3. 基礎調査の主要調査結果

3.1　既往調査のレビュー

3.1.1　既往調査の時系列的な動向

3.1.2　既往調査から得られた技術的な情報

3.1.3　提案事項および勧告事項の集約

3.2　地下水上昇による被害

3.2.1　現場踏査

3.2.2　被害の聞き込み調査

3.2.3　被害の体系的分類

3.2.4　地下水位と被害との関係

3.3　水文地質

3.3.1　調査の目的

3.3.2　地形・地質

3.3.3　調査地域の水文地質

3.3.4　試験施工地の水文地質

3.4　地下水

3.4.1　水文条件

3.4.2　上水供給量

3.4.3　地下水位

3.4.4　地下水位シミュレーション解析

3.5　水　質

3.5.1　水質試験の方法

3.5.2　水質調査結果

3.5.3　広域的な地下水質の特性

3.5.4　井戸の深さ方向の地下水水質の変化

3.5.5　汲み揚げ地下水の海域放流の可能性

3. 基礎調査の主要調査結果

3.1 既往調査のレビュー

3.1.1 既往調査の時系列的な動向

ドーハ市および周辺地区に発生した地下水上昇問題に関して，カタール政府側によって実施された既往調査の報告書を年代順に並べると次のとおりである。

(1) 1981-Dec, Doha Stromwater and Land Drainage Master Plan (MPW-Pencol)

(2) 1982, Hydrogeology of QATAR, as a part of Project Technical Report, No.5 (FAO, B.L. Eccleston and I.E. Harhash)

(3) 1983-May, Rising Water Table Project (MEW-ASCO)

(4) 1984-Jul, Report on Flooding in the Musherib Wadi (MPW-CED-Sewerage Devision)

(5) 1984-Aug, Concreted Action for Water Management of Doha/Qatar (MPW/M.T.P.W. Netherland)

(6) 1985-Mar, Doha Stormwater and Groundwater Management Action Report (MPW-CED-Pencol)

(1) ドーハ市の開発が進んで，年間雨量が少ないにもかかわらず，地表水の貯留または浸透する範囲と能力が減少し，短期間内に強い雨が降ると，地域内の低地ではしばしば洪水現象を示すようになった。ドーハ地区で氾濫する過剰雨水を排除し，地下水コントロールの一環として排水システムを開発し，排水施設と洪水問題に関連した地域開発計画を検討するため，公共事業省の指示によりPencolは1981年12月'Doha Stromwater and Land Drainage Master Plan' の報告書を作成した。

Pencolの調査は，先ず，開発地区の現況についてレビューすることから始めて、降雨，洪水，地下水，気象などに関するデータの収集・分析，排水施設網の設計のための適当な基準の設定，社会的要請，経済性，暴風雨の歴史との関連からドーハ市の将来の発展を見こして，これに相応する雨水排水システムの範囲と形式をきめ，代替案の評価と提案を行ない，予備設計を提示するなどというものである。

調査の結果，洪水範囲として，自然的な排水が道路によって分断されるため，主要道路近くに多く発生していること。地表面から地下水面までの深さは海岸地域での1mから，ドーハの低地の4.6mと変化しているが，1959年当時よりも著しく地

表面に接近していることなどがわかり，降雨による過剰水の集水とその処理方法が提案された。さらに降雨資料を用いて，洪水範囲内の地表水排水システムの方法論が開発された。水文地質調査から地下水への涵養される主な要素が確認されたが，さらに帯水層や地下水の流動についての調査が必要であり，降雨の集水，搬送，終末処理の方法とそれらについての問題点が示された。

(2) 一方，1971年から農工業省に対して続けられていたFAO の事業の中の 'project technical report No.5: 'Resources of Qatar and their Development' の分冊としてB.L.Eccleston and I.E.Harhash 著の 'Hydrogeology of Qatar' が1982年に作成された。この中ではカタール半島の地層と地質構造が明らかにされており，帯水層の形成，半透水層・不透水層などの水文地質的特性などが記述されている。1975年と1980年のそれぞれ半島規模の地下水面のコンター図が作成され，地下水流動について考察し，さらに水収支について水文地質的評価に基づくシミュレーションモデルが提示されている。（今回のJICAチームの地質および水文地質の調査のベースとなっている。）

(3) ドーハ市は1948年人口 1.5万人の海岸町から，1981年人口22万人の都市に急速に膨張した。海水淡水プラントや井戸群からの水供給の増加に伴って，配水システムからの漏水などにより地下への涵養が多くなり地下水面が上昇した。かつては，せいぜいカタール標準水位（ＱＮＤ）で１ｍからの海水準までゆるやかな勾配をもって流れていた地下水が，今では最高９ｍＱＮＤの地下水マウンドが形成されている。ラヤン・ヒッミ地区でも10年未満で８ｍも地下水位が上昇している。残念ながら，地下水問題を招く以前の地下水に関する資料はなかった。

1981年12月に電水省の指示によって調査を行なったASCOは1983年５月 'Rising water table project' を作成した。ASCOは次のような調査によって地下水涵養の要因や起源について解析し，地下水位が上昇してマウンドを形成するために必要な年間の全涵養量を求めた。

・地下水面の形成や変動を明らかにするためボーリング孔での水位調査や揚水試験による帯水層の特性調査

・涵養源を追跡するための水質分析

・水文地質および水文水理データから帯水層の特性と，流入と流出できまる水収支に関連する要因の分析・評価によるシミュレーション　モデルの開発。

報告書の中では，地下水位を制御するための緊急および恒久対策についての提案と，さらに事業費と経済的可能性についての調査の必要なことの提案がなされている。緊急対策としては，ワジ　ムシリブ下流地区とモンターザ地区において，

・地下水の自由な浸透を促進するような雨水排水路の刷新と鉛直排水

・ムシリブ　ウェル　フィールドでの排水システムを検討するためのパイロット排水事業

を提案している。

恒久対策事業としては，

・パイロット排水事業の結果に基づいて，1982年の地下水位を保つための総合排水システムを検討すること。

・排水が必要な地下水量は再利用の資源として評価すること。

・シミュレーション解析などにより全涵養量を減少させる方法を検討すること。

などを提案している。また，データの蓄積，化学分析の継続から，公的教育など9項目の施策について提案している。

(4) カタール半島全域的には，地下水位が低下する傾向にあるのに，ドーハ市では上昇傾向が続き，ワジ　ムシリブでは地下水位が地表に達し，諸種の障害が発生している。対応策を検討するための原因調査が土木局下水課によって行なわれ，1984年7月，'Report on Flooding in the Musherib Wadi'が作成された。この中では，1983年のASSO報告書で明らかにされた18年間，毎年22cmの水位上昇の記録と，ムシリブとA リング道路地区における1982年の全涵養量が1,000 mmを超えていることなどを前提にして，水道管からの漏水，庭園・公園などの過剰灌漑水，浄化槽，下水施設および降雨などの涵養源についての調査が行なわれた。

調査の結果，地下水上昇の主な涵養源は浄化槽からの逸水と水道管からの漏水であることが明らかにされた。1981年のPencolの提案を受けて公共事業省がワジ　ムシリブで進めている雨水排水幹線の拡張工事の継続と，家庭用の浄化槽と下水管との接続事業の早期実施を提案している。

(5) 1984年8月，ドーハ市における地下水問題とウェスト　ベイ　サッカー競技場の舗装の塩害についてのアドバイスを求めるカタール国公共事業省の要請を受けてオランダの運輸・公共事業省から調査団が派遣されて，地下水問題についての現況調

査と既往報告書についての検討が行なわれている。報告書では，先ず，ASCO報告書の結論にも拘らず，地下水問題が共同の問題としてとり上げられていないように思われるので，これに関連してカタール政府内の関係省庁の局長クラスの協議会を設けることを提案している。その他，次のような提案も行なっている。

被害の出ている低地については，すでに公共事業省によって雨水排水幹線の工事が行なわれているので，その効果を見た上で，Phase Ⅱとして高台にも拡張したらよい。また，他の低地に対しては，phase Ⅱとして地下水位をモニタリングして必要な追加対策を行なう。地下水は下水で汚染されているので，排出される地下水は処理施設で処理する必要がある。ニュー　ディストリクトでは排水溝，排水路のような明渠を元の海岸線に近く設ける。

(6) ドーハ市内の地下水位は常に上昇しつづけており，今では低地での地下水位ははぼ地表に達し，大雨の後の洪水が頻発するなど深刻な状態にある。

公共事業省土木部の指示によりPencolは1985年３月，'Doha Stormwater and Ground water Management, Action Report'を作成した。Pencolはこのような認識に基づいて，地下水位上昇と大雨の後の洪水とに関連する問題の概要を把握するため，次に挙げるような既存データの確認とこれまで出されている提案の吟味を行なった。

ⅰ）既存データの確認

暴風雨（降雨量，流出量），地下水涵養量，地下水水収支

ⅱ）既往提案書の分析

① 雨水投棄方法

・雨水排水路を経て海域への放流

・雨水浸透井

・人工涵養

・下水管への投棄

・ロードタンカーによる輸送

② 地下水の制御方法および流出量の増大策

・上水の損失，下水，雨水，過剰かんがい水からの涵養

・側方排水

・鉛直排水

・上水供給源としての地下水揚水

・附帯問題（例，地盤沈下）

③　一般的施策の提案

・関連省庁による具体的行動

・公的教育

・資料の収集（降雨量，地下水，水消費量）

3.1.2 既往調査から得られた技術的な情報

(1) 地形および水理地質

カタール半島はN－SおよびNNW－SSE方向の軸をもった2つの褶曲構造があって，これと調和的にゆるい起伏をもった地形が形成されている。調査地域はカタール中央ドーム状背斜軸の東翼に位置し，東側に向かってゆるく傾斜する地質構造をもち，概ねNNW－SSE方向とENE－WSW方向に配列する2系列の盆状地形が発達している。

また，下部ラス層の硬石膏が溶脱して上部層の崩壊を起こし，これと関連してカタールの特徴的な陥没地形が随所に生じている。

調査地域内の地質層序と水文地質的性質はおよそ次のとおりである。

地　層（岩相）		透水性	透水係数
表　土	堆積物		
上部ダンマム層	苦灰岩	透水層	11 ～ 370m d^{-1}
下部ダンマム層	ミドラ頁岩	難透水層	
上部ラス層	苦灰岩	半透水層	0.01～0.03m d^{-1}
下部ラス層	無水石膏	不透水層	
ウムエルテドウマ層	苦灰岩	透水層	

地下水マウンドが形成されている上部ダンマム帯水層は相変化が激しく，水平・垂直方向の水文地質的性質の変化が大きい。

下部ダンマム層は，5～10mの厚さをもち，シルト岩などを挟んだ1枚の厚さが1m未満の頁岩もしくは粘土層の組合せとなっていて通称ミドラ頁岩層と呼ばれていて，不透水性を形成していると考えられている。

水位上昇の問題が発生した帯水層は，厚さ20～30mの上部ダンマム層である。その下位に実質的には不透水層のミドラ頁岩層が存在している。地下に涵養された水はミドラ頁岩層によって下位のラス層へのドレーンが阻止されているので，上部ダンマム層内で地下水貯蓄が増加して，地下水位上昇をもたらしている。

ミドラ頁岩層は，黄褐色～灰緑色，軟質でラミナ構造の発達した頁岩で，粘土，泥灰岩を挟在し，剥離しやすい。ミドラ頁岩層の分布形状は下位のラス層の陥没にともなって破壊・変形し，複雑である。これの上にくる上部ダンマム層の風化帯などが作る地形

面も概ねこれに順応している。

厚さ 300mの UGR層は，調査地地域内では平均85mの深さに存在し，カタールでは本層の上部は産出率の高い，淡水の可能性のある帯水層が形成されていて，その水頭は上部ダンマムの帯水層の地下水位より低い。

ドーハ市の地下にはワジ　ムシリブの低地を挟んで上部ダンマム層の中に２つの地下水マウンドが形成されている。地下水面勾配が一般的になだらかであるので，地形的に低地となっているワジ　ムシリブやモンタザ地区の一部で，地下水面は地表下２ｍ以浅となっている。

ドーハ市のマウンドは全涵養量の高い範囲にほぼ一致しているが，カリファマウンドでは必ずしも全涵養量の分布と一致しないで，局所的な地下水面の形状はミドラ層凸部に依存しているとされている。

(2)　地下水の数学モデル

調査地域の地下水流動のモデル化は，準３次元定常解析モデルが用いられ，地下水問題に直接関与している上部ダンマム層を対象としている。下部ダンマム層（ミドラ頁岩層）はモデルを簡素化する際に不透水層（基盤）として取扱われている。

このモデルにおいて上部ダンマム層は構造上，次の２層に区分されている。

ユニット２－上部層＝上部風化帯

ユニット１－下部層＝中・下部合成帯

２層の透水性の組合せについて５つのテストランをくり返した結果，帯水層は透水係数 200ｍｄ$^{-1}$の上部層と40ｍｄ$^{-1}$の下部層の２層構造が最もよく合い，現地調査で得られた水理常数と矛盾しない範囲内にある。

2000年までの地下水位の予測は貯留係数２％で計算されている。

(3)　水収支

水収支計算は1982年の地下水面形状を前提として，５項目の流入項と７項目の流出項を考慮し，行政区画に即したＱＡＴＳゾーンを用いて行なっている。ＱＡＴＳゾーンは涵養量の量的把握をできるだけ容易に行なうために導入されたものである。

1982年に帯水層に加えられた全涵養量	33.826百万m³
同じく帯水層から排出された全流出量	32.109百万m³

その差 1.717百万m³（全涵養量の5.4％）が帯水層に貯留された総量である。この量は

調査地域内の地下水位を平均0.28m上昇させる。

すなわち，1982年の時点では，すべての自然水と人間の生活に由来する人工造水(106.36百万m³）の33%が調査地域内の地下の浅い帯水層に涵養され，その 5.4% (1.7 百万m³）が貯留される。

5項目の涵養源からの全涵養量(33.826 百万m³）と内訳は次のとおりである。

①	かんがい水	13.717百万m³ (40.6%)
②	上水配水管	9.238百万m³ (27.3%)
③	下水管	6.415百万m³ (19%)
④	降雨	4.206百万m³ (13%)
⑤	下水処理水排水管（ＴＳＥ）	0.250百万m³ (0.1%)

7項目の流出源からの全流出量(32.109 百万m³）の内訳は次のとおりである。

①	海域への地下水流出	14.487百万m³ (45.4%)
②	農業用地下水揚水	6.181百万m³ (19.2%)
③	下水管への地下水流入	5.292百万m³ (16.5%)
④	雨水排水管による流出	2.000百万m³ (6.1%)
⑤	上水ブレンド用地下水揚水	1.834百万m³ (5.7%)
⑥	内陸への地下水流出	1.815百万m³ (5.5%)
⑦	地下水面からの蒸発	0.500百万m³ (1.67%)

(4) 地下水の水質

地下水の化学的プロセスおよび溶出などについて体系的な考察が行なわれて，ドーハ市の地下水のEC値の傾向，石膏などの飽和に関する問題，地下水中の塩分濃度，あるいは土壌塩分の集積などの現象がある程度解明されている。

① サンプルリング

ASCOが実施した全試料88サンプルに関する水質調査結果は Supporting Report Cに収録してある。全てのサンプルが地下水ではなく，淡水化水や雨水の記録も含まれている。採取されたサンプルの中ではプロジェクト試験井からのサンプルが40サンプルで全試料の約半数を占めている。地層別にみるとダンマム層の地下水のサンプルが最も多く50サンプル（57%）を占めている。また，同じ場所から2回以上サンプリングしている所もあるのでサンプリング地点としては52ヶ所である。

表－3.1.1　ＡＳＣＯ水質分析サンプルの分類

	ダンマム層 (D)	ラス層 (R)	D&R 層	その他	計
① プロジェクト試験井	31	9	—	—	40
② その他ボーリング孔	8	6	13	2	29
③ 素掘井戸	1	—	—	—	1
④ ﾋﾟｯﾄ，ﾄﾚﾝﾁ 掘削現場	10	—	—	2	12
⑤ 淡水化水，雨水，その他	—	—	—	6	6
計	50	15	13	10	88

② ＥＣ値

ドーハ市域の地下水の水質はEC値によって特徴づけられており，EC値を測定すれば地下水の特性がかなりの確度で推測されるとしている。塩分の全溶解固形分(T.D.S)とECとの間には，直線的な関係（EC値10,000 micro mhos/cm ≒ 7,000ppm）が成り立つとされている。

ドーハ市域の自然の地下水のEC値は 7,000～13,000(micro mhos/cm) の間で安定しており，EC 13,000 以上の地下水は更に深い地層に起源をもつものとされている。また

、EC 7,000以下の地下水は，生活関連用水で希釈され汚染されていると考えている。

ASCOサンプルについて，そのEC値の度数分布を求めると次のようになる。

表－3.1.2　ＥＣ値の度数分布

EC区分 ＼ 地層別	ダンマム層 (N＝49)	ラス層 (N＝16)	D & R 層 (N＝13)	計 (N＝78)
7,000 >	(21)	(2)	(1)	(24)
10,000 >	(11)	(6)	(5)	(22)
13,000 >	(7)		(5)	(12)
16,000 >	(2)	(2)	(2)	(6)
19,000 >	(2)	(1)		(3)
22,000 >	(1)			(1)
25,000 >	(1)	(1)		(2)
25,000 >	(4)	(4)		(8)
EC ＜ 7,000	40 %	13 %	8 %	31 %
7,000＜EC＜13,000	36 %	40 %	77 %	44 %

ダンマム層の地下水より採取したサンプルの40％がEC＜ 7,000であり，ダンマム層の地下水は，生活関連用の水によって相当に希釈あるいは汚染されていると見做すことが出来るであろう。

③　地下水の汚染状況

Ｂリング道路内のドーハ市中心部の地下水は非常に汚染されていて，K，NO_3，PO_4が高い。Souq，Cable & Wirless 円形交差点等でのワジ　ムシリブ低地の浅い地下水は地表面下１ｍにあって，５項目の指標（PO_4, NO_3, Na, K, SO_4, Cl)によって下水，浄化槽，汚水溜からの下水の混入が明らかであり，H_2S の刺戟的な臭のする水もある。

3.1.3 提案事項および勧告事項の集約

既往調査報告書の中で提案，勧告もしくは政策として示されている事項をまとめるとおよそ次表の通りである。

表－3.1.3 ドーハ市地下水排水対策に関する提案事項の概要

	a 緊急対策	b 長期対策	c 政策
対象地域	(1)ワジ ムシリブ ウェルフィールド地域 (2)モンタザ公園／アルタダモンランダバウト地域	ドーハ市及び ウムサイド地区	ドーハ市及び ウムサイド地区
目的	(1)対象地域内の地下水位低下 (2)先行試験の実施 (3)長期対策への情報と資料の提供	(1)2つの地下水マウンドの水位を1982年の状況に抑止 (2)地下水の深さ2m未満地域の解消	地下水問題解決のための対策や事業の推進における行政サイドからの促進と寄与
対策事業の項目または施策	(1)地下水の横方向排水を加味した雨水排水施設の刷新 (2)過剰地下水の垂直排水 (3)井戸によるローカルな地下水の抽出 (4)地下水排水の先行試験計画の実施 場所：ワジ ムシリブのウェルフィールド 項目：横方向と垂直方向について (5)留意事項 地下水位の排水・低下時，基礎や地下構造物への影響の回避 （地下水位低下の方法，水位，速度）	対策についてはaと同じ（他に） (1)抽出地下水の利用 再処理とかんがい利用〔グロスリチャージの低減策〕 (2)節水型かんがいシステム (3)排水管，アスベスト管類の更新 (4)排水管，排水管類の漏水検知システム (5)浄化槽，汚水槽の除却 (6)下水道施設の拡張 (7)ＴＳＥの将来利用課題の見直し	(1)水資源調整政府委員会 (2)垂直排水の先行試験計画の推進 (3)データベースの保存と数理モデルの導入 (4) モニタリングによる早期警告システム (5)管類破損の検知と早期修理システム (6)ウェストベイ地区の地下水排水 (7) 埋立地利用の人工涵養 (8)ブレンド用水の炭酸塩化装置による切替 (9)抽出地下水の公共かんがい利用 (10)深根性及び耐塩性植物の植栽 (11)建築認可の安全対策の義務付け (12)水道料金制度の導入 (13)節水に関する教宣活動

3.2　地下水上昇による被害

最近，関係政府機関では，地下水問題が深刻になってきていることが認められているが，この問題は，市民にはまだ広くは知られるところには至っていない。

もし地下水が抑制されずに上昇することを放置するようなことになれば，将来，その対策に膨大な費用を要することになると考えられる。

地下水上昇による被害を測定するため，現場踏査と聞き込み調査を行なった。その調査結果と結論は次のとおりである。

3.2.1　現場踏査

地下水上昇問題について，まずはじめに停滞水や枯木の目視観察からはじめた。

次に，地下水上昇による被害だけでなく，特定の水力設備によって実際にひき起されている被害の視察も行なった。

(1)　停滞水

最初の調査は1986年の2月6日から10日にかけて行なった。それは，7.4mmの雨が降って多くの街路が停滞水による影響を受けたすぐ後であった。2回目の調査は，1986年3月23日から24日まで行なったが，最初の調査で停滞水による影響を受けた街路は乾いていた。

この2回の停滞水域を比較すると停滞水の源を2種類に分ける事ができ，図－3.2.1のように，雨水と地下水を源とするものである。雨水による停滞水は，降雨量と降雨分布によるので，図－3.2.1は時間と共に変化する雨水後の洪水範囲のある一時期の形態を示していることになる。

下記の区域は地下水による停滞水が見られる。

- ラヤン
- ワジ　ムシリブ　ダムのすぐ下流のアブサディラー
- ワジ　ムシリブ　ダムの上流 700から 800メートルの所の右岸
- アル　アハリ　スポーツ　クラブに近い農園跡地
- アブ・ハムール

(2)　枯　　木

枯木の踏査は1986年2月1日から同月25日まで実施した。その分布は図－3.2.1

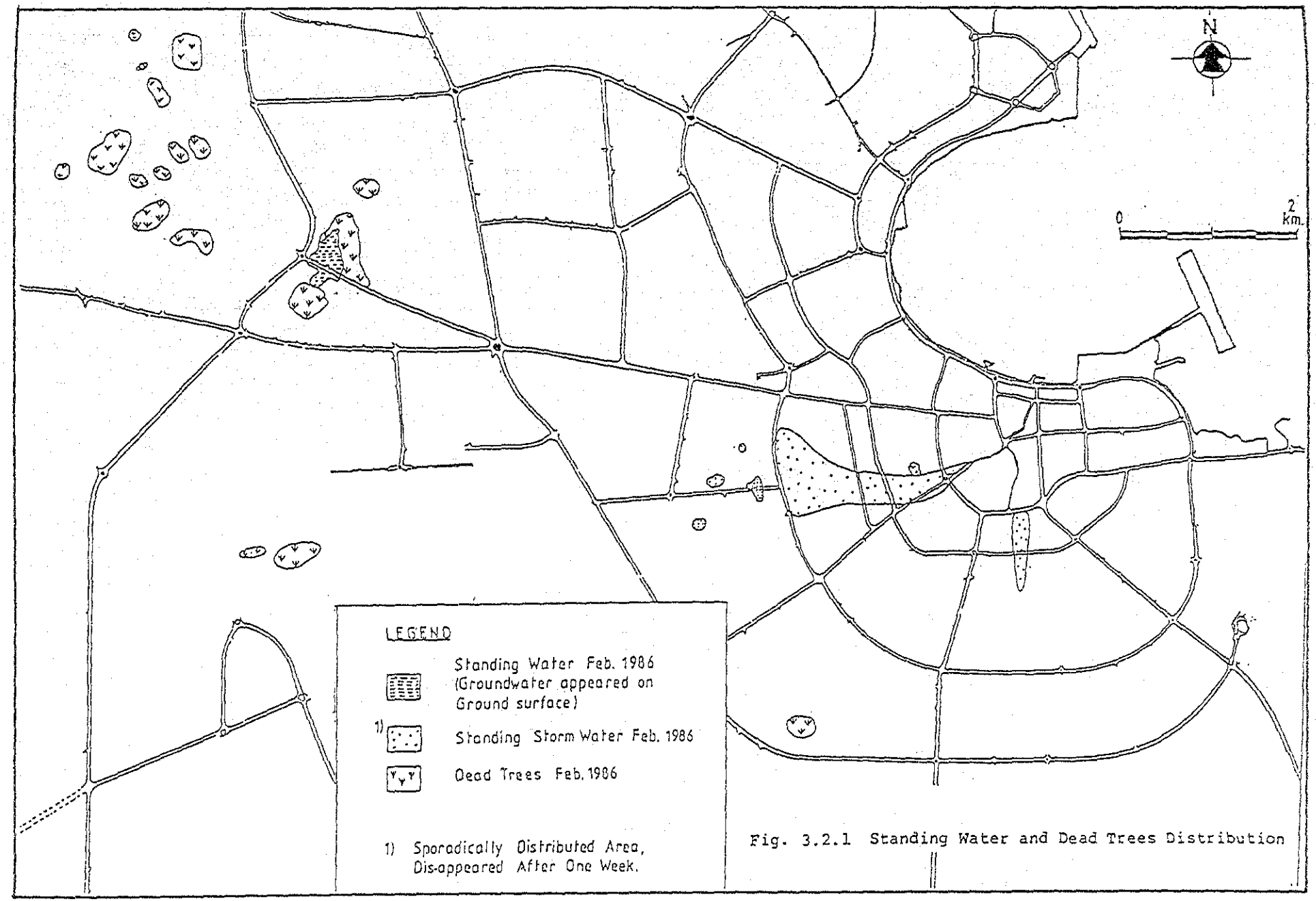


Fig. 3.2.1 Standing Water and Dead Trees Distribution

に示すとおりである。枯木を見た時の第一印象は，地下水上昇に起因しているように思われた。けれども，木が枯れる理由はたくさんあり，地下水上昇はそのうちの一つに過ぎなかった。

(3) 建家地下室，道路及び地中公共設備

地下水上昇による地下室，道路及び地下公共設備への被害の程度を測定するため政府機関を訪問し，実際にいくつかの被害を観察した。

地下水に浸った地下構造物のほとんど全部が影響を受けている。そして，補修や新規工事を行なう事が必要になってきている。

地中構造物の止水の不十分な箇所では地下水位の上昇に伴って漏水が避けられない事態となってきている。

塩の粒子が地下壁の表面に付着している。

地下水による金属部分の腐蝕は広範囲にわたっており，このことはコンクリート構造物の鉄筋が腐蝕している可能性がある事を示唆している。

図－3.2.2に我々が訪問した被害を受けたいくつかの現場の位置とおおまかな状況を示す。

道路については，路床の強度が地下水の上昇によって路床が飽和状態となり減少してきていると考えられる。路床の維持管理が難しくなる。

3.2.2 被害の聞き込み調査

聞き込み調査は地下水上昇による市のサービスやその他の活動に及ぼす被害の程度を確認する目的で行なった。聞き込みは1986年2月24日から3月23日までの1ヶ月間行なった。補足聞き込みは1986年11月の後半に行なった。

カタール政府の高官，ＴＬＣのメンバー，農場主，コンサルタントや請負者と面談し，下記の被害に関する情報を得た。また，いくつかのケースについては，現地視察によって確認された。

(1) 電力網

(a) 維持管理作業と修理工事に要する時間とコストの増加

(b) トレンチ充填材の洗い流し

(c) 防水対策の効果がなくなってきたか，または，最初から不十分であった古い配

SITE	STATUS	DAMAGE
1) Qatar National Museum	Completed	Leaks in aquarium which is underground. Pencol prepared a report for remedy.
2) Ministry of Finance & Petroleum	Completed	Leakage in basement. White, Young & Partners consultants investigated and concluded leakage due to tidal water. Remedial work executed.
3) Al Khaleej Insurance Bldg.	Under Construction	Costly dewatering operations during foundations construction raised foundations costs by about 1.5 times.
4) Abdallah el Attiyah Bldg.	Under Construction	Leakage in basement due to insufficient insulation. At time of construction start groundwater was not at shallow depths. Owner having problems sealing basement and cannot receive completion certificate. 4 consultants have been requested to help in addition to Doha Municipality.
5) Exchange Chamber, QNTS	Completed	Groundwater leakage at points of entry of cables into chamber, despite many efforts to seal. 3 years ago chamber was filled with water causing service disruptions. Sump pit and pump installed recently.
6) Abdallah Sherif Bldg.	Completed 9 - 10 years	Leakage is occurring in basement from two opposite walls. Behind one wall is a sewerage cess pit, and there is a garden behind the other. Residents complain water sometimes reaches 15 cm above basement floor.
7) Ahmed Bin Mohd. Al Thani Bldg.	Constructed 6 - 7 years ago	Leakage of basement. In mid 1985 extra thickness of concrete was poured on basement floor to a ht. of @ 50 cms, and since then no leakage has been reported. Groundfloor occupied by shops and car showrooms. Completion certificate withheld by Doha Munic. because of exceeding ht. limits and leakage problems.
8) Commercial Offices Bldg.	Under Construction, finishing stage. Construction started 3 years ago	Leakage appeared during winter 1985 at lift pits, and was repaired by sand & cement spray under pressure over wire mesh. In Feb. 1986, after some heavy rain leakage appeared in basement floor construction joints. Water samples were taken from pit dug beside the basement wall where water level was at a depth of 1.4 m.
9) Montazah Park Swimming Pool Pump Room	Constructed about 19 years ago. Room all underground. Dims. 10x10 m	Leakage at wall which is opposite common wall between swimming pool and pump room. No insulation applied at time of construction. Room floor damp and salt contamination appearing on walls. Consultants have been called in but no remedial decision has been reached.
10) National Theater	Completed	Leaks in basement. White, Young & Partners consultants investigated and remedial work executed. Leakage due to tidal water, consultants believe. It is also believed that irrigation water is also to blame.

