

第4章 水供給マスタープラン

4.1 人口、給水区域、及び水需要

水供給 M/P 策定には、将来の人口予測、給水区域、目標年次における水需要予測が重要である。

(1) 将来の人口予測

目標年次 2010 年の同市人口予測を行った。1998 年の人口調査によると、シエムリアップ州人口は 695,485 人、カンボディア国全体で 11,426,223 人である。1995 年から 1998 年まで同州の人口増加率は 2.95 %、国全体の成長率 (2.4 %) よりも少し高い。1998 年の同市の人口は 103,752 人、1993 年から 1998 年までの人口増加率は 4.17 % であった。

同市全域を給水区域とするのは当事業の効率の観点からみて現実的でないので、提案給水区域は Svay Dangkum、Sala Kamraeuk、Sla Kram の各コミュニティの一部とした。給水人口予測の精度を上げるため、各々コミュニティの人口動態結果を考慮し増加率を設定した。

1996 年、55,560 人の観光客がアンコール遺跡群の入場券を購入している。観光シーズンは 11 月から 3 月である。同市観光客数の増加率は 1993 年から 1996 年の 3 年間で 93.8 % であった。政府使節団、NGO 及び UN のメンバー、その他国際機関で働く外国人、ツアーリーダーとして働く外国人の総数は全観光客数の 24 % に達している。現在、観光客の平均滞在日数は約 1.77 日である。

将来の平均滞在日数は次のように設定した。

- 観光客とツアーリーダー： 2 日間
- 政府使節団： 6 日間
- NGO、UNO、IO のメンバー： 30 日間

将来の観光客増加は年間 50,000 人とし、観光客数を試算すると、2000 年に 255,560 人、2005 年に 505,560 人、2010 年に 755,560 人となる。一日当たりの観光客数にすると、2000 年に 700 人、2005 年に 1,385 人、2010 年に 2,070 人となる。観光客の平均滞在日数は 2 日間と設定したので、一日に滞在している観光客数は 2000 年に 1,400 人、2005 年に 2,770 人、2010 年に 4,140 人と計算される。

観光客数にツアーリーダー、各種国際機関で働く外国人、外国政府使節団総数を考慮し一日当たりシエムリアップ滞在外国人数を計算すると、2000 年に 1,931 人、2005 年に 3,394 人、2010 年に 4,856 人と予想された。

(2) 給水区域

給水区域は、給水システムが実施可能となった場合に最大の利益が得られるように選定した。同市の現況及び将来の人口増加を考慮し、開発を2つのステージに分け実施する事を提案した。給水区域は図 4.1.1 のとおりである。ステージ1の給水区域面積は345 ha、ステージ2で436 haとなる。給水区域内の人口予測はコミュン毎に人口増加率を設定して行った。予測結果は2005年のステージ1で37,028人、2010年のステージ2で53,151人となる。

(3) 水需要予測

将来水需要は民需、観光客需要、及び特別需要に分けて予測を行った。特別需要は病院、学校、政府機関、王宮、寺院、及び市場に分けられる。各々の水需要を合算し2010年の水需要量を得た。

