

ミャンマー国

ミャンマー国

ティラワ経済特別区及び周辺区域
水資源賦存量に係る情報収集・確認調査

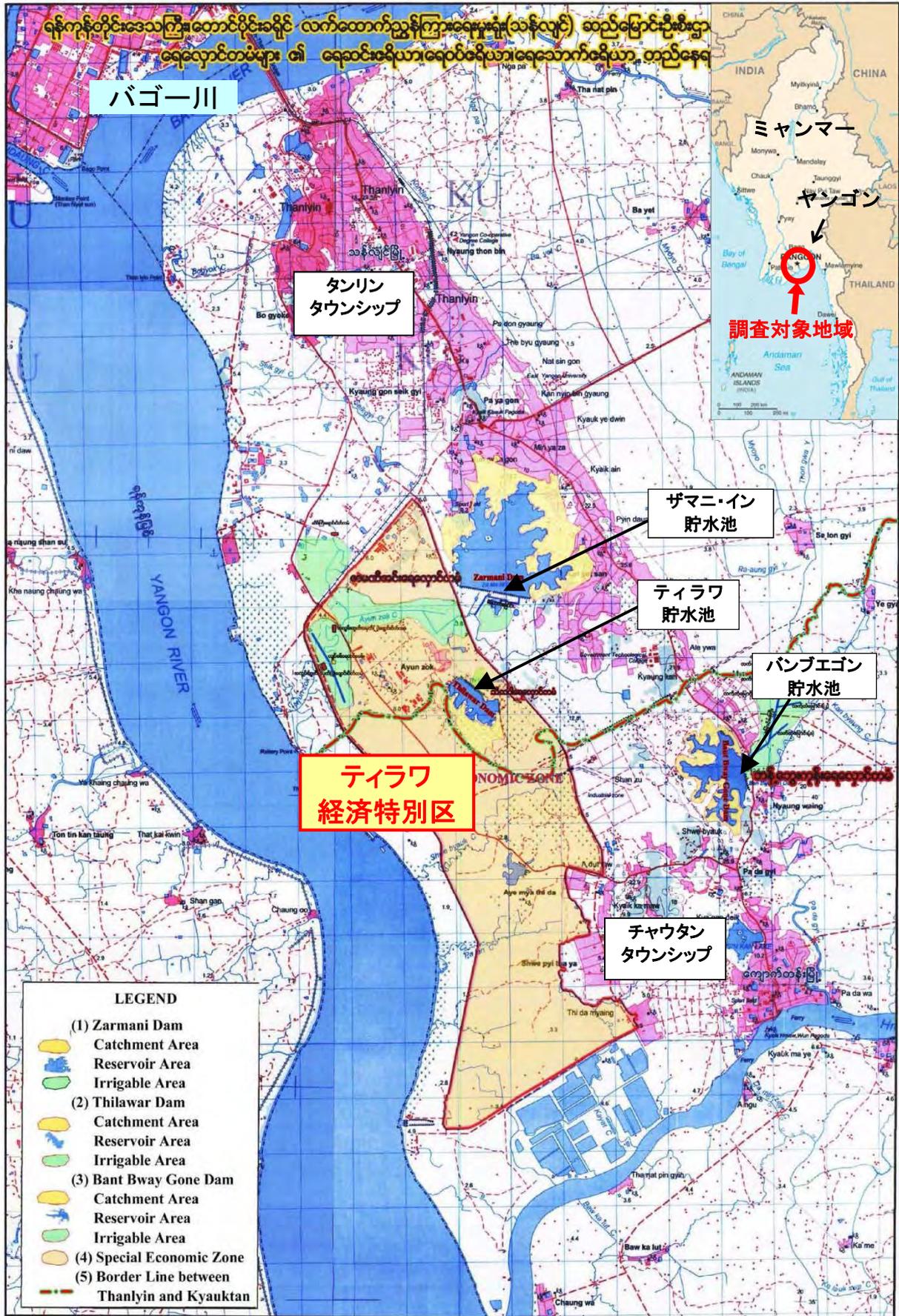
ファイナルレポート
(要約)

平成 26 年 9 月
(2014 年)

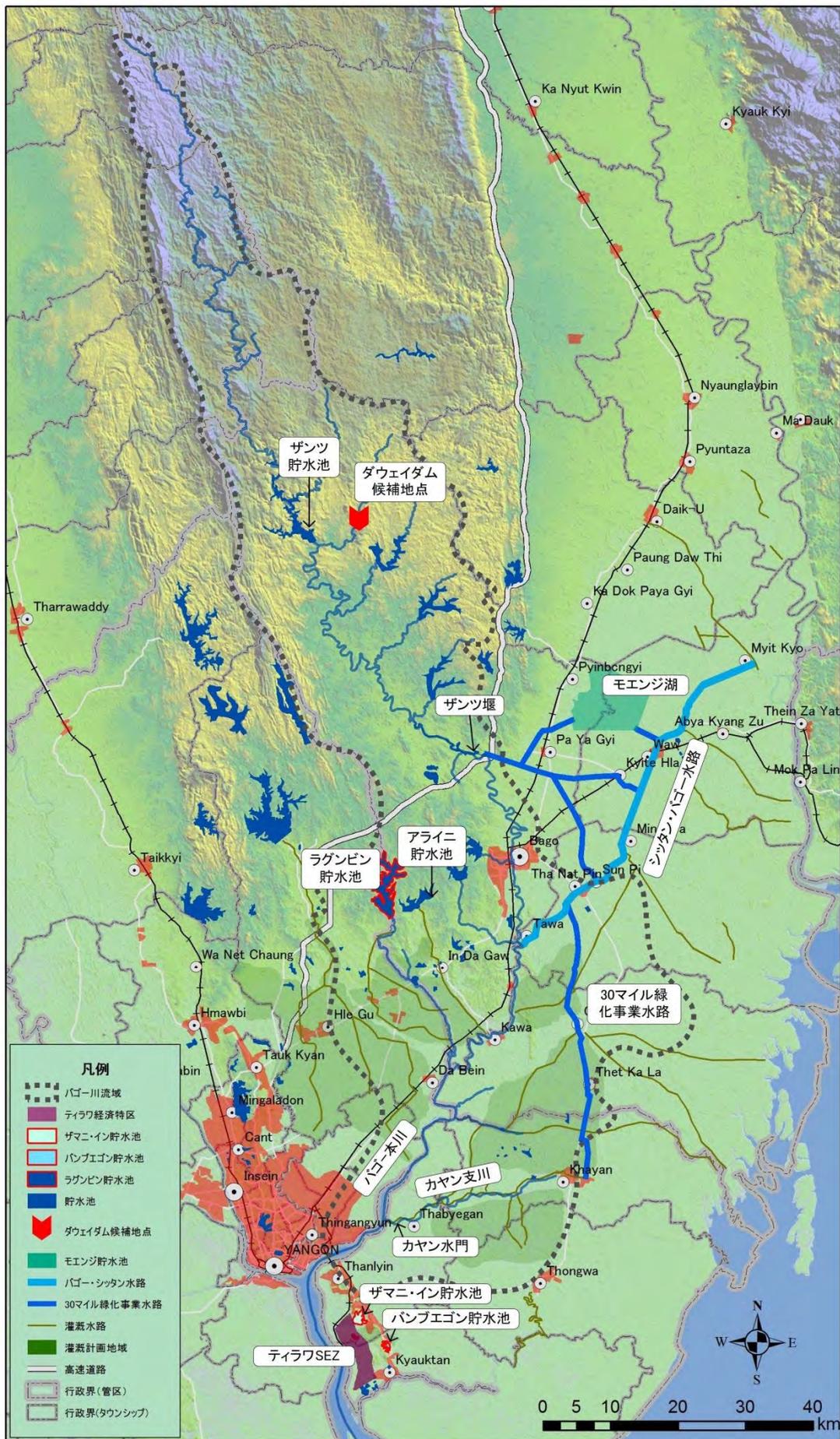
独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社 三祐コンサルタンツ

環境
JR
14-172



調査対象地域位置図 - ティラワ SEZ 周辺図 - (1/2)



調査対象地域位置図 - バゴー川流域周辺図 - (2/2)

現 地 写 真 (1)



ティラワ経済特別区の風景(中央部西端より北東方向を望む)。2012年8月撮影



ザマニン貯水池。高水位で運用されている。2012年10月撮影



バンブエゴン貯水池。
2012年10月撮影



ラGUNビン貯水池の取水塔。高水位で運用されている。2012年11月撮影。



ティラワ貯水池と取水塔(経済特別区内に位置している)。2012年10月撮影



アライニ貯水池と取水塔。
2014年1月撮影

現 地 写 真 (2)



電気探査実施状況。
2012年10月撮影



時間領域電磁探査(TDEM)測定状況。
2012年11月撮影



タンリン地区既設水源。ハンドポンプ付家庭用浅井戸。2012年11月撮影



タンリン地区既設水源。家庭用深井戸
(小型エアーコンプレッサーで揚水)
2012年11月撮影



コアボーリング実施状況 (D-2 サイト)。
2013年2月撮影



ボーリングコアの観察 (D-4 サイト)。
2013年2月撮影

現 地 写 真 (3)



試験井戸掘削状況 (D-1 サイト)。
2012 年 12 月撮影



試験井戸孔内検層実施状況 (D-5 サイト)。
2013 年 1 月撮影



試験井戸の揚水試験実施状況 (D-3 サイト)。
2013 年 6 月撮影



試験井戸掘削後の地下水位観測施設設置状況 (D-3 サイト)。
2013 年 10 月撮影



地下水水質検査実施状況。
2013 年 7 月撮影



同位体分析用試料採取状況。
2013 年 7 月撮影

現 地 写 真 (4)



ザンツ越流堰。
2012年2月撮影



カヤン水門。2012年3月より供用開始。
2014年1月撮影



タマビン観測地点（自記水位計設置）。
2014年5月撮影



バゴー川の既設水位観測地点（橋脚に量水標が取り付けられている）。
2012年10月撮影



表流水水質検査実施状況（バゴー川上流地点）。2013年3月撮影



ドップラー流速計による観測状況（バゴー川）。2014年5月撮影

目 次

調査対象地域位置図	
現地写真	
目次	
図および表一覧	
度量衡・換算および略語表	
第1章 調査の背景と目的.....	1-1
1-1 調査の背景	1-1
1-2 調査の目的	1-2
第2章 基礎資料収集と分析	2-1
2-1 自然、社会、経済	2-1
2-1-1 調査対象地域	2-1
2-1-2 自然	2-1
2-1-3 社会	2-2
2-1-4 経済	2-3
2-2 水利行政組織、政策、法的枠組み.....	2-4
2-2-1 水利行政組織	2-4
2-2-2 政策	2-4
2-2-3 法的枠組み.....	2-5
2-3 調査地域の地形及び地質	2-5
2-4 対象地域の社会経済状況	2-7
2-4-1 面積	2-7
2-4-2 人口	2-7
2-4-3 産業・経済・雇用	2-8
2-5 調査対象地域の水利用状況	2-9
2-6 農地及び農作物に関する情報.....	2-10
2-6-1 農地の現状.....	2-10
2-6-2 栽培面積および生産量.....	2-10
2-7 水利権及び水利組織	2-11
2-7-1 水利権	2-11
2-7-2 水利組織	2-11

第3章 地下水の調査及び解析	3-1
3-1 概要	3-1
3-1-1 目的	3-1
3-1-2 地下水開発可能量の定義	3-1
3-1-3 地形	3-2
3-1-4 地質	3-3
3-2 地下水調査	3-5
3-2-1 調査項目と調査地点	3-5
3-2-2 調査概要	3-7
3-3 帯水層と地下水の現況	3-10
3-3-1 概要	3-10
3-3-2 帯水層分布	3-11
3-3-3 地下水利用	3-13
3-3-4 水理能力	3-15
3-3-5 水質	3-16
3-3-6 地下水頭と地下水流動	3-20
3-3-7 地下水涵養と利用率	3-24
3-4 地下水開発可能量の推定	3-26
3-4-1 地下水開発可能量に関する主要項目の評価	3-26
3-4-2 調査地域における地下水開発可能量の基本像	3-26
3-5 三次元帯水層概念モデルによるティラワ SEZ 短期地下水開発の環境影響評価	3-27
3-5-1 目的	3-27
3-5-2 モデルの対象	3-27
3-5-3 三次元モデル	3-28
3-5-4 地下水開発案	3-30
3-5-5 環境影響の評価基準	3-33
3-5-6 予測された環境影響と地下水開発可能量	3-35
3-6 ティラワ SEZ の短期地下水開発についての結論	3-38
3-7 地下水のモニタリングと帯水層管理についての提言	3-40
3-7-1 ティラワ SEZ における地下水取水に係るモニタリング	3-40
3-7-2 タンリン市街地におけるモニタリングと帯水層管理	3-42
3-7-3 設置観測井の有効利用とモニタリング及び帯水層管理の担い手について	3-42
3-8 地域における将来の地下水開発に関する結論と提言	3-44
第4章 表流水の調査及び分析	4-1
4-1 バゴ川流域	4-1
4-2 バゴ川水文観測所	4-2
4-3 水文観測記録	4-5
4-3-1 河川水位	4-5
4-3-2 河川流量	4-5
4-3-3 最大洪水量	4-7
4-3-4 2013年の洪水記録（高水位）	4-7
4-4 水質	4-8
4-4-1 バゴ川および支流の時系列水質モニタリング	4-8
4-4-2 SEZ 近傍三貯水池の季別水質モニタリング結果	4-11

4-5	水利施設	4-12
4-5-1	貯水池	4-12
4-5-2	灌漑水路・排水路および水門	4-15
4-6	ティラワ経済特区への利用可能水源	4-18
4-6-1	SEZ 周辺貯水池および水源	4-18
4-6-2	ラグンビン貯水池	4-24
4-6-3	ダウェイダム計画	4-28
4-7	流域水収支	4-30
4-7-1	モデル出力	4-30
4-7-2	流域収支	4-34
4-8	モニタリングシステム及びデータベース	4-36
4-8-1	モニタリング項目	4-36
4-8-2	データベース	4-39
第 5 章	水需要予測	5-1
5-1	水需要予測の前提条件	5-1
5-2	農業用水の需要予測	5-2
5-2-1	対象区域の農業の現況	5-2
5-2-2	対象地域の農業の将来	5-2
5-2-3	農業用水の需要予測	5-4
5-3	工業用水の需要予測	5-5
5-3-1	対象地域の工業用水利用の現況	5-5
5-3-2	2040 年における 4 タウンシップの工業用水需要	5-5
5-3-3	ティラワ SEZ の水需要予測	5-6
5-3-4	工業用水需要量	5-6
5-4	生活用水の需要予測	5-7
5-4-1	対象地域の生活用水の現況と目標	5-7
5-4-2	対象地域の人口動態	5-7
5-4-3	生活用水需要量予測	5-7
5-5	将来の水需要予測	5-8
5-6	水資源ポテンシャルからの考察	5-9
5-6-1	地下水資源ポテンシャル	5-9
5-6-2	表流水ポテンシャル	5-9
5-6-3	水収支から見た水資源開発課題	5-10
第 6 章	施設整備計画	6-1
6-1	計画概要	6-1
6-2	短期施設整備計画	6-3
6-2-1	施設概要	6-3
6-2-2	コスト比較検討	6-4
6-3	中期・長期施設整備計画	6-5
6-3-1	中期・長期計画の概要	6-5
6-3-2	中期計画	6-6
6-3-3	長期計画	6-9

第7章 環境社会配慮.....	7-1
7-1 環境社会配慮制度	7-1
7-1-1 環境社会配慮法制度	7-1
7-1-2 環境影響評価の手順	7-1
7-2 環境社会の現状	7-2
7-2-1 自然保護区および希少生物	7-2
7-2-2 文化保護区	7-3
7-2-3 調査対象地区にある既存水源.....	7-3
7-3 水資源開発計画案およびその整備計画案における留意点	7-3
7-3-1 代替案の検討.....	7-3
7-3-2 スコーピング.....	7-3
7-3-3 環境社会配慮の TOR.....	7-7
第8章 見解と提言	8-1
8-1 地下水資源に係る見解と提言	8-1
8-2 表流水資源に係る見解と提言	8-2

報告書

報告書 I	調査の背景と目的
報告書 II	基礎資料収集と分析
報告書 III	地下水の調査及び解析
報告書 IV	地表水の調査及び分析
報告書 V	水需要予測
報告書 VI	施設整備計画
報告書 VII	環境社会配慮
報告書 VIII	見解と提言

データ集 (CD 添付)

Chapter 1	OBSERVATION WELL
Chapter 2	PUMPING TEST
Chapter 3	GROUNDWATER QUALITY
Chapter 4	SURFACE WATER QUALITY
Chapter 5	RIVER DISCHARGE
Chapter 6	METEOROLOGICAL OBSERVATION
Chapter 7	ENVIRONMENT AND SOCIAL CONSIDERATION
Chapter 8	AQIFER PROFILE

Chapter 9	PUMPING TEST AT EXISTING WELL
Chapter 10	GEOPHYSICAL SURVEY
Chapter 11	GROUNDWATER LEVEL
Chapter 12	SURFACE WATER LEVEL

目 次

図 2-1-1	表流水資源調査対象位置図	2-1
図 2-1-2	地下水資源調査対象位置図	2-1
図 2-1-3	気温分布および月刊平均降雨分布図	2-2
図 2-3-1	ミャンマー南部の地形区分と調査地域の位置	2-5
図 2-3-2	調査地域周辺地質図	2-6
図 2-4-1	4 タウンシップの GDP の割合	2-8
図 3-1-1	地下水調査地域と地形	3-2
図 3-1-2	地下水調査地域の鳥瞰図	3-3
図 3-1-3	タンリンーチャウタン丘陵の地質図	3-4
図 3-2-1	地下水調査地点及び地域	3-6
図 3-2-2	VES 探査状況	3-7
図 3-2-3	コア標本例	3-7
図 3-2-4	試験井掘削状況	3-7
図 3-2-5	試験井配置模式図	3-8
図 3-2-6	揚水試験状況	3-8
図 3-2-7	水質測定状況	3-9
図 3-2-8	調査した露頭の例	3-9
図 3-2-9	試験井に設置された自記水位計	3-9
図 3-3-1	調査地における帯水層分布、性状及び地下水利用の模式断面図	3-10
図 3-3-2	調査地における地下水の水頭分布及び流動の模式断面図	3-11
図 3-3-3	帯水層断面図の断面線位置図	3-11
図 3-3-4	作成した帯水層断面例	3-12
図 3-3-5	井戸の数と取水量	3-13
図 3-3-6	掘井戸（左）と管井（右）	3-13
図 3-3-7	管井の設置年（2012年12月現在）	3-13
図 3-3-8	管井と掘井戸の分布	3-14
図 3-3-9	既存井戸の数と取水量の面密度（500M 平方当り）	3-14
図 3-3-10	帯水層毎の推定塩水分布（1）	3-18
図 3-3-11	帯水層毎の推定塩水分布（2）	3-19
図 3-3-12	ティラワ SEZ 中央域の帯水層断面と塩水分布	3-20
図 3-3-13	塩水遡上河川近傍における揚水規模と水位低下の関係の概念図	3-21
図 3-3-14	掘井戸の地下水面深度と表層不圧帯水層の地下水位等高線図（2012年11月）	3-22
図 3-3-15	全試験井における地下水頭の変動状況	3-23
図 3-3-16	平野および低地の試験井における地下水頭の変動状況	3-23
図 3-3-17	推定地下水涵養高と涵養域区分	3-24
図 3-3-18	タンクモデル計算結果例	3-25

図 3-5-1	三次元帯水層モデルの対象地域	3-27
図 3-5-2	三次元モデルの対象帯水層	3-27
図 3-5-3	三次元帯水層モデルのメッシュ	3-28
図 3-5-4	井戸揚水量入力セルの分布状況	3-28
図 3-5-5	表層不圧帯水層地下水位分布の計算出力と観測値の比較	3-29
図 3-5-6	観測地点における地下水頭変動の計算出力と観測値の比較	3-30
図 3-5-7	SEZ 内における地下水取水計画平面図	3-31
図 3-5-8	東方平野における地下水取水計画平面図	3-31
図 3-5-9	地下水環境影響の評価基準	3-33
図 3-5-10	2014 年乾期末期の掘井戸の井内水深	3-34
図 3-5-11	SEZ 内取水のモデル出力例—水頭低下および水頭の等高線（第 2 帯水層から取水；第 2 帯水の状況）	3-35
図 3-5-12	東方平野取水のモデル出力例—水頭低下および水頭の等高線（第 2 帯水層から取水；第 2 帯水の状況）	3-36
図 3-5-13	塩水フロント移動に係る地下水流動場での粒子追跡計算例	3-37
図 3-7-1	ティラワ SEZ での取水のために必要な地下水モニタリング井の配置	3-40
図 3-7-2	ティラワ SEZ 内で取水する場合のモニタリング井配置の基本的考え方	3-41
図 4-1-1	バゴー川流域	4-1
図 4-1-2	バゴー川流域の縦断図	4-2
図 4-2-1	気象・水文観測所位置図	4-4
図 4-3-1	河川水位ハイドログラフ(バゴー橋観測所)	4-5
図 4-3-2	バゴー橋観測所およびザンツ観測所の月別流量	4-6
図 4-3-3	河川水位ハイドログラフ	4-8
図 4-4-1	地表水の水質モニタリング位置図	4-9
図 4-4-2	電気伝導度 (EC) および塩化物イオン (CL-) 濃度	4-10
図 4-5-1	貯水池位置図	4-14
図 4-5-2	水路位置図	4-16
図 4-5-3	水門位置図	4-17
図 4-6-1	経済特区周辺の 3 貯水池	4-18
図 4-6-2	カヤン水門の年間水位記録 (2013 年)	4-23
図 4-6-3	ラグンビン貯水池の水位と流入量 (2006 年-2012 年)	4-27
図 4-6-4	ダウェイ支川流域の位置図	4-28
図 4-6-5	貯水地運用シミュレーションの試算結果概要 (ダム-3 案)	4-29
図 4-7-1	SWAT 解析フロー図	4-30
図 4-7-2	流域雨量	4-31
図 4-7-3	蒸発散能	4-31
図 4-7-4	実蒸発散量	4-32
図 4-7-5	土壌浸透量	4-32

図 4-7-6	地表流出量.....	4-33
図 4-7-7	基底流出量.....	4-33
図 4-7-8	地表水の水源量.....	4-34
図 4-7-9	流域収支図（1984年-2013年の平均）.....	4-36
図 4-8-1	モニタリング地点案.....	4-38
図 5-1-1	日本の水資源賦存量と使用量.....	5-1
図 6-1-1	計画水源位置図.....	6-2
図 6-3-1	位置図.....	6-6
図 6-3-2	貯水池位置図.....	6-7
図 6-3-3	ダム候補地の位置図.....	6-9
図 6-3-4	H~Q 曲線.....	6-10
図 6-3-5	ダウエイダム標準断面図.....	6-11

表 目 次

表 2-1-1	国内総生産に占める産業別規模.....	2-3
表 2-4-1	土地利用区分 (2012/13)	2-7
表 2-4-2	郡区別の世帯数、人口、1世帯あたりの構成員数、人口密度.....	2-7
表 2-4-3	労働人口、労働者数、失業者数および失業率 (2012/13)	2-8
表 2-4-4	工場数およびその工場の従業員数 (2013)	2-9
表 2-5-1	農業用水現況利用量	2-9
表 2-6-1	4タウンシップおよびヤンゴン管区の農業土地利用	2-10
表 2-6-2	収穫面積および農業生産量 (2012/13)	2-10
表 3-1-1	タンリンチャウタン丘陵の地質層序表 (WING NAING ET AL., 1991)	3-3
表 3-2-1	地下水開発可能量に関する調査項目と本調査で適用した調査手法.....	3-5
表 3-2-2	既存水理地質調査報告書	3-7
表 3-2-3	試験井とその諸元.....	3-8
表 3-3-1	帯水層毎の地下水利用.....	3-15
表 3-3-2	試験井の連続揚水試験結果総括表	3-15
表 3-3-3	調査地域の比湧出量 (m ³ /日/m)	3-16
表 3-3-4	試験井における水質試験結果総括表.....	3-17
表 3-3-5	地下水涵養量と利用率.....	3-25
表 3-5-1	検討ケース (基本検討)	3-32
表 3-5-2	検討ケース (詳細検討)	3-32
表 3-5-3	ティラワ SEZ のための取水についての環境予測と評価結果の概要 (基本検討)	3-38
表 3-5-4	ティラワ SEZ のための取水についての環境予測と評価結果の概要 (詳細検討)	3-38
表 3-7-1	ティラワ SEZ での取水のために必要な地下水モニタリング井.....	3-40
表 3-7-2	本調査により設置した観測井の位置・重要度と今後の利用についての地元の意向.....	3-43
表 4-2-1	気象・水文観測所一覧	4-3
表 4-3-1	バゴ橋地点の推定流量 (運輸省気象水文局)	4-6
表 4-5-1	貯水池概要表	4-13
表 4-6-1	貯水池諸元*1	4-19
表 4-6-2	3貯水池の水源量 (単位: 1,000m ³ /年、括弧内の数字は m ³ /日)	4-21
表 4-6-3	カヤン水門の諸元.....	4-23
表 4-6-4	ラグンビン貯水池の諸元.....	4-25
表 4-6-5	ラグンビンダム貯水池の年間収支(2006年-2012年).....	4-26
表 4-6-6	ラグンビン貯水池の水資源配分	4-27
表 4-6-7	ダウェイダムの各候補ダム軸についての主要計画諸元.....	4-28
表 4-6-8	ダウェイダム貯水池の水資源配分	4-29
表 4-7-1	流域収支 (1984-2013)	4-35
表 4-8-1	データベース構造.....	4-39

表 5-2-1	5 ヵ年計画（農業・灌漑省灌漑局）	5-3
表 5-2-2	耕地面積の推移（2040 年の推定耕地面積、HA）	5-3
表 5-2-3	農業用水需要量予測	5-4
表 5-3-1	工業用水としての地下水利用の推定	5-5
表 5-3-2	工業水利用量の推定（2040 年）	5-6
表 5-3-3	開発段階に応じて必要とする水資源量（日量）	5-6
表 5-4-1	2040 年の予測給水人口	5-7
表 5-5-1	水需要値の集計（2040 年）	5-8
表 6-1-1	水源オプション一覧	6-1
表 6-2-1	コスト評価	6-5
表 6-3-1	貯水池諸元	6-7
表 6-3-2	ダウエイダム の 3 候補地	6-10
表 6-3-3	ダウエイダム 諸元表	6-11
表 7-1-1	水源開発案の概要	7-1
表 7-2-1	調査対象地域内の既存水源	7-3
表 7-3-1	水源開発代替案の検討	7-3
表 7-3-2	スコーピング結果：貯水池（表流水）	7-4
表 7-3-3	スコーピング結果：井戸（地下水）	7-5
表 7-3-4	環境社会配慮調査の TOR	7-7
表 8-2-1	短期・中期・長期の表流水源候補	8-2

度量衡・換算

度量衡・換算

cm	centimeter		°C	centigrade
cu.m	cubic meter		cms (m ³ /sec)	cubic meter per second
hr	hour		km ²	square kilometer
km	kilometer		TCM	thousand cubic meter
lit.	liter		MCM	million cubic meter
m	meter		MGD	million gallon per day
mg/lit.	milligram per liter		meq/lit.	milli-equivalent per liter
m/s	meter per second		ppm	parts per million
lit/sec	liter per second		%	percent
m ³ /d, m ³ /day	cubic meter per day			

ton	1 t	=	1,000 kg
inch	1 in.	=	0.0254 m
mile	1 mi.	=	1,609 m
hectare	1 ha	=	10,000 m ²
		=	2.471 acres
acre feet	1 acre-ft	=	1,233 m ³
gallon (UK)	1 gal.	=	4.546 liter (UK)
kilogram	1 kg	=	1,000 gram
viss	1 viss	=	1.64 kg
feet	1 ft	=	0.3048 m
acre	1 ac	=	4,048 m ²
cubic feet	1 cu-ft	=	28.31 liter
cubic inch	1 cu-in	=	0.01638 liter

通貨	Aug2014	1 Kyat	=	0.107 円
		US\$1.00	=	102.40 円

略 語 表

ID	Irrigation Department (Ministry of Agriculture and Irrigation)	灌漑局 (農業灌漑省) (ミ国)
DA	Department of Agriculture (Ministry of Agriculture and Irrigation)	農業局 (農業灌漑省) (ミ国)
EC	Electric Conductivity	電気伝導率
FC	Foreign Currency	外貨
FY	Fiscal Year	会計年度
GOM	Government of Myanmar	ミャンマー政府
HHWL	Highest High Water Level	既往高水位
HWL	High Water Level	高水位
IEE	Initial Environmental Examination	初期環境評価
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構 (日本)
Kyat	Myanmar Kyat	ミャンマーKyat (通貨)
LWL	Low Water Level	低水位
MCTSEZ	Managing Committee Thilawa Special Economic Zone	ティラワ経済特別区管理委員会
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry	経済産業省 (日本)
MOAI	Ministry of Agriculture and Irrigation	農業灌漑省 (ミ国)
MOC	Ministry of Construction	建設省 (ミ国)
MOEC	Ministry of Environment Conservation	環境保護省 (ミ国)
MOEP	Ministry of Electric Power	電力省 (ミ国)
MOF	Ministry of Forestry	森林省 (ミ国)
MOFA	Ministry of Foreign Affairs	外務省 (ミ国)
MOFR	Ministry of Finance and Revenue	財務省 (ミ国)
MOI	Ministry of Industry	産業省 (ミ国)
MONPED	Ministry of National Planning & Economic Development	計画経済開発省 (ミ国)
MOPBAN RD	Ministry of Progress of Border Areas, National Races and Development	国境地域民族省 (ミ国)
MOTC	Ministry of Transportation and Communication	運輸通信省 (ミ国)
MWL	Mean Water Level	平均水位
N/A	Not Available	該当データなし、入手不能
NGO	Non-Governmental Organization	非政府組織
SCTSEZ	Supporting Committee Thilawa Special Economic Zone	ティラワ経済特別区支援委員会
SEZ	Special Economic Zone (Thilawa Special Economic Zone)	経済特別区 (ティラワ経済特別区)
TDEM	Time Domain Electro-magnetic Method	時間領域電磁探査法
TS	Town Ship (eg. Thanlyin TS: Thanlyin Town Ship)	タウンシップ
VES	Vertical Electric Sounding	垂直電気探査
YCDC	Yangon City Development Committee	ヤンゴン市開発委員会 (ミ国)

第1章

調査の背景と目的

第1章 調査の背景と目的

1-1 調査の背景

ミャンマー国（以下「ミ」国）では、軍政主導の政治体制が長く続いたが、テイン・セイン氏が2007年10月に首相に就任すると、政治体制改革が開始され、2011年3月に同氏が大統領に就任してから、民主化・市場経済化に向けた改革の取り組みには、目覚ましいものがある。同国の民主化・市場経済化に向けた改革を巡る国際社会の対応状況は、過去、経済制裁の最先鋒を担って来た米国が、2012年5月に経済制裁「停止」を発表したのを始めとして、先進諸国の間で、「アジアのラストフロンティア」との位置づけで、同国への経済進出を念頭に、制裁緩和・解除の動きを中心に、めまぐるしい変化を示している。

