

V. ハノイ区間の航路安定計画

A. 航路安定の目的

97. 本調査での航路安定化対策の目的は、紅河ハノイ区間での内陸水運の発展あるいはその有効活用による社会経済の発展と、内陸水運の利用による、例えばCoxによる大気汚染の低減という環境負荷の改善という大目的の下に、具体的には以下の目的を持っている。

(1) 基本的な直接的目的

- 1) 水路法線の安定化、すなわち河道代替案Aの航路を維持すること。
- 2) 航路諸元に対する要請、すなわち計画による最小航路幅150m、水深2.5m、曲率半径700mを、発生確率95%の低水位(LWL)に対して満足すること。特に、計画水深は、航路およびハノイ港、クエンルン港、新北港等の重要なインフラで確保されなくてはならない。航路の浅い部分では、洗掘を促進し、望ましくない堆積を止めること。高水敷の低水岸、砂州、あるいは河床の必要以上の浸食による土砂供給を止めること。
- 3) 航路を安定化し、また航行援助施設を整備し、航行安全を保障すること。
- 4) 航路安定対策工で形成された流れの場によって、航行/接岸が不可能にならないこと、すなわち港の岸壁前面の流速は、3ノット以下であること。
- 5) 航路の安定化対策施設の建設を通して、紅河の外観や景観の改善に資すること。

(2) 必要な水理的な要請による他の目的

- 1) 洪水への望ましくない悪影響、特に洪水時の水位と浸水面積の増加および洪水排水容量の減少、を避けること。
- 2) 紅河からの灌漑への望ましくない悪影響、特にリエンマック、アップバック、スアックアン、およびイエンソーの取水口の閉塞、を避けること。
- 3) 紅河とトゥオン川の流量配分を維持すること。
- 4) 都市計画への望ましくない悪影響、特に高水敷の利用の制約、あるいは低水岸の不安定、を避けること。
- 5) タンロン橋、ロンビエン橋、チュオンズオン橋およびタンチー橋の橋脚の安定に影響しないこと。換言すれば、そこで流速が極端に上がらないこと。
- 6) 水質、大気質、生物の多様性、人々の利便、安全等、自然環境と社会環境への悪影響を避けること。

B. ハノイ区間の自然条件

98. 水文学的には、紅河流域はその上流域をヴェッチーの上流で区分できる。そこは3つの河川、すなわちタオ川、ロー川、ダー川の合流点である。下流域は6つの支流に別れ沖積海岸平野を海に流れている。紅河の内陸水運システムは、今日、紅河とタイピン河の2つの流域に発達している。この2流域はドウオン川（ハノイ＝ファーライ）とルオック川で結ばれている。

99. 紅河の水位と流量は、季節的（2つのモンスーン気候）あるいは水文学的、気象学的条件により、大きな幅で変動する。ハノイでは、洪水期と乾季の平均的な季節的水位変動はおよそ9mもあり、10倍から20倍の流量変動を伴う。ハノイ水文気象観測所での水位の総括表を表V-1に示した。タンロン橋上流部とハノイ水文気象観測所の水位流量曲線 $H=f(Q)$ と紅河とドウオン川の流量配分を図V-1に示した。平均的に言って、紅河本流の流量の凡そ27%がドウオン川に流れている。

表 V-1 設計に用いるハノイ水文気象観測所の水位 (1956-2001)

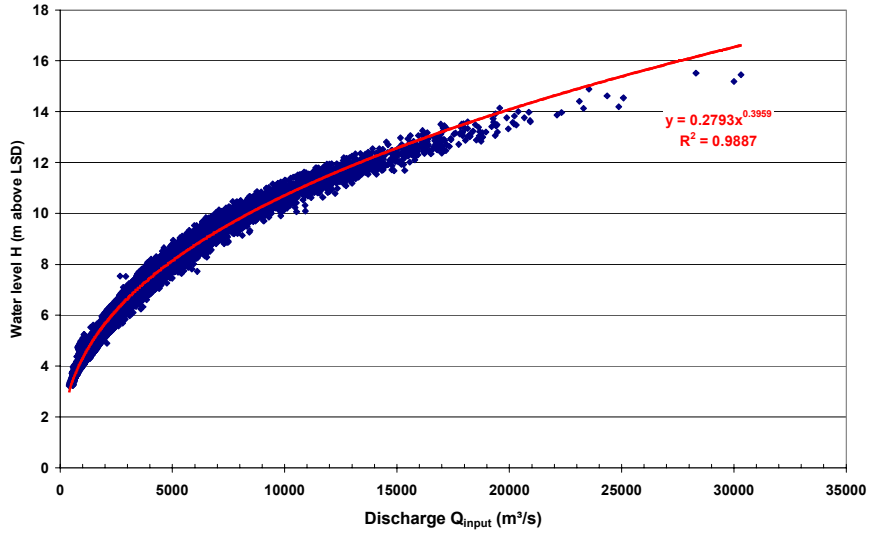
水位名	水位 (LSD 上 m)
既往最高水位 (1971)	+13.97 *
ハノイの堤防(特別クラス)の設計水位**	+13.4
年平均洪水位	+10.96
5% 発生確率水位 (1995-2001)	+9.52
洪水期の平均水位 (5月から10月)	+7.34
平均水位 (MWL)	+5.04
乾季の平均水位 (11月から4月)	+3.47
95% 発生確率水位 (1995-2001)	+2.58
年平均濁水位	+2.20
既往最低水位 (1960)	+1.55

注) LSD = 測地基準面 Land Survey Datum (National Elevation System に等しい)

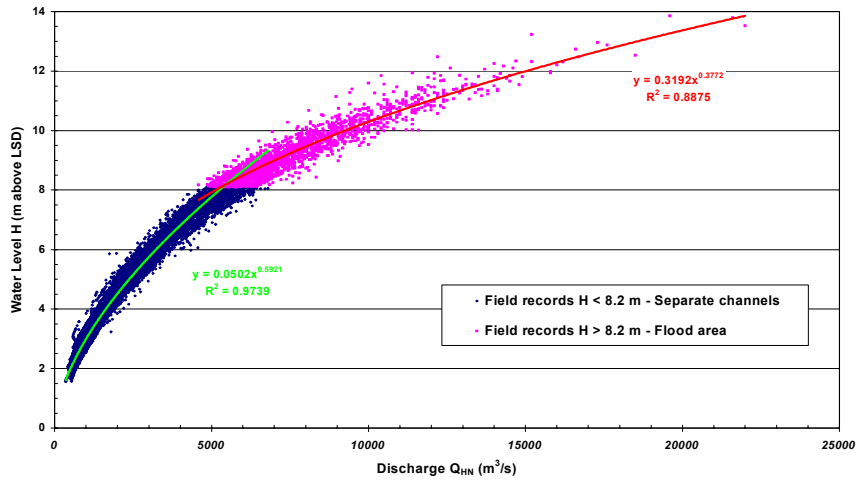
= CDL (Chart Datum Level at Hon Dau) +1.86m;

*ハノイ水文気象観測所の観測値 ** MARD による基準 (2002年7月制定)

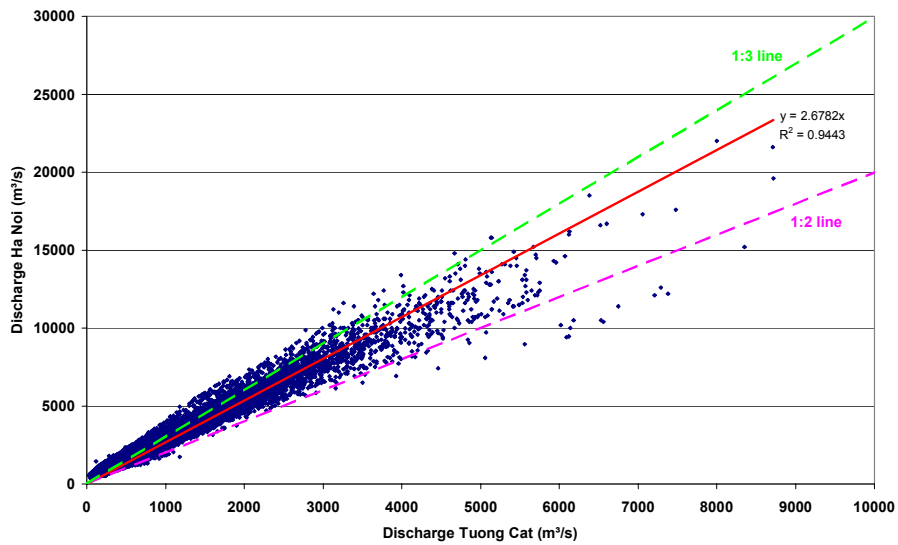
出典) TEDI-port および本調査団



(1) タンロン橋上流部の水位 流量図



(2) ハノイ水文気象観測所の水位 流量図



(3) 紅河とドゥオン川の流量配分図

図 V-1 水位と流量

100. **流速**の観測を乾季の2002年1月、洪水期の2002年8月に実施した。前者の観測結果を図V-2に示した。乾季の流速はほとんど1.0 m/sec以下であり、雨季の流速は1.0から1.8 m/secである。

