5.3.3　１９９１年の洗掘

橋梁とアプローチ道路部は１９９０年６月に完成、コミラ側の護岸部は１９９１年に竣工式を迎えた。

橋梁部のコミラ側に生じやすい洗掘について考察を加えるため、１９９０年１２月２３日、１９９１年８月１０日、１９９１年１０月２４日に河川測量が実施されている。１９９０年１２月と１９９１年８月および１０月の調査データを比較し、メグナ橋のコミラ側に向かっての著しい河岸と河床の洗掘が観測された。洗掘の程度は旧船付き場付近とそれと隣接する下流地点でより深刻である。

メグナ河の流況が、５.２.３節で確認したとおり、生成以後拡大しつつある上流の砂洲の存在によって変化することは、ほとんど明白となった。流れは今日見るとおり、まず、旧船付き場を破壊し、引き続いて、その下流側を洗掘し、これが周辺部の渦の原因となっている。この現象が、橋梁上流部のメグナ河コミラ側の著しい洗掘の要因と考えられる。

5.3.4　１９９１年コミラ側護岸の崩壊

コミラ側橋台周辺のジオテキスタイル・コンクリート構造の護岸部は、１９９１年１０月１９日から２０日にわたり、その根固め部分の洗掘によって断続的に崩壊した。この事故は完成８ヶ月後に発生している。
完成護岸の約３８％に相当する延長１９５ｍで沈下および滑りが生じた。深さ９ｍから１８ｍの鋼矢板は受働土圧が消失したために倒壊した。この護岸崩壊の様子は、添付図５.６に示し、写真は添付のとおりである。

添付図５.６に見るとおり、鋼矢板前面の蛇籠が沈下している。しかしながら、河道中心部に向かった蛇籠の滑動は顕著ではない。したがって、この変形は洗掘だけによるものと判断される。最も激しい洗掘は、断面９－９付近に現われている。
現在、河岸材料のこれ以上の洗掘を防止するため、ＲＨＤの手で崩壊箇所の表面の蛇籠を設置する作業が進められている。

5.4　旧船付き場周辺の局所洗掘

過去の測量結果に基づいて描かれた、船付き場前面の深掘れ部の等深線を、添付図５.７に示した。添付図５.８に最深部の横断図を示した。さらに、メグナ橋建設工事のための調査部の、１９８４年に描かれた等深線図を添付図５.９に掲載した。

これらの図面をもとに判明した点を以下に述べる。

（1）１９８８年１１月および１９８９年６月に観測された最深部は、それぞれR.L.－２２mとR.L.－３０mである。１９８８年１１月の測量以後、１年以内にさらに８mも洗掘を受けている。

（2）メグナ河の水位記録によれば（参照　添付図４.６）、１９８９年の洪水規模は、１９８７年、１９８８年に観測された洪水よりも大きくはない。したがって、もし現状が維持されるならば、この程度の規模の河床洗掘は、毎年生起する頻度を持つ程度の洪水でも生じることが予想される。

（3）旧船付き場の河岸線が後退するにしたがい、深掘れ部の底部は、右岸に近づく動きを見せている。この意味からすると、深掘れ現象は、船付き場の存在と密接に結びついていると考えられる。

（4）R.L.－３０mの深掘れが１９８９年１１月に確認されている。その測量の一ヶ月後、大規模な地滑りが発生し、小さな湾が出現した。この地滑りは底部で斜度１３°の急傾斜を形成した深部での洗掘が主な原因と判断される。この事故が発生した同日、メグナ橋での水位と流速はR.L.１.２０mと０.４０m／秒と観測されている。また、１２月１３日から１２月３０日までの間の水位低下速度は５cm／日である。

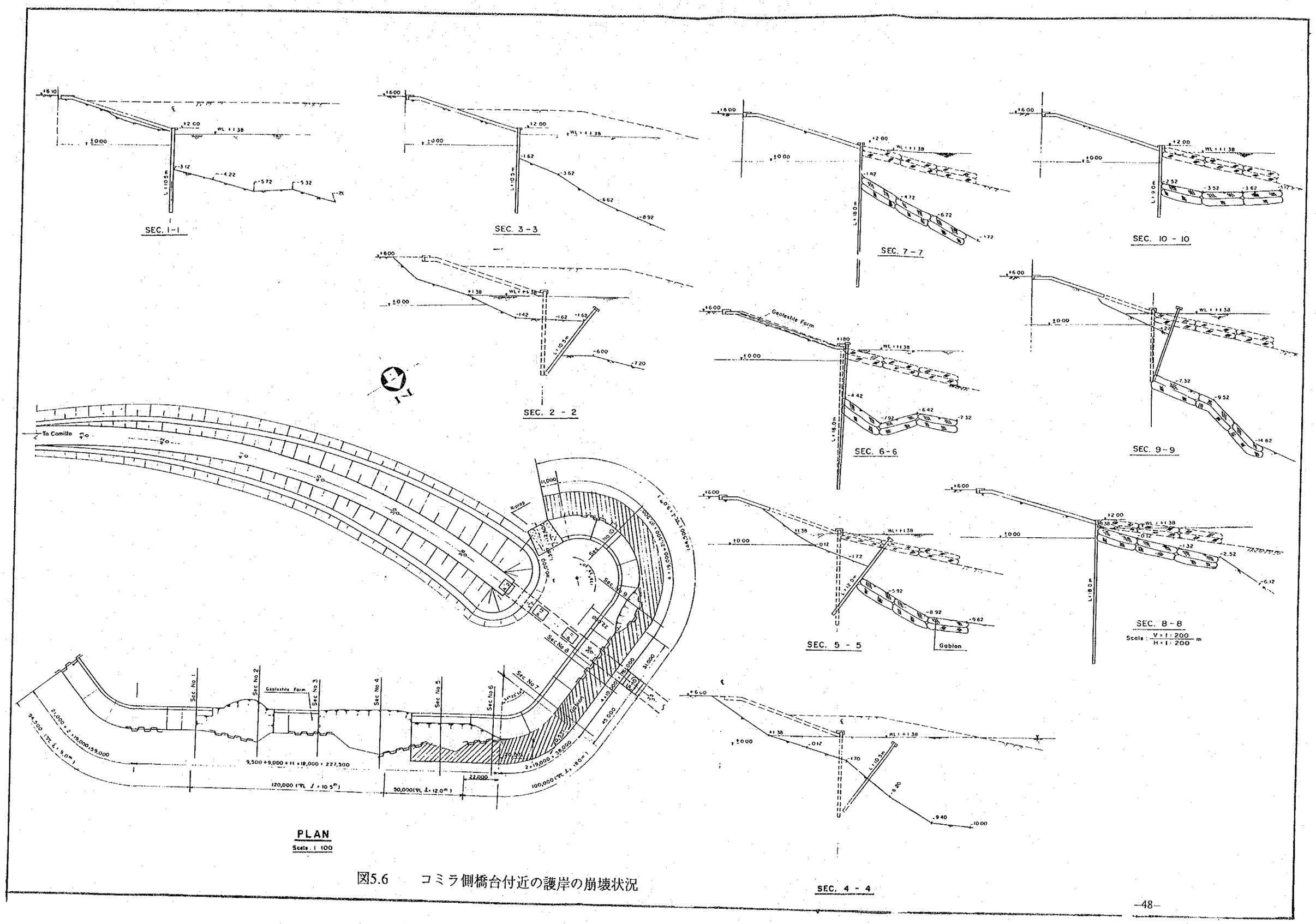


図5.6　　コミラ側橋台付近の護岸の崩壊状況

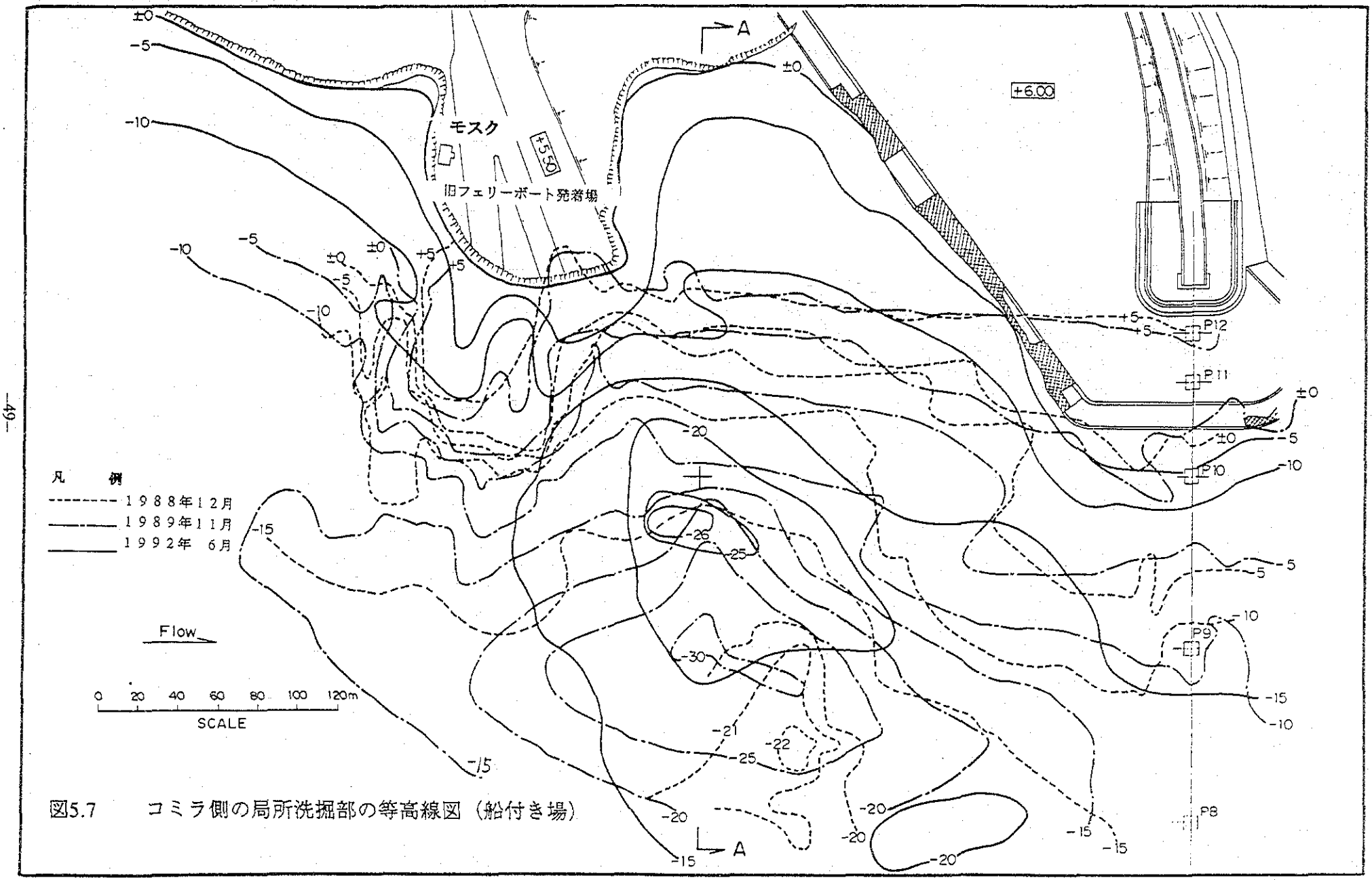


図5.7　　コミラ側の局所洗掘部の等高線図（船付き場）

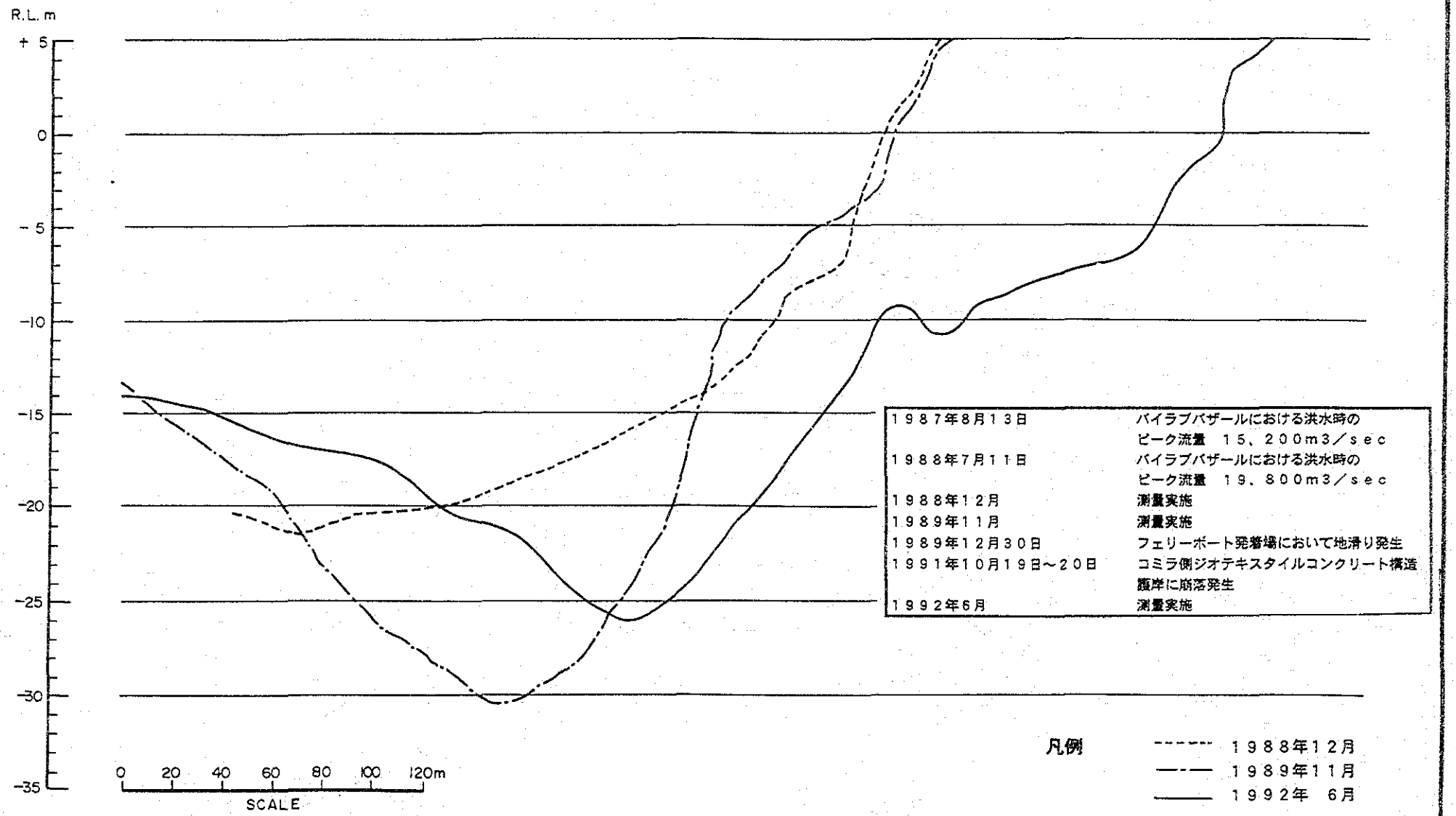


図5.8　メグナ橋付近の最深洗掘部の横断図（断面A－A）

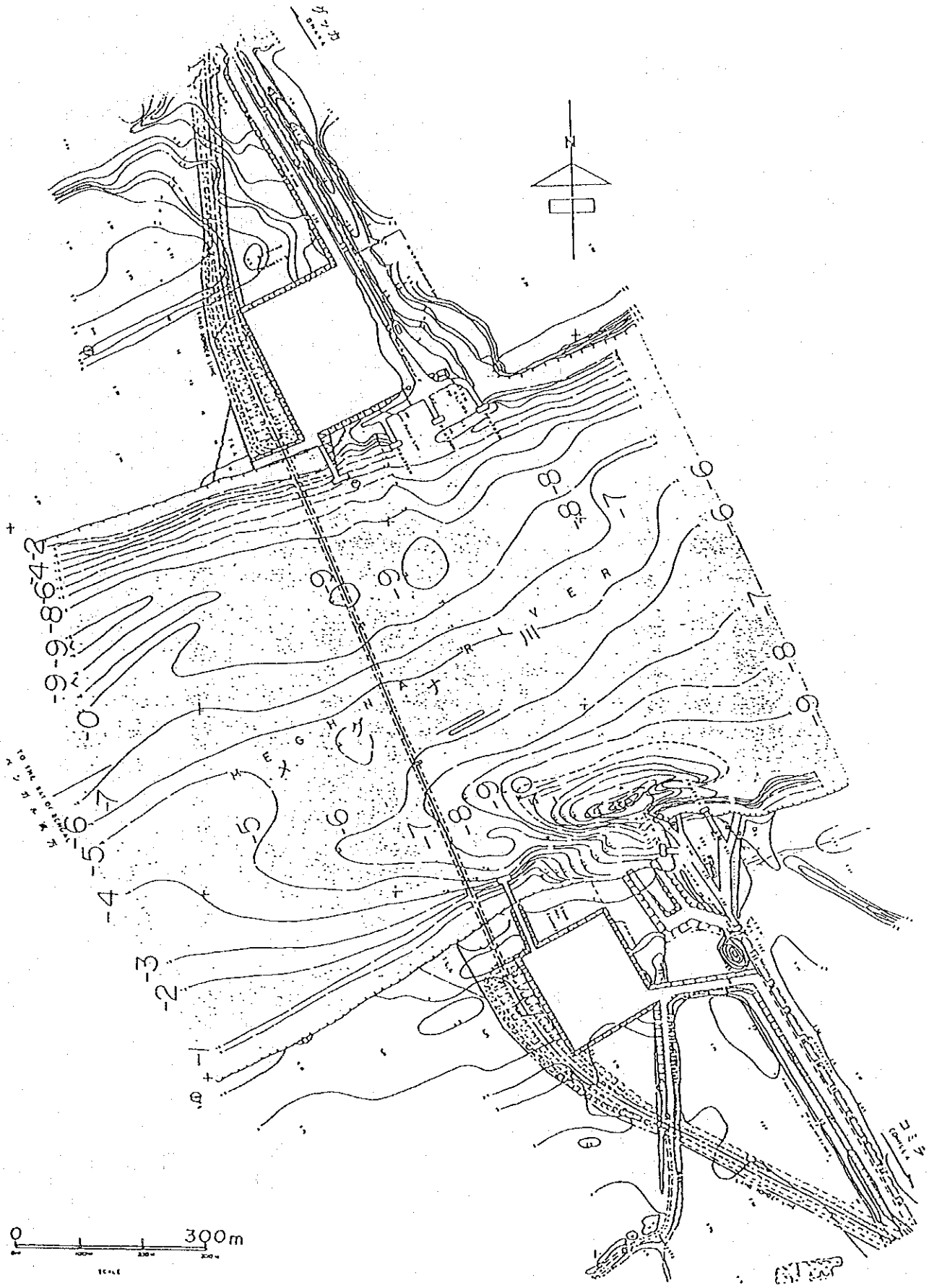


図5.9　　船付き場付近の等高線図（１９８４）

5.5　メグナ橋地点の河床状況

１９９２年６月および９月に地形測量が実施された際に、橋軸に沿った断面の横断図を橋脚の安定性を確認するために計測した。１９９０年7月と１９９２年6月および同年９月の３回の観測線を添付図５．１０に示す。この２回の観測線の他、点線は橋脚のフーチン部の横断面である。橋脚回りの盛り上がった形状は、橋梁工事後投入された捨石が残っているものと思われる。この保護工の効果はＰ６、Ｐ７、Ｐ８ およびＰ９で顕著である。

この横断面を見る限りでは、現状において、橋脚の安定性を悪化させる著しい河床洗掘の好ましくない兆候は見られない。しかしながら、洗掘に対する安全性を確保するため、橋脚No.８、Ｐ６、Ｐ７、Ｐ８、Ｐ９では追加の捨石工を施すことを提案する。

5.6　河岸・河床および砂洲上の土砂の粒度特性

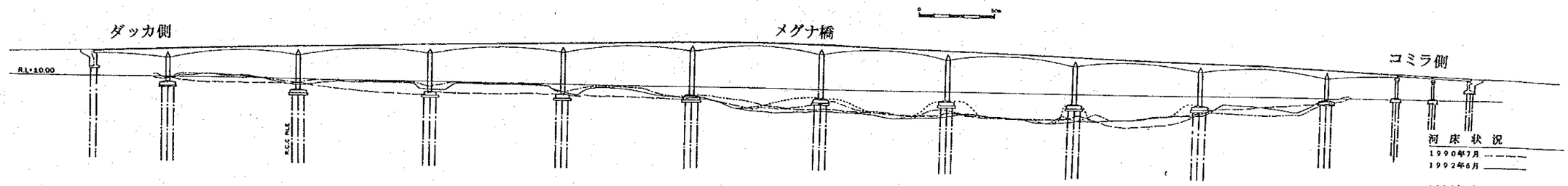
メグナ橋上流の河岸・河床および砂洲上の土砂のサンプリングおよび分析は、１９８９年４月の測量調査と同時に行なわれた。その結果は「メグナ橋周辺河岸侵食調査報告書 １９８９年８月」にまとめられている。

河岸でのサンプリングは、計５箇所で行なわれ、それぞれの地点で４つのサンプル（河岸上、水際、水中斜面上、河床）が採取された。砂洲上では６つのサンプルを採取されたが、そのうちNo.Ｓ４からNo.Ｓ６は、１９８８年洪水で堆積した土砂である。採取地点の位置図および粒度分布図を添付図５．１１、５．１２に示した。また、ｄ５０'C $\sqrt{d84/d16}$ の関係を添付図５．１３に図示した。

この調査は採取したサンプルの粒度分布特性について下記の様にまとめている。

（１）採取された河床および河岸材料の物理的な粒度特性は下記のとおりである。

最大粒径	：	ｄｍ＝０．２～０．３mm
平均粒径	：	ｄ５０＝０．０２１～０．１９２mm （平均 ０．０９６mm）
分散の指標	：	$\sqrt{d84/d16}$ ＝１．３３～６．０７ （平均 ２．５６）
比　重	：	Ｇｓ＝２．６５～２．７８ （平均 ２．７３）



	CHAINAGE	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
BRIDGE PROFILE *	JUNE, 1990	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	JUNE, 1992	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	DIFFERENCE (mm)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
RIVER BED	JULY, 1990	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	JUNE, 1992	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	SEPT. 1992	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

* Bridge profile is shown the elevation of survey point fixed in footpath.

図5.10　メグナ橋の横断図（１９９２年６月）

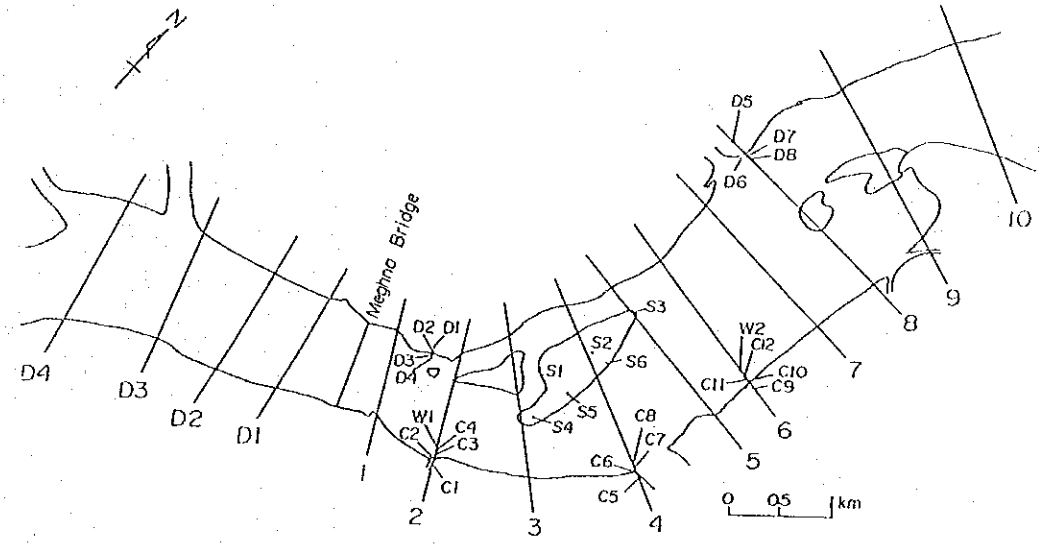


図5.11　土砂採取地点の位置図

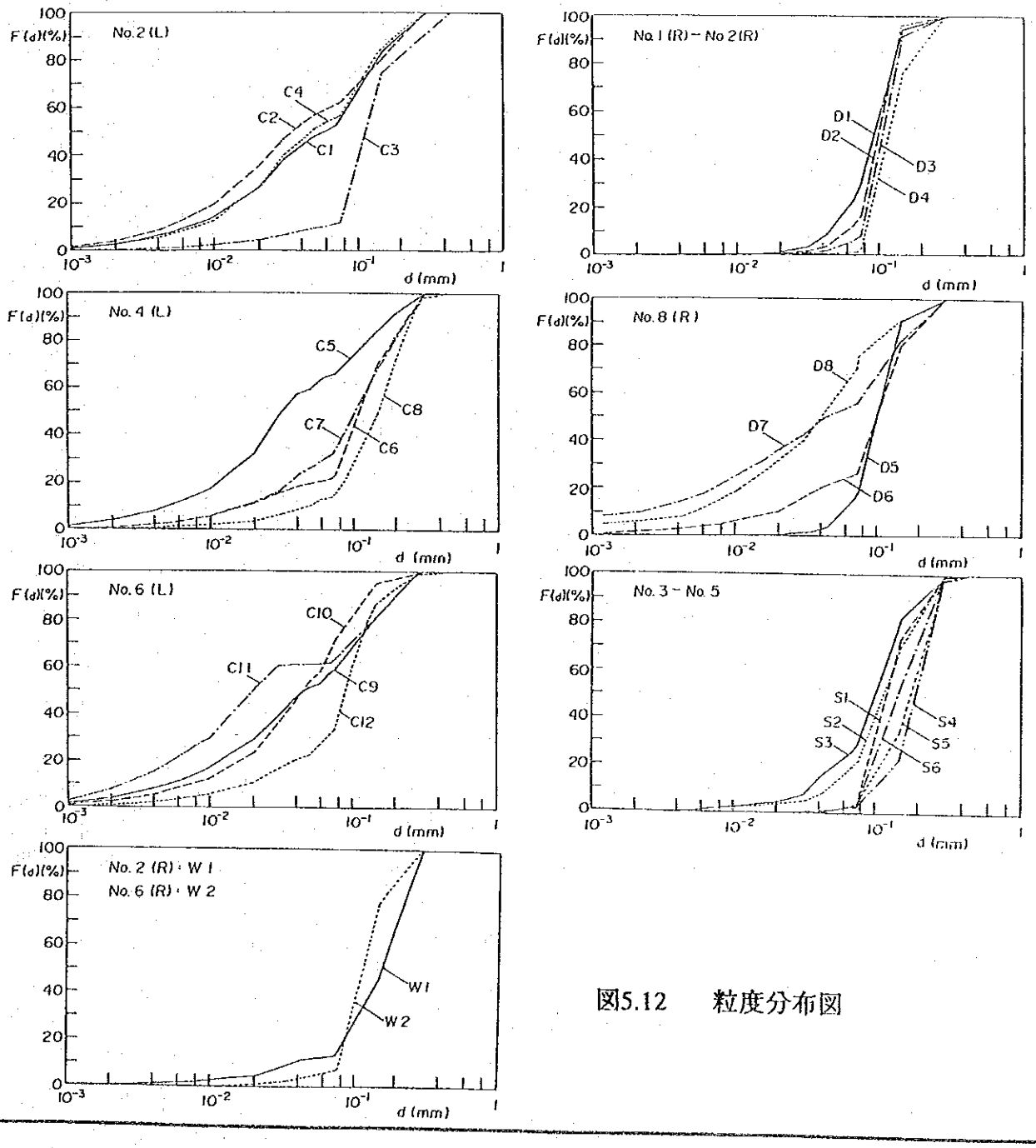


図5.12　粒度分布図

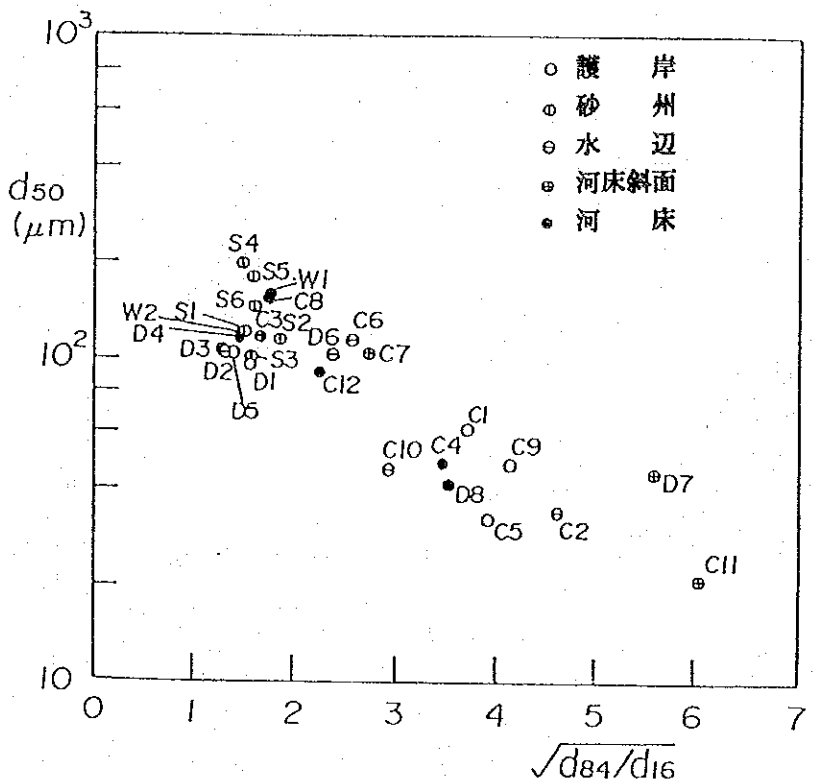


図5.13　土砂の平均粒径と分散値との関係図

（２）河岸上の土砂は、左岸側のC2、C5、C9の粒度分布に見るとおり、d＝0.075mm以下の粒子の占める割合が６０％を越えており、ウォッシュロードを多く含んでいるものと考えられる。しかし、右岸側の河岸上の土砂（D１とD５）については、その特徴は現われていない。

