

マレーシア国

ペナン島洪水緩和・排水計画調査

主 報 告 書
(要 約)

平成3年3月

国際協力事業団



社調二

OR(8)

31 - 041

JICA LIBRARY



1090150(2)

22327

マレーシア国

ペナン島洪水緩和・排水計画調査

主 報 告 書
(要 約)

平成3年3月

国際協力事業団

国際協力事業団

22327

序 文

日本国政府は、マレーシア国政府の要請に基づき、同国のペナン島洪水緩和・排水計画にかかる開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施した。

当事業団は、1989年7月より1991年1月までの間、4回にわたり 株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナル 金子義明氏を団長とし、同社及び 日本工営株式会社から構成される調査団を現地に派遣した。

調査団は、マレーシア国政府関係者と協議を行なうとともに、プロジェクト・サイト調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものである。

終りに、本件調査にご協力とご支援をいただいた両国の関係各位に対し、心より感謝の意を表するものである。

1991年3月

国際協力事業団
総裁 柳谷 謙介

ペナン島洪水緩和・排水計画調査団

伝 達 状

平成3年3月

国際協力事業団
総裁 柳谷 謙介 殿

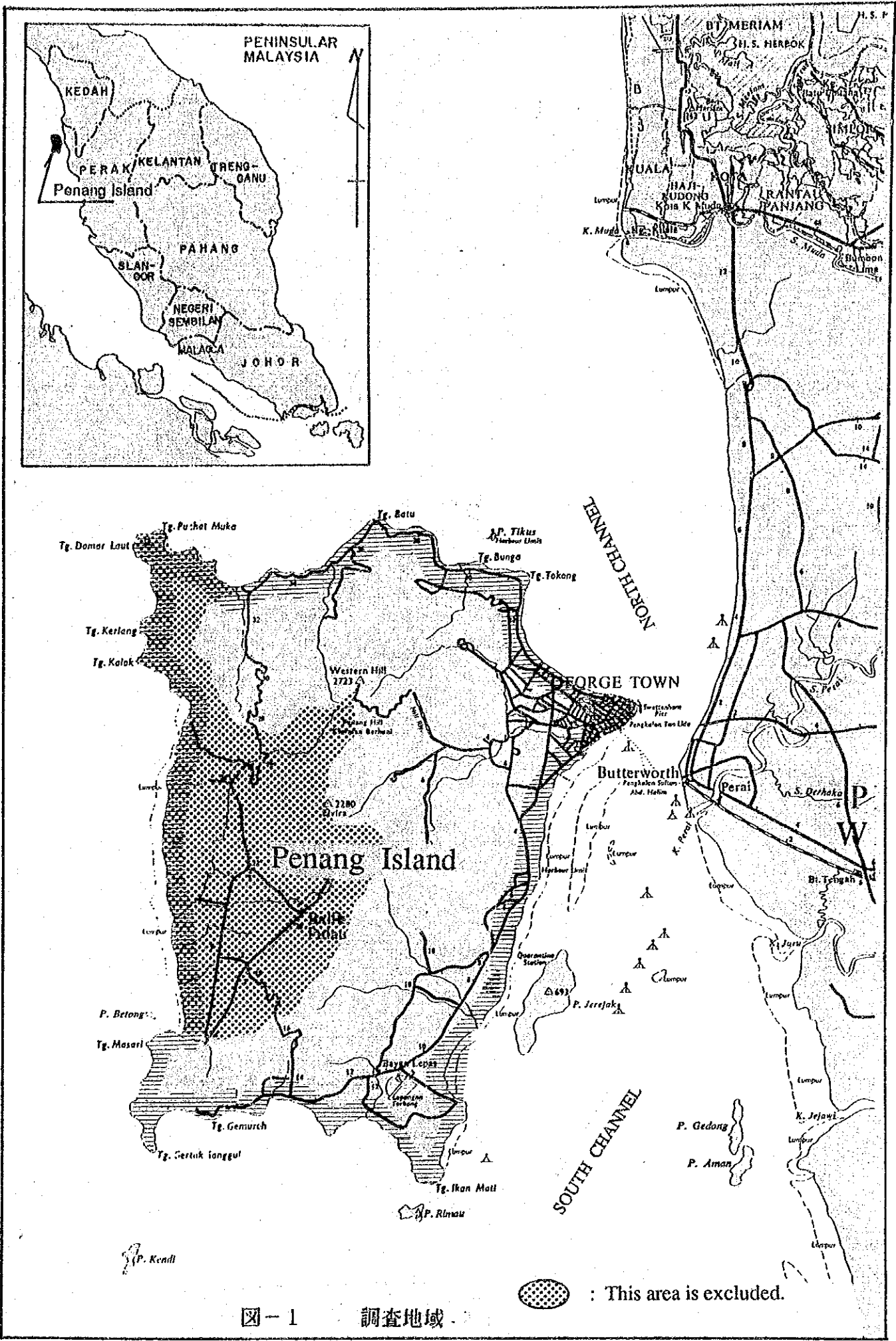
マレーシア国ペナン島洪水緩和・排水計画調査の最終報告書を提出致します。本報告書は、平成元年7年4日、および平成2年6月11日の2回にわたる貴国際協力事業団と株式会社パシフィック コンサルタンツ インターナショナル及び日本工営株式会社との間で締結された契約に基づき結成された調査団によって作成されました。

本報告書には、ペナン島における治水および排水上の問題点、およびこれらに対処すべき流域全体の治水・排水計画のマスタープラン、さらに緊急河川改修、分水路、調節池および低地の排水計画から構成される緊急事業計画に対するフィージビリティ調査の調査結果が述べられています。


本報告書は、要約、主報告書および附属報告書に分冊されております。要約は、調査結果全体を簡潔にまとめ、主報告書には、調査の背景、流域の状況、治水・排水全体計画のマスタープラン、緊急事業計画ならびに提言を記述しております。附属報告書には、計画策定に用いた条件、方法論などの詳細を記述致しました。さらに、基本データ集も併せて作成致しております。

本報告書を提出するにあたり、全調査期間に亘って多大なご支援を賜った貴事業団、作業監理委員会、外務省、建設省、在マレーシア日本国大使館の諸賢ならびにマレーシア政府諸機関の関係各位に対し、心から感謝の意を表するとともに、本調査の結果がペナン島の社会開発、経済発展および福祉向上の一助となることを希望する次第であります。

調査団長
金子 義明



圖一 調查地域

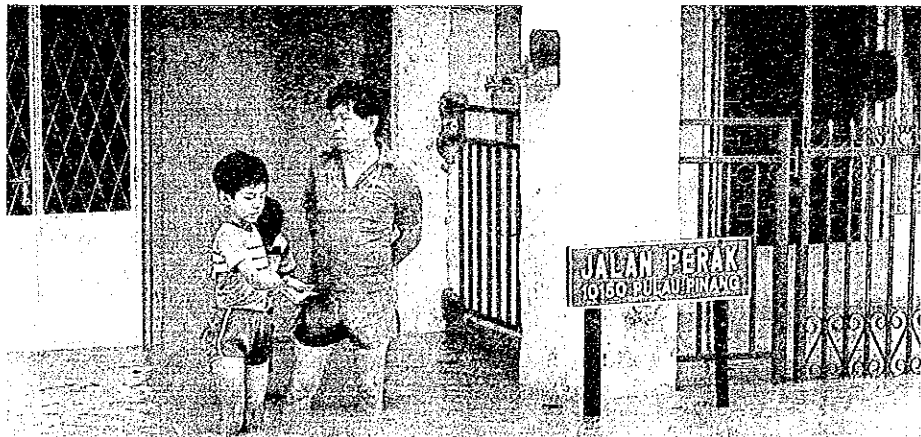
 : This area is excluded.