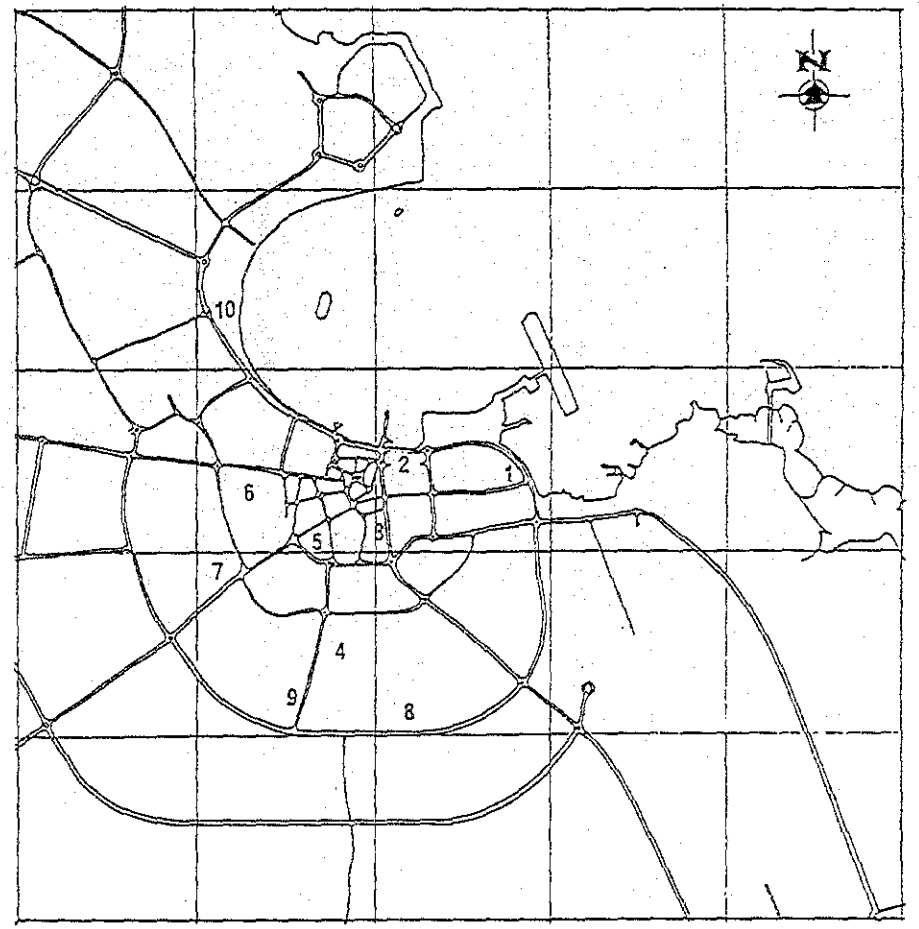


Fig. 3.2.2 Location of Some Structures Effected by Rising Groundwater

電ケーブルに対する被害

(d) 変電所の沈下やひび割れを引き起こす可能性があること

(2) 電話サービス（ＱＮＴＳ）

(a) 地下水が電話ケーブルをまいているＰＶＣダクトの中を流れてマンホールを水浸しにしている。

(b) 水びたしのマンホール内での接続や修理作業を行なう場合，余分の時間とコストがかかる。

(c) ケーブル・アンド・ワイヤレス本社前の主変換室内への地下水の漏水及び室内の壁に見られる塩の付着

(d) いくつかのマンホールでは硫化水素が発生しＱＮＴＳ作業員に健康上の障害をもたらす。

(3) 下水網

(a) 下水網への地下水の流入は地下水全流量の約30％である。

(b) 新旧マンホールの防水とＧＲＰライニングの追加費用

(c) 地下水位の高い区域の布設および補修工事の費用増加

(d) 下水流量の増加によるポンプ寿命の短縮

(e) 塩分の多い地下水によるポンプの羽根車の腐蝕

(f) 処理下水の放流水中の塩分

(g) 硫化水素による悪臭と腐蝕

(4) 上水配水網

(a) 排水工事の必要な場所での設置費用の増加

(b) 鋳鉄管と鋼接続管での腐蝕

(c) パイプの破損についての誤った苦情に対応するために要する時間的，費用的被害

(d) 飲料水の供給が時間によって間欠的になっている市内の区域における供給停止期間中のシステム内への地下水の流入

(5) 道路網

(a) 市内とラヤンにおける旧道の被害

(b) ワジ　ムシリブのいくつかの道路で地下水位がタールマックの直下にある。

(c) 地下水に対する保護として路盤を厚くすることによる追加費用（例えばウェスト ベイ）

(6) 停滞水

(a) ラヤンでは，農園跡の停滞水が，悪臭の根源および蚊の繁殖場所になっている。

(b) ワジ ムシリブでは，豪雨の後１週間水がたまっている道路がいくつかある。

(7) 耕 作

(a) ラヤンの土壌中の塩類集積汚染

(b) ６ヶ月から12ヶ月前から地下水が地表面より上昇し始めた時，ヤシの木が枯れ始めたというラヤンの何人かの農家の人の意見がある。

(c) 聞き込み調査を通じて，木が枯れたことが地下水とは直接結びつかない理由を聞いた。この問題については検討していないため，調査団はヤシの木や植物が枯れるのが，地下水と直接因果関係があるとは断定できない。

(8) 構造物の安全性

(a) 質のよくない材料で，粗悪に施工された古い建物が地下水の高い地区にあるような状況下では，構造物の安全性が，問題となる恐れがある。

(b) 地下水の漏水，地下壁の塩の付着および鉄筋の腐蝕は広範囲にわたっている。

(c) 地下水の浅い地域では基礎工事の建設費が高くなっている。多くの開発会社は，費用を安くするため高層ビルや地下室の建設を避けている。

(d) 現在のカタール建築規準は地下水に対する地下構造物に関する規定を含んではいるが，多くの場合，この規定は守られていないか，もしくは，充分考慮されていない。

ＪＩＣＡ調査団と同様，面談者の多くは図面や構造計算書のチェックや建設工事監理をもっと厳密に行なう事が必要だと確信している。市内のいくつかの区域において地下水が浅くなっているので，この事が必要と思われる。

3.2.3 被害の体系的分類

被害を次の概念から直接的被害と間接的被害に分類した。

直接被害 ： 地下水上昇に直接起因する被害

間接被害 ： 直接的被害から派生する被害

(1) 評価基準

地下水面の上昇によって起こる被害の範囲を特定するために被害の評価を行なうことが必要である。コスト面から被害を計量的に評価するため，データを得ることを試みたけれども，種々の施設の責任官庁からは必要な数字は得られなかった。

このような情報を得られない理由として，関係者が説明したのは，予算内訳が入手できないかあるいは機密であるということであった。

このため，ＪＩＣＡ調査団は，地下水上昇の被害がもたらす影響の面から被害を評価することを試みた。

直接被害の場合，次の基準を用いた。

ｉ）設備の機能低下

ii）維持管理費の増加

iii）建設費の増加

iv）運転費の増加

ｖ）健康への障害

vi）設備や機器寿命の短縮

vii）質の低下

間接的被害の場合，次の基準を用いた。

ｉ）土地利用の可能性の減少

ii）メンテナンスや施設工事中の交通への障害

iii）土地および建物の資産価値の減少

iv）地下水利用環境の劣化

(2) 評　　価

サポーティングレポートの表－Ｄ－１に各分野に影響を与えている被害およびその影響面からの評価を詳細に述べてある。

上記の評価基準によって区分された項目毎の直接被害は次のとおりである。

ｉ）設備の機能低下

－ＱＮＴＳ：変換室内の漏水

－電　　気：他の設備によって被害を受けたケーブル内への地下水の浸入

－下　　水：30％の地下水が下水管路網に浸入していること。

ii) 維持管理費の増加

－ＱＮＴＳ：排水マンホール

－電　　気：排水トレンチ

－下　　水：排水トレンチ，ポンプ羽根車の腐蝕，ポンプ破損の増加

－道　　路：市内およびラヤンでの道路被害および道路からの停滞水の除去

－構造物　：漏水している地下室の排水

iii) 建設費の増加

－ＱＮＴＳ：排水マンホール

－電　　気：排水トレンチ

－下　　水：排水トレンチ，新設マンホールの防水ＧＲＰライニング

－飲料水　：ウェストベイの排水トレンチ

－道　　路：ウェストベイの道路においては路盤の追加

－構造物　：地下構造物建設時の排水

iv) 運転費の増加

－ＱＮＴＳ：変換室での連続的排水

－下　　水：下水網への地下水30％の流入

v) 健康への障害

－ＱＮＴＳ：いくつかのマンホールにおいて下水が，地下水と混合され硫化水素が発生している。

－停滞水　：蚊の発生源と悪臭の放出

vi) 設備や機器寿命の短縮

－電　　気：電線の腐蝕，ケーブル沈下，古い変電所の沈下

－下　　水：ポンプ寿命の短縮，ダクトの沈下

－飲料水　：潜在的腐蝕の作用

－排水機器：機器寿命の短縮と摩損

vii) 質の低下

－飲料水　：飲料水網へ地下水流入の可能性がある。

－構造物　：コンクリートの劣化

－植　　物：土壌塩害，かんがい用地下水の塩分の増加

間接的被害についての表の要旨は次のとおりである。

i) 土地利用の可能性の減少

－将来の建設プロジェクト設計の変更

ii) メンテナンスや敷設工事中の交通への妨害

－排水機器を置くため道路を部分的に占拠する。

iii) 土地および建物の資産価値の低下

－表土層の塩類集積

iv) 地下水利用環境の劣化

－臭や蚊等の停滞水に対する不快感

－娯楽用地における地下水問題

3.2.4 地下水位と被害との関係

(1) 地下水位と被害形態

地下水位上昇による被害形態は，地下水位の位置により図－3.2.3に示すように次の3つに区分できる。

① 停滞水域：停滞水の出現による被害域

② 毛管湿潤域：毛管帯が地表面に現われ，高温乾燥により塩類の集積を伴う被害地域

③ 地下水位上昇域：停滞水，毛管湿潤域を伴わない地下水位上昇による被害域

(i) 停滞水分布域での概要

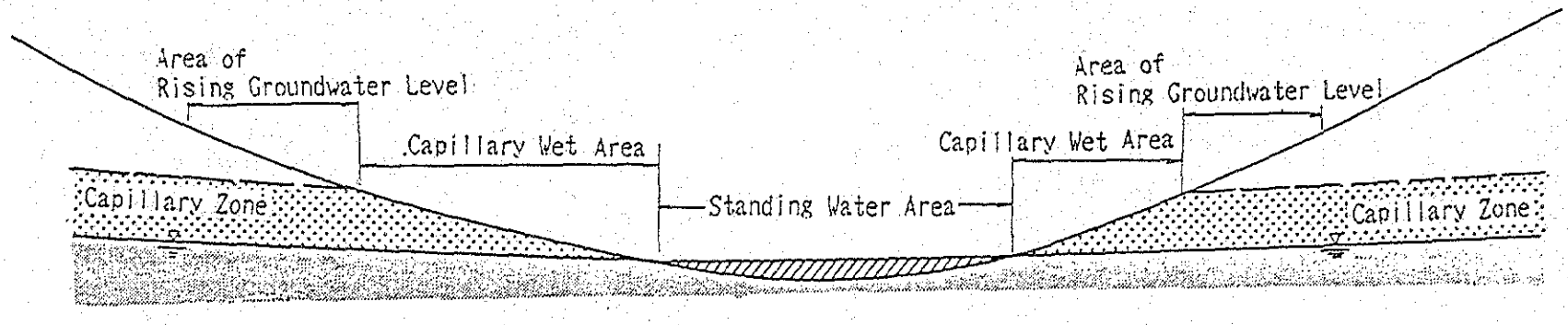
① 通行への障害

道路が冠水すると，交通渋滞の障害が生じる。ワジ　ムシリブ地区では雨水直後に起こる。ラヤン地区では，主要な道路は高く盛土されているのであまり見当たらない。しかし，私有地内の未舗装道路が冠水していたり，ぬかるんで通行不能になっている。

② 虫・微生物の繁殖による被害

停滞水が発生すると生態系に変化が起こり，微生物・昆虫類等が繁殖し，人間生活に悪い影響を及ぼす危険が高くなる。

一般に，表流水の資源開発では，蚊の繁殖を制御するため，テラピア（魚）を飼うことを推奨している。



(1) Damage in Standing Water Area

1 Disturbance to Traffic

2 Propagation of Insects and Microbes

3 Pollution of Groundwater Resources by High Salt Content of Standing Water

(2) Damage in Capillary Wet Areas

1 Salt Accumulation in Soil

2 High Saline Soil Moisture

3 Reduced Permeability of Top Soil

4 Increased Wetting Phenomenon

5 Softened subsurface and Deformed Subsurface

(3) Damage in Area of Rising Groundwater Level

1 Lowered Function of Septic Tank

2 Increased Groundwater Inflow

3 Generation of Uplift

Fig. 3.2.3 Relationship between Groundwater Level and Damage

③　停滞水の高塩水化による地下水資源への汚染

停滞水が出現すると太陽熱による蒸発作用を強く受け，停滞水の塩分濃度が上昇する。このような高塩水が比重差により再び地下に浸透する可能性があり，このような高塩水が地下水中に拡散していくと，これまで利用できた地下水も全く利用できなくなる可能性が高い。

（ii）毛管湿潤域での被害

①　土壌中の塩類集積

高温・乾燥地域での土壌面からの蒸発は著しく，毛管力により地表面に移動してきた土壌水分中の塩分は固着し，塩類集積を生じる。塩類集積が進んでしまうと放棄されてしまうことが多く，元の状態に戻すためには，塩類集積した土壌を掘削し，新しい土地で置き換えなくてはならず，大変な保全作業となる。

②　土壌水の塩水化

土壌水は高温乾燥条件の下ではその塩分濃度が濃縮される。

このように土壌水の塩分濃度が上昇すると，浸透圧が変化し，植物は根から水分を吸収することが困難となる。土壌水の塩分濃度を下げるためには，除塩する必要がある。

また，土壌水の塩分濃度は地下水の塩分濃度よりはるかに高くなるので耐塩性のないコンクリート基礎，構造物，鉄管等は腐植作用により劣化し，その寿命が短くなる。このため，地下構造者は外装シールや耐塩性コンクリートの使用等で対処しなければならない。

③　地表面からの浸透能の低下

土壌空隙中に塩類が沈着すると空隙は小さくなり，通気性・透水性が悪くなる。

植生に対しては，土壌の通気性が悪くなることにより土壌への酸素の補供が悪くなり，還元状態となって悪い影響を及ぼす。土壌の通気性をよくするためには，深く耕すことや，土壌中に塩類が集積しないように，かんがい排水施設による土壌水中の塩分のコントロールを行なう必要がある。

また，地表面からの浸水性が悪くなることによって，降雨後の滞水状態が

長びいたり，植生のための除塩対策が低減することもある。

④　湿潤現象の増大

毛管帯が上昇してくると，コンクリート壁が湿ったり，コンクリート中の割れ目をつたって鉄筋が錆る恐れがでてくる。対策としてはコーティングすることが効果的である。

また，地下施設内が湿潤状態になることにより機能低下が生じるケースがある。ケースに応じて，コーティング，室内乾燥等の対策がある。

⑤　土壌の軟化・変形

土壌水分が多くなることにより，土壌骨格を充てんしている粘土粒子が軟化して，地耐力が低下することがある。

一般に建物の破損した場合は，その原因が複数の要因が重なり合っているので，単純に土壌の軟化が主原因となるケースは少ないものの補助要因として働く恐れがあるので留意する必要がある。

土壌中に集積された塩類が，再び上水のような溶解性の高い水と接触することにより塩類の溶脱が生じて土壌骨格に変化を生じ，地耐力が低下することもある。

このようなケースは上水管からの漏水に起因する局所的な地盤の変形が起こる可能性がある。

（iii）地下水位の上昇による被害

①　下水浄化槽の機能低下（不飽和帯の減少）

下水浄化槽は，下水が地下に浸透する際の土壌吸着作用により下水を浄化し流下させるものである。地下水位が上昇してくると，下水浄化槽底と地下水面までの深さが十分でなくなり正常に機能しなくなる。極端な場合，下水浄化槽は浸透しなくなり，地表面に下水が溢れ出して悪臭を放つ。

一般的に地下水位が低下すれば，下水浄化槽の機能は回復するが，よりよい環境をつくるためには下水整備事業により下水を集めることが望ましい。

②　地下流動量の増加

地下水位が高くなると，基礎工事費（防水工，じゃり層の設置）が増大する。

また，地下埋設施設の維持管理費は排水量が増大し，それに要する日数もかかるので増大する。対策としては，地下水位を広域に下げるかの2つの方法がある。

地下構造物の浸水については，防水の強化，排水施設の設置で対応できる。

また地下水の下水管への流入により下水処理量が増大することに対しては，下水処理能力を強化すると共に，下水管への地下水流入を抑止することも考える必要がある。

③　揚圧力の発生

地下水位が上昇してくると地下構造物に揚圧力が作用し，ひび割れ，不同沈下を招く。被害の程度にもよるが，設計段階から，揚圧力も検討事項に加えておく必要がある。

(2)　地下水位低下の方法

(ｉ)地下水位低下対策工の必要性

地下水位と被害形態について，地下水位対策工の必要性を示したものが表－3.2.1である。被害形態のレベルは停滞水域，毛管湿潤域，地下水位上昇域の値で把えることができる。

特に緊急対策事業として取り上げる場合，農業分野でいうWater Loggingのような状態にある地下水を解消することが最優先されるのでないだろうかと判断される。

(ii)地下水位と地下構造物の設置深層との関係

主要な地下構造物の設置深度，植物根の長さ等を概略把握するため，現地視察および聞込み調査を行なった。調査結果を表－3.3.2に示す。

Table 3.2.1 Damage Caused by Groundwater Rising and Countermeasures

Area	Phenomenon	Type of Damage	Selected Countermeasure
Standing Water	Occurrence of Standing Water	Disturbance to Traffic	A
	Propagation of Insects & Microbes	Possible Outbreak of Diseases	A
	High Salt Content of Standing Water	Reduced Value of Groundwater Resource	A
Capillary Wet	Salt Accumulation in Soil	Negative Effect on Land Use	A
		Diminished Spaces in Soil	B
	Salination of Capillary Water	Damage to Vegetation	A
		Chemical Reaction of Concrete & Iron Pipes, etc.	C
	Poor Permeability	Poor Leaching Effect	A
	Increase of Wetting Phenomenon	Reduced Function of Underground Facilities	B
	Softened or Deformed Subsurface	Cracks & Subsidence	B
	Diminished Unsaturated Zone	Reduced Function of Septic Tank	B
Rising Groundwater Level	Increased Groundwater Flow	Increase Cost of Foundation Construction	B
		Increased Maintenance Cost of Underground Facilities	B
		Flooding of Underground Structures	B
		Increased Volume for Sewage Treatment	B
	Generation of Uplift	Occurrence of Cracks & Uneven Subsidence, etc.	C

A: Items where measures to lower the groundwater level over a wide area are particularly effective.

B: Items where local measures are expected to show considerable effect.

C: Items where the established damage is difficult to repair.

Table 3.2.2 Assumed Desirable Groundwater Level at Wadi Musherib and New District

Main facilities and structures which seem to have bad effects due to rising of groundwater	Assumed depth of cover (m)	Assumed desirable groundwater level for each facility
(1) Pipes and manholes of sewerage network	1.2 - 6.0	
(2) Septic tanks and soakaways	* Bottom elevation of soakaways 3.0 - 4.0	3.5 - 4.5
(3) Cables and chambers of telephone distribution network	0.4 - 2.0	2.0
(4) Cables and chambers of electric power distribution network	0.4 - 1.5	2.0
(5) Pipes and chambers of potable water distribution network	0.9	1.4
(6) Pipes and manholes of surface water sewer	1.2 - 3.0	2.0 - 3.5
(7) Pipes and chambers of TSE distribution network	1.0	1.5
(8) Roads	* Bottom elevation of base course 0.3 - 1.0	1.5
(9) Buildings	* Bottom elevation of foundation 1.0 - 1.5 * Bottom elevation of basement 4.0 - 4.5	1.5 5.0
(10) Plants	* Roots of grass 0.3 - 0.5 * Roots of trees ? (Depends on kinds of trees)	?