（３）河床の土砂はＣ４とＣ８を除いて、ｄ＝０.０７５mm以下の土砂の占有率が３０％以下であり、ｄ５０＝０.１～０.２mm、$\sqrt{d84/d16} < 2$ で粒度分布の拡がりも狭い。

（４）水際と水中斜面の粒度分布は、河岸上と河床の土砂の中間的性質を示している。

（５）砂洲上の土砂は、No.Ｓ１～No.Ｓ３の旧砂洲と、No.Ｓ４～No.Ｓ６の新砂洲の粒度分布に明らかに差があって、後者が粗粒側に偏っている。しかし、いずれも河床砂と同様に、ｄ＝０.０７５mm以下の土砂の割合は少なく、流れによって細粒分が洗われていると考えられる。

（６）全体の粒度分布の特性は図５.１３に示すように、ｄ５０が小さくなるほど、$\sqrt{d84/d16}$ が大きくなり、粒度分布の拡がりが増大する。すなわち、細粒分を含む地点では粗粒分まで広い範囲の粒径が含まれており、流れによる分級化は行なわれていない。

（７）土砂の比重は、Ｃ１～Ｃ１２の採取土砂について、２.６５～２.７８の範囲にあって変化値は小さく平均値は２.７３で通常の値に近い。

以上の様にいずれの地点の土砂も細砂（ｄ＝０.０２～０.２mm）が主体であって、ｄ＞０.３mmの砂はほとんど含まれていない。また、河床変動に影響する土砂の平均粒径はｄ＝０.１mm程度であって、この粒径では、砂の移動限界摩擦速度と沈降速度が約１cm／秒でほぼ等しい。したがって、流送土砂に占める浮遊砂の割合が高いと考えられる、河岸にはｄ＝０.０２mm以下のシルト分も多少含まれているので、粘着性材料の性質も少しは現われていると考えられる。しかし、飽和状態では団結性が弱く、流動化しやすい材料といえる。

５.７　コミラ側護岸の計画法線と計画区域

河道現況の検討結果、ならびに第６章で検討する平面二次元流モデルによるシミュレーション結果に基づき、橋台および取り付け道路を保護するための石積み工による護岸法線を、左岸橋台の根固め部（橋梁下流側の破損した既存護岸を含む）と旧船付き場（船付き場上流河岸線も含む）を結んだ線とすることを提案する。

この計画法線の利点は下記のとおりである。

（1）既存の護岸前面の小さな入り江を埋め立て、河岸線を旧船付き場の上流から左岸橋台までを結ぶことによって橋梁上流部の水面形を流水の乱れや渦の生起を避け安定させることが期待できる。

（2）旧船付き場の上流側河岸線は、洗掘に対し捨石工で保護される。5.3節で明らかにしたとおり、旧船付き場上流部の右岸の洗掘は当分継続するものと思われる。もし、今後も河岸の後退が進み、左岸旧船付き場の地滑りが発生し、水が新しい石積み工の裏に回り込んだ場合でも、その被害は直接橋台の安全性をおびやかすものとは思われず、追加の捨石工や護岸の延長が可能である。

上記のようにコミラ側護岸は補強されるが、対策工が完成後も、旧船付き場周辺の河床変動および局所洗掘の継続的な観測が重要である。観測と維持管理の方法については第8章に述べる。

5.8 護岸の設計値

5.8.1 設計流速

4.3節に述べたとおり、メグナ橋での最大流速1.60m／secは1989年8月1日に水位R.L.＋4.50mで観測されている。さらに、平面二次元流モデルのシミュレーションによって、橋梁地点左岸付近で平均流速1.58m／secと算定された。

提案される石積工の根固め部および法面近傍、水中での点流速は、上記の流速より小さいと予測される。しかしながら、洪水時の局所的な流れの複雑な挙動を考慮すると、旧船付き場付近ではより速い流速が発生するものと考えるべきである。さらに、深掘れ部の出現、旧船付き場付近の河道の活発な地形的変動は、この地域でかなり速い流速が生起することを意味している。したがって、安全率を考慮し捨石工の安全性を検討する上で、設計流速を3.0m／secと決定した。

5.8.2 捨石工の粒径

設計流速に対し、捨石工の適切な粒径を決めるため、一般に掃流力理論が適用される。河床の砂粒が安定状態にあるためには、特定の河道断面における掃流力ｔ＊（あるいは摩擦速度Ｕ＊）が一定の粒径に規定される限界掃流力ｔ＊ｃ（あるいは限界摩擦速度Ｕ＊ｃ）を上回らないことが必要条件となる。

これらのパラメーターｔ＊およびＵ＊は下記のようび表わせる。

$$U^* = \sqrt{gRie} \quad , \quad t^* = \frac{U^{*2}}{sgd} = \frac{Rie}{sd}$$

ここで、　Ｓ　：水中における砂の比重
　　ｇ　：重力加速度
　　ｄ　：砂の粒径
　　ｉｅ：エネルギー勾配
　　Ｒ　：径　深

設計流速に対応する径深はマニング式によって次のとおり表わせる。

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} ie^{1/2}$$

エネルギー勾配は、橋梁地点でＲ.Ｌ＋４.００ｍの時の計算結果から得た断面No.Ｕ１０からNo.Ｄ４の間の水面勾配、1／15,000によって近似することができる。

Ｖ＝３.０ｍ／sec、ｎ＝０.０３、ｉｅ＝1／15,000

したがって、　Ｒ＝３６.６ｍ、Ｕ＊＝１５.４６

一方、限界摩擦速度Ｕ＊ｃは岩垣の式で次のとおりとなる。

Ｕ＊ｃ＝８０.９ｄ（粒径ｄ＞０.３０３cmの場合）

つまり、必要な最小粒径は以下のとおり算定される。

$$d > \frac{U^{*2}}{80.9} = \frac{15.46^2}{80.9}$$

$$= 3.0\text{cm}$$

粒径３.０cmの石は、上記で与えられた水理条件下では理論的に動かないことが判明した。

しかしながら、洗掘による数多くの護岸の崩壊現象は、構造的な欠陥や不十分な材料に起因している。バイラブ・バザール鉄道橋では、その付近の護岸のためにかなり大きな粒径約３０cmから５０cmの石が使われている。鉄道橋の脇にある仮置場には、河川改修工事、拡張のための莫大な量の石が蓄積されている。さらに、今回のコミラ側の護岸工事は水中施工が強いられるため、示様書に規定される設計通りの石積工や捨石工の施工は、適切な粒径の配合や正確な石材の配置は実際は非常に困難を伴うと思われる。したがって、これら施工上の不確実な点を考慮して護岸工事に使用する石材の最小粒径は３０cmとする。

５.８.３　設計最大洗掘深

メグナ・メグナーグムティ橋建設調査の中で、建設が予定される２ケ所の橋梁地点の洗掘深は、様々な手法で試算されている。その算定結果は、前記調査報告書のAPPENDIX（AP.２－２４ページ）に掲載されている。最終的には、１２種類の手法の中で最大値１１.０mを得たLaursenの方法をメグナ橋地点で採用した。最深河床高Ｒ.Ｌ.－１１.０mを考慮し、橋脚の杭基礎設計のための最大洗掘深をＲ.Ｌ.－２２.０mと設定した。

一方、１９８９年１１月に河川測量が実施された際、旧船付き場付近で最大深Ｒ.Ｌ.－３０.０mの深掘れが観測されている。１９９２年６月時点の河床高はＲ.Ｌ.－２６.０mと計測された。この船付き場周辺の局部的な深掘れに関しては、５.４節に詳細な説明を加えた。

以上の検討結果から、コミラ側護岸の根固め部設計のため、設計最大洗掘深をＲ.Ｌ.－３０.０mと決定した。

第６章　平面二次元モデルによる
メグナ橋周辺の洪水流況解析

第６章　平面二次元流モデルによるメグナ橋周辺の洪水流況解析

６．１　解析の目的

メグナ橋付近の洪水流況を把握するため、かつ将来における地形・水文データの集積により改良を加えるための基礎資料を作るため、平面二次元流モデルによる数値解析を行なった。メグナ河における洪水時の水理・氾濫特性は極めて複雑だが、メグナ橋周辺の河道を特徴づけられる合理的、かつ単純化された境界条件を持つ解析モデルの構築を試みることは価値あるものと考える。

洪水時の流況を検定するためにメグナ橋における水位が４．００ｍと６．２９ｍの２ケースについて計算を行なった。解析結果をもとに洪水特性と河岸侵食の関係について考察を加える。

６．２　平面二次元流解析の概要

６．２．１　基礎方程式

平面二次元流の基礎方程式は次に示す質量保存則と運動量保存則から成り、総和規約を用いて表記すれば、

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial M_j}{\partial x_j}=0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial M_i}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left\{M_i u_j-\varepsilon\left(\frac{\partial M_j}{\partial x_i}+\frac{\partial M_i}{\partial x_j}\right)\right\}=-gh\frac{\partial H}{\partial x_i}-\frac{\tau_{bi}}{\rho} \qquad (2)$$

である。

ここに、t：時間座標、x_i：デカルト座標系での平面座標、h：水深、M_i（$\equiv v_i h$）：流量フラックス、v_i：鉛直方向平均流速（以下、単に「流速」）、g：重力加速度、H：水位、ε：渦動粘性係数、ρ：流体の密度である。さらに、τ_{bi}は水路床面の掃流力であり、解析対象が河川の場合、Manningの抵抗則が通常適用される。

$$\tau_{bi}=\frac{\rho g n^2 u_i\sqrt{u_k u_k}}{h^{4/3}} \qquad (3)$$

ここに、n：Manningの粗度係数である。
運動量保存則を表す（２）式は圧力の鉛直分布に静水圧分布を仮定しているが、このような仮定は比較的水深の小さい流れ場に適用可能なことから、本式は「浅水流方程式」と呼ばれている。

境界条件としては一般に次の３種が考慮される。

$$M_i = \hat{M}_i \qquad S \in S_1 \tag{4}$$

$$r_i = \left\{ \varepsilon \left(\frac{\partial M_i}{\partial x_j} + \frac{\partial M_j}{\partial x_i} \right) \right\} n_i = \hat{r}_i \qquad S \in S_2 \tag{5}$$

$$h = \hat{h} \qquad S \in S_3 \tag{6}$$

ここに、r_i：表面力のx_i方向成分、n_i：境界外向きの法単位ベクトルの方向余弦、であり、^は境界における規定値を示す。また、SはS_1、S_2およびS_3で構成されており、S_1とS_2は重複せず、S_3はS_2の一部であるものとする。

平面二次元流解析はこれらの境界条件のもとに上記の基礎方程式群を満足する平面流速と水深の分布関数を求めることに帰着する訳であるが、解析解を求めることは極一部の例外を除いて不可能で、数値解析によって近似解を求めることとなる。

6.2.2 解　法

数値解析方法としては、離散化手法により差分法（FDM）、有限要素法（FEM）、境界要素法（BEM）などに分類されるが、これらの内、歴史的な経緯もあって差分法によるものが一般的である。

差分法は原則として、規則的格子上での変量で離散化方程式が構成される。これに対して、有限要素法は計算点の配置についての制約が少なく、変則的な境界形状を有する解析領域の計算に優位性を持っている。氾濫解析への適用を考えた場合、一般地形が対象となるため、自由に計算節点が設定できる利点は大きい。

そこで、本解析では有限要素法を離散化手法として採用した。さらに、有限要素法による浅水流方程式の解法は幾つか提案されているが、ここでは空間方向の離散化にはGalerkin法（三角形要素、１次補間関数）を用い、時間方向の離散化にはTaylor展開で２次項まで考慮される「２段階陽的解法」を採用することとした。２段階陽的解法は連立方程式を解かずに演算が進むため、大規模な解析に適したアルゴリズムである。

２段階陽的有限要素方程式を次に示す。[1] 式中、添え字α、βおよびγは三角形の各頂点を表し、肩字nは計算時間ステップを表す。

（第１段階）

$$\bar{A}_{\alpha\beta}M_{\alpha\beta}^{n+1/2} = \bar{A}_{\alpha\beta}M_{\beta i}^{n} - \frac{\Delta t}{2}\Big\{B_{\alpha\beta i\gamma}u_{\beta i}^{n}M_{\gamma i}^{n} + C_{\alpha\beta\gamma i}u_{\beta i}^{n}M_{\gamma i}^{n} + S_{\alpha i\beta j}M_{\beta j}^{n} \tag{7}$$

$$\bar{A}_{\alpha\beta}h_{\beta}^{n+1/2} = \bar{A}_{\alpha\beta}h_{\beta}^{n} + \frac{\Delta t}{2}G_{\alpha\beta i}M_{\beta i}^{n} \qquad + F_{\alpha\beta\gamma i}h_{\beta}^{n}H_{\gamma}^{n} - \bar{A}_{\alpha\beta}\lambda M_{\beta i}^{n} - \Omega_{\alpha i}\Big\} \tag{8}$$

（第２段階）

$$\bar{A}_{\alpha\beta}M_{\alpha\beta}^{n+1} = \bar{A}_{\alpha\beta}M_{\beta i}^{n} - \Delta t\Big\{B_{\alpha\beta i\gamma}u_{\beta i}^{n+1/2}M_{\gamma i}^{n+1/2} + C_{\alpha\beta\gamma i}u_{\beta i}^{n+1/2}M_{\gamma i}^{n+1/2} + S_{\alpha i\beta j}M_{\beta i}^{n+1/2} \tag{9}$$

$$+ F_{\alpha\beta\gamma i}h_{\beta}^{n}H_{\gamma}^{n} - \bar{A}_{\alpha\beta}\lambda M_{\beta i}^{n+1/2} - \Omega_{\alpha i}\Big\}$$

$$\bar{A}_{\alpha\beta}h_{\beta}^{n+1} = \bar{A}_{\alpha\beta}h_{\beta}^{n} + \frac{\Delta t}{2}G_{\alpha\beta i}M_{\beta i}^{n+1/2} \tag{10}$$

ここに、

$$A_{\alpha\beta} = \int_V (\Phi_\alpha\Phi_\beta)\,dV, \qquad B_{\alpha\beta j\gamma} = \int_V (\Phi_\alpha\Phi_{\beta,j}\Phi_\gamma)\,dV, \qquad C_{\alpha\beta\gamma i} = \int_V (\Phi_\alpha\Phi_\beta\Phi_{\gamma,i})\,dV,$$

$$S_{\alpha\beta\gamma i} = \int_V \varepsilon(\Phi_{\alpha,k}\Phi_{\beta,k})\delta_{ij}\,dV + \int_V \varepsilon(\Phi_{\alpha,j}\Phi_{\beta,i})\,dV,$$

$$F_{\alpha\beta\gamma i} = \int_V g(\Phi_\alpha\Phi_\beta\Phi_{\gamma,i})\,dV, \qquad G_{\alpha\beta i} = \int_V (\Phi_\alpha\Phi_{\beta,i})\,dV$$

$$\lambda = \frac{gn^2\sqrt{M_{\alpha\alpha}}}{h^{10/3}}, \qquad \Omega_{\alpha i} = \int_{S2} (\Phi_\alpha\hat{\Gamma}_i)\,dS$$

さらに、$\bar{A}_{\alpha\beta}$は非対角項を対角項に加算した集中係数行列を示し、$\bar{A}_{\alpha\beta}$は補正係数 e を導入して

$$\bar{A}_{\alpha\beta} = e\bar{A}_{\alpha\beta} + (1-e)A_{\alpha\beta} \tag{11}$$

で定義される修正集中係数行列である。

6.3　解析条件および解析結果

メグナ橋上下流の約１０km区間について、２段階陽的有限要素法を用いた平面二次元流解析を実施し、懸案となっている護岸改修区間周辺の平面流況の把握を行なった。

解析に当たっては、１９８８年７月洪水の尖頭流量として推定されている12,000m^3／秒を計算流量とした。[2]

6.3.1 解析条件

（1）有限要素分割

有限要素分割図を添付図6.1に示す。節点数、要素数はそれぞれ６２０、１１２１である。同図の作成にあたっては、１９９２年7月に実施された深浅測量の断面およびこれの中間断面上に計算点を設けることとし、横断線上の計算点間隔は、詳細測量区間については５０ｍを、その他の区間については１００ｍを目安とした。

（2）地形条件

上記で設定された計算点における河床の３次元座標は測量基準点の平面座標および横断測量成果から読み取った。なお、補間断面上のそれは、推定された河床高の等位線図から設定を行なった。

（3）境界条件・初期条件

境界条件としては下流端境界で水深を、上流端境界で流量フラックスを与えた。また、側方境界上では滑り無し壁の条件を課した。

下流端の水深は、メグナ橋地点での水位が概ね４.０ｍ[2]となる下流端断面での水位（３.８８ｍ）を試算により求め、横断方向の水面勾配がないものとして設定した。

上流端の流量フラックスは、断面の通過流量が12,000m^3／秒となるように、各節点への配分を行なった。この際、配分比はマニングの抵抗則を適用して、水深の５／３乗に比例するものとし、流向は境界の法線方向に採った。

初期条件は１次元の不等流解析により各計算断面に水位を求め、境界条件を設定した際と同様の方法によって各節点の水深および流量フラックスを与えた。

（4）その他の条件

その他、解析に際して設定した条件は以下のとおりである。

図6.1　有限要素分割図

計算時間刻み（$\triangle t$）	0.05sec
補正係数（e）	0.7
Manning の粗度係数（n）	0.035 $sec \cdot m^{-1/3}$

6.3.2 解析結果

以上、設定された諸条件のもとに、平面二次元流解析を実施した。計算は初期条件より開始して、解析領域内の全節点の水位および流量フラックスがほぼ一定値に収束するまで演算を繰り返した。解析結果を添付図6.2と6.3に示す。

全般的な傾向としては、河道の蛇行に応じて流心が交互に外岸に向かう流況を呈しているが、改修区間前面は上流のフェリー乗り場地点の地形により、流れが河心方向に転向しており、大きな流速は発生していない。

6.4 解析結果の評価

メグナ橋付近の洪水特性と河岸侵食との関係を明らかにするため、解析結果をもとに各基準点より100m河道側に入った点の流速ベクトルの大きさをグラフ上にプロットしてみた。その結果が添付図6.4である。このグラフより判明した点は下記のとおりである。

（1）河道に沿った流速分布の傾向はH＝4.00mとH＝6.29mでは非常に似通っている。全体として、流速は、両河岸とも下流に行くにしたがって大きくなる。

（2）流速のピーク値は左岸ではNo.U9、No.D1、No.D4で、左岸では橋梁地点で発生している。各地点の両河岸での流速を比較すると、No.U9で大きな差が見られる。これは、蛇行河道の変曲点の通常の特徴と判断される。

（3）No.U10からNo.D4の対象河道区間で、流速の最大値は、H＝4.00mおよびH＝6.29mとも橋梁地点で発生している。各河道断面での河幅・流積を考慮すると、通常の開水路の水理特性と考えられる。

（4）両河岸の河道に沿った流速分布を比較すると、No.U4とNo.U5の間で、両者の大きさが逆転している。これは、メグナ橋直上流の砂洲地点の分岐水路による流れが影響しているとみられる。もし、この分岐水路が存在しなければ、No.U9に見られるような大きな流速の差がNo.U5からNo.U3の間で生じているはずである。

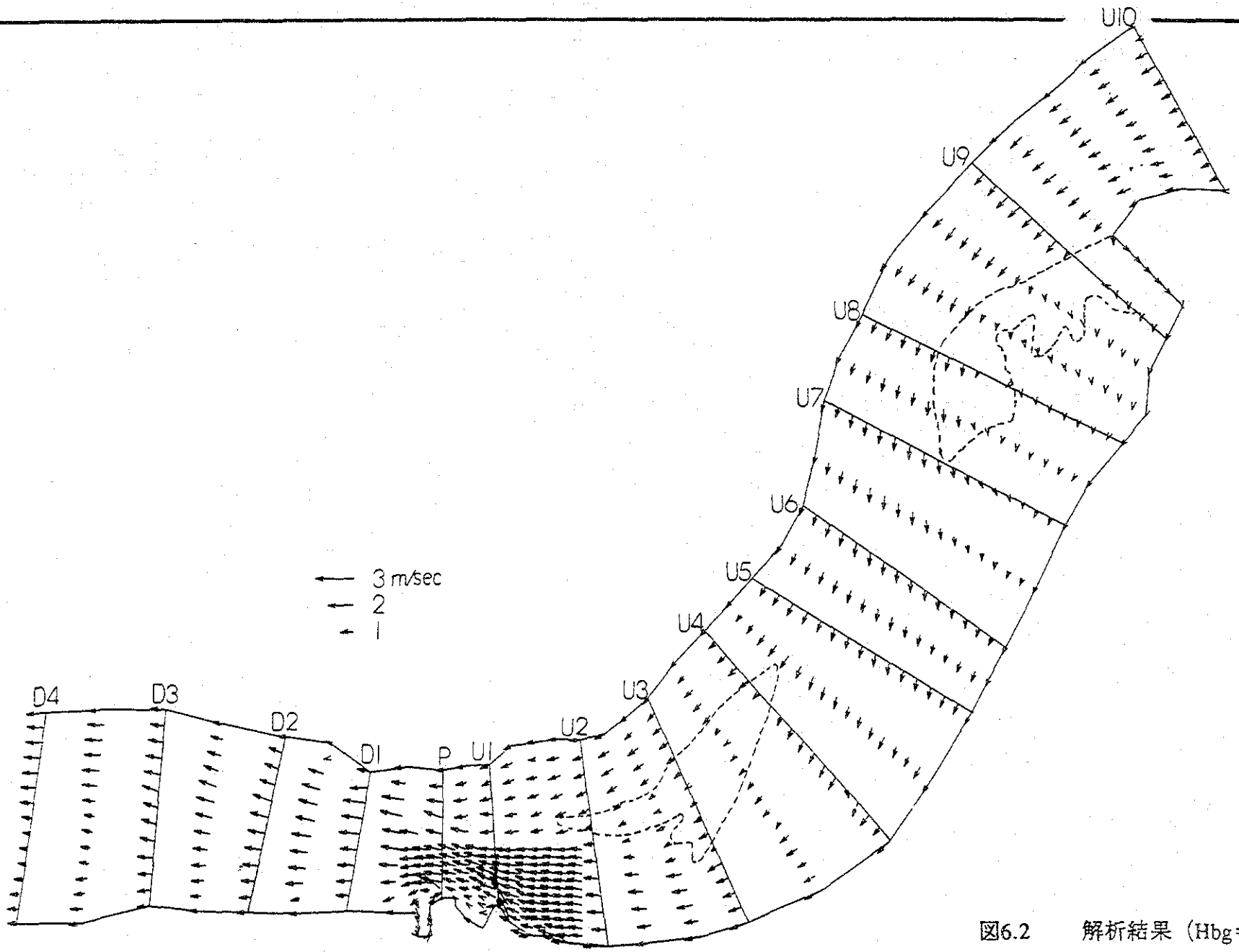


図6.2　解析結果（Hbg＝４．００ｍ）

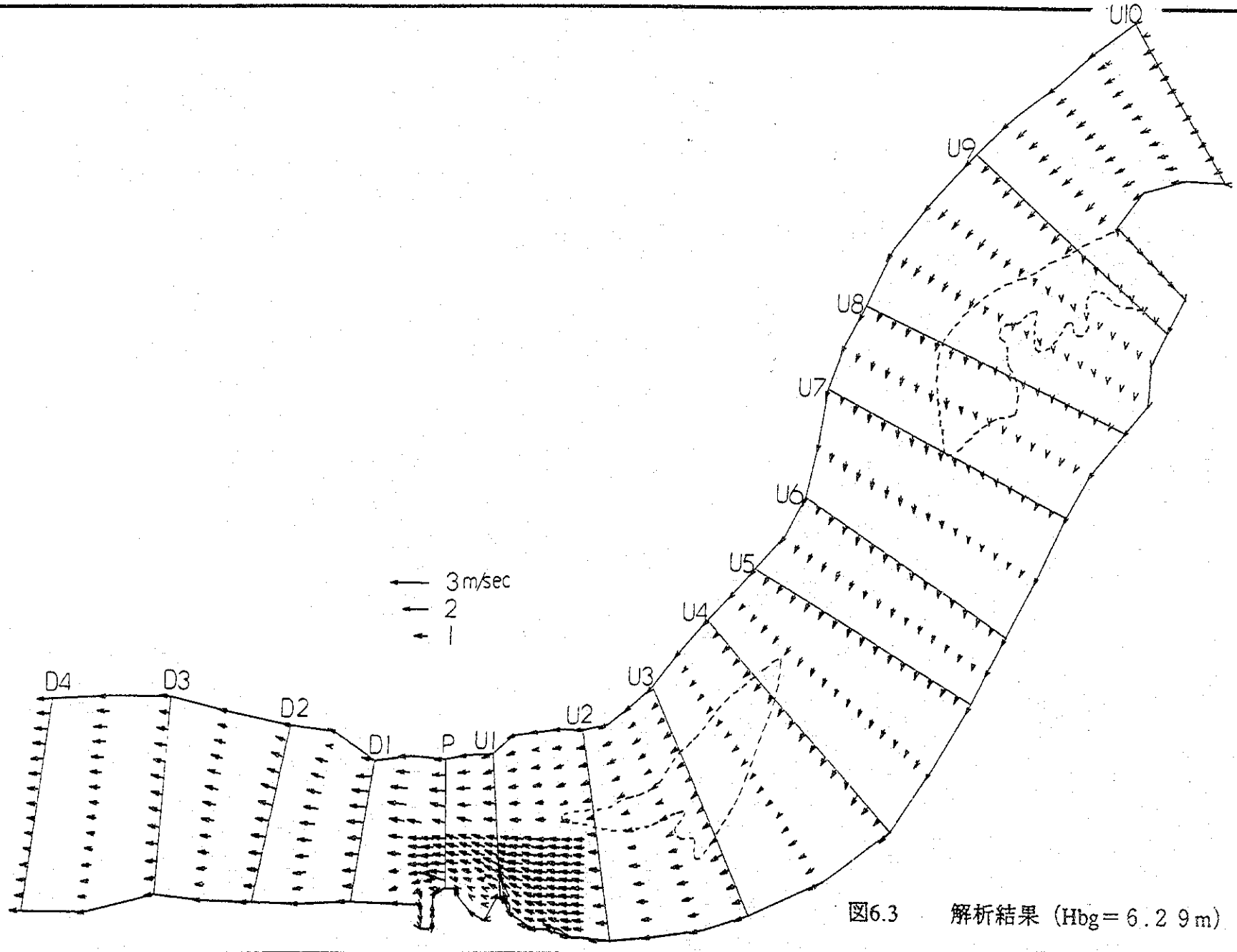


図6.3　解析結果（Hbg＝6.29m）

もちろん、河岸付近の接点流速の大きさのみが、河岸の洗掘に関係する唯一の指標ではなく、河岸勾配や土質も関係している。洪水特性に係わる洗掘の物理的な特質を明らかにする上で、数値解析には限界がある。しかしながら、全体として、平面二次元流モデルによる解析結果は、河岸の洗掘状況から見て洪水特性を適切に表しているものと思う。ここで適用した境界条件は、メグナ河の基本的な水文資料の蓄積をもとに見直し改良していかなければならない。