101. さらに、紅河流域の水は高い**土砂含有量**（平均1g/l）と多量の**輸送土砂量**が特徴である。2002年8月の測量によると、ハノイ区間の掃流土砂量は100-200 tons/hourのオーダーに上ることが明らかにされた。この値は、相当大きい量であり、ハノイ区間の地形動態力学を支配する主要素と言える。

102. **河床物質**は、水路部分ではよく篩い分けられた砂（中央粒径 d_{50} は0.100 mmから0.235 mm）であり、浅瀬と高水敷では細砂（20-40%）、シルト（40-70%）、粘土（10-20%）が混ざっている。観測された流速から言って、この細かな土砂は移動し易く、かつ掃流土砂および浮遊土砂として容易に輸送されやすいと判断される。測定された流速 粒径分布図を図V-3に示した。

103. 上に述べた河川のシステムの特徴は、2つの主な脅威の根本原因をなしている。すなわち、一方では河川沖積平野の洪水の危険であり、他方は砂州や高水敷の安定と航路の航行に影響する**堆積/洗掘現象**である。これらの脅威に対して、ヴィエトナムでは古くから土木/河川工事がなされてきた。土堤防、堰、石積みまたは杭の突堤、低水岸（斜面）防護、導流堤等の構築、堤防補強、維持浚渫、等である。**ホアビンダム**や**タックバーダム**などの上流の水力発電所は水位のピークカット、土砂の阻止、高水位の延長などの効果をもってきた。近い将来のナハンとソンラダムの建設の影響も、航路安定から見ればピーク洪水流量と土砂流出の減少により、返って安定な高水敷の形成と河床低下の可能性があり、むしろ好ましいものと見なしうる。

104. 好ましがらざる堆積は内陸水運網の特定の区間で起こっており、航行安全と所要の航路保全のために**維持浚渫**がなされている。浚渫による**砂採取**も、特に河床変動の激しいハノイ区間で、定期的に行われており、その採取量は調査団の見積もりでは年間300万 m^3 に上っている。

105. 船が**座礁**している場所も2002年1月の調査で特定され、紅河流域での航行困難な場所や浅瀬の情報が得られた。

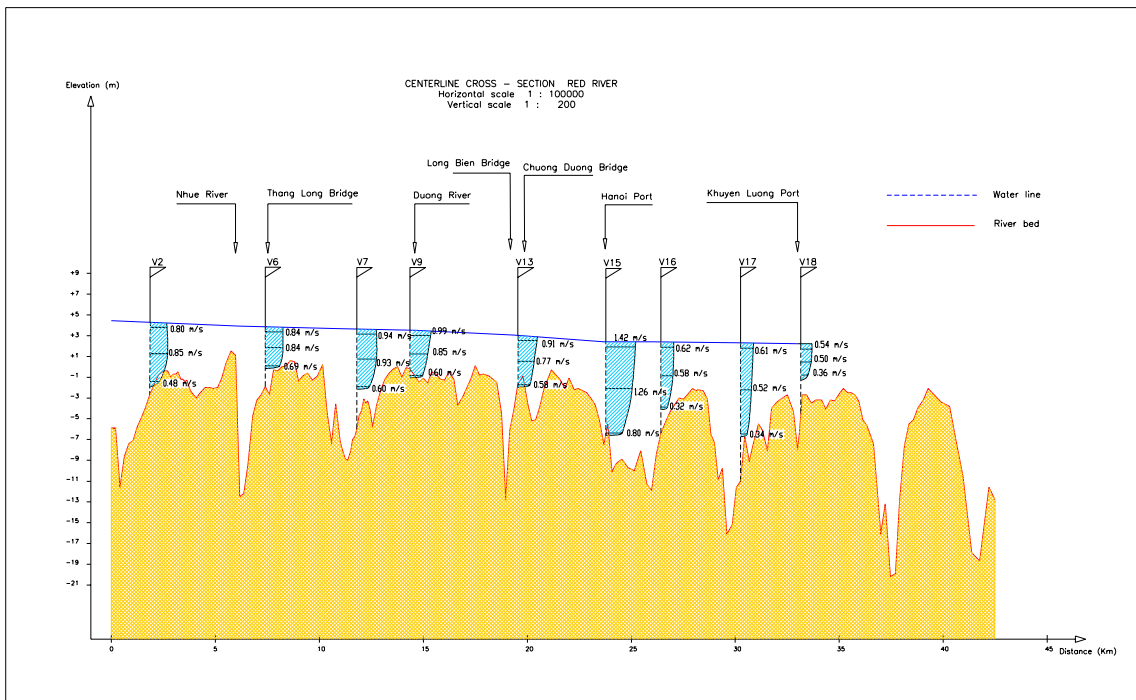


図 V-2 乾季の実測流速 (2002 年 1 月)

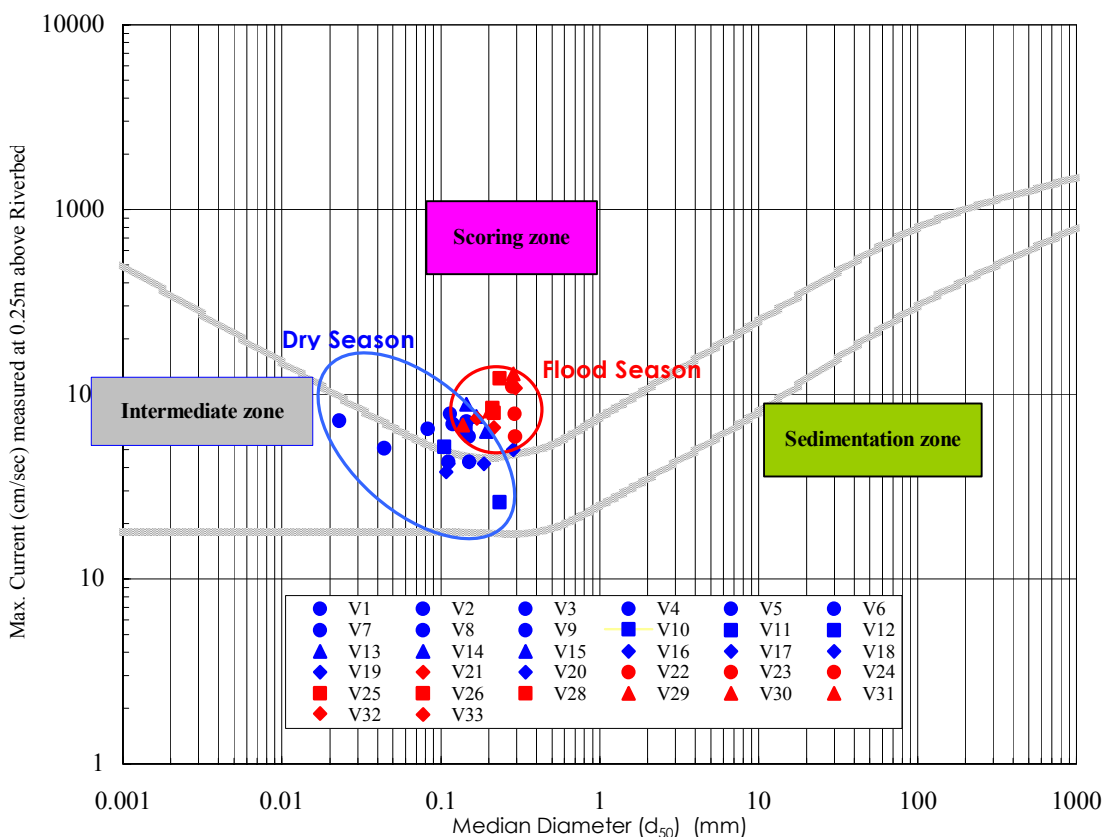


図 V-3 浸食と堆積の限界流速 (Gilully, 1968 による)

C. 河川の縦断と断面の形状

106. 紅河の“ハノイ区間”においては、**図 IV-3** に示したとおり、過去の主流の変遷の状況から TEDI によって 3 つの河道代替案が示されている。この調査段階では、代替案 A が適当であると判断される。その理由は、ドウオン川への流れを確保しハイフォンとの内陸水運を維持できることばかりでなく、紅河の洪水の約 27% を排水できることにある。さらに、代替案 A は、ハノイ港ほかの計画港湾の岸壁、あるいは内陸水運開発で考慮されている他の主要施設の前面でのシルテーションを防止する効果を期待できる。また、この案であれば、当該区間にある主要な灌漑用取水口の維持もできるという長所がある。

