

エ) 調整池容量の設定

「赤土等流出防止対策技術指針（案）」に基づいて、図-6.7.2.1.7～図-6.7.2.1.12に示す各施工区域に設置する調整池容量を算出しました。なお、濁水処理プラントを設置した場合の調整池の容量は、濁水の処理と処理放流を併行して行うことから、流入水量から処理水量の差として求めました。

以下に雨水調節容量の算定式を示しました。また、各施工区域における調整池容量は表-6.7.2.1.8及び表-6.7.2.1.9に示すとおりです。

【濁水貯留処理施設及び雨水調節容量算定式】

濁水貯留処理施設(V)の容量は下式より求めました。

$$V = 1.1 \times V_1$$

V : 濁水貯留処理施設の容量(m³)

V₁ : 雨水調節容量(m³)

1.10: 安全率 (流入土砂量等を考慮)

雨水調節容量(V₁)は下式より求めました。

$$V_1 = (r_i - k \times r_c) \times 60 \times t_i \times f \times A \times 1/360$$

V₁ : 雨水調節容量(m³)

r_i : 降雨強度曲線上の任意継続時間相当降雨強度 (mm/hr)

$$r_i = a / (t_i^n + b)$$

r_c : 放流量 Q_c に相当する降雨強度 (mm/hr)

$$r_c = 360 \times Q_c / (f \times A)$$

k : 処理方法によって決まる係数 (プラントを用いる場合は k=1.0 とする)

t_i : 降雨継続時間 (分) (雨の降り始めから貯留施設容量が最大となるまでに要する時間)

f : 流出係数

A : 集水面積 (ha)

ただし、t_i ≤ 120min の場合は、t_i = 120min として容量算定する。

表-6.7.2.1.8 各施工区域の設計条件及び調整池必要容量

工事	施工地区	区域	集水面積 (ha)		流出係数	濁水処理量 (m ³ /hr)	調整池必要容量(m ³) (調整池の寸法 = 深さ・上面・底面)	
埋立土砂発生区域	Aブロック	A-①	19.44	4.35	0.7	700	22,064 m ³ (≦ 22,400 m ³)	
		A-②		9.81	0.7			
		A-③		5.28	0.7			
	Bブロック	B	3.98	0.7	200	3,552 m ³ (≦ 3,702 m ³ = 3.0 m・1,444 m ² ・1,024 m ²)		
	Cブロック	C-①	3.96	0.7	200	3,533 m ³ (≦ 3,702 m ³ = 3.0 m・1,444 m ² ・1,024 m ²)		
		C-②	2.97	0.7	200	2,127 m ³ (≦ 2,214 m ³ = 3.0 m・900 m ² ・576 m ²)		
美謝川の切替え	Phase1	開水路	0.40	0.7	10	592 m ³ (≦ 656.0 m ³ = 2.0 m・400 m ² ・256 m ²)		
		暗渠	0.15	0.7	10	108 m ³ (≦ 136.0 m ³ = 2.0 m・100 m ² ・36 m ²)		
			0.07	0.7	10	23 m ³ (≦ 26.0 m ³ = 2.0 m・25 m ² ・1 m ²)		
			0.04	0.7	10	9 m ³ (≦ 12.8 m ³ = 1.5 m・16 m ² ・1 m ²)		
	Phase2	開水路	0.30	0.7	10	361 m ³ (≦ 400.0 m ³ = 2.0 m・256 m ² ・144 m ²)		
		暗渠	0.04	0.7	10	9 m ³ (≦ 12.8 m ³ = 1.5 m・16 m ² ・1 m ²)		
			0.04	0.7	10	9 m ³ (≦ 12.8 m ³ = 1.5 m・16 m ² ・1 m ²)		
			0.16	0.7	10	121 m ³ (≦ 136.0 m ³ = 2.0 m・100 m ² ・36 m ²)		
	Phase3	洪水吐	0.20	0.7	10	178 m ³ (≦ 208.0 m ³ = 2.0 m・144 m ² ・64 m ²)		
		開水路	0.25	0.7	10	262 m ³ (≦ 296.0 m ³ = 2.0 m・196 m ² ・100 m ²)		
			暗渠	0.06	0.7	10	20 m ³ (≦ 26.0 m ³ = 2.0 m・25 m ² ・1 m ²)	
	工事用仮設道路	A区間	A-①	0.336	0.7	50	131 m ³ (≦ 137.3 m ³ = 1.5 m・120 m ² ・63 m ²)	
			A-②	0.369	0.7	75	105 m ³ (≦ 111.8 m ³ = 1.5 m・100 m ² ・49 m ²)	
			A-③	0.530	0.7	100	160 m ³ (≦ 162.8 m ³ = 1.5 m・140 m ² ・77 m ²)	
			A-④	1.065	0.7	250	249 m ³ (≦ 256.5 m ³ = 1.5 m・210 m ² ・132 m ²)	
C区間		C						
B区間		B-①	0.300	0.7	50	106 m ³ (≦ 111.8 m ³ = 1.5 m・100 m ² ・49 m ²)		
	B-②	0.700	0.7	200	132 m ³ (≦ 137.3 m ³ = 1.5 m・120 m ² ・63 m ²)			
	B-③	0.300	0.7	50	106 m ³ (≦ 111.8 m ³ = 1.5 m・100 m ² ・49 m ²)			

※Aブロックの調整池は、地形図の等高線から、1mごとの貯水位面積を計測し容量を算出しています。

表-6.7.2.1.9 Aブロックにおける貯水容量の算出

貯水位標高 (m)	貯水面積 (m ²)	平均面積 (m ²)	容量 (m ³)
19	163	-	-
20	536	349.5	350
21	1,044	790.0	790
22	1,496	1,267.0	1,267
23	2,089	1,789.5	1,790
24	2,950	2,519.5	2,520
25	4,200	3,575.0	3,575
26	6,141	5,170.5	5,171
27	7,804	6,972.5	6,973
容量計			22,434

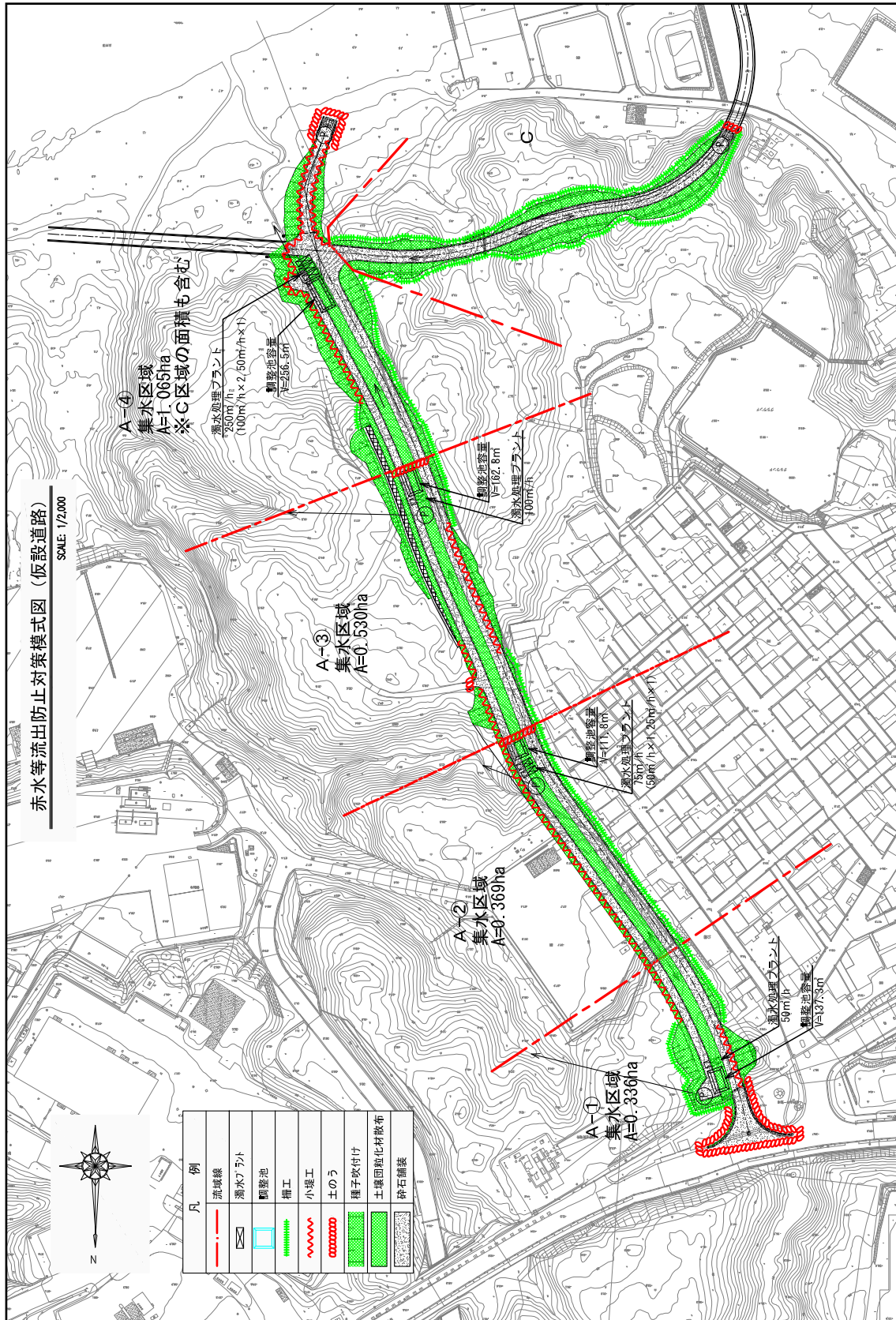


図-6.7.2.1.8 赤水等流出防止計画図(工用仮設道路 A 区間及びC 区間)

