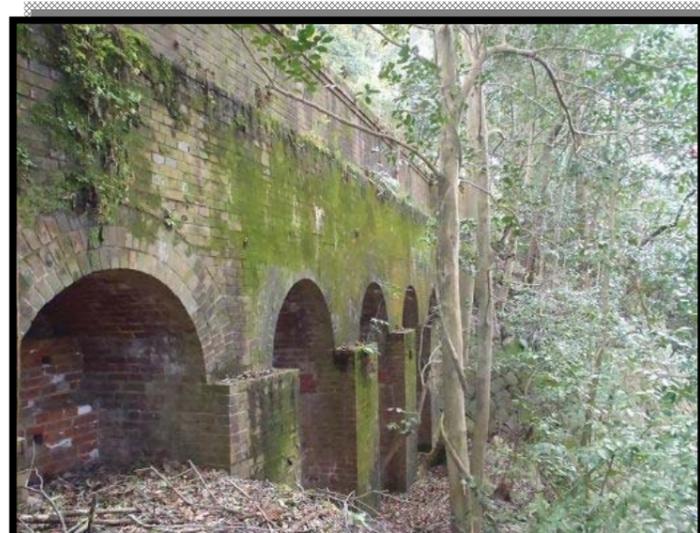


疏水水路閣及び西側法面 動態観測解析業務委託(その2)

定期報告会資料

平成 25 年度調査結果報告



§ 1. 調査の概要と目的	1
§ 2. 動態観測概要	2
§ 3. 地下水位観測概要	7
§ 4. 地質調査結果概要	9
§ 5. 気象条件	9
§ 6. 総合評価と今後の方針	11

平成 26 年 5 月 15 日

§ 1. 調査の概要と目的

1. これまでの経緯

平成 20 年 7 月、国の史跡である水路閣の西側橋台で老朽化が原因と思われる亀裂が見つかり、倒壊の危険があるとして、京都市上下水道局が防護工事を行って、現在に至っている。平成 22 年に『水路閣改修調査検討委員会』が設置され、煉瓦強度調査や構造解析（耐震性の把握）などが行われた後、昨年度（平成 24 年度）は水路閣管理計画に従い動態観測調査（定点観測）が実施された。これらの結果、水路閣自体は一定の耐震強度を有すこと、挙動の異方性や特殊性などを掴んだが、構造的視点からの亀裂発生の原因特定には至っていない。

平成 25 年度（2 年目）についても西側橋台および西側法面部の危険度や緊急性の客観的な判断材料を得るべく、引き続き『動態観測調査（定点観測）』を実施した。また、西側法面部の水路壁面亀裂の発生要因や変位の進行に“地すべり”が疑われたことから、ボーリング調査（別途業務）、並びに『地下水位観測調査』を実施した。

表-1 水路閣管理計画工程表

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		危険木 剪定伐採	
3月	点検・評価			
25	↓ 動態観測 1回/月	↓ 動態観測 1回/3月		
9月	点検・評価		危険木 剪定伐採	
現時点 ⇒ 3月	点検・評価			
26	↓ 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		危険木 剪定伐採	
3月	点検・評価			
27				



図-1 現地状況

※. 湧水については、天候に係らず（晴天が続く場合でも）一定量が確認されている。

2. 調査方針

本調査は、以下の事柄を見極める目的で実施する。

- 1) 水路閣の局所的な破損か？ 全体の変位か？
- 2) 継続的に変位しているか？ 傾向や特徴はあるか？
- 3) 地下水による影響の可能性はあるか？
- 4) 橋台の支持層が不等地盤もしくは不等基礎となっていないか？

1), 2)については定点観測およびモニタリング調査で対応し、3)については定点観測と地下水位測定により判断する。また、4)については、スウェーデン式サウンディング等とボーリング調査(別途業務)により確認する。

【業務数量】

■動態観測業務

基準点測量(4級, 11点, 点検含む)	4 回
水準測量	
西側法面(3級, 11点, 点検含む)	4 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))	12 回
水路閣橋台(水準測量3級, 10点(2箇所))	12 回

■地質調査業務

地下水位測定(西側法面)	
自記水位計設置(水圧式水位ロガー高機能型)	2 基
水位計観測(2箇所×12ヶ月)	24 回
サウンディング調査	
スウェーデン式サウンディング	18 m

■解析業務(結果整理含む)	1 式
---------------	-----

§ 2. 動態観測概要

1. 観測概要

過年度に設置された基準点等を利用し、既に設けられた定点の位置観測を行う。
2年目となる今年度は、構造物定点で微小変位を捉えるため月1回観測、横断方向定点観測では大きな変位に着目するため年4回(1回/3ヶ月)の観測とし、気象状況(降雨等)を鑑みて実施日程を決定した。また、亀裂の変動を直接把握すべく、ノギスにより直接計測も実施した。



定点(地山) 【杭】



定点(壁跡) 【マーキング】

図-2 定点設置状況

表-2 平成25年度観測実施日

観測日		構造物定点観測	斜面定点観測
第1回	4月16日	○	○
第2回	5月9日	○	—
第3回	6月6日	○	—
第4回	6月27日	○	○
第5回	7月30日	○	—
第6回	8月27日	○	—
第7回	9月9日	○	—
第8回	10月11日	○	○
第9回	11月13日	○	—
第10回	12月16日	○	—
第11回	1月28日	○	○
第12回	2月28日	○	—

2. 定点観測結果概要

定点観測は、水路閣の局部的な破損か全体的変状か、あるいは、継続的に変位し続けているかを見極める目的で実施した。

1) 構造物定点 ⇒ 図-5『定点観測変動図【構造物】』参照

当該調査では、亀裂が激しいAブロック(A1~A4)とBブロック(B1~B6)に定点を設けて観測し、その結果概要を以下に示す。

■ Aブロック【水路閣橋台】

亀裂を境として基礎側と上部工側で挙動および変位量が異なっており、上部工で変異量が大きい傾向にある。⇒【過年度観測と類似の傾向】

■ Bブロック【西側法面部】

過年度調査により、月毎の累積降雨量が多い期間に変位量が大きい傾向が見受けられたが、今年度の観測ではその傾向が伺えない。一方、過年度調査同様に、亀裂を境に上部側と下部側での変位量の差異を確認できた。

2) 横断方向定点 ⇒ 図-6『定点観測変動図【法面】』参照

これまでと同様に次のような継続変位を確認し、水路閣を挟んだ山側と谷側で挙動が異なり、変位量は谷側で大きい傾向にあることが分かった。

■ NO.1 測線(C測線)・・・【尾根筋】

- ・ 水路閣より山側と谷側で挙動が異なる。
- ・ 山側(C1,C2)は、南方向へ変位した後、西側へ移動する。
- ・ 谷側(C3,C4)はそれぞれ挙動が異なるが、変位量自体は小さい。

■ NO.2 測線(D測線)・・・【谷筋】

- ・ 水路閣より山側と谷側で挙動が異なる。
- ・ 山側(D1,D2)はそれぞれ挙動が異なるが、変位量自体は小さい。
- ・ 谷側(D3~D5)は変位の量や方向に類似性が伺える。

■ NO.3 測線(E測線), NO.4 測線(F測線)・・・【谷筋】

- ・ 水路閣より山側と谷側で挙動が異なる。
- ・ 谷側で変異量がやや大きい。

■ 鐘つき堂(G測線)・・・【谷筋】

- ・ G1~G3 定点は、概ね南方へ変位する。
- ・ 現時点で高さ方向も含め、明確な傾向は見出せない。

3. 亀裂モニタリング結果

昨年度調査の目視確認で亀裂の開閉が見られた箇所(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結果、各箇所とも2mm程度の変状が継続的に確認された。