民需

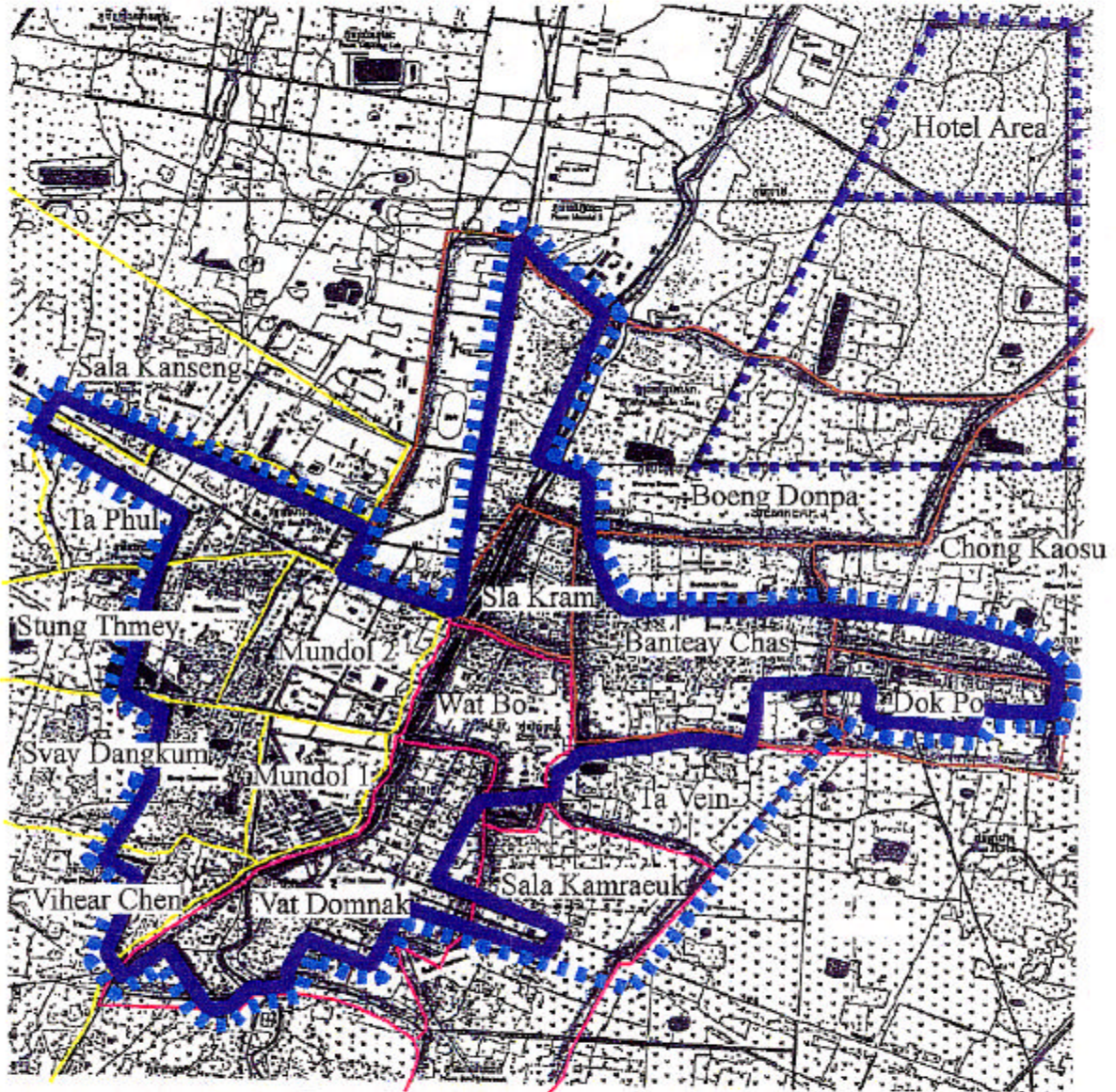
現在の一人当たりの計画給水量(100リットル)と既存データを考慮し、調査団は2002年での一人当たり給水量を100リットルと設定した。一人当たり給水量は2002年から漸増、2006年には120リットルと設定し、目標年次の2010年で一定になるとした。結果2010年の水需要は6,380 m³/日と計算された。

給水率は初年度の2002年時点で30%と低く設定した。しかし、将来予想される都市化及び水道の普及から、2008年段階で給水率が75%に達すると予想した。しかし、給水率の更なる増加は比較的難しいと判断し、2010年時点でも75%レベルに留まるとした。この条件より2010年(給水区域内人口39,863人)の水需要は約4,800 m³/日と計算される。




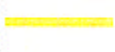

観光客需要

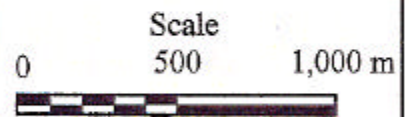
観光客の一人当たり給水量は一日500リットルとした。最大水需要を計算する為、ピーク需要係数を算出した(11月に年間観光客数の13.1%が集中し、そのピーク係数は1.57となる)。観光客の平均水需要量は2000年、2005年、2010年で各々965、1,697、2,428 m³/日と推定された。レストランの水需要量は、1テーブル当たりの需要を100リットルとし、2010年に431 m³/日となった。観光客とレストランの水需要に対する給水率は、2002年で50%と仮定した。今後、レストラン等の事業発展が見込まれることから、給水率は2005年で95%に達すると考えられる。