Flood Condition at Caunter Hall



Flood Condition at Pesiaran Perak



Flood Condition at Jln. Perak

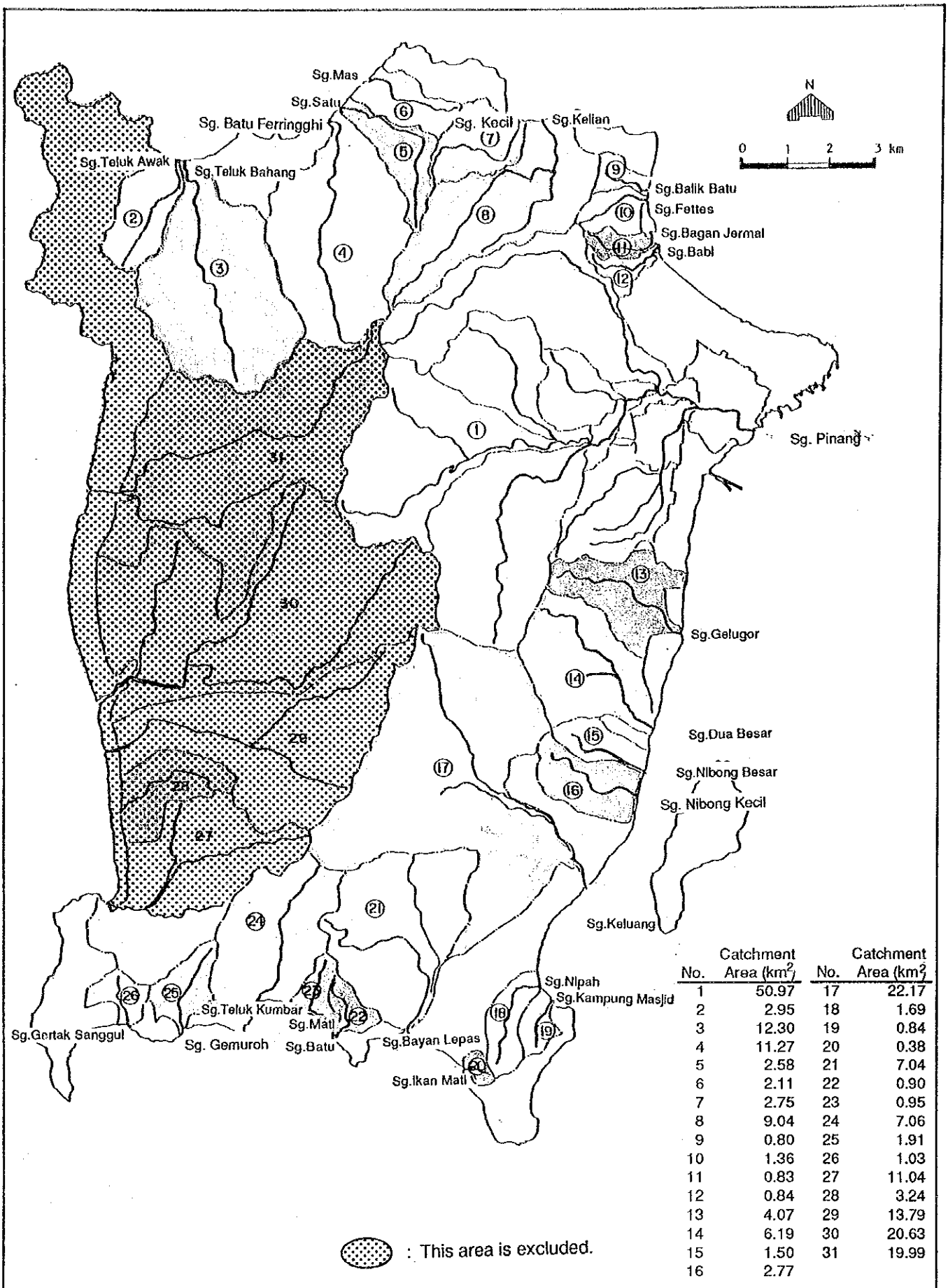


図-2

ペナン島の河川

THE STUDY ON FLOOD MITIGATION AND DRAINAGE IN PENANG ISLAND

要 約

1. はじめに

ペナン島は、マレイ半島の西海岸から約3km離れて、インド洋に浮かぶ面積約300km²の島である(図-1参照)。

本島にはマレイシアでも最も都市化の進んだ州都のジョージタウンがある。このジョージタウンをはじめ、特に島の東部海岸地域は急激な都市化が進んでおり、この地域を流れる河川の本川、支川或いは低地での洪水氾濫をくり返し受けている。このため、本島での洪水被害を軽減する必要から、“ペナン島洪水緩和・排水計画調査”を実施する運びとなった。

本調査は、国際協力事業団(JICA)の調査団が、マレイシア政府関係者と協力して、1989年7月より1991年3月にかけて実施したものである。

2. 調査地域

調査地域は島の西海岸地域を除くペナン全島であり、島内には31の主な河川水系がある(図-2参照)。この中でもジョージタウン市内を貫流するペナン川は流域面積約50km²で最も大きく、かつその中下流域の都市化が進んでいる。

ペナン島の気候は熱帯性で、湿度が高く、雨の多いのが特徴である。年平均降雨量は島の南東及び北西でそれぞれ2,400mmおよび3,000mmである。

島の人口は、1986年時点で約547,000人であったが、西暦2000年における人口は630,000及至667,000人と推定されている。

ペナン島の土地利用現況は、市街地22.2%、農地40.7%及び自然林25%となっている。2010年においては、市街地は48%にまで増加するものと予想され、主な市街化は、島の東部及び北部海岸のジョージタウン、バツーマウング及びトルック・バハンで予定されている。

3. 調査目的

本調査の目的は、次のとおりである。

- 1) ペナン島における洪水緩和および排水計画のマスタープランの作成および緊急事業のための優先地域の選定

2) 緊急洪水緩和・排水計画の策定および提案された緊急事業についての フィージビリティ・スタディの実施

4. 洪水および洪水被害

4.1 降雨

ペナン島の洪水は、前線性降雨と対流性降雨、および高潮に起因している。

前線性の降雨は、降雨強度は小さいが、継続時間が2日及至3日と長く、島全体をカバーしうる広範囲のものである。このため流域の大きなペナン川の洪水原因ともなっている。一方、対流性降雨は、非常に頻繁に狭い範囲に発生するもので、降雨強度は大きく、3～5時間程度の継続時間である。この降雨による洪水は、フラッシュ・フラッドと呼ばれ、小流域や支川の洪水の原因となっている。

又、これらの降雨が高潮と同時に発生した場合は、特に沿岸部での被害は深刻となる。

4.2 洪水実績

最も大きな洪水は1980年10月に発生し、ジョージタウン市内の中心部2㎢が0.5 mから1 mの水深で、1～2日間浸水した。

又、フラッシュ・フラッドは非常に頻繁に発生し、ジョージタウン、グルゴール地域等で毎年2～3回被害を出している。

一方、島内には低地盤地域が散在し、高潮時には特にジョージタウンの中心部で高潮のみによる道路浸水が発生している。

図-3にペナン島の既往氾濫区域を示す。

4.3 洪水の原因

ペナン島の各河川流域における洪水の原因は、つぎのようである。

1) 自然要因…降雨強度が大きく、集中的に降る。

地形的に背後に丘陵がせまっており、流出時間が短い。

潮位より低い地域の存在。

河口部での堆砂・閉塞が発生しやすい。

下流部における潮位の影響

- 2) 人為的原因…都市化に伴う流域内の流出率の増加。
 開発に伴う土砂流出および河道内への堆砂。
 排水路整備による洪水到達時間の短縮。
 ゴミ除去用スクリーンの設置による排水路の閉塞。
- 3) 施設自体の問題…河道又は幹線排水路の流下能力不足。
 橋梁等河川横断構造物の余裕高不足。
 内水地域における排水施設（ポンプ等）の不足。

4.4 洪水被害

洪水による被害は、一般資産、即ち、家屋、家財、店舗、倉庫、農作物、更に公共資産、即ち、道路、電気、通信、及び間接被害に対して査定した。ペナン川流域における2010年における土地利用をもとに、現況の河川状況で求めた種々の確率年に対する洪水被害額は、次のとおりである。

| | 確 率 年 | | | | |
|-------------------------|-------|------|-------|-------|-------|
| | 1.1 | 5 | 10 | 30 | 50 |
| 洪水被害額 | 1.1 | 5 | 10 | 30 | 50 |
| 10 ⁶ マレーシアドル | 6.7 | 20.2 | 105.4 | 219.9 | 287.4 |
| 億 円 | 3.3 | 10.1 | 52.7 | 109.9 | 143.7 |

年平均被害軽減額は、1990年の土地利用状況下で 27.6X10⁶ マレーシアドル（約13.8億円）、2010年では、30.1X10⁶ マレーシアドル（約15.0億円）と推定される。

5. 計画降雨及び計画高水

5.1 計画降雨

島内に現存する7観測所について35年間の日雨量データを収集し、ガンベル法により、確率処理して各観測所毎の確率日雨量を求めた。

計画降雨量としては、ペナン川流域については、流域内に4つの観測所があることから、これら4観測所のデータより求めた流域平均日雨量を用いることとした。確率年別の流域平均日雨量は以下のとおりで、計画は1/50確率の値とした。

| 確 率 | 年 1/2 | 1/5 | 1/10 | 1/20 | 1/30 | 1/50 | 1/100 |
|---------|-------|-----|------|------|------|------|-------|
| 流域平均日雨量 | 124 | 178 | 213 | 247 | 266 | 291 | 323 |

ペナン川流域以外では、流域面積の比較的大きいクルアン川流域についてのみ日雨量を用い、当該流域に近いペナン空港の観測値より求めたDIDの1/50確率日雨量278 mmを計画降雨とした。

降雨波型としては、実績波型を比較検討して選定した1976年9月17日洪水のアイル・イタム・ダムでの観測値を採用した。

上記2河川以外の河川流域に対しては、流出量の計算にあたって、合理式を用いるため、DIDで既に作成している確率年別時間～降雨強度曲線を用いた。1/50確率の時間降雨強度は1時間で110 mm、2時間で74 mmとなる。

5.2 計画高水

流出量の選定に先立ち、実績洪水の検証を行った。実績ハイドロについては、今回の現地調査期間中に2つの洪水が観測され、このうち比較的流量の大きかった8月25日洪水につき貯留関数法を用いて検証を行った。