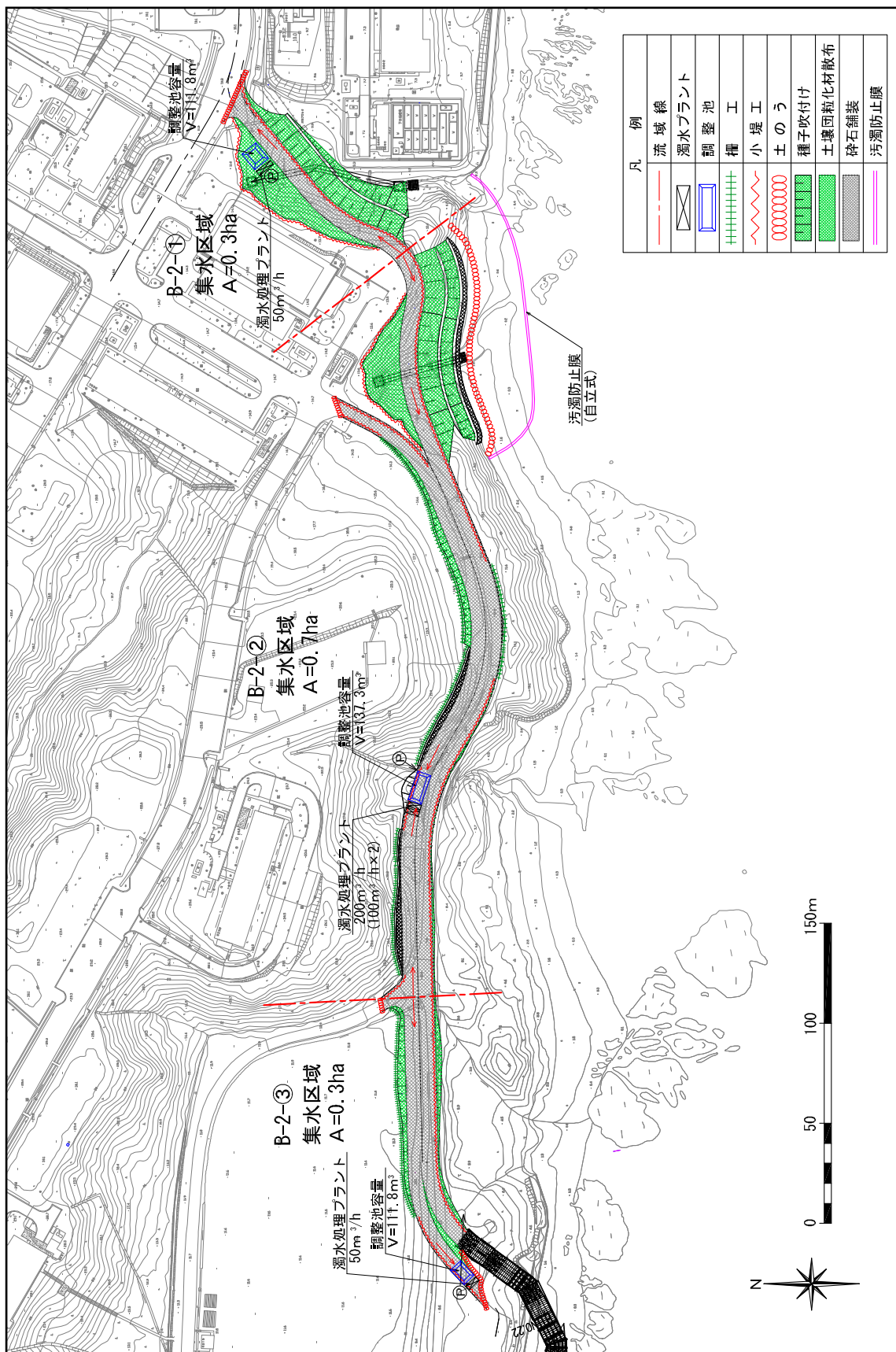


図-6.7.2.1.9 赤土等流出防止計画図(工所用仮設道路 B-2 区間)

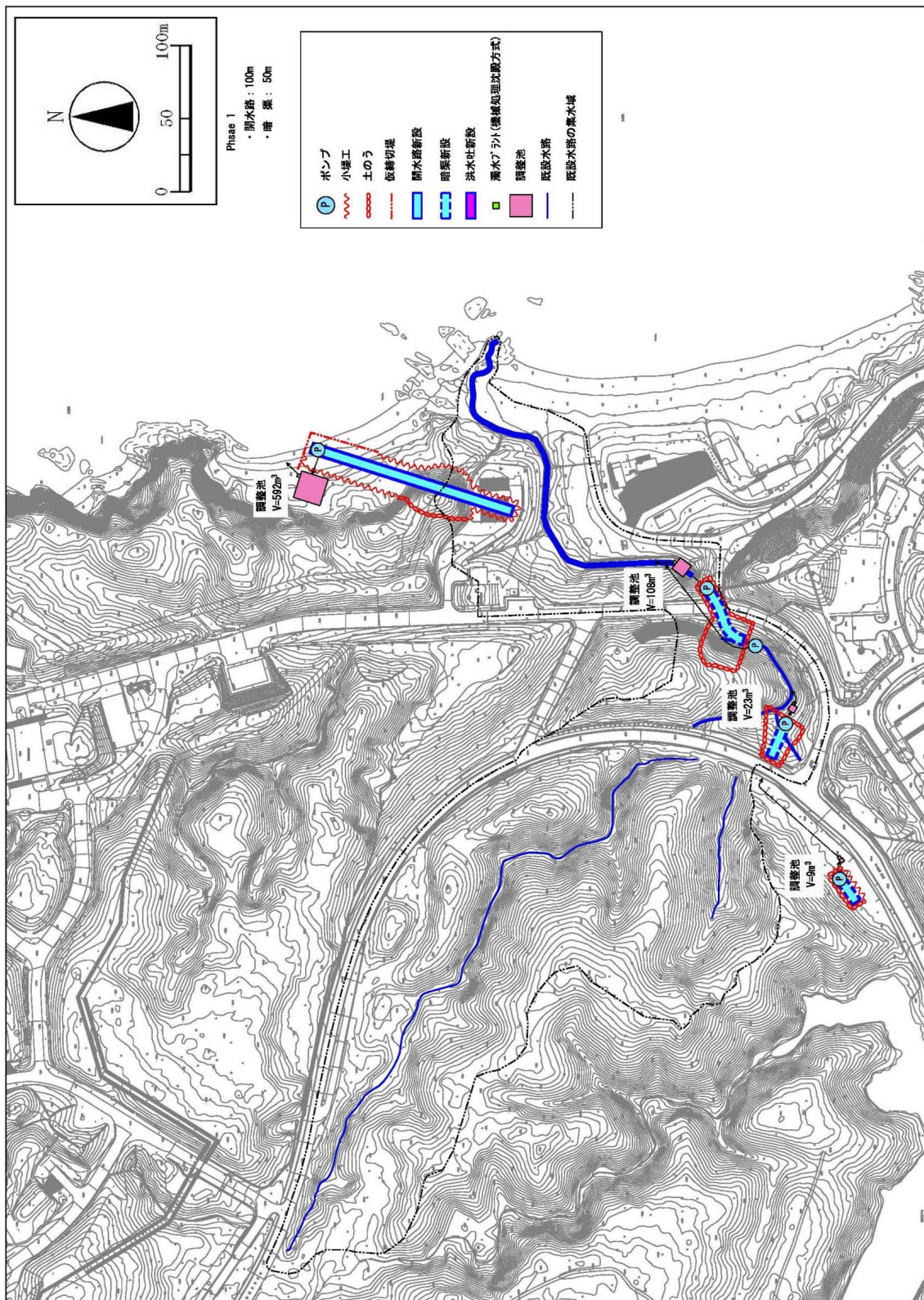


図-6.7.2.1.10 赤土等流出防止計画図(美謝川切替え Phase1)

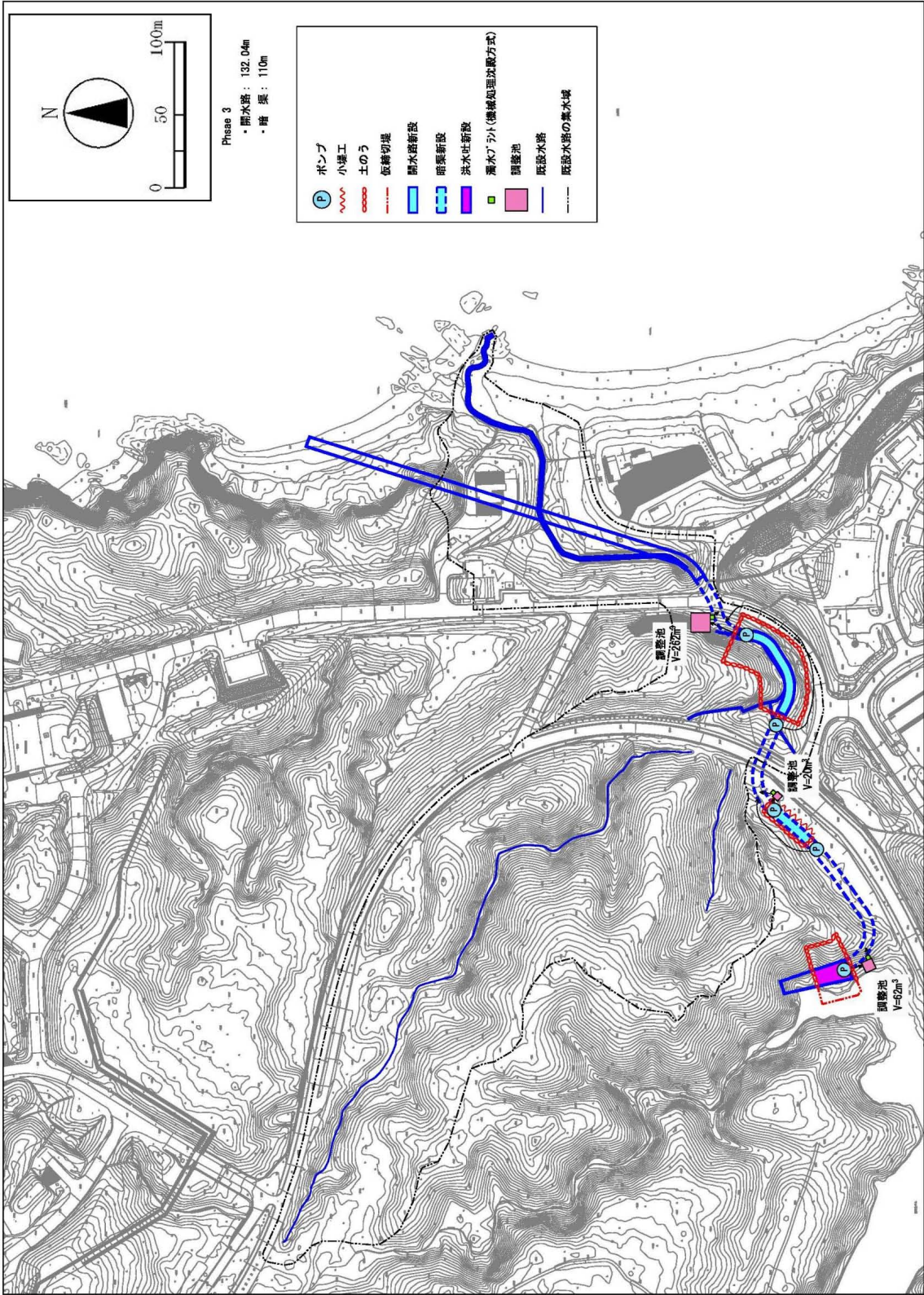


図-6.7.2.1.12 赤土等流出防止計画図(美謝川切替え Phase3)

ウ) 降雨強度別に求めた調整池容量の比較

本赤土等流出防止計画における施設の容量の決定に用いる計画降雨量（降雨強度式）は、計画段階において予期できない不測の事態（「赤土等流出防止対策技術指針(案)」に示されている2年降雨確率強度よりも多い降雨が発生し、流出する濁水が予想値を超える場合等）に対し、濁水処理施設の能力に余裕を持たせておくことに配慮し、2年降雨確率強度よりも条件が厳しくなる（濁水処理工の施設の能力が大きくなる）10年降雨確率強度（長期間降雨強度）を用いています。

「赤土等流出防止対策技術指針(案)」に示されている降雨強度式に対して、本計画で用いる降雨強度式が、施設の容量の算定にどの程度厳しい結果を与えるかを確認しました。施設の容量を比較する計画降雨量（降雨強度式）は、以下のとおりとしました。

(i) 10年確率降雨強度式（長時間降雨強度式）君島型

「赤土等流出防止対策技術指針(案)」には10年確率降雨強度式（長時間降雨強度式）が示されていないことから、計画地点近傍における名護観測所の既往降雨データ(1999年～2008年)を用いて、新たに10年確率降雨強度式（長時間降雨強度式）を設定しました。

君島型、久野黒石型、タルボット型、シャーマン型の降雨強度式を検討し、最も相関性の高い（相関係数が大きい）君島型を採用しました。

$$I=960.781 / (t^{0.607} + 3.086) \quad (\text{mm/hr})$$

(ii) 2年確率降雨強度式（長時間降雨強度式）タルボット型

「赤土等流出防止対策技術指針(案)」に示されている降雨強度式です。凝集沈澱方式における濁水貯留処理施設の設計計算例が掲載されており、一般的に使用されています。

$$I=11,000 / (t+125) \quad (\text{mm/hr})$$

(iii) 10年確率降雨強度式（短時間降雨強度式）タルボット型

「赤土等流出防止対策技術指針(案)」に示されている降雨強度式です。一般的に使用されているとは考え難いが、短時間降雨強度における施設の容量を算定し、本計画の施設容量と比較しました。

$$I=10,000 / (t+52.5) \quad (\text{mm/hr})$$

各降雨強度式による施設の容量の算定結果を表-6.7.2.1.10に示しました。
調整池必要容量については、本計画で採用している君島型の10年確率降雨強度式（長時間降雨強度式）の方が「赤土等流出防止対策技術指針（案）」に示されている降雨強度式と比べて安全側の結果となっています。