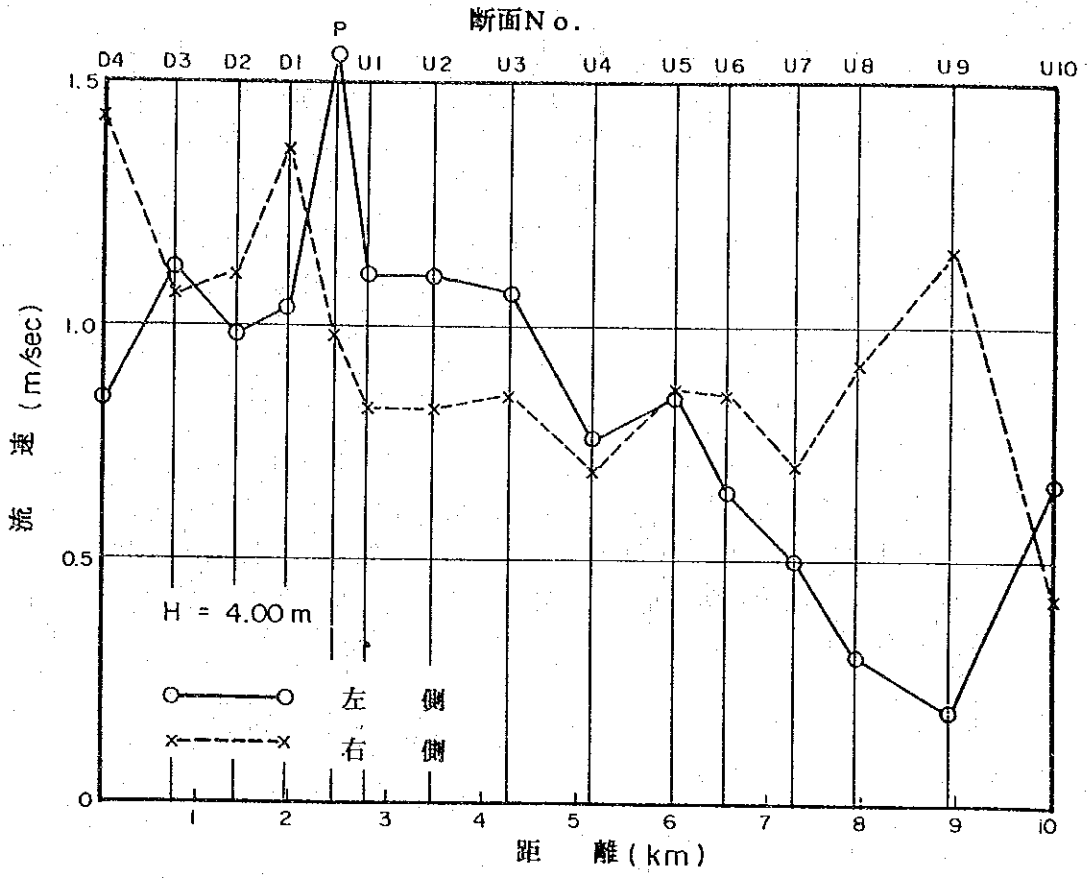
6.5 流向・流速調査結果

5.1節に述べたとおり、1992年9月の第二次現地調査において、表面流速と流向が計測された。その結果を、基準点間の距離およびそれらの座標と標高とともに添付図6.5に掲載した。添付図6.2と6.5を比較すると、シミュレーションによって得た流向は、観測された河道区間の水理特性を概ねよく近似していると判断される。

さらに、付表6.1に流速の計算値と観測結果を示した。観測が行なわれた1992年9月5日から13日までの間、メグナ橋での水位はR.L.+3.80mから+4.00mの間で推移している。したがって、この間水位はシミュレーションで仮定した水位R.L.+4.00mにほぼ等しい。

観測値は概ね計算値の1／2から1／3となった。つまり、同等の比率の流量を記録したことを意味している。シミュレーションでは、洪水流量12,000m／secを仮定した。添付図6.4に示すように、橋梁地点における流速は一定の水位で広範囲に分布している。つまり、1992年9月の観測時の水理条件はシミュレーションに想定した条件とは異なっていたため、計算値と観測値の絶対的な比較はここではできない。

なお、鉛直方向の流速観測結果を添付図6.6に示す。



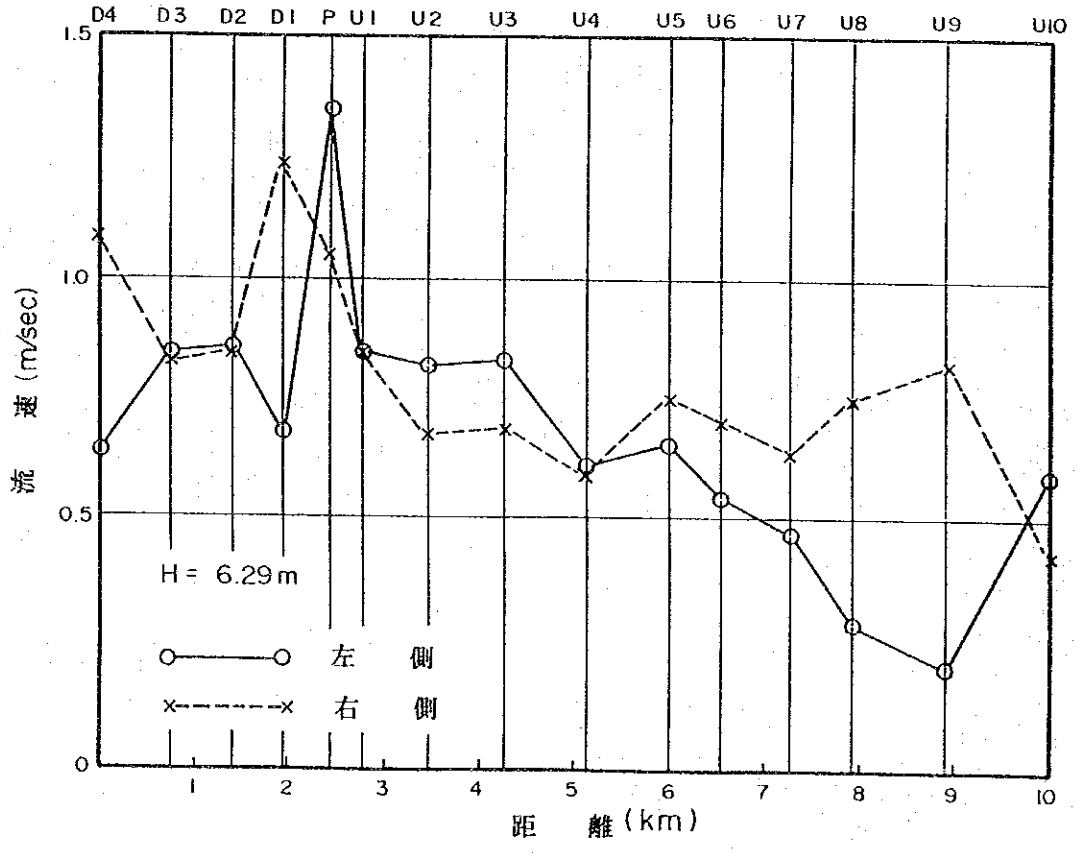


図6.4　シュミレーションによる流速分布

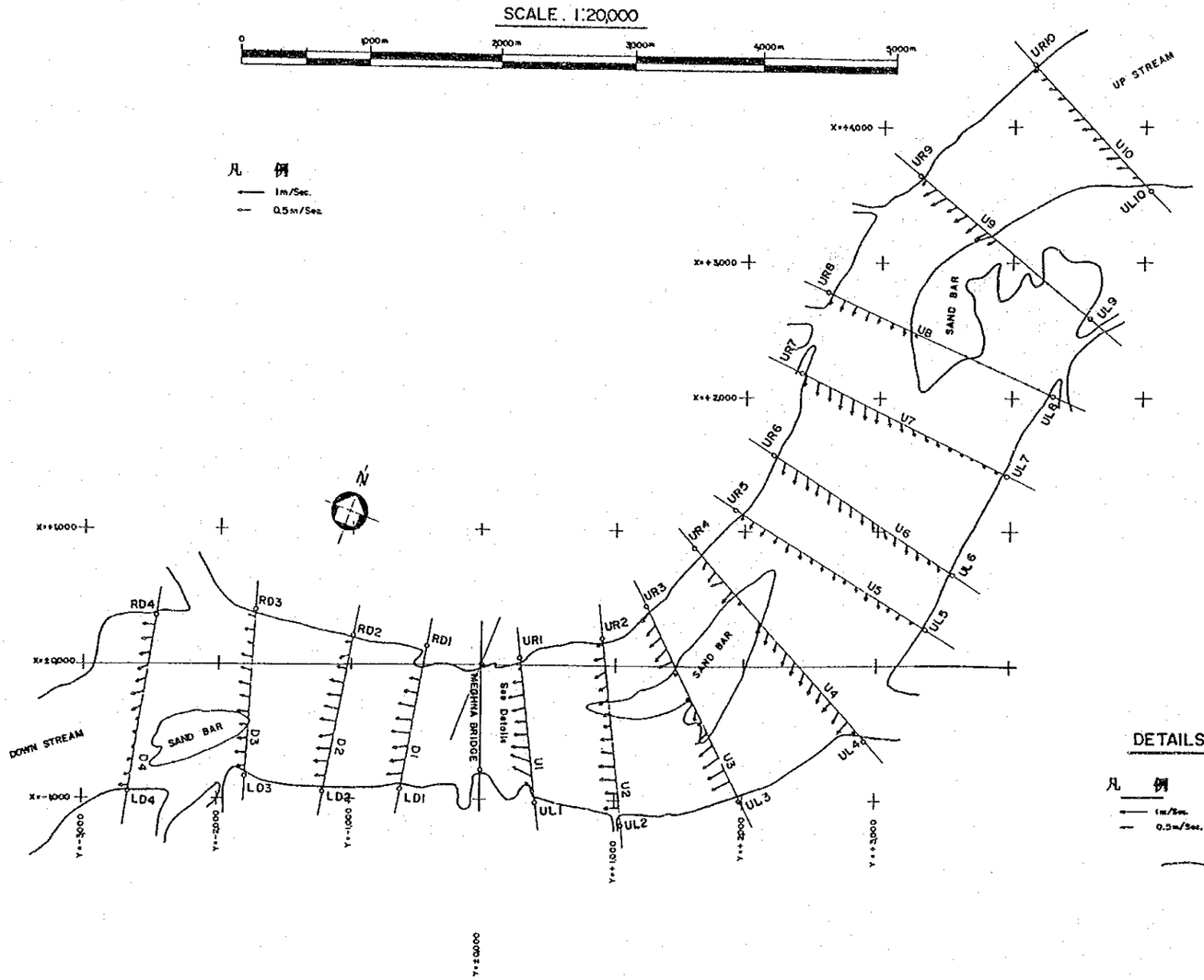


図6.5　流速と流向の計測値（１９９２年９月）

測点	距 離 (m)
D4	1,392.624
D3	1,278.497
D2	1,175.419
D1	1,040.995
UA1	907.787
UA2	1,032.632
UA3	972.222
U1	950.918
U2	1,402.058
U3	1,604.103
U4	1,869.279
U5	1,645.277
U6	1,568.688
U7	1,734.555
U8	1,875.438
U9	1,656.939
U10	1,220.582

測点の座標及び標高

１９９２年　９月			
POINT	Xi (m)	Yi (m)	ELEVATION
P1	0.000	0.000	+1,8.300
UR1	38.056	296.053	+ 6.568
UR2	207.659	865.433	+ 3.600
UR3	476.054	1,279.936	+ 4.220
UR4	900.046	1,609.045	+ 4.684
UR5	1,171.002	1,955.948	+ 4.560
UR6	1,626.837	2,269.322	+ 4.520
UR7	2,283.292	2,419.579	+ 3.050
UR8	2,912.675	2,656.184	+ 3.950
UR9	3,772.100	3,354.778	+ 5.397
UR10	4,631.146	4,377.711	+ 4.878
URD1	128.328	- 421.729	+ 5.992
URD2	202.154	- 991.718	+ 4.057
URD3	389.555	-1,739.850	+ 3.480
URD4	394.699	-2,486.502	+ 4.035
P10	0.000	- 783.000	+18.333
UL1	- 909.985	369.979	+ 5.837
UL2	-1,181.142	1,057.785	+ 3.497
UL3	-1,017.137	1,866.048	+ 3.800
UL4	- 489.515	2,859.376	+ 3.290
UL5	313.481	3,360.083	+ 3.344
UL6	732.586	3,558.158	+ 3.052
UL7	1,474.922	3,954.252	+ 3.993
UL8	2,010.551	4,300.399	+ 3.300
UL9	2,649.113	4,573.116	+ 3.262
UL10	-3,563.518	4,969.313	+ 4.470
UL11	3,572.508	5,852.434	
ULD1	- 897.008	- 601.609	+ 4.305
ULD2	- 948.346	-1,232.468	+ 4.115
ULD3	- 885.226	-1,837.263	+ 5.494
ULD4	- 983.154	-2,688.796	+ 4.370
RA1	29.787	75.228	+6.043
RA2	17.033	171.001	+6.400
RA3	28.934	216.990	+6.458
LA1	- 877.727	97.495	+5.824
LA2	- 1,015.279	196.746	+6.099
LA3	- 938.539	312.971	+7.884

DETAILS BETWEEN BRIDGE AND U1

Scale. 1: 10,000

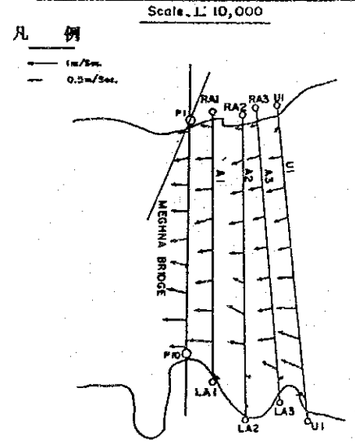


表6.1　流速の観測値と計算値との比較表 (1／3)

Sec. No. D4

No.	観測値	計算値
1	0.52	1.70
2	0.51	1.44
3	0.46	1.39
4	0.41	1.35
5	0.46	1.32
6	0.54	1.27
7	0.40	1.11
8	0.08	0.86
9	0.11	0.56
10	0.16	0.62
11	0.26	0.56
12	0.26	0.74
13	0.36	0.85
14	0.46	0.85
Ave.	0.36	1.04

Sec. No. D3

No.	観測値	計算値
1	0.31	1.20
2	0.36	1.07
3	0.41	1.14
4	0.46	1.25
5	0.46	1.28
6	0.48	1.36
7	0.41	1.19
8	0.44	1.23
9	0.34	1.22
10	0.40	1.29
11	0.41	1.16
12	0.41	1.12
13	0.31	1.01
Ave.	0.40	1.19

Sec. No. D2

No.	観測値	計算値
1	0.27	1.11
2	0.36	1.15
3	0.36	1.28
4	0.56	1.56
5	0.64	1.49
6	0.61	1.38
7	0.66	1.37
8	0.56	1.28
9	0.56	1.10
10	0.56	0.98
11	0.41	0.92
Ave.	0.50	1.24

Sec. No. D1

No.	観測値	計算値
1	0.22	1.06
2	0.30	1.37
3	0.32	1.77
4	0.47	1.66
5	0.44	1.66
6	0.44	1.30
7	0.43	1.31
8	0.51	1.21
9	0.62	1.03
10	0.46	
11	0.25	
Ave.	0.41	1.37

Sec. No. P

No.	観測値	計算値
1	0.44	0.98
2	0.50	1.24
3	0.56	1.51
4	0.62	1.32
5	0.60	1.44
6	0.61	1.23
7	0.74	1.32
8	0.82	1.44
9	0.66	1.80
Ave.	0.62	1.36

Sec. No. A1

No.	観測値	計算値
1	0.41	-
2	0.56	-
3	0.58	-
4	0.60	-
5	0.51	-
6	0.56	-
7	0.58	-
8	0.84	-
9	0.26	-
Ave.	0.54	-

Sec. No. A2

No.	観測値	計算値
1	0.27	-
2	0.44	-
3	0.44	-
4	0.46	-
5	0.46	-
6	0.39	-
7	0.66	-
8	0.56	-
9	0.21	-
10	0.09	-
Ave.	0.40	-

Sec. No. A3

No.	観測値	計算値
1	0.26	-
2	0.43	-
3	0.45	-
4	0.44	-
5	0.44	-
6	0.46	-
7	0.50	-
8	0.60	-
9	0.62	-
10	0.28	-
Ave.	0.45	-

Sec. No. U1

No.	観測値	計算値
1	0.14	0.82
2	0.46	0.99
3	0.66	1.02
4	0.51	1.14
5	0.46	1.31
6	0.56	1.39
7	0.71	1.44
8	0.81	1.64
9	0.81	1.56
10	0.36	1.53
Ave.	0.55	1.28

表6.1　流速の観測値と計算値との比較表（2／3）

Sec. No.　U2

No.	観測値	計算値
1	0.26	0.88
2	0.41	0.81
3	0.51	0.93
4	0.41	0.96
5	0.51	0.95
6	0.26	0.68
7	0.31	0.78
8	0.41	1.00
9	0.46	1.20
10	0.66	1.22
11	0.61	1.22
12	0.51	1.10
13	0.66	1.94
14	0.16	
Ave.	0.44	1.05

Sec. No.　U3

No.	観測値	計算値
1	0.51	0.65
2	0.56	0.85
3	0.68	0.89
4	0.71	0.88
5	0.68	0.81
6	0.16	0.71
7	sand bar	0.30
8	0.14	0.49
9	0.46	0.70
10	0.15	0.83
11	0.66	0.55
12	0.71	1.30
13	0.71	1.04
14	0.71	1.01
15	0.76	1.07
16	0.61	1.60
Ave.	0.55	0.86

Sec. No.　U4

No.	観測値	計算値
1	0.41	0.55
2	0.54	0.68
3	0.61	0.92
4	0.66	0.94
5	0.21	0.97
6	sand bar	0.63
7	0.50	0.00
8	0.56	0.74
9	0.46	0.87
10	0.56	0.96
11	0.58	0.89
12	0.56	0.99
13	0.56	1.04
14	0.51	0.63
15	0.51	1.15
16	0.56	1.02
17	0.66	0.77
18	0.21	1.43
Ave.	0.51	0.84

Sec. No.　U5

No.	観測値	計算値
1	0.21	0.85
2	0.36	0.94
3	0.41	1.05
4	0.36	1.01
5	0.31	0.91
6	0.36	0.94
7	0.31	0.91
8	0.31	0.92
9	0.36	0.95
10	0.26	0.94
11	0.36	0.86
12	0.34	0.92
13	0.36	0.87
14	0.26	0.92
15	0.31	0.84
16	0.11	1.06
Ave.	0.31	0.93

Sec. No.　U6

No.	観測値	計算値
1	0.54	0.84
2	0.52	0.85
3	0.51	0.97
4	0.49	1.00
5	0.49	1.09
6	0.47	1.04
7	0.42	0.99
8	0.43	0.89
9	0.41	0.89
10	0.41	0.83
11	0.38	0.77
12	0.40	0.69
13	0.37	0.73
14	0.36	0.68
15	0.28	0.64
16	0.26	0.54
Ave.	0.42	0.84

Sec. No.　U7

No.	観測値	計算値
1	0.41	0.94
2	0.54	0.81
3	0.56	1.01
4	0.64	1.04
5	0.61	1.06
6	0.59	1.10
7	0.51	1.12
8	0.41	1.03
9	0.40	0.85
10	0.36	0.74
11	0.30	0.51
12	0.26	0.45
13	0.18	0.36
14	0.14	0.41
15	0.12	0.55
16	0.07	0.50
17	0.00	0.39
Ave.	0.36	0.76

表6.1　流速の観測値と計算値との比較表（3／3）

Sec. No. U8 No.	観測値	計算値
1	0.41	1.19
2	0.46	0.92
3	0.41	0.95
4	0.39	0.99
5	0.32	0.98
6	0.26	0.95
7	0.31	1.05
8	0.16	0.91
9	sand bar	0.53
10	sand bar	0.00
11	sand bar	0.12
12	0.00	0.34
13	0.00	0.35
14	0.00	0.38
15	0.00	0.37
16	0.00	0.44
17	0.00	0.39
18	0.00	0.30
19	0.00	0.28
Ave.	0.34	0.60

Sec. No. U9 No.	観測値	計算値
1	0.26	1.15
2	0.56	1.06
3	0.76	1.33
4	0.51	1.21
5	0.56	1.07
6	0.61	1.06
7	0.56	1.19
8	0.41	0.61
9	sand bar	0.00
10	sand bar	0.00
11	sand bar	0.16
12	0.00	0.16
13	0.00	0.18
14	0.00	0.24
15	0.00	0.19
16	0.00	0.04
Ave.	0.53	0.60

Sec. No. U10 No.	観測値	計算値
1	0.26	0.52
2	0.31	0.42
3	0.31	1.07
4	0.31	1.29
5	0.26	0.86
6	0.41	0.86
7	0.41	0.86
8	0.36	0.84
9	0.46	0.85
10	0.51	0.78
11	0.46	0.76
12	0.21	0.66
Ave.	0.36	0.81

