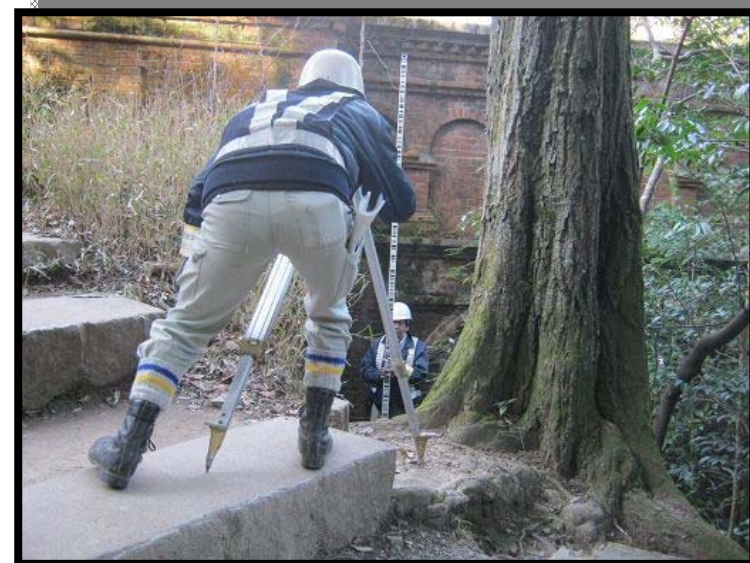
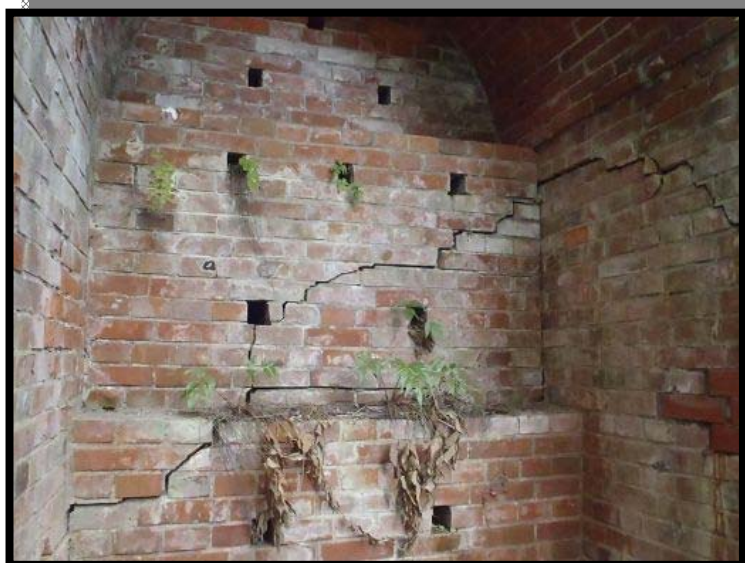


疏水水路閣及び西側法面 動態観測解析業務委託（その4）

定期報告資料



I. 調査概要	01
1. これまでの経緯	01
2. 平成 27 年度調査方針	05
II. 観測調査結果概要（平成 27 年度）	05
1. 定点観測結果概要	05
2. 亀裂連続監視（水路閣西側法面部）	07
3. 地下水観測結果	09
III. 観測結果の総括（平成 27 年度）	10
1. 水路閣西側橋台部	10
2. 水路閣西側法面部	10

平成 28 年 7 月 28 日

1. 調査概要

1.これまでの経緯

国の史跡である水路閣の西側橋台部で、長さ 4m に達する亀裂が平成 20 年 7 月に発見された。その後、学識経験者から成る『水路閣改修調査検討委員会』によって各種調査・試験および構造解析が実施され、以下の所見が示された。

- 1) 全体として水路閣の躯体は健全である
- 2) 応力が解放され現状は安定している
- 3) M7～8 クラスの地震に対する耐震性を有している

その後、3 年程度を目安とする『水路閣管理計画』が策定され、平成 27 年 3 月まで各種調査が実施された。その間に年 1～2 回程度の記録的豪雨にも遭遇したが、変位量や挙動に大きな変化が見られなかったことから、現時点では避難・警戒措置をとるほどの緊急性は低いと判断している。一方、水路閣の西側法面部は、地すべり地形や小規模崩壊跡が各所に見られ、ルーズな表土の存在や急峻地形を呈していることなどから、斜面崩壊に伴う疏水(水路)の崩落や法裾基地への危険性が問題となった。

しかし、水路閣や隣接する斜面が織りなす自然景観は、末永くその姿を保ち、文化的・景観的価値を保全する必要があるとあり、対策工事が行われるまでの間は、安全度の確認や警戒措置の実施に資する基礎情報の収集が不可欠となっている。