（iii）望ましい地下水位

停滞水域と毛管湿潤域の解消目標として望ましい地下水位を検討する。毛管上昇による塩類集積は，高温乾燥の影響を強く受ける地表面下30cm程度までに集中する。

地下水の塩分濃度が高くなると，土壌空隙内で塩分の固着が生じて空隙径が小さくなり，毛管力が強く働く，このため，地下水位の塩分濃度が高くなるにつれ，毛管上昇による塩類集積を記しやすくなる。

一般には，地下水の塩分が１～２gr／ℓ（0.1 ～0.2 ％）以下であれば地下水位の地表下１～1.5 m，10～15 gr／ℓ（1.0 ～1.5 ％）の濃度になると２～３ｍとなるといわれる。

現地調査の結果では，毛管上昇高は１ｍ程度であったので，毛管湿潤域を解消するための地下水位は１～1.5 ｍと考えられる。

地下水位は深ければ深いほど望ましいが，排水施設を深く設置しなければならず，これに要する工事費も増大するし，下槽からの塩分濃度の高い水を巻き込む危険性もある。

地下水位が地表面下１～２ｍの地域でのトラブルは，０～１ｍのトラブルに比べると軽微であるので，地下水位を1.0～1.5ｍ低下させるための望ましい地下水位は２ｍであることが好ましい。。

－限界地下水位　　１～1.5 ｍ

－望ましい地下水位　　２ｍ

3.3 水文地質

3.3.1 調査の目的

水文地質調査は排水対策を必要とする地域内の地質構成，水文地質的特性とその分布状況などを知る上で排水計画の基本的課題を解明するための最も重要な基礎調査の１つである。

地下水位上昇問題に対する具体的で最も実現性の高い対策として，側方集水による排水対策の解明が重要視され，このために，ワジ　ムシリブ，ラヤンの２ヶ所に試験施工が実施され，側方向集水の可能性が具体的に検討されている。

これらの背景から，水文地質調査は次のような２つの目的のもとに実施されている。

① 地下水対策事業を立案するために必要な調査地域内の地質構成と水文地質条件の解明

② 試験施工地点における水文地質構造の把握

水文地質調査は，地質踏査，電気探査，試験施工掘削断面の地質観察，コアボーリング，ルジオン試験からなり，水文地質解析結果は，排水計画基本構想に反映されている。

3.3.2 地形・地質

(1) 地　形

カタール半島の地形的形態は南の方で最高 100ｍほどの高地をもち，ゆるやかな起伏のある低平地である。既存試料（ＦＡＯ 1982)によれば，第三紀始新世の頃，カタールの陸地表面が形成された。

カタール半島は，Ｎ－ＳおよびＮＮＷ－ＳＳＥ方向の軸をもった褶曲構造があって，これと調和的に，ゆるい起伏をもった地形が形成されている。調査地域はカタール中央ドーム状背斜軸の東翼に位置し，東側に向かってゆるく傾斜する地質構造をもっている。

調査地域の地形は接峰面図（図－3.3.1）に示すように，標高８～16ｍの非常に緩やかな高台と海岸沿いの標高２ｍ以下の海岸低地に大別される。

高台中には接峰面図に示されるように，ＮＮＷ－ＳＳＥ方向に弧状に延びる盆状地形とこれにほぼ直交するＥＮＥ－ＷＳＷ方向に延びる盆状地形がいくつか認められる。

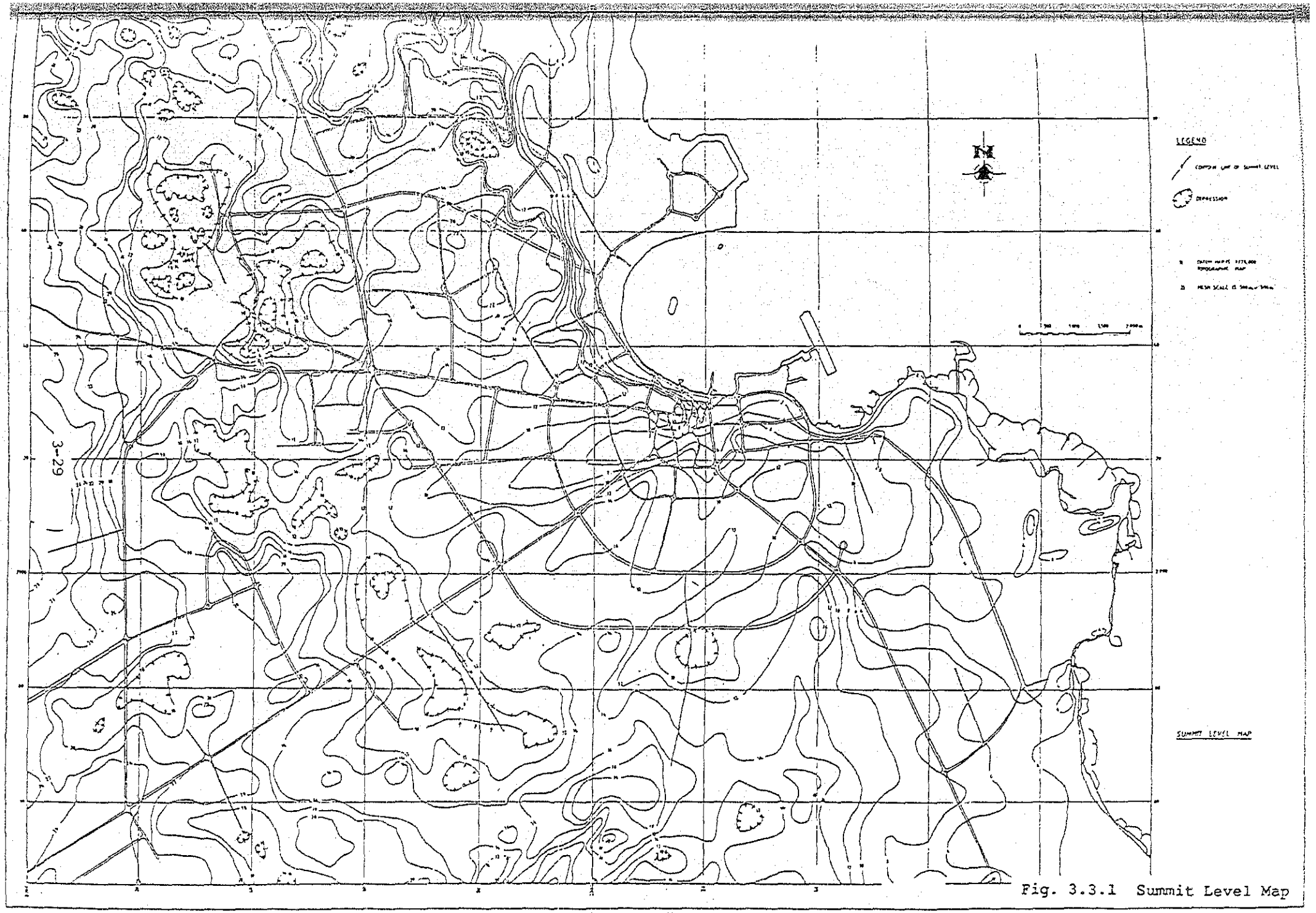


Fig. 3.3.1 Summit Level Map

これらの中で顕著なものは，ガラファ－ラヤン－マルキヤ－アブ　ハムール－ナイジヤを通るＮＮＥ－ＳＳＥ方向に線状に配列する盆状地形があげられ，これらの盆地の低部は標高６ないし８ｍで，周囲の高台よりも６～８ｍ低くなっている。

これらの盆状地形は，侵食によって形成されたものではなく，地質構造を強く反映した地形であり，そして海までの排水河川の無いものがほとんどである。

調査地域西側の高台と東側の海岸低地との境界部には，比高10ｍ程度のほぼＮＮＷ－ＳＳＷに延びる急崖が存在する。この急崖は，既往報告書によると円筒状の陥没崖の一部とされている。実際の急崖はドーハ湾付近でゆるく弧状にカーブしているが，北部ではほぼ直線上に延びているため，侵食崖あるいは構造性の壁（断層壁あるいは撓曲崖など）の可能性も考えられる。

また，ドーハ市内にはワジ　ムシリブ沿いの低地とモンタザ地域の低地の２つの低地地形が認められる（図－3.3.2参照）。この２つの低地地域は，地層の低標高部などの地質構造とよく一致することから，構造性の低地と考えられる。

調査地域北西部の海岸低地は，現在，都市開発中の土地であり，ニュー　デストリクトあるいはウェスト　ベイと呼ばれている。この海岸低地は，標高２ｍ以下（大半は１ｍ内外）の平らな低地であり，浚渫砂あるいは内陸から運搬された土砂により埋め立てられ，現在も継続中である。

(2)　地質及び地質構造

(a)　地　質

カタール半島は主に石灰質の地層で構成されている。最も古い地層は地表下1400ｍの深さにある上部ジュラ紀の地層で，サウジアラビアのアラブ層に相当する。その上に白亜紀，古第三紀，および第四紀の地層が被っている。

カタール半島にはＮ－ＳおよびＮＮＷ－ＳＳＥ方向に軸をもった２つの褶曲構造がある。この地質構造に関連して，半島の中央部北側では浅海堆積の厚い薄層の炭酸塩層が，南側では深海堆積の厚い硫酸塩層が，そしてその中間には残留性硫酸塩相の地層が堆積した。

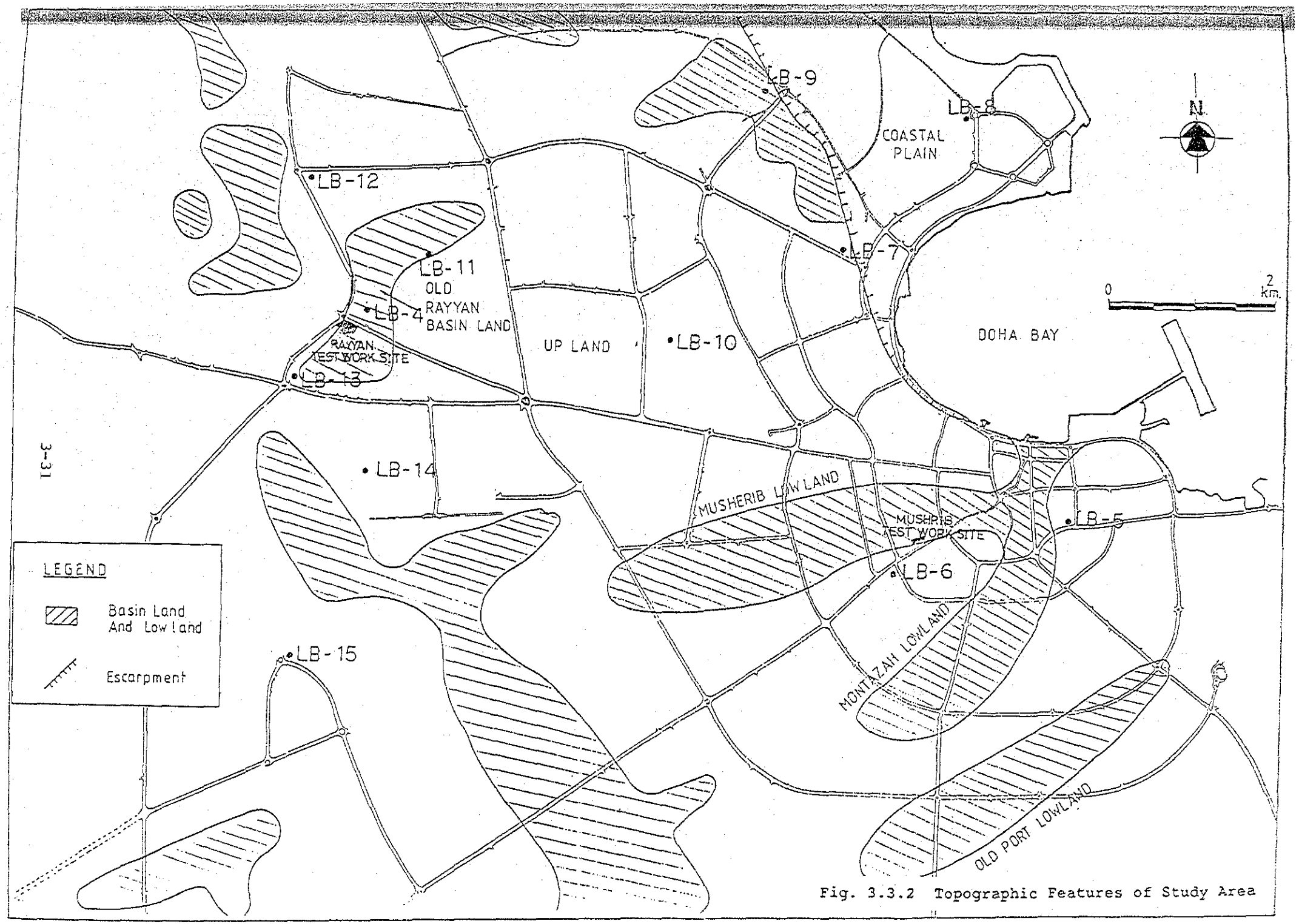


Fig. 3.3.2 Topographic Features of Study Area

以上の特徴的な岩相と関連した著しい水文地質的な現象は，硫酸塩相の地層の分布する地域がその中の硫酸塩の地層の溶脱によって陥没地形を生じていることである。それはミドラ頁岩と関係し，ミドラ頁岩の存在しているところではそれがあまり顕著ではなく，存在していないところでは顕著であり，その境界部に溶解崖が形成されている（図－3.3.3）。

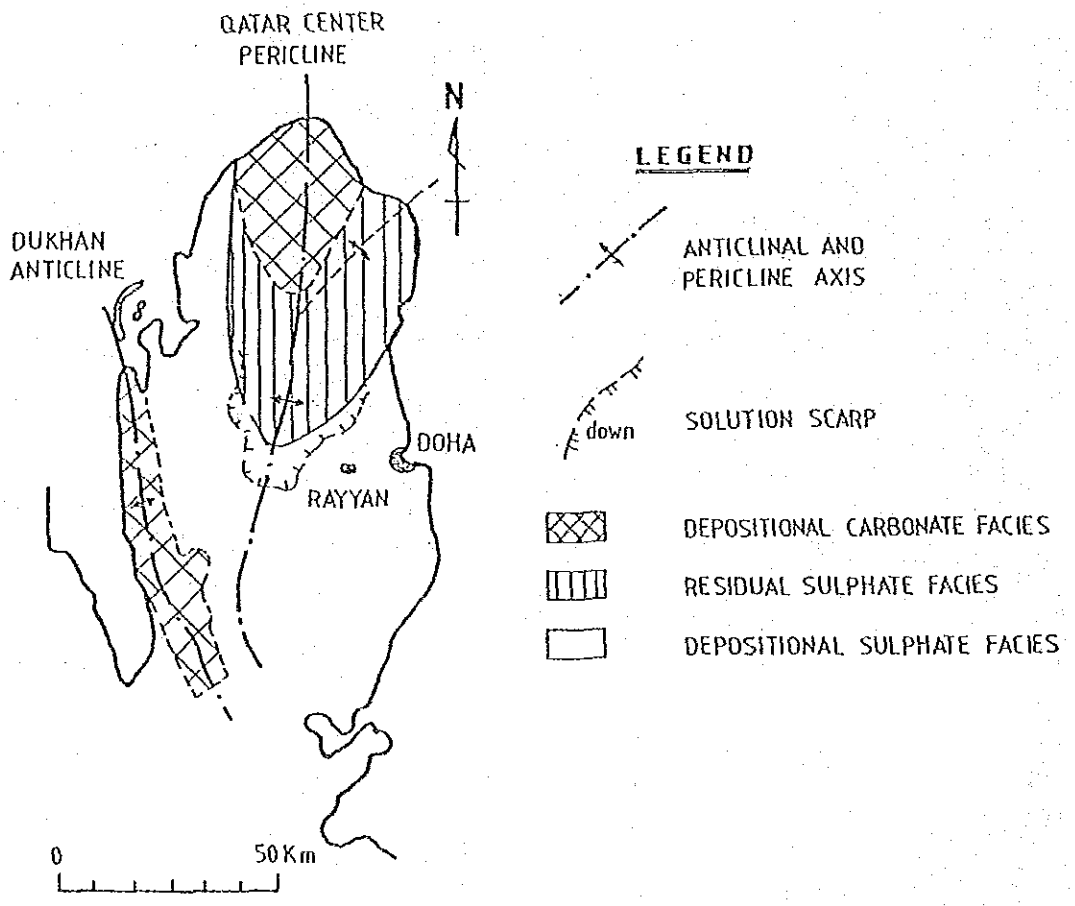


Fig. 3.3.3 Principal Geological Structure and Formation Facies Map
(simplified from FAO, 1981, Fig. 3.13 and Fig. 3.10)

調査地域で見られる地層についての層序を表－3.3.1に示す。

ドーハ市の地下水問題についての最も重要な地層はダンマム層である。本層は帯水層であり，今回の調査はこの地層に対して主力を注いだ。

ダンマム層は上からシムシマ石灰岩・苦灰岩層，アルビオリナ石灰岩層，ミドラ頁岩の4層に分けられる。水理地質的には上部（強風化帯），下部（弱風化帯）およびミドラ頁岩の3層に分けられる。ただし，ミドラ頁岩の厚さは従来いわれていた

Table 3.3.1 Lithostratigraphic Sequence and Hydrogeological Significance

AGE	FORMATION	SUB FORMATION	MEMBER	THICKNESS (m)	LITHOLOGY	HYDROGEOLOGICAL SIGNIFICANCE
Oligocene	-	-	-	-	Absent; major unconformity	Period of diagenetic alteration of Simsima Limestone to Dolomite enhancing permeabilities.
Eocene	-	-	-	-	Absent; major unconformity	
- middle	Dammam	Upper Dammam	Simsima Limestone and Dolomite	30	Originally, very variable but basically chalky limestone. Diagenetic dolomite replacement general through of variable thickness (up to 10m).	Forms 80% of Qatar land surface. Both facies important aquifers where phreatic levels near surface in coastal belt etc.
	Dammam	Lower Dammam	Alveolina Limestone	1	E1 marker; white compact fossiliferous chalky limestone	Lower Dammam, consisting largely of shale, has confining influence on Rus groundwater. Absence from northern 1/3 of Qatar of great recharge significance and controlling factor in removal of gypsum from underlying Rus Formation (See above)
Eocene - middle	Dammam	Lower Dammam	Midra Shale	10	Laminated, sub-fissile brown-yellow shale. Fossiliferous (sharks teeth) and with limonite and phosphate nodules.	
			Fhaihil Velates Limestone	1	White crystalline compact fossiliferous limestone	
Eocene - lower	Rus	-	Unit- 1 "Chalky Limestone"	25+		Anhydrite facies aquiclude.
			Unit- 2 "Anhydrite"	60+	Sulphate, Facies thick; anhydrite up to 50% with marl and some thin limestones.	
			Unit- 3 "Dolomitic Limestone"	? Abs		
Palaeocene	Umm er Radhuma	-	-	300+	Thick, alternating sequence of limestones and dolomites. Top 30-50m karstic dolomite. Marl content increasing downwards.	Upper unit excellent aquifer of very high storage coefficient and porosity. Remainder variable.

(After, Cavalier, 1970, IBTC 1980 and FAO, 1981)

From ASCO Report, 1983 Table 2.1

ほどの調査地域では厚くなく，砂質～シルト質の石灰岩を伴って存在するので下部ダンマム層と一括して呼ぶことにする。

また，ラヤンなど一部の地域でダンマム層の上位に石灰岩質の砂岩層が認められる。

（ｉ）砂岩層

砂岩層は，本調査地域ではニュー　デストリクトおよびラヤンの一部にのみ分布する。両地区とも石灰質の砂岩層である。

ラヤン地区の砂岩層の分布はボーリングＬＢ－４および地表踏査で認められ，５ｍ前後の厚さがある。しかし，電気探査の結果からその分布は狭く，ラヤン地区内に限られていることが分かる。

ニュー　デストリクトに分布する砂岩層の正確な厚さや分布は，その上位に埋め立ての砂等があるため分からないが，ボーリングＬＢ－８では幾分固結しているのが認められる。

（ii）上部ダンマム層

上部ダンマム層は本調査地域全域に分布し，地表踏査においても井戸等でその分布が確認できる一般的な地層である。本層は，苦灰岩質石灰岩を主として石灰岩，砂質石灰岩を伴う。

ボーリング結果等より本層の上位は風化が激しく割れ目が発達し，その割れ目を赤褐色の粘土等が充填している。しかし，下位にいくにつれて，その風化の度合いは弱くなる傾向にある。

（iii）下部ダンマム層

下部ダンマム層は，調査地域に広く分布する。下部ダンマム層の上面コンターを図－3.3.4に示す。下部ダンマム層の上面の標高は，低地部で－10～－15ｍ，周辺部において＋５ｍ前後であり，その形状は地形の特徴と調和的である。

下部ダンマム層は苦灰岩質石灰岩～石灰岩と砂質～シルト質石灰岩を主体としこれらに挟在する頁岩層（ミドラ頁岩）よりなる。

この頁岩層は１～数cmの厚さで１～４枚認められる。厚さは下部ダンマム層上部では厚いが下部にいくにつれて薄くなっている。同時に水平方向への連続性も必ずしも良くない。また，数mm間隔の多数の水平割れ目が発達している。

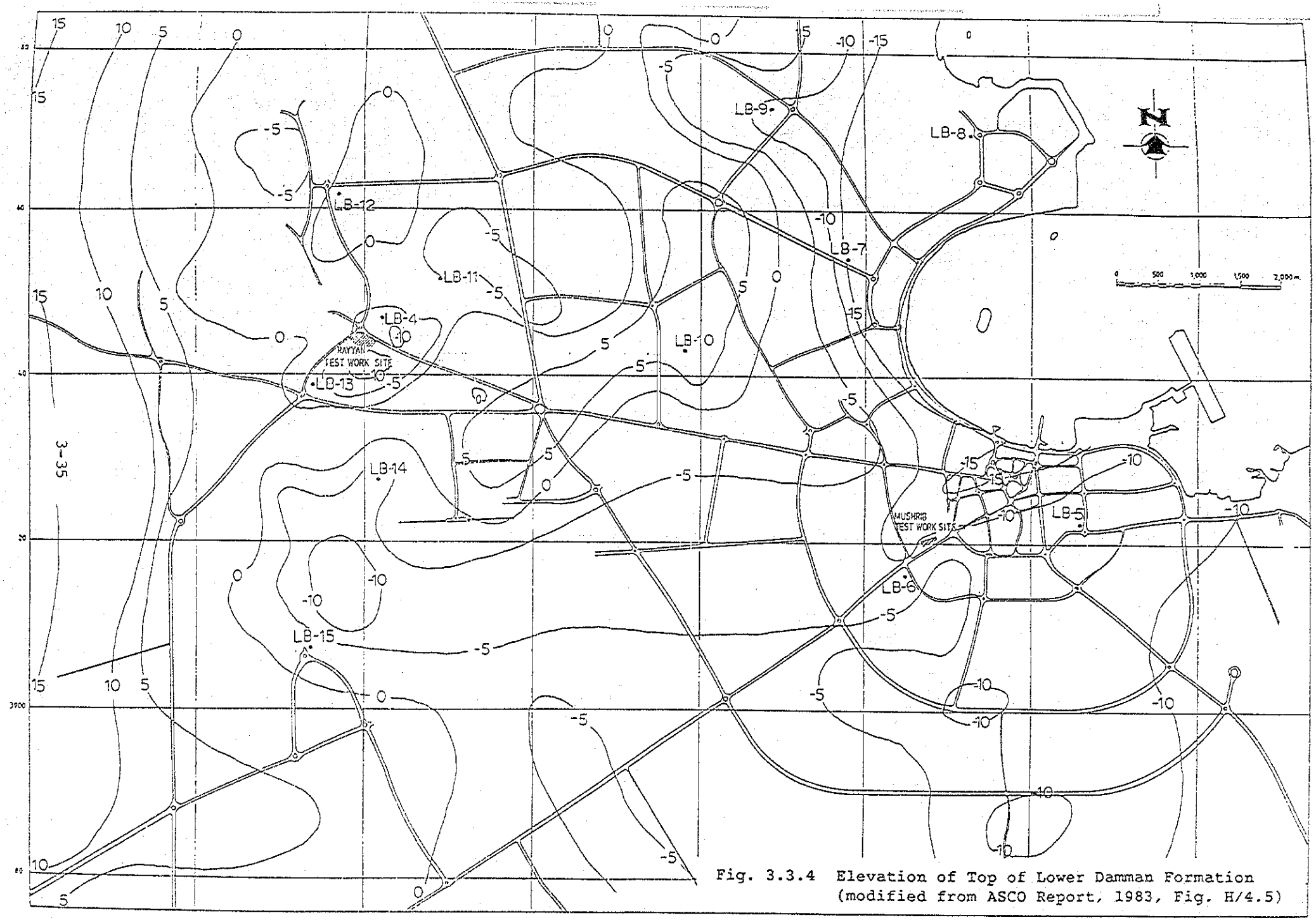


Fig. 3.3.4 Elevation of Top of Lower Damman Formation (modified from ASCO Report, 1983, Fig. H/4.5)

本層の主体をなす苦灰岩質石灰岩～石灰岩は，本層上部では卓越するが，下部にいくにつれて砂質～シルト質石灰岩へと変化しているのが見られる。

また、本層中には硬石膏～石膏がしばしば認められる。その，産状は水平に層状に入るもの，不規則に脈状に入るもの，および層中に斑点状に入るものが認められる。層状に入るものの多くは硬石膏であるが脈状，斑点状になるにつれて石膏がおおくなる傾向がある。層状に入る硬石膏には約20cmの厚さのものも認められるが，その連続性は認めがたい。

（iv）ラス層

ラス層は今回の調査では，確認できなかった。しかし，今回の調査のボーリングで認められる下部ダンマム層の下位は砂質～シルト質石灰岩へと変化し一部にはチョーク層の石灰岩を挟んでいる。これは，ラス層のユニット１の岩相に非常に似ている。また，下部ダンマム層とラス層は整合関係であることから，本調査のボーリングのＬＢ－６，ＴＢ－30（ラヤン試験施工地内）のすぐ下位にラス層の上面があると推定できる。

そこで，既往の結果と本調査結果よりラス層の上面コンターを作成した（図－3.3.5）。'Depression' とか 'Low' と表現されるラス層の上面の標高が深い部分と地形低地部の分布状況とは調和的である。

(2) 地質構造

既設の素堀り井戸などでの地層の観察によると，ラヤン地区盆地内ではいくつかの地点で地層が変形しているのが認められる。これらの地層の変形は陥没前の構造要素も保存されていると考えられる。それによれば，小規模な背斜，向斜軸および節理や小断層の方向は，すべて陥没地形の配列方向であるＮＷ－ＳＥ及びＮＥ－ＳＷ～ＥＮＥ－ＷＳＷの２方向に一致する。このことは，地層の中にインプットされた構造要素に関連するような何らかの構造運動がラヤン地区の陥没地を含む地域に現れたことを示すものであり，その配列が地質構造線（褶曲線，節理，断層など）の方向に延長していることから，陥没地形の形成は構造運動と関連しており，地質構造に規制されていることを示している。

また，これらの陥没地では上部ダンマム層の強風化帯の厚さが厚くなっている。このことは，地質構造線の形成後，地層が雨水の浸透などにより風化したためと考えら

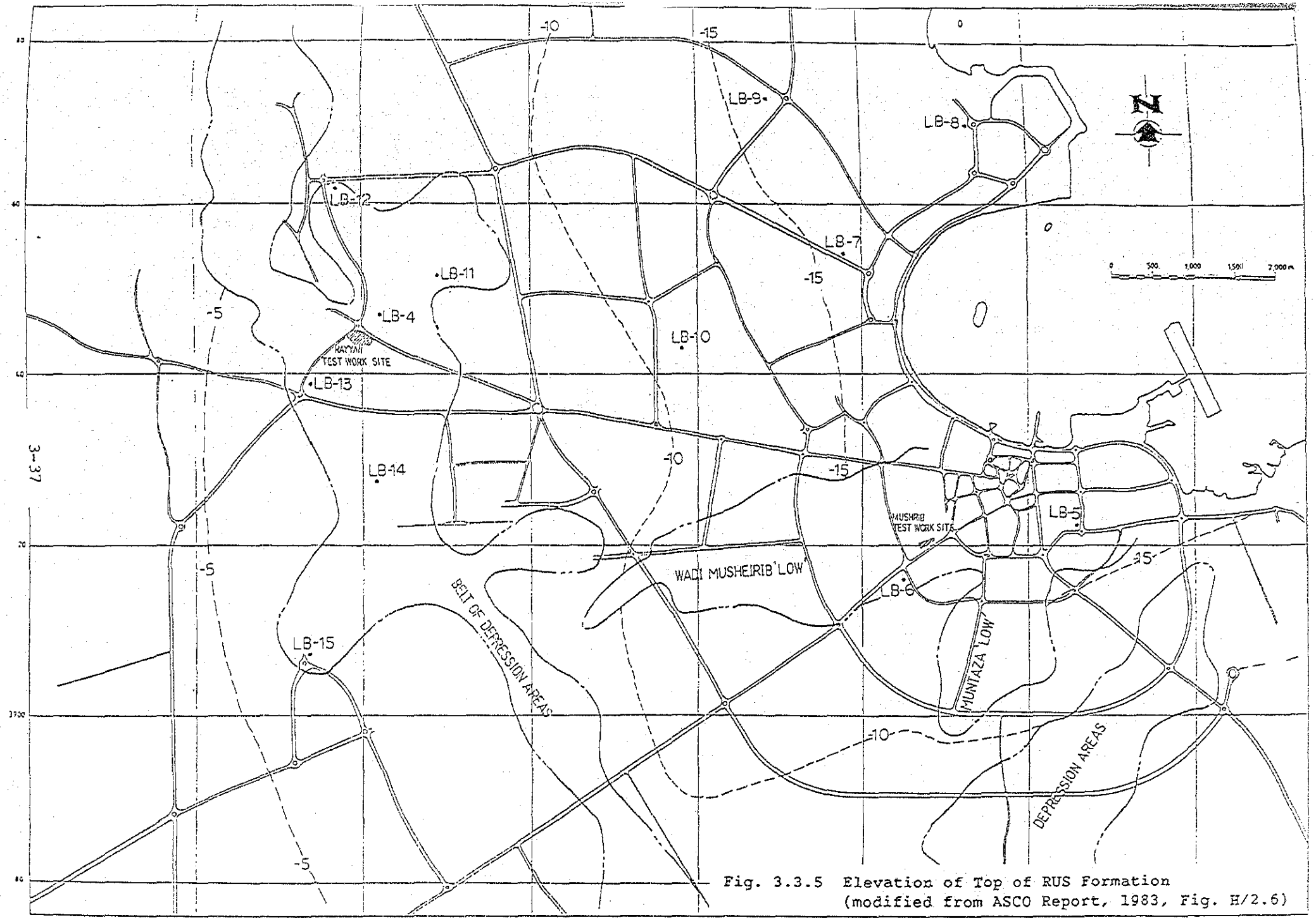


Fig. 3.3.5 Elevation of Top of RUS Formation
(modified from ASCO Report, 1983, Fig. H/2.6)

れる。その風化の度合いは，構造線の規模，岩相の違いによって異り，選択的に風化が進行したと考えられる。特に，調査地域周辺の地層は流水により溶脱が起こり易いため，上部の風化の進行が下位の地層の溶脱変形を促進し，下位の地層の溶脱変形が上部の地層の変形破壊を起こして，なお一層その風化を促進する。これらの繰り返しが調査地域の陥没地形を形成したと考えられる。

よって，以下のような地質構造発達過程史（図－3.3.6）が考えられる。

1) ＮＷ－ＳＥおよびＮＥ－ＳＷ～ＥＮＥ－ＷＳＷの断裂系が形成されて、

2) 断裂沿いに地下水が浸透および流動するためこの部分の硬石膏等が溶脱し空洞化が進み，断裂沿いに陥没地形が形成された。

3) これらの発達過程で構造線方向に配列した陥没地形や低地で特徴づけられた現在の地形が形成された。

(3) 水文地質

本調査地の地層は水文地質的に上部よりⅠ，Ⅱ，Ⅲの３層に分けられ，各層の特徴は次のとおりである。

(a) 各層の構成層とその特徴

（ｉ）Ⅰ　層

本層は，砂層および上部ダンマム層の強風化帯よりなる。上部ダンマム層の上部は，一部に粘土を挟在しているが，風化が激しく割れ目が卓越していて，高透水性を示すと考えられる。ラヤンでは表層に砂岩層が分布するが，固結度が低く高透水性を示すと考えられるので，水文地質的にはこれを上部ダンマム層強風化帯と区別をせず本層に加える。

本層は全域に広く分布するが，低地部で厚く高地部で薄くなる傾向を示し，ムシリブ低地とラヤン盆地では厚くなっている。両地域の最低標高部では，本層の厚さは５～６ｍであるが，周辺地域では１～２ｍである。ラヤン地区の南西（ＬＢ－13）では本層の分布は認められない。

Ⅰ層では，ルジオン値＊は，20 LU 以上と全体に大きく，100 LU 以上の値を示すものも少なくない。

＊　ルジオン値（LU）：パッカー試験において，注入圧力が10kg／㎠のもとで試験孔１ｍ当りの毎分の注入量（ℓ／min)を表している。すなわち，

1 LU＝１ℓ／min／ｍ／10kg／㎠

である。

1) Formation of fissures system of NNE-SSE and ENE-WSW directions.
2) Groundwater flows along the fissure lines accelerated the dissolution of sulphate layers to create the depressions along the fissure lines.
3) Present topographic from with the distinctive features of regulated alignment of basins and lowlands.

