

竹割り型土留め工法の計画・設計・施工について



島根県浜田河川総合開発事務所
建設グループ 三上 利雄

1. はじめに

第二浜田ダム建設に伴う一般県道黒沢安城浜田線付替工事のうち、姉山下川を跨ぐ5号橋(図-1:以下「本橋」という。)P1橋脚の土留め工に経済性・環境性に優位となる竹割り型土留め工法を島根県で初めて採用した。本書は、同工法の計画・設計・施工の報告を行うものである。主な橋梁諸元を以下に示す。

- 上部工形式 : PC 2 径間連続箱桁ラーメン橋
橋長 = 98.5m
- 橋脚形式 : 壁式橋脚、橋脚高 = 30.0m
- 橋脚基礎形式 : 大口径深礎杭基礎
杭径 = 7.0m、杭長 = 9.5m

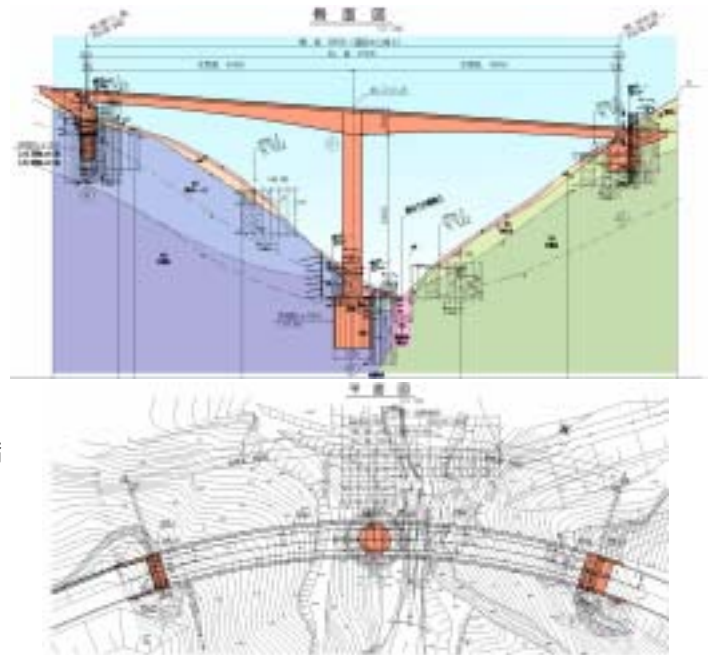


図-1 浜田ダム5号橋概要図

2. 竹割り型土留め工法の概要

竹割り型土留め工法は、竹割り型掘削の切土のり面の補強を目的とし、掘削により生じる変形をリングビームと補強材、吹付けコンクリート壁により抑制し地山を補強する工法である。(写真-1、図-2)



写真-1 竹割り型土留め工完成写真

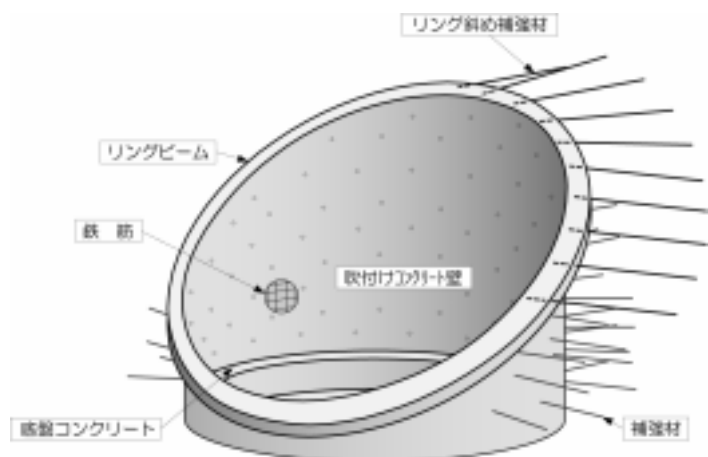


図-2 竹割り型土留め工概略図

<リングビーム> 掘削前に地表面に設置し、掘削時における吹付けコンクリート壁上部の変位(前倒れ)を抑制するリング状の構造部材。地山に発生するせん断ひずみを小さくし、地山安定性を大きく低下させないことを目的に設置する。