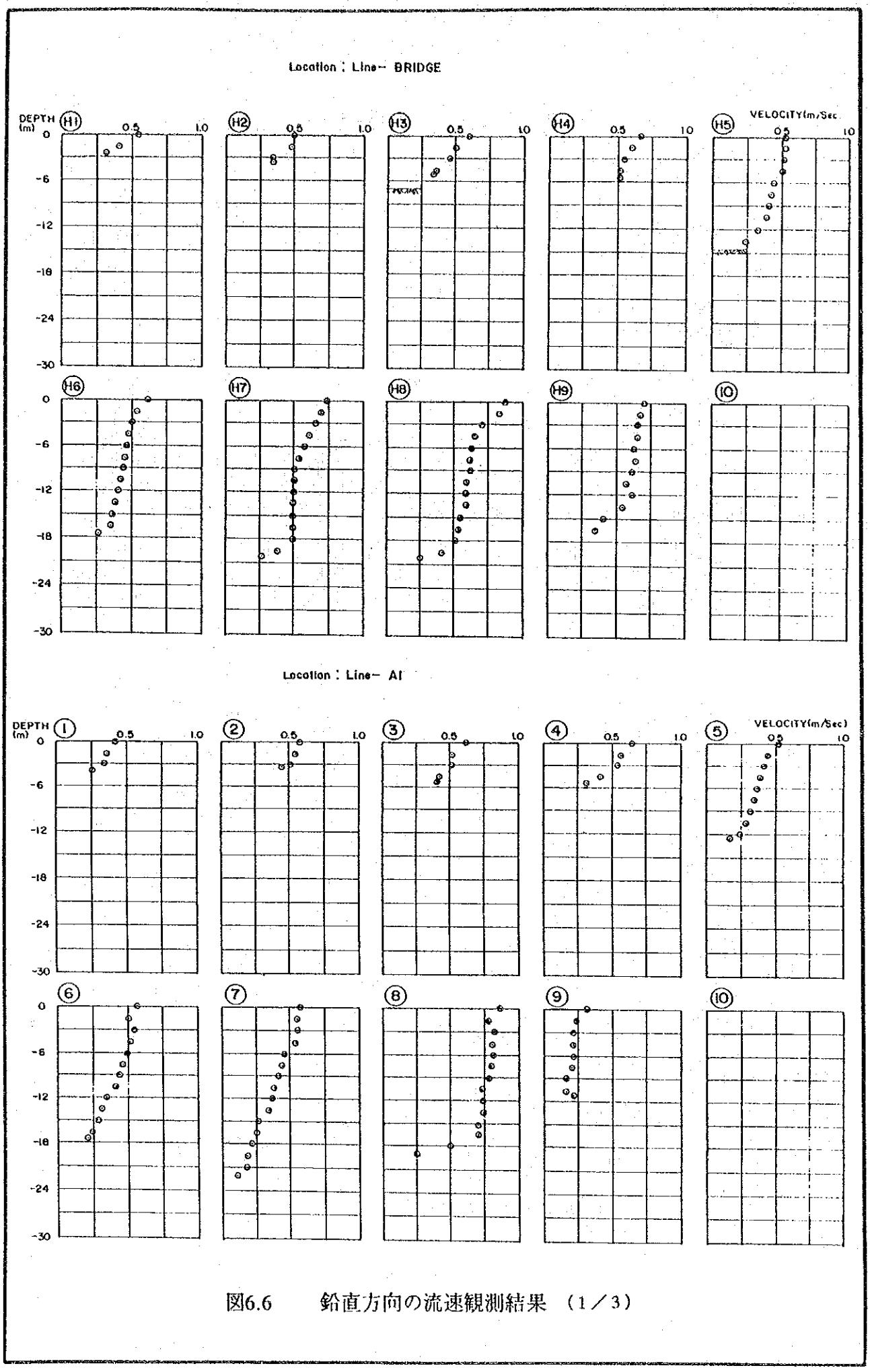


図6.6　　鉛直方向の流速観測結果　（1／3）

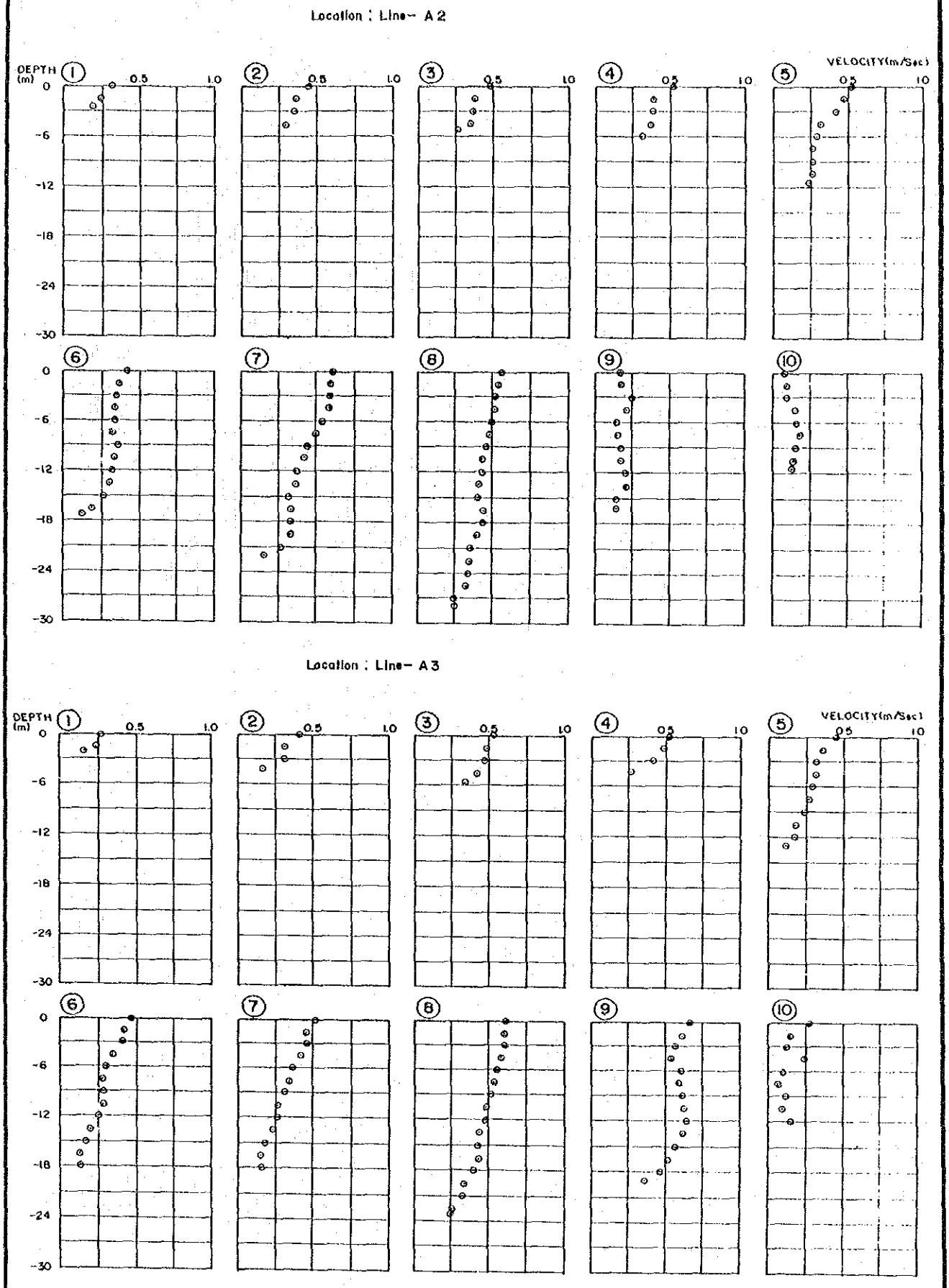


図6.6　　鉛直方向の流速観測結果（2／3）

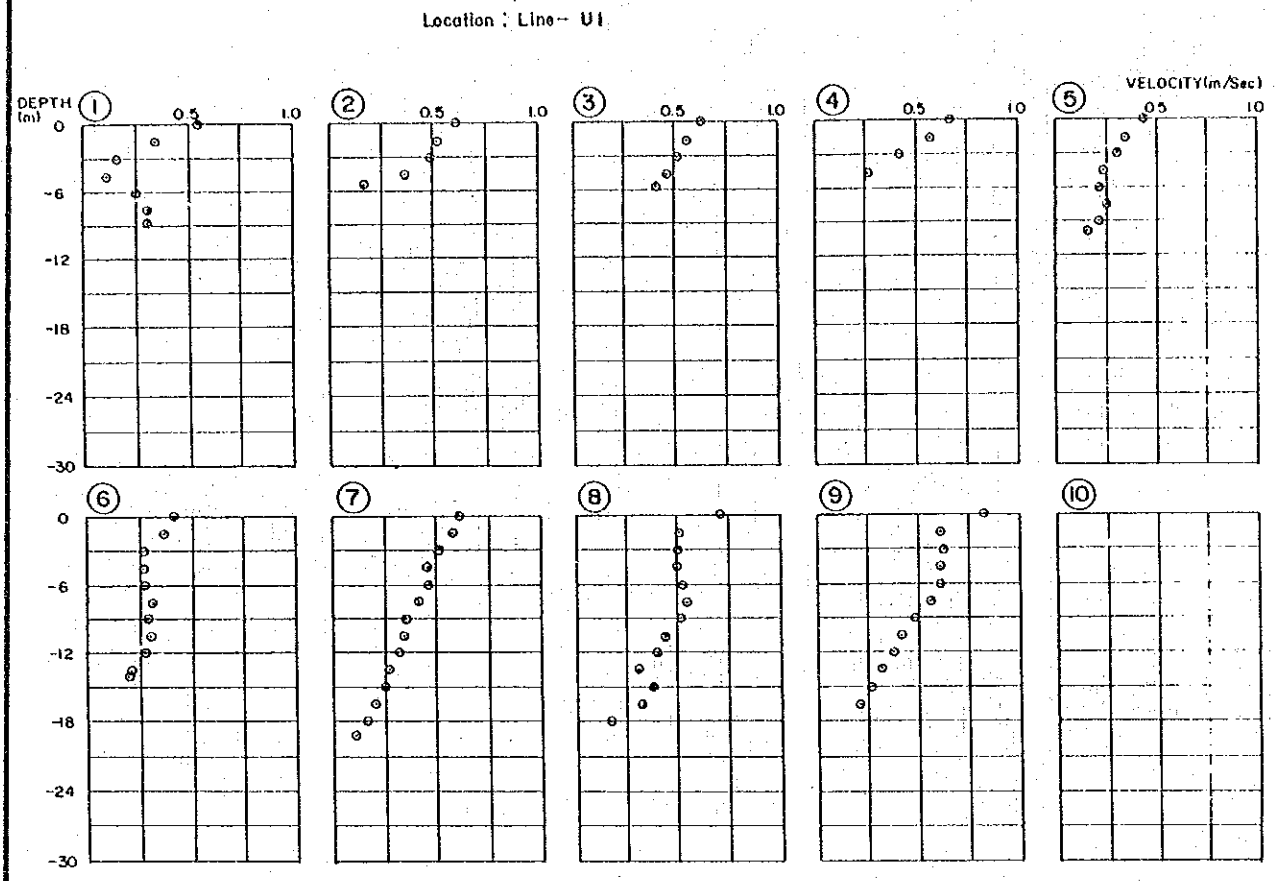


図6.6　　鉛直方向の流速観測結果　（3／3）

第7章　基本設計

第７章　基本設計

７．１　設計方針

メグナ河は「４．１　メグナ河の概況」に示すとおりの大河川であり、将来の河道予測の難しい河川である。しかしながら、「メグナ河護岸対策計画」の基本設計は以下の設計方針にしたがって行なうものとする。

（１）護岸構造物は、今日までの河川資料および基本設計時の現場調査結果やその解析結果を前提として設計する。

（２）本計画の目的はメグナ橋コミラ側の橋台・橋脚や取付道路を保護することであり、護岸構造物の範囲や規模は最小限、すなわち局所的なものとする。

（３）護岸構造物は、建設費や、バングラデシュ国による維持管理費の低減を計るために、現地調達資材を主体とし、また技術的には難解なものを避ける設計とする。

（４）本計画の護岸構造物は雨期の増水による現護岸の崩落を防ぐために、今乾期の短期間に施工を終了しなければならない。それゆえ、工法の選定に留意する。

７．２　設計条件の設定

本計画の基本設計にあたっては、現地調査およびバングラデシュ国側と確認した事項に基づいて次のような設計条件を設定した。

（１）設計区間の設定

河道現況の検討結果ならびに第６章で検討する平面二次元流モデルによるシュミレーション結果に基づき、橋台および取付道路を保護するための石積み工による護岸法線を、左岸橋台の根固め部と旧船付き場を結んだ線とすることを提案する。また、護岸を施す区域は、橋台の下流側から旧船付き場までの区間とする。

上記の理由は、「５．７　コミラ側護岸の計画法線と計画区域」に述べる。

（２）河川の洗掘深さ

「５．４　旧船付き場周辺の局部洗掘」に記述してあるように、基本設計の洗掘深さはＲ．Ｌ．－３０ｍとする。

（３）土質条件

現地調査で行なった陸上でのボーリング、および、メグナ橋詳細設計時に行なったボーリング等を考慮して、護岸の安定計算のための土質条件を次のように設定した（図７．１および表７．１参照）

土　層	層圧（m）	γt（t/m^3）	N値	内部摩擦角（ϕ）	粘着力τ（t/m^3）
盛土（砂）	—	1.80	—	30°	—
玉石・割石・碑	—	2.00	—	37.5°	—
河床部					
第１層（砂）	9.5	1.80	15	32°	—
第２層（砂）	8.0	1.80	18	33°	—
第３層（砂）	9.5	1.80	30	36.5°	—
第４層（砂）	—	1.80	50	41.0°	—

図7.1　　N値と内部摩擦角との関係図

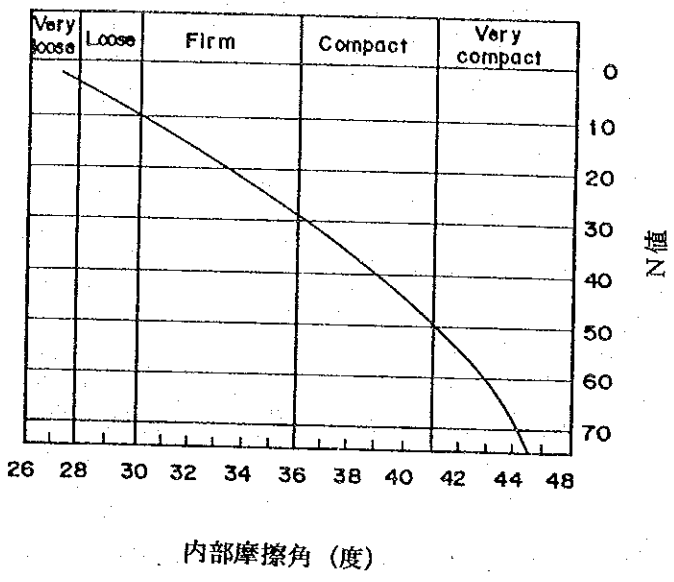


表7.1　　土の湿潤密度

	種類	状態	湿潤密度（t／m3）	統一分類
盛土	れき及びれき混じり砂	締固めたもの	2	GW、GP
	砂	粒度の良いもの	2	SW、SP
		粒度の悪いもの	1.9	
	砂質土	締固めたもの	1.8	SM、SC
	粘性土	締固めたもの	1.7	ML、CL (MH、CH)
	火山灰質粘性土	締固めたもの	1.4	VH
自然地盤	れき	密実なもの又は粒度の良いもの	2	GW、GP
		密実でないもの又は粒度の悪いもの	1.8	
	れき及びれき混じり砂	密実納もの	2.1	GW、GP
		密実でないもの	1.9	
	砂	密実なもの又は粒度の良いもの	2	SW、SP
		密実でないもの又は粒度の悪いもの	1.8	
	砂質土	密実納もの	1.9	SM、SC
		密実でないもの	1.7	
	粘性土	固いもの	1.8	ML、CL
		軟らかいもの	1.6	
	シルト	固いもの	1.6	ML
		軟らかいもの	1.4	
	粘土	固いもの	1.7	CH、MH
		軟らかいもの	1.5	
	火山灰質粘性土		1.4	VH

7.3 基本計画

7.3.1 工法比較案の検討

メグナ河の河岸侵食が拡大すると、ダッカ－チッタゴン道路に波及する危険性がある。この道路の機能を保つためには次の２通りの方策が考えられる。

1）架橋付近に新たに護岸を建設し、河道を一定に保つ。

2）新たな護岸を建設せず、河川を自然の状態に放置するならば、河道はコミラ側橋台および取付道路の盛土へと移動することとなる。この取付道路に沿って橋梁を延伸することにより、道路の機能を守る。

ここでは、上記1）について、護岸の工法を比較することとし、2）については後述する。

（1）護岸工法の検討

護岸工法として以下の３案が考えられる。

（A）鋼管矢板壁防護工案
（B）捨石根固め工案
（C）鋼管矢板壁防護工
捨石根固め工　案

比較検討の結果を、表7.2メグナ河護岸の工法の比較に示す。

（2）護岸以外の工法の検討

本計画は中期的目標を持って、洗掘よりメグナ橋施設（橋梁、取付道路）を保護するために、前述の「（1）護岸工法の検討」を行なった。しかしながら、対策として橋梁や取付道路のみを保護する方法としては、図7.9に示すような「PC桁側径間延長案」が考えられる。この案の特長は下記のとおりである。

長　所　：・陸上施工のために護岸工法のような工期の制約がない。
・短期的には延長スパンが少なく経済的である。

短　所　：　・　延長スパン数の決定が難しく、中、長期にはさらに延長スパン数が増加すると予測される。

・　橋台が現位置よりコミラ側に移動するばかりでなく、その高さは現高より低くなる。さらに、河川条件より、コミラ側に最深部が発現しやすくなる。これらのことより、現在の国際航路の確保が困難となる。

・　工事に際して仮設迂回路（または橋）を設けることにより、工事期間中の交通支障になりやすい。

ＰＣ桁側径間延長案は、上記のような特長により、中期的な視野における対策工としてはふさわしくなく、護岸工法が妥当である。

表7.2　メグナ河護岸の工法検討

	(A) 鋼管矢板壁防護工案	(B) 捨石堤工案	(C) (鋼管矢板壁防護工 捨石堤工) 案
工法の概要	継手パイプ型鋼管矢板壁を防護の主体とし、鋼管または鋼矢板にてこの壁の控えとする。施工場所にて使用材料の組み合わせを変えるために、この工法は3タイプに分かれる。タイプ1は、橋台の周辺で、川岸より順に既設鋼矢板、タイロード、鋼管矢板、タイロード、鋼矢板となる。同様に、タイプ2は、橋台と旧船付き場間の入江で、鋼管矢板、タイロード、鋼管矢板、タイプ3は旧船付き場で、鋼管矢板、タイロード、鋼矢板。 鋼管杭　φ1,016mm、t＝12mm、 l＝35～45m 鋼矢板　VL型、l＝20m 図7.2～7.5　参照	捨石堤工を主体とした防護。 図7.6と7.7を参照。	工法は(A)のタイプ1と(B)を加味したものである。 (A)は橋台の周辺に、(B)は橋台上流側に施工する。 図7.8を参照。
	工事内容 1) 継手パイプ型鋼管矢板壁打工 2) 矢板壁頭部RCコーピング工 3) 控え用鋼矢板打工 4) タイロッド工 5) 整地工(埋立工) 6) 蛇籠法防護工 7) 矢板壁前面根固め捨石工	工事内容 1) 河床成形工 2) 捨石堤工 3) 埋土工 4) 法面捨石防護工 5) 捨石根固め工	工事内容 (A)と(B)を参照。
経済性	経済的でない　(×)	最も経済的　(○)	ある程度経済的　△
問題点	長所：・維持管理費がかからない。 短所：・建設費(材料費)が高い。 ・資材が第三国(日本)からの調達になり、調達期間がかかる。 ・既設矢板の崩壊箇所の施工が困難。	長所：・建設費が小である。 ・技術的に難解な工法でない。 ・河道変遷に対応しやすい。 ・現地調達資材(石)が主なので、現地貢献度が大。 短所：・維持管理費がかかる。 ・大量な石材の確保に努力がいる。	(A)と(B)を参照。