2012年4月21日に来日した同大統領と野田総理大臣（当時）との間で、対ミャンマー経済協力の大きな柱の一つとして、経済的首都として機能するヤンゴン市近郊のティラワ経済特別区の開発計画を共同で策定するための「ティラワ・マスター・プラン策定のための協力に関する意図表明覚書」の署名がなされた。覚書の冒頭で、日本から「ミ国」への直接投資の促進は、同国の産業発展によるより高度な経済成長及び雇用増大に資するとともに、日本経済が「ミ」国経済とともに成長していくためのより多くの機会を創出するため、双方にとって非常に有益であるとの認識を示している。

ティラワ経済特別区(Thilawa Special Economic Zone、以下「ティラワ SEZ」)は、国家経済の拠点であるヤンゴン市街地から南東23kmに位置し、上述のマスタープランは、計画面積2,400ha（東京ドーム約500個分相当）に工業団地、商業施設、住宅などを含むスマート・コミュニティ開発計画を策定するものである。日本政府は、このプロジェクトに多くの日本企業が参画することを希望し、ティラワ・マスター・プランに財政的支援をすとの約定を覚書に記している。この方針に基づき、我が国のODAスキームと民間投資資金が一体となって、同国の経済的発展の礎となるべく、ティラワ SEZ 開発が着実に進行することが期待される。

我が国民間企業の直接投資を促す基本的条件として、計画地区の電力などエネルギー、道路、港湾施設、貯蔵施設等のインフラ整備が急務であるが、進出企業の生産活動を支える基本的な生産活動資源として、安定した持続性のある水資源を工業団地に供給するためには、「安全な水」の取水・導水・給水施設整備が最重要課題の一つである。環境との調和に配慮して、水資源賦存量や水質、費用対効果等を可能な限り定量的に評価しつつ、計画的に水資源開発に取り組む必要がある。

ティラワ SEZ 開発における安定した水資源供給を考えると、表流水利用においては、近傍の貯水池群は、既存利用者が持つ水利権が設定されていて、利用可能貯水量に不安要素がある。また、ヤンゴン都市圏の開発に伴い、調査対象地域の開発も進行しつつあり、将来の水需要増が予測される。ここに地域の水資源賦存量に関する基礎情報収集・確認調査が計画された背景がある。

1-2 調査の目的

本調査の目的は、経済特別区として整備が予定されているティラワ及びその周辺において、将来的な開発計画策定に必要な水資源に関する基礎情報を収集することである。基礎情報収集の対象は、利用可能な表流水、地下水を含む水資源であり、これらの水資源賦存量を科学的手法に基づいて推論し、その水資源を開発するに要するコストを利用目的に沿って比較検討することにある。この調査によって達成が想定されている成果は以下の4点である。

- 対象地域内の3次元地下水モデルが構築され、地下水利用に関する現在から将来における水資源開発ポテンシャル評価が実施される。
- 対象地域周辺の表流水利用に関し、賦存する河川水・貯留水の水量及び水質と、現在の水需要を把握した上で、現在から将来における表流水の水資源開発ポテンシャル評価が実施される。
- 対象地域の地下水及び表流水の水資源開発ポテンシャル評価を基に、具体的な水資源開発方法に関してのコスト、開発可能水量、水質等を比較・提示する。
- 対象地域における開発可能水量、水質、コスト等が一覧できる水資源開発データベースを構築するための基礎情報を整理する。

第2章

基礎資料収集と分析

第2章 基礎資料収集と分析

2-1 自然、社会、経済

2-1-1 調査対象地域

ティラワ SEZ が位置するヤンゴン管区は 45 のタウンシップ (Township) から構成されるが、本調査対象地域は、ティラワ SEZ 及び近隣地区と定義されており、具体的には地下水賦存量調査の対象区域であるタンリン、チャウタン、トングア、カヤンの 4 タウンシップが対象地域である。表流水の水資源賦存量に係る考察は、主たる水源域であるバゴー川流域全域を対象とする。

2-1-2 自然

「ミ」国は、北緯 10 度から 28 度にあつて、東西に 900km、南北に 2,000km に延びており、海岸線から最北部の山、Hkakabo Razi 山 (カカボラジ山 ; 標高 5,881m) まで起伏に富んだ地形のため、場所によって気候の差が大きいのが特

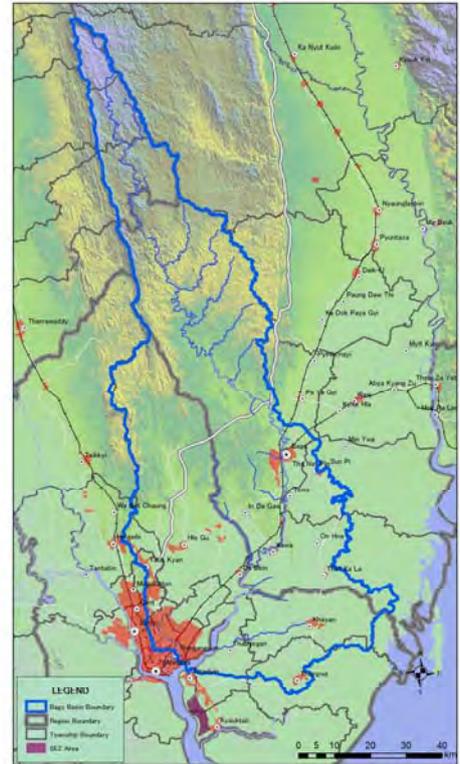


図 2-1-1 表流水資源調査対象位置図

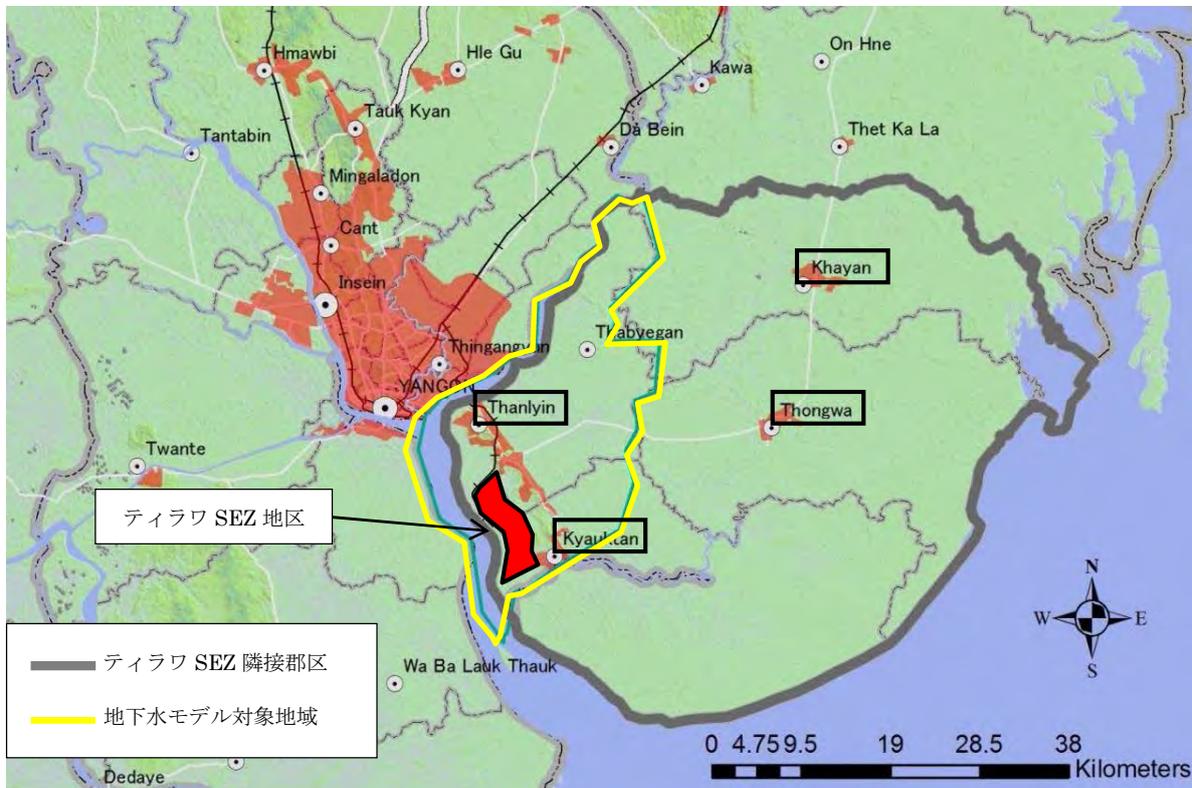


図 2-1-2 地下水資源調査対象位置図

徴である。沿岸部は熱帯モンスーン気候、中部乾燥地帯は熱帯サバンナ気候であり、北部山岳地帯は温暖冬季少雨気候に分類される。ティラワ SEZ が位置する、経済活動の中心であるヤンゴン地域は、熱帯モンスーン気候帯に属している。このような特徴を有しながらも、「ミ」国の気候は大きく 3 つの季節に分類される。

- 10 月中旬－4 月 乾季（涼季、暑季）
- 4 月－5 月中旬 夏季
- 5 月中旬－10 月中旬 雨季

ティラワ SEZ が位置するヤンゴン及び表流水源の中心地バゴー市を例にとると、月別平均最高気温が年間を通して比較的に高温であるのに対して、降雨は 5 月から 10 月に集中しており、ヤンゴン地域や、表流水源であるバゴー地域では年降雨量の約 96%がこの期間に集中しており、バゴー市の年降雨量はヤンゴン市を約 15%程度上回っている。

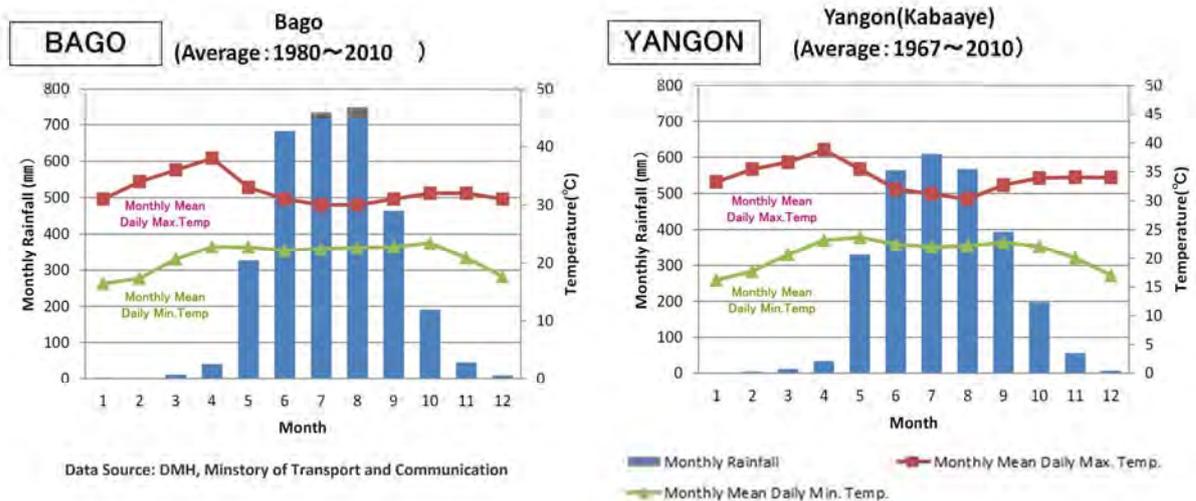


図 -2-1-3 気温分布および月間平均降雨分布図

2-1-3 社会

「ミ」国の社会は、大きくは 8 つの大部族（ビルマ族、カチン族、カヤー族、カイン族、チン族、モン族、ラカイン族、シャン族）から成り、それぞれ州の名前になっている。全体として 135 の部族から構成されており、総人口 6,242 万人（2011 年、IMF 推定値）の内、ビルマ族が約 70% の多数を占める多民族国家である。国民の約 90% は仏教徒であり、キリスト教徒、イスラム教徒は併せて 10%程度である。とりわけ、仏教徒とイスラム教徒との間で深刻な宗教対立があり、本年（2014 年）に入ってから、散発的であるが、全国の地方都市で、死者発生を伴う宗教対立に根差した焼き討ち騒動が勃発している。

国際社会におけるミャンマー国の社会的発展度を客観的に知る上で一つの指標として、国連開発計画(UNDP)が発表している人間開発指数を、2011年版資料から引用すると、国際連合に加盟する193カ国の内、187カ国の人間開発指数で149位にあり、「ミ」国は後発途上国に位置付けられている。

調査対象地域が所在する4タウンシップは、経済首都ヤンゴン市から南東23kmに位置し、バゴー川で隔てられてはいるが、ヤンゴン市の経済圏内の郊外地域として位置付けらる。調査開始時点での地域の産業基盤は農業、水産業(図2-4-1)である。表流水源であるバゴー川流域の中心都市はバゴー市であり、ヤンゴン市の北北東約60kmに位置し、国の産業の要である農業生産において、エーヤワディー地域に次いで「ミ」国第2の穀倉地帯であるバゴー地域の行政、経済の中心である。

2-1-4 経済

(1) 国家経済の規模

国家計画・経済開発省(Ministry of National Planning and Economic Development)の中央統計局(Central Statistical Organization)が編纂した2011年版の「統計年報(Statistical Yearbook 2011)」によると、「ミ」国の国内総生産(GDP)は39,846,693,000,000 Kyat(約39兆8,000億チャット)であったと発表されている。2013年6月11日現在の為替レートでは、1円=9.58チャットであることから、日本円貨換算で約4兆1,000億円規模となる。我が国の2010年の国内総生産額(実質)が512兆3,160億円である(総務省統計局)ことから、我が国の国家経済力と比較して、約130分の1の経済力を有する国家経済規模であると理解できる。

(2) 産業構造

前出の統計資料によると2010年の国内総生産に占める産業別規模は下表の通りである。

表 2-1-1 国内総生産に占める産業別規模

(金額単位:百万チャット)

産業名	金額	率	産業名	金額	率
農業	11,082,206	27.8%	建設業	1,839,334	4.6%
畜産業	3,392,044	8.5	運輸交通	4,837,735	12.1
林業	158,340	0.4	通信	323,544	0.8
エネルギー	66,229	0.2	金融	37,715	0.1
鉱業	303,517	0.8	社会公共	788,177	2.0
製造業	7,896,966	19.8	賃貸他	738,480	1.9
電力	422,525	1.1	貿易	7,959,882	20.0
			総合計	39,846,693	100.0%

(Statistical Yearbook 2011)

2-2 水利行政組織、政策、法的枠組み

2-2-1 水利行政組織

日本国では、1級河川の河川管理は国土交通省が司り、2級河川の管理は都道府県が行っている。「ミ」国には、運輸省（Ministry of Transport）があつて、運輸局（Department of Transport）には舟運を司る部局があるが、運輸交通手段としての舟運を行政上で管掌する役割を担っている。また、水資源関係では、水資源・河川システム改善局（Directorate of Water Resources & Improvement of River System）があり、エーヤワディー川、サルウイン川、シッタン川、チンドウイン川など、我が国の一級河川級の河川流路変更・改修、堤防補強・改修などに従事している。

河川水を農業用水、工業用水、生活用水に取水して利用する計画そのものについての、政府レベルでの計画承認は、首都ネピドーに設置されている「国家水資源委員会（National Water Resources Committee）」がその任務を担っており、主管省庁として運輸省水資源・河川システム改善局が指名を受けているが、2013年10月時点では、実務上機能していないことを当事者との面談で確認した。

貯水池に係る事業計画立案、事業実施、維持管理は、利用目的別に発電用ダムは電力省、灌漑用ダムは農業・灌漑省が管轄しており、工業用水及び上水道用水は、多目的利用の共同利用者として電力省、農業・灌漑省のダム計画に参加する形態がとられている。（電力省、農業・灌漑省の組織図は Appendix を参照）。小規模ため池は、受益地面積が 5,000 エーカー以下の貯水池は、貯水池が所在する地方政府に移管されている。ティラワ SEZ の表流水源候補であるザマニ・イン、バンブエゴン及びティラワ貯水池は、ヤンゴン地方政府が水利権を保有している。

地下水利用に関しては、「ミ」国には国レベル、地方レベルともに地下水開発・利用に係る規制法がなく、現在の地下水資源管理は、新規井戸所有者が井戸を開削した事実をタウンシップ事務所に届け出る手続きのみである。各タウンシップは個別の井戸の揚水量を把握しておらず、調査チームのインベントリー調査が、4タウンシップの地下水利用実態を把握する初の調査であった。

2-2-2 政策

水利政策の立案は、運輸省水資源・河川システム改善局による河川行政に係る政策立案と、農業・灌漑省灌漑局による地下水・表流水に係る水資源開発・利用計画立案からなっている。両省の間で、年次計画についての協議機関が常設されている事実はない。また聞き取り調査では、運輸省が前述の主要河川に特化して管理を行い、計画立案をしていることから、農業用水を主体とする灌漑局による過去の水資源開発と水資源利用計画立案については、両省が利害相反の関係で対立することはなかった。政策の基本理念を示す両省の水利政策基本計画（案）は存在せず、これに代わるものとして、両省が近未来において実施を予定する水利計画に係る予算要求あるいは、予算の箇所付け情報を入手すべく、情報提供を政府高官に要請しているが、現在のところ具体的な情報提供を得るには至っていない。

2-2-3 法的枠組み

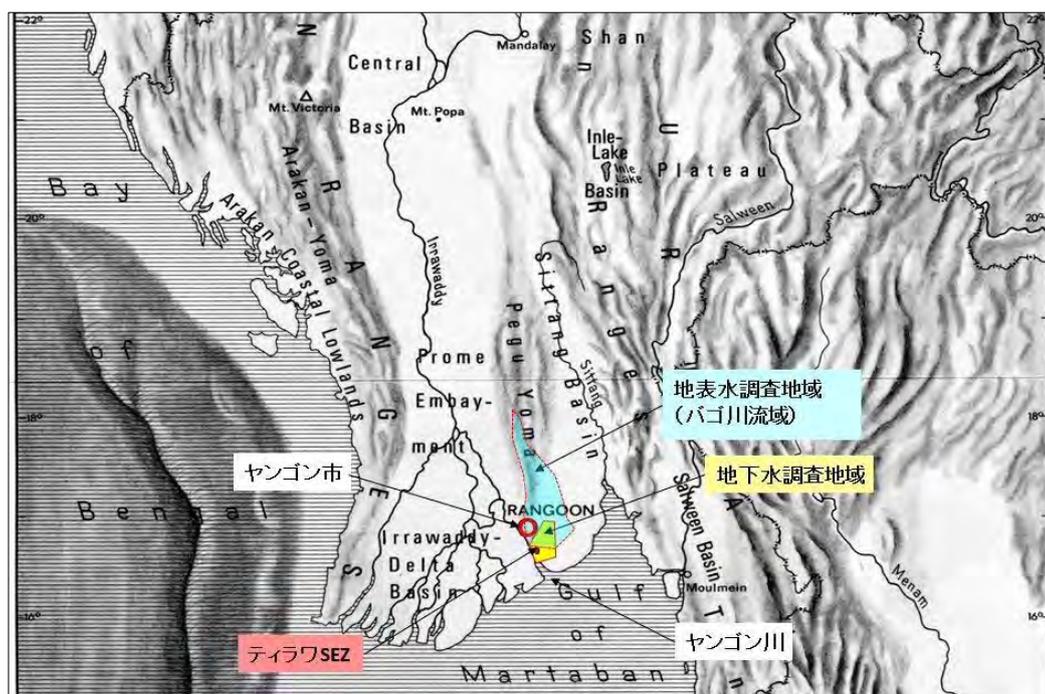
灌漑局で確認したところ、現在のところ「ミ」国には「水利法」が存在しないとの返答であった。灌漑局の政策担当部署である計画部（Planning Sector）より、水利法がない現在、政府レベルでの水資源開発計画承認は、首都ネピドーに設置されている「国家水資源委員会（National Water Resources Committee）」がその任務を担っており、主務官庁として運輸省水資源・河川システム改善局が指名を受けているが、いまだ実務上機能していないとの説明を受けた。現在、同委員会では、水政策（Water Policy）についての草案審議が始まり、2015年までに法律制定を目指して審議中である。水利権（Water Right）についての審議予定は未定と灌漑局高官から聞き取った。

ダム、ため池、地下水開発など個別水利権は、法律に基づく行政が遂行されているのではなく、法整備までの過渡期として、電力省や農業・灌漑省など主務官庁が個々に権限として管理しているのが実情である。その上で、開発された個別水資源の規模に応じて、中央官庁による維持管理と、地元政府による維持管理に選別されている。

農業・灌漑省での聞き取りでは、表流水の開発については灌漑局が事業計画立案から実施までを担い、灌漑計画としての地下水資源開発計画から実施までは、水資源利用局が担うという行政上の枠組みとなっている。

2-3 調査地域の地形及び地質

図 2-3-1 にミャンマー南部の地形区分を示す。図 2-3-2 に調査地周辺の地域地質を示す。



出典：Bender(1983)から抜粋、加筆。

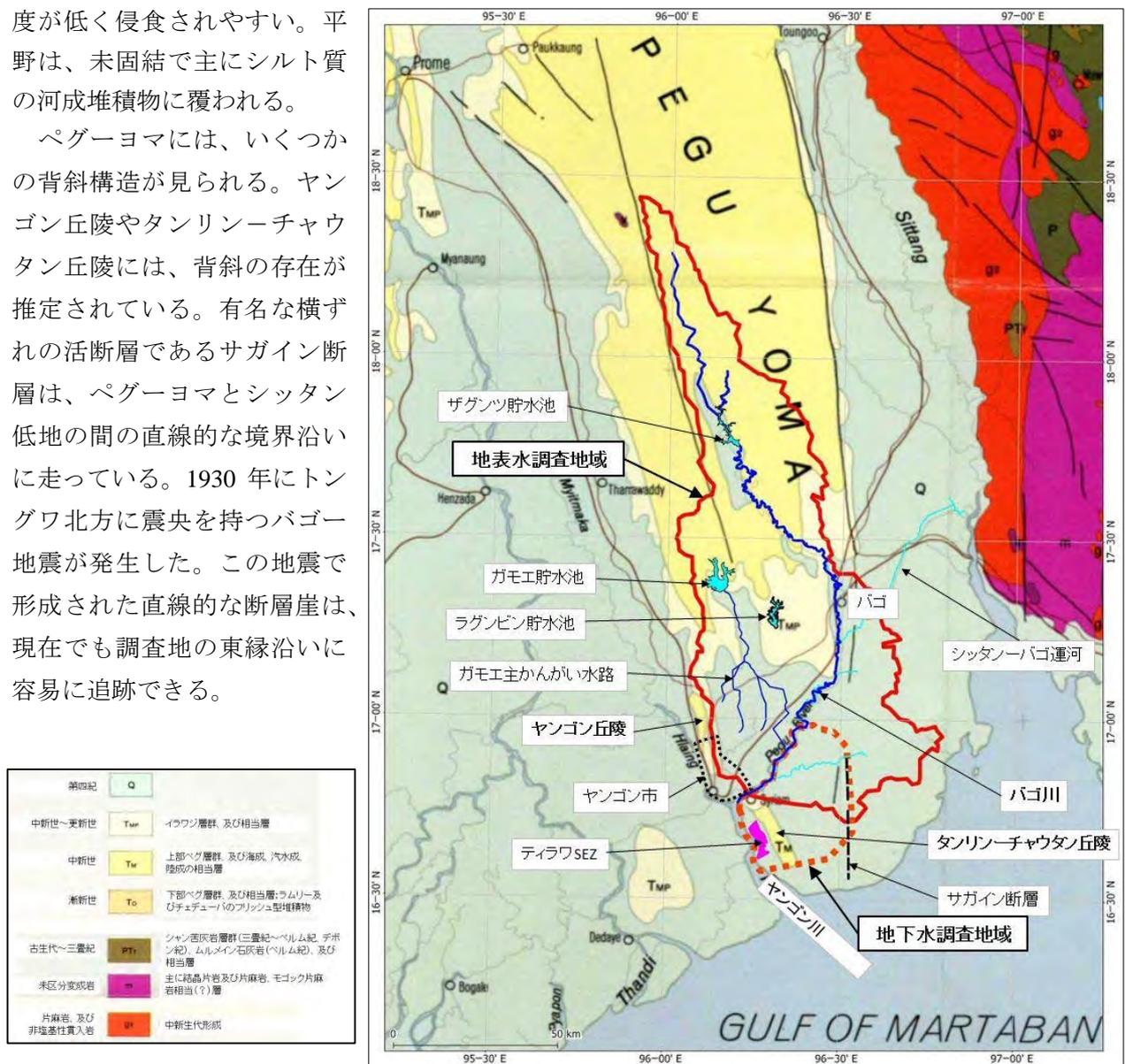
図 2-3-1 ミャンマー南部の地形区分と調査地域の位置

地下水の調査地域は、バゴー川を越えた、ヤンゴン市の東方ないしは南東方に位置する。調査地域の西部は、第三紀層からなる標高 5m~25m の小起伏の丘陵であり、「タンリンーチャウタン丘陵」と呼ばれる。調査地域の東部は、第四紀堆積物からなる標高 1m~5m の平野である。ティラワ SEZ は、丘陵の西麓ヤンゴン川沿いにある。調査地の面積は約 990km² である。

地表水の調査地域は、バゴー川流域とティラワ SEZ 周辺のタンリンーチャウタン丘陵である。面積は、約 7,000km² である。バゴー川は、ペゲーヨマ（ペゲー丘陵）の南部に発する。ペゲーヨマは、標高 10m~200m の第三紀丘陵で、エーヤワディー川とシットン川の低地間を南北に伸びている。ヤンゴン市は、ヤンゴン丘陵と呼ばれるペゲーヨマ南端の丘陵地にある。

ペゲーヨマとタンリンーチャウタン丘陵は、イラワジ層およびペゲー層と呼ばれる第三紀堆積物からなる。これらの地層は、弱~半固結状態のいわゆる軟岩である。イラワジ層は一般に固結度が低く侵食されやすい。平野は、未固結で主にシルト質の河成堆積物に覆われる。

ペゲーヨマには、いくつかの背斜構造が見られる。ヤンゴン丘陵やタンリンーチャウタン丘陵には、背斜の存在が推定されている。有名な横ずれの活断層であるサガイン断層は、ペゲーヨマとシットン低地の間の直線的な境界沿いに走っている。1930 年にトンゴワ北方に震央を持つバゴー地震が発生した。この地震で形成された直線的な断層崖は、現在でも調査地の東縁沿いに容易に追跡できる。



出展：Bender(1983)から抜粋、加筆。

図 2-3-2 調査地域周辺地質図

2-4 対象地域の社会経済状況

2-4-1 面積

4 タウンシップの合計面積は 266,526.4ha を擁し、ヤンゴン管区 (2009/10) の 1,027,938.0ha の 25.9 % を占めている。

表 2-4-1 土地利用区分 (2012/13)

名称	タンリン		チャウタン		トングア		カヤン		ヤンゴン管区 (2009/10) ※	
	Ha	(%)	Ha	(%)	Ha	(%)	Ha	(%)	Ha	(%)
農地	24,762.3	66.4	62,882.9	74.5	58,804.5	70.4	44,063.0	71.9	596,123.1	-
森林・原野	51.4	0.1	225.4	0.3	0.0	0.0	308.8	0.5	109,673.7	-
道路・鉄道	803.7	2.2	1,097.5	1.3	1,221.7	1.5	591.2	1.0	-	-
湿地	5,064.6	13.6	12,087.2	14.3	18,961.6	22.7	10,254.7	16.7	-	-
工業用地	2,108.0	5.7	794.4	0.9	20.2	0.02	32.0	0.1	-	-
入植地	3,936.0	10.6	3,840.9	4.6	3,346.8	4.0	3,360.1	5.5	-	-
その他	565.3	1.5	3,442.7	4.1	1,192.2	1.4	2,707.3	4.4	322,141.2	-
合計面積	37,291.3	100.0	84,371.0	100.0	83,547.0	100.0	61,317.1	100.0	1,027,938.0	-

Source: Yangon Southern District, Settlement and Land Record Department

※Myanmar Agricultural Statistics 2011

2-4-2 人口

4 タウンシップの合計人口は 691,547 人で、ヤンゴン管区 (2010) 7,023,000 人の 9.8% を占めている。

表 2-4-2 郡区別の世帯数、人口、1 世帯あたりの構成員数、人口密度

名称	小区数	村落区	戸数	人口			戸当たり 人数	人口密度 (人/Km ²)
				18 以下	18 以上	計		
タンリン	17	28	45,143	53,903	154,532	208,435	4.6	558.9
チャウタン	17	56	39,084	47,740	113,284	161,024	4.1	190.9
トングア	12	53	38,611	53,493	109,391	162,884	4.2	195.0
カヤン	12	64	36,478	46,825	112,379	159,204	4.4	259.6
ヤンゴン管区 (2010) ※	-	-	-	-	-	7,023,000	-	683.4

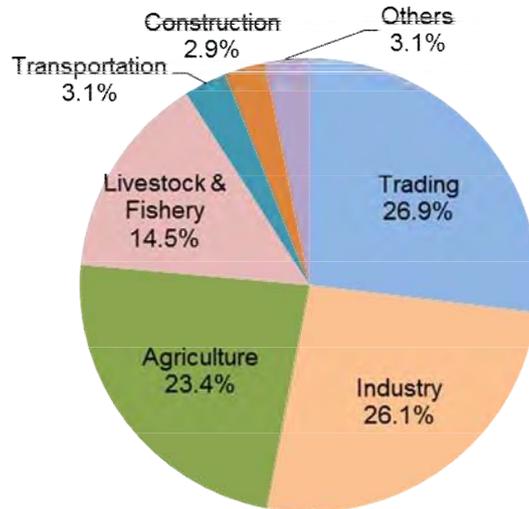
Source: Township General Administration Department (2012)

※Myanmar Agricultural Statistics 2011

2-4-3 産業・経済・雇用

(1) 産業・経済構造

図 2-4-1 に調査対象 4 タウンシップの GDP の割合を示す。第一次産業である農業及び水産業を合計した場合、全体の 37.9% を占める。



出典： Township General Administration Department

図 2-4-1 4 タウンシップの GDP の割合

(2) 就業人口

表 2-4-3 に労働人口、労働者数、失業者数及び失業率を示す。失業率が 4 タウンシップ中で 31.5% (チャウタン) から 2.4% (トングア) まで大きく異なるのは、調査時期が地域により農繁期と農閑期と異なった条件下で実施されたことに起因するとの説明があった。

表 2-4-3 労働人口、労働者数、失業者数および失業率 (2012/13)

名称	労働者数	非雇用者数	失業者数	失業率 (%)
タンリン	139,440	115,420	24,020	17.2
チャウタン	113,459	77,694	35,765	31.5
トングア	110,882	107,533	2,649	2.4
カヤン	91,977	87,379	4,598	5.0
合計	455,758	388,026	67,032	14.7

出典: Yangon Southern District, General Administration Department

(3) 工場及び従業員数

4 タウンシップにおける工場数及び従業員数を表 2-4-4 に示す。トンガア、カヤンには工場は見られなかった。バゴア川、ヤンゴン川を挟んでヤンゴン市内に近接するタンリン地区の立地条件から、4 タウンシップ内では一番多くの工場数となっている。工場規模としては平均従業員数が平均 130 人前後であり、建設資材等を主産品とする小規模製造業が大半である。

