

c. 費用積算

サブエリア-5における揚水井戸工の総費用は、下記に示すとおり US\$ 600,000 である。

| | | |
|------------|------|---------|
| 1) 揚水井戸工事費 | US\$ | 500,000 |
| ・揚水井戸掘削費 | | 340,000 |
| ・洗浄・仕上げ等費 | | 60,000 |
| ・ポンプ設置費 | | 100,000 |
| 2) 配管等工事費 | US\$ | 100,000 |
| 合計 | US\$ | 600,000 |

(注：工事費には、経費、予備費、雑費を含む。)

13.2.5 汚染地下水の処理対策（汚染対策案-7A、7B）

サブエリア-4 および-5 から揚水される汚染地下水の総量は 150～350 m³/日であり、汚染地下水は塩分と有害な重金属類を含むことから処理対策が必要である。なお、汚染地下水を直接オマーン湾に廃棄することは有害な重金属類を含有することから不適當である。

汚染地下水の汚染対策案-7A および 7B の 2 案からなる。

- ・汚染対策案-7A : 逆浸透膜 (RO) による除去
- ・汚染対策案-7B : 蒸発池で全量処理

水処理技術に関する電気分解法、イオン交換法、蒸留法を含む他の技術は溶存物質を除去することはできるが、多量の汚染水の処理には不適當である。また、重金属類の凝集沈殿法による除去では試験の結果十分な除去ができなかったことから水処理には不適當である。さらに、タンニン等の吸着法は吸着材料および維持費が高価となり、非現実的である。

各対策案を以下に述べる。

(1) 汚染対策案 - 7A

汚染水処理システムは逆浸透膜 (RO) からなる分離膜技術を使用する。RO は水から塩化物と硫化物のような陰イオンおよび重金属イオンを有効的に除去することができる水処理技術である。

提案した RO 処理施設の概略的フローを図 13.8 に示す。RO 処理システムは処理水の 50% に相当する約 75～175m³/日の比較的清浄な淡水をつくる。RO 処理による各イオンの除去率を表 13.8 に示す。処理水は家庭用や農業用の水質レベルが確保される。

処理水は KM14 のワジ・スーク川下流域に再注入し、地下水を涵養し地下水位を極端に低下することを防止する。また、現地住民用の農業用水にも使用可能である。

水処理後、約 75～175m³/日の高濃度の塩分および重金属類を含む濃縮水が発生する。この濃縮水はサブエリア-5 区域内に設置する蒸発池に送水され、蒸発乾固される。蒸発池は 2 箇所設置され、乾固物の処理を行うために交互に使用する。

表 13.8 RO 処理による除去率

| イオン種 | 汚染地下水 濃度 (mg/L) | 処理目標 濃度 (mg/L) | 最大許容 濃度 (mg/L) | RO 処理 濃度 (mg/L) | 除去率 (%) |
|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|
| Ca | 813 | 200 | 500 | 35 | 95.7 |
| Mg | 811 | 200 | 500 | 35 | 95.7 |
| Na | 2,384 | 200 | 400 | 335 | 85.9 |
| K | 95 | NA | NA | 15 | 84.2 |
| Fe* | 0.272 | 0.3 | 1.0 | 0.01 | 96.3 |
| Mn | 0.18 | 0.1 | 0.5 | 0.01 | 94.4 |
| As* | 0.008 | NA | 0.01 | 0.003 | 62.5 |
| Cu* | 0.062 | 1.0 | 1.5 | 0.01 | 83.9 |
| Cr* | 0.21 | NA | 0.05 | 0.01 | 95.2 |
| Pb* | 0.3 | NA | 0.01 | 0.01 | 96.7 |
| Ni* | 0.033 | NA | 0.02 | 0.01 | 69.7 |
| Zn* | 0.082 | 3.0 | 5 | 0.01 | 87.8 |
| SiO ₂ | 100 | NA | NA | 10 | 90.0 |
| HCO ₃ | 167 | NA | NA | 25 | 85.0 |
| Cl* | 6,388 | 250 | 600 | 600 | 90.6 |
| SO ₄ | 584 | 250 | 400 | 30 | 94.9 |
| NO ₃ | 12 | NA | 50 | 5.0 | 58.3 |
| F | 0.5 | NA | 1.5 | 0.05 | 90.0 |
| pH | 7.15 | 6.5-8.0 | 9 | 6.5-7.0 | NA |
| TDS | 11,500 | 800 | 1,500 | 1,000 | 91.3 |