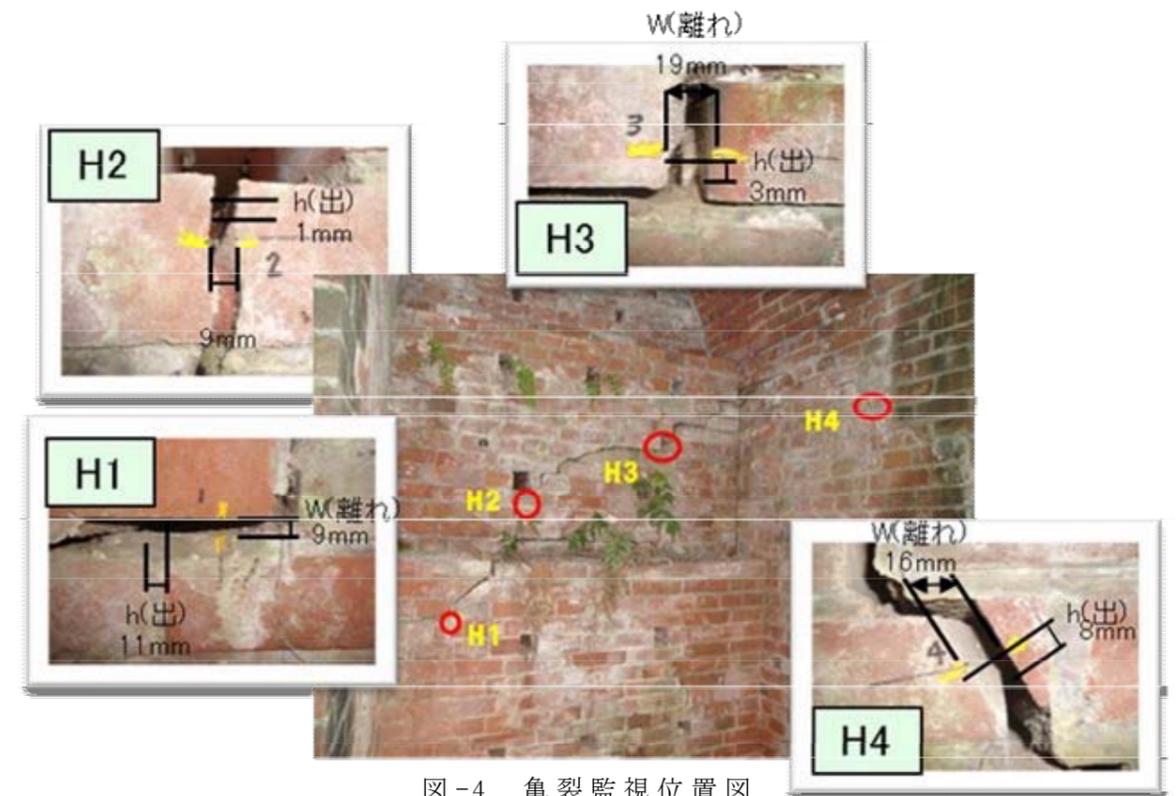


図-4 亀裂監視位置図

表-3 亀裂監視結果一覧

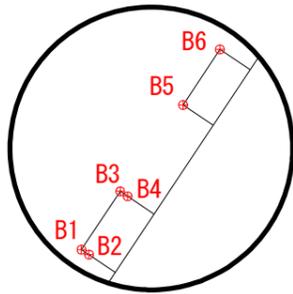
観測日	H1		H2		H3		H4	
	W(離れ)mm	h(出)mm	W(離れ)mm	h(出)mm	W(離れ)mm	h(出)mm	W(離れ)mm	h(出)mm
第3回 6月6日	9.0	11.0	9.0	1.0	19.0	3.0	16.0	8.0
第4回 6月27日	9.0	11.0	9.0	1.0	18.0	3.0	16.0	9.0
第5回 7月30日	10.0	11.0	10.0	1.5	19.0	4.0	17.0	8.0
第6回 8月27日	10.0	11.0	9.0	1.0	19.0	4.0	17.0	9.0
第7回 9月9日	10.0	11.0	9.0	1.0	19.0	4.0	17.0	9.0
第8回 10月11日	9.0	12.0	9.0	2.0	20.0	4.0	18.0	9.0
第9回 11月13日	8.0	11.0	8.0	2.0	18.0	4.0	16.0	10.0
第10回 12月16日	8.0	11.0	9.0	1.0	18.0	3.0	16.0	9.0
第11回 1月27日	9.0	11.0	9.0	2.0	18.0	3.0	16.0	9.0
第12回 2月28日	9.0	11.0	9.0	2.0	18.0	3.0	16.0	9.0

定点観測変動図

観測点 A・B

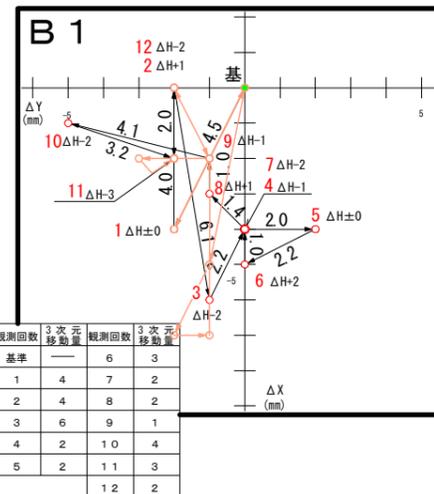
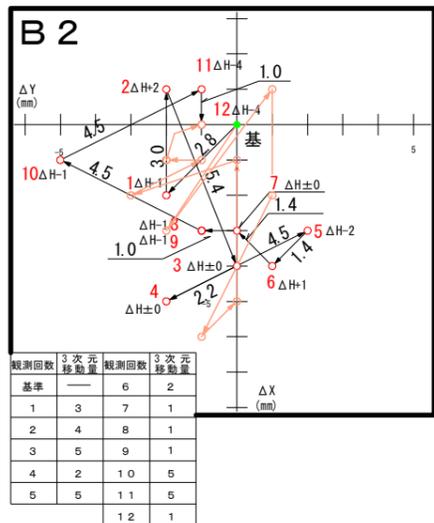
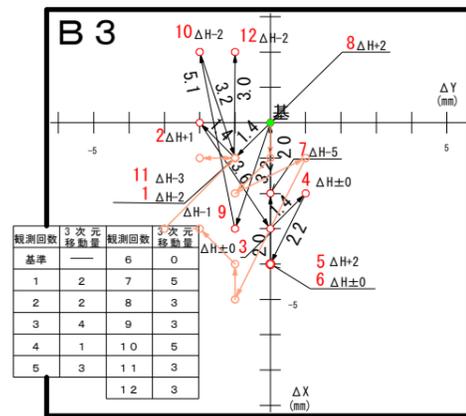
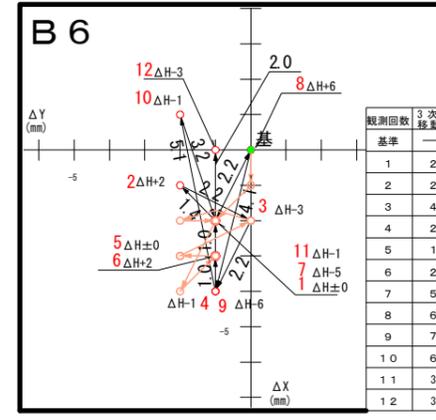
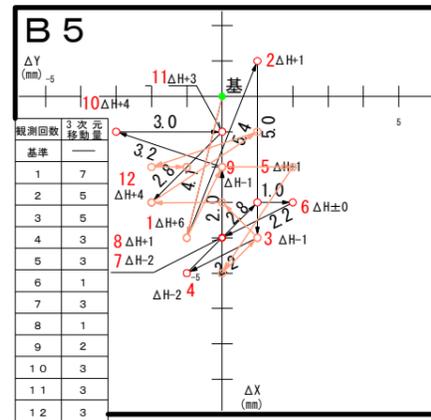
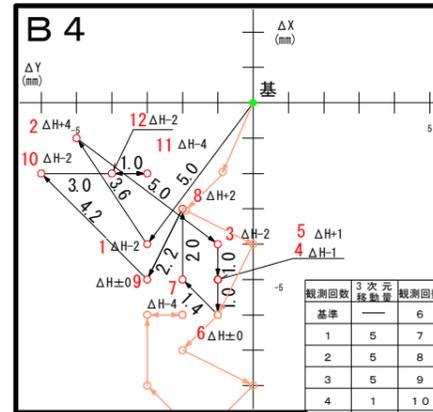


