

雨水貯留施設の施設規模決定の 費用対効果に関する研究

RESEARCH ON FACILITIES CAPACITY OF STORM WATER STORAGE TANK WITH CONSIDERATION OF COST-BENEFIT

和田有朗¹・岸本宏司²・道奥康治³

Nariaki WADA, Koji KISHIMOTO and Kohji MICHIOKU

¹正会員 博(工) 神戸大学大学院 工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

²正会員 修(工) 新日鉄エンジニアリング株式会社 (〒100-8071 東京都千代田区大手町2-6-3)

³フェロー会員 工博 神戸大学教授 工学部市民工学科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

Nonpoint sources in an urban rivers catchment have a significant environmental impact on the quality in the public receiving waters. Therefore, it is important to minimize the pollutant loads from nonpoint source in the catchment. In this study, we analyzed rainfall dataset during the past 20 years (1985-2004) collected by the Kobe Marine Observatory, and determined stochastic characteristics of rainfall that are closely related to pollutant loads. We performed a pollutant load simulation analysis by using the Storm Water Management Model, SWMM, with consideration of runoff and pollutant load control by a stormwater storage facility. Through the analysis, the optimal capacity for the storage tank was determined by means of a cost-benefit analysis considering the removal rate of the pollution load and construction costs. It was found that the storm water storage tank is efficient not only for controlling runoff discharge but also for minimizing pollutant loads.

Key Words : runoff control, cost-benefit analysis, storm water storage tank, rainfall probability

1. はじめに

都市域の水環境を保全・整備するためには、流出汚濁負荷を制御し、効率よく削減することが必要である。流出汚濁負荷の対策として、欧米はもとより我が国においても貯留・浸透施設を用いた流出量・汚濁負荷の制御が実施されはじめている。こうした施設を有効に稼働させるためには、汚濁負荷と密接に関連する降雨の確率諸特性を考慮し、施設規模や運用形態を決定することが重要である。

本研究では、汚濁負荷と密接に関連する降雨の確率諸特性について、神戸海洋気象台の20年間(1985~2004)の観測で得られた降雨の確率特性に基づいて雨水貯留施設の汚濁負荷削減効果を検討した¹⁾。既報¹⁾では、貯留施設の施設規模を容量100~500(m³)の間で変化させ、施設による汚濁負荷削減効果を確認した。容量が100~200(m³)の貯留施設を用いると、公共用水域に流出する総流出負荷量が急激に減少し除去効果が大いことが示された。

雨水貯留施設の建設計画においては、たとえ汚濁負荷

削減効果があったとしても、治水効果に関する費用便益のみしか考慮しないと、建設費用がかさんで建設しない方が得策であると判断される場合がある。本論文では、降雨の確率特性に基づいて雨水貯留施設を設置した場合の汚濁負荷流出解析を行い、汚濁負荷除去率と建設費用との費用対効果から雨水貯留施設の適正規模を求める方法を検討する。さらに、対象流域に雨水貯留施設を設置した場合の費用便益分析を行い決定方法の妥当性を検証する。

2. 既往の研究

雨水貯留施設を用いた流出抑制施策については様々な研究がなされている。G.Weissら²⁾はドイツで多用されている合流式下水越流水タンクの有効性や機能性について貯水位の定期計測に基づいて評価した。ファーストフラッシュ抑制タイプや水質浄化タイプなどの様々な貯留タンクに対してその効果を評価し、比較検討を行った。F.Gogien, G.Manic, M.Zugら³⁾は貯留タンクの管理手法