- 注： 1) 処理目標濃度は、オマーン国飲料水水質基準(ドラフト；8/1998)より抜粋。
 2) 最大許容濃度は、オマーン国飲料水水質基準(ドラフト；8/1998)の他に
 水源がない場合、より抜粋
 3) Process Technologies, Colorado, US
 * DH-4S の水質データ (JICA, 2001) および KM-14 の水質データ (MWR, 1995)

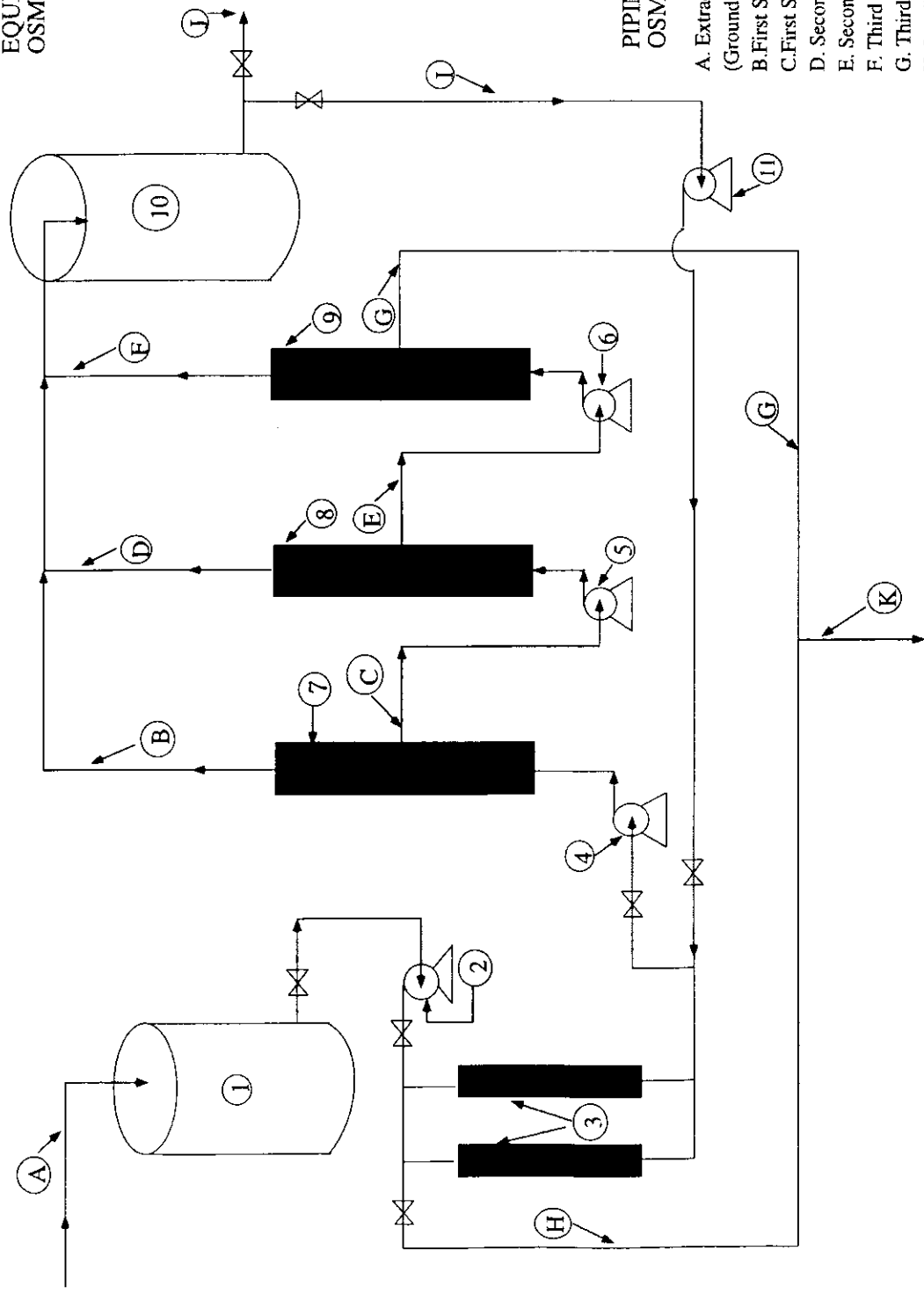
乾固した汚染物質は重金属類を含む塩分であることから、雨水等に再溶解あるいは飛散しないように、最終的に袋詰めに入れ、倉庫内に保管される。倉庫はワジ内の表流水の影響のない近隣の段丘面上に設置する必要がある (図 13.6)。この一連の水処理により Cl 分として 921~2,148kg/日の除去が見積もれる。