B詳細図

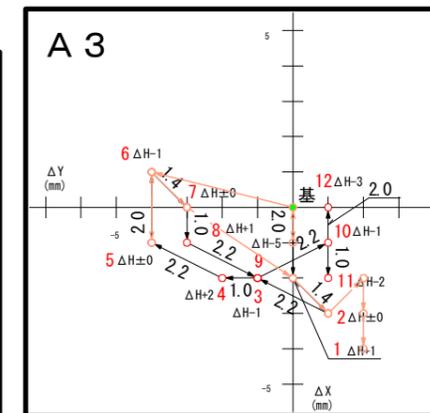
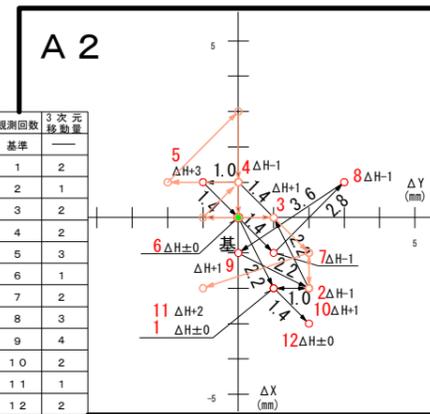
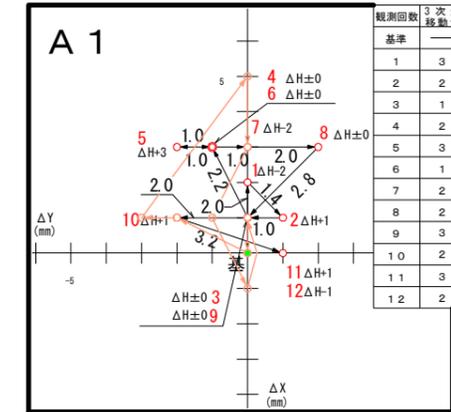
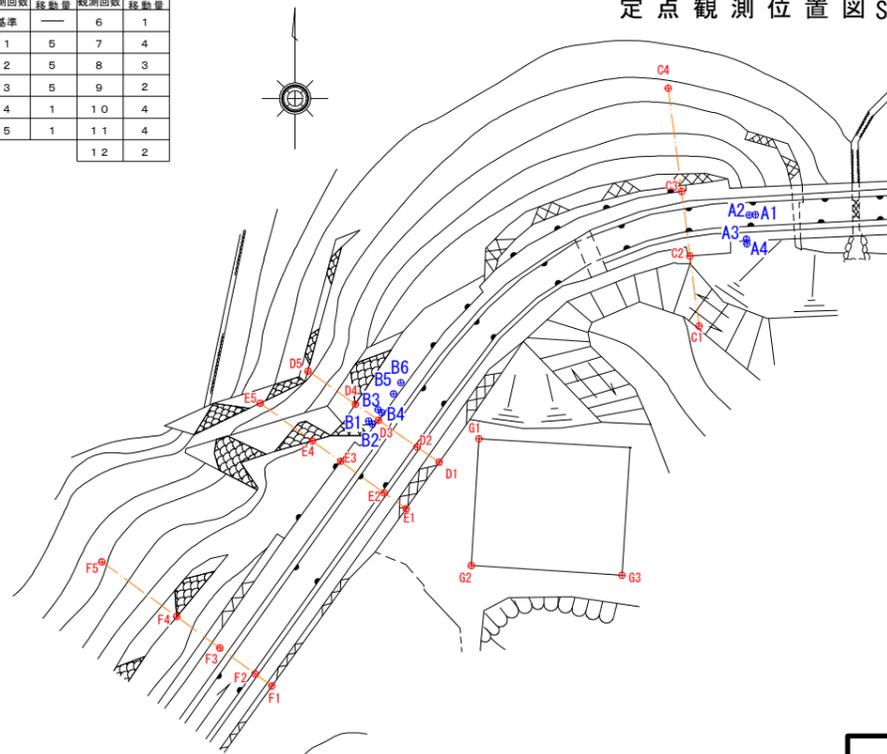


定期観測日一覧

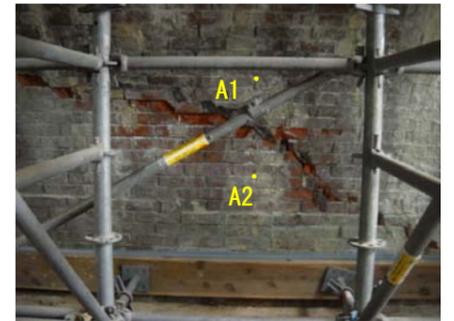
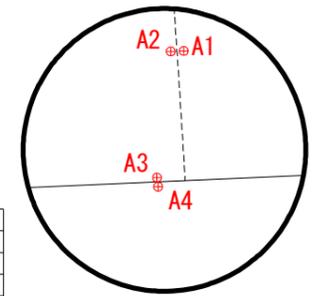
回数	観測年月日
基準	平成24年 5月18日
1	平成25年 4月16日
2	平成25年 5月 9日
3	平成25年 6月 6日
4	平成25年 6月27日
5	平成25年 7月30日
6	平成25年 8月27日
7	平成25年 9月 9日
8	平成25年10月11日
9	平成25年11月13日
10	平成25年12月16日
11	平成26年 1月28日
12	平成26年 2月28日