107. 本 JICA 調査で、以下のことが判明した。タンロン橋の上流部とクエンルオン港の下流部のとの 40km の間では、川は多水路の性格を持っており、水路と砂州は強い横断方向の移動と浸食/堆積傾向を示す。1999 年 12 月から 2002 年 1 月の約 2 年間に於いて、1 m ないし 5m の浸食あるいは堆積と 100m 以上の横方向の移動が認められた。これを実証するため、過去の地形データを解析し、加えて乾季と洪水期において浸食/堆積測量を行った。2002 年の 1 月（乾期）と 8 月（洪水期）の実測水深を比較すると、一般的に於いて、直線部で堆積が起り、タムサ、チュンハー砂州、ハノイ港前面という蛇行の水衝部で浸食が起っている。後者は、洪水の慣性力による流速の増加と遠心力によってできる断面方向の水位差で二次的な水底近くの戻り流れの影響であると理解される。

108. 1999 年と 2002 年の取得データにより平面的な河川航路の変遷を詳細に解析し、その結果の一部を **図 V-4** に示した。断面変化については、1987 年以後の深淺測量図に基づき分析した。タンロン橋における断面は相当安定していることが判明した。しかし、例えばチュンハー砂州においては、**図 V-5** に示したとおり、10m のオーダーの著しい河床地盤高の動的変動が起っている。これは、タルウェッグの不安定が主原因である。

109. ごく最近、主流が代替案 A から代替案 C に移る兆候が顕われた。これは、2002 年の洪水期の後に観察されたものである。この変化は阻止する必要があると言える。

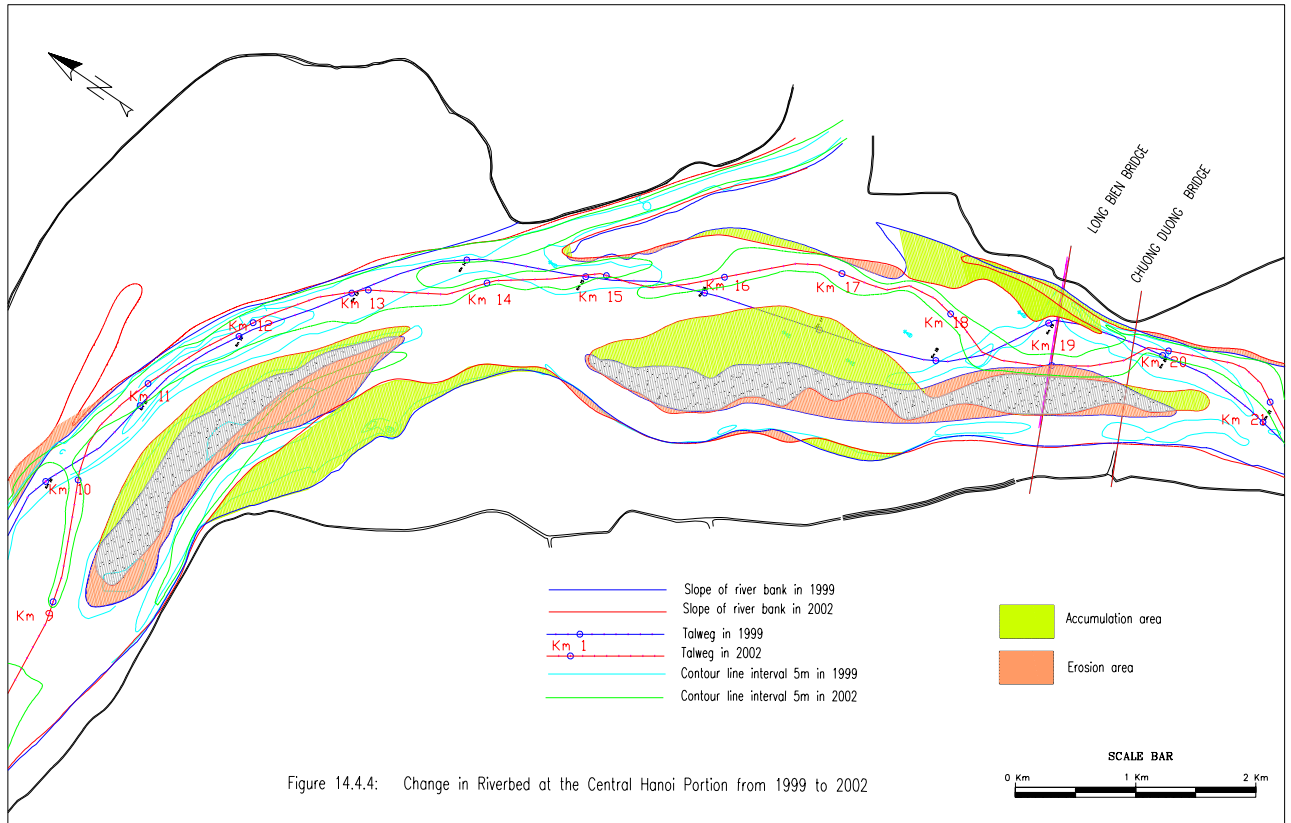


図 V-4 水路地形の最近の変化 (拡大図)

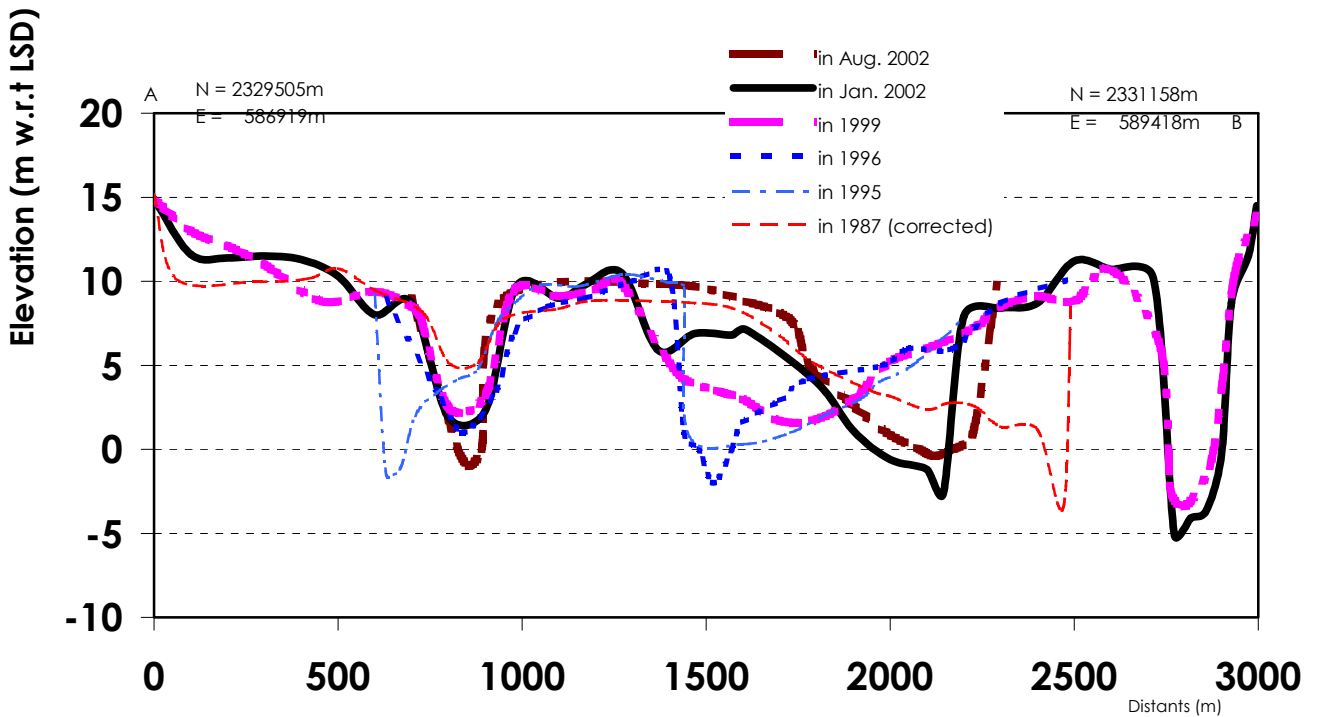


図 V-5 チュンハー砂州での横断地形の変化 (断面 Km 18)

D. 航路安定化対策

110. 基本方針、対策施設の意図、河川制御施設（突堤、導流堤、河床工、潜堤、護岸）の一般特性、および河川改修の水理特性に関し、航路安定化計画を検討した。まず、航路安定化計画の目的に照らし、**図 V-6** に示したとおり、**基本蛇行曲線**を設定した。

111. 次に、河川と航路の安定のための対策として、**図 V-7** に示したような3つの**基本的施設代替計画**（**代替案 1、2、および 3**）を選択した。ここでは、施設を優先プロジェクト（2010年目標）と長期計画（2020年目標）に分けている。なお、タムサー地区とトゥカウ地区の前面低水路とトゥリエン-チュンハー砂州の周辺にある既存の突堤群は、有効に働いており、かつ今後も必要な施設とみなしうる。それらの存在は、ここでの新しい航路安定施設の計画の前提条件としている。