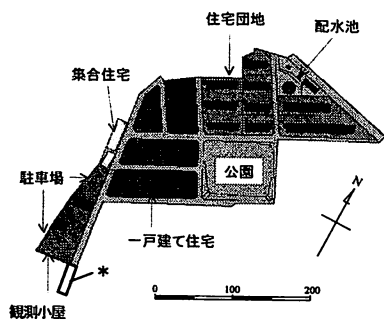


図-1 土地利用区分 *：雨水貯留施設設置場所

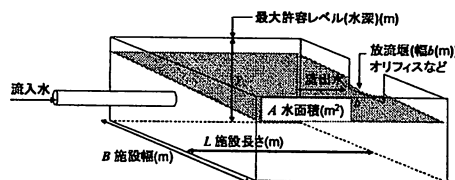


図-2 雨水貯留施設のイメージ図

表-1 対象降雨の諸元

観測日	2003 9/12	2003 11/29	2004 7/10	2004 8/30
総降雨量 (mm)	10.8	29.2	14.6	9.5
降雨開始時刻	14:06	22:49	5:38	19:57
降雨終了時刻	0:41	17:54	12:00	0:46
降雨継続時間 (h)	10.6	19.1	6.4	4.8
平均降雨強度 (mm/hr)	1.0	1.5	2.3	2.0
先行晴天日数 2mm (日)	2.2	4.5	12.8	6.9
先行晴天日数 10mm (日)	2.2	4.5	12.8	6.9
先行晴天日数 30mm (日)	16.0	5.0	12.8	6.9

の違いにおける水質浄化の効果について解析ソフト (Infoworks) を用いて検討した。M.Mrowiec, A.Kisielら⁴⁾は管渠に外接する新技術貯留タンクの有用性を効果と費用における関係から検討している。末石ら⁵⁾は大規模な流域(270km²)において採水観測から得た流量挙動の再現をタンクモデルにより行った。そして貯留施設や滞水池、各戸貯留施設などを用いた場合の降雨時の流量をシミュレーションから求め、貯留効果と建設費用の関係から最適な施策を検討している。また、和田ら⁶⁾は雨水貯留施設を用いてノンポイント汚染源負荷の流出制御方法を検討し、貯留施設の貯留容量をファーストフラッシュ用の一次貯留分とピーク流量用の二次貯留分に分ける2段階貯留方式を用い、その効果を汚濁負荷流出シミュレーション解析により評価した。これにより、雨水貯留施設への雨天時汚濁負荷の効果的な流入・貯留方式を明らかにした。しかし、汚濁負荷除去と建設費用との費用対効果から雨水貯留施設の施設規模を求めた事例は数少ない。

3. 汚濁流出負荷の現地観測

(1) 対象流域の概要⁷⁾

対象流域は都賀川水系に属する神戸市灘区の六甲山麓南側の市街地である。流域面積は4.81(ha)、標高差は約30(m) (最高標高242.1(m)、最低標高211.3(m))、勾配は2~11(%)と大きく、北から南にかけて急斜面を構成している。下水排除方式は分流式である。雨水排水は道路側溝から最下流の明渠水路を通過して、都賀川水系六甲川へ流出する。流域の約72(%)が不浸透域である(図-1)。

(2) 対象とする降雨と流出

汚濁負荷流出解析¹¹⁾に用いた4回の降雨事象の諸元を表-1に示す。2003年9月12日、2003年11月29日の二降雨はともに降雨継続時間が10時間を越える長雨である。11月29日の降雨は平均降雨強度、総降雨量ともに9月12日の降雨を大きく上回っている。

4. 雨水流出制御の貯留施設規模の検討

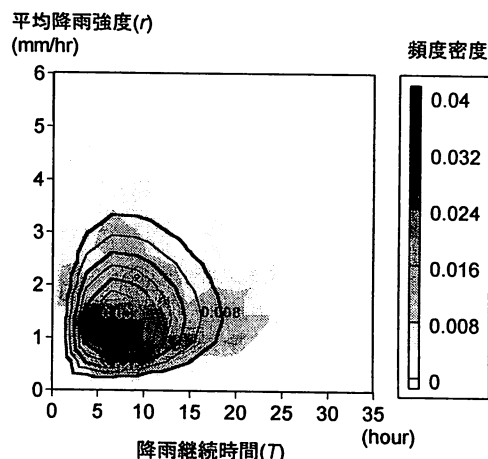


図-3 平均降雨強度(r)と降雨継続時間(T)の確率密度関数の適合度

(1) 降雨条件の設定

筆者ら¹⁾は確率を用いた降雨等の頻度解析により1985~2004年の期間において対象流域で観測された降雨事象の統計特性を解析した。

式(1)の二変数ガンマ関数⁸⁾を用いて、平均降雨強度と降雨継続時間に対する母数を同定した。

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{\Gamma(\nu)(\sigma_1\sigma_2)^{\frac{\nu+1}{2}}(1-\rho)^{\frac{\nu-1}{2}}} \times (x_1x_2)^{\frac{\nu-1}{2}} \times \exp\left\{-\frac{x_1}{\sigma_1(1-\rho)} - \frac{x_2}{\sigma_2(1-\rho)}\right\} \times I_{\nu-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{1-\rho}\sqrt{x_1x_2}\right) \quad (1)$$

