

モーリシャス共和国
モーリシャス下水道公社（WMA）

モーリシャス共和国
グラン・ベ地域下水処理施設整備事業に
係る設計等支援調査

最終報告書

平成 23 年 3 月
(2011 年)

独立行政法人 国際協力機構（JICA）
日本工営株式会社（NK）

モーリシャス共和国
モーリシャス下水道公社（WMA）

モーリシャス共和国
グラン・ベ地域下水処理施設整備事業に
係る設計等支援調査

最終報告書

平成 23 年 3 月
(2011 年)

独立行政法人 国際協力機構（JICA）
日本工営株式会社（NK）

伝 達 状

今般、モーリシャス共和国「グラン・ベ地域下水処理施設整備事業に係る設計等支援調査」が終了いたしましたので、ここに最終報告書を提出いたします。

本調査は、貴機構との契約に基づき弊社が、平成22年12月より平成23年3月までの4カ月にわたり実施してまいりました。今回の調査に際しましては、詳細設計および建設工事に先駆けて、円借款事業を効率的に推進し事業効果を引き出すため、技術支援の一環として下水道事業に必要な測量等の調査および不明水対策調査を実施したものです。ポンプ場の揚程や数に着目し地形に適した汚水の送水ルート、低地区における汚水の効率的な収集方法、また、維持管理段階で必要とされる住宅・顧客情報について提案するとともに、ハード面・ソフト面の双方から下水施設を適切に管理するための不明水削減対策を提案してまいりました。

つきましては、モーリシャス共和国の下水道整備に、本報告書が活用されることを切望いたします。

平成 23 年 3 月 28 日

日本工営株式会社
モーリシャス共和国
グラン・ベ地域下水処理施設整備事業に係る設計等支援調査
調査団
業務主任 井上弥九郎

モーリシャス共和国 グラン・ベ地域下水処理施設整備事業に係る設計等支援調査

最終報告書 目次

巻頭図（調査対象区域位置図）

要約	S-1
1. 業務の目的と内容	S-1
2. 調査結果	S-1
3. まとめ	S-11
1. 序文	1-1
1.1 調査の背景・経緯	1-1
1.2 調査の目的	1-2
1.3 相手国実施機関と調査対象地域	1-3
1.4 対象地域の特徴と下水道計画上の留意点	1-5
2. 調査の実施方法	2-1
2.1 調査工程	2-1
2.2 調査実施体制	2-3
3. 測量調査	3-1
3.1 路線測量	3-1
3.1.1 路線測量（中心線、縦断測量）の方法	3-1
3.1.2 路線測量結果	3-3
3.1.3 路線測量結果の活用	3-3
3.2 宅地測量	3-6
3.2.1 宅地測量の方法	3-6
3.2.2 宅地測量結果	3-10
3.2.3 宅地測量結果の活用	3-10
3.3 幹線管渠ルートを選定	3-13
3.3.1 現計画案の課題	3-13
3.3.2 代替案の選定	3-17
3.3.3 道路管理者（RDA）との協議	3-19
3.3.4 まとめ	3-20
3.4 面整備管の管路計画	3-21
3.4.1 集合処理区域	3-21
3.4.2 低地の集水方法	3-24
3.4.3 面整備管の管路計画	3-29

3.4.4	まとめ	3-29
4.	地質調査および注入井戸調査	4-1
4.1	資料収集調査	4-1
4.1.1	注入井戸調査に関する資料収集	4-1
4.1.2	調査地周辺の地形・地質状況	4-4
4.2	調査ボーリング	4-6
4.2.1	調査概要	4-6
4.2.2	調査ボーリング結果	4-9
4.2.3	解析	4-11
4.2.4	結論	4-13
4.3	注入井戸調査	4-14
4.3.1	概要	4-14
4.3.2	注入井戸調査結果	4-19
4.3.3	解析	4-25
4.3.4	結論	4-26
5.	不明水削減対策調査	5-1
5.1	不明水削減対策の概念	5-1
5.2	現地調査結果（モーリシャスにおける不明水削減対策）	5-2
5.3	不明水削減対策計画	5-11
5.4	不明水削減対策技術支援活動記録	5-20
6.	まとめ	6-1
6.1	測量調査	6-1
6.2	土地取得・管理者協議	6-1
6.3	地質調査	6-2
6.4	注入井戸調査	6-2
6.5	不明水削減対策	6-3

Appendix/添付資料

- 1 Land Acquisition Act/用地取得法
- 2 Location of Classified Road/幹線道路の位置
- 3 Sea Water Intrusion/海水の浸入位置
- 4 Sewer Lay-out Plan/下水管路計画
- 5 Inflow and Infiltration Mitigation Plan/不明水削減対策計画

Volume-2 : Report of Topographic Survey / 測量調査報告書

1. Report of Survey / 調査報告書
2. Street Survey / 路線測量
 - 2D Diagram and Sewer Layout Plan / 平面図と下水管路計画
 - Longitudinal Profiles / 縦断図
3. Housing Lot Survey (Household Inventory) / 宅地測量 (ハウスインベントリー)

Volume-3 : Report of Geological Survey / 地質調査報告書

1. Report of Geological Survey (Pumping Station) / 地質調査報告書 (ポンプ場予定地)
2. Report of Borehole Injection Test / 注入井戸調査報告書

表一覧

表 1.1-1	下水道整備状況 (Phase1-A)・整備計画 (Phase1-B)	1-2
表 1.3-1	相手国実施機関	1-3
表 1.4-1	調査内容と本業務におけるポイント	1-6
表 1.4-2	不明水流入箇所	1-8
表 2.1-1	Study Itinerary / 主なミーティング	2-1
表 2.2-1	調査人月表	2-4
表 3.2-1	宅地調査の内容	3-6
表 3.2-2	宅地調査取得情報	3-8
表 3.2-3	宅地調査集計フォーム (1/2)	3-11
表 3.2-3	宅地調査集計フォーム (2/2)	3-12
表 3.3-1	代替案の利点	3-17
表 3.4-1	下水道の役割 (例)	3-30
表 4.1-1	過年度の調査資料	4-1
表 4.1-2	1999年に削孔された既存注入井戸の概要	4-1
表 4.1-3	既存注入井戸削孔時の調査結果概要	4-2
表 4.1-4	2009年の注入試験の結果概要	4-3
表 4.2-1	調査ボーリング位置及び土地利用	4-6
表 4.2-2	一軸圧縮強度試験のサンプル採取深度	4-7
表 4.2-3	室内水質分析の試験項目と分析手法	4-8
表 4.2-4	一軸圧縮強度試験結果	4-10
表 4.2-5	調査ボーリング孔の水質分析の結果	4-10
表 4.2-6	形状係数	4-11
表 4.2-7	内部摩擦角 (ϕ)	4-11
表 4.2-8	支持力係数 (N_c , N_r , N_q)	4-12
表 4.2-9	N値より算出した粘着力	4-12
表 4.2-10	一軸圧縮強度より算出した粘着力	4-13
表 4.2-11	各ポンプ場基礎の許容支持力度 (q_a)	4-13
表 4.3-1	注入井戸の位置	4-15
表 4.3-2	注入井戸段階式揚水試験の結果	4-21
表 4.3-3	定流量揚水試験結果	4-23
表 4.3-4	注入井戸試験における水質分析結果	4-25
表 5.2-1	ポンプ場流量データ (1/3)	5-8
表 5.2-1	ポンプ場流量データ (2/3)	5-9
表 5.2-1	ポンプ場流量データ (3/3)	5-10
表 5.3-1	不明水削減対策の体系	5-11

図一覧

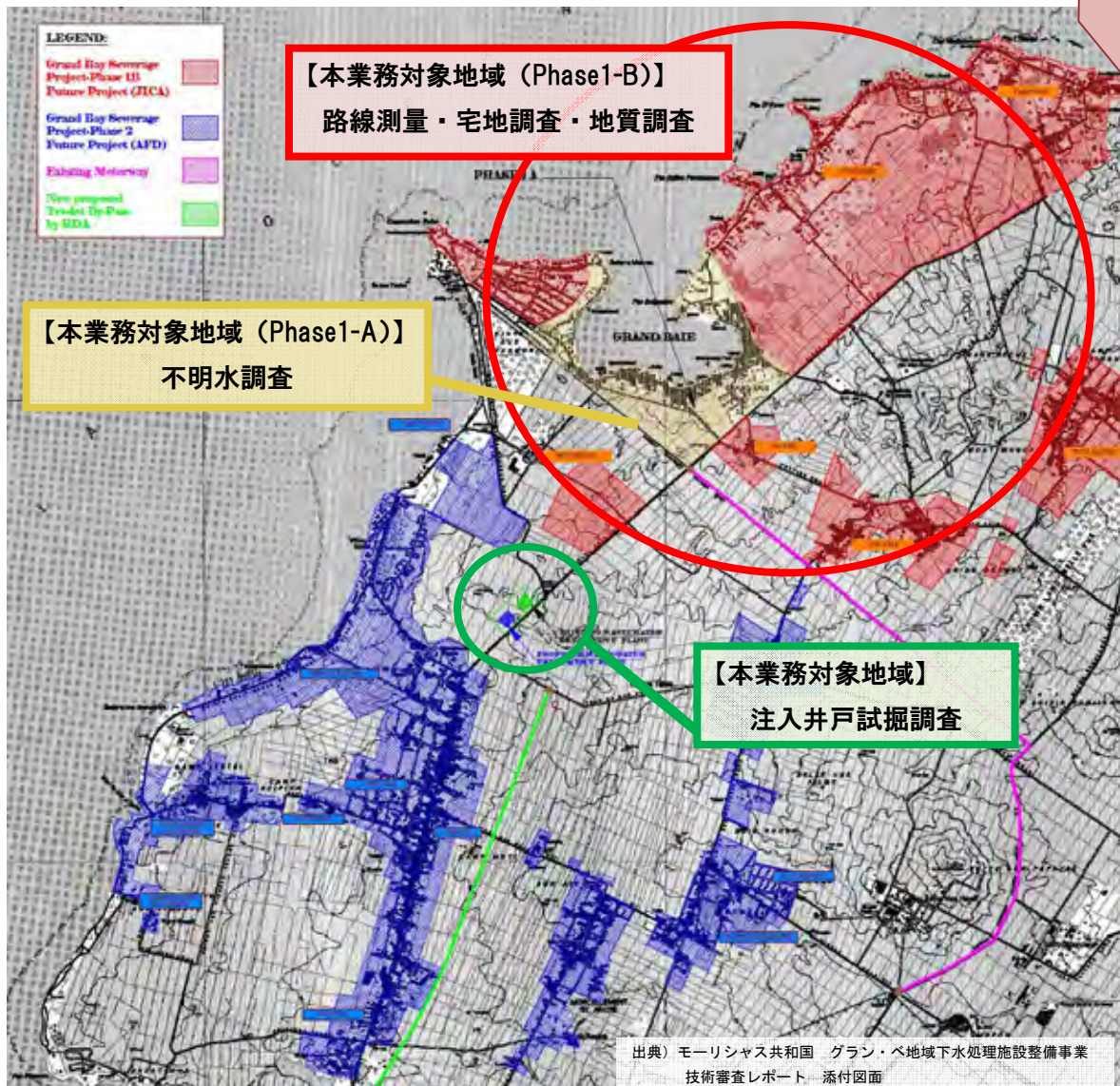
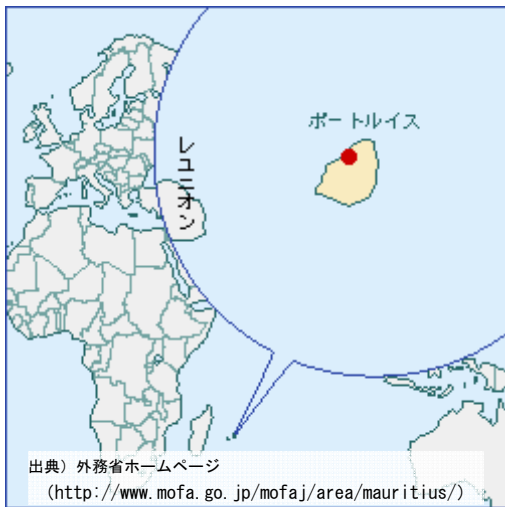
図 1.3-1	グラン・ベ下水道プロジェクト Phase 1-A, Phase 1-B, Phase 2	1-4
図 1.4-1	汚水処理状況.....	1-5
図 1.4-2	分流式下水道の浸入水.....	1-7
図 1.4-3	雨水の浸入経路.....	1-8
図 3.1-1	測量風景	3-2
図 3.1-2	路線測量対象路線.....	3-3
図 3.1-3	Petit Raffray 地区の低地区と幹線管渠の代替案	3-4
図 3.1-4	The Vale における民地（畑地）占用の例	3-5
図 3.2-1	宅地調査依頼状 (Communiqué).....	3-7
図 3.2-2	宅地調査協力依頼状況 (WMA 職員)	3-7
図 3.2-3	宅地情報収集フォーム.....	3-9
図 3.2-4	宅地地図 (Housing map : Point aux Canonniers 地区)	3-10
図 3.3-1	現計画主要管渠ルート図.....	3-13
図 3.3-2	等高線図 (1/2)	3-15
図 3.3-2	等高線図 (2/2)	3-16
図 3.3-3	幹線管渠の現計画案と代替案 (Pereybere & Cap Malheureux, Petit Raffray, The Vale and Sottise 地区)	3-18
図 3.3-4	RDA 管理道路 (Classified Road)	3-19
図 3.3-5	多重圧送式下水道.....	3-20
図 3.3-6	硫化水素腐食状況等.....	3-21
図 3.4-1	集合処理区域から除くべき住宅の例.....	3-23
図 3.4-2	海岸付近の低地住宅への対応.....	3-25
図 3.4-3	低地地区の集落への対応.....	3-26
図 3.4-4	海岸沿いの低地住宅への対応.....	3-27
図 3.4-5	片勾配の袋小路や集合住宅への対応.....	3-28
図 3.4-6	ハウスコネクションに対する段階に応じた対応.....	3-31
図 4.1-1	1999 年の段階式揚水試験の結果	4-2
図 4.1-2	2009 年の注入井戸試験の結果	4-3
図 4.1-3	(a) インド洋周辺におけるモーリシャス島の地質学的な位置; (b) モーリシャス島の概略地質図.....	4-4
図 4.1-4	(a) 海岸沿いに露出する柱状節理を有する玄武岩; (b) 多孔質部を有する 玄武岩; (c) 平板及び柱状節理面沿いに分離した玄武岩; (d) 玄武岩を 覆う崩積土層の薄層.....	4-5
図 4.2-1	調査ボーリング位置図.....	4-6
図 4.2-2	(a) ロータリー式ボーリングマシンによる削孔; (b) 標準貫入試験; (c) 地下水位観測管の設置; (d) 観測管に設けられたスリット.....	4-8
図 4.2-3	各調査ボーリング孔の簡易柱状図.....	4-9

図 4.3-1	注入井戸及び下水処理施設の位置.....	4-15
図 4.3-2	(a) ダウンザホールハンマーによる BH-4 孔掘削; (b) ダウンザホールハンマーによる BH-5 孔掘削; (c) ダウンザホールハンマービット及びロッド; (f) ビットの直径 300mm; (e) BH-4 送水掘削; (f) BH-5 屈進中....	4-16
図 4.3-3	(a) 直径 300mm の塩ビ管ケーシング; (b) スリット穴の入った塩ビ管; (c) ボアホールへの塩ビ管の立て込み; (d) 塩ビ管のフィルター材の巻き付け; (e) エアリフトによる孔内洗浄; (f) エアリフトからの流水.....	4-17
図 4.3-4	(a) 揚水試験に用いるポンプ (b) 揚水量の計測.....	4-18
図 4.3-5	地下水位の観測.....	4-19
図 4.3-6	概略柱状図.....	4-20
図 4.3-7	BH-4 段階式揚水試験結果.....	4-21
図 4.3-8	BH-4 における揚水量 (Q) と水位低下高(s)の関係.....	4-22
図 4.3-9	BH-5 段階式揚水試験結果.....	4-22
図 4.3-10	BH-5 における揚水量 (Q) と水位低下高(s)の関係.....	4-23
図 4.3-11	BH-4 における定流量揚水試験結果.....	4-24
図 4.3-12	BH-5 における定流量揚水試験結果.....	4-24
図 4.3-13	注入井戸周辺の模式断面図.....	4-26
図 5.2-1	グラン・ベ地区の既存下水道 (1/3)	5-3
図 5.2-1	グラン・ベ地区の既存下水道 (2/3)	5-4
図 5.2-1	グラン・ベ地区の既存下水道 (3/3)	5-5
図 5.2-2	ポンプ場流量データ.....	5-7
図 5.3-1	浸透設備と雨水貯留タンク.....	5-13
図 5.3-2	公共用地に対する雨水貯留施設.....	5-14
図 5.3-3	雨水貯留施設.....	5-14
図 5.3-4	建設段階の不明水削減対策 (1/2)	5-15
図 5.3-4	建設段階の不明水削減対策 (2/2)	5-16
図 5.3-5	グラン・ベ処理場緊急時貯留タンク.....	5-18
図 5.3-6	排水設備指定業者ステッカー: 指定排水設備業者制度.....	5-19

略語集/Abbreviations

AFD	Agence Française de Développement	フランス開発庁
AfDB	African Development Bank	アフリカ開発銀行
BH	Bore Hole	掘削孔（注入井戸）
C/P	Counter Part	カウンターパート
CAD	Computer Aided Design	C A D
COD	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
CWA	Central Water Authority	中央水道公社
DF/R	Draft Final Report	ドラフトファイナルレポート
DI	Ductile Iron	ダクタイル鋳鉄
EBRD	European Bank of Reconstruction and Development	ヨーロッパ開発復興銀行
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
F/R	Final Report	ファイナルレポート
F/S	Feasibility Study	フィージビリティ・スタディ
GOM	Government of Mauritius	モーリシャス政府
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
HDPE	High Density Polyethylene	高密度ポリエチレン管
I/I	Inflow and Infiltration	不明水
IC/R	Inception Report	インセプションレポート
MS	Mini Pumping Station, Manhole Type Pumping Station	ミニステーション (マンホールポンプ)
NEAP1	First National Environmental Action Plan	全国環境アクションプラン 1
NSP	National Sewerage Programme	全国環境プログラム
OJT	On The Job Training	実地訓練 (O J T)
ORP	Oxygen Reduction Potential	酸化還元電位
PE	Polyethylene	ポリエチレン
PS	Pumping Station	ポンプ場
PVC	Polyvinyl chloride	塩化ビニル
RDA	Road Development Authority	道路開発公社
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	リモート監視制御システム
STP	Sewerage Treatment Plant	下水処理場
TBM	Temporary Benchmark	仮ベンチマーク
TDS	Total Dissolved Solids	全蒸発残留物
TOR	Terms of Reference	委任事項、仕様
WB	World Bank	世界銀行
WMA	Wastewater Management Authority	下水道公社
WRU	Water Resources Unit	水資源公社
WWTP	Wastewater Treatment Plant	下水処理場

調査対象区域位置図



要 約

1. 業務の目的と内容

本業務は、円借款事業である「グラン・ベ地域下水処理施設整備事業」を効率的に推進し、実施効果促進を目的とした技術支援の一環として行われるものである。本調査は実施設計の着手に先だって、次の調査を行うことを目的とする。

- 1) 下水道新規拡張区域 Phase1-B における測量調査（路線測量・宅地測量・地質調査）
 - 今後の実施設計に必要となる技術資料の取得
- 2) 下水処理水の注入井戸の試掘
 - 今後の実施設計に必要となる技術資料の取得
- 3) 既存整備区域 Phase1-A における下水管渠への不明水削減対策調査
 - 調査の遂行と、セミナー形式等による調査報告会の開催による技術移転の促進
 - 雨天時流入水の削減に向けた、Phase1-B プロジェクトへの提言

2. 調査結果

(1) 測量調査

路線測量調査では、GPS 測量と光波式水準測量を組み合わせることで、測量の精度を確保しつつ障害物を避けながら調査した。路線測量調査は、概ね順調に推移し、等高線図を調査の初期に作成したことが、その後の宅地測量と管路計画に有意義な情報を提供した。なお、等高線図（Thematic map）は、グラン・ベ地区で初めての試みであった（図 S-1）。

宅地測量では、地籍・個人情報蓄積されておらず、CWA・電力公社（何れも Ministry of Public Utilities の部局）の顧客情報が、住所と居住者を特定できないものであったので、顧客基礎情報と詳細設計情報をヒアリングにより確認した（表 S-2）。また、個人の住宅に関わるデリケートな調査であり、コミュニティーの理解を得るなど、ラジオ・地域の行政機関の協力を得ながら調査を実施した。

低地区や道路勾配などの地形情報について、路線測量・踏査によって、地形を確認した。

表 S-1 宅地調査の内容

対象	調査数量	調査内容
道路より宅地の地盤高が低い箇所	1,112 戸 (当初計画 900 戸) 810 戸 GL 測量	・戸建衛生設備の位置 ・施工支障物 ・平面上の確認 ・水準測量
道路面と同等か、より高い箇所	5,626 戸	航空測量による地図上での路線確認 (下水本管への接続高さチェック) ※詳細設計時に宅地調査を実施する
計	6,738 戸(当初計画 4,400 戸)	

表 S-2 宅地調査取得情報

取得情報	情報収集者	情報収集目的
住所	WMA	顧客基礎情報
所有者	WMA	顧客基礎情報
電話番号	WMA	顧客基礎情報
CWA 番号	WMA	顧客基礎情報 (料金徴収時に活用を想定)
前面道路区分	調査団	詳細設計基礎情報 (占用許可要否判断)
排水設備位置	調査団	詳細設計基礎情報 (取付管理設位置)
他企業埋設物位置	調査団	詳細設計基礎情報 (取付管理設位置)
取付管延長	調査団	詳細設計基礎情報 (概算施工数量特定)
道路高 (GL)	調査団 (GPS 測量)	詳細設計基礎情報 (管路埋設深)
宅地内最低高 (GL)	調査団 (GPS 測量)	詳細設計基礎情報 (管路埋設深)

下水幹線管渠計画では、地形測量結果を活用して、25m の揚程中継ポンプ場を含む 3 か所のポンプ場と MS (マンホールポンプ) を削減した (表 S-3)。管路計画図は、航空写真での住宅の配置・形状、路線測量で得た地形情報および宅地測量で得た排水施設の位置・道路との関係をもとにしたハウスコネクション・ポンプ場 (MS、排水ポンプ) を含む下水道管路計画を策定した。また、低地区住宅の汚水収集・ハウスコネクションの方法については、低地区に連坦する住宅、窪地に密集する住宅、袋小路、ビーチに面した丘越えの住宅などポンプ排水を必要とするので、地形・コミュニティーに応じた低コスト型の汚水収集方法である民地の占用、コンドミニアル方式下水道やグライNDERポンプ (集合住宅用、戸建て住宅用) を提案した。

【下水道計画関連成果】

- 地図情報作成 (等高線図、住宅地図)
- 下水管渠計画作成
- ポンプ場数の削減 (9 か所から 6 か所へ)、低コスト型汚水収集技術提案
- 顧客情報作成 (ハウス インベントリー)