以上から2002年、2005年、2010年での観光客用水需要はそれぞれ738、1,895、2,718 m³/日となった。



Legend

	Service Area in 2006		Village Boundaries Commune: Sla Kram
	Service Area in 2010		Village Boundaries Commune: Svay Dangkum
Dok Po	Village Name		Village Boundaries Commune: Sala Kamraeuk



The Study on Water Supply System
for Siem Reap Region in Cambodia

Japan International Cooperation Agency

図 4.1.1
給水区域

特別需要

本調査では病院、学校、政府機関、王宮、寺院、市場での水需要を特別需要とし、2010年時点での必要水量をそれぞれ176、21、19、20、20 m³/日とした。結果として特別需要は計276 m³/日となる。民需と同じ給水率(2002年で30%、2010年で75%)を用い水需要を計算すると2002年、2005年、2010年で各々63、139、207 m³/日となる。

総水需要

総水需要量は民需、観光需要と特別水需要を合計し、2010年で7,700 m³/日となった。この水道事業では、目標年次2010年までの漏水率は15%とした。同市の水道事業では民需と特別水需要のピーク係数を1.2とした。観光水需要のピーク係数は1.575である。結果として2010年の総供給必要量は12,000 m³/日となる。

4.2 水源開発可能性

諸調査(第3章参照)を基に、4の代替水源の評価を行った。更に4.1章で計算した水需要量との比較・検討を行った。

(1) 西バライ貯水池

西バライ貯水池の予想可能取水量は40.7百万 m³である(流入量が34.1百万 m³、降雨による貯水増加分が6.6百万 m³)。灌漑用水として36百万 m³のみを使用するならば、残る水量は4.7百万 m³となる。この水量を給水用として利用すると、日量12,900 m³が利用可能と試算される。

(2) シェムリアップ川

シェムリアップ川の可能取水量は日本で用いている方法により計算した。
(可能取水量 = 10年渇水量 - 河川維持流量 - 既得水使用量)

上式を用い計算した同川の可能取水量は0 m³/sとなり、水源としての利用は不可能である。もし同川を水源とする場合、新たな貯留施設が必要となる。クーレン山付近の同川上流にダムを建設するか、もしくは北バライ貯水池を修復し雨期に水を蓄え乾期に放流する方法が考えられる。

(3) トンレサップ湖

同湖は東南アジアで最大の淡水湖であり、最低水位時でも1,300百万 m³以上の水量をする。同湖からの可能取水量は実質上無限である。取水施設は20年渇水時の最低水位E.L.0.7 m時でも利用可能でなくてはならない。それ故、取水施設はボートステーションから沖合4 km地点に設置する必要がある。同市の中心から取水施設までの距離が19 kmを越えるため、重力を

利用して原水を導水する事は不可能である。

(4) 地下水

1) 第1回地下水シミュレーション

3.4 章で述べたとおり、WT4、LTa-2、LTb-2 の観測井戸は洪積及び沖積の砂層に設置されているため揚水量は多く期待できる（444 リットル/分以上の取水）。しかし、過剰揚水は遺跡地域の地盤沈下を引き起こす可能性があり、慎重な検討が必要と判断した。WT4 周辺の井戸群からの最大揚水量は、地盤沈下の最大許容値によって管理する必要がある。最適な最大揚水量を見極めるため、様々な条件下でコンピューター・シミュレーションを実施した。

遺跡群地域の最大許容地下水位低下は 0.3 m と想定した。アンコール・ワット付近の地盤沈下モニタリング結果から、0.3 m の地下水位低下が原因で生じる地盤沈下は 1.0 mm 以下であると判定される。次に井戸の揚水量及び動水位下限を変化させた 7 ケースについてシミュレーションを行った。結果は以下のとおりである。なお、透水係数は WT4 井戸の揚水試験結果で得た $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ を採用したが、これは通常に比べると特異に過大で遺跡地区への影響が最大になる場合を想定している。

シミュレーションによる最適化結果

	地下水位低下 遺跡群付近	地下水位低下 井戸群付近	最大許容揚水量 ($\text{m}^3/\text{sec}/\text{cell}$)	日最大許容 揚水量	揚水セル数
Case-0	0.30 m	3.00 m	0.20	16,330	6
Case-1	0.30 m	1.00 m	0.01	9,850	31
Case-2	0.30 m	2.00 m	0.01	14,170	18
Case-3	0.30 m	3.00 m	0.01	14,342	17
Case-4	0.30 m	1.00 m	0.02	9,850	31
Case-5	0.30 m	2.00 m	0.02	14,947	10
Case-6	0.30m	3.00m	0.02	15,638	10