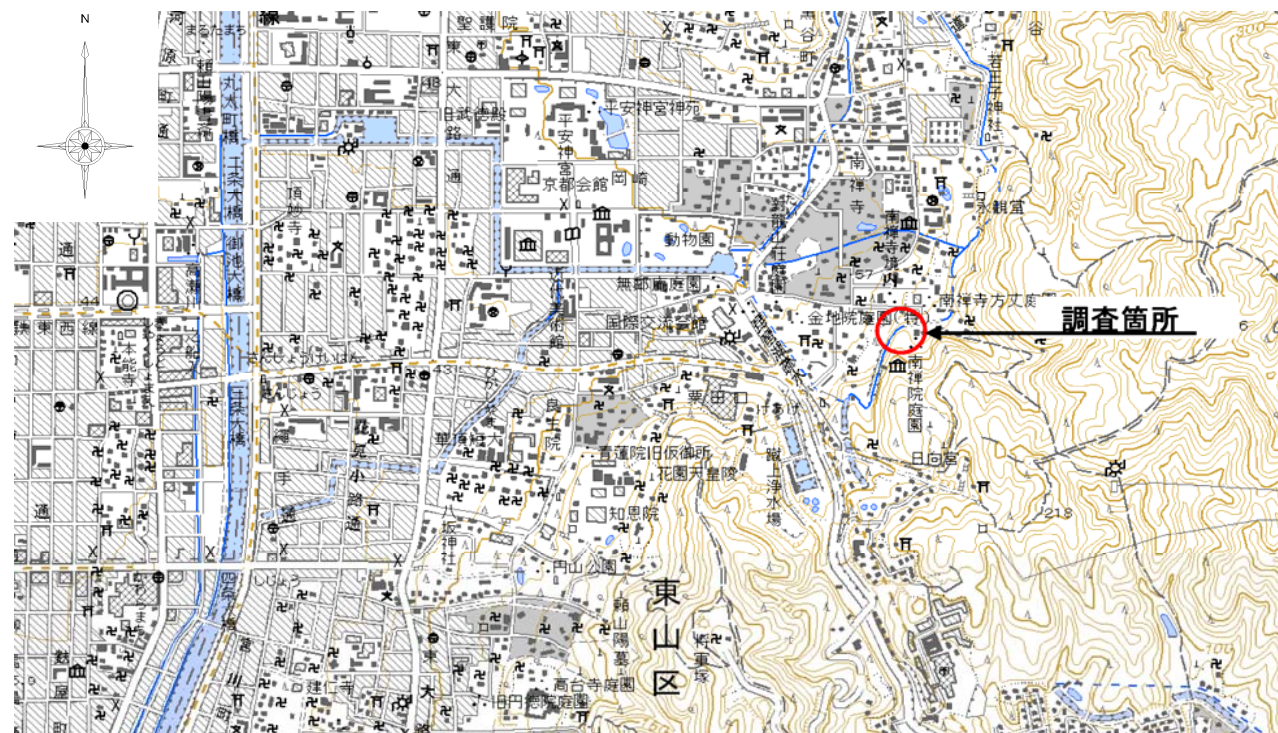


図-1 調査箇所案内図

被害状況【水路閣西側橋台部】



被害状況【水路閣西側法面部】

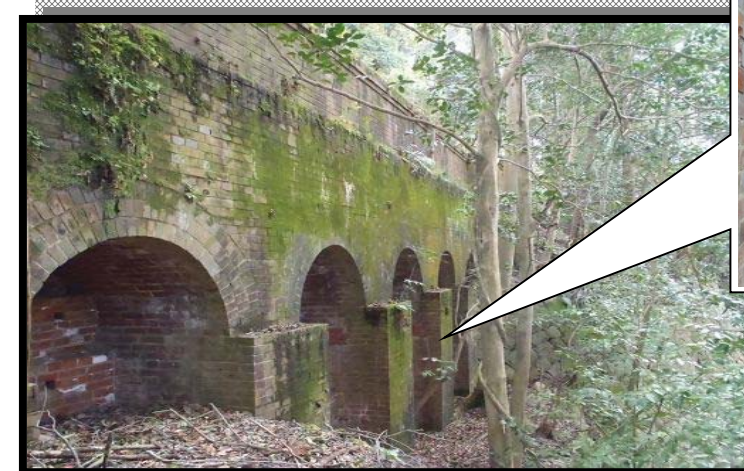
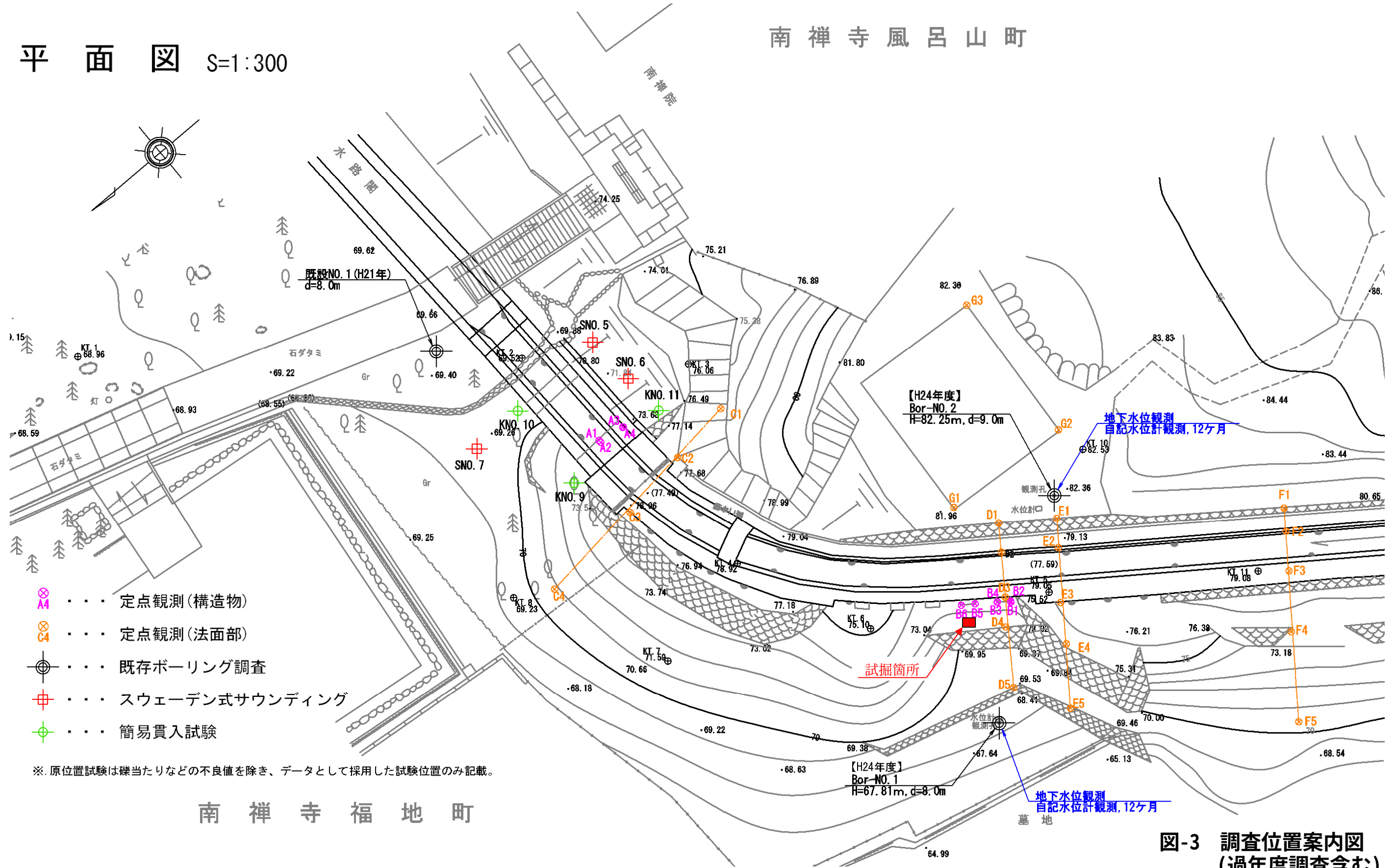


図-2 被災状況概要図

- ⇒水路閣西側橋台部および西側法面部の調査位置案内図を P.2(図-3)に示す。
- ⇒これまでの調査概要を P.3(表-1)に示す。
- ⇒水路閣管理計画での 3 年間に亘る調査結果(取組結果)の総括を P.4 に示す。