<補強材> 地山に挿入され、引張り力を伝達させる部材。地山と一体となって地山の安定性を増加さ

せ、変形を抑制する効果があるため、吹付け壁に作用する土圧を軽減させる目的で設置する。リングビームと吹付けコンクリート壁の自重を掘削時に支える部材となり、地山にすべり面が発生した場合、すべり面から先で抵抗する部材。

< 底版コンクリート > 竹割り型掘削の掘削底面に、掘削形状の保持および大口径深礎掘削時の坑口部の土留として設置される部材。

・竹割り型土留め工法の特徴

- 1) 掘削形状が円形で、掘削後、早期にコンクリートを吹付けることで地山のゆるみを少なくできる。
- 2) 補強材を用いることで、地山の変形を抑制し吹付けコンクリート壁に作用する土圧を軽減できる。
- 3) 主な構造部材が吹付けコンクリートと補強材で構成されており、大きな重機を必要としないので斜面上での施工性に優れている。
- 4) 斜面を鉛直に掘削するので、用地・掘削土量を削減し自然環境への負荷を軽減できる。

・技術登録（出願人：アイサワ工業株式会社、株式会社クボタ建設）

- 1) 公開特許：リングビーム・逆巻き壁・ロックボルトで構成された土留め構造物による掘削工法（特願 2000-159131、平成 12 年 4 月 20 日）
- 2) NETIS：竹割り型構造物掘削工法（CG-020002、平成 14 年 4 月 25 日）

・参考文献：日本道路公団「竹割り型土留め工法設計・施工マニュアル（案）」平成 16 年 5 月

表-1 竹割り型土留め工法の施工実績（平成 17 年 10 月 18 日現在、64 基、28 工事）

橋梁名	工期	発注者	備考
第二東名高速道路南沢川橋	H10.9 ~ H13.3	日本道路公団静岡建設局	最初の施工
大分 57 号茜川橋	H14.11 ~ H15.1	国土交通省九州地方整備局	国土交通省最初の施工
豆谷橋梁	H15.5 ~ H15.11	国土交通省北陸地方整備局	最大内径 22.5m（深さ 21.5m）
萩・三隅道路飯井第 1 橋	H15.5 ~ H15.11	国土交通省中国地方整備局	中国地方物件
東九州自動車道城ヶ追谷橋	H16.11 ~ H17.6	日本道路公団九州支社	最急勾配 57 度

3. 竹割り型土留め工法の適用範囲

3.1 掘削高さ及び掘削径

竹割り型土留め工法の適用範囲は、最大掘削高さが 5m ~ 20m かつ掘削径 18m までとされている。P1 橋脚柱の足場設置余裕から決定される本橋の掘削径は 11.0m（図-3）、掘削径及び現況斜面勾配から決定される掘削高は 10.0m であり、いずれも適用範囲内であった。

3.2 環境条件

竹割り型土留め工法の選定に際しては、地盤の崩壊形態、力学的・物理的性質、化学的性質、地下水・湧水の状態、隣接構造物への影響等について適用性を考察する必要がある。本橋でも各条件について精査を行った結果、適用は可能であった。

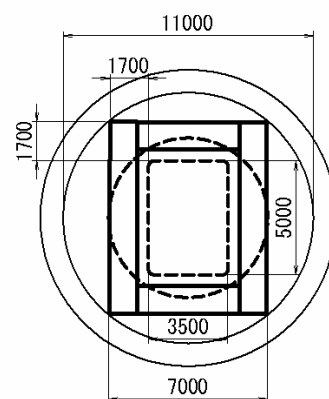


図-3 掘削径適用図

4. 急勾配斜面における土留め工法選定

本橋は、P1 橋脚の設置位置を河川への影響が最小限となる斜面（傾斜約 40 度）としたため、急勾配斜面における土留工を検討する必要が生じた。工法としては「親杭壁式土留め工法」、「竹割り型土留め工法」、「オープン掘削工法」が考えられたため各工法の比較を行った。表-2 に土留工比較表を示す。

