

(Ⅱ-9) コンクリート河川構造物の摩耗予測の一手法

建設技術研究所 正会員 ○ 大野 善雄
建設技術研究所 正会員 林 栄港

1. まえがき

ダムや堰の越流部をはじめ、河川工事に使われる各種コンクリート製資材の量はますます増加する傾向にある。しかし、施工性、経済性にすぐれたコンクリート製品も摩耗に対する耐久性は一般に低く、流砂量の多い急流河川などでは、せっかく施工した河川構造物の寿命が予想外に短く、事後対策に追われるといった例が往々にしてある。このような場合に、あらかじめコンクリートの摩耗量といったものが予測できれば、その値によって耐摩耗性の資材を使用するなどの事前対策が可能で、河川構造物の寿命の徒らな低下を防ぐことができ、河川管理の上で大いに利するところがあると思われる。

本文はコンクリート河川構造物の摩耗量を予測する簡単な経験式を提案するものである。

2. 土砂を含む水流によるコンクリートの摩耗量の定式化

水流によるコンクリートの摩耗量を予測するために、現象を次のように単純化して考えるものとする。

(1) コンクリートの摩耗に寄与するのは主として、水流中の砂礫による衝撃力である。

(2) 摩耗量はコンクリート面に接触する砂礫の運動量の総和に比例する。

これを次式で近似できるものと仮定する。

$$D = c \cdot \rho_s \cdot q_b \cdot V \cdot T \quad (1)$$

ここに、 D ; コンクリートの摩耗厚(cm)、 ρ_s ; 砂礫の密度(g/cm³)、 q_b ; (cm³/s/cm)、 V ; 砂礫の速度
水流に比例すると考える。 T ; 砂礫による衝撃の継続時間(hr)、 c ; コンクリートの耐摩耗性および河川の
流砂特性などの合成された定数。

流砂量 q_b はBrown公式によれば、

$$q_b = 10 \cdot u_*^5 \cdot \{(s-1)^2 g^2 \cdot d\}^{-1} \quad (2)$$

ここに、 u_* ; 水流の摩耗速度 $\sqrt{\tau/\rho}$ (cm/s)、 s ; 砂礫の比重、 g ; 重力の加速度(cm/s²)、 d ; 砂礫の
代表粒径(cm)

流砂の代表粒径 d は水流の掃流力 (τ/ρ) に比例すると見なすことができ、かつ、掃流力は

$$\tau/\rho = g \cdot h \cdot I_e = g \cdot h \cdot \frac{n^2 V^2}{h^{4/3}} = g \cdot n^2 V^2 / h^{1/3} \quad (3)$$

であるから、粒径 d は

$$d = k(\tau/\rho) = k \cdot g \cdot n^2 V^2 \cdot h^{-1/3} = (k g n^2 h^{-1/3}) \cdot V^2 = k' \cdot V^2 \quad (4)$$

と表せる。ただし、 n ; マニングの粗度係数(m^{1/6})、 h ; 水深(cm)、なお水深 h の項は指数から考えて水深
の変化の影響が少ないので、本式の精度から考えて定数項に繰り入れて式の簡略化を図った。同様に(3)式
から、次の近似が成立する。

$$u_* = \sqrt{\tau/\rho} = (\sqrt{g h^{1/3} k} \cdot n) V = k'' \cdot V \quad (5)$$

(4)および(5)式を用いて(2)式を書き換えると、最終的に(1)式は次のように簡略化される。

$$D = c \cdot \rho_s \cdot 10 \cdot (k'')^5 \cdot V^5 \cdot (s-1)^{-2} g^{-2} \cdot (k')^{-1} \cdot V^{-2} \cdot U \cdot T = C \cdot V^4 \cdot T \quad (6)$$

ただし、 $10 \cdot c \cdot \rho_s \cdot (k'')^5 \cdot (s-1)^{-1} \cdot g^{-2} \cdot (k')^{-1} = C$

要するに、水流中の砂礫によるコンクリートの摩耗厚 D は、マクロ的には流速の4乗に比例すると見なすこ
とができる。 C は実際に現場で経験的に定めなければならない。

3. 定数Cの推定

前項(6)式の値を決定するには、摩耗量と同時にそれにあずかった洪水時の流速 V およびその継続時間 T
を知る必要がある。しかし、この種の資料を集めるということは、言うべくしてなかなか実現困難である。