表 2-4-4 工場数およびその工場の従業員数(2013)

名称	工場数	従業員数		
		男性	女性	合計
タンリン	47	2,536	3,791	6,327
チャウタン	15	1,882	621	2,503
トンガア	-	-	-	-
カヤン	-	-	-	-
合計	62	4,418	4,412	8,830

出典： Yangon Southern District, Department of Labor

2-5 調査対象地域の水利用状況

地域の水利用量を左右するのは農業用水としての需要量である。農業に必要な水需要はモンスーン期には天水農業で充足していることから、夏季の水稲栽培に必要な灌漑用水が農業用水需要量となる。地区内は灌漑システムが未整備であることから、夏季作稲栽培面積が狭小で 4 タウンシップで 744ha との調査結果である。地域の工業活動は微弱であり、人口 69 万人に対して、工場就業者数が 9,000 人であることから実態がうかがえる。工業用水に係る水利用状況は把握されていない。また、地域の公共水道システムは普及率が数%であり、生活用水は天水と井戸水に依存しているのが実態である。地域の現況農業用水利用量を推定すると下表のようになる。推定に際しては、(作付面積) × (必要灌漑水深 6 feet) を適用した。

表 2-5-1 農業用水現況利用量

	タンリン	チャウタン	トンガア	カヤン	計
農地面積 (ha)	24,762	62,883	58,805	44,063	190,513
夏季作稲 (ha)	642	21	0	81	744
用水量 (10 ⁶ m ³)	11.7	0.4	0	1.5	13.6

出典；農地面積,夏季作稲 (Yangon South District, Settlement and Land Record Department)

2-6 農地及び農作物に関する情報

2-6-1 農地の現状

対象地域の4タウンシップおよびヤンゴン管区の農業土地利用を表 2-6-1 4タウンシップおよびヤンゴン管区の農業土地利用に示す。本プロジェクト対象の4タウンシップの農地は、ほぼすべて（96.6%～99.0%）が水田である。

表 2-6-1 4タウンシップおよびヤンゴン管区の農業土地利用

名称	タンリン		チャウタン		トングア		カヤン		ヤンゴン管区* (2009/10)	
	Ha	(%)	Ha	(%)	Ha	(%)	Ha	(%)	Ha	(%)
低平地	23,917.8	96.6	62,131.0	98.8	58,181.3	98.9	43,615.4	99.0	-	-
浅瀬・堤防	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
庭園	673.8	2.7	486.0	0.8	384.9	0.7	433.4	1.0	-	-
ヤシ園地	170.8	0.7	265.9	0.4	238.4	0.4	14.2	0.03	-	-
農地面積計	24,762.3	100.0	62,882.9	100.0	58,804.5	100.0	44,063.0	100.0	596,123.1	100.0

Source: Yangon Southern District, Settlement and Land Record Department

*Myanmar Agricultural Statistics (1997-98 to 2009-10)

2-6-2 栽培面積および生産量

表 2-6-2 収穫面積および農業生産量(2012/13)

名称	タンリン		チャウタン		トングア		カヤン		ヤンゴン管区* (2009/10)	
	(Ha)	(MT)	(Ha)	(MT)	(Ha)	(MT)	(Ha)	(MT)	(Ha)	(MT)
雨季作稲	24,802.0	86,077.8	63,144.0	222,323.1	59,782.6	219,348.4	44,824.6	162,096.8	485,640.0	1,709,000.0
夏季作稲	642.2	2,558.7	20.6	91.7	-	-	80.5	301.8	78,916.5	333,000.0
ピーナッツ	11.7	11.7	3.6	5.1	41.3	57.2	124.6	176.0	4,856.4	7,000.0
ヒマワリ	4.0	1.0	21.0	7.7	19.8	5.0	175.6	69.8	7,689.3	3,000.0
ケツルアズキ	-	-	-	-	-	-	6.9	5.7	19,425.6	24,000.0
緑豆	21,180.1	17,183.4	32,949.1	40,769.3	50,418.2	63,838.2	39,187.0	47,087.1	143,263.8	175,000.0
サヤインゲン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
他豆類	11.7	9.4	765.7	60.8	134.0	150.2	149.7	116.9	-	-

Source: DOA, Yangon Southern District

MT ; Million Ton

*Myanmar Agricultural Statistics (1997-98 to 2009-10)

2-7 水利権及び水利組織

2-7-1 水利権

ミャンマー国には、我が国が法律で定める「河川法」に相当するものがなく、従って河川水を源流とする表流水源はもとより、地下水源に関しても、水利権の定義が未だない。水資源開発に際して水利権設定の法的根拠がない結果、事業計画立案・事業実施は水資源利用を計画する各省の責任において遂行されている。ダムや堰など表流水利用を目的とする水利施設築造に係る許可は、河川の浚渫や、河道改修、堤防築堤、堰築造、橋梁建設などとともに、それぞれの建設主体が政府機関あるいは地方政府であることから、その都度、実施機関が事業費予算措置のために閣議に諮っている形式が採用されているが、実態的には各省庁の責任において事業が遂行され、水利権の調整が行われている。地下水利用を目的とする開発は、個人の浅井戸掘削から公共水道、工場用水としての地下水揚水、さらには中部乾燥地帯などで見られる灌漑用水利用としての地下水揚水などがあるが、いずれの場合も、開発を規制する法律が整備されていない。従って、掘削した井戸の台帳登録を所在するタウンシップ事務所に行うにとどまり、行政上の水利権設定はなされていない。

2-7-2 水利組織

「ミ」国の水資源の最大利用組織である農業・灌漑省が進める灌漑システムの運営において、末端水利施設の管理や維持・運営を司ることを期待される水利組合、水管理組合などの組織がないことから、水利費の徴収という制度もない。その結果、幹線水路、二次水路レベルを灌漑局が責任をもってあたることの妥当性はあっても、受益者が灌漑効率を維持するために行うべき、末端水路の維持管理に必要な資金としての水利費も徴収されていないことから、結果として、維持管理が不十分で、水利施設の老朽化が大きな問題となっている。

同様にヤンゴン市の水道事業をはじめ都市部の水道事業、郡部の地方公共水道事業においてもそれぞれの市開発委員会（City Development Committee）の水道事業部門及びタウンシップの事務局が水利組織に代わる役割を担っていて、独立採算性の事業としての運営形態には至っていない。

第3章

地下水の調査及び解析

第3章 地下水の調査及び解析

3-1 概要

3-1-1 目的

地下水に係る調査及び解析は、図 3-1-1 示す地域におけるティラワ SEZ 及び周辺地域のための地下水開発可能性を推定するために実施した。

3-1-2 地下水開発可能性の定義

ここでの地下水開発可能性とは、ティラワ SEZ および周辺地域において、社会的に許容可能な範囲内で環境影響がなく、持続的に開発が可能な地下水の水量である。一般に地下水の開発可能性は、以下の 4 項目について評価を行い、その結果を総合的に検討して推定される。

(1) 水収支

地下水の開発可能性は、対象帯水層の地下水涵養量を超えることはできない。既存の地下水利用がある場合は、その水量は開発可能性から差し引かねばならない。加えて、通常は地下水流出があるので、水収支上の余剰水があったとしても、その全量を取水することはできない。すなわち、地下水涵養量の一部が開発可能性となる。

(2) 水質

水質は、開発目的に適合したものでなければならない。水質を開発目的に適合するように処理する場合は、その費用が許容できるものでなければならない。

(3) 水理能力

帯水層は、効率的かつ経済的に地下水を取水施設へ導くことができる水理能力を有している必要がある。

(4) 環境影響

地下水開発に伴う負の環境影響は、社会的に許容できるほど小さいか、適当な方策により許容できるほど小さくできなければならない。

小規模地下水開発においては、水質と井戸の揚水能力（水理能力の一部）のみにより、開発計画が立てられるが、当該計画のように規模の大きな開発においては、これらに加え、地域の水収支と環境影響を考慮しなければならない。

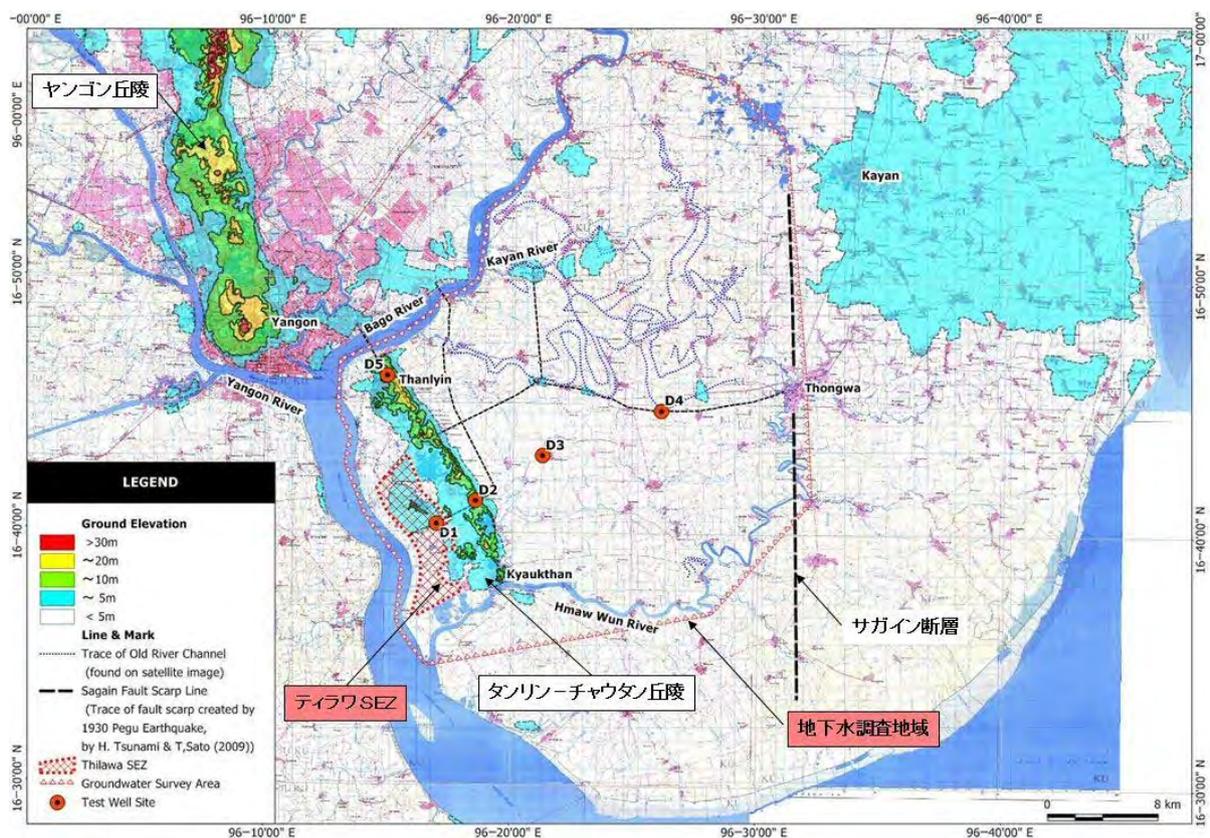
3-1-3 地形

図 3-1-1 および図 3-1-2 に示すように、調査地域は、バゴー川、ヤンゴン川、マウウン川およびタンビン川に囲まれた、小起伏の丘陵地と平野である。調査面積は近隣を含め約 990km² である。

丘陵は調査地域の西側を占め、タンリン及びチャウタンの市街地が位置する。地盤高標高はおよそ 5m~25m である。ティラワ SEZ は、丘陵の西麓にある。この丘陵は、時に「タンリンーチャウタン丘陵」と呼ばれる。

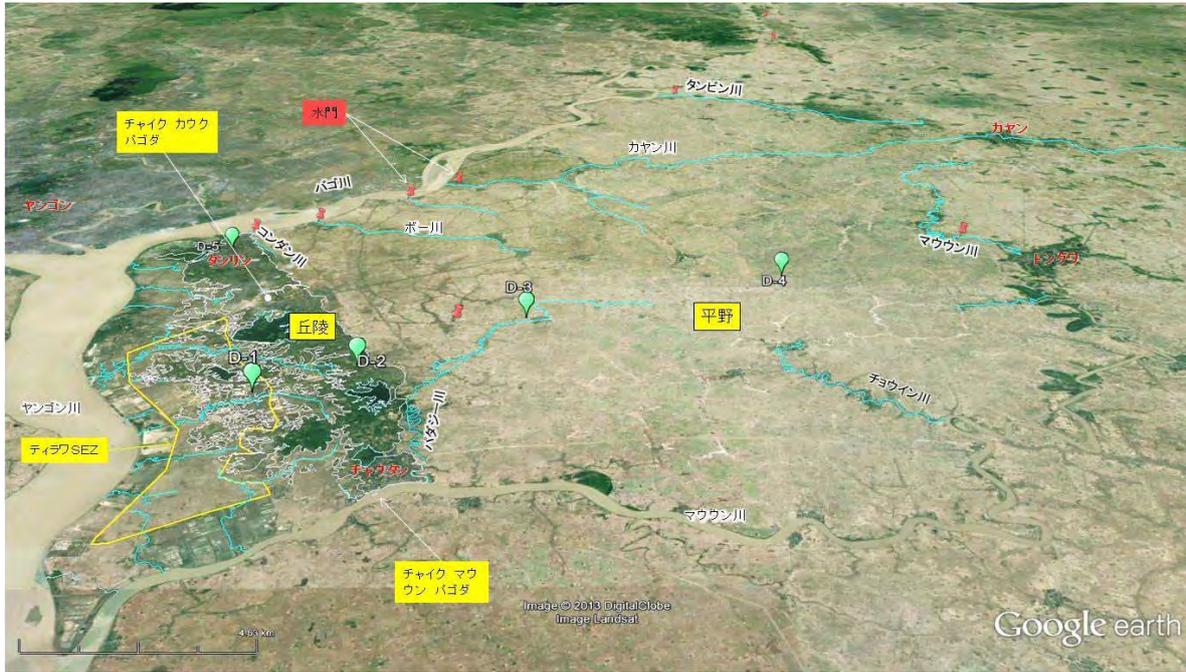
平野は調査地の東側の広い地域を占める。地盤高標高はおよそ 1m~4m であり、小河川や水路が縦横に走っている。バゴー川沿いの小河川の出口には堰が設けられており、また、分水界がタンリンとトングアを結ぶ幹線道路沿いに走る。このため、調査地の北部は、堰による締め切りは完全ではないものの、乾期における小河川沿いの塩水遡上から保護されている。

調査地の東縁には、第 1 級の活断層であるサガイン断層が走る。



出典：JICA 調査団

図 3-1-1 地下水調査地域と地形



出典：グーグル・アース衛星画像に加筆。

図 3-1-2 地下水調査地域の鳥瞰図

3-1-4 地質

図 3-1-3 および表 3-1-1 にタンリンーチャウタン丘陵の地質を示す。丘陵は第三紀の堆積物からなる。北部には、半固結の泥岩を挟在する弱固結の砂岩からなるイラワジ層が分布する。南部は、半固結の砂岩泥岩互層からなるペグ層が分布する。

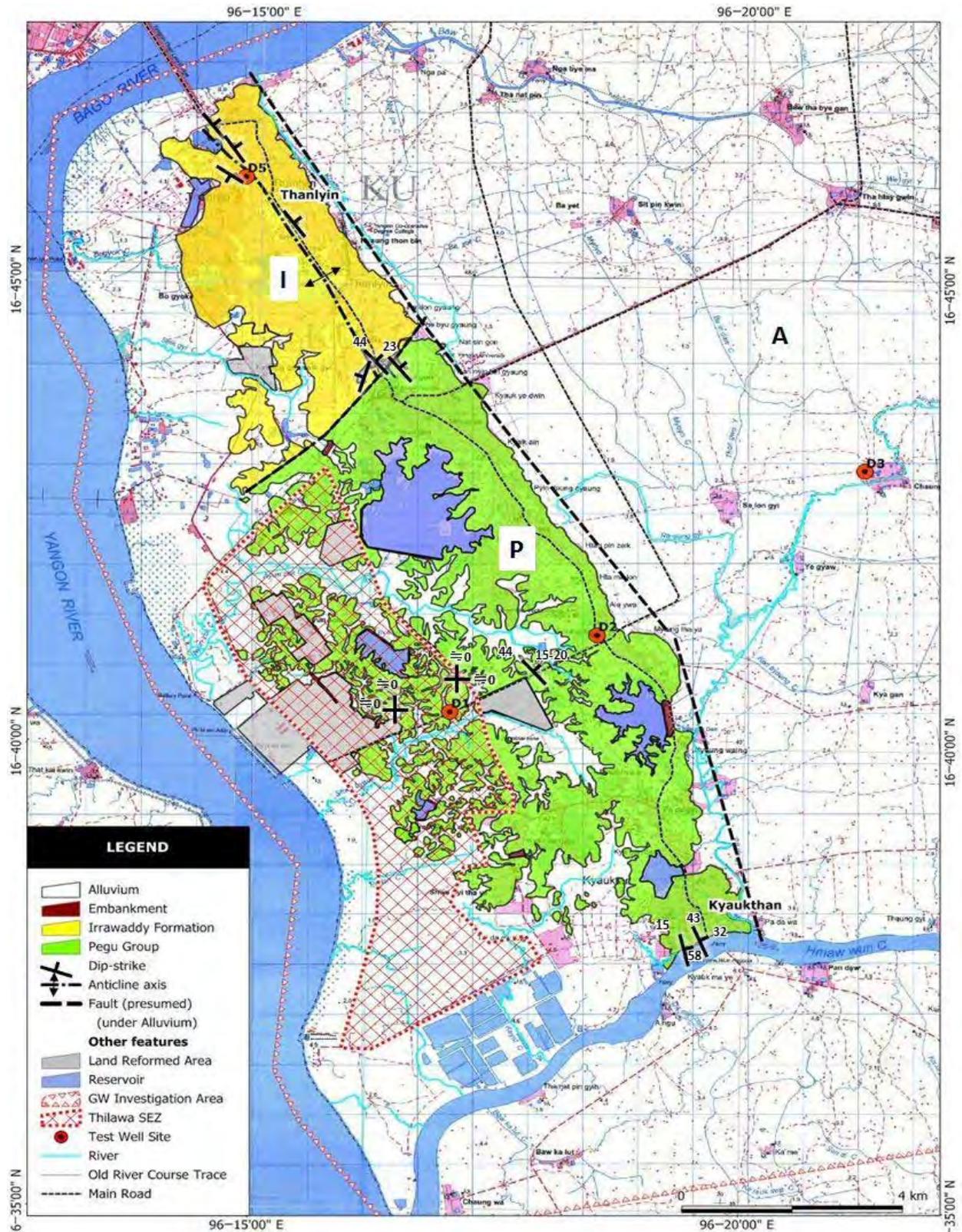
北部においては、地層は緩く褶曲しており、南部では東方へ緩く傾斜している。断層が、両地層の境界、および丘陵の東縁沿いに推定されている。

コア・ボーリングおよび試験井掘削結果によれば、当地の砂岩層は、深度 100m 以浅では固結度が低く、鉄色に染まっているところが多い。

平野部には、第四紀の未固結の河川堆積物が表層に主として分布する。厚さは 50m～70m で、微細砂、シルト、粘土の微細互層からなる粘性土を主体とし、基底部に厚さ約 10m で細礫まじりの基底砂層がある。その下方には、傾斜不整合で固結度の低い第三紀層がほぼ水平に分布する。

表 3-1-1 タンリンチャウタン丘陵の地質層序表 (Wing Naing et al., 1991)

地質年代	地層名	記号	層相	層相 (詳細)
現世	沖積層	A	砂、粘土	黄灰色、青灰色、褐灰色
鮮新世	イラワジ層	I	粘土および泥岩層を挟在する半固結砂岩	砂岩は中粒から粗粒
漸新世・ ～中新世	ペグ層群	P	頁岩と酸化鉄色の縞を有する砂岩の互層	砂岩は、青灰～褐灰色。細粒～中粒。泥質で良く固結。酸化鉄色の縞を有する。



出典：Win Naing et al. (1991)と Aye Thanda Bo (2001)の地質図、衛星画像の地形解析および路頭地質調査結果から編集。推定断層は主要なもののみを表示。

図 3-1-3 タンリンーチャウタン丘陵の地質図

3-2 地下水調査

3-2-1 調査項目と調査地点

地域の地下水開発可能性を推定するためには、表 3-2-1 に示す調査項目について調査を行わなければならない。調査には次のような方法が採られた。

- 1) 既存調査報告書の精査
- 2) 台帳に基づく既存井戸調査
- 3) 物理探査
- 4) コア・ボーリング
- 5) 試験井
- 6) 揚水試験
- 7) 水質調査
- 8) 露頭地質調査
- 9) 地下水位観測

図 3-2-1 に地下水調査の主要な位置と地域を示す。

表 3-2-1 地下水開発可能性に関する調査項目と本調査で適用した調査手法

調査対象項目		説明	調査方法
水収支	帯水層分布	地下水流動と貯留の場	井戸インベントリ調査 (14,691 施設)、物理探査(VES 43 点、TDEM 60 点)、コアボーリング(2 箇所)、試験井(5 サイト、16 本)、路頭地質調査、衛星画像による地形解析
	地下水位	1) 水収支の結果 2) 勾配は流動方向を示す	地下水位観測－自記、毎時観測; 16井掘井戸水位測定
	地下水涵養	水収支の入力成分	気象水文データの収集 (降雨、蒸発散量、潮位等)、河川や湖沼の分布確認、衛星画像解析による地表被覆図の作成
	地下水流出	水収支の出力成分	井戸インベントリ調査による地下水利用量の推定
水質		開発目的により決まる	水質調査 既存井戸200箇所 一年2回、現地測定 試験井16 箇所－揚水試験時および毎月採水、現地測定および室内分析 試験井13 箇所－同位体分析
水理能力		地下水涵養量や流動量を規制。開発の経済性に影響を与える。	揚水試験－試験(16 箇所)、既存井戸 (3 箇所)、既存報告書の井戸能力データ
環境影響評価	影響を与えるもの	地下水開発計画	(開発水量と開発場所を仮定する)
	影響を受けるもの	地下水利用、土地利用	地下水利用調査、土地利用(被覆)調査
	影響を伝える場	帯水層	(水収支と水理能力の調査と同じ)

出典：JICA 調査団

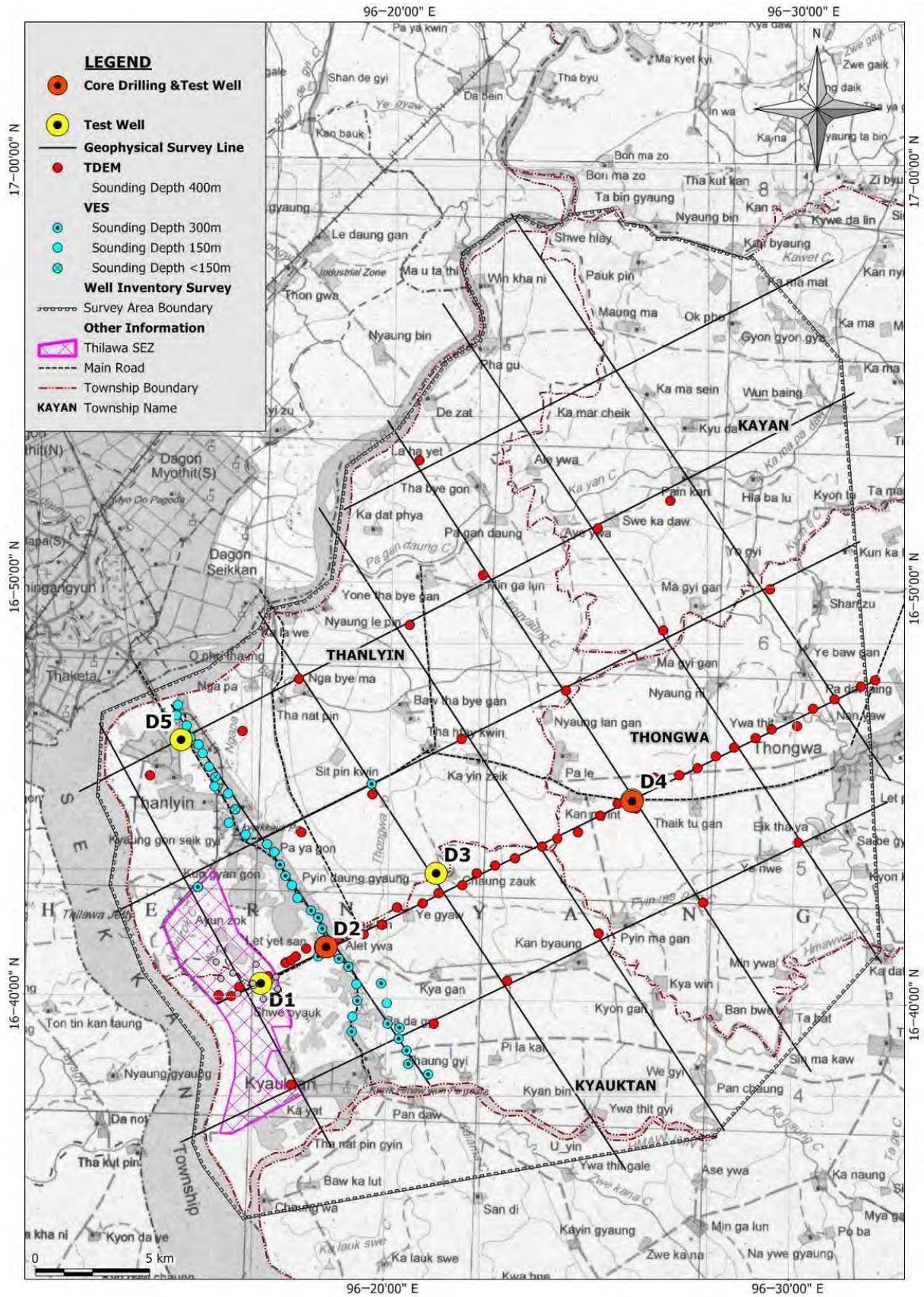


図 3-2-1 地下水調査地点及び地域

3-2-2 調査概要

(1) 既存報告書の精査

表 3-2-2 に示す 2 つの調査報告書を精査した。地質、井戸柱状および水質に関するデータは、地域の水理地質を把握するために有用である。

表 3-2-2 既存水理地質調査報告書

引用(短縮)	Win Naing et al. (1991)	Aye Thanda Bo (2001)
著者	Aung Aung Tin, Win Naing and Maung Maung	Aye Thanda Bo
年	1991	2001
題名	Hydrogeology of Thanlyin - Kyauktan Area	Urban Geology of Thanlyin Area
出版物/出版元	Diploma Article, Applied Geology Department, Yangon University	Diploma Article, Department of Engineering Geology, Yangon Technological University
調査対象地域	タンリンーチャウタン丘陵および近傍	タンリン地区

(2) 台帳に基づく既存井戸調査

タウンシップの役場にある台帳に基づいて、既存井戸を訪れ、その諸元、設置年、揚水能力、取水量、利用状況等について調査した。4 つのタウンシップの 92 の村落群において、約 12,400 本の井戸が確認された。現地調査は、2012 年 10~12 月に実施した。



図 3-2-2 VES 探査状況

(3) 物理探査

帯水層および塩水の概略分布を把握するため、電磁探査 (TDEM) および垂直電気探査 (VES) を、図 3-2-1 に示す 2 つの主測線沿いおよびいくつかの独立点にて実施した。全調査点数は、103 である。探査深度は、原則として TDEM では 400m、VES では 150m ~300m である。



図 3-2-3 コア標本例

(4) コアボーリング

調査地の丘陵および平野それぞれの標準的な地質層序を確認するため、図 3-2-1 に示す 2 箇所 (D-2, D-4) でコア・ボーリングを行った。調査深度は、D-2 地点で 272m、D-4 地点で 248m である。図 3-2-3 に採取されたボーリングコア標本の例を示す。

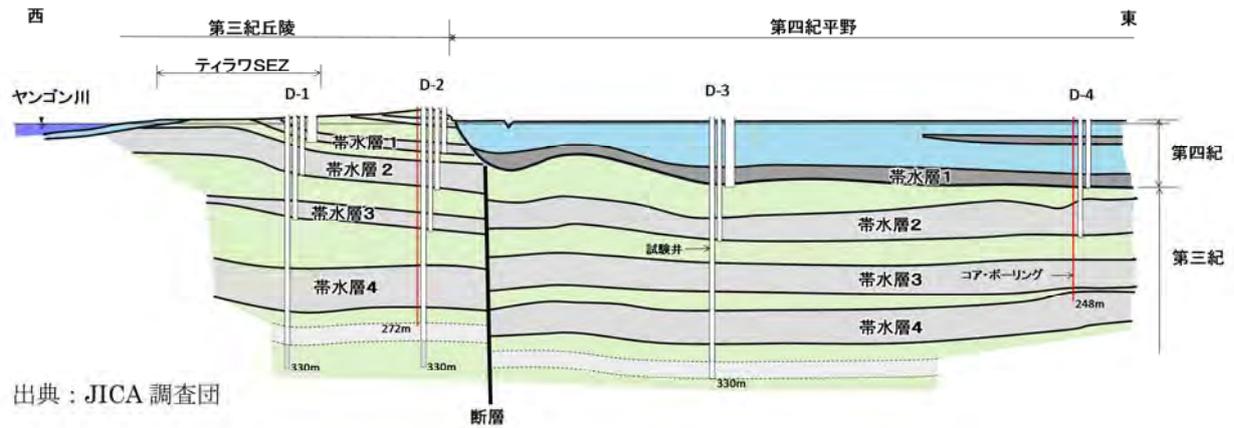
(5) 試験井

主な帯水層の位置と性状を把握するため、5 箇所において 16 本の試験井掘削を行った。図 3-2-5 および表 3-2-3 に示すように、各箇所には、深度の異なる 2~4 本の観測井戸が設置された。なお、ティラワ SEZ 内には、他の JICA 調査団が、8 箇所に試験掘孔およ



