

# バイパス設置による 貯水池土砂管理効果の定量的把握

## QUANTITATIVE EVALUATION OF A BYPASS TUNNEL TO PREVENT RESERVOIR SEDIMENTATION

角 哲也<sup>1</sup>・高田 康史<sup>2</sup>・岡野 眞久<sup>3</sup>

Tetsuya SUMI and Yasufumi TAKATA and Masahisa OKANO

1. 正会員 工博 京都大学助教授 大学院工学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
2. 正会員 工修 京都大学大学院工学研究科博士後期課程 (〒540-0008 大阪市中央区大手前)  
(㈱建設技術研究所大阪支社水工部)
3. フェロー 工修 (財)ダム水源環境整備センター (〒102-0083 東京都千代田区麹町)

Reservoir sedimentation causes various problems, such as storage capacity losses and the risk of blocking intake structures. It will be necessary to manage those sediments properly in order to obtain sustainable long-term use of existing reservoirs. On specific condition, bypass tunnels is effective to prevent reservoir sedimentation. Bypass tunnels have inlet at upstream of dam, and outlet downstream of dam. During floods, discharge sediment from upstream will pass thorough bypass tunnels and those schemes can prevent reservoir sedimentation.

In this paper, we study quantitative evaluation of a bypass tunnel to prevent reservoir sedimentation as a case study on Nunobiki reservoir in Kobe. The results show that sedimentation rates have drastically decreased to about 1/20 with a bypass tunnel, and the bypass tunnel was effective for sedimentation management in case of Nunobiki reservoir over a long time.

*Key Words : reservoir sedimentation, discharge sediment, bypass tunnel, Nunobiki Reservoir*

### 1. はじめに

近年の河川における重要な関心事項の一つとして、流域全体を視野に入れた総合土砂管理が挙げられる。今日では、河川に関わる各分野から様々な土砂問題が報告されており、『水の世紀』と喩えられる21世紀を迎えた今、流域の土砂管理は我々に与えられた迅速かつ早急に解決すべき重要課題の一つである。中でも、ダム貯水池は、河川流を一旦貯留し、それに伴い上流からの流入土砂を多量に捕捉してしまうことから、貯水池機能の低下のみならずダム堤体および河道管理上の安全を確保する意味でも、土砂管理が強く望まれる舞台である。すなわち、次世代に残すべき健全な水資源の持続的管理、あるいは流域系における総合的な土砂管理を実現するためには、適切なダム貯水池の土砂管理が不可欠である。

今、我が国における貯水池土砂管理は新たな時代に踏み込みつつある。従来からの貯水池内の浚渫・掘削などの一時避難的な対策ではなく、ダムに流入する土砂を極力下流に流下させて恒久的に堆積量を軽減させることを目的とした「如何に土砂を捕捉しないか」を主眼とする抜本的な貯水池内の土砂管理が望まれている。また、上記のような恒久的な流入土砂対策の一つとして、近年排砂バイパスの検討が本格的に進められている(例えば、天竜川水系美和ダム、新宮川水系旭ダムなど)。一般に、バイパス

トンネルは比較的高額な費用となる可能性があるが、貯水位の低下に伴うリスクをさけることができる上、既設ダムに対しても適用可能であるといったメリットを有する。バイパストンネルが有する課題については、著者<sup>1)</sup>が整理しており、次の点を指摘している。a. 粒径が小さい浮遊砂・ウォッシュロードを対象とする場合には容易な設計となるが、この場合には掃流砂を上流に堆積させて別途除去する必要がある、b. 掃流砂を対象とする場合には、摩耗対策等、設計上の課題の克服が必要となる、c. 排砂バイパスは高価な対策であり、将来的に土砂管理が必要になる可能性があるダムについては、新規建設の段階から効率的な施設整備を行う必要がある、d. ダム上流域の降雨予測精度の向上により洪水流入のタイミングと洪水規模を事前に把握することが重要である、e. 排砂対象となる貯水池内や上流河道の土砂の量と組成を十分に把握しておく必要がある。

他方で、排砂バイパスは、近年注目されている貯水池内堆砂対策にもかかわらず、世界的にも適用例が少なく、その実施効果の定量的把握は殆どなされていない状態にある。そこで、本研究では、我が国最古の重力式コンクリートダムである布引ダムの貯水池(兵庫県神戸市)を対象とし、同貯水池において流入土砂量の軽減を目的として設置されたバイパストンネルの定量的な効果の把握を行う。