平面図 S=1:300

南禅寺風呂山町



■表-1 調査概要一覧表

地 点	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
西側橋台部	■調査 ・クラックスケール観測 ■平成20年8月 防護工事実施	■調査 ・ボーリング調査 ・煉瓦調査・試験 ・振動(微動)計測 ・ひび割深さ調査 ・クラックスケール観測 ■解析 ・構造解析 水路閘改修調査検討委員会 1月 6月 【提言内容】 ・水路閘躯体は全体として健全である。 ・亀裂発生による応力解放で現状は安定している。 ・大地震にて倒壊の可能性は低い。 ・上流側法面部の亀裂への対応が必要である。		■管理計画策定 ■調査 ・クラックスケール観測	■調査解析 ・定点(動態)観測 水路閘管理計画に基づく調査解析業務 4月 ・気候(雨量・気温)による変位への影響なし。 ・数mmオーダーで継続的に変位し続けている。 ・水平亀裂の上下で変位傾向が異なる。 ・偏土圧が要因の1つと推測される。 ・基礎が不同地盤で不等基礎の可能性が高く、これが亀裂発生の主因と判断される。	■調査解析 ・定点(動態)観測 ・基礎地盤調査(サウンディング調査)	■調査解析 ・定点(動態)観測 ・総合評価 ・対策に向けた提言 【3ヶ年計画】 終了	■調査解析 ・定点(動態)観測 ・総合評価 変位量に対する危険性および緊急性の判断(評価)
西側法面部					■調査解析 ・定点(動態)観測 水路閘管理計画に基づく調査解析業務 4月 ・気候(雨量・気温)による変位への影響なし。 ・数mmオーダーで継続的に変位し続けている。 ・水路に対し山側と谷側で変位傾向が異なる。 ・偏土圧が要因の1つと推測される。 ・水路基礎が不同地盤かつ不等基礎の可能性が高く、亀裂発生の要因と推測される。 ・現況安全率($F_{so}=1.0$)が低く、地すべりの進行が亀裂の要因と推測される。	■調査解析 ・定点(動態)観測 ・ボーリング調査 ・地下水位観測	■調査解析 ・定点(動態)観測 ・地下水位観測 ・試掘調査 ・総合評価 ・対策に向けた提言 【3ヶ年計画】 終了	■調査解析 ・定点(動態)観測 ・地下水位観測 ・総合評価 変位量に対する危険性および緊急性の判断(評価)
西側法面部の 水路上流側						■調査 ・危険エリアの目視調査	■簡易調査 ・クラック観測	■簡易調査 ・クラック観測

琵琶湖疏水水路閣

水路閣管理計画

策定経緯

平成20年7月、水路閣の西側橋台部で長さ4mに達する亀裂が発見された。直ちに詳細調査を行い、その対応を検討すべく、平成21年1月に学識経験者6名からなる水路閣改修調査検討委員会が設置された。

同委員会によって、その後2年間にわたる各種調査・試験や構造解析が実施され、以下の所見が示された。

- 1) 全体として水路閣の躯体は健全。
- 2) 応力が解放され現状は安定している。
- 3) M7~8クラスの地震に対する耐震性を有している。

この見解に基づき、現時点では大規模改修の必要性が無いと判断されたが、未永くその姿を保ち、文化的・景観的価値を守っていくため、モニタリングにより状況変化を把握すべきとの提言がなされ、3年程度を目安として『水路閣管理計画』が平成24年3月に策定された。

管理・モニタリング範囲

西側橋台部(史跡範囲)以外の上流部でもひび割れが多数確認され、同委員会の提言も踏まえ、調査の対象範囲を西側橋台部および西側法面部とし、水路閣躯体の監視および周辺地盤の調査を実施することとなった。



取組内容

水路閣躯体の監視および周辺地盤の調査を行い、合わせて、樹木管理や案内板設置等による広報を以下のスケジュールで実施する方針が示された。

調査方法は、『3次元動態観測』やノギス等による直接計測を定期的に行うとともに、その動向を検証し、必要に応じて管理計画の見直しも含めた適切な対応を講じることとした。

管理計画工程表				
年度	監視	周辺地盤調査	樹木管理	広報
24	チェックシート 動態観測 1回/月	動態観測 1回/3月		看板設置 HP掲載
9月	点検・評価	点検・評価	危険木 剪定伐採	
3月	動態観測 1回/月	動態観測 1回/3月		
9月	点検・評価	点検・評価	危険木 剪定伐採	
3月	動態観測 1回/月	追加調査 動態観測 1回/3月		
9月	点検・評価	点検・評価	危険木 剪定伐採	
3月	動態観測 1回/月	動態観測 1回/3月		
9月	点検・評価	点検・評価	危険木 剪定伐採	
3月	動態観測 1回/月	動態観測 1回/3月		
9月	点検・評価	点検・評価	危険木 剪定伐採	

水路閣は疏水分線の一部を形成するレンガ造りの水路橋で、明治18(1885)年に着工し、明治21(1888)年に完成した。当該構造物は延長93メートル、幅4メートル、水路幅2.4メートルを有し、煉瓦によるアーチ構造という近代産業革命を象徴する歴史的建造物である。西欧技術が導入されて間もない当時、日本人のみで設計・施工されたもので、土木技術史上においても極めて貴重で、昭和58年に京都市指定史跡、平成8年には国の史跡として指定されている。

取組結果概要

広報

現地に案内板を設置し、倒壊の危険性が低いこと、ひび割れ状態を監視し続けていることを英語表記も合わせて広報し、同時にHPにて観測結果を掲載した。



実施観測内容

監視や原因究明を見据え、以下の観測を実施した。

- 1) 動態観測(定点観測)
- 2) 地質調査(サウンディング・ボーリング調査)
- 3) 地下水位調査
- 4) ひび割れ観測
- 5) 試掘調査(西側法面部・水路基礎)

動態観測結果【平成24年4月~】

■観測概要

GPS測量にて不動点(2級基準点)を設け、それを基に設置した基準点(4級)を介して、定点の移動量を3次元的に測定した。

- 構造物定点 … 1回/月(年12回)観測
 - 西側橋台部 4点
 - 西側法面部 6点
- 地山定点 … 1回/3ヶ月(年4回)観測
 - 西側法面部 22点



■観測結果

➢水路閣西側橋台部

定点は15mm程度の範囲で移動し続け、24年4月(当初)と最終観測値の差異は約5mmであった。記録的豪雨に何度か遭遇したが、気象条件と変位量に相関性はなかった。水平方向の亀裂を境に上部と下部(基礎側)で、定点の挙動(移動の方向や量)が異なった。



➢水路閣西側橋台部

定点の変位量は西側橋台部と同様の傾向であった。水路を境に山側と谷側で挙動が異なり、土砂地盤の谷側でやや変位量大きい傾向にあった。

地質調査結果【平成25年4月】

■調査概要

2本のボーリング調査と6箇所のサウンディング調査を実施し、採取試料を室内試験に供した。

■調査結果

調査の結果、西側橋台部は不同地盤であること、西側法面部は地すべりが起こり得る地質構造であることが分かった。また、両箇所とも偏土圧を受ける地形であり、後背斜面がスレーキング特性の強い岩盤であることも確認できた。