図 3-2-4 試験井掘削状況

び4箇所に試験井の掘削を実施している。



出典：JICA 調査団

図 3-2-5 試験井配置模式図

表 3-2-3 試験井とその諸元

地点	井戸番号	GPS 位置 (WGS84)		掘削深度 (GL-m)	ケーシング挿入 (GL-m)	スクリーン位置 (m)	全スクリーン長 (m)	標高 (m)			対象帯水層番号
		緯度	経度					ケーシング上端	コンクリート基礎面	地盤面	
D-1	D-1-0	N 16° 40' 23.3"	E 96° 16' 59.9"	52	52	36.7-48.0	11.30	6.767	6.015	5.249	1
	D-1-1	N 16° 40' 23.5"	E 96° 17' 00.2"	85	85	66.1-83.0	16.95	6.759	6.010	5.265	2
	D-1-2	N 16° 40' 23.4"	E 96° 16' 59.6"	150.0	140.0	109.8-138.0	28.25	6.784	5.979	5.264	3
	D-1-3	N 16° 40' 23.3"	E 96° 16' 59.8"	330	285	187.0-199.0, 211.0-232.0, 256.0-283.0	60.00	6.779	6.015	5.294	4
D-2	D-2-0	N 16° 41' 12.5"	E 96° 18' 27.5"	56	56	31.4-37.1 48.4-54.0	11.30	19.551	18.754	17.871	1
	D-2-1	N 16° 41' 12.2"	E 96° 18' 28.6"	97	97	66.8-95.0	28.25	19.459	18.608	17.654	2
	D-2-2	N 16° 41' 12.7"	E 96° 18' 28.3"	150	150	125.4-148.0	20.70	19.748	18.914	18.058	3
	D-2-3	N 16° 41' 11.7"	E 96° 18' 29.2"	330	303	196.0-217.0 223.0-225.0 241.0-250.0 268.0-277.0 283.0-301.0	69.00	19.019	18.147	17.414	4
D-3	D-3-1	N 16° 43' 01.7"	E 96° 21' 10.6"	80	79	60.4-77.3	16.95	5.436	4.633	3.833	1
	D-3-2	N 16° 43' 01.6"	E 96° 21' 10.0"	180	151	112.1-123.4 132.1-137.7 143.4-149.0	22.60	5.278	4.491	3.764	2
	D-3-3	N 16° 43' 01.6"	E 96° 21' 09.5"	330	330	244.0-274.0 298.0-328.0	60.00	5.298	4.584	3.751	4
D-4	D-4-1	N 16° 44' 50.6"	E 96° 26' 06.4"	85	85	66.1-83.0	16.95	5.125	4.290	3.667	1
	D-4-2	N 16° 44' 50.7"	E 96° 26' 06.4"	146	146	110.1-132.7 138.4-144.0	28.25	5.169	4.373	3.542	2
	D-4-3	N 16° 44' 50.6"	E 96° 26' 05.9"	(330)			Unable to complete				
D-5	D-5-1	N 16° 46' 08.8"	E 96° 14' 49.7"	65	65	46.1-63.0	16.95	25.848	25.114	24.238	1
	D-5-2	N 16° 46' 08.8"	E 96° 14' 49.2"	100	100	81.1-98.0	16.95	24.854	24.080	23.299	2
	D-5-3	N 16° 46' 08.8"	E 96° 14' 49.5"	350	240	180.0-240.0	60.00	25.502	24.736	23.929	3,4

出典：JICA 調査団

(6) 揚水試験

帯水層の水理能力を把握するため、すべての試験井および3箇所の既存井戸にて揚水試験を実施した。



図 3-2-6 揚水試験状況

(7) 水質調査

地下水の水質を把握するため、次のような測定及び試験を実施した。

- 1) 乾季及び雨季における 200 箇所既存井戸の物理的な水質測定
- 2) 試験井の揚水に対する物理・化学的水質試験
- 3) 試験井の井内水についての毎月の物理・化学的水質試験
- 4) 試験井の揚水に対する同位体分析



図 3-2-7 水質測定状況

(8) 露頭地質調査

当地では露頭は少ないが、分布地質の層相や地質構造を把握するため、いくつかの露頭において地質踏査を実施した。



図 3-2-8 調査した露頭の例

(9) 地下水位観測

地下水頭の変動状況を把握するため、図 3-2-9 に示す自記水位計を用い 16 箇所の試験井において地下水位観測を実施した。観測期間は、2013 年 7 月～2014 年 5 月である。



観測井（試験井）の外観



データ・ロガー



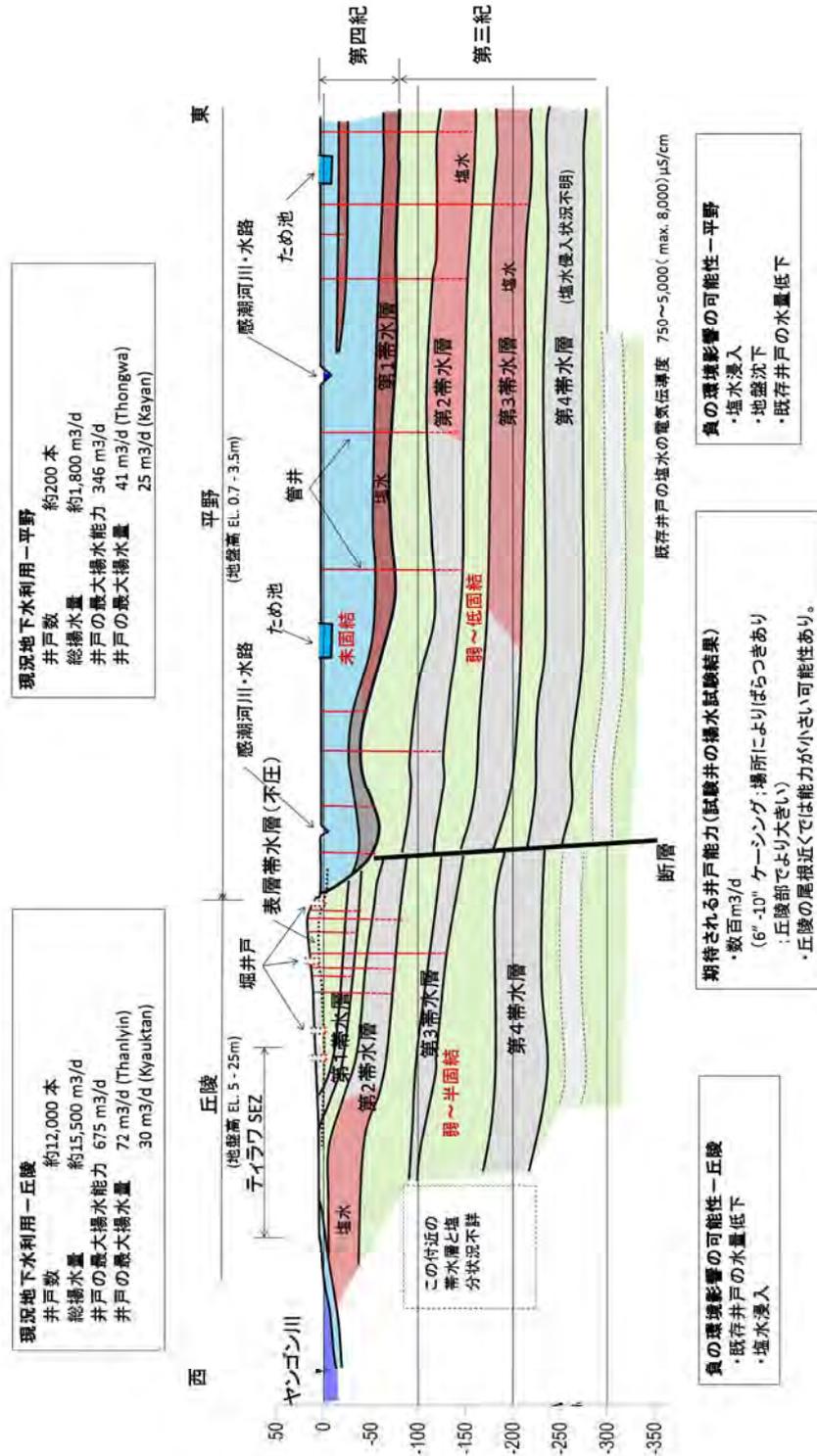
水位センサー

図 3-2-9 試験井に設置された自記水位計

3-3 帯水層と地下水の現況

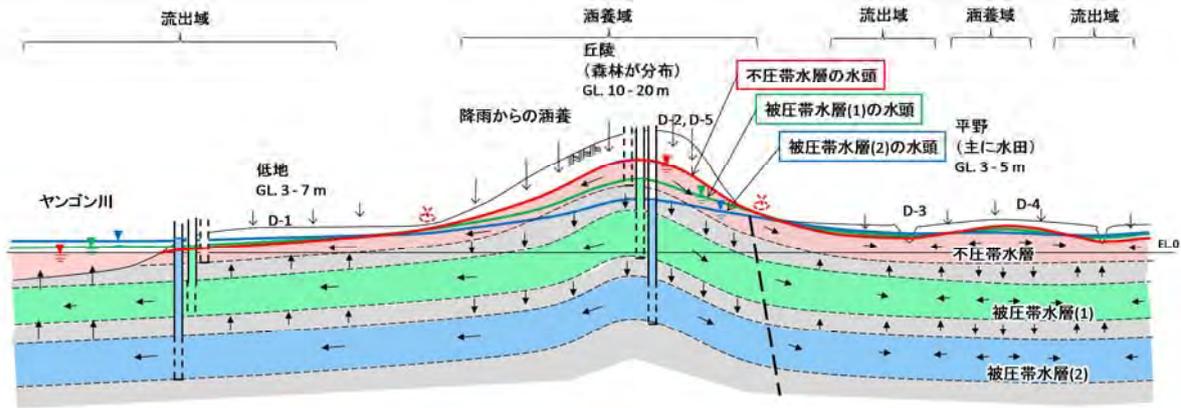
3-3-1 概要

すべての地下水調査結果を考慮すると、調査地における帯水層の分布、性状及び地下水利用は、模式的に図 3-3-1 のように、総括される。また、地下水の水頭分布および流動状況は、模式的に図 3-3-2 のように推定される。



出典：JICA 調査団

図 3-3-1 調査地における帯水層分布、性状及び地下水利用の模式断面図



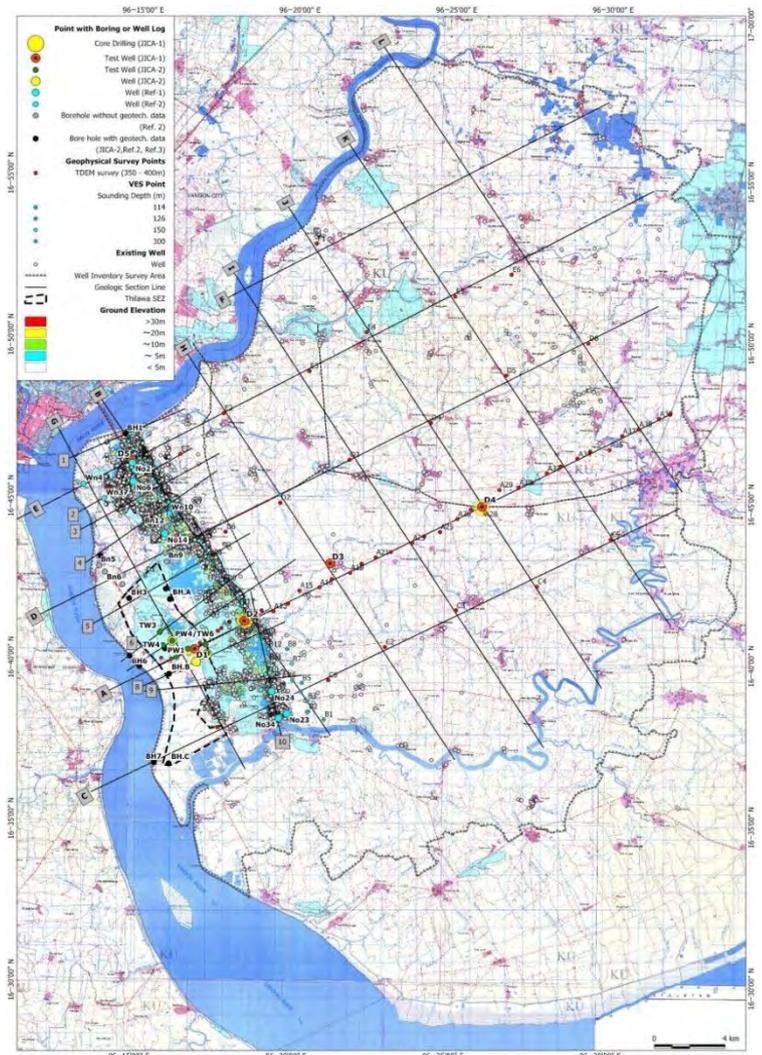
出典：JICA 調査団

図 3-3-2 調査地における地下水の水頭分布及び流動の模式断面図

3-3-2 帯水層分布

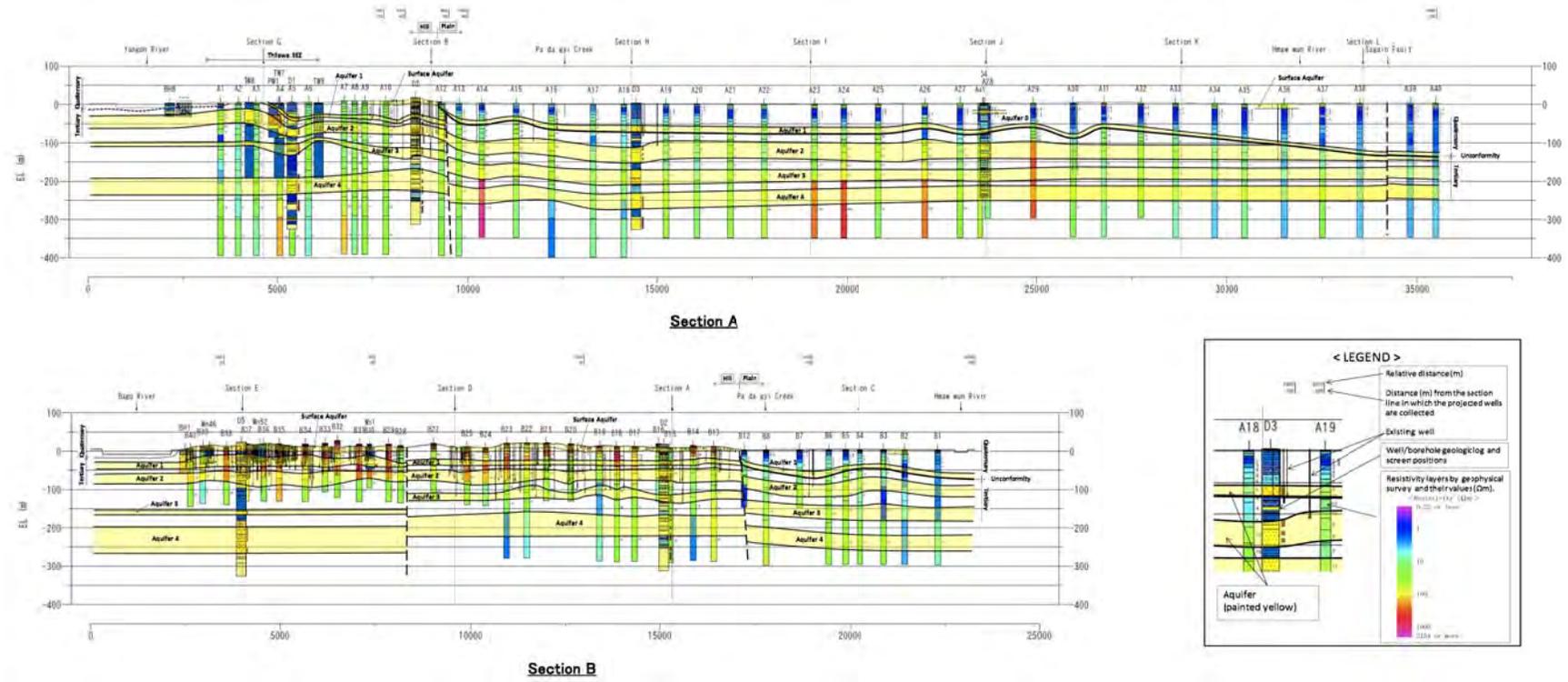
図 3-3-1 に示すように、調査地域は、水理地質的にも地形と同様に、丘陵地域と平野地域に二分される。両者の境界は、丘陵東縁の推定断層である。コア・ボーリング及び試験井掘削の結果から、丘陵地域には、表層不圧帯水層と 4 つの半固結状態の被圧帯水層の分布が推定される。これらは若干褶曲しているか、東方に傾いている。平野地域では、4 つの未固結ないし弱固結の被圧帯水層の分布が推定される。一番上の被圧帯水層は、第四紀堆積物の基底粗粒層に当たる。表層の不圧帯水層は、あまり発達していない。地層は、ほぼ水平に分布する。

図 3-3-3 に、すべての地質柱状、物理探査の比抵抗層区分および既存井戸深度を考慮して作成した帯水層断面図の断面線の位置を示す。図 3-3-4 に作成した帯水層断面図の例を示す。帯水層断面図より帯水層境界線を抽出し、各境界面等高線図を作成した。これを基に後述の帯水層の三次元概念モデルを構築した。(位置図及び断面図の詳細は、報告書の図 3-3-2-9～図 3-3-2-20 参照)



出典：JICA 調査団

図 3-3-3 帯水層断面図の断面線位置図



出典：JICA 調査団

図 3-3-4 作成した帯水層断面例

3-3-3 地下水利用

既存井戸調査結果によると、図 3-3-5 に示すように、調査地域には約 12,000 本の井戸があり、17,000m³/日の地下水を取水していると推定される。井戸には、図 3-3-6 に示すように、掘井戸と管井の 2 種類がある。図 3-3-8 は、その分布状況を示す。図 3-3-9 は、井戸の数と取水量の平面的な分布密度を示す。大部分の井戸は丘陵地域にあり、また、大部分の取水も丘陵地域で行われている。平野地域には、ほぼ管井のみが分布する。表 3-3-1 に帯水層毎の地下水利用状況を示す。取水は主として、表層の不圧帯水層と上部 2 層の被圧帯水層で行われているものと推定される。

図 3-3-7 に示すように、過去 20 年間、井戸が増え続けており、ここ数年間では、毎年約 700 本（推定取水量約 1,000m³/日）の井戸が新設されている。

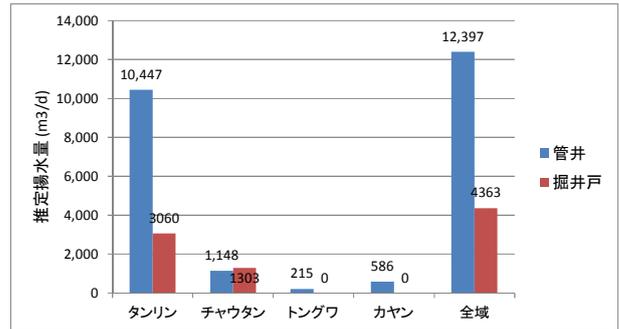
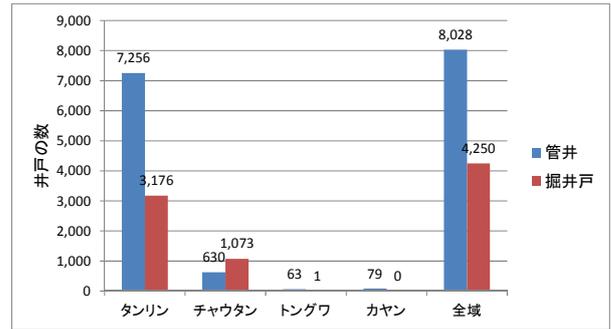
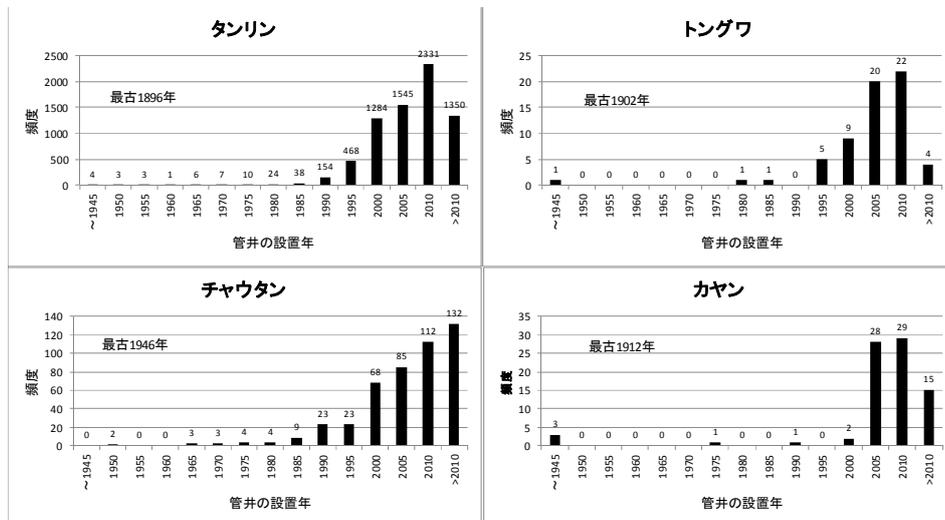


図 3-3-5 井戸の数と取水量



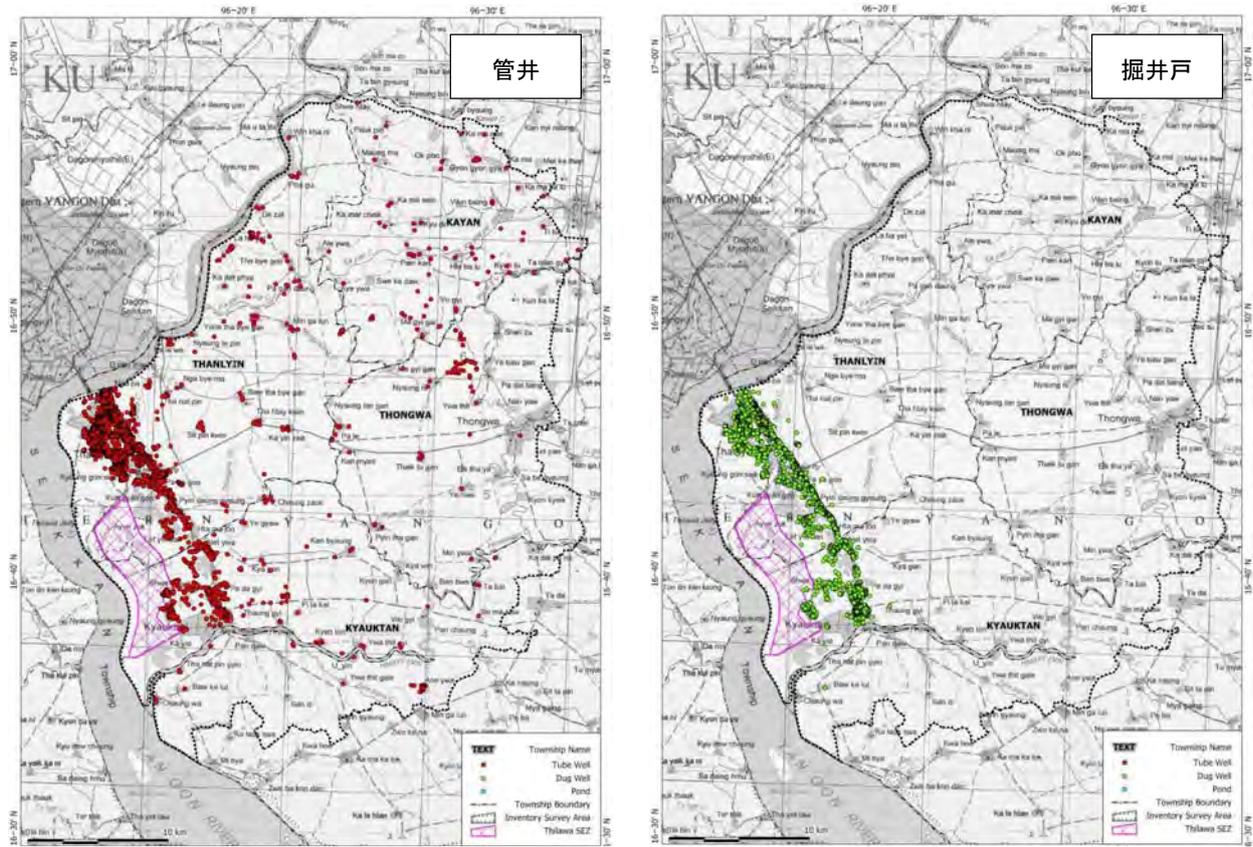
出典：JICA 調査団

図 3-3-6 掘井戸(左)と管井(右)



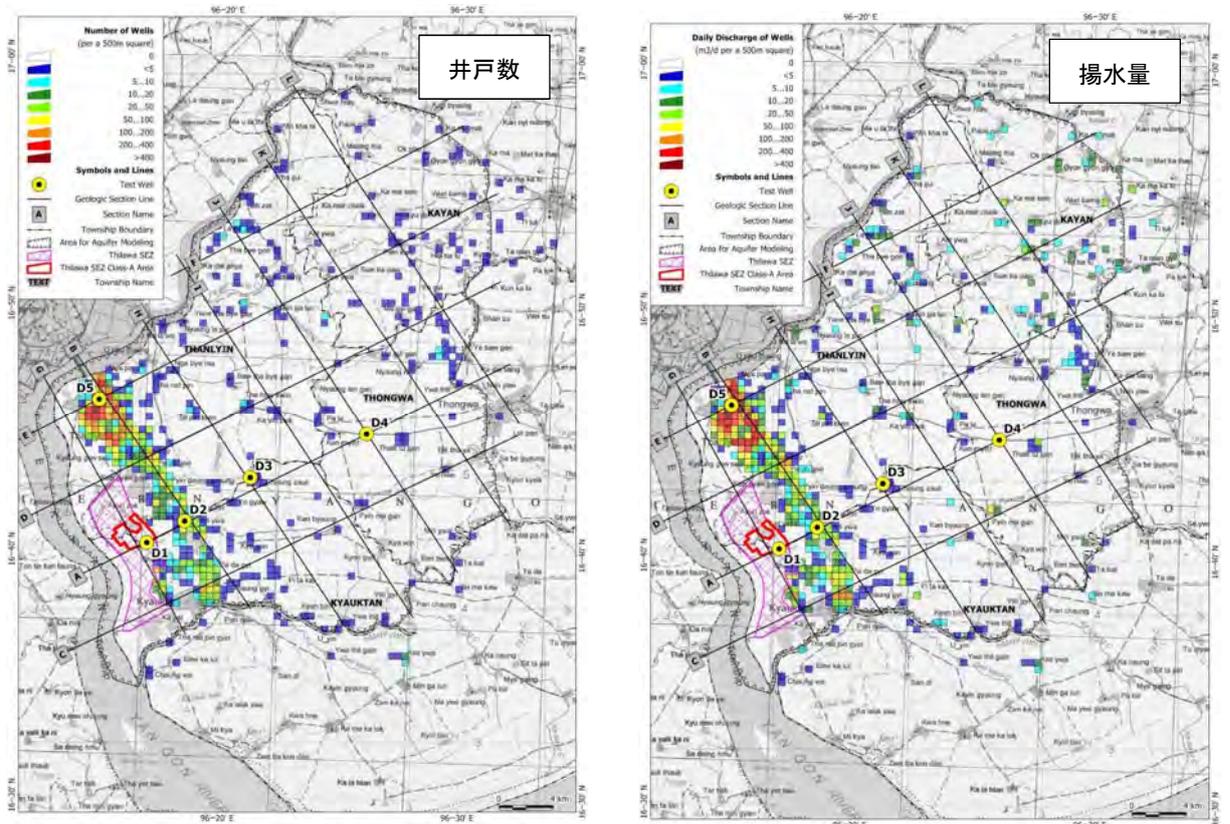
出典：JICA 調査団

図 3-3-7 管井の設置年(2012年12月現在)



出典：JICA 調査団

図 3-3-8 管井と掘井戸の分布



出典：JICA 調査団

図 3-3-9 既存井戸の数と取水量の面密度(500m 平方当り)

表 3-3-1 帯水層毎の地下水利用

帯水層名	管井		掘井戸		全井戸			
	本数	揚水量 (m ³ /日)	本数	揚水量 (m ³ /日)	本数	本数 (%)	揚水量 (m ³ /日)	揚水量 (%)
表層帯水層	176	242.7	4349	4442.8	4525	36.6	4685.5	27.1
第1帯水層	6001	8568.0	21	23.3	6022	48.7	8591.3	49.6
第2帯水層	1630	3405.4	0	0.0	1630	13.2	3405.4	19.7
第3帯水層	181	619.6	0	0.0	181	1.5	619.6	3.6
第4帯水層	3	3.6	0	0.0	3	0.0	3.6	0.02
合計	7991	12839.3	4370	4466.1	12361	100.0	17305.5	100.0

注) 揚水量は、(時間揚水能力) × (日揚水時間) により集計。

データの無い井戸については、平均揚水量：管井-1.59m³/日、掘井戸-1.01m³/日 と仮定して集計
調査地域周縁部の一部の井戸は対象外。

出典：JICA調査団

3-3-4 水理能力

表 3-3-2 に 試験井の揚水試験結果を示す。この他、SEZ 内における他 JICA 調査団による 4 箇所
の試験結果、3 箇所の既存井戸の揚水試験結果、表 2-2-2 (前掲) に示した既存水理地質報告書
に記載の井戸諸元データ (詳細は、報告書参照)、および、既存井戸調査による井戸の揚水能力が、
調査地の水理能力について参考となる。

表 3-3-2 試験井の連続揚水試験結果総括表

場所	試験井 番号	スクリーン位置	スクリーン 全長 L	静水位	揚水量 Q		揚水時間	動水位	水位低下 s	透水量 係数 T	透水係数 k	貯留係数 S	比湧出量 Sc		T/Sc	対象 帯水層 番号
		(m)	(m)	(GL-m)	(L/分)	(m ³ /日)	(時間)	(GL-m)	(m)	(m ² /s)	(cm/s)		(m ³ /秒/m)	(m ³ /日/m)		
D-1	D-1-0	36.7-48.0	11.30	3.70	596	858	48	9.65	5.95	5.4E-03	3.4E-02	4.8E-13	1.7E-03	144	3.2	1
	D-1-1	66.1-83.0	16.95	8.65	378	544	48	36.79	28.14	2.3E-04	1.4E-03	2.1E-04	2.2E-04	19	1.0	2
	D-1-2	109.8-138.0	28.25	3.90	266	383	48	27.96	24.06	4.3E-04	1.6E-03	7.9E-03	1.8E-04	16	2.3	3
	D-1-3	187.0-199.0 211.0-232.0 256-283	60.00	5.41	465	670	48	20.7	15.29	5.4E-04	9.0E-04	-	5.1E-04	44	1.1	4
D-2	D-2-0	31.4-37.1 48.4-54.0	11.30	6.83	13	19	2.3	26.02	19.19	1.1E-05	9.6E-05	7.7E-02	1.1E-05	1	1.0	1
	D-2-1	66.8-95.00	28.25	7.96	27	39	48	34.54	26.58	2.4E-05	8.4E-05	2.6E-05	1.7E-05	1	1.4	2
	D-2-2	125.4-148.0	20.70	10.08	20	29	0.4	49.80	39.72	6.0E-06	2.6E-05	1.2E-01	8.4E-06	1	0.7	3
	D-2-3	196.0-217.0 223.0-225.0 241.0-250.0 268.0-277.0 283.0-301.0	69.00	12.96	153	220	48	44.24	31.28	8.8E-05	1.3E-04	8.3E-03	8.1E-05	7	1.1	4
D-3	D-3-1	60.4-77.3	16.95	1.60	564	812	48	12.45	10.85	9.7E-04	5.8E-03	3.5E-02	8.7E-04	75	1.1	1
	D-3-2	112.1-123.4 132.1-137.7 143.4-149.0	22.60	1.85	266	383	48	18.90	17.05	3.1E-04	1.4E-03	1.9E-02	2.6E-04	22	1.2	2
	D-3-3	244-274 298-328	60.00	1.40	564	812	48	11.74	10.34	1.3E-03	2.2E-03	1.3E-03	9.1E-04	79	1.5	4
D-4	D-4-1	66.1-83.0	16.95	2.09	564	812	48	7.59	5.50	3.8E-03	2.2E-02	1.6E-07	1.7E-03	148	2.2	1
	D-4-2	110.1-132.7 138.4-144.0	28.25	1.35	618	890	48	5.65	4.30	6.5E-03	2.3E-02	2.3E-09	2.4E-03	207	2.7	2
D-5	D-5-1	46.1-63.0	16.95	17.00	13	19	26	36.90	19.90	7.3E-06	4.3E-05	7.4E-02	1.1E-05	1	0.7	1
	D-5-2	81.1-98.0	16.95	28.01	47	68	48	43.09	15.08	7.8E-05	4.6E-04	3.0E-04	5.2E-05	4	1.5	2
	D-5-3	180.0-240.0	60.00	35.96	109	157	48	48.51	12.55	7.1E-05	1.2E-04	2.0E-02	1.4E-04	13	0.5	3.4