表-6.7.2.1.10 降雨強度式の違いによる調整池必要容量算定結果

検討降雨強度式	項目	Aブロック	Bブロック	C-① ブロック	C-② ブロック	摘要
10年確率降雨強度式 （長時間降雨強度式）君島型	濁水処理量	700m ³ /hr	200m ³ /hr	200m ³ /hr	200m ³ /hr	本計画採用
	調整池 必要容量	22,064m ³	3,552m ³	3,533m ³	2,127m ³	
2年確率降雨強度式 （長時間降雨強度式）タルボット型	濁水処理量	700m ³ /hr	200m ³ /hr	200m ³ /hr	200m ³ /hr	赤土等流出防止対策技術 指針（案）に掲載
	調整池 必要容量	15,820m ³	2,880m ³	2,866m ³	1,890m ³	
10年確率降雨強度式 （短時間降雨強度式）タルボット型	濁水処理量	700m ³ /hr	200m ³ /hr	200m ³ /hr	200m ³ /hr	赤土等流出防止対策技術 指針（案）に掲載
	調整池 必要容量	17,452m ³	3,325m ³	3,309m ³	2,299m ³	

か) 調整池に流入する土砂量の検討

(i) 本赤土等流出防止計画の考え方

本計画における降雨に伴い調整池へ流入する土砂への対応については、「赤土等流出防止対策技術指針(案)」に基づき、計算で求められる雨水調節容量(V_1)に対し安全率 1.10 を見込むものとしています。

さらに、実施工において、施工の進捗に応じて表土保護工（暫定対策もしくは恒久対策）を行い流入土砂量の低減を図ると共に、調整池の機能を確保するため安全率を超える土砂が流入した場合は堆積土砂を排土する等の維持管理を実施する計画としています。

(ii) 流入土砂量の試算

赤土等流出防止対策に基づき設置する調整池に流入する土砂量について、「沖縄県県土保全条例施行規則」に記載されている計画流出土砂量の考え方に基づき試算を行いました。

○「沖縄県県土保全条例施行規則」計画流出土砂量の考え方

流出土砂量は、開発区域の規模、地表の状態等により表-6.7.2.1.11を基準とします。

表-6.7.2.1.11 地表状態別の流出土砂量

地 表	1ヘクタール当たりの 流出土砂量	厚さ
裸地・荒廃地等	200~400 m^3	20~40 mm
皆伐地草地等	15 m^3	1.5 mm
択伐地	2 m^3	0.2 mm
普通の林地	1 m^3	0.1 mm

注1): 工事によりかき起こした面積については、裸地に準じます。

注2): 完全な排水施設を備えた芝生等は、普通林地に準じます。

注3): 工事期間中の流出土砂量は、次式によります。

$$\begin{aligned} & (\text{工事面積}) \times (\text{裸地 1ha 当たりの流出土砂量}) \\ & \times \{ \text{工事期間(最低を 4 箇月とする)} / 12 \text{ 箇月} \} \end{aligned}$$

○流入土砂量の試算結果

表-6.7.2.1.12に流入土砂量の試算結果を示します。「沖縄県県土保全条例施行規則」に記載されている1ヘクタール当たりの流出土砂量が調整池にそのまま流入したとした場合、「赤土等流出防止対策技術指針(案)」で示されている流入土砂量等を考慮した雨水調節容量(V_1)に対する安全率 1.10 で確保される容量では、不足することとなります。ただし、各ブロックにおいて、裸地面積を全集水面積の1/3程度に抑える施工を実施することにより、計算上は流入土砂量の容量は確保できます。

表-6.7.2.1.12 流入土砂量の試算結果

施工地区 (ブロック)	区域	集水面積=施工面積 (ha)			施工期間 (箇月)	裸地1ha当たりの 流出土砂量 (m ³ /ha)	流出(流入)土砂量 試算値 (m ³ /ha)	雨水調節容量 V ₁ (m ³)	本計画 調整池容量 V=1.1・V ₁ (m ³)	流入土砂等 を考慮した 安全率分の容量 V-V ₁
Aブロック	A-①	19.44	4.35	11.5	200 ~ 400	3,726 ~ 7,452	20,058	22,064	2,006	
	A-②		9.81							
	A-③		5.28							
Bブロック	B	3.98		6.1	200 ~ 400	405 ~ 809	3,229	3,552	323	
Cブロック	C-①	3.96		4.7	200 ~ 400	310 ~ 620	3,212	3,533	321	
	C-②	2.97		5.1	200 ~ 400	252 ~ 505	1,934	2,127	193	

【流入土砂量試算条件】

- ①. 試算は、「沖縄県土保全条例施行規則」に記載されている計画流出土砂量の考え方に基きました。
- ②. 工事期間中の流出土砂量は、次式によります。(工事面積)×(裸地1ha当たりの流出土砂量)×{工事期間(最低を4箇月とする)}/12箇月}
- ③. 1ヘクタール当たりの流出土砂量は、裸地・荒廃地等の200~400m³としました。
- ④. 施工面積は、各ブロックの全集水面積を裸地面積としました。
- ⑤. 施工期間は、各ブロックの全土工事期間としました。

※上記計算条件については、実施工において、施工の進捗に応じて表土保護工(暫定対策もしくは恒久対策)を行い流入土砂量の低減を図る計画であることから、流入土砂量が多く発生する結果となります。

(b) 予測方法

a) 施工区域から流出する濁水の SS 濃度

文献における実験結果及び事例等を参考に、定性的に予測を行いました。

b) 放流先の河川水の SS 濃度

放流先の河川水の SS 濃度については、河川水と濁水処理水が単純に混合するものとし、以下に示す単純希釈式によって予測を行いました。

各改変区域における工区と濁水処理水の放流先は、図-6.7.2.1.7～図-6.7.2.1.12の「赤土等流出防止計画図」に示すとおりです。

St. a における濁水処理量は、埋立土砂発生区域の A ブロックから新設美謝川への放流量より $700\text{m}^3/\text{h}$ ($0.194\text{m}^3/\text{s}$) としました。

St. b における濁水処理量は、埋立土砂発生区域の B ブロック及び C ブロックから美謝川への放流量より $200\text{m}^3/\text{h}$ ($0.056\text{m}^3/\text{s}$) としました。

St. c における濁水処理量は、工事用仮設道路の A-①工区、A-②工区、A-③工区から周辺河川への放流量の合計 $225\text{m}^3/\text{h}$ ($0.063\text{m}^3/\text{s}$) としました。なお、A-④工区 (C 工区含む)、B-①工区、B-②工区及び B-③工区からの処理水は河口付近へ放流されます。

St. d における濁水処理量は、美謝川切替え工事の濁水処理量の合計が最大となる Phase-2 の $40\text{m}^3/\text{h}$ ($0.011\text{m}^3/\text{s}$) としました。

$$C = \frac{C_1 \times Q_1 + C_2 \times Q_2}{Q_1 + Q_2}$$

C : 予測地点の混合 SS 濃度

C1: 処理水の SS 濃度、 Q1: 濁水処理水量

C2: 河川の現況 SS 濃度、 Q2: 河川の現況流量

c) 放流先河川の赤土等の堆積の状況

ストークスの式により定性的に予測を行いました。

(c) 予測地点

a) 施工区域から放流される濁水の SS 濃度

濁水処理プラントの処理水の放流口としました。

b) 放流先河川における水の濁りの程度 (SS 濃度)

(ア) 埋立土砂発生区域

濁水処理水の放流点より下流の St. a 及び St. b としました (図-6.7.2.1.1及び図-6.7.2.1.7)。

(イ) 工事中仮設道路

濁水処理水の放流点より下流の St. c としました（図-6.7.2.1.1及び図-6.7.2.1.8）。

(ウ) 美謝川切替え

濁水処理水の放流点より下流の St. d としました（図-6.7.2.1.1及び図-6.7.2.1.11）。

c) 放流先河川の赤土等の堆積の状況

上記の「b) 放流先河川における水の濁りの程度（SS 濃度）」の予測地点と同地点としました。

(d) 予測対象時期等

施工区域から放流される濁水の SS 濃度については、造成工事中（赤土等流出防止対策工の設置期間）の降雨時とし、放流先河川における水の濁りの程度及び放流先河川の赤土等の堆積の状況については濁水処理プラントの処理水が放流される時期としました。

(3) 予測結果

1) 陸域の造成に伴い発生する陸域での水の濁り及び堆積

(a) 施工区域から放流される濁水の SS 濃度

a) 裸地面から発生する濁水の SS 濃度

各種開発事業等の事業現場において、無対策の裸地面から流出する濁水の最大 SS 濃度値は表-6.7.2.1.13に示すとおり、15,900mg/L(急傾斜からの直接流出及び強制排水を除いたもの)となっています(満本他 2000)。

表-6.7.2.1.13 裸地からの排出水の SS 濃度

測定数	21 (16)
幾何平均値 (mg/L)	3,610 (2,500)
中央値 (mg/L)	2,160 (1,650)
最大値 (mg/L)	61,700 (15,900)
最小値 (mg/L)	295 (295)
信頼区間上限値 (95%)	30,600 (8,170)
信頼区間下限値 (95%)	594 (574)

注) 1993年7月から2000年3月までで各種開発事業や農地等の事業現場において、①赤土防止対策が全くみられず(無対策)裸地状態の事業現場から工区外へ排出された濁水②防止対策は設置されているが設置や管理等が不十分で無対策なみの流出があるもの、について土壌等ごとに SS 濃度を統計処理した結果。なお、カッコ内は急傾斜からの直接流出及び強制排水を除いたものです。

(資料)

満本他(2000). 流出源濁水の SS 濃度について. 沖縄県衛生環境研究所報 ; 34, pp. 125-127.

また、試験施工した造成面において、平面裸地及び法面裸地から流出する濁水の最大 SS 濃度値は表-6.7.2.1.14に示すとおり、平面裸地で 4,500mg/L、法面裸地で 16,000mg/L となっています(原田 1996)。

(資料)

原田昌光(1996). 赤土等流出防止対策の試験施工について. 沖縄地盤工学研究発表会講演概要集;9.

表-6.7.2.1.14 試験施工区での流出 SS 濃度

単位：mg/L

観測日時	平面裸地（土砂流出防止柵の措置なし）	法面被覆工の裸地面の無処理時	備考
6.7 17:50	1,920	16,000	最大時間雨量45.7mm
6.7 21:50	4,400	6,000	
6.8 08:00	1,360	—	
6.10 15:40	990	890	
6.15 21:10	4,500	6,900	
6.28 15:15	480	1,100	
6.28 21:00	3,200	12,000	
7.22 09:40	1,000	1,100	
8.22 01:00	2,500	7,400	
9.22 15:00	2,900	1,300	
9.23 09:30	220	3,400	
9.25 10:00	1,900	4,900	最大日雨量124.7mm
9.29 06:30	2,400	4,000	
2.24 22:00	489	200	
2.27 00:00	1,345	3,900	
3.20 09:00	1,058	1,900	
3.21 06:30	1,210	2,300	
平均	1,746	4,580	

注) 一定期間中(平成6年9月1日～平成8年3月31日)の降雨時に、約4,300m²の試験地(名護市辺野古)を造成し、試験施工の裸地表流水のSS濃度について、採水観測を行った。なお試験期間中の降雨状況については表-6.7.2.1.15に示すとおり最大時間雨量45.7mm、最大日雨量124.4mm、連続雨量208.8mmと降雨強度、連続雨量とともに、大きな雨を経験しています。

(資料)

原田昌光(1996)．赤土等流出防止対策の試験施工について．沖縄地盤工学研究発表会講演概要集;9, pp. 63-64.

