

# 護岸背面に空洞化が確認された河川の護岸補修設計

協和設計株式会社 栗本 暁史

## 論文要旨

本設計は、先行調査により護岸背面に空洞化が確認された河川の護岸補修設計である。先行の空洞化調査は測点100m 毎に行われており、その間隔が粗い。今回の補修設計では、現地踏査にて護岸天端の張ブロックおよび堤防道路の変状を確認し、空洞化調査結果と合わせて空洞化範囲を推定することとした。空洞化対策工としては、既設水抜きパイプを閉塞した上で空洞への充填材の注入を行うこととした。空洞充填剤には比較検討し可塑性グラウト材を選定した。可塑性グラウト材とはエアモルタル・エアミルクまたはセメントミルクに可塑剤を加えたものであり、大きな特徴として静的状態では高い粘性を示し、動的状態では容易に流動するという 2 つの性質を併せ持つことが挙げられる。この性質により充填時は容易に空洞内に入り込み、空洞に入り込んだ後は流出せず空洞内に留まることができる。本業務と並行して実施された河川測量において河床低下が認められた。当該箇所について根固工および帯工の設計を行った。また現地踏査にて護床ブロックの流失を確認したため護床工の必要延長について検討を行い、不足している延長分の護床工を設置することとした。

キーワード：河川護岸、護岸背面空洞化、充填工法、可塑性グラウト材、河床低下

## まえがき

先行調査により背面に空洞が確認された河川護岸の補修設計事例について報告する。

### 1. 設計業務の概要

本設計業務は、護岸補修工事に必要な設計図書を作成することを目的としたものである。設計区間の護岸は背面の空洞化が先行調査によって確認されていることから、空洞化の補修工法としてグラウト注入工法を比較検討し水中不分離性をもつ注入材料を選定した。また空洞化の一因として可動堰による水位急低下時における水抜きパイプからの吸出しが考えられたため、湛水面以下の水抜きパイプの閉塞を行った。併せて河川縦横断測量にて河床低下が認められた箇所について根固工および帯工の設計を行った。また、現地踏査にて落差工下流の護床ブロックの流失および護床工下流の大幅な河床の低下を確認した。護床工の必要設置延長および護床ブロックの必要重量について検討を行い、不足している延長分の護床工を設置することとした。

### 2. 河川の概要

#### (1) 河川全体計画

今回設計対象の河川は流路延長 13km、流域面積 18.72km<sup>2</sup>、計画高水流量 300m<sup>3</sup>/s の 2 級河川である。詳細を下表に示す。

表-1 河川全体計画

河川全体計画			
水理諸元	流域面積	18.72km <sup>2</sup>	
	流路延長	13km	
	確率規模	1/100	
	降雨強度	日雨量	345mm
		時間雨量	86.9mm
	ピーク流量算定式	合理式及び中安式による流量を合成して算出	
		流出係数	f=0.80
		洪水到達時間	T=1.64hr
降雨強度		r=69.5mm/hr	
計画高水流量	300m <sup>3</sup> /s		
比流量	16.03m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>		
河道諸元	着工年度	不明	
	計画河幅	堤防法線間 24.0m~19.1m	
	計画堤防断面	天端幅	3.0m
		余裕高	1.0m~0.8m
		表法勾配	1:0.5
		裏法勾配	1:2.0
	計画高水勾配	1/400~1/120	
	計画河床勾配	1/400~1/120	
粗度係数	0.030		
護岸	コンクリートブロック積		

#### (2) 設計区間内

設計区間は堤内地の地盤高が計画高水位より上である掘り込み河道となっている。護岸形式は法勾配 1:0.5 のコンクリートブロック積擁壁である。護岸高は見え高 5.0m、根入れ 1.5m の計 6.5m である。計画高水位から堤防天端高までの余裕高 1.0m の部分には法勾配 1:2.0 の張ブロックが設置されている。堤防道路の沿道は主に住居が立ち並んでおり、地元住民の生活道路として利用されている。また