ここで、 ν は形状母数、 σ_1 、 σ_2 は尺度母数、 ρ は相関母数、 $\Gamma(\nu)$ はガンマ関数、 $I_{\nu-1}(z)$ は $(\nu-1)$ 次の第1種変形ベッセル関数である。結果を図-3に示す。濃淡図が頻度密度の実測値をあらわし、実線が式(1)のガンマ関数である。結果より神戸地域では $r=4(\text{mm/hr})$ 、 $T=25(\text{hour})$ までの範囲での降雨の頻度が大きいことがわかる。図-3より平均降雨強度と降雨継続時間に関しては、実際の頻度密度を概ね再現する確率密度関数を得ることができた。モデル降雨はピーク降雨強度 r_p を頂点とした二等辺三角形降雨とする。降雨時系列を特徴づける先行晴天日数(t_d)、ピーク降雨強度(r_p)、降雨継続時間(T)を図-4のように定義した。

(2) SWMMによる流出解析

SWMM(Storm Water Management Model)は、降雨の流

出を地表面流出，管渠等の流れ系の計算，それに伴う流出負荷を算定するモデルである。SWMMにおいて，貯留施設なしの条件で流出解析を行うと，図-5の実線のようなハイドログラフが得られる。一方，貯留施設を設置した場合にはピーク流量がカットされ，点線のようなハイドログラフが得られる。同様の流出解析を様々な規模・特性の降雨時系列に対し行った。なお，二等辺三角形降雨を対象にして計算を行っている。対象流域が小さく急斜面であるため，流出が速く，流出のパターンはほぼ相似形になっている。

5. 汚濁負荷除去率と費用対効果に基づいた雨水貯留施設規模の検討

(1) 雨水貯留施設の提案方法

雨水貯留施設（以下貯留施設）の容量が大きくなれば，懸濁態の汚濁物質の沈降は促進され除去効率が高くなると考えられる。しかし，施設容量とともに建設費用は増加するため，貯留施設の治水経済面だけから評価すると建設しないと判断する場合がある。本研究では，降雨の確率特性を考慮しながら，貯留施設を設置した場合の汚濁負荷流出解析を行い，汚濁負荷除去の便益を評価しながら，建設費用を最小化するための貯留施設規模（大きさ）を決定する方法を提案する。

(2) 汚濁負荷除去率

貯留施設を設置した場合と設置しない場合の汚濁負荷流出解析を行い，それぞれの場合の累積負荷量を用いて，汚濁負荷除去率を次のように求める。ここで，汚濁負荷としてはSS(Suspended Solid)を対象とする。

$$Re_{SS} = 100 \times \frac{tSS_0 - tSS}{tSS_0} \quad (2)$$

ここで， Re_{SS} ：汚濁負荷除去率(%)， tSS ：貯留施設を設置する場合の累積負荷量(kg)， tSS_0 ：貯留施設を設置しない場合の累積負荷量(kg)である。

(3) 汚濁負荷除去率の期待値

ピーク降雨強度 r_1 ，降雨継続時間 T_1 における確率密度を $f(T_1, r_1)$ ，汚濁負荷除去率を $(Re_{ss})_{1,1}$ とする。この降雨群における施設条件 $(L(m), h(m))$ の汚濁負荷除去率 $E_{ss(L,h)}$ の期待値は，様々な降雨条件 (T, r) に対して得られた汚濁負荷除去率に確率密度を乗じて合計し，式(3)に示すように得られる(図-6)。

$$E_{ss(L,h)} = (Re_{ss})_{1,1} \times f(T_1, r_1) + (Re_{ss})_{2,1} \times f(T_2, r_1) + \dots + (Re_{ss})_{n,1} \times f(T_n, r_1) \\ + \dots + (Re_{ss})_{1,2} \times f(T_1, r_2) + \dots + (Re_{ss})_{n,2} \times f(T_n, r_2) \\ + \dots + (Re_{ss})_{1,n} \times f(T_1, r_n) + \dots + (Re_{ss})_{n,n} \times f(T_n, r_n) \quad (3)$$