表-6.7.2.1.15 試験期間中の降雨状況

総雨量	2,805.9mm	H6.9.1～H8.3.31
最大10分間雨量	14.8mm	H8.6.7 (21:50)
最大時間雨量	45.7mm	H7.6.7 (21:00)
最大2時間雨量	81.6mm	H7.9.25 (09:00～10:00)
最大日雨量	124.4mm	H7.9.25
最大連続雨量	208.8mm	H7.9.20～26

(資料)

原田昌光(1996)．赤土等流出防止対策の試験施工について．沖縄地盤工学研究発表会講演概要集;9, pp. 63-64.

以上のことから裸地面から発生する濁水のSS濃度は、安全側に考慮し、最大で16,000mg/L程度となるものと考えます。

b) 表土保護工による濁水除去率

表土保護工の一つである締固めの事例より濁水除去率の程度を整理して以下に示しました。

締固め等による濁水除去率は、無処理の場合と比較して土砂流出量で1/18とされています(沖縄総合事務局 2001)。その他、降雨実験においてブルドーザ転圧による締固め(一般的な締固め工)を行った場合、表-6.7.2.1.16に示すとおり無処理と比較して54~65%という結果が示されています(矢作川環境技術研究会 1994)。

以上のことから、表土保護工(締固め等)を施した法面における濁水除去率は安全側を考慮し締固め地で50%であると考えます。

表-6.7.2.1.16 締固め工試験結果

単位：m³

降雨時間	1h	2h	4h	8h	10h
無処理 ^{注1)}	0.7	4.9	13.4	30.3	38.7
ケース1 ^{注2)}	0.3	1.7	5.7	13.8	17.8
ケース2 ^{注3)}	0.1	0.3	0.8	1.7	2.1
ケース1の減少率(%)	57	65	57	54	54
ケース2の減少率(%)	86	94	94	94	95

注1):ほぐしたままの法面

注2):ブルドーザーで転圧した法面

注3):ローラー転圧後、土羽バケットで整形した法面

注4):平面積1m²、盛土勾配1:1.8に20mm/h相当の水をジョウロにて散水。

試料はマサ土、含水比11.0%、法尻にトレイを設置し20分毎に採取。乾燥重量を測定。

(資料)

沖縄総合事務局開発建設部(2001). 技術者のための赤土等対策入門書. 沖縄総合事務局開発建設部赤土等流出防止対策検討会.

矢作川環境技術研究会(1994). 濁水に挑む. 矢作川環境技術研究会.

c) 施工区域から流出する濁水のSS濃度

前記「a) 裸地面から発生する濁水のSS濃度」で記載したとおり、裸地面から発生する濁水のSS濃度は最大で16,000mg/L程度となるものと考えます。また、「b) 表土保護工による濁水除去率」から、締固めによる表土保護工では約50%の除去効果が見込まれることから、施工区域から放流される濁水のSS濃度は以下に示すとおり、発生濃度は8,000mg/L程度となるものと考えます。

【施工区域から流出する濁水のSS濃度】

$$\text{締固め地} : 16,000 \text{ mg/L} \times (1-0.5) = 8,000 \text{ mg/L}$$

d) 凝集沈殿による効果

凝集沈殿による濁水の処理効果については、事業実施区域における改変区域内の現地土壌を用いて、粒度試験（粒度組成）及び沈降速度試験、並びに凝集沈降試験を実施し、これを踏まえ凝集沈殿による効果について検討しました。また、濁水処理プラントにおける滞留時間について確認しました。

(ア) 粒度試験（粒度組成）及び沈降速度試験

事業実施区域における改変区域内の現地土壌の粒度試験結果（粒度組成）は表-6.7.2.1.17に示すとおりです。埋立土砂発生区域は礫分が14.5%と少なく、砂分が45.4%、粘土分（シルト、粘土）が40.1%となっており、砂分が大半を占めていました。空港島内切土は礫分が10.8%と少なく、砂分が32.2%、粘土分（シルト、粘土）が57.0%となっており、粘土分が大半を占めていました。沈降速度試験結果は表-6.7.2.1.18に示すとおりです。SS初期濃度の減少率は約80%に達するのに30分～1時間を要し、24時間では約90%となり上澄みのSS濃度は200mg/L程度まで減少していました。

表-6.7.2.1.17 粒度組成

区分(粒径)			調査地点			
			埋立土砂発生区域		空港島内切土	
礫	粗礫	(19~75mm)	2.4	14.5	0.0	10.8
	中礫	(4.75~19mm)	4.6		4.0	
	細礫	(2~4.75mm)	7.5		6.8	
砂	粗砂	(0.850~2mm)	9.6	45.4	9.6	32.2
	中砂	(0.250~0.850mm)	19.0		9.3	
	細砂	(0.075~0.250mm)	16.8		13.3	
粘土	シルト	(0.005~0.075mm)	15.1	40.1	19.0	57.0
	粘土	(0.005mm以下)	25.0		38.0	

表-6.7.2.1.18 沈降速度試験結果

時間	埋立土砂発生区域					空港島内切土				
	沈降速度 (m/h)	SS濃度 (mg/L)	減少率 (%)	初期濃度 重量比	過積重量 百分率(%)	沈降速度 (m/h)	SS濃度 (mg/L)	減少率 (%)	初期濃度 重量比	過積重量 百分率(%)
初期濃度	—	2,192	—	—	100.00	—	2,082	—	—	100.00
30秒	48	1,936	11.7	0.117	92.70	48	1,968	5.5	0.055	92.17
1分	23.62	1,532	30.1	0.184	81.02	23.62	1,964	5.7	0.002	86.70
2分	11.62	1,510	31.1	0.010	62.59	11.62	1,430	31.3	0.256	86.50
5分	4.570	1,146	47.7	0.166	61.59	4.570	1,056	49.3	0.180	60.85
15分	1.498	660	69.9	0.222	44.98	1.498	660	68.3	0.190	42.89
30分	0.736	556	74.6	0.047	22.81	0.736	496	76.2	0.079	23.87
1時間	0.362	452	79.4	0.047	18.07	0.362	400	80.8	0.046	15.99
4時間	0.089	320	85.4	0.060	13.32	0.089	316	84.8	0.040	11.38
24時間	0.015	200	90.9	0.055	7.30	0.015	204	90.2	0.054	7.35
48時間	0.007	160	92.7	0.018	1.82	0.007	163	92.2	0.020	1.97

(イ) 凝集沈降試験

ア) 改変区域内の現地土壌を用いた凝集沈降試験

凝集沈降試験は、改変区域内の現地土壌を用いた濁水試料に対して凝集剤の添加量を変えた凝集沈殿の室内実験を行いました。前記、「b) 表土保護工による濁水除去率」等で検討した、裸地面及び締固め地から発生する濁水を想定し試料の SS 濃度を設定しました。試験は、SS 濃度 2,000~20,000mg/L の試料 1,000mL に、無機凝集剤を加えた場合と無機凝集剤+高分子凝集剤を加えた場合について行いました。実験フローは図-6.7.2.1.13に示すとおりです。試験結果は、表-6.7.2.1.19、表-6.7.2.1.20に示すとおりです。前記、「c) 施工区域から流出する濁水の SS 濃度」で設定した、締固め地から発生する濁水の SS 濃度 (8,000mg/L) と同程度の SS 濃度 10,000mg/L についての結果は、無機凝集剤の場合の埋立土砂発生区域は最適添加量 2mL、pH6.7、上澄み液の SS 濃度 11.0mg/L となり、空港島内切土は最適添加量 2mL、pH7.1、上澄み液の SS 濃度 3.0mg/L となりました。

無機凝集剤+高分子凝集剤の場合の埋立土砂発生区域は最適添加量 0.2mL、pH6.8、上澄み液の SS 濃度 10.0mg/L となり、空港島内切土は最適添加量 0.2mL、pH7.1、上澄み液の SS 濃度 2.0mg/L となりました。

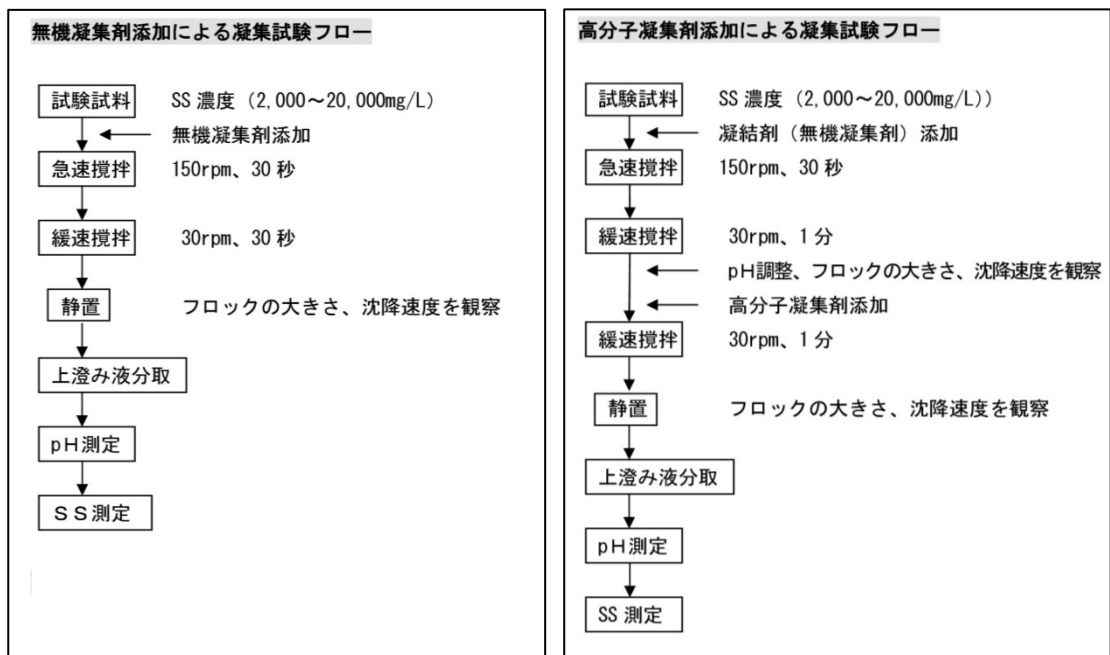


図-6.7.2.1.13 凝集試験フロー

表-6.7.2.1.19 凝集試験結果 (無機凝集剤(A))

無機凝集剤(A)による凝集試験結果

採取地点	埋立土砂発生区域												空港島内切土																							
	2,000 mg/L				5,000 mg/L				10,000 mg/L				20,000 mg/L				2,000 mg/L				5,000 mg/L				10,000 mg/L				20,000 mg/L							
	1	2	3	6	8	1	2	3	6	8	1	2	3	6	8	1	2	3	6	8	1	2	3	6	8	1	2	3	6	8	1	2	3	6	8	1
初期濃度 (mg/L)	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05
無機凝集剤(A)添加量 (mL)	小	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速
フロック	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅
沈降速度	7.0	7.0	6.9	6.8	6.9	6.8	6.9	6.8	6.8	6.8	6.9	6.8	6.7	6.6	6.4	6.4	6.4	6.4	6.6	6.7	6.6	6.5	6.4	6.4	6.4	6.4	6.6	6.7	6.6	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.6	6.7
pH	7.1	7.1	7.1	7.4	7.0	7.1	6.6	6.7	6.6	6.7	6.6	6.5	6.4	6.4	6.4	6.4	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3	7.1	7.1	7.1	7.1	7.3	7.2	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.9	6.8	6.8	6.8
SS (mg/L)	15	16	18	14	15	13	16	21	15	27	10	11	9	9	11	16	12	14	17	4	12	9	14	20	30	20	18	7	3	14	5	7	11	8	12	10

：各調水試料に対する凝集剤の最適添加量における試験結果です。

表-6.7.2.1.20 凝集試験結果 (無機凝集剤(B) + 高分子凝集剤)