表-2 土留め工法比較表

	第1案：親杭壁式土留め	第2案：竹割り型土留め工法	第1案：オープン掘削																																																																																																																																				
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・進入路はA2橋台側に設けられた工事用道路から分岐した仮橋からである。 ・ダウンザホールハンマにより親杭を打設し、グラウンドアンカーにより地山の变形を抑制する。 ・第3案に比べて、地山への影響は小さいが、高さのある鉛直壁が連なり、第2案に比べて環境性・景観性に劣る。 ・第2案に比べて、経済性に劣る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・進入路はA2橋台側に設けられた工事用道路から分岐した仮橋からである。 ・栈橋上から資材を投入し、吹付けコンクリートにより地表面にリングビームを設置し、補強材及び吹付けコンクリート壁により変形を抑制し、鉛直に掘削する工法であり、特許工法である。 ・3案中、最も地山への影響が小さく、環境性・景観性に優れ、竹割り構造物内は安定勾配ではば地形形状埋戻すことができる。 ・3案中、最も経済性に優れる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・進入路はA2橋台側に設けられた工事用道路から分岐した仮橋からである。 ・栈橋上から機材を投入し、片切掘削及び機械掘削により1:0.5勾配の法面を施工し、アンカー及び現場打ち法枠により法面保護を行う。 ・3案中最も地山への影響が大きく、環境性・景観性に劣る。 ・3案中、最も経済性に劣る。 																																																																																																																																				
概略図																																																																																																																																							
概算工事費	<table border="1"> <thead> <tr> <th>名称</th> <th>規格</th> <th>単位</th> <th>数量</th> <th>単価</th> <th>金額(千円)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>片切掘削</td> <td></td> <td>m³</td> <td>125.0</td> <td>2,214</td> <td>275,750</td> </tr> <tr> <td>片切掘削</td> <td></td> <td>m³</td> <td>539.0</td> <td>1,078</td> <td>580,642</td> </tr> <tr> <td>残土運搬</td> <td>2.5km</td> <td>m³</td> <td>694.0</td> <td>500</td> <td>347,000</td> </tr> <tr> <td>親杭掘削</td> <td>1.0m</td> <td>式</td> <td>1.0</td> <td>21,897</td> <td>21,897</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>24,021</td> </tr> </tbody> </table>	名称	規格	単位	数量	単価	金額(千円)	片切掘削		m ³	125.0	2,214	275,750	片切掘削		m ³	539.0	1,078	580,642	残土運搬	2.5km	m ³	694.0	500	347,000	親杭掘削	1.0m	式	1.0	21,897	21,897	合計					24,021	<table border="1"> <thead> <tr> <th>名称</th> <th>規格</th> <th>単位</th> <th>数量</th> <th>単価</th> <th>金額(千円)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>リングビーム</td> <td></td> <td>m²</td> <td>42.9</td> <td>78,089</td> <td>3,350</td> </tr> <tr> <td>掘削</td> <td></td> <td>m³</td> <td>477.4</td> <td>12,809</td> <td>6,115</td> </tr> <tr> <td>鉄筋補強工</td> <td></td> <td>本</td> <td>107.0</td> <td>26,411</td> <td>2,826</td> </tr> <tr> <td>現場養生工</td> <td>吹付けコンクリート</td> <td>m²</td> <td>134.4</td> <td>37,000</td> <td>5,478</td> </tr> <tr> <td>掘削工</td> <td>鉄筋工</td> <td>t</td> <td>2.0</td> <td>268,120</td> <td>533</td> </tr> <tr> <td>掘削工</td> <td></td> <td>m³</td> <td>31.8</td> <td>30,063</td> <td>956</td> </tr> <tr> <td>掘削工</td> <td></td> <td>式</td> <td>1.0</td> <td>861,000</td> <td>861</td> </tr> <tr> <td>特許料</td> <td></td> <td>m³</td> <td>477.4</td> <td>0.8</td> <td>382</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>20,503</td> </tr> </tbody> </table>	名称	規格	単位	数量	単価	金額(千円)	リングビーム		m ²	42.9	78,089	3,350	掘削		m ³	477.4	12,809	6,115	鉄筋補強工		本	107.0	26,411	2,826	現場養生工	吹付けコンクリート	m ²	134.4	37,000	5,478	掘削工	鉄筋工	t	2.0	268,120	533	掘削工		m ³	31.8	30,063	956	掘削工		式	1.0	861,000	861	特許料		m ³	477.4	0.8	382	合計					20,503	<table border="1"> <thead> <tr> <th>名称</th> <th>規格</th> <th>単位</th> <th>数量</th> <th>単価</th> <th>金額(千円)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>片切掘削</td> <td></td> <td>m³</td> <td>690.0</td> <td>2,214</td> <td>1,528</td> </tr> <tr> <td>機械掘削</td> <td></td> <td>m³</td> <td>882.0</td> <td>1,078</td> <td>951</td> </tr> <tr> <td>残土運搬</td> <td>2.5km</td> <td>m³</td> <td>1,482.0</td> <td>500</td> <td>741</td> </tr> <tr> <td>現場養生工</td> <td>現場打ち法枠</td> <td>m²</td> <td>559.0</td> <td>37,000</td> <td>20,683</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>25,481</td> </tr> </tbody> </table>	名称	規格	単位	数量	単価	金額(千円)	片切掘削		m ³	690.0	2,214	1,528	機械掘削		m ³	882.0	1,078	951	残土運搬	2.5km	m ³	1,482.0	500	741	現場養生工	現場打ち法枠	m ²	559.0	37,000	20,683	合計					25,481