設計区間内には2基の農業用取水堰が設置されている。2基の取水堰はゴム引き布製起伏堰であり増水により自動倒伏する場合を除いて通年で起立している。

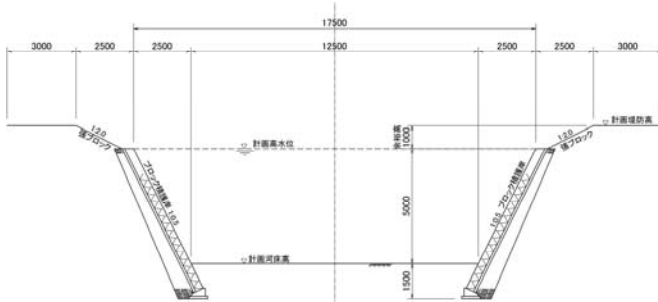


図-1 河川標準断面図

(3) 測量結果

本設計業務と同時期に発注された測量業務成果によると河床が大幅に低下していることが判明した。特に大きく低下している箇所では1.5m近く洗掘されているためブロック積護岸基礎まで低下していると推測されるが、測量作業時に取水堰の倒伏の許可が下りなかったため護岸基礎の露出を直接確認することができなかった。

3. 護岸背面の空洞化

(1) 護岸背面の空洞化

先行調査業務による空洞化調査は河川の測点毎(100m間隔)において護岸の上下部の各2箇所コア抜き調査にて行われている。調査業務の報告書を以下に示す。

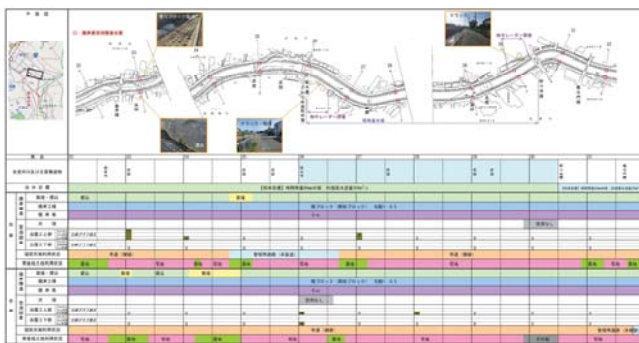


図-2 先行調査業務報告書抜粋

(2) 護岸背面の空洞化が原因と思われる異常

護岸背面の空洞化が原因とみられる異常として堤防道路の沈下および張ブロックの損傷や沈下を確認した。



写真-1 堤防道路の沈下状況



写真-2 張ブロックの沈下状況

4. 空洞化対策工法の検討

(1) 空洞化対策工法の選定

主要な不具合として護岸背面に空洞化が確認されていることと河床の低下が認められている。これ以外については大きな問題は無いため護岸の再構築は行わず、それぞれ空洞化対策・河床低下対策を行うことに決定した。

(2) 空洞化対策箇所の決定

先行空洞化調査は測点毎(100m間隔)に行われているが、間隔が粗いため今回補修設計においては現地踏査を行い、調査結果と張ブロックおよび堤防道路の沈下状況等から空洞化範囲を推定することとした。ただし、局所的な空洞の存在が考えられるため、グラウト注入孔の削孔時に護岸背面に空洞の有無を確認し、想定外の空洞化が認められた場合は対策を行うこととする。

(3) 空洞化充填工法の選定

河川護岸の空洞充填剤に必要な性能として表-2の性能が求められる。

空洞充填材としてエアモルタル、エアミルク・水中コンクリート・可塑性グラウト材・発泡ウレタン・再生資源等主材グラウトの5種類について比較検討を行った。比較表を表-3に示す。

表-2 空洞充填材の要求性能

項目	要求性能
一軸圧縮強度	土と同程度 (0.5N/mm <sup>2</sup> )
長期耐久性	長期耐久性を有すること
充填性	限なく充填できること
水中不分離性	水に希釈されないこと
環境安全性	pH、濁度上昇を起こさないこと
長距離圧送性	長距離圧送が可能 (1.0km 程度)
施工性	施工性に優れること
経済性	経済性に優れること