a. 汚染水処理工の内容

- ・汚染水処理工の仕様を以下に示す。
 - 1) 汚染水処理工の位置 : サブエリア-5 区域内
 - 2) 汚染水処理工の仕様

EQUIPMENT LIST FOR OSMOSIS TREATMENT SYSTEM

1. Raw Water Storage Tank
2. Pre-Filter Feed Pump
3. Dual Media Pre-Filters
4. First Stage High Pressure Stainless Steel Feed Pump
5. Second Stage High Pressure Stainless Steel Feed Pump
6. Third Stage High Pressure Stainless Steel Feed Pump
7. First Stage Reverse Osmosis Membrane Unit
8. Second Stage Reverse Osmosis Membrane Unit
9. Third Stage Reverse Osmosis Membrane Unit
10. Permeate(Treated Water) Storage Tank
11. Pre-Filter Backwash Pump



PIPING LIST FOR REVERSE OSMOSIS TREATMENT SYSTEM

- A. Extraction System Discharge Piping (Groundwater from Extraction Wells or Trench)
- B. First Stage Permeate Discharge Line
- C. First Stage Concentrate Discharge Line
- D. Second Stage Permeate Discharge Line
- E. Second Stage Concentrate Discharge Line
- F. Third Stage Permeate Discharge Line
- G. Third Stage Concentrate Discharge Line
- H. Pre-Filter Backwash Feed Line
- I. Pre-Filter Backwash Discharge Line
- J. Treated Water Distribution Line

図 13.8 逆浸透膜による水質改善のフロー

- ・汚染水処理量 : 150～350 m³/日
 - ・汚染水処理のフロー : 図13.8参照
 - ・敷地面積 : 0.5 ha
- 3) 蒸発池の仕様
- ・処理量 : 75～175 m³/日
 - ・蒸発池の数量 : 2 箇所
 - ・蒸発池のサイズ : 100 x 100 m x 2箇所
 - ・蒸発池の面積 : 10,000 m² x 2箇所
 - ・蒸発池の深さ : 1 m (周縁の防水堤の高さ:1m) : 計 2m
 - ・蒸発池の容積 : 15,000 m³ x 2箇所
 - ・防水材 : 2重HDPE膜による防水
 - ・乾固物質量 : 1.6～3.7 t/日
- 4) 排水設備
- ・排水の位置 : 汚染水処理施設から再注入孔へ
- 5) 汚染物質用保管倉庫
- ・汚染物質保管量 : 590～1,350 t/年
≒ 400～900 m³/年
 - ・保管容量 : 4,000～9,000 m³ (0～10年後)
2,000～4,500 m³ (10～20年後)
1,000～2,250 m³ (20～30年後)
 - ・施設の規模 : 40m (幅) x 50m (奥行) x 5m (高さ) x 1～2棟
容積 : 10,000 m³/棟