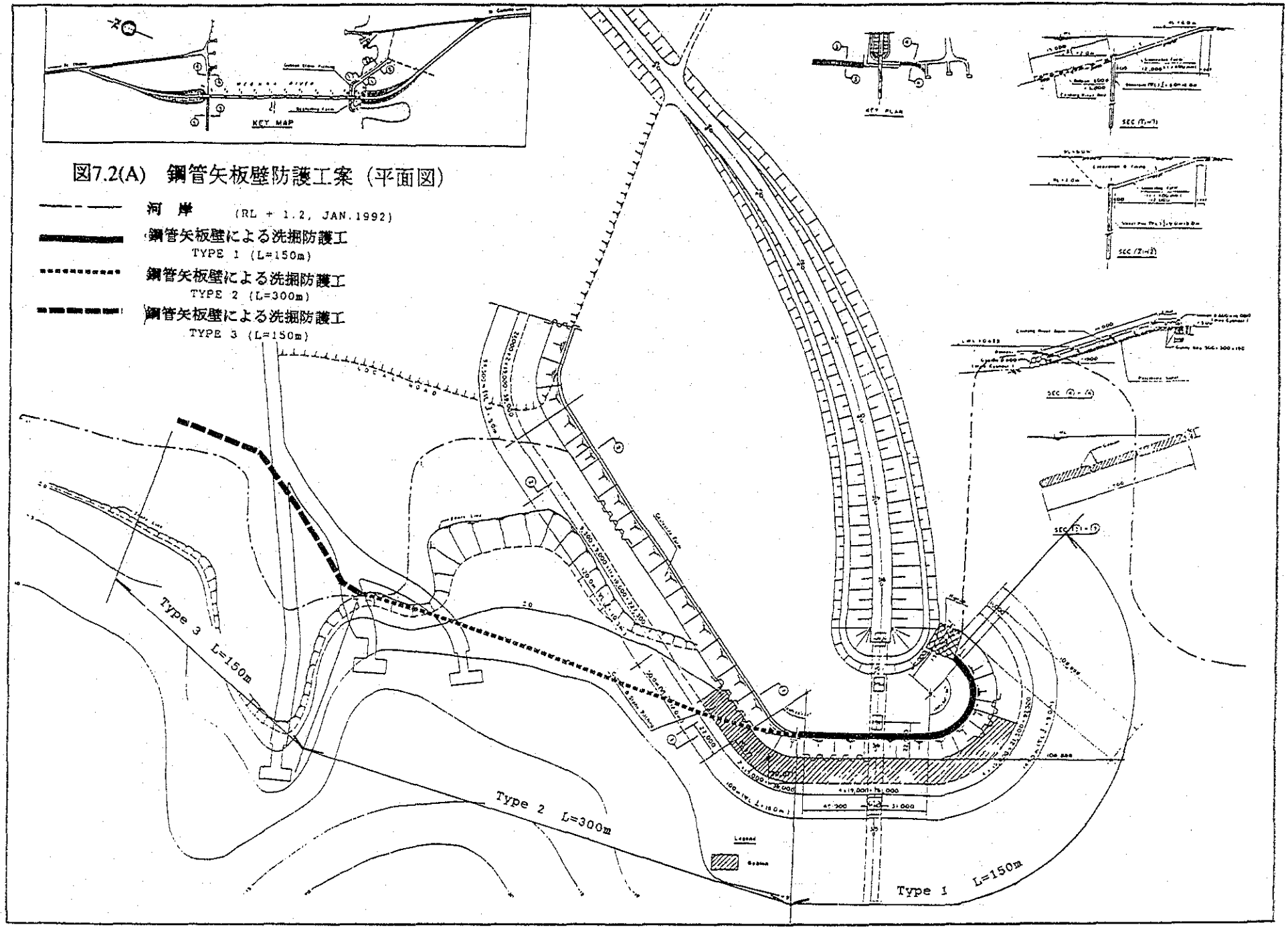


図7.2(A) 鋼管矢板壁防護工案（平面図）

図7.3　　鋼管矢板壁防護工案（タイプ1）

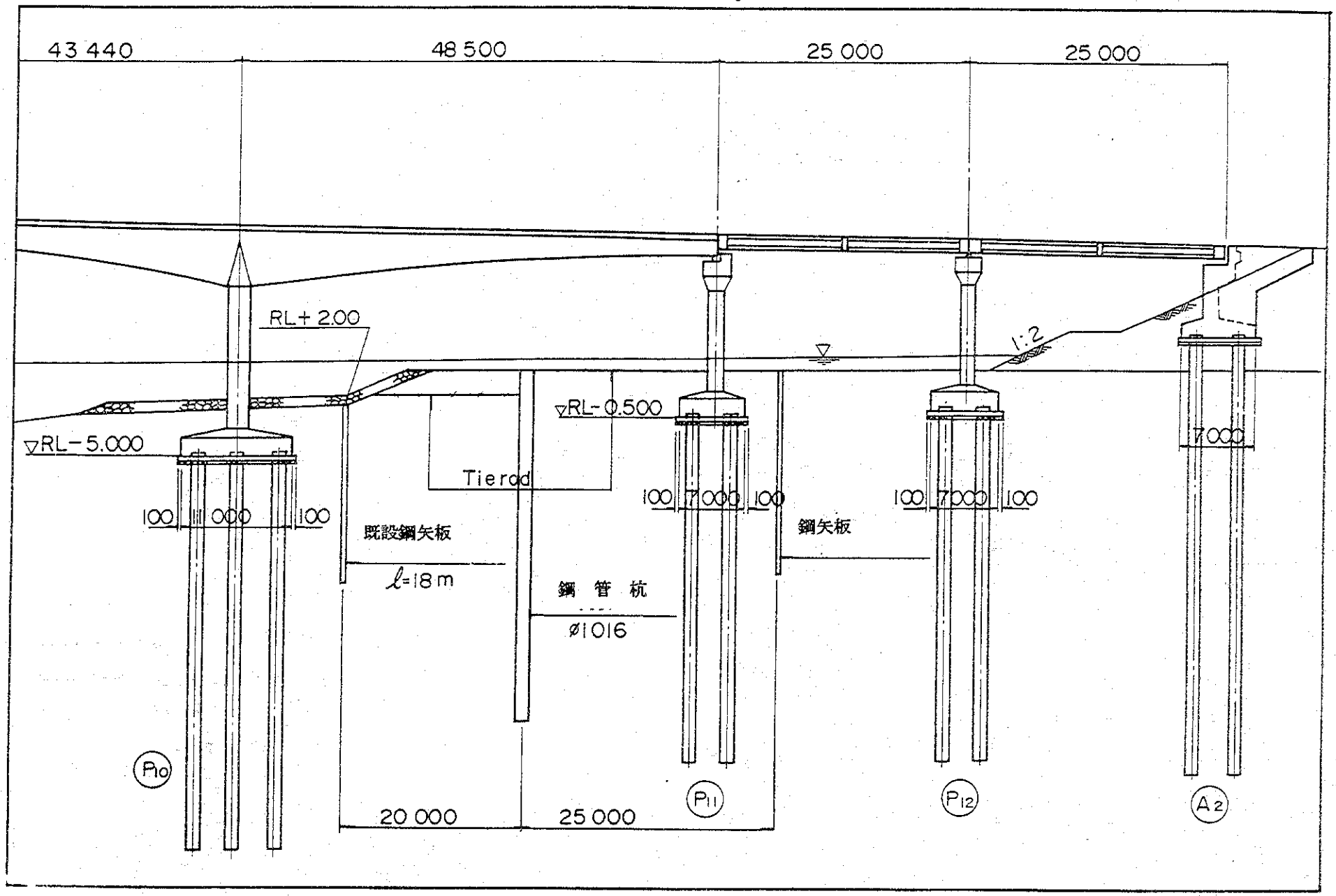


図7.4　鋼管矢板壁防護工案（タイプ2）

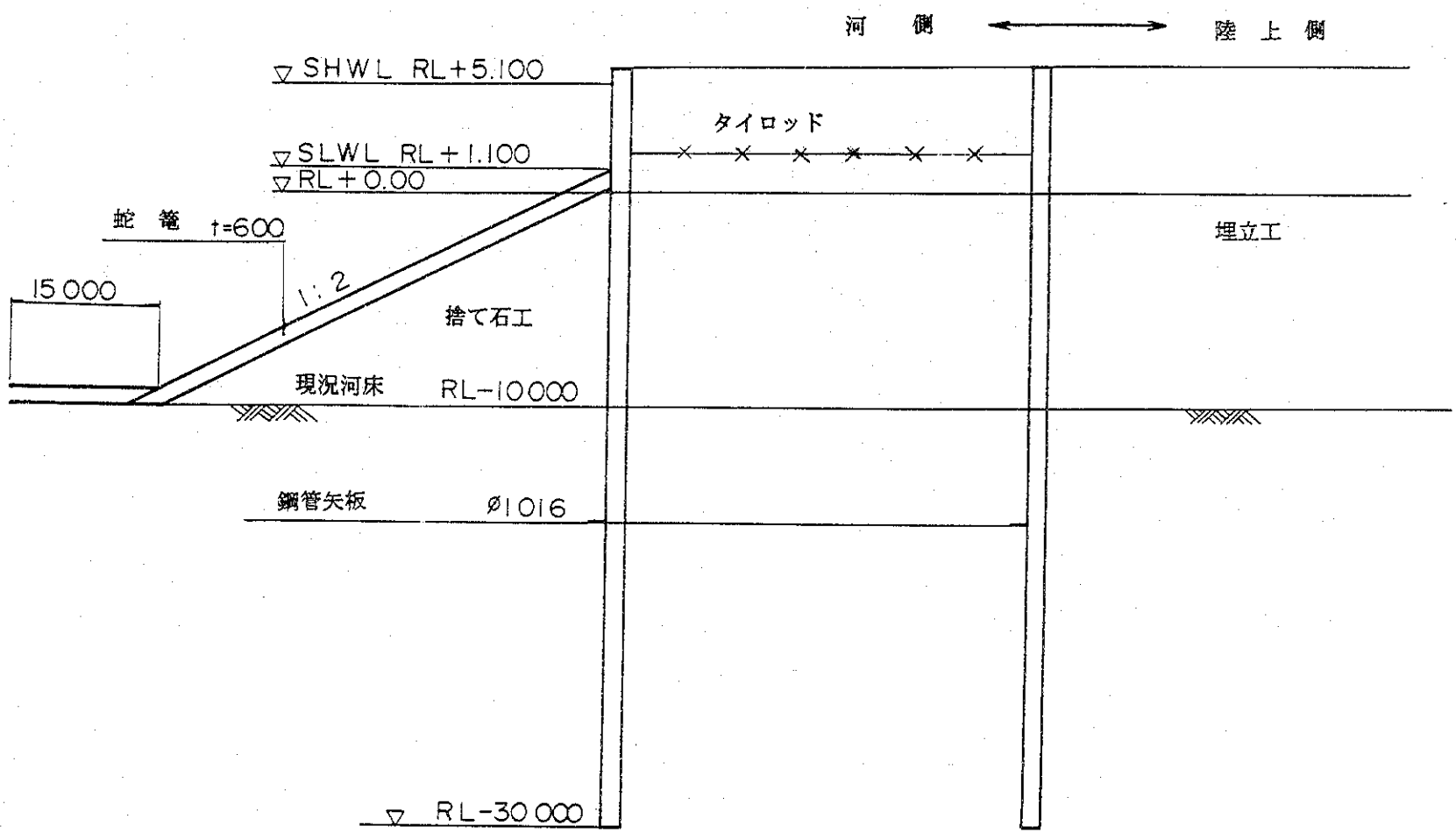
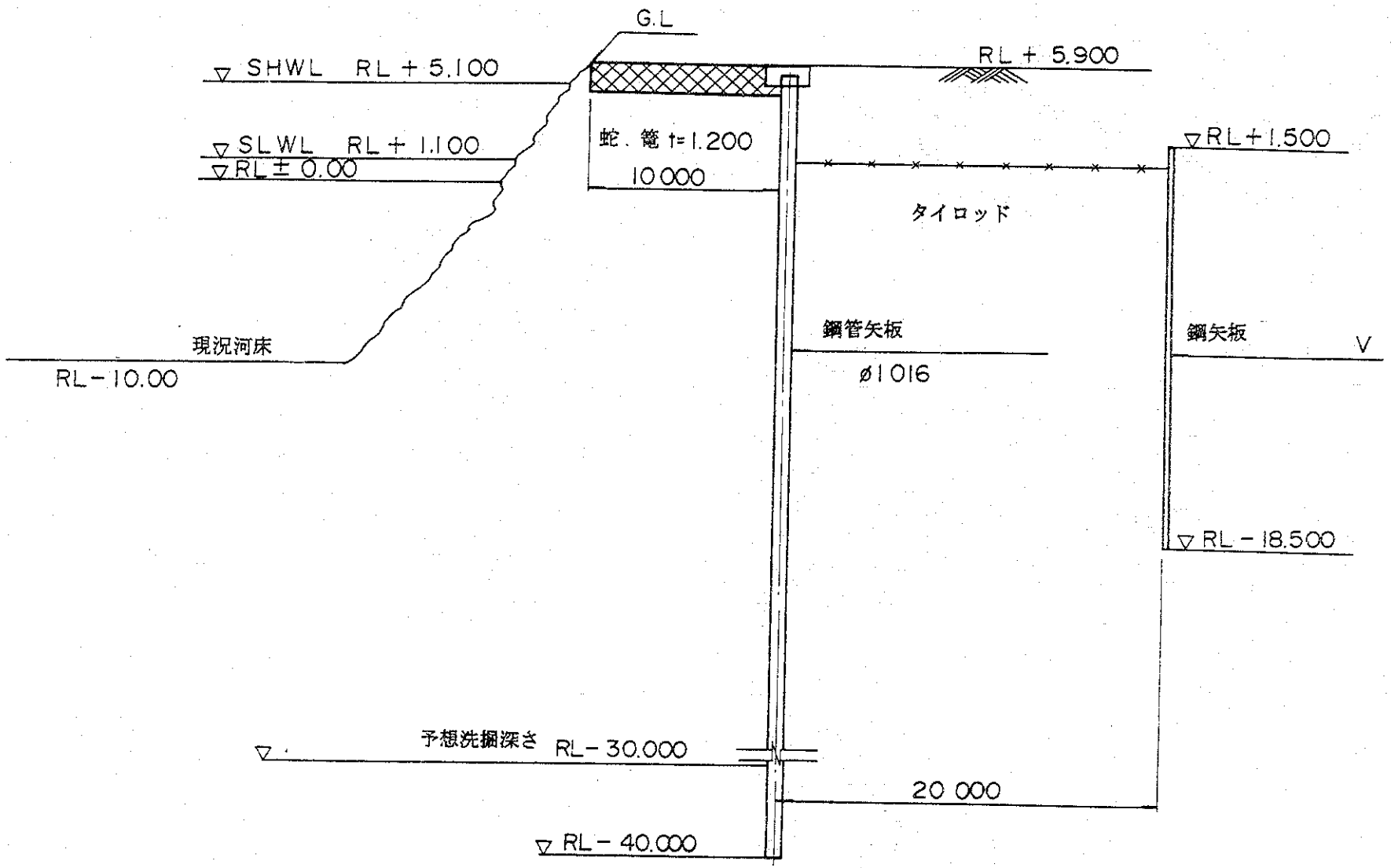


図7.5　鋼管矢板壁防護工案（タイプ3）



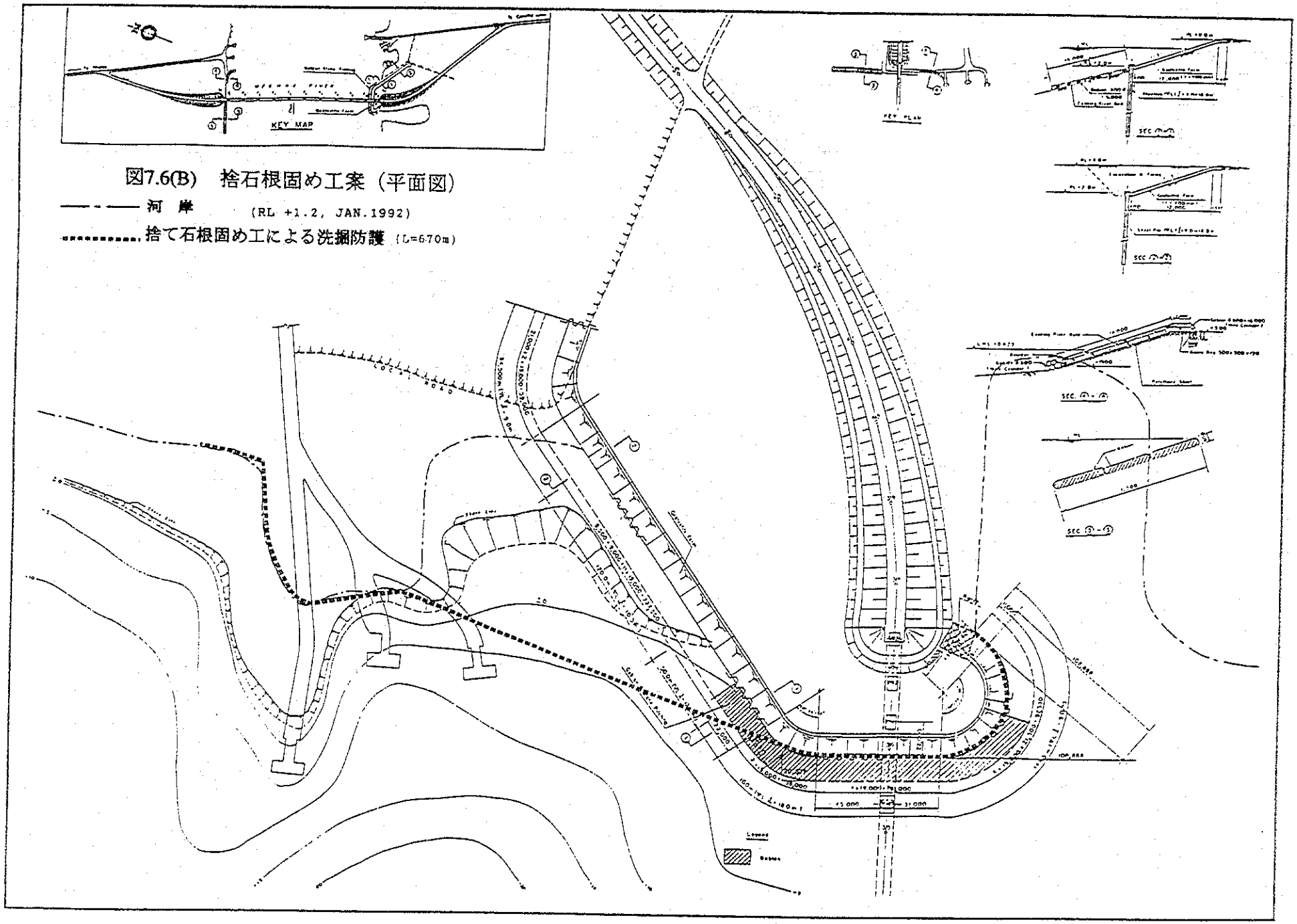
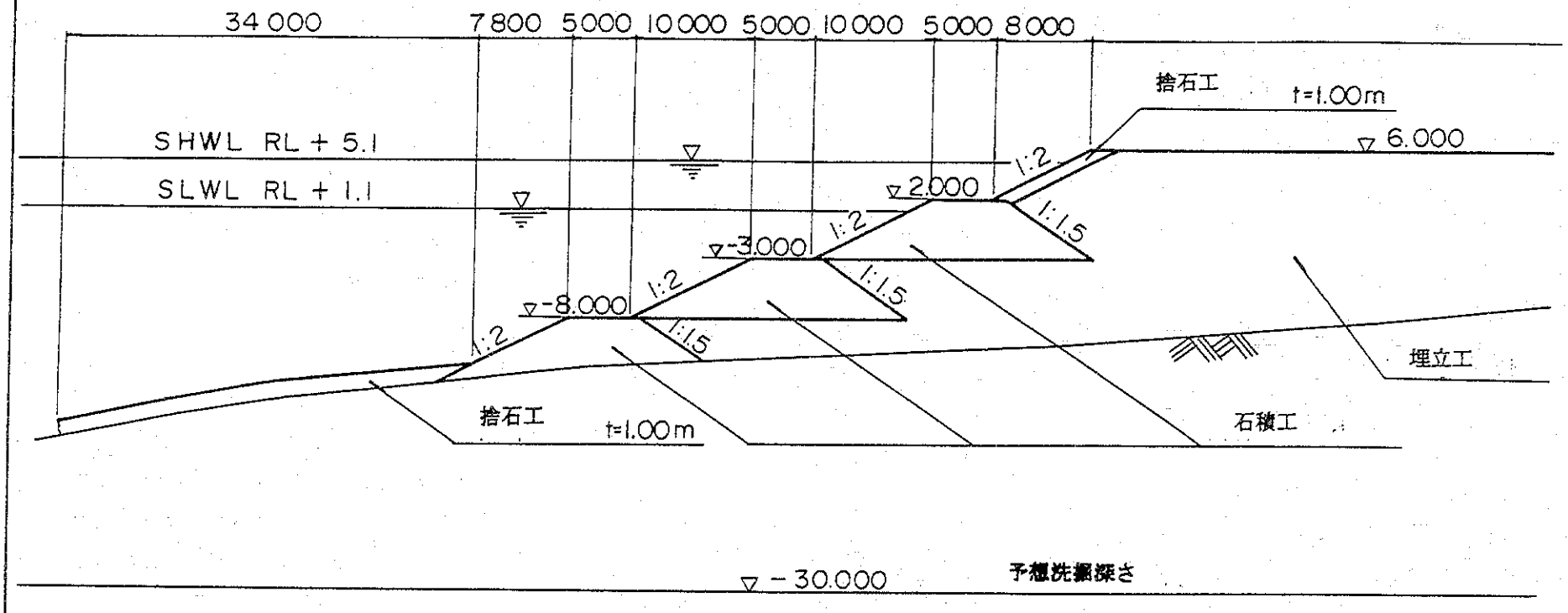


図7.6(B)　捨石根固め工案（平面図）

——·—— 河　岸　　(RL +1.2, JAN.1992)

····· 捨て石根固め工による洗掘防護 (L=670m)

図7.7　捨石根固め工案


34 000
7800
5000
10000
5000
10000
5000
8000
捨石工
t=1.00m
6.000
SHWL RL + 5.1
SLWL RL + 1.1
2.000
-3.000
-8.000
1:2
1:1.5
埋立工
捨石工
t=1.00m
石積工
-30.000
予想洗掘深さ

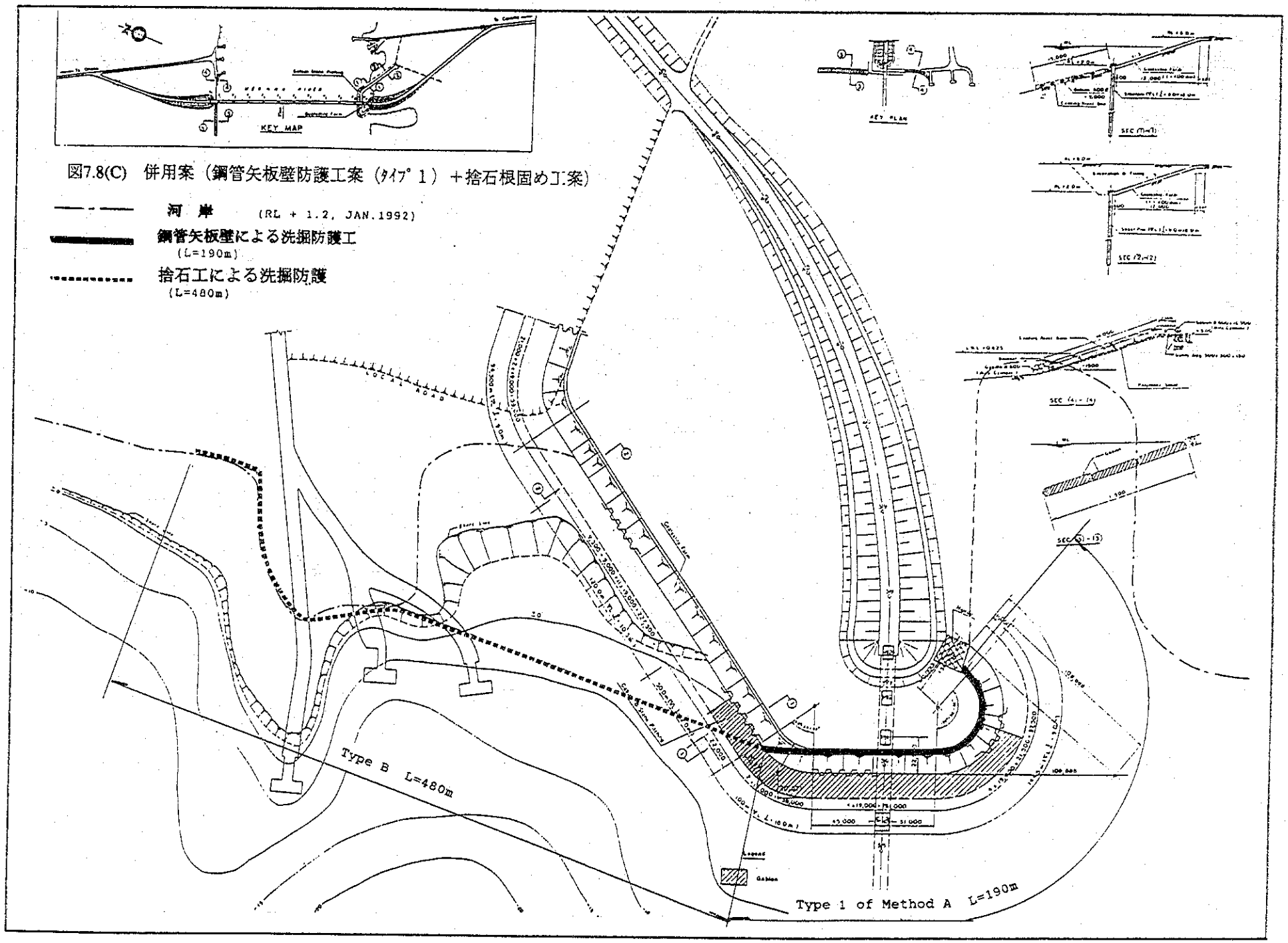
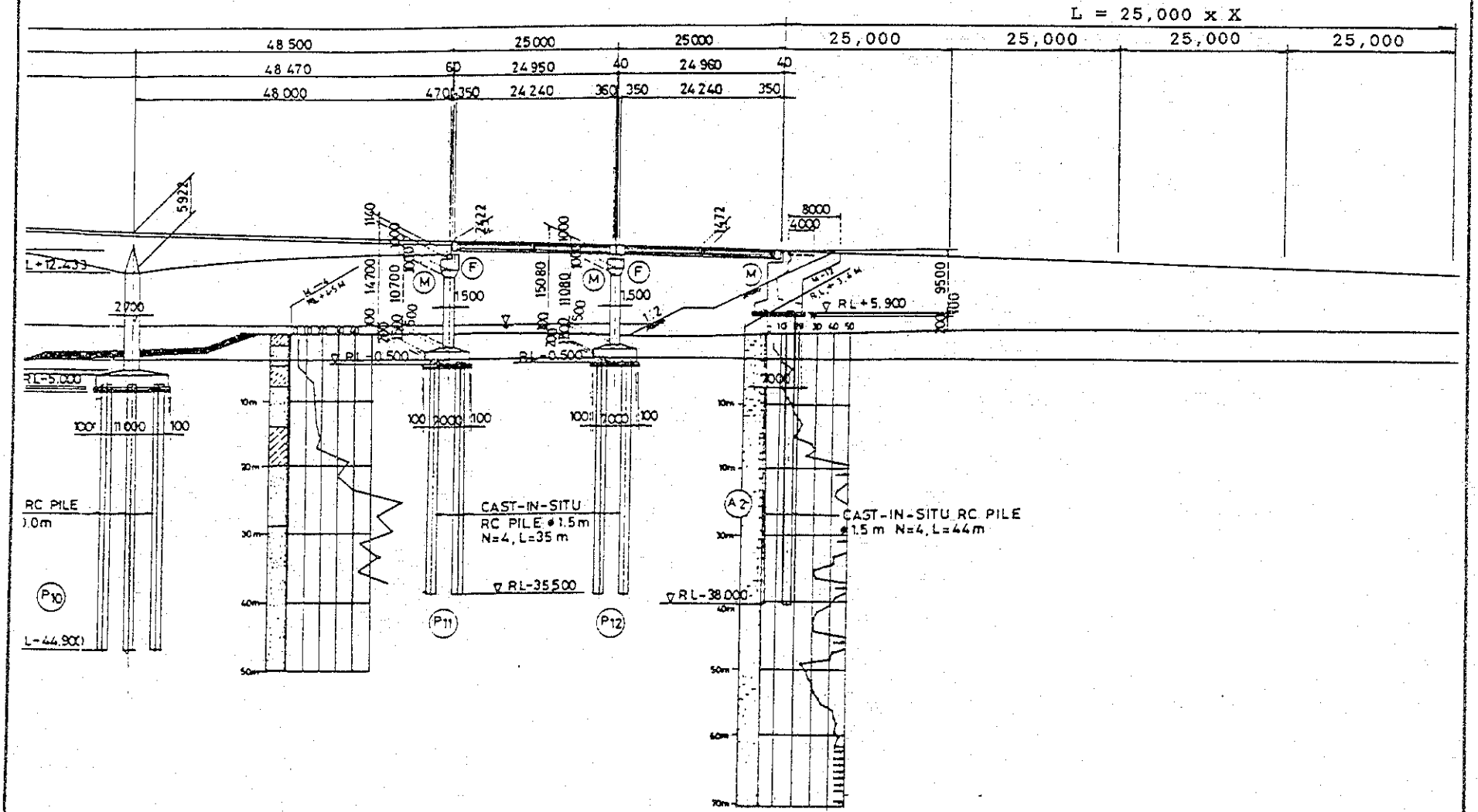


図7.8(C) 併用案（鋼管矢板壁防護工案（ﾀｲﾌﾟ 1）＋捨石根固め工案）

図7.9　　ＰＣ桁側径間延長案



（３）法線の検討

捨石根固め工案により法線の検討を行なう。現地調査時にバングラデシュ側と協議し合意した範囲について、比較した結果を表７.３法線の検討の比較表に示す。
経済性からみると、明らかに現況の水際線に捨石する第１案が有利であるが、局所的な渦の発生を避け、橋梁地点直上流の水面形の安定を図る上から、旧船付き場の尖堤から、橋台前面へ結ぶ法線が有利である。

（４）構造の検討

（１）護岸工法の検討において選定された捨石工案について、次の３案をさらに検討した。

第１案　：　現況の河床に捨石工を施工し、護岸する工法である。最も簡単な工法で経済的にも有利であるが、取付道路に近接し、これ以上の護岸の崩壊が起これば、ただちに取付道路に影響を与えるため、信頼性に乏しい。

第２案　：　現況の護岸に最も遠ざけた場合の法線に対して、石積工、埋土工および捨石工により護岸する工法である。河川工学上、護岸の施工による渦の発生を阻止する位置に法線を決めたものである。経済的には不利であるが、構造上は最も望ましい案である。

第３案　：　第１案と第２案の中間的位置に法線を決めたものである。長所および短所は、それぞれ第１案と第２案の間にある。

捨石工の施工範囲は、予想洗掘深さＥＬ＝－３０ｍに達した場合、１：２の勾配になるものと仮定して求めた。（図－７.１１参照）

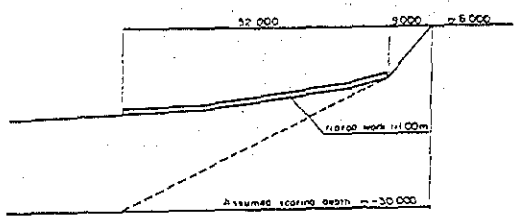
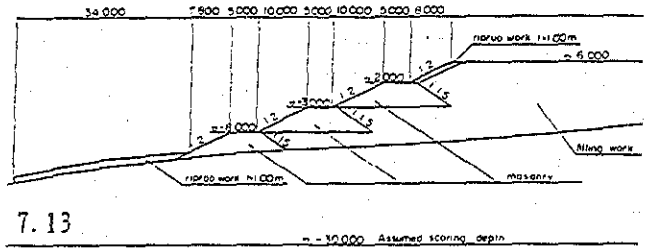
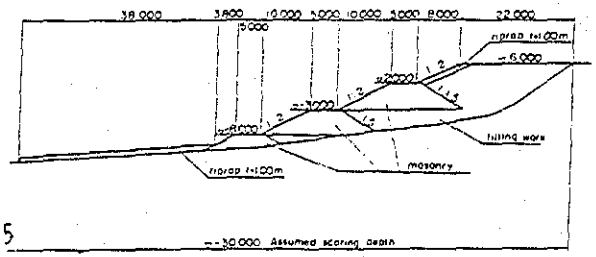
構造的にみて、第２案を推奨する。

（５）詳細検討

（４）構造の検討において第２案が選定されたが、さらに、詳細に検討を加えた結果、次のような構造とする。

構造的には、図－７．１３に示すように、小段が５ｍが望ましいが、安定計算上、図－７．１９に示すように、小段が３ｍおよび２ｍでも安定し、施工上も可能である。大量の石材の確保の難しさ、工期の短縮等を考慮すれば、図－７．１９に示す断面となる。

表 7.3 法線の比較表

	代表断面 （B－B）	各案の特徴
第一案	 図 7.10 - 7.11	・ 推定洗掘深さは －30mと仮定する。 ・ 現況の護岸に最も近づけた場合（Minutes of meeting (1)に相当するもの） ・ 現況の河床面に捨石する。 その範囲は －30mまで洗掘されて法面勾配が1：2になるものと仮定した。 ・ 概算工事数量 捨石工 約 29,000m³ ・ 第二案に比べて施工は容易である。しかし、取付道路に近い。
第二案	 図 7.12 - 7.13	・ 推定洗掘深さは －30mと仮定する。 ・ 現況の護岸に最も遠ざけた場合（Minutes of meeting (2)に相当するもの） ・ 概算工事数量 石積み工 約 48,000m³ 埋土工 約 230,000m³ 捨石工 約 25,000m³ ・ 第一案に比べて工事費（工期）は高い。護岸工としては第一案より優れている。
第三案	 図 7.14 - 7.15	・ 推定洗掘深さは－30mと仮定する。 ・ 第一案と第二案の中間的案。 ・ 概算工事数量 石積み工 約 44,000m³ 埋土工 約 56,000m³ 捨石工 約 21,000m³