定点観測位置図 S=1:500



A詳細図

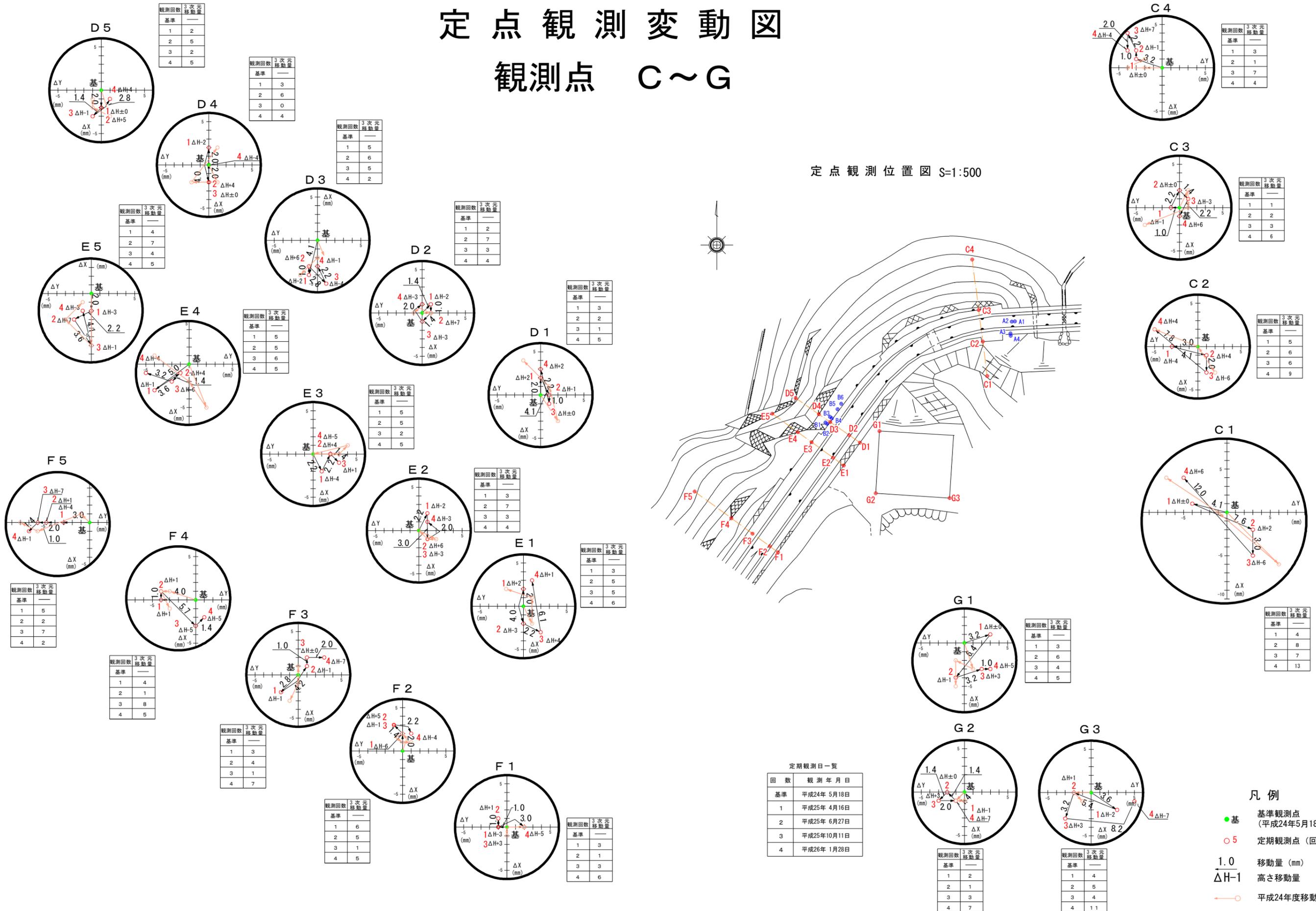


- 凡例
- 基準観測点 (平成24年5月18日)
 - 5 定期観測点 (回数)
 - 1.0 移動量 (mm)
 - ΔH-1 高さ移動量
 - 平成24年度移動方向

図-5 定点観測変動図【構造物】

図-6 定点観測変動図【法面】

定点観測変動図 観測点 C~G



定点観測位置図 S=1:500

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25年 4月16日
2	平成25年 6月27日
3	平成25年10月11日
4	平成26年 1月28日

- 凡例
- 基 基準観測点 (平成24年5月18日)
 - 5 定期観測点 (回数)
 - 1.0 移動量 (mm)
 - ΔH-1 高さ移動量
 - 平成24年度移動方向

§ 3. 地下水位観測概要

1. 地下水位観測概要

西側法面の水路を挟んだ山側と谷側で、自記水位計を用いた地下水位の観測を24時間連続観測(0.5時間ピッチ)で実施した。観測の結果、山側(NO.2孔)は観測以来水位が確認されていないが、谷側はGL-4m付近に地下水位を常時確認しており、以下のような傾向が伺えた。

- 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 130mm/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

これらから、降雨時には不透水となるTsm(風化岩：D~CL級)の上位を浸透水が流下するものと考えられ、B層(盛土・崩積土)やW-Tsm層(土砂状岩盤)は降雨毎に乾湿の繰り返しが生じているものと予想される。

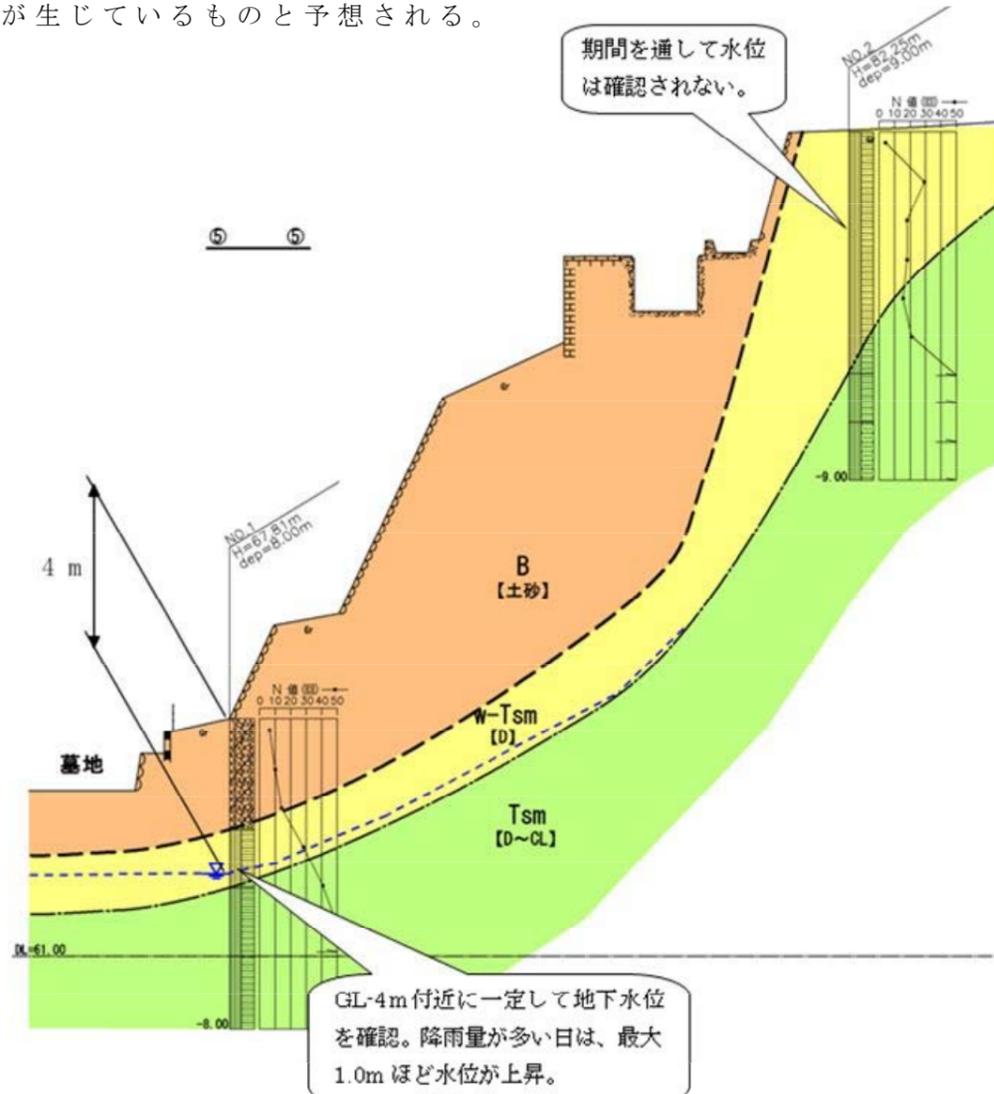


図-7 地下水位分布状況図

2. 漏水調査結果概要

鐘付堂下部の水路では、下図に示すように煉瓦の割れ目より常時湧水(漏水)している。湧水(漏水)量は、天候や季節に関係なく毎分3リッター程度確認される。



図-8 湧水(漏水)状況

⇒台風18号通過時でも目立った水量増加は認められなかった。(目視確認)