表 3-3-3 は、これらのデータから得られた井戸の比湧出量を示す。比湧出量は、ほぼ透水量係数と同様に、帯水層の水理能力の大きさを示している。比湧出量は、平野地域や丘陵西側の低地で比較的大きく、丘陵の尾根部で小さい。揚水試験で得られた透水係数は、 $n \times 10^5 \text{cm/sec} \sim 2 \times 10^2 \text{cm/sec}$ の間にある。試験井の揚水能力は、 $20 \text{m}^3/\text{日} \sim 890 \text{m}^3/\text{日}$ である。既存井戸の最大揚水能力は、丘陵地域で $675 \text{m}^3/\text{日}$ 、平野地域で $346 \text{m}^3/\text{日}$ である。これらの数値は、良好な帯水層では比湧出量は数百 $\text{m}^3/\text{日/m}$ であり、また、井戸の揚水能力は数千 $\text{m}^3/\text{日}$ に達することを考慮すると、当地の帯水層の水理能力がかなり劣るものであることを示している

表 3-3-3 調査地域の比湧出量($\text{m}^3/\text{日/m}$)

地形上の位置	丘陵								平野		
	裾部		尾根部								
場所	SEZ		SEZの東方	タンリン			チャウタン				
井戸 帯水層	D-1 地点 井戸	PW井	D-2地点 井戸	D-5 地点 井戸	Wing Naing et. al (1991)	既存井戸	Wing Naing et. al (1991)	既存井戸	東ヤンゴン 大学	D-3 地点 井戸	D-4 地点 井戸
表層帯水層	-	-	-	-	-	($k=1 \times 10^{-3}$ cm/s)	-	($k=3 \times 10^{-3}$ cm/s)	-	-	-
第1帯水層	146		1	1	11 ~ 150	-	2 ~ 31	-	179	75	148
第2帯水層	19	15, 20, 63, 70	1	4		-		-	-	-	22
第3帯水層	16	-	1	13	-	-	-	-	-	-	-
第4帯水層	44	-	7		-	-	-	-	-	79	-

出典: JICA調査団

3-3-5 水質

表 3-3-4 に、試験井における水質試験の結果を総括して示す。次のような特徴が見られる。

- 1) 丘陵尾根部では、上方の帯水層（第 1、第 2）の地下水は、低い pH、電気伝導度及び鉄イオン濃度を示す。これは降雨が浸透して地下水となってから、あまり長い時間が経過していないことを暗示している。
- 2) 平野地域の上方の帯水層には塩水が分布する。
- 3) 鉄イオン濃度は一般に大きく、味は良くない。
- 4) 深部帯水層（第 4）は、pH と亜鉛濃度が高い。
- 5) 毎月の調査で、鉛が、丘陵尾根部の上方帯水層において 3 回以上 WHO の飲料水水質基準を上回った。

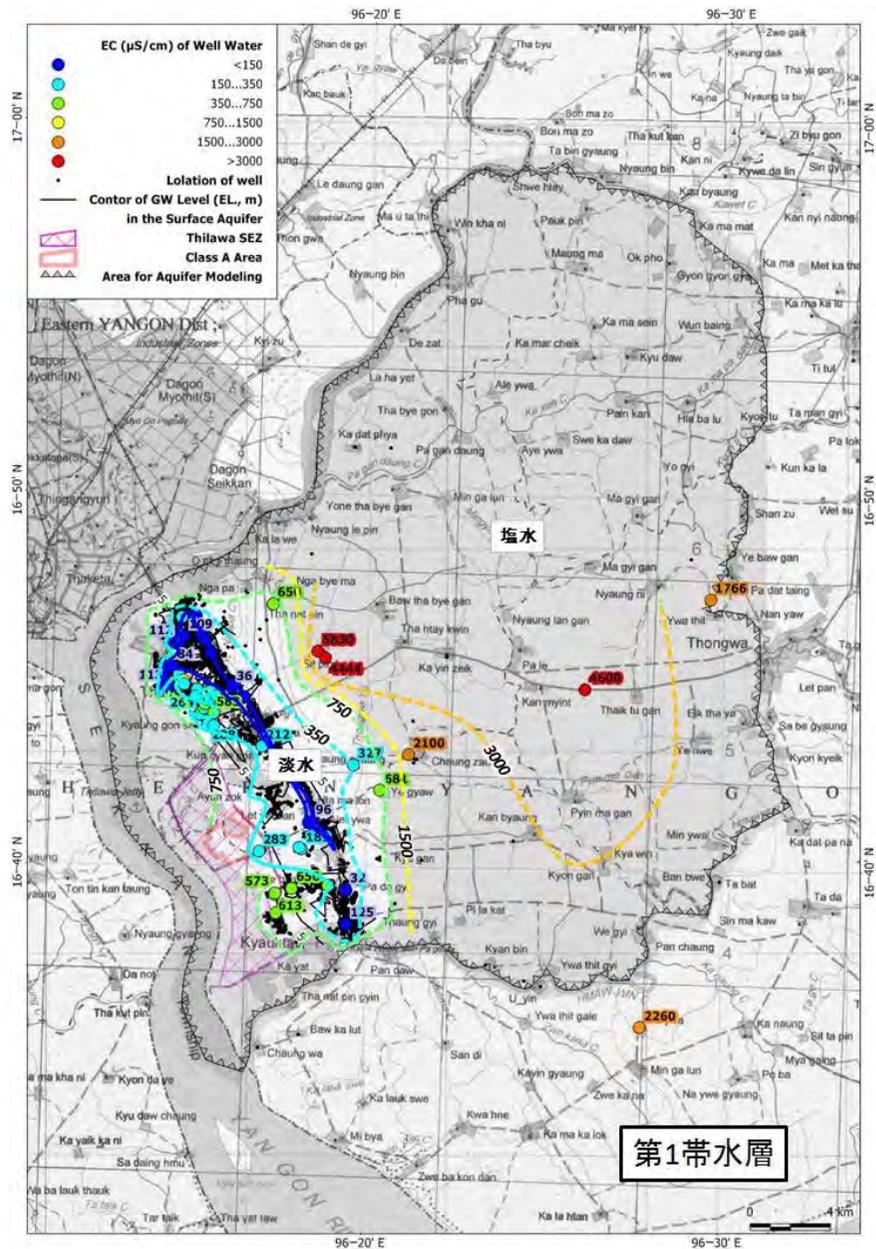
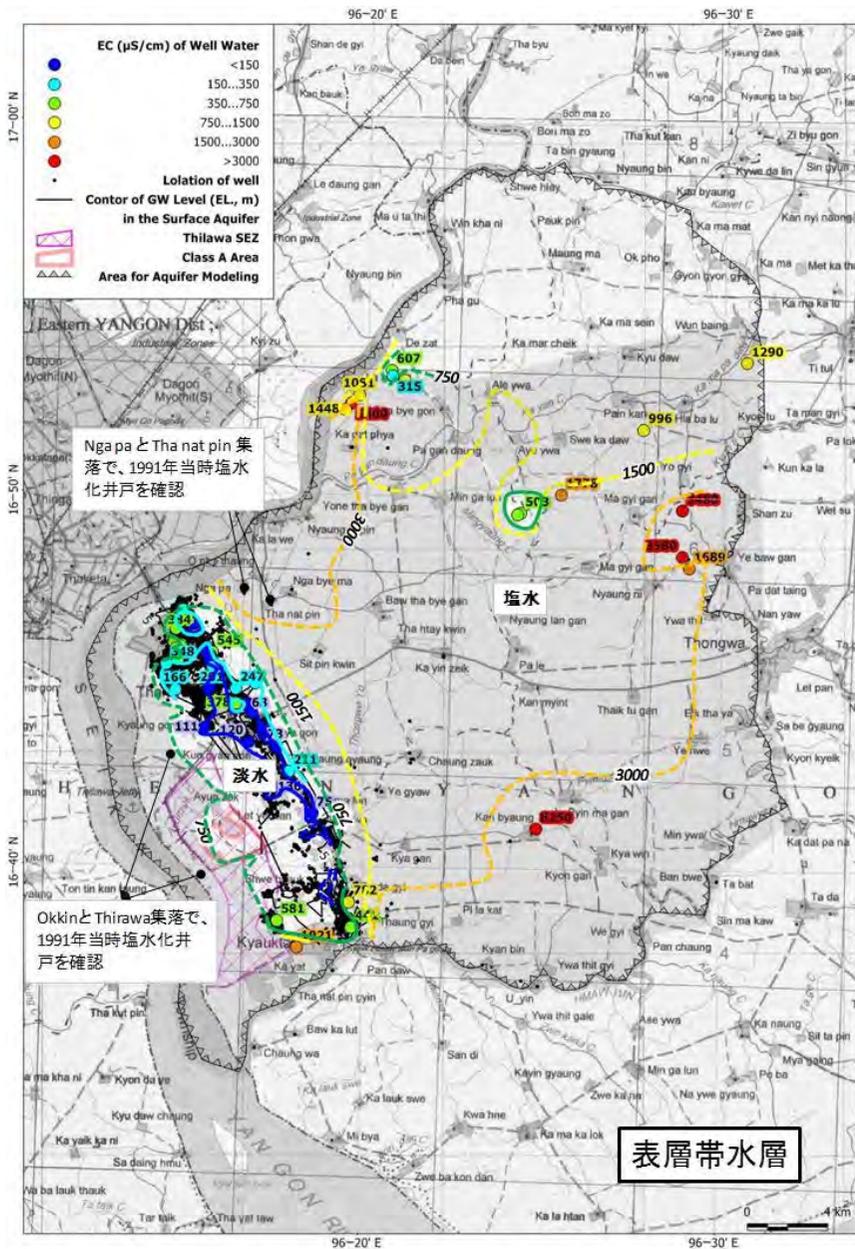
表 3-3-4 試験井における水質試験結果総括表

地形上の位置	丘陵											平野					備考
	裾部				尾根部												
試験井名	D-1-0	D-1-1	D-1-2	D-1-3	D-2-0	D-2-1	D-2-2	D-2-3	D-5-1	D-5-2	D-5-3	D-3-1	D-3-2	D-3-3	D-4-1	D-4-2	
スクリーン深度 (m)	37-48	66-83	110-138	187-283	31-54	67-95	125-148	196-301	46-63	81-98	180-240	60-77	112-149	244-328	66-83	110-144	
対象帯水層番号	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3,4	1	2	4	1	2	
pH < 6.5	-	-	-	-	×	×	-	-	×	×	-	-	-	-	-	-	
pH > 8.5	-	-	-	×	-	-	-	×	-	-	×	-	-	×	-	-	
EC < 150 μ S/cm	-	-	-	-	○	○	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	
EC > 750 μ S/cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	×	-	-	×	×	
Fe ion > 0.3 mg/l	×	×	×	×	-	×	×	×	×	×	×	×	-	×	×	×	
Taste	鉄味	鉄味	わずかに鉄味	少々鉄味	○	○	○	鉄味	鉄味	鉄味	鉄味	塩味	硫黄味	鉄味	塩味、硫黄味	塩味	
Zinc > 3 mg/l	-	-	-	×	-	-	-	×	-	-	×	-	-	×	-	-	
Lead > 0.01 mg/l	-	-	-	-	×	×	-	-	×	×	-	-	-	-	-	-	

注) ○ 良水質の指標 × 不良水質の指標 - 値は指定範囲外

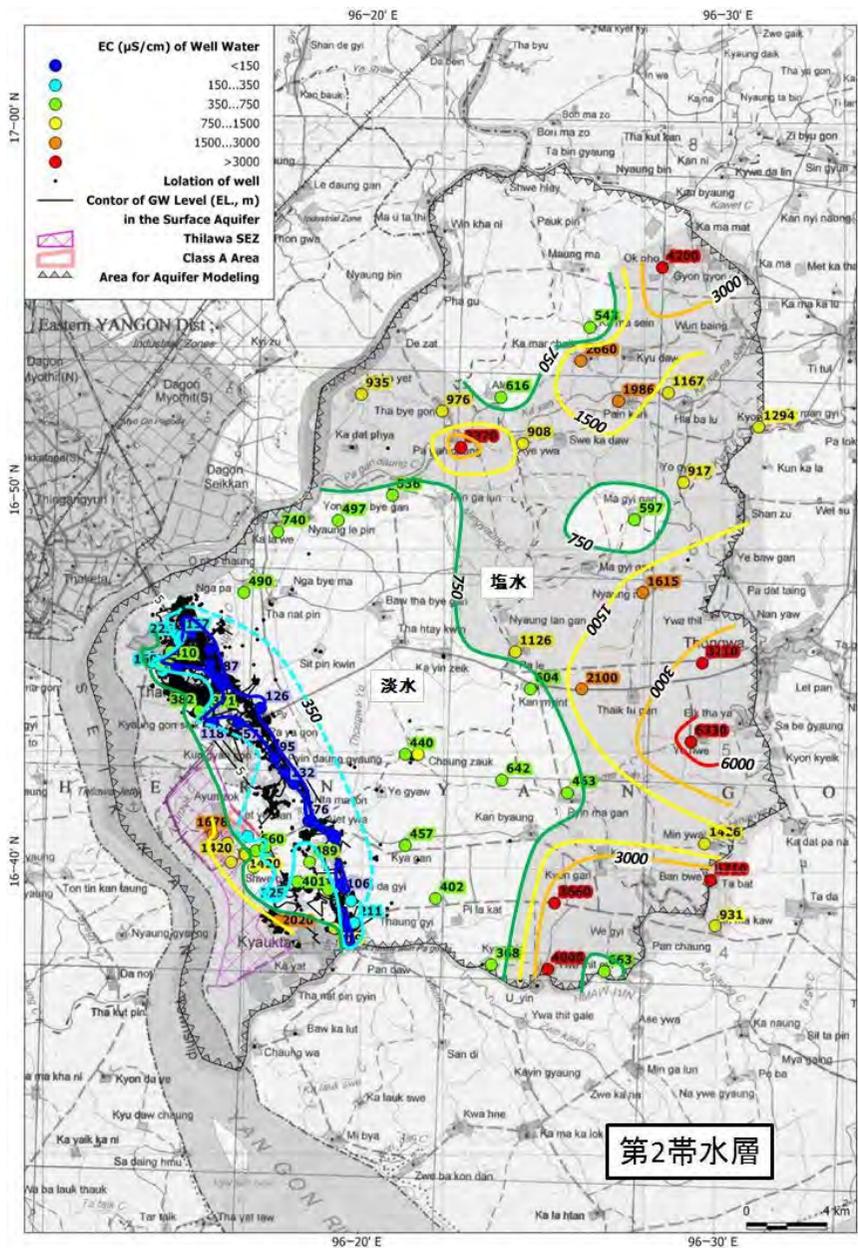
出典: JICA調査団

図 3-3-10 及び図 3-3-11 は、既存井戸と試験井の電気伝導度測定結果から推定された帯水層毎の塩水分布状況を示す。ここで塩水は、EC>750 μ S/cm (Cl⁻イオン 250 mg/l 以上に相当) としている。塩水は、平野地域とティラワ SEZ 沿い西方低地の広い地域に分布する。淡水は、丘陵とその近辺に分布する。平野地域では、第2被圧帯水層で最も淡水域が広いと推定される。



出典：JICA 調査団

図 3-3-10 帯水層毎の推定塩水分布 (1)



出典：JICA 調査団

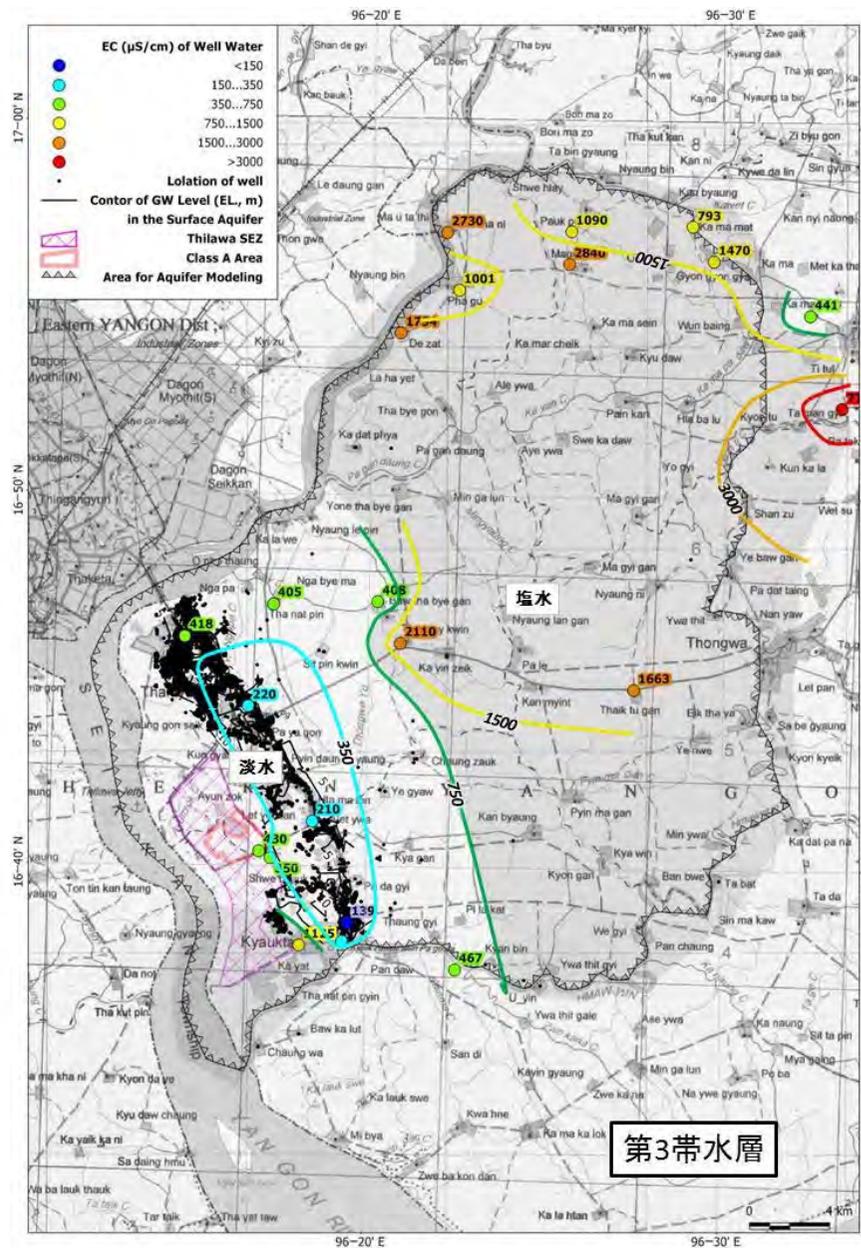


図 3-3-11 帯水層毎の推定塩水分布 (2)

ティラワ SEZ の中央域においては、図 3-3-12 に示すように、西側 2/3 の地域に塩水が分布していることが確認された。

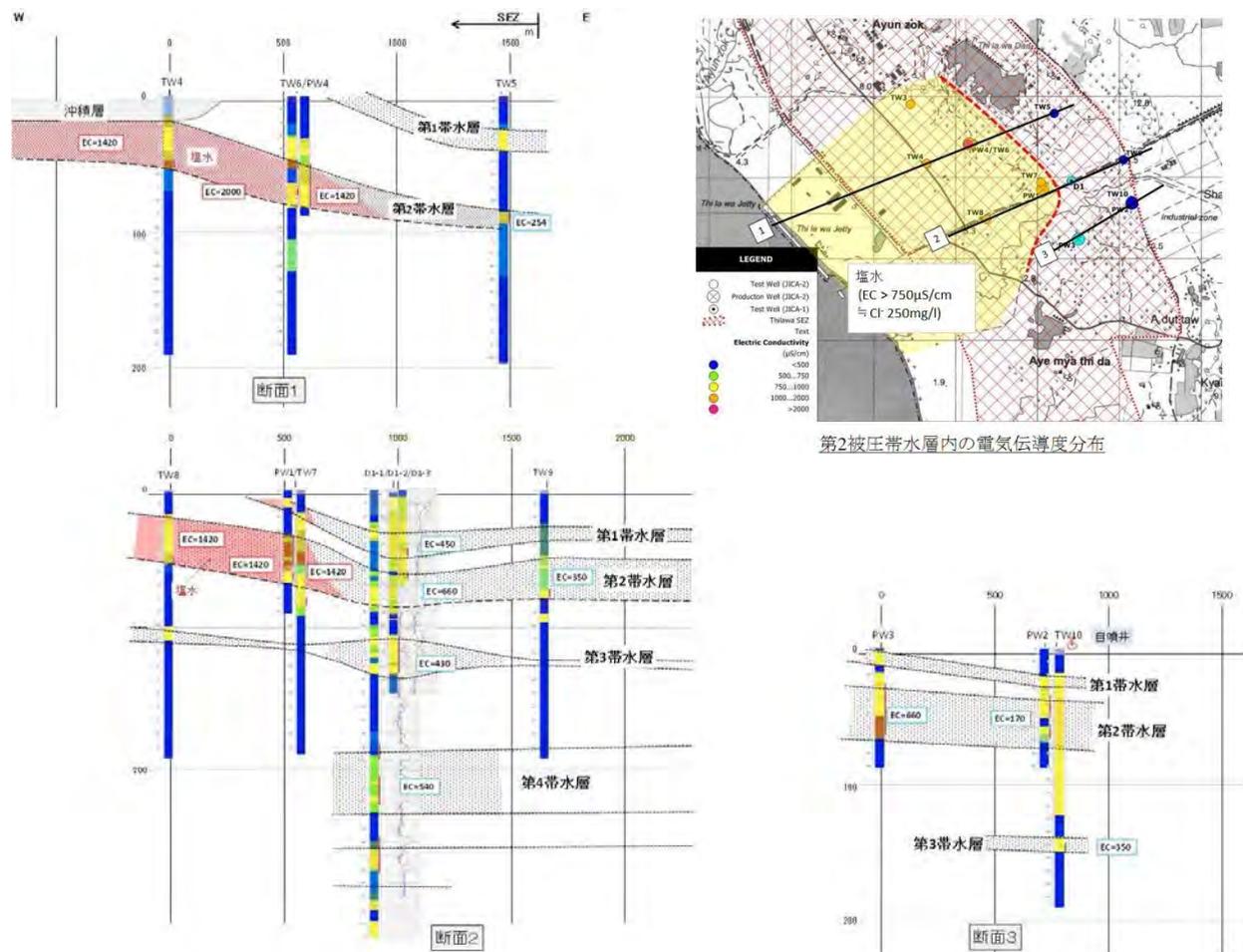


図 3-3-12 ティラワ SEZ 中央域の帯水層断面と塩水分布

3-3-6 地下水頭と地下水流動

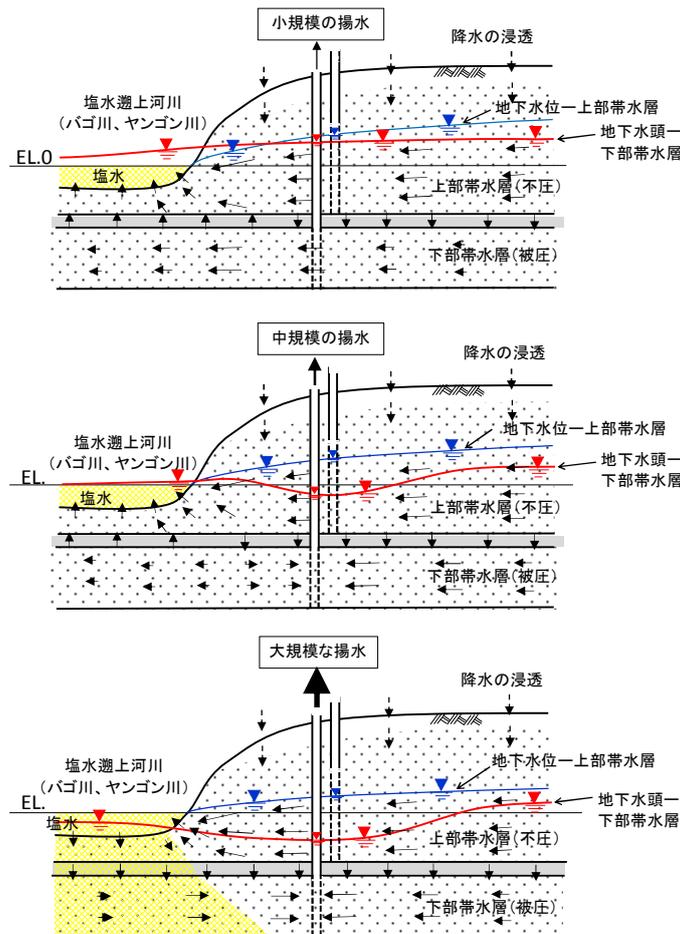
図 3-3-14 に掘井戸内の水面深度及びこれに地盤高を考慮して作成した地下水位等高線を示す。この等高線図から、表層不圧帯水層の地下水が丘陵中央部から両側に流下していることが推定される。

図 3-3-15 及び図 3-3-16 に、16 箇所を試験井の地下水位及び水頭の変動状況を示す。D-2、D-5 及び D-4 地点では、深い位置にある帯水層ほど低い水頭を示している。これらの地点は、丘陵尾根部または平野内の高まった地域に位置している。対照的に、D-1 および D-3 地点では、深い位置にある帯水層ほど高い水頭を示している。これらの位置は丘陵の裾部または平野のクリークの近くに位置している。この状況は、図 3-3-2 (前掲) に模式的に示すように、前者が地下水の涵養域、後者が地下水の流出域にあることを暗示している。

D-5 地点では、D-5-2 観測井 (第 2 被圧帯水層) と D-5-3 (第 3 被圧帯水層) の水頭が、1 年を

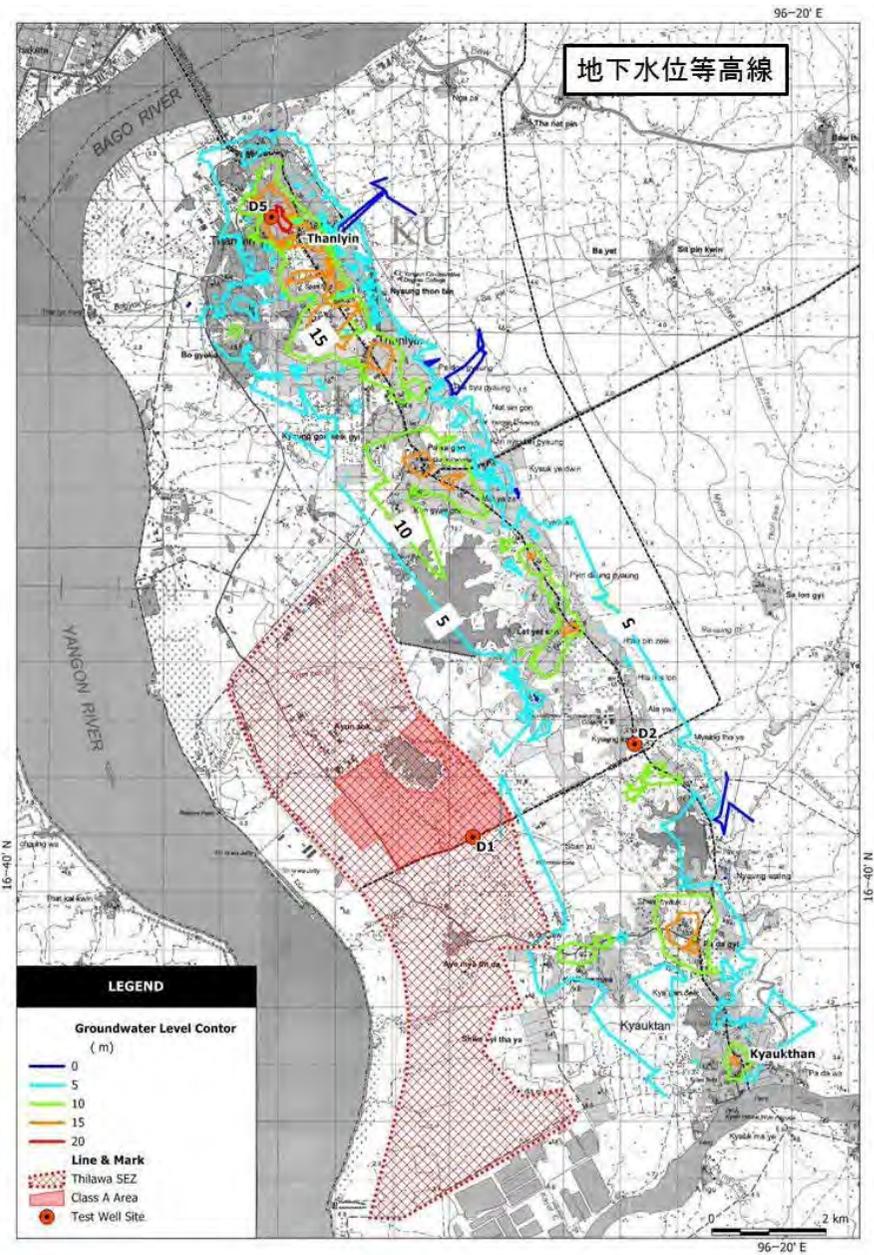
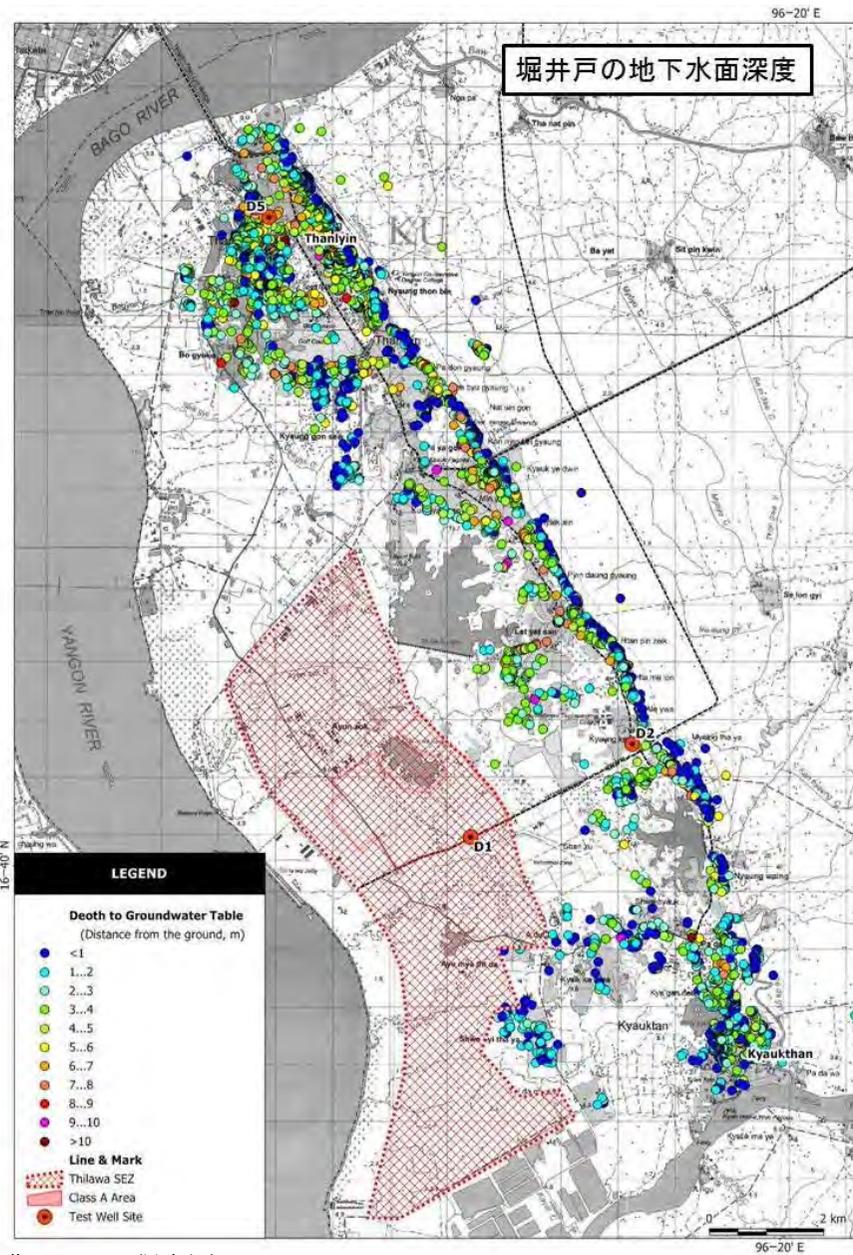
通じてほとんど標高 0m 以下にある。D-5 のあるタンリン地区は、塩水が遡上するバゴ川とヤンゴン川に近接する。一般にこのような水理状況においては、図 3-3-13 に示すように、帯水層への塩水侵入が懸念される。水頭が EL. 0 m を下回っていても、マイナス値が小さい場合は、河川との間に EL. 0m 以上の区域が残り、塩水侵入が生じない可能性があるが（同図の中図）、当地では大きなマイナス値であり、塩水侵入が生じる可能性が非常に高い（同下図）。したがって、第 2 及び第 3 帯水層は塩水侵入に関して「過剰揚水」の状況にあると考えられる。なお、第 1 帯水層が EL. 0 m を通年で上回っていることから、全体としては降水からの涵養量を越えるほどの揚水はしてないと推定される。ただし、図 3-3-15 からわかるように、第 1 帯水層と第 2 帯水層とともに、降水からの涵養のない乾期において直線的な水位低下曲線を示している。帯水層の水位（水頭）は、自然状態では一般に、D-2-0 や D-2-1 のように指数関数的に低減する。このような直線的な低減は地下水流出による自然に近いものではなく、貯留された地下水を強度の高い揚水で消費していることを暗示している。D-5-2 の水頭には、11 月 20 日を境にして雨期に約 1m、乾期に約 1.4m の、周辺の多数の井戸によると推定される日変動が明瞭に表れている。