地下水位調査結果【平成25年4月~】

■調査概要

西側法面部の水路を挟んだ山側と谷側において、自記水位計を用いた地下水位観測(24時間連続観測: 0.5時間ピッチ)を実施した。



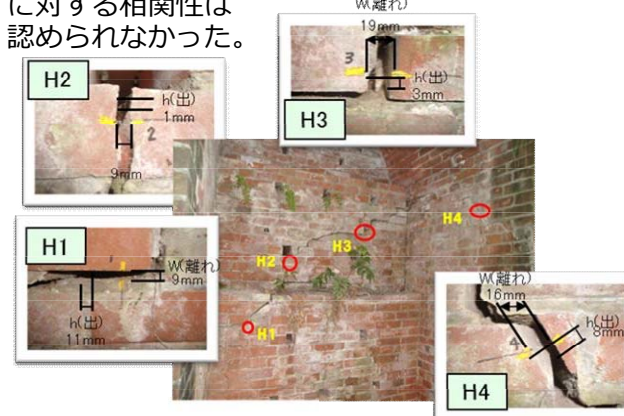
■調査結果

調査の結果、山側に地下水は存在しないと考えられるが、谷側は常時GL-4m付近に水位が確認でき、次のような傾向が窺えた。

- 降雨 50mm/日程度 ⇒ 30cm程水位が上昇
- 降雨100mm/日程度 ⇒ 50cm程水位が上昇
- 降雨130mm/日程度 ⇒ 100cm程水位が上昇
- 雨が降り止むとともに常時水位へ戻る

ひび割れ観測【平成25年6月~】

亀裂の開口量が大きい西側法面部において、ノギスや金尺による詳細な変位量を計測した。その結果、各箇所とも数mmオーダーで開口と閉塞を繰り返し、動態観測結果や天候(雨量・気温)に対する相関性は認められなかった。



試掘調査結果【平成26年4月】

西側法面部における今後の地すべり対策を検討する上で、水路基礎部の根入れ深を確認する必要がある。地すべり主側線上(谷筋中央付近)において試掘を実施した。

その結果、水路躯体の根入れ深さは、概ね1.1mと浅いことが確認できた。

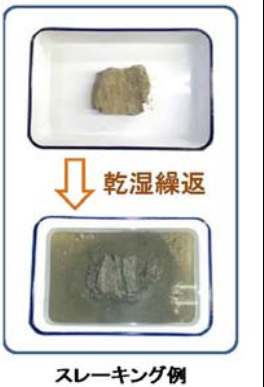


結果総括及び今後の方針

総括

■水路閣西側橋台部

水路閣管理計画により実施した各調査に加え、水路閣改修調査検討委員会の所見や提言を踏まえると、亀裂の発生および変状要因は、不同地盤による不等沈下である可能性が高いと判断でき、さらにスレーキング特性(乾湿繰返による泥土化)の強い岩盤が偏土圧として作用していることも推測される。



■西側法面部

当該調査結果を踏まえると、亀裂の発生および変状要因は、基礎部が不同地盤であることや地すべり地形であることが考えられ、スレーキング特性の強い岩盤が偏土圧として作用していることも推測される。

なお、豪雨等により水位上昇(滑動抵抗力の低下)が長期化した場合は、斜面の変状と共に水路壁面の亀裂の進行のリスクが高まると考える。

今後の方針

■水路閣西側橋台部

当該調査結果を鑑みると、現時点で倒壊の可能性は低く、避難・警戒措置をとるほどの緊急性もないと考える。しかし、歴史的建造物である水路閣が永くその姿を保っていくためには、懸念される偏土圧や基礎部の不同地盤について、対策を検討する必要がある。ただし、亀裂の発生に伴い応力が解放された結果、現状は安定していると考えられるため、対策工の実施については、国の史跡であることも鑑みて、慎重な判断が必要となる。

■西側法面部

西側法面部では水路(疏水)壁面でクラックが確認されたが、定点は15mm程度の範囲内で移動し、離れたり近づいたりを繰り返している。また、当該斜面は、幾つかの記録的豪雨に遭遇したにもかかわらず変位量や挙動に変化が見られなかったことから、避難・警戒措置をとるほどの緊急性は低いと推測できる。しかし、地すべりの危険性が高い地形・地質構造であることから、水路(定点)の変位対応と切り離して、地すべり対策を講じるべきと考える。

■継続監視について

当初の管理計画としては、平成24~26年度の3年間を目途に変状等を監視する方針であったが、対策工に至っていない現状では、今後も引き続き継続監視が必要と考える。ただし、変位傾向や記録的豪雨に対する安定度から判断すれば、これまでのような監視体制(定期的な観測)ではなく、今後は気候変化(気温・雨量)や地震などの外的事象に対して観測を行い、施設の保全や維持管理の観点から、安全度の確認や警戒措置の実施に対する判断材料に、その視点を移すべきと考える。

2. 平成 27 年度調査方針

平成 24～26 年度の 3 年間に亘って実施された水路閣管理計画に引き続き、平成 27 年度は安全度の確認や警戒措置の実施に資する基礎情報の収集を目的として、各種観測を実施した。なお、今年度調査は、原因究明等を含めた水路管理計画での調査目的と異なるため、調査頻度をその半数程度に低減して実施した。

表-2 平成 27 年度調査概要

業 務 内 容	今年度 数 量
■動態観測業務	
基準点測量(4 級,11 点,点検含む)	2 回
水準測量	
西側法面(3 級,11 点,点検含む)	2 回
定点観測	
西側法面(3 次元 1 対回観測,22 点)	4 回
水路閣橋台(3 次元 1 対回観測,10 点(2 箇所))	6 回
水路閣橋台(水準測量 3 級,10 点(2 箇所))	6 回
■地質調査業務	
地下水位測定(西側法面)	
水位計観測(2 箇所×12 ケ月)	24 回
■解析業務(結果整理含む)	1 式
■打合協議(中間 1 回)	1 式

■平成 27 年度の調査目的

- ① 過年度調査による変位特性との差異の有無を確認
- ② 変位が進行した場合の地下水による影響の可能性の確認(検証)
- ③ 変位量に対する危険性および緊急性の判断

※.①については定点観測およびモニタリング調査で対応し、②については定点観測と地下水位測定により総合的に判断する。また、③については、これまでの観測結果と対比して判断する。