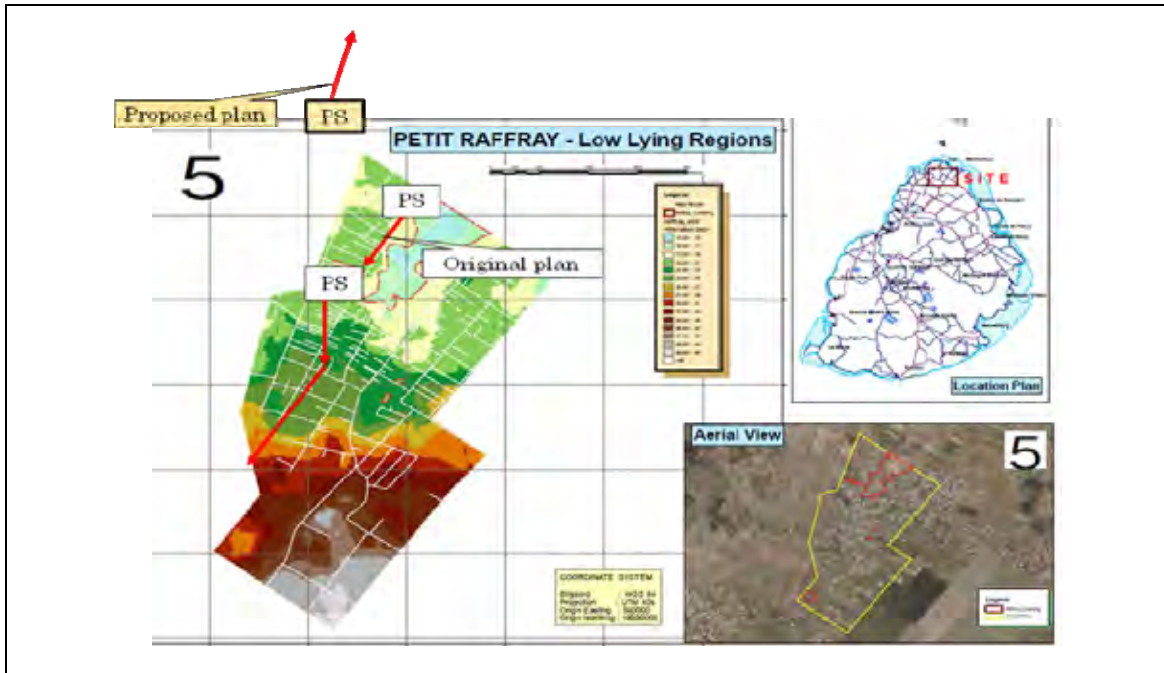


図 S-1 等高線図を活用した幹線管路計画

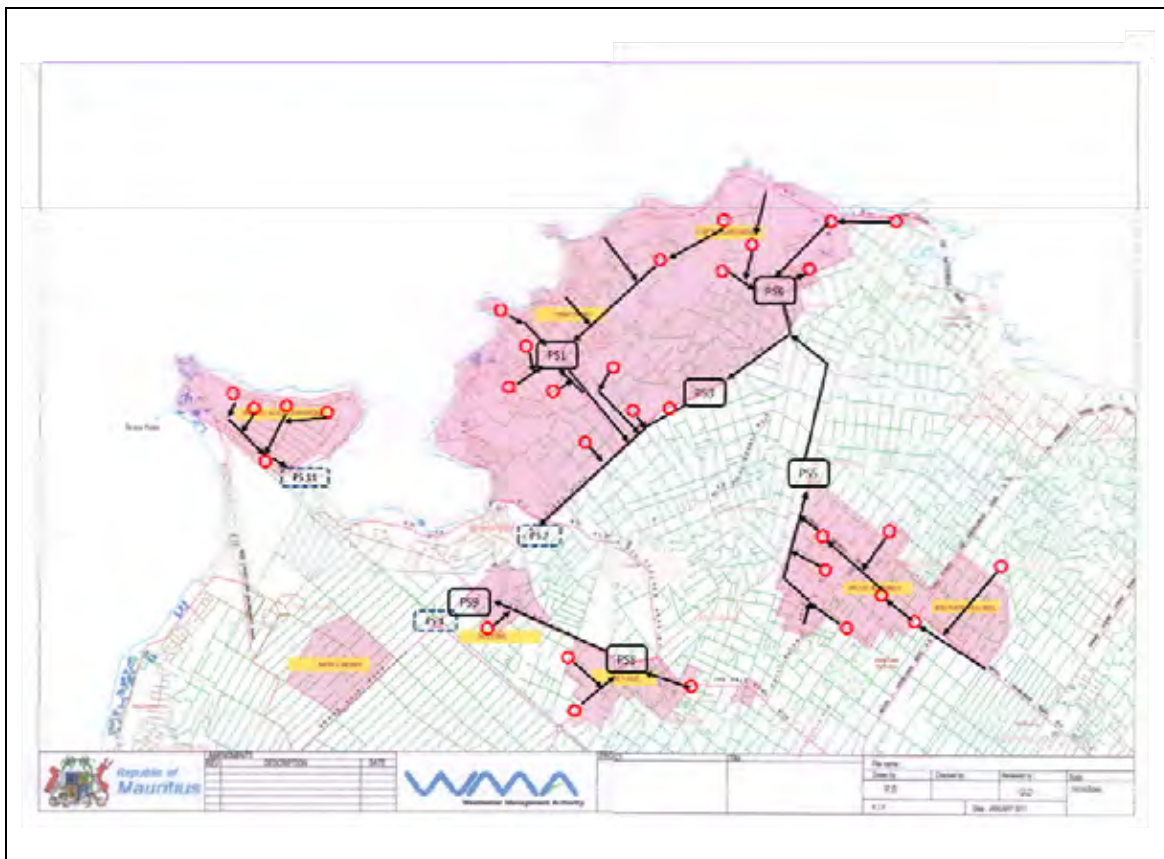


図 S-2 下水幹線管渠計画図

表 S-3 ポンプ場計画

施設	2009 計画	提案計画
PS (ポンプ場)	9	6
MS (マンホールポンプ)	42	31

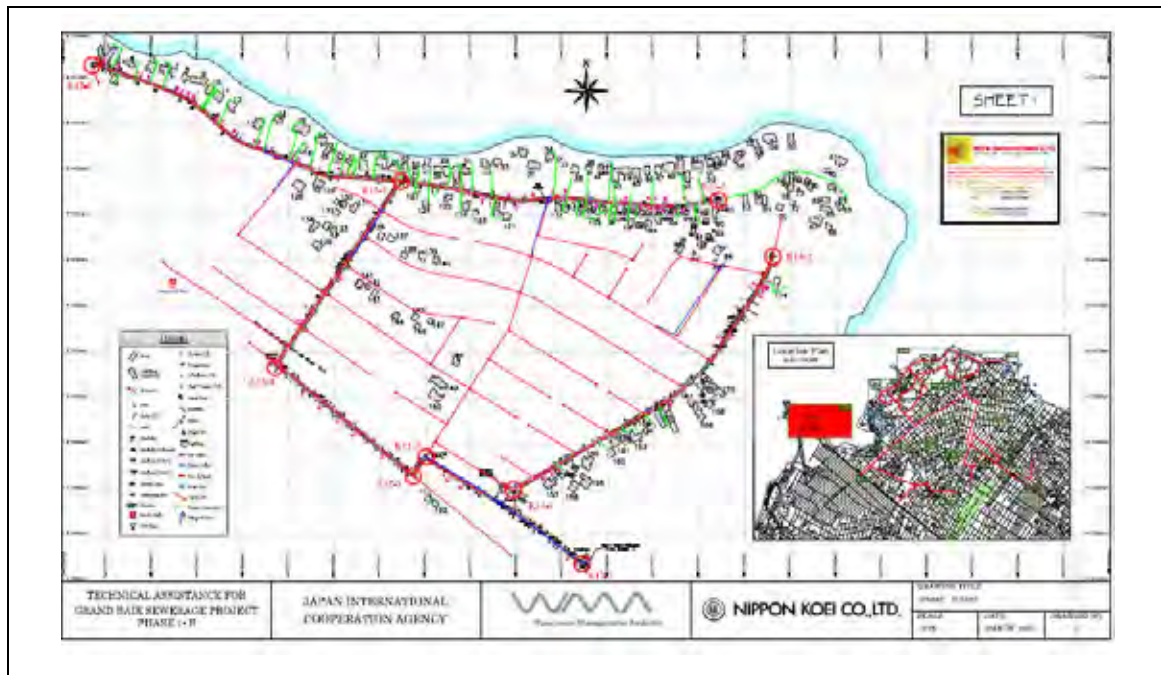


図 S-3 下水管路計画



図 S-4 低地区住宅の汚水収集方式事例（コンドミニアル下水道）

表 S-4 ハウスインベントリー

Household Inventory Survey																	
Technical Assistance for Grand Baie Sewerage Project Phase I-B																	
Aerial photo reference No.	House reference No.	Household Details					Housing lot survey items							Survey Methodology			
		Village	Address	CWA AC No.	Ownership Name	Telephone	Front Road		Boundary		Housing lot elevation of lowest point	Road elevation	Housing lot higher or lower than, or equal to road	House connection length	Measured in-situ	DTM/aerial photo	Rejected
							Public	Private	Detected	Not Detected							
1	1	Pis aux Canoniers			Navneet Akaloo	269 0929	*			*	7.52	7.87	0.35	81	*		
1	2	Pis aux Canoniers			Sivobash Chandra Ramparsad	263 5129	*			*	7.18	7.98	0.80	23	*		
1	3	Pis aux Canoniers	Island View		Paula Labat	258 0755	*			*	7.00	7.87	0.87	50	*		
1	4	Pis aux Canoniers	Island View		Paula Labat	259 0755	*			*		7.95		46	*		
1	5	Pis aux Canoniers			Jean Bernard Tyack	727 0080	*			*	7.52	7.53	0.01	57	*		
1	6A	Pis aux Canoniers			Jean Francois Adam	727 0080	*			*	7.29	7.11	0.18	73	*		
1	6B	Pis aux Canoniers			Jean Francois Adam	727 0080	*			*			0.00		*		
1	6C	Pis aux Canoniers			Jean Francois Adam	727 0080	*			*			0.00		*		
1	7	Pis aux Canoniers			Frederick Robert		*			*	7.18	7.11	0.07	80	*		
1	8	Pis aux Canoniers	Coeur Volant		Christine Colin	752 8715	*			*	7.51	6.86	0.65	65	*		
1	9A	Pis aux Canoniers			Veronique Moufferon	423 6000	*			*	9.66	6.86	2.80	78	*		
1	9B	Pis aux Canoniers			Niel Raffray	423 6000	*			*			0.00		*		
1	9C	Pis aux Canoniers			Gilbert Delplaque	423 6000	*			*			0.00		*		
1	24B	Pis aux Canoniers			Serge Bathfield Mear c/o Sund	910 5122	*			*			0.00		*		
2	25	Pis aux Canoniers			Bougou		*			*	9.90	11.81	1.91	31	*		
2	26	Pis aux Canoniers			Alain Pallusseau	263 3845	*			*	10.20	11.67	1.47	27	*		
2	27	Pis aux Canoniers	23 Coastal Road		Maurice Martin	258 1660	*			*	11.42	11.52	0.10		*		
2	28	Pis aux Canoniers	24 Coastal Road		Maurice Martin c/o Mme La Grue	931 5065	*			*		12.05			*		
2	29	Pis aux Canoniers			Roger Koenig c/o Subash	263 5486/261 3197	*			*	10.57	12.31	1.74	56	*		
2	30	Pis aux Canoniers			Alexis Harel	735 8668	*			*	10.61	11.71	1.10	68	*		
2	31	Pis aux Canoniers			John Tagg (Jessica)	932 3804	*			*	9.13	11.71	2.58	69	*		

(2) 地質調査

プロジェクト予定地区では、柱状節理を有する溶岩（玄武岩）が広がっている（図 S-5）。

溶岩層は、地質調査・踏査によって、プロジェクト対象区域の全域で確認された。溶岩層は、縦横の節理が入った岩で、硬岩・風化が進んだ軟岩が分布する。管渠建設工事や採石場では、重機を使って破碎している。

ポンプ場予定地（6 箇所）の地質調査では、1 か所を除いて溶岩層が確認された。また、地下水を採水できた箇所は、2 ヶ所であり、海水面と同程度で地下水層が深いことが分かった。



図 S-5（左）海岸沿いの柱状節理を有する玄武岩、（右）多孔質部を有する玄武岩

下水の幹線管渠は、自然流下が可能な幹線道路に計画し、掘削 1m 程度の短い不陸については重機による掘削を前提に計画した。狭隘な道路では、掘削が困難であり、排水ポンプを計画した。マンホールポンプ (MS) の建設・維持管理コストを勘案して、現計画の管渠ルートで近接するマンホールポンプを省略することで、提案ルートとした。また、標高 2m 程度の低地では、地下水位以下に管渠を埋設することになる。工事中の出水は、溶岩の亀裂からの出水であり、ポンプ排水で施工可能と判断した。

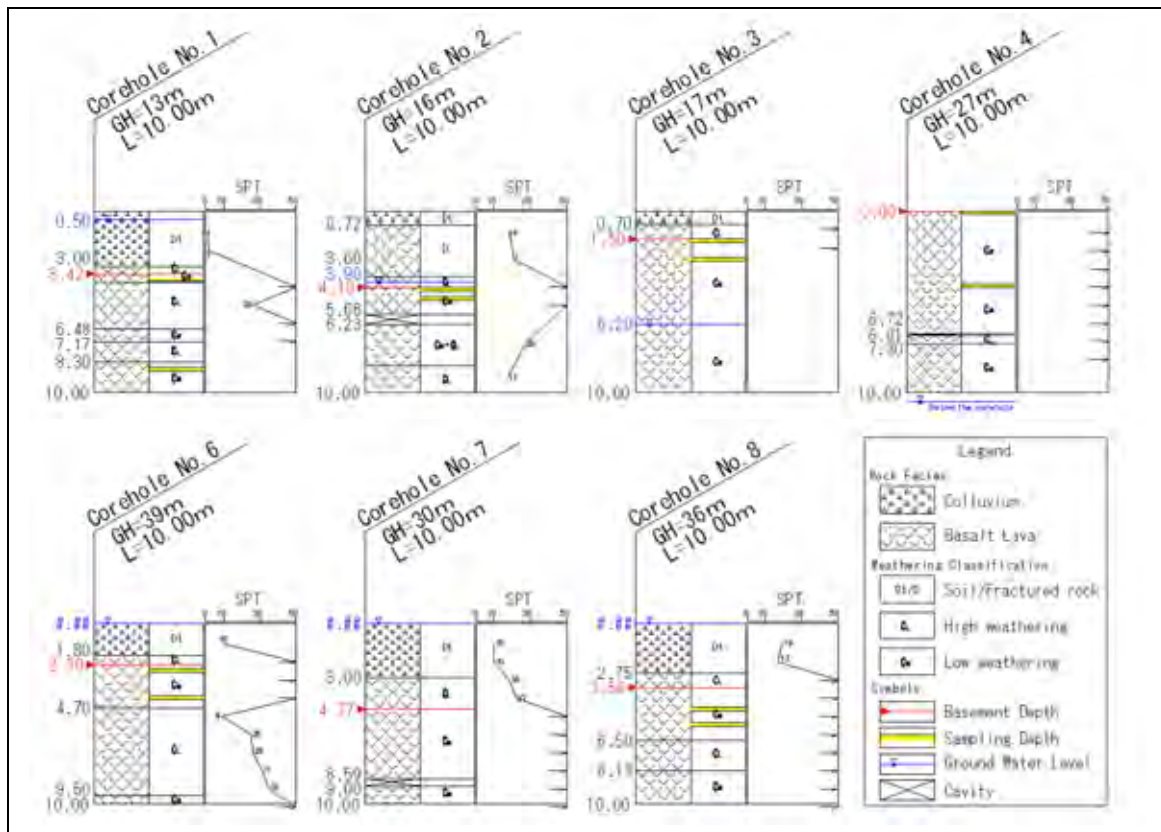


図 S-6 地質調査ボーリング孔の簡易柱状図

調査地周辺に分布する玄武岩は、地表面から約 3.0m 以深に分布しており、新鮮な玄武岩の N 値は 50 以上と非常に堅固であり、許容支持力度も $700\sim 800\text{kN/m}^2$ と十分に建築物の基礎として利用可能である。よってポンプ場は、表面のルーズな崩積土層を取り除き、良好な基礎岩盤を基礎として直接基礎で建設可能であると考えられる。

管路工事については、下水道プロジェクト地区の全域に硬岩があり、掘削工事は難航することが予想されるが、他プロジェクトで採用している重機を使用して岩を破碎する開削工法とする。地下水の影響は少ないので、開削工法（自然流下方式）とポンプ揚水のコスト・維持管理性を考慮して、管の埋設深を決定することが重要である。



図 S-7 住宅地の工事

(左 : Quatre Bornes 市内の管渠工事 右 : Grand Baie の住宅建設)

(3) 注入井戸調査

既存の注入井戸は、2本を交互に運転し、1本が機能停止状態にある。今回、2本の井戸を掘削し透水能力を調査した。グラン・ベ地区には溶岩トンネルが見られず、溶岩の割れ目を期待するものである。Mont Virer からの溶岩流の流向や既存の井戸の配置と、将来下水処理能力を増設する際に必要となる井戸用地を確保しておくことを条件として、井戸の位置を決定した。

新設井戸の1本目(BH-4)は、52m地点で空隙(Cavity)のある岩層に遭遇し、握りこぶし大のずりを排出することができず、掘削不能となった。2本目の井戸(BH-5)については、掘削径を300mmから380mmへ変更して、調査を行った。

掘削およびポンプ揚水試験の結果、2本の井戸とも空隙(Cavity)の岩層が深さ42~52m付近で確認されており、ポンプ揚水試験100~1,000分間の透水量係数(Transmissivity)は、BH4で $9,311\text{m}^2/\text{day}$ ($1.08 \times 10^{-1}\text{m}^2/\text{s}$)、BH5で $15,372\text{m}^2/\text{day}$ ($1.78 \times 10^{-1}\text{m}^2/\text{s}$)であった。

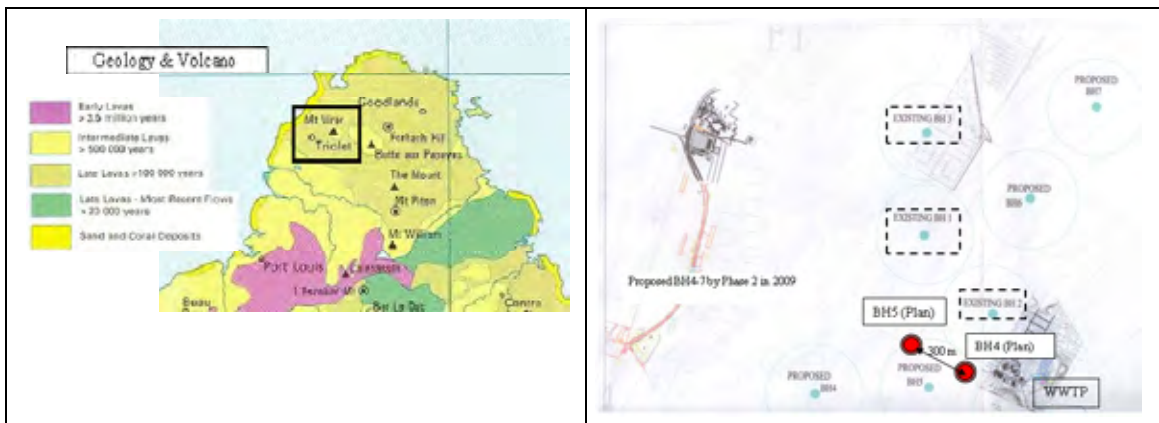


図 S-8 注入井戸調査試験位置



図 S-9 揚水試験

表 S-5 揚水試験結果

No. Step	Duration of Test (mins)	Q (Yield) m ³ /h	s (Draw down) m	s/Q h/m ²	Q/s m ² /h
BH 4					
1	30	25.5	0.03	0.00118	850.0
2	30	50.2	0.05	0.00100	1,004.0
3	30	75.6	0.10	0.00132	756.0
4	30	106.0	0.16	0.00151	662.5
BH 5					
1	30	69.9	0.03	0.00043	2,330.0
2	30	154.0	0.02	0.00013	7,700.0
3	30	227.7	0.01	0.00004	22,770.0
4	60	363.0	0.09	0.00025	4,033.3

ポンプ揚水試験 100～1,000 分間の透水量係数 (Transmissivity) は、BH4 で 9,311m²/day (1.08x10⁻¹m²/s)、BH5 で 15,372m²/day (1.78x10⁻¹m²/s)であった。

(4) 不明水削減対策調査

グラン・ベ地区の既存の下水道施設では、規則的な変化を繰り返しながら推移する商業地区特有の下水や安定して推移する住宅地の下水の特性が見られる。しかしながら、晴天時日平均汚水量の 3～4 倍の不規則な流入が見られる (図 S-10)。

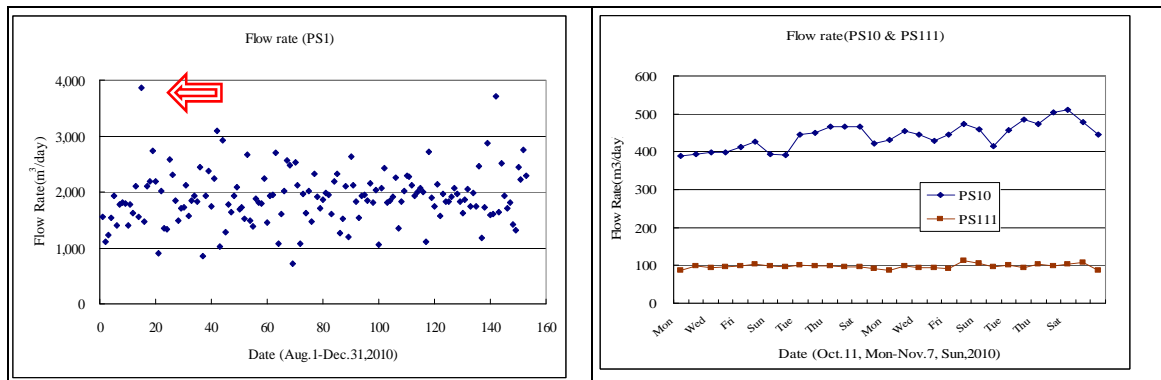


図 S-10 ポンプ場の流入水の日変化

建設工事における不明水削減対策は、ゴムリング・PE 既製品の採用、人力掘削、砂・礫による管基礎、圧力テスト、汚水管・雨水管の分離（誤接合のチェック）など、体系だった対策が実施されている。グラン・ベ地区の既設下水道では、マンホール蓋孔の破損、開放型の点検ます（グリーストラップ）など、雨水の浸入し易い施設がある。



図 S-11 下水管の建設工事

晴天時下水の 3~4 倍に及ぶ雨天時下水は、雨天時に実施した踏査により、浸水常襲区域で住民が故意に雨水を下水道へ排水する行為によることを特定した（図 S-12）。また、住宅の排水設備からの雨水の浸入は、排水設備業者の理解不足によることが特定できた。

このため、不明水削減対策は、浸入水の防止、水密性の管材、丁寧な施工管理、雨水排水など適用可能な対策を体系的に実施することと共に、主要な原因である雨水排水について浸透施設、校庭貯留、雨水利用を提案した。処理機能については、最終沈殿池の過負荷・活性汚泥の流亡を防止するために、分水バルブを電動化することを提案した。Phase 1-B での SCADA 更新、Phase 2 プロジェクトで処理場増設を計画しているので、不可欠な機会である。ソフト面の対策として、排水設備業者を育成することを提案した。粗悪工事を防ぎ、クレーム対応や下水道 PR などの下水道管理者の代行業務を行うなど、専門技術者の認定、排水設備業者の登録、ペナルティーなどの制度の体系を示した。



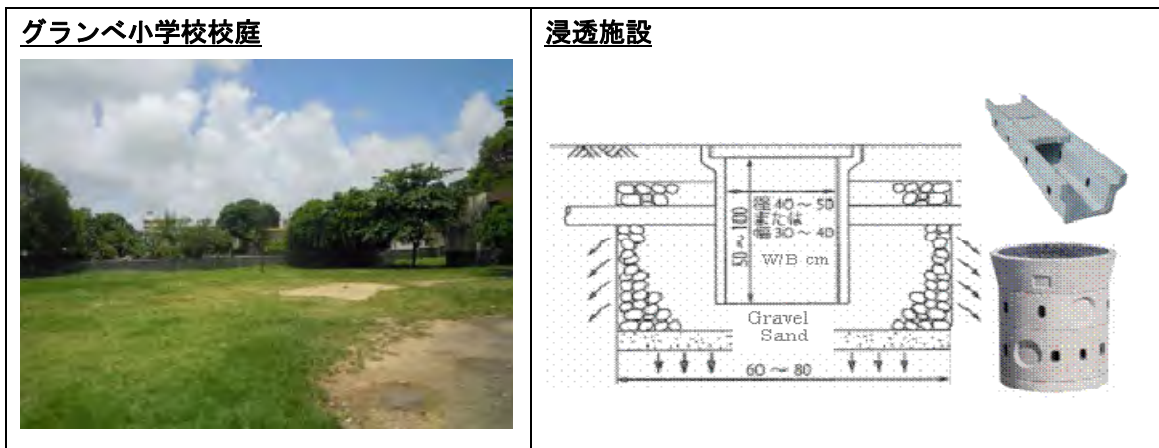
図 S-12 雨天時の道路冠水および不明水（雨天時浸入水）（1/2）



図 S-12 雨天時の道路冠水および不明水（雨天時浸入水）（2/2）

表 S-5 不明水削減対策の体系

維持管理	管内貯留 予備ポンプの運転 処理場反応タンクのバイパス	
オンサイト施設	排水設備の補修	管・蓋の補修、雨水管の分離 セプティックタンク・浸透管の閉塞
	汚水管の補修	管・蓋の補修、雨水管の分離 放置された管の閉塞
	雨水排水	雨水排水、浸透、貯留・利用
オフサイト施設	下水管・ポンプ場での対策	下水管・ポンプ場の能力増強 貯留施設
	下水処理場での対策	反応タンクのバイパス 沈殿・凝集、濾過等 消毒



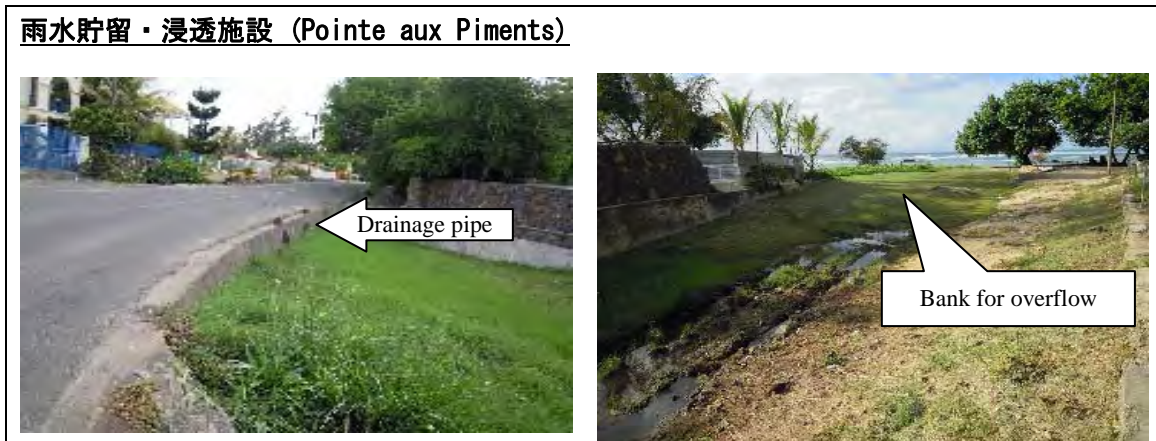


図 S-13 雨水浸透貯留

3. まとめ

本調査は、詳細設計および建設工事に先駆けて、下水道事業に必要な測量等の調査および不明水削減対策調査を実施し、円借款事業を効率的に推進し、事業効果を引き出すべく技術支援の一環として実施したものである。

ポンプ場の揚程や数に着目し地形に適した汚水の送水ルート、低地区における汚水の効率的な収集方法また維持管理段階で必要とされる住宅・顧客情報について提案するとともに、ハード面・ソフト面の双方から下水施設を適切に管理するための不明水削減対策を提案した。

下水道サービスを提供するためには、顧客情報・施設情報に加えて、下水道料金の収集・クレーム、下水管の閉塞・臭気など住民との関わりが不可欠である。プロジェクトの各段階で、維持管理段階に必要とされる情報を蓄積するとともに、接続・排水に関する指導・許可等の規制・基準類の整備が必要である。

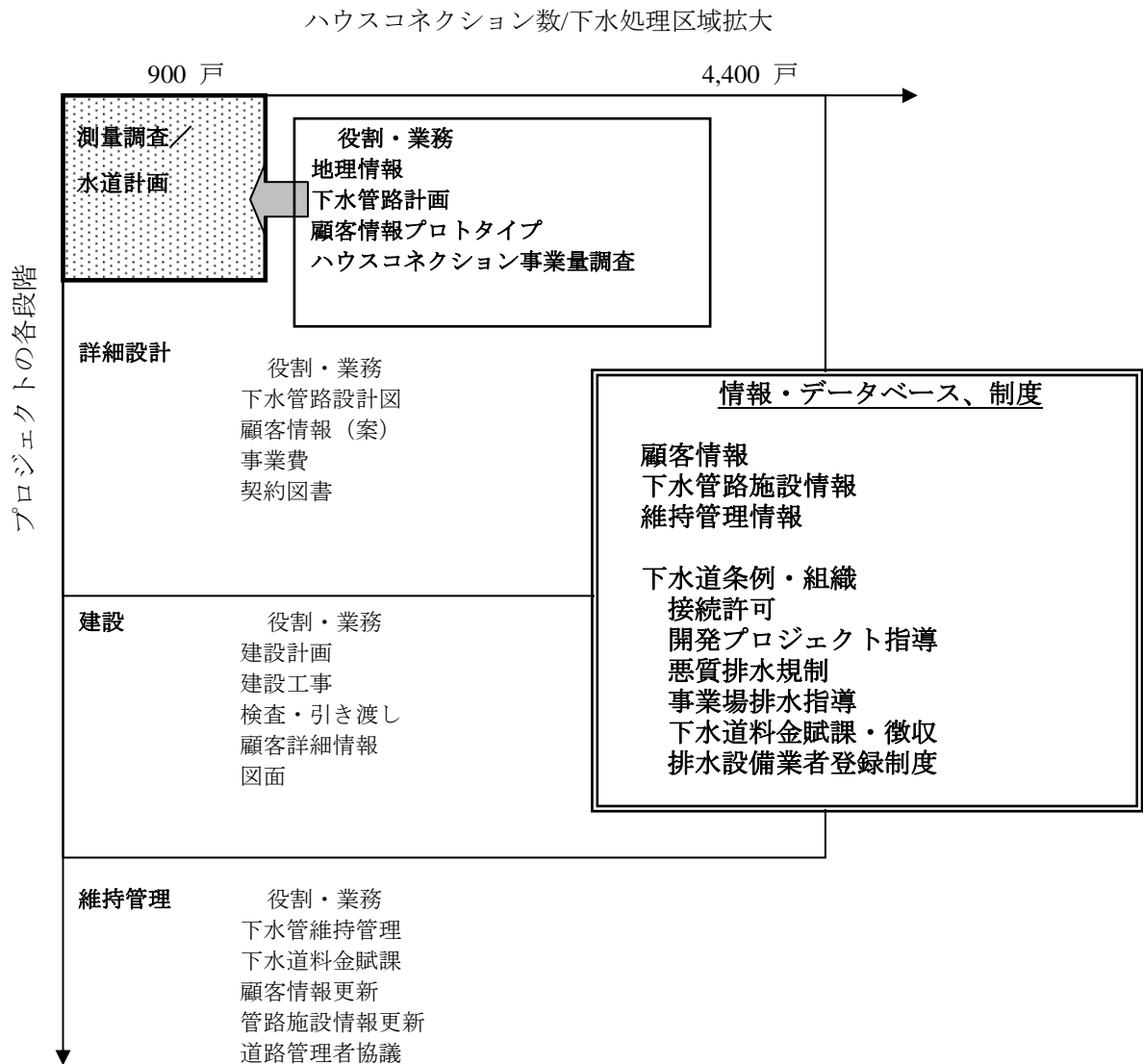


図 S-14 プロジェクトの各段階における役割・業務

1. 序文

1.1 調査の背景・経緯

(1) モーリシャス国における下水道整備の位置づけと経緯

モーリシャス共和国（以下、「モ」国）は、持続可能な経済成長には、環境保護と国民の健康と社会福祉の増進が必須であるとの認識の下、世界銀行（WB）支援により「第一次全国環境行動計画（NEAP1）」を1988年に策定した。

NEAP1の提言を受け、「モ」国政府は、水質保全のための財政政策と運営管理に関する20年間のフレームワークである「下水道マスタープラン」を、アフリカ開発銀行（AfDB）の支援により策定した（1994年）。向こう10年における優先事業を明記した全国下水道プログラム（NSP）が策定されており、グラン・ベ下水道プロジェクトは、そのうちの一つに選定されている。