名称	規格	単位	数量	単価	金額(千円)																																																																																																																																		
片切掘削		m ³	125.0	2,214	275,750																																																																																																																																		
片切掘削		m ³	539.0	1,078	580,642																																																																																																																																		
残土運搬	2.5km	m ³	694.0	500	347,000																																																																																																																																		
親杭掘削	1.0m	式	1.0	21,897	21,897																																																																																																																																		
合計					24,021																																																																																																																																		
名称	規格	単位	数量	単価	金額(千円)																																																																																																																																		
リングビーム		m ²	42.9	78,089	3,350																																																																																																																																		
掘削		m ³	477.4	12,809	6,115																																																																																																																																		
鉄筋補強工		本	107.0	26,411	2,826																																																																																																																																		
現場養生工	吹付けコンクリート	m ²	134.4	37,000	5,478																																																																																																																																		
掘削工	鉄筋工	t	2.0	268,120	533																																																																																																																																		
掘削工		m ³	31.8	30,063	956																																																																																																																																		
掘削工		式	1.0	861,000	861																																																																																																																																		
特許料		m ³	477.4	0.8	382																																																																																																																																		
合計					20,503																																																																																																																																		
名称	規格	単位	数量	単価	金額(千円)																																																																																																																																		
片切掘削		m ³	690.0	2,214	1,528																																																																																																																																		
機械掘削		m ³	882.0	1,078	951																																																																																																																																		
残土運搬	2.5km	m ³	1,482.0	500	741																																																																																																																																		
現場養生工	現場打ち法枠	m ²	559.0	37,000	20,683																																																																																																																																		
合計					25,481																																																																																																																																		
判定		○																																																																																																																																					

