

V-2 樋門・樋管の遮水壁構築のための施工技術の開発

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 12～平 14

担当チーム：先端技術チーム

研究担当者：吉田 正、荒井 猛、
吉永 弘志

【要旨】

樋門・樋管下部に生じる空洞は堤防の安全に少なからぬ影響を与える場合があり、治水上の安全性が懸念されている。現状ではグラウト工法などの対策法が適用されているが、局所的な遮水工をより効率的、経済的に構築する工法の確立が求められている。このため、本開発では既設の樋管の函体周辺を土質改良することにより遮水壁を構築する技術と、必要最小限度の掘削により函体と一体で挙動する遮水膜を施工する技術といった対策工法の確立を目標として実施した。

この結果、土質改良による遮水壁構築技術では既存の土質改良工法を応用することで、函体周辺に遮水壁を構築することができ、対策技術としての可能性を確認した。遮水膜による方法では対策技術の検討および提案にとどまった。

キーワード：樋門・樋管、遮水膜、遮水壁、堤防

1. はじめに

河川の堤防に設置されている樋門・樋管の下部には設置後の地盤沈下による空洞の発生事例が散見され、治水安全上の問題となっている。

これらの樋管と堤防では重量差があり、地盤に伝わる荷重が異なるため、樋管と堤防の沈下とは一般に差異が生じやすくなる。さらに設置が古いものは函体が基礎杭に支持されているため、堤防が沈下しても函体が追従せず、樋管底部と堤防との接触面には空洞が生じやすくなる。その空洞に浸透水が集中し、堤防を構成する土粒子を移動させることで、連続した大きな空洞が形成されやすくなる。このような空洞が成長し、やがて漏水に至る「水みち」を形成する場合があります。この対策として、新規の樋管に対しては柔構造樋管の採用、遮水工・シートパイルによる止水対策などが施されているが、既設の樋管ではこれらの対策が適用できない。現状ではグラウト工法等による対策が行われているが、これらの対策は函体周辺の更なる地盤沈下により長期にわたる止水性能が確保できず、長期的な対策が急務とされている。

本開発は、必要最小限度の掘削により函体と一体で挙動する遮水膜の施工技術と既設の樋管を生かした函体周辺の土質改良による遮水壁構築技術に着目して、これらの対策工法の実用化を目標として実施した。

既設の樋管の遮水対策として、現状の技術で考えられる工法をまとめたものが表-1である。

表-1 樋管周辺の遮水対策工法

対策内容	対策方法	具体的工法の例
川表側での遮水により河川水の侵入を防止	連続矢板打設	鋼矢板工法、コンクリート矢板工法
	遮水シート敷設・接合	合成ゴム系、合成樹脂系、アスファルト系、ペントナ付系
樋管周辺をとりまく遮水壁により水みちを遮断	止水板方式(遮水膜)	止水鋼板設置、止水鋼矢板設置、止水シート設置
	土質改良方式 連続壁方式	高圧噴射攪拌工法、ソイルセメント地中連続壁工法、泥水固化工法
川裏側での押えによりパイピングの発生を防止	押え盛土	押え盛土工法
	水圧バランス方式	水圧バランス工法、月の輪工法
漏水箇所(従来工法)の補修	底版下の空洞の補修	注入工(セメント系、ウレタン系、懸濁系)
	継ぎ目、クラックの補修	可撓性継ぎ手、伸縮性樹脂充填
	堤体の空洞、クラック、緩みの補修	切り返し、締め固め、注入工
	護岸、堤体表面損傷の補修	修復、整形

2. 研究方法

2.1 遮水膜施工技術の開発

遮水膜施工技術の開発においては、図-1に示すような膜を構築するために必要な技術について民間企

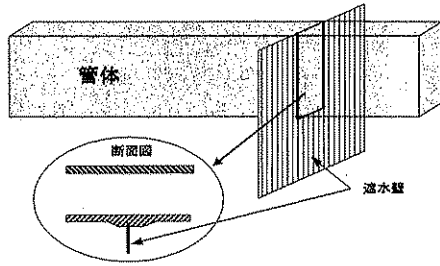


図-1 遮水膜

業6社との共同研究を実施し、施工技術開発に必要な課題の抽出と解決方法について検討した。遮断水膜による治水対策は画期的であるが堤体内での施工実績がないことや治水安全のためのものであることから検討事項の不備が許容されない。このため、膜構築までの一連のプロセスを明確にし、課題の抽出と解決方法をまとめた研究計画の一覧表を作成して検討事項の遺漏を防止することに配慮しながら研究を進めた。表-2は研究計画の抜粋である。また、机上検討における試算のためのモデルは図-2とした。