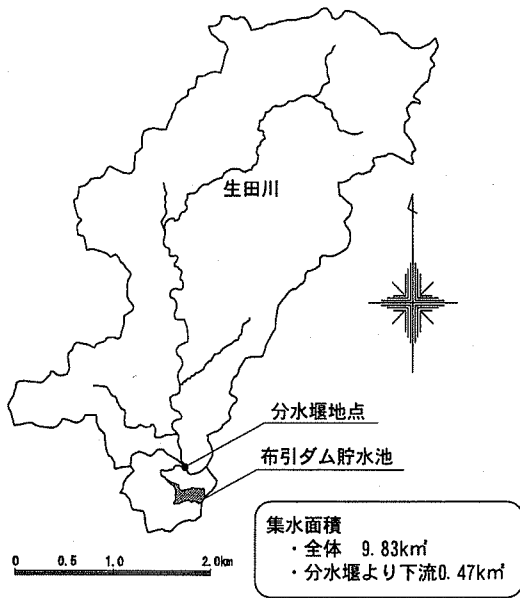


図-1 流域形状

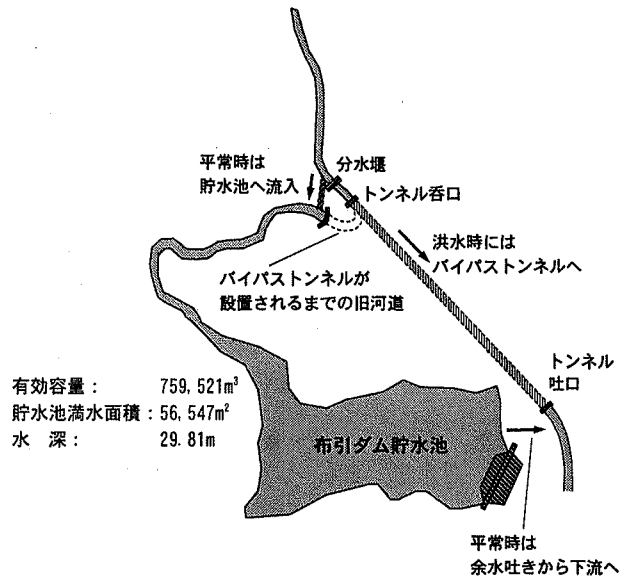
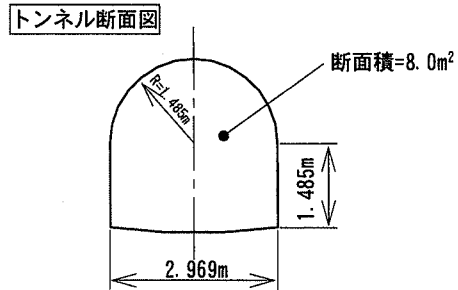
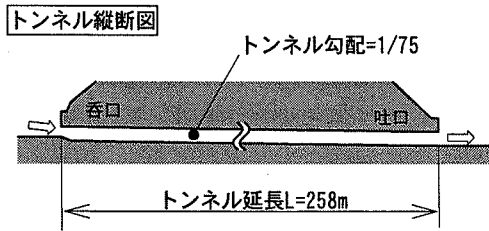


図-2 貯水池およびバイパストンネル模式図



(※ 呑口、吐口付近は石張りでライニングされているが、中間部は素堀りのままで露岩している)

図-3 バイパストンネル詳細図

## 2. 布引ダム貯水池の概要

兵庫県神戸市の布引ダムは、神戸市への水道用水の供給を目的に、明治33年(1900年)3月に建設された日本最古の重力式コンクリートダムである。その流域が位置する六甲山系はそのほとんどが深層風化を受けた六甲花崗岩と布引花崗せん緑岩からなっており、雨水による浸食を受けやすい真砂土の表土に覆われているだけでなく、その急峻な地形条件より、大量の土砂が流出する特性を持っている。このため、ダム建設後に貯水池の堆砂が一気に進行したことから、ダム完成からわずか8年後の明治41年(1908年)3月には、当初には計画されていなかった流入土砂軽減を目的としたバイパストンネルが新たに建設された。バイパストンネル上流には分水堰(H=約3.0m, B=12.12m)が設置され、文献<sup>2)</sup>によると、分水堰地点の流入量が $1.11\text{m}^3/\text{s}$ を超えると、それ以上の流量はトンネルの設計最大流量である $39\text{m}^3/\text{s}$ に達するまでは全量バイパスさせる設計がなされている。流域形状を図-1に、貯水池およびバイパストンネルの模式図を図-2に、またバイパストンネルの詳細を図-3に示す。