経済性に関しては、土留め杭や支保工が不要なため鋼材の使用量が削減されることや大型の建設機械が不要であることから「竹割り型土留め工法」が最も優位となる。また、斜面を鉛直に掘削することで自然改変が最小限であり環境性・景観性にも優れる「竹割り型土留め工法」を採用するものとした。

5. 竹割り型土留め工法の設計

図-4 に設計フローを示す。リングビーム断面、補強材
表-3 竹割り型土留め工法の構造諸元

掘削高	5m ≤ 最大掘削高 < 20m
リングビーム	リングビーム リングビーム断面 : 幅 1.0m × 高さ 0.6m
補強材	<ul style="list-style-type: none"> ・すべりの円弧が発生する領域 各ゾーンの最大掘削高の 1/2 ・補強材の長さと同隔 上記の領域内で、安定計算により求める。 ・補強材の最小長 ゾーン1 CL級 : 3m 土砂部 : 4m (D級含む)*1 ゾーン2 岩部、土砂部 : 3m ・補強材最大間隔 最大打設密度 : 1.6m² 当り 1本 鉛直間隔は、1.2m を標準とする。
吹付けコンクリート壁	厚さ : 200mm (1次吹付け厚さ 50mm は含まない)
底版コンクリート	厚さ : 500mm D16@300, 縁部 D16@150

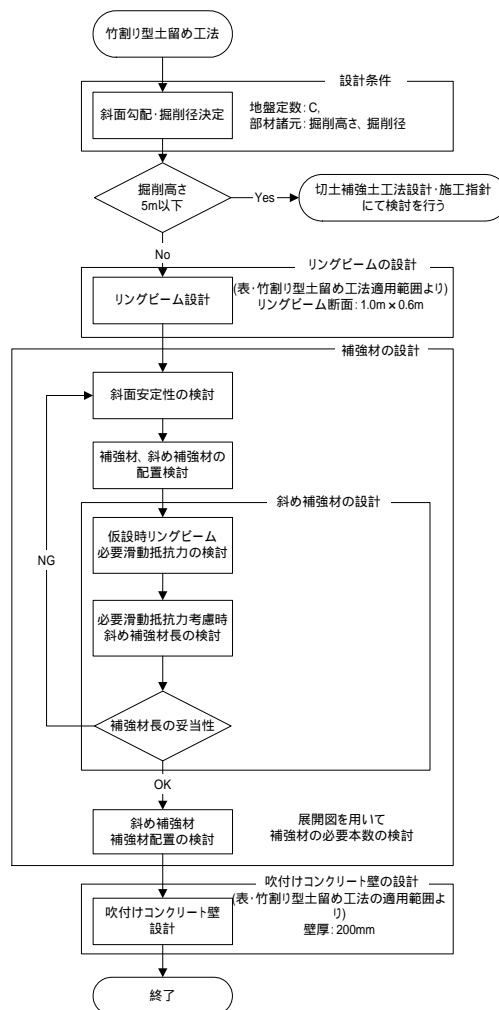


図-4 竹割り型土留め工設計フロー

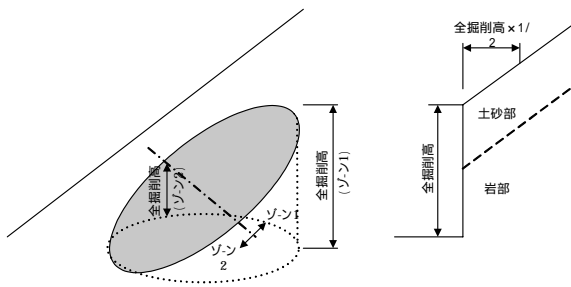


図-5 竹割り型土留め工法の適用対象

配置は表-3 及び図-5 に示す構造諸元を基本とし、骨組構造計算、円弧すべり法による安定計算、試行くさび法により求めた背面土圧に対する滑動の検討により設計した。吹付けコンクリート壁、底版は構造諸元に準拠した。なお各諸元は過去の試験施工等によって決定されている。

6. 竹割り型土留め工法の施工

図-6 に竹割り型土留め工法の施工フローを示す。

6.1 施工ヤード

施工箇所は山に挟まれた谷間であり、平地確保のために仮栈橋を設ける必要があり、栈橋形状は、リングビーム施工時、吹付けコンクリート壁掘削時、吹付けコンクリート壁補強材打設時、吹付けコンクリート壁鉄筋施工時、底版コンクリート工施工時それぞれについて機材配置を検討し、最小となる形状を計画した(図-7)。

6.2 リングビームの施工

リングビームは地山形状を極力乱さずに施工するため吹付けコンクリートで行った。リング斜め補強材はクレーン式ドリルで打設し、最大掘削方向の1本について確認試験を行った。リングビームと吹付けコンクリート壁を連結する鉄筋を設置した(図-8)。