貯留施設としては，長さ $L(m)$ ，水深 $h(m)$ ，幅 $B(m)$ の直方体地下水槽を考える。貯留池は対象流域の道路地下に埋設することを想定して幅 B を固定し（後述），貯留施設

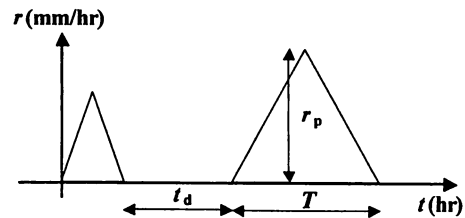


図4 先行晴天日数(t_d)，ピーク降雨強度(r_p)，降雨継続時間(T)の定義

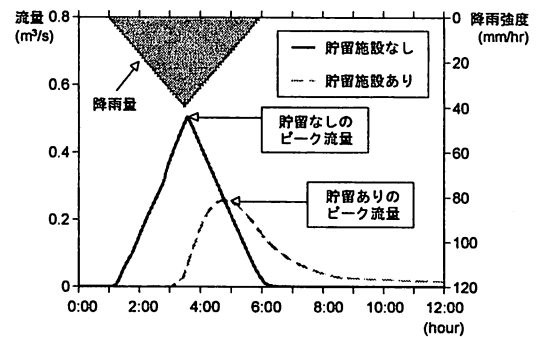


図-5 SWMMによる流出解析結果

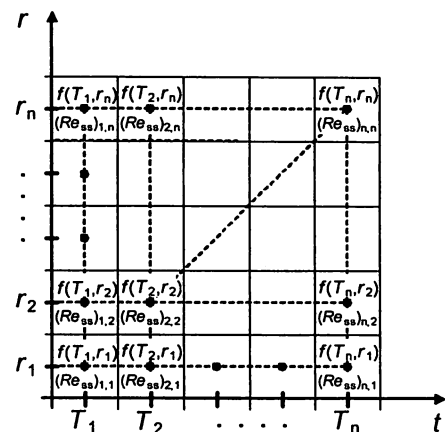


図6 汚濁負荷除去率の期待値算出の概念図

設の規模は (L, h) の変化のみにより変化させる。諸元 (L, h) の貯留施設を建設した場合の費用対効果 $CBR_{(L,h)}$ は式(4)で与えられる。

$$CBR_{(L,h)} = E_{ss(L,h)} / Cost_{(L,h)} \quad (4)$$

本研究では，適正な貯留施設は $CBR_{(L,h)}$ を最大とする施設条件であるとする。

(4) 施設条件の設定 (図-2)

所定の降雨時系列に対する流出量，流出濃度，流出負荷量(SS)をSWMMにより推定した。このシミュレーション結果をもとに，貯留施設を対象流域に設置した場合の施設規模を設定する。解析では，幅 B を5(m)に固定し，水深 h を1.0～3.0(m)とし，長さを1～7(m)と変化させ，容量を5～105(m³)と設定した。貯留施設は図-1の最下流点の道路下に設置すると想定した（図-1中の*印）。

(5) SWMMIによる汚濁負荷流出解析

汚濁負荷解析には以下のモデル式が用いられている¹⁾。

1) 堆積モデル

$$P_0 = S_c \cdot A \cdot t_d^{S_p} \quad (5)$$

ここで、 P_0 ：初期堆積負荷量(kg)、 S_c ：堆積係数(kg/ha/day^{Sp})、 A ：サブキャッチメントの面積(ha)、 t_d ：先行晴天日数(day)、 S_p ：堆積指数(無次元)である。

2) 汚濁負荷流出モデル

$$C_w = P_0(1 - e^{-kt}) \quad (6)$$

$$k = C \cdot r^P \quad (7)$$

ここで、 C_w ：累積流出負荷量(kg)、 t ：経過時間(hr)、 C ：係数(mm/hr)^P、 r ：runoff rate(mm/hr)、 P ：指数(無次元)である。式(6)の P_0 には先行晴天日数や先行降雨の特性(降雨量、降雨強度)等が反映されている。よって、式(7)により流域に堆積した汚濁物質が降雨時にフラッシュアウトされる現象が再現される。