## 3. 検討条件

### (1) 流出土砂量推定式

今回の検討では、布引ダム建設後の約100年間の土砂流入量の推定を行う必要がある。長期的な流域からの流出土砂量の概略推定法としては、これまでに、多くの経験的推定式が提案されているが<sup>3), 4)</sup>、芦田・奥村<sup>5)</sup>は、我が国の代表的な土砂流出に関する資料から、洪水時に流出する土砂量の簡易的な推定方法として次の関係を得ている。

$$D = \alpha(A \cdot R \cdot I)^\beta \quad (1)$$

ここに、 $D$ ：一洪水時の流出土砂量( $\text{m}^3$ )、 $A$ ：流域面積( $\text{km}^2$ )、 $R$ ：日雨量( $\text{mm}$ )、 $I$ ：流出土砂量を推定する地点から標高差200m上流までの平均河道勾配、 $\alpha$ 、 $\beta$ ：定数である。奥村らの整理では平均的な値として $\alpha=10$ 、 $\beta=2.0$ を与えているが、同成果によると、同じストリームパワー値においても流出土砂量には大きなバラツキがある結果となっている。これは、各流域間で地質条件や森林の整備状況など地表面の特性が異なることが原因であると考えられるが、流出土砂量はストリームパワーの2乗で表現

できる関係 ( $\beta=2.0$ ) は概ね妥当と認められている。

ここで、当該流域は、土砂生産量が極めて多く、過去より活発に砂防事業が進められてきた経緯を勘案すると、貯水池流入土砂量の推定手法にも、それら砂防事業の進展の影響を反映できる手法が望ましい。そこで、本研究では、(1) 式を発展させた下式により、布引ダム完成後から現在までに至る長期間の貯水池流入土砂量の推定を行うものとする。

$$D = \alpha(A \cdot R \cdot I)^\beta (1 - T_s) \quad (2)$$

ここに、 $T_s$  : 流域内の砂防事業整備による生産土砂の捕捉率である。 $T_s$  は流域の砂防事業が進展するに従い、1に漸近する変数であると考えられることができる(流域からの生産土砂量が減少する)。

## (2) 水文資料の整理

(2) 式による流出土砂量の推定には当該地点の日雨量が必要となる。今回入手できた日雨量データは表-1 のとおりである。布引ダム完成直後(明治33年3月)からの流入土砂量の推定を行うためには、明治33年～昭和57年の約82年間における布引ダム地点の日雨量データを推定する必要がある。

表-1 今回入手した日雨量データ

観測地点	観測期間
布引ダム地点	昭和58年1月～平成11年4月
神戸海洋気象台 (気象庁)	明治30年1月～平成15年7月

ここでは、近隣の気象庁観測所である神戸海洋気象台における日雨量データを使用し、両地点の相関式より、布引ダム地点の不足分の日雨量を算出した。(両地点間の雨量発生時刻のずれを考慮し、3項移動平均値より相関式を算出 [ $R=0.870$ ])。不足分を補填した布引ダム地点日雨量を図-4 に示す。

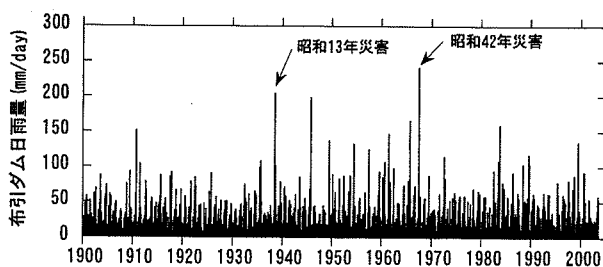


図-4 布引ダム地点日雨量(不足分補填後)

## (3) バイパストンネルの影響

バイパストンネルの影響(明治41年3月以降)は、次のとおり計算に反映させるものとする。

分水堰とバイパストンネルが設置される明治41年3月までは流域全体から生産された土砂が貯水池に流入し、それ以降は分水堰より下流の残流域から生産された土砂のみが貯水池に流入するものと仮定す

る。つまり、計算では、バイパストンネル設置(明治41年3月)以降は全流域からの流出土砂量に面積比率(全体流域と分水堰より下流側流域の面積比率  $0.47\text{km}^2/9.83\text{km}^2=0.048$ )を乗じた土砂量を貯水池流入土砂量とした(実際には、バイパストンネル設置後も分水堰より上流域で生産された土砂の流入も若干あると考えられるが、分水堰の構造上、その量はかなり少ないものと考えられる)。事実、バイパストンネルの設計最大流量  $39\text{m}^3/\text{s}$  を超える洪水は、日雨量最大を記録した1967年7月9日でも発生していない。