無機凝集剤(B) + 高分子凝集剤による凝集試験結果

採取地点	埋立土砂発生区域												空港島内切土																											
	2,000 mg/L				5,000 mg/L				10,000 mg/L				20,000 mg/L				2,000 mg/L				5,000 mg/L				10,000 mg/L				20,000 mg/L											
	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5 <th>0.05</th> <th>0.1</th> <th>0.2</th> <th>0.4</th> <th>0.5</th> <th>0.05</th> <th>0.1</th> <th>0.2</th> <th>0.4</th> <th>0.5</th> <th>0.05</th> <th>0.1</th> <th>0.2</th> <th>0.4</th> <th>0.5</th> <th>0.05</th>	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.05				
初期濃度 (mg/L)	0.5	1.3	1.3	1.3	0.5	1.3	1.3	1.3	0.5	1.3	1.3	1.3	0.5	1.3	1.3	1.3	0.5	1.3	1.3	1.3	0.5	1.3	1.3	1.3	0.5	1.3	1.3	1.3	0.5	1.3	1.3	1.3	0.5	1.3	1.3	1.3				
無機凝集剤(B)添加量 (mL)	小	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速	遅	中	大	速				
フロック	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅	遅				
沈降速度	7.0	7.0	6.9	6.8	6.8	6.9	6.8	6.8	6.9	6.8	6.8	6.8	7.0	7.0	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.9	6.8	6.8	6.8	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
pH	10	9	6	5	6	14	13	10	6	5	13	11	10	10	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SS (mg/L)	10	9	6	5	6	14	13	10	6	5	13	11	10	10	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

：各調水試料に対する凝集剤の最適添加量における試験結果です。

イ) 凝集剤メーカーが実施した試験結果

凝集剤メーカーが実施した試験結果によると、試料の原水濃度を2,000mg/Lとして凝集沈殿による効果を調べたところ、図-6.7.2.1.14に示すように1時間後にはSS25mg/L以下に減少することが示されています。

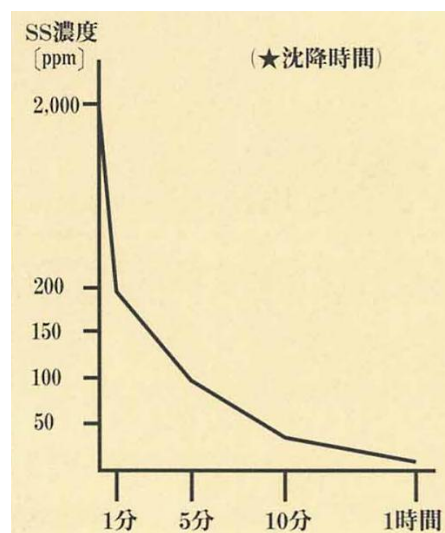


図-6.7.2.1.14 凝集剤添加後（無機凝集剤）の沈降時間とSS濃度

ロ) 凝集剤の安全性

本赤土等流出防止対策の濁水処理に使用する凝集剤については、無機凝集剤はポリ塩化アルミニウム (PAC) を、高分子凝集剤はアニオン性等を想定しています。凝集沈降試験に用いた凝集剤の成分は以下のとおりです。

- ・無機凝集剤(A)：酸化カルシウム、酸化アルミニウム
- ・無機凝集剤(B)：酸化アルミニウム、硫酸イオン
- ・高分子凝集剤：ポリアクリルアミド系（アニオン性）

上記の凝集剤は、県内で多くの採用事例があり、メーカーによる分析試験及び魚類による急性毒性試験結果より、人体及び環境に影響を及ぼすような有害な成分は含まれていないことが確認されています。よって、使用に伴う処理水放流先の下流域への影響はないものと考えております。

ウ) 凝集沈降速度及びフロックの粒径分布

エ) 凝集沈降速度

前項(イ)のア)で求めた最適添加量の凝集剤を添加しフロックを生成させた後、静置後、生成したフロックが沈降する時間を測定し、沈降速度 (m/s) を求め、表-6.7.2.1.21及び表-6.7.2.1.22に示しました。各濃度の濁水試料に、無機凝集剤の最適添加量を加えた時のフロックの沈降速度は、埋立土砂発生区域で0.0013~0.0020 (m/s)、空港島内切土で沈降速度が0.0013~0.0019 (m/s) でした。一方、高分子凝集剤の最適添加量を加えた時のフロックの沈降速度は、埋立土砂発生区域で0.0022~0.0025 (m/s)、空港島内切土で沈降速度が0.0022~0.0024 (m/s) でした。

表-6.7.2.1.21 凝集沈降速度（無機凝集剤）

凝集剤種類	試料濃度		2,000mg/L	5,000mg/L	10,000mg/L	20,000mg/L	範囲
	試料名		15cm(0.15m)の距離を沈降する時間（秒）				
無機凝集剤	埋立土砂発生区域		113	109	85	76	76～113
	沈降速度（m/s）		0.0013	0.0014	0.0018	0.0020	0.0013～0.0020
	空港島内切土		110	115	90	80	80～115
	沈降速度（m/s）		0.0014	0.0013	0.0017	0.0019	0.0013～0.0019

表-6.7.2.1.22 凝集沈降速度（無機凝集剤 + 高分子凝集剤）

凝集剤種類	試料濃度		2,000mg/L	5,000mg/L	10,000mg/L	20,000mg/L	範囲
	試料名		15cm(0.15m)の距離を沈降する時間（秒）				
無機凝集剤 + 高分子凝集剤	埋立土砂発生区域		65	69	65	60	60～69
	沈降速度（m/s）		0.0023	0.0022	0.0023	0.0025	0.0022～0.0025
	空港島内切土		67	68	62	67	62～68
	沈降速度（m/s）		0.0022	0.0022	0.0024	0.0022	0.0022～0.0024

カ) フロックの粒径分布

凝集剤添加後の生成フロックの粒径状況を目視観察にて行い、表-6.7.2.1.23及び表-6.7.2.1.24に示しました。観察結果より、無機凝集剤添加後のフロックの粒径は、2.0mm～2.5mm、高分子凝集剤添加後のフロックの粒径は、3.0mm～5.0mmでした。

表-6.7.2.1.23 フロックの粒径分布（無機凝集剤）

凝集剤種類	試料濃度		2,000mg/L	5,000mg/L	10,000mg/L	20,000mg/L	範囲
	試料名		最適添加後のフロックの粒径（mm）				
無機凝集剤	埋立土砂発生区域		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0mm
	空港島内切土		2.0	2.5	2.5	2.0	2.0～2.5mm

表-6.7.2.1.24 フロックの粒径分布（無機凝集剤 + 高分子凝集剤）

凝集剤種類	試料濃度		2,000mg/L	5,000mg/L	10,000mg/L	20,000mg/L	範囲
	試料名		最適添加後のフロックの粒径（mm）				
無機凝集剤 + 高分子凝集剤	埋立土砂発生区域		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0mm
	空港島内切土		5.0	5.0	5.0	3.0	3.0～5.0mm

(エ) 濁水処理プラントにおける滞留時間

カ) プラントの容積・構造・処理能力

本赤土等流出防止対策における濁水処理プラントは、「ダム建設工事における濁水処理(財)日本ダム協会」、「赤土等流出防止対策技術指針(案)沖縄県土木建築部」等を参考に容積・構造・処理能力を決定し、設計製造されたものを設置することとしています。県内の大規模な開発行為・土木工事等で多くの採用事例がある濁水処理システムフロー図(例:100m³/hr 級)を示しました。沈殿槽は処理能力 50m³/hr の設備を用い、各施工地区の濁水処理量に応じて、必要な数を設置します。

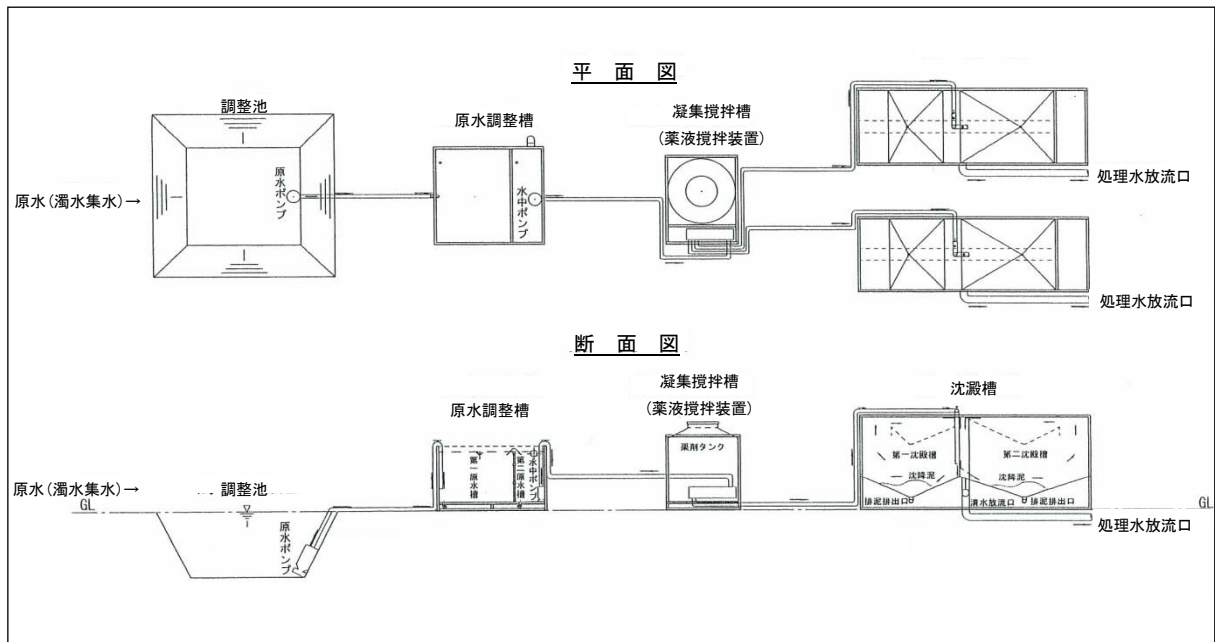


図-6.7.2.1.15 濁水処理システムフロー図(例:100m³/hr 級)

キ) 沈降速度によるプラント処理能力の確認

処理能力 50m³/hr の濁水処理プラントについて、沈降速度による処理能力の確認を行いました。

(i) 原水調整槽 (貯水容量 : 5.8m³)

原水調整槽では、濁水中に含まれている粒径の大きな礫等(粒径 2.0mm 以上、ストークス式より沈降速度は 0.004m/s) を自然沈降させます。表-6.7.2.1.17 に示した改変区域内の現地土壌の粒度組成より、礫分は 10.8~14.5%となっています。

1. 滞留時間

濁水流入量が 50m³/hr の場合、原水調整槽の滞留時間は約 7 分になります。

$$\text{滞留時間} : T = (5.8\text{m}^3) / (50\text{m}^3/\text{hr}) = 0.116 \cdots \cdots 6 \text{分} 58 \text{秒}$$

2. 沈降到達深さ

原水調整槽の滞留時間内に、礫が到達する沈降深さ(L)は、約 1.67m になります。

$$\text{礫質} : L = 6 \text{分} 58 \text{秒} \times 0.004\text{m/s} \cdots \cdots \text{約} 1.67\text{m}$$

3. 処理能力の確認

D: 原水調整槽の貯留深さ(水深) = 1.17m

L: 礫が滞留時間内に沈降する深さ = 1.67m

D < L であることから、原水調整槽で礫質が沈降することが確認できます。

表-6.7.2.1.25 原水調整槽の仕様

容 量 (m ³)			水深 (m)	滞 留 時 間			滞留時間内における 礫質の沈降到達深さ
第1槽	第2槽	合計		第1槽	第2槽	合計	
4.1	1.6	5.8	1.17	4分58秒	1分57秒	6分58秒	1.67m

※原水調整槽では礫質が沈降しますが、SS成分は殆ど沈降しません。

(ii)凝集沈殿槽(貯水容量：12.1m³)