(6) SWMMIにおける雨水貯留施設からの放流量¹⁾

貯留施設からの放流量は貯留部での流速をほぼ0とすれば、ベルヌイ式から次式で与えられる。

$$Q = b \sqrt{g \left(\frac{2}{3} h \right)^3} = 1.7 \times b h^{3/2} \quad (8)$$

ここで、 Q ：流量(m³/s)、 b ：堰の幅(m)、 g ：重力加速度(9.8m/s²)、 h ：水深(m)である。

(7) 貯留池内での汚濁除去

貯留施設内での除去率⁹⁾¹¹⁾は、乱流・層流状態によって異なり、沈降速度(w)と摩擦速度(u_*)の比をあらわす式(9)の a をパラメータとして判別される。

$$a = \frac{w}{u_*} \quad (9)$$

ここで、摩擦損失係数を f とし、 f をマンニングの粗度係数 n を用いて表すと式(9)が次式のようにになる。

$$a = \frac{w \cdot R^{1/6}}{v_* \cdot n \sqrt{g}} \quad (10)$$

層流時の除去率を E_q 、乱流時の除去率を E_t とすると、最終的に計算される除去率 E は a の条件によって場合分けされ、次式で与えられる。

$$E = \min \left\{ \frac{w}{v_*}, \frac{w \cdot T_d}{h}, 1.0 \right\} \quad (a \geq 1.0) \quad (11)$$

$$E = E_t + \frac{\ln a - \ln 0.01}{\ln 1 - \ln 0.01} (E_q - E_t) \quad (0.01 < a < 1.0) \quad (12)$$

$$E = 1 - e^{-(w T_d / h)} \quad (a \leq 0.01) \quad (13)$$

式(11)～(13)を用いることにより除去率 E が計算される。以上より、除去率の分布は図-7に示すように沈降速度(w)と理想沈殿速度(v_u)の比 w/v_u と沈降速度と摩擦速度の比 a で表すことができる。すなわち、除去率は沈降速度/

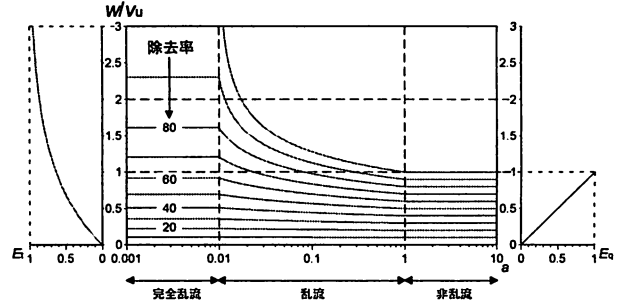


図-7 除去率と沈降速度と摩擦速度の比 a との関係

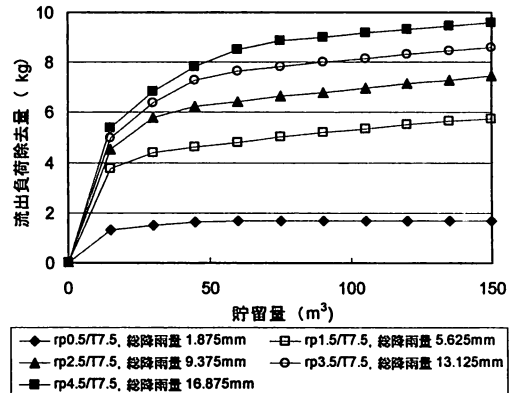


図-8 貯留容量の違いによる流出負荷除去量の変化

(注) $r_{p0.5/T7.5}$ とはピーク降雨強度 $r_p=0.5$ (mm/hr)、降雨継続時間 $T=7.5$ (hour)の降雨を表す。

摩擦速度= a の値(条件)によって変わる。なお、貯留池の沈殿効率 η はストークスの公式に従って、粒径区分を2.0(mm)～74(μ m)、74(μ m)～25(μ m)、25(μ m)～1(μ m)の粒径別に与えられる沈降速度を用いた。

(8) 雨水貯留施設を設置した場合の汚濁負荷シミュレーション

貯留施設を設置した場合の汚濁負荷シミュレーションを行った。図-8に貯留容量の違いによる流出負荷除去量の変化例を示す。貯留容量とともに流出負荷除去量が増加し、貯留容量が50 (m³)でも流出負荷量を大きく削減している。