表-3 空洞充填工法比較表

項目	要求品質	セメント系充填材			ウレタン系注入材	流動化処理工法
		エアモルタル、エアミルク	水中コンクリート	可塑性グラウト材	発泡ウレタン	再生資源等主材グラウト
特徴		モルタルやセメントミルクに空気を混入し軽量化したもの。トンネル背面空洞充填、粗筋等に使用される。 	コンクリートやモルタルに水中不分離剤を添加し、水中への打設を可能にした材料。 	エアモルタル、エアミルクまたはセメントミルクに可塑性剤を加えたもの。トンネル背面空洞充填、護岸背面空洞等に使用される。水中不分離性を有する。 	発泡ウレタンを用いたもので、注入材が発泡し10~40倍程度まで発泡する。トンネル背面空洞充填、護岸背面空洞等に使用される。 	現地発生土、土砂等にセメント、固化材を混ぜたもの。大きな空洞充填等に使用される。主材のストックヤード確保が必要。空洞上部に注入孔を掘削し充填する。 
主な材料(製品名)		モルタル+起泡剤 セメントミルク+起泡剤	モルタル+水中不分離剤 コンクリート+水中不分離剤	パフェグラウト Wファルダグラウト	シリカレジン系 ウレタンフォーム系	流動化処理材
一軸圧縮強度	0.5N/mm <sup>2</sup> 程度	0.5~1.5N/mm <sup>2</sup>	18~24 N/mm <sup>2</sup> (強度が出すぎる)	1.5~24N/mm <sup>2</sup>	0.17~1.5N/mm <sup>2</sup>	0.02~0.05N/mm <sup>2</sup>
長期耐久性	長期耐久性を有すること	長期耐久性を有する。	長期耐久性を有する。	長期耐久性を有する。	中期耐久性を有する。(50年程度)	長期耐久性を有する。
充填性	限なく充填できること。(ブリージングしないこと。)	・流動性が高すぎて微小なクラックから漏出する。 ・ブリージングする。	・流動性が高く上向き変位時に空洞が発生しやすい。 ・多少ブリージングする。	・静的状態では高い粘性を示し、動的状態では容易に流動する。そのため全方向への充填性に優れる。 ・ブリージングしない。	・流動性はないが、硬化により膨張することによって隙なく充填される。 ・ブリージングしない。	・流動性が高い。 ・多少ブリージングする。
水中不分離性	水に希釈されないこと	・水により希釈される。	・水中不分離性があるため、水に希釈されない。	・水中不分離性があるため、水に希釈されない。	・発泡固化が数分で完了するため、水に希釈されにくい。	・水により希釈される。
環境安全性	環境に影響を及ぼさないこと	・水に希釈され水質を汚染するおそれが高い。(pH、濁度上昇)	・水中で溶け出さない程度の水中不分離性を有し水質を汚染しない。	・水中で溶け出さない程度の水中不分離性を有し水質を汚染しない。	・数分で固化するため水質に影響を与えるおそれは低い。	・水に希釈され水質を汚染するおそれが高い。(pH、濁度上昇)
長距離圧送性	圧送性がよいこと	・圧送距離 100~600m程度	・圧送距離 数 100m程度	・圧送距離 2,000m程度	・圧送距離 数十m程度	・圧送距離 100m以下
施工性	施工性がよいこと	・施工能力 100~130m <sup>3</sup> /日程度 ・施工ヤード 10m×20m程度	・施工能力 100m <sup>3</sup> /日程度 ・施工ヤード 20m×30m程度	・施工能力 30~40m <sup>3</sup> /日程度 ・施工ヤード 10m×20m程度	・施工能力 30m <sup>3</sup> /日程度(発泡後の量) ・施工ヤード 5m×5m程度	・施工能力 500m <sup>3</sup> /日程度 ・施工ヤード 30m×30m程度
経済性	経済的であること	・直接工事費: 12千円/m <sup>3</sup>	・直接工事費: 30千円/m <sup>3</sup>	・直接工事費: 35千円/m <sup>3</sup>	・直接工事費: 50千円/m <sup>3</sup> (40倍発泡)	・直接工事費: 10千円/m <sup>3</sup>
評価		× 漏出しやすい上に水に希釈されやすく、水質を汚染するおそれが高い。	△ 硬化強度が出すぎるため、護岸背面地盤とのなじみが悪くなる。	○ 施工能力に劣るが、今回松尾川の空洞は小さいため問題にはならない。	× 圧送距離が短く、今回松尾川では施工ヤードの確保が困難である。	× 硬化強度が不足する。