6.3 吹付けコンクリート壁の施工

逆巻き掘削は補強材打設間隔に合わせて鉛直方向1.2m 毎とした。吹付けコンクリート壁は、早期地山保護を目的とする1層目と、長期耐久性を目的とする2層目の2層構造である。

吹付けコンクリート壁施工は逆巻き掘削後直ちに溶接金網の設置・一次吹付けを行い、鉄筋組立、二次吹付け、補強材打設の順序で行うものとする(図-9)。

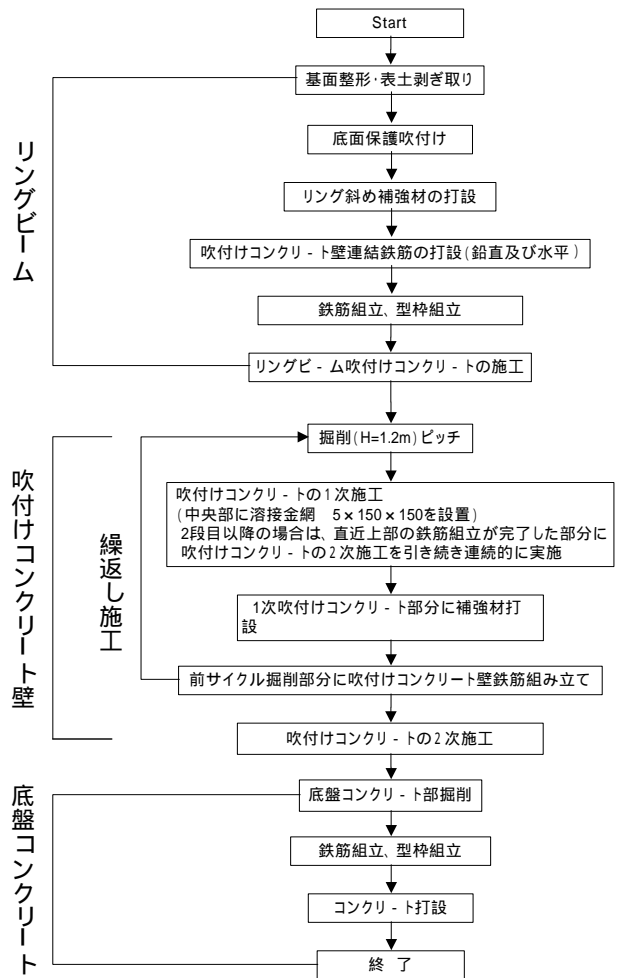


図-6 竹割り土留め工の施工フロー

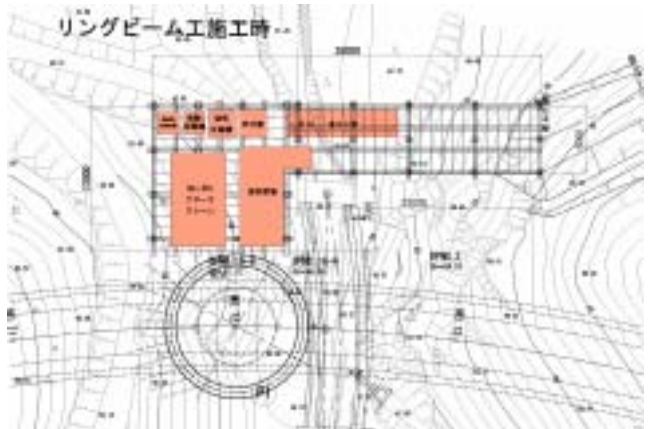


図-7 仮栈橋機材配置図

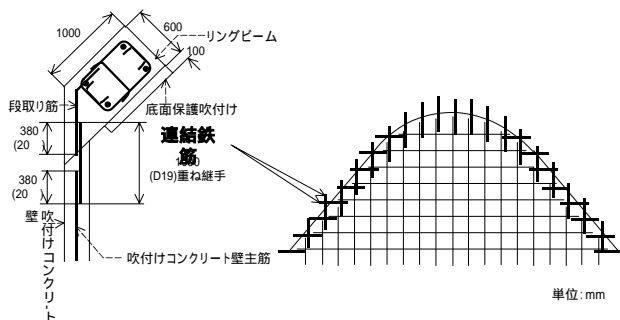


図-8 連結鉄筋詳細図

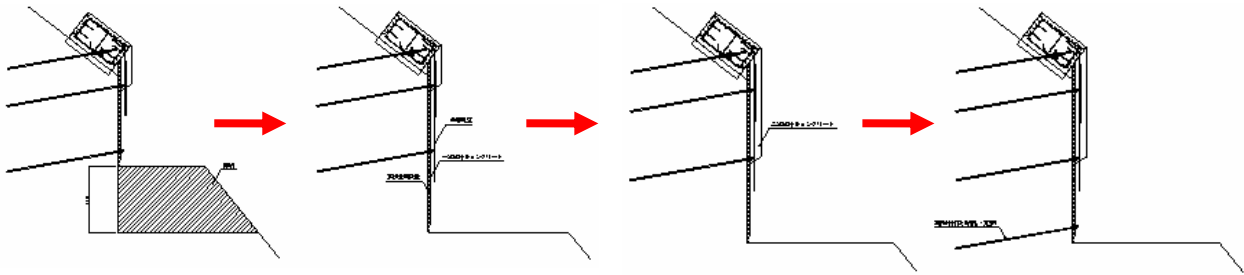


図-9 吹付けコンクリート壁施工順序図

6.4 底版コンクリートの施工

吹き付けコンクリート壁の鉄筋を底版コンクリートに定着させることで一体化させた。深礎杭に湧水等を入りにくくするため、天端には2%程度の勾配を設け、また、構造物外に排水するよう全体的に谷側へ約1%の勾配を設けリングビーム下に排水管を設置した。

6.5 施工時の動態観測

竹割り型土留め工法は、施工実績が少なく各諸元は試験施工等から決まっており、補強メカニズム等に未解明な部分があることから施工時には動態観測を行うことを原則としている。本橋での観測頻度、項目等は「設計・施工マニュアル(案)」に基づき以下のとおりとした。

(1) 観測期間及び観測頻度

観測は竹割り型土留め工の施工開始から深礎杭施工完了までの期間とし、観測頻度は1日2回(8時及び17時)および掘削作業前後とする。

(2) 観測項目1「目視観察」

壁面・掘削上部斜面を重点的に観察。壁面の観察は、亀裂の発生、傾斜、はらみ出し等が見られないか観察した。掘削上部斜面の観察は、地表面の沈下、亀裂が発生していないか等を観察した。また、降雨時の水抜き孔の排水不良についても目視による検査を行った。

(3) 観測項目2「リングビーム上の地表変位計測」

リングビーム上にターゲットを5点設置しリングビームの挙動を光波側距儀により計測を行った。(図-10)。管理基準は「設計・施工マニュアル」に示すフロー(図-11)に基づき表-4のとおりとした。