なお、遮水膜施工技術の開発においては、要素実験、現場試験は行わなかった。

表-2 遮水膜構築技術の開発研究計画

項目	検討課題	解決方法(案)	
施工プロセス	遮水膜構築工法の採択	適用のための現場条件	机上
	事前調査	土質	本研究の対象外
	実施設計	掘削規模の決定	机上、現地試験
	掘削	掘削機械	机上、要素試験
		樋門周囲の整形 掘削溝の安定	机上、要素試験 机上、現地試験
	遮水膜設置	構築方法	机上、要素試験、現地
		止水 堤防の再沈下対策	机上、要素試験 机上、要素試験
	埋め戻し	流動固化の施工方法 膜への影響	机上、現地試験
品質確認	竣工時の試験方法 経年変化のモニタリング方法	机上、現地試験 机上、現地試験	

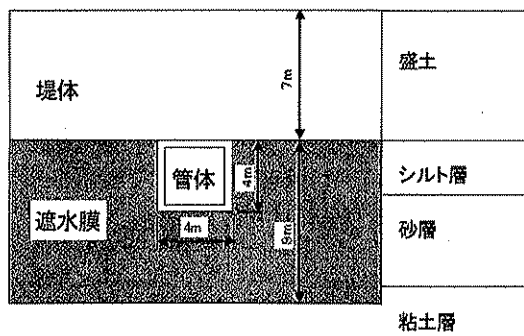


図-2 検討モデル

2.2 土質改良による遮水壁構築技術の開発

遮水膜による対策工法の検討とは別に土質改良による遮水壁構築技術法の検討を(財)土木研究センター、共同研究参加企業6社と土木研究所による共同研究にて実施した。

本研究開発は既設の樋管に生じた「水みち」を止水する地中遮水壁構築技術の開発を行うものである。開発に当たっては、堤防の全面開削を伴うような大規模

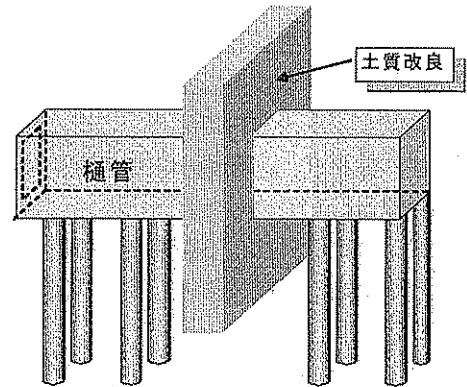


図-3 土質改良による遮水壁構築技術

な工事を必要とせず、既設の樋管をなるべく改造しない工法の開発および提案を目的とした。また既存のグラウト工法等に比べて、進行性のある地盤沈下による「水みち」の拡大に対しても遮水効果が永続的で、補修コストも改築よりは安価な工法となるような工法の選定を行うこととしている。

2.2.1 対策工法の選定

本研究開発では、既設の樋管及び堤防に与える影響が少なく、遮水範囲の調節が容易である「遮水壁による水みちの遮断を土質改良で行う工法」について開発検討するものとした。樋管周辺の遮水を目的とした土質改良工法の条件としては、次のものが考えられる。

- (1) 既設の樋管周囲の地盤改良が可能であること。
- (2) 遮水性を考慮し、確実に改良体が構築できること。
- (3) 堤防の機能を損なうことや堤防を損壊させるおそれのないこと、さらに周辺環境にも配慮されていること。

また、現場での実用化を念頭に極力既存の技術を応用することで施工コスト高を防ぐものとした。

これらの条件を考慮した結果、高圧水と空気ジェットにより地盤を切削し、その空間に充填材を置換する工法(図-3)が本対策工として適当であると判断した。以下に本工法の採用根拠を示す。

