コンクリート製水路の摩耗予測に関する考察

名城大学　　　理工学部　　正会員　新井宗之
東亜合成(株)　製品研究所　正会員　天野時元
東亜合成(株)　製品研究所　正会員　福島浩一

1.はじめに

コンクリート製水路は施工性や経済性にすぐれているため導水路等に広く用いられている。しかしながら流水中に流砂などがある場合にはその摩耗量が無視し得ないものとなり、その水路等の安全性や寿命などに大きな影響を与えるようになる。流水によるコンクリート水路の摩耗を的確に予測することは水路や河川構造物の保守管理や施工計画等の対策に重要な事項である。しかしながら定性的に摩耗の原因は流砂によるものであるということは解っているもののその定量化は必ずしも十分ではないように思われる[1]。その原因としてはコンクリート壁面への砂流の衝突による摩耗過程に不明な点が多いことや実際の構造物への適用では摩耗に影響する砂流の把握が容易でない点、また局所的な影響の効果なども不明な点が多いことによる。そこで、ここでは流砂による摩耗過程を砂粒子の壁面への衝突をモデル化して摩耗量を試算した。

2.摩耗量の定性化

コンクリートが流砂をともなう流れによって摩耗する過程には大きく分けて三つの原因が考えられる。一つは流砂による個体粒子の壁面への衝突による壁面材料の剥離Δd_p、また壁面での材料への流水の抗力による剥離Δd_f、さらに流水作用によるコンクリートの融解Δd_c、などが考えられ、摩耗量ΔDは、

$$\Delta D = \Delta d_p + \Delta d_f + \Delta d_c \quad \cdots\cdot(1)$$

とすることができる。流水の作用力としては、セメントの剥離等により骨材が流水中に露出し、流水の抗力の作用により骨材がコンクリート面から離脱してしまう作用などであるがここでは、式(1)の右辺第1項の砂粒子の衝突のみを考えるものとする。

一つの個体粒子が壁面に衝突して壁面材料が剥離する量をΔVとし、単位時間当たり単位面積にN個の粒子が衝突する場合平均的な摩耗量は一辺bの面において

$$\frac{\Delta D}{\Delta t} = \frac{\Delta V}{b^2}(b^2 N) = \Delta V N \quad \cdots\cdot(2)$$

とすることができる。ここで砂粒子を球体とし壁面に接した場合、図-1で示すように粒子が壁面の一部を剥離するとすると、Sに相当する面で一様にせん断応力が作用し、壁面材料の降状応力τ_cに等しい外力Fで離脱するものとすると　$S\tau_c = F$　$\cdots\cdot(3)$

とすることができる。図-1で示すように球の径をd、球の中心から面Sにしめる内角を2ϕとすると面Sおよびその面と壁面の平面とで占められる容積ΔVは

$$S = 2\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 (1 - \cos\phi), \quad \Delta V = \frac{2}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 (1 - \cos\phi)$$

であるから、式(3)より

$$\Delta V = \frac{d}{6}\left(\frac{F}{\tau_c}\right) \quad \cdots\cdot(4)$$

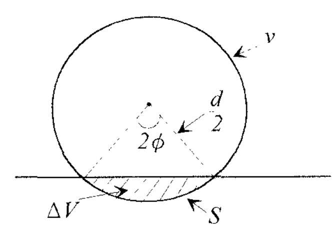

図-1　粒子衝突モデル

である。一個の粒子が衝突して壁面に作用する力は、一粒子の運動量の変化量の割合として考えることができる。粒子の運動量の変化量をΔm、その作用時間をΔtとし、非弾性衝突によって生じる摩擦力がせん断力Fとして作用するものとするとその大きさは、

$$F = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{a_0}{t_\alpha}\rho_s \frac{4\pi d^3}{3}\left(1 - e^2\right) v \quad \cdots\cdot(5)$$

ここに、v:粒子の衝突速度、e:粒子の跳ね返り係数、ρ_s:粒子の密度、t_α:運動量の作用時間、a_0:流体による運動量変換における減衰率。したがって式(4)、(5)から、一粒子による壁面材料の剥離量ΔVは、

$$\Delta V=\frac{d}{6}\left(\frac{1}{\tau_c}\right)\left\{\frac{a_0}{t_\alpha}\rho_s\frac{4\pi d^3}{3}\left(1-e^2\right)v\right\} \quad \cdots\cdots(6)$$