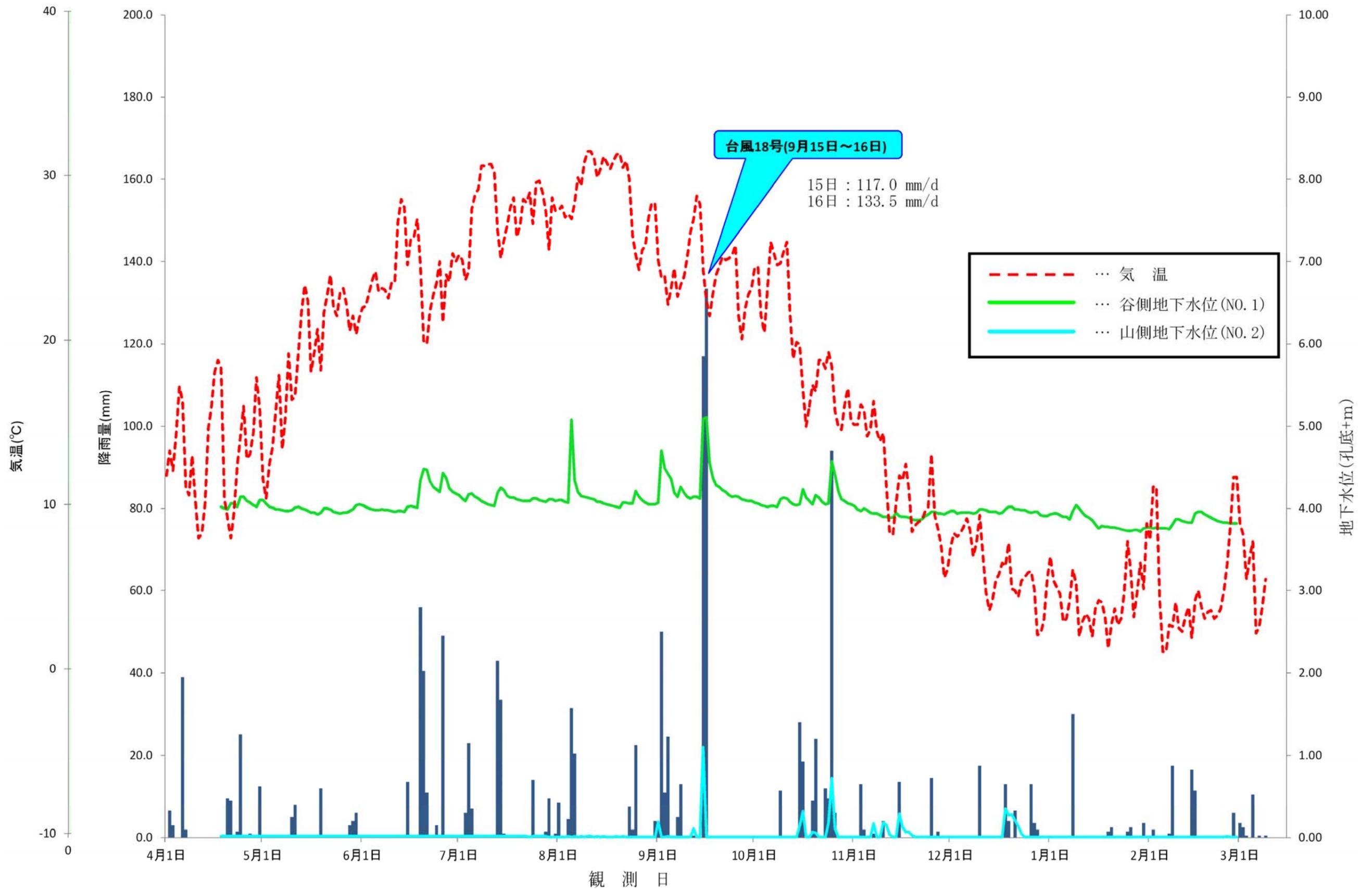


図-9 雨量-地下水位相関図

§ 4. 地質調査結果概要

1. 調査概要

水路閣西側橋台の基礎地盤状況を把握すべく、スウェーデン式サウンディングおよび簡易貫入試験を行った。

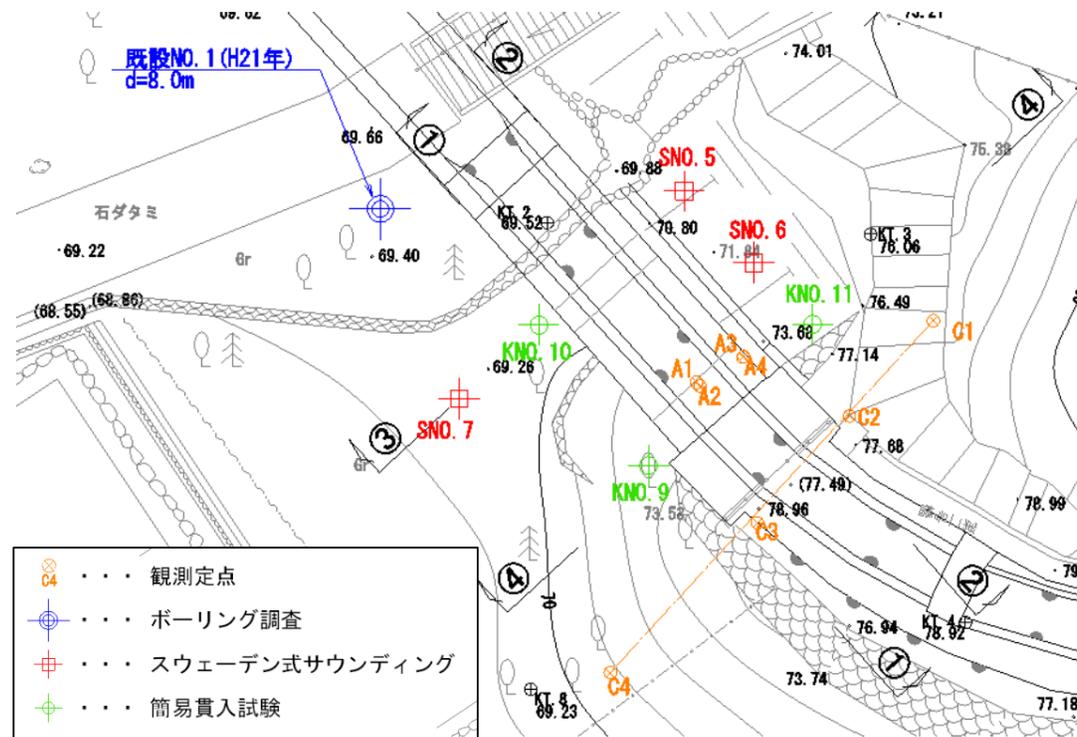


図-10 調査実施位置図



スウェーデン式サウンディング



簡易貫入試験

図-11 試験実施状況

2. 結果概要

調査の結果、橋台基礎部(橋脚)が不同地盤となっていることが判明した。(図-13 参照)

また、当時の施工資料では杭の存在も考えられ、場合によっては不等基礎となっていることも想定される。

§ 5. 気象条件

京都气象台(中京区)で観測されている降雨状況は下図の通りである。昨年と比べて累積降雨量は同程度であるが、9月に限ってみると台風18号の記録的豪雨によって、降雨量(日最大降雨量)は133.5mm/日を記録している。ただし、この雨量は气象台発表のものであり、京都府下の気象観測所では軒並み200mm/日を超える雨量を記録している。