また、布引ダムの余水吐きは堤体上部に設置されていることを考慮し、貯水池に流入してきた土砂は掃流砂、浮遊砂、ウォッシュロードともに、全量捕捉されるものと仮定する(流入土砂は全て貯水池内に堆積するものとする)。

## 4. 土砂管理効果の定量的評価

### (1) 定数の同定

バイパス設置の定量的評価を実施するのに先立ち、(2) 式の砂防施設の捕捉率  $T_s$  の時系列変化、および定数  $\alpha$ 、 $\beta$  を決定しておく必要がある。

### a) 砂防施設の捕捉率 $T_s$

布引ダムが位置する生田川において記録に残っている土砂災害としては、表-2 に示す昭和13年災害および昭和42年災害がある<sup>6)</sup>。ここでは、これらの災害記録を元に  $T_s$  の時系列変化の推定を行う。

表-2 生田川における土砂災害記録

	昭和13年災害	昭和42年災害
流出土砂量	710,000 $\text{m}^3$	484,000 $\text{m}^3$
崩壊箇所数	424箇所	424箇所

上表の昭和13年災害および昭和42年災害発生時の布引ダム地点の日雨量(神戸海洋気象台雨量データを相関式より推定)は、それぞれ、[S13] 270.4mm、[S42] 319.4mmである。ここで着目すべき点は、両災害を比較すると、日雨量として同規模かつ崩壊箇所数が同数(表-2 参照)であるにもかかわらず、昭和42年災害時の流出土砂量が、昭和13年災害時の約半分にとどまっている点である。これは、六甲山系では昭和13年災害の発生後、本格的な砂防事業が開始された記録が残っており<sup>6)</sup>、昭和13年当時では流域で生産された土砂が直接流出していたのに対し、昭和42年時点では流域から生産された土砂が砂防施設によってある程度捕捉された(あるいは生産土砂量自体が減少した)ためであると考えられる。よって、昭和13年時点を  $T_s=0$  とし、昭和42年災害発生当時における  $T_s$  を、図-4 および(2) 式より算出した。その結果、昭和42年災害発生当時における土砂捕捉率は  $T_s=0.372$  と算出された。

次に、文献<sup>7)</sup>より、生田川において布引ダムより

上流に位置する砂防ダムを表-3 に整理する。

また、これら当該流域内に設置された砂防ダムの堤体積の累積値  $\Sigma V_D$  の時系列変化を図-5 に示す (各砂防ダム建設中の  $\Sigma V_D$  は直線補間とする)。

表-3 生田川(布引ダムより上流域)の砂防ダム整備状況

砂防ダム名	堤体積 (m³)	着工年月	竣工年月
市ヶ原堰堤	841.5	S13.10	S14.10
市ヶ原堰堤補強工1	411.0	S18.5	S18.8
地藏谷堰堤	3,732.0	S25.10	S26.3
二十渉堰堤	8,371.0	S25.9	S26.3
石楠花堰堤	4,381.0	S25.10	S26.3
八洲嶺堰堤	2,403.0	S25.10	S26.6
市ヶ原堰堤補強工2	629.0	S26.7	S27.3
穂高堰堤	5,490.1	S36.11	S41.1
河鹿堰堤	766.1	S42.11	S43.3
河鹿副堰堤	126.4	S42.11	S43.3
高雄山堰堤	5,738.6	S42.11	S44.12
地藏谷第二堰堤	3,617.0	S47.7	S49.4
二十渉副堰堤	1,032.0	S48.12	S49.9
八洲嶺第二堰堤	2,630.0	S48.10	S49.10
八洲嶺副堰堤	1,144.0	S51.5	S52.1
長谷堰堤	2,549.0	S51.7	S52.3
八洲嶺第三堰堤	5,945.0	S50.10	S52.8
穂高副堰堤	500	S53.12	S54.3
桜谷堰堤	3,514.0	S53.3	S54.3
桜谷副堰堤	722.0	S53.3	S54.3
石楠花第二副堰堤	397.0	S54.10	S55.3
石楠花第二堰堤	2,637.0	S54.10	S55.9
地藏谷第三堰堤	3,320.0	S55.10	S57.3
地藏谷第三副堰堤	1,027.0	S56.7	S57.3
二十渉第二堰堤	2,077.0	S56.10	S57.11
二十渉第三堰堤	6,477.0	S61.7	S62.10
二十渉第三副堰堤	2,408.0	S62.9	S63.3
新市ヶ原堰堤	20,595.0	S59.1	H1.2
新市ヶ原副堰堤	2,262.0	S61.8	H1.2