この検証計算結果をもとに、貯留関数を用いてペナン川の流出量を算定した。ジュルトン分水路流域の流量は、分水路によって直接海に放流されるため、ペナン川の流入量としては、ジュルトン残流域のみ考慮している。治水対策なしの場合のペナン川河口部での1/50確率流量は270 m³/sである。図-4にペナン川の確率年毎の基本高水、計画降雨、計画ハイドロを示した。

計画高水は、河道改修、ドンダン地域の調節池、アイル・テルジュン分水路の組み合わせによる治水施設を考慮して決定した。

クルアン川についてはルラウ川からアラ川への分水路を考慮した。

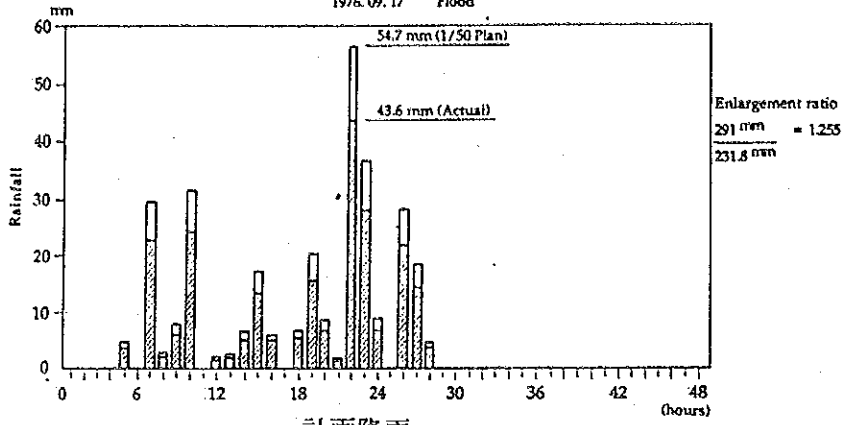
6. 治水計画のマスタープラン

6.1 治水計画の基本方針

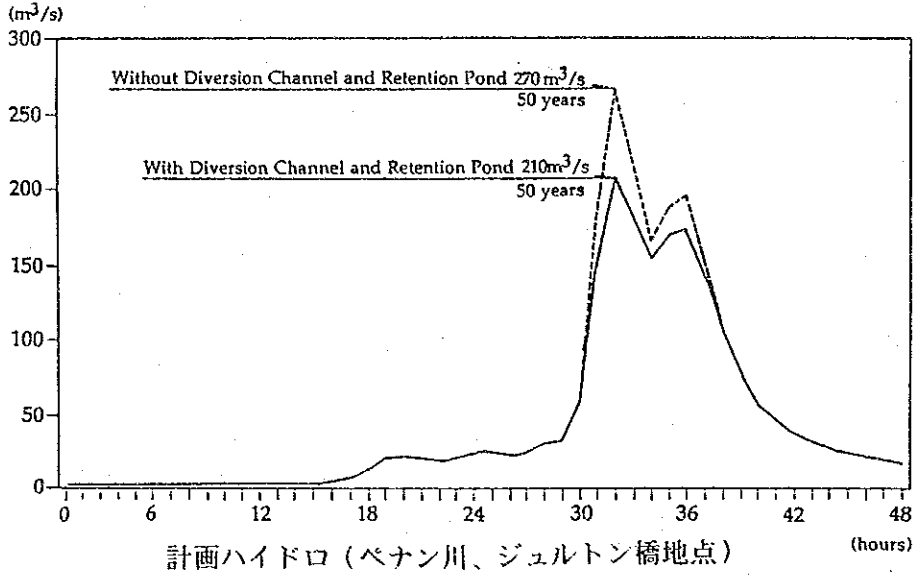
治水全体計画の作成にあたって考慮した基本的な条件はつぎのとおりである。

- － マスタープランにおける計画高水は、治水対策が実現可能な50年確率規模とし、流域の土地利用状況は2010年を想定する。
- － 治水上不利な自然条件および種々の人的開発行為を全てカバーする構造的

① STATION No. 5302003
1976.09.17 Flood



計画降雨



計画ハイドロ (ペナン川、ジュルトン橋地点)

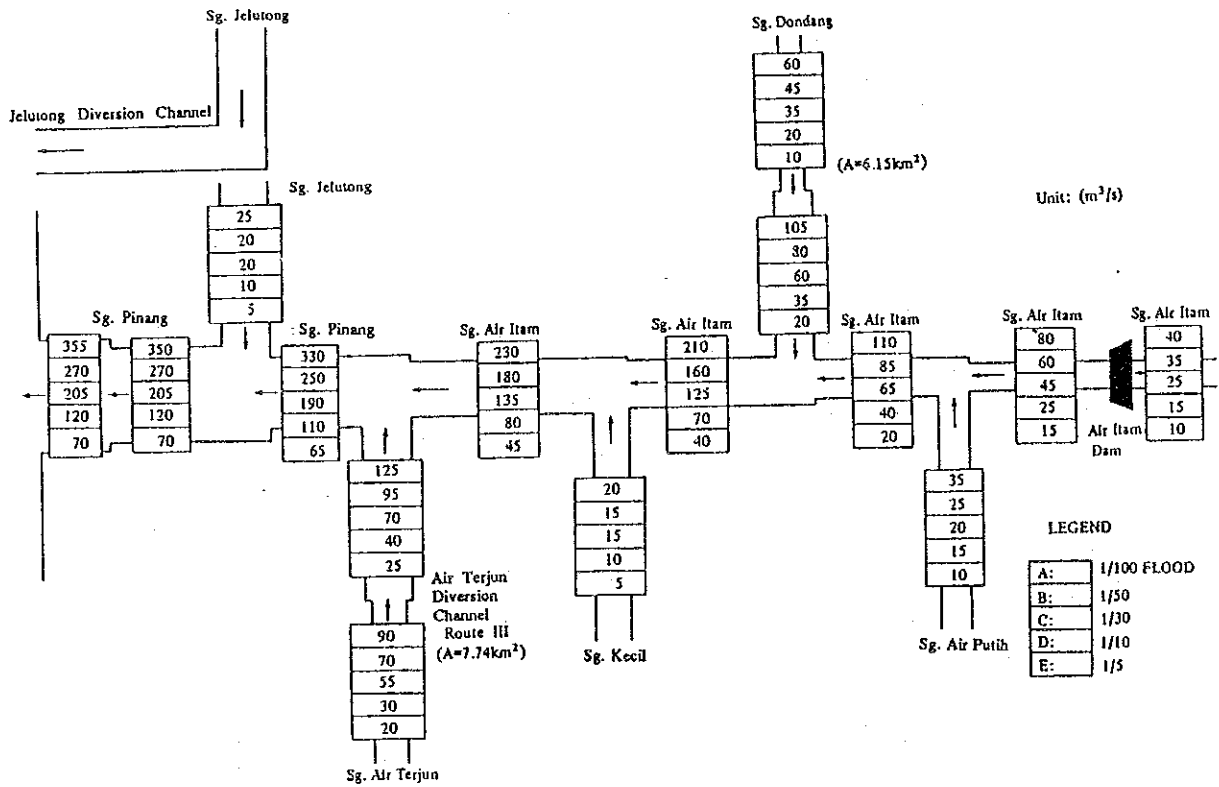


図-4 ペナン川水系の確率年別洪水流量

対策は経済的にも実現不可能であり、マスタープランでは非構造的対策も合わせて考える。

- ペナン川本川については、現在進行中の1/2 確率改修計画と整合性をとる。
- 東部海岸の埋立を考慮した河道計画とする。
- ジョージタウン以外の河川については、流域も小さく未開発部分も多いため、河道改修を基本とし、河川用地を十分に確保する計画とする。

6.2 マスタープランの代替案

主要河川であるペナン川については、マスタープランとして最適案を選定するため、以下に示す6つの代替案の比較を行なった。これらの代替案は、河道改修、調節池、分水路、および既設ダムの嵩上げ等の治水施設を単独又は組合わせたものである。最適案としては、技術的、経済的並びに環境への影響の要素を総合的に評価比較して、河道改修、調節池および分水路の組合せ案を選定した。

6.3 マスタープランの構造的対策

ペナン川のマスタープランの構造的対策はつぎのようである。

- (1) 延長1.74kmのアイル・テルジュン分水路の建設
- (2) ドンダン地域における合計面積8.4ha の3つの調節池の建設
- (3) ペナン川及びその支川（アイル・イタム川、アイル・テルジュン川、ジュールトン川、ドンダン川）の合計延長16.5kmの河道改修
- (4) 橋梁44ヵ所の架替え