- (1) 既設の樋管を損傷させない。改良径を0.8mから3.0mまで設定でき、幅2.5m以下の樋管に対

4. 計画高さまで掘削、充填

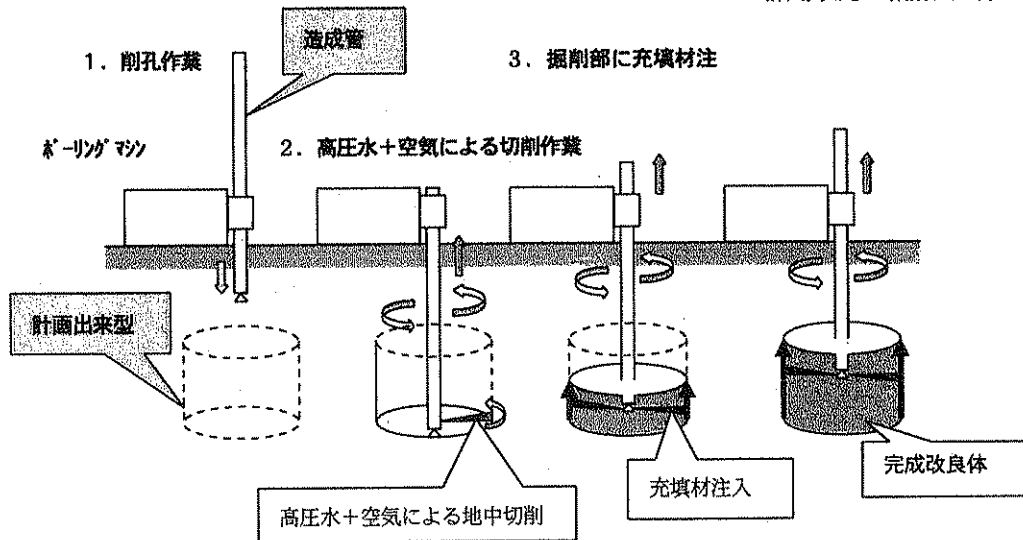


図-4 土質改良工法施工順序

しては函体中央部を削孔することなく非破壊で施工できる。

- (2) 空洞部が存在するようなゆるい地盤においても、高品質の改良体が構築できる。
- (3) 水密性が高く、函体との付着が期待できる。
- (4) 深層部から浅層部まで改良できる。
- (5) 体積収縮や強度低下が小さく、耐久性がある。
- (6) 狭い天端上での施工が可能などである。

2.2.2 土質改良体の検討

(1) 土質改良体の要求性能

本対策工法により構築された改良体は所定の遮水性が確保できる厚さを持つことが必要となる。改良体（モルタル）の透水係数は $k=1.0 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 以下であり、この場合の厚さ（幅）は 10cm 程度以上あれば十分といえる。今回の対策工法では函体を左右から包み込むように改良体を構築することから、遮水性としては十分な厚さを持たせることとなる。

(2) 土質改良体の材料

遮水を目的とした土質改良体の材料となる適切な充填材を選定するため、平成 13 年度において室内実験を行った。選定条件は以下のとおりである。

- ①水中での施工が可能（不分離性）
- ②函体（コンクリト）との付着力がある
- ③ブリージングが少ない
- ④体積変化が少ない
- ⑤初期強度が大きい
- ⑥無公害性の高い硬化材である

室内実験の結果、表-3 の材料を成分とする 2 種類（ここでは、A 材、B 材と称する。）が充填材として適当と判断され、これらによる実大実験を行った。

表-3 充填材成分表

項目	A材	B材
主材	普通ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント
急硬材	—	加シユ-47%ミネト
調整剤	—	アルカリ炭酸塩
可塑剤	セロ-ス-7%+水	ポリマ-系 +水

2.2.3 土質改良工法による実大実験

土質改良による遮水対策工法の実用性を確認することを目的とし、土木研究所構内に実大規模の盛土と樋管をつくり、土質改良による遮水壁構築実験を行った。（写真-1）

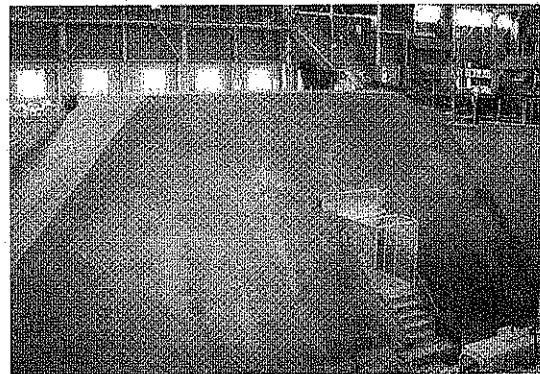


写真-1 実大実験用盛土（模型堤体）

(1) 実験検証項目

実大実験にて検証する項目と方法を以下に示す。

①土質改良による遮水壁構築技術の実用性検証

実大規模の堤体模型を用いた樋管周辺の土質改良による遮水壁構築を行い、その施工性・実用性を検証する。施工後、所定の土質改良体が造成されているか施工後に盛土を開削して改良体を露出させ、形状・寸法を観察する。