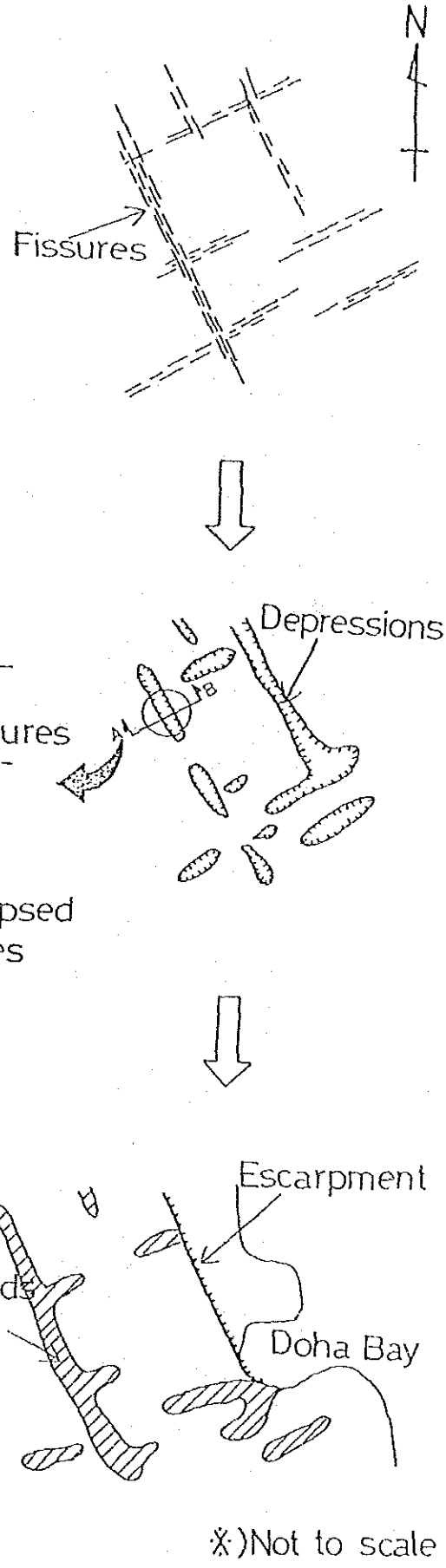


Fig. 3.3.6 Development of Depression Structure

（ii）Ⅱ　層

本層は，上部ダンマム層の弱風化帯～新鮮部よりなる。上部ダンマム層は下位では風化が弱くなり新鮮な石灰岩層もみられるが，水平方向，鉛直方向に割れ目が認められる。また，新鮮な部分でも数cm～数mmのガマ，空洞が認められる。しかし，強風化部に比べると幾分透水性も低くなっていると考えられる。

本層の分布は調査域全域で認められ5～10mの厚さがある。Ⅱ層は 100 LU を示すものは少なく，Ⅰ層に比べて全体に小さくなっている。

（iii）Ⅲ　層

本層は下部ダンマム層より成る。下部ダンマム層は1 m～10数cmの頁岩層を挟在するので，透水性はⅠ層，Ⅱ層に比べて小さいと考えられる。実際，Ⅲ層は 100 LU 以下で，かつ，20 LU以下が混じる頻度も増えているが，Ⅲ層は透水性的には難透水層であるといえる。

(b)　水文地質構造

ドーハ市内には2つの地下水マウンドが認められる。地下水マウンドの延びの方向は北部ではＮＷ－ＳＥ，南武ではＮＥ－ＳＥを示しているが，この方向は，陥没地形の配列に一致していて，言い換えれば地質構造に調和的である。この現象を模式的に示したものが図－3.3.7である。地下水マウンドの形状が広がってつぶれているような地域においては，地下水位コンターの間隔が広くなり，透水性も高くなっていると推定される。

本調査地域においては，地下水面は比較的透水性の高いⅠ～Ⅱ層（上部ダンマム層）内にある。特に低地部においてはⅠ層内にある。

以上のことより本調査地域の地下水面の形状は，調査地域の水文地質構造をよく反映していると言える。

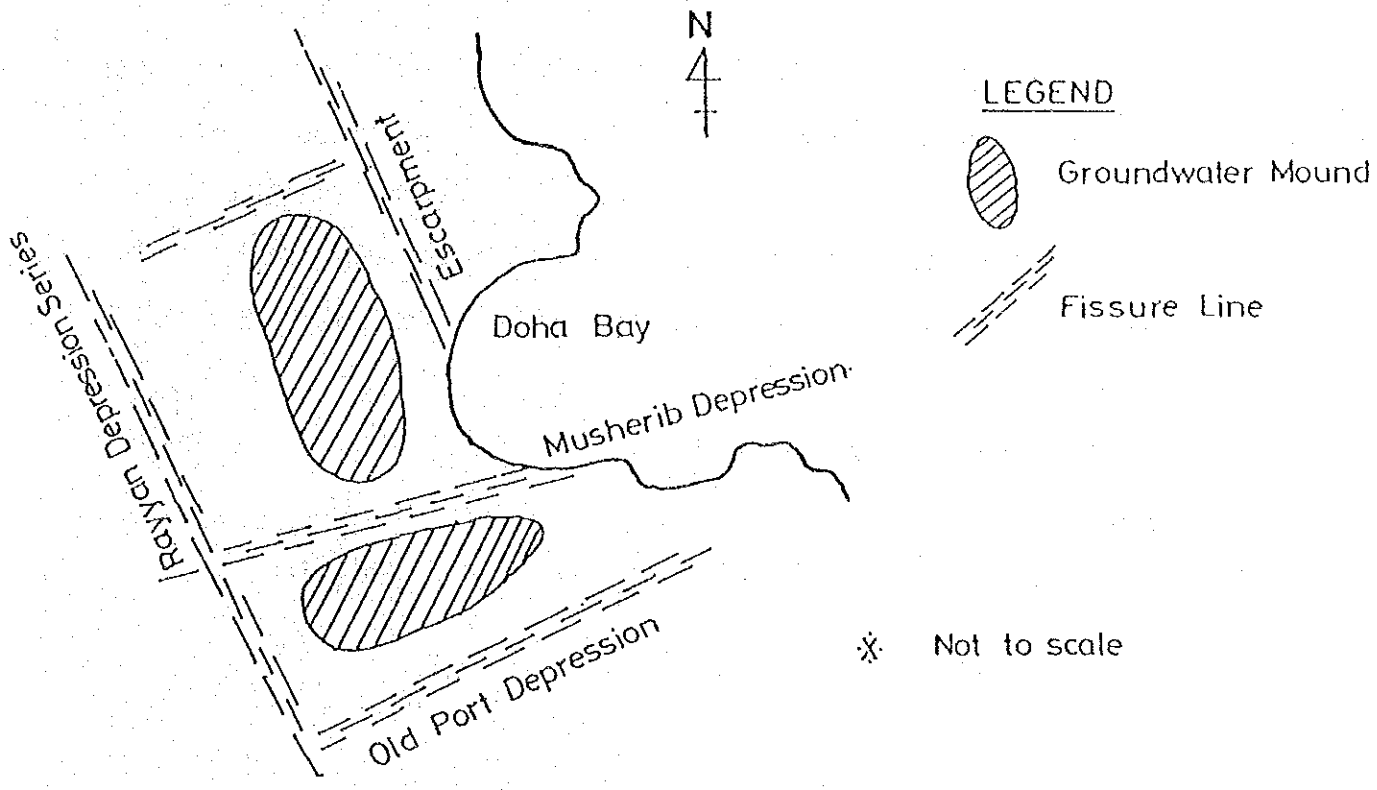


Fig. 3.3.7 Schematic Drawing of Relationship between Groundwater Mounds and Geological Structures

3.3.3 調査地域の水文地質

(1) ムシリブ地区

ムシリブ地区は，ムシリブ低地帯のほぼ中央部に位置している。本地区で実施した電気探査結果は図－3.3.8に示すとおりである。

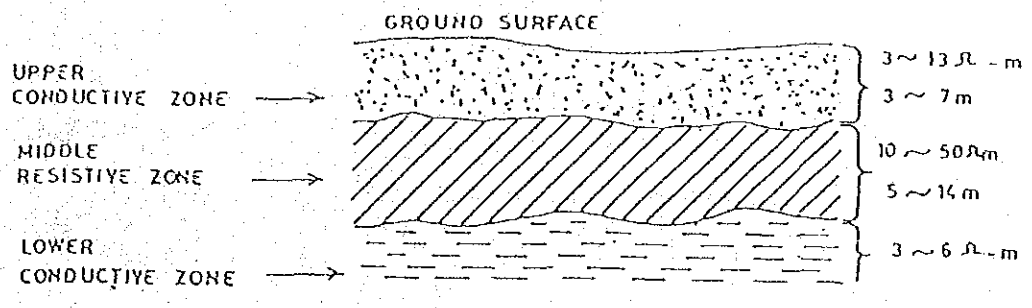


Fig. 3.3.8 Schematic Drawing of Electrical Soundings Results at Musherib Area

既往の調査ボーリング結果等（建築物基礎調査など）から表土は非常に薄く厚さは1m以内である。また，比抵抗層断面に示される上位低比抵抗ゾーンは，シムシマ層の上部風化層に相当するものと考えられ，風化（続性作用）を強く被った苦灰岩質石灰岩で，粘土を多く含んでいる。ムシリブ低地沿いに浅層部は透水性が非常に小さいとされているが，電気探査の結果では，他地域でもこれと良く似た三層構造を示す。中位高比抵抗ゾーンは比較的新鮮な割れ目の少ない上部ダンマム層の下部層に相当すると考えられる。

下位低比抵抗ゾーンは下部ダンマム累層のミドラ頁岩層あるいはその周辺層に相当する。

以上の結果，ムシリブ低地の水文地質構造は，次のように考えられる。

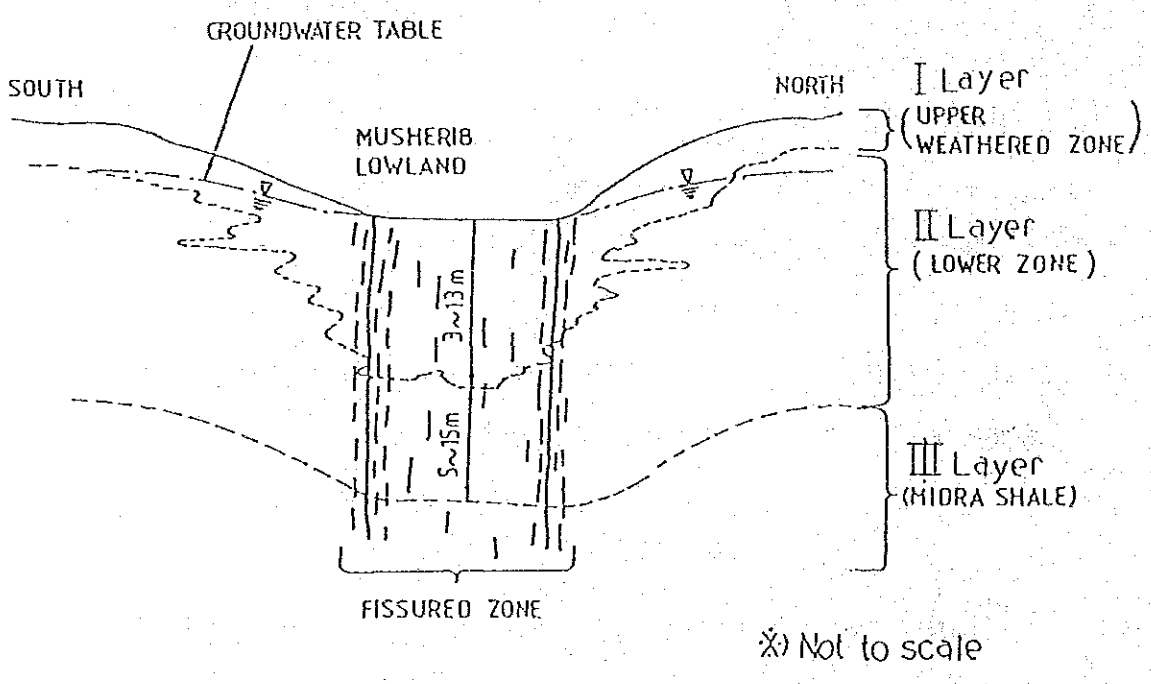


Fig. 3.3.9 Schematic Cross Section of Musherib Lowland

(2) ラヤン地区

ラヤン地区は，ドーハ市西部を北西－南東方向に延びる陥没盆地群の中の１つであり，底部の標高が最も低い（標高６ｍ以下）。この模式図を図－3.3.10に示す。（詳細は接峰面図：図－3.3.1を参照）

電気探査の結果を図－3.3.11に示す。なお，図－3.3.11は図－3.3.10のＡ－Ｂ線沿いの模式断面図である。

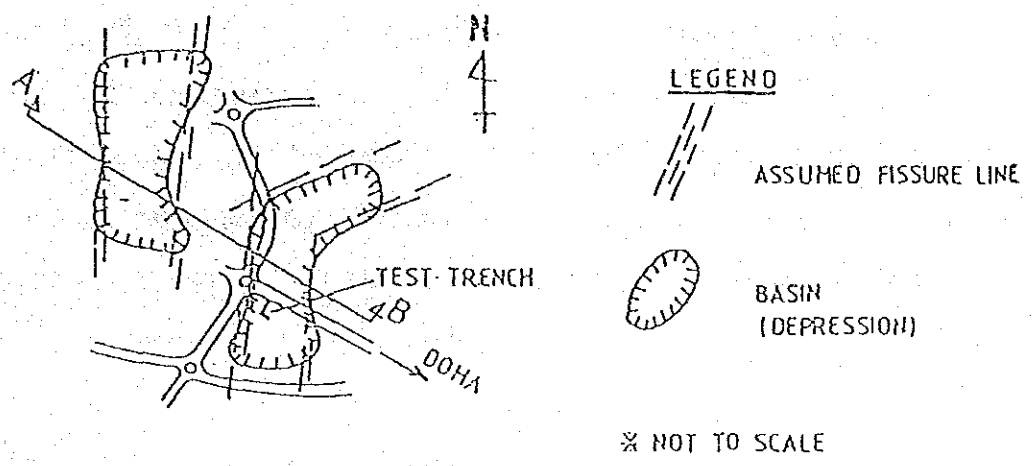


Fig. 3.3.10 Geotechtonical Feature of Rayyan Area Depression

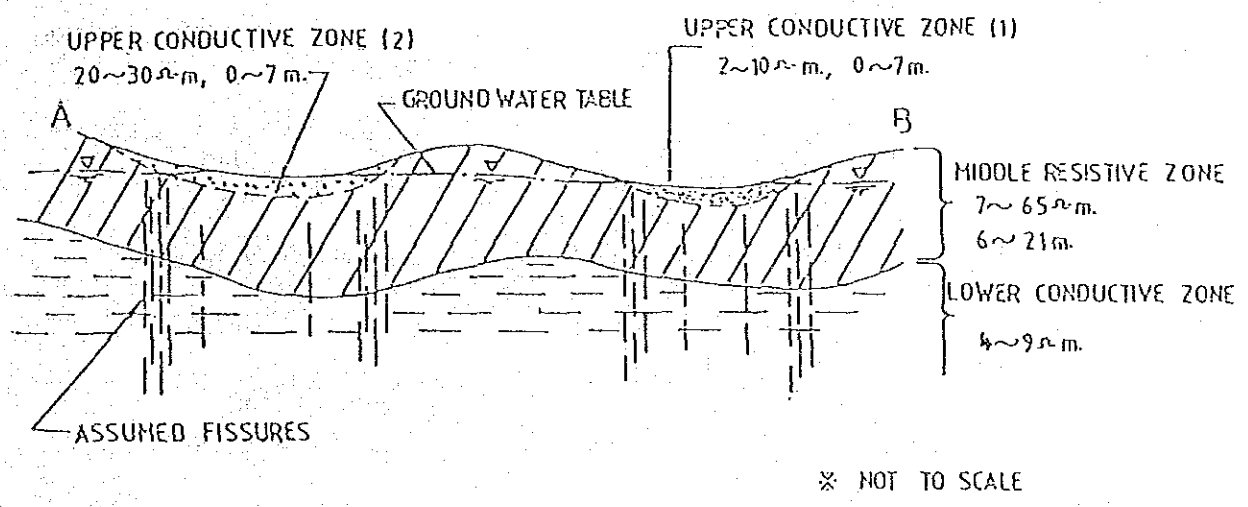


Fig. 3.3.11 Schematic Drawing of Electrical Sounding Results in Rayyan Area

上位低比抵抗ゾーン（１）は，比抵抗値が２～10Ωｍと著しく低い比抵抗層で，現地踏査の結果この層が著しくもろい多孔質な石灰質の砂岩であることが判明した。この層は著しく透水係数が大きく，両陥没盆地の中心部に分布しており，その厚さは最大７ｍ程度と推定される。

上位低比抵抗ゾーン（２）は，ムシリブ地区での上位低比抵抗ゾーンと同様にダンマム累層の上部風化帯と考えられ，粘土を多く含んだ割れ目の多い苦灰岩質石灰岩である。

中位高比抵抗ゾーンと下位低比抵抗ゾーンは，ムシリブ低地と同様に，割れ目の少ない比較的新鮮な苦灰岩質石灰岩とミドラ頁岩あるいはその周辺の地層を含めたものにそれぞれ対応する。

ラヤン地区で電気探査により推定された地質構造と地形は，先に示した模式断面図に表されているようによく対応している。また，陥没盆地形成に間接的な役割をはたしたと考えられる断裂系は陥没盆地内でいくつか認められ，これらは特に陥没地周縁部によく発達しているのではないかと推定される。

(3) ニュー　デストリクト地区

ニュー　デストリクト地区は，ドーハ市北部のいわゆる海岸低地で，ＮＷＮ－ＳＥＳに延びる急崖の東側の低地地域である。本地域で実施した電気探査の結果を図－3.3.12に示す。

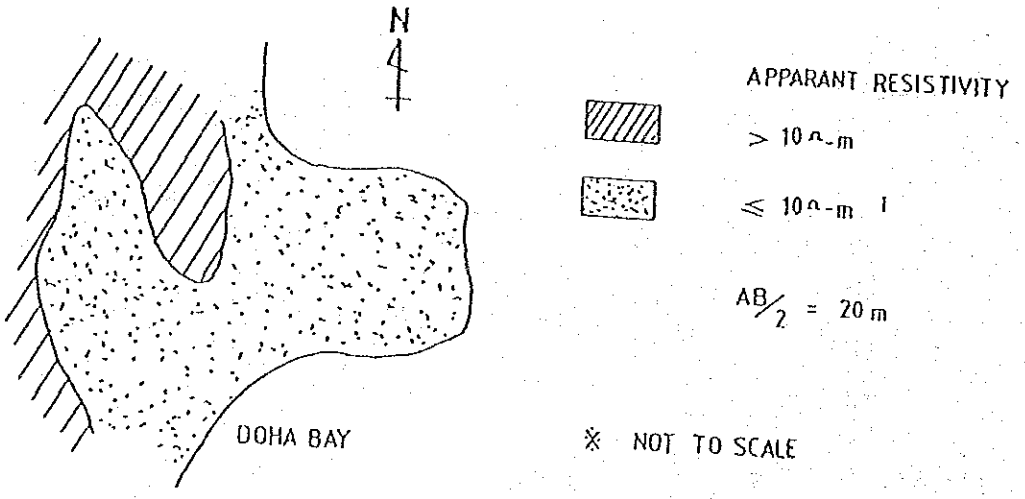


Fig. 3.3.12 Schematic Apparent Resistivity Map in New District Area of Doha

図－3.3.12の結果は接峰面図と非常に良く一致し，見掛比抵抗値10Ωｍ以上の範囲は地形的に微弱な尾根および山地地域と一致する。地表踏査の結果では，見掛比抵抗値10Ωｍ以上の領域はほぼ露岩域と一致する。

本地域での電気探査結果からは，比抵抗の著しく低い海水の進入があるため，地層構成を推定することは困難である。海水面以下には高い塩分濃度を有する非常に軟弱な（Ｎ値１～２）の潟性堆積物の堆積層が分布する可能性が高い。

ニュー　デストリクト地域の西縁を限る急崖部の地質構造は電気探査の結果からは，特に乱れはないように見られる（この結果の模式図を図－3.3.13に示す）。

この急崖が内陸の陥没盆地群の方向とほぼ同方向に直線状に延びること，この崖を横切る掘削面で数は少ないが崖の延長方向と同方向の節理がいくつか認められ，また地層も若干東に傾斜しているように見えることなどから，この崖のふもとに崖と同方向の断裂が存在する可能性が考えられる。

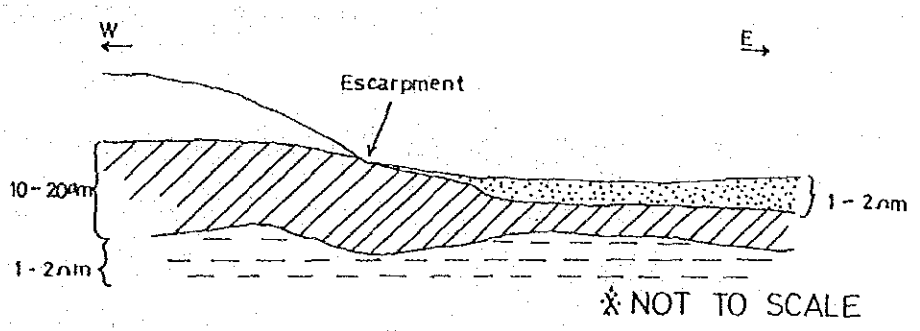


Fig. 3.3.13 Schematic Cross Section of New District Area

3.3.4　試験施工地の水文地質

(1)　ムシリブ試験施工地

ムシリブ試験施工地は基礎岩盤としての苦岩質石灰岩と被覆層としての盛土よりなる。基礎岩盤は，灰色～白色の斑点状の苦灰岩質石灰岩より成り，全体に強風化している（図－3.3.14参照）。基礎岩盤は青緑色～赤褐色の粘土が主体をなし，一部は未風化岩片と粘土の混った角礫状をなしている。新鮮な石灰岩中にはまれに化石が存在し，またノジュール状に石膏が含まれている。石膏の多くは溶解し１～５cmの空洞が生じている。