貯留施設の汚濁負荷シミュレーション結果の一例を図-9に示す。横軸は施設長さ L (m)、縦軸は施設水深 h (m)である。図-9は、図-3において降雨の発生確率が高い(濃淡図の色が濃い部分) $r_p=2.5$ (mm/hr)、降雨継続時間が $T=7.5$ (hour)の場合の解析結果である。濃淡図は汚濁負荷除去率 E_{ss} (%)の大きさを表し、汚濁負荷除去率が大きいほど濃くなる表示をしている。

貯留槽が長いほど汚濁負荷除去率は大きくなる。水深の影響については、施設長さが5(m)程度までは水深にともなう汚濁負荷除去率の変化はあまり見られない。施設長さが5(m)を超えると、水深が大きいくほど汚濁負荷除去率が大きくなる傾向が見られる。全体的に水深の大小よりも施設長さが汚濁負荷除去率に与える影響が大きい。

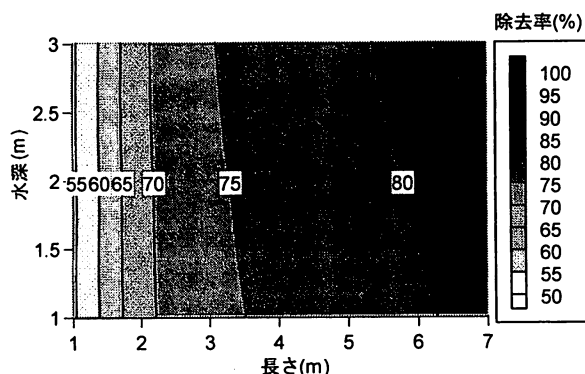


図-9 貯留施設の汚濁負荷シミュレーション解析結果
(ピーク降雨強度 $r_p=2.5(\text{mm/hr})$, 降雨継続時間 $T=7.5(\text{hour})$ の降雨)

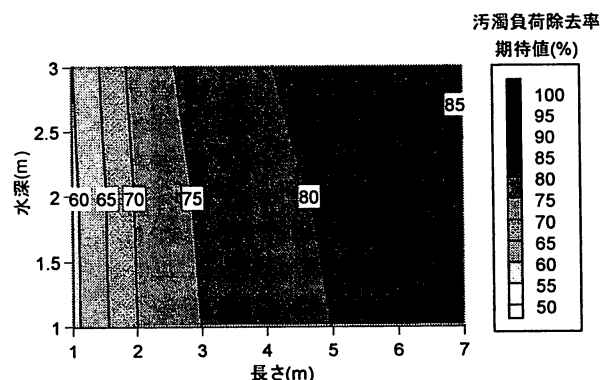


図-10 汚濁負荷除去率の期待値分布図

(9) 汚濁負荷除去率の期待値

汚濁負荷シミュレーション解析から得られる施設規模ごとの汚濁負荷除去率の期待値を図-10に示す。

同図より、施設長さとともに汚濁負荷除去率の期待値は増加することがわかる。水深については、施設長さが4(m)程度までは深くなっても汚濁負荷除去率期待値に変化はあまり見られない。施設長さが4(m)を超えると水深にともない汚濁負荷除去率期待値が大きくなる傾向が見られる。全体的に水深の大小よりも施設長さの方が汚濁負荷除去率期待値に大きく影響する。

(10) 雨水貯留施設の建設費用の概算¹²⁾

貯留施設の建設に必要な使用機械量、人件費、資材等を計算し、それぞれ各単価を乗じて建設費用を算出した。建設費用は工法単価と労務単価の両方について考えた。費用算出に使用した単価表を表-2、表-3に示す。なお、貯留施設を道路下に設置すると想定しているため建設費用に用地買収費は含まれていない。