II. 観測調査結果概要（平成 27 年度）

1. 定点観測結果概要

定点観測は、これまでの変位特性との差異を確認する目的で実施した。

1) 定点観測（ 構造物 ）

当該調査では、亀裂が激しい A ブロック(

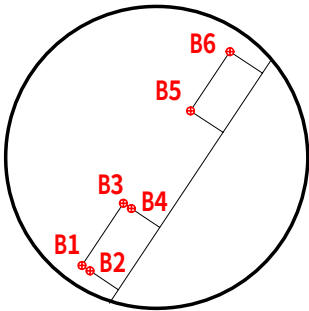
疏水水路閣及び西側法面動態観測解析業務委託(その4) 定点観測変動図

観測点 A・B 【全6回】

A 詳細図

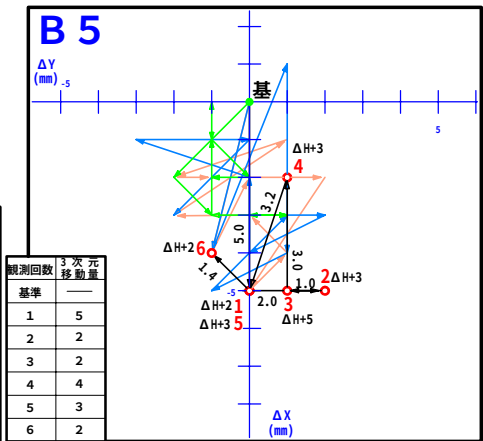
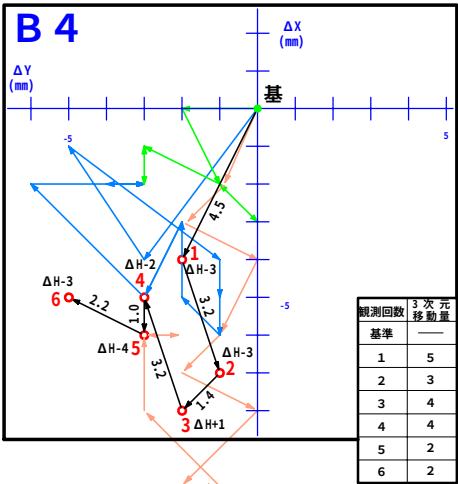


B 詳細図



定期観測日一覧

回数	観測年月日
基準	平成24年 5月18日
1	平成27年 6月18日
2	平成27年 7月24日
3	平成27年10月26日
4	平成27年12月 4日
5	平成28年 2月 1日
6	平成28年 3月 3日



2) 定点観測（のり面）

■ NO.1 側線(C 測線)

- 水路閘より山側と谷側で挙動が異なる
- 山側(C1,C2)は、南東方向へ変位した後、北西へ移動する
- 谷側(C3,C4)はそれぞれ挙動が異なるが、変位量自体は山側に比べて小さい

■ NO.2 側線(D 測線)

- 水路閘より山側と谷側で挙動が異なる
- 山側(D1,D2,D3)および谷側(D4,D5)は、それぞれで変位の量や方向に類似性が窺えるが、変位量は比較的小さい

■ NO.3 側線(E 測線・F 路線)

- 水路閘より山側と谷側で挙動が異なる
- 山谷側で変位量がやや大きく、今後注視する必要がある

■ 鐘つき堂周辺(G 測線)

- G1～G3 定点は、それぞれ挙動が異なるが、変位量は比較的小さい
- 現時点で高さ方向も含め、明確な傾向は見受けられない

過年度調査と同様に、水路閘を挟んだ山側と谷側で挙動が異なり、**変位量は谷側でやや大きい傾向が窺えた。**

⇒次頁、図-7『定点観測変動図【法面】』参照

2. 亀裂連続監視（水路閘西側法面部）

西側法面の水路亀裂部（B ブロック上流端部）について、ノギスや金尺による詳細変位計測を行った。各箇所とも過年度調査と同様に数 mm オーダーの変状を確認したが、ひび割れの程度に大きな進展は見受けられなかった。

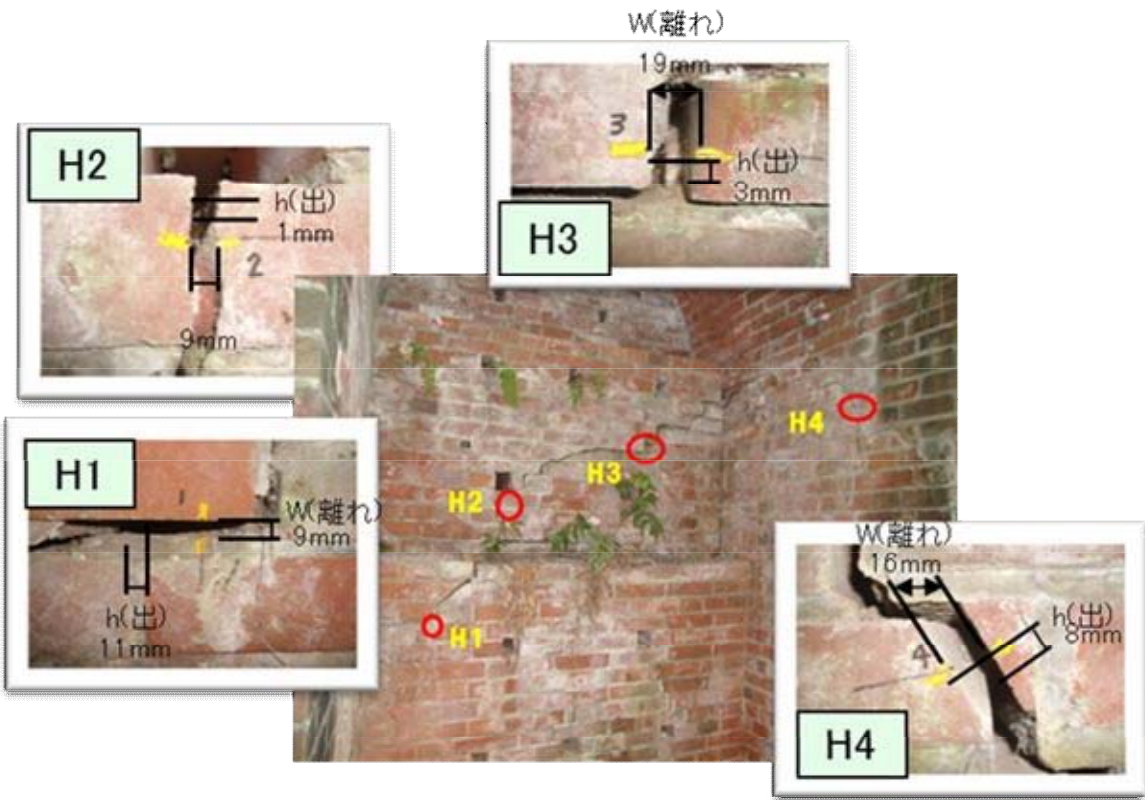


図-6 亀裂観測位置図

表-3 亀裂監視結果一覧(平成 27 年度)