b. 工程

汚染水処理の汚染対策案-7Aの工程を表13.9に示す。工事期間は約9ヶ月を要する。

c. 費用積算

サブエリア-5における汚染水処理工の費用は、下記に示すとおり汚染水処理施設工事費がUS\$ 1,500,000、蒸発池建設工事費がUS\$700,000および保管倉庫建設工事費がUS\$900,000である。総費用はUS\$3,100,000である。

| | |
|---------------|--------------------------|
| 1) 汚染水処理施設工事費 | US\$ 1,000,000～1,500,000 |
| ・RO等設備費 | 400,000～800,000 |
| ・建屋建設費 | 300,000～400,000 |
| ・試験費等 | 300,000～300,000 |
| 2) 蒸発池建設工事費 | US\$ 400,000～700,000 |
| ・土工費 | 170,000～300,000 |
| ・HDPE被覆費 | 200,000～350,000 |

| | | | | |
|--------------|-----------|------|----------|---------|
| | ・フェンス建設費等 | | 30,000～ | 50,000 |
| 3) 保管倉庫建設工事費 | | US\$ | 300,000～ | 900,000 |
| | ・建屋建設費 | | 300,000～ | 900,000 |

合計 US\$ 1,700,000～3,100,000

(注：工事費には、経費、予備費、雑費を含む。)

表 13.9 汚染水処理施設、蒸発池等建設工事の工程

| 工事内容 (月) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 備考 |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1. 準備・移動 | ■ | | | | | | | | | |
| 2. 施設の建設 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| 3. RO等設置 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 4. 配管等付帯工事 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 5. 通水試験・技術 移転 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| 6. 蒸発池の建設 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| 7. 排水設備 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 8. 保管倉庫の建設 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| 9. 撤収 | | | | | | | | | ■ | |

(2) 汚染対策案-7B

汚染対策案-7B は、揚水した汚染地下水の全量を蒸発池で処理する案である。処理水量は汚染対策案-7A と同様に 150～350 m³/日であり、処理後浄化水はなく、浄化水による下流側への涵養は行われない。したがって、地下水位の低下を生じることになる。

蒸発池の設置箇所は対策案 - 7A と同様にサブエリア-5 区域内 (図 13.6) に設置する。蒸発池は2箇所設置され、乾固物の処理を行うために交互に使用する。乾固した汚染物質は重金属類を含む塩分であることから、雨水等に再溶解あるいは飛散しないように、最終的に袋詰めされ、倉庫内に保管される。倉庫はワジ内の表流水の影響のない近隣の段丘面上に設置する必要がある (図 13.6)。この一連の水処理により C1 分として 958～2,236 kg/日の除去が見積もれる。

a. 汚染水処理工の内容

・汚染水処理工の仕様を以下に示す。

- 1) 蒸発池の位置 : サブエリア-5 区域内
- 2) 蒸発池の仕様
 - ・処理量 : 150～350 m³/日
 - ・蒸発池の数量 : 2 箇所
 - ・蒸発池のサイズ : 100 x 100 m x 2箇所
 - ・蒸発池の面積 : 10,000 m² x 2箇所
 - ・蒸発池の深さ : 1 m (周縁の防水堤の高さ:1m) : 計 2 m
 - ・蒸発池の容積 : 15,000 m³ x 2箇所
 - ・防水材 : 2重HDPE膜による防水
 - ・乾固物質量 : 1.8～4.1 t/日
- 3) 汚染物質用保管倉庫
 - ・汚染物質保管量 : 660～1,500 t/年
 ≒ 440～1,000 m³/年
 - ・保管容量 : 4,400～10,000 m³ (0～10年後)
 2,200～5,000 m³ (10～20年後)
 1,100～2,500 m³ (20～30年後)
 - ・施設の規模 : 40m (幅) x 50m (奥行) x 5m (高さ) x 1～2棟
 容積 : 10,000 m³/棟