NEAP1の下水道整備目標

人口カバー率 50%（2014年）→80%（2030年）

*現状では、2014年目標値50%に対して実績見込みが40%程度であり、整備が遅れている。

(2) グラン・ベ地域の下水道整備状況と計画

「グラン・ベ地域下水処理施設整備事業」が対象とする「モ」国グラン・ベ地域は、さとうきび畑が広がる自然豊かな地域であることに加え、沿岸部は豊富な珊瑚礁があるなど、同国有数の観光地となっており、貴重な外貨獲得源である。

「モ」国政府は、フランス開発庁（AFD）支援の下、「グラン・ベ下水処理施設整備事業」のフィージビリティ調査（F/S）を1994年に実施した。また、AFDの支援によって実施された「グラン・ベ地域下水処理施設整備事業（フェーズ1-A）」（1988年～）によって、グラン・ベ下水処理場、ポンプ場、管渠の建設、グラン・ベ地域内の一部の接続が完了している。しかし、接続が見込まれる世帯の約10%しか接続されておらず、現在も住居や商業施設などから発生する汚水は未処理のまま地下に浸透しており、海洋や地下水の汚染が懸念され、下水処理システムへの接続率の向上が急務となっている。

そのため、同地域の接続世帯数の拡大と既存下水処理場の活用が期待されており、未整備地区への下水道整備を目的として、総事業費82.7億円の「グラン・ベ下水処理施設整備事業 フェーズ1-B」（以下、「本事業」）の有償資金協力事業（円借款金額70.12億円）が平成22年7月8日に締結された。本事業を通じて、新規に約4,400世帯を既存の下水処理場に接続する計画である。

表 1.1-1 下水道整備状況 (Phase1-A)・整備計画 (Phase1-B)

		Phase 1-A 【既整備】	Phase 1-B 【計画中】
ドナー		フランス開発庁 (AFD)	JICA
面積		219ha	1,268ha
整備目標年次 (供用開始年次)		(2006年12月) *事業全体の計画目標年次 2030年	2016年
計画区域内人口		4,600人 (2007年) 5,180人 (2030年)	22,980人 (2007年) 25,810人 (2030年)
プロジェクト内容	下水処理場	5530m ³ /日 (貯留 2030m ³ /日含む現有能力)	— (Phase2 で増設工事を実施)
	注入井	3本	(2本) 注)
	ポンプ場	汚水中継 P ×13 汚水揚水 P (MP) ×6 *全て水中ポンプ	汚水中継 P×9 汚水揚水 P (MP) ×42 PS-1 施設更新
	管きよ	35.5km (168m/ha) 自然流下 ; PVC 圧送 : HDPE(~250mm) DI(300mm~)	94km (79.7m/ha) 自然流下 : 79.2km 圧送 : 13.4km
	各戸接続	家庭 1,703 箇所 + 非家庭 22 箇所 (2009.7 時点) /4400 箇所	4,348 箇所
	その他	SCADA 整備	SCADA 更新

注-1) Phase1-B には処理場放流水注入井の調査が含まれている

注-2) 当該地域の下水道計画は、別途 Phase2 事業がある

(3) 本プロジェクトの背景

「モーリシャス共和国グラン・ベ地域下水処理施設整備事業に係る設計等支援調査」は、「モ」国北部グラン・ベ地域のうち、下水処理システムに未接続の世帯を既存下水処理場に接続することで、同地域の下水処理率向上を通じて環境の保全及び公衆衛生の向上を達成することを目的とした「グラン・ベ地域下水処理施設整備事業」の事業効果を促進するために実施するものである。

1.2 調査の目的

本業務は、円借款事業である「グラン・ベ地域下水処理施設整備事業」を効率的に推進し、実施効果促進を目的とした技術支援の一環として行われるものである。本調査は実施設計の着手に先だって、次の調査を行うことを目的とする。

1) 下水道新規拡張区域 Phase1-B における測量調査 (路線測量・宅地測量・地質調査)

- 今後の実施設計に必要な技術資料の取得

2) 下水処理水の注入井戸の試掘

- 今後の実施設計に必要な技術資料の取得

3) 既存整備区域 Phase1-A における下水管渠への不明水削減対策調査

- 調査の遂行と、セミナー形式等による調査報告会の開催による技術移転の促進
- 不明水（雨天時流入水）の削減に向けた、Phase1-B プロジェクトへの提言

1.3 相手国実施機関と調査対象地域

(1) 相手国実施機関

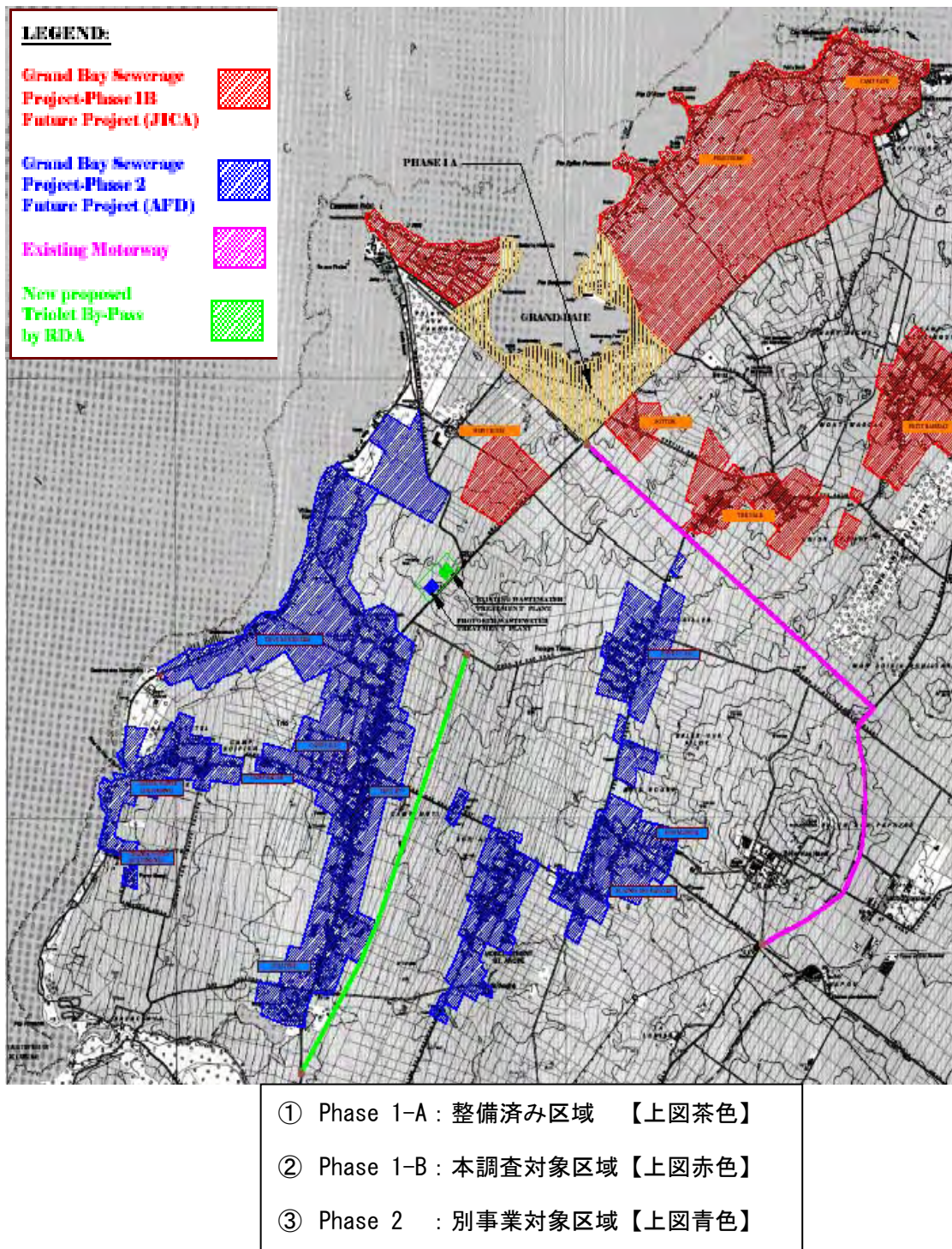
相手国実施機関は、次のとおりである。

表 1.3-1 相手国実施機関

分類	実施機関
1) 関係官庁	エネルギー・公共サービス省、水資源庁
2) カウンターパート機関	下水道公社（WMA）

(2) 調査対象地域

グラン・ベ下水道プロジェクトの対象地域は右図に示したとおり、「モ」国北部に位置するグラン・ベ地域であり、本事業は Phase1-B 地域を対象とする。



出典) モーリシャス国 グラン・ベ下水処理施設整備事業 協力準備調査 最終報告書

図 1.3-1 グラン・ベ下水道プロジェクト Phase 1-A, Phase 1-B, Phase 2

1.4 対象地域の特徴と下水道計画上の留意点

(1) グラン・ベ地域の特徴と下水道整備上の留意点

グラン・ベ地域の特徴と、本地域における下水道整備上の留意点を以下に示す。

1) 特殊な地質条件

対象地域は新しい溶岩を基とした土壌が表面を覆っているが、いたるところで岩が露出している特徴があり、概ね、1) 浅く砂利質に覆われた層、2) 岩石の多い層、3) 岩盤そのものが露出した層 に分類され、グラン・ベ地域は地表面から浅い地点で岩盤が現れると言われている。

2) 適切なポンプ場施設計画が重要

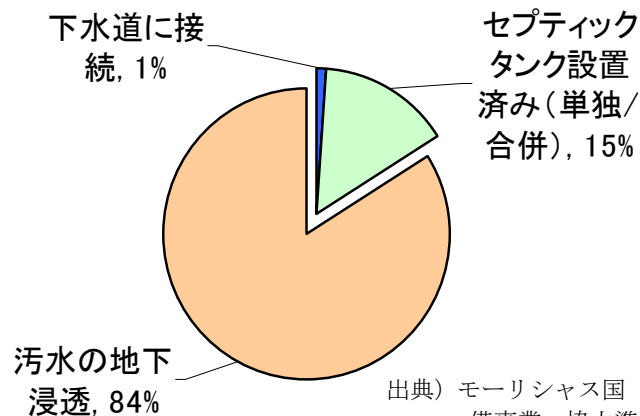
本地域で採用されている污水収集システムは、従来から「モ」国下水道で採用されてきた、自然流下方式とポンプ圧送方式を組み合わせたものであり、下水道管渠は所定の勾配で公道下に布設され、土被りが大きくなった際にはポンプ場を設置して圧送・揚水する方式である。今回のプロジェクトでは1) の理由から土被りを深くするには制約が大きく、多くのポンプ場を設置する計画となっている。

なお、現時点*でポンプ場計画用地は全て未利用地であり、用地買収が必要となるため、下水道整備を促進するために早急な用地の確定が重要である。

*「モーリシャス国グラン・ベ下水処理施設整備事業協力準備調査（H21.9）」は、20年以上前に作成された縮尺 1/2,500 の地形図を基に概略設計を行っており、測量調査・地質調査・埋設物調査の結果に基づいて、必要に応じて計画を見直す必要がある。

3) 下水道への接続率が低い

「モ」国の2000年版人口統計によると、グラン・ベ地域では、93%の家屋が水洗式のトイレを設置している。また、污水处理の状況は下図のとおり、84%の家屋が污水を地下に垂れ流している状況であり、早急な下水道整備、下水道への接続が求められている。



出典) モーリシャス国 グラン・ベ下水処理施設整備事業 協力準備調査 最終報告書

図 1.4-1 汚水処理状況

4) 宅内を含む下水道整備が必要

ハウスコネクション工事は、民地内の配管まで公共セクター側で実施するため、民地内についても排水設備設計が必要となる。実効性の高い配管設計を行うためにも、住民の資産に対して影響が及ばないように、適切な宅内調査を実施することが重要である。

5) 不明水が多い

分流式で建設されているものの、雨天時浸入水が多く（雨季の1日当たり流入下水量が年平均値の2.2倍）、溢水も生じており、施設容量の確保のためにも、不明水削減対策が求められている。

(2) 下水道整備を推進するために必要な事項とそのポイント

調査は、路線選定、施工方法の検討、工期の算定、工事費の検討、安全計画の策定などを行うために必要な情報を得るために実施するものである。本業務では、実施設計に必要なとなる測量調査（道路上／宅地内）、地質調査に加えて、幹線～枝線～排水設備の路線選定までを実施する。以下に、管渠実施設計を行うために必要となる調査とそのポイントを整理する。

表 1.4-1 調査内容と本業務におけるポイント

調査事項	調査内容	本業務におけるポイント
1) 既往図面の調査 (道路台帳・地形図・宅地図)	道路を中心とした平面図で、道路幅員・主要構造物・沿道家屋などが記載されている道路台帳・もしくは航空測量データを設計の基礎資料として収集する。	最新の地形図は整備されていないが、現地情報によると水道部局で図面を整備している可能性が高いため、 <u>カウンターパートを通じて入手する。</u> また、宅内の排水設備も公共セクター側で整備するため、敷地境界についても排水設備設置位置を選定するために重要な情報であり、水道部局等より情報を入手するよう努める。なお、敷地境界に関する情報が無ければ、水道管に近接した埋設位置を選定する。
2) 流域及び周辺状況の確認	地形・排水区界(分水嶺)、排水の流れ、地域の環境(集落状況)交通の状況、家屋からの排水状況などを調査する。	<u>民地内を含めて微地形(地形のくぼみ等)を確認する。</u> また、下水の流向を決定するために、宅地周囲を含め地表面標高を確認する。 また、 <u>ポンプ場予定地については、敷地面積確保の可否を判断する。</u>
3) 既存構造物(既設管・地下埋設物・在来水路)の現況調査	道路形状、舗装種別、上水・電力・電話等の施設位置(マンホール蓋等)、道路付帯施設(電柱、水	<u>舗装種別や他企業埋設物について、関連部局より資料の有無を確認する(将来計画の有無についても確認する)。</u> 特に当該地では、灌漑用水路が重要埋設物とされ

	路、近接建物・擁壁等)の位置を特定する。	ている。
4) 測量	平面測量、縦断測量を行い、他企業の主要埋設物、マンホールの埋設位置、電柱の位置、水路なども特定する。	35kmの幹線+二次幹線については、平面、縦断の測量を行い、他企業の主要な埋設物を含めて平面位置を特定する。 また、幹線・二次幹線～民地内については、平面測量に加え、必要に応じて水準測量を実施し、詳細設計を行う際に必要となる情報を収集する。 なお、汚水の腐敗を防ぐためにも極力圧送区間を短くすることが望ましいことから、 <u>高さの情報を的確に把握することが重要</u> となる。
5) 地質調査	管渠基礎の検討、土留工法の選定、補助工法の選定のために地質調査を行う。	ポンプ場予定地について、地権者の承認が得られれば、地質調査を行い詳細設計の基礎資料とする。 また、管路施設の予定路線については、岩質が地表面に表れているか否かについて、道路周辺の未舗装面の目視確認を行い、路線選定に供する。

(3) 不明水削減対策の留意点

1) 日本における不明水の状況

不明水は、下水道に予期せず流入する「雨水」や「地下水」のことであり、雨天時等に水量が増大し施設運転への支障、処理コストの増大の原因となる。

不明水は、全国の処理場でみられる現象であり、図 1.4-2 に示すように約50%以上の処理区では、雨天時最大流入水量が晴天時平均水量の2倍以上となっている。不明水問題は、浸入水量、浸入経路を特定することが困難であるとともに、対策には多大なコストを要するため、下水道管理者にとって大きな問題である。

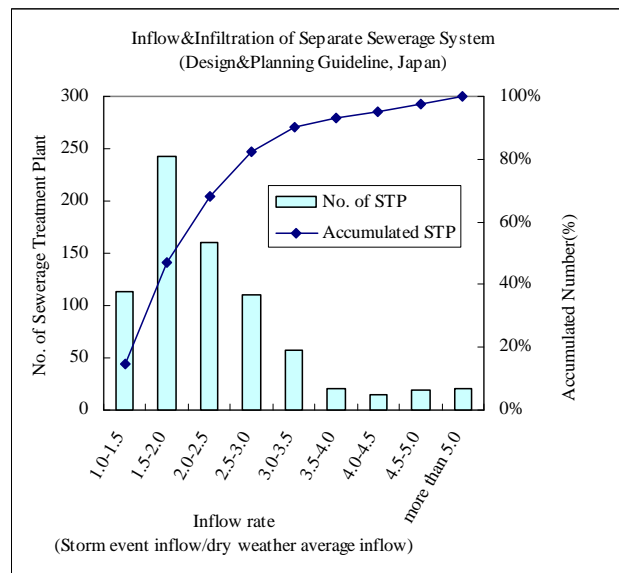


図 1.4-2 分流式下水道の浸入水

2) 雨天時浸入水の流入経路

不明水の一部である分流式下水道における雨天時浸入水は、次の定義である。

- ① 住宅の排水設備（住宅敷地内の下水管）やマンホールの蓋穴など地上に開放された部分、雨水排水管の汚水管への誤接合等から、管路施設に流入してくる雨水
- ② 降雨時に雨水が地下に浸透し、もしくは地下水によって（管の周辺が満水状態になって）、管の継ぎ手や破損箇所等から浸入してくる間接的な流入水

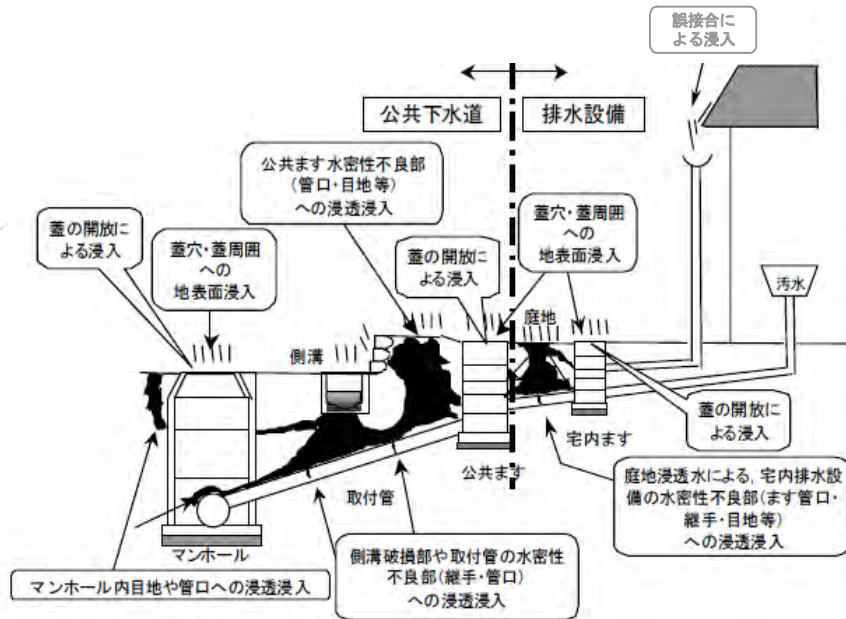


図 1.4-3 雨水の浸入経路

また、特定の地域を徹底して対策し、雨天時浸入水の流入箇所、流入水量を調査した事例が報告されている。箇所別の浸入水量は表 1.4-2 のとおり、日本の経験では下水道システム全般から雨天時浸入水が生じていることがわかる。

表 1.4-2 不明水流入箇所

不明水発生箇所	割合
取付管と公共ますからの浸入水	40%
民地内での浸入水	24%
下水本管での浸入水	36%

出典) 神戸市調査

3) 不明水削減対策の留意点

不明水削減対策は総合的に対応することが必要であり、1) 排水設備の指導強化、2) 汚水管路の入念な施工及び維持管理、3) 雨水排除施設の整備 によって浸入水量を削減することが基本である。

ただし、排水設備の改善や汚水管路施設の補修には、多大な費用と時間を要し、改善工事も困難を伴うため、雨天時浸入水に伴う種々の問題が明らかとなった場合、雨天時浸入水の水量、水質・希釈率、浸入水問題の発生頻度等の実態を調査した上で、管路・ポンプ場および処理施設の能力増強等の下水道施設における対策を検討するとともに、維持管理の役割、費用効果分析などを行って、合理的と考えられる対策を実施することが望ましいとされている。

2. 調査の実施方法

2.1 調査工程

本調査の調査工程を、表 2.1-1 に示す。

インセプションレポート提出後、2010 年 12 月 16 日にモーリシャスへ入国し、現地調査に着手した。WMA とのインセプションレポートについて打合せを行い、現地での調査計画・業務委託契約に反映した。

2011 年 3 月 11 日に WMA とドラフトファイナルレポート報告会を開催し、JICA マダガスカル事務所 (3 月 14 日)、日本国マダガスカル大使館への報告 (3 月 15 日) を行い、現地調査を終了した。この間、2 月 11 日に JICA マダガスカル事務所との合同ミーティング中間報告会を行った。

JICA アフリカ部へ、2011 年 3 月 22 日に帰国報告会、3 月 28 日にファイナルレポート提出を行い、調査を終了した。

表 2.1-1 Study Itinerary / 主なミーティング

Year/Date			Organization	Subject
2010 Dec	9	Thu.	JICA	Contract Inception Report (Draft) submission
	15	Wed.	Study Team	Study Team Departure
	16	Thu.	Study Team	Study Team Arrival in Mauritius
	17	Fri.	WMA	Preliminary Meeting
	18	Sat.	Study Team	Project site visit
	19	Sun.	Study Team	Project site visit
	20	Mon.	WMA	Kick-off Meeting and Inception Report (Draft) submission
	22	Wed..	Luxconsult Co. Ltd.	Meeting on TOR of Employment Contract
	27	Mon.	Luxconsult Co. Ltd.	Employment Contract
	28	Tue.	WMA	TOR on Topographic Survey
			Study Team	Starting Street Survey
2011 Jan.	7	Fri.	WMA	Inception Report (Final) submission Report on Study
	12	Wed.	WRU/WMA	Water Resource Unit Meeting on Core hole & Bore hole Test
	13	Thu.	Mauritius University	Consultation with Dr. Andre Chan Chin on Bore hole Test
	14	Fri.	WMA	Sewer main route & Pumping station layout
	17	Mon.	Study Team	Selection of 900 Low lying Houses

	18	Tue.	WMA	Field meeting on Core hole survey
	19	Wed.	WMA	Field meeting on Bore hole survey
	20	Thu.	Study Team	Team member, Nishikawa leave to Japan
	21	Fri.	WMA	Sewer main route & Pumping station layout
			Study Team	Awarding on Core hole & Bore hole contract
	22	Sat.	Study Team	Nippon Koei staff, Kawahara, arrival
	25	Tue.	Water Research Co.	Meeting on TOR
			WMA	Report on Core hole & Bore hole contract
	27	Thu.	WMA Water Research Co.	Field meeting on Bore hole survey
	28	Fri.	WRU/WMA	Water Resource Unit Meeting on Core hole & Bore hole Test
	31	Mon.	WMA	Meeting on Study
Feb.	2	Wed.	WMA	Arrangement on Land approval
	4	Thu.	WMA	Acceptance of Land approval of Core hole test
	7	Mon.	WMA	Meeting on Study progress
	10	Thu.	Study Team	Starting Core hole boring on field work
	11	Fri.	JICA/WMA	JICA Madagascar Office meeting
	14	Mon.	WMA/WRU Mont Choisy Ltd. Co.	Meeting on Land approval of Bore hole
	15	Tue.	WMA/ Mont Choisy Ltd. Co.	Bore hole site meeting
	17	Thu.	RDA/WMA	Site meeting on sewer plan in classified road with Road Development Authority
	18	Fri.	WMA	Meeting Study progress
	22	Tue.	Water Research Co.	Starting Bore hole boring on field work
	25	Fri.	WMA	Meeting Study progress
			Water Research Co.	Amendment meeting on Bore hole contract
Mar.	4	Fri.	WMA	Meeting Study progress
	11	Fri.	WMA	Draft Final Report Submission
	14	Tue.	JICA Office	Report on study
	15	Wed.	Japan Embassy	Report on study
	17	Thu.	Study Team	Leave Mauritius
	18	Fri.		Arrival in Narita
	23	Wed.	JICA HQ	Draft Final Report Submission
	28	Mon.	JICA HQ	Final Report Submission

2.2 調査実施体制

本調査は、実施設計に先立ち、Phase1-B プロジェクトを円滑に実施するために、地形、ルート、地質・地下埋設物の幹線管渠工事の障害となるものを、事前に把握するための Phase1-B 地区における測量調査、および処理水量の増加に対して地下注入を確実にするための下水処理水の注入井戸を試掘する。また、Phase1-A 地区における不明水（雨天時浸入水）の課題を分析し Phase1-B プロジェクトにその対策を適用するために、Phase1-A 地区における不明水削減対策調査を実施するものである。

本調査の特徴として、調査対象地域が広大で、私有地・住宅に関する調査を含んでおり、限られた時間内で調査を完了させる必要がある。

調査団員は、以下の要素を考慮した構成とする。

- 管渠のルート選定、測量、不明水削減対策について、十分な経験を有する者。
- 我が国政府の技術協力業務を熟知し、効率的な調査が実施できる者。
- 「モ」国側関係機関や現地委託先と円滑なコミュニケーション・協議が可能で、英語の情報、資料を有効に活用できる語学能力を有する者。
- 路線測量、宅地測量、地質調査、注入井戸試掘調査については、「モ」国での調査実績を有するもの（委託）。

調査団員は次の編成とし、表 2.2-1 に、要員計画を示す。

なお、現地調査に入る段階で、監督官庁の許可、地権者の同意が得られておらず、調査内容の説明、地質調査・注入井戸の掘削申請手続きを必要とするなど、当初想定していなかった事務と時間・労力を要することが判明した。このため、現地滞在を常時 2 名体制とし、作業の遂行・調査品質の確保のため、地質の専門家 1 名を 4 週間派遣する補強を行った。

- 総括/下水道管渠設計：井上弥九郎
- 管渠調査：西川貴政
- 地質調査（補強）：川原 直樹

表 2.2-1 調査人月表

	担当業務	氏名	所属先	格付	2010年度					人・月	
					12	1	2	3	4	計	
										現地	国内
現 地 作 業	総括/下水道管渠設計	井上弥九郎	日本工営	2						3.13	
	管渠調査	西川貴政	日本工営	3						2.53	
	地質調査	川原直樹	日本工営	4						0.77	
	現地業務小計								6.43		
国 内 作 業	総括/下水道管渠設計	井上弥九郎	日本工営	2						0.43	
	管渠調査	西川貴政	日本工営	3						0.20	
	地質調査	川原直樹	日本工営	4							
国内業務小計									0.63		
報告書		提出時期		▲ インセプション・ レポート		▲ ドラフト・ファイナ ル・レポート		▲ ファイナル・ レポート			
段階及び合計		■ 現地作業 □ 国内作業							6.43	0.63	
									7.06		

3. 測量調査

3.1 路線測量

3.1.1 路線測量（中心線、縦断測量）の方法

(1) 基本要件

事業スコープの幹線管渠の実施設計に必要な路線上の地形測量を行うものである。

下水道管渠設計技術者の監督、指導のもと、幹線管渠の布設ルートについて決定し、幹線管渠の布設ルートとなる道路において、路線測量を実施し、下水道幹線管渠の実施設計に必要な測量調査を実施する。中心線、縦断測量のほかに、既存の地下埋設物状況（上水、通信）、道路側溝、交差点などの情報について、地図情報として把握を行った。

なお、調査結果については、ドラフトマンにより CAD で電子化した（アウトプット縮尺 1:3000：下水道公社と協議のうえで決定）。

対象地域	Point aux Canonniers, Petit Raffray, The Vale, Pereybere, Cap Malheureux, Sottise (約 35km の既存道路上)
測量項目	平面測量：35km×20m、中心線測量：50m 毎、縦断測量：35km

(2) 実施方法

路線測量の実施にあたっては、短期間で測量調査を完了させる必要があることから、集落間の測量については、GPS 衛星からの信号を GPS 受信機で受信し三次元の座標を計測する GPS 測量にて路線測量を行った。また集落内については、目標物にレーザー光を照射してその反射光を検知し、その波長のズレ量で計測する光波測距方式のトータルステーションを活用した平面測量・縦断測量を行った。なお、当該地は巨木が多く集落内では GPS 測量を実施することが困難である。

トータルステーション

トランシットと光波測距儀を一体化した測量器械で、測角と測距を同時に行うことができる。観測した結果は、画面にデジタル表示され、その値をデータコレクタに記録し、目標点の 3 次元座標（位置、高さ）を計算する。