観測日		H1		H2		H3		H4	
		W(離れ)mm	h(出)mm	W(離れ)mm	h(出)mm	W(離れ)mm	h(出)mm	W(離れ)mm	h(出)mm
第1回	6月18日	9.0	12.0	9.0	1.0	19.0	3.0	16.0	9.0
第2回	7月24日	9.0	12.0	9.0	1.0	19.0	3.0	16.0	9.0
第3回	10月26日	9.0	11.5	9.0	1.0	19.0	3.0	16.5	9.0
第4回	12月4日	9.0	12.0	9.0	1.0	18.5	3.0	17.0	8.5
第5回	2月1日	9.0	12.0	9.0	1.0	18.0	3.0	17.0	9.0
第6回	3月3日	9.0	12.0	9.0	1.0	18.0	3.0	17.0	8.0

【全4回】

定点観測位置図 S=1:500



3. 地下水観測結果

西側法面の水路を挟んだ山側と谷側において、地下水位を観測(自己水位計:0.5時間ピッチ)した。その結果、山側(N0.2 孔)は観測以来、地下水位を確認していないが、谷側は GL-4m付近に地下水位を常時確認しており、過年度調査と同様に次のような傾向が窺えた。

- 降雨 50mm/日程度 ⇒ 30 cmほど水位が上昇
- 降雨 100mm/日程度 ⇒ 50 cmほど水位が上昇
- 降雨 150mm/日程度 ⇒ 100 cmほど水位が上昇
- 雨が降り止むとともに常時水位へ戻る