112. **代替案 1**は、航路の現在の配置を安定化し維持する、換言すれば複水路という基本形態を変えないことを狙いとしている。**代替案 2**は、副航路の入口を潜堤で閉ざし主航路を安定化し水深を深くするという、航路を単航路にすることを狙いとしている。**代替案 3**は、流積あるいは流積/流量比を考慮し、主航路の幅を広げ、そこでの流速、流量、水位の過剰な増加を緩和するという代替案 2 の修正案である。これらは、以下の施設と場所を考慮している。

- 1) 突堤群（構造：透過式杭構造で水深は変化）
 - **突堤-1 (ヴォンラ地区)**: ヴォンラ砂州に設ける。タルウェグを右岸側に寄せ、流れをハイボイで左岸に近づけるため。
 - **突堤-2 (ドンゴック地区)**: タンロン橋の下流右岸に設け、タルウェグをハイボイ地区の新八ノイ北港に導き、同時に副水路への流れを制約し副水路の発達を抑える。
 - **突堤-3 (ニャットタン地区)**: ニャットタン砂州の上流側頭部に設ける。主水路の流れを調節する。（将来必要と判断された場合に長期計画で適用）
- 2) 導流堤（構造：不透過式連続堤体）
 - **導流堤-1 (ニャットタン砂州)**: ニャットタン砂州の頭部と左岸側に設ける。砂州の維持と主水路の流れを制御するため。その位置は河積の動的平衡解析で決められる。
 - **導流堤-2 (トゥリエン=チュンハー砂州)**: トゥリエン=チュンハー砂州の頭部と左岸側に設ける。主水路の流れを制御すると共に、砂州の切断を防止するため。その位置は河積の動的平衡解析で決められる。
- 3) 河岸斜面防護（構造：石積あるいはコンクリート張り法覆、矢板壁法留、等の護岸）
 - **護岸-1 (チュンカット地区)**: 右岸、ヴォンラ砂州の対岸に設ける。突堤-1 の効果により過剰な河岸浸食から右岸を防護するために設ける。（長期計画で考慮する）
 - **護岸-2 および 3 (ハイボイ地区新北港)**: 左岸ハイボイ地区の新北港の上下

流に設ける。突堤-1、2 および 3 並びに新港そのものの効果で河岸が侵食されるのを防止する。

- **護岸-4 (タムサー地区):** 左岸タムサー地区に設ける。侵食を防止するための河岸の強化。(長期計画で考慮する)
 - **護岸-5 (アンニン地区):** 右岸アンニン地区に設ける。副水路へ入り口を強化固定すると共に副水路への流れを確保する。
 - **護岸-6 (バッカオ = ボーデ地区):** 左岸バッカオ = ボーデ地区に設ける。主水路の流れを整え、河岸の浸食と堆積を防止し、トゥリエン = チュンハー砂州への副作用を緩和するため。バッカオ地区頭部は、その浸食を防止し、ドゥオン川の入口を維持するため。(長期計画)
 - **護岸-7 (リタイト = バックダン地区):** 右岸ハノイ港上流の市街地前面に設ける。航路側の崖の浸食と航路あるいは港前面での堆積を防止するため。(上流の約 1/3 の部分は長期計画)
 - **護岸-8 (ドゥエンハー地区):** ドゥエンハーの蛇行凸部沿いに設ける。水路の確保と蛇行の発達防止のため。(長期計画)
- 4) 潜堤(代替案 2 および 3 に適用。構造：石積み)
- **潜堤-1 および 2:** ニヤットン砂州とトゥリエン = チュンハー砂州の副水路の入口に設ける。乾季に流れを止め、洪水時には水没し流れを許す。

113. 突堤の構造と流れの**透過率**を検討し、天端高 LSD +3m から 4m の石積みマウンドと天端高 LSD +9m のパイルとを組合せた構造とし、洪水時で透過率が 0.5 から 0.7 とした。水位 透過率図を **図 V-8** に示した。