筆者らは幸運にもA川の災害復旧工事に関連して、上記Cの決定に参考となる資料を得ることができた。

この災害記録をもとに、(6)式の適合性をチェックしたものが表-1であるが、実績の摩耗厚は流速の4乗に比例しており、(6)式の考え方が実績の説明に有用であることを示している。逆算して求めたCの値はこの例(通常コンクリート)では、 $C = (4.0 \sim 5.5) \times 10^{-5}$ 程度であることが知れる。このCを仮にコンクリートの摩耗係数と呼ぶこととする。

表-1 流速と摩耗厚およびCの値

測点	流速	実績のD		(7)式によるD		摩耗係数 C
	V(m/s)	D(cm)	比率	$C \cdot V^4 \cdot T$	比率	
(1)	7.0	2.5	1.00	2.401CT	1.00	4.34×10^{-5}
(2)	9.8	10.0	4.00	9.224	3.84	4.52×10^{-5}
(3)	7.9	5.0	2.00	3.895	1.62	5.35×10^{-5}
(4)	6.1	1.5	0.60	1.385	0.57	4.51×10^{-5}

T = 24 hr

類例としてB川に施工された帯土(異形ブロック使用)の、一洪水期を経た後の摩耗量を観察する機会があった。流速がそれぞれ4.5m/sおよび3.3m/s程度と推定される二箇所でのDは前者で平均2.5mm後者で0.75mmと推定された。また継続時間は15時間程度と見られた。これから摩耗係数Cを逆算してみると

$$C = (4.06 \sim 4.22) \times 10^{-5}$$

となり、前記A川の例とも一致する。以上全く別の河川での事例から求めたCの値が、二つともほぼ一致するということは、流速や継続時間の評価誤差問題があるにしても、(6)式の実用性を示唆するものと受け取ってよいであろう。もちろん、Cの値は前記したようにコンクリートの強度、種類等によっても変化し、また流砂量の多寡、粒度分布など河川側の特性にも影響を受けるものと思われる。したがって、この予測式をより実用性の高いものにするには、各種のコンクリート(特にコンクリートに限定するものではなく一般の建設資材についても可)のCの値や河川の影響などに関する数多くのデータ集積し、材質とCとの関係、河川の流砂特性による補正量などを明らかにする必要がある。

4. 耐摩耗性コンクリートとCの値について — 参考 —

近年耐摩耗性高強度コンクリートの開発が除々に進み、次第に成果をあげつつある。それらのいくつかについて耐摩耗性を比較してみる。耐摩耗性コンクリートは混入する材料によっていくつかに分かれ、中には特殊混和剤を添加するもの、鋼繊維補強コンクリート、膠石コンクリート、天然石張りコンクリートなどがある。表-2はこれらのコンクリートについて別途に行われた摩耗試験や現場における摩耗実績から、資料の不足を覚悟で敢えて試みた各資材の相対摩耗度である。これから結論的なことをいうことは早計であるが、おおよその傾向はつかめるであろう。また前記の摩耗係数Cの例(富配合コンクリートに対応する)を入れると他の資材のCも類推できる。

表-2 資材別摩耗性比較(参考)

種別	相対摩耗度	備考
普通コンクリート	5.0~6.0~(10)	$(6.6) \times 10^{-5}$
富配合コンクリート	3.0~4.5	$C = 4.5$
高強度コンクリート	1.5~3.0	(2.7)
膠石コンクリート	1.6~2.5	(2.5)
A混和剤添加コンクリート	~2.5	(2.4)
鋼繊維補強コンクリート (SFRC)	1.5~2.5	(2.4)
B混和剤添加コンクリート	1.0~2.0	(1.8)
割石張コンクリート	1.0	(1.2)

5. おわりに

ここで取扱った摩耗は掃流力に見合った粒径の砂礫が流下する通常の河川における構造物が対象であり、ダムの排砂路のように流速に比べて粒径が小さい場合や土石流のように流速に比べて粒径が大きい場合にCの値がどうなるか、摩耗量は流速の4乗に比例すると考えてよいかなどの問題がある。今後折に触れてこの方面の資料を収集し、これらの問題について検討していくつもりである。

参考文献

- (1) 北原・尾田・南; 混和材を用いた高強度コンクリートの特性試験、新砂防 Vol. 37, No. 2
- (2) 電気化学工業(株); 技術資料(デンカΣ5000)
- (3) 田代・亀井; 鋼繊維補強コンクリートの水路構造物への適用性について、1985.5 神戸製鋼所
- (4) 長谷川・花岡・仲武; 土石流常襲河川の砂防施設; 建設省大隅工事事務所