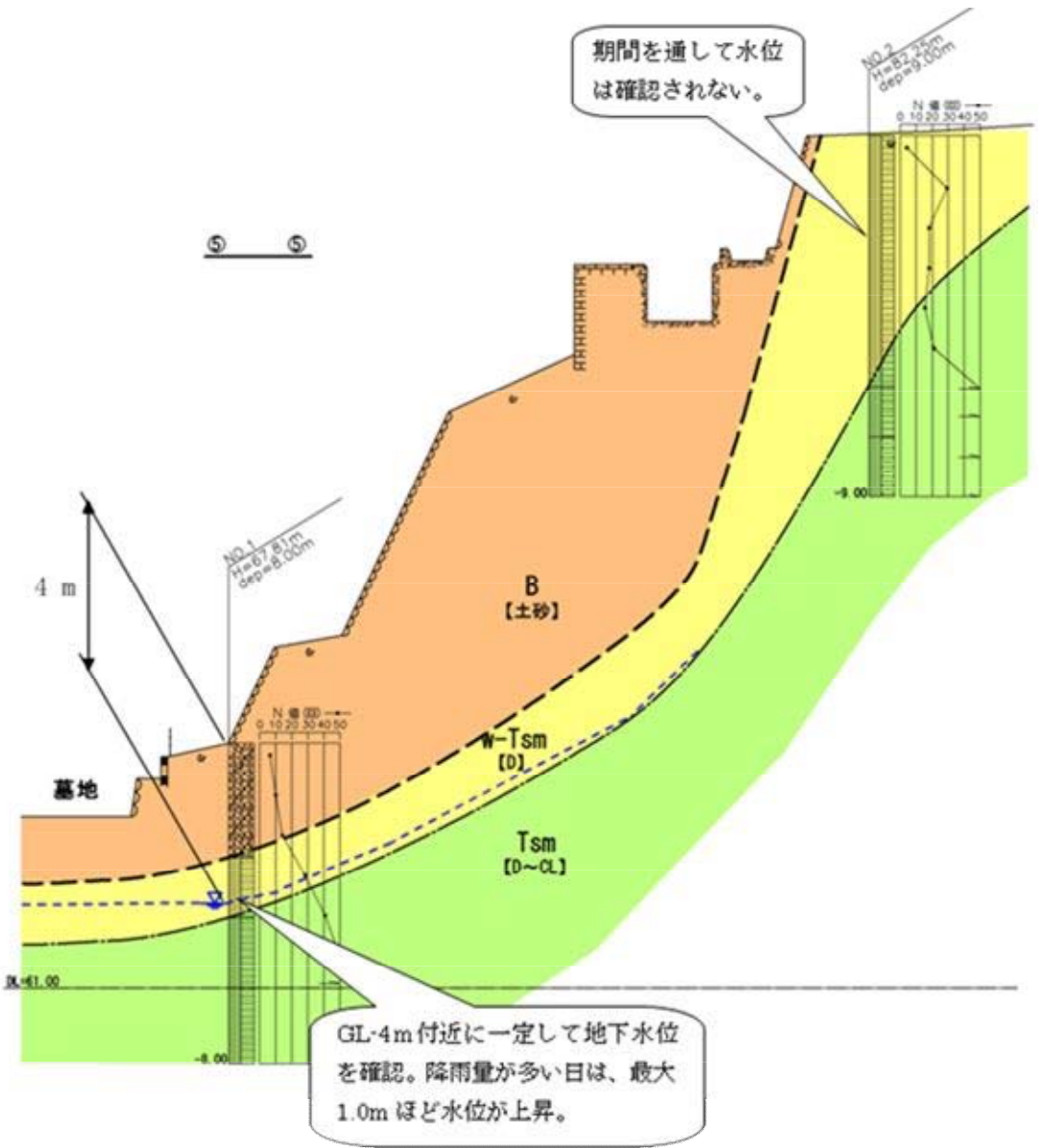


図-8 地下水位分布状況図

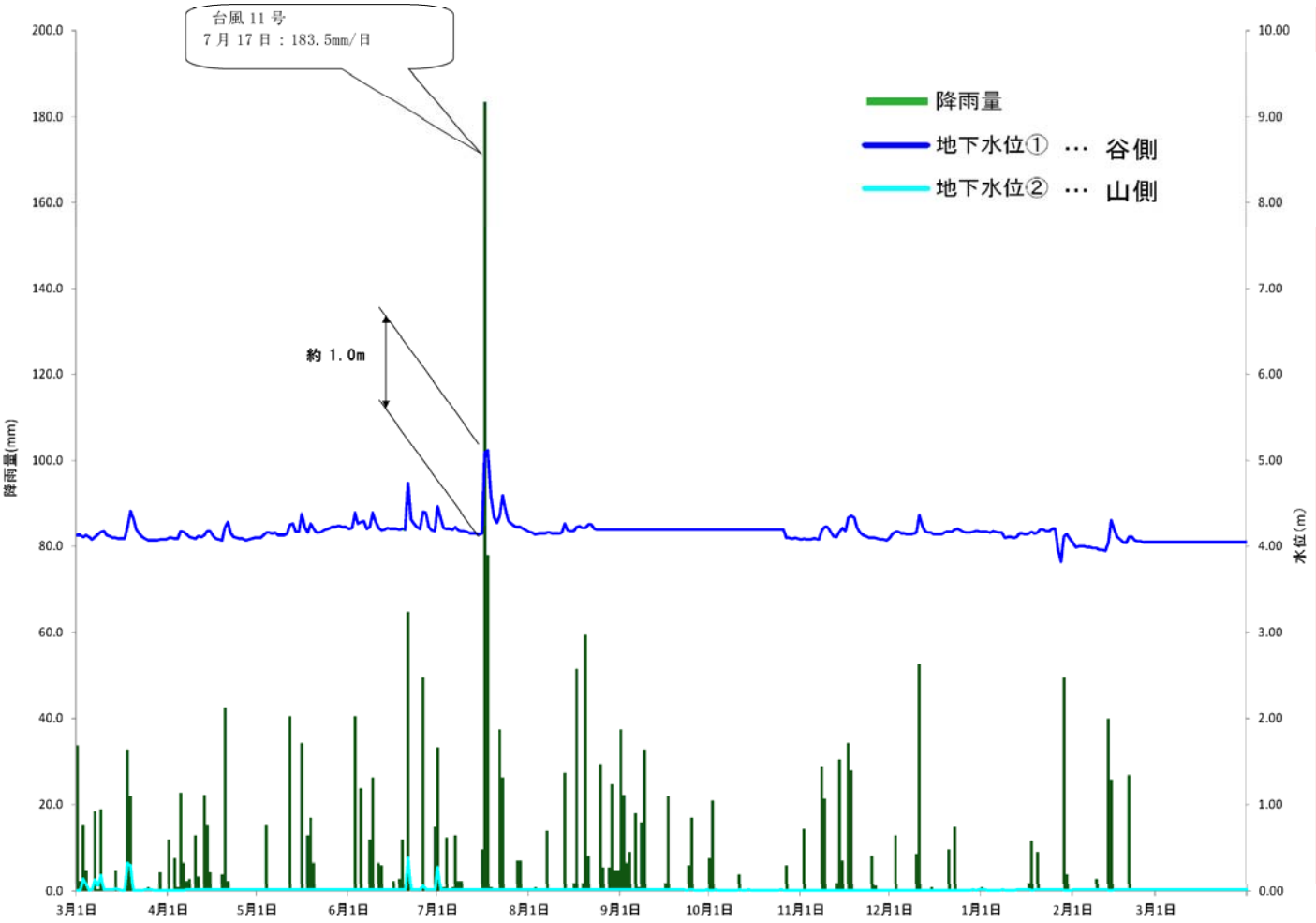


図-9 雨量-地下水位関係図

■ 台風 11 号(H27.7.17)概要

日付毎の日最大降雨量は 183.5mm/d であるが、日を跨ぐ 24 時間雨量の最大値は 259mm/d であった。

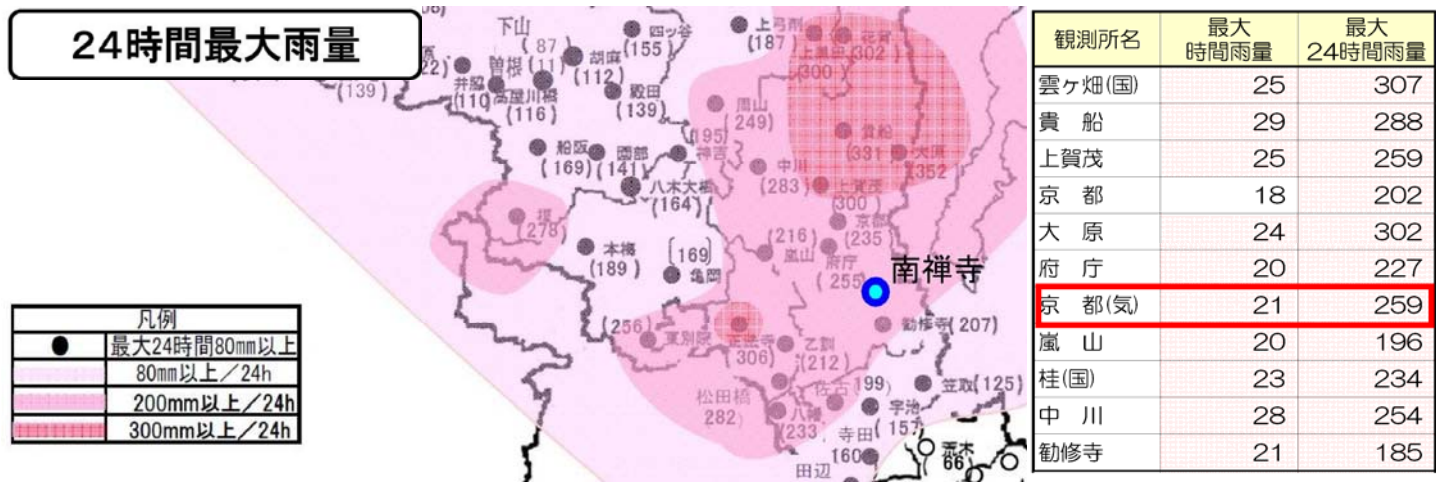


図-10 台風 11 号 24 時間最大雨量図

III. 観測結果の総括（平成 27 年度）

1. 水路閣西側橋台部

当橋台部は、山側と谷側で作用土圧が異なる（偏土圧である）こと、基礎部が不同地盤となっていることから、亀裂の発生はこれらに起因するところと大きいと判断している。

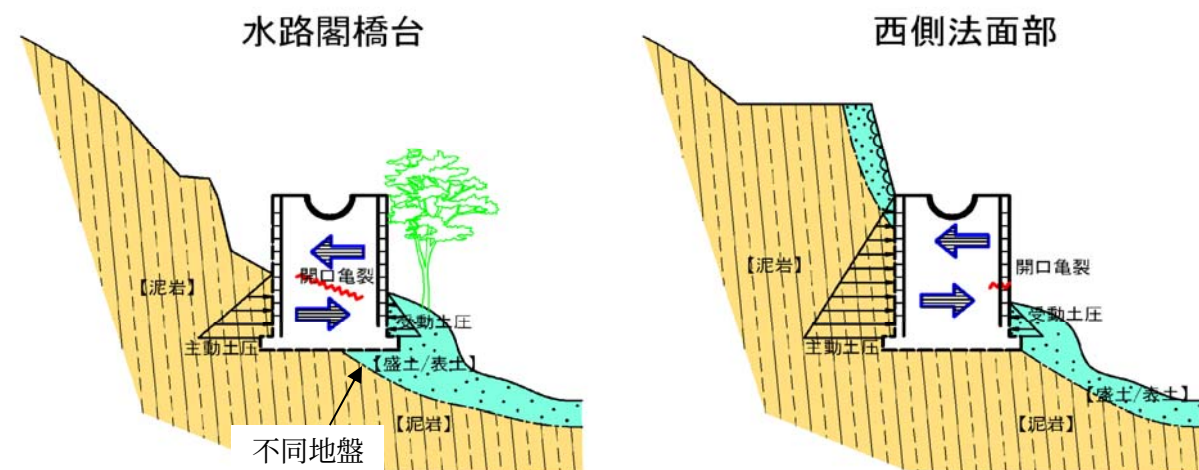


図-11 水路閣西側橋台部変位イメージ図

一方、動態観測（定点観測）結果より、亀裂を境に上部側と下部側で挙動や変位量が異なるが、各定点の移動範囲は概ね 5mm の範囲内に収まっており、4 年前の初期値と今回の最終観測値の差も概ね 5 mm 以内となっている。また、観測期間内に何度か記録的豪雨に遭遇したが、天候（雨量など）と変位量の相関性は窺えなかった。