<p>路線測量 GPS システム (固定局)</p>	
<p>路線測量 GPS システム (移動局)</p>	
<p>路線測量 (光波測距方式トータル ステーション)</p>	

図 3.1-1 測量風景

3.1.2 路線測量結果

(1) 測量対象路線

路線測量対象路線は、下水道幹線管渠計画を策定したうえで選定した（下水道幹線管渠計画については3.3章に記述）。路線測量実施路線は約40kmであり、次のとおりである。

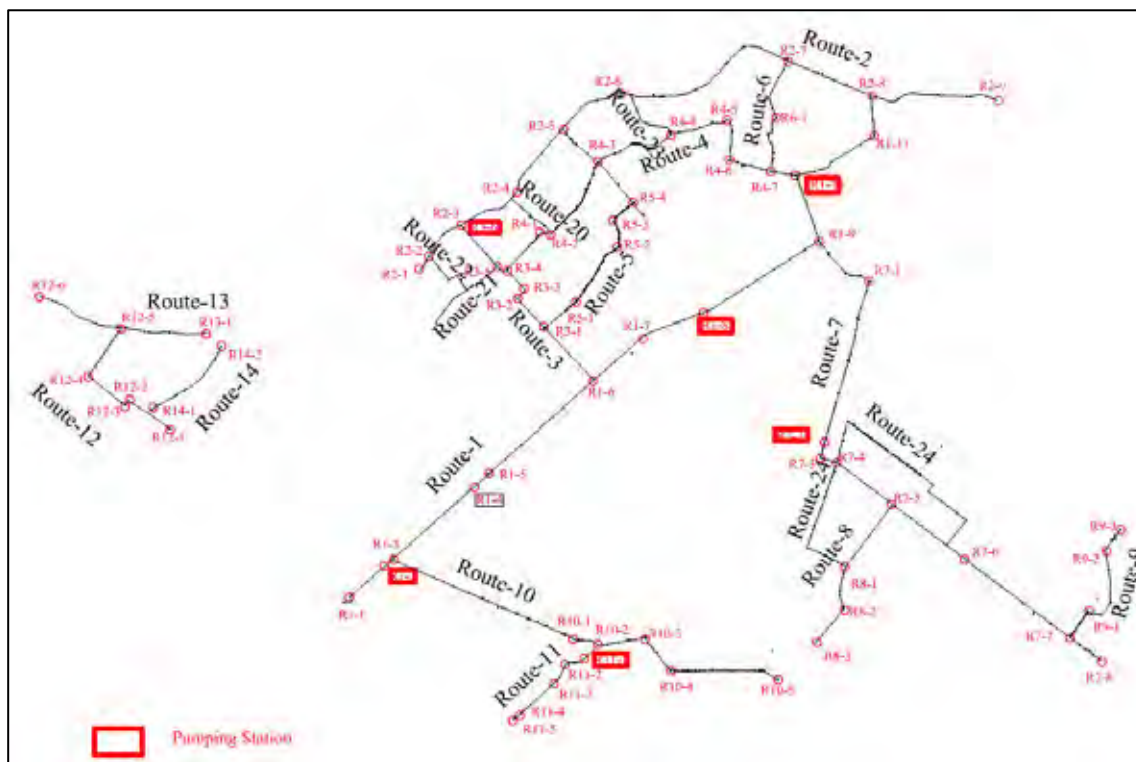


図 3.1-2 路線測量対象路線

なお、平面図と縦断面図との照合を容易にするため、上図に示す通り、路線番号（Route-1～24）と、基準点番号（R1-1～R14-2）を設定した。

(2) 路線測量結果

路線測量結果は、平面図（縮尺：1/3000）と、縦断面図（縮尺：縦 1/100、横 1/1000）に取りまとめた。結果は別冊「測量調査報告書」に示す。

3.1.3 路線測量結果の活用

等高線図を作成し、地形の凹凸の分布を把握することで、下水の収集経路とマンホールポンプ等の揚水の要否を特定した。（図 3.1-3-右）

幹線管渠のルート選定では、Petit Raffray から The Vale 間の山越えのルートを見直すこ

とにより、揚程 25m の中継ポンプ場を含む 2 箇所を削減した。また、踏査により地図情報を確認することで、管の流向と迂回ルート選定に活用した。(図 3.1-3-左)

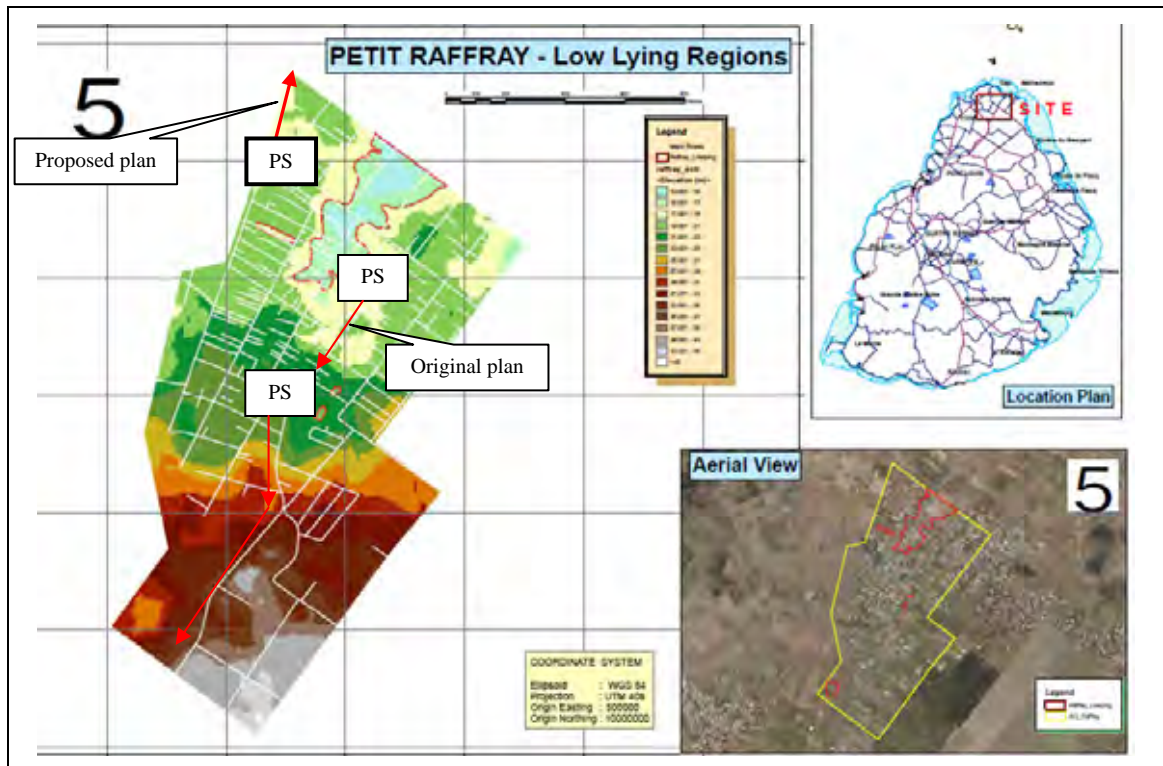


図 3.1-3 Petit Raffray 地区の低地区と幹線管渠の代替案

道路に隣接した低い畑地を、幹線管渠用地として占有することにより、MS および管渠長さを削減する。

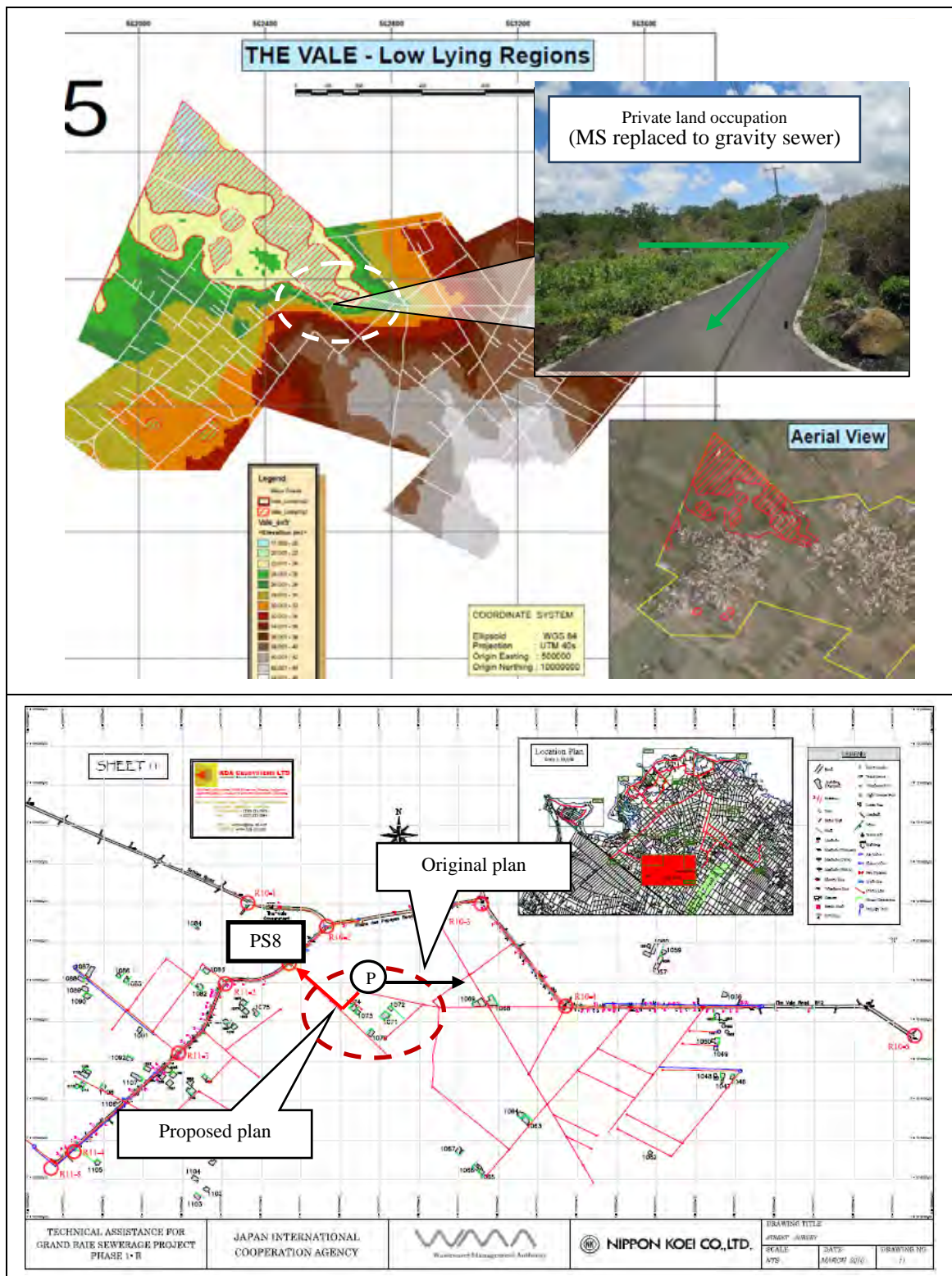


図 3.1-4 The Vale における民地（畑地）占有の例

3.2 宅地測量

3.2.1 宅地測量の方法

(1) 基本要件

Mon Choisy-East 開発区を除く Phase1-B 区域内の家屋（想定 4,400 世帯）、および、これらの戸別接続と幹線管渠を結ぶルートのための平面測量を行うものである。

なお、調査結果については、ドラフトマンにより CAD で電子化する。

対象地域	Point aux Canonniers, Petit Raffray, The Vale, Pereybere, Cap Malheureux, Sottise (想定4,400世帯)
測量項目	道路；平面測量：5km×20m、仮BM設置：500m毎、水準測量：50m毎 宅内；平面測量： 900世帯＞排水流出箇所的位置・最低点と排水設備ルート設定 3,500世帯＞下水本管への接続高さチェック、航空測量による路線確認（詳細設計時に宅地調査を実施）

表 3.2-1 宅地調査の内容

対象	調査数量	調査内容
道路より宅地の地盤高が低い箇所	1,112 戸 (当初計画900戸) 810 戸 GL 測量	<ul style="list-style-type: none"> ・戸建衛生設備の位置 ・施工支障物 ・平面上の確認 ・水準測量
道路面と同等か、より高い箇所	5,626 戸	航空測量による地図上での路線確認 (下水本管への接続高さチェック) ※詳細設計時に宅地調査を実施する
計	6,738 戸(当初計画 4,400 戸)	

(2) 実施方法

1) 宅地調査対象箇所の選定

当該地は近年宅地開発が急速に進んでおり、行政側での地図作成が追い付いていない状況である（現地での情報によると、現在オーストラリアの援助により住宅土地局（Ministry of Housing and Lands）が電子地図を作成中とのこと）。そこで、本調査では住宅土地局が販売している航空写真を用いて宅地の特定を行った。調査対象地域内の宅地の総数を航空写真により集計したところ、6,738 箇所であった。

調査対象区域の住宅 6,738 箇所のうち、下水道計画を策定する上で必要となる低地の住宅を現場踏査により抽出し、1,112 戸を特定した。特定した住宅については、航空写真（住宅の形状）と測量結果（住宅の座標）を基にして、配置・形状を CAD でデジタル化し、宅地調査結果の整理、宅内配管（取付管）計画に活用した。

2) 調査への協力依頼

宅地への立入りは、プライバシーに関わる問題であり、行政としての関与が不可欠である。このため、WMA より調査協力について、メディア（ラジオ）、地区事務所（District Council）への依頼を事前に行うとともに、調査依頼書（Communiqué）を WMA スタッフが手渡すことによって、住民に対して調査に対する協力を依頼した。



図 3.2-1 宅地調査依頼状 (Communiqué)



図 3.2-2 宅地調査協力依頼状況 (WMA 職員)

3) 宅地調査

宅地調査は、WMA職員と調査団がチームとなって対象住宅 1,112 箇所を訪問した。また宅地調査を行う際には、次頁（図 3.2-3）に示す調査フォームを持参し、表 3.2-2 に示す情報を可能な範囲で収集した。なお、計画対象地域は、リゾート地を含んでいるため住宅のオーナーと居住者が異なる例も多く、WMA スタッフにより協力依頼を行ったうえでも、調査に対して全面的に協力が得られたわけではない。宅地内への立ち入りを拒まれた家屋については、住民へのヒアリング等により情報を補完している。

表 3.2-2 宅地調査取得情報

取得情報	情報収集者	情報収集目的
住所	WMA	顧客基礎情報
所有者	WMA	顧客基礎情報
電話番号	WMA	顧客基礎情報
CWA 番号	WMA	顧客基礎情報（料金徴収時に活用を想定）
前面道路区分	調査団	詳細設計基礎情報（占用許可要否判断）
排水設備位置	調査団	詳細設計基礎情報（取付管理設位置）
他企業埋設物位置	調査団	詳細設計基礎情報（取付管理設位置）
取付管延長	調査団	詳細設計基礎情報（概算施工数量特定）
道路高	調査団（GPS 測量）	詳細設計基礎情報（管路埋設深）
宅地内最低高	調査団（GPS 測量）	詳細設計基礎情報（管路埋設深）

Individual House Lot Survey Form

No/ Map No.	/
Aerial Photo No.	


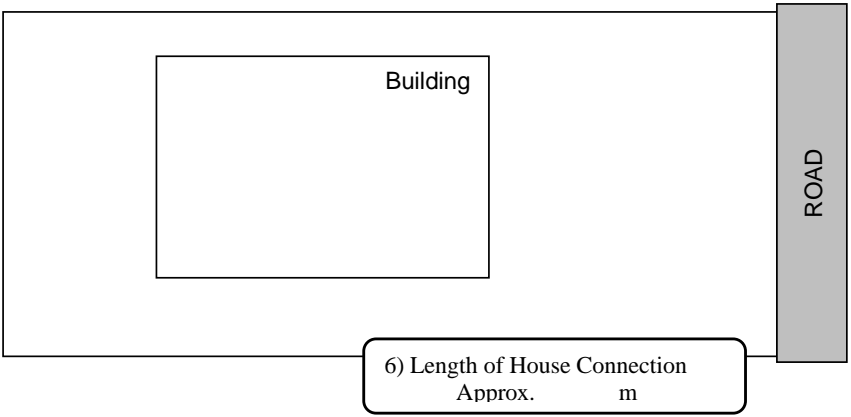






Survey date			
Address			
Owner			
TEL		CWA Account	
Front Road	<input type="checkbox"/> Public road <input type="checkbox"/> Private		
Survey items	1) Boundary of housing lot <input type="checkbox"/> measured in-situ <input type="checkbox"/> DTM/aerial photo <input type="checkbox"/> not detected		
	2) Location of wastewater discharge facilities (kitchen, bath, toilet and Laundry) <input type="checkbox"/> kitchen <input type="checkbox"/> bath <input type="checkbox"/> laundry <input type="checkbox"/> toilet <input type="checkbox"/> septic tank/pit latrine		
	3) Location of other utility service lines <input type="checkbox"/> water <input type="checkbox"/> electricity <input type="checkbox"/> telephone line <input type="checkbox"/> others()		
	4) Lowest elevation of ground level (household site) <input type="checkbox"/> measured in-situ <input type="checkbox"/> DTM + m		
	5) Elevation of road level + m		
	6) Length of house connection <input type="checkbox"/> measured in-situ <input type="checkbox"/> Aerial photo		Approx. m
	7) Combined or separated of building sewer of wastewater sewer and storm water sewer <input type="checkbox"/> No drainage <input type="checkbox"/> Combined <input type="checkbox"/> Separated		
4) <i>Lowest</i> GL of Household Site + m		5) GL of Road + m	
Direction 			
	【Legend】  : Kitchen,  : Bath,  : Toilet,  : Laundry,  : Septic tank,  : Pit latrine		
Remarks			
Wastewater Management Authority, Gov. of Mauritius JICA Study Team of Grand Baie Wastewater Project Address: Tel:			

図 3.2-3 宅地情報収集フォーム

3.2.2 宅地測量結果

(1) 宅地地図

以下に作成した住宅地図を例示する。航空写真による住宅の位置、形状、選定した低地区の住宅（ピンク枠）を示す。



図 3.2-4 宅地地図 (Housing map : Point aux Canoniers 地区)

(2) 路線測量の補完

地盤高さは、地理情報の重要な情報で、路線測量結果と航空写真による位置情報とを併せて活用することで、従来の航空写真の精度を、測量レベルの精度に高めることが可能である。今回の路線測量は、35km（宅地測量を含めて 40km）であり、管路延長の約 40%に相当する。このため、宅地測量の地点を分布させることで、道路・住宅の位置と地盤高さを把握し路線測量を補完した。これにより、下水道計画区域のほぼ全域の地形情報を得ることができた。

3.2.3 宅地測量結果の活用

宅地調査の結果、1,112 戸の低地住宅を特定し、810 箇所の住宅について地盤高さの情報が得られた。宅地測量結果は、下水の収集ルートおよびポンプ排水の要否を判断する根拠として活用し、面整備管の管路計画に反映した。また、ハウスコネクションの平均的な延長は、46.9m であった。

また、収集した情報は、維持管理段階で活用できる重要な顧客情報となるため、顧客情報（ハウス インベントリー）として表形式に整理した。

宅地および顧客情報は、詳細設計・建設工事および維持管理段階で不可欠な情報であるので、WMA が引き続き調査を継続する予定である。

表 3.2-3 宅地調査集計フォーム (1/2)

Summary of housing lot survey													
Village	Household Details							Housing lot survey items					
	No. of Total House	No. of low lying house	Address	CWA AC No.	Ownership Name	Ownership Name	Telephone	Front Road		Boundary	Housing lot elevation	House lower than road (average)	House connection length (average)
								Public	Private	Not Detected	house	m	m
Pointe aux Cannonries	1,168	174	43	1	102	79	92	106	0	106	130	1.7	55.7
Pereybere & Cap Malheureux	2,864	623	317	152	329	322	307	296	44	207	409	0.8	48.2
Petit Raffray	1,738	225	100	97	105	122	96	93	11	92	201	1.2	44.5
The Vale	810	67	38	37	42	27	40	32	9	28	55	0.9	38.2
Sottise	158	23	22	10	22	6	17	18	0	0	15	0.2	32.1
Total	6,738	1,112	520	297	600	556	552	545	64	433	810	1.1	46.9

Remarks

- (1) No. of total house is counted by aerial photo as one house of cottage type buildings.
- (2) Low lying houses are selected by reconnaissance survey and indicated on map.
- (3) Figures of Address, CWA AC No., Ownership Name and Telephone are obtained by interviewing.
- (4) Ground elevation is surveyed on 810 housing lots.
- (5) Closed house and rejected house are detected by GPS and eye view survey.
- (6) Remaining household details are continuously surveyed by WMA.

表 3.2-3 宅地調査集計フォーム (2/2)

Household Inventory Survey		Household Details										Housing lot survey items					Survey Methodology		
Technical Assistance for Grand Baie Sewerage Project Phase 1-B		Aerial photo reference No.	Hosue reference No.	Village	Address	CWA AC No.	Ownership Name	Telephone	Front Road		Boundary		Housing lot elevation of lowest point	Road elevation	Housing lot higher or lower than, or equal to road	House connection length	Measured in-situ	DTM/aerial photo	Rejected
Public	Private								Detected	Not Detected	GL + m	GL + m							
1	1	Pts aux Canoniers					Naveet Alalro	269 0929	*		*	7.52	7.87	0.35	81	*			
1	2	Pts aux Canoniers					Sobash Chandra Ramparsad	263 5129	*		*	7.18	7.98	0.80	23	*			
1	3	Pts aux Canoniers	Island View				Paula Labat	258 0755	*		*	7.00	7.87	0.87	50	*			
1	4	Pts aux Canoniers	Island View				Paula Labat	259 0755	*		*		7.95		46	*			
1	5	Pts aux Canoniers					Jean Bernard Tsack	727 0080	*		*	7.52	7.53	0.01	57	*			
1	6A	Pts aux Canoniers					Jean Francois Adam	727 0080	*		*	7.29	7.11	0.18	73	*			
1	6B	Pts aux Canoniers					Jean Francois Adam	727 0080	*		*			0.00		*			
1	6C	Pts aux Canoniers					Jean Francois Adam	727 0080	*		*			0.00		*			
1	7	Pts aux Canoniers					Frederick Robert		*		*	7.18	7.11	0.07	80	*			
1	8	Pts aux Canoniers	Coeur Volant				Christine Colin	752 8715	*		*	7.51	6.86	0.65	65	*			
1	9A	Pts aux Canoniers					Veronique Moufferon	423 6000	*		*	9.66	6.86	2.80	78	*			
1	9B	Pts aux Canoniers					Noel Raffray	423 6000	*		*			0.00		*			
1	9C	Pts aux Canoniers					Gilbert Deleplaque	423 6000	*		*			0.00		*			
1	24B	Pts aux Canoniers					Serge Bidfield/Meur c/o Sunil	910 5122	*		*			0.00		*			
2	25	Pts aux Canoniers					Bougois		*		*	9.90	11.81	1.91	31	*			
2	26	Pts aux Canoniers					Alan Paillassseau	263 3845	*		*	10.20	11.67	1.47	27	*			
2	27	Pts aux Canoniers	23 Coastal Road				Maurice Martin	258 1660	*		*	11.42	11.52	0.10		*			
2	28	Pts aux Canoniers	24 Coastal Road				Maurice Martin c/o Mme La Grue	931 3065	*		*			12.05		*			
2	29	Pts aux Canoniers					Roger Koenig c/o Sibush	263 5486/261 3197	*		*	10.57	12.31	1.74	56	*			
2	30	Pts aux Canoniers					Alexis Harel	735 8668	*		*	10.61	11.71	1.10	68	*			
2	31	Pts aux Canoniers					John Tagg (Jessica)	932 3804	*		*	9.13	11.71	2.58	69	*			

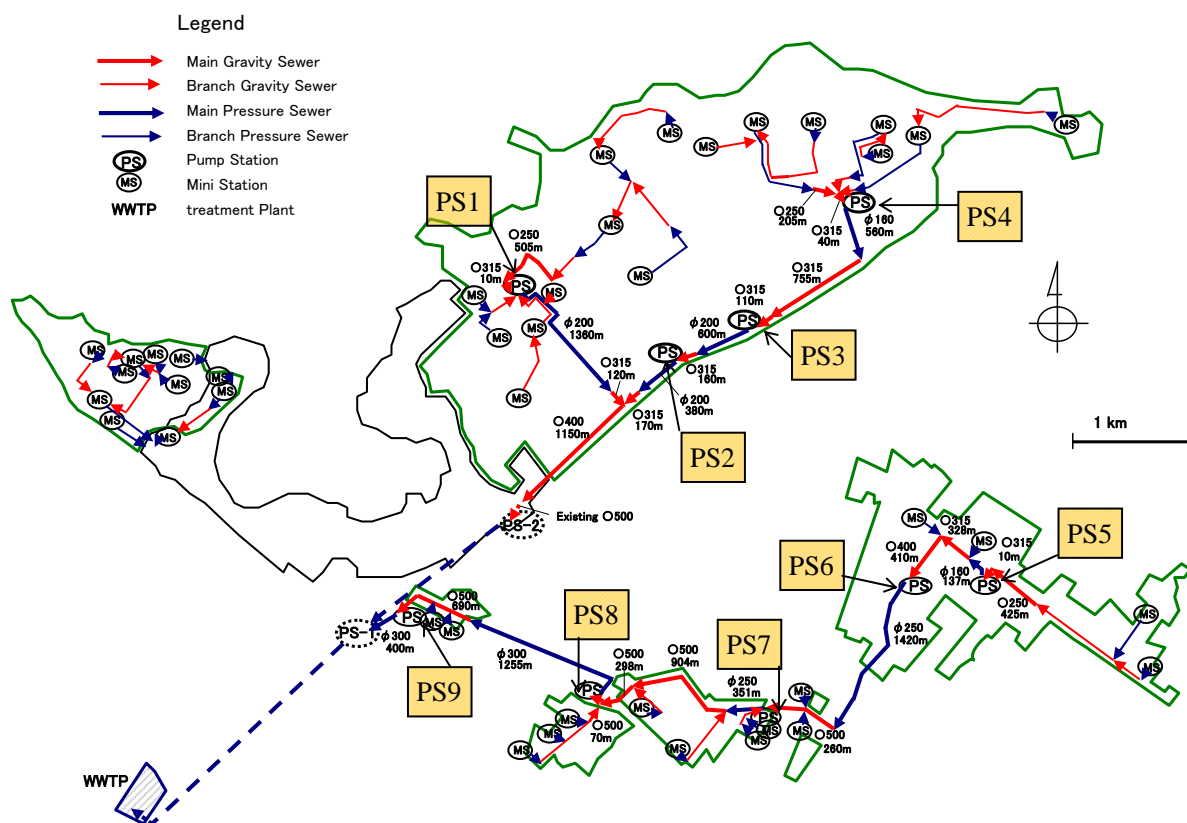
3.3 幹線管渠ルートを選定

3.3.1 現計画案の課題

グ・ランベ地区は、火山活動による噴火・堆積物や溶岩流によって形成された起伏のある平地であり、Grand Baie Sewerage Project Phase 1-B は、Pointe Aux Cannoniers, Pereybere and Cap Malheureux, Petit Raffray, The Vale, Sottise の5地区を処理区域として計画している。

地表勾配は、図 3.3-2 の等高線図に示すように、南東部の Petit Raffray, The Vale から北部・西部にかけて緩やかに傾斜する丘陵地である。また、Pereybere and Cap Malheureux は、海岸部の溶岩が露出する地盤で標高が高く、低地は Swamp と呼ばれ、雨水が滞水する沼地が点在している。

既存の幹線管渠ルートは、図 3.3-1 に示すように、Petit Raffray から The Vale, Sottise を経由して既存のポンプ場 PS1 へ接続するルートと、Pereybere and Cap Malheureux では、海岸線と自動車道 (B45) 上に幹線ルートを計画している。



出典) グラン・ベ下水処理施設整備事業協力準備調査最終報告書

図 3.3-1 現計画主要管渠ルート図

現計画案の課題は、次の3点である。

- A) 中継ポンプ場（PS）9箇所と数が多いこと。
- B) 用地買収を伴う民有地に計画していること。
- C) 高低差 25m と、高揚程のポンプ場を必要とすること。Petit Raffray 地区では、低い地点へ自然流下で集めた汚水を、再度、揚水すること。