この結果から、ケース 5 が最適な地下水利用プランであると判断できる。さらに安全を考慮し、最大揚水量は $12,000 \text{ m}^3/\text{日}$ 程度（シミュレーション結果の 80%）に留める計画とした。

2) パイロット生産井試掘と水質分析結果

地下水開発可能性の確認、及び地下水生産量と水質を検討するため、2 本のパイロット生産井を計画井戸群区域内に建設した。パイロット生産井は第 1 回のシミュレーションで判明した最適位置、国道 6 号線

に沿った井戸群の両端に位置している。位置を図 4.2.1 に示す。パイロット生産井の揚水量は 5 m の水位低下で約 800 m³/日であることが確認された。

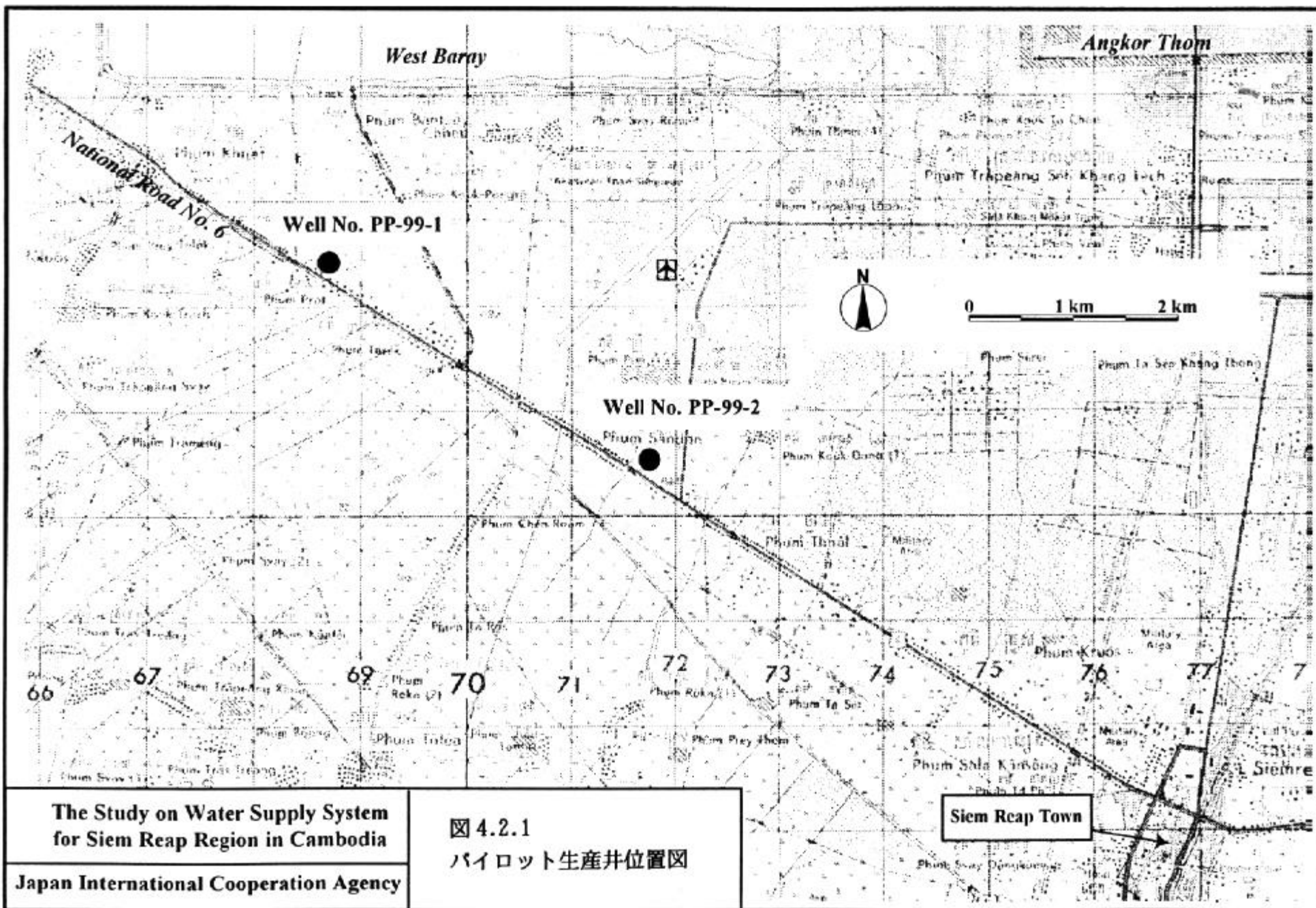
水質分析

毎月実施している水質試験に加え、F/S 段階で鉄分(Fe)及び砒素(As)の追加試験を 11 サンプルについて行った。その結果、砒素含有量は WHO の水質基準 0.01 mg/l 以下、鉄分含有量も計画井戸群区域付近で WHO の水質基準 0.3 mg/l 以下であることを確認した。パイロット生産井建設終了後、東京及びシェムリアップで同井戸の水質試験を行った。地下水の水質は水質規準を満たしているが塩素処理は必要である。やや酸性であるので中和処理を行うのが望ましい。

3) 第 2 回地下水シミュレーション

揚水に伴って生じる周辺地域への影響を詳しく評価するために第 2 回地下水シミュレーションを実施した。解析モデルは第 1 回の解析モデルを修正したものである。第 1 回シミュレーションと第 2 回のものとの相違点を以下に示す。

	第 1 回シミュレーション	第 2 回シミュレーション
水理地質境界 北側: 西バライの北(山) 南側: トンレサップ湖	流入なし 一定水位	流入あり 湖水位変動により変化
帯水層の水理常数 layer 1 (沖・洪積層)	(井戸群地域): 2.0x10 ⁻⁴ m/sec から 8.0x10 ⁻⁴ m/sec まで (その他地域): 5x10 ⁻⁴ m/sec	井戸群及び中央部: 7.0x10 ⁻⁵ m/sec (その他地域): less than 3.0x10 ⁻⁴ m/sec
帯水層の層厚 (Layer 1)	25 m to 35 m	約 40 m