盛土は砂，礫，粘土とぼろ切れ，金属棒，コンクリート，プラスチック等からなるごみなどである。盛土物質の厚さは1～1.5mである。

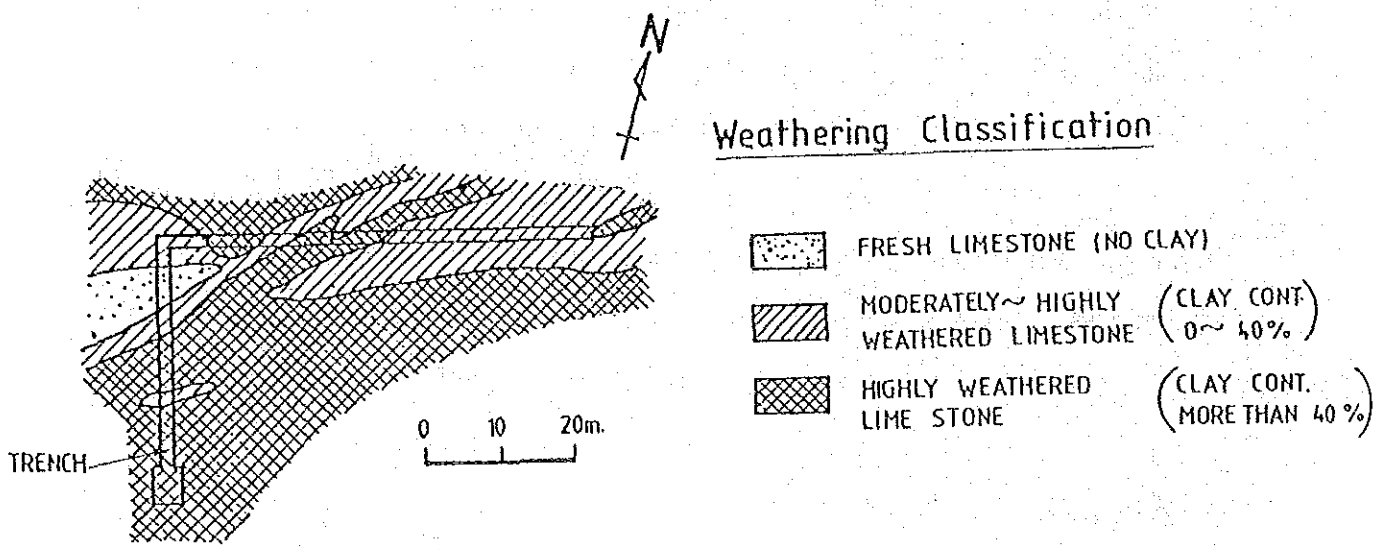


Fig. 3.3.14 Weathering Classification of Limestone of Musherib Test Site

トレンチの壁面における地層のより詳細な風化状況は次のとおりである。

岩片の集合体は石灰岩の未風化残留物と思われ，それは粘土帯の中に鉛直方向に分布している（図－3.3.15参照）。

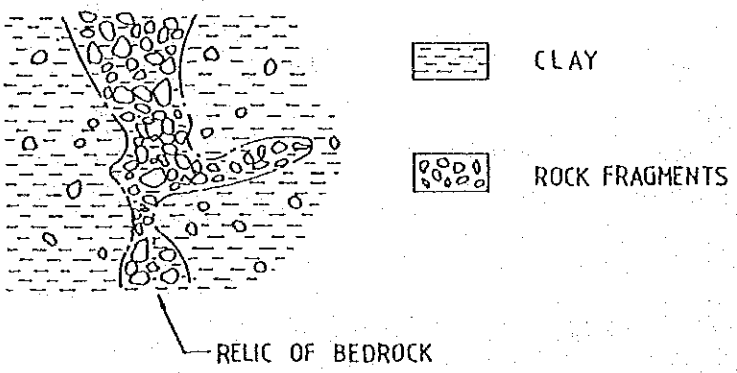


Fig. 3.3.15 Schematic Drawing of Vertical Alignment of Bedrock Relic

試験施工地の風化帯の方向はＮＥ－ＷＳＷ～ＮＥ－ＳＥの方向が卓越し，風化現象は，前述のようにムシリブ低地の方向に一致する線状の構造要素に，より強く規制されていることを示している。

既往の調査報告書によると，風化帯はムシリブ低地に沿って厚くなっている。低地は，先に形成された割れ目に沿って風化現象が深くまで進み、その結果形成されたと推定される。

苦灰岩質石灰岩の層理面はＮＥ－ＳＥを示し，ＮＷ方向（この方向はムシリブ低地の中心へ向かう方向である）に10°～15°で傾斜している。本試験施工地では，明確な割れ目構造や断層は認められないが，鉛直の小さな規模の線構造や短い粘土脈が所々で観察される。風化ゾーンの鉛直な構造の配列やムシリブ低地の走るＥＮＥ－ＷＳＷ方向に一致しており，試験施工地では割れ目などの構造要素が，苦灰岩質石灰岩の強風化のために，認めにくくなっていることがわかる。

トレンチの長い方の端で，地下水が多量に湧出し，層理面や不規則に入った粘土脈のところで少量の湧出が認められる。

(2) ラヤン試験施工地

ラヤン試験施工地は苦灰岩質石灰岩と表土よりなる。

苦灰岩質石灰岩は，周辺地のデータより上部始新世のシムシマ石灰岩～苦灰岩部層に対比できる。この苦灰岩質石灰岩は，風化の度合いにより２つの部分に分けられる。

表層部分の苦灰岩質石灰岩は，著しく風化して白～灰色の粘土化し，所々に石灰岩の岩片を含有している。この部分には多くの植物根を含み，厚さは 0.5～２ｍで平均で１ｍである。成層構造や節理は観察されない。

この著しく風化した部分の下に，苦灰岩質石灰岩の強～中風化部分があり，硬質石灰岩～苦灰岩質石灰岩と白～緑の粘土層より構成される。粘土層は，苦灰岩質石灰岩が風化したものである。粘土層は殆ど水平に挟まれていて元の層理面に沿ってできたものと推定される。

強～中風化部分では，５～30cm間隔の弱い成層構造が観察でき，層理面は，少し波打ってはいるがほとんど水平である。

表土は茶色の粘土，シルトと少し礫を含む砂よりなり，厚さは10～15cmである。この層は，風により運ばれそして堆積したと推定される。

ラヤンの試験施工地のトレンチでは，７つの節理と小さな断層が観察され，その全てが小さく，最大のものでも10cmの幅しかない。苦灰岩質石灰岩はこれらの節理に沿って数cmにわたって灰色から茶色の粘土へ変化している。これらの節理および断層は

殆ど同じ方向（i.e. E－W～NW－ES）を示しているのが特徴的である。

トレンチの中では比較的多量の地下水を流出している箇所が多く観察される。これらの湧水箇所は湧水のし方により，層理面に沿う湧水と，割れ目に沿う湧水の2つに分類できる。トレンチ短軸（30mの長）の割れ目に沿う湧水は特に多い。層理面に沿う湧水の場合，割れ目に近づくにつれてその湧水量は増大する。

このような状況から，

a）地下水の主な流れは，層理面や節理面に沿って流れる。

b）地下水の流れに関しては層理面より節理の方が重要な役割を果している。

ことが想定される。

3.4 地下水

3.4.1 水文条件

(1) ドーハ国際空港での気象特性

ドーハ国際空港には気象庁の観測所があり，観測項目は次のとおりである。

- 湿　度
- 降雨量
- 相対湿度
- 風向風速
- 放射量
- 蒸発量
- その他

ドーハ国際空港以外に雨量観測所が数ヶ所あるけれども，既往調査で指摘されているように観測データの信頼性に乏しい。その大きな理由の一つは，強風によって運ばれる大気中の浮遊物質が降ることによって生じる，計器のメンテナンスの困難さによるものである。

上述の観測項目の中では，降雨量と蒸発量は水文循環の中で最も重要な項目であり，湿度，風速，相対湿度，放射量のような項目は蒸発量と密接な関係にある。

(i) 降雨量

1962年から1985年までの平均年降雨量は75mmである。雨季は12月から3月であり，この期間の平均月降雨量は10mm強である。また，6月から10月までの乾季には雨はほとんど降らない。

24時間最大降雨量の成起は非常にランダムであり，50mm以上の記録は下記のとおりである。

- 1963年5月　64.0mm
- 1964年12月　80.1mm
- 1969年1月　58.0mm
- 1982年3月　66.5mm

平均月降雨量（Rtot)と24時間最大降雨量（Rmax 24）の季節変化は図－3.4.1に示すとおりである。

ドーハ国際空港での1986年における降雨量は次のとおりである。

- 1月30日から31日　　4.7mm
- 2月6日から7日　　7.4mm
- 4月9日から10日　　37.0mm

気象庁の意見によれば，ドーハでの降雨は下記のような特徴をもっている。

a）降雨パターンは強い降雨強度を有する雷雨のような形態である。

b）降雨は一様には降らず，特異な場合には，ある場所で雨が降っていても，その近くで雨が降っていないこともある。

c）雨雲は北西から南東への季節風に乗って移動するので，北西から南東への同じ線上に位置する所では，降雨量の相関関係が高くなると思われる。

（ii）蒸発量

蒸発量は次の2つの方法で計測される。

a）素掘り池　　：　1976年から現在まで

b）ピーチパン蒸発計　：　1977年から現在まで

平均月蒸発量は図－3.4.2に示すとおりである。素掘り池はピーチパン蒸発計よりも大気との接触面積が広いので，素掘り池での蒸発量はピーチパンの蒸発量の60～70％である。停滞水のような自由水面からの蒸発量は素掘り池の値に近いと思われる。

蒸発量に関連する要因，つまり，温度，太陽放射量，風速および湿度は各々図－3.4.3から図－3.4.6に示すとおりであり，蒸発現象は次のような特徴をもっている。

- 蒸発量を支配する最も大きな要因は太陽放射量であり，飽和水常軌圧は温度との関連が深い。放射量が大きくなると温度が上昇して蒸発量が大きくなる。これとは反対に，放射量が小さくなると温度が下がり蒸発量が小さくなる。
- 湿度と風は大気と水との接触条件を支配する要因である。5月から10月までの乾季では，6月が最も高い蒸発量となる。このことは6月に最大放射量となるという理由の他に，相対湿度が低くなること，また，風の強い日が多いことによって説明できる。

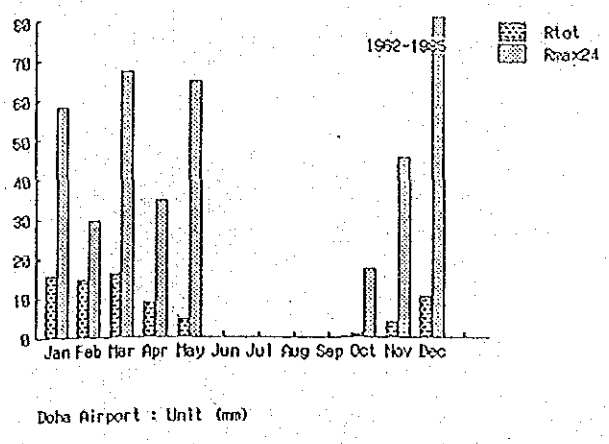


Fig. 3.4.1 Total Rainfall and Rmax24

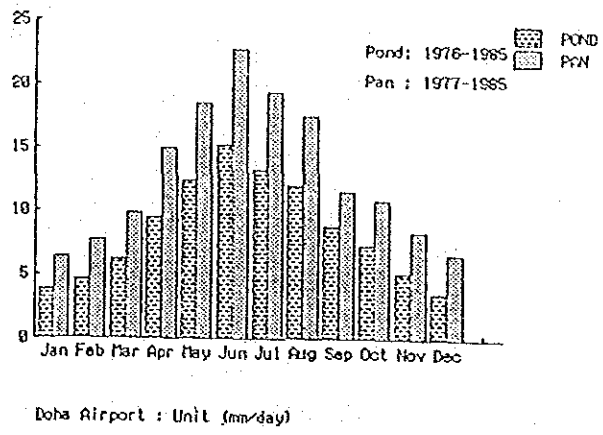


Fig. 3.4.2 Monthly Evaporation Amount

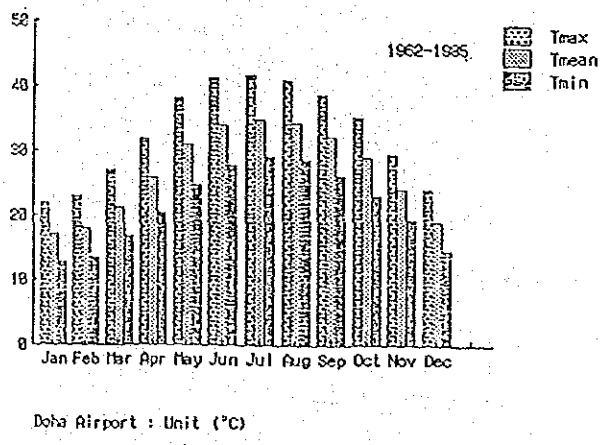


Fig. 3.4.3 Monthly Temperature

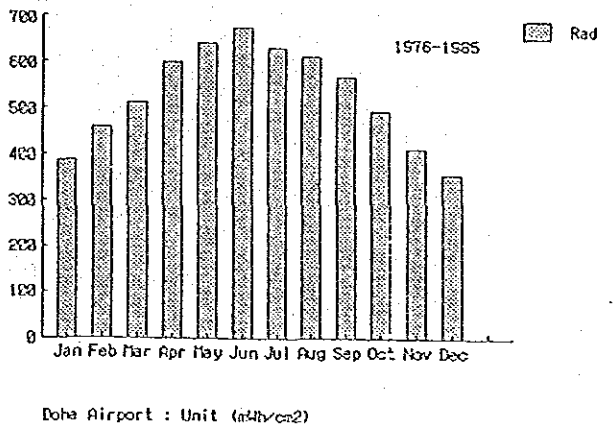


Fig. 3.4.4 Mean Daily Global Radiation

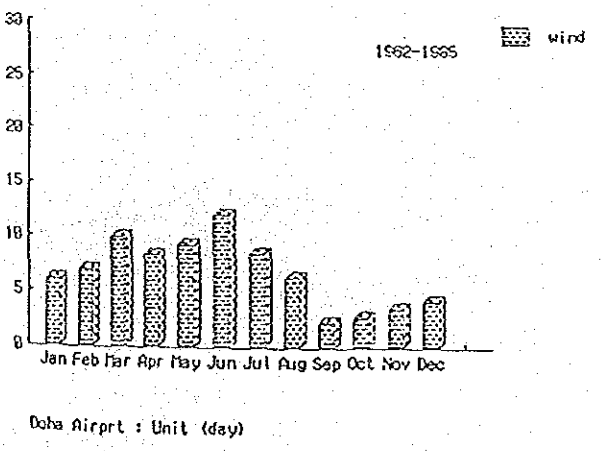


Fig. 3.4.5 Wind Speed 20 Knots or More

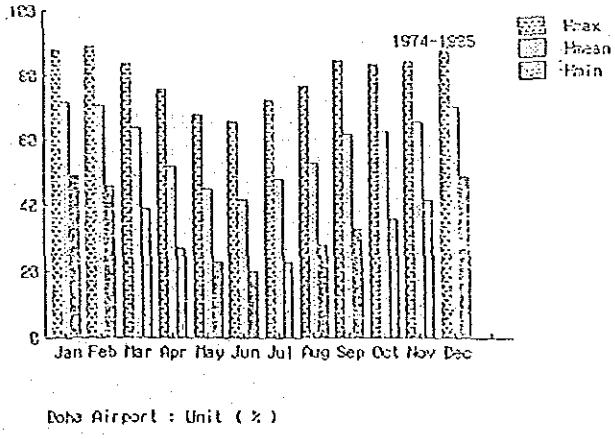


Fig. 3.4.6 Relative Humidity

(2) ラヤンでの気象観測

気象観測計器はラヤン試験施工地での気象条件を把握するため，トレンチのすぐ側に設けた。観測計器は次の４つである。

－自記雨量計

－温度，湿度及び大気圧自記記録計

－自記風向風速計

－蒸発皿

気象観測は６月１日から10月末日までの期間実施され，観測項目は次のとおりである。

－温　度

－湿　度

－大気圧

－降雨量

－地表風向風速

－蒸発量

1986年６月から10月までの各月毎の気象観測結果の代表値は表－3.4.1に示すとおりである。試験施工の期間中最も重要な観測項目である蒸発量に関しては，ラヤンでの観測結果はドーハ空港での観測と類似した変動特性を示す。

Table 3.4.1 Monthly Meteorological Characteristics

Month	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT
MEAN TEMP. (°C)	34.3	34.3	36.2	34.9	31.5
MEAN HUMIDITY (%)	42	51	59	58	56
MEAN WIND SPEED (kts.)	7.7	4.7	3.9	3.9	3.6
TOTAL EVAPORATION (mm/month)	490.1	398.8	312.6	263.5	207.0

3.4.2 上水供給量

上水供給量のデータ分析は既往調査での水収支計算結果を検討する上で，また，地下水位の変動特性を解析するために不可欠な作業である。上水供給量に関する基礎資料および情報は電水省の上水供給自動管理センターから戴いた。

データ分析の手順は次のとおりである。

1）日データの整理

2）月データへの変換と相関関係の検討

3）図化表示

図－3.4.7に示す上水供給量は次のような変動特性をもつ。

① 空港貯水池では新規の給水地域が加わったことに呼応して，1983年5月から1984年までの供給量が著しく増加している。1984年3月からは，新規地域への供給量はオールドサルワ，ニューサルワおよびガラファの3貯水池で受け持つこととなった。

② 供給システムは水需要に応じて適宜補強，調整される。近3ヶ年では供給システム及び運転操作は以前に較べて規則的になってきている。1984年から1986年までの各貯水池での供給量の変動特性は次のとおりである。

- オールドサルワ，空港およびウェストベイの貯水池からの供給量はほとんど安定している。供給量の季節変化はほとんどない。
- ニューサルワおよびガラファからの供給量は増加傾向にあり，若干の季節変動が認められる。

③ 新規供給システムが確立された1984年3月以降で各貯水池への月流入量の相関のうち，正の相関をもつものを図－3.4.8に示す。

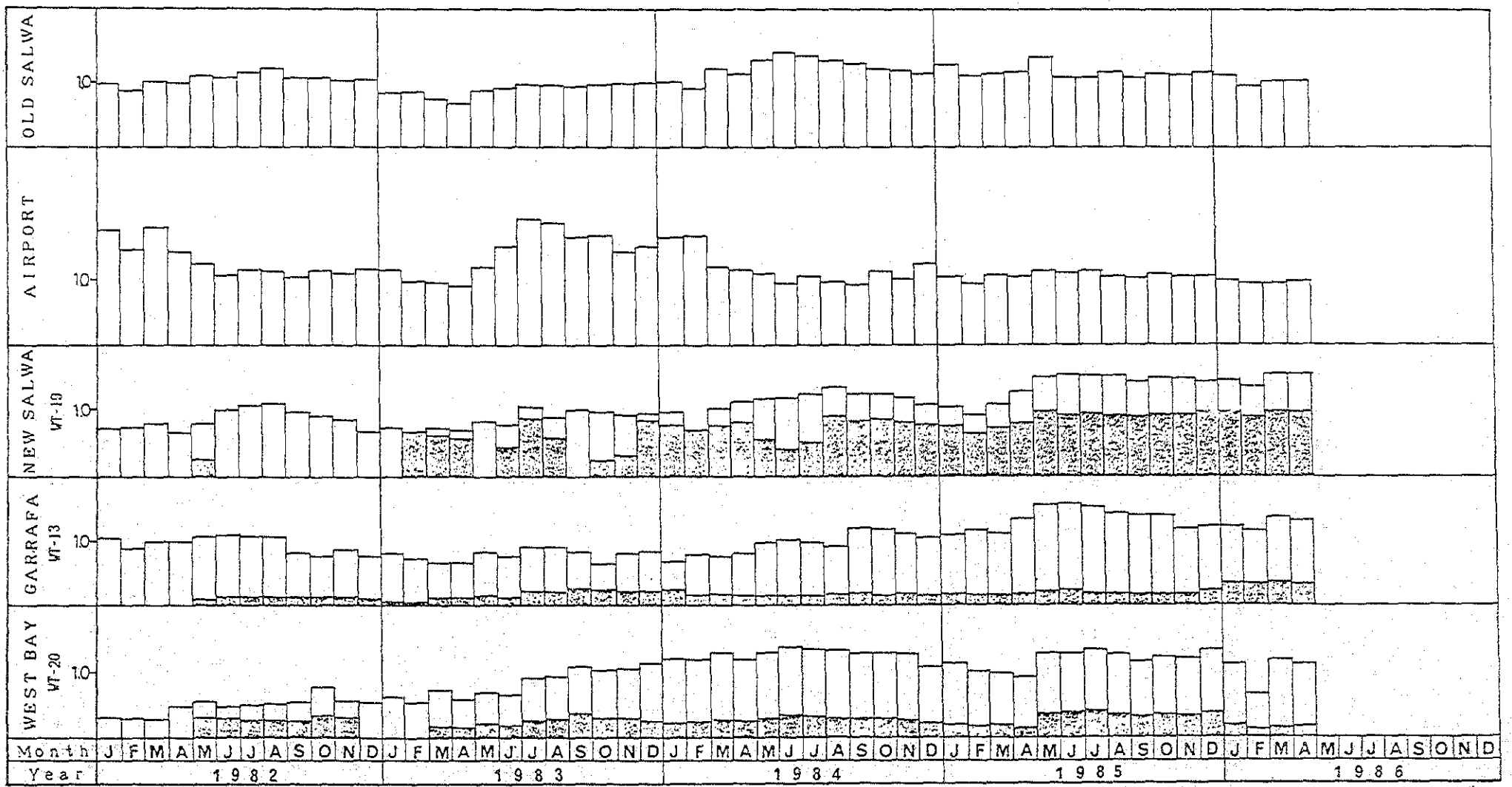


Fig. 3.4.7 Monthly Potable Water Supply Amount

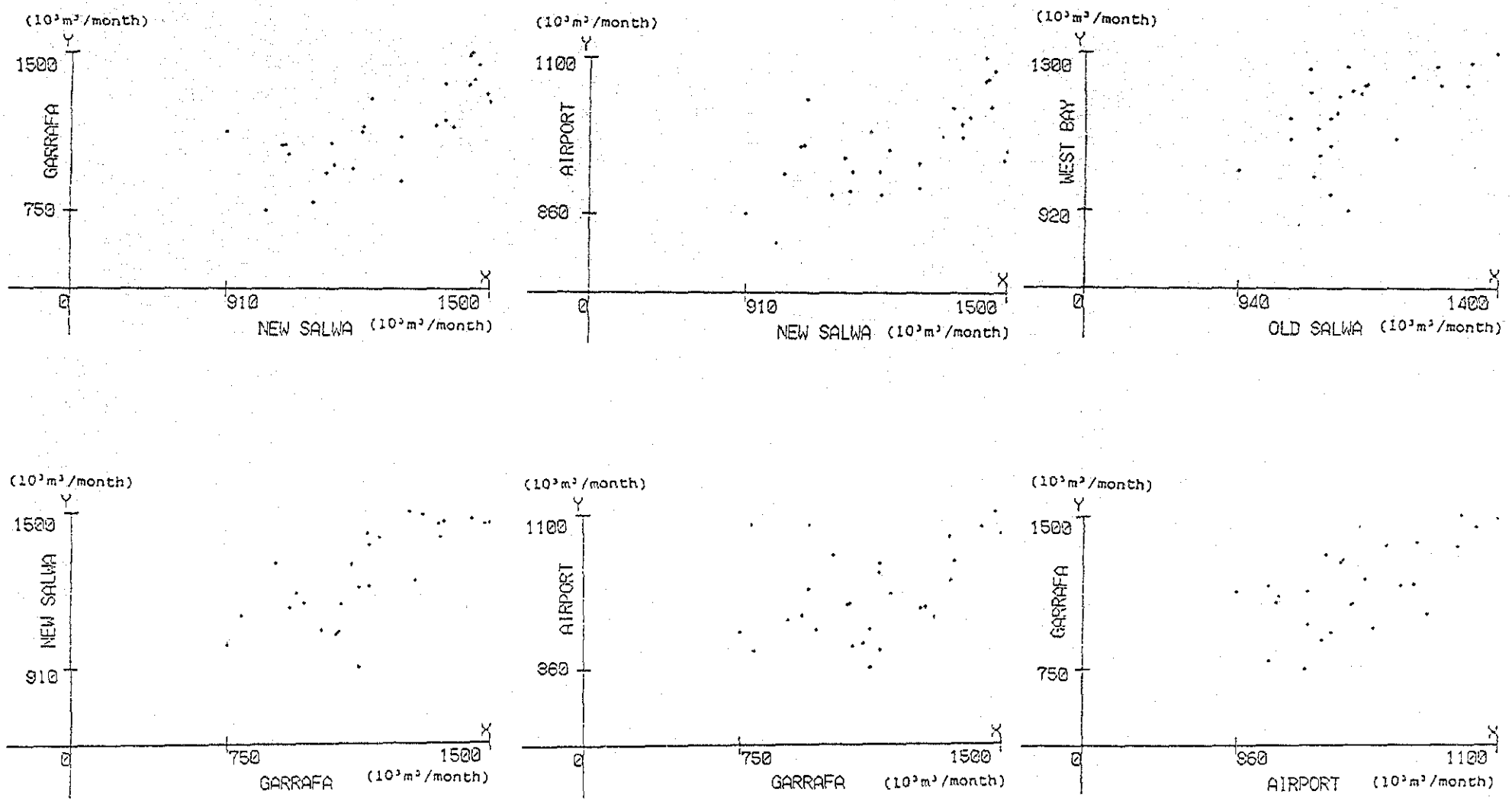


Fig. 3.4.8 Correlationship of Reservoir Inflow Amounts from March 1984 to April 1986

3.4.3 地下水位

(1) 地下水位測定

地下水位測定計画は電水省の観測井を視察した後，次の目的で立案した。

－電水省の協力の下に観測井での地下水位変動の挙動を把握すること。

－1983年のASCO調査を下に地下水位上昇速度および上昇地域を把握すること。

図－3.4.9に示すように地下水位等高線図は既往調査で指摘されたカリファおよびカィールの2つの地下水マウンドの存在を示している。

地下水深度図は地形解析を基に作成した。地表面から2m以浅の地下水位の浅い地域は図－3.4.10のようにグループ分けできる。既往調査（ASCO）と比較すると，グループAの地域はかなり拡大しており，ラヤンでは最も大きな停滞水が出現してきている。グループB，C，Dの地域はほぼ既往調査と似た形状である。グループEは既往調査では特に記述されていないので新しく出現したものである。

(2) 地下水位上昇速度

1983年2月から1986年2月までの近3ヶ年の間の地下水位上昇量を図－3.4.11に示す。ラヤンでの地下水位上昇量は近3ヶ年間で 1.0mから 1.5mの範囲にあり，年上昇速度は0.22mから 0.5mである。ワジムシリブおよびその周辺では，Cリング道路とDリング道路に挟まれた西側および南側の地区がラヤンと同様の 1.0mから 1.5mの地下水上昇を有する。

(3) 地下水位変動

井戸での地下水位変動特性を把握するため，電水省さく井課で実施された地下水位観測結果を用いて解析した。地下水位変動図の代表例は図－3.4.12に示す。

変動特性は次のようにとりまとめられる。

- ほとんどの井戸で地下水位の緩やかな上昇が認められ，季節的な変動を示すものは極く限られた井戸だけである。
- 降雨が地下水面に与える影響度は局所的であり，且つ，特殊な場合であるので，近年の地下水位上昇の主原因とは考えにくい。

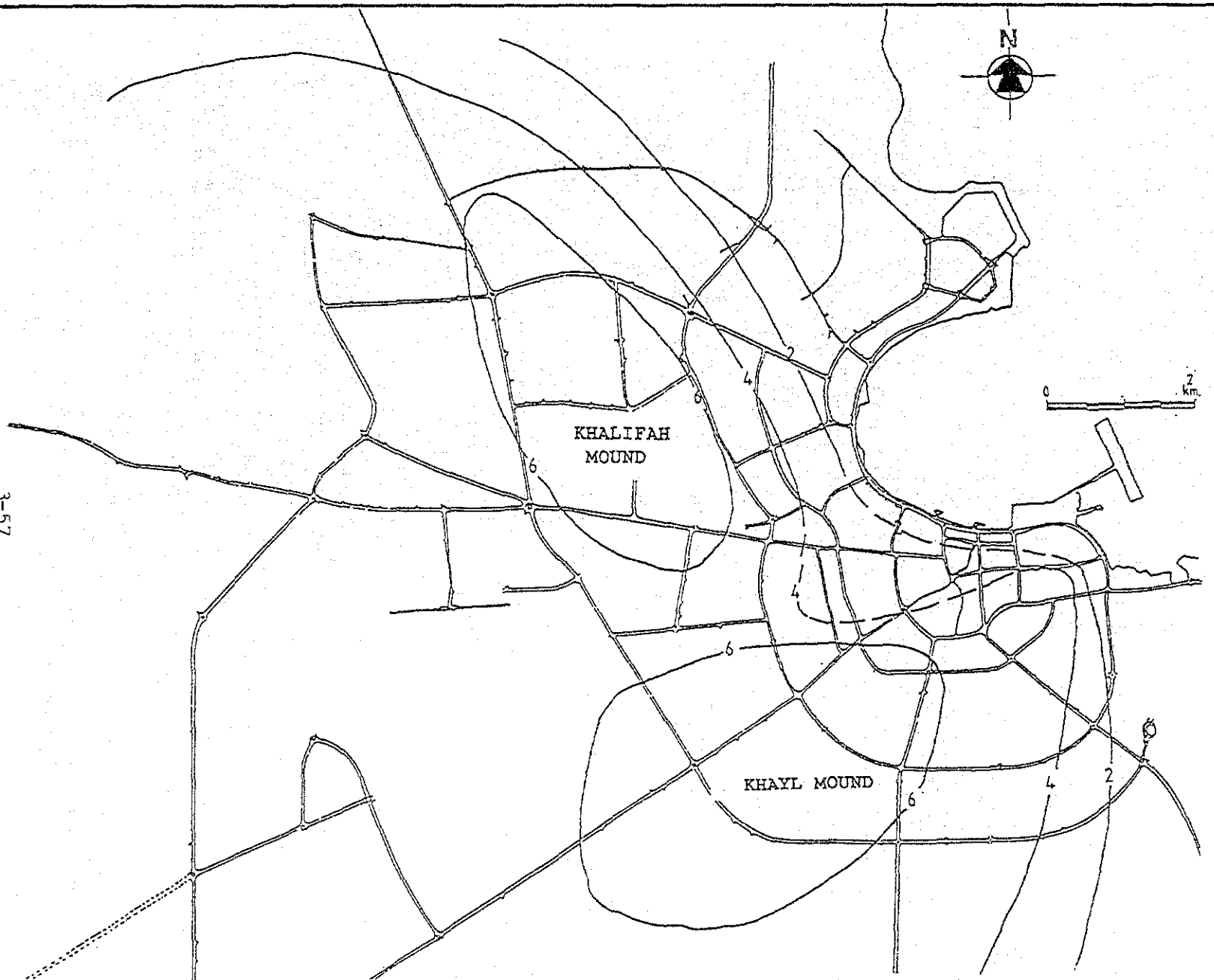


Fig. 3.4.9 Groundwater Table Elevation, February 1986 (Meters above Q.N.D.)