D-1 地点では、D-1-1（第 1 被圧帯水層）の水頭変動は、より深い位置にある他の 3 つの被圧帯水層の変動と明らかに異なる。第 1 被圧帯水層は、付近で表層不圧帯水層とつながっている可能性がある。



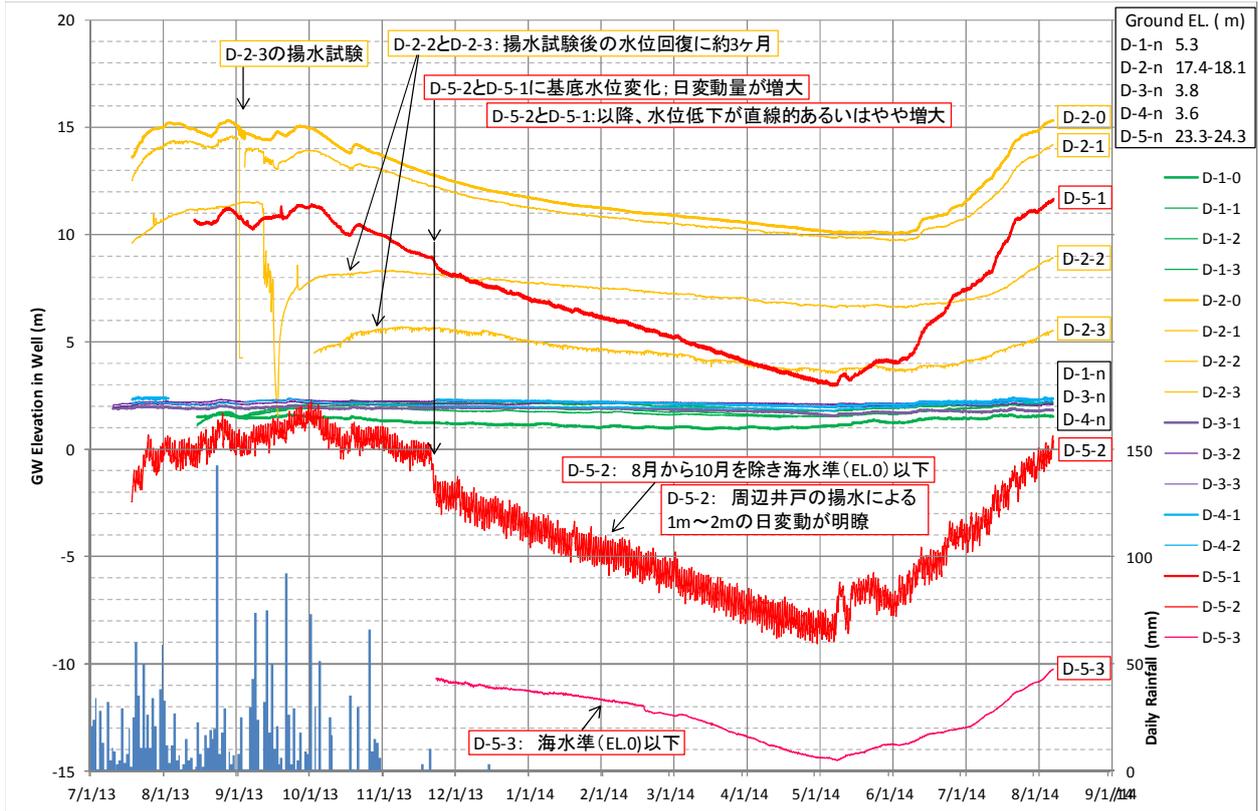
出典：JICA 調査団

図 3-3-13 塩水遡上河川近傍における揚水規模と水位低下の関係の概念図



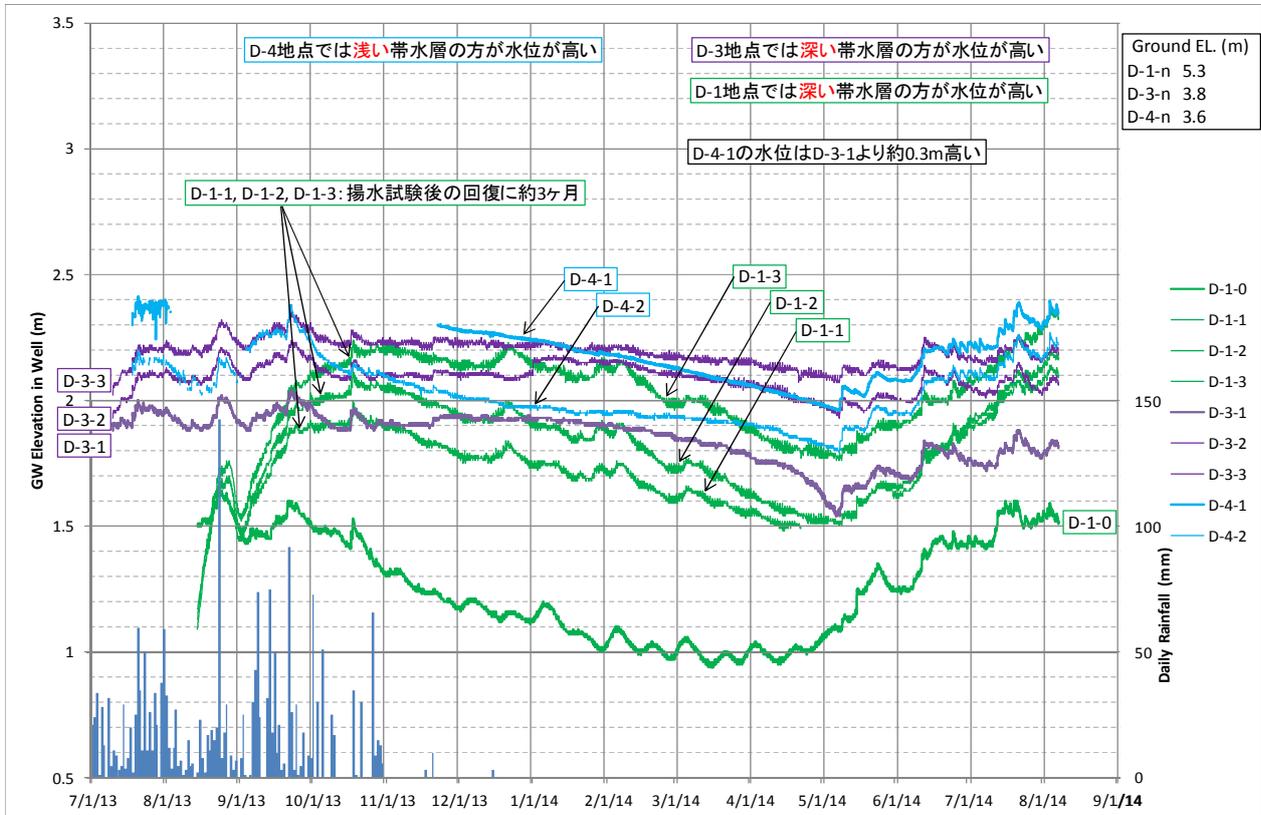
出典：JICA 調査団

図 3-3-14 堀井戸の地下水面深度と表層不圧帯水層の地下水位等高線図(2012年11月)



出典：JICA 調査団

図 3-3-15 全試験井における地下水頭の変動状況



出典：JICA 調査団

図 3-3-16 平野および低地の試験井における地下水頭の変動状況

3-3-7 地下水涵養と利用率

地下水涵養の主体は、ティラワ SEZ 周辺の降水である。図 3-3-15 および図 3-3-16 からわかるように、地下水頭の年間変動量は、丘陵地域 (D-2 及び D-5 地点) で 5m ~ 10m、平野地域 (D-3, D-4 地点) や西側低地 (D-1 地点) で数十 cm である。この水頭変動量は、季節的な地下水の涵養量が、丘陵地域で大きく、平野ないし低地部で小さいことを意味している。

地域の地下水涵養量を推定するため、観測水頭とヤンゴンの雨量データについてタンクモデル解析を実施した。観測された最上位の被圧帯水層の水頭変化が、表層不圧帯水層とほぼ同様とみなして解析を行った。結果の涵養量の値に大きく影響を与える貯留率有効空隙率については、イラワジ層分布域の D5 地点で 4%、ペグ層および第四紀層の分布する他の地点では 3% とした。D5 地点では、既存井戸調査結果から推定される揚水強度 (雨期 1 mm/日、乾期 1.4mm/日) をモデルに与えた。図 3-3-18 に、最終的に固定したモデルによる出力例 (計算水位と観測水位の比較) を示す。計算結果は、ほぼ観測結果を再現している (解析の詳細は、報告書を参照)。

タンクモデル結果によると、年間および平均日地下水涵養量は、図 3-3-17 および表 3-3-5 に示すように推定される。地下水涵養量は、丘陵地域で大きく、平野ないし低地部で小さい。平野部全体の涵養量は大きく算出されるが、実際には、地下浸透した雨水は、ほとんどが密に発達した水路網 (小川、水路、排水溝) に流出してしまうと推定される。加えて、平野地域は塩水を含む厚い第四紀層に覆われるため、たとえ下方の被圧帯水層の揚水により強制的な地下水流動が生じて雨水からの浸透水を利用することができない。このため、丘陵域における地下水涵養のみが、地下水利用の対象になるものと言える。その量は、平均約 47,000m³/日 であり、その約 30% が既に利用されている。過剰揚水が認められる北部丘陵地域では、利用率は約 50% に達する。

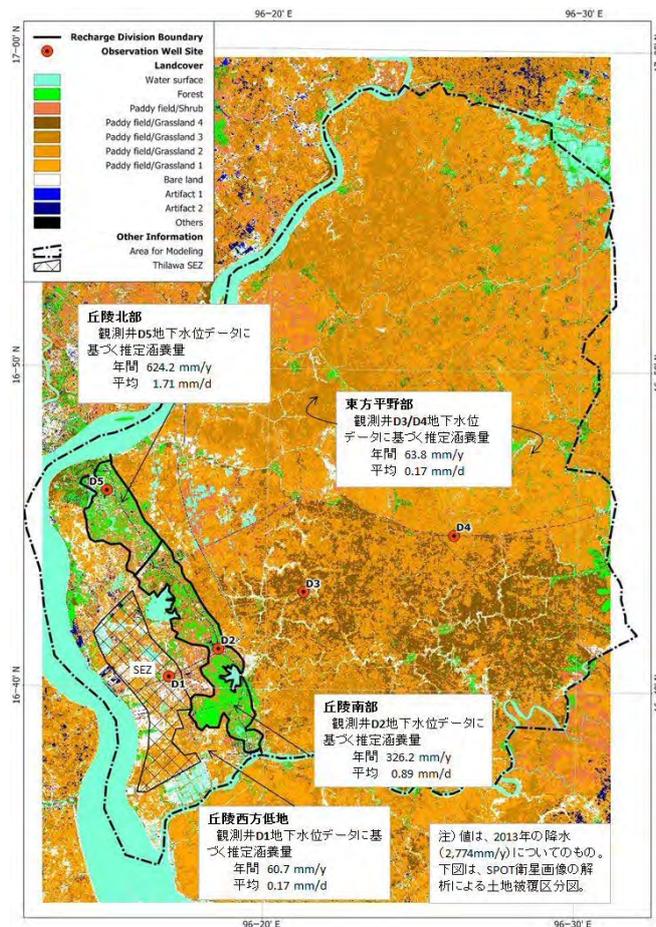


図 3-3-17 推定地下水涵養高と涵養域区分

表 3-3-5 地下水涵養量と利用率

地域	面積 (km ²)	年間降水量 (mm)	年間涵養量 (タンクモデル 解析による) (mm)	平均日涵養量		利用対象の涵養 量 (m ³ /日)	現況地下水 利用量 (m ³ /日)	利用率	
				(mm)	(m ³ /日)				
丘陵北部	14.4	2,780	624.2	1.71	24,625	24,625	11,489	47%	31%
丘陵南部	24.7		326.2	0.89	22,077	22,077	3,005	14%	
西方低地	92.0		60.7	0.17	15,292	大部分は短時間で近 傍の水路へ流出する ため地下水として利 用できない。	942	-	-
東方平野	796.8		63.8	0.17	139,281		1,851	-	-
全域	927.9					46,702	17,287		

出典：JICA 調査団；タンクモデル解析結果による。

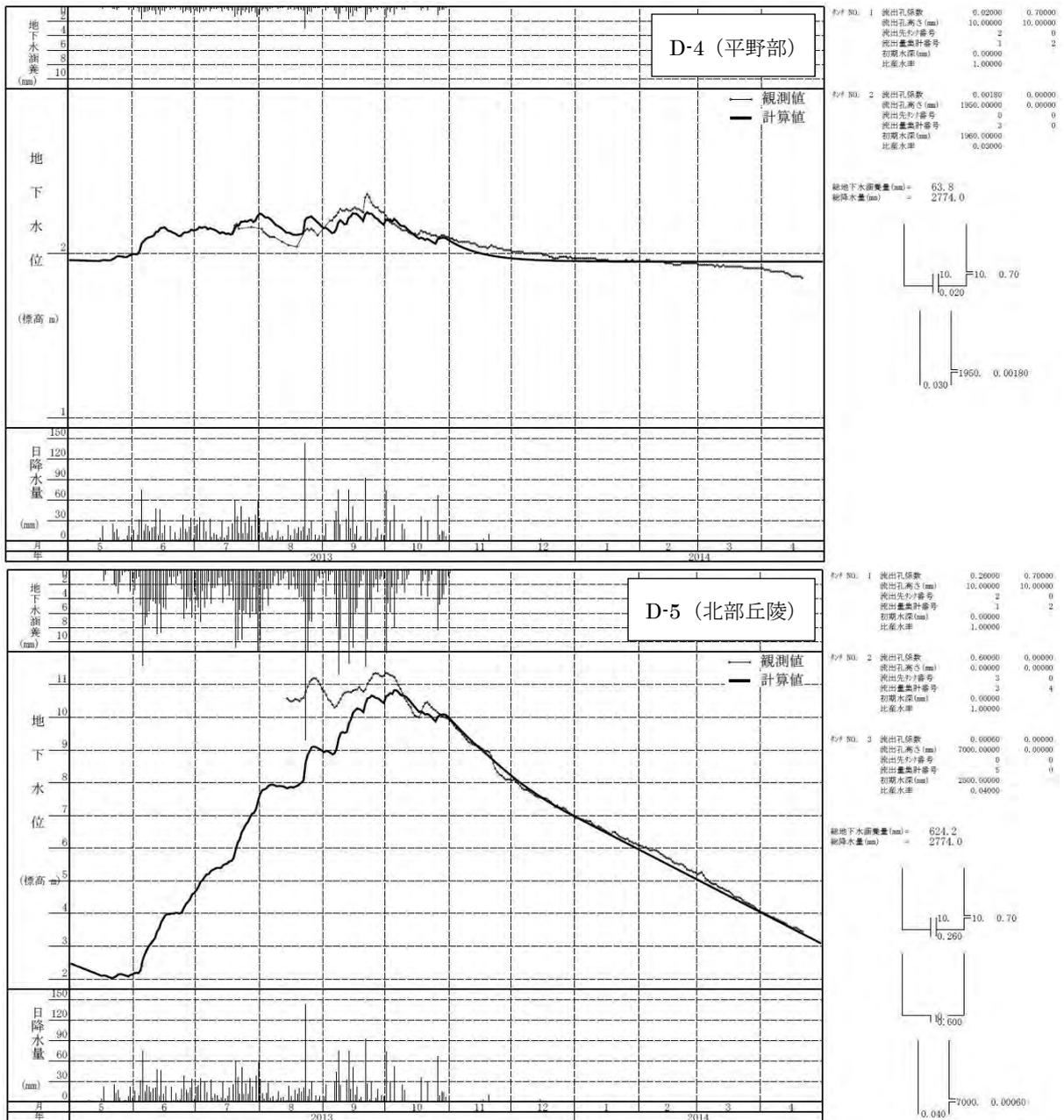


図 3-3-18 タンクモデル計算結果例

3-4 地下水開発可能量の推定

3-4-1 地下水開発可能量に関する主要項目の評価

上述の調査結果から、地下水開発可能量に関する主要項目は、以下のように評価される。

(1) 水収支

有効な地下水涵養は、丘陵域において降雨からもたらされる。その量は、平均約 47,000m³/日と推定され、その約 30%が現在利用されている。北部丘陵（ほぼタンリン市街地）では、約 50%が利用されており、過剰揚水の状態にある。南部丘陵では、利用率は約 14%と推定され、付近で若干の新規開発が可能と考えられる。

(2) 水質

淡水は、主として丘陵地域とその近傍に賦存する。当地の地下水は、一般に鉄イオンを多く含む。また、深部帯水層（第 4 帯水層）は亜鉛を多く含む。飲用その他特定の用途には、これらイオンの除去処理が必要である。

(3) 水理能力

当地の帯水層の水理能力は大きくない。期待される新規井戸の揚水能力は、1 本あたり数百 m³/日（平均的には約 300m³/日）である。

(4) 環境影響

開発においては、次の 3 点に留意しなければならない。

- 1) 既存井戸における地下水利用への影響（地域内には多数の井戸が分布するため）
- 2) 塩水侵入の助長（塩水がすでに平野地域や河川近傍に分布しているため）
- 3) 平野地域における地盤沈下（厚い未固結の粘性土層が平野を覆うため）

3-4-2 調査地域における地下水開発可能量の基本像

推定される開発に有効な地下水涵養量は、平均約 47,000 m³/日と推定され、そのうちのある割合の量が利用可能である。現在すでに 17,000m³/日が利用されていること、および、丘陵北部では約 50%の利用で過剰揚水となっていることを考慮すると、新規に開発できる水量は、数千 m³/日程度であろう。この水量は明らかにティラワ SEZ の中期計画需要量 42,000m³/日を下回る。従って、ティラワ SEZ 向けには、地下水は、短期需要ないしは緊急時のためにのみ利用可能である。

また、地下水は地域の欠くべからざる主要水源であり、かつ、井戸が年々増加していることを考慮すると、SEZ での地下水利用はできるかぎり控えるべきであろう。

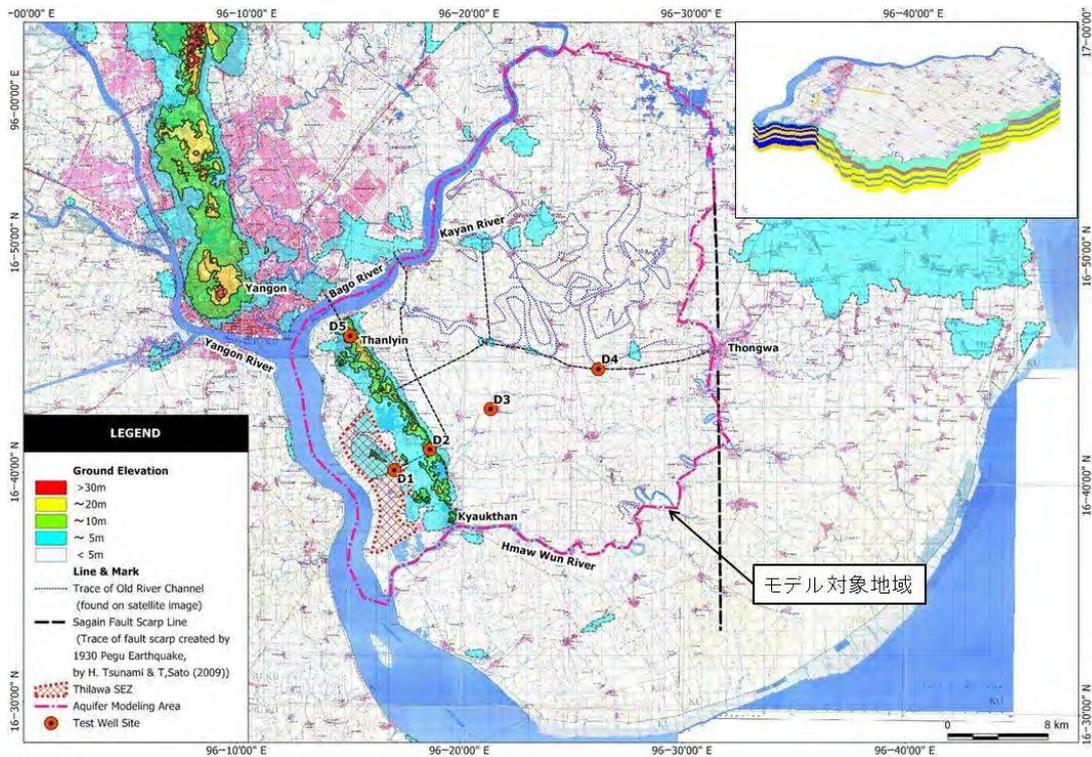
3-5 三次元帯水層概念モデルによるティラワ SEZ 短期地下水開発の環境影響評価

3-5-1 目的

環境影響評価の観点からティラワ SEZ の短期地下水可能量の検討を行うため、帯水層の三次元モデルを用いて取水シミュレーションを実施した。取水候補地は、図 3-5-5 および図 3-5-6 に示す 2 か所である。これらの候補地は、既存井戸の分布が希薄であること、既存塩水からの距離、およびティラワ SEZ への導水の容易さを考慮し選定した。

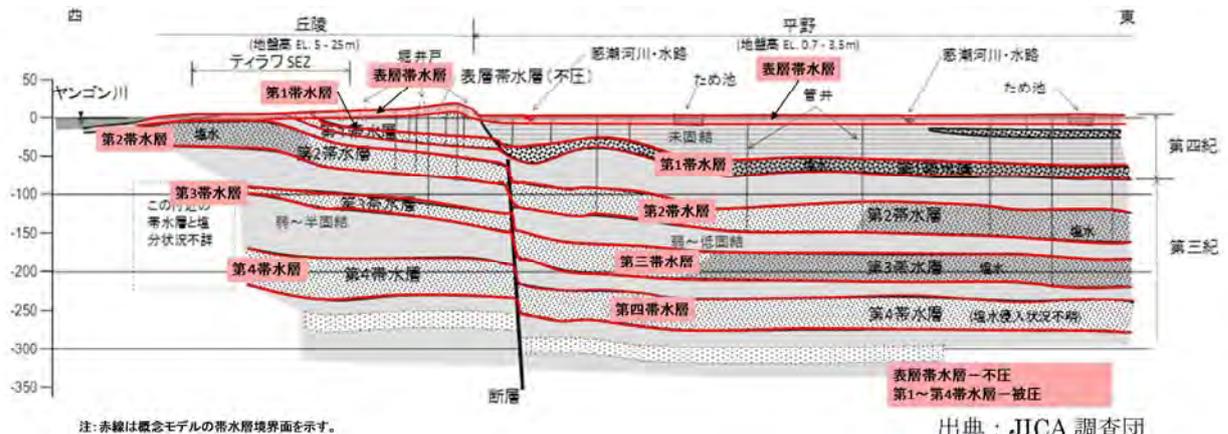
3-5-2 モデルの対象

モデルの対象地域を図 3-5-1 に示す。モデルの対象とする帯水層は、図 3-5-2 に示すように、表層不圧帯水層と 4 つの被圧帯水層である。



出典：JICA 調査団

図 3-5-1 三次元帯水層モデルの対象地域

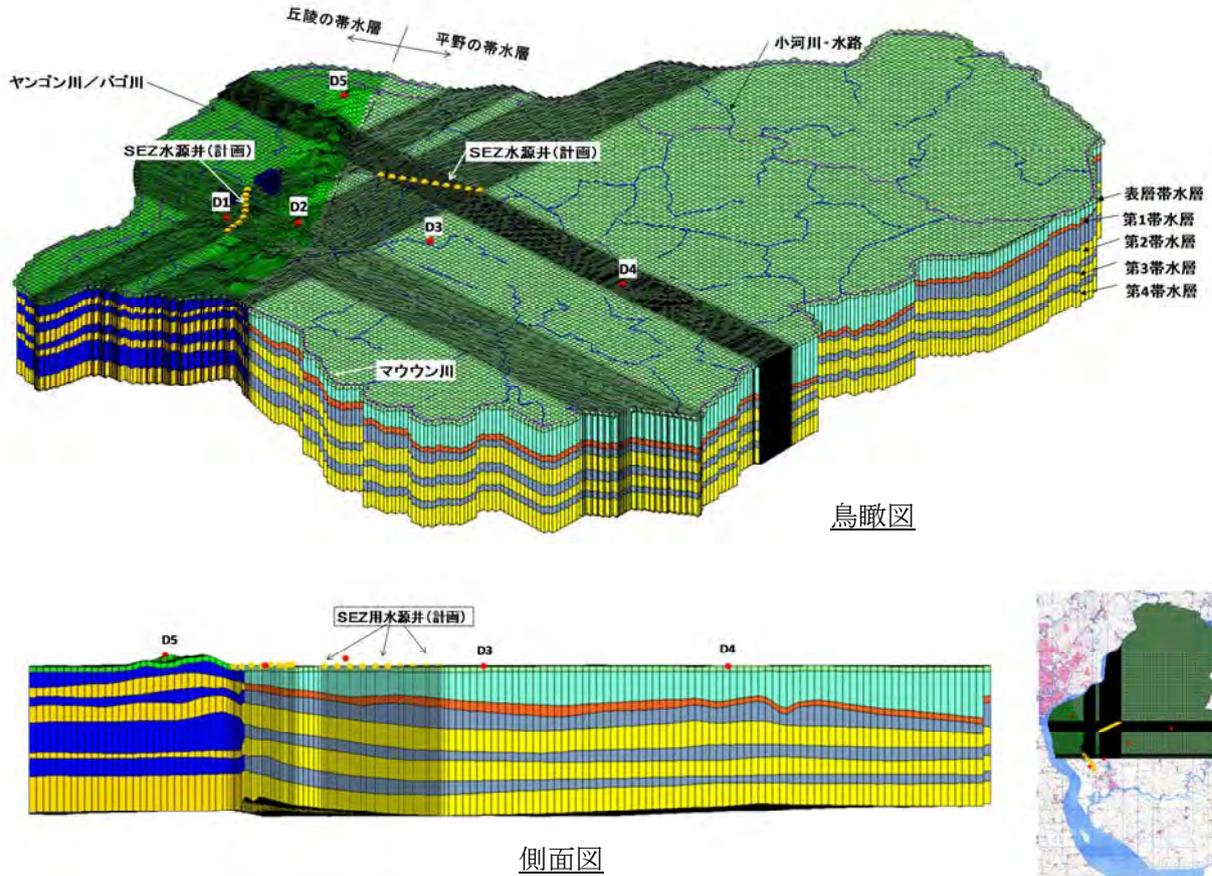


出典：JICA 調査団

図 3-5-2 三次元モデルの対象帯水層

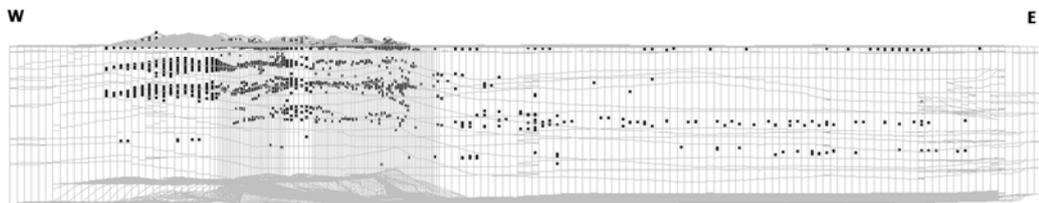
3-5-3 三次元モデル

図 3-5-3 に構築された三次元モデルのメッシュを示す。既存井戸の取水量は、図 3-5-4 に示すようにモデルの相当セルに入力した。



注：縦方向を 20 倍に強調。 出典：JICA 調査団

図 3-5-3 三次元帯水層モデルのメッシュ



注) 1. 黒点は、井戸のより取水がなされている計算セルを示す。
2. 鉛直距離を20倍に強調。

Side View

出典：JICA 調査団

図 3-5-4 井戸揚水量入力セルの分布状況

その他、モデルの境界面コンター、境界条件、最終的に固定したモデルの水理パラメーター等のモデルの詳細、および、モデルの検定の詳細については、報告書を参照されたい。

モデルの適合度について

図 3-5-5 および図 3-5-6 は、モデル検定の出力例を示す。モデル出力は、観測水頭のおおよその分布や値および変動を再現できたが、細かなところまでは再現できていない。S E Zのある D1 地点では、計算値の方が約 1m 高い値を出力している。また、平野の観測孔では、深部帯水層の降水に対する早い応答が、通常の水理定数範囲では再現できなかった（恐らく、現実の変動には、弾性変形的な機構が関係している）。全体として、モデルの適合度は、“良くも悪くもない”、程度である。今回のモデル構築には多大な労力を要したが、限られた、また、偏った量と質のデータから作成されたものであり、出来上がったモデルは、当地帯水層の第一近似のものと考えべきである。したがって、その予測出力については、現実と多少とも差異があることを覚悟しなければならない。