※文献<sup>7)</sup>には、平成元年までのデータのみ記載されている

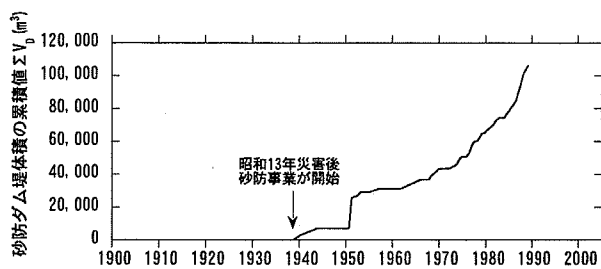


図-5 生田川(布引ダムより上流域)砂防ダム整備状況

砂防事業のメニューとしては、山腹工、床固工、砂防ダム等が挙げられるが、ここでは、図-5 に示す砂防ダムの堤体積の累積値  $\Sigma V_D$  を流域内の砂防事業進展の指標と見なし、 $T_s$  と  $\Sigma V_D$  の関係を次式により表現するものとする ( $\Sigma V_D \rightarrow \infty$  で、 $T_s \rightarrow 1$  に漸近)。

$$T_s = 1 - \frac{1}{\text{Exp}(a \cdot \Sigma V_D)} \quad (3)$$

ここに、 $\Sigma V_D$  : 流域内に設置された砂防ダムの堤体積の累積値、 $a$  : 定数である。

昭和42年災害発生当時における  $T_s = 0.372$  および

$\Sigma V_D = 36,675.8 \text{ m}^3$  (図-5 より) を (3) 式に代入することで、定数  $a = 1.27 \times 10^{-5}$  が算出される。これより、(3) 式により推定される砂防事業による捕捉率の変化を図-6 に示す。

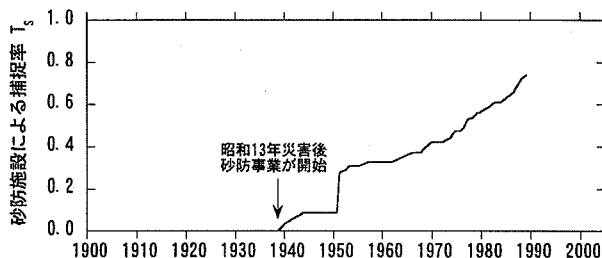


図-6 砂防事業による捕捉率の変化

### b) 定数 $\alpha$ , $\beta$

前述のように、奥村らの検討結果を勘案して  $\beta = 2.0$  とするが、 $\alpha$  については布引ダムの流域特性を加味して設定する。ここでは、貯水池内堆積土砂量の実測値より、定数  $\alpha$  の同定を行った。なお、 $I$  については2万5千分の1地形図より判読し  $I = 0.044$  とした。図-7 に  $\alpha = 6.2$  とした場合における貯水池内堆積土砂量の変化を示す (計算値と実測値の比較)。これによると、 $\alpha = 6.2$ ,  $\beta = 2.0$  とすることで、概ね布引ダム流域の流出土砂特性を表現できることがわかる。

### (2) バイパスによる土砂管理効果の定量的評価

ここでは、土砂管理効果の定量的評価を主眼に、バイパスの有無における貯水池内堆積土砂特性の比較を行った。

#### a) 堆砂量の経年変化比較

上記 (1) にて同定された定数  $\alpha$ ,  $\beta$  を使用し、仮に布引ダム貯水池にバイパストンネルが設置されなかった場合における貯水池内堆積土砂量の経年変化を推測した。バイパストンネルの有無における日流入土砂量および貯水池内堆積土砂量の経年変化比較を図-8 および図-9 に示す。これによると、布引ダムにおいて、バイパストンネルが設置されなかった場合、ダム建設後約30年間程度で (1928年付近)、貯水池 (容量759千  $\text{m}^3$ ) が満砂していたことが推測される。ただし、厳密には、堆砂が進行し残容量が少なくなるに従い、細粒分を中心に非常用洪水吐きから流出するようになるため、実際の貯水池が満杯になるまでの年数は、この値よりも長くなると考えられる。