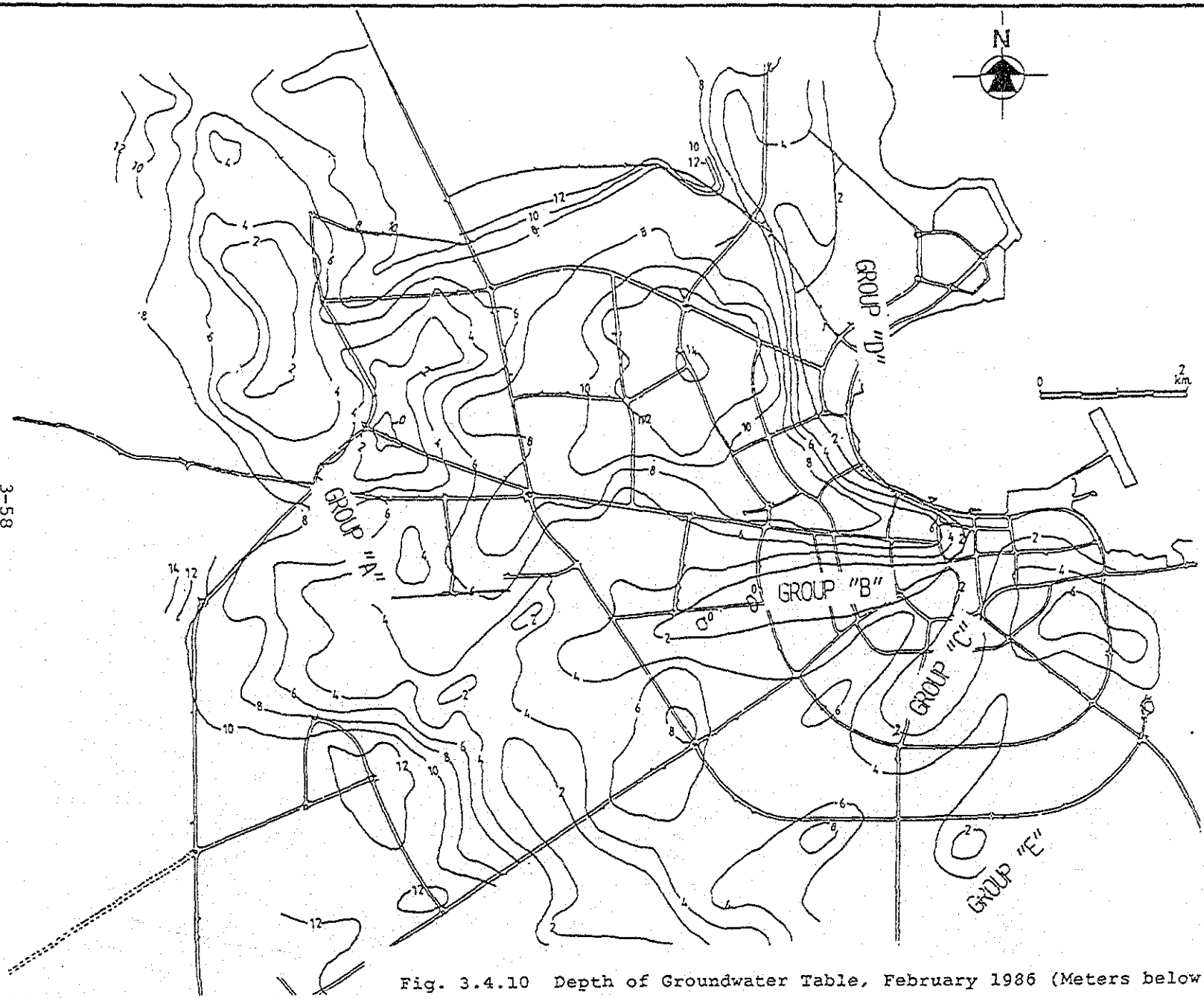


Fig. 3.4.10 Depth of Groundwater Table, February 1986 (Meters below G.L.)

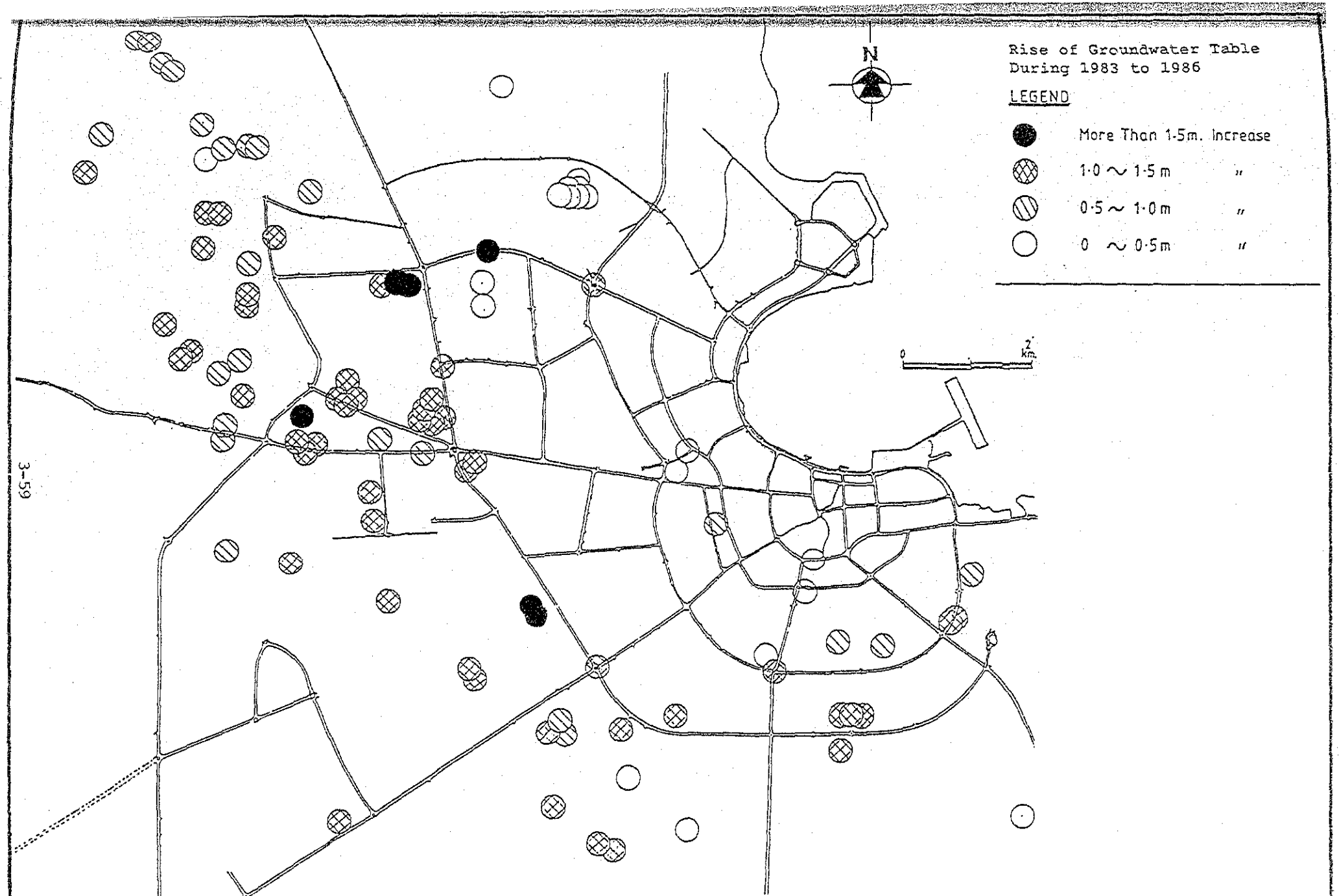
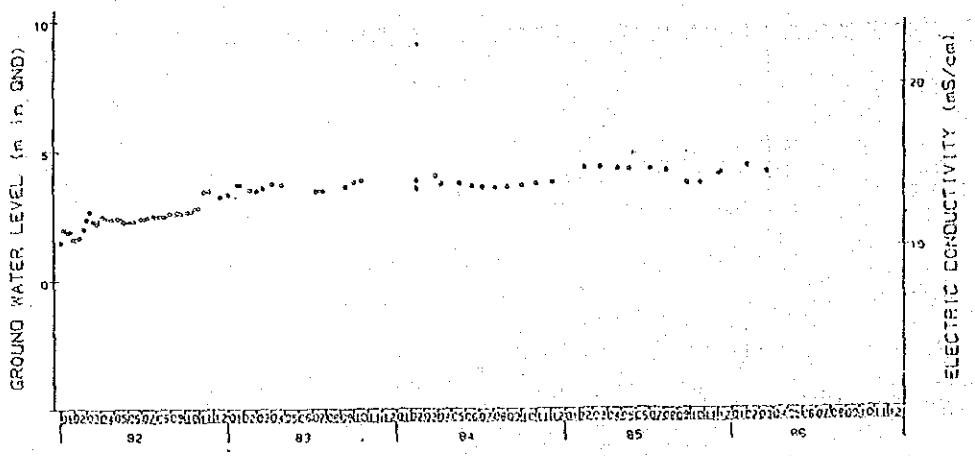
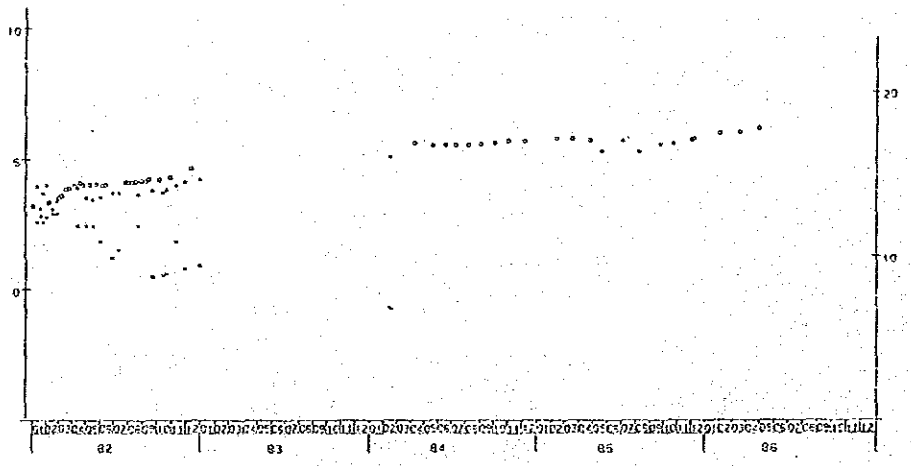


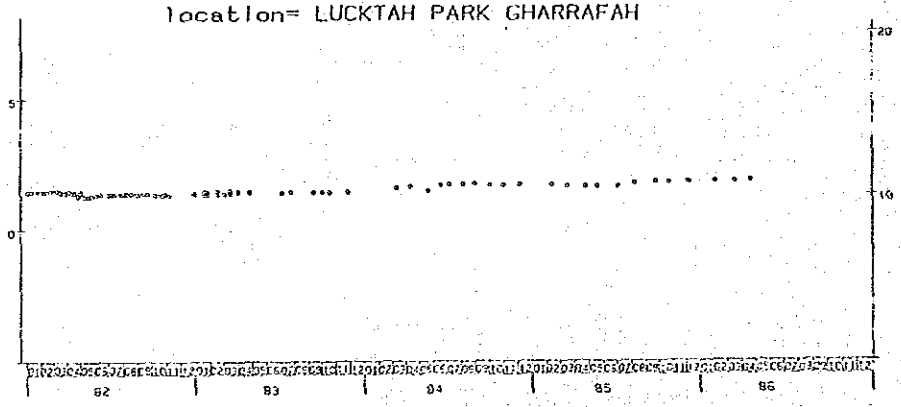
Fig. 3.4.11 Rise of Groundwater Table from 1983 to 1986



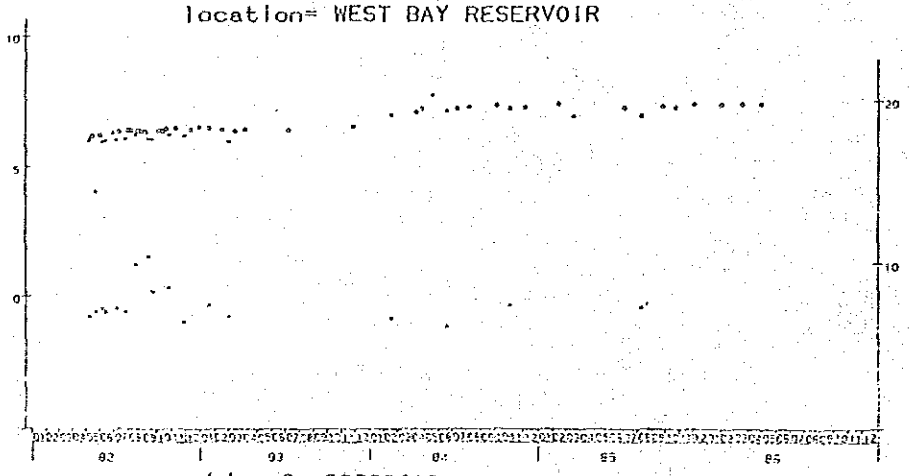
grid ref= 23709590 well number= 2239-GRF
location= GHARRAFAH RESERVOIR



grid ref= 25219610 well number= 2239-44
location= LUCKTAH PARK GHARRAFAH

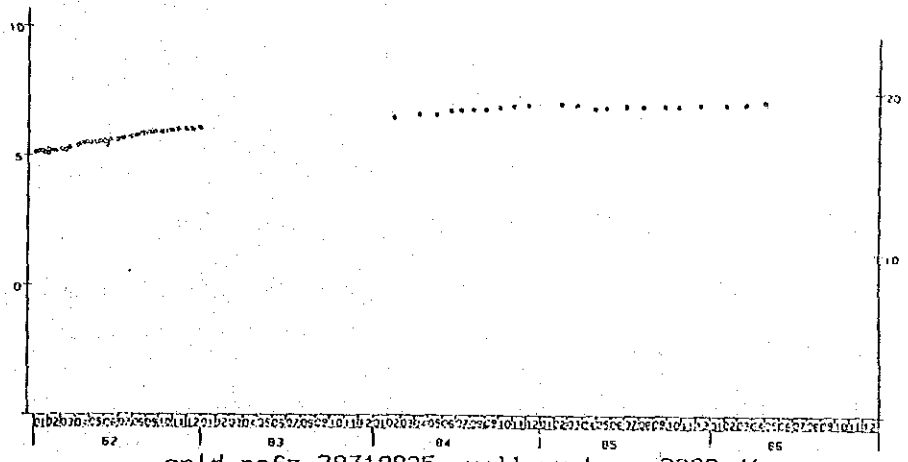


grid ref= 26819946 well number= 2239-121
location= WEST BAY RESERVOIR

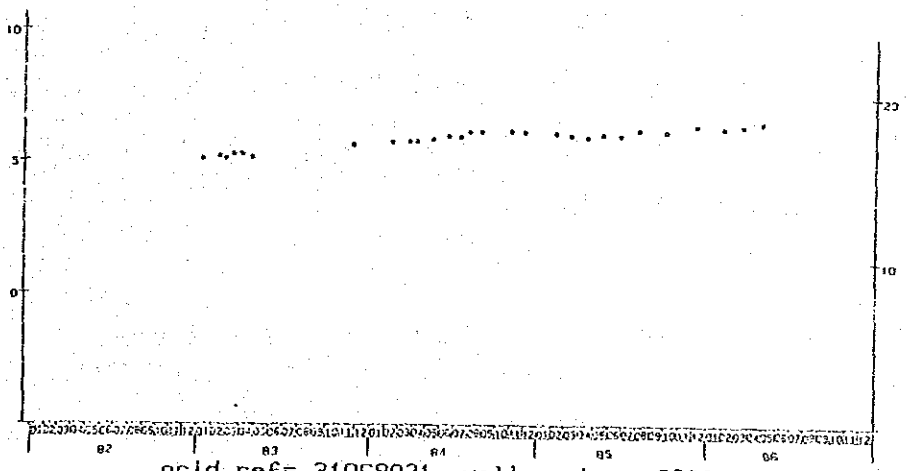


grid ref= 28309013 well number= 2239-41
location= FOOD CENTER ROUNDABOUT

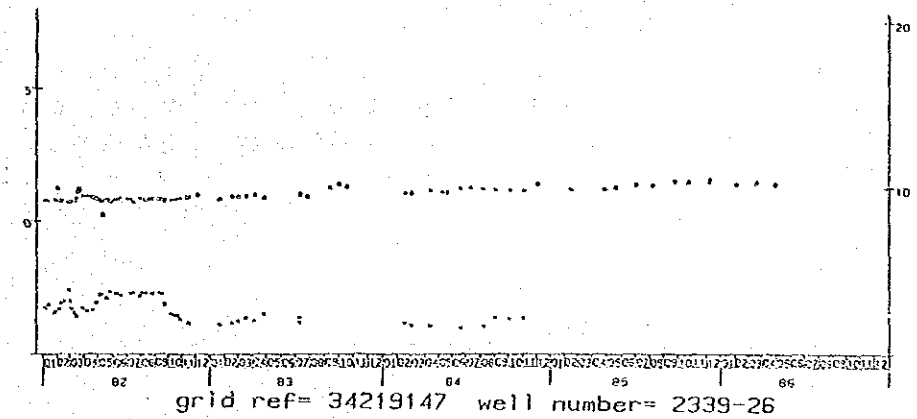
Fig. 3.4.12 Graphical Representation of Groundwater Level Fluctuation



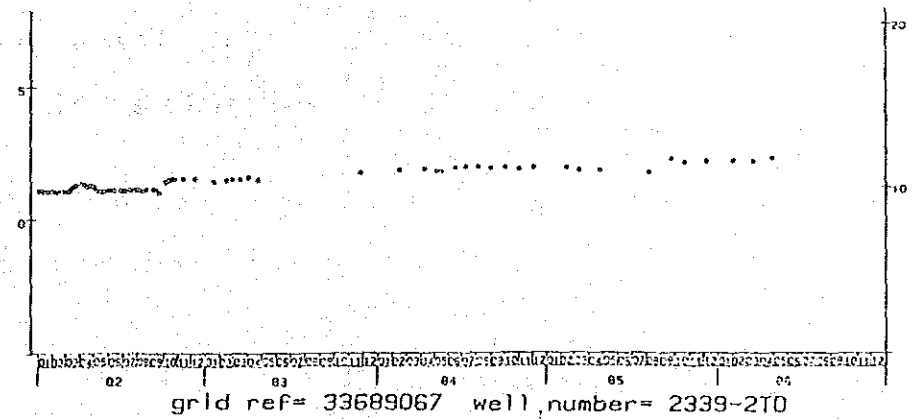
grid ref= 29718935 well number= 2238-41
location= D RING ROAD FARM



grid ref= 31069021 well number= 2239-63
location= MONTAZA PARK OLD B/H



grid ref= 34219147 well number= 2339-26
location= ALR PORT RESERVOIR



grid ref= 33689067 well number= 2339-2TD
location= ALMANA ROUNDABOUT

3.4.4 地下水位シミュレーション解析

(1) 目 的

数値解析の目的は，第1に，地下水上昇の挙動を十分把握することであり，第2に，対象地区での地下水位を低下させるために必要な排水量に関する基礎的な数値情報を得ることである。

(3) モデルの選定

現在までに実施された水文地質調査は被害と直接関係の深い浅層の帯水層に関するものがほとんどで，深層の帯水層の情報は少ない。表－3.4.2にシミュレーションモデルの長短比較を示した。準3次元モデルは近年上昇してきた地下水位を解析する手法として最も適している。他のモデルは水理的および水文地質的な基礎情報が十分でないので適用が難しい。

表－3.4.2 シミュレーションモデルの比較

	準3次元モデル	多層モデル	3次元モデル
長 所	多層の地下水の水平流動が表現でき，モデルの適用が簡単である。	滞水層間の地下水の漏水がうまく表現できる。	地下水現象を最も詳しく表現できる。
短 所	鉛直方向の流動成分が表現できない。	深層の滞水層に関する詳しい情報が必要である。	節点数が多くなり，十分な精度のデータを準備することが難しく，計算費も高くなる。

(3) 数学的な基礎

i) 支配方程式

準3次元平面モデルの支配方程式は鉛直方向の流動成分が無視しうると言うデュプイ・フォルヒハイマーの仮定に基づき，連続方程式と運動方程式から導かれる。支配方程式は次のように表現できる。

$$\nabla \cdot (T \nabla h) = S \frac{\partial h}{\partial t} + q \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.4.1)$$

ここで，　T　：　透水量係数

h　：　全水頭

S　：　貯留係数

t　：　時　間

q　：　湧出し項

地下水位の時間的変化に従って，地下水位に対応する透水量係数は各帯水層の透水係数と層厚との積の総和として計算される。

$$T = \sum_{i} K_i \times D_i \quad \cdots\cdots (3.4.2)$$

ここで，　K　：　透水係数

D　：　飽和部分の層厚

i　：　i 番目の帯水層を示す添字

ii）湧出し項

湧出し項の評価で関与するパラメータは次のとおりである。

1. 地下水位の変化に伴う地下水面からの蒸発
2. 地下水揚水
3. 地下水涵養
4. 裂れ目を通じてのおよび，または，がま，下水管網等への局所的な漏水

各パラメータの相互関係は図－3.4.13のように示すことができる。湧出し項は次式のように書き表される。

$$q = E_v + E_x + Lt - \varepsilon \quad \cdots\cdots (3.4.3)$$

ここで，　E_v　：　地下水面からの蒸発量

E_x　：　地下水揚水量

Lt　：　全漏水量

ε　：　地下水涵養量

E_v は地表面から地下水面までの深さの函数として計算される。E_x と ε は土地利用の状況および既往の水収支計算結果から評価される。Lt は既往調査の仮想涵養に相当する。