ペナン川のマスタープランの洪水防御施設は図-5に示す。

ペナン川以外の河川については、長さ1.5kmのルラウ分水路の建設を含む、合計35.4kmの河道改修、及び39ヵ所の橋梁架替えである。

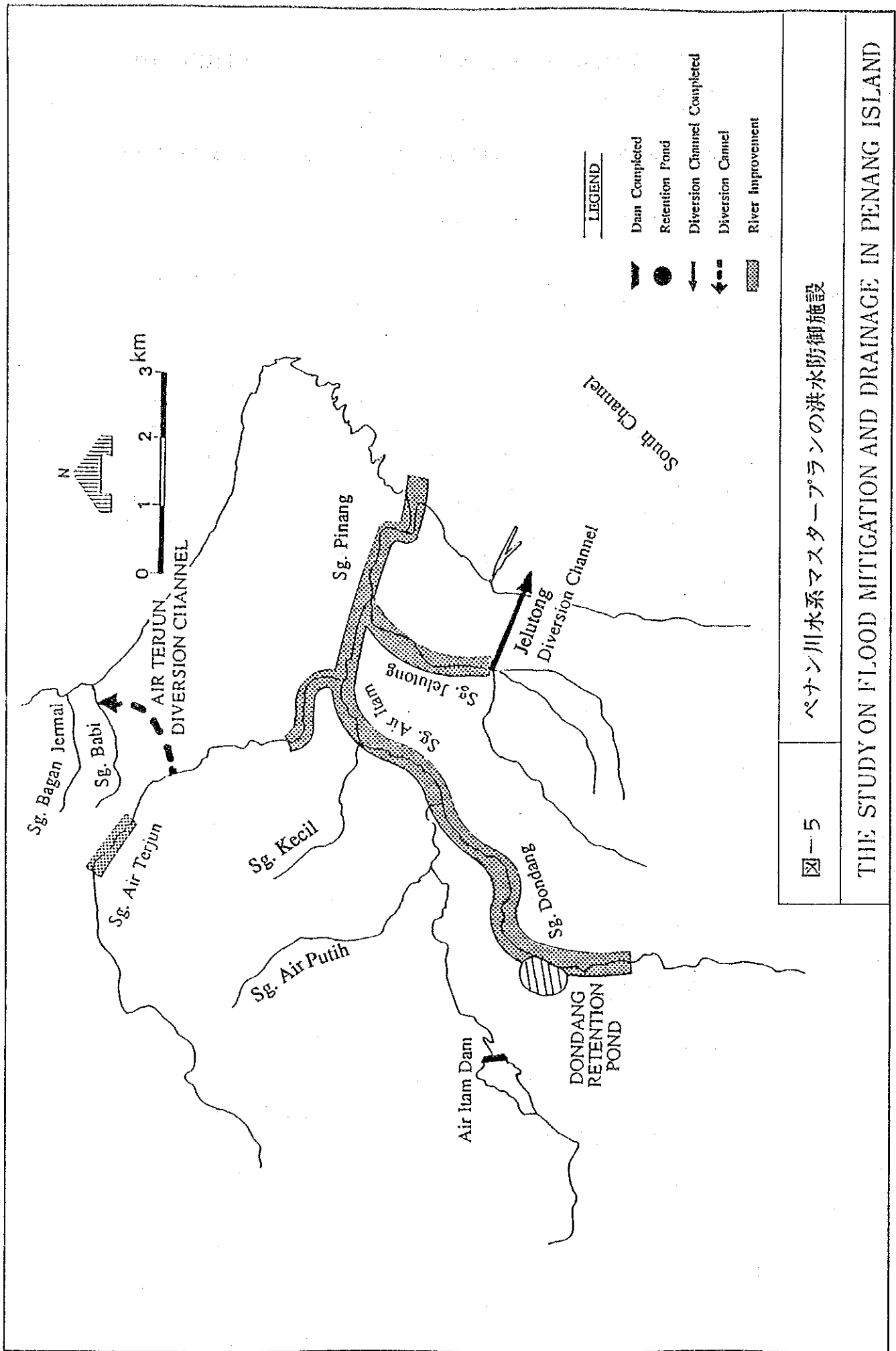


図-5 ペナン川水系マスタープランの洪水防御施設

THE STUDY ON FLOOD MITIGATION AND DRAINAGE IN PENANG ISLAND

6.4 マスタープランの非構造的対策

以下の対策が提言される。

- (1) 土砂侵食及び流出の抑制
- (2) 流木及び浮遊ゴミの除去
- (3) 河川構造物等の設計基準の作成
- (4) 洪水警報システム

尚、この他に既存の組織を利用した総合治水委員会の設置を提言した。

6.5 実施プログラム

マスタープランの事業実施期間は、計20年間とし、投資の規模、経済効果の程度および緊急性等を考慮して3つの段階に分けた。

i) フェーズⅠ（緊急プロジェクト）

ペナン川水系の大部分、及びクルアン川水系の改修を行なう。ブルゴール川及びドウア・ブサール川の一部も含まれる。

ii) フェーズⅡ（中期計画）

グレードBの4つの河川が中心となり、グレードAの河川の残りの区間についてもこの段階で実施する。この段階でA及びBクラスの河川は全て完了する。

iii) フェーズⅢ（長期計画）

この段階では、グレードCの14の河川について河道拡巾、掘削による河道改修を実施する。

このフェーズでの施工順序については、土地開発、埋立計画等の順位に従って、再調整することが必要となろう。

マスタープランの全体実施工程は図-6に示すとおりである。

6.6 マスタープランの事業費

河川の治水マスタープランの総事業費は、1990年価格で合計260.7百万マレーシアドルと見積られる。

各フェーズ毎の内訳は、つぎのとおりである。

フェーズⅠ 175.7×10^6 M\$

フェーズⅡ 46.5×10^6 M\$

フェーズⅢ 38.5×10^6 M\$

6.7 マスタープランの経済評価

マスタープランの経済評価は、ベナン川及び他の23河川について次のような仮定のもとに内部収益率(EIRR)を求めて行なった。

- 1) 毎年の運転および維持コストは、エコノミック建設コストの1%と仮定する。
- 2) 事業の便益は、事業実施の5年後、1996年から発生するものとする。
- 3) 社会的割引率は、8.0%とする。
- 4) 資本の機会費用は、8.0%とする。

以上の仮定のもとに行なった経済評価の結果を主要河川について示せばつぎのとおりである。尚、全河川の経済評価の結果は表-1に示した。

| 河川 | EIRR | B/C |
|-------|------|------|
| ベナン川 | 15.1 | 1.9 |
| クルアン川 | 14.6 | 2.15 |

表-1 全河川のマスタープランの経済評価一覧

| Name of River | Net Cost for the Flood Mitigation Works | | | | Whole Cost including Land Acquisition for River Reserve and Land Beautification | | | |
|-----------------------|---|--------------------------|--------------------|----------|---|--------------------------|--------------------|----------|
| | Total Cost (mil. M\$) | Total Benefit (mil. M\$) | Balance (mil. M\$) | EIRR (%) | Total Cost (mil. M\$) | Total Benefit (mil. M\$) | Balance (mil. M\$) | EIRR (%) |
| | 1 Sg. Pinang | 4.90 | 4.00 | -0.90 | 0.00 | 171.80 | 870.30 | 698.60 |
| 2 Sg. Teluk Awak | 8.03 | 8.83 | 0.80 | 0.43 | 6.13 | 4.00 | -2.13 | 0.00 |
| 3 Sg. Teluk Bahang | 0.93 | 1.61 | 0.68 | 2.85 | 9.39 | 8.83 | -0.56 | 0.00 |
| 4 Sg. Batu Ferringghi | 0.74 | 0.98 | 0.24 | 1.39 | 1.09 | 1.61 | 0.52 | 2.00 |
| 5 Sg. Satu | 2.13 | 1.44 | -0.69 | 0.00 | 0.90 | 0.98 | 0.08 | 0.40 |
| 6 Sg. Mas | 1.98 | 1.48 | -0.50 | 0.00 | 2.59 | 1.44 | -1.15 | 0.00 |
| 7 Sg. Kechil | 3.61 | 4.11 | 0.50 | 0.67 | 2.35 | 1.48 | -0.87 | 0.00 |
| 8 Sg. Kellian | 1.44 | 2.59 | 1.15 | 3.23 | 4.27 | 4.11 | -0.16 | 0.00 |
| 9 Sg. Balik Batu | 1.97 | 4.64 | 2.67 | 3.88 | 1.76 | 2.59 | 0.83 | 2.10 |
| 10 Sg. Fettes | 3.76 | 0.60 | -3.16 | 0.00 | 2.41 | 4.64 | 2.23 | 2.93 |
| 11 Sg. Bagan Jermal | 5.43 | 1.36 | -4.07 | 0.00 | 4.44 | 0.60 | -3.84 | 0.00 |
| 12 Sg. Babi | 5.28 | 16.16 | 11.00 | 5.61 | 6.46 | 1.36 | -5.10 | 0.00 |
| 13 Sg. Gelugor | 7.00 | 13.70 | 6.70 | 0.00 | 6.10 | 16.16 | 10.06 | 4.68 |
| 14 Sg. Dua Busar | 3.60 | 12.10 | 8.50 | 5.60 | 7.70 | 13.70 | 5.90 | 0.00 |
| 15 Sg. Nibong Besar | | (no flood expected) | | | 4.21 | 12.10 | 7.89 | 4.81 |
| 16 Sg. Nibong Kechil | | | | | | | | |
| 17 Sg. Keluang | 21.29 | 11.69 | -9.60 | 0.00 | 44.68 | 330.86 | 286.18 | 14.60 |
| 18 Sg. Nipah | 0.91 | 4.54 | 3.63 | 9.99 | 22.11 | 11.69 | -10.42 | 0.00 |
| 19 Sg. Kampung Masjid | 0.28 | 2.81 | 2.53 | 20.76 | 1.09 | 4.54 | 3.45 | 6.63 |
| 20 Sg. Ikan Mati | 3.79 | 14.46 | 10.67 | 6.38 | 0.31 | 2.81 | 2.50 | 18.97 |
| 21 Sg. Bayan Lepas | 3.52 | 2.62 | -0.90 | 0.00 | 4.55 | 14.46 | 9.91 | 5.46 |
| 22 Sg. Batu | 1.71 | 2.59 | 0.88 | 2.41 | 4.10 | 2.62 | -1.48 | 0.00 |
| 23 Sg. Mati | 6.32 | 12.72 | 6.40 | 4.58 | 1.98 | 2.59 | 0.61 | 1.53 |
| 24 Sg. Teluk Kumbar | | (no flood expected) | | | 7.19 | 12.72 | 5.53 | 3.70 |
| 25 Sg. Gemuruh | | (no flood expected) | | | | | | |
| 26 Sg. Gertak Sanggul | | | | | | | | |