比較検討結果より要求性能を満たす充填材として可塑性グラウト材を選定した。

(4) 可塑性グラウト材の特徴

採用した可塑性グラウト材はエアモルタル・エアミルクまたはセメントミルクに可塑性剤を加えたものである。可塑性グラウト材の大きな特徴に静的状態では高い粘性を示し、動的状態では容易に流動するという2つの性質を併せ持つことが挙げられる。この性質により充填時は空洞に入り込み、空洞に入り込んだ後は流出せずに空洞内に留まることができる。また水中不分離性を有するため水面以下の護岸にも適用可能である。

5. 護岸水抜きパイプの設置検討

(1) 既設水抜きパイプの閉塞

既設水抜きパイプの吸い出し防止材の不具合により護岸背面の土砂の吸出しが起きていると考えられる。また充填材注入時に既設水抜きパイプから充填材が流出する恐れがあることから既設の水抜きパイプは閉塞することとした。

(2) 水抜きパイプの新設

既設水抜きパイプを閉塞し、護岸背面の空洞充填工が完了後新たに水抜きパイプを設置する。ただし水抜きパイプは常時水位以上に設置するべきものであり、取水堰は通年で起立していることより取水堰上流の常時水位は取水堰湛水面とみなす。





写真-3 取水堰上流の湛水状況

## 6. 河床低下対策の検討

### (1) 落差工下流の河床低下状況

落差工下流には護床工としてコンクリートブロックおよび袋詰め玉石が設置されているが、護床工の設置延長が不足していることから護床ブロックの流失や河床の大幅な低下が起きている。

既設護床ブロックはブロック同士のかみ合わせで一体化させるものであり連結筋での連結はされていない。そのため護床ブロックの移動や流失が起きていると考えられる。



写真-4 落差工下流の護床ブロック流失状況

### (2) 護床工の検討

今回設計区間内にはゴム引き布製起伏堰が設置されており、起伏堰直下に直型落差工が設置されている。今回設計区間ではそれらが一体化しているため、それぞれの護床工について検討を行った上で安全側を採用する。それぞれの護床工の検討については下記書籍を参考に検討を行う。

ゴム引き布製起伏堰：ゴム引き布製起伏堰技術基準(案)

直型落差工：床止めの構造設計手引き

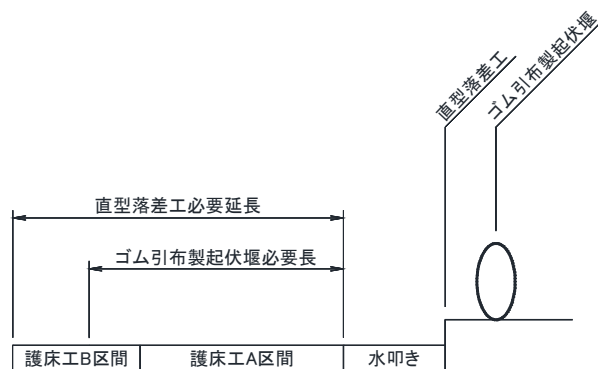


図-3 ゴム引き布製起伏堰と直型落差工の位置関係

検討結果より直型落差工の護床工の必要設置延長の方が長くなった。計算結果に基づいて護床工を設置するが、既設の水叩きおよび護床工の健全部は撤去せずに不足している延長分護床工を設置することとした。新設する護床ブロックは既設護床ブロックのように流失させないために連結タイプを設置することとした。

### (3) 根固工の検討

建設省河川砂防技術基準では河川護岸の最低根入れ長が計画河床高-0.5~-1.5m となっている。本設計では河床低下により護岸の根入れ長が 0.5m を下回る箇所に根固工を設置することとした。根固工の工法は経済性に優れ水替え工が不要である袋詰め玉石工法を採用した。

### (4) 帯工の検討

今回設計対象河川は落差工の下流だけではなく河川全体に亘り河床が低下傾向であることが確認されている。帯工の設置間隔は既設落差工の設置間隔が 100m であることから、その 1/2 である 50m 間隔で帯工を設置することとした。帯工の工法は屈とう性を持ち水中施工が可能であることから袋詰め玉石工法とした。

## あ と が き

本設計業務の遂行や論文の作成にあたり、ご指導・ご協力いただきました方々に感謝の意を表します。