建設費用は積み上げ方式により幅 $B=5(\text{m})$ 、施設長さ $L=6.66(\text{m})$ 、 $L=13.33(\text{m})$ の場合の建設費用を算出した。ここで、費用については、施設規模が小さい範囲での検討であり、施設規模と建設費用が線形とした。長さ、水深に基づいて計算した。その算出値をもとに式(14)を求めた。

$$\text{Cost}(\text{千円}) = 393 \times Lh + 7341.8 \quad (14)$$

表-2 単価表¹²⁾

項目	単価
軽油	110 (円/L)
ガソリン	144 (円/L)
鋼矢板Ⅱ型	3,000 (円/t)
鋼製支保	3,000 (円/t)
鉄筋	61,000 (円/t)
鉄蓋	225,000 (円/組)
足掛金物	2,400 (円/本)
埋戻土	2,600 (円/m ³)
ラフタークレーン賃料	48,000 (円/日)
仮設材運搬 (往復)	2,020 (円/2往復)
積卸し・積み込み	2,600 (円/2回)
基礎砕石工	1,242 (円/m ²)
均しコンクリート工	15,960 (円/m ³)
コンクリート工	16,120 (円/m ³)
型枠工	5,712 (円/m ²)
蓋据付工	5,100 (円/箇所)

表-3 労務単価表¹²⁾

職種	単価 (円/日)
土木一般世話役	18,800
普通作業員	13,300
特殊作業員	15,800
とび工	18,100
溶接工	18,000
特殊運転手	16,700
一般運転手	14,700

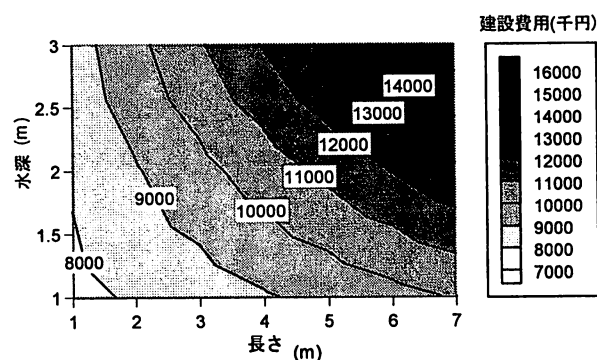


図-11 シミュレーションケースの施設規模に対する建設費用

ここで、 L : 施設長さ(m)、 h : 施設水深(m)である。

それによりシミュレーションケースの施設規模に対する建設費用をそれぞれ算出した。結果を図-11に示す。

(11) 費用対効果の検討

前述(5(10))の貯留施設建設費用の概算を図-10の施設規模ごとの汚濁負荷除去率期待値にそれぞれ適用し、費用対効果を図-12のように求めた。

水深が浅いほど費用対効果CBIは増加する。これは、図-9において、水深の深さの変化に汚濁負荷除去率期待値があまり影響していなかったことから、同じ施設長さであれば水深とともに建設費用が増加することを反映している。施設長さは費用対効果CBIに大きな影響を与えない。施設長さ $L=3(\text{m})$ 、水深 $h=1(\text{m})$ 付近で費用対効果

CBRがピーク値をとることがわかる。そのため、汚濁負荷除去を考慮すれば貯留施設の施設規模が幅 $B=5(m)$ 、施設長さ $L=3(m)$ 、水深 $h=1(m)$ 、貯留容量 $15(m^3)$ であり、その場合の建設費用8,521(千円)の場合と評価される。なお、水深がさらに浅いと貯留施設を設置する上で実用的ではないため考慮していない。

(12) 費用便益分析

以上の検討から得られた貯留施設の最適施設規模、 $B=5(m)$ 、 $L=3(m)$ 、 $h=1(m)$ の場合について費用便益分析を行った。便益算定には、文献¹³⁾から得られたWTP(支払意思額)を参考にし、安全率を考慮してその約半分として、「マニュアル(案)」¹⁴⁾の簡易比較法により費用便益比(B/C)を算定した。参考に挙げたものはせせらぎ水路の住民による費用対効果のものであり、貯留施設も負荷を削減でき水質改善が図れる。利用者の便益になるもので一例として挙げている。WTPに母集団である居住人数(2.5人/世帯とした)を乗じて便益(B)を推計し、建設費用に換算係数を乗じて費用(C)を推計した。施設の耐用年数は50年とした。なお、どの程度土砂、泥が堆積するのかは実測・計算していないため維持管理費等は考慮していない。これらから費用便益比を算定した結果が表-4である。B/Cは12.09となり、十分な費用便益効果がある。