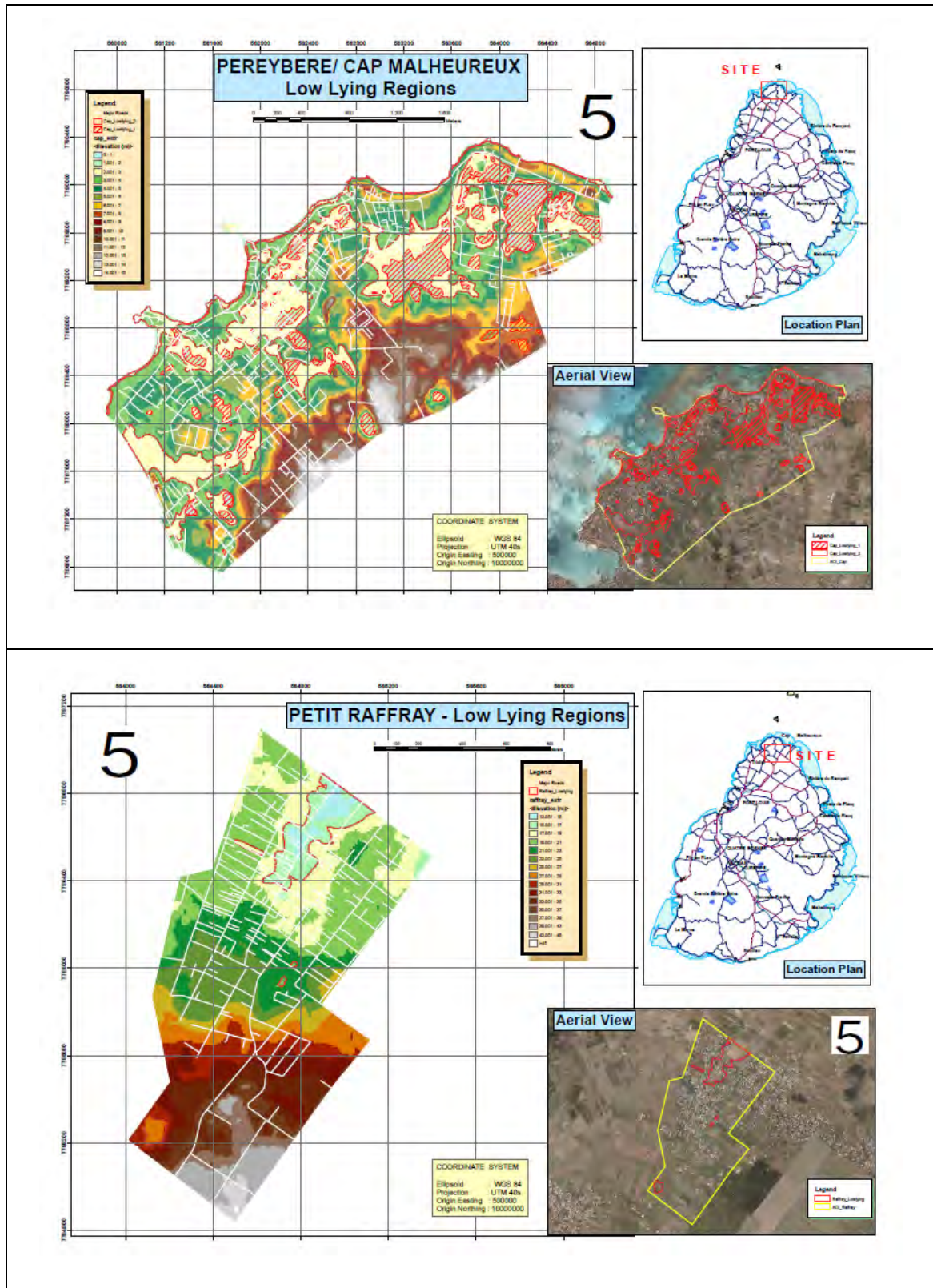


図 3.3-2 等高線図 (1/2)

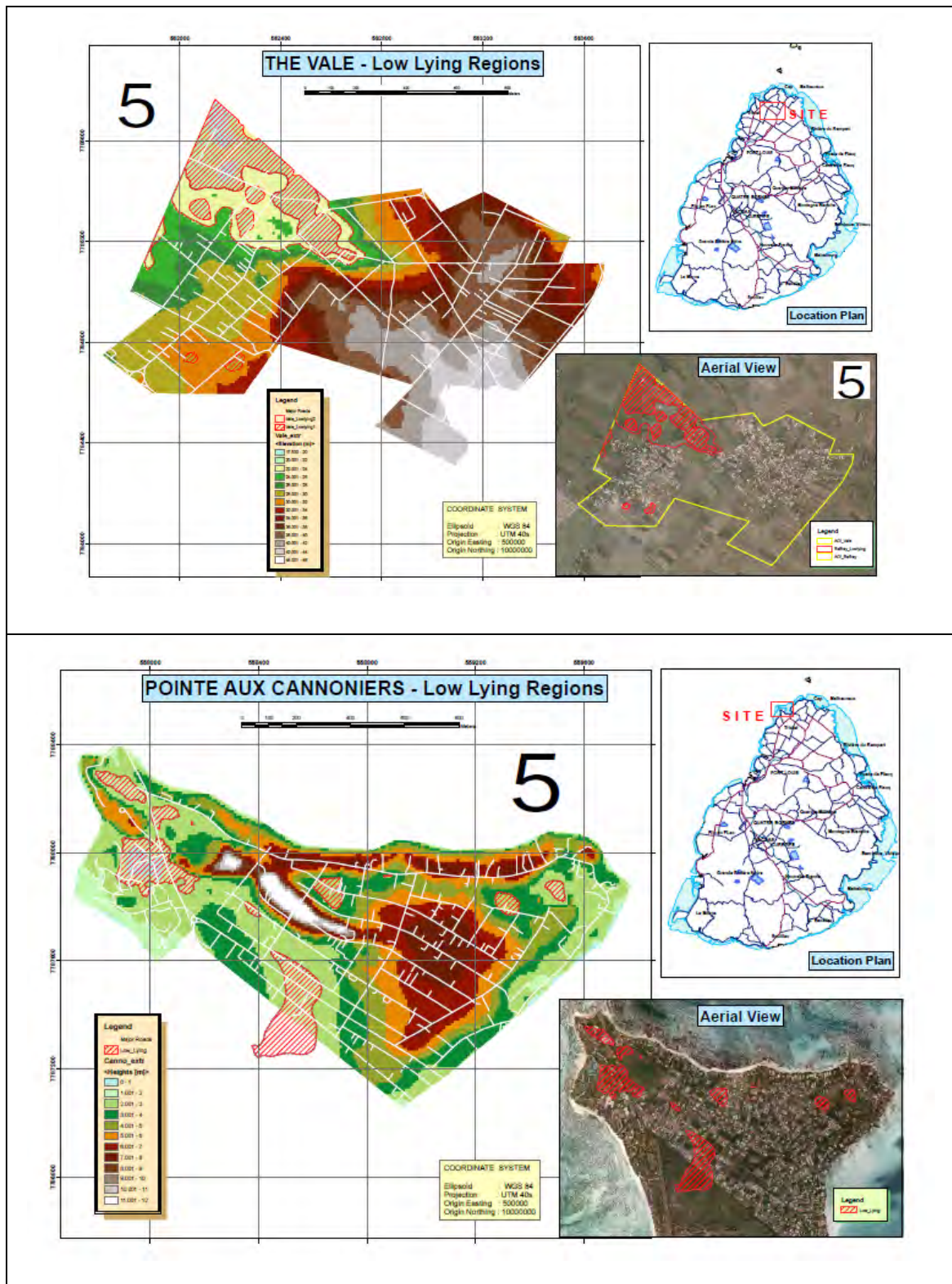


図 3.3-2 等高線図 (2/2)

3.3.2 代替案の選定

今回の路線測量および宅地測量で、詳細な等高線図を得ることができた。路線測量で得られた地形から、既存の幹線管渠ルートで、標高差約 25m の高揚程のポンプ場 (PS6) に代えて、Petit Raffray から地盤高の低くなる Pereybere and Cap Malheureux へ幹線管渠ルートを変更することを提案した。このことにより、PS6 および PS7 の 2 箇所のポンプ場計画を削除し、併せて低揚程のポンプ場とすることが可能である。PS7 は、揚水量が少なくなるので、MS (マンホール形式ポンプ場) に代えて、The Vale 地区の東部地区の汚水を揚水する。

また、PS2 と PS3 は、約 500m と近接したポンプ場であるので、ポンプ場 PS3 の圧送管をポンプ場 PS2 の送水先まで延ばし、PS2 近傍で発生する汚水は、MS (マンホール形式ポンプ場) で集水し、PS2 の圧送管に平行して揚水する案とする。

PS4 および PS5 は、幹線管渠の変更ルート案では、WMA の下水処理場用地およびフットボール場の一部である公共用地を利用することができる。ポンプ場の数を 9 箇所から 6 箇所と減じることに加えて、民有地の買収を 2 箇所、砂糖きび企業の所有地 2 箇所、公共用地 2 箇所と、土地買収に要する事務量および用地交渉の遅れによる事業リスクを軽減することにした。

提案した幹線管渠ルートと現行案の比較を図 3.3-3 に、代替案の利点を表 3.3-1 に示す。

Flamonds Rd. の近隣については、MS の揚水先を下流側の自動車道 (B45) に移すことにより、揚水回数 3 回から 1 回に減じて PS1 の負荷 (揚水量) を削減することとともに、圧送管ルート上の住宅開発地区を下水道区域に組み入れることを可能とする。

Pointe Aux Cannoires 地区は、11 箇所の MS (Mini Station : マンホール形式ポンプ場) で計画されている。近接する MS1、地盤高さ約 1m の逆勾配となる地区に計画されている MS2 のポンプ場の設置位置を幹線管渠の合流する地点に移設することによって、合計 6 箇所 (削減数 5 箇所) と変更する。

表 3.3-1 代替案の利点

1	Petit Raffray と Pereybere & Cap Malheureux を接続することにより、約 25m の揚程のポンプの設置が回避できる。 PS 5 は、私有地から公有地 (サッカーコート) に位置を変更することで、用地取得協議が不要になる。
2	Petit Raffray の汚水が Pereybere & Cap Malheureux を経由することで、PS7 ポンプ場は、MS (ミニステーション) に変更することができる。
3	PS 2 ポンプ場と PS3 ポンプ場の計画位置が近接しているため、PS2 ポンプ場を MS (ミニステーション) に変更して、汚水を PS2 ポンプ場の下流に送水することで、ポンプ場を削減できる。
4	Flamonds 通りの汚水を PS1 ポンプ場の下流に接続することで、3 度の揚水が必要となる非効率なルート設定を回避することができる。更に、MS (ミニステーション) が新規開発地の汚水を自然流下管で収集することができる。
5	MS (ミニステーション) が、下水既整備区域とフェーズ 1-B 区域の間の新規開発地の汚水を収集できる。

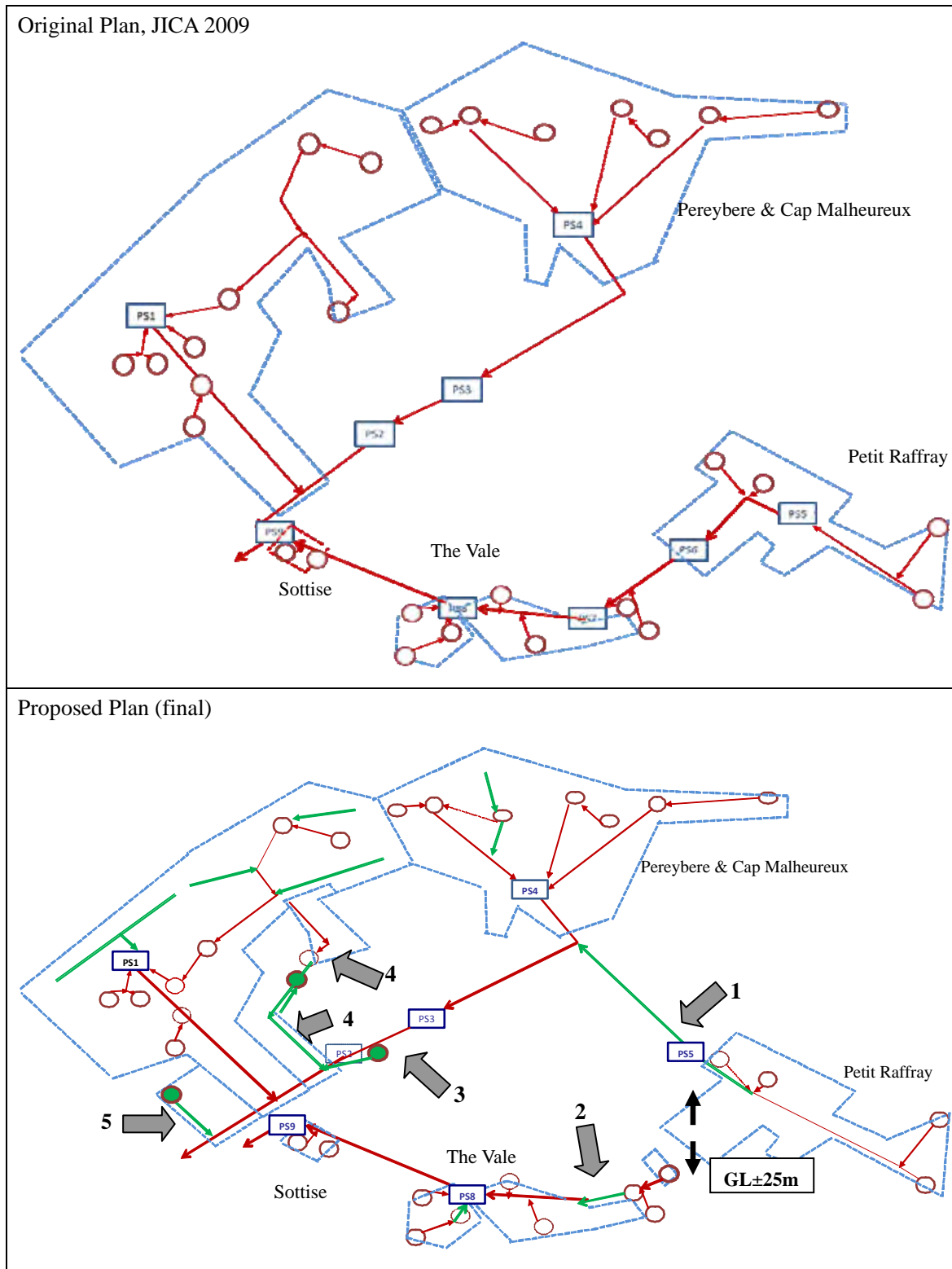


図 3.3-3 幹線管渠の現計画案と代替案 (Perybere & Cap Malheureux, Petit Raffray, The Vale and Sottise 地区)

3.3.3 道路管理者（RDA）との協議

RDA（Road Development Authority）は、Classified Road として図 3.3-4 に示す道路を管理している。他の公道は、District Council Office が管理する。

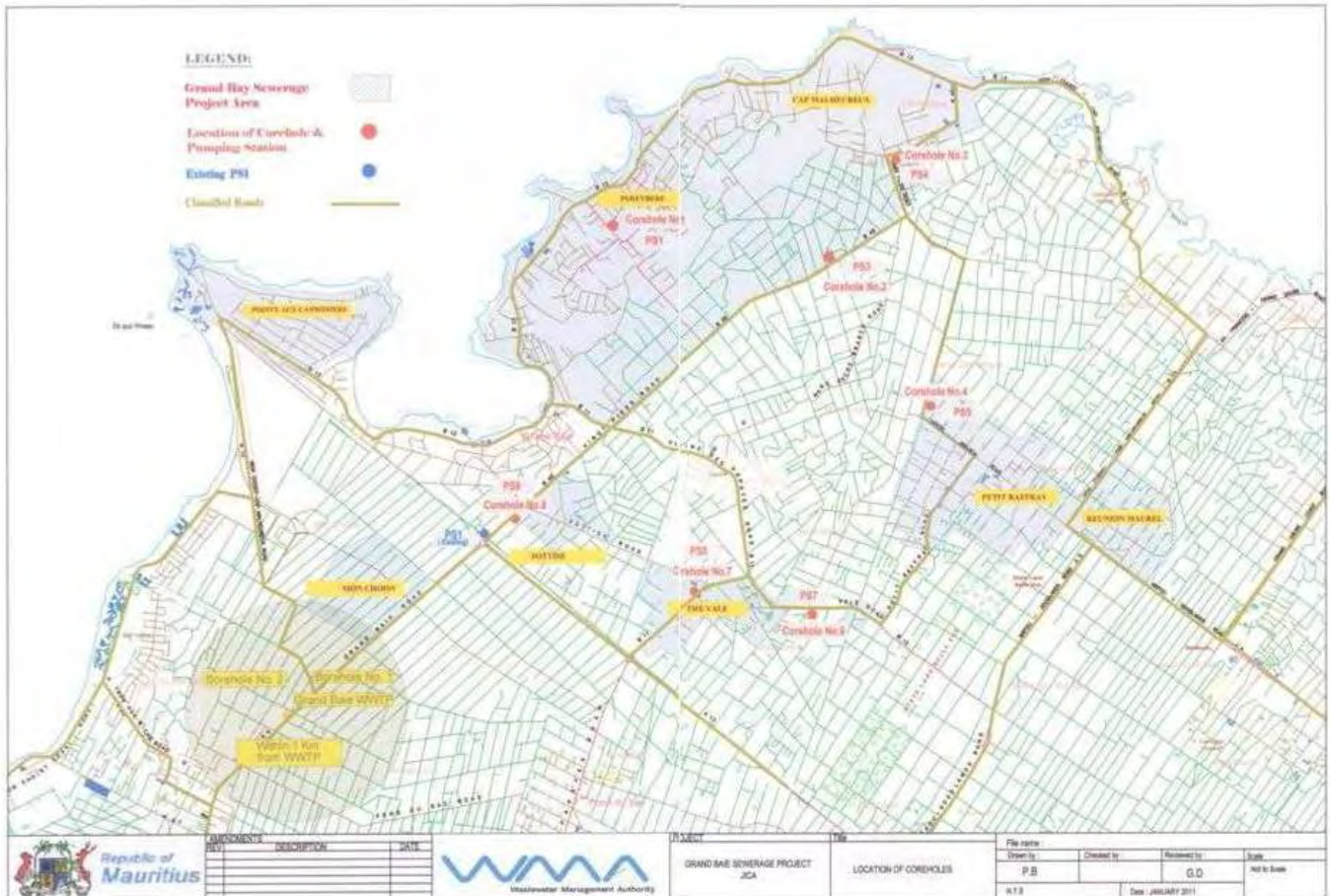


図 3.3-4 RDA 管理道路（Classified Road）

RDA は、詳細設計時に道路占用の協議を行うことを求めている。道路横断箇所については、埋設深さおよびコンクリート巻き等の防護工、将来接続が予想される開発プロジェクトについてはシース（さや管）を設けることを指導している。

また、縦断占用については、下水管の接続工事の容易性やコスト、マンホールの不陸による交通事故防止を理由として、原則として路肩・側道部分とすることを指導している。ただし、車道（路肩）から 1.5m の Road Reserve、4.5m の建築物のセットバックを道路用地として規制しているが、現況の道路は、必ずしも Road Reserve Area が確保されていない。また、CWA（水道）、テレコミュニケーションの管路施設が占用しているので、管渠設計の実施段階で、詳細な協議、検討が必要である。

3.3.4 まとめ

(1) 多重圧送など、合理的な幹線管渠計画の検討

グラン・ベ地域は、なだらかな丘陵の平坦な地形であり、処理区域が 8km と長く、ポンプ揚水を繰り返す地形である。さらに、幹線道路沿いに住宅や商業施設の開発が進められ、今後、市街化が進展することが予想される。

本調査では、逆止バルブ等のメンテナンスを考慮して、1組のポンプ場と圧送管で構成される圧送方式を提案している。幹線管渠沿線で進行する市街地の汚水を収集するためには、圧力管に注入する多重圧送方式は、将来の管路増設を計画する上で、合理的な収集・送水方式である。

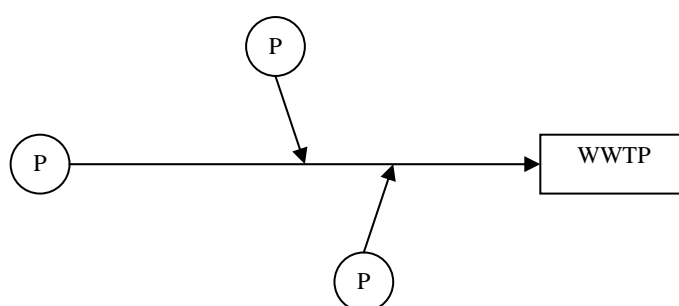


図 3.3-5 多重圧送式下水道

(2) 下水の腐敗・硫化水素対策

下水は管内に滞留することにより腐敗し硫化水素を放出する。管路圧送システムでは、圧送管の運転が間欠運転となり、管内に滞留するので、下水の嫌気化により硫化水素腐食問題が懸念される。グラン・ベ下水処理場の着水井・スクリーン施設は、硫化水素腐食の影響を受けた金属およびコンクリートの腐食の進行が伺える。スクリーン水路の鉄製柵は周辺の鉄製柵よりも腐食が進んでいる。同様に、着水井の気相部でコンクリートの劣化が現れている。中継ポンプ場は、脱臭・換気による効果と圧送管の延長が短いことから、腐食の進行は現れていない。

Phase 1-B、Phase 2 で建設される管路施設は、延長が長いので、硫化水素腐食は一般と同様に生じることが予想されるので、施設の長寿命化により維持管理コストを低減させるため、空気混入・コンクリート防食などの硫化水素腐食対策を実施することが適切である。



図 3.3-6 硫化水素腐食状況等

3.4 面整備管の管路計画

3.4.1 集合処理区域

下水道で処理することが合理的な地区は、住宅が連坦する人口密集地や商業地区である。グラン・ベ地区は、既成の市街地・住宅地に加えて、旅行者の長期滞在用に作られた戸建の住宅 (balcony) が散在している。これらの住宅の中には、住宅地から孤立して立地しているものも多い。

宅地測量や管路建設工事現場調査で得られた住民の排水に関する意識では、次のコメントがあった。

- 雨水汚水ともに、地中浸透させる方式で、汚泥引き抜きを経験していない。(女性)

- 沼（Swamp）に面した住宅地の住民は、雨期になると地下水位が上昇し、汚水が滞水する。下水道は重要な施設である。（男性）
- セプティックタンクの臭気に悩まされる。下水道が普及して、セプティックタンクの清掃、管理から開放された（女性）。
- グラン・ベのビーチは、かつて清浄であった。水質汚濁が進んでいるので、下水道は必要だ（女性）。

火山性の土地で透水性が良好であるので、排水が困難な地区は沼（Swamp）周辺の低地域に限られている。雨水排水施設も、ビーチに面した市街地など、一部に限られている。ところが、雑排水は未処理で、トイレ排水はセプティックタンクを介して、全ての汚水を地下へ浸透させる方式であり、近年の住宅開発の進展と併せて、地下水汚染が進行することも当然のことと予測される。

人口密度の低い地区で塩水の浸入など地下水利用が困難な地区では、下水道で収集するよりも個別処理施設（セプティックタンク）で処理することが合理的とされるものも多い。

下水道整備区域は、集合処理・個別処理の経済性、将来の土地利用、住民意思・政策を勘案して決定しなければならない。本調査では、集合処理・個別処理区域を特定することはできないが、図 3.4-1 に示すように、明らかに集合処理とすることが不適切である地区を除いて、管路計画を作成する。



図 3.4-1 集合処理区域から除くべき住宅の例

3.4.2 低地の集水方法

グラン・ベ地区は、火山活動によって形成された土地で溶岩層が地表に露出している。また、河川がなく雨水は自然排水と地下浸透によっている。沼地が散在し、豪雨時には雨水で満たされる重要な雨水排水機能を担っている。このように、窪地・小規模の丘陵地に住宅地が形成されており、道路から下がった土地、丘を越えてビーチに面する住宅、片勾配の袋小路に沿った住宅など、重力式の排水が困難で、ポンプ排水を必要とする地形が多い。

地形測量で得られた等高線図を元にして作成した低地地区を示す（図 3.4-2 上段）。低地の住宅の配置と集水方法について、モデル化したものを図 3.4-2 下段に示す。

Petit Raffray 地区では、道路から下がった土地の住宅には、図 3.4-3 に示すように、コンドミニアル下水道と呼ばれる住宅の裏庭など民地に下水管を配置して収集し、ポンプ揚水する方法が採用される。また、Cap Malheureux では、海岸道路と砂糖きび畑に挟まれて住宅地が存在する。民地（砂糖きび畑の一部で、林地）に下水管を敷設することが合意できれば、合理的な污水収集手法である。

丘を越えてビーチに面する住宅は、海岸沿いに下水管を敷設するための用地を確保することが困難である。戸建住宅用の排水ポンプ（グラインダーポンプ）は、有力な下水道整備手法である（図 3.4-4）。

片勾配の袋小路に沿った住宅では、最下流部に集合住宅用の排水ポンプ（グラインダーポンプ）を配置して排水する方法が合理的である（図 3.4-5）。

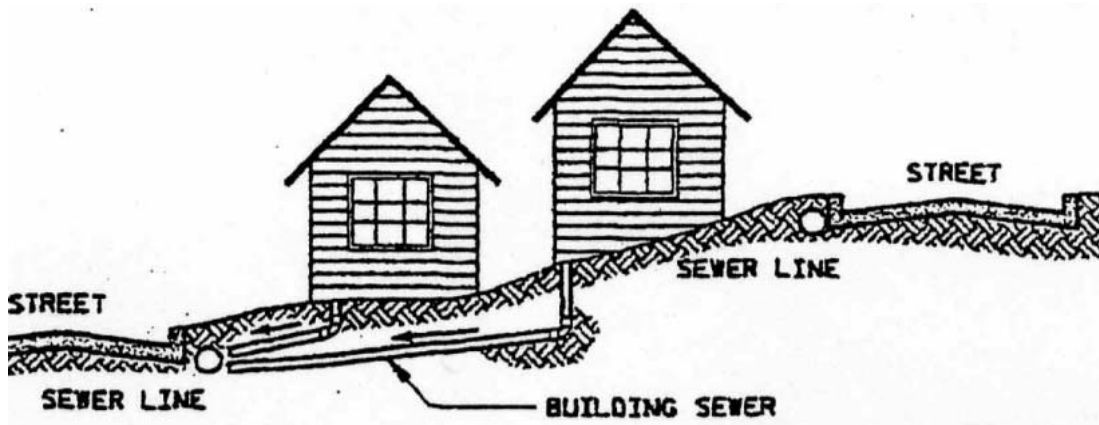
これらの集水方法については、管路施設の点検・清掃など、住民の負担・協力が不可欠であるので、管路施設の設計・建設段階で、住民意思を確認することが不可欠である。