なお、バイパストンネル設置後の堆砂実績から求められる当流域の比生産土砂量は、 $30,502 (\text{m}^3/\text{年}) / 9.84 (\text{km}^2) = 3,099 (\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年})$  と計算される。この値は、既設ダムの堆砂実績と比較してかなり大きな値となっているが、2. の冒頭で述べたとおり、地質・地形的な特性を勘案すると、当流域の生産土砂の特性を概ね反映しているものと考えられる。

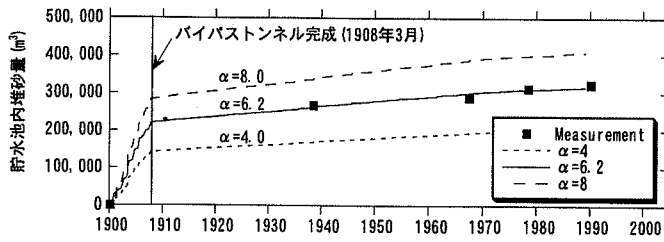


図-7  $\alpha$ の定数解析結果

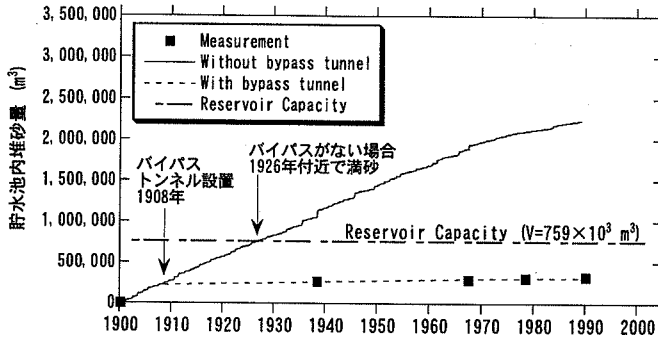


図-8 バイパストンネル有無の比較

貯水池内堆砂量経年変化 [ $\alpha=6.2, \beta=2.0$ ]

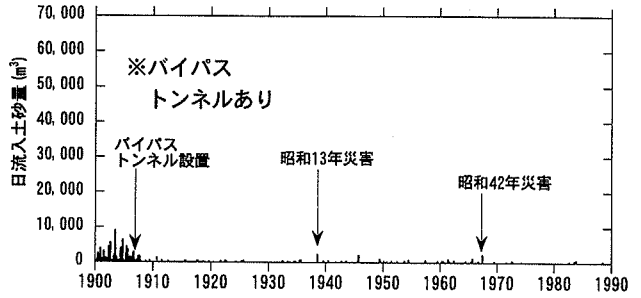
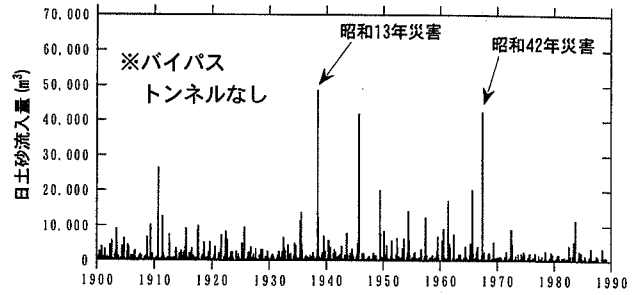


図-9 バイパストンネル有無の比較

日流入土砂量変化 [ $\alpha=6.2, \beta=2.0$ ]

b) 貯水池容量と流入量・土砂流入量の関係

著者<sup>8),9)</sup>は、日本における貯水池土砂管理事例について、下記に示す貯水池の流況に関する指標と、貯水池に流入する土砂量に関する指標を用いて整理している。

・貯水池の流況に関する指標

1 / 貯水池回転率-  $CAP/MAR$  (4)

ここに、 $CAP$  : 貯水池容量,  $MAR$  : 平均年間流入量である。

・貯水池に流入する土砂量に関する指標

貯水池寿命=  $CAP/MAS$  (5)

ここに、 $CAP$  : 貯水池容量,  $MAS$  : 平均年間土砂流入量である。

また、式(2)、(3)の比をとったものが流入量に対する流入土砂量の比率であり、流入河川における流砂濃度の大小を示し、下式で定義する。

$\alpha_r = MAR/MAS$  (6)

ここで、布引ダム流域に対して、期間別に同指標を適用すると表-4 のとおりとなる。

なお、平均年間土砂流入量については図-8 の両ケースにおけるプロットの傾きの平均値から算出し、平均年間流入量については、ダム地点の実測流入量(昭和21年1月~平成11年4月)を使用した。