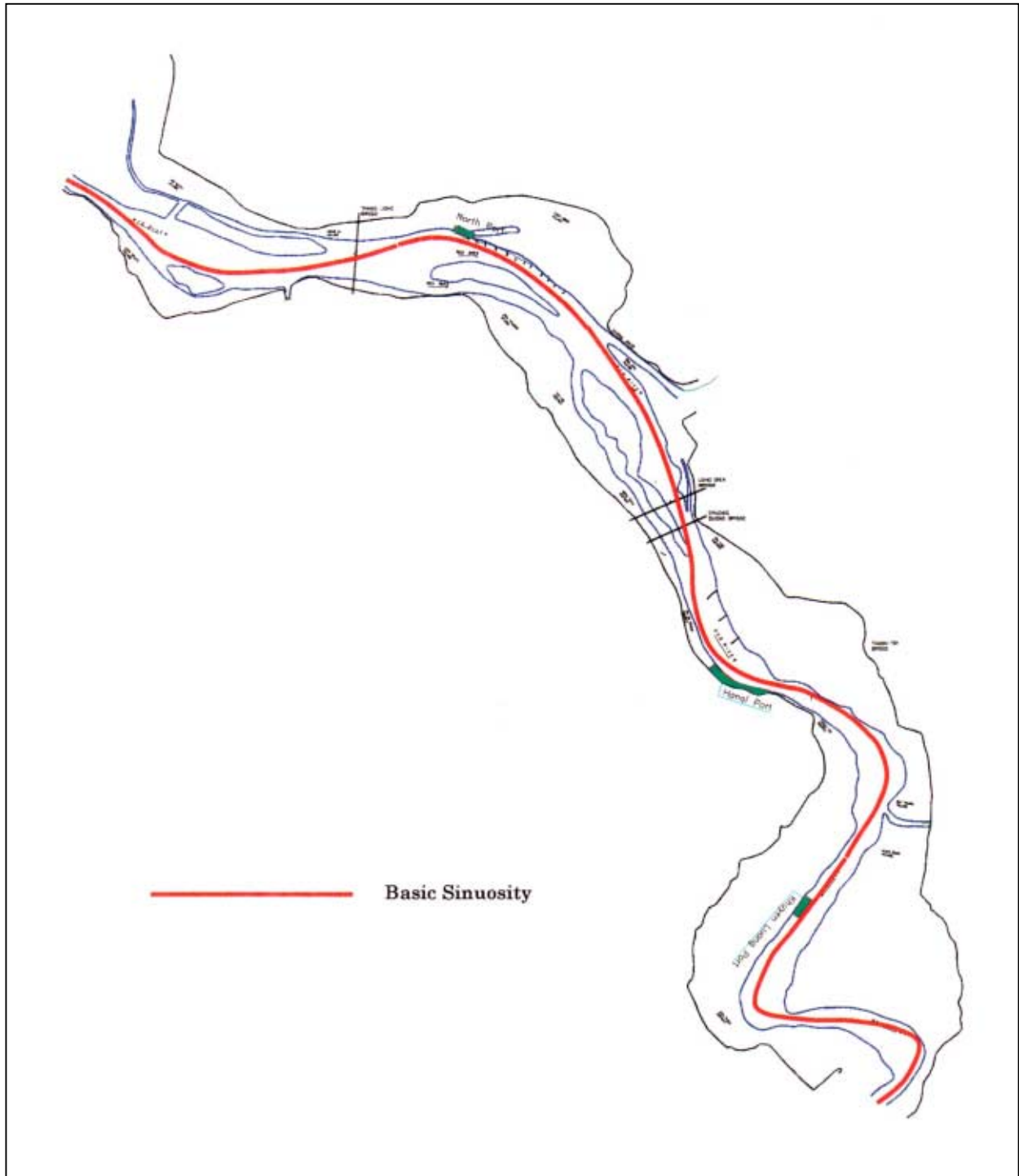


図 V-6 ハノイ区間の主流の基本蛇行曲線

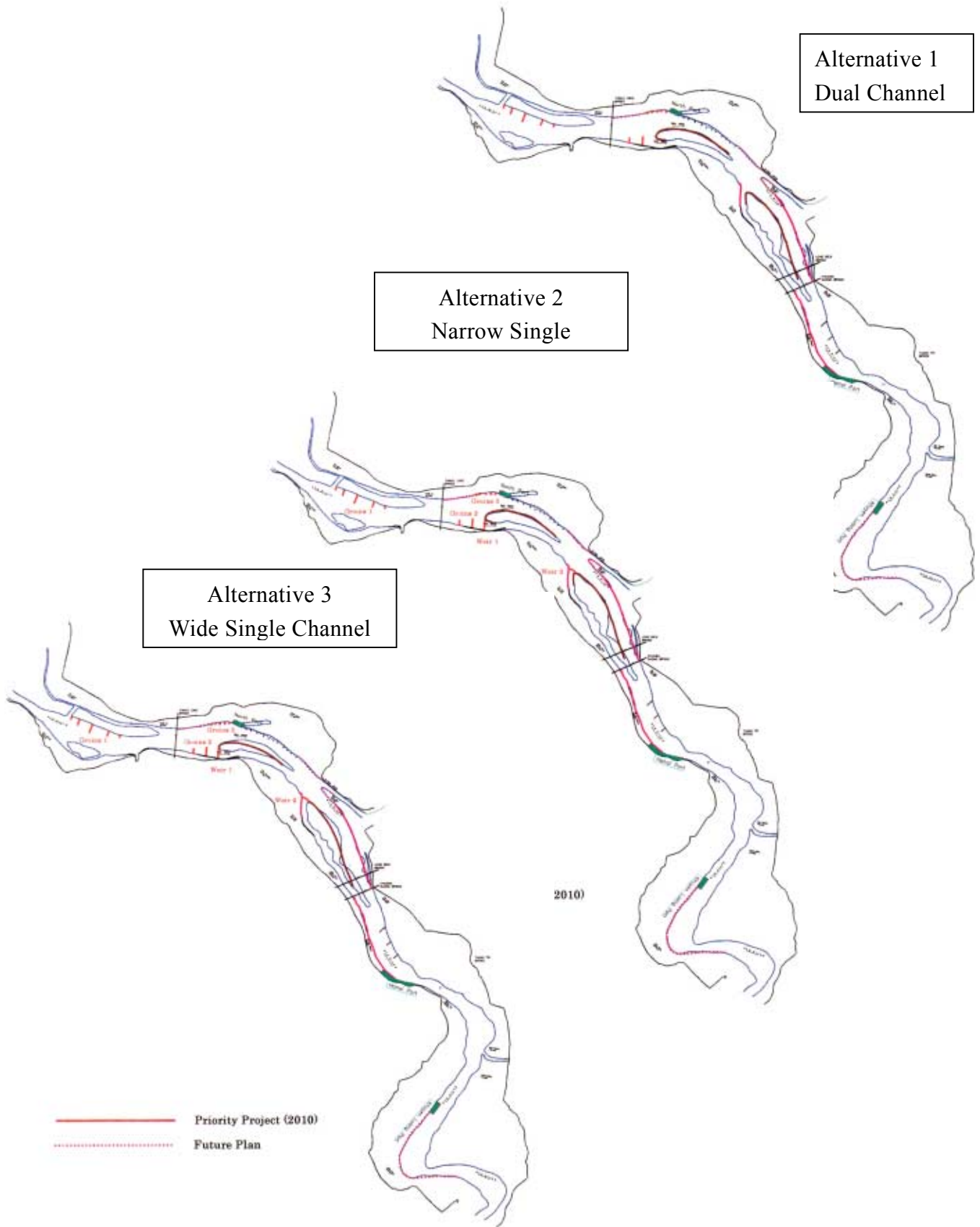


図 V-7 航路安定化施設の 3 つの基本的施設配置代替案

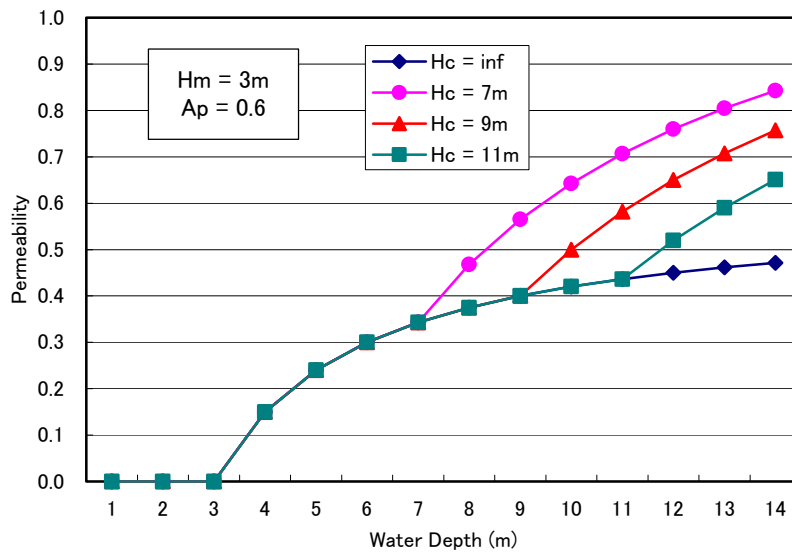


図 V-8 突堤の透過率 (マウンド天端高: LSD+3m, 杭部の透過率: 0.6)

E. 航路安定化対策の妥当性と評価

114. 本調査では、水理的あるいは地形的現象の解析と航路の発展を予測する手段として、**コンピュータ・シミュレーション・モデル**を導入した。このモデルは、曲線形状をした河川を再現するのに適した円筒座標系の2次元浅水モデルである。

115. まず、本モデルの現地適用性を検証するため、2002年1月の乾季と同年8月の洪水期における流速とSSの実測値と計算値を比較した。このキャリブレーション結果を**図 V-9**に示した。両者はよく一致しており、少なくとも現在の地形に対しては、モデルの信頼性を実証している。

116. これより、まず乾季における紅河40km区間の**現在の水路の安定性**を検討した。検討は、流れと河床変動について、以下の3ケースについて行った。

- 1) 基本ケースとしての現状の流れと地形（既存の突堤の有無の2ケース）
- 2) タンロン橋における流向が、現在の方向から極端に北および南に偏るという仮想上での変化（2ケース）

117. 上のケース1)については、流れのベクトルの分布と大きさは測定された流速分布とタルウェグの経路とによく一致している。河床変動は少ない。**乾季**（ハノイ水理気象観測所の実測水位 = LSD + 3.1m）においては、現在の地形と流れは安定しており、顕著な変化は起こらないと考えられる。ケース2)では、流れの状況は劇的に変化し、影響は河の全域に及ぶ。偏向した側の河床と河岸の浸食と反対側の堆積が予測される。ケース2)の場合には、紅河とドウオン川の両方の流れと流量に変化をもたらす。その結果、乾季においては

変化は少ない状況を維持するけれども、いずれ大規模な河川地形の変化をもたらすであろう。

118. ここで、ごく最近、2002年の洪水期の後、2002年10月に上のケース2)が起こる兆候が顕われた。すなわち、主流がニャットン砂州において主水路から副水路に移りつつあることに注意を要する。

119. **洪水期**（ハノイ水理気象観測所の実測水位 = LSD +9.3m）に対して、各代替案の流速と現状での流速の差異の程度を検討した。両者の流速比を代替案1と2について、それぞれ図 V-10 (1)と(2)に示した。その主な特徴は以下の通りである。

- 1) 代替案2は潜堤1の強い影響を示し、地点Aでは18cmの水位上昇が起こる。代替案3においても6cmの水位上昇を示している。一方、代替案3では、6cmの水位上昇に止まっている。ドゥオン川の水位はどの代替案でも顕著な変化はなく、最大でも3cmである。
- 2) 代替案2と3では、地点AとEにおける流速の増加と地点Bにおける減少が顕著であり、地点Aの最大流速は1.5 m/secをこえる。代替案1では、同地点の流速増加は大きくない。
- 3) 流量については、流速と同様の傾向を示している。なお、ドゥオン川の流量は代替案3の場合、若干減少する。
- 4) 河積/流量比については、代替案1の場合、代替案2と3と比べ、河川に沿って比較的安定した値を示す。

120. 以上により、基本的には代替案1が最も好ましい河川安定化対策のケースとして選定した。

121. **水路の最適幅**については、測量した関係パラメータの値、すなわち流下断面積A、水面幅B、および平均水深Hを勘案して再確認した。図 V-11は、この種の解析の最もし易い水深がハノイ水文気象観測所でLSD +6mという遷移時期のケースである。この図から、既存の水路は以下の特性を持っていることが演繹された。

ニャットン砂州

主水路:	B 600m x H 6m = A 3,600 m ²
副水路:	B 300m x H 5m = A 1,500 m ²
計:	B 900m A 5,100 m ²