一方、月平均気温は下図に示すように昨年と大差なく、1日の気温差も約10℃と概ね例年並みである。

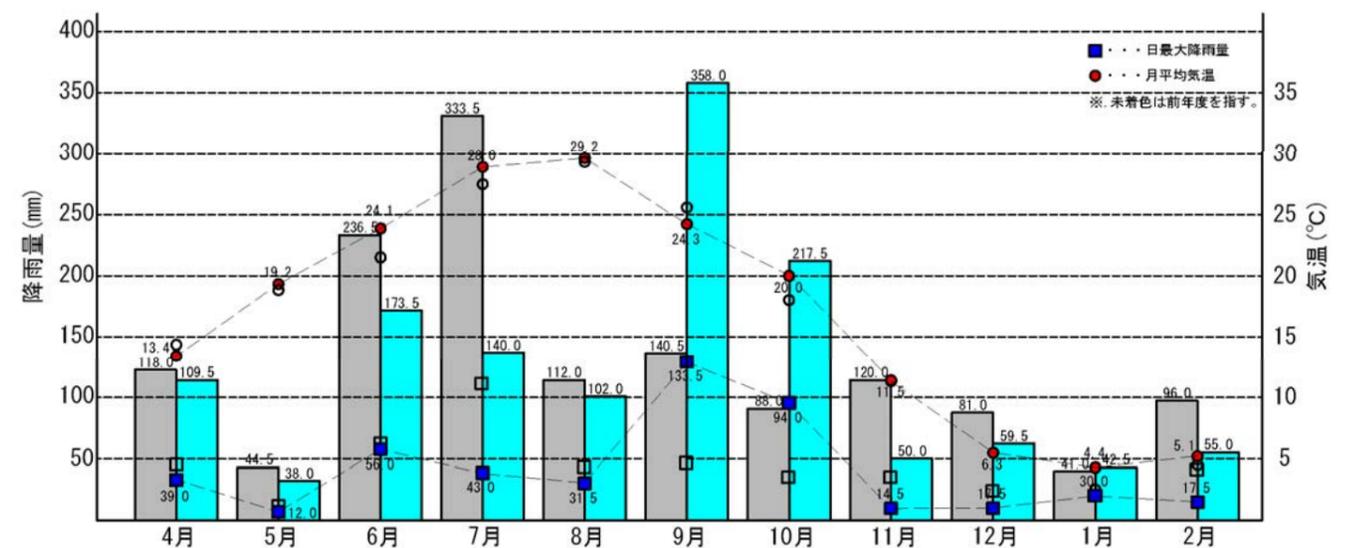


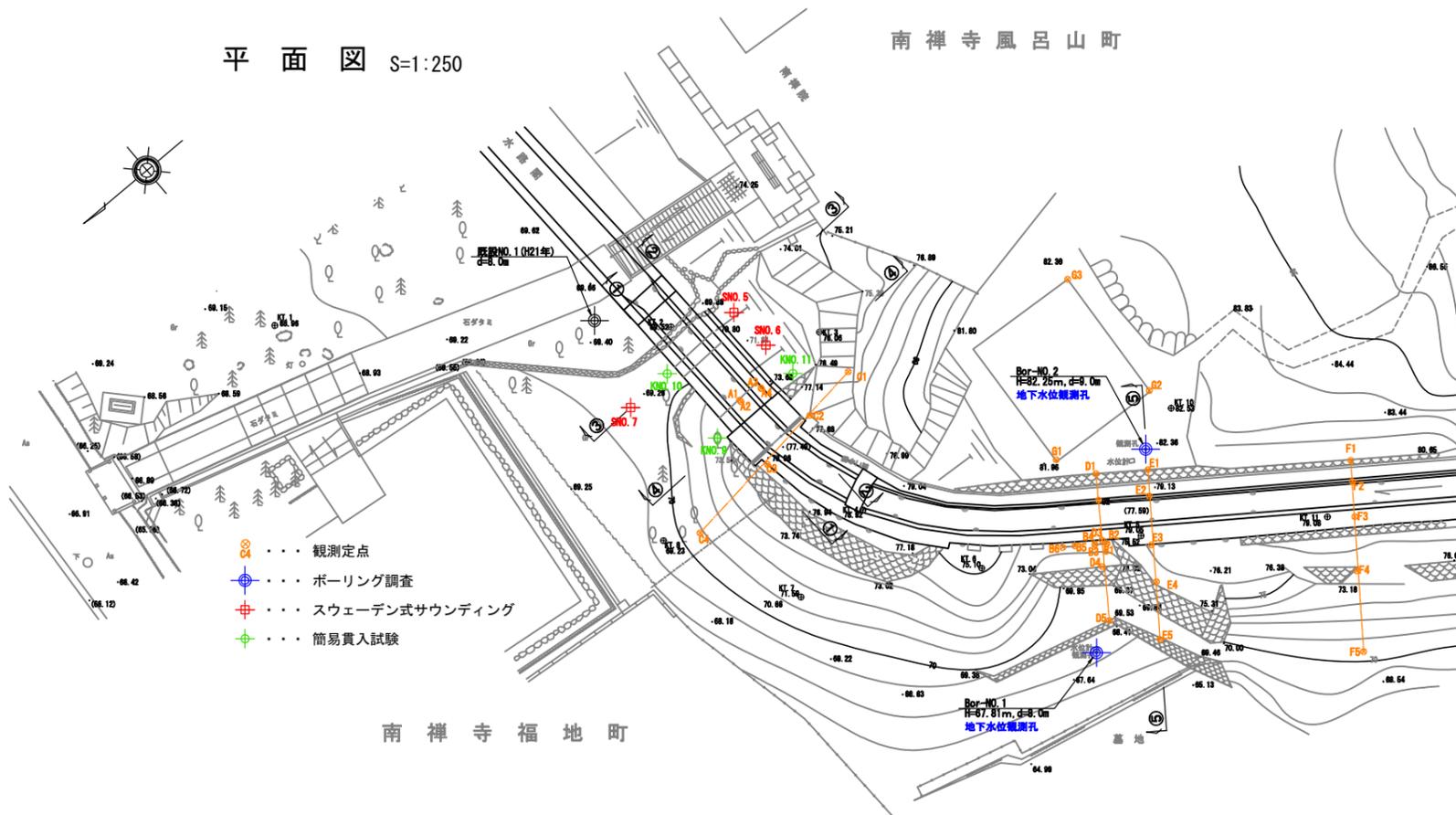
図-12 気候変動状況図(平成25年4月～26年2月)

