流における抗力係数を遡上津波にも適用している．しかし遡上津波は一様流と違い自由水表面を持つので，水面形の変動により水管橋周辺の圧力分布が非対称になる．このため圧力分布が対称的な一様流で発生しないような力が作用する可能性がある．

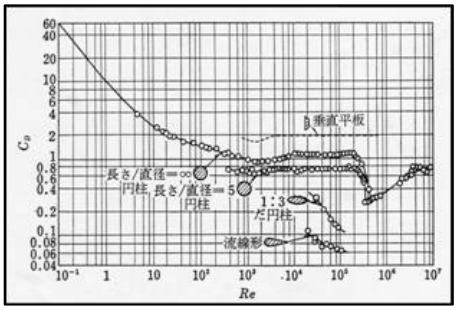

図.2 一様流中における円柱のC_dとR_eの関係

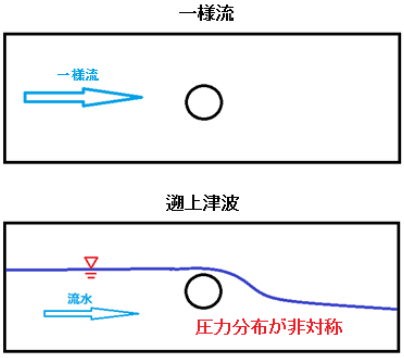

図.3 一様流と遡上津波の相違点

1.4 研究の目的

従来，河川横断構造物に作用する流体力に関しては一様流中で行われた実験から得られた知見を基に評価されてきたが，先述の通り，遡上津波は自由水表面を持つため河川横断構造物に作用する流体力はこれまで考慮されてきたものと異なる可能性がある．そこで本研究では詳細な研究事例は少ないが特に断面形状が円形であり，実験で得られたレイノルズ数と抗力係数の関係との比較が容易である水管橋について検討を行い，津波遡上時に水位が連続的に上昇していくことによって作用する流体力の大きさ及び抗力係数の時間的変化を解析していく．

Toru KURIYAMA, Nozomu YONEYAMA
kuriyama.toru.64w@st.kyoto-u.ac.jp

2. 水管橋に作用する流体力に関する数値解析

2.1 流れ及び水管橋の設定

岩手県釜石市を流れる甲子川に架かる矢の浦水管橋が流失しているが，このとき観測された遡上津波を参考に流速 4.0m/s，6.0m/s，8.0m/s の流れが 5cm/s の速さで水位上昇するケースを設定した．

本解析で対象とする水管橋の直径は水管橋の規格を参考に 80cm，40cm，長さは矢の浦水管橋の一径間の長さを参考に 30m とした．また水管橋周辺のメッシュサイズはそれぞれ 10cm，　5cm とした．

2.2 結果の整理

上記の解析条件を次表のように整理する．

表.4 解析条件

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
直径	80cm			40cm		
流速	4.0m/s	6.0m/s	8.0m/s	4.0m/s	6.0m/s	8.0m/s

また，水管橋がどの程度水没しているかを示す指標として，水管橋底部を基準としたときの流入端の津波高さを水没高さh_sと定義する．本解析では水位上昇速度が 5cm なので水面が水管橋底部に達してから t 秒後の水没高さは$h_s = 0.05t$[m]である．

2.3 解析結果

Case1 における水没高さと流体力の関係を次に示す．

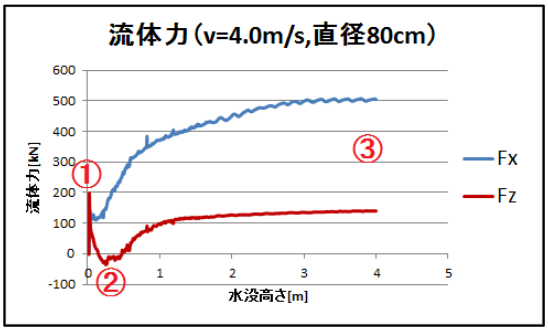

図.5 Case1 における水没高さと流体力の関係

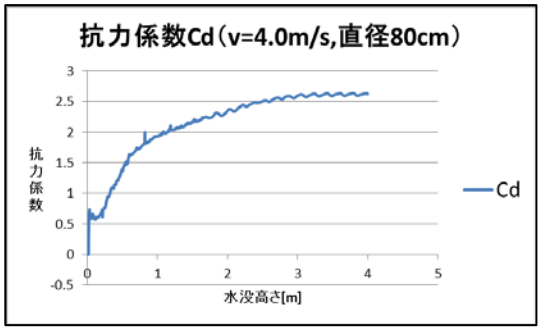

図.6 Case1 における水没高さと抗力係数の関係

ただし，流下方向を x 方向，鉛直上方向を z 方向とし，流体力の x 成分をF_x，z 成分をF_zとする．

2.4 考察

図.5 の①～③における流況は**図.6** の通りである．

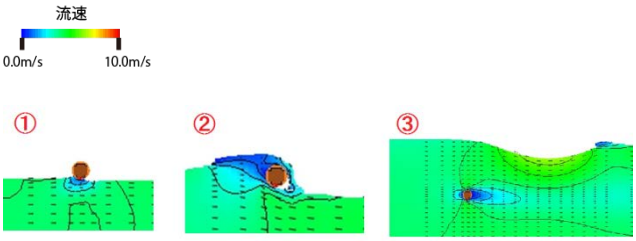

図.6　流況の変化

①で水管橋に流体力が作用し始めると瞬間的に底部に滞留することにより圧力が急激に増加したものと考えられる．

②でF_zが急激に低下するのは水管橋の前面から上面にかけて滞留した水塊の重量が鉛直下向きに作用するのに加え，水管橋背面下側付近に空間が形成されて水管橋を鉛直上向きに押し上げる力が作用しなかったためであると考えられる．

③では水管橋が十分水没したため水面形の影響を受けず，流体力もほぼ一定となったと考えられる．またこの付近の水没高さでは抗力係数もほぼ一定となっている．ここで水管橋に作用する浮力を計算すると 147kN であり，F_zは最終的に浮力程度の値で安定する．

3. 結論

水没高さが十分大きくなると抗力係数が一定になり，式(1.1)に代入して水平波力F_xの最大値を計算できることが分かる．従って，水管橋が十分に水没したときの抗力係数の予測が今後の課題となる．また津波到達直後での鉛直波力F_zが最大値なのでこの値の予測が今後必要となる．

参考文献

1)直田ら：「東北地方太平洋沖地震による矢の浦水管橋の被害に関する数値解析」，2013

2)中西ら：「津波浸水時の道路橋背後にある水管橋への作用力評価」，2014