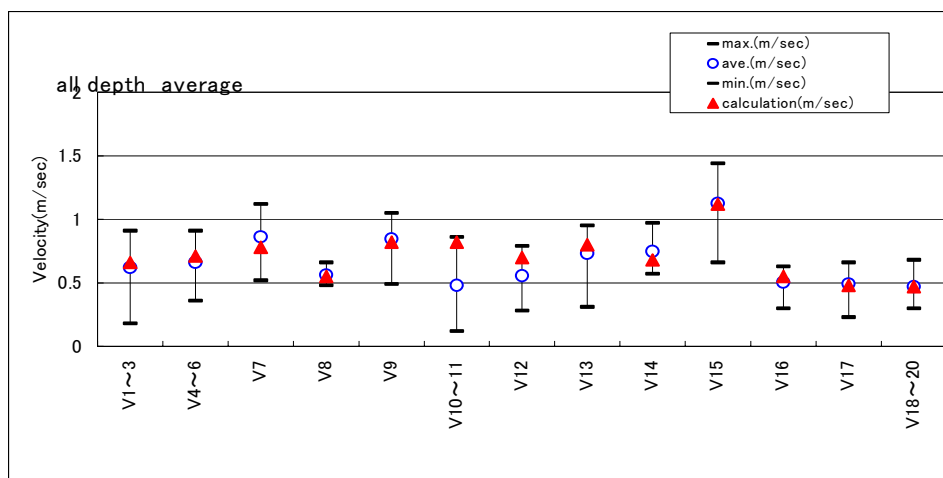
トゥリエン = チュンハー砂州

主水路:	B 500m x H 6m = A 3,000 m ²
副水路:	B 200m x H 3m = A 600 m ²
計:	B 700m A 3,600 m ²

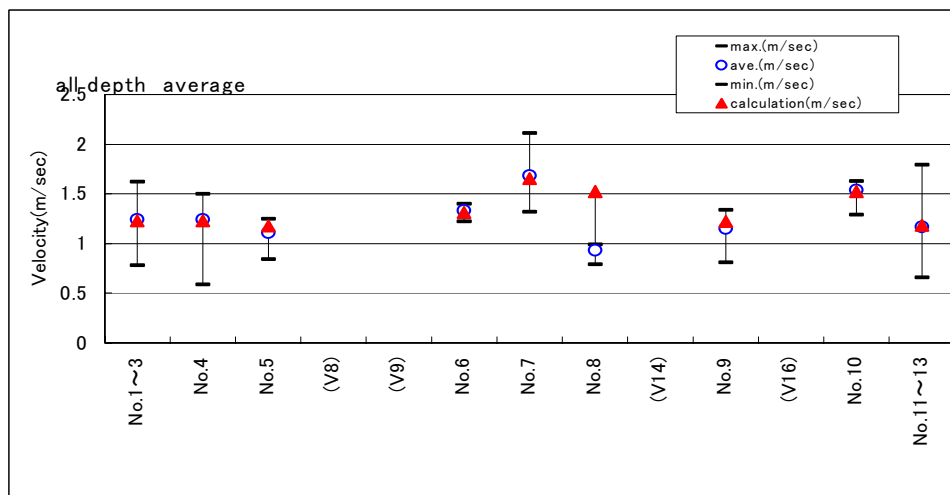
122. もう1つの検証として、理論的に動的な平衡状態にある長方形水路の河積の動的平衡解析を行った。理論的に水路幅と水深の関係は式(1)で表しうる。

$$y = ax^{-b} \tag{1}$$

ここで $y = B/B_0$ および $x = H/H_0$ で、 B_0 と H_0 は基準となる水路幅と水深である。この式に実際の測量データを適用し、最小自乗法で近似した。その結果は、**図 V-12** に示したとおり、 $a = 1.0624$ および $b = 0.8218$ (相関係数: $r^2 = 0.7751$) となった。この結果、最適な主水路幅は、下の**表 V-2** の通り、ニャットン砂州では約 600m、トゥリエン=チュンハー砂州では約 500m と確認された。



(1) 乾季



(2) 洪水期

図 V-9 数値 2-D シミュレーション・モデルのキャリブレーション

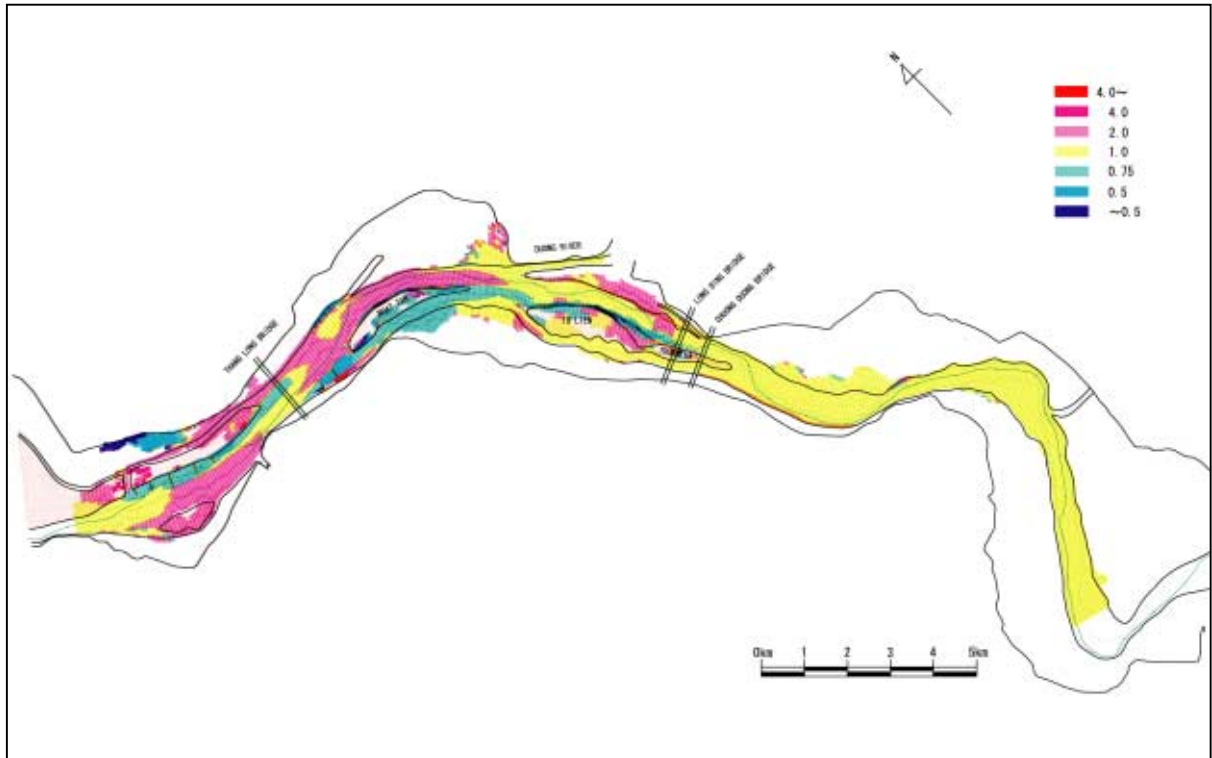


図 V-10 (1) 流速比 (洪水期: 代替案 1 / 現況)

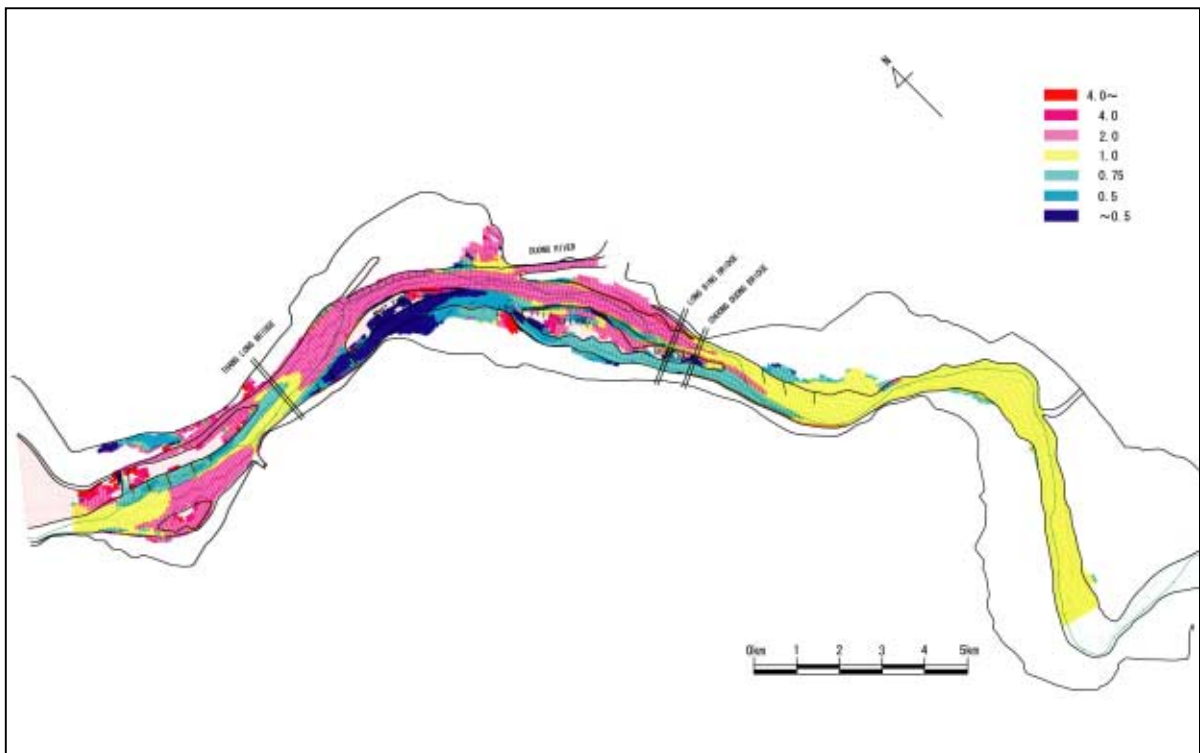


図 V-10 (2) 流速比 (洪水期: 代替案 2 / 現況)