海岸付近の低地住宅



* 宅地所有者の許可を得て道路背面に配管することで、個々にポンプを設置する必要が
無くなり、コスト縮減が可能

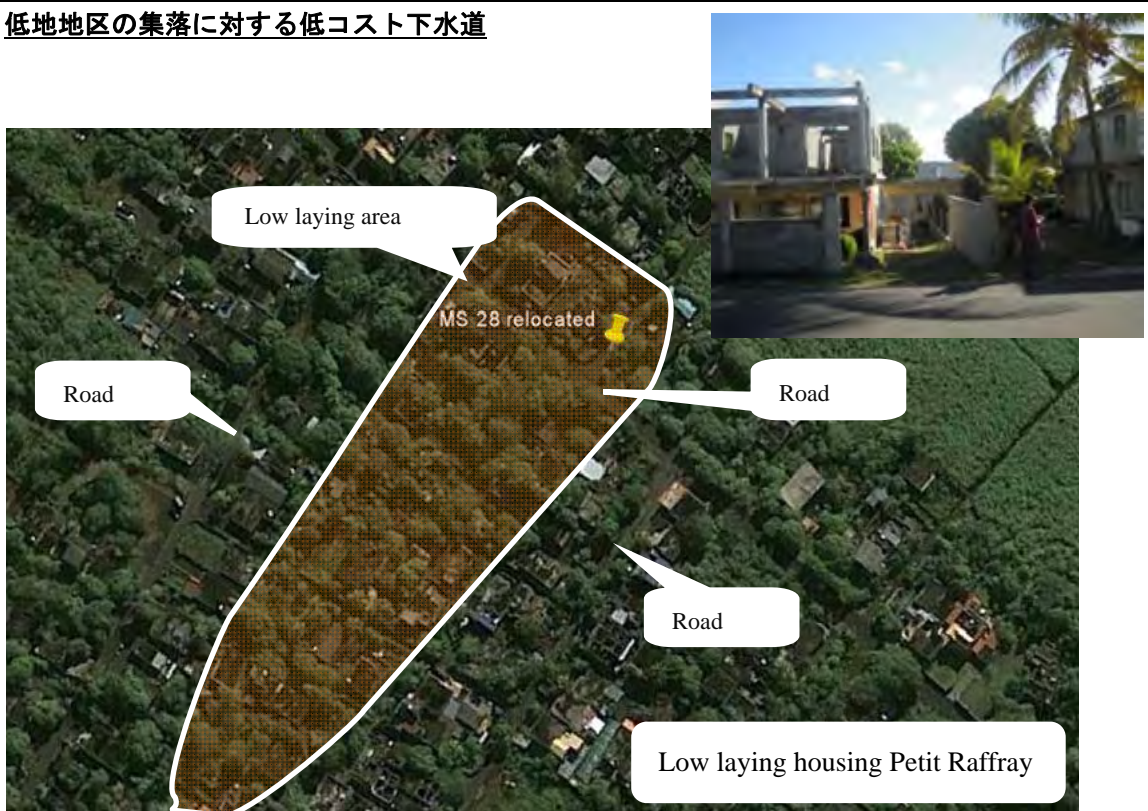
低コスト下水道



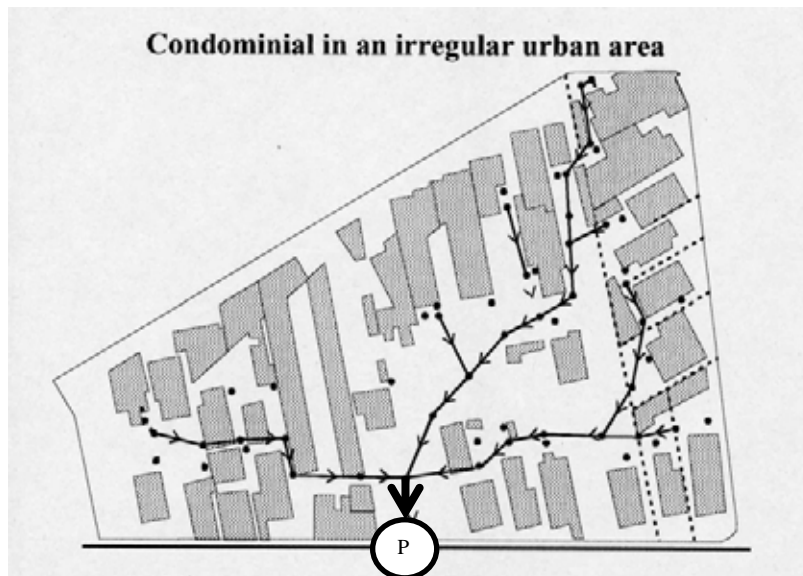
* 宅地所有者の許可を得て道路背面に配管する

図 3.4-2 海岸付近の低地住宅への対応

低地地区の集落に対する低コスト下水道



コンドミニアル下水道とミニステーション（民地内の下水道）



*コンドミニアル下水道は、低地地区の集落に下水道整備を進めるのに適している。
住民参加が、下水道整備と維持管理において重要である。

図 3.4-3 低地地区の集落への対応

海岸沿いの低地住宅



*海岸沿いの低地住宅には個々に排水ポンプを設置する（海岸沿いの配管が困難な箇所）
 しかしながら、戸別の排水ポンプは、コスト・維持管理の責任所在の観点から推奨できない。
 詳細設計では、低地住宅の下水道サービスをどのように提供するかを検討しなければならない。

各家庭に設置される排水ポンプ

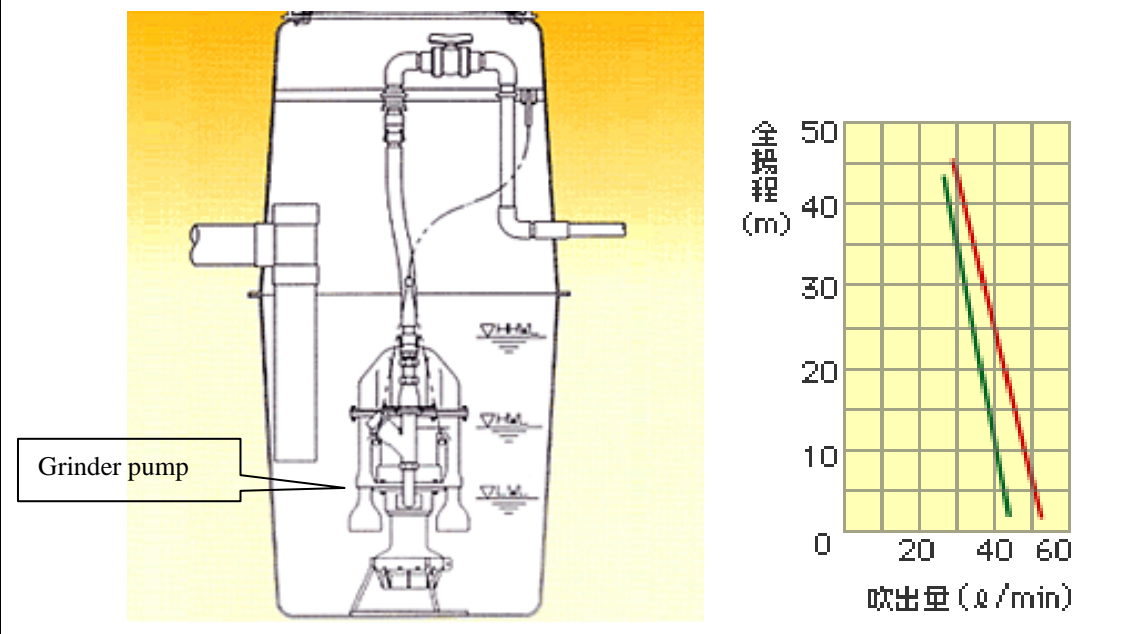


図 3.4-4 海岸沿いの低地住宅への対応

片勾配の袋小路



* 片勾配の袋小路終端に排水ポンプ（グラインダーポンプユニット）を設置する

集合住宅や集落用の排水ポンプ

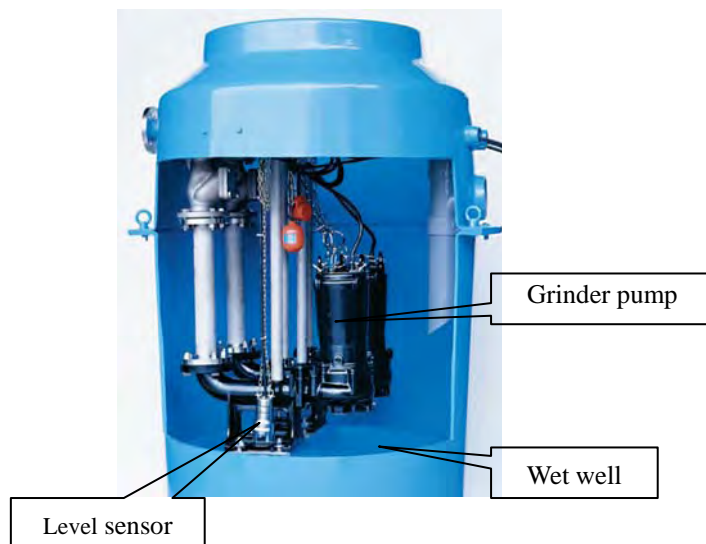


図 3.4-5 片勾配の袋小路や集合住宅への対応

3.4.3 面整備管の管路計画

詳細設計で計画下水量、管低高さ、管径、土被り等の管路設計を行なうことを前提に、本調査では、路線測量と宅地測量によって得られた地形情報と道路地図情報をもとに、下水管を配置する路線と管の流向を設定した。

公道については、地形測量・宅地測量結果と現地踏査により得られた地形情報をもとに、必要となる路線を計画した。自然流下で収集可能な地区については、公道内の下水管（公共下水道）までを計画対象とし、ハウスコネクションは宅地調査を行った箇所について配置している。策定した面整備管の管路計画を別冊「測量調査報告書」に示す。

なお、面整備管の管路計画を策定するうえでは、3.4.1 節、3.4.2 節に示した管路計画の考え方に留意し、自然流下で収集することが困難な地区については、公道に MS（マンホール形式ポンプ場）や集合住宅用の排水ポンプ（グラインダーポンプ）を配置した。また、低地の住宅地で、戸別に排水ポンプを設置することが不適切な地区については、住宅の裏庭を占有するコンドミニアル方式を提案した。下水管の位置は、居住者の意向を調査したものではないので、詳細設計段階でのヒアリングによって、収集ルートおよび管の埋設位置を決定しなければならない。

3.4.4 まとめ

本調査は、下水道区域の地形情報の全容を把握し、幹線管渠ルートを適切に選定すること、及び、面整備管の流向を検討して管路施設を計画するものである。このため、窪地や公道よりも低い土地の宅地情報を把握することにより、地表勾配に沿って下水管を配置し可能な限り自然流下方式で下水を収集することに注力して面整備計画を策定した。

しかしながら、低地に位置する住宅や片勾配の袋小路に沿った住宅では、ポンプ揚水が不可欠である。戸別に排水ポンプを設置するのではなく、住民の協力を得て民地に管路施設を配置することが、コスト低減の観点から重要である。

(1) 下水道区域の設定

下水道の目的は、汚水の収集、し尿処理、水質保全、雨水排水に及ぶので、下水道を整備する効果を総合的に勘案して、下水道区域を設定することが重要である。

3.4.2 節に示すように、低地や散在する住宅のすべてに排水ポンプ（GP ユニット）を設置することは、建設・維持管理コストやポンプの保守・点検に負担を強いる。このため、汚水の収集・処理は、オンサイト処理施設（セプティック・タンク）とオフサイト処理施設（公共下水道）が分担・連携して行うことが合理的である。

詳細設計段階では、下水道の整備水準を、技術的・行政的な側面から明確に区分することで、合理的な下水道計画を検討することが求められる。

例えば、技術的に、下水道サービスを提供することがコスト高となる住宅には、オンサイトシステムを義務付ける。これらの住宅は、公共下水道サービスに比べて、セ

プティクタンクの維持管理を強いるためサービス水準が劣ることに対して、行政的な判断基準を示すこと、例えば、下水道区域を公示し、その根拠を示すことが必要である。

表 3.4-1 下水道の役割（例）

下水道システムの役割	グラン・ベへの適用要否	代替案
汚水排除 (家庭環境改善)	不要 (透水性が高い土壌である)	オンサイト処理施設
し尿処理	必要	オンサイト処理施設
水環境管理		
海岸環境保全	早急に必要	オンサイト処理施設
地下水保全（内陸部）	早急に必要	
地下水保全（沿岸部）	必要	オンサイト処理施設
雨水排水	必要	既存排水システム

(2) プロジェクトの各段階での調査成果

ハウスコネクション調査は、プロジェクトの調査、設計、建設工事の各段階で必要とする情報を収集して、最終的には維持管理段階で必要とする顧客情報システムと管路施設情報システムを構築することにつなげることを目的とする。

図 3.4-6 に示すように、プロジェクトの各段階で情報を蓄積する必要がある。調査段階で、地理情報、住宅情報、管路施設情報を集積していく。設計・建設段階では、ハウスコネクションの協議を進めていくので、管路施設の図面や顧客の詳細な情報が得られる。維持管理段階では、管路施設の維持管理、料金収集・クレーム対応が必要とされるので、それぞれ、管路施設情報、顧客情報に発展する。

今回調査は、設計・建設段階のハウスコネクション調査、顧客情報、および管路計画、施設情報の端緒となるものである。対象地域のハウスコネクションの総数は、約 4,400 戸（現地調査で得られた戸数：6,738 戸）と、今回調査 900 戸の 5 倍に上るとともに、今回実施した路線測量も 40km（路線測量 35km、宅地測量 5km）で管路延長（推定 92km）の 43% に過ぎない。従って、今回作成したハウスインベントリーのプロトタイプを活用して、実施設計段階の調査で取得する地理情報・施設情報を、付随して収集する顧客情報も加えて、適切に蓄積し活用する必要がある。

なお、下水道事業の初期段階である今回の調査では、住民の協力が完全には得られず、インタビューによる一時情報を基本としながらも、協力が得られない住宅については、航空写真・目視による地図情報の推測値と CWA（水道公社）の有する顧客情報で補完して情報を整理している。

一方、ハウスコネクションの設計・工事に必要とする情報は、宅地所有者の意見を聴取しながら、管の計画、建設方法を決定するプロセスを経ることが通常の手法である。従って、詳細設計段階では、本調査で得られた管路施設計画と、詳細設計時の調

査で得られる顧客の要望や詳細の地盤高を元に、管の起点、ハウスコネクションの接続位置を決定、排水ポンプの要否を決定する必要がある。

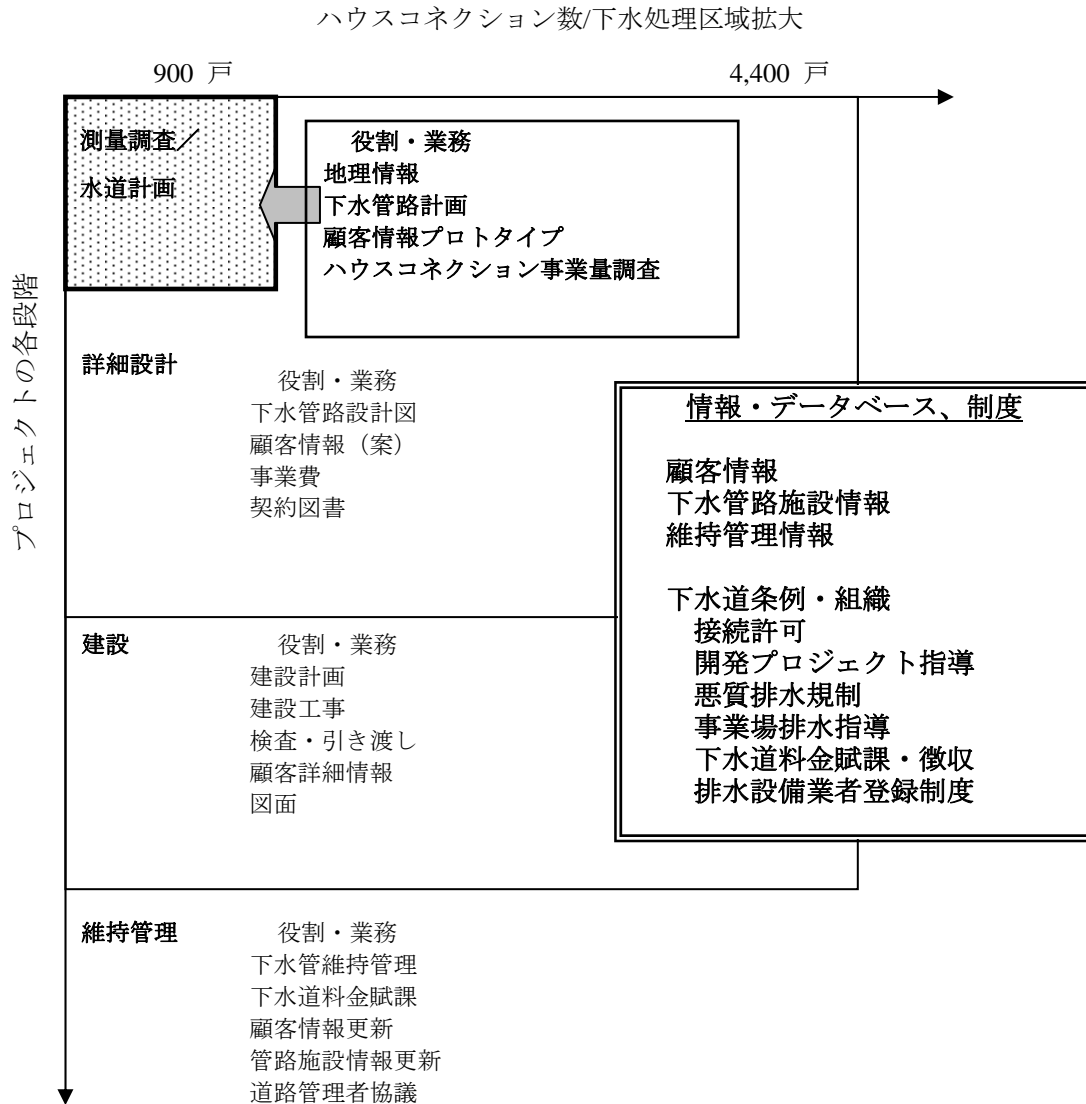


図 3.4-6 ハウスコネクションに対する段階に応じた対応

4. 地質調査および注入井戸調査

4.1 資料収集調査

4.1.1 注入井戸調査に関する資料収集

グラン・ベにおける注入井戸に関する調査は、表 4.1-1 に示すように、1999 年と 2009 年に実施されており、1999 年に BH-1、BH-2 及び BH-3 の注入井戸が削孔され、運用が開始された。2009 年には、10 年経過したこれらの注入井戸に対する透水性試験が実施された。

表 4.1-1 過年度の調査資料

No.	タイトル	日付	実施者
1	Study for the Location of Infiltration Boreholes of the Treated Waste Water of Garand Baie	1999 年 10 月	WMA (掘削は Water Research Co. Ltd.)
2	Grand baie Sewerage Project Phase 2	2009 年	Water Research Co. Ltd.

出典: 調査団

1999 年に削孔された注入井戸 BH-1、BH-2 及び BH-3 の概要を表 4.1-2 に示す。

表 4.1-2 1999 年に削孔された既存注入井戸の概要

孔番	掘削開始日	掘削深	海岸までの距離	標高
BH-1	1999 年 3 月 19 日	80m	1,020m	16m
BH-2	1999 年 4 月 12 日	64m	1,380m	25m
BH-3	1999 年 5 月 12 日	72m	760m	12m

出典: Study for the Location of Infiltration Boreholes of the Treated Waste Water of Grand Baie, 1999 and Grand baie Sewerage Project Phase 2 2009

表 4.1-3 に既存注入井戸削孔時の調査結果の概要を示す。

玄武岩は多くのゼノリスやスコリアを含んでいる。柱状図中の岩相は、削孔時の微小な切りくずを基に判断しているため、表 4.1-3 の集積岩(agglomerate) は周囲の玄武岩と同じ、ゼノリスやスコリアを含む玄武岩であると考えられる。ゆえに調査地周囲に分布する玄武岩溶岩は、約 70m 以上の層厚を有すると考えられる。

基底地下水位は、ほぼ海水面の高さに相当しているため、地下水位は潮位の影響を受けていると判断される。

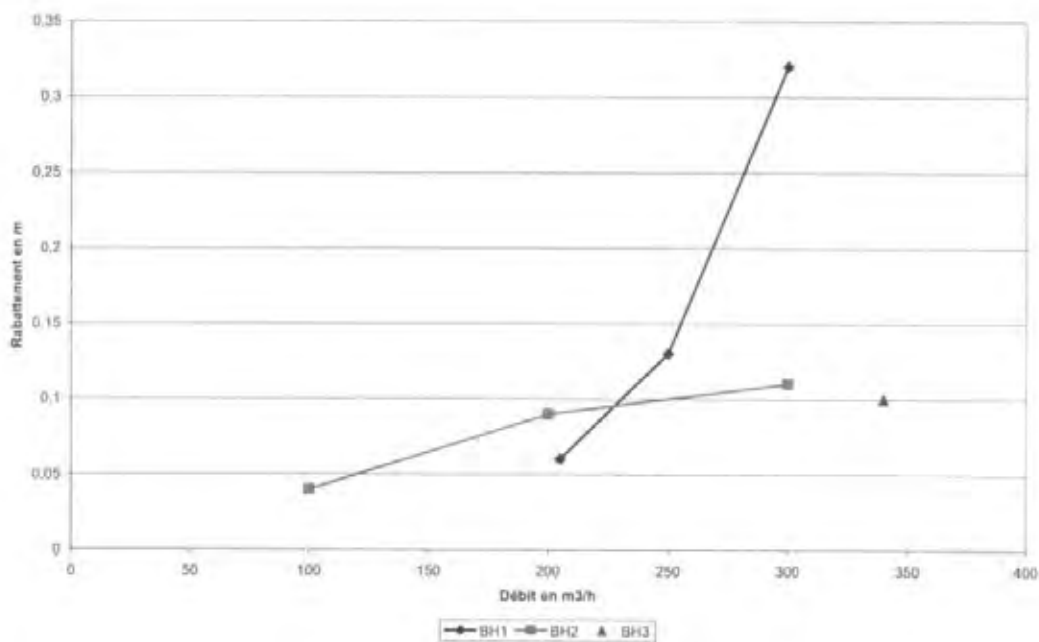
また注入井戸の透水性を把握するために、BH-1、BH-2 及び BH-3 に対する揚水試験と注入試験が実施された。段階式揚水試験の結果を表 4.1-3 に示す。調査結果は、玄武岩中

に内在する裂隙が要因であると考えられる、400 m³/h 以上の非常に高い透水性を示しており、それらは真水帯水層と塩水くさびの間の境界に浸透すると考えている。

表 4.1-3 既存注入井戸削孔時の調査結果概要

孔番	岩相		基底 地下水位	透水試験	
				揚水量 (m ³ /h)	低下高(m)
BH-1	0~1m	Yellowish brown colluvium	16.47m	300	0.32
	1~18m	Redish brown to purple agglomerate			
	18~46m	Greyish blue, porous basalt			
	46~80m	No circulation at top of hole			
BH-2	0~14m	Purple, porous and altered agglomerate	25.52m	300	0.11
	14~35m	Greyish blue, porous basalt			
	35~57m	Redish brown to Purple agglomerate			
	57~64m	Greyish blue, porous basalt			
BH-3	0~2m	Greyish brown colluvium	12.44m	340	0.10
	2~49m	Greyish brown to blue porous basalt			
	49~54m	Purple, porous and altered agglomerate			
	54~72m	Redish to grayish blue, porous basalt			

出典: Study for the Location of Infiltration Boreholes of the Treated Waste Water of Grand Baie, 1999



出典: Grand baie Sewerage Project Phase 2

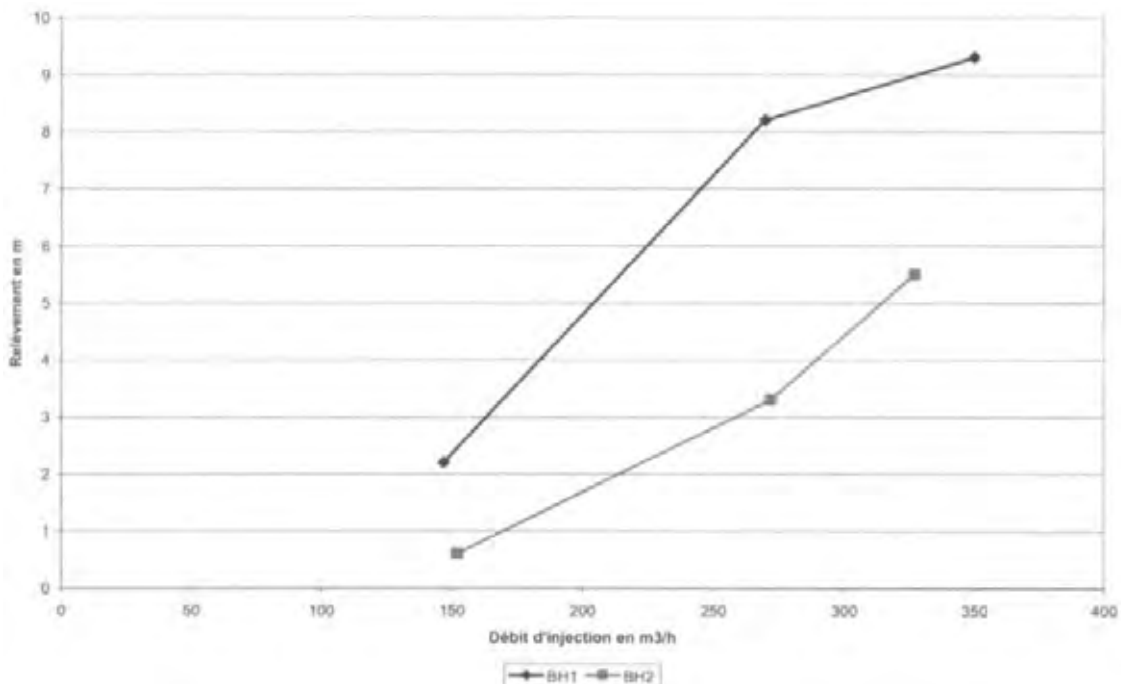
図 4.1-1 1999 年の段階式揚水試験の結果

BH-1 と BH-2 の既存の注入井戸に対する注入試験が、2009 年に実施された。調査の結果概要を表 4.1-4 と図 4.1-2 に示す。注入井戸 BH-3 は目詰まりのため、運用を中止している。調査結果によると、注入井戸は高い浸透容量を示し、次段階の浸透注入井戸も同じ 350m³/h の注入量で運用することを提案している。

表 4.1-4 2009 年の注入試験の結果概要

孔番	注入量 (m ³ /h)	上昇量 (m)	透水係数 (m/s) (ストレナー延長: m)	
			初期状態 (1999 年)	試験結果 (2009 年)
BH-1	147	2.2	0.014 (60)	0.019 (45)
	270	8.2		
	350	9.3		
BH-2	152	0.6	0.025 (34)	0.025 (34)
	272	3.3		
	327	5.5		
BH-3	-	-	0.014 (62)	0.017 (50)

出典: Grand baie Sewerage Project Phase 2, 2009



出典: Grand baie Sewerage Project Phase 2, 2009

図 4.1-2 2009 年の注入井戸試験の結果

4.1.2 調査地周辺の地形・地質状況

モーリシャス島は、アフリカ・プレートから噴出したマントルプリュームに起因するホット・スポットにより形成された火山島である。Baxter, 1972 等によると、モーリシャス島は 8 Ma から陸上に出現し、火山活動を活発化させた。モーリシャス島の玄武岩火山活動は、図 4.1-3 に示すように前期(7.8-5.5 Ma)、中期(3.5-1.9 Ma)、後期 (0.7-0.03 Ma)の 3 段階のフレーズに区分される。これらのフレーズは、それぞれ楕状期、後楕状期、後浸食期に相当する。後期に噴出した溶岩は、小規模なベイサナイトを伴うかんらん石玄武岩を主とし、調査地の大半を覆っている。玄武岩溶岩は、青灰色で、多孔質の様相を呈する。水平方向の平板節理と北北西-南南東方向と東北東-西南西方向の走向の柱状節理からなる 3 方向の節理が発達している (図 4.1-4 a, b, c)。WWTP に隣接する採石場では、玄武岩溶岩は約 10~30cm の崩積土層の下位の地下浅所に露出している様子が認められる (図 4.1-4 d)。

