

II-170 ダム堆砂予測に関する研究

アジア航測(株) 正員 北原 一平  
関西電力(株) 総合技術研究所 笹川 清志

1. はじめに

近年、多くのダムにおいて、計画以上の速さで堆砂が進行し、利水や治水計画等に悪影響を及ぼしつつある。このようなダムの堆砂問題は、従来からその重要性が指摘され、多くの研究成果が発表されているにもかかわらず、その堆砂予測においては未だ確立した予測手法がない。このような現状から、本研究は、ダム堆砂に関する適正な堆砂予測手法の確立を目的として実施するものである。堆砂予測手法を確立することによって既存のダムの維持管理計画、或いは新規のダム計画・設計のための基礎資料を提供することになる。全体計画の流れを図1に示す。このうち今回は第1ステップとして14のハイダム(表3)を対象として、堆砂に関わる要因を検討し、既往予測手法の問題点の把握を行った。その結果、長期の堆砂量予測については、回帰式でも流域の土砂生産特性を十分考慮すれば、比較的精度のよい予測手法となりうるが単年の予測、時系列的な予測については、各流域における土砂の生産及び流送プロセスの特性を十分考慮した予測手法とする必要があることが分った。

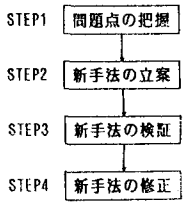


図1 全体計画

2. 研究の概要

ダム堆砂量の予測については、今まで多くの研究がなされ、各種の予測手法が提案されダムの計画堆砂量等の堆砂予測に用いられてきた。しかし、実際には、この予測された堆砂量と実績堆砂量を比較すると、大きく異なることがしばしば発生している。そこで、本報告では、ダム堆砂に関わる支配的な要因を検討すると共に、既往予測手法における問題点を抽出するために、以下の項目について検討を行った。なお、本報告の中で使用する「要因」とは、地形、地質等流域の立地条件である「素因」と水量等流域に加えられる営力である「誘因」の総称である。

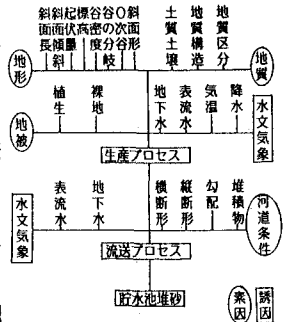


図2 土砂の生産・流送プロセスと要因の関係

(1) ダム堆砂要因の検討: ダム堆砂現象に関わる支配的な要因を抽出し、土砂の生産・流送プロセスを考慮して整理する(図2) (2) 既往予測手法の整理体系化: 既往予測手法を構成する要因によって分類を行い、整理体系化する。(表1) (3) 要因の基礎的解析: 調査対象とした14ダム(表3)について、各予測手法に含まれる要因相互及び要因と実績堆砂量の関係を解析する。(表2) (4) 要因の時系列解析: 時系列に変化する要因と実績堆砂量の経年変化を比較し関係を解析する。(表3) (5) 予測値と実績値の関係解析: 各予測手法による単年毎の堆砂量の予測値と実績堆砂量(実績値qs)の関係解析及び対象期間を変化させた場合の予測値と実績値の関係解析を行う。(6) 各予測手法の評価: (1)~(5)の結果から各予測手法の特徴と誤差の傾向、各予測手法の予測精度の相対比較、各予測手法の適用の検討を行う。

表2 要因及び実績堆砂量の相関マトリックス

Mo	要因	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Y	○																		
2	F		○																	
3	Rf			○																
4	Rf				○															
5	Me					○														
6	G						○													
7	G1							○												
8	G2								○											
9	Q1									○										
10	Fd										○									
11	C											○								
12	P												○							
13	P24													○						
14	P1														○					
15	I															○				
16	Qmax																○			
17	Q1																	○		
18	Qd																		○	
19	qs																			○