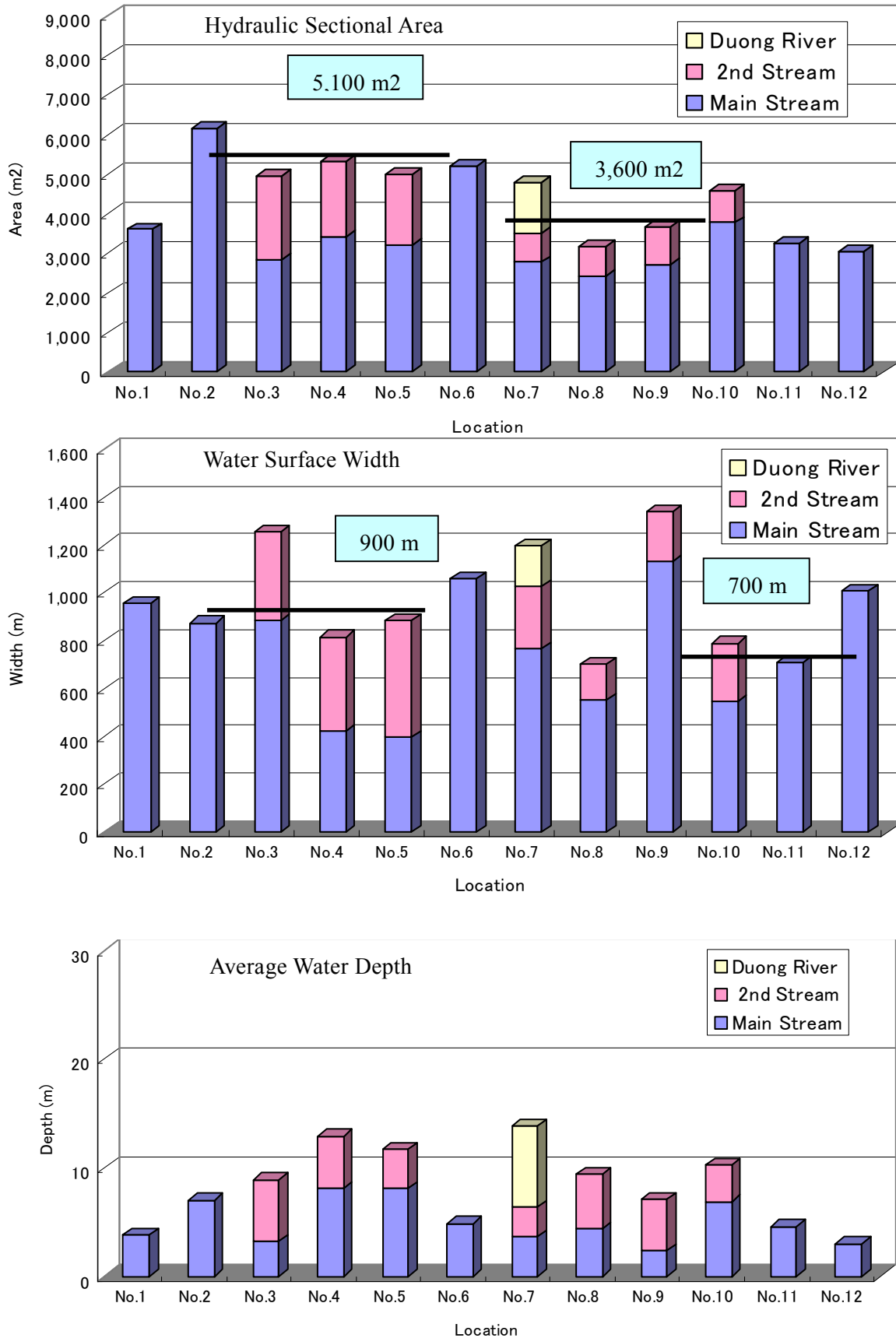


図 V-11 遷移時期における既存水路の断面特性 (水位: SDL +6.00m)

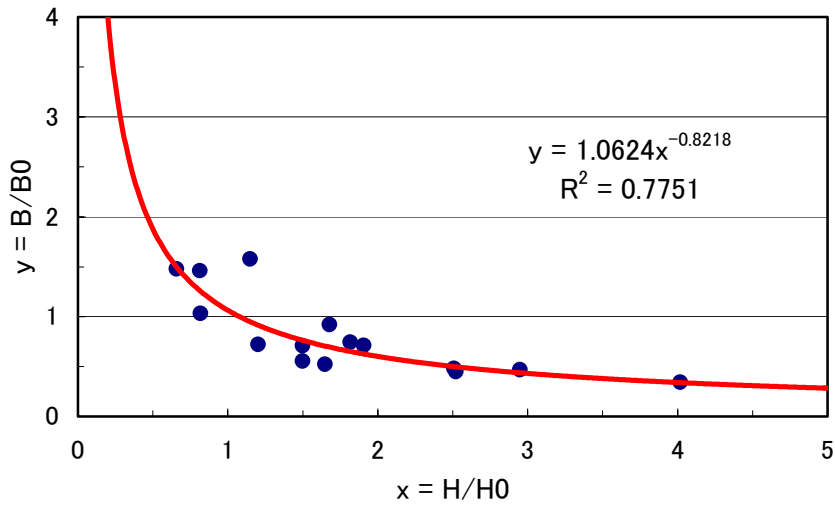


図 V-12 水路幅と水深の関係

表 V-2 河積の動的平衡解析による所要主水路幅

(単位: m)

場 所	発生確率	水 深		水 路 幅	
		H	H ₀	B ₀	B
ニヤッタ 砂州	7%	9	6.18	891	695
	27%	6	3.22	883	563
	95%	2.5	1.56	794	573
	平均	610			
トゥリエン = チュンハー 砂州	7%	9	6.46	794	642
	27%	6	3.63	766	539
	95%	2.5	1.74	362	286
	平均	490			

123. 最後に、**洪水排水容量**を、水位が LSD +12.5m という非常に高い洪水時（上流境界面での洪水流量 = 22,700 m³/sec）と LSD +13.4m という極限の洪水時（上流境界面での洪水流量 = 32,400 m³/sec）の場合について、数値シミュレーションで検証した。対策施設の効果による洪水の河床浸食効果を見込んだ後者の流速ベクトル分布図を**図 V-13**に示した。堤防内の高水敷は全面的に冠水している。代替案1の施設配置でこの洪水を流した場合、航路安定化対策施設の洪水排水にはわずかしか影響しないことが確認された。ズオン川では、対策施設を設けた場合の方がわずかながら流量が落ちる。この区間の主要点における水位の変動は**表 V-3**にまとめたとおり、チュオンズオン橋の上流では水位は若干低下し、下流では上昇するが、いずれも cm のオーダーであり、微小である。よって、洪