■ 台風18号について

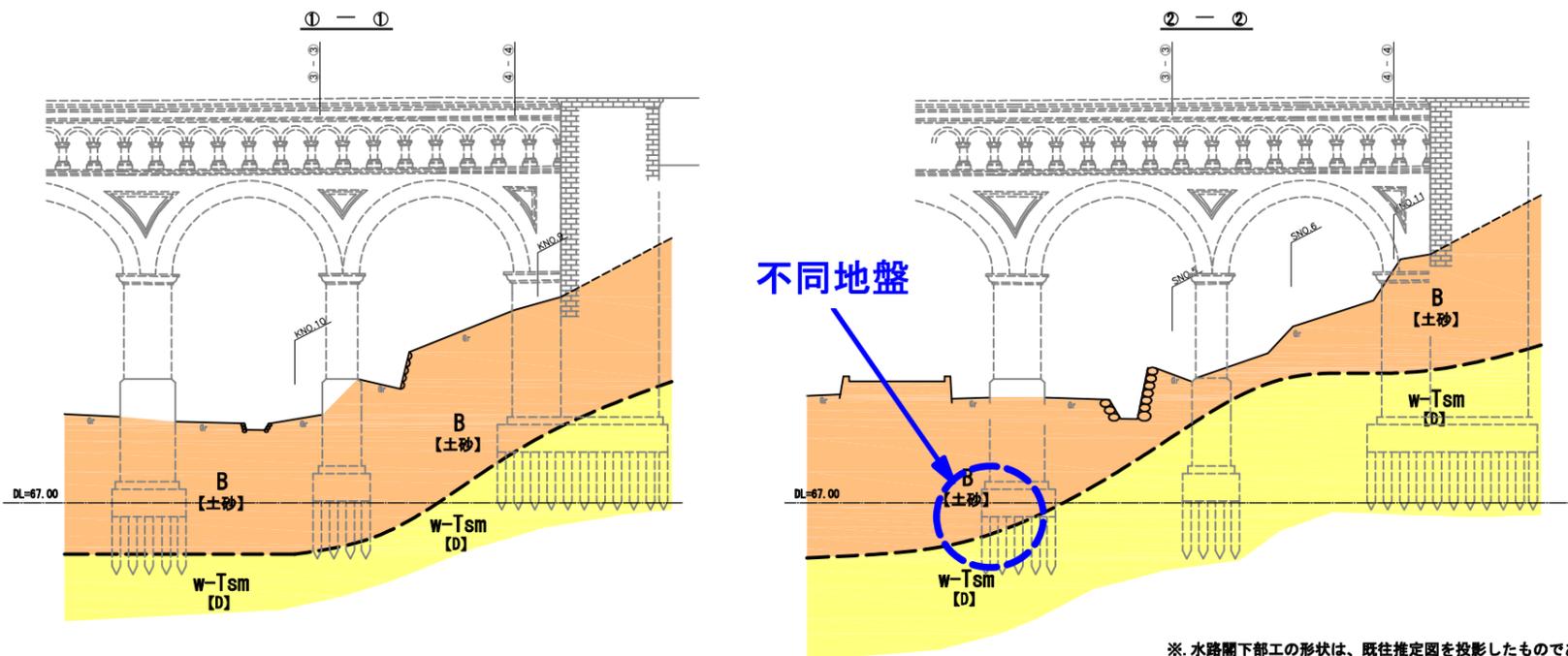
9月13日に小笠原諸島近海で発生した台風18号は、発達しながら北上し、14日には半径500kmを超える大型台風に成長した。日本への近接・通過に伴い、四国から北海道の広い範囲で大雨となり、15日～16日にかけての総雨量は近畿東海地方を中心に400mmを超えた。

気象庁はこの台風の大雨予想に際して、京都府・滋賀県・福井県に『大雨特別警報(経験したことが無い異常な大雨が起こりそうな状況。直ちに命を守る行動をとってください)』をその運用が決まって初めて発令し、警報通り48時間雨量・24時間雨量・時間雨量の最大値は既往最大記録を各所で更新し、京都市内の各地で『災害対策基本法に基づく避難指示』が発令された。降雨量は200mm/日を記録しているが、実際は15日午後～翌16日午前間に降雨が集中し、24時間雨量は400mmを超えている。

地層推定断面図



横断面図 S=1:100



※ 水路閣下部工の形状は、既往推定図を投影したものである。

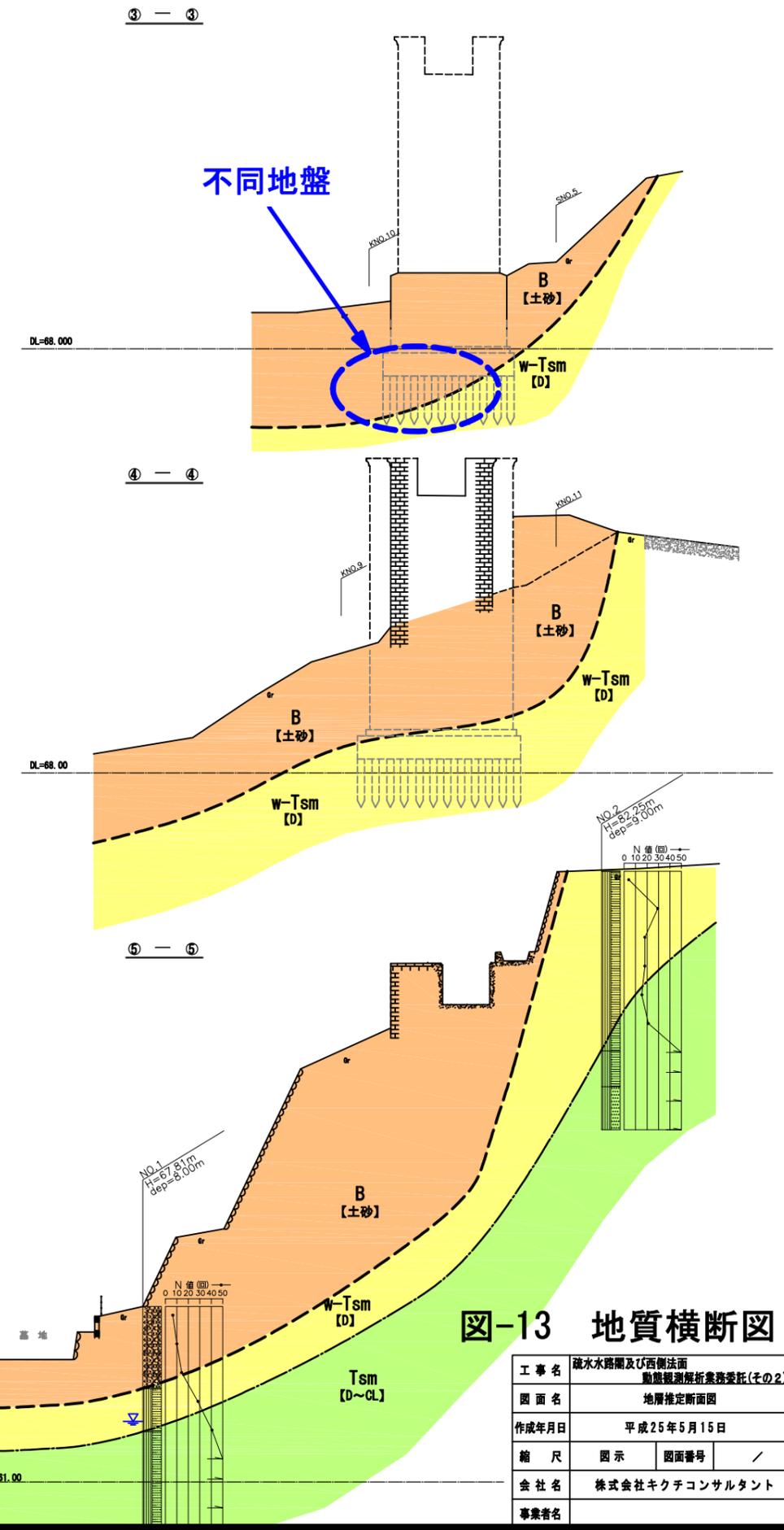


図-13 地質横断面図

工事名	疏水路閣及び西側法面 動態観測解析業務委託(その2)		
図面名	地層推定断面図		
作成年月日	平成25年5月15日		
縮尺	図示	図面番号	/
会社名	株式会社キョウコンサルタント		
事業者名			