②連続遮水壁としての検証

充填材が隙間なく固結しており、隣接する充填材と

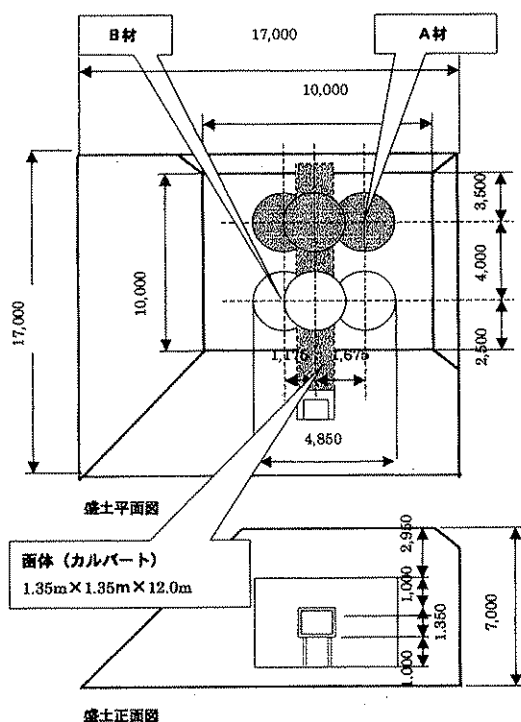


図-4 実大実験用盛土一般図

の結合も確実に行われているか目視確認する。函体周辺の改良、付着が連続して行われていることで、遮水機能の有無を評価する。また必要に応じ、コア抜きなどのサンプリングを行い、物性値を確認する。

③既存の函体・堤防への影響

改良施工中および施工後の函体の挙動、盛土への影響、環境への影響を観察する。

④実用化に向けた課題の検討

今回の実験を通じて、確認された課題をまとめ、今後の検討項目とする。課題をもとに本対策技術の実用性を評価する。なお、必要に応じて、要素実験により対策の可能性について検討する。

(2) 実験条件

実験用として、底面：17×17m、天端10×10m、高さ7mの堤体模型を造成した。対象となる樋管の大きさについては一連で幅1.0～3.0m程度と考え、樋管をガイドパイプが貫通するケースも考慮し、人間が中で作業できる空間を確保するために、内側を1m程度確保したものとした。底面から2mの位置に、函体に相当するボックスカルバート(1.35×1.35×2m)を6本直列に敷設した。

実験では函体の幅から、1本当たりの改良体の径を2mとし、一部を重複させることで厚さを確保した。函体周辺は上下左右1mの範囲を改良範囲とした。

(図-4参照)

(3) 盛土材料

盛土材料については、実際の堤防と同様の山砂を使用した。締固め密度については、最大締固め密度の90%以上を確保するような施工方法を確認し、それを適用することとした。また締固め密度は各層ごとに確認し、盛土の品質確保に努めた。

(4) 実験使用機器類

実大実に使用された機器類を表-4に示す。いずれも汎用的なものを採用している。

表-4 主要施工機械一覧

名称	規格・仕様	数量	備考
スリープラント	20m ³ /h	1式	
ポンピングマシン	11kW:油圧式	1台	
エアコンプレッサー	5m ³ /min	"	
超高圧水ポンプ	100kW	"	
モルタルポンプ	11kW(充填材用)	"	
グラウトポンプ	イグニッションポンプ	"	可塑性材用
グラウトミキサー	縦型2槽200%	"	"

(5) 施工仕様

実大実験での施工仕様を表-5に示す。

表-5 土質改良施工仕様

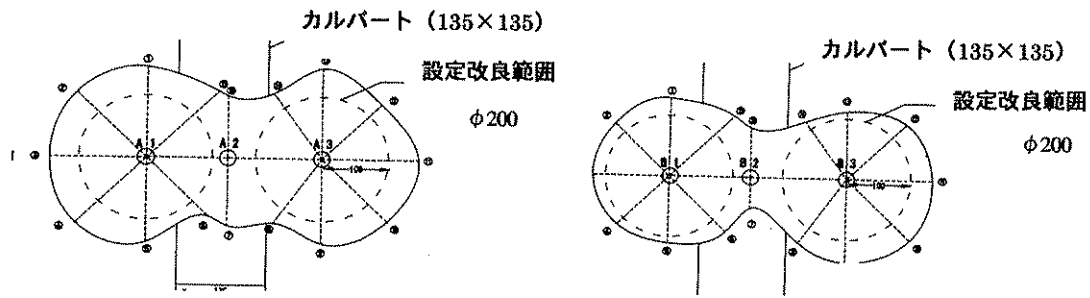
名称	使用材	仕様	
先行切削	水	吐出圧力(MPa)	4.0
		吐出量(ℓ/分)	115
	空気	風圧(MPa)	0.7
		風量(ℓ/分)	3.0
材料充填	主材	吐出圧力(MPa)	1.0
		吐出量(ℓ/分)	A
	B		230
	可塑性	吐出圧力(MPa)	1.0
吐出量(ℓ/分)		A	20
	B	20	
造成時間		切削(分/m)	16
		充填(分/m)	14