分割セルのサイズ	500 m x 500 m only	500 m x 500 m + 100 m x 100 m
キャリブレーション期間	Feb. 1998 to Feb.1999	Feb.1998 to Nov.1999
井戸番号、井戸間隔 揚水量	20 wells @ 500 m, Total 14,947 m ³ /day	15 wells @ 400 m, 800 m ³ /day for each well Total 12,000 m ³ /day



2006年から2011年の期間、計画井戸群で定常的に12,000 m³/日の揚水すると、どのような影響が生じるかを2度、シミュレーションした。

その結果、一定揚水を開始後、地下水位は年々下がり続け動的平衡状態に達する事が確認された。2011年2月時点の地下水位低下解析結果を図4.2.2に示す。揚水による影響は生産井戸群の1帯だけに限られ、遺跡には影響を与えないとの結果を得た。遺跡周辺及び井戸群周辺の地下水位低下は、それぞれ0.10 m、4.5 m以下となった。揚水による2 m以上の水位低下は周辺に浅井戸がある場合影響する可能性もあるが、生産井戸群周辺部に既存浅井戸はあまりない。それ故、2回のシミュレーションから、この揚水計画が遺跡周辺の地盤沈下及び周辺の浅井戸に悪影響を与えるとは考え難い。しかしながら、現時点で予測できない事態に備え、地下水位と地盤変動モニタリングの継続を提案する。

4.3 代替水源の比較検討

(1) 比較検討方法

代替水源として、地下水、西バライ貯水池、シエムリアップ川、トンレサップ湖の4つがある。これらの代替水源の中から最適な水源を選定するために比較検討を行った。比較検討には、それぞれの水源開発に要するコストだけでなく、各水源について必要となる水道システムの建設費も併せて行った。この比較検討のための水道システム規模は12,000 m³/日をベースにした。

最適水源選定のための比較検討項目として下記の項目を検討した。

- 1) 低コスト（建設費並びに維持管理費）
- 2) 運転維持管理の容易さ
- 3) アンコール遺跡群に対する影響
- 4) システムの信頼性
- 5) 良質な水源水質及びその安定性の確保
- 6) システムの柔軟性
- 7) 環境に与える影響

(2) 各水源の水道システム

各水源に対する水道システムは図4.3.1に示すとおりである。