凝集沈殿槽は、凝集沈降剤を用いて微細な懸濁浮遊物質を沈降させます。

凝集沈降剤の添加により、微細な粒子が目視できる大きさ(フロック)になります。表-6.7.2.1.23及び表-6.7.2.1.24に示したフロックの粒径分布より、無機凝集剤添加後のフロックの粒径は2.0mm～2.5mm、高分子凝集剤添加後のフロックの粒径は3.0mm～5.0mmであることから、安全側を考慮して粒径2.0mm(沈降速度は0.004m/s)で滞留時間を確認しました。

1. 滞留時間

濁水流入量が50m³/hrの場合、凝集沈殿槽の滞留時間は約14分30秒になります。

$$\text{滞留時間} : T = (12.1\text{m}^3) / (50\text{m}^3/\text{hr}) = 0.242\cdots\cdots 14\text{分}31\text{秒}$$

※「機械設備工事共通仕様書・ダム施工機械(独行法)水資源機構」で、プラントの滞留時間は10～20分間と記載されており、この事項に合致した仕様となっています。

2. 沈降到達深さ

凝集沈殿槽の滞留時間内に、フロックが到達する沈降深さ(L)は、約3.48mになります。

$$\text{フロック} : L = 14\text{分}31\text{秒} \times 0.004\text{m/s} \cdots \cdots \text{約}3.48\text{m}$$

3. 処理能力の確認

D: 凝集沈殿槽の貯留深さ(水深) = 1.34～1.80m

L: フロックが滞留時間内に沈降する深さ = 3.48m

D < Lであることから、凝集沈殿槽でフロックが沈降することが確認できます。

表-6.7.2.1.26 凝集沈殿槽の仕様

容 量 (m ³)			水深 (m)	滞 留 時 間			滞留時間内における フロックの沈降到達深さ
第1槽	第2槽	合計		第1槽	第2槽	合計	
5.5	6.6	12.1	1.3～1.8	6分36秒	7分55秒	14分31秒	3.48m

(オ) 凝集沈殿による効果

本事業における工事中の赤土等流出防止計画では、降雨に伴い施工区域の表土面（裸地等）から発生する濁水は放流前に調整池で貯留しつつ、濁水処理プラントでSS25mg/L以下に処理を行い、処理水として河川に放流することとしています。

表-6.7.2.1.18に示した沈降速度試験結果より、SS 初期濃度の減少率は沈降試験開始5分後に約50%、約80%に達するのに30分～1時間、24時間では約90%となり上澄みのSS濃度は200mg/L程度まで減少していました。

また、凝集沈降試験における凝集沈降速度及びフロックの粒径分布（表-6.7.2.1.21～表-6.7.2.1.24参照）を踏まえ、濁水処理プラントにおける滞留時間を確認した結果、原水調整槽及び凝集沈殿槽で懸濁浮遊物質(SS)は沈降することが示されました。これを考慮すると凝集沈殿により濁水をSS25mg/L以下に減少させることができると考えます。

以上のことから、当該計画に伴う濁水処理対策では、最終的に事業実施区域内の施工箇所から発生した濁水は、凝集沈殿による処理を行うことでSS25mg/L以下で放流することは十分可能と予測しました。

(b) 放流先河川における水の濁りの程度

予測時期は、降雨後の河川の SS 濃度が清浄な場合に処理水を下流河川に放流した場合及び降雨時における河川の SS 濃度が高い時期に放流した場合の 2 通りについて検討しました。

美謝川等における SS 濃度の現地調査結果の概要を表-6.7.2.1.27に示し、SS 混合濃度の検討結果を表-6.7.2.1.28に示しました。

埋立土砂発生区域における土砂の採取の工程は、美謝川の切替え後に辺野古ダム左岸側の A ブロックから着手し、上流方向へ施工を進めていきます。途中、右岸側の B ブロック、次いで C ブロックと同様に上流方向へ施工を進め、最終的に同時期に施工を終了します。A ブロックからの濁水処理水は切替え後の美謝川へ放流することから、予測地点 St. a の濁水処理量は $0.194\text{m}^3/\text{s}$ ($700\text{m}^3/\text{h}$) としました。また、現況濃度として、既存の美謝川の値(平常時及び降雨時)を設定しました。B ブロック及び C ブロックからの濁水処理水は、地上配管にて既設辺野古ダムの洪水吐きへ送水し、洪水吐きを利用して既存の美謝川へ放流することから、予測地点 St. b の濁水処理量は $0.056\text{m}^3/\text{s}$ ($200\text{m}^3/\text{h}$) としました。なお、現況濃度は既存の美謝川の値(平常時及び降雨時)を設定しました。また、現況の流量については、既存の美謝川は切替え後であり上流ダム湖からの放流がないことから、ダムより下流の既存の美謝川流域の面積($345,000\text{m}^2$)、雨量(辺野古の平成 19 年及び平成 20 年の総雨量、日最大雨量)、流出係数(現存植生図を基に設定)より算定した雨水流出量を設定しました。

工事中仮設道路の工事の工程は、A 区間(A-①区域、A-②区域、A-③区域、A-④区域)及び C 区間の一部(C 区域)を同時に施工します。濁水処理水は各区域から周辺河川へ放流することから、予測地点 St. c の濁水処理量は放流量の合計 $0.063\text{m}^3/\text{s}$ ($225\text{m}^3/\text{h}$) としました。なお、A-④区域からの処理水は河口付近へ放流するので合計量に含んでいません。なお、現況の降雨後の値は周辺の既存の美謝川の平常時の値を設定しました。

既存の美謝川の切替え工事は、3 段階(phase1～phase3)に分けて行い、開水路新設、暗渠新設、洪水吐新設の各区間で分割して施工を行います。予測地点 St. d における濁水処理量は、美謝川の切替え工事の放流量合計が最大となる Phase-2 の $0.011\text{m}^3/\text{s}$ ($40\text{m}^3/\text{h}$) としました。なお、現況の降雨後の値は周辺の既存の美謝川の平常時の値を設定しました。

各予測地点における降雨後の SS 混合濃度は $\text{SS}25\text{mg/L}$ 以下となります。降雨時の SS 混合濃度は、St. a 及び St. b は現況の降雨時の河川水質と同程度で $\text{SS}25\text{mg/L}$ 以下であり、著しい悪化は生じないと予測しました。St. c 及び St. d の降雨時の現況河川は $\text{SS}25\text{mg/L}$ 以上 ($90\sim104\text{mg/L}$) であり、SS 混合濃度は現況の降雨時の河川水質より悪化しないと予測しました。

表-6.7.2.1.27 現況河川のSS濃度（濁りの状況）

現地調査の地点名	時期	調査結果		備考
		SS(mg/l)	流量(m ³ /s)	
RW-6	平常時	7(1~19)	0.022(0.015~0.028)	辺野古川
	降雨時	18(11~30)	0.115(0.050~0.198)	
RW-7	平常時	1(<1~2)	0.036(0.001~0.068)	美謝川
	降雨時	15(10~23)	0.198(0.063~0.450)	
RW-22	降雨時	43(16~90)	0.080(0.009~0.120)	工事中仮設道路付近
RW-23	降雨時	53(9~104)	0.219(0.028~0.588)	切替え後の美謝川付近

注)表中の値は、全調査時期の平均値(最小値~最大値)を示しています。

表-6.7.2.1.28 河川のSS濃度の予測結果

工事名	区域	予測地点	時期	現況の河川		濁水処理施設からの排水		混合濃度(mg/L)	備考(放流先)
				SS濃度(mg/L)	流量(m ³ /s)	SS濃度(mg/L)	流量(m ³ /s)		
埋立土砂発生区域	Aブロック	St. a	降雨後	1	0.001	25	0.194	24.9	切替え後の美謝川
			降雨時	23	0.450			23.6	
	Bブロック及びCブロック	St. b	降雨後	1	0.005		0.056	23.0	美謝川
			降雨時	23	0.164			23.5	
工事中仮設道路	A-①~A-④区域及びC区域	St. c	降雨後	1	0.001		0.063	24.6	周辺河川
			降雨時	90	0.120			67.7	
美謝川の切替え	Phase2	St. d	降雨後	1	0.001		0.011	23.0	周辺河川
			降雨時	104	0.588			102.5	

注) 1. St. a の現況濃度及び流量は、既存の美謝川の値(平常時及び降雨時)を設定しました。

2. St. b の現況濃度は、既存の美謝川の値(平常時及び降雨時)を設定しました。また、現況の流量については、既存の美謝川は切替え後であり上流ダム湖からの放流がないことから、ダムより下流の既存の美謝川流域の面積(345,000m²)、雨量(辺野古の平成19年及び平成20年の総雨量、日最大雨量)、流出係数(現存植生図を基に設定)より算定した雨水流出量を設定しました。

3. St. c、St. d の現況濃度及び流量(降雨後)は、既存の美謝川の値(平常時)を設定しました。

(c) 放流先河川の赤土等の堆積の状況

a) 事業実施区域からの影響

降雨に伴い発生する濁水は、放流前に調整池に貯留しつつ、凝集沈殿方式の濁水処理プラントで SS25mg/L 以下に処理し、各改変区域の施工区から処理水として河川に放流することとしています。

処理水の放流先河川における赤土等の堆積による影響について、以下に示すようにストークスの式に SS25mg/L 以下の濁水に含まれる SS 分の粒子の粒径をあてはめ定性的に予測しました。

(ア) 処理水の赤土等の粒径

処理水の赤土等の粒径は、SS25mg/L 以下の濁水処理水を用いて、室内実験を行い把握しました。

試験試料には、沖縄島北部の赤土（国頭マージ）を用い、現場の処理水の状態に近づけるために、水に懸濁させて濁水を攪拌・静置した後、測定により SS25mg/L 以下となる濁水処理水を作成しました。SS25mg/L 以下の濁水処理水について、コールタカウンタ法により SS 分の粒子の粒径分布を測定しました。

SS 分の粒子の粒径分布の測定結果は図-6.7.2.1.16に示すとおりで、大部分がシルト分（粒径 0.005mm 以上 0.075mm 未満）と粘土分（粒径 0.005mm 未満）であり、中央粒径は約 0.0041mm ($4.1\mu\text{m}$) となりました。

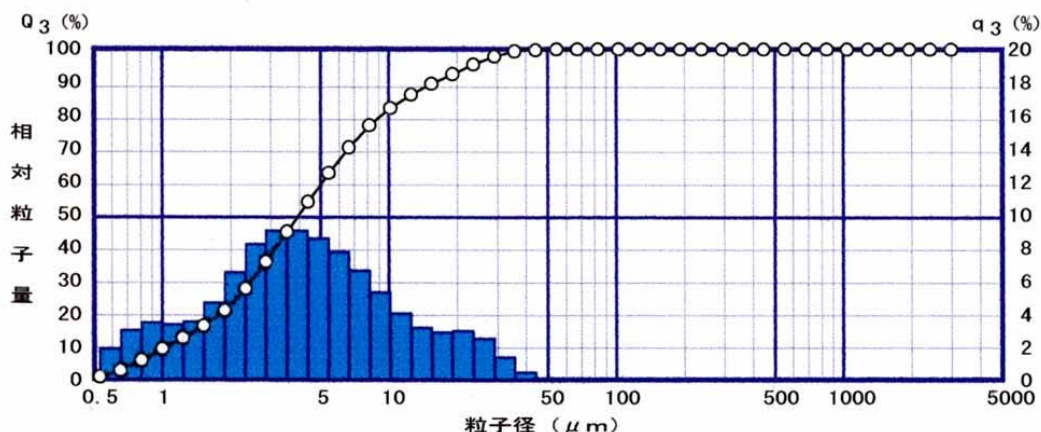


図-6.7.2.1.16 SS 分の粒子の粒径分布曲線

(イ) 処理水の赤土等の堆積による影響

前記の室内実験より得られた SS25mg/L 以下の処理水に含まれる SS 分の粒子の粒径 (0.0041mm) 及び表-6.7.2.1.29に示す計算条件をストークスの式にあてはめた場合、沈降速度は $6.3 \times 10^{-5}\text{m/s}$ となります。