7. 排水マスタープラン

7.1 既往排水マスタープランの見直し

ペナン島の排水マスタープラン調査は、1985年ペナン市(MPPP)によって行われてる。

このマスタープランは、主にジョージタウンの排水システムをカバーするものである。これらの排水路は、45ヵ所の人工排水口を持ち、それぞれ北水道又は、南水道に直接流入しているか、或いは、ペナン川に流入している。

ジョージタウンの外の地域では、いくつかの主要な河川の洪水問題が検討されているが、主要排水路の排水問題は、既往調査に含まれていない。

今回の調査では、この既往調査をジョージタウン地域の現況及び将来の土地利用状況（特にペナン開発公社PDCによる東部海岸埋立計画、ガーニードライブ沿いの外環状線）を考慮して、見直した。

ジョージタウンの外の地域については、河川改修工事完了後においても未解決のまま残ると予想される内水問題を解決すべく調査を行った。

7.2 調査地域

排水マスタープランの調査対象地域は、ジョージタウンの前記42排水流域、及びジョージタウン以外で、現在または将来の氾濫想定区域を有する地域とした。

7.3 計画の基本条件

既往調査の見直し結果、及び最新の埋立計画情報を基に、排水マスタープランを以下の方針に従って策定した。

- 北水道に流出するガーニードライブ沿いの8つの流出口は、環境、景観、及び維持管理を考慮して統廃合する。
- 南水道の7つの排水口(S-6からS-16及びS-18)は、計画湾岸道路まで延長する。南水道の埋立地に流出する他の排水口は、延長せず現況のままとし、新たに設ける水路に接続させる。

- S-10及びS-18排水流域については、ポンプによる排水と調節池によるピーク流量の低減を組合せた対策を考える。
- 現在未開発の低地については、将来の開発計画のため内水問題の生じない高さまで盛土する事を基本とし、ポンプ施設の設置は避ける。
- 排水の計画規模は10年確率とする。

7.4 排水マスタープラン

ジョージタウン地域の排水マスタープランの主な内容は、既設主要排水路の付け替え、将来埋立地域における排水路の拡張、排水流域の再分割、及び低地に対するポンプ排水である。

ジョージタウンにおける主な排水工事は次のようである。

図-7にジョージタウンにおける計画排水路の排水口の位置を示した。

(1) 北水道の排水路

- 主要排水路 7.6 Km区間の改修
- 計画外環状線までの排水口の延長 合計約1.1Km

(2) 南水道の排水路

- 7.9 Kmの主要排水路の改修
- 既設排水口の延長 3.2 Km
- 容量22,000 m^3 のS-10調節池及び容量6 m^3/s のポンプ場
- 容量56,000 m^3 のS-18調節池及び容量2 m^3/s のポンプ場

(3) ジョージタウン以外の地域の排水計画

ジョージタウン以外の地域の排水計画は、主に支川及び既存排水路の改修、低地の盛土よりなる。

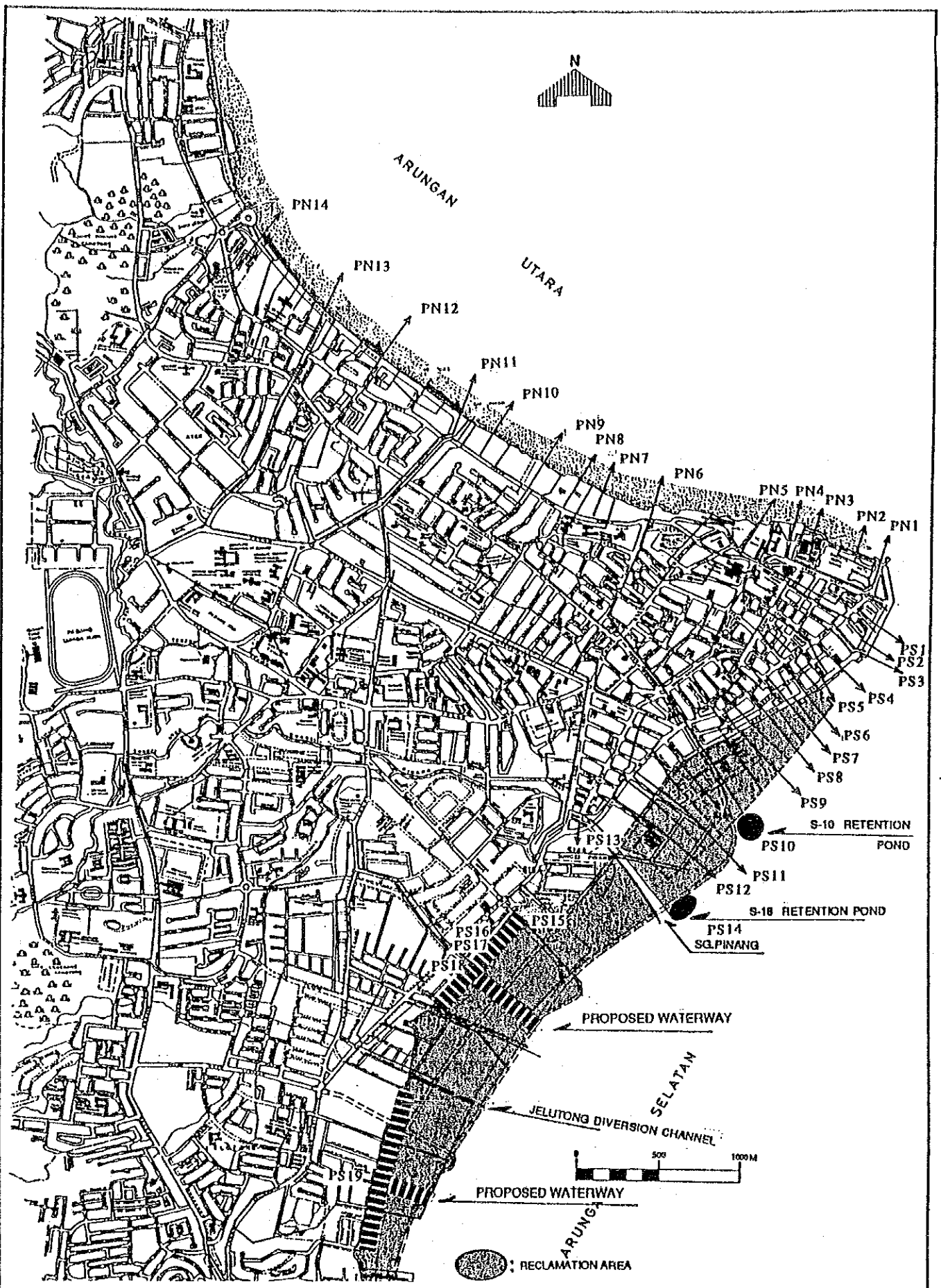


図-7

ジョージタウンの計画排水口の位置

- － ドゥア・ブサール川の分水路、旧グルゴール川、カンボン・セルノック川の改修合計2550 m
- － ミンデン・ハイツ地域の既設排水路85 m区間の改修
- － カンボン・セルノック付近の200 m区間の道路側溝の改修
- － ルラウ通りに沿う1200 mの道路側溝の新設
- － ルラウ通りからルラウ川に至る450 mの排水路の新設