b. 工程

汚染水処理の汚染対策案-7B の工程を表 13.10 に示す。工事期間は約 8 ヶ月を要する。

表 13.10 汚染水処理施設、蒸発池等建設工事の工程

| 工事内容 (月) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 備考 |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1. 準備・移動 | ■ | | | | | | | | |
| 2. 蒸発池の建設 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 3. 保管倉庫の建設 | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 4. 撤収 | | | | | | | | ■ | |

c. 費用積算

サブエリア-5における汚染水処理工の総費用は、下記に示すとおり US\$ 700,000 である。

| | | |
|--------------|------|---------|
| 1) 蒸発池建設工事費 | US\$ | 400,000 |
| ・土工費 | | 170,000 |
| ・HDPE 被覆費 | | 200,000 |
| ・フェンス建設費等 | | 30,000 |
| 2) 保管倉庫建設工事費 | US\$ | 300,000 |
| ・建屋建設費 | | 300,000 |
| 合計 | US\$ | 700,000 |

(注：工事費には、経費、予備費、雑費を含む。)

13.3 ワジ・スーク川沿いの汚染対策のシミュレーションによる検討

13.3.1 KM14での完全遮水

廃さい堆積場にキャッピングし、KM-14に遮水壁を設置した場合のシミュレーションを行った。遮水壁により汚染が遮断されるものと仮定した。この遮水効果を確実にするためにはKM14における遮水壁の建設を慎重に行い、効果についてモニタリングによって確認することが必要である。

遮水壁設置後（遮水壁は2002年までに設置されることを仮定した）のワジ・スーク川の対象領域全体における10年後、20年後および30年後における予測結果を図13.9、図13.10および図13.11に示す。

KM14の下流ではワジ・スーク川の汚染水へ雨水が浸透し、また、支流からの比較的汚染の少ない水が混合することにより大きな浄化効果が現れている。遮水壁設置の効果をみるため経時的なC1濃度を図7.11に示す。

KM-14の下流では浄化効果が著しく、C1濃度は30年間で600 mg/L以下に減少している。トレンチ-2においてもC1濃度は減少している。30年後のファラージ・アル・カバイルのC1濃度は150 mg/Lから約325 mg/Lに増加している。しかし、この濃度は図7.13に示される濃度をかなり下回っている。

遮水壁設置後の遮水壁における経時的なC1濃度を図13.12に示す。C1濃度はほぼ一定で5,400 mg/Lから5,800 mg/Lの範囲にある。図13.13に示されるトレンチ-2の下流直後のC1濃度は約13,000 mg/Lから18,500 mg/Lに増加し、約18,000 mg/Lで安定している。これらの図はKM14に遮水壁を設置しても上流側のC1濃度への影響は、限定されたものであることを示している。