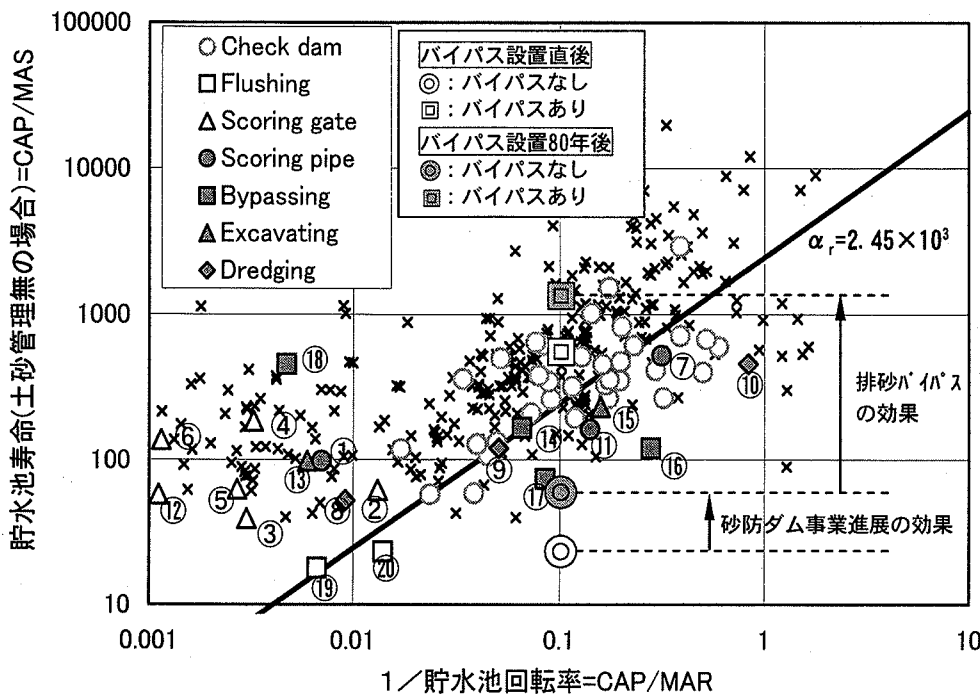
さらに、著者<sup>9),10)</sup>が整理した  $CAP/MAR \sim CAP/MAS$  図に布引ダム流域の同指標をプロットすると、図-10 のとおりとなる。なお、同図には、我が国における平均的な流域の値  $\alpha_r = 2.45 \times 10^2$  の場合の線も示す<sup>9)</sup>。

これらによると、バイパストンネルの設置により、設置直後(期間①)においては、約25年程度の貯水池寿命を約500年程度まで延伸させる効果があり、さらに、砂防事業がある程度進展したバイパス設置80年後においても、約60年程度の貯水池寿命を約1,300年程度まで延伸させる効果が得られている。また、バイパスのありなしにかかわらず、期間①から期間②で貯水池寿命が増加しているのは、砂防事業の進展により流入土砂量が低減した効果であり、仮に排砂バイパスが設置されなかったとしても、貯水池寿命は、約25年から約60年まで延伸できたものと推測される。しかしながら、同図からも明らかのように、布引ダムにおいては、排砂バイパスの設置による流入土砂量の低減効果の方が支配的である。

図-10 には、現在排砂バイパストンネルが建設・計画されている天竜川の美和ダム・小渋ダム・松川ダムが布引ダムに近い  $CAP/MAR$  値でプロットされているが、これらのダムもバイパスの完成により貯水池寿命が同様に長くなり、貯水池の堆砂問題が大幅に改善されることが期待される。

表-4 布引ダムにおける  $MAR$  および  $MAS$  (※ $CAP = 759,500m^3$ )

期間	備考	年平均土砂流入量 $MAS$ ( $m^3$ )	貯水池寿命 $CAP/MAS$ (年)	年平均流入量 $MAR$ ( $m^3$ )	$CAP/MAR$ (年)	$\alpha_r$
① 1909年~1929年 ( $\alpha$ の設置直後)	$\alpha$ がない場合	30,502	24.9	7,459,000	0.102	245
	$\alpha$ がある場合	1,455	522.0			5,127
② 1979年~1989年 ( $\alpha$ の設置の約80年後)	$\alpha$ がない場合	12,594	60.3			592
	$\alpha$ がある場合	601	1263.7			12,411