3. 研究結果

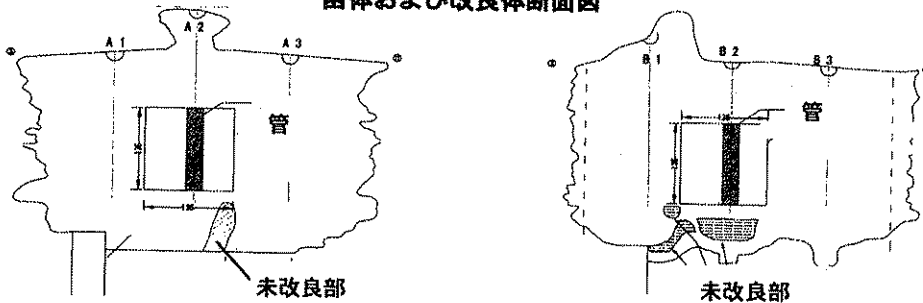
3.1 遮水膜施工技術の開発

掘削溝の安定に関しては、検討モデルを設定し半円形すべり法、三次元円筒すべり法、プロトジャコノフ法を比較し、実際の崩壊形状に近いと言われていた半円形すべり法で判断することとした。ある現場の土質データで試算した結果、限界開放長さ(掘削溝が崩落しない開放長の上限)は約8mとなり、掘削溝は複数に分割する必要があることがわかった。また土の粘着力および地下水位と限界開放長さの関係について試算した結果、限界開放長さは条件によって大きく変化し、掘削方法は現場ごとに変わるこ

盛土天端から地下 3.25m の平面図



函体および改良体断面図



盛土天端から地下 5.45m の平面図

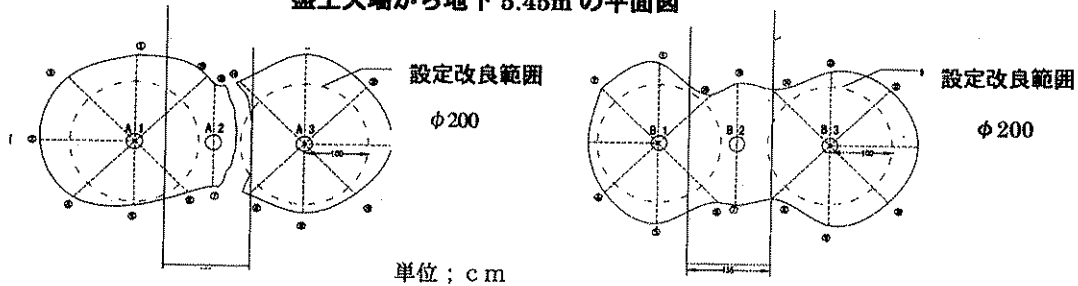


図-6 A材改良体外形図

図-7 B材改良体外形図

の土砂混じり切削水、セメント分を含む処理水の発生が見込まれる。これらが直接河川に流入することのないよう対策が必要となる。

(5) 実用化へ向けた課題の検討

実大実験で観察された出来形不足や未改良部に関して、充填方法の改良による要素実験を行った。その結果、対策として造成管（充填材注入管）の吐出口形状を工夫することで対応できる見込みがあることがわかった。

また、改良後の地盤の再沈下による空洞発生が懸念されたが、これに対する対処方策として、モルタル系以外の材料による充填の可能性を検討するため要素実験を行った。その結果、変形への追従性、膨張性のある材料として吸水膨張性アクリルが活用できる可能性があることを確認した。

4. まとめ

遮水膜施工技術については、掘削溝の施工法、施工機械について検討し、遮水膜の設置方法提案を行

ったが、実験による検証までに至らなかった。

土質改良による遮水壁構築技術については、実大の盛土と樋管を使用しての限られた条件下における屋内実験ではあったが、地中函体周辺の土質を改良し遮水壁を構築することができ、遮水対策工法としての可能性を確認した。また、函体中央部の一部出来型不足、未改良部の発生、改良後の地盤の再沈下による空洞発生への対策などの課題がわかったが、要素実験で対応策の可能性まで検討し報告した。

なお、今後さらに、発生汚泥、濁水処理の方法、地中遮水壁の構築状況確認方法などについて検討を進める必要がある。

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編「改訂 解説・河川管理施設等構造令」(社) 日本河川協会
- 2) (財) 国土開発技術研究センター編「柔構造樋門設計の手引き」(社) 日本河川協会