§ 6. 総合評価と今後の方針

1. 総合評価

水路閣西側橋台の亀裂発見以降に実施されてきた調査結果(表-4 参照)を踏まえ、ここでは総合的な判断や評価について述べる。

1) 水路閣西側橋台

地質調査の結果、橋台基礎部(橋脚)が同一地盤に支持されていないことが判明した。この結果から、当橋台部における亀裂の発生要因は、

- 過年度業務で、亀裂は構造的問題によるものではないと判断されていること。
- 水路閣中央部および東側橋台部に同様の深刻な亀裂が発生していないこと。
(経年変化による劣化によるものとは考え難い)
- 台風 18 号に遭遇したにも係らず、定点観測結果に変化が見られなかったこと。
(地下水位の変動にも影響を受けない)
- 西側橋台部付近のみ地質構造が複雑であること。(地震等における挙動が異なる恐れがある)
- 定点位置は 2 年間を通して 5mm 程度の範囲で移動し続け、24 年 4 月当初と 26 年 2 月末の差異は 3mm 以下であった。

などから、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、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。

2) 西側法面部

定点観測は、水路閣の局所的な破損か全体的変状か、あるいは、継続的に変位し続けているかを見極める目的で実施し、以下の傾向が伺えた。

- 各定点によって差はあるものの、継続的に変位し続けている。
- 構造物の観測では、亀裂の上部と下部で変位が異なる傾向にある。
- 天候(雨量など)と定点の変位量に相関性がない。
- 水路を挟んだ山側と谷側で、変位量や挙動が異なる傾向にある。
- 定点位置は 2 年間を通して 15mm 程度の範囲で移動し続け、24 年 4 月当初と 26 年 2 月末の差異は 3mm 程度であった。

一方、地下水位観測結果では、山側で水位が確認されていない。また、谷側崩積土内の地下水位は GL-4m 付近にあり、豪雨時には最大 1m ほど上昇するものの、雨が降り止むとともに常時水位へ戻り、現時点では定点観測による変位量との明確な相関性は認められない。

なお、岩盤(Tsm)は地質調査業務において『スレーキング特性が強い岩質である』と指摘され、乾湿の繰返しによるスレーキングによってトップリングが助長されていることも推察される。さらに斜面の現況安全率が 1.0 と低く、地すべりによる水路の変状も想定されるため、今後はこれらを視野に入れた監視や調査を行い、亀裂の進展を見据えつつ、斜面の地すべり対策工を検討する必要がある。

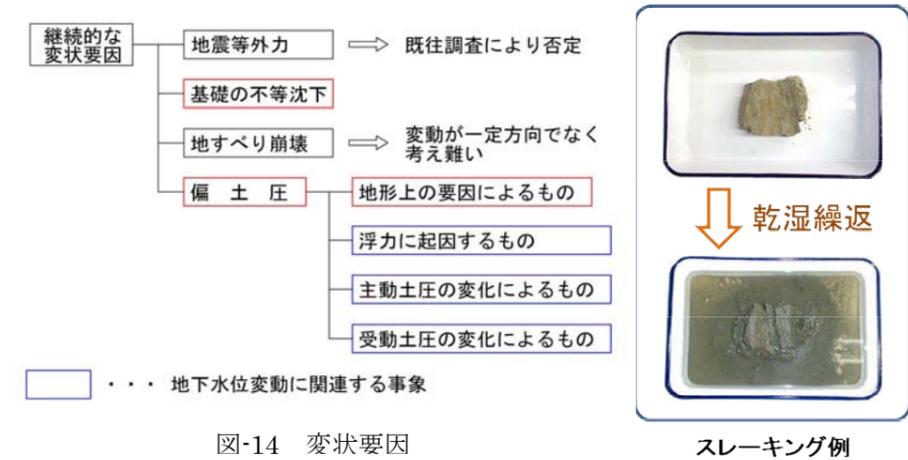
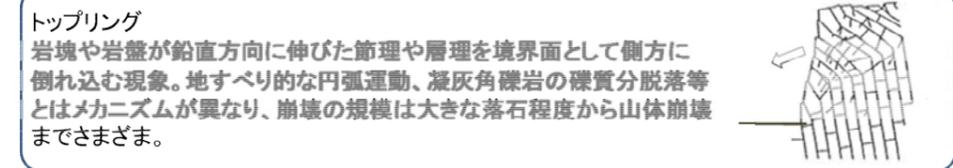


図-14 変状要因



2. 今後の方針

1) 水路閣西側橋台

当該箇所は基礎が不同地盤に支持されていることやトップリングによる偏土圧が作用し得ることが判明し、これらが亀裂の発生や進展の主因である可能性が高いと判断した。また、過年度調査によると、構造体としては健全で、亀裂発生による応力解放で現状は安定していると評価されること、M7~8クラスの地震が生じても局所的に損傷は生じるが倒壊の可能性は低いと考えられること、台風 18 号による記録的豪雨でも定点の変位や挙動に変化が見られなかったことから、直ちに対策を講じる必要はないと考えられる。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、不同地盤を解消する基礎地盤対策を実施する必要があると考える。

2) 西側法面部

これまでの調査で地すべりやスレーキング現象などが亀裂の発生要因となり得ることが判明したが、記録的豪雨をもたらした台風 18 号でも変位や挙動に変化は見られなかった。

最終年度である平成 26 年度は、安全管理(日常点検)を視野に入れた動態観測(定点観測・地下水位観測)をこれまで通り実施する必要がある。

表-4 水路閣および西側法面部の調査・解析・検討実施

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	
西側橋台部	<ul style="list-style-type: none"> ■調査 <ul style="list-style-type: none"> ・クラックスケール観測 ■平成20年8月防護工事実施 	<ul style="list-style-type: none"> ■調査 <ul style="list-style-type: none"> ・ボーリング調査 ・煉瓦調査・試験 ・振動(微動)計測 ・ひび割れ深さ調査 ・クラックスケール観測 ■解析 <ul style="list-style-type: none"> ・構造解析 	<ul style="list-style-type: none"> ■調査 <ul style="list-style-type: none"> ・クラックスケール観測 ■解析 <ul style="list-style-type: none"> ・構造解析 	<ul style="list-style-type: none"> ■管理計画策定 ■調査 <ul style="list-style-type: none"> ・クラックスケール観測 	<ul style="list-style-type: none"> ■調査解析 <ul style="list-style-type: none"> ・定点(動態)観測 	<ul style="list-style-type: none"> ■調査解析 <ul style="list-style-type: none"> ・定点(動態)観測 ・基礎地盤調査(サウンディング調査) 	<ul style="list-style-type: none"> ■調査解析 <ul style="list-style-type: none"> ・定点(動態)観測 ・総合評価 ・対策に向けた提言 	
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> 水路閣改修調査検討委員会 1月 ~ 6月 </div>			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> 水路閣管理計画に基づく調査解析業務 4月 </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> 水路閣管理計画に基づく調査解析業務 4月 </div>	
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 【提言内容】 <ul style="list-style-type: none"> ・水路閣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。 </div>			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 </div>	
西側法面部					<ul style="list-style-type: none"> ■調査解析 <ul style="list-style-type: none"> ・定点(動態)観測 	<ul style="list-style-type: none"> ■調査解析 <ul style="list-style-type: none"> ・定点(動態)観測 ・ボーリング調査 ・地下水位観測 	<ul style="list-style-type: none"> ■調査解析 <ul style="list-style-type: none"> ・定点(動態)観測 ・地下水位観測 ・総合評価 ・対策に向けた提言 	
西側法面部の水路上流側						<ul style="list-style-type: none"> ■調査 <ul style="list-style-type: none"> ・危険エリアの目視調査 	<ul style="list-style-type: none"> ■簡易調査 <ul style="list-style-type: none"> ・クラック観測 	