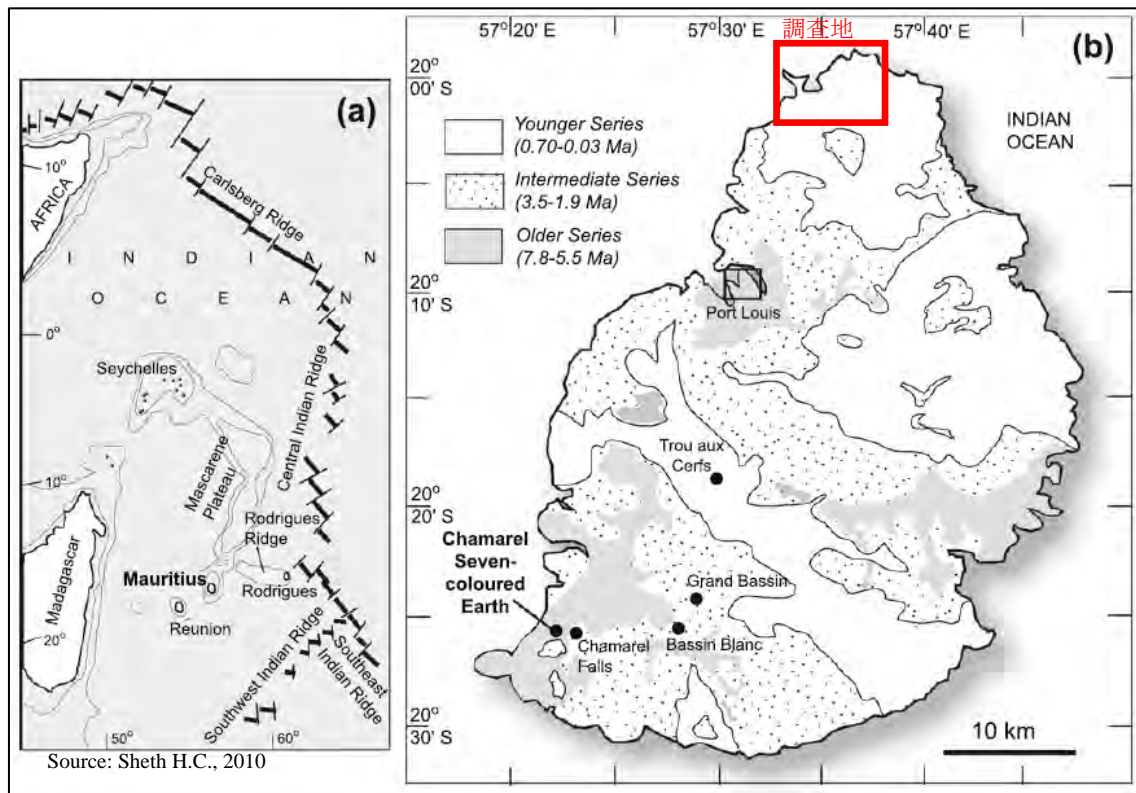


図 4.1-3 (a) インド洋周辺におけるモーリシャス島の地質学的な位置
 (b) モーリシャス島の概略地質図

新たな注入井戸の透水性に関する検討では、下水処理水が玄武岩溶岩中の節理等の裂隙あるいは溶岩チューブのような空洞に浸透するものと考えられる。

溶岩チューブ; 溶岩チューブは、溶岩が固結した溶岩下部を流下することにより、パホエホエ溶岩中に形成されるチューブ状の空洞である。ハワイ島の有名なトルストン溶岩チ

ューブのように、多くの溶岩チューブが知られている。モーリシャス島においては、溶岩チューブは Plaine des Roches や Roches Noire 等の島北東部の緩傾斜地に見ることができ、その規模はハワイ島の溶岩チューブよりはるかに小さく、人が入れる程度の大きさである。グラン・ベにおける調査地では、溶岩チューブは地表面において確認されておらず、モーリシャス大学のチャン教授からのヒアリングでは、グラン・ベ周辺に大規模な溶岩チューブが存在する可能性は低いとの見解を示している。

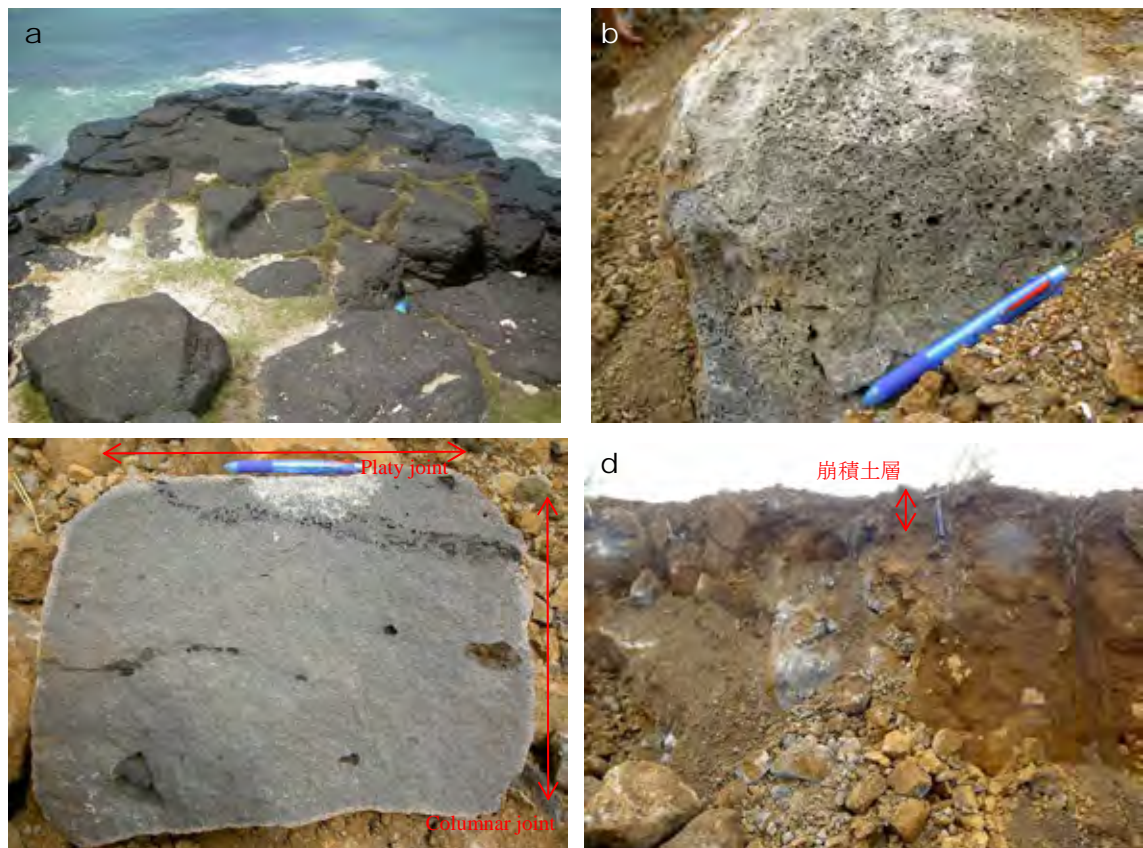


図 4.1-4 (a) 海岸沿いに露出する柱状節理を有する玄武岩；(b) 多孔質部を有する玄武岩；(c) 平板及び柱状節理面沿いに分離した玄武岩；(d) 玄武岩を覆う崩積土層の薄層

4.2 調査ボーリング

4.2.1 調査概要

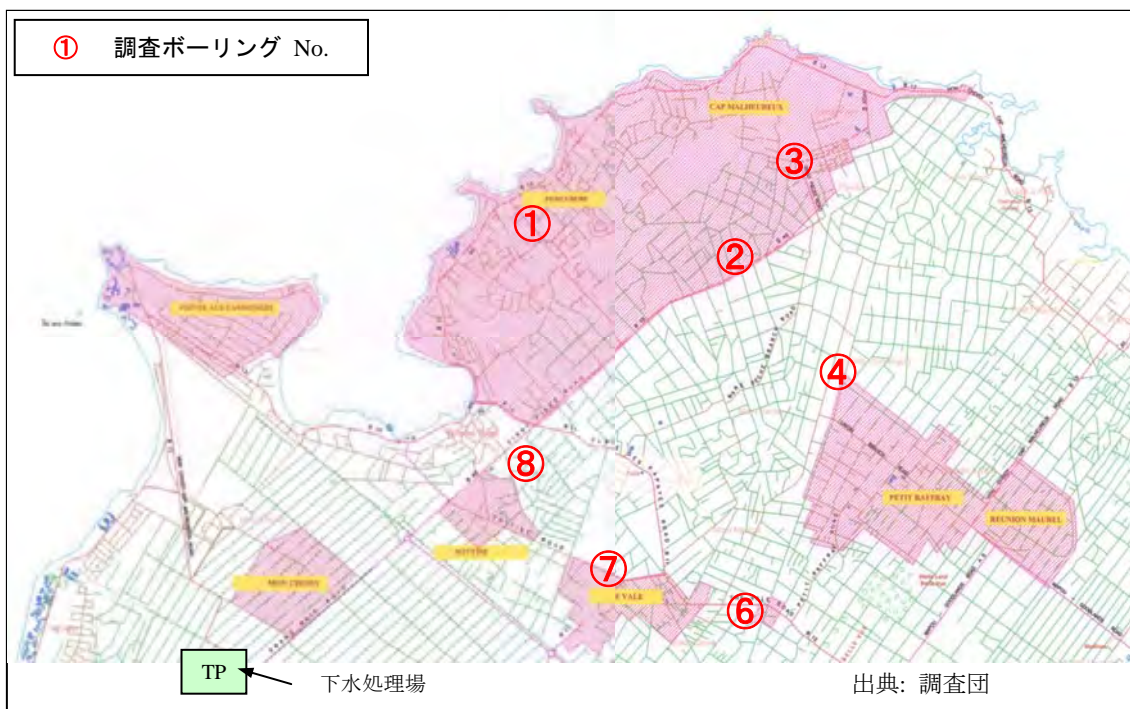
調査ボーリングは、新設を計画しているポンプ場の基礎地盤の性状把握を目的として実施した。調査ボーリング箇所の位置とその土地利用を表 4.2-1 に示す。調査ボーリングは後述する以下の項目について調査を実施した。

表 4.2-1 調査ボーリング位置及び土地利用

孔番	ポンプ場	住所	X	Y	標高 (m)	土地利用状況
1	PS-1	Pereybere	19.998667	57.589500	13	Private Road
2	PS-3	Chemin vingt pieds	20.002300	57.607883	16	Sugar cane
3	PS-4	Cap Malhereux	19.993033	57.613917	17	Recharge Plant
4	PS-5	Petit Raffray	20.013083	57.616083	27	Public land
5	Canceled due to replacement PS-6 to PS-5					
6	PS-7	The Vale	20.029767	57.609533	39	Sugar cane
7	PS-8	The Vale	20.028650	57.597367	30	Private estate
8	PS-9	Sottise	20.021928	57.581581	36	Farm road

出典: 調査団

X, Y 及び標高は携帯式 GPS によって計測した。



出典: 調査団

図 4.2-1 調査ボーリング位置図

(1) 調査ボーリング

調査ボーリングは、計画ポンプ場下の地盤の岩相と工学的性質を明らかにすることを目的として、コアの採取、標準貫入試験、水質分析等を実施した。調査ボーリングはロータリー式ボーリングマシンを用い、直径 76mm の NX トリプルコアバーレルにより掘削しコアを採取した。標準貫入試験は、基本的に深度 1m 毎に実施した。

掘削後の孔には、ストレーナー加工した上にフィルター材等を施した直径 50mm の塩ビ管を埋設し、地下水の採取や地下水位の観測を実施した。

(2) 一軸圧縮強度試験

新たに新設するポンプ場の基礎地盤の強度を明らかにするため、調査ボーリングによって採取したコアを使用して、一軸圧縮強度試験を実施した。試料の採取位置を表 4.2-2 に示す。各コアから 2 つの試料を選定して試験を実施した。試料は、試験可能な供試体のサイズが得られること、亀裂や風化が発達していないことを条件に選定した。ボーリング No.7 のコアは片状で、すべてのコアが 20cm 未満であったため、試験が実施できる試料を得られなかった。そのため、No.7 コアの試験は実施しなかった。

表 4.2-2 一軸圧縮強度試験のサンプル採取深度

孔番	一軸圧縮強度試験	
	サンプル深度 I	サンプル深度 II
1	3.65~3.85	8.64~8.83
2	4.20~4.40	4.70~4.90
3	1.50~1.70	2.50~2.70
4	0.00~0.20	4.00~4.20
6	2.53~2.73	4.05~4.25
7	-	-
8	4.65~4.85	5.50~5.70

出典: 調査団

(GL-m)

(3) 水質分析

水質分析試験は、調査ボーリング箇所現在の状況を把握することを主要な目的として実施した。水質分析の試験項目は以下の通りである。

- 電気伝導度, pH (水素イオン濃度), TDS (総溶解固形分), 濁度, NO₃-N (硝酸態窒素), NO₂-N (亜硫酸態窒素), COD (化学的酸素要求量), Cl⁻ (塩素イオン濃度) 及び SO₄²⁻ (硫酸イオン濃度)

各注入井戸から 1 試料を小型ポンプにより採取し、すべての室内分析は WRU により認可を受けた Chemco LTD と Cernol Water Solution Ltd において実施した。試験項目

と分析手法は表 4.2-3 に示すとおりである。

表 4.2-3 室内水質分析の試験項目と分析手法

No.	項目	分析手法
1	電気伝導率	APHA 2510B
2	pH range	APHA 4500 H+
3	TDS	APHA 2540
4	濁度	比濁法
5	NO ₃ -N	APHA NO ₃
6	NO ₂ -N	APHA NO ₂
7	COD	APHA 5220 C
8	Cl ⁻	APHA 4500 Cl B
9	SO ₄ ²⁻	AOAC Official Method 973.57

出典: 調査団



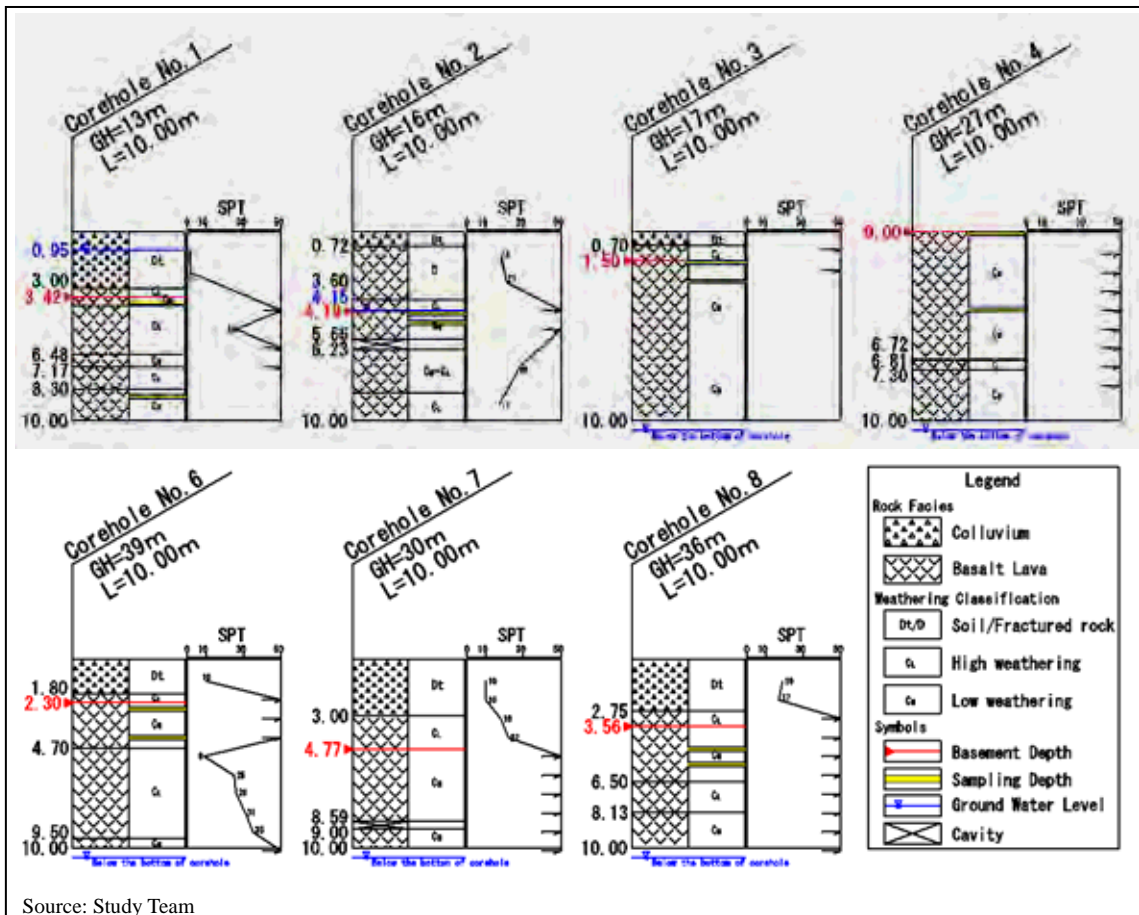
**図 4.2-2 (a) ロータリー式ボーリングマシンによる削孔(b) 標準貫入試験;
 (c) 地下水位観測管の設置; (d) 観測管に設けられたスリット**

4.2.2 調査ボーリング結果

(1) 調査ボーリング

コア採取、標準貫入試験、地下水位観測等の調査ボーリングの結果を要約した柱状図を図 4.2-3 に示す。ポンプ場の建設計画箇所では、細粒玄武岩溶岩が分布している。玄武岩溶岩は、多孔質でかつ多くの節理を含み、所々に空洞と破碎された薄層を狭在している。地表付近の崩積土層下部には、風化が進んで脆弱化した玄武岩溶岩が分布し、その N 値は 10~20 を示す。崩積土層の平均的な層厚は、約 1.00~3.00m であった。風化玄武岩下位は、新鮮で風化の及んでいない玄武岩に漸移し、支持岩盤として期待できる。未風化の玄武岩溶岩の N 値は、50 以上であった。

基底地下水位は、深度 0.50~6.20m に存在し、より海側へ近づくほど、地下水位は浅くなる傾向がある。



Source: Study Team

図 4.2-3 各調査ボーリング孔の簡易柱状図

(2) 一軸圧縮強度試験

一軸圧縮強度試験の結果を表 4.2-4 に示す。多孔質の玄武岩溶岩の一軸圧縮強度の平

均は、およそ 30,775kN/m²であった。一方で、緻密で孔の少ない玄武岩溶岩の一軸圧縮強度の平均値は 64,720 kN/m²と 2 倍程度であった。両者ともに高い一軸圧縮強度を示すため、これらの岩盤はポンプ場の基礎建設に適していると考えられる。

表 4.2-4 一軸圧縮強度試験結果

孔番	ポンプ場	サンプル深度	一軸圧縮強度 (kN/m ²)	岩質
1	PS-1	3.65~3.85	30,800	多孔質 (~20-25%)
		8.64~8.83	45,900	わずかに発泡 (~5%)
2	PS-3	4.20~4.40	65,500	緻密
		4.70~4.90	61,900	緻密
3	PS-4	1.50~1.70	29,900	多孔質 (~30-40%)
		2.50~2.70	17,900	既存の亀裂に沿って破壊
4	PS-5	0.00~0.20	37,700	多孔質 (~30%)
		4.00~4.20	72,100	多数の小さな発泡孔
6	PS-7	2.53~2.73	66,700	小さな発泡孔
		4.05~4.25	57,400	多数の小さな発泡孔
7	PS-8	-	-	-
		-	-	-
8	PS-9	4.64~4.90	32,600	わずかに発泡 (~20-25%)
		5.32~5.94	24,700	多孔質 (~20-25%)

出典: 調査団

(3) 水質分析

水質分析の結果を表 4.2-5 に示す。

表 4.2-5 調査ボーリング孔の水質分析の結果

孔番 ポンプ場		1	2	計測値	E:基準値
		PS-1	PS-3		R:代表値
電気伝導度	μs/cm	825	2200	200~400	R: 河川下流
pH 水素イオン濃度		7.73	7.31	6~8	R: 自然水
TDS 総溶解固形分	mg/L	422	1190	0~1,000 1,000~20,000	R: 真水 R: 汽水
濁度	NTU	29.60	4.26	~2 1~10 50~90	E: 水道水 R: 河川上流 R: 河川下流
NO ₃ -N 硝酸態窒素	mg/L	0.35	5.24	~10	E: 地下水
NO ₂ -N 亜硝酸態窒素	mg/L	2	8	~10	E: 地下水
COD 化学的酸素要求量	mg/L	221	153	~160	E: 下水
Cl ⁻ 塩素イオン濃度	mg/L	110.3	584.0	~200	E: 水道水
SO ₄ ²⁻ 硫酸イオン濃度	mg/L	37.2	168.4	~250	E: 水道水

出典: 調査団

4.2.3 解析

(1) 解析手法

標準貫入試験及び一軸圧縮強度試験の結果を基に、次式により許容支持力度を算出した。

$$q_a = 1/3(\alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q)$$

ここで、

q_a : 許容支持力度 (kN/m²)

c : 基礎底面下の粘着力 (kN/m²)

γ_1 : 基礎底面下の岩の単位体積重量 (kN/m³)

γ_2 : 基礎底面より上位の土の単位体積重量 (kN/m³)

α, β : 形状係数 表 4.2-6 参照

N_c, N_r, N_q : 支持力係数 表 4.2-8 参照

D_f : 基礎に隣接した最低地盤面から基礎底面までの深さ(m)

B : 基礎底面の最小幅(m)

形状係数(α, β)は、表 4.2-6 から求めた。計画しているポンプ場の形状は、15×15m の正方形と想定した。

表 4.2-6 形状係数

基礎の形状	正方形	長方形	円形
α	1.3	1+0.3xB/L	1.3
β	0.4	0.5-0.1xB/L	0.3

出典: 構造物設計指針, 日本下水道事業団, 平成 11 年 12 月

L: 長方形の長辺

(2) 解析結果

支持力係数は、以下の表に従い、内部摩擦角(ϕ)から推定した。内部摩擦角(ϕ)は、下記の式から算出した。

$$\phi = 0.888 \text{Log}N + 19.3$$

ここで、

N: 基礎地盤の N 値

(出典: 軟岩評価, 土木学会, 1992)

表 4.2-7 内部摩擦角 (ϕ)

N 値	ϕ : 内部摩擦角
20	21.96
50	22.77

出典: 調査団

表 4.2-8 支持力係数 (N_c , N_r , N_q)

ϕ : 内部摩擦角	N_c	N_r	N_q
0	5.3	0	3.0
5	5.3	0	3.4
10	5.3	0	3.9
15	6.5	1.2	4.7
20	7.9	2.0	5.9
25	9.9	3.3	7.6
28	11.4	4.4	9.1
32	20.9	10.6	16.1
36	42.2	30.5	33.6
40 以上	95.7	114.0	83.2

出典: 構造物設計指針, 日本下水道事業団, 平成 11 年 12 月

粘着力 (c) は、次の一軸圧縮強度あるいは N 値から求める式から算出し、安全側を考慮して低い値を採用した。一軸圧縮強度から算出した粘着力は、一軸圧縮強度試験を亀裂や風化部のない供試体を用いて実施するため、 N 値から算出した粘着力より高くなる。ここでは安全側を考慮し、両者の内より低い N 値から求めた粘着力を用いることとする。

$$c = 16.2N^{0.606}$$

$$c = qu/2$$

ここで

qu : 一軸圧縮強度 (kN/m^2)

N : N 値

(出典: 軟岩評価, 土木学会, 1992)

表 4.2-9 N 値より算出した粘着力

基礎岩盤の N 値	粘着力 (kN/m^2)
20	99.52
50	173.41

出典: 調査団

表 4.2-10 一軸圧縮強度より算出した粘着力

孔番	ポンプ場	粘着力 (kN/m ²)	一軸圧縮強度 (kN/m ²)
1	PS-1	15,400	30,800
2	PS-3	32,750	65,500
3	PS-4	14,950	29,900
4	PS-5	18,850	37,700
6	PS-7	33,350	66,700
7	PS-8	-	-
8	PS-9	16,300	32,600

出典: 調査団

基礎となる玄武岩及び基礎上面の土の単位体積重量は、それぞれ 20kN/m³ と 18kN/m³. と想定した。

許容支持力度(qa)の計算について、PS-1 ポンプ場を例に以下に示す。

$$\begin{aligned}
 q_a &= 1/3(\alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_f + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \\
 &= 1/3(1.3 \cdot 173.41 \cdot 7.9 + 0.4 \cdot 20 \cdot 15 \cdot 2.0 + 18 \cdot 3.5 \cdot 5.9) \\
 &= 797.54 \text{ (kN/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

表 4.2-11 各ポンプ場基礎の許容支持力度 (qa)

孔番	ポンプ場	深度 (m bgl)	N値	岩相	qa (kN/m ²)
1	PS-1	3.5	50	Rock	797.54
2	PS-3	2.5	20	Soil	509.19
		4.2	50	Rock	822.32
3	PS-4	1.5	50	Rock	726.74
4	PS-5	1.0	50	Rock	709.04
6	PS-7	2.3	50	Rock	755.06
7	PS-8	3.5	20	Soil	544.59
		4.8	50	Rock	843.56
8	PS-9	3.6	50	Rock	801.08

出典: 調査団

4.2.4 結論

調査地周辺に分布する玄武岩は、地表面から約 3.0m 以深に分布しており、新鮮な玄武岩の N 値は 50 以上と非常に堅固であり、許容支持力度も 700~800kN/m² と十分に建築物の基礎として利用可能である。よってポンプ場は、表面のルーズな崩積土層を取り除き、良好な基礎岩盤を基礎として直接基礎で建設可能であると考えられる。

調査ボーリングで観察された空洞は、溶岩の固結時に流動性の良いマグマや膨張したガスにより形成されたもので、毛細状かつ不規則に発達していると考えられる。そのため、その正確な分布を特定することは困難である。空洞に対する特別な対策工は必要でないが、床掘り完了時に空洞が認められた場合は、セメントミルク等で充填することが望ましい

4.3 注入井戸調査

4.3.1 概要

3本の注入井戸が1999年に建設された。それらのうち1本は目詰まりのため運用を中止しているが、2本の井戸が現在運用されている。グラン・ベ地域の発展に伴う下水処理水の増加により、追加の注入井戸が求められており、今回地下データを収集し、永続的に注入井戸の利用が可能かを調査するための注入井戸試験を実施した。調査の主な目的は以下の通りである。

- 地下透水層の透水係数の把握、
- 塩水層の分布の把握
- 水理地質状況の把握
- 注入井戸の適用性の把握

注入井戸調査は以下の項目について試験を実施した。

- 2本の注入井戸の削孔
 - 孔径 300mm、380mm
 - 内径 250mm、300mm ケーシングの設置
 - エアーリフトによる孔内洗浄
- 揚水試験
 - 段階式揚水試験
 - 24 時間定流量揚水試験
- 水質分析
 - 電気伝導度, pH (水素イオン濃度), TDS (総溶解固形分), 濁度, NO₃-N (硝酸態窒素), NO₂-N (亜硫酸態窒素), COD (化学的酸素要求量), Cl⁻ (塩素イオン濃度) 及び SO₄²⁻ (硫酸イオン濃度)

(1) 注入井戸の削孔

注入井戸調査は BH-4 と BH-5 の 2 本の井戸を削孔して実施した。井戸の位置は、図 4.3-1 と表 4.3-1 に示す。注入井戸は、Phase 2 プロジェクトで検討された位置の中で、Virer 山と処理場を結ぶ溶岩流の流向で、用地取得の合意がなされた位置に設置した。

将来の都市化や下水量の増加に対して、処理場内を、注入井戸の候補地として残しておくことが望ましい。

BH-4 は、ロータリーパーカッションドリルを用い、ダウンザホールハンマービットにより、直径 300mm で深度まで 52m 掘削した。BH-5 は、同じ掘削機とビットにより、直径 380mm で深度まで 72m まで掘削した。その後、孔壁を保護するために、内径 250mm 及び 300mm の塩ビ管を孔内に挿入した。予定深度まで掘削完了後は、削り屑や泥を孔内から排除し、孔内の目詰まりを防止するために、エアリフトによる洗浄を実施する。

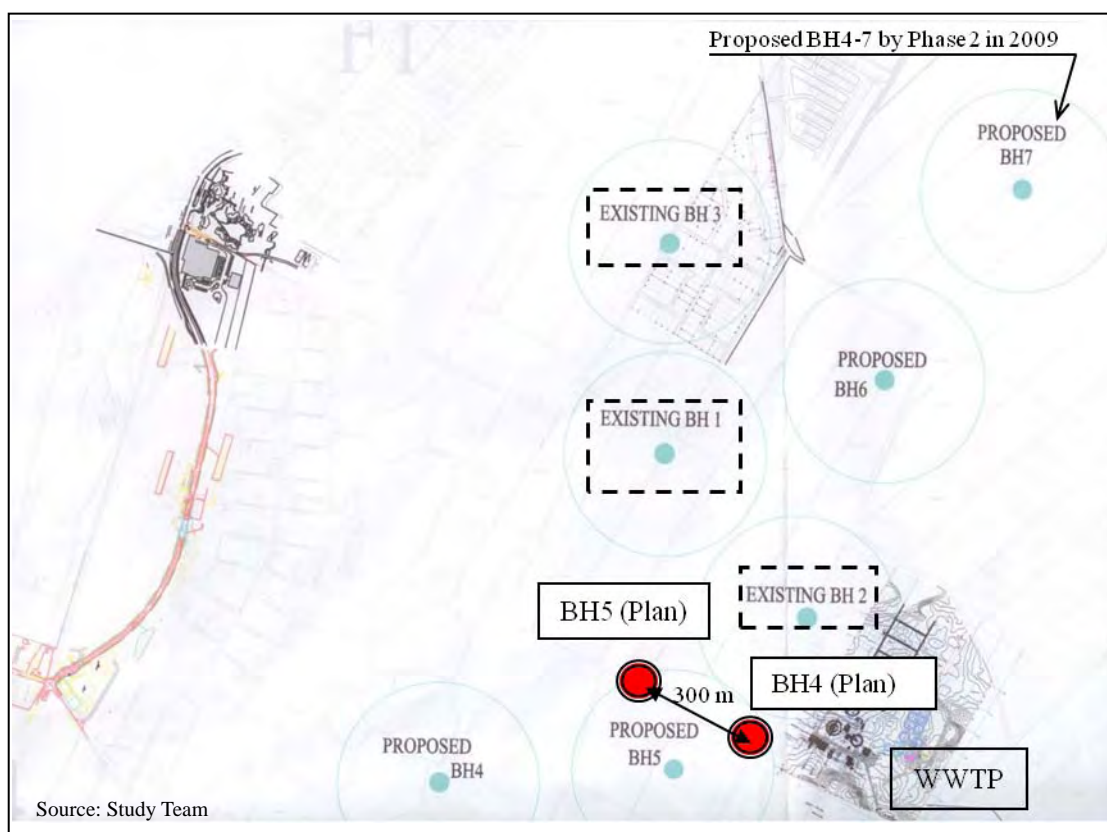


図 4.3-1 注入井戸及び下水処理施設の位置

表 4.3-1 注入井戸の位置

注入井戸 No.	深度	X	Y	標高 (m)	土地利用
4	52.0m	20.036500	57.558817	35	Sugar cane
5	72.0m	20.035567	57.556983	33	Sugar cane

出典: 調査団

X, Y 及び標高は携帯式 GPS によって計測した。



図 4.3-2 (a) ダウンザホールハンマーによる BH-4 孔掘削; (b) ダウンザホールハンマーによる BH-5 孔掘削; (c) ダウンザホールハンマービット及びピロッド; (f) ビットの直径 300mm; (e) BH-4 送水掘削; (f) BH-5 掘進中.