したがって、この遮水壁をさらに効果的にし、KM14上流側のワジ・スーク川主流を浄化するためにはトレンチ-2に追加的な対策を行うことが必要となる。

トレンチ-2における追加的な対策としてKM14における遮水壁設置に加え、トレンチ-2における遮水壁設置による効果を評価した。この解析結果を以下に示す。

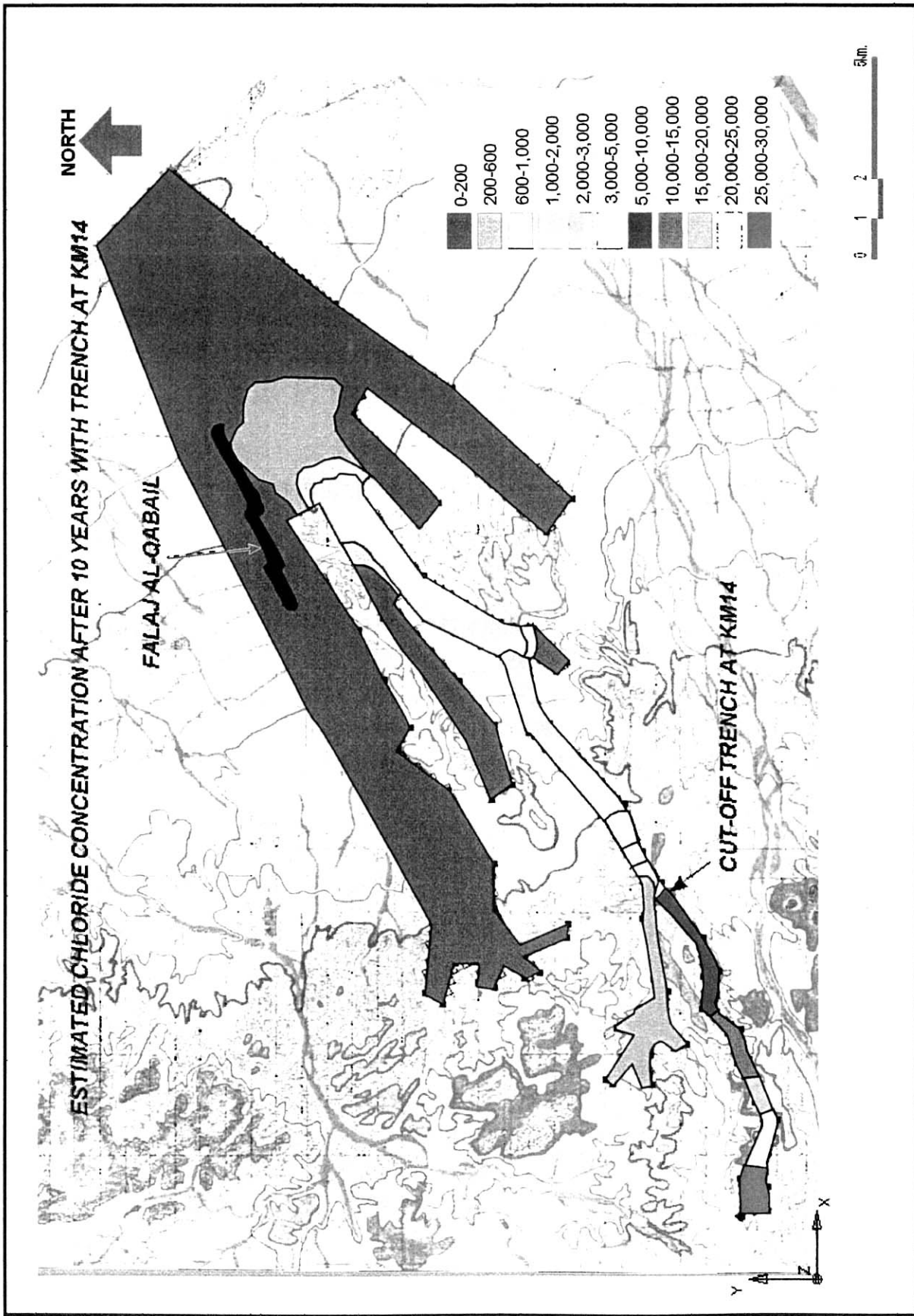


図 13.9 KM14 地点での遮水トレンチ設置 10 年後の塩分濃度分布

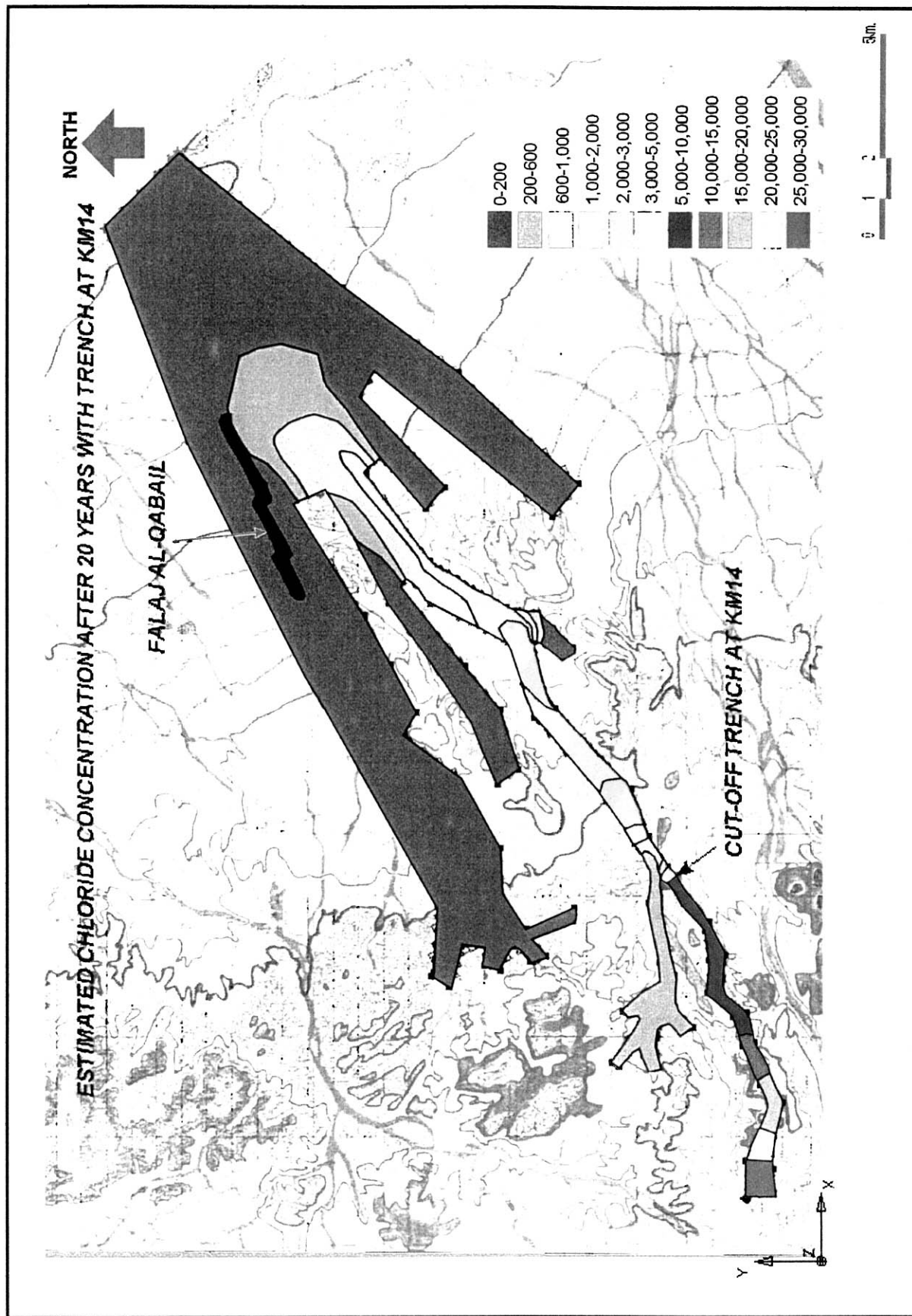