8. 緊急洪水防御計画

8.1 優先地域

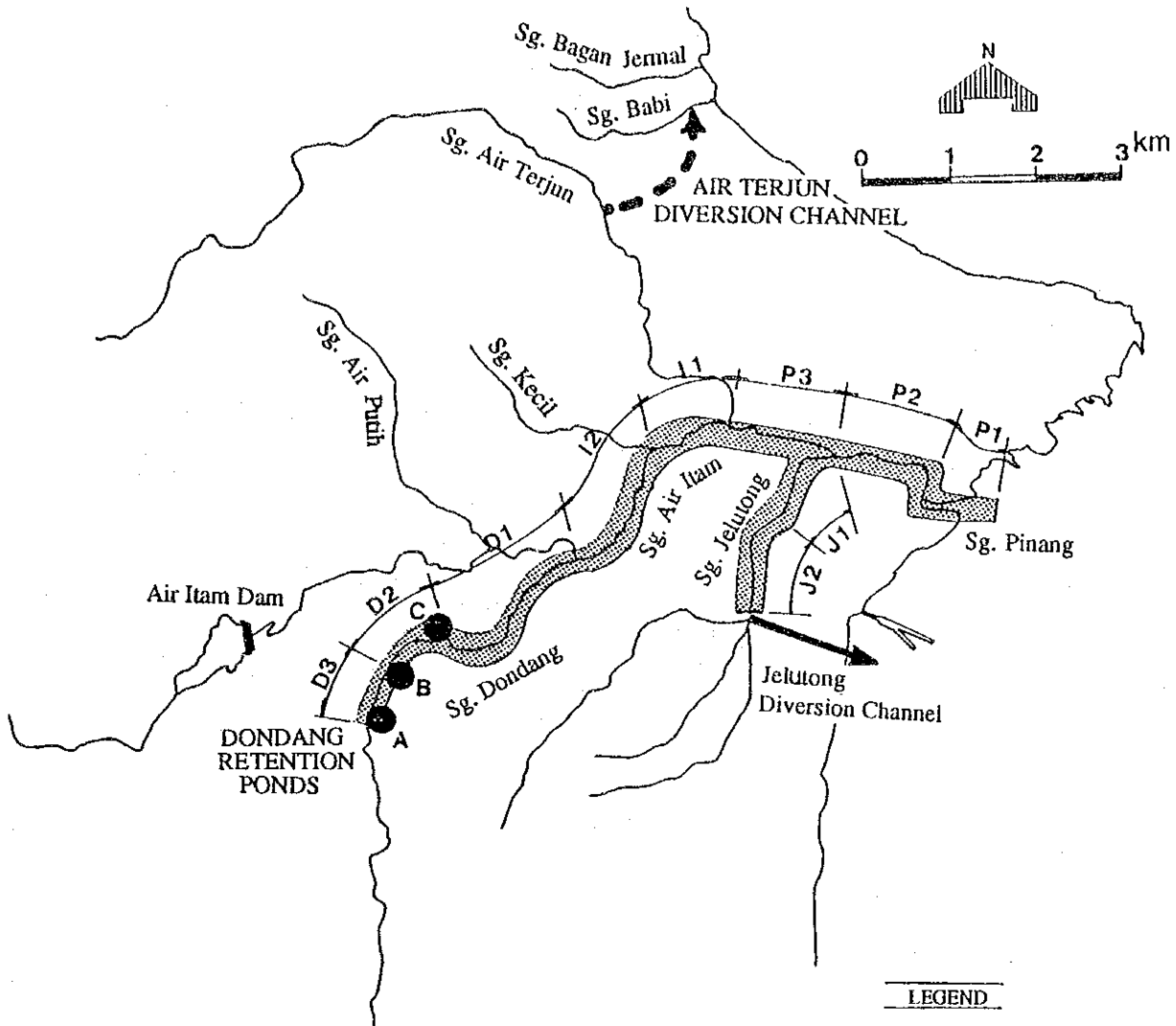
ジョージタウンの既成市街地及びクルアン川の下流地域は、しばしば洪水被害に悩まされており、緊急な対応が望まれている。

この為、ベナン川及びクルアン川流域の洪水被害を緩和する目的で緊急に実施するための優先プロジェクトを策定すべく、緊急洪水防御計画の検討を行った。

8.2 緊急洪水防御計画

緊急事業で実施する洪水防御施設は次のとおりである。（図－8参照）

- － ベナン川水系の13.32 km区間の河道改修
- － クルアン水系の5.25 km区間の河道改修
- － ドンダン調節池群の設置
- － アイル・テルジュン分水路(1.74 km) とルラウ分水路(1.53 km) の建設



RIVER IMPROVEMENT

| PART | CHANGEAGE | DISTANCE (m) | RIVER BED SLOPE | RIVER BED WIDTH (m) | WIDTH (m) | WATER DEPTH (m) | DESIGN DISCHARGE (m ³ /s) |
|------|----------------|--------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
| P1 | 0.71 to 0.4 | 1,110 | 1/2000 | 36.50 | 44.460 - 44.304 | 3.330 - 3.302 | 210 |
| P2 | 0.4 to 1.0 | 1,500 | 1/2000 | 36.50 | 44.304 - 40.295 | 3.302 - 3.195 | 210 |
| P3 | 1.0 to 3.1 | 1,250 | 1/650 | 23.00 | 40.295 - 30.400 | 3.195 - 3.100 | 195 |
| I1 | 0.0 to 1.1 | 1,100 | 1/800 | 18.20 | | 2.4 | 150 |
| I2 | 1.1 to 3.0 | 1,900 | 1/800 | 16.40 | | 2.6 | 145 |
| J1 | 0.0 to 1.308 | 1,390 | 1/1070 | 4.70 | | 4.7 | 2.5 |
| J2 | 1.308 to 2.915 | 810 | 1/1070 | 2.00 | | 2.0 | 0 |
| D1 | 0.014 to 2.302 | 2,100 | 1/680 | 8.30 | | 14.5 | 2.5 |
| D2 | 2.302 to 3.732 | 1,210 | 1/680 | 6.00 | | 12.5 | 2.5 |
| D3 | 3.732 to 4.654 | 1,010 | 1/100 | 2.30 | | 8.3 | 2.5 |

- LEGEND
- Dam Completed
 - Retention Pond
 - Diversion Channel Completed
 - Diversion Channel
 - River Improvement

DONDANG RETENTION PONDS

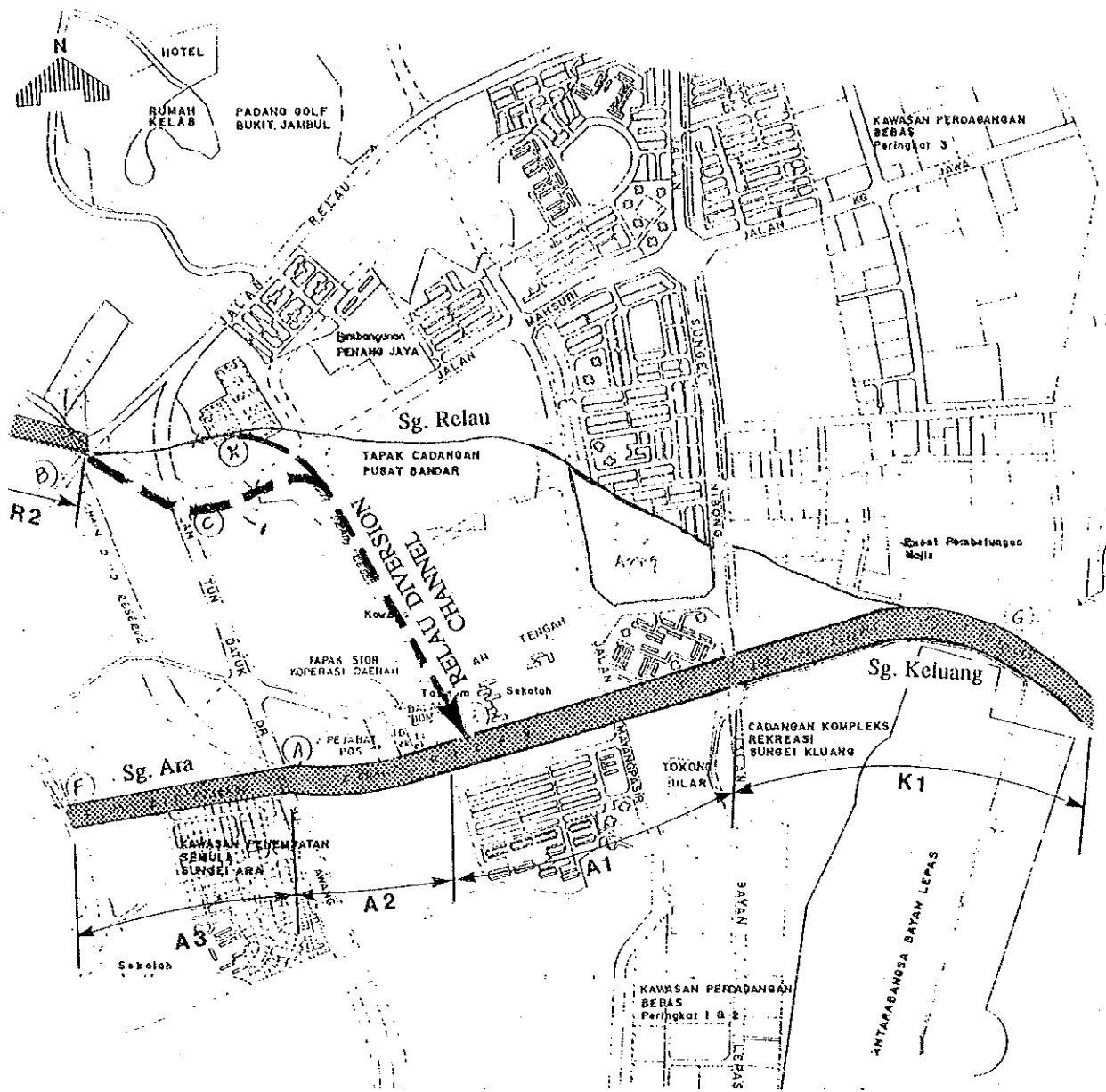
| | Area (m ²) | Pond Depth (m) | Storage Volume (m ³) | Cut Q (m ³ /s) |
|--------|------------------------|----------------|----------------------------------|---------------------------|
| Pond A | 30,500 | 4.24 | 79,013 | 9,500 |
| Pond B | 32,700 | 4.18 | 72,839 | 6,000 |
| Pond C | 21,200 | 4.77 | 45,410 | 4,500 |
| Total | 84,400 | | 198,262 | 20,000 |