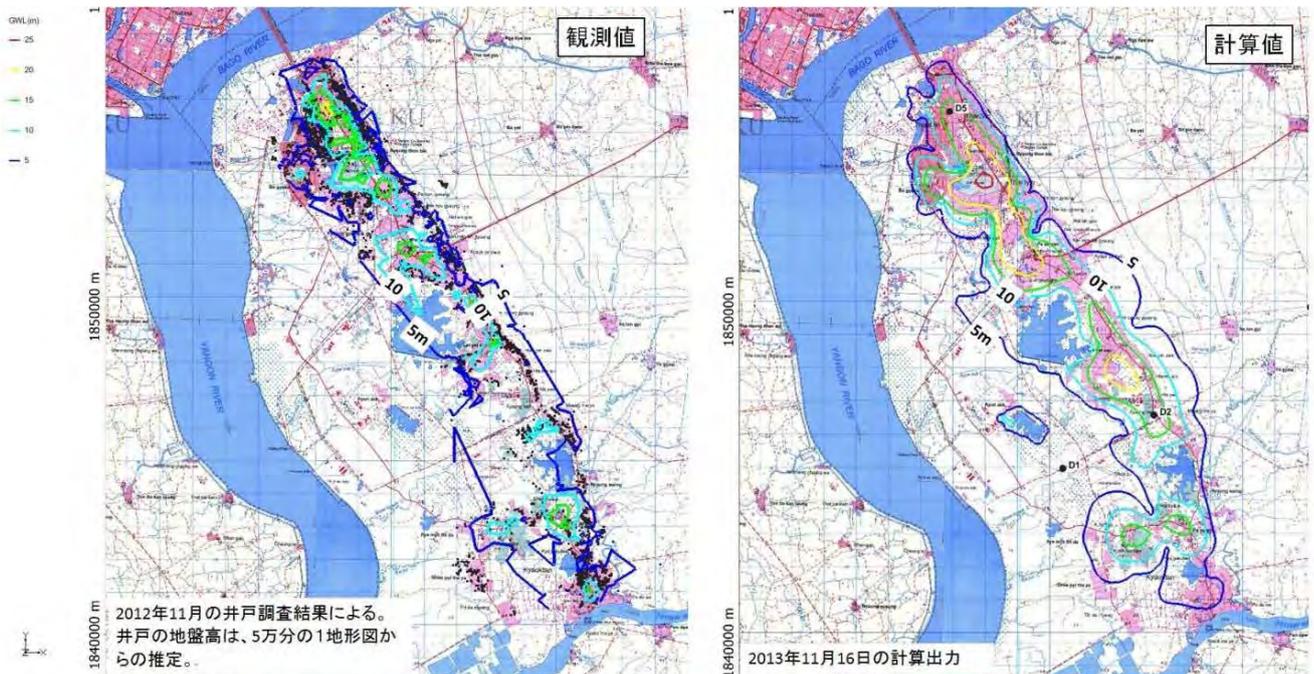


図 3-5-5 表層不圧帯水層地下水位分布の計算出力と観測値の比較

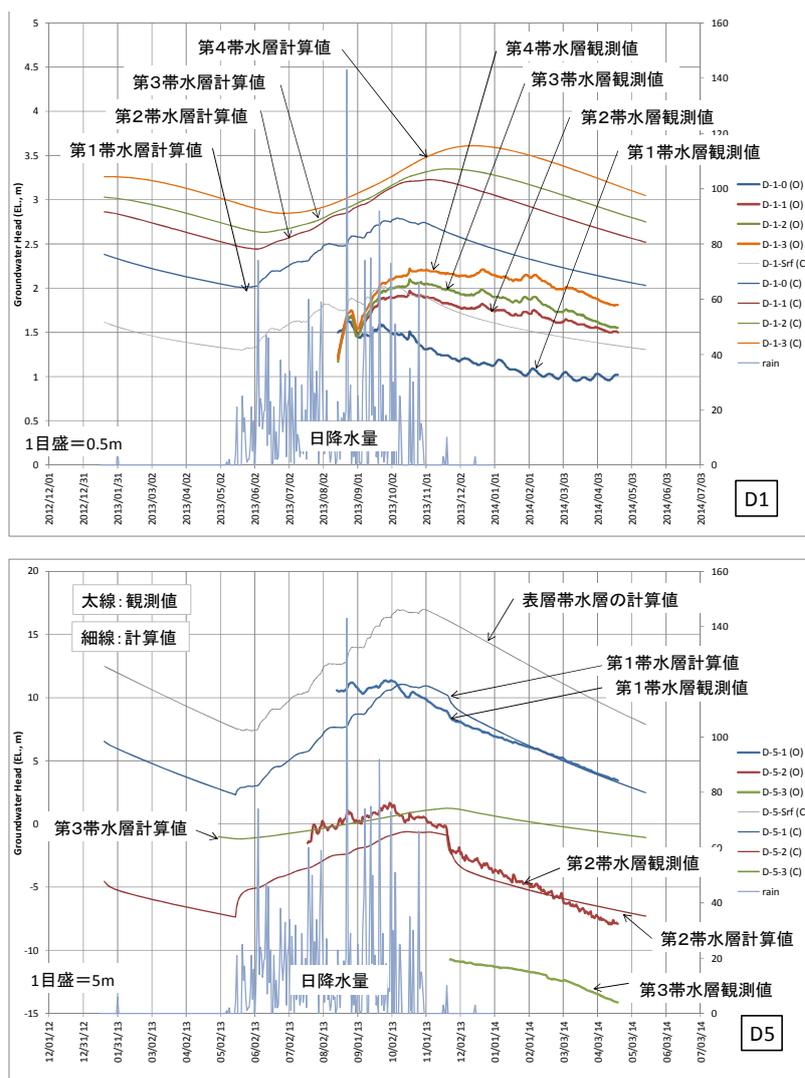


図 3-5-6 観測地点における地下水頭変動の計算出力と観測値の比較

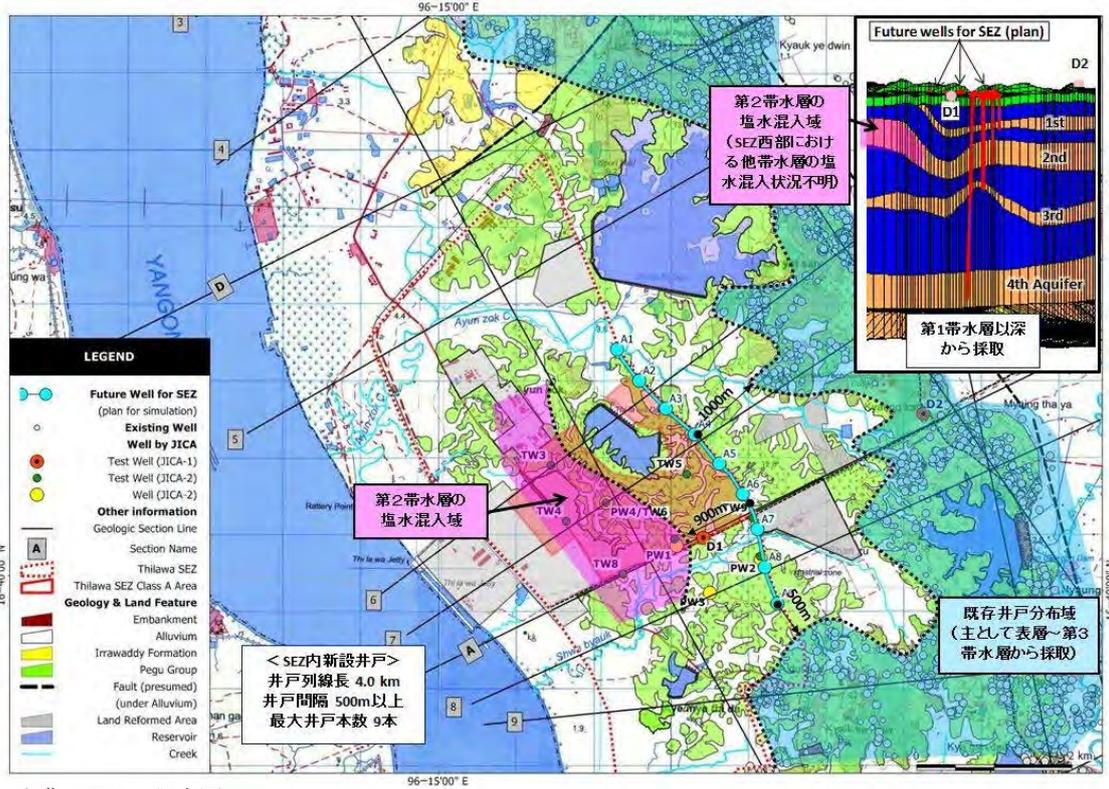
3-5-4 地下水開発案

(1) SEZ 内における開発

図 3-5-7 に SEZ 内で地下水取水を仮定した井戸の位置を示す。500m 間隔の 9 本の井戸からなる井戸列を、SEZ の東側境界沿いに設定した。この位置は、塩水フロントと井戸分布域の西限とのほぼ中間に位置する。取水は、4 つの被圧帯水層を対象とした。

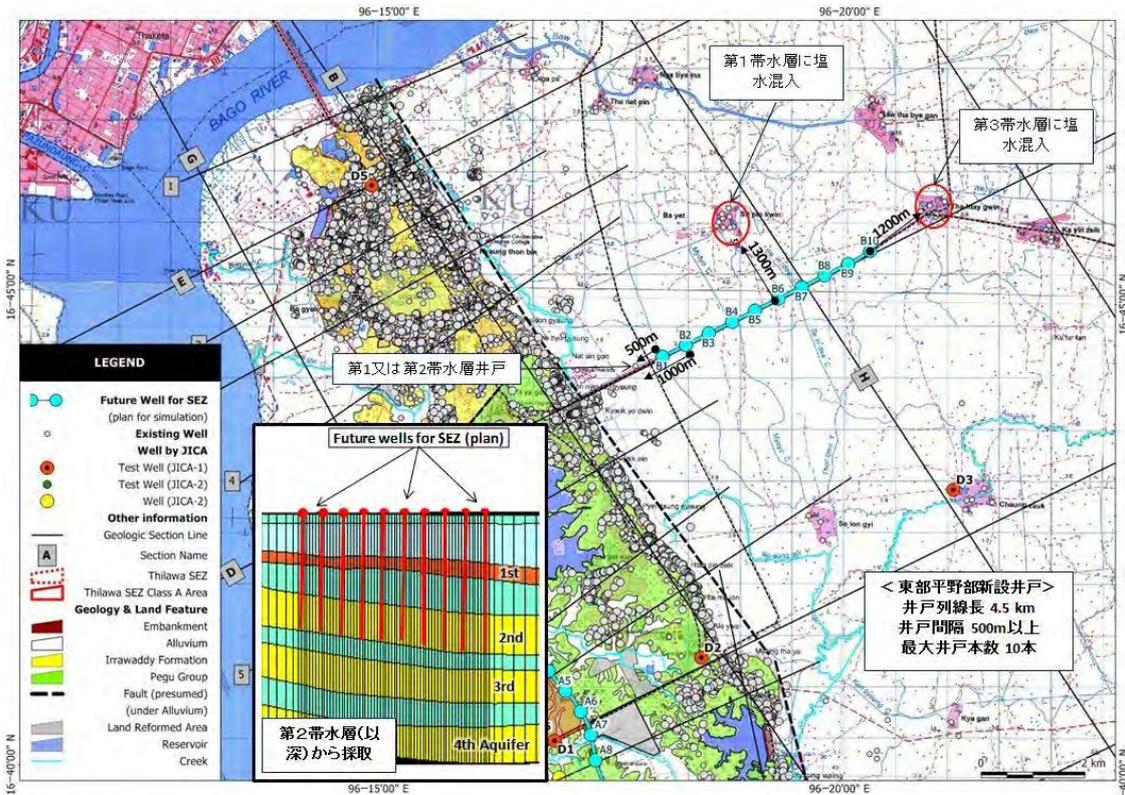
(2) 東方平野における開発

図 3-5-8 に東方平野で地下水取水を仮定した井戸の位置を示す。500m 間隔の 10 本の井戸からなる井戸列を主要道路沿いに設定した。この道路は SEZ への導水路設置が容易であり、また井戸列付近には既存井戸が分布しない。帯水層の中で最も淡水域が広いと推定される第 2 帯水層を取水対象とした。



出典：JICA 調査団

図 3-5-7 SEZ 内における地下水取水計画平面図



出典：JICA 調査団

図 3-5-8 東方平野における地下水取水計画平面図

(3) 検討ケース

表 3-5-1 に三次元モデルによる検討ケースを示す。対象帯水層から、1,000、1,666 及び 3,000m³/日を 1 年間ないしは半年（乾期）取水するケースを主とする。

なお、このほか、クラス A ゾーン（優先開発区域）内の 2 箇所ないしは 3 箇所で 2 つの帯水層から総量 1,200m³/日を揚水する表 3-5-2 に示す詳細検討も実施した（取水地点の詳細位置は、報告書を参照）。

表 3-5-1 検討ケース(基本検討)

取水地区	取水対象層	総取水量 (m ³ /日)	期間	稼動井戸 本数	取水点	1井戸当り取水量 (m ³ /日)	塩水フロント の移動予測
SEZ内	第1被圧帯水層	1,000	通年	3	A1, A5, A9	333	*1
		1,666	乾期(半年)	5	A1,A3,A5,A7,A9		*1
		1,666	通年				*1
		3,000	乾期(半年)	9	A1~A9		*1
		3,000	通年				○
	第2被圧帯水層	1,000	通年	3	A1, A5, A9		○
		1,666	乾期(半年)	5	A1,A3,A5,A7,A9		*2
		1,666	通年				*2
		3,000	乾期(半年)	9	A1~A9		*2
		3,000	通年				*2
	第3被圧帯水層	1,000	通年	3	A1, A5, A9		*3
		1,666	通年	5	A1,A3,A5,A7,A9		*3
		3,000	通年	9	A1~A9		*3
	第4被圧帯水層	1,000	通年	3	A1, A5, A9		*3
		1,666	通年	5	A1,A3,A5,A7,A9		*3
		3,000	通年	9	A1~A9		*3
第2、第3、第4 帯水層	3000 (各層1,000)	通年	9 (各層3)	A1~A9	*4		
東方平野	第2被圧帯水層	1,000	通年	3	B2, B6, B10	*5	
		1,666	通年	5	B2,B4,B8,B10	*5	
		3,000	通年	9	B2~B10	○	

注) *1 移動速度は、3,000m³/日の移動予測結果から類推可能。
 *2 移動送速度は、1,000m³/日の移動予測結果から類推可能。
 *3 塩水侵入は確認されていない。
 *4 他の環境影響が大きく、明らかに許容できないケースなため予測の必要なし。
 *5 移送速度は、3,000m³/日の移動予測結果から類推可能。

表 3-5-2 検討ケース(詳細検討)

取水地点	取水対象層		稼動井戸 本数	1井戸当り取水量 (m ³ /日)	総取水量 (m ³ /日)	塩水フロント の移動予測
	上層	下層				
FW1, FW2	第1被圧帯水層	第2被圧帯水層	4 (各帯水層 2)	300	1,200	○
		第3被圧帯水層				*1
		第4被圧帯水層				*1
	第2被圧帯水層	第3被圧帯水層				○
		第4被圧帯水層				*1
第3被圧帯水層	第4被圧帯水層	*2				
FW1, FW2, FW3	第1被圧帯水層	第2被圧帯水層	6 (各帯水層 3)	200	1,200	*3
		第3被圧帯水層				*3
		第4被圧帯水層				*3
	第2被圧帯水層	第3被圧帯水層				*3
		第4被圧帯水層				*3
第3被圧帯水層	第4被圧帯水層	*3				

注) *1 移動速度は、上のケースの移動予測結果から類推可能。
 *2 両層に塩水侵入は確認されていない。
 *3 移動送速度は、2地点取水の場合より小さく、その結果から類推可能。

3-5-5 環境影響の評価基準

地下水環境影響を評価するため、モデル出力を図 3-5-9 に示す基準を用いて評価した。

一般的に開発によって塩水侵入を助長すべきでない。しかし、ティラワ SEZ 開発の重要性および SEZ での地下水利用の期間および水量が限定的であることを考慮し、帯水層や既存井戸の地下水利用に有意な被害を与えない範囲において、塩水侵入の誘引を許容するものとした。

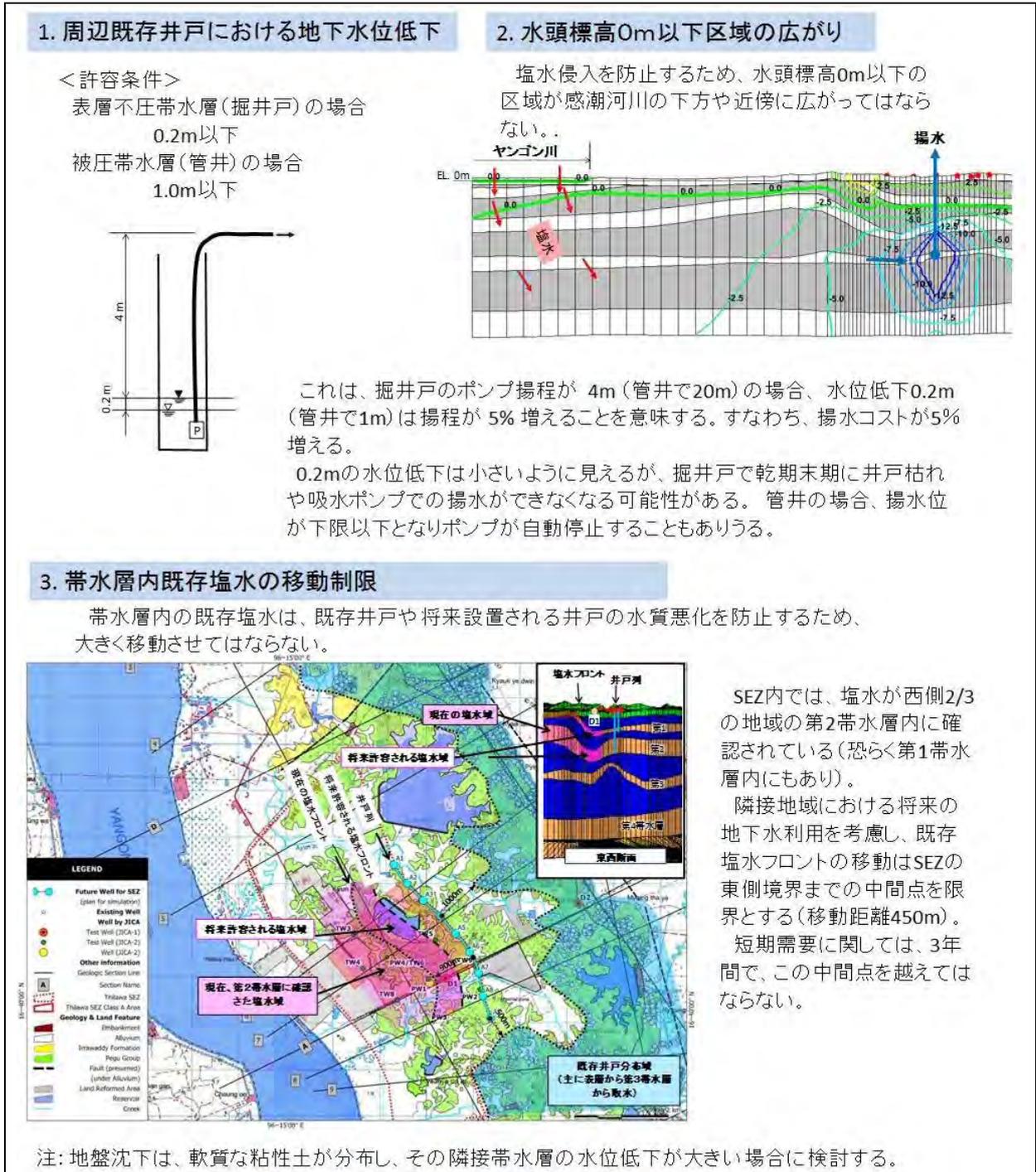


図 3-5-9 地下水環境影響の評価基準

なお、図 3-5-10 に 2014 年の乾期末期（4 月末）に丘陵全域で実施した掘井戸の地下水位調査結果を示す。井戸内の水深は、49 井中、55%の 27 井で 1m 以下、29%の 14 井で 0.5m 以下であり、乾期末期には水深に余裕のない井戸が多い。今回許容基準として設定した 0.2m の水位低下は、多くの井戸に井戸枯れや吸水ポンプの揚水障害を与えない妥当な値と考えられる。

また、図 3-3-15 に示したように揚水強度の高いタンリン地区の観測井（D-5-2）には、周辺の多数の井戸の影響を受けて、雨期で約 1m、乾期で約 1.3m の日変動が生じている。このように、既存井戸の揚水に伴い 1m 程度の恒常的影響が現実に現れている状態で地下水利用がなされていることから、管井に設定した 1m の許容基準も無理のない値と考えられる。

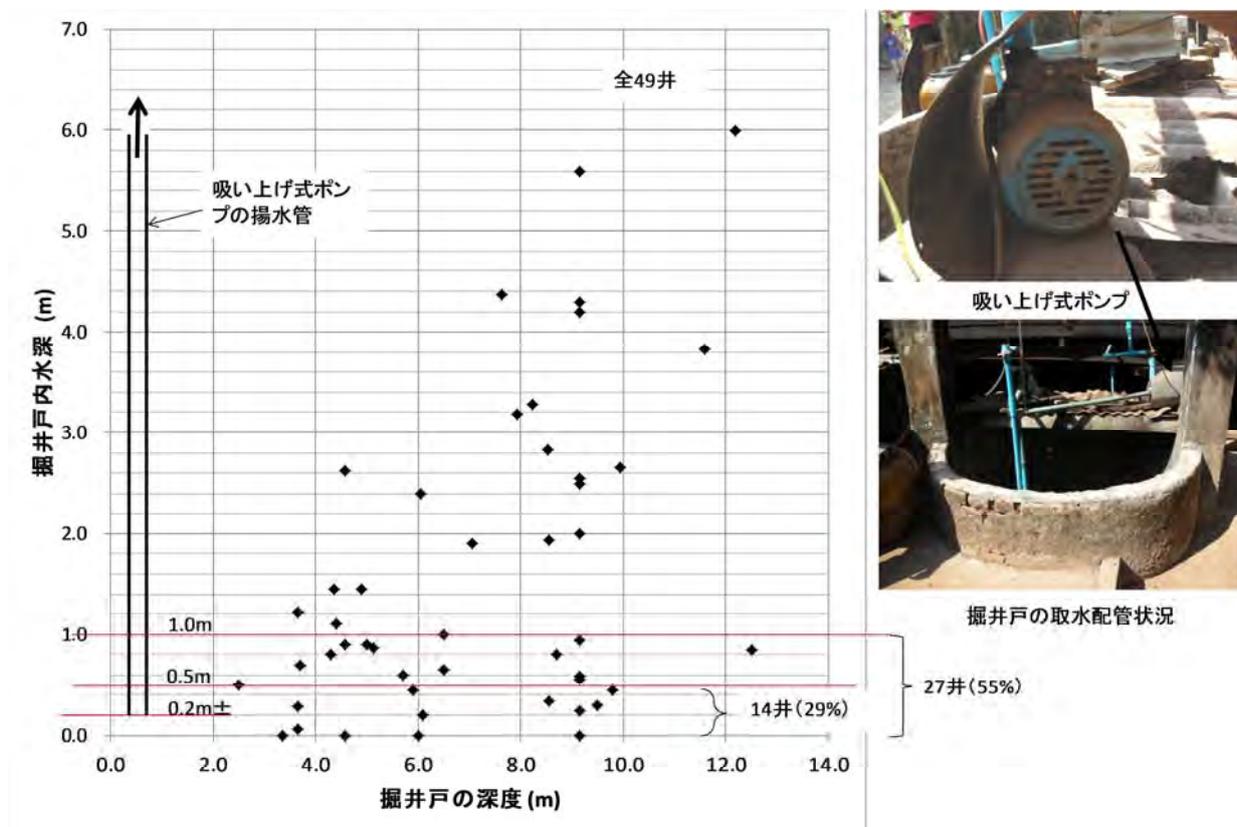


図 3-5-10 2014 年乾期末期の掘井戸の井内水深

3-5-6 予測された環境影響と地下水開発可能量

(1) モデル出力例

図 3-5-11 および図 3-5-12 に水位低下と地下水頭の等値線のモデル出力例を示す。また、図 3-5-13 に塩水フロントの移動速度に係る地下水流動場での粒子追跡計算結果の一例を示す。

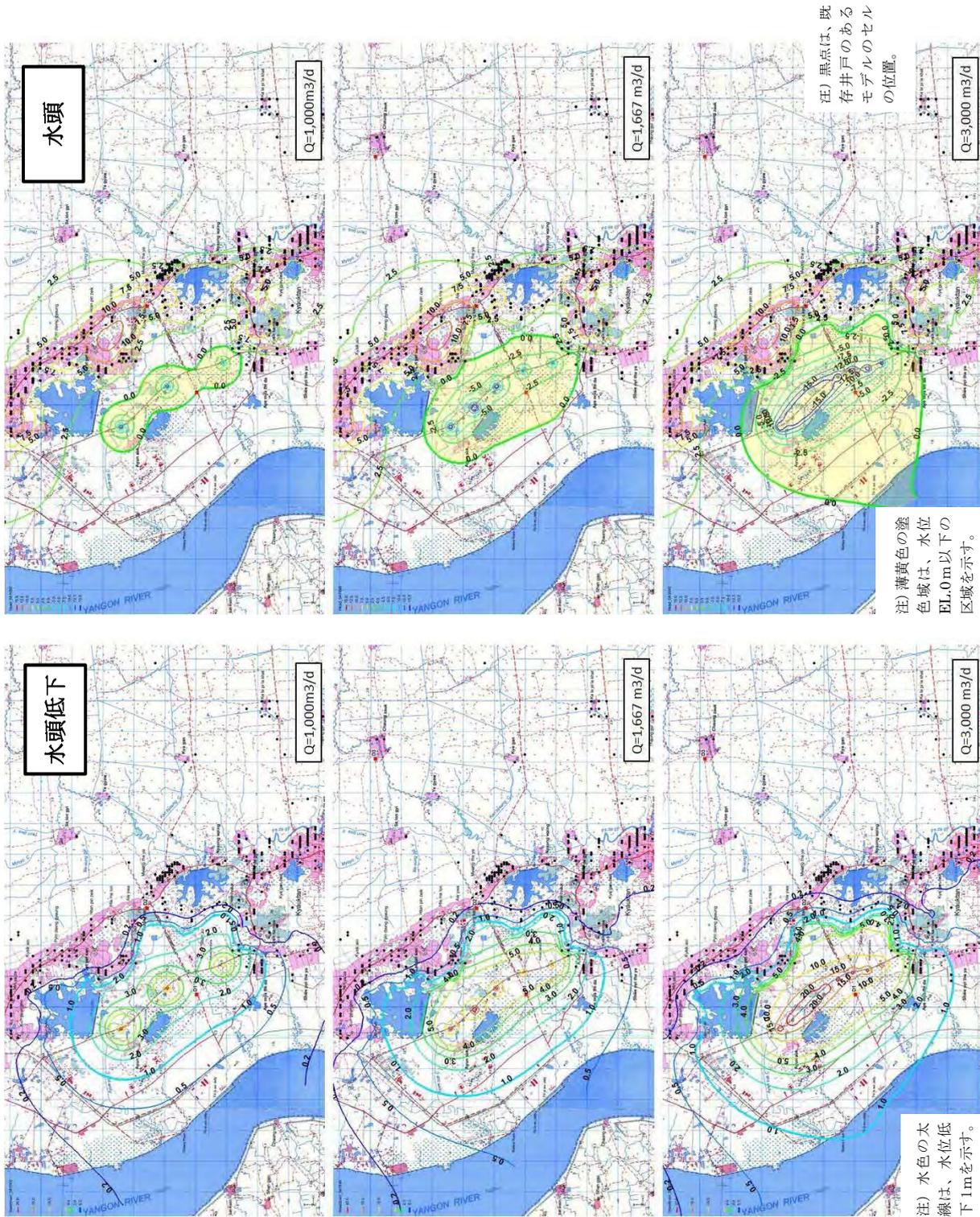


図 3-5-11 SEZ 内取水のモデル出力例—水頭低下および水頭の等高線(第 2 帯水層から取水; 第 2 帯水の状態)