図 13.10 KM14 地点での遮水トレンチ設置 20 年後の塩分濃度分布

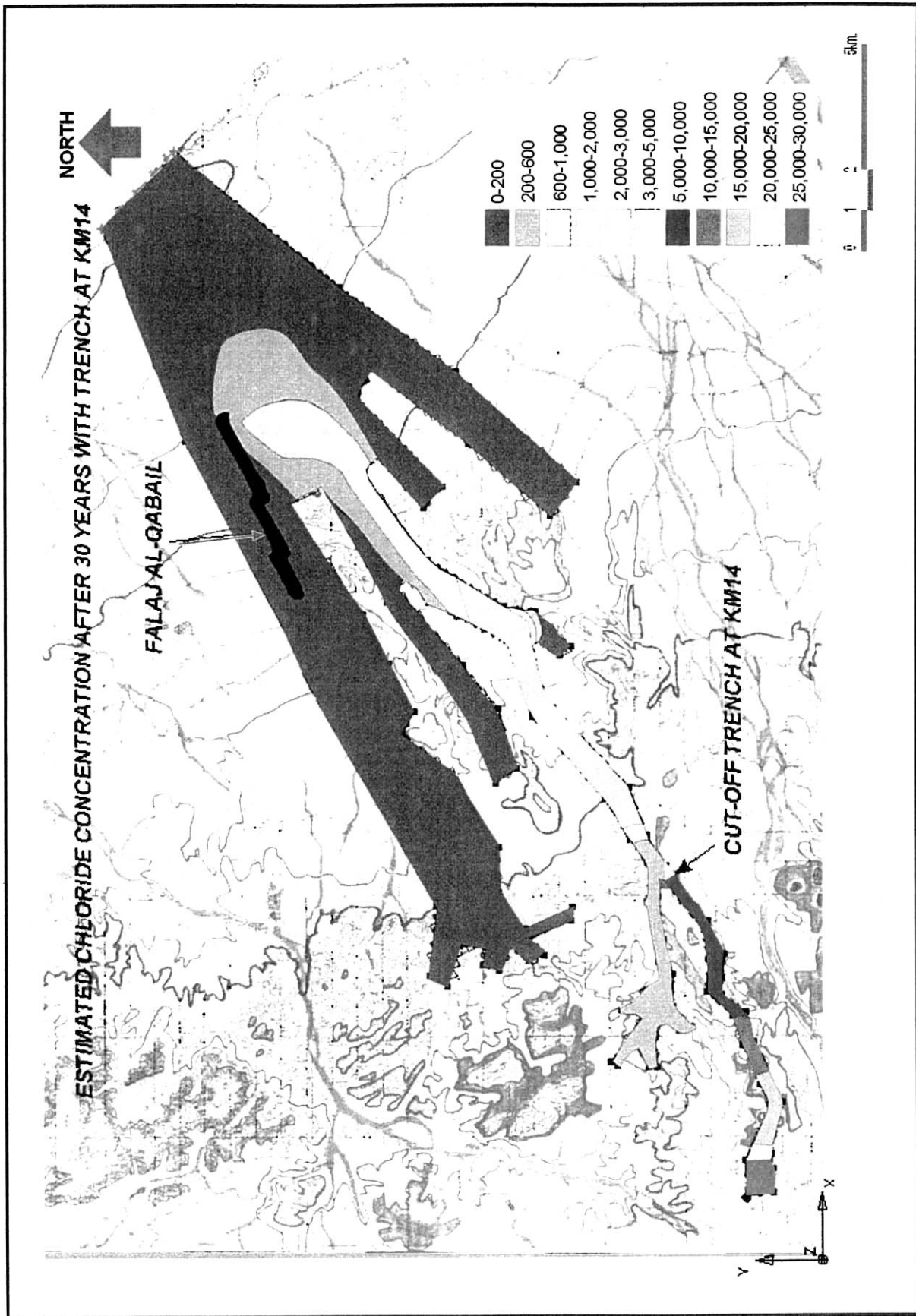


図 13.11 KM14 地点での遮水トレンチ設置 30 年後の塩分濃度分布