水状態への施設の影響は無視できる結論される。なお、いわゆる洪水排水流路は、現状と同じ、すなわち兩岸の堤防の内側の全幅と見なしている。

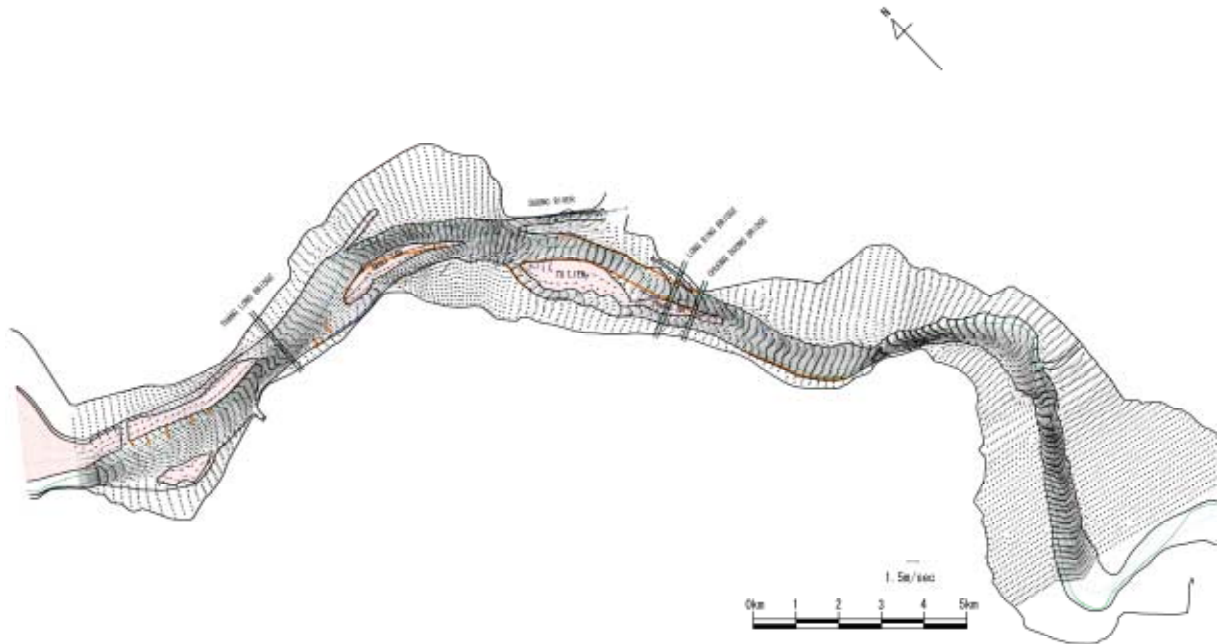


図 V-13 異常洪水時の流速ベクトル (水位=13.4m, 代替案 5s)

表 V-3 航路安定化対策施設による洪水水位の増加量

(水位: LSD+13.4m 於ハノイ水文気象観測所)

場 所	水位上昇量	備 考
タンロン橋	- 2 cm	
新ハノイ北港	- 12 cm	ハイボイ地区
ドウオン橋	- 1 cm	
ハノイ水文気象観測所	- 3 cm	
ハノイ港	+ 2 cm	

F. 実施での配慮事項

124. 航路安定化対策の**施設平面配置**を**図 V-14** にまとめた。なお、ラックイットの 2 次水路を安定化させるため、導流堤 T2 を水路内に延長し、また対岸の斜面防護工 B5 と共に、その入り口を固定することにした。その**建設手順**は**表 V-4** に示した。この工程は、2009 年末までに短期計画が終わることを考慮している。また、突堤は一基ずつ建設すること、導流堤は原則として上流から下流に建設することに配慮している。

125. **勧告**として、主航路が換わりつつあるという最近の現地情況に鑑み、航路安定化対策を早急に打つべきである。ただし、建設実施前の詳細設計において、追加の数値シミュレーションと移動床の水理模型実験により、上の計画をさらに深く検証、確認する必要がある。航路安定化のための上述の施設は、段階的に施工し、少なくとも雨季と洪水期の年 2 回の追跡調査によりその効果と影響を注意深くモニターすること、期待された効果と実際の結果、優先度、タイミング、施設規模を考慮し計画をレビューすること、が挙げられる。ハードな施設の建設に加え、弾力的かつ機動的な浚渫を導入しなくてはならない。初期浚渫量は、3 百万 m³ のオーダーに達すると見られる。航路安定化対策の効果により期待される河床の浸食を見込んだ維持浚渫は、乾期の航路埋没地点での水深を維持するため、ある程度周期的に必要となる。

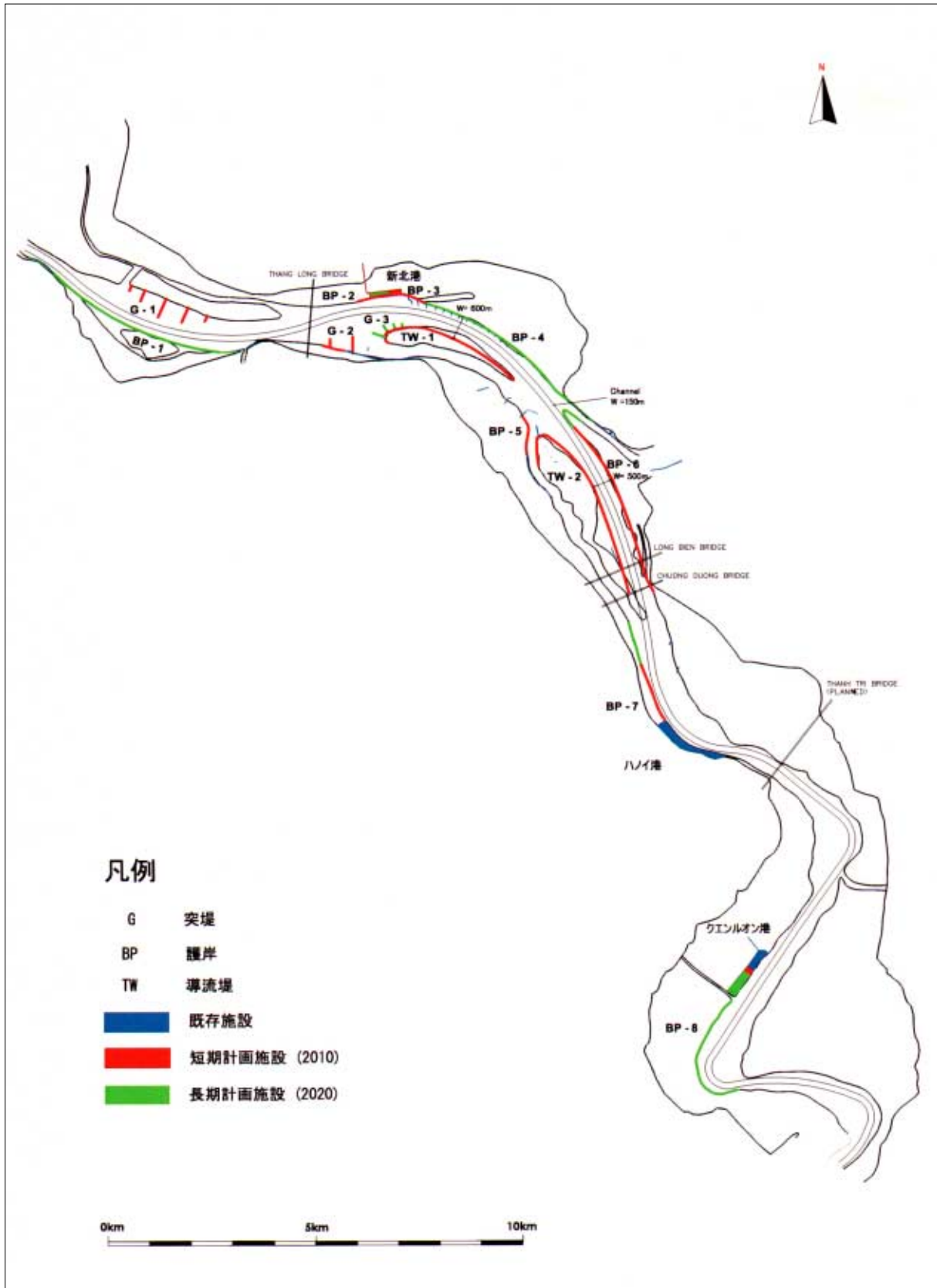


図 V-14 航路安定化対策施設の平面配置計画

表 V-4 航路安定化対策の建設手順

単位: m

施設	場所	短期計画 (2010)					長期計画
		第1期	第2期	第3期	第4期	計	-(2020)
突堤 - 1 (Vong La)	①	150				150	
	②	300				300	
	③	500				500	
	④		400			400	
	⑤		150			150	
	計		950	550			1,500
突堤 - 2 (Dong Ngoc)	①	200				200	
	②		400			400	
	計	200	400			600	
	根固め工	500				500	
突堤 - 3 (Nhat Tan)	① - ④						900
導流堤-1 (Nhat Tan)	頭部		800			800	
	側部		500	1,500	1,500	3,500	
	計		1,300	1,500	1,500	4,300	
導流堤 - 2 (Tu Lien-Trung Ha)	頭部		1,000			1,000	
	側部(上流)		1,500			1,500	
	側部(下流)			1,500	1,500	3,000	
	計		2,500	1,500	1,500	5,500	
護岸 - 1 (Thuong Cat)						5,200	
護岸 - 2 (Hai Boi, N-Port)				800	800		
護岸 - 3 (Hai Boi, N-Port)				500	500		
護岸 - 4 (Tam Xa)						4,300	
護岸 - 5 (An Ninh)		1,000				1,000	
護岸 - 6 (Bac Cau-Bo De)	頭部						1,000
	側部(上流)		1,500			1,500	
	側部(下流)			1,500	1,500	3,000	
	計		1,500	1,500	1,500	4,500	1,000
護岸 - 7 (Ly Thai To-Bach Dang)	上流部						1,000
	中流部			1,500		1,500	
	下流部(ハノイ港内)				800	800	
	計			1,500	800	2,300	1,000
護岸 - 8 (Duyen Ha)						2,500	