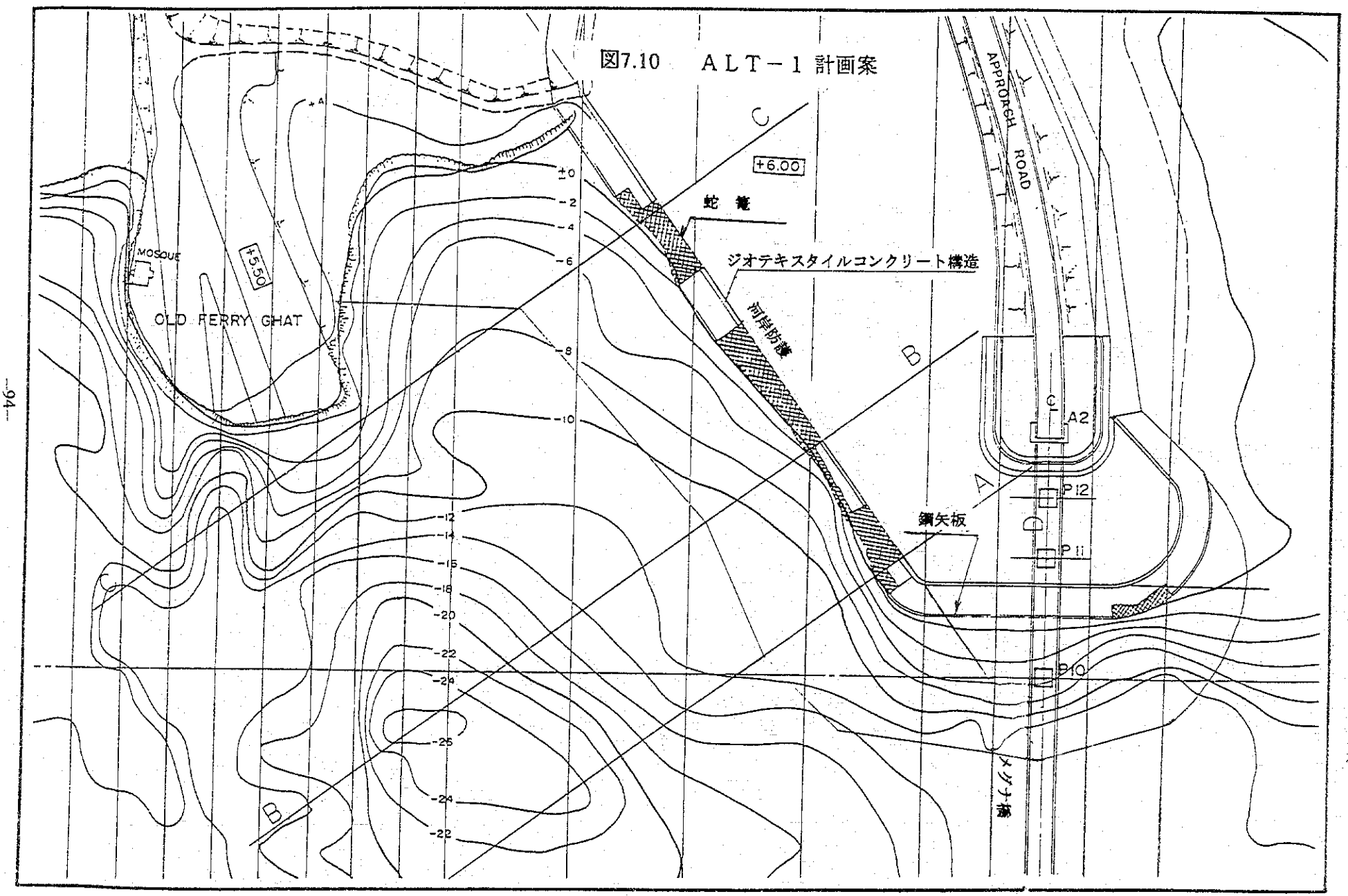


図7.10　ＡＬＴ－１ 計画案

図7.11　ＡＬＴ－１ 防護工図

標準断面　(B－B)　S=1/500

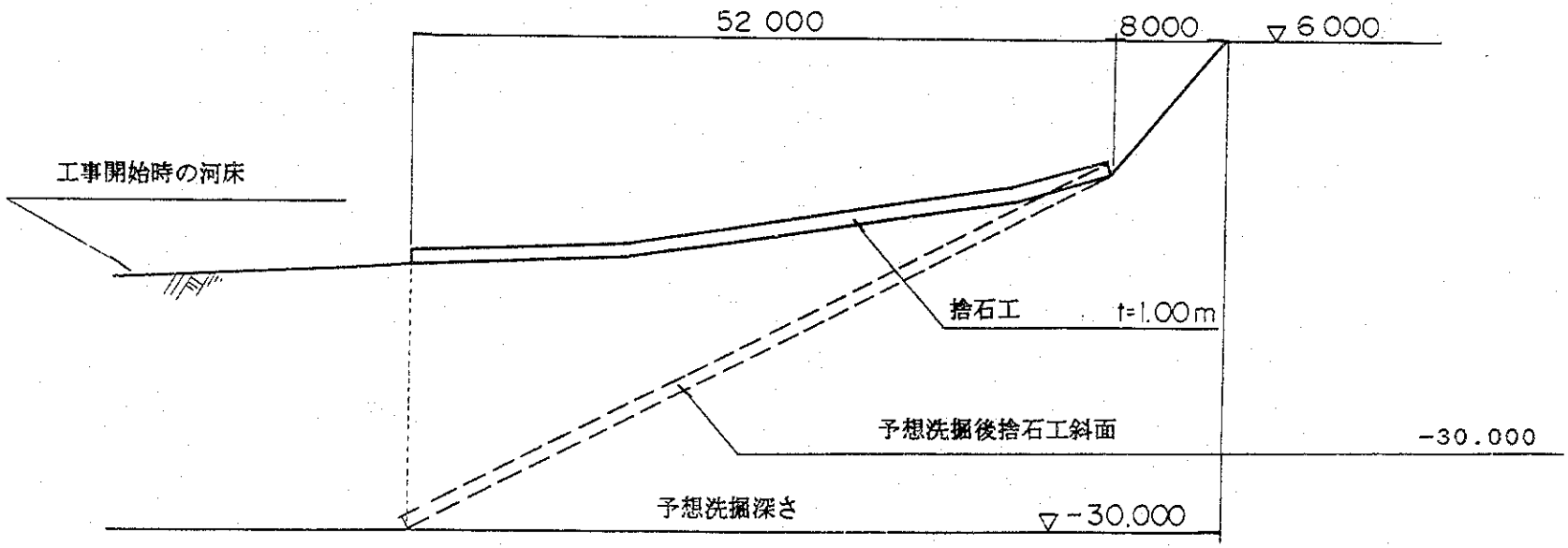


図7.12　ＡＬＴ－２ 計画案

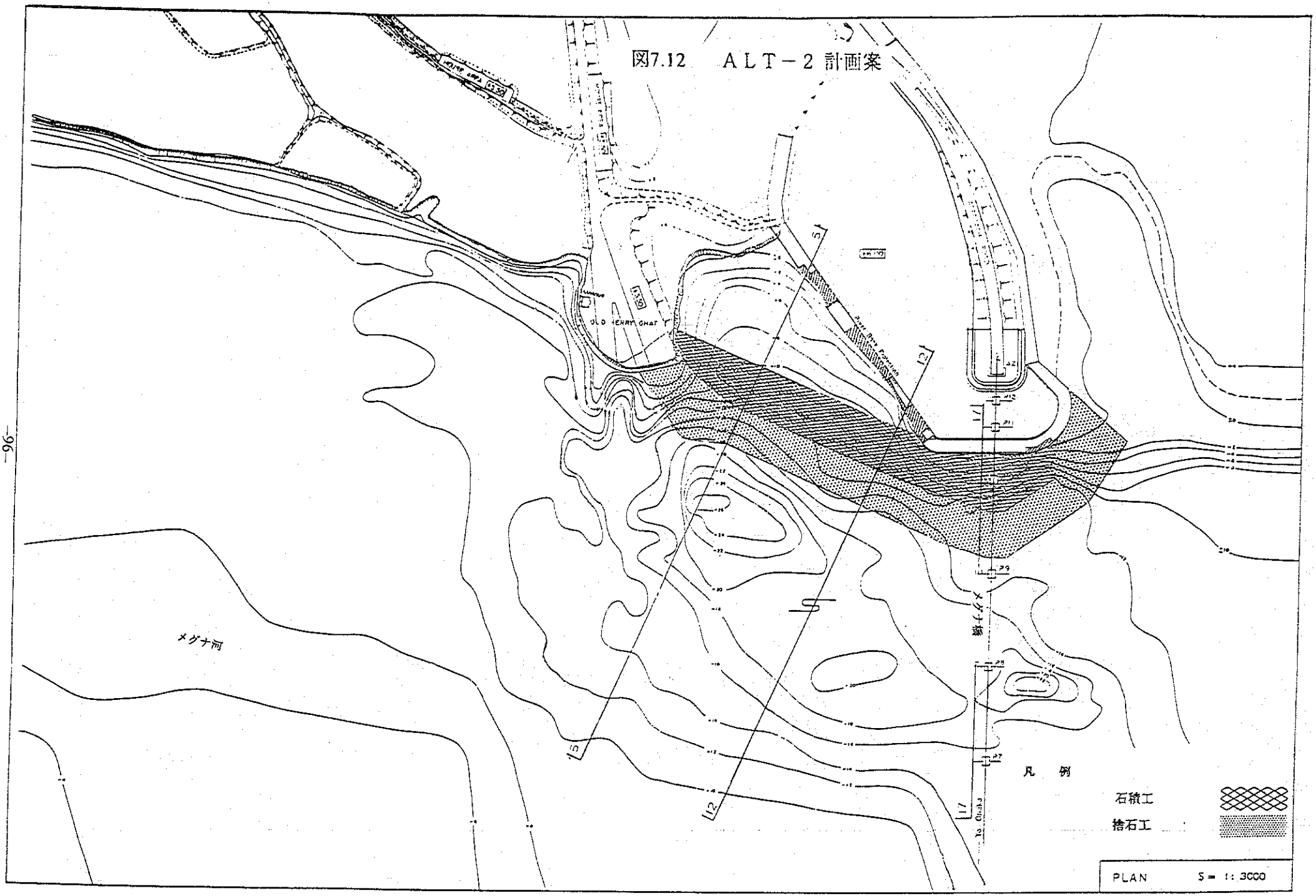


図7.13　ＡＬＴ－２ 防護工図

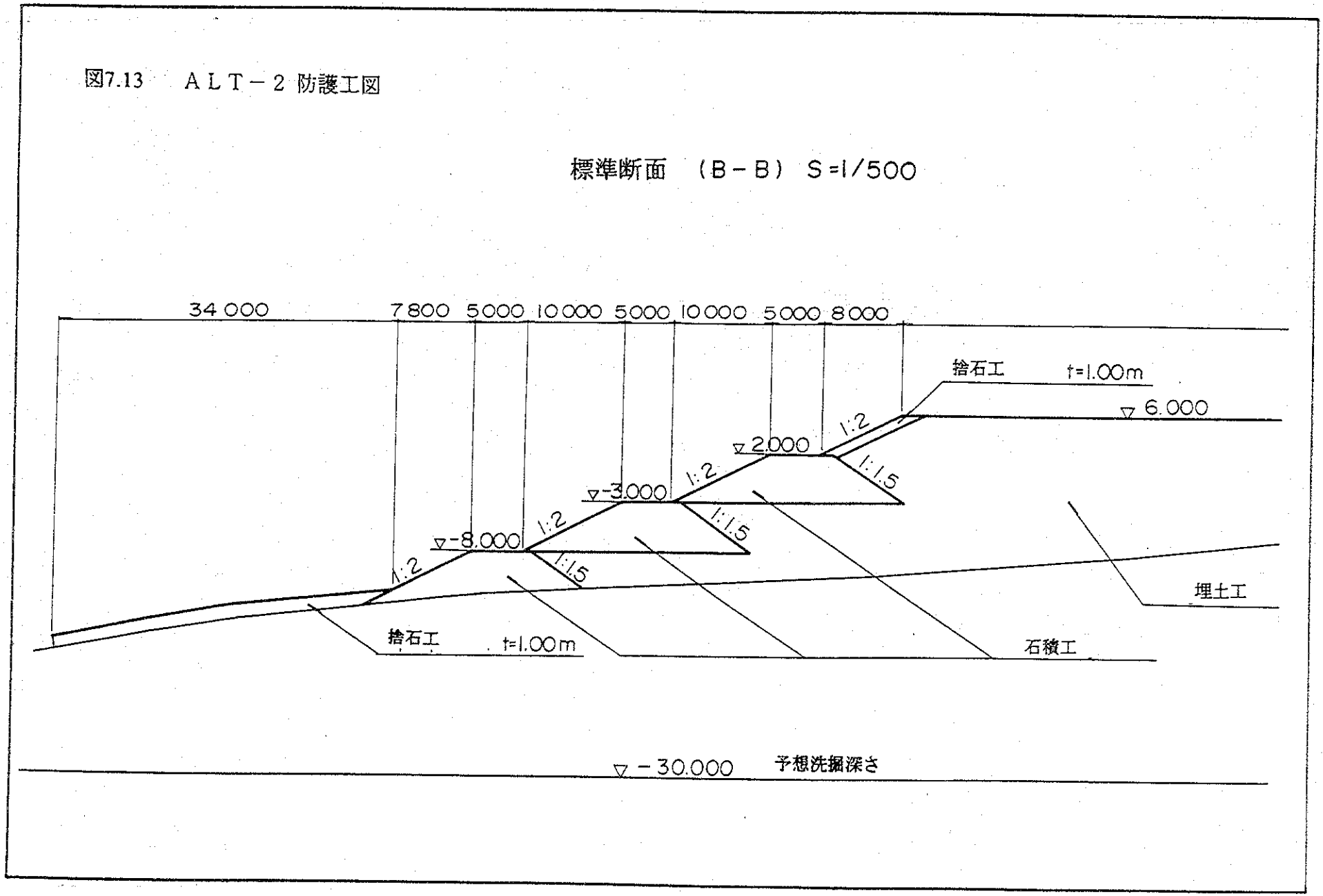


図7.14　ＡＬＴ－３ 計画案

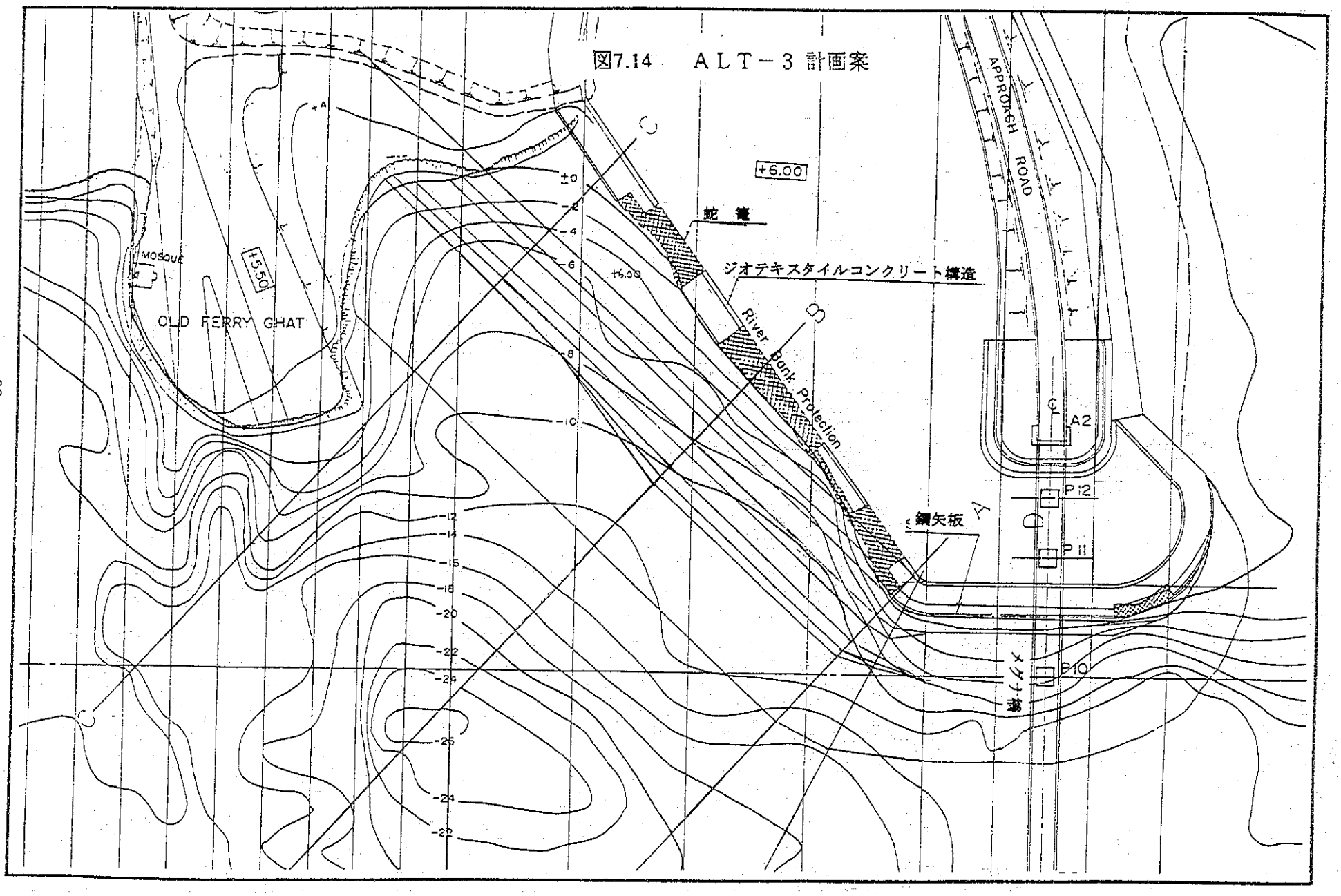
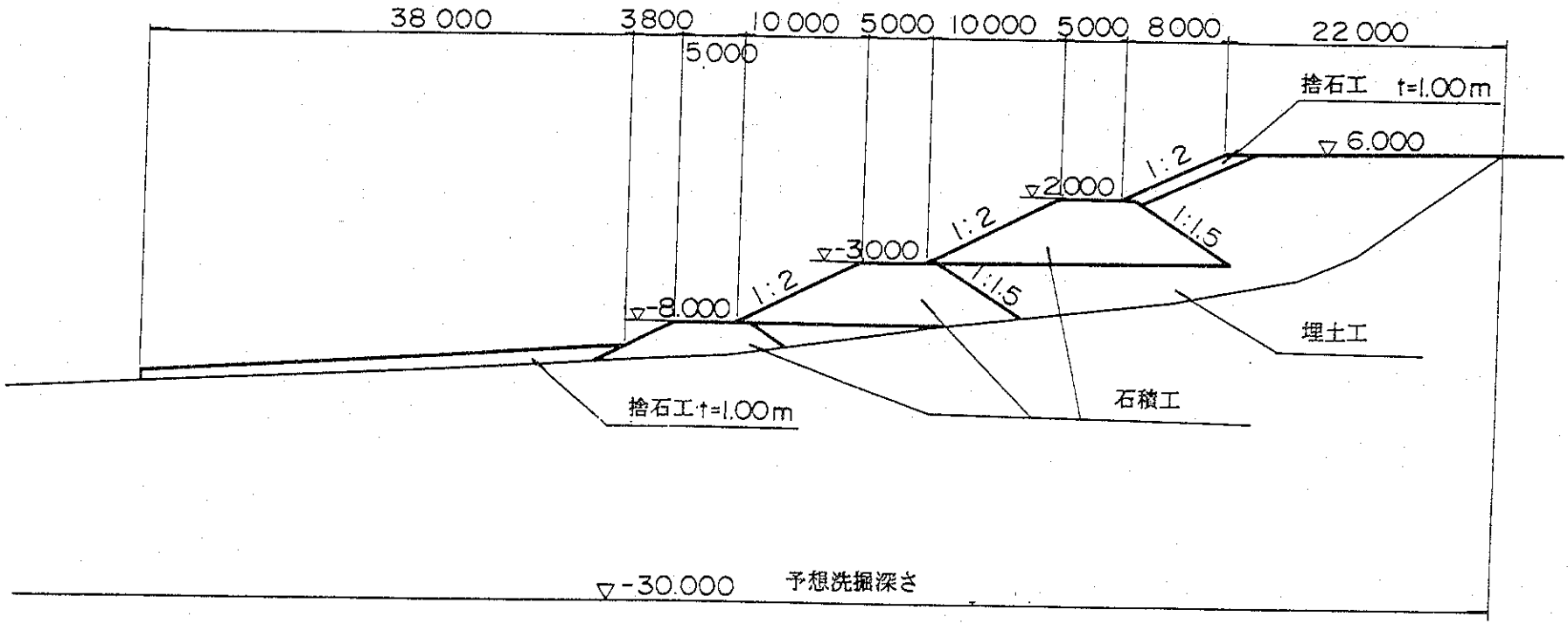


図7.15　ＡＬＴ－３ 防護工図

標準断面　（Ｂ－Ｂ）　Ｓ＝１/５００



7.3.2　護岸の安定計算

採用された捨石根固め工案について安定計算を行なった。図－7.16には法面を切る滑り面を想定した場合を、図－7.17には法面を離れた滑り面を想定した場合の安定計算結果を示す。
前者は安全率1.3、および、後者は安全率1.2であり、構造物は安定している。

	X (M)	Y (M)	R (M)	FS	MR (T.M/M)	MS (T.M/M)
1	90.00	75.00	40.00	1.280	5335.33	4169.63

* SOIL CONDITION & SEISMIC COEFFICIENT

	GAMMAT (T/M³)	GAMMAS (T/M³)	GAMMA (T/M³)	PHAI	CO (T/M²)	K	YO (M)	KH	KV
1	1.800	1.900		30.00	0.000	0.000	0.0		
2	2.000	2.100		37.50	0.000	0.000	0.0		
3	1.800	1.900		32.00	0.000	0.000	0.0		
4	1.800	1.900		33.00	0.000	0.000	0.0		
5	1.800	1.900		36.50	0.000	0.000	0.0		
6	1.800	1.900		41.00	0.000	0.000	0.0		

* C = CO + K (YO−Y)

メグナ護岸工（ケース１）

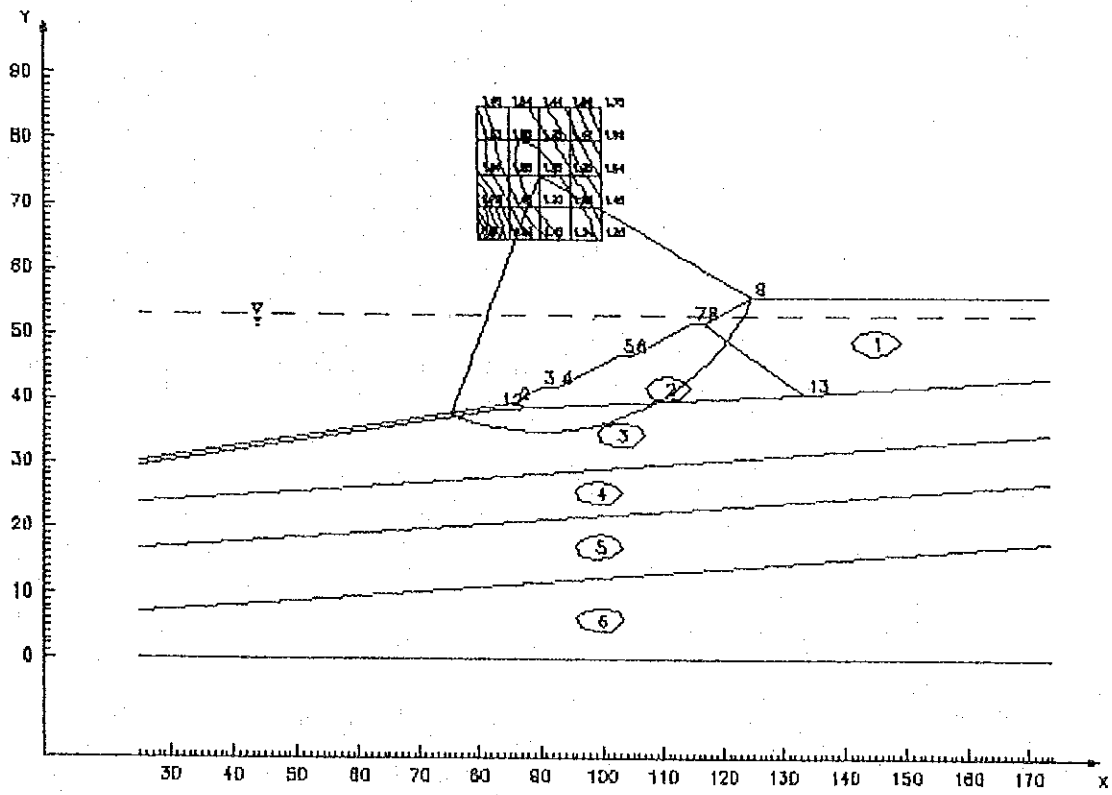


図7.16　法面安定計算結果（Case－１）

	X (M)	Y (M)	R (M)	FS	MR (T.M/M)	NS (T.M/M)
1	85.00	50.00	25.00	1.192	1102.76	925.33

* SOIL CONDITION & SEISMIC COEFFICIENT

	GAMMAT (T/M³)	GAMMAS (T/M³)	GAMMA (T/M³)	PHAI	CO (T/M²)	K	YO (M)	KH	KV
1	1.800	1.900		30.00	0.000	0.000	0.0		
2	2.000	2.100		37.50	0.000	0.000	0.0		
3	1.800	1.900		32.00	0.000	0.000	0.0		
4	1.800	1.900		33.00	0.000	0.000	0.0		
5	1.800	1.900		36.50	0.000	0.000	0.0		
6	1.800	1.900		41.00	0.000	0.000	0.0		

* C = CO + K (YO-Y)

メグナ護岸工（ケース２）

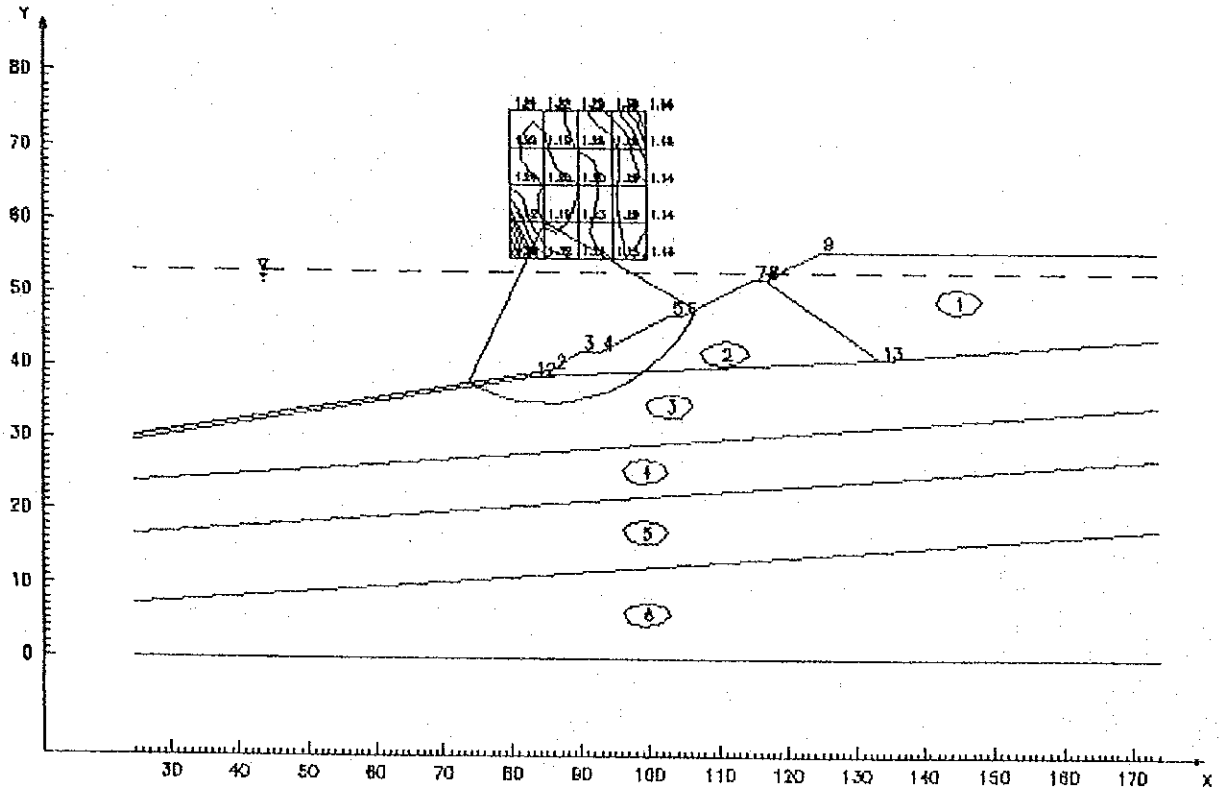


図7.17　法面安定計算結果（Case－２）

7.3.3 基本設計図および概算設計数量

基本設計図は、工事費の積算を目的とした設計数量の算定に必要な程度と範囲で作成した。計画平面図と標準断面図を図－7.18～図－7.19に示す。

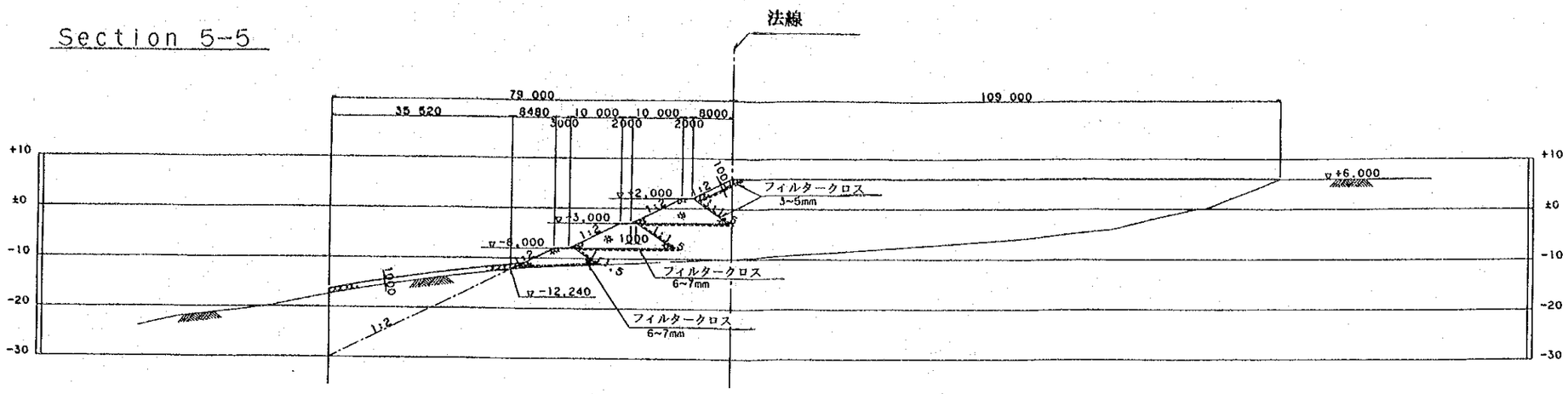
概略設計図に基づいて捨石護岸設計数量を下記のように取りまとめた。

- 河床均し工　4,461m^2
- 石積工　39,629m^3
- 埋土工　230,124m^3
- 捨石（水面下）　20,408m^3
- 蛇籠工　4,247m^3
- 埋土均し工　18,000m^2
- 吸い出し防止工　31,463m^2