以上を踏まえると、処理水に含まれる赤土等の SS 分は静置下においても容

易には沈降しないと考えられ、また、放流先河川の流水は勾配を伴って流下していることを考慮すると、処理水が各放流先で流水と混合した場合でも、処理水中の赤土等のSS分は沈降しないまま流下し、放流先河川で堆積しないと予測しました。

【ストークスの式】

$$V = \frac{1}{18} \cdot \frac{g(\rho_s - \rho)}{\mu} \cdot d^2$$

- V : 沈降速度 (cm/s)
 ρ_s : 土砂の比重 (g/cm³)
 ρ : 水の比重 (g/cm³)
 g : 重力加速度 (cm/s²)
 μ : 粘性係数 (poise)
 d : 土粒子直径 (cm)

表-6.7.2.1.29 沈降速度の計算条件

項目	計算条件	備考
d : 粒子の直径	4.1×10^{-6} m (0.0041mm)	実験結果より
ρ_s : 粒子の密度	2.650 g/cm ³	沖積世粘土の測定事例※
ρ : 水の密度	1.0 g/cm ³	—
g : 重力加速度	980 cm/s ²	—
η : 水の粘度	0.0089 poise	25℃の値

※粒子の密度は、「土質試験の方法と解説（土質工学会）」平成2年3月より引用

6.7.2.2 工事の実施（海域）

(1) 予測の概要

1) 工事に伴い発生する海域での水の濁り及び堆積

工事に伴い発生する海域での水の濁り及び堆積の予測の概要は表- 6.7.2.2.1 に示すとおり、工事の実施に伴う土砂による水の濁りの拡散及び堆積の状況を予測しました。

予測においては、各影響要因による環境影響が最大となる時期を予測時期とし、海上工事に伴い発生する水の濁り及び堆積は、平常時（夏季及び冬季の平均的な条件とし、降雨による河川流量の増加、陸上工事に伴い発生する水の濁り等はない状態）としています。

また、陸上工事に伴い発生する水の濁り及び堆積は、降雨時（夏季及び冬季において、降雨に伴う河川や陸上工事に伴う負荷の海域への流入がある状態）としています。

2) 河川からの濁水の拡散の変化及び堆積

河川からの濁水の拡散の変化及び堆積の予測の概要は表-6.7.2.2.2に示すとおり、辺野古地先水面作業ヤードの設置工事に伴う辺野古川からの濁水の拡散の変化及び堆積の状況や、美謝川の切替え工事による河川位置の変化による濁水の拡散の変化及び堆積の状況を予測しました。

なお、河川からの濁水の変化及び堆積は、降雨時（夏季及び冬季において、降雨に伴う河川や陸上工事に伴う負荷の海域への流入がある状態）としています。

3) 工事による水の濁り及び河川からの濁水の拡散等の複合的影響

海上及び陸上工事に伴い発生する水の濁り及び堆積は、1)及び2)に示したように個々の影響要因の予測評価を行います。降雨時の作業中止は前提としていません。なお、工事の施工場所周辺での注意報や警報が発令された場合などは、現場の状況により作業の中止の判断が行われることとなります。

このように、海上及び陸上工事、河川からの濁水の拡散について、各要因の複合的な影響が考えられるため、その影響要因が複合した条件下における土砂による水の濁りの拡散及び堆積の状況を予測しました。

表- 6.7.2.2.1 土砂による水の濁り予測の概要（工事中、海域）

項目	内容	
予測項目	工事に伴い発生する水の濁りの寄与濃度及び堆積状況	
	海上工事に伴い発生する水の濁り	陸上工事に伴い発生する水の濁り
影響要因	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸の工事 代替施設本体の護岸工事 辺野古地先水面作業ヤードの工事 海上ヤードの工事 ・埋立ての工事 代替施設本体の埋立工事 ・造成等の施工による一時的な影響 進入灯(燃料棧橋を含む)の工事 	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸の工事 工事用仮設道路の工事 ・埋立ての工事 埋立土砂発生区域における土砂の採取 工事用仮設道路の工事 美謝川の切替え工事 ・造成等の施工による一時的な影響 代替施設本体における造成等の施工
予測地域	事業実施区域周辺海域	
予測地点	事業実施区域周辺海域	
予測対象時期	<p>平常時</p> <p>護岸及び埋立ての工事による水の濁りに係る環境影響が最大となる時期、及び造成等の施工に伴う土砂による水の濁りに係る環境影響が最大となる時期としました。</p>	<p>降雨時</p> <p>降雨時については、飛行場施設の造成中及び陸域の造成に伴い発生する濁水を周辺河川及び海域に排水する時期としました。</p>
予測方法	土砂による水の濁りの拡散及び堆積の状況を、浮遊物質の収支に関する数値シミュレーションにより予測しました。予測には濁水の拡散状況と堆積状況が予測できる3次元モデル(多層モデル)を用いました。	

表-6.7.2.2.2 土砂による水の濁り予測の概要（工事中、河川からの濁水）

項目	内容
予測項目	河川からの濁水の寄与濃度及び堆積状況
影響要因	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸の工事 辺野古地先水面作業ヤードの工事 ・埋立ての工事 美謝川の切替え工事
予測地域	事業実施区域周辺海域
予測地点	辺野古川河口周辺、美謝川河口周辺
予測対象時期	<p>降雨時</p> <p>護岸の工事及び埋立ての工事により、降雨時の河川からの濁水の拡散の変化及び堆積に係る環境影響が最大となる時期としました。</p>
予測方法	土砂による水の濁りの拡散及び堆積の状況を、浮遊物質の収支に関する数値シミュレーションにより予測しました。予測には濁水の拡散状況と堆積状況が予測できる3次元モデル(多層モデル)を用いました。

(2) 予測方法

1) 工事に伴い発生する海域での水の濁り及び堆積

(a) 予測の前提

海上工事に伴い発生する水の濁り（平常時）の予測にあたっては、工事の施工計画に基づき、汚濁防止対策を実施し、護岸及び埋立ての工事、造成等の施工による一時的な影響による濁り発生負荷量を施工場所に投入することを予測の前提としました。

陸上工事に伴い発生する水の濁り（降雨時）の予測にあたっては、代替施設本体における造成等の施工においては、裸地面から流出する濁水を調整池により SS25mg/L 以下に処理したのち、海域に放流することを予測の前提としました。また、埋立土砂発生区域における土砂の採取、工事用仮設道路の工事及び美謝川の切替え工事においては、濁水処理プラントにより SS25mg/L 以下に処理を行った後に周辺河川（なお、基本的には辺野古ダムには放流しない計画としました）へ放流することを予測の前提としました。

(b) 予測手順

予測手順は、図-6.7.2.2.1に示すとおりであり、予測時期ごとに施工状況を勘案した流動場を計算し、濁りの拡散を予測しました。さらに、濁りの拡散予測結果から懸濁物質の海底への堆積状況を予測しました。

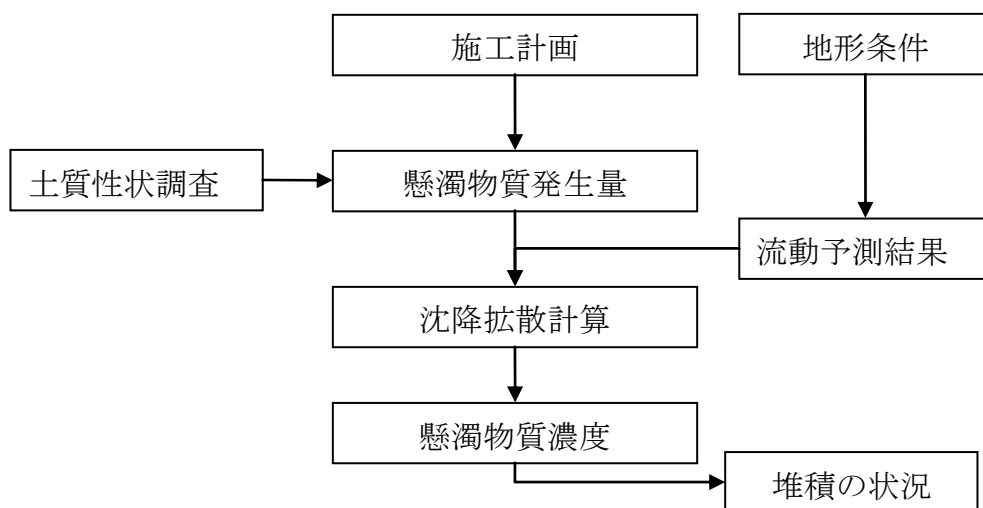


図-6.7.2.2.1 予測手順

(c) 予測モデル

a) 予測の考え方

水の濁り及び堆積の予測では、海上工事、陸上工事に伴う濁りと堆積、辺野古川や美謝川切替えによる濁水の拡散状況の変化について予測します。

工事や濁水等に含まれる微細な土砂による濁りは、海の流れによって移動する土粒子の移動（移流）と物質（濁り）の拡散が生じます。この時、濁りには、異なる粒径の粒子が存在し、それら土粒子自身が沈降をしていき、海底に堆積していきます。

上記の現象を表現するモデルとしては、以下に示す土砂の沈降過程を考慮した移流拡散方程式で予測する方法が一般的です。

予測結果に大きく影響を及ぼす条件は、濁り負荷量と土粒子の沈降速度が考えられます。それぞれの設定内容については、計算条件で詳細に記載しました。SS 発生負荷量の算定及び沈降速度の設定に際しては、環境により厳しい条件（言い換えれば、発生負荷量が多くなる条件、沈降速度が遅い条件）での予測を行うことを基本的な考え方として、計算条件を整理しています。また、堆積の予測では、環境により厳しい条件として沈降速度が速い条件の検討も行いました。

計算方法は、流動モデルで得られた周期的に定常な流れの場合（12 時間周期の流れ）を用いて、施工計画により推定した 1 日当たりの SS 発生負荷量を連続的に与え続け、濁りの負荷が海域で拡散していく様子を繰り返し計算し、水質の場が周期的に定常な状態になるまで計算を行います。この時の SS 発生負荷量が最大となる時期を予測対象時期として予測することで、可能な限り危険側の予測を行うこととしました。

b) 基本式

(ア) 水の濁り

濁り予測に用いる沈降拡散モデルは、拡散物質の沈降過程を含む移流拡散方程式により、次式で表されます。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + (w - W_s) \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) + q$$

上式の変数名については、以下に示すとおりです。

S	: SS 濃度 (mg/L)
x, y, z	: 右手系の直行座標系、上向きを正
u, v, w	: x, y, z 方向の流速 (cm/s)
t	: 時間 (s)
K_x, K_y	: 水平渦拡散係数 (cm ² /s)
K_z	: 鉛直渦拡散係数 (cm ² /s)

q : 負荷量 (g/s)
 W_s : 沈降速度 (cm/s)

(イ) 堆積

水の濁りの予測結果より、土砂による堆積厚を算出しました。堆積量から堆積厚への換算に使用するデータは、土粒子の密度、海水の密度、含水率です。堆積量及び堆積厚は以下に示す計算式から求めました。

$$\text{堆積量(g/cm}^2\text{)} = \sum_{i=1}^m \int_0^T W_s \cdot S_i \cdot dt$$

$$\text{堆積厚(cm)} = \text{堆積量(g/cm}^2\text{)} \times \left(\frac{1}{\rho_s} + \frac{1}{\rho_w} \frac{R_w}{1 - R_w} \right)$$

W_s : 沈降速度 (cm/s)
 S_i : 計算対象粒径の i 番目の粒径による SS 濃度 (mg/L)
 T : 積分時間 (T=24 時間)
 ρ_s : 土粒子の密度 (g/cm³)
 ρ_w : 海水の密度 (g/cm³)
 R_w : 含水率 (%)