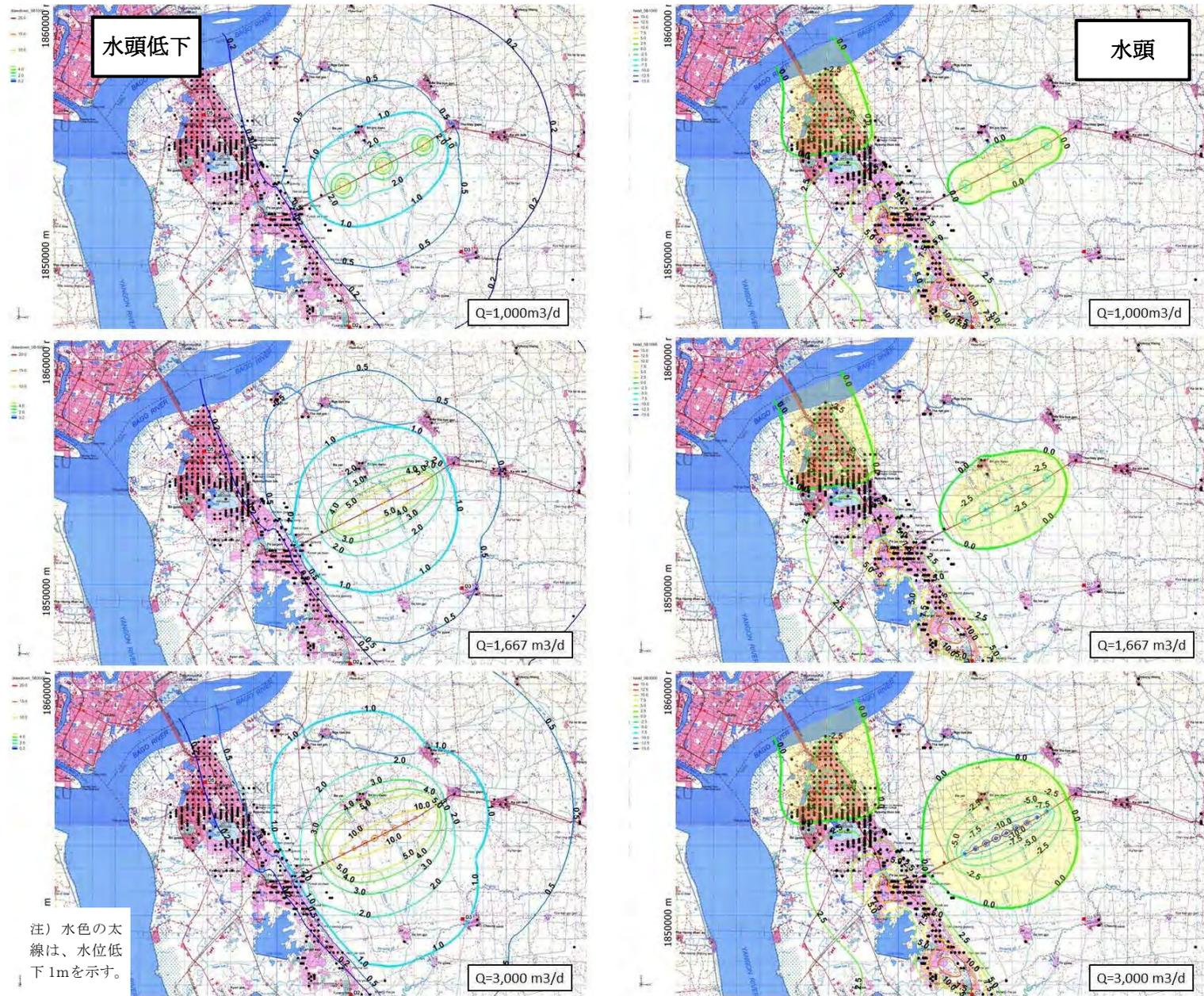


図 3-5-12 東方平野取水のモデル出力例—水頭低下および水頭の等高線(第2帯水層から取水;第2帯水の状況)

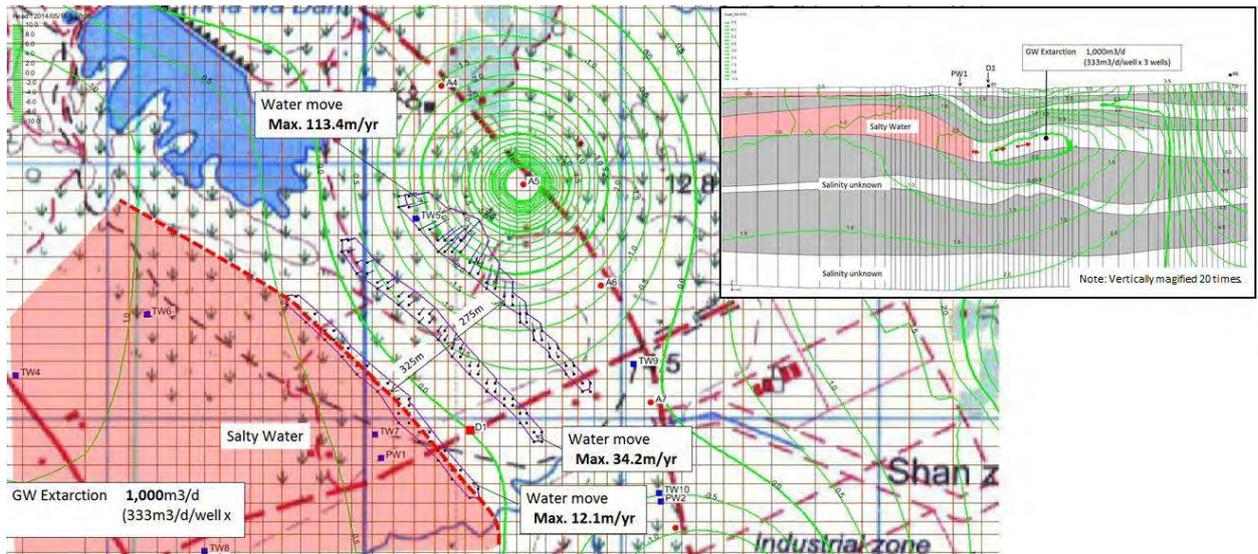


図 3-5-13 塩水フロント移動に係る地下水流動場での粒子追跡計算例

(2) 許容ケース

すべての検討ケースのモデル出力は、上掲の基準に基づいて評価された。表 3-5-3 および表 3-5-4 にその結果をまとめて示す。

SEZ 内取水の場合

表 3-5-2 に示すように、基本検討ケースのうち、第 1 または第 2 被圧帯水層から 1,000m³/日を取水するケースのみ、すべての基準に適合した。しかしながら、第 1 帯水層から取水するケースは、取水によりティラワ貯水池からの漏水を増大させる可能性があること、および、連結が懸念される表層帯水層から不良水質の水が流入する可能性があることから、好ましくない。また、1 年間と半年間の取水における地下水への環境影響の大きさに大差はない。

詳細検討ケース(クラス A ゾーン内の 2 ないし 3 箇所て二つの帯水層から 1,200m³/日を取水)は、表 3-5-4 に示すように、すべて評価基準を満たさない。ただし、取水対象に第 1 帯水層を含む 3 ケースは、環境影響は比較的小さく、基準に近いものであった。

基本、詳細の両検討ケースの結果とあわせて考えると、SEZ 内での開発可能量の目安は、取水対象層が単独か複数かを問わず、1,000m³/日が目安と言える。

東方平野取水の場合

表 3-5-3 に示すように、どの検討ケースも上記基準を満たさないが、1,000m³/日を取水するケースでの影響は比較的小さい。

表 3-5-3 ティラワ SEZ のための取水についての環境予測と評価結果の概要(基本検討)

取水地区	取水対象層	取水量 (m ³ /日)	取水地点 最大水位低下 (m)	周辺既存井戸の水位低下 許容水位低下 不圧帯水層(観井戸) 0.2m 1.0m				水頭EL.0m以下の地域の広がり				近傍塩水の移動	その他	評価			
				表層不圧 帯水層	第1被圧 帯水層	第2被圧 帯水層	第3被圧 帯水層	第4被圧 帯水層	表層不圧 帯水層	第1被圧 帯水層	第2被圧 帯水層				第3被圧 帯水層	第4被圧 帯水層	
SEZ内	第1被圧帯水層	1,000	1.2~2.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	・ティラワ貯水地からの漏水を促進する可能性あり ・表層帯水層と連絡の可能性大(地表部汚染の影響を受けやすい)	△	
		1,666 (乾季のみ)	1.3~2.5	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	△
		1,666	1.4~2.6	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	×
		3,000 (乾季のみ)	2.0~4.0	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	×
	3,000	2.0~4.1	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×		
	第2被圧帯水層	1,000	15~23	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		1,666 (乾季のみ)	16~25	○	○	△	×	-	○	○	△	△	○	○	○	○	×
		1,666	17~25	○	○	△	×	-	○	○	△	△	○	○	○	○	×
		3,000 (乾季のみ)	20~33	×	×	×	×	-	○	○	×	×	△	△	○	○	×
	3,000	21~34	×	×	×	×	-	○	○	×	×	×	×	×	○	×	
	第3被圧帯水層	1,000	30~48	○	○	○	×	-	○	○	○	△	△	○	○	○	△
		1,666	32~52	○	○	×	×	-	○	○	△	×	×	×	×	×	×
		3,000	39~63	×	×	×	×	-	○	○	×	×	×	×	×	×	×
	第4被圧帯水層	1,000	10~11	○	○	○	×	-	○	○	○	○	×	×	×	×	△
		1,666	13~15	○	○	○	×	-	○	○	×	×	×	×	×	×	×
		3,000	19~25	○	○	×	×	-	○	○	×	×	×	×	×	×	×
第2、3、4帯水層	3,000 (各1,000)	15~34 36~52 11~12	×	×	×	×	-	○	○	×	×	×	×	×	×	×	
	1,000	12.5~13	○	○	×	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
東方平野	第2被圧帯水層	1,666	14~15	○	○	×	×	-	○	○	○	○	○	○	○	○	×
		3,000	17~21	○	○	×	×	-	○	○	△	×	△	△	△	△	×

表 3-5-4 ティラワ SEZ のための取水についての環境予測と評価結果の概要(詳細検討)

取水地点	取水量 (m ³ /日)		取水対象層		取水点 最大水位低下 (m)		周辺既存井戸の水位低下				水頭EL.0m以下の地域の広がり				近傍塩水の移動	評価						
	1井当り	総量	上層	下層	上層	下層	表層不圧 帯水層	第1被圧 帯水層	第2被圧 帯水層	第3被圧 帯水層	第4被圧 帯水層	表層不圧 帯水層	第1被圧 帯水層	第2被圧 帯水層			第3被圧 帯水層	第4被圧 帯水層				
2箇所 (FW1, FW2) 4井	300	1,200	第1被圧帯水層	第2被圧帯水層	2,4	17,23	○	△	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	×			
				第3被圧帯水層	2,4	38,48	○	○	×	×	○	○	○	○	○	△	○		○	×		
			第2被圧帯水層	第3被圧帯水層	2	10	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	△		○	○	×	
				第4被圧帯水層	20,27	42,52	○	○	×	×	○	○	○	○	○	△	△		○	○	×	
			第3被圧帯水層	17,24	10	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	△	×		×	○	×	
3箇所 (FW1, FW2, FW3) 6井	200	1,200	第1被圧帯水層	第2被圧帯水層	2~4	11~16	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△		
				第3被圧帯水層	3~4	20~32	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○		○	△	
			第2被圧帯水層	第4被圧帯水層	2	7	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△		△	○	△
				第3被圧帯水層	14~19	23~35	○	○	×	×	○	○	○	○	○	△	△	○		○	○	×
			第3被圧帯水層	17	8~10	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	△	△		△	○	×
第4被圧帯水層	22~34	8~9	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	△	×	×	○	×				

3-6 ティラワ SEZ の短期地下水開発についての結論

(1) 結論の前提

結論は、以下の前提に立っている。

- ここに示すティラワ SEZ の短期地下水開発についての結論は、本調査で収集したデータに基づいて構築された三次元モデルによるシミュレーション結果に基づいて導かれた。
- 収集したデータは量的には大きいものの、質については帯水層を精度良く把握するには十分ではない。構築されたモデルは第一近似のものと考えべきである(『3-5-3 三次元モデル』の『モデルの適合度』参照)。

- 3) 地下水取水に対する帯水層の実際の応答は、モデルによる予測と多少とも異なると考えられる。また、応答は気象変動にも左右される。
- 4) したがって、ここで得られた結論は、地下水開発を行う際のガイドラインと考えるべきである。実際の許容揚水量は、地下水環境のモニタリングを行いながら決定・調整すべきである。

(2) ティラワ SEZ 内での地下水開発

ティラワ SEZ 内での地下水開発については以下のように結論される。

- 1) 上記予測検討結果によれば、 $1,000\text{m}^3/\text{日}$ を少なくとも数年間取水可能と推定される
- 2) 上述の予測検討で1年取水と半年取水で大差がないことから、揚水期間を限定（たとえば半年）した場合でも、最大の取水量は $1,000\text{m}^3/\text{日}$ を越えるべきでない。
- 3) 上記予測の詳細検討における複数帯水層取水の結果を考慮すると、複数の帯水層から取水する場合でも、基本的に総取水量は $1,000\text{m}^3/\text{日}$ を越えるべきでない。
- 4) 上記予測検討では、第1及び第2被圧帯水層から $1,000\text{m}^3/\text{日}$ を取水するケースのみ、すべての基準に適合した。しかしながら、第1帯水層は、表 3-3-2 に示したように水理能力は高いが、取水によりティラワ貯水池からの漏水を増大させる可能性がある。加えて、図 3-3-15 の地下水位観測結果や図 3-3-11 に示した SEZ 内の推定地質断面から表層帯水層との連結が懸念され、同層から不良水質の水が流入する可能性がある。したがって、第1帯水層は取水対象として好ましくなく、第2帯水層が望ましい。
- 5) 予測モデルの精度や周辺の地下水利用の増大を考慮すると、取水時のモニタリングは必須である。
- 6) もしモニタリング結果がよくなければ、許容揚水量は2018年以前でも減少する可能性がある。一方、モニタリング結果に問題がなければ、2018年以降も揚水を継続できる可能性がある。

(3) 東方平野での地下水開発

東方平野での地下水開発については以下のように結論される。

- 1) 図 3-3-10 および図 3-3-11 に示した帯水層内塩水分布の推定状況から、第2帯水層が取水対象として望ましい。しかし、上記予測検討結果から、許容揚水量は最大 $1,000\text{m}^3/\text{日}$ 程度である。
- 2) 後述の導水施設検討に示されるように、 $1,000\text{m}^3/\text{日}$ の水量でのティラワ SEZ への長距離導水は経済的でない。
- 3) 表層に厚い粘性土が分布し地盤沈下に注意が必要である（第2層取水であれば微量と推定）。
- 4) 井戸調査結果によれば、平野地域の住民は、良好な水質の地下水を求めて日々苦勞しており、また、同地域の全取水量が約 $1,800\text{m}^3/\text{日}$ であることを考えると、たとえ取水量が $1,000\text{m}^3/\text{日}$ 程度であっても、地域にとっては大きな値であり、社会的な影響は大きい。
- 5) このような経済的および社会的状況を考慮すると、東方平野でのティラワ SEZ 向け取水は意義に乏しい。

3-7 地下水のモニタリングと帯水層管理についての提言

3-7-1 ティラワ SEZ における地下水取水に係るモニタリング

(1) モニタリング井戸（最小限の案）

取水井周辺の地下水低下と塩水移動の程度を監視するためには、モニタリング井戸が必要である。その配置と数量については、図 3-7-2 に示すように必要に応じて適切な規模のものを選択しなければならない。表 3-7-1 および図 3-7-1 に、既存井も活かしたモニタリング井戸の最小案を示す。

表 3-7-1 ティラワ SEZ での取水のために必要な地下水モニタリング井

区分	目的	観測孔名	監視対象帯水層	スクリーン深度 (m)	口径 (inch)	水頭測定		EC測定		設置状況	
						方法	頻度	方法	頻度		
主監視孔	周辺既存井戸への水位低下波及監視	ME	ME-1	表層帯水層	10	4	手測り 又は 自記	毎日 (手測り) 又は 毎時 (自記)	手測り	毎月	新設
			ME-2	第1被圧帯水層	(30 - 50)						
			ME-3	第2被圧帯水層	(65 - 85)						
	MS	近傍生産井の採水層		手測り	週1回						
補助監視孔 (必須)	SEZ付近の各帯水層の水頭及び塩分濃度監視	D1	D1-0	第1被圧帯水層	37 - 48	6	自記	毎時 (月1回 データ回 収)	手測り	毎月	既設
D1-1	第2被圧帯水層	66 - 83									
D1-2	第3被圧帯水層	110 - 138									
D1-3	第4被圧帯水層	187 - 283(p)									
補助監視孔 (参考)	東方丘陵内の各帯水層の水頭監視	D2	D2-0	第1被圧帯水層	31 - 54(p)	10	手測り	毎月	手測り	毎月	既設
			D2-1	第2被圧帯水層	67 - 95						
			D2-2	第3被圧帯水層	125 - 148						
			D2-3	第4被圧帯水層	196 - 301(p)						
補助監視孔 (任意)	クラスA南方SEZ内帯水層の水頭及び塩分濃度監視	PW2		第2被圧帯水層	36 - 70(p)	10	手測り	毎月	手測り	毎月	既設
		PW3		第2被圧帯水層	27 - 66						

注)(p)は複数のスクリーン深度が含まれることを示す。

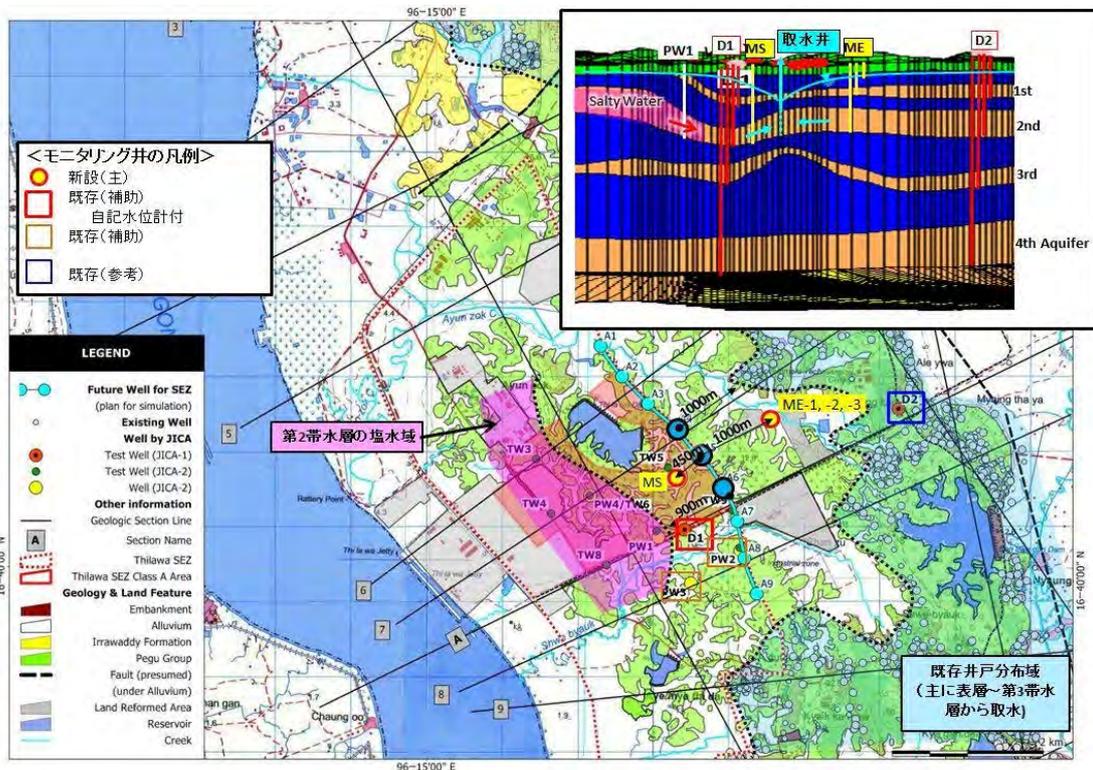


図 3-7-1 ティラワ SEZ での取水のために必要な地下水モニタリング井の配置

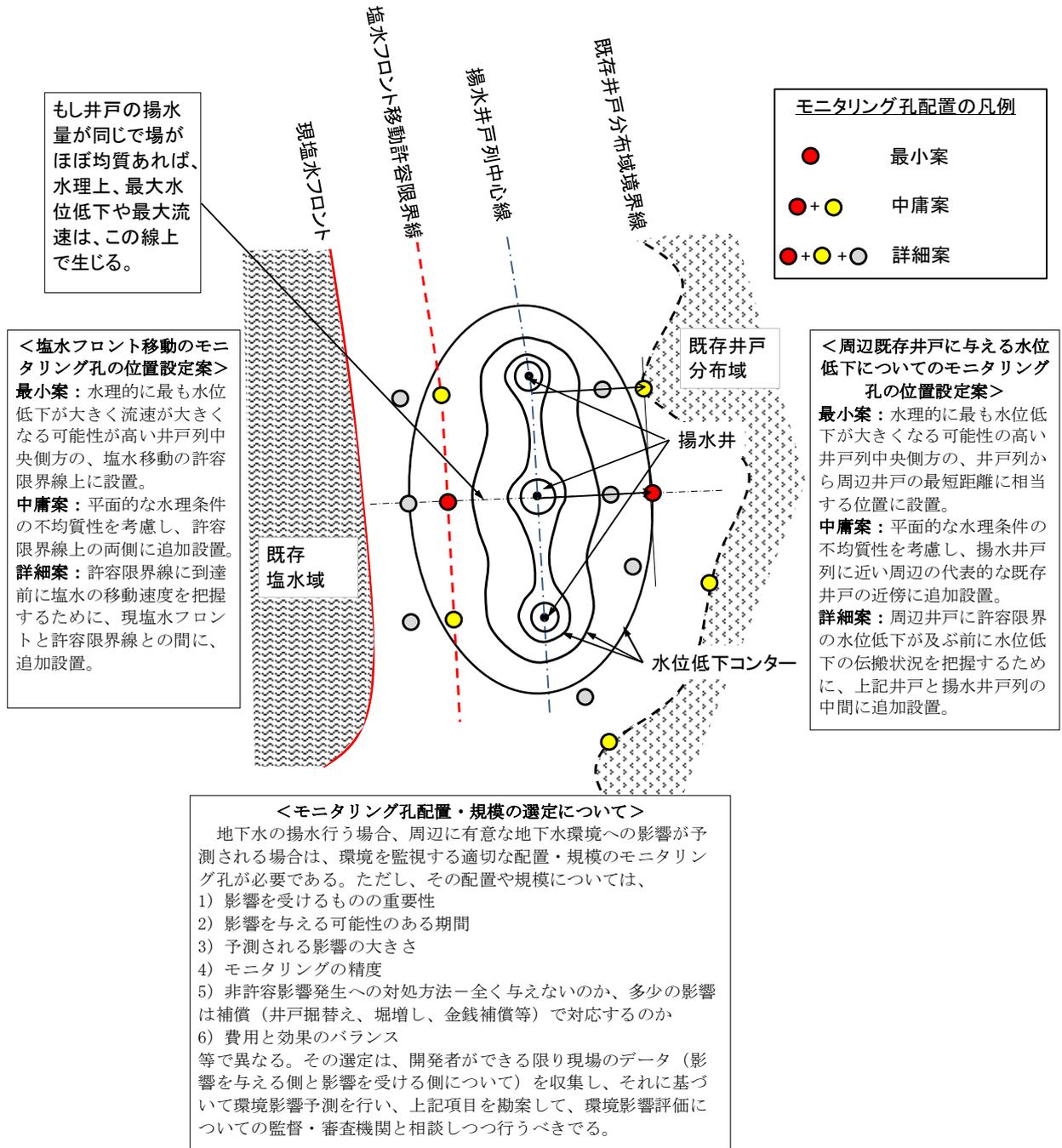


図 3-7-2 ティラワSEZ内で取水する場合のモニタリング井配置の基本的考え方

(2) 組織

適切なモニタリングのための組織を、ミャンマー側が用意すべきである。地下水環境への影響については、行政権限と公平さを有する適切な独立した機関が判断すべきである。

(3) 取水に係る報告

取水井の取水量、地下水位および電気伝導度の測定結果は、毎月、モニタリング機関に報告されるべきである。

3-7-2 タンリン市街地におけるモニタリングと帯水層管理

タンリン市街地においては、帯水層が過剰揚水状態にあり、また、年々井戸が増加している。このような状況が続けば、早晚、塩水が帯水層に浸入し、帯水層と地下水利用に大きな被害を与えることとなる。これを防ぐためには、以下のような方策が必要である。

- 1) 地下水の取水量を減らすために、代替水源を見つける必要がある。
- 2) 地下水の長期変動を把握して過剰揚水の状況を確認するために、D-5 地点観測井のモニタリングを継続すべきである。
- 3) 過剰揚水の状況を地域的かつ帯水層別に把握するために、観測井を追加設置すべきである。
- 4) 井戸の新設状況を、タウンシップの井戸台帳で定期的に確認するとともに、必要に応じて、新設の規制や揚水の抑制策について検討すべきである。
- 5) 代表的な既存井戸の地下水位と水質を定期的に把握すべきである。
- 6) モニタリングと帯水層管理のために、権限を持った強力な機関を設置すべきである。

3-7-3 設置観測井の有効利用とモニタリング及び帯水層管理の担い手について

(1) 設置観測井の今後の利用

本調査においては、調査地内 5 箇所、16 本の観測井を複数の帯水層に設置し、自記水位計により約 1 年間観測を行ってきた。上述のように、当地は近年地下水の利用度が非常に高まってきており、特に北部は過剰揚水の状態にあると推定される。したがって、帯水層の監視・管理は必須と考えらる。一方、地元では、表 3-7-2 に示すように、設置観測井の一部を生産井に転用したい意向がある。しかし、当地において、地下水位の観測施設はこの 16 本以外にはなく、帯水層の監視・管理のためには、今後も観測井としてできる限り継続使用すべきである。水需要のある中、井戸の設置には大きな費用を要することから、生産井に転用したいという地元の意向は理解できるが、このような観測井を設置できる機会は今後も乏しく、生産井に転用した場合、監視の目を失うことの損失は大きい。特に、当地の主たる地下水利用地域の丘陵部に位置する D1, D2 および D5 の 3 地点の井戸は重要であり、特段の配慮が望まれる。

表 3-7-2 本調査により設置した観測井の位置・重要度と今後の利用についての地元の意向

観測地点名	観測井数	地形的位置	地理的位置	井戸掘削の許可を得たところ	現在の土地所有者／管理者	土地所有者／管理者の今後の利用についての意向	観測井としての重要度
D1	4	丘陵西麓	ティラワSEZ内	ティラワSEZ支援委員会議長	ミャンマー・日本・ティラワ開発会社 (MJTD)	比較的水質のよい1井は生産井として利用の可能性あり。	SEZ内で取水する場合はモニタリング井として有用；また、ヤンゴン川方面からの塩水侵入の監視孔として有用。
D2	4	丘陵中央の尾根部	ティラワSEZ支援委員会敷地内	ティラワSEZ支援委員会議長	ティラワSEZ支援委員会	利用需要がある場合は、利用したい。	周辺に地下水利用がある丘陵中央部の帯水層監視に有用
D3	3	東方平野	チャウング・ザウク集落縁辺	チャウング・ザウク集落リーダー(タンリントウシップ内)	チャウング・ザウク集落	乾期に水不足を補うため、できれば利用したい。 (1井は塩水化し、水利用はできない。)	平野部では地下水の利用度は低いが、地下水挙動の監視地点として帯水層管理に有用
D4	2	東方平野	公道路側	ティラワSEZ支援委員会議長(掘削中は、トングワタウンシップと相談)	トングワタウンシップ	(2井ともは塩水化し、水利用は困難だが、比較的分濃度の小さい1井は使用したい。)	同上
D5	3	丘陵北部尾根部	タンリン市街地中央のパゴダ境内脇の公有地	タンリントウシップ	タンリントウシップ	1井は、近隣への給水に利用したい。	既に過剰揚水にある丘陵北部の唯一の観測施設であり、帯水層管理に必須

注) 意向は、調査団の聞き取りによる。

(2) ミャンマーにおける地下水専門家と関連組織

地下水のモニタリングや帯水層管理のためには、地下水に関する知識・技術を有する地下水専門家・技術者の参加が必要である。現在、地下水技術者については、ミャンマーの公的機関では、農業かんがい省の水資源利用局 (WRUD; Water Resources Utilization Department) が圧倒的に多く保有する。WRUDには、部長職を有する独立した地下水部門があり、JICA 供与のものを含めた保有掘削リグを用いて、主に非都市部での井戸掘削による地下水利用に携わってきた。他の機関では、都市部で住宅用に地下水開発を必要とする建設省住宅局等に若干の人材のいる可能性があるが、常時専門的に地下水に係る技術者がいる可能性はほとんどなく、WRUD が圧倒していることは疑いない。

タウンシップでは、井戸を含む給水施設を管理する技術部門があるが、地下水を専門とする技術者はいない。また、人事異動が頻繁に行われるため、技術の継続性が困難である。

(3) モニタリングと帯水層管理の担い手

帯水層管理には、地下水利用施設のインベントリー管理や地下水利用の制限・調整が必要であり、行政機関の参加が必須である。現在、井戸を設置した場合、タウンシップに報告義務があり、タウンシップがインベントリーを管理している。タウンシップは、ヤンゴン地方政府の下にあることから、今後の観測井の利用方法も含め、様々な意思決定のためにはヤンゴン地方政府の関わりが欠かせないと考えられる。

SEZ 内については、SEZ 法に基づいて対処されるものと考えられるが、SEZ 内の地下水開発

は地域全体の帯水層管理とも関連するものであり、地域の管理者との調整も必要と考えられる。

調査団は、観測井のミャンマー側の引継ぎ先の決定とこれを有効活用して帯水層の監視、管理を行う組織の立ち上げについて、本件の実質的カウンターパートである SEZ 運営委員会書記や農業かんがい省かんがい局に、口頭ながら依頼を行った。しかし、ミャンマー側に経験のない分野のため、ドラフトファイナル報告書作成時点までには決定に至らなかった。調査工期が迫り、結果として、観測井と自記水位計は、D1 および D2 地点についてはティラワ SEZ 管理委員会へ、また、D3、D4 および D5 についてはヤンゴン地方政府（南地区）に寄贈された。後者は、タンリンおよびトングワ・タウンシップにより管理されるが、地元の水に係ることだけにタウンシップ関係者および技術者の地下水についての関心は高く、引継ぎ時には、寄贈された井戸や水位計を有効に利用する意向が表明された。

なお、帯水層の監視・管理の作業は、当然ながら、ミャンマーの専門家・技術者・行政者が主体的に行うべきものである。しかし、ミャンマーにおいては、井戸を設置して地下水を利用する技術の蓄積・経験はあるが、帯水層を監視し管理する経験に乏しい。従って、必要に応じて、我が国もこの作業に協力することが望まれる。

3-8 地域における将来の地下水開発に関する結論と提言

すべての調査と解析結果を考慮して、地域の将来の地下水開発につき、以下のように、結論し提言する。

- 1) 地下水利用のもととなる主要な地下水涵養は丘陵地域における降雨浸透であり、その量は平均約 47,000m³/日と推定される。この涵養量の約 20~40 %注)が利用可能と考えられるが、現在の地下水利用率はすでに約 30%と高率であり、北部（タンリン市街地）では 50%で過剰揚水状態に達していることから、今後の多量の新規開発は困難である。
- 2) 地下水は地域住民の貴重な生活用水である。工業用等への使用は、一般家庭用の使用を考慮して計画されなければならない。
- 3) タンリン市街地では過剰揚水による環境影響が懸念されている。タンリン市街地における過剰揚水は解消されなければならない。揚水量を減らすためには代替水源を確保する必要がある。
- 4) 平野地域（ティラワ SEZ 周辺及び東部平野地域含む）では、季節的な貯留幅が小さいこと、地下水の循環速度が小さいこと、及び塩水を含む地層に被覆されていることから、開発可能量は 1,000m³/日程度が上限であり、多量の地下水開発は期待できない。また 1,000m³/日程度であっても長期にわたる取水が塩水化の進行を招くリスクがあることから、短期的開発水源として位置づけることが望ましい。

注) 利用可能率は、帯水層の水理能力（取水施設への取水の容易さ）、帯水層の広がりや境界条件、水質、環境影響等により変化し、地域によって異なる。当地の場合、南部丘陵は約 14%でも地下水障害は生じていないようであり、一方、北部丘陵では約 50%で過剰揚水にあることから、当地では 20~40 %が限界であろう。なお、南部丘陵は、北部（イラワジ層）より水理能力が劣ると推定されるペグ層が分布しており、利用可能率は北部より小さい可能性がある。