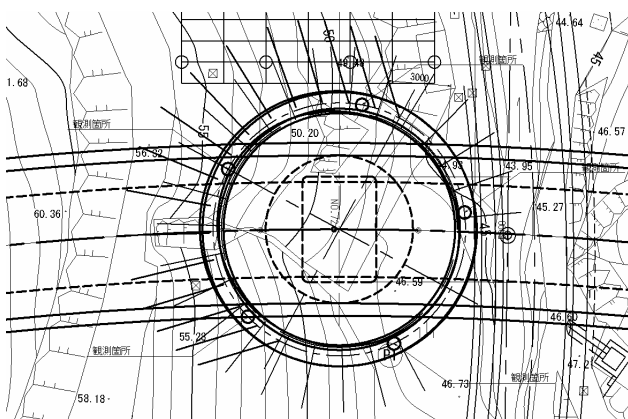


図-10 地表変位計測配置図

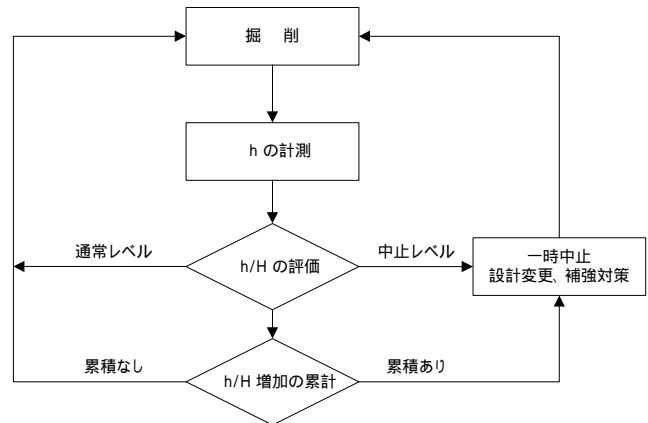


図-11 動態観測評価フロー

表-4 観測レベル

	通常レベル	警戒レベル	中止レベル	
土砂	$\delta h/H \leq 0.20$	$0.20 < \delta h/H \leq 0.40$	$0.40 < \delta h/H$	(単位: %)
軟岩	$\delta h/H \leq 0.15$	$0.15 < \delta h/H \leq 0.30$	$0.30 < \delta h/H$	H: 掘削高
硬岩	$\delta h/H \leq 0.10$	$0.10 < \delta h/H \leq 0.20$	$0.20 < \delta h/H$	h: 水平変位

なお、警戒レベルでは、ひずみ速度が収束するか否かによって、中止レベルが通常レベルに移行する。また、これに加えてリングビームの片側変位について設計上考慮した $\leq 6\text{mm}$ を超えた場合は中止レベルとした。

本橋での観測結果は、計測した全ての数値が通常レベルの範囲となり、工事を中止することなく施工することが出来た。

7. 終わりに

最後に「竹割り型土留め工法」を施工した際に感じた優れた点や苦労した点について述べる。

本橋の施工現場は急峻な谷地形であり、また、橋脚を設置する斜面の中腹には市道（赤道）、河川の上流には砂防堰堤構造物が存在している状況であったため、竹割り型土留め工法により掘削影響範囲を必要最小限に押さえたことが経済的に有利だったことと同時に、各関係機関との協議に要する時間を短縮することが出来たため、事業の進捗にもメリットがあったと感じた。

また、本橋の場合、掘削用施工機械の搬入が仮架橋上からの吊り下ろししか手段が無かったため、大型機械を必要としない「竹割り型土留め工法」を採用したことは施工性において現場に合致していた。

「竹割り型土留め工法」は1サイクルの掘削高が1.2mであり掘削後直ぐに金網設置及び一次吹付を行うこととなっており、施工中の安全性も十分であった。但し、施工を進捗させる上では掘削高の制限が影響を受けることとなり、本橋の施工業者は、竹割り型土留め工法の施工実績のある業者を下請けとすることで進捗を確保したが、今後の普及に向けて施工性の向上が課題ではないかと感じた。

また、安全性の確保という点では、設計に不確実な部分があり動態観測が義務づけられていることは改善の必要があると感じた。本橋では施工業者の丁寧な施工と地盤条件が良好だったことから動態観測で変位はほとんど無かったが、施工実績を蓄積され設計手法を早急に確立されることを望む。

景観性については、橋脚施工後に埋め戻すことで構造物の存在感を薄くすることができるが、埋戻（盛土）勾配に限界があり既設斜面に一致させることが困難なこと、及び、埋戻は橋梁上部工に必要な昇降施設等仮設物の撤去後に初めて施工が可能になりその時での埋戻土の確保に苦慮すること等により埋め戻すことが必然性に乏しいことが希有される。

施工上、最も苦慮した点は、リングビームの施工が斜面上となり、斜面での鉄筋の組み立てや位置を保持しておくことであった。

以上、改善を望むところもあったが全体的には急斜面で施工影響範囲や施工機械が制限される場所では大変有効な工法であったので、「竹割り型土留め工法」が今後一層普及することを期待する。