図 4.3-3 (a) 直径 300mm の塩ビ管ケーシング; (b) スリット穴の入った塩ビ管;
(c) ポアホールへの塩ビ管の立て込み; (d) 塩ビ管のフィルター材の巻き付け;
(e) エアリフトによる孔内洗浄; (f) エアリフトからの流水

(2) 透水性試験

調査対象である浸透層の透水性を明らかにすることを目的として、2種類の揚水試験を実施した。

1) 段階式揚水試験

段階式揚水試験は、削孔井戸内の適正揚水量を求めるために実施する。揚水量と水位低下の関係を、揚水量を段階的に変化させることにより求め、その結果を両対

数グラフ上にプロットする。一般的に、限界揚水量以下である場合、グラフの傾きは 45° 以下となり、限界揚水量を超過している場合、グラフの傾きは 45° 以上となる。グラフ上の屈曲点は、限界揚水量を示しており その限界揚水量の 80% を適正揚水量とする。定流量揚水試験は適正揚水量を目安に揚水量を決定し、実施する。

2) 定流量揚水試験

揚水試験は、定流量揚水試験と回復試験からなる。

定流量試験は適正揚水量の範囲内で 24 時間揚水し続け、その間の地下水位低下を観測する。回復試験は、定流量揚水試験終了直後からの地下水位の基底地下水位への上昇過程とその経過時間を観測する。これらの試験結果を基に透水量係数を求め、浸透させる処理水の計画量について検討する。

なお透水量係数は、以下の式により算出する。

$$T = \frac{2.3 q}{4 \pi} \times \frac{\log t_2 - \log t_1}{H_2 - H_1}$$

ここで、

T: 透水数 m^2/sec

H_2, H_1 : 揚水試験開始後の t_1, t_2 時間後の地下水位。

q: 揚水量 (m^3/sec)



図 4.3-4 (a) 揚水試験に用いるポンプ; (b) 揚水量の計測

(3) 水質分析

水質分析は、4.2.1(3)項で述べた、調査ボーリングと同様の項目について実施した。各ボーリング孔から 1 試料採取し、解析手法も注入井戸試験と同様の手法で実施した。



図 4.3-5 地下水位の観測

4.3.2 注入井戸調査結果

(1) 注入井戸の削孔調査

深度 1m 毎の削り屑の採取による注入井戸の削孔調査の結果概要を図 4.3-3 に示す。ダウンザホールハンマーは円柱状のコアサンプルの採取が不可能であるため、ダウンザホールハンマーによる掘削によって得られた削り屑を基に、ボアホール内の岩相を判断する。

地下水位は掘削完了時と揚水試験開始時に計測した。塩水くさびの位置については、電気伝導度の計測結果により判断できる。基底地下水位は、地表面から深度 25m から 27m の間に位置しており、塩水は深度 35m から 39m の間に位置している。塩水の位置は、海水面の位置とほぼ一致する。

BH 4		Altitude: 35m		BH 5		Altitude: 33m	
Depth (bgl)	Lithology	Depth (bgl)	Lithology	Depth (bgl)	Lithology	Depth (bgl)	Lithology
0.0m	Basalt	0.0m	Clay	0.0m	Clay	0.0m	Clay
3.0m	Weathered Basalt	2.0m	Fresh Basalt	2.0m	Fresh Basalt	2.0m	Fresh Basalt
5.0m		Basalt	4.0m	Moderately Weathered Basalt	4.0m	Moderately Weathered Basalt	4.0m
28.0m	SWL 27.50m	8.0m	Moderately Weathered Basalt	8.0m	Moderately Weathered Basalt	8.0m	Moderately Weathered Basalt
30.0m	Weathered Basalt	32.0m	SWL 26.50m	32.0m	Weathered Basalt	32.0m	Weathered Basalt
38.0m	Cavity 31.0 to 31.4m	36.0m	Cavity	36.0m	Cavity	36.0m	Cavity
	Cavity 33.0 to 33.5m	37.0m	Highly Weathered Basalt	37.0m	Highly Weathered Basalt	37.0m	Highly Weathered Basalt
	Saline water 35.0m	39.0m	Saline water 39.0m	39.0m	Saline water 39.0m	39.0m	Saline water 39.0m
44.0m	Weathered Basalt	40.0m	Basalt	40.0m	Basalt	40.0m	Basalt
51.0m	Basalt	44.0m	Weathered Basalt	44.0m	Weathered Basalt	44.0m	Weathered Basalt
52.0m	Weathered Basalt	48.0m	Fresh Basalt	48.0m	Fresh Basalt	48.0m	Fresh Basalt
		52.0m	Highly Weathered Basalt	52.0m	Highly Weathered Basalt	52.0m	Highly Weathered Basalt
		61.0m	Highly Weathered Basalt	61.0m	Highly Weathered Basalt	61.0m	Highly Weathered Basalt
		66.0m	Clay	66.0m	Clay	66.0m	Clay
		72.0m	Highly Weathered Basalt	72.0m	Highly Weathered Basalt	72.0m	Highly Weathered Basalt

出典: 調査団

図 4.3-6 概略柱状図

(2) 透水性試験

1) 段階式揚水試験

段階式揚水試験は、ステップ毎に揚水量を変化させて、水位低下高を観測する。BH-4 と BH-5 においては、4 段階の揚水試験を実施した。揚水量と揚水時間については、表 4.3-2 に示す。

BH-4 の段階式揚水試験の結果から、揚水量と水位低下高の比率は 600 から 1,000 であり、明瞭な屈曲点はグラフ上に認められなかった。同じく BH-5 においても、揚水量と水位低下高は正比例の関係を示すが、明瞭な屈曲点は認められなかった。

表 4.3-2 注入井戸段階式揚水試験の結果

孔番	揚水時間 (min)	揚水量 (Q) (m ³ /h)	水位低下高 (s) (m)	Q/s (m ² /s)
BH-4	30	25.5	0.03	850.0
	30	50.2	0.05	1004.0
	30	75.6	0.10	756.0
	30	106.0	0.16	662.5
BH-5	30	69.9	0.03	2330.0
	30	154.0	0.02	7700.0
	30	227.7	0.01	22770.0
	60	363.0	0.09	4033.3

出典: 調査団

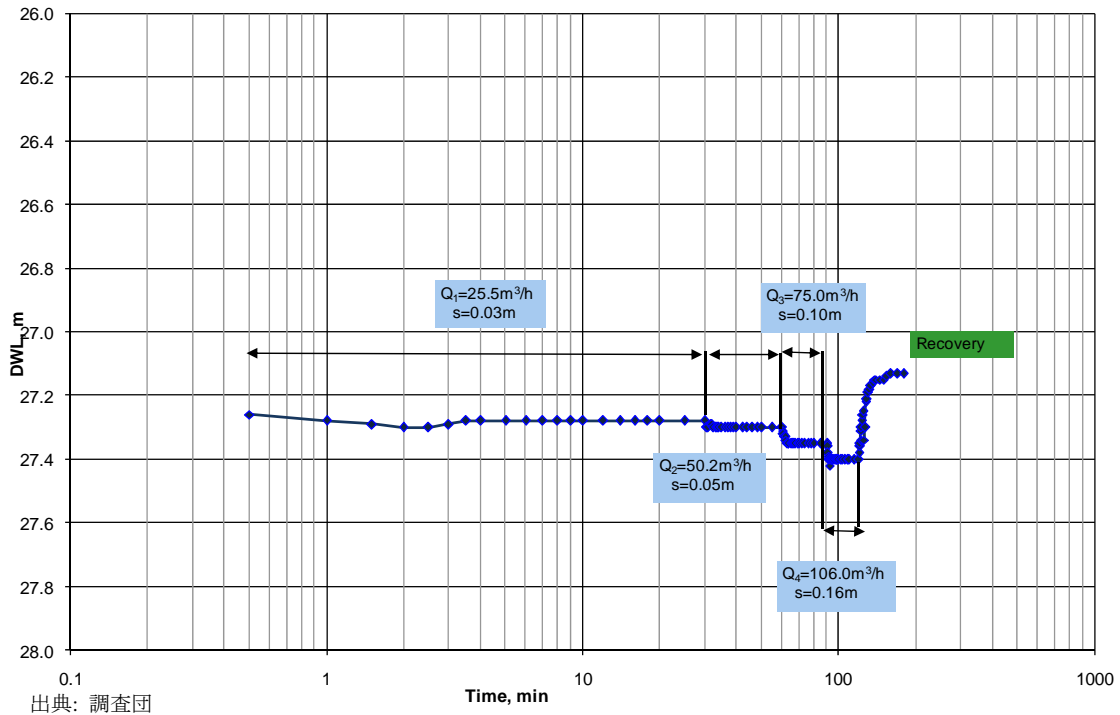
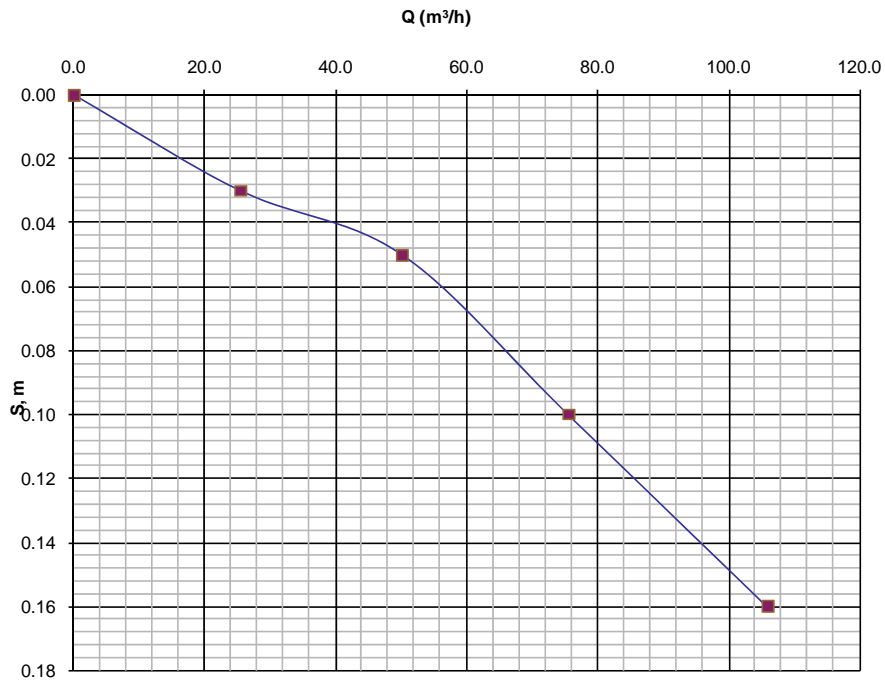
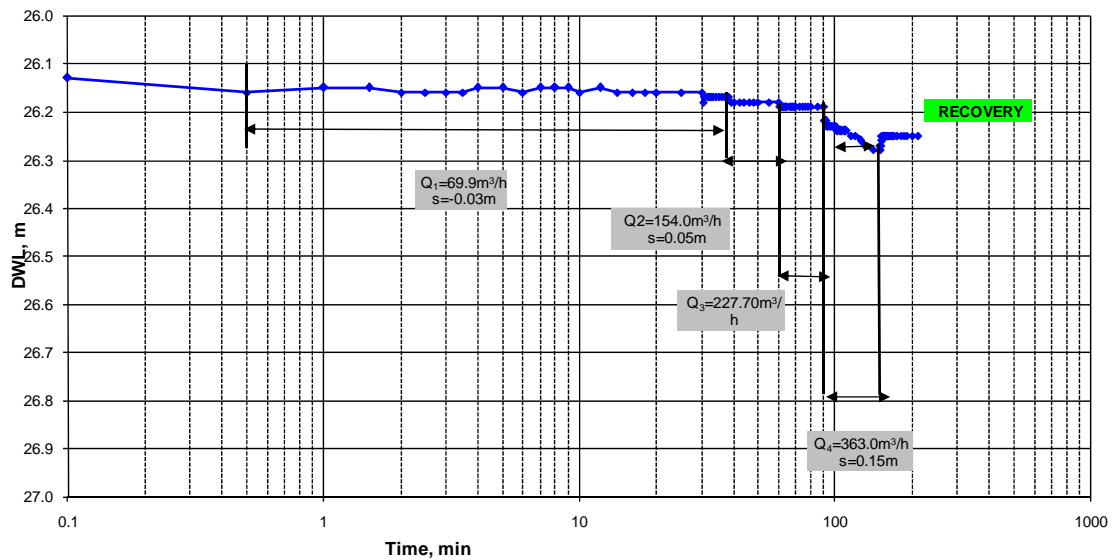


図 4.3-7 BH-4 段階式揚水試験結果



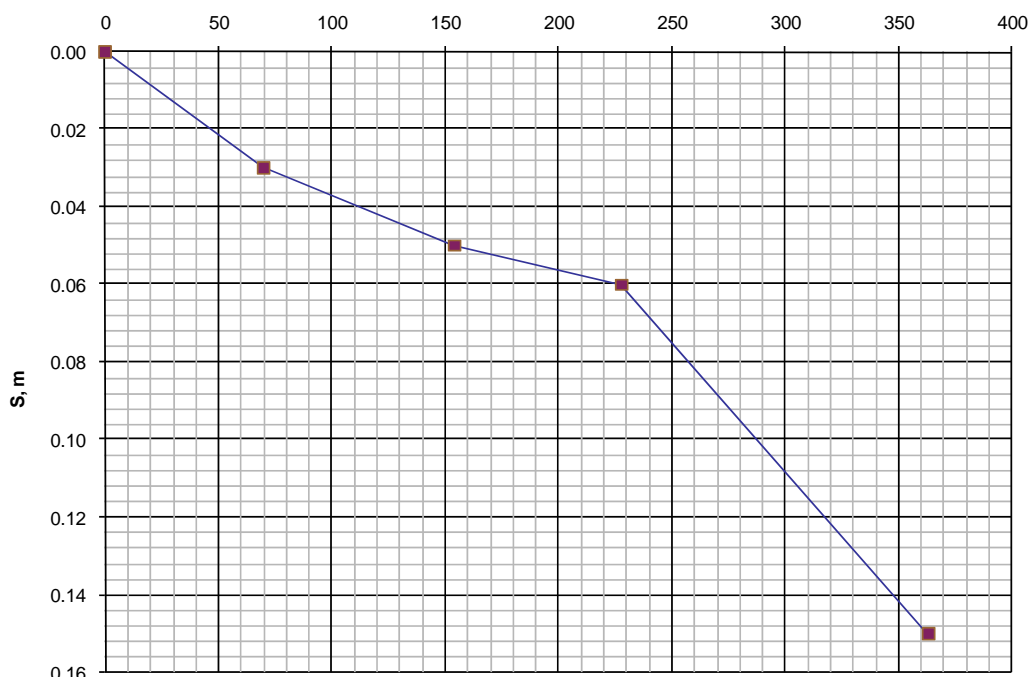
出典: 調査団

図 4.3-8 BH-4 における揚水量 (Q) と水位低下高 (s) の関係



出典: 調査団

図 4.3-9 BH-5 段階式揚水試験結果



出典: 調査団

図 4.3-10 BH-5 における揚水量 (Q) と水位低下高 (s) の関係

上記の段階式揚水試験の結果、BH-4 と BH-5 の定流量揚水試験に用いるべき、適正揚水量は、それぞれ 106 m³/hour と計画流量である 350 m³/hour であると考えられる。

2) 揚水試験

定流量揚水試験は、24 時間揚水を実施した。BH-4 の水位低下高は、揚水試験終了時に 0.32m であり、BH-5 では 0.03m であった。

透水量係数は、BH-4 と BH-5 の定流量揚水試験の間の 100 分(t1)から 1,000 分(t2)とした場合、それぞれ 1.08×10^{-1} 、 $1.78 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ であった。ゆえに浸透可能な処理水量は、それぞれ 388.8 m³/hour、640.8 m³/hour であり、両者ともに計画処理水浸透量 350 m³/hour を上回っている。

表 4.3-3 定流量揚水試験結果

孔番	試験時間 (hour)	揚水量 (Q) (m³/h)	水位低下高 (s) (m)	T: 透水量係数 (m²/s)	許容処理水量 (m³/hour)
BH-4	24	106.0	0.32	1.08×10^{-1}	388.8
BH-5	24	350.0	0.03	1.78×10^{-1}	640.8

出典: 調査団

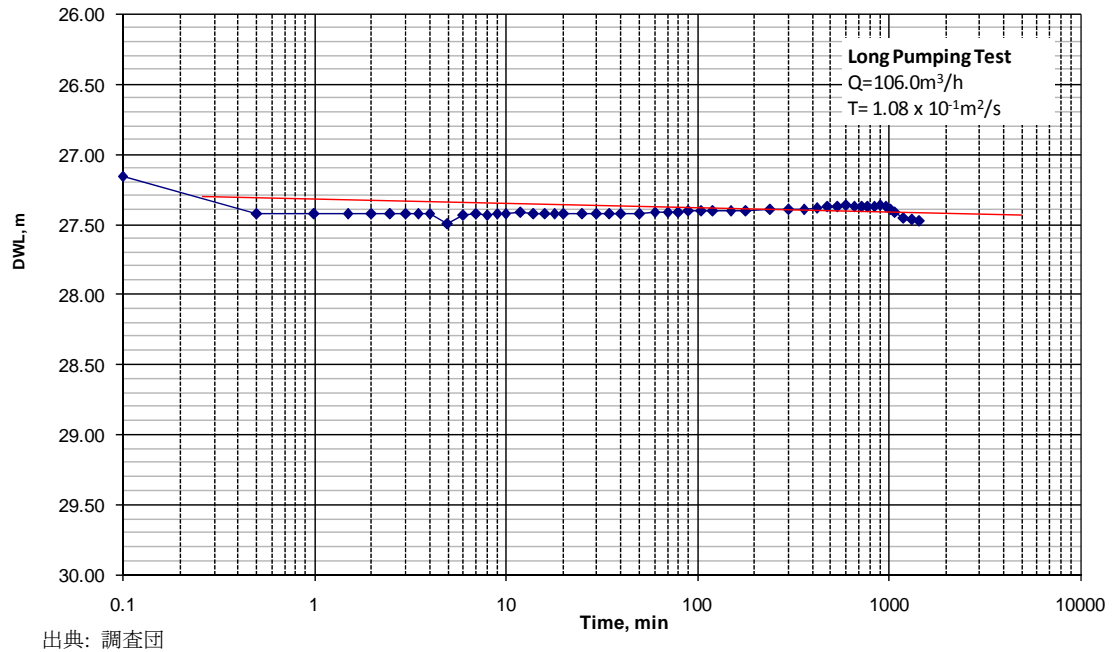


図 4.3-11 BH-4 における定流量揚水試験結果

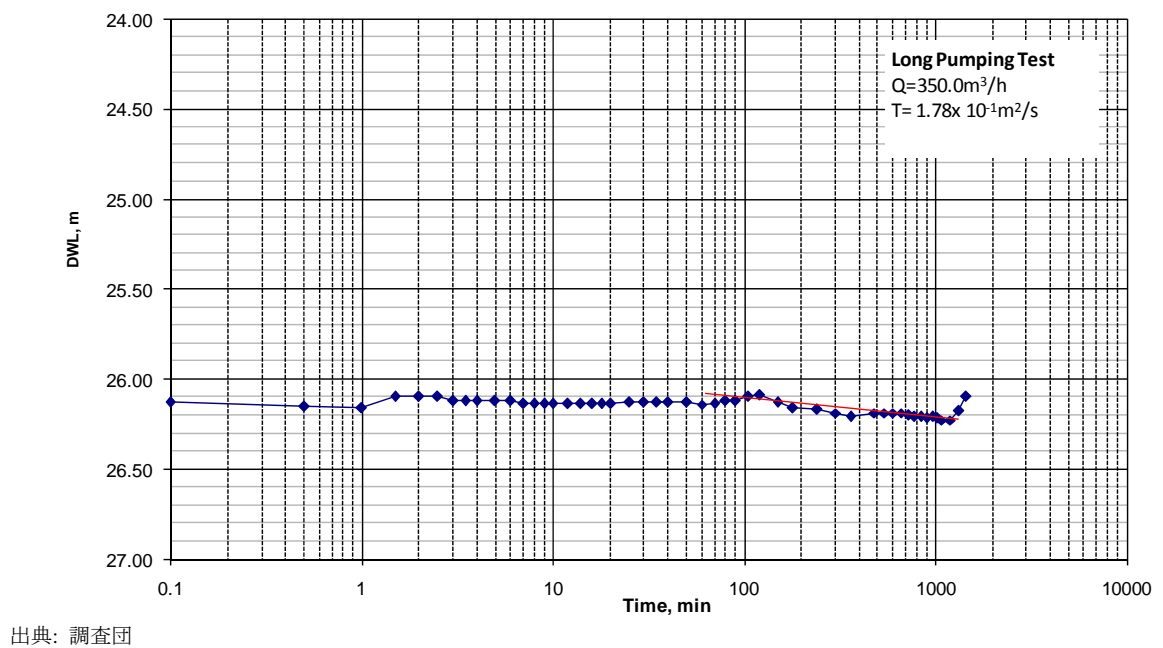


図 4.3-12 BH-5 における定流量揚水試験結果

(3) 水質分析

水質分析の結果を表 4.3-4 に示す。

表 4.3-4 注入井戸試験における水質分析結果

Borehole No.		BH-4	BH-5
Electrical Conductivity	μs/cm	25786	27500
pH		7.88	7.09
TDS	mg/L	18050	19250
Turbidity	NTU	NIL	NIL
NO ₃ -N	mg/L	45	55
NO ₂ -N	mg/L	7	4
COD	mg/L	1700	1325
Cl ⁻	mg/L	11457	12462
SO ₄ ²⁻	mg/L	1350	1750

出典: 調査団

4.3.3 解析

(1) 透水性試験

調査地周辺には、玄武岩溶岩が広く分布し、地表近くから深度 70m 深くまで厚く堆積している。溶岩チューブは確認できないが、玄武岩溶岩が元々有している節理等の裂隙のため、玄武岩溶岩の透水性は非常に高い。

透水性試験の結果、透水量係数は 1.08×10^{-1} から $1.78 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$ であった。設計処理流量 $350 \text{ m}^3/\text{h}$ の注入を実施した場合、孔周辺の地下水位は約 0.03m から 0.32m 程度上昇すると想定される。

(2) 水質分析

電気伝導度試験の結果から、地下水は真水の下に塩水を含んでいると考えられる。海水が図 4.3-13 のように陸側の帯水層に流入していると考えられる。浸透させる処理水は地表面と地下水位の間の透水層に浸透していく。

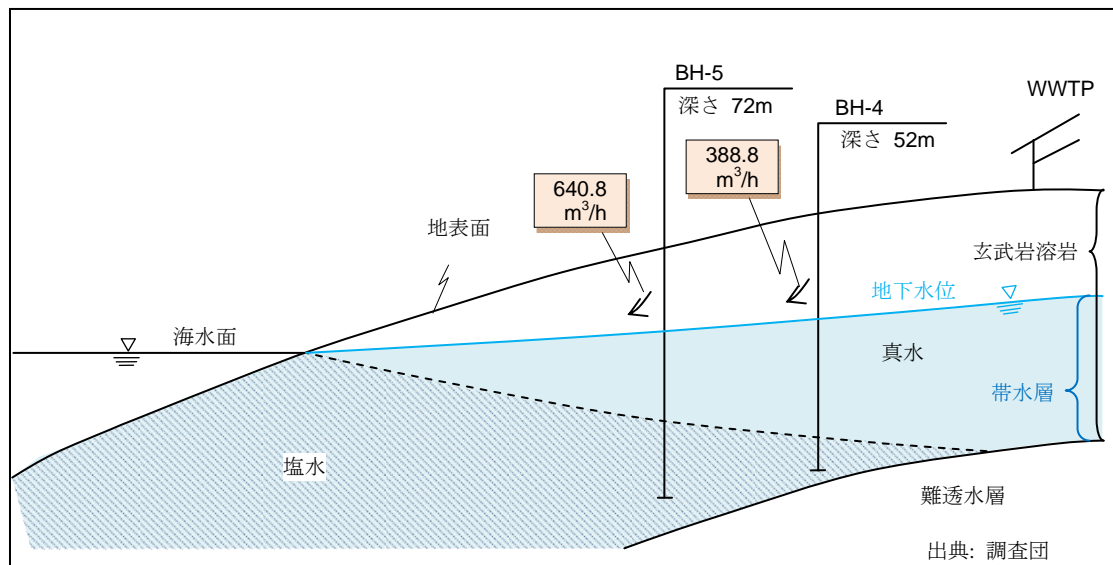


図 4.3-13 注入井戸周辺の模式断面図

4.3.4 結論

Borehole 周辺に分布する玄武岩溶岩は、溶岩の固結時に形成された裂隙や空洞を多く有するため、高い透水性を有しており、揚水試験の結果、それらの岩盤から計画注入量 $350\text{m}^3/\text{hour}$ を満足する透水係数を得ることができる。処理水は地表から帯水層上位の透水層に浸透して、処理することが可能である。

現在 2 基の注入井戸が運用されており、海沿いに設置したモニタリング井により水質のモニタリングをしている。今回掘削した注入井戸はそれらより西側に位置するため、新規に新たな注入井戸の下流側にモニタリング井を実施することが望ましい。また同時に、処理水の流向の計測（例えば熱量法や電位差法など）を実施し、効率的な注入井戸の運用、モニタリング井の実施、今後の注入井戸の建設計画を検討することが望ましい。