G1: 深成岩面積占有率 G2: 中成岩面積占有率 Q1: 基準流量以上の流量 Qd: 設計洪水流量  
○: 1X水準で有意 0.661-1.0 △: 5X水準で有意 0.532-0.661

表1 抽出した既往のダム堆砂量予測手法と要因の関係

3. 研究結果

(1) 要因の基礎的解析: 表2に相関マトリックスを示す。(a) Fd(崩壊面積率)と相関の高い要因は、Me(平均標高)、G1(深成岩面積率)、Rf(起伏量)であり、これらは、生産プロセスに関わるものである。(b) qsと相関の高い要因は、I(平均年流量)、Q1(基準流量以上の流量)の流送プロセスに関わる要因と、c(貯水容量)、He、G1(深成岩面積率)

No	手法名	手 法	要 因																		
			F	Rf	Me	G	G1	G2	Q1	Qd	qs	P1	P24	C	I	Y	Qs				
1	近傍流域からの推定	近傍流域の実績堆砂量から推定																			
2	芦田・奥村式	qs=Cf <sup>a</sup>																			
3	田中式	qs=a(Rf+Me)-b																			
4	古良式(堆砂関数)	rs=0.000127P <sup>2.8328</sup>																			
5	石外式	qs=a(Rf-p1) <sup>b</sup>																			
6	難波・川口式	qs=0.292P+0.474Rf-0.118Fo+2.452																			
7	古良式(洪水流量関数)	qs=C(Q/F) <sup>rs</sup>																			
8	鶴見式	qs=K(C/F) <sup>2.3</sup>																			
9	古良式	qs=(C/I) <sup>2.335</sup>																			
10	古良・太田式	qs=aF <sup>c</sup> G <sup>d</sup> Y <sup>e</sup> P <sup>24</sup> Qmax <sup>f</sup> Rf <sup>h</sup>																			
11	建設省式	qs=a·Rf <sup>2</sup> ·Me <sup>3</sup> ·P <sup>2</sup>																			
12	江崎式	qs=0.941·S <sup>1.331</sup> ·Fd/F																			
13	吉川・佐藤等	qs=C <sup>0.71</sup>																			

a, a-h: 係数 rs: 平均年堆砂率 砂: 堆砂関数 Rs: 堆砂率 K: 地域係数 F: 流域面積 Rf: 起伏量 Rr: 起伏量比 Me: 平均高度 G: 地質区分 Fd: 崩壊面積 Fo: 森林面積率 S: 河床勾配 P: 年雨量 I: 年流量 P1: 洪水雨量 C: 洪水流量 C: 貯水容量 Et: 補定率 Y: 経過年数 qs: 堆砂量 Qs: 堆砂量

)のダム捕捉条件、立地条件に関わる要因である。(c)逐次選択法による重回帰分析においてもほぼ同様な結論を得た。

(2)要因の時系列解析:表3に雨量・流量の誘因とqsの相関関係を示す。これから次のことが分る。(a)上流側にダムが存在する場合は、qsと雨量・流量要因の相関は全般的に低い。(b)qsは雨量要因よりも流量要因の方が相関が高い。(c)qsは、流量要因の中でもQ1、Qmaxとの相関が高く、河道土砂の賦存状態、土砂の移動限界条件、アーマーコート条件が関与していると考えられる。(d)ダム9、ダム11流域のように、土砂生産・供給が活発な河川のqsは、雨量・流量要因との相関が高く、これは河道における土砂の賦存状態、河道への土砂の供給が水水量との対応を規制していると考えられる。

表3 雨量・流量の誘因と比堆砂量の相関の有意性

番号	ダム名	P	P24	P1	I	Qmax	Q1	上流のダム
1	ダム1					△	○	
2	ダム2			△				
3	ダム3				△	△	△	
4	ダム4				△			
5	ダム5			□	□			
6	ダム6							□
7	ダム7							
8	ダム8							
9	ダム9	□				△		
10	ダム10							○
11	ダム11	○	○	○			□	
12	ダム12	○						○
13	ダム13	○					△	○
14	ダム14					□		○