< 記録的豪雨の遭遇状況 >

- 平成 24 年 7 月：豪雨（117.5mm/d，460mm/月）
- 平成 25 年 9 月：台風 18 号（24 時間最大降雨量 200mm，総雨量 400mm）
⇒京都市内では記録的水害が発生。災害対策基本法に基づく初の避難指示発令。
- 平成 26 年 8 月：豪雨・台風 11 号（487mm/月）
- 平成 27 年 7 月：台風 11 号（24 時間最大降雨量 250mm）

これらに加え、過年度の構造解析等から地震（M7～8 クラス）でも倒壊の可能性が低いと考えられていることから、現時点で避難・警戒措置をとるほどの緊急性は低いと考える。なお、懸念される偏土圧や基礎部の不同地盤について対策を検討する必要もあるが、亀裂の発生に伴い応力が解放された結果、現状は安定していると考えられるため、対策工の実施については国の史跡に指定されていることから考えれば、慎重な判断が必要である。

2. 水路閣西側法面部

西側法面部は疏水水路を挟んだ山側と谷側で地山の変位量が異なるが、各定点の移動範囲は概ね 15mm の範囲内に収まっており、4 年前の初期値と今回の最終観測値の差も概ね 5 mm 以内となっている。

一方、地下水位の観測結果は、谷側でのみ地下水位を GL-4m 付近で確認している。また、豪雨時には最大 1m ほどの水位上昇が確認されるものの、雨が降り止むとともに常時水位に戻り、地下水位と定点観測による変位量との間に明確な相関性も認められなかった。当該斜面は、これまで幾つかの記録的豪雨に遭遇したが、変位や挙動に大きな変化は見られなかったことから、直ちに避難・警戒措置をとるほどの緊急性は低いと考える。しかし、これまでの地質調査結果や試掘結果などから、地すべりの危険性が高い地形・地質構造（現況安全率 1.0）であることが判明しており、水路の変位と切り離して斜面对策工事を速やかに実施すべきと考える。

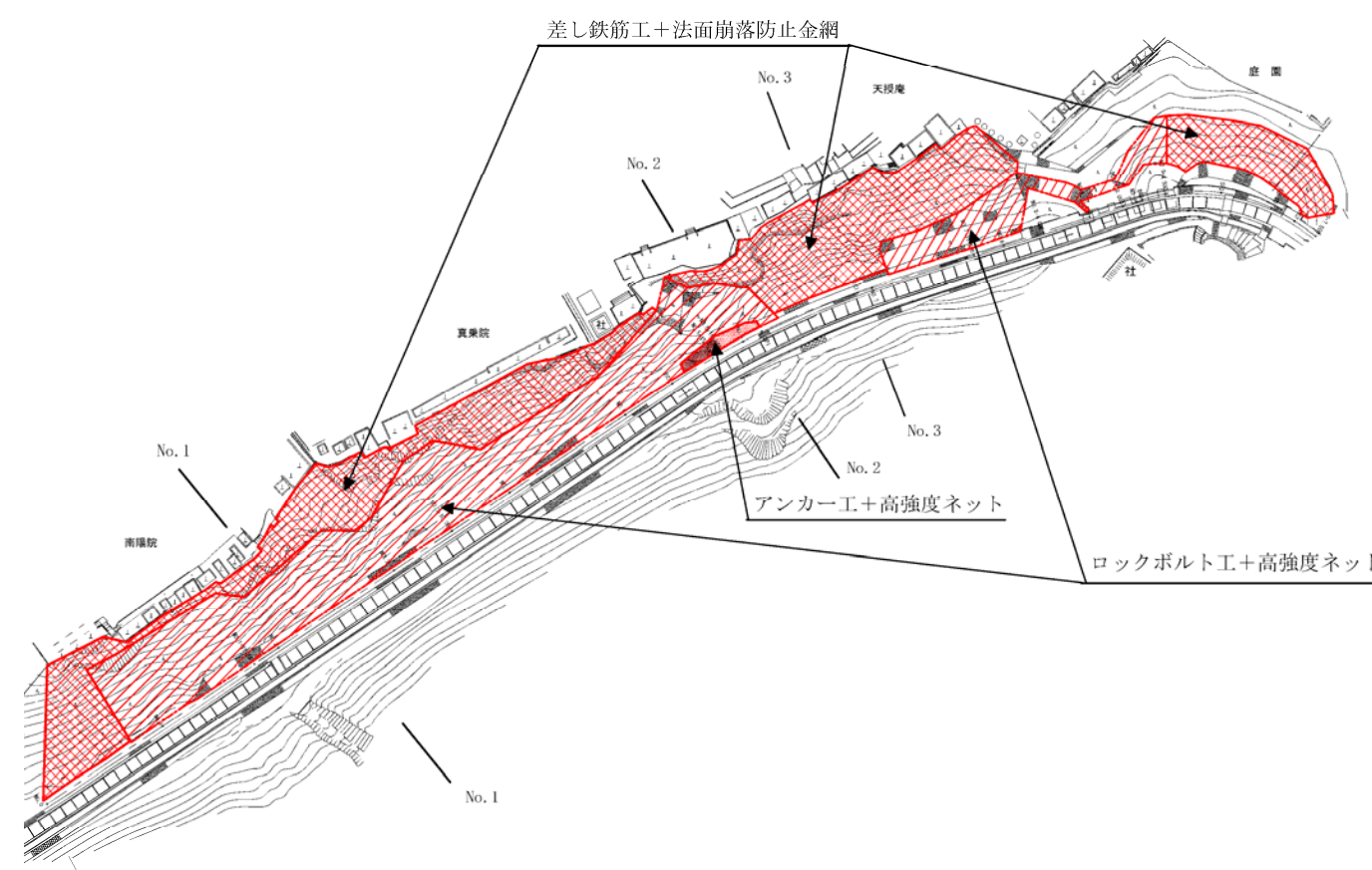


図-12 西側法面部対策概要図