AIR TERJUN DIVERSION CHANNEL

| | | |
|---|-----------------------------------|--------------------------|
| 1 | DIVERTING POINT | CH3093 of Sg. Air Terjun |
| 2 | CATCHMENT AREA OF DIVERTING POINT | 7.74 km ² |
| 3 | DIVERSION LENGTH | 1740 m |
| 4 | CONFLUENCE POINT | CH160 of Sg. Babi |
| 5 | DISCHARGE CAPACITY | 65 m ³ /S |

図 8-1

ペナン川水系の緊急洪水防御施設



RIVER IMPROVEMENT

| PART | CHAINAGE | DISTANCE (m) | RIVER BED SLOPE | RIVER BED WIDTH (m) | WIDTH (m) | WATER DEPTH (m) | DESIGN DISCHARGE (m ³ /s) |
|------|----------------|--------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------------|--------------------------------------|
| K1 | -0.2 to 1.540 | 1,740 | 1/1190 | 13.90 | 54.3 | 3 | 125 |
| A1 | 1.540 to 2.200 | 660 | 1/1190 | 12.20 | 50.6 | 3 | 110 |
| A2 | 2.200 to 2.950 | 750 | 1/1190 | 3.80 | 26.2 | 2.5 | 40 |
| A3 | 2.950 to 3.410 | 460 | 1/450 | 2.80 | 22.4 | 1.8 | 40 |
| R2 | 2.410 to 4.045 | 1,640 | 1/360 | 9.70 | 14.9 | 2.6 | 6 |

RELAU DIVERSION CHANNEL

| | | |
|---|-----------------------------------|----------------------|
| 1 | DIVERTING POINT | CH2410 of Sg. Relau |
| 2 | CATCHMENT AREA OF DIVERTING POINT | 10.5 km ² |
| 3 | DIVERSION LENGTH | 1530 m |
| 4 | CONFLUENCE POINT | CH2200 of Sg. Ara |
| 5 | DESIGN DISCHARGE | 70 m ³ /S |

LEGEND

- Diversion Canal
- River Improvement

図 8-2

クラン川水系の緊急洪水防御施設

河道改修

ベナン川

- 現在実施中の改修工事完成に引き続き3.15Km区間の河道を拡幅、掘削する。
- 河口部分の710mを延長
- 木橋2カ所を含む橋梁7カ所の架替え

アイル・イタム川

- 河道3.0 Kmの掘削、拡幅
- 橋梁3カ所の架替え

ジュルトン川

- 河道2.14Kmの掘削、拡幅
- 橋梁17カ所の架替え

ドンダン川

- アイルイタム川合流点より上流4.32Km区間の掘削と拡幅
- 橋梁8カ所の架替え

クルアン川

- 河口部200mの延長を含む計1.74Kmの河道改修

アラ川

- 1.87Km区間の河道改修

ルラウ川

- 分水路地点上流1.64Kmの河道改修
- 橋梁3カ所の架替え

グルゴール川

- 下流部0.50Km区間の河道改修

ドゥア・ブサール川

- 下流部2.10Kmの河道改修

分水路

アイル・テルジュン分水路

延長1550mのコンクリートボックスカルバートの建設及びバビ川下流の掘削、拡幅

ルラウ分水路

計画開発地域におけるルラウ川とアラ川を結ぶ延長1.53kmの分水路の建設

調節池

現地盤を掘削して3つの調節池を設ける。ペナン市によって提案された公園用地及び空地を利用して設ける池の面積は、計8.44haで、計画最大貯水容量は19.8万 m^3 である。

これらの3つの調節池によって、ドンダン川の流量80 m^3/s を20 m^3/s カットして60 m^3/s とする。

これらの池には30年確率以上で洪水が流入する。この為通常は、スポーツやレクリエーション等の種々の目的に利用される。

A調節池 : 容量 79,000 m^3
池の面積 30,500 m^2
池の深さ 4.24m

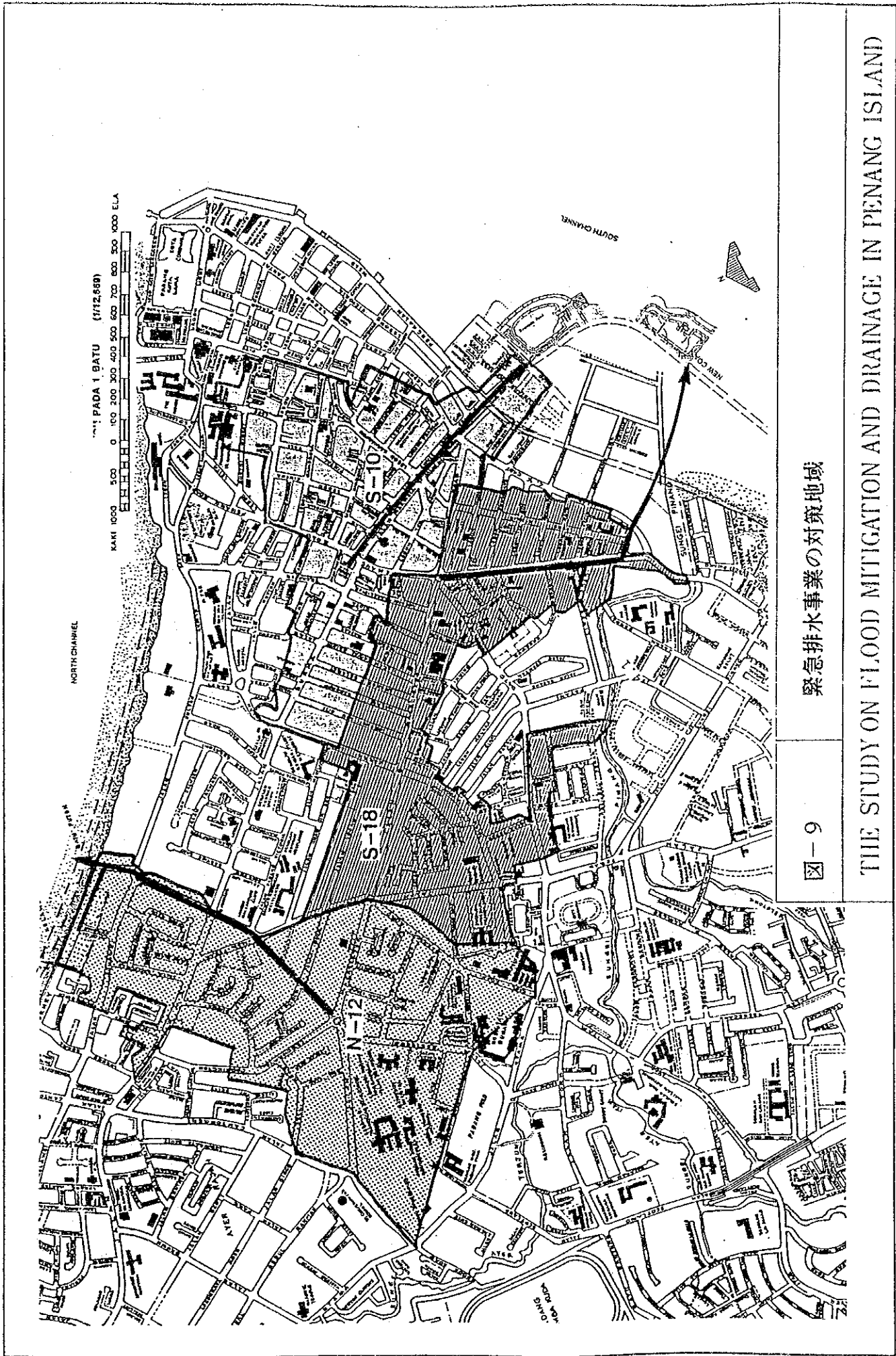
B調節池 : 容量 73,000 m^3
池の面積 32,700 m^2
池の深さ 4.18m

C調節池 : 容量 46,500 m^3
池の面積 21,200 m^2
池の深さ 4.77m

9. 緊急排水計画

9.1 優先地域

ジョージタウンの中心地は、度重なる洪水に悩まされており、緊急な対策が必要となっている。ペナン川の緊急洪水防御工事が完成することにより、ジョ



緊急排水事業の対策地域

図-9

THE STUDY ON FLOOD MITIGATION AND DRAINAGE IN PENANG ISLAND



ージタウンの全ての排水区域は、河川からの洪水氾濫からは守られることとなるが、数多くの排水路は排水路自体の流下能力不足による洪水氾濫の問題を抱えている。この問題は、特に低地のある流域面積の大きな排水地域で深刻である。このため排水計画のフィービリティ調査は、このような浸水問題の特に深刻なジョージタウンの3つの地域について行った。(図-9参照)