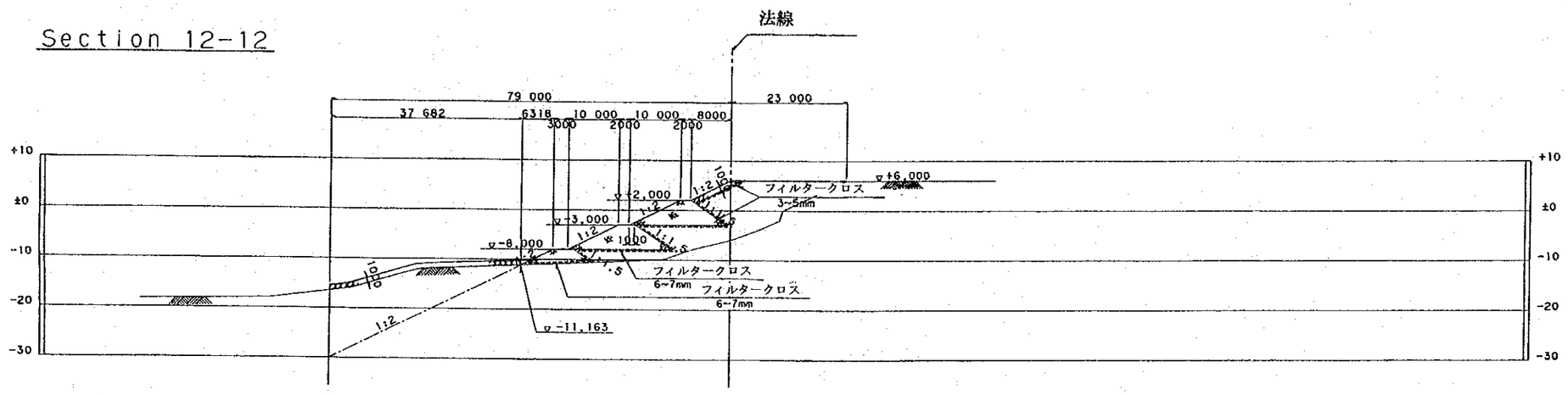
HOUSE AREA
+5.50
HOUSE AREA
+5.50
HOUSE AREA
+5.50
モスク
旧フェリーボート発着場
+6.00
河岸防護
APPROACH ROAD
A2
P12
P11
P9
P8
P7
メグナ橋
To Dhaka
メグナ河
凡 例
石積工
捨石工
S = 1: 3000

図7.18　計画平面図

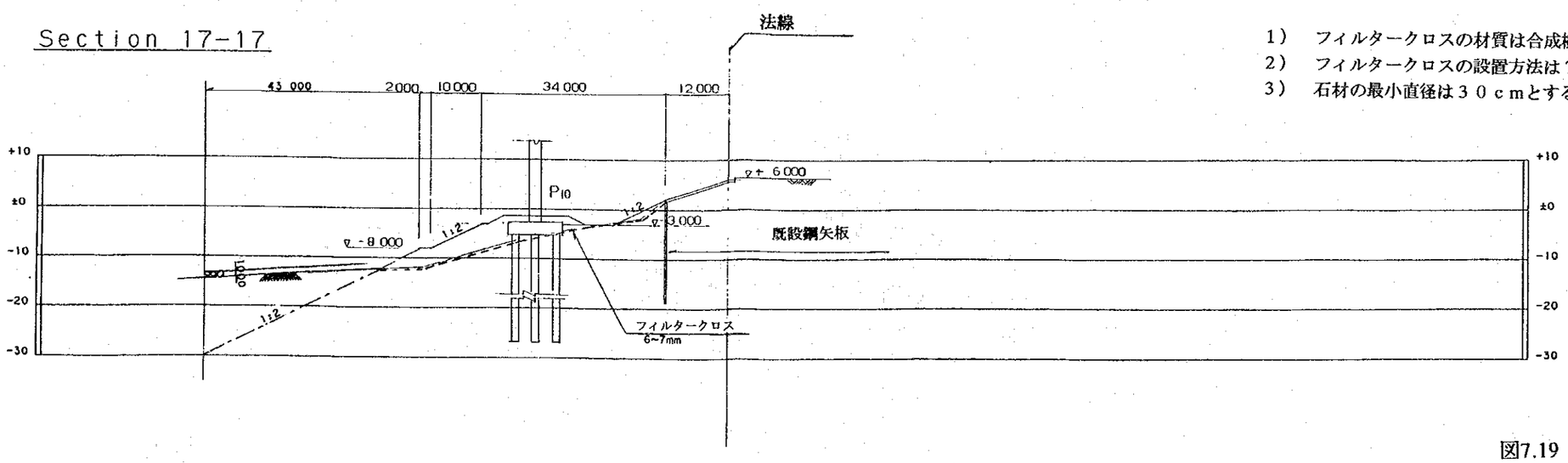
Section 5-5



Section 12-12



Section 17-17



注：

1） フィルタークロスの材質は合成樹脂製とした.
2） フィルタークロスの設置方法は7．4施工計画を参照.
3） 石材の最小直径は３０ｃｍとする.

図7.19　計画横断図

断　面　S＝1：1、000）

7.4 施工計画

7.4.1 施工方針

本工事は、１９９０年６月に開通したメグナ橋近辺のコミラ側河岸において、メグナ河の蛇行によって崩落した護岸を中期的目標により修復・補強するものである。
本工事の施工方針は、次のように要約される。

（１）バングラデシュ国において調達可能な資機材を最大限に活用し、長期的視野において同国政府による維持・管理が円滑に行なえるように配慮する。

（２）工事の性質上（築提）、主な水中部分の施工は次雨期が始まるまでに極力完成させる。

（３）埋め立て工については、コストおよび工期的に有利な浚渫船を使用すべきであるが、その場合には施工時において、一般航行船舶の航路を安全に確保する必要がある。

（４）工事の施工管理には、ダッカ側に位置するメグナ橋建設工事で使用した事務所を使用するが、工事施工の制約上、昼夜施工となる場合もあるので、工事施工管理・材料の検査、検収のためコミラ側に簡易事務所を設置する。

（５）建設資機材の輸入は、モングラ港を使用する。

7.4.2 施工上の留意事項

本工事における主な施工上の留意事項は下記のとおりである。

（１）潜水夫

工事の大半が水中施工となるので、熟練された潜水夫を従事させることにより施工精度を高める必要がある。
当国においては、潜水夫の数は多くはないが、メグナ橋施工時に従事した潜水夫は熟練されており、水中切断等の高等技術も会得している。

（２）石材の調達

石材はインドとの国境付近で、施工場所の北部に位置する山岳部シレット地方より調達されるが、大量な石材の確保のためにＲＨＤ等の協力を得る必要がある。

（３）輸入資機材

資機材の輸入は、工事全体の工程に大きな影響を及ぼし、乾期中に水面下の工事を完成できなくなるので、円滑な輸入手続きおよび速やかな関税の支払いが要求される。

７．４．３　施工・管理計画

（１）施工計画の検討

１）メグナ橋における施工実績の検討

メグナ橋の施工実績を検討・分析の結果、次の事項が判明した。

・　資機材調達の主要港をチッタゴン港と想定していたが、同港の荷揚げ設備は超繁忙のため、モングラ港を使用した。

・　水運国のバングラデシュであるが船舶、台船、曳船、天馬船等の水上工事機材が不足しており、ほとんど日本から持ち込んで使用した。

・　メグナ河の河床は、シルト系の細粒砂で形成されており、乱流等の原因により洗掘され易い。よって、石積による提体と不腐食繊維の土砂吸い出し防止シートの併用が効果的である。

・　最低水位以上の露出部分には、景観、損傷防止等の理由により蛇籠または布団籠が有効である。

・　効果的に使用できる石材の種類は、次の三種類である。

Bolder	７５～３００mm位の大きさ
Botu	５０～１５０mm位の大きさ
Shingle	５～５０mm位の大きさ

・　埋め立て工事に使用する浚渫船は、埋め立て土量、工期と土砂搬送距離から鑑みて、メグナ橋で使用した能力程度の浚渫船が必要である。

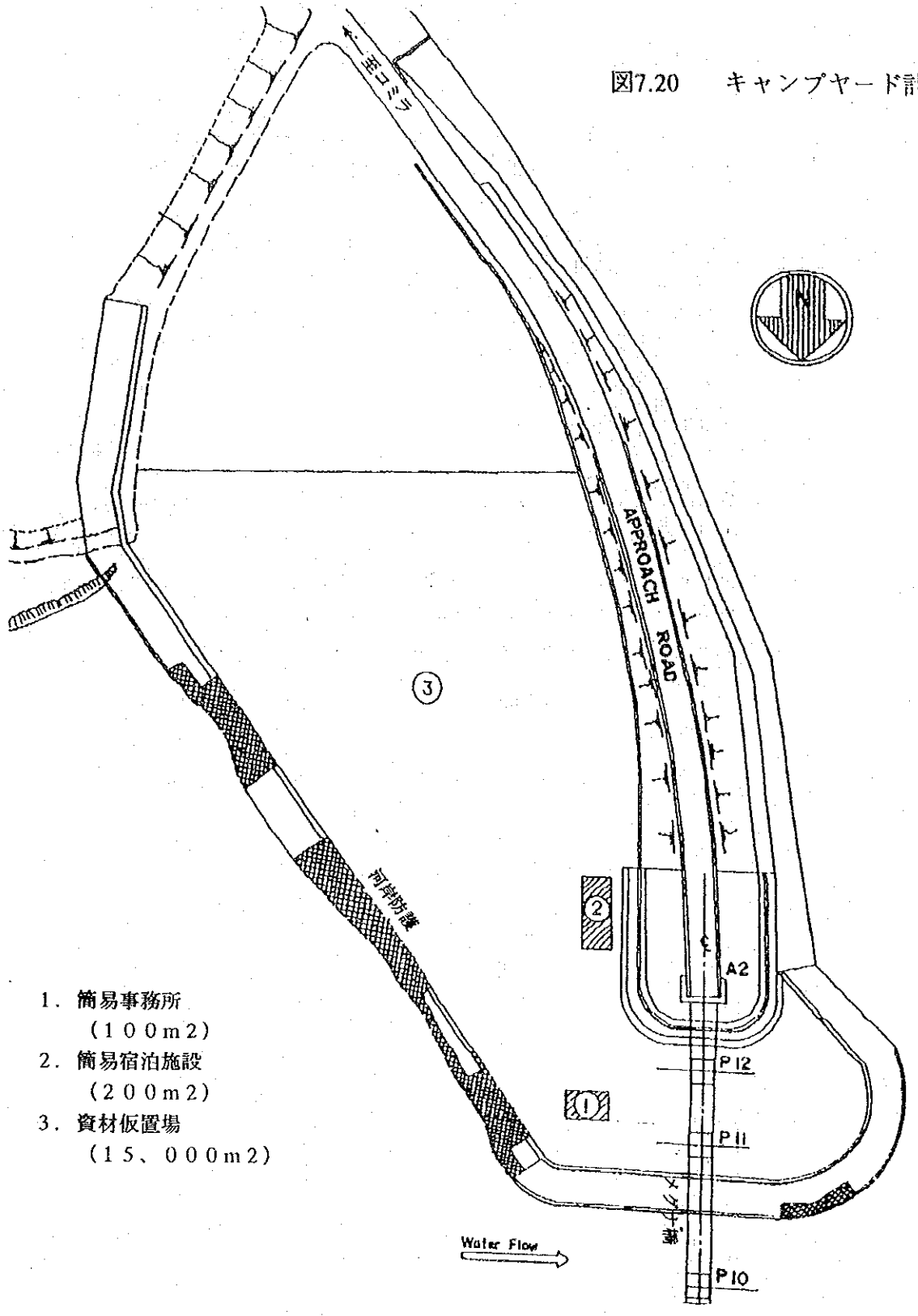
2）工事期間の検討

本工事はその特異性より、次雨期の高水位の発現までに完成させ、メグナ橋左岸（コミラ側）近辺の護岸を洗掘から守らねばならない。
また、メグナ橋建設工事の実績と工事開始時期ならびに石材の調達計画等を考慮して検討すると、主な工事は水位がR.L＋4.00mに達するまでに完成させるのが有利である。
したがって、全体工期は工事施工時期により変動はあるが、図7.21に示すように8ヶ月程度となる。

3）工事用キャンプヤードの検討

基本的には右岸（ダッカ側）に位置するメグナ橋建設当時の施設を使用するが、工事が昼夜にわたるために左岸（コミラ側）上流の既存造成場所に、工事施工・管理と石材の品質管理等を目的とした簡易事務所や工事従事者用の簡易宿泊施設を設置する。
また、蛇籠の作製用と石材の仮置きのために、約15,000m^{3}のストックヤードを確保する。（図7.20　キャンプヤード計画図　参照）

図7.20　キャンプヤード計画図



4）仮設および直接工事の施工

以下に主要工事項目別の施工方法について概記する。

a）準備工

・ 施工前測量を実施し、河床の状態を確認する。
・ 用地を受渡してもらい、必要施設を設置する。
・ ガイド杭や係船杭を設置する。

b）資機材の調達

・ 現地にて購入可能な資機材（石材）を調達する。
・ 輸入資機材を調達する。
・ 輸入許可等の手続きをする。

c）土砂吸い出し防止工

土砂吸い出し防止シートは次の手順により敷設施工する。

① 河床に局部的な不陸および異物が無いか確認する。
② 所定の位置に敷設施工できるように、ガイド杭を打設しロープを張る。
③ 台船上に乗せたクレーンによりロール状に巻いた土砂吸い出し防止シートを河床の所定の位置に据える。
④ 潜水夫により土砂吸い出し防止シートの端末を杭等で固定する。
⑤ ガイドロープに沿って、潜水夫により土砂防止シートを引き延ばす。
⑥ オーバーラップする部分を除き、要所要所に大きめの玉石を重石として置き、速やかに石を投入しシートがズレないように押さえる。
⑦ ①から⑥の作業を繰り返す。

d）石積み工

① 予め所定の石積み位置を測量し、浮き玉やブイ等によって表示する。

② 石材を満載した台船または、自航船を所定の位置に係船し、機械あるいは人力によって石を投入する。
③ 石材の投入時は、適時潜水夫に施工状況を確認させると共に、適切な頻度で音響測深機を使用し深浅測量を実施し施工精度を高める。
④ 投入石材の大きさを適度に変え、空隙の目潰しを行ない、石積み自体の密度を高めることにより堅固なものとする。

e）捨石工（石積み法尻根固め工）

施工方法はｄ）石積み工に準じるが、表面を極力平坦に仕上げると共に最低必要厚さを確保する。

f）蛇籠工

蛇籠は次の手順により据え付ける。

① 埋め立てた法面を十分転圧・整形し、所定の法線および勾配に仕上げる。
② 土砂吸い出し防止シートを切れ目なく敷設する。
③ 蛇籠を隙間が開かないように均一に据え付ける。

g）埋め立て工

埋め土の材料は、対岸（ダッカ側）から採取することが効率的であり、経済的であるので浚渫船を使用することが有効である。しかし、この場合、排砂管が航路を塞ぐので、排砂管の一部をオーバーヘッドか水中に配管し、一般船舶の航路の確保が必要である。

h）埋め土整地工

浚渫船にて埋め立てた土砂は、水分の除去を速やかに実施し、ブルドーザー等の建設重機により転圧し所定の高さに整地する。

i) 橋脚防護工

メグナ河の河道および流芯線の変化に因って洗掘されつつあるＰ７とＰ８を保護するため、フーチングおよび橋脚まわりに石材を投入する。施工方法は、ｅ）の捨石工に準じる。

j) 片付け工

工事の完了後、速やかに使用した輸入機械をバングラデシュ国より持ち出し、借用していたキャンプヤードおよびストックヤードを原形復旧し返還する。

（２）使用建設機械の検討

本工事で使用する主要な建設機械は次のとおりである。

1) クレーン付き台船（５０トン吊り、クラムシェルバケット共）

① ガイド用および係船用の杭を河川内に打設する。
② 土砂吸い出し防止シートを所定の場所に移動する。
③ 蛇籠を水中の所定の位置に据え付ける。

2) 杭打設機械

ガイド用杭および係船用打設のため、下記機械を使用する。

・バイブロハンマー　　６０KW
・発電機　　２５０KVA

3) 材料台船（３００トンクラス）

石材料等の資材をストックヤードから所定の作業場所まで運搬する。

4) タイヤローダーとダンプトラック

① ストックヤードの石材等を台船に積み込む。
② ストックヤードの石材等を場内小運搬する。

5）埋め立て作業関連機材

埋め立て工事用に浚渫船を配備し、工期の短縮化を図る。その結果、埋め立て工事は約４ヶ月で完了する予定である。また、この工事に関連する主要施工機材は下記のとおりである。

・ 非航ポンプ浚渫埋め立て作業船		２,２５０PS
	浚渫土	細砂質土
	排送距離	１,０００m
	排砂管径	６６０mm
・ 揚錨船		２４０PS
・ 作業船		２００PS

6）曳航船（４００ PS クラス）

クレーン台船、浚渫船や材料台船の移動に使用する。

7）エアーコンプレッサーおよび潜水具

潜水作業に必要な機器等。

8）仮設資機材

照明器具および発電機（１００KVA）

（3）工事管理

本工事は技術的に難しい種類のものではないが、工期の制約のために、工程管理（資材、機械、労務管理）が、また水中施工のために出来形管理が重要である。したがって、工事業者は現地スタッフを主体に、日本人スタッフは最小限にする。なお、石積み工等は昼夜施工になるので、スタッフの増員を必要とする。

7.4.4　資機材調達計画

建設用資機材調達は、援助国である日本と被援助国（バングラデシュ）内の市場での入手を原則としているが、特に第三国からの調達が有利なものは、協議により認められている。

（1）日本から調達されるもの

- 土砂吸い出し防止シート
- 建設機材
- 仮設鋼材

（2）バングラデシュで調達されるもの

- 石材
- 建設機械、仮設鋼材（一部）

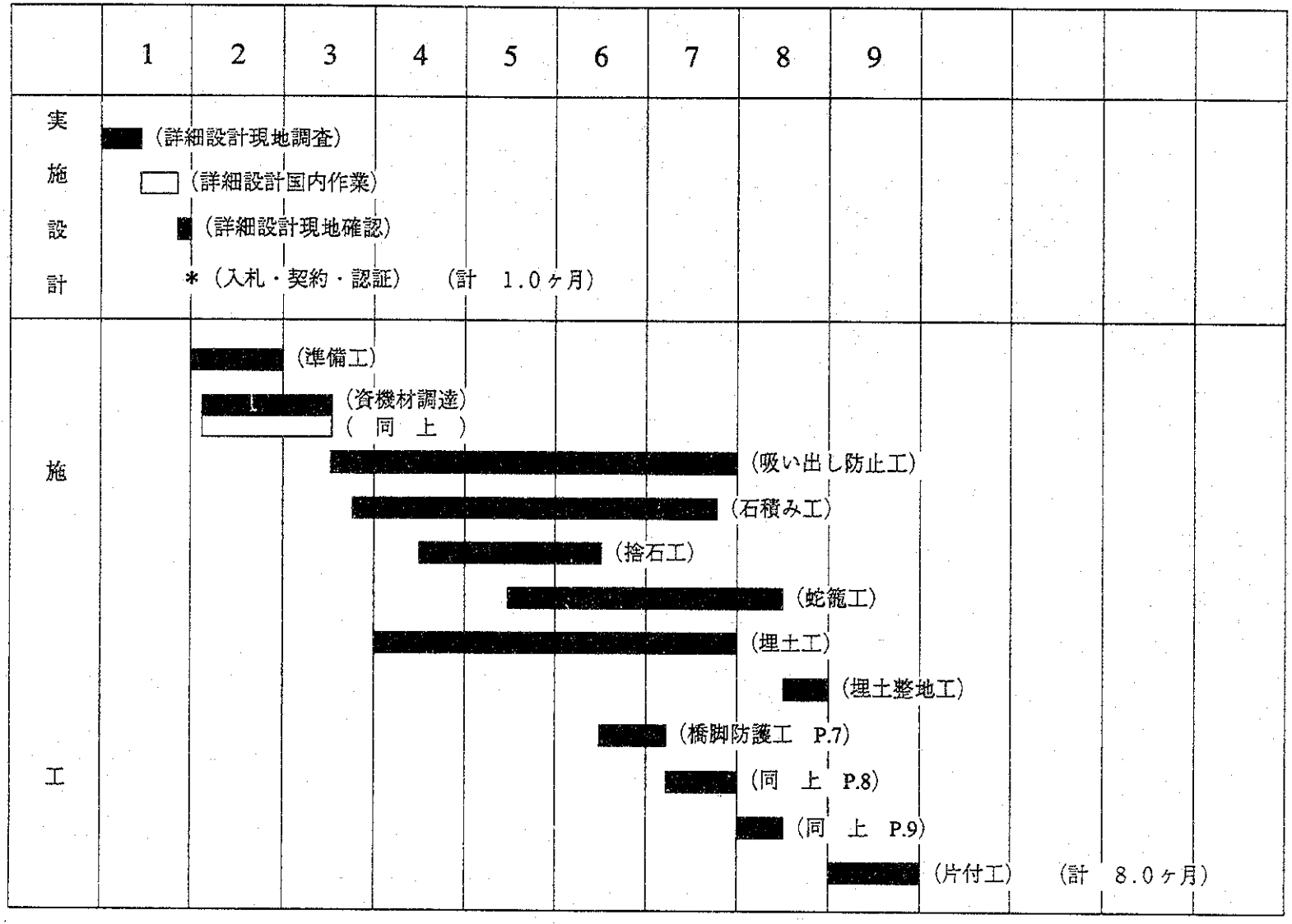
（3）本計画での調達ルート

- 建設業者の持ち込み資機材は、すべてモングラ港で国内輸送用のバージに積み替え、３００kmの河水路を経てメグナ橋のダッカ側キャンプヤードに仮置きし、必要に応じてコミラ側に運搬し使用する。
- 石材の搬入は、現地の業者を通じて船またはトラックを使用する。

7.4.5 実施工程

E／N締結後、詳細設計と入札図書作成に２ヶ月、その後の施設建設期間に８ヶ月を要する。これらを図にまとめると図７.２１のようになる。

図7－21　事業実施工程表



7.4.6 バングラデシュ国政府の負担行為

工事実施に伴うバングラデシュ国政府の負担行為は次のとおりである。

（1）既存設備の提供

メグナ橋工事で建設された工事関連施設の内、特に監督員事務所・試験室・現地人管理員宿舎の一部提供。また、コミラ側既埋立地の提供。

（2）輸入許可と関税の支払い

実質的な工事施工可能期間が短いため、資機材の輸入手続きの迅速化が要求されるので、早期の輸入許可と速やかな関税の支払いが絶対条件となる。

7.4.7 概算事業費

本計画を日本の無償資金協力により実施する場合に必要となる事業費総額は、約１１.２７億円となり、先に述べた日本とバングラデシュ国との負担区分に基づく双方の経費内訳は下記に示す積算条件によれば、次のとおりと見積られる。

（1）日本側負担金	１１.２７億円
1）建設費	１０.６５億円
・ 直接工事費	（９.０５）
・ 現場経費	（０.５５）
・ 共通仮設費等	（１.０５）
2）設計監理費	０.６２億円

（2）バングラデシュ国負担経費　０ 億タカ（ ０ 億円）

（3）積算条件

1）積算時点　　平成２年８月１日

2）為替交換レート　US＄１．００＝¥１３０．４１８
US＄１．００＝TK ３９．０５８
TK １．００＝¥３．３３９

3）施工期間　詳細設計を含めた事業の期間は、実施工程に示したとおり１０ヶ月間。

4）その他　本計画は日本国政府の無償資金協力の制度に従い実施されるものとする。

第８章　護岸の観測および維持管理に関する提言

第８章　護岸の観測および維持管理に関する提言

８.１　概　要

数多くの河川において、護岸や築堤の崩壊は極めて普通に見られる現象であり、地域の土地利用や住民に甚大な被害をおよぼしている。これらの崩壊の主な原因の一つは洗掘である。これは流れや波によって河岸や築堤を構成する土粒子が移動することを意味する。維持管理を適切に行なうことによって異常な兆候を検出し、また、適宜、対策工を施し、はじめて計画通りの安全性を維持することが可能となる。

