VI－65　コンクリート製水路の摩耗予測に関する基礎的研究

名城大学　理工学部　正会員　新井　宗之
東亞合成（株）　製品研究所　正会員　天野　時元
東亞合成（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経済性や施工性にすぐれているために一般に広く用いられて来ている。しかし、流水中に流砂などがある場合には、特にコンクリートの摩耗量が無視得ないものとなる。このため、水路等の維持管理や安全性などに大きな影響を与えるようになる。このため、コンクリート製水路の摩耗を的確に予想することが水路や河川構造物の施工計画や保守管理等の対策に重要な課題となっている。しかし、流砂によるコンクリート壁面への衝突による摩耗過程に不明な点が多いことや、経年的な流砂量の把握が容易でないこと、また局所流における挙動等不明な点も多く摩耗量の定量化は必ずしも十分でないように思われる。そこで、ここでは流水中の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摩耗量を検討した。

2．摩耗量のモデル化

流水中に流砂をともなう流れによってコンクリートが摩耗する原因に次のような三つの過程が考えられる。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Δdp、また骨材などの流水の抗力による剥離Δdf、さらにセメントの流水中への融解Δdcで、摩耗量ΔDは、

$$\Delta D = \Delta dp + \Delta df + \Delta dc \quad \cdots (1)$$

と考えることができる。しかしながらここでは、上式右辺第１項の砂粒子による摩耗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コンクリートと面を剥離する量を$\Delta V(L^3)$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、単位平面当たり単位時間当たりの平均的な摩耗量ΔD（L）は一辺ｂの面において、

$$\frac{\Delta D}{\Delta T} = \frac{\Delta V\left(b^2 N\right)}{b^2} = \Delta VN \quad \cdots (2)$$

である。ここで砂粒子を球体とし；図－１に示すように、粒子が壁面に衝突し一部を剥離するものとすると、ΔS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Ｆで剥脱するものとすると、

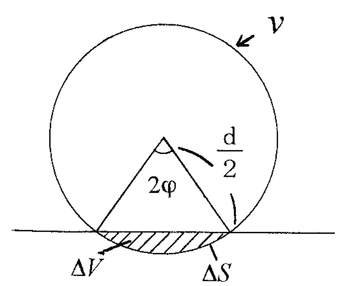

図-1 粒子衝突モデル

$$\Delta S \tau_C = F \quad \cdots (3)$$

図-１で示すように球に径をｄ、球の中心から面ΔSにしめる内角を2φとすると面ΔSおよびその面と壁面との平面とで占められる体積ΔVは、

$$\Delta S = 2\tau_1 \left(\frac{d}{2}\right)^2 (1-\cos\varphi)$$

$$\Delta V = \frac{1}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 (1-\cos\varphi)^2 \left\{\frac{3d}{2} - \left(\frac{d}{2}\right)(1-\cos\varphi)\right\} \quad \cdots (4)$$

である。高次の項を無視すればΔSとΔVの関係は

$$\Delta V = \frac{3}{2\pi d} S^2 \quad \cdots (5)$$

したがって式（３）より、

$$\Delta V = \frac{3}{2\pi d}\left(\frac{F}{\tau_c}\right)^2 \quad \cdots (6)$$

である。一個の粒子が衝突して壁面に作用する力は、一粒子の運動量の時間変化の割合と考えられるので、一粒子の運動量の変化量をΔm、その作用時間$\Delta t = t_\alpha$とし、非弾性衝突によって生じる摩擦力が外力Fとして作用するものとすると、

$$F = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{Cm}{t\alpha}\rho_S \frac{4\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3}{3}(1-e^2)v \quad \cdots (7)$$

ここで、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：運動量の変換時間、C_m：運動量の変換における周回流体による減衰率。したがって、単位面積単位時間当たりの平均的な摩耗量は、

$$\frac{dD}{dt} = \Delta VN = \frac{3}{2\pi d}\left\{\left(\frac{1}{\tau_c}\right)\left(\frac{Cm}{t\alpha}\right)\rho_s\frac{4\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3}{3}(1-e^2)\right\}^2 v^2 N$$

・・・(8)

と表すことができる。

ところで単位幅、単位時間の流砂量をq_bとすると任意へ横断面を通過する粒子数N_0は、

$$N_0 = \frac{q_b}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3} \quad \cdots (9)$$

流砂における粒子の運動は跳躍と転動によるものとが考えられるが、ここでは比較的微細な粒子を対象として跳躍運動しながら流下し、粒子が壁面に衝突したときに摩耗が生じるものとする。そこで任意断面を通過する粒子のうち、衝突に寄与する割合を$p(T)$とすれば、通過する粒子が連続的に生じていると仮定すれば単位流下距離あたりに衝突する粒子数Nは

$$N = \frac{q_b}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3}\rho(T) \quad \cdots (10)$$

とすることができる。したがって壁面の摩耗速度は、

$$\frac{dD}{dt} = \left(\frac{d}{2}\right)^2\left\{\left(\frac{1}{\tau_c}\right)\left(\frac{Cm}{t\alpha}\right)\rho_s\left(1-e^2\right)\right\}^2 v^2 q_b \rho(T)$$

・・・(11)

とすることができる。

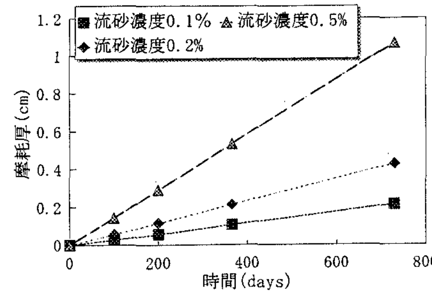

図-2 摩耗厚の計算結果（流砂容積濃度変化）

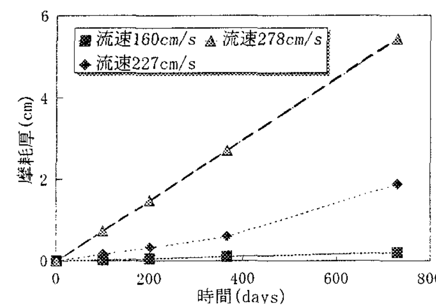

図-3 摩耗厚の計算結果（流速変化）

3．摩耗量の試算

粒子の衝突速度vは粒子の鉛直方向wsと流下方向成分usの合力として

$$v = \sqrt{w_s^2 + U_s^2}$$

と考えることができる。w_Sを粒子の沈降速度、流下方向成分usを断面平均速度Uの0.8倍程度とし、us=0.8Uと考える。また粒子の衝突に寄与する割合は上昇する粒子と下降する粒子が均衡していると考えると$q(T)$=0.5と考えられる。ここでコンクリートの降状応力をτ_C=250kgf/cm2、粒子径d=0.5cm、粒子の単位体積重量(Psg)=2.6gf/cm3、粒子跳ね返り係数ρ=0.4、f_α=0.002sec、C_m=1、断面平均流速をU=160cmとし水深をh=200cm、流砂濃度をC=0.01、0.02、0.05%とした場合の摩耗量の試算結果を図-2に示す。730日で約D=0.2、0.42、1.06cmとなっている。またC=0.01で同様な条件で流速がU=160、227、278cm/sの場合の結果を図-3に示している。730日で約D=0.21、1.18、5.43cmとなっている。ほぼ定性的なオーダーとしての傾向を示しておりモデルの妥当性を示しているものと思われる。

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、昭和62.11、PP.112-117.

2）新井 宗之、天野 時元、福島 浩一；コンクリート製水路の摩耗予測に関する考察、平成７年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 PP.637-638、1996.3