9.2 緊急事業の排水施設

緊急排水事業の主な工事は、主排水路6.09kmの改修、2ヵ所のポンプ場及び調節池の建設である。

主要排水路の改修

S-10流域 : プランギン道路沿いの1,660 m区間の掘削と拡巾及び現況の排水路末端と新設の調節池を結ぶ延長区間の新設

S-18流域 : マカリストア道路沿いの既設排水路820 m区間の掘削拡巾による改修。既設のペナン川に流入している排水口を手前でルート変更し、サンデラン通り沿いに新設の調節池地点まで約910 m延長する。

N-12流域 : ベラック道路及びパンコール道路沿いの2,660m区間の改修。排水口は一本として、外環状線の外側まで36m延長する。

調節池

S-10及びS-18排水路の末端にそれぞれ調節池を設ける。これらの調節池は、高潮時に防潮水門を閉鎖する事により、低地盤地域を守るとともに、流域からの流量を一時的に貯留する。

更に、降雨と高潮が重なって発生した場合、流域からの雨水を一時的に貯留し、ポンプの必要容量を小さくする。

ポンプ場

S-10及びS-18それぞれの調節池の海側にポンプ場を建設する。S-10ポンプ場は、毎秒2トンの容量の横軸軸流ポンプ3台、S-18ポンプ場は、毎秒1トンの

容量の同型ポンプ2台を有する。

10. 緊急事業の建設費

緊急事業の建設費は1990年時点の価格を基準に算定した。建設費の内訳は、次のとおりである。

(単位10⁶)

| 事業 | M\$(マレーシアM) | US\$ |
|-----------|-------------|-------|
| ペナン川治水 | 135.5 | 50.17 |
| クルアン川治水 | 40.2 | 14.90 |
| ジョージタウン排水 | 37.9 | 14.05 |
| 合計 | 213.6 | 79.12 |

* (グルゴール川とドゥア・ブザール川を含む)

総建設費は213.6百万M\$となる。又、工事実施計画に基づく各年度毎の投資額は、以下のとおりである。

(単位10⁶ M\$)

| 年度 | 外貨分 | 内貨分 | 合計 |
|-------|------|-------|-------|
| 1991 | 1.2 | 1.3 | 2.5 |
| 1992 | 1.3 | 61.6 | 62.9 |
| 1993 | 22.3 | 73.2 | 95.5 |
| 1994 | 17.4 | 8.7 | 26.1 |
| 1995 | 17.7 | 8.9 | 26.6 |
| Total | 59.9 | 153.7 | 213.6 |

尚、価格算定のための外貨交換レートはつぎのようにした。

1 US\$ = 2.70 M\$ = 140 円

11. 緊急プロジェクトの評価

11.1 経済評価

(1) 費用及び便益の比較

緊急プロジェクトの経済評価は、便益が1996年から2009年まで比例的に増加し、その後は一定になるとの仮定のもとに行なった。

3つの緊急事業のうち、ペナン川のプロジェクトの対象流域には、ジョージタウンの排水対象地域が含まれる。これらの共通の氾濫地域の洪水問題は、治水又は、排水のみの単独プロジェクトでは解決されず、2つの事業を一緒に実施してはじめて治水・排水効果が発揮されるものである。従って、経済評価にあたっては、これらの2つの事業を一つの事業としても評価することとした。

評価の結果は下表に示すとおりである。

| プロジェクト | EIRR (%) | NPV(1,000M\$) | B/C |
|-----------------------|----------|---------------|------|
| ペナン流域プロジェクト | 17.5 | 132,212 | 2.34 |
| クルアン流域プロジェクト | 14.6 | 33,829 | 2.15 |
| ジョージタウン排水プロジェクト | 8.6 | 1,713 | 1.06 |
| ペナン川及びジョージタウン排水プロジェクト | 16.0 | 133,925 | 2.06 |

上表から明らかなように、いずれの緊急プロジェクトも次の理由から経済的に実施可能と判断された。

- i) いずれのプロジェクトも内部収益率は、資本の機会費用（8%）よりも高いレベルにある。
- ii) 他の2つの評価指標もプロジェクトの実行を承認するレベルである。

したがって、3つのプロジェクトは全て経済的に実施可能であり、本事業の実施が推奨される。

(2) 感度分析

上記評価指標について下記の感度分析を行なった。

| プロジェクト名 | 費用20% 上昇 | 便益20% 減少 | 費用20% 上昇及び 便益20% 減少 |
|----------------------|-------------|-------------|------------------------|
| ペナン流域プロジェクト | 15.1 | 14.6 | 12.4 |
| クルアン流域プロジェクト | 12.8 | 12.5 | 10.9 |
| ジョージタウン排水プロジェクト | 6.8 | 6.4 | 4.8 |
| ペナン及びジョージタウン排水プロジェクト | 13.7 | 13.2 | 11.1 |

この結果、2つの洪水緩和プロジェクトは最悪の場合、すなわち、費用が20%高く、便益が20%少ない場合にも実施可能であった。一方、排水プロジェクトを単独で評価した場合は、投資効果は機会費用を下回ることになる。

しかしながら、前述の通り、排水事業はペナン川の治水事業と合わせて評価すべきものである。更に、実際に計算に見込んだ便益の他、ジョージタウン排水事業は高潮で影響をうける都市の中心部の衛生状況を著しく改善する効果を持つ。

以上により、3つの治水及び排水事業は、いずれも経済的に実施可能で社会的にも妥当と認められる。

11.2 社会効果

主な社会的効果は次のようである。

- i) 浸水区域の土地利用価値が向上する面積は、50年確率洪水に対してジョージタウンで14.8km²、クルアン川で3.8km²と想定される。
- ii) 公衆衛生あるいは住環境が改善される。こうした便益を受ける人口は2010年でジョージタウン内で258,000人と推定される。

12. その他の調査

洪水緩和・排水計画調査に関連し、以下の調査が実施された。

(1) 水質改善

島内河川の汚染状況を分類し、養豚施設からの排水及び不十分な家庭排水処理が汚染源として特定された。こうした状況を改善するためには養豚排水の規制及び家庭排水処理を強化することが必要である。

追加調査として、既存の汚水処理場の機能調査が実施され、その運転方法の改善が提言された。また、ドンダン川の直接浄化の可能性についての検討も行われたが、同河川は、直接浄化を行うには汚れ過ぎていることが明らかになった。

(2) 予備環境影響評価

マレーシア政府の要請に基づき、予備環境影響評価調査がマレーシア工科大学により実施された。

評価の対象工事は、ジョージタウン地域における治水、排水の緊急事業で、河川改修、調整池、放水路の各工事である。

調査結果は予備環境影響評価報告書として別冊にまとめられているが、主な結論は次のとおりである。

1. 不利な影響の主なものは、工事中に発生し、工事完成後の段階では、環境改善がもたらされる。
工事中及び完成後において、確実な管理と対策が実施されることが必要である。
2. 工事が完成した段階では、ペナン川の洪水問題は著しく改善される。

13. 結論と提言

- (1) ペナン島の河川の洪水防御マスタープランは、構造的対策および非構造的対策の両面から成る。
構造的洪水防御対策としては、河道改修、調節池および分水路等が提案された。これらのマスタープランはペナン川およびクルアン川等の主要な河川については、技術的にも経済的にも実施可能であり、また社会的にも妥当と認められるものである。
- (2) S-10, S-18 およびN-12排水流域に対する緊急排水事業は、幹線排水路の改修、調節池およびポンプ場の建設よりなる。
提案された計画は、技術的にも経済的にも実行可能で、かつ妥当なものである。
- (3) マスタープランの3つのフェーズのうち、フェーズIにあたる緊急事業の対象地域には、フラッシュ洪水や高潮に起因する洪水被害をしばしば受けている低地盤地域や市街地が存在するため、工事を早急に実施することが極めて重要である。
- (4) 治水・排水事業を円滑に実施するため、必要な土地の取得は、工事着工

前に完了しなければならない。また、フェーズⅡおよびフェーズⅢの河道改修に必要な土地も早急に取得する必要がある。

- (5) ペナン島の総合的な流域管理を実現するため、SEPUのもとにDID（農業省、排水灌漑局）を事務局とするペナン島総合治水委員会を設立することは是非とも必要である。
- (6) 島の東部海岸の低地盤地域に対しては、将来の開発に対して、十分な高さまで盛土することとし、ポンプ施設の設置は避けるべきである。
- (7) 丘陵地または山地（特にペナン・ヒル）における開発行為は、土石流の発生や、土砂流出を防止するため、厳しく規制する必要がある。
- (8) 流域からの土砂流出をおさえるため、流域内での土地開発の規模に応じて、調節池の設置を義務付ける基準の作成が必要である。
- (9) 島内の多くの河川は、家庭雑排水および養豚場からの排水によって汚染されているため、島内における下水処理を強化し、養豚場からの排水に対して効果的な規制を適用すること、又、ゴミの投棄を厳しく規制する事が必要である。
- (10) 快適な河川環境の維持の重要性を、一般市民に認識させることは、必要である。このため、河川や排水路へゴミを投棄しないよう住民を啓蒙する必要がある。

JICA