6. むすび

降雨の確率特性に基づいて貯留施設が設置された流域を対象として汚濁負荷シミュレーションを実施した。汚濁負荷除去率と建設概算費との費用対効果により貯留施設の適正な施設規模を決定する方法を提案した。

その結果、貯留容量が大きいほど、流出汚濁負荷の削減量も増大することを確認した。汚濁負荷シミュレーションから水深の大小よりも施設長さの方が汚濁負荷除去率に大きく影響することを確認した。また、汚濁負荷除去率の期待値の場合も同様の傾向が確認された。

対象流域における費用対効果のピークは、施設長さ $L=3(m)$ 、水深 $h=1(m)$ 付近にあらわれることが明らかとなった。また、対象流域において、費用対効果から求めた適正な施設規模の貯留施設を設置した場合の費用便益分析を行い、十分な費用便益効果があることを明らかにした。なお、どの程度土砂、泥が堆積するのかは実測・計算していないため、維持管理費等も含めて費用便益分析を行うことが今後の課題である。

謝辞：本研究に御協力いただいた神戸市建設局下水道河川部の関係各位に厚くお礼申し上げます。卒業生の阪西大輔君には降雨データ収集・整理に協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

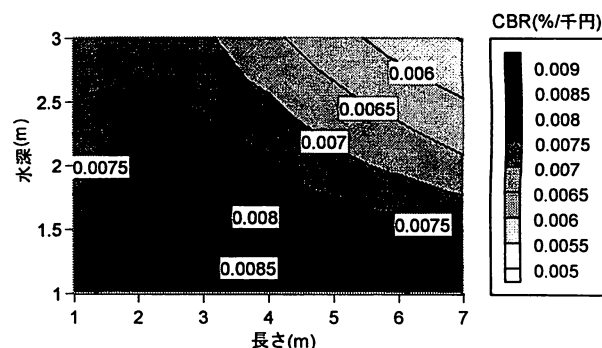


図-12 費用対効果

表-4 費用便益比

便益対象者(人)	費用(C)(千円/年)	便益(B)(千円/年)	B/C
10,000	397	4,800	12.09

(注) 建設費用8,521(千円)、換算係数 0.0466

参考文献

- 1) 和田有朗, 岸本宏司, 道奥康治: 降雨の確率特性を考慮した雨水貯留施設の汚濁負荷削減効果に関する検討, 水工学論文集, 第51巻, pp.1147-1152, 2007.
- 2) Weiss, G., Brombach, H. and Wohrle, C.: Monitoring of combined sewer overflow tanks: Result of 500 years of measurement record.
- 3) Gogien, F., Manic, G. and Zug, M.: An operational modeling tool for sewer networks management.
- 4) Mrowiec, M. and Kisiel, A.: Innovative construction of on-line storage tank.
- 5) 末石富太郎, 城戸由能: 都市域における雨水流出制御施設の流域配分計画, 土木学会論文集, No.417, p189-198, 1990.
- 6) 和田安彦, 三浦浩之: 雨水貯留施設によるノンポイント汚染源負荷制御方法の検討, 土木学会論文集, No.566/VII-3, pp.25-34, 1997.
- 7) 神田徹, 神吉和夫, 渡辺政広, 前田康宏: 都市小流域へのSWMMの適用におけるモデル・パラメータの値について, 水工学論文集, 第45巻, pp.79-84, 2001.
- 8) 長尾正志, 角屋睦: 二変数ガンマ分布とその適用に関する研究(2), 京大防災研年報, 第14号, pp.43-56, 1971.
- 9) 松本順一郎, 西堀清六: 下水道工学, 朝倉書店, 2001.
- 10) Camp, T.L.: Sedimentation and the Design of Settling Tanks, ASCE, Vol.111, 1945.
- 11) Hazen, A.: On Sedimentation, ASCE, Vol.53, 1904.
- 12) (財)建設物価調査会: 建設物価, 11月号, 2006.
- 13) 湯浅泰則, 長谷川福男, 藤田和彦: CVM(仮想金銭化法)によるせせらぎ水路の費用効果分析について, 第40回下水道研究発表会講演集, pp.289-291, 2003.
- 14) (社)日本下水道協会: 下水道事業における費用効果分析マニュアル(案), pp.70-87, 2006.

(2008. 4. 3受付)