○ 1%水準で有意  
△ 5%水準で有意  
□ 10%水準で有意

(3)予測値と実績値の関係解析

(a)単年の予測:①qsが大きくなる程、予測値の誤差の絶対平均も明らかに大きくなる。②予測手法の中にとり込まれた要因の数が多いからと言って予測精度が向上するとは限らない。③要因とqsの相関が高くと式中の回帰係数によって予測値と実績値の相関が下がる場合がある。従って、時系列において予測値と実績値の対応関係を良くするには、実績値と関係の明らかな要因を選び、式中の回帰係数の大きさに注意すべきである。ただし、時系列解析の結果によれば、水水量を要因として選ぶにしても、すべてのダム流域において堆砂量と相関が良くなるとは限らない。(b)対象期間を変化させた場合の予測:①素因のみで構成されている予測手法の中には、誘因の影響で短期間の予測値は合わなくとも長期間では実績値に近似するものもある。②実績値と相関が高い要因をとり込んでいても実績値と相関の高い他の要因を分母にとり込んでいるために予測値と実績値の相関を下けている手法もある。③全般的に相関係数が高い予測手法では、誤差が小さくなる傾向にある。④対象期間が長くなるにつれ平均堆砂量の曲線は、次第に一定値に漸近してくる。この時、予測値と実績値の曲線の差(誤差)を支配する原因の一つとして予測手法を作成した時に対象としたダムの堆砂期間の長さが考えられる。これは、堆砂期間が長い程その間堆砂量は、さまざまな規模の雨量・流量の影響が反映されたものとなるからである。(c)単年の予測と対象期間を変化させた場合の予測に共通する結果:①予測値と実績値の相関は経年的に変化する要因の中で、堆砂量と相関の高いものの相関をある程度反映するが、回帰係数のとり方によって予測値と実績値の相関を下げる場合もある。②誘因の中では、Q1とqsの相関が高く、したがってQ1をとり込んでいる手法は、多くのダムで実績値と相関が高いが、誤差は大きい。これは、予測手法の中に河道土砂の賦存状態、土砂の移動限界条件、アーマーコート条件が含まれていないためと思われる。③誤差の大きさは、予測手法にとり込まれた要因と堆砂量の関係の深さに支配される。

(4)各予測手法の評価

(a)予測目的によってそれぞれ予測レベルが異なり、その予測レベルに対応した予測手法を用いる必要がある。(b)素因だけで構成されている予測手法では、単年毎の時系列的な予測が不可能である。(c)素因だけで構成されている予測手法であっても、堆砂量を支配するような素因を用いて回帰係数を定めれば長期間を対象とすることによって、比較的精度の良い予測が可能である。これは、対象期間を長くとした場合、誘因を用いれば精度が高くなるという訳ではなく、期間が長い程様々な規模の降雨が発生するためにその影響が平均化され、誘因よりも土砂生産特性を表現する素因との関わりが強く影響するためである。この場合、予測式を作成した時に対象とした期間に発生した降雨量の確率的評価を行なう必要があり、その結果を認識して予測に用いる必要がある。(d)誘因を含む予測手法は、予測値と実績値が必ずしも良い対応関係を示すとは限らない。これは、誘因だけの影響が支配的でなく、土砂生産・供給や、河道条件等に強く影響されるためである。

(e)誘因の中で、基準流量以上の流量を用いると(例えば江崎式のQ1)、予測値と実績値は良い相関を示すが、誤差が大きくなる。従って、基準流量の検討が重要であり、これは土砂の移動限界条件アーマーコート条件を表現するものである。

4. おわりに

以上のように、ダム堆砂に関わる支配的な要因を検討し、さらに、従来、よく用いられてきた予測手法によって予測値を求め、実績値と比較することによって既往予測手法の問題点を抽出した。今後はこの結果を踏まえて、「新手法の立案」の第2ステップに取り組む所存である。