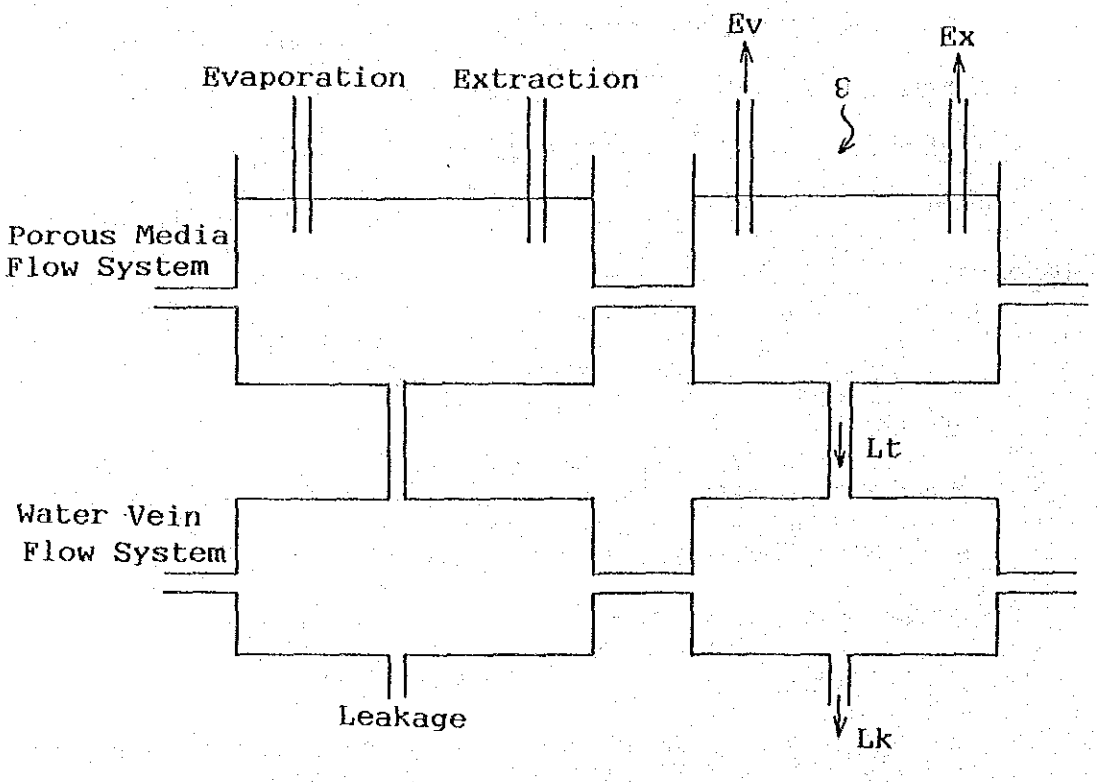


Fig. 3.4.13 Schematic Representation of Source Term

iii）初期条件および境界条件

初期条件は1983年の地下水位等高線図で与える。境界条件は1983年と1986年との地下水位を線形補間することで与える。

－初期条件

$$h(x_i, o) = h(x_i) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.4.4)$$

－境界条件

$$h(x_i, t) = h_p(x_i, t) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.4.5)$$

ここで，　i　：　座標を示す添字

　　p　：　計算領域の境界を示す添字

iv）計算方法

計算方法は次のような計算函数を導入して有限要素法を用いる。

$$h(x_i, t) = Nn(x_i)\, hn(t) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3.4.6)$$

$$(n = 1, 2, \cdots\cdots\cdots)$$

ここで，　$Nn(x_i)$：　形状函数

　　$hn(t)$　：　時間の関数として与えられるパラメータ

3.4.1式に3.4.6式を代入することによって求められる3.4.7式で表現される残差（R）を収束条件を満足するように各時間ステップ毎に最小化する。

$$\nabla \cdot T \nabla (Nn(x_i)hn(t)) - S \frac{\partial}{\partial t} (Nn(x_i)hn(t)) - qn(t)Nn(x_i)h = R$$

$$\cdots\cdots\cdots (3.4.7)$$

v）節点と要素

ワジ　ムシリブおよびラヤン地区での計算領域は側方排水による影響圏を十分カバーする範囲を取った。それぞれの要素図は図－3.4.14および図－3.4.15に示す。

(4)　データの準備

入力データ作成にあたり，次の資料を用いた。

1．湧出し項

－土地利用区分図

－QATS(ASCO)の地下水涵養量

－蒸発量

2．帯水層の層厚

－地形図（1：5,000）

－強風化層上面コンター図

－下部ダンマム層上面コンター図

－ラス層上面コンター図

3．水理常数

－定常モデルの計算結果（ASCO）

－ルジォンテスト

－試験施工での揚水試験結果

4．地下水位

－1983年の地下水位等高線図（ASCO）

－1986年の地下水位等高線図

(5) 内捜検定

内捜検定は次の条件で行なった。

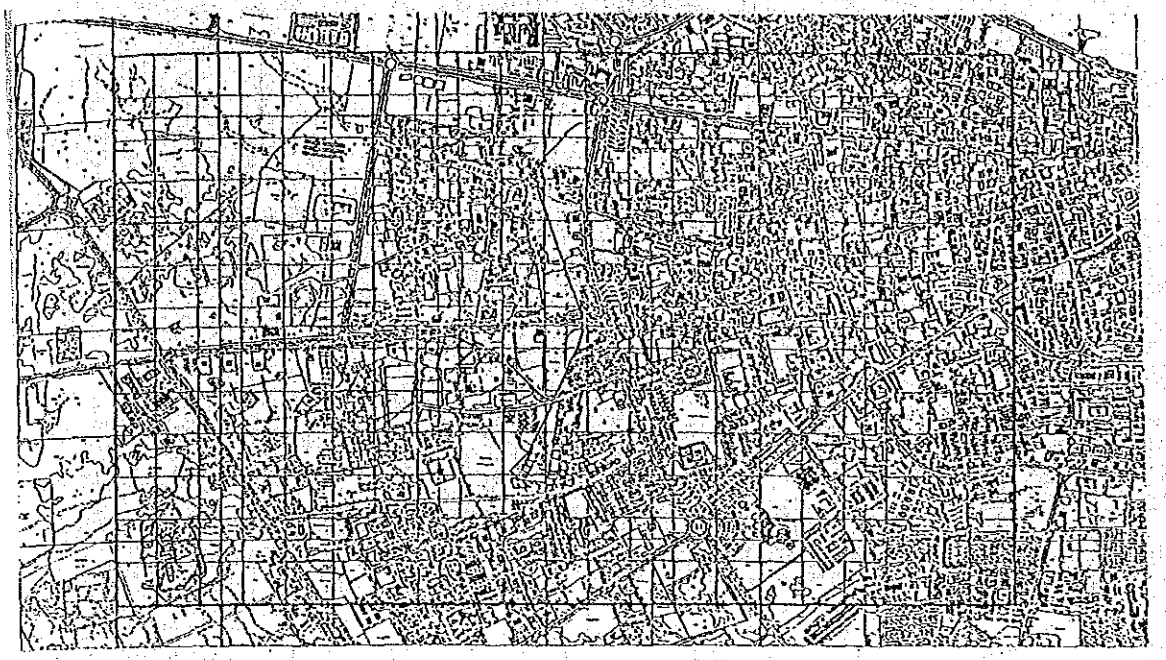
1．地下水上昇過程の再現

2．試験施工地での想定流量の再現

内捜検定での補正と修正作業は主に湧出し項を対象として試行錯誤法で行なった。

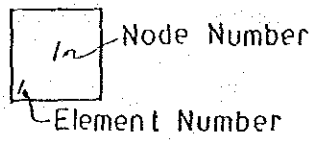
(6) 計算結果

ワジ　ムシリブ地区での1983年から1986年までの地下水位のシミュレーションは，図－3.4.16に，また，ラヤン地区については図－3.4.17に示す。



Key Map

Legend



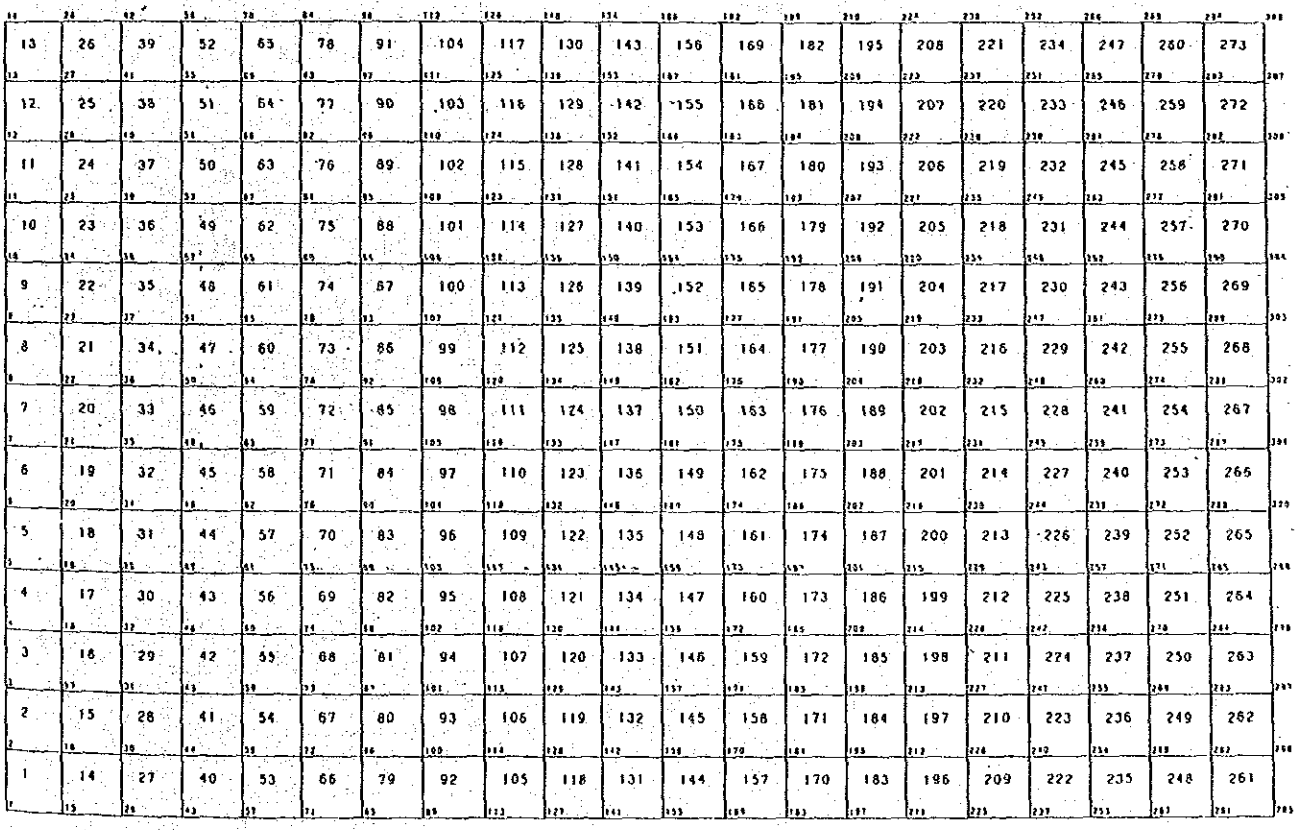
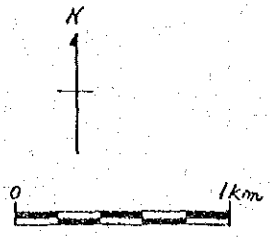
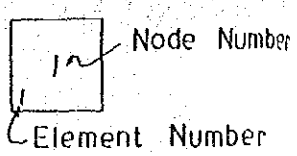


Fig. 3.4.14 Grid System of Quasi Three Dimension Analysis for Wadi Musherib

Key Map

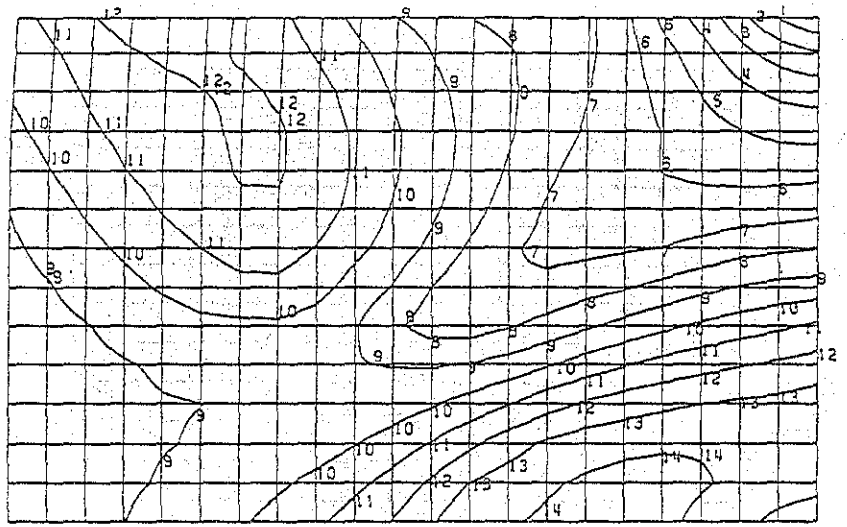


Legend

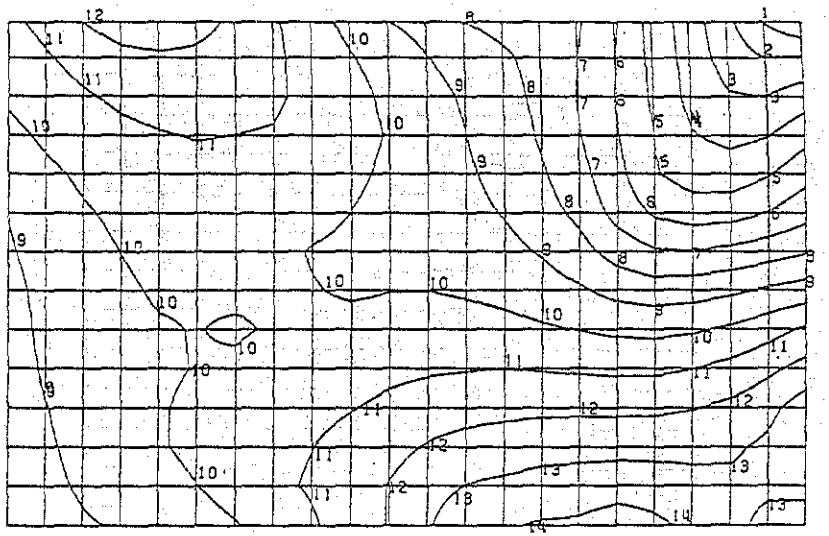


16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240	256	272
15	31	47	63	79	95	111	127	143	159	175	191	207	223	239	255	271
14	30	46	62	78	94	110	126	142	158	174	190	206	222	238	254	270
13	29	45	61	77	93	109	125	141	157	173	189	205	221	237	253	269
12	28	44	60	76	92	108	124	140	156	172	188	204	220	236	252	268
11	27	43	59	75	91	107	123	139	155	171	187	203	219	235	251	267
10	26	42	58	74	90	106	122	138	154	170	186	202	218	234	250	266
9	25	41	57	73	89	105	121	137	153	169	185	201	217	233	249	265
8	24	40	56	72	88	104	120	136	152	168	184	200	216	232	248	264
7	23	39	55	71	87	103	119	135	151	167	183	199	215	231	247	263
6	22	38	54	70	86	102	118	134	150	166	182	198	214	230	246	262
5	21	37	53	69	85	101	117	133	149	165	181	197	213	229	245	261
4	20	36	52	68	84	100	116	132	148	164	180	196	212	228	244	260
3	19	35	51	67	83	99	115	131	147	163	179	195	211	227	243	259
2	18	34	50	66	82	98	114	130	146	162	178	194	210	226	242	258
1	17	33	49	65	81	97	113	129	145	161	177	193	209	225	241	257

Fig. 3.4.15 Grid System of Quasi Three Dimension Analysis for Rayyan



(1) Initial Step; 1 day

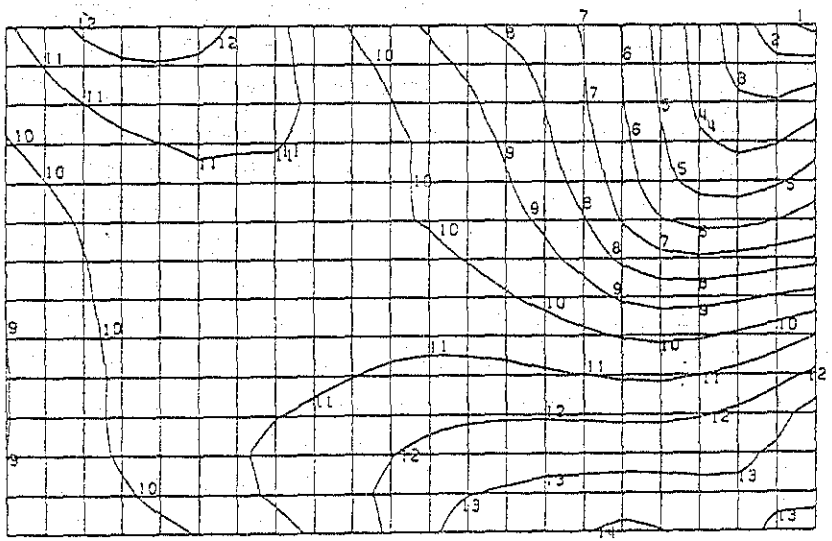


(2) 1 Month after

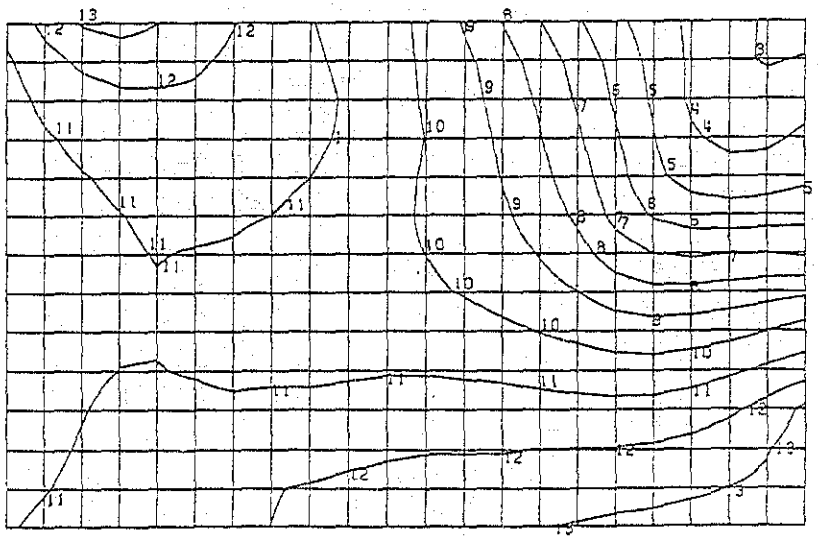
LEGEND

(m in QND)

1)	1.0000
2)	1.5000
3)	2.0000
4)	2.5000
5)	3.0000
6)	3.5000
7)	4.0000
8)	4.5000
9)	5.0000
10)	5.5000
11)	6.0000
12)	6.5000
13)	7.0000
14)	7.5000



(3) 8 Months after



(4) Final Step; 3 Years after

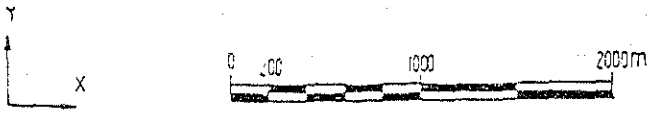
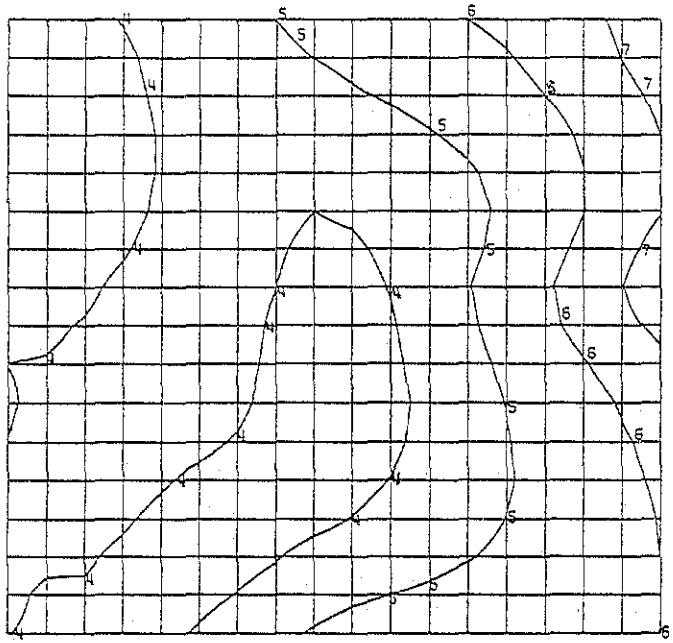
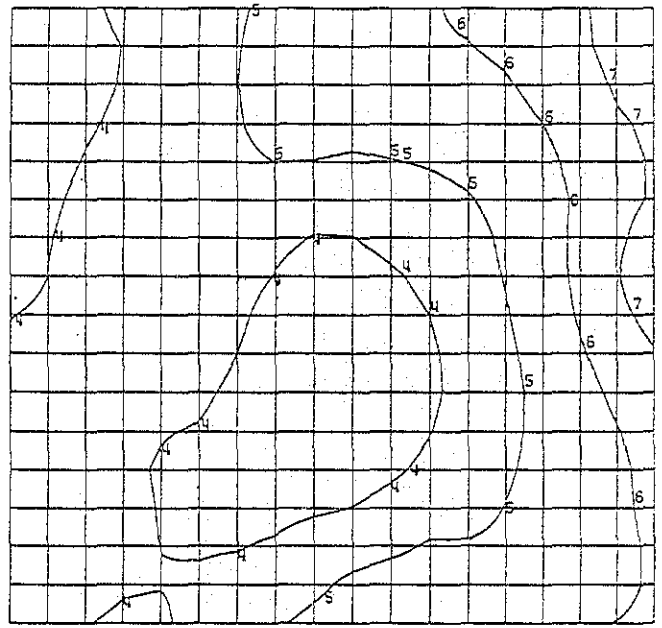


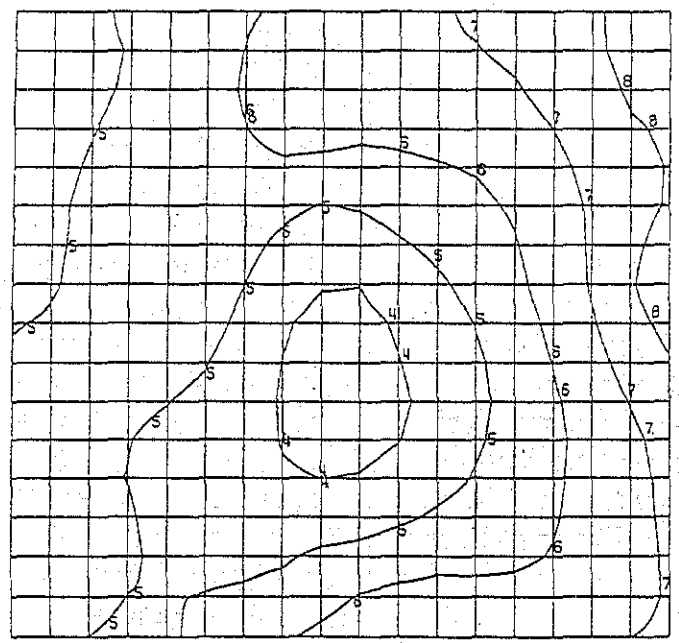
Fig. 3.4.16 Simulation of Groundwater Level from 1983 to 1986 for Wadi Musherib



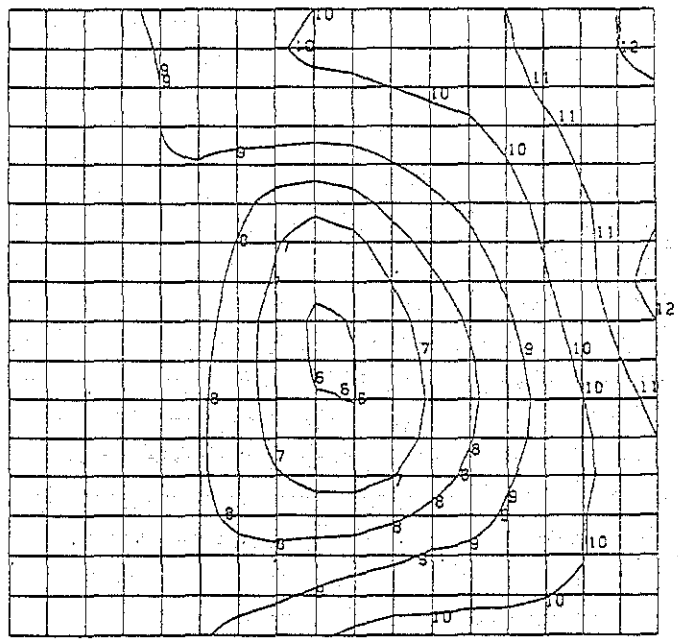
(1) Initial Step; 1 day



(2) 1 Month after



(3) 8 Months after



(4) Final Step; 3 Years after

LEGEND

(m in QND)

1) 3.5000
2) 3.7500
3) 4.0000
4) 4.2500
5) 4.5000
6) 4.7500
7) 5.0000
8) 5.2500
9) 5.5000
10) 5.7500
11) 6.0000
12) 6.2500
13) 6.5000

Y
X

0 200 1000 2000m

Fig. 3.4.17 Simulation of Groundwater Level from 1983 to 1986 for Rayyan

3.5 水　質

地下水位上昇問題に対する対策立案に関連して，JICA調査団は次のような目的で水質調査を実施した。

(1) ドーハ市，ラヤン地区およびニュー　ディストリクトの3調査対象地域について，それぞれの広域的な地下水水質の特性の把握

(2) 地質構造との関連において，深さ方向の地下水水質の変化

(3) 地下水の再利用および水処理を検討するための基礎資料の収集（6.6項参照）

(4) 海域投棄の可能性を検討するための地下水および海水の汚染状況の実態把握

(5) ワジ　ムシリブおよびラヤンの2地区で実施された試験施工地点における連続揚水に伴う地下水水質の経時的変化の把握（5章参照）

3.5.1 水質試験の方法

JICA調査団で実施する水質調査は，少量サンプルによる簡易分析型の現場試験であるため，測定誤差の発生が懸念されるので，別途同じサンプルをドーハ市南部下水処理場の実験室に持ち込み，水質分析を依頼した。実験室での水質分析は，国際的に共通なStandard Methods for Water Quality by Am.Water Works Associationにもとづいて行なわれている。

(1) 分析装置

JICA調査団が持ち込んだ簡易分析用の試験装置及び器具は次の通りである。

① 携帯用光電光度計（DREL/5　モデル）搭載の迅速型分析キッド（米国HACH社および日本セントラル科学社製）

② 携帯用／迅速ＣＯＤ測定器HC-307型（日本セントラル科学社）

③ 携帯用ＰＨメーター（HACH社）

④ 机上型電導度計　30CT型（日本・東亜電波工業社）

⑤ 大腸菌群検出試験紙（コリテップ）

(2) 分析項目

分析項目は表－3.5.1に示す通り，通常の水質分析項目だけではなく，COD, BOD, PO4 およびTotal Sulphideの4項目を追加した。

表 3.5.1 Selected Items for Water Quality Analyses

Test Items	Unit	ASCO	JICA	
			Study Team	Doha South Lab
Electric Conductivity(EC)	(μs/cm)	○	○	○
pH		○	○	○
Major Ions:Cations				
Ca	(mg/ℓ)	○(as Ca)	○CaH(as CaCO3)	○(as CaCO3)
Mg	(〃)	○(as Mg)	○MgH(〃)	○(〃)
	(〃)		○Total H(〃)	
Na	(mg/ℓ)	○		○
K	(〃)	○		○
Anions HCO3	(mg/ℓ)	○(as HCO3)	○T-Alk(as CaCO3)	
SO4	(〃)	○		○
Cl	(〃)	○(as Cl)	○	○
NO3	(〃)	○(as NO3)	○NO3-N(as N)	
PO4		○		
B, F, I		○		
Items Suggesting Pollution				
COD(KMnO4)	(mg/ℓ)		○ (as O)	○
BOD	(〃)			○
PO4	(〃)		○ (as O-PO4)	
Total-Sulphide	(〃)			○(as S)