1	大井	D, SP
2	千頭	SG
3	泰阜	SG, D, PF
4	笠置	SG, PF
5	大間	SG, PF
6	常盤	SG
7	三浦	SP
8	平岡	D, PF
9	佐久間	D
10	八久和	E, D
11	井川	SP, E, D, PF
12	山口	SG, PF
13	秋葉	E, D, PF
14	美和	B, E, D, CD
15	牧尾	E, D, CD
16	小渋	E, B, CD
17	松川	B, E, CD
18	旭	B
19	出し平	F
20	宇奈月	F

CD	: 貯砂ダム
F	: フラッシング排砂
PF	: 洪水吐きフラッシン
SG	: 排砂門
SP	: 排砂管
B	: 排砂バイパス
E	: 陸上掘削
D	: 浚渫

図-10 日本における貯水池土砂管理事例と布引ダムのバイパス評価 (貯水池回転率と堆砂による貯水池寿命の関係)

### 5. まとめ

本研究では、兵庫県布引ダム貯水池を対象に、バイパス設置による貯水池土砂管理効果の定量的把握を、砂防事業の効果も加味して行った。その結果、布引ダムにおけるバイパス設置は、貯水池土砂流入軽減対策として、下記に示す効果が得られたことが推定された。

- ・ バイパス設置直後の時点で、年平均貯水池土砂流入量が、約31,000m<sup>3</sup>/年から約1,500m<sup>3</sup>/年に低減できた。また、約25年程度であった貯水池寿命を約500年程度まで延伸できた。
- ・ バイパス設置80年後の時点でも、年平均貯水池土砂流入量が、約13,000m<sup>3</sup>/年から約600m<sup>3</sup>/年に低減できた。また、約60年程度であった貯水池寿命を約1,300年程度まで延命できた。

以上より、布引ダムにおけるバイパスは、建設当初の流入土砂軽減の目的通り、十分な効果が得られたものと考えられる。

一方で、生産土砂量の算出において流域地目の経時変化(林相変化など)の考慮、土砂流出ハイドロ波形とダム操作の関係、また、バイパスが適する条件と得られる効果の一般的な関係等は、今後の検討課題として残されている。

バイパストンネルの効果に関する成果としては旭ダムの排砂バイパスがあり<sup>11)</sup>、同成果の中でも、バイパス運用後は、貯水池内の堆砂がほとんど進行していないことが報告されている。しかしながら、布引ダム、旭ダムともに、多目的ダムではなく(布引ダム:水道用水、旭ダム:発電用調節池)、今後は多目的ダムに対する排砂バイパス適用の検討が強く望まれる。その観点では、美和ダム(2004.3トンネル貫通)・小渋ダム・松川ダムなどのバイパス施設

の早期の完成と運用実績の評価が期待される。この際には、著者<sup>1)</sup>が指摘しているように、対象粒径による設計・管理の相違、下流河川への土砂還元効果、および、洪水調節と土砂流入量軽減の相反する目的を満足させる操作の実現と管理実績からの検証などの検討が必要とされる。

謝辞: 本研究を遂行するに当たり、神戸市水道局から布引ダムに関する貴重なデータを提供して頂いた。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 角哲也: ダム貯水池土砂管理の将来, 貯水池土砂管理国際シンポジウム論文集, pp. 117-126, 2000.
- 2) 神戸市水道局: 神戸市水道七十年史, 1973.
- 3) 芦田和男, 奥村武信: ダム堆砂に関する研究, 京大防災研年報, 17号B, pp. 555-570, 1974.
- 4) 吉良八郎: ダム堆砂とその防除, 森北出版, 1900.
- 5) 芦田和男, 奥村武士: 豪雨時の流出土砂量に関する資料の解析研究, 自然災害資料解析4, pp. 85-91, 1977.
- 6) 社団法人 近畿建設協会: 六甲三十年史, 1974.
- 7) 六甲砂防事務所: 六甲山系砂防工事管内平面図
- 8) 角哲也: 日本における貯水池土砂管理, 第3回世界水フォーラム「流域一貫の土砂管理-貯水池土砂管理に向けた挑戦」セッション論文集, pp. 27-40, 2003.
- 9) 角哲也: 水資源の持続的管理のための貯水池土砂管理の推進, 水文・水資源学会2003年研究発表会要旨集, pp. 34-35, 2003.
- 10) 角哲也: ダム貯水池のフラッシング排砂における排砂効率, ダム工学, Vol. 10, No3, pp. 211-221, 2000.
- 11) 片岡幸毅: 旭ダムにおける貯水池の土砂管理について, 第3回世界水フォーラム「流域一貫の土砂管理-貯水池土砂管理に向けた挑戦」セッション論文集, pp. 87-96, 2003.

(2004. 4. 7受付)