バングラデシュではその国土のほとんどが、大きな被害ポテンシャルを内包する洪水氾濫地域に属するため、河川構造物の観測と維持管理はこの観点から極めて重要といえる。特に、河岸の後退と河川構造物の安全性を損なう河岸侵食は、継続的な観測と解析を必要とする主要な問題の一つである。

メグナ河の現況については、第５章で明らかにしたとおりであるが、その河道変遷および洗掘・堆砂性状が、将来どの様に推移するか不明な点が多い。今回、提案した護岸対策工は、コミラ側既設護岸と橋台の安全性を確保するため、短期的かつ局所的な復旧対策工事であり、メグナ河の流域全域にわたる洪水防御の観点から総括的に検討した上での中、長期的対策工ではない。メグナ河の中、長期的な河道安定を目的とした施策の立案のためには、より広範囲の水文・水理解析、氾濫特性の分析、河道断面・河床高の経年変化、洗掘・堆砂量の経年変化、砂洲の動きと蛇行特性の検討、土砂流送特性に関する分析、河床材料の調査等が必要となる。

また、今回行なった平面二次元流モデルによる数値解析についても、約３年間のみの水文データに基づいており、現況をより適切に表現しうるモデルを構築するには、洪水期の流量観測と河床変動調査による検証が不可欠である。

一方、バングラデシュ政府に望まれることは、護岸対策工の完成後、観測と維持管理のための組織・体制を確立し、対策工の安全性に関する継続的な観測と、必要に応じて予知できない洗掘等に対応すべく、迅速な防護策を講ずることである。この点においては、プラマプトラ河との合流点より約６０km上流のガンジス河に位置するハーディング橋（参照　添付図４.２）における石積み工の維持管理の経験が成功例として検討に値する。

ハーディング橋は、鉄道橋（橋長　約1,800m）として１９１５年イギリス人技師Sir. R.R. ガレスにより建設された。その橋台と連結された導流堤では、その斜面を洗掘から防御するため護岸に栗割石を使用している。この導流堤の建設のため、約百万m^3の土砂と約０.６百万m^3の栗割石を使用した。さらに、約80,000m^3の石材が維持管理のために現地に用意されていた。

完成後も、繰り返される洪水のために、築堤前面と橋脚周辺に激しい洗掘が発生したため、洗掘部に栗割石が投入された。石積み保護工の表面をモニターするため、河道部と橋脚周辺でエコーサウンダーによる深浅測量を実施している。あらかじめ設定された危険水深を洗掘深が越えた場合、ただちに石積みによる改修工事が行なわれた。橋台と築堤の安定を損なう異常な洗掘を防ぐため維持管理の方法が確立された。これによって、現在、橋梁周辺の河床はかなり安定している。測量作業と石材導入のためにかかる維持管理費用は年間約百万タカと見積られている。

８.２　護岸建設後の必要な観測・維持管理

８.２.１　コミラ側護岸の観測

メグナ橋コミラ側河岸の護岸保護のための工事終了後、異常洗掘と滑りを観測するため、第７章で考案した石積み工の定期的な観測が必要である。年間を通じて、新規の石積み工のほとんどが水中に没するため築堤の断面を計測するため、エコーサウンダーによる観測が必要である。石積み工に沿って、計測断面は施工直後にあらかじめ設定しなければならない。断面の間隔は約３０ｍとする。観測結果は水位と観測時刻を明記し、時系列的な比較のため、断面図として整理する。
この観測作業は暫定的に下記のとおりの頻度とスケジュールで行なうものとする。

- １回目　：　完成直後
- ２回目　：　１９９３年１０月ないし１１月（洪水期以後）
- ３回目　：　１９９４年４月ないし５月（乾期以後）
- ４回目以降　：　２回目と３回目と同様の時期（１９９４年以降）

８.２.２　河道状況の観測

メグナ橋周辺の河床変動を調べるため、定期的に河道断面の測量を行なう必要がある。現在まで、１９８９年４月、１９９０年１月、１９９２年１月および６月の４回行なわれている。これらと、今後行なわれる測量結果は、この調査計画で行なった方法にしたがって随時見直しが求められる。

洗掘と堆砂に対する洪水の影響を検討するために、１９９２年６月の測量の際に設置された同じ基準点を用いて、洪水期直後の10月ないし11月に実施することとする。また、横断面の比較を速やかに行なうため、同じスケールで図面を用意する。さらに、河川横断測量時に橋脚地点の局所洗掘に対する安全性を確保するため橋梁地点の断面も観測することとする。

さらに、今回提案した護岸工事の観測・維持管理のため、基本設計調査で行なわれたように、バングラデシュ工科大学の技術陣の参画を提案したい。

8.2.3 維持管理に関する提言

本調査において提案した護岸対策は、短期的対策を目的とした護岸構造であるため、施工後における維持管理が重要となってくる。
維持管理の方法は、前述したハーディング橋における維持管理方法が、本件においても成功例として参考になると思われる。
本工事終了後にバングラデシュ国側において行なわれる維持管理を、ハーディング橋の実績から、以下のように想定する。

① 石積工４万m^3の１０％（4,000m^3／年）を毎年備蓄する。

② 備蓄３年後から、被害を受けた箇所の補修を行なう。

上記に要する費用は、約１2,320千タカ／年と見積られる。

8.3 事業の効果

本プロジェクトの事業効果は次のとおりである。

計画の効果・改善の程度	本プロジェクトの位置するメグナ橋は、ダッカ－チッタゴン道路の重要な施設である。さらに、この道路は既存幹線道路の中で最も交通量が多く、バングラデシュ国の社会・経済において最重要な路線であるので、他の路線より優先的に整備されてきている。このような状況において、メグナ河の拡大する河岸侵食からメグナ橋梁地点を防護することは、メグナ橋梁を含む道路の機能保持に寄与する。また、本プロジェクトの実施による具体的効果は下記のとおりである。 ・ 橋梁地点の河岸侵食の防止 ・ 捨石堤による護岸は維持管理を必要とするが、その管理計画の確立によって、今後発生する他の類似プロジェクトに適応出来る。 ・ 本プロジェクトの実施により現地の地域経済に以下の貢献が期待される。 1）資機材がほとんど現地調達であることから、現地建設関連産業の生産増が期待される。 2）工事期間中の現地労働力の雇用増が期待される。 3）以上の波及効果として、地域の所得増が期待され、地域社会経済が活発化される。
本計画での対策	護岸工法としては、（A）鋼管矢板壁防護工、（B）捨石堤工、（C）鋼管矢板壁防護工＋捨石堤工の３案を比較検討（技術面、経済面等）した結果、一般的現地施工法である（B）案を採用した。 材料は現地産の石材が主体であるが、土砂の吸い出し防止シートは、日本からの調達による不腐食組織のものとした。また、築堤の後背地の埋立土は、河岸からの浚渫土とした。
現状と問題点	ダッカ－チッタゴン道路には、円滑な交通の障害となるフェリー渡河をよぎなくされている場所が２箇所あった。この障害を除くため、メグナ河に架かる橋梁が、我が国の無償資金協力により着工され、現在はすでに完成して、バングラデシュ政府に引き渡されている。また、残る１箇所のフェリー渡河に替わるメグナグムティ橋も、現在メグナ橋同様、我が国の無償資金協力により工事を実施しつつある。 こうした中で、昭和６２年には４０年ぶりの、翌６３年には史上最大の洪水がバングラデシュに襲来した。このような洪水による急激な河道　変化によって、メグナ河周辺の護岸は大きく侵食されてきた。さらに、平成３年には、メグナ橋の上流が洗掘により崩壊を起こし、新設のメグナ橋まで侵食が拡大する危険性が生じてきた。

資　料　編

付　録

付録－1　基本設計調査団員名簿 …… A - 1
付録－2　面会者リスト …… A - 2
付録－3　議事録（１９９２年６月１７日） …… A - 4
付録－4　議事録（１８８２年９月） …… A - 8
付録－5　参考文献 …… A - 12

付録－1　基本設計調査団員名簿

担　当	氏　名	所　属
団　長	渡辺　正幸	国際協力事業団 国際協力総合研修所 国際協力専門員
調査監理	岩間　敏之	国際協力事業団 無償資金協力調査部 基本設計調査第二課
橋梁計画	中山　武志	㈱ パシフィック コンサルタンツ インターナショナル
河川計画	元木　佳弘	日本工営 株式会社
自然条件調査	松澤　勝文	日本工営 株式会社

付録－2　面会者リスト

日本側

在バングラデシュ日本大使館

伊藤　哲郎	公　使
大田　武志	一等書記官
いとあかし	二等書記官

ＪＩＣＡ事務所

今津　　武	所　長
成瀬　　猛	次　長

バングラデシュ側

Ministry of Planning

Dr. K.M. Febiduddin	Member of Planning Commission
Mr. Amir Ali Khan Majlash	Joint Chief

Ministry of Communication (MOC)

Mr. Moonzur UL Earim	Secretary
Mr. A. Rakib	Joint Secretary
Mr. Azizur Rarman	Assistants Secretary
Mr. A. Quadir	Staff

Roads and Highways Department (RHD)

Mr. Ataur Rahman	Chief Engineer
Mr. Nural Azamkhan	Project Director of Meguna-Gumti Bridge Construction Project
Mr. Abdul Halim Miah	Project Manager of Meguna-Gumti Construction Project
Mr. Sohrabuddih Meah	Sub-Divisional Engineer

Bangladesh Technical College

Mr. K Horshed Alam	Chief Professor
Mr. Ainum Nishat	Professor
Mr. Abdul Hannan	Professor
Mr. Muhammad Ali	Assistants Professor
Mr. Abdul Mafin	Assistants Professor
Mr. Monowas Hassui	Assistants Professor

議事録（１９９２年６月１７日）

MINUTES OF DISCUSSIONS BASIC DESIGN STUDY ON THE PROJECT FOR PROTECTING REVETMENT ON THE BANK OF MEGHNA RIVER IN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF BANGLADESH

In response to a request from the Government of the People's Republic of Bangladesh, the Government of Japan decided to conduct a Basic Design Study on the Project for the protecting revetment on the bank of the Meghna river in the People's Republic of Bangladesh (hereinafter referred to as "the Project") and entrusted the study to the Japan International Cooperation Agency (JICA).

JICA sent to the People's Republic of Bangladesh a study team, which was headed by Mr. Masayuki WATANABE, Special Advisor for Civil Engineering Development, Institute for International Cooperation, JICA, and is scheduled to stay in the country from June 14 to July 2, 1992.

The team held discussions with the officials concerned of the Government of Bangladesh and conducted a field survey in the study area.

In the course of discussions and field survey, both parties have confirmed the main items described on the attached sheets. The team will proceed to further works and prepare the Basic Design Study Report.

17, June, 1992

Mr. Masayuki WATANABE
Leader
Basic Design Study Team
JICA

Mr. Md. Ataur Rahman
Chief Engineer
Roads and Highways Department
Roads and Road Transport Division
Ministry of Communications

ATTACHMENT

1. Objective

The objective of the Project is to take emergency safety measures to protect Meghna Bridge at the Comilla side.

2. Project sites

Along the river bank on the Comilla side in the upstream and downstream reaches of the Meghna Bridge.

3. Responsible organization, executing organization

Responsible organization for the Project is Economic Relations Division, Ministry of Finance, Government of Bangladesh.

Executing organization for the Project is Roads and Highways Department, Roads and Road Transport Division, Ministry of Communications, Government of Bangladesh.

4. Items agreed by both sides

After discussion with the Basic Design Study Team, the following items were finally agreed by both sides.

1) This is an urgent rehabilitation project.

2) The improvements shall cover the indicated area as shown in Annex-1.

3) The type of improvements shall be determined considering the complexity and nature of the problem in addition to the availability of materials and equipment and suitability of maintenance works that would be done by the Bangladesh side.

5. Japan's Grant Aid System

1) The People's Republic of Bangladesh has understood the system of Japanese Grant Aid explained by the team.

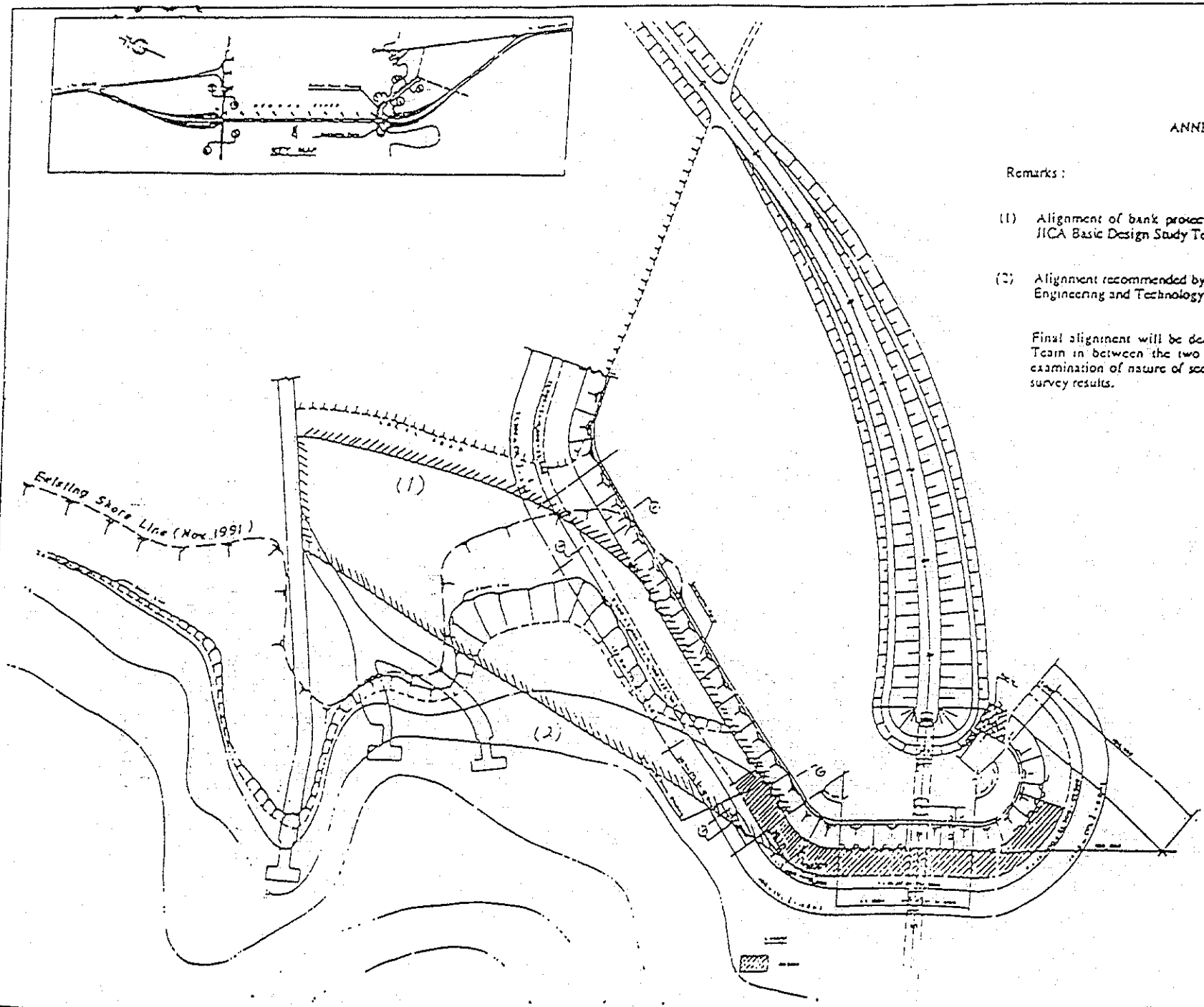
2) The Government of Bangladesh will take necessary measures, described in Annex-2 for smooth implementation of the Project, on condition that the Grant Aid Assistance by the Government of Japan is extended to the Project.

6. Schedule of the Study

1) The study team will proceed to further studies in People's Republic of Bangladesh until July 2, 1992.

2) JICA will prepare the interim report in English which covers the draft final design of the revetment work, and dispatch a mission in order to explain its contents around September 1992.

3) JICA will complete the final report and send it to the Government of Bangladesh by November, 1992.



ANNEX-1

Remarks :

(1) Alignment of bank protection preliminary proposed by JICA Basic Design Study Team

(2) Alignment recommended by the Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka

Final alignment will be determined by the JICA Study Team in between the two alternatives through further examination of nature of scouring as well as topographic survey results.

ANNEX-1

ANNEX - 2

Following necessary measures should be taken by the Government of Bangladesh in case Japan's Grant Aid is executed.

1) To secure the site for the Project.

2) To clear and level the site prior to commencement of construction, if necessary.

3) To bear commissions to the Japanese foreign exchange bank for the banking services based upon the Banking Agreement.

4) To ensure necessary taxes and to take necessary measures for customs clearance of the materials and equipment brought for the Project at the port of disembarkation.

5) To exempt Japanese nationals engaged in the Project from customs duties, internal taxes and other fiscal levies which may be imposed in Bangladesh with respect to the supply of the products and the services under the verified contracts.

6) To accord Japanese nationals whose services may be required in connection with the supply of the products and the services under the verified contracts such facilities as may be necessary for their entry into Bangladesh and stay therein for the performance of their work.

7) To maintain and use properly and effectively the facilities constructed and equipment purchased under the Grant.

8) To bear all the expenses other than those to be borne by the Grant.

議事録（１９９２年９月）

MINUTES OF DISCUSSIONS
BASIC DESIGN STUDY ON THE PROJECT FOR PROTECTING REVETMENT ON THE BANK OF MEGHNA RIVER THE PEOPLE'S REPUBLIC OF BANGLADESH

In September 1992, the Japan International Cooperation Agency (JICA) dispatched a Basic Design Study team on the Project for Protecting Revetment on the Bank of Meghna River (hereinafter referred to as "the Project") in the People's Republic of Bangladesh, and through discussions, field survey, and technical examination of the results in Japan, has prepared the interim report of the study.

In order to explain and to consult the Bangladesh side on the components of the interim report, JICA sent to Bangladesh a study team, which is headed by Mr. Masayuki WATANABE, Special Advisor for Civil Engineering Development, Institute for International Cooperation, JICA, and is scheduled to stay in the country from September 3 to 21, 1992.

In the course of discussions, both parties have confirmed the main items described on the attached sheets.

October 7, 1992.

Mr. Takeshi Imazu
Resident Representative
JICA Bangladesh office.

Dr. A. M. M. Shawkat Ali
Additional Secretary
Economic Relations Division
Ministry of Finance

ATTACHMENT

1. Components for Interim Report

The Government of Bangladesh has agreed and accepted the components of the Interim Report proposed by the team. Minor amendments suggested by the Government of Bangladesh will be incorporated.

2. Japan's Grant Aid System

(1) The Government of Bangladesh has understood the system of Japanese Grant Aid explained by the team.

(2) The Government of Bangladesh will take the necessary measures, described in ANNEX 1, for smooth implementation of the project on condition that the Grant Aid assistant by the Government of Japan is extended to the Project.

3. Further Schedule

The team will make the Final Report in accordance with the confirmed items, and send it to the Government of Bangladesh by the end of November 1992.

4. Administrative Proceedings for Project Implementation.

(1) The Bangladesh side will prepare the Project Concept Paper as soon as possible for early project approval within the Government of Bangladesh.

(2) Considering the emergency nature of the Project and aiming at earlier commencement of the construction works, the Government of Bangladesh will examine possible arrangement to expedite the implementation.

Overall implementation schedule by the individual two contracting methods (direct and competitive contracting) is comparatively illustrated in the figure attached for reference (ANNEX 2).

The Government of Bangladesh will inform the result of examination on the contracting method to the Government of Japan at the earliest opportunity.

5. Riprap Work

In order to ensure smooth flowlines along the embankment, both parties agreed that the tip of the former ferry ghat be removed and riprap be extended to the upper base of the former ferry ghat.

ANNEX 1

Following necessary measures should be taken by the Government of Bangladesh in case Japan's Grant Aid is executed.

1) To secure the site for the Project.

2) To clear and level the site prior to commencement of construction,if necessary.

3) To bear commissions to the Japanese foreign exchange bank of the banking services based upon the Banking Agreement.

4) To ensure necessary taxes and to take necessary measures for customs clearance of the materials and equipment brought for the Project at the port of disembarkation.

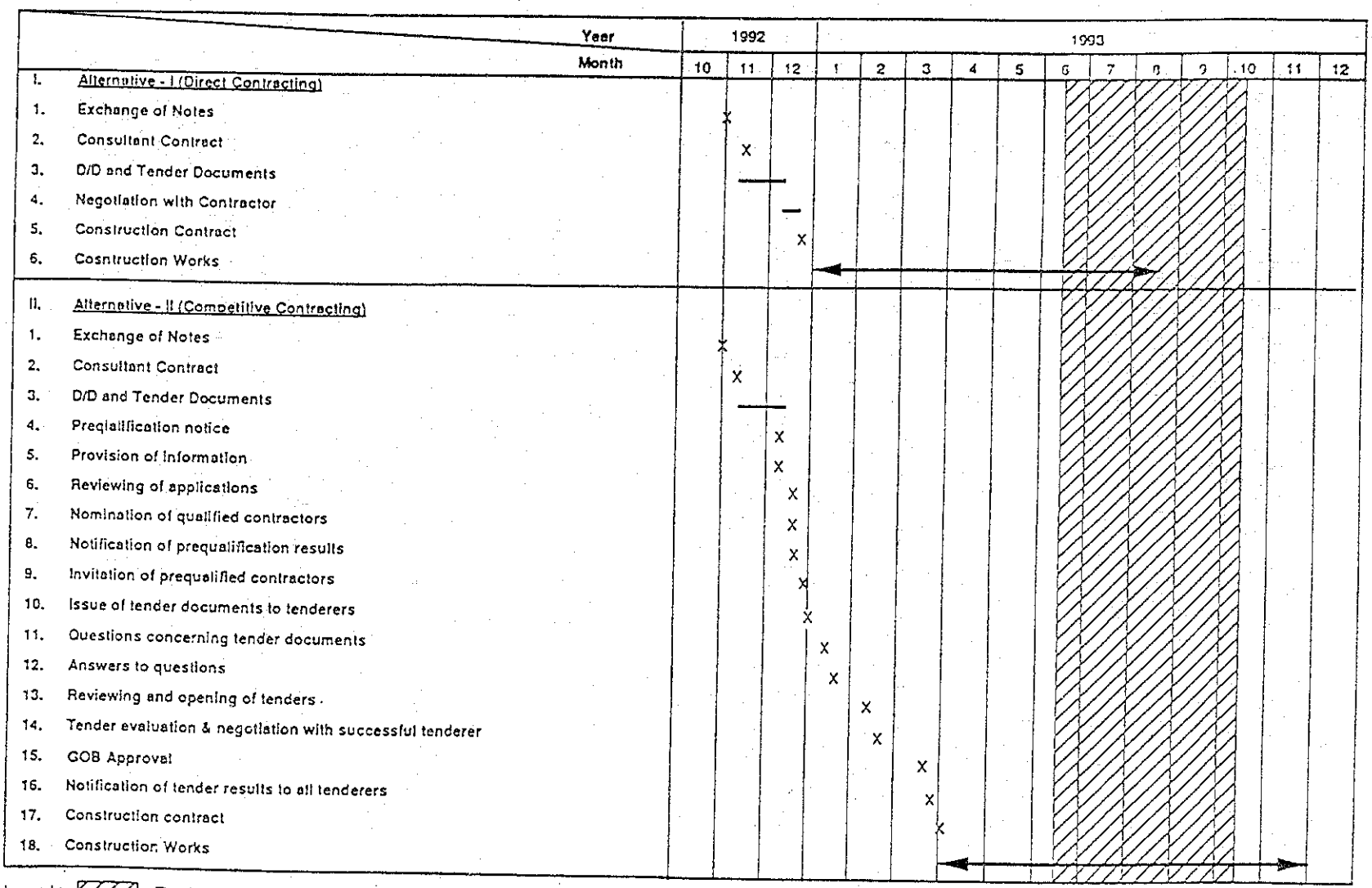
5) To exempt Japanese nationals engaged in the Project from customs duties,internal taxes and other fiscal levies which may be imposed in Bangladesh with respect to the supply of the products and the srevices under the verified contracts.
However, the cost of duties,internal taxes and other fiscal levies to be imposed under the Bangladesh Regulations shall be borne by the relevant Ministry/Agency concerned with the project for which necessary budget provision shall be made by them.

6) To accord Japanese nationals whose services may be required in connection with the supply of the products and the srevices under the verified contracts such facilities as may be necessary for their entry into Bangladesh and stay therein for the performance of their work.

7) To maintain and use properly and effectively the facilities constructed and equipment purchased under the Grant.

8) To bear all the expenses other than those to be borne by the Grant.

ANNEX 2 Comparison of Implementation Schedule



Legend : ▨ Flood season with water level above R.L. +4.00 m at the Project site

Notes :

1. The implementation schedule for both alternatives above is prepared on condition that the Grant-Aid Assistance by the Government of Japan is extended to this Project and E/N is completed by the end of October 1992.
2. The commencement of construction works by the competitive contracting will be delayed for around three (3) months than by the direct contracting as shown above.
3. In Alternative - I, most of construction works underwater would be completed by the start of flood season, while in the case of Alternative - II, major construction works might be performed during flood season which may become difficult to be completed on schedule.
4. The schedule of Alternative - II is prepared referring to the experiences in the Meghna-Gumti Bridge Construction Project. Taking into account the difference in complexity of the construction works between the Meghna-Gumti Bridge Construction Project and this Project, it might be possible to shorten the contracting arrangement period by around one (1) month in Alternative - II, that means two (2) months difference between the alternatives.

参考文献

1. PRELIMINARY REPORT ON JAMUNA BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT, JICA, March 1973 (in Japanese)

2. FEASIBILITY STUDY ON MEGHNA, MEGHNA-GUMTI BRIDGES CONSTRUCTION PROJECT, FINAL REPORT AND APPENDICES, Japan International Cooperation Agency, March 1985

3. FLOODS IN BANGLADESH, RECURRENT DISASTER AND PEOPLE'S SURVIVAL, Universites Research Center, Dhaka, August 1987

4. STUDY REPORT ON SCOURING OF RIVER BANK NEAR MEGHNA BRIDGE, Pacific Consultant International, August 1989 (in Japanese)

5. SECOND FLOOD DAMAGE RESTORATION PROJECT, CONSULTANCY SERVICES FOR PROTECTION OF MEGINA RIVER RAILWAY BRIDGE AT BHAIRAB BAZAR, DRAFT FINAL REPORT (Vol. I & II), Development Design Consultants Limited, December 1989

6. WORKING PAPER FOR THE STUDY OF EROSION PHENOMENON AT UPSTREAM OF MEGHNA BRIDGE SITE, PCI & NK, November 1991 and January 1992

7. STUDY REPORT ON RIVER BED FLUCTUATION AT UPSTREAM OF MEGHNA BRIDGE, Pacific Consultant International and Nippon Koei Co., Ltd., January 1992 (in Japanese)

8. MEGHNA RIVER BANK PROTECTION SHORT TERM STUDY, FINAL REPORT, Haskoning Royal Dutch Consulting, February 1992

JICA