ところで単位幅あたりの流砂量をq_bとすると、任意断面を通過する粒子数N_0は

$$N_0=\frac{q_b}{\frac{4}{3}\pi d^3} \quad \cdots\cdots(7)$$

である。壁面の摩耗性を生じさせる粒子として、比較的微細な粒子のみを対象とするとき、粒子の大きな跳躍に基づく衝突によるものとすると、衝突に寄与する割合を$p(\mathrm{T})$とすれば、単位面積に衝突する粒子数Nは、

$$N=\frac{3}{4}\frac{q_b}{\pi d^3}p(\mathrm{T}) \quad \cdots\cdots(8)$$

である。したがって、壁面の摩耗速度は、式(2)、(6)、(8)より

$$\frac{dD}{dt}=\frac{d}{6}\left(\frac{1}{\tau_c}\right)\left(\frac{a_1}{t_\alpha}\right)\rho_s\left(1-e^2\right)vq_bp(\mathrm{T}) \quad \cdots\cdots(9)$$

と表すことができる。ここで粒子の衝突速度vは粒子の鉛直方向速度w_sと流下方向速度u_sの合力とし、w_sは粒子の沈降速度、流下方向成分を摩耗速度u_*とすると、

$$v=\sqrt{u_s^2+w_s^2},\ u_s\cong u_*,\ u_*=\sqrt{gh\sin\theta} \quad \cdots\cdots(10)$$

と考えられる。また、粒子が衝突に寄与する割合$p(\mathrm{T})$はバースティングの周期T_bに反比例し、縦断方向のバースティング渦のスケールL_xと渦の間隔λ_xに比例するとすると[2)]、

$$p(\mathrm{T})=a_0\frac{1}{T_b}\left(\frac{L_x}{\lambda_x}\right) \quad \cdots\cdots(11)$$

ただし、a_0はバースティング渦スケールに対する粒子の浮遊率に相当する係数。

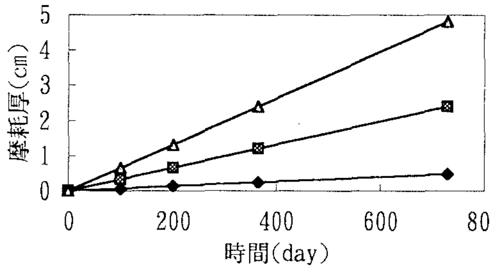

図-2　磨耗厚の計算結果(流砂容積濃度変化)

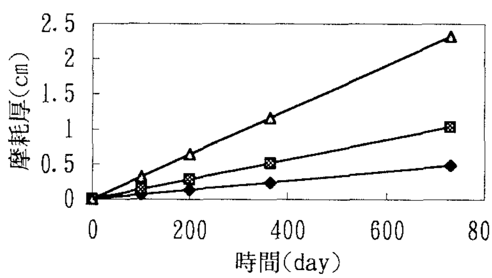

図-3　磨耗厚の計算結果(流速変化)

3. 摩耗量の試算

上記結果を用いて摩耗量を求めてみる。コンクリートの降状応力をτ_c=300kgf/cm²、粒子径d=0.2cm、粒子の密度ρ_s=2.6gf/cm³、粒子跳ね返り係数e=0.4、t_α=0.01sec、a_1=1、水深をh=200cmとし勾配をI=2.0x10⁻⁴、として断面平均流速をu=160cm/sとし、またバースティングの縦断方向の渦のスケールと間隔の比L_x/λ_x=0.15、周期をT_bu/h=2としa_0=1として、流砂容積濃度をC=0.01、0.005、0.001%とした結果を図-2に示す。730日で約D=0.48、2.40、4.80cm摩耗厚を示す。また流砂濃度をC=0.01%とし流速をu=160、226、320cm/secとした場合の摩耗厚を図-3に示す。730日で約D=0.48、1.03、2.32cmを示しており、ほぼ妥当な傾向を示している。

4. おわりに

コンクリート製水路の摩耗速度について、流砂の壁面衝突をモデル化して検討を行った。ほぼ妥当な計算結果を示したが、今後実験結果等の比較検討を行って行きたい。

参考文献

1)大野 善雄、林 栄港;コンクリート河川構造物の摩耗予測の一手法、電力土木、No.211、昭62.11、PP.112-117

2)中川 博次、祢津 家久;開水路流れの組織立った乱流構造、第2回大気・乱流シンポジウム論文集、国立公害研究所、1981、PP.1-68