(3) サンプリング地点

水質分析用のサンプルは，ASCO調査の試験井（崩壊あるいは投石等によって閉塞しているものがある），機械堀り井戸，かんがい用素掘り井戸のほか，掘削現場や素掘りピット等からも採水した。

① 試験井（16地点）

2239－1PD, 3TD, 4PD, 5PD, 7PD, 9PD, 11PD

2339－2TR, 3PD, 6PD, 7PR, 9PR, 10PD, 11TR, 12PR, 13PD

② ドーハ市地区のサンプルはそのほとんどをCリング道路の内側から採水した。（36地点）

③ ラヤン地区のサンプルの大部分は農園および長い間使用されていない廃園に設

けられたかんがい用井戸から採取された。（26地点）

④ ニュー ディストリクトには，サンプリングできる井戸が少なく，サンプルの数に制限を受けた。（4地点）

3.5.2 水質調査結果

全試料についての水質分析の結果はサポーティングレポート Part Cに収録してある。全サンプル数は 134試料であり，その中の94試料はJICA調査団自身で水質分析を行ない，残り40試料はドーハ市南部下水道処理場の実験室に委託して分析を行なった。

3.5.3 広域的な地下水水質の特性

(1) PH値

3つの調査対象域を通じて，地下水のPH値はPH 7のオーダーを示している。

(2) EC値

EC測定値（測定単位micro mhos／cm）をL（EC＜3,000），LM（3,000＜EC＜6,000），M（6,000＜EC＜9,000），H（9,000＜EC）の4段階に分類して広域的なEC値の分布状況（図－3.5.1）を見ると，次のように概括することができる。

① ラヤン地区の地下水のEC値がドーハ市域のそれと比較して，明らかに高い値を示している。

② ドーハ市域では，Bリング道路より外側に向かってEC値は高くなる傾向を示し，Cリング道路沿いのEC値が高い。

i) ドーハ市域のEC値

ドーハ市域で採水されたサンプル（N＝33）のEC値の範囲を見ると次の通りである。

EC＜3,000 micro mhos／cm	；	5サンプル	（15％）
＜6,000 〃	；	16 〃	（49％）
＜9,000 〃	；	7 〃	（21％）
＞9,000 〃	；	5 〃	（15％）

全サンプルの約65％は，EC6,000 以下で地下水としては比較的低い値を示しており，Bリング道路より内側では，生活用水による希釈が進んでいると考えられる。

高いEC値は，Cリング道路沿いとワジ　ムシリブ沿いに記録されており，これ等の中には10,000～20,000　micro mhos／cmの値を示すものがある。

ii) ラヤン地区のEC値

ラヤン地区で採水れたサンプル（N＝24）のEC値の範囲をみると次のとおりで，ドーハ市域のEC値と比べて高い値を示していることがわかる。

EC＜ 5,000 micro mhos／cm	；	1サンプル	（4％）
＜ 8,000 〃	；	4 〃	（17％）
＜10,000 〃	；	2 〃	（8％）
＜20,000 〃	；	13 〃	（54％）
＞20,000 〃	；	4 〃	（17％）

全サンプルの中，その約70％がEC10,000以上を占めている。高いEC値は，ラヤン試験施工地点から西北方向にある農園のかんがい用井戸に多く認められる。

iii) ニュー　ディストリクト地区のEC値

その東側が埋立て地となっているニュー　ディストリクト地区には，サンプリングのできる井戸が見当らず，サンプル数（N＝4）が少ない。したがって，“広域的な特性を求めることは難しいが，測定されたEC値はいずれも高く，中には海水に近いEC値（56,000　micro mhos／cm）が記録されている。

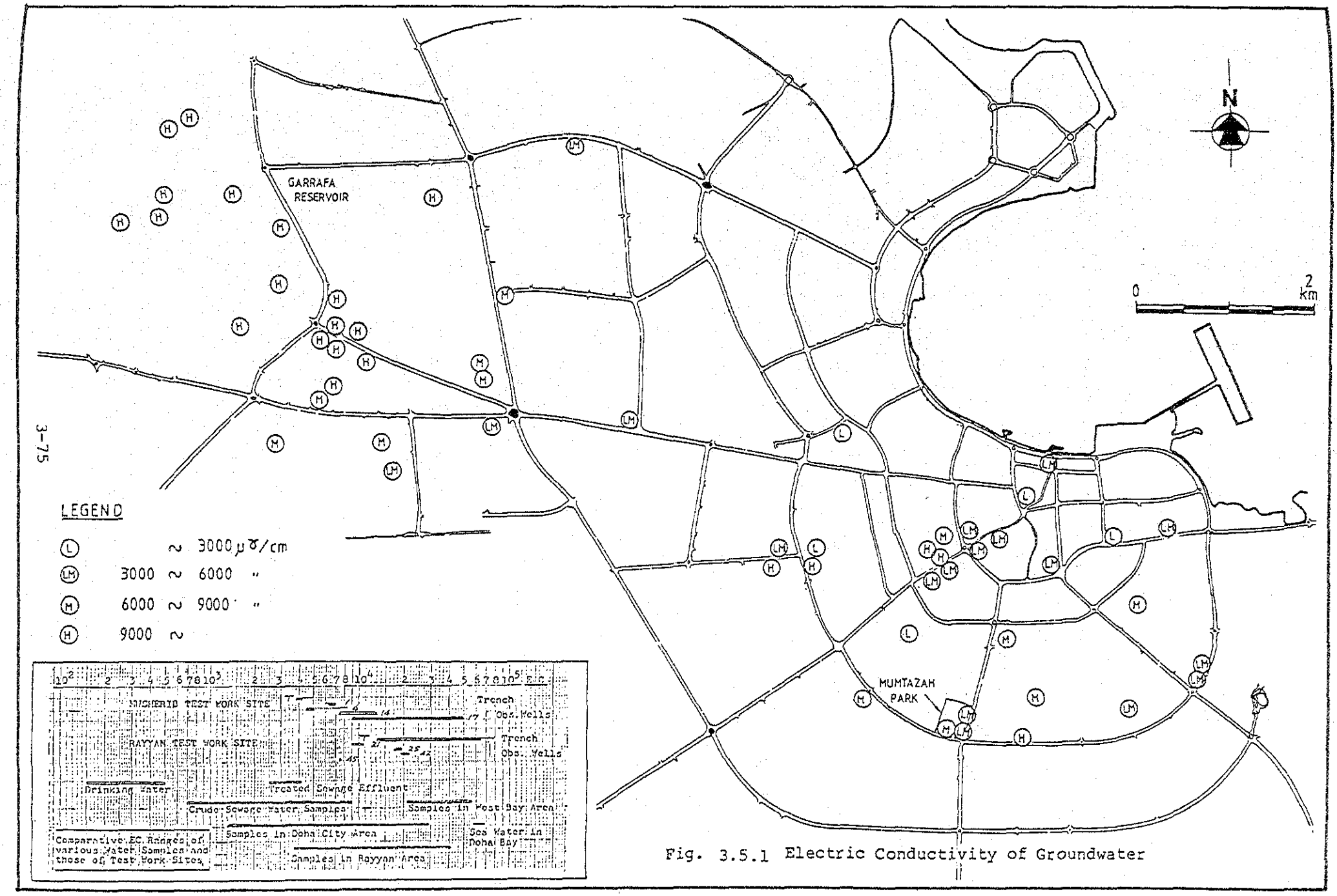


Fig. 3.5.1 Electric Conductivity of Groundwater

(3) COD 値

COD 測定用のサンプリングはドーハ市域で39地点（この内プロジェクト試験井で16地点），ラヤン地区で24地点，計63地点で実施した。これ等COD 測定値の大きさを棒グラフにして，地図上にプロットすると図－3.5.2のように示される。

臭気等より判断して，明らかに下水により汚染されている地点の特別な事例を除けば，全般的にCOD 値は5 ppm 以下と低く，賦存されている地下水がひどい汚染を受けているとは考えられない。

ドーハ市域とラヤン地区のCOD 値を比較すると，ラヤン地区の値がやや高い傾向を示した。

i）ドーハ市域のCOD 値

ドーハ市域で採水されたサンプル（N＝39）のCOD 値の範囲を見ると次の通りである。

COD	＜3 mg／ℓ (ppm)	；	17サンプル	(44％)
	＜5 〃	；	10 〃	(26％)
	＜10 〃	；	6 〃	(15％)
	＞10 〃	；	6 〃	(15％)

全サンプルの中，その70％が COD ＜5 mg／g以下である。

プロジェクト試験井（N＝16）より採取したサンプルのCOD 値を示すと次のとおりである。

COD	＜3 mg／ℓ (ppm)	；	9 サンプル	(56％)
	＜5 〃	；	2 〃	(13％)
	＜10 〃	；	4 〃	(25％)
	＞10 〃	；	1 〃	(6％)

プロジェクト試験井の地下水の中でCOD 値の高いものは次の3井である。

2339－3 PD	8.8	mg／ℓ (ppm)
2339－9 PR'	11.6	〃
2339－11TR	7.2	〃

ii）ラヤン地区のCOD 値

ラヤン地区で採水されたサンプル（N＝24）のCOD 値の分布範囲を示すと次の通りである。

COD	＜3 mg／ℓ (ppm)	；	6 サンプル	（25％）
	＜5 〃	；	7 〃	（29％）
	＜10 〃	；	8 〃	（33％）
	＞10 〃	；	3 〃	（13％）

ラヤン地区のサンプルは，そのほとんどが農園の溜池や貯水槽からのものであり，その水面にはごみや浮滓が浮いていたので自然の地下水のCOD 値を示していない面も考慮すべきではないかと思われる。

ラヤン地区のサンプルの1部に対しては大腸菌群を簡易試験紙を用いて現場検出を行なった。

COD	＜3 mg／ℓ (ppm)	；	2 サンプルの中陽性	2	（揚水ポンプからのサンプル 1）
	＜5 〃	；	4 〃	3	（ 〃 3）
	＜10 〃	；	5 〃	5	（ 〃 1）
	＞10 〃	；	3 〃	3	（ 〃 0）

既設揚水ポンプで汲み揚げたサンプル8検体の中の5検体が陽性を示した。

iii）海水のCOD 値

海水のCOD 汚染状況を調べる目的で，ドーハ湾の海岸線に沿いと湾内でサンプリングを行なった。ドーハ湾内で採水したCOD 値は 3.9～ 4.5mg／ℓで，海岸線沿いでのCOD 値よりも低かった。

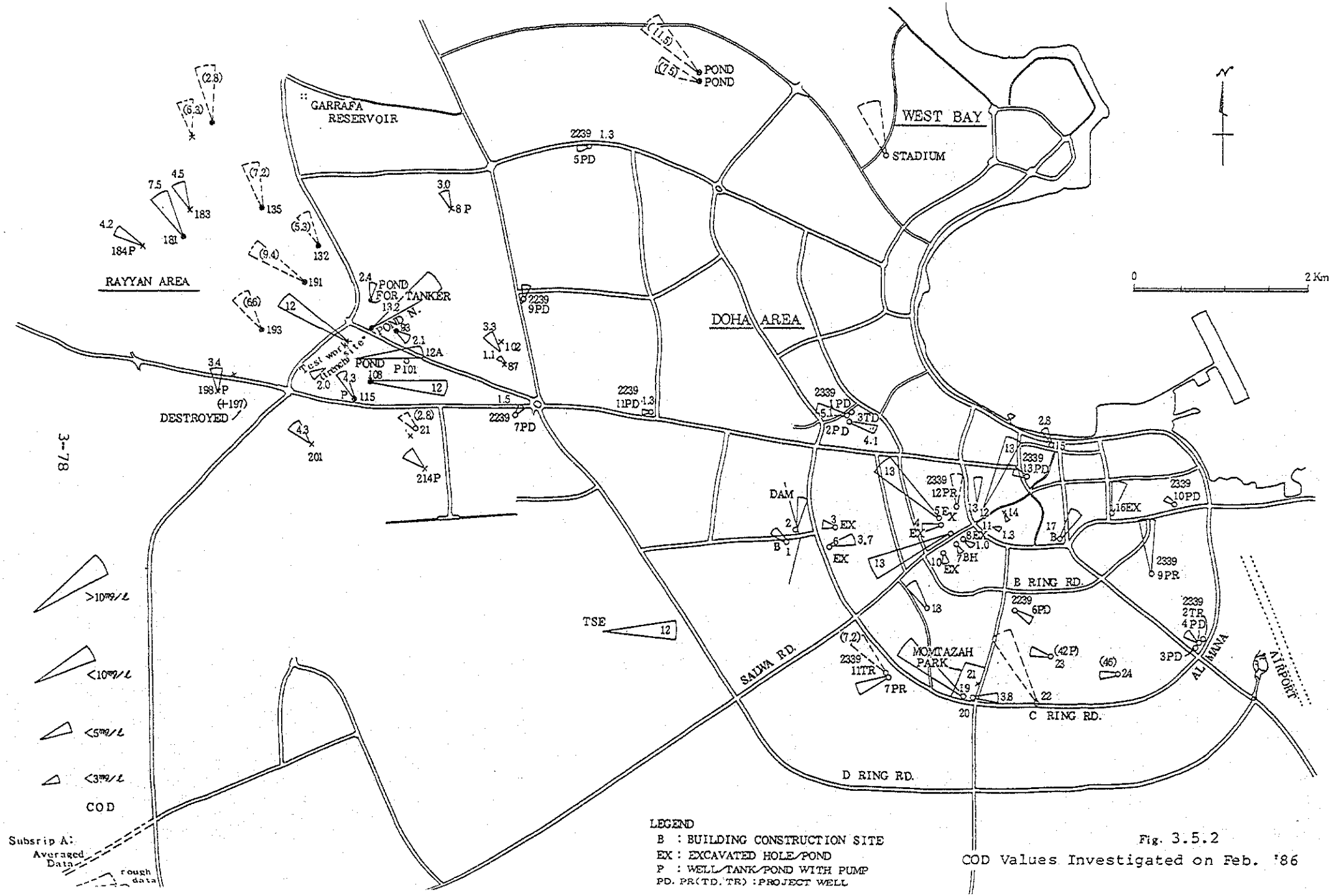


Fig. 3.5.2
COD Values Investigated on Feb. '86

(4) BOD 値

分析の容易さが理由でCOD 値を用いて調査を進めてきたが，BOD 値との関連を見るため，ムシリブおよびラヤンの試験施工地点で各1サンプルのBOD 値の分析を行った。結果は同サンプルのCOD 値とともに以下に示されるとおりである。

	ムシュリブ地点	ラヤン地点
BOD	0.2 ppm	0.2 ppm
COD	1.7 ppm	11.9 ppm

(5) 有害重金属類

ASCO調査時代を通じて，調査対象地域に賦存する地下水には有害重金属類の存在は認められないとされているが，念のためムシュリブおよびラヤンの試験施工地点で汲み揚げた地下水のサンプルについて，カタール国厚生省地域センターの食品汚染監視局に分析を依頼した。いずれのサンプルについても問題はない。

表－3.5.2　地下水中重金属分析結果
（カタール国厚生省地域センター食品汚染監視局分析）

	ムシュリブ排水溝地下水	ラヤン排水溝地下水	日本国水道法水質基準
鉄　(mg／ℓ)	0.001　以下	0.001　以下	0.3 以下
マンガン　〃	0.001　以下	0.001　以下	0.3　〃
銅　〃	0.0230	0.0450	1.0　〃
亜鉛　〃	0.0290	0.0166	1.0　〃
鉛　〃	0.0026	0.0033	0.1　〃
カドミウム〃	0.0006	0.0005	0.01　〃
クローム　〃	0.0027	0.0091	（六価）0.05　〃

3.5.4　井戸の深さ方向の地下水水質の変化

ASCO調査の試験井はPD（ダンマム層），PR（ラス層）の記号で分類されている。

(1) 近5ヶ年間の変化

ASCO調査とJICA調査とで測定されたEC値の比較を表－3.5.3に示す。いくつかの例外を除けば，地下水のEC値は時間がたつにつれて徐々に低下していることがわかる。

(2) 深度方向の変化

井戸の深さ方向の水質の変化を調べる目的でJICAの調査団はダンマム層の試験井で6本（2239－7PD，2339－3PD，6PD，10PD，13PD），ラス層の1本（2339－12PR）計

7本について，採水深度を変えて採水を行なった。

2339－3PDの深部でほとんど海水に近いEC値を示しているが，他のPD孔では顕著な差異が認められないので，ダンマム層に賦存する地下水のEC値は，深さ方向に大きな変化はないと考えてよいであろう。一方，ラス層については2339－12PRの1本のみの記録であるが，深さに応じて地下水のEC値は高くなる傾向を示している。

Table 3.5.3 Historical Variation in EC Values at ASCO Project Wells

(1) Lithological Classification

	Project Wells		EC Values (micro mohs/cm)			Ⓑ / Ⓐ
			Ⓐ ASCO Records		Ⓑ JICA	
	No.	Locations	1982 Sep.-Dec.	1983 Jan.-Mar.	1986 Mar.	(%)
DAMMAM	2239- 1PD	Rumaillah Hospital	2,800	-	2,080	74
	- 3TD	"	2,100	1860-1950	1,500	71
	- 5PD	Regional Trading Center	6,100	-	3,140	51
	- 7PD	Nearby the Grand Mosque	12,400	-	6,970	56
	- 9PD	Mamoor corner	3,500	-	6,080	174
	2239- 3PD	Al-Mana Roundabout	8,800	-	5,220	59
	- 5PD	Water Dept. Store	12,500	-		96
	- 6PD	"	-	-	12,000	
	-10PD	Wimpey's corner	-	4,700	3,440	73
	-13PD	Nearby the Court house	-	4,400	2,450	56
RUS	2339- 2TR	Al-Mana Roundabout	14,500	-	4,580	32
	- 7PR	Toy's Club	-	7,100-8,700	6,810	96-78
	- 9PR	Umm Guwalina Clinic	-	11,100	6,630	60
	-11TR	Toy's Club	-	9,500	7,200	76
	-12PR	NEW Head quarter	-	32,000	32,700	102

(2) Regional Classification

Region	Project Well No.	EC Value (micro mohs/cm) Ⓐ ASCO Records 1982 Sep.-Dec.	Ⓐ ASCO Records 1983 Jan.-Mar.	Ⓑ JICA 1986 Mar.	Ⓑ / Ⓐ (%)
Inside 'A' Ring Road	2339-13PD	-	4,400	2,450	56
	-10PD	-	4,700	3,440	73
Between 'A' and 'B' Ring Roads	2339-12PR		32,000	32,700	102
Between 'A' and 'B' and 'C' Ring Roads	2239- 1PD	2,800	-	2,080	74
	- 3TD	2,100	1860-1950	1,500	71
	2339- 5PD	12,500	-	-	96
	- 6PD	-	-	12,000	
	- 2TR	14,500	-	4,580	32
	- 3PD	8,800	-	5,220	59
	- 9PR	-	11,100	6,630	60
Outside of 'C' Ring Road	2239- 5PD	6,100	-	3,140	51
	- 9PD	3,500	-	6,080	174
	- 7PD	12,400	-	5,200	42
	2339- 7PR	-	7,100-8,700	6,810	96-78
	11TR	-	9,500	7,200	76

表－3.5.4　プロジェクト試験井における採水深さとＥＣ値

Unit: (micro mohs/cm)

Item	Dammam Formation										Rus Formation	
No.	2239-7PD		2339-3PD		2239-6PD		2239-10PD		2239-13PD		2239-12PR	
WD	10 m	17.5 m	7.5 m	20 m	2 m	13 m	6 m	10.5 m	5 m	13 m	6.5 m	40 m
EC	-	-	5,220	49,700	12,200	12,000	-	-	2,400	2,450	28,600	32,700
	(5,470)	(6,970)	(5,220)	(5,400)	-	-	(3,560)	(3,450)	-	-	(29,200)	(35,520)

Note: 1) WD mean depth of water.
2) The value in the parentheses was measured by Laboratory of Doha South Sewage Treatment Plant.

3.5.5　汲み揚げ地下水の海域放流の可能性

ASCO調査および今回のJICA調査を通じて実施された地下水の水質調査結果を判断基準にする限り，調査対象地域に賦存されている地下水を汲み揚げて，海域に放流することに関して，環境汚染上のトラブルを惹起するとは考えられない。

しかしながら，ガルフ湾内の環境保全問題が湾岸諸国で色々と論議を呼んでいる時代でもあり，海域放流が及ぼす影響について若干の検討を試みた。

海域放流が環境に与えるインパクトとしては，放流量と放流水質の両者が考えられるが，量の問題は現在湾岸諸国で行なわれている海水淡水化事業（概略 300万m³／日と推定されている）から排出される濃縮海水量に比較すると問題視するような放流量ではない。

(1)　放流水の排水基準

日本国では下水や工場排水の処理水を公共用水域（海域，河川，湖沼）へ放流し得る排水基準を設け，その項目としてpH，有機や無機物質（BOD，COD等）浮遊物質(SS)，有害物質（カドミウム，シアン化合物，有機リン化合物），重金属（鉛，水銀等），シアン化合物，大腸菌群等についてその許容限界値が規定されている。

日本国の総理府令が定めた全国一律の排水基準（表－3.5.5）を例として示すと次のとおりである。更に，総理府令で各施設からの放流水水質は施設が建設される地方の産業構造，環境条件ならびに排水処理技術の水準等を勘案したうえ放流水域の利水目的（水道用水源，工業用水源，水産用水源，環境保全等）に整合させるために，上記の全国一律の排水基準より厳しく設定されているその地方の排水基準に従うよう規定されている。例えば，ＣＯＤ 10ppm，ＢＯＤ 10ppmと厳しく制限を課した地方もある。

表－3.5.5　日本国総理府令による全国一律の排水基準

項　　目	許　容　限　度
pH	海域以外の公共用水域に排出させるもの 5.8以上 8.6以下 海域に排出されるもの 5.0以上 9.0以下
BOD　（mg／ℓ）	160(日間平均 120)
COD　（〃）	160(日間平均 120)
SS　（〃）	160(日間平均 120)
ノルマルヘキサン抽出物含有量（〃）（鉱油類含有量）	5
ノルマルヘキサン抽出物含有量（〃）（動植物油脂類含有量）	30
フェノール類含有量　（〃）	5
銅含有量　（〃）	3
亜鉛含有量　（〃）	5
溶解性鉄含有量　（〃）	10
溶解性マンガン含有量　（〃）	10
クロム含有量　（〃）	2
フッ素含有量　（〃）	15
大腸菌群数　（個／cm³）	日間平均 3,000
カドミウム及びその化合物　（mg／ℓ）	0.1
シアン化合物　（〃）	1
有機りん化合物（パラチオン，メチルパラチオン，メチルジメトン及びEPNに限る）（〃）	1
鉛及びその化合物　（〃）	1
六価クロム化合物　（〃）	0.5
ひ素及びその化合物　（〃）	0.5
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物　（〃）	0.005
アルキル水銀化合物	検出されないこと
PCB　（〃）	0.003

(2) 水質環境基準

また，日本国では生活環境を保全するために公共用水域の利用目的（水道用水源，工業用水源，水産用水源，環境保全等）に適合する水質環境基準値を設けている。

日本国における水質環境基準を例示すると表－3.5.6のとおりである。

(3) 本調査対象地域の賦存地下水の海域放流

調査対象地域から汲み揚げた地下水を海域に放流する場合，環境に与えるインパクトの中で重視すべき項目は放流地下水のCOD 値である。

試験施工地点で4ヶ月にわたって継続的に汲み揚げた地下水のCOD 値は，ムシュリブ地点で 0.7～ 3.6 ppm，ラヤン地点で 3.9～14.6 ppmであった。ラヤン地区のCOD 値のほうが数値とバラツキ範囲も大きい。

ドーハ湾岸の海水のCOD 値がラヤンでのCOD 値よりも少し低いけれども，汲み揚げた地下水の海域への放流は支障がほとんどないと考えられる。

しかしながらより安全確保のために放流地下水については，長期的なモニターを継続するとともに，ラヤン地区の地下水については，マングローブ植生などの簡易生物処理池を通して間接的に放流することが望ましい。

表－3.5.6　生活環境の保全に関する水質環境基準

海　域

類型	pH	COD	DO	大腸菌群数	n－ヘキサン抽出物
A	7.8 － 8.6	2 ppm 以下	7.5ppm 以上	1,000MPN/100mℓ	検出されないこと
B	7.8 － 8.3	3 ppm 以下	5 ppm 以上	—	〃
C	7.8 － 8.3	8 ppm 以下	2 ppm 以上	—	—

A　利用目的（適応性）　水産一級，水浴
B　〃　〃　水産二級，工業用水
C　〃　〃　環境保全

河　川

類型	pH	BOD	SS	DO	大腸菌群数
AA	6.5 － 8.5	1 ppm 以下	25ppm 以上	7.5ppm 以上	50MPN/100 mℓ以下
A	6.5 － 8.5	2 ppm 以下	25ppm 以上	7.5ppm 以上	1,000MPN/100mℓ以下
B	6.5 － 8.5	3 ppm 以下	25ppm 以上	5 ppm 以上	5,000MPN/100mℓ以下

AA　利用目的（適応性）　水道一級，自然環境保全
A　〃　〃　水道二級，水産一級，水浴
B　〃　〃　水道三級，水産二級

湖　沼

類型	pH	BOD	SS	DO	大腸菌群数
AA	6.5 － 8.5	1 ppm 以下	1 ppm 以上	7.5ppm 以上	50MPN/100 mℓ以下
A	6.5 － 8.5	3 ppm 以下	5 ppm 以上	7.5ppm 以上	1,000MPN/100mℓ以下
B	6.5 － 8.5	5 ppm 以下	15ppm 以上	5 ppm 以上	——

AA　利用目的（適応性）　水道一級，水産一級，自然環境保全
A　〃　〃　水道二・三級，水産二級，公共用水，農業用水

注：河川の類型（C，D，E），湖沼の（B，C）はここでは省略する。

これらの環境基準の適用される水域，海域は別に政府閣議の決定により，水域，類型毎に指定される。