シルト・粘土分の含水比については、「6.10 地形・地質」と同様に海域底質と含水比の関係から、シルト・粘土分 100%の含水比を 52%とし、この値から求められる含水率は 34.2%としました。土粒子の密度については 2.7 (g/cm³)、海水の密度は 1.02 (g/cm³) としました。

(d) 計算条件

a) 海水の流れ

流動計算にあたっては、「6.9 水象 6.9.2 予測」でモデルの妥当性の確認が行われたモデルを使用しました。地形条件については予測対象時期の工事進捗状況等を勘案して設定しました。

b) 海上工事に伴い発生する水の濁り（平常時）発生量

(ア) 濁り発生量の算定方法

濁り発生量の算定方法は、図-6.7.2.2.2に示す手順で求めました。

はじめに、施工計画から濁りの発生が考えられる工事（工種）を抽出し、現地流速を基に、濁りに寄与する汚濁限界粒子径（75 μm 以下）を設定しました。次に、工種別濁り発生原単位を算出し、施工量から濁り発生量を算出しました。

濁り物質の発生量は次式により算定しました。

$$\text{SS 発生量 (kg/日)} = W \times Q$$

$$W = W_0 \times R / R_0$$

W : 工事の施工に伴う SS 発生原単位 (kg/m³)

W₀ : SS の発生原単位 (kg/m³)

R : 現地流速における汚濁限界粒子の粒径加積百分率 (%)

R₀ : 原単位W₀を推定した時の土粒子(75 μ m 以下)の粒径加積百分率 (%)

Q : 施工量(m³/日)

工事による SS の発生原単位W及び算定に用いたW₀、R、R₀は、工種ごとに表-6.7.2.2.3に示すとおり設定しました。ここで、進入灯の工事については、鋼管杭打設が主体であり、濁りの発生要因となる工種ではないため、対象外としました。

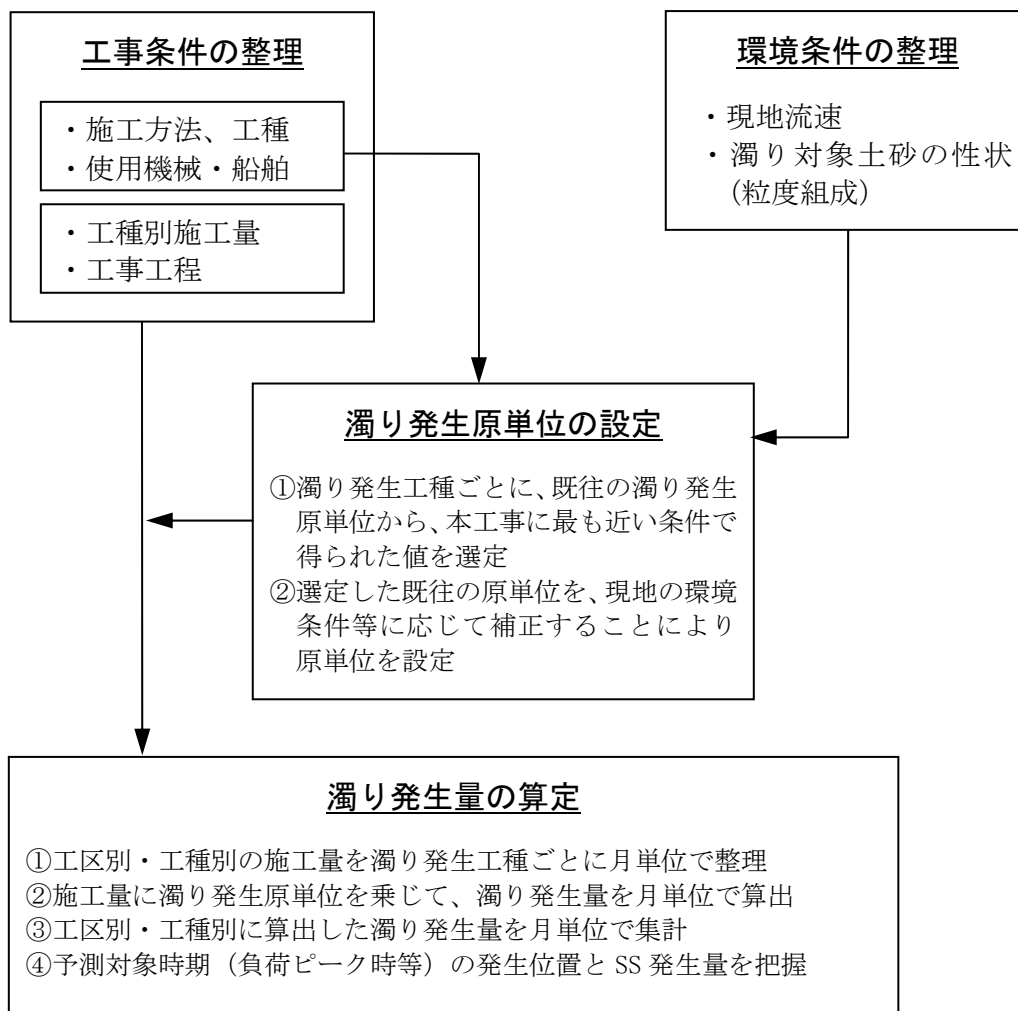


図-6.7.2.2.2 濁り発生量の算定手順

表-6.7.2.2.3 SS 発生原単位

工 種		発生原単位W ($\times 10^{-3}$ t/m ³)	汚濁限界粒子径の 粒径加積百分率 R (%)	発生原単位W ₀ ($\times 10^{-3}$ t/m ³)	W ₀ を推定した時の 土粒子の粒径加積 百分率R ₀ (%)
名 称	使用船舶機械				
基礎捨石投入	クローラクレーン	12.3	60.0	5.3	35.1
	ランプウエイ台船				
	ランプウエイ台船				
捨石投入	クローラクレーン	12.3	60.0	5.3	35.1
	クローラクレーン				
基礎工	クローラクレーン	12.3	60.0	5.3	35.1
	クローラクレーン				
目潰し砕石(法面)投入	クローラクレーン	12.3	60.0	5.3	35.1
	クローラクレーン				
裏込石投入	ランプウエイ台船	12.3	60.0	5.3	35.1
	ランプウエイ台船				
吸出防止工	ラフテレーンクレーン	12.3	60.0	5.3	35.1
	クローラクレーン				
腹付材投入	クローラクレーン	12.3	60.0	5.3	35.1
	ランプウエイ台船				
浚渫	グラブ浚渫船	6.5	29.1	11.7	52.5
	ブルドーザ	1.1	2.25	1.06	2.25
埋立工(購入土砂等)	ブルドーザ	13.6	28.9	1.06	2.25
	ブルドーザ	3.3	—	—	—
埋立工(空港島切土)	グラブ浚渫船	3.3	—	—	—
	グラブ浚渫船	—	—	—	—
海上ヤードの撤去 (石材撤去)	グラブ浚渫船	—	—	—	—
	グラブ浚渫船	—	—	—	—

注) 1. 発生原単位は「港湾工事における濁り影響予測の手引き」(平成16年4月、国土交通省港湾局)を参考に設定しました。

2. 海上ヤードの撤去(石材撤去)については、浚渫工の発生原単位を参考に設定しました。

(イ) SS 発生量の算定結果と予測対象時期の設定

護岸及び埋立ての工事の実施に伴う SS の発生量の推移は図-6.7.2.2.3に示すとおりです。工事の実施に伴う SS の発生量が最大となるのは、4 年次 4 ヶ月目で、発生量は 3,453t/月となりました。また、護岸造成中の期間で SS の発生量が最大となるのは 1 年次 10 ヶ月目で、発生量は 1,523t/月となりました。

予測対象時期については、SS 発生量、発生位置、工種、護岸工事の進捗などを勘案して、1 年次 10 ヶ月目、4 年次 4 ヶ月目の二つの時期を対象としました。なお、1 年次 10 ヶ月目については、堆積の予測として沈降速度が速い条件の場合についても対象としました。4 年次 4 ヶ月目については、水の濁りの環境保全措置として、汚濁防止膜を追加展張した場合について予測を行いました。

予測時期と予測条件の概要を表-6.7.2.2.4に示しました。

表-6.7.2.2.4 予測時期と予測条件の概要

予測時期	護岸の状況	主要工種	SS 発生量 (t/月)	備考
1 年次 10 ヶ月目	護岸造成中	基礎捨石、浚渫工、 捨石マウンド(海上ヤード)	1,523	沈降速度が速い場合 を追加検討
4 年次 4 ヶ月目	開口部あり	埋立工	3,453	汚濁防止膜の追加展 張について追加検討

注) 本事業の埋立工は、そのほとんどの工事を護岸で外周を締め切った後に実施しますが、4 年次 4 ヶ月目を含めて、一部開口部がある状況で埋立てが行われるため、SS 発生量が最大となっています。

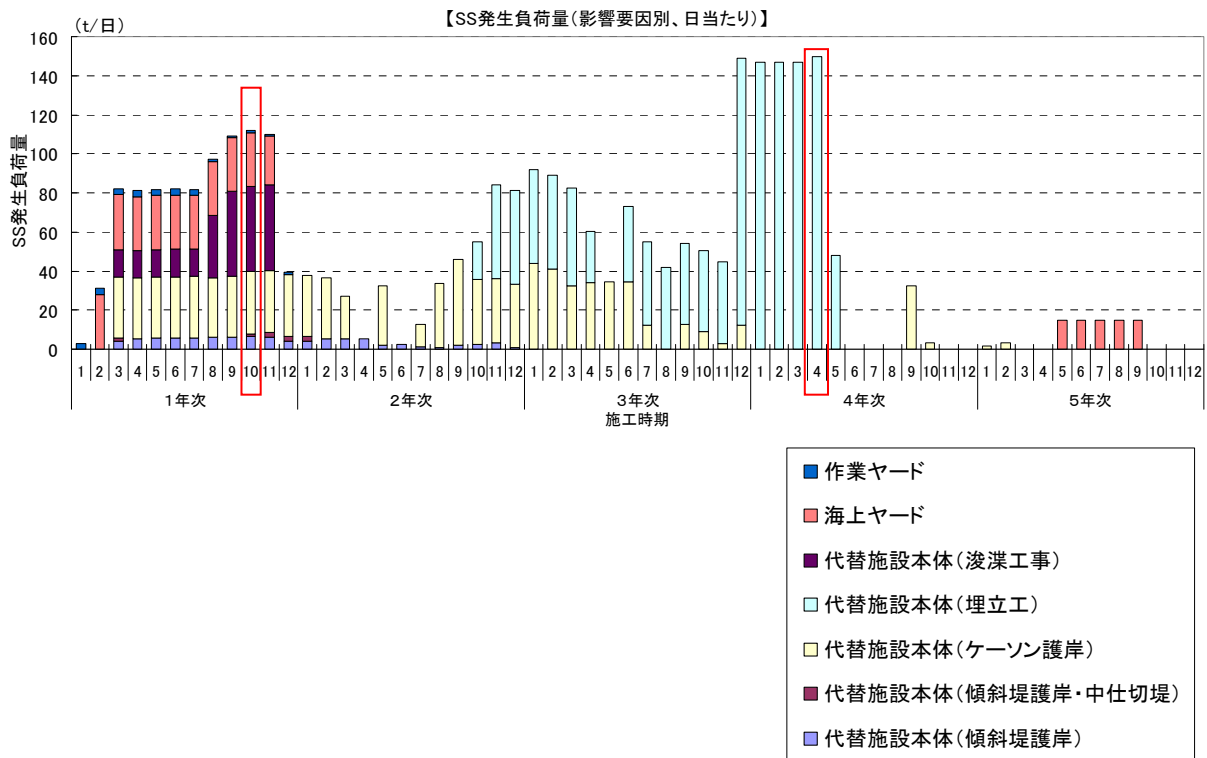


図-6.7.2.2.3 工事に伴う SS の発生量の推移