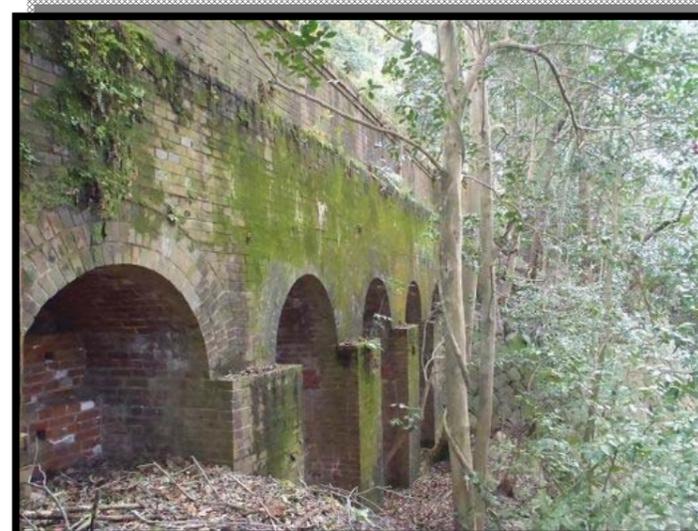


疏水水路閣及び西側法面 動態観測解析業務委託

定期報告会資料

平成24年度調査結果および今後の調査方針



§ 1. 調査の概要と目的	1
§ 2. 地形・地質概要	2
§ 3. 動態観測実施概要	3
§ 4. 動態観測結果概要【24年度】	5
§ 5. 平成24年度調査における考察【総合解析】	9
§ 6. 平成25年度調査の方針	10
§ 7. 平成25年度調査結果速報	10

平成25年5月29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。

亀裂が発生した時期は不明であるが、亀裂周辺でレンガがはがれ落ち始めたため、緊急に防護工事が行われた。また、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）などの調査が行われたが、構造的視点からの原因特定には至っていない。

また、平成 24 年度からは水路閣管理計画に従い、危険度や緊急性の客観的な判断材料を得る目的で『動態観測調査(定点観測)』を実施し、平成 25 年度からはその継続に加えて『地下水位観測』を実施することとしている。

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 ⇒ 5月 現時点	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	
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	点検・評価			



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

これまでの調査において、老朽化等に伴う構造的な問題が原因とは考え難いと推測されている。一方、地盤変状（沈下・地すべり）に関しては収集データが少なく、未だ不確定要素が多い。地盤変位の有無で対策工（調査・計画・施工）の緊急性が変わるほか、水路閣西側法面付近はこれまで未調査であるため、一定期間を通じて継続的な変位調査が必要であった。 継続的に構造物を含む地山全体が変位し続けていれば、地震等による短期的事象による損傷でなく、地盤変状による要因も視野に入れた今後の調査検討が必要となってくる。

このことから、平成24年度の調査では、

- 1) 水路閣本体の局所的な破損か？
- 2) 水路閣全体的変状か？
- 3) 継続的に変位し続けているか？

を見極める目的として、『定点観測』を実施した。

§ 2. 地形・地質概要

本域は東山山地の山麓部にあたり、扇状地性の緩傾斜斜面が広がり、各所に微地形的谷筋や小規模崩壊跡が認められる。

当該山地は堆積岩類より構成され、当地付近では泥岩・砂岩・チャートなどの露岩が確認される。また、当地は花折断層群（鹿ヶ谷断層）の推定延長位置にあたり、変状との関連性も疑われる。



図-2 水路閣山側の露岩状況

山側の各所に露岩が認められる

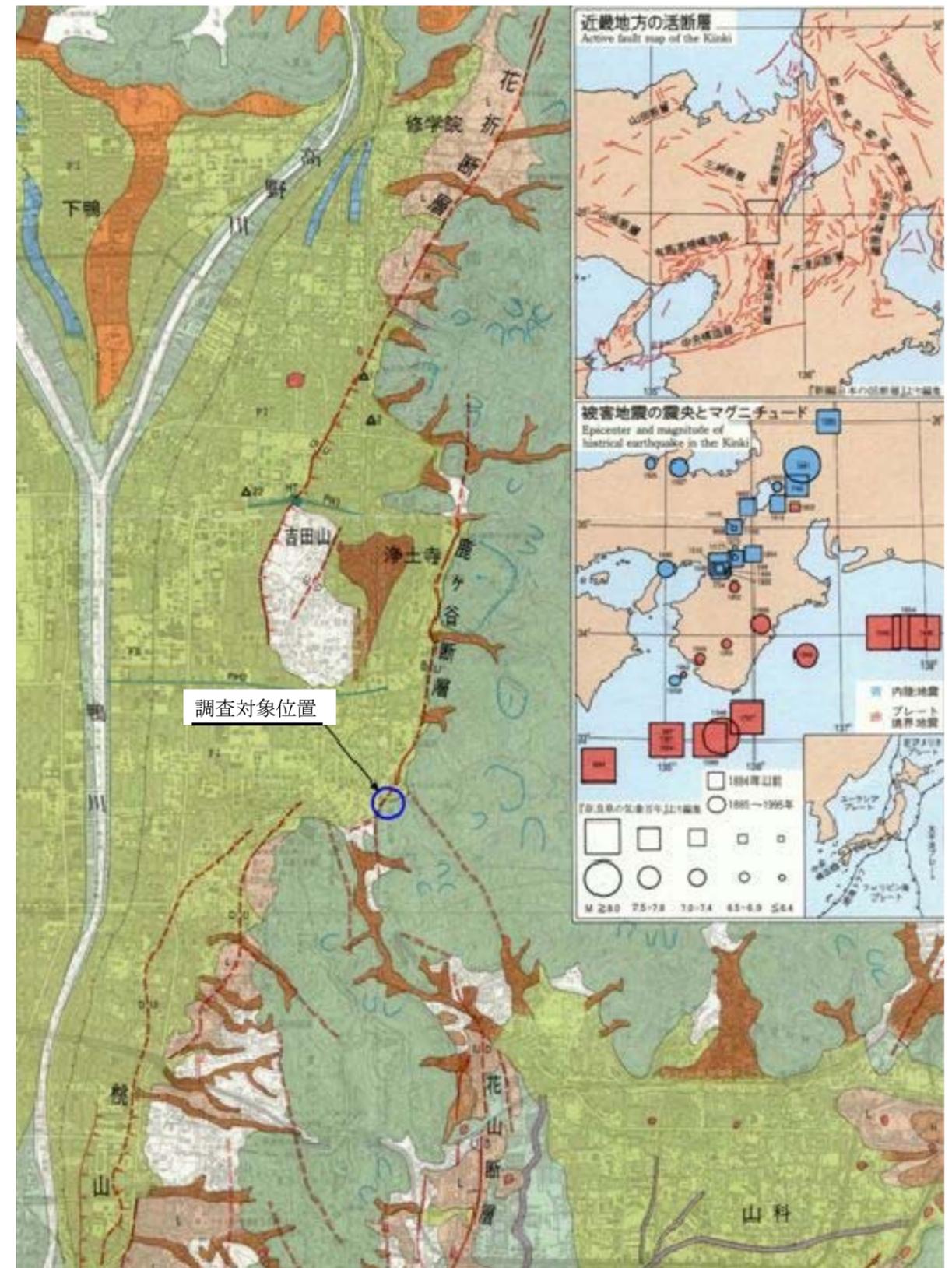


図-3 調査地付近の地質図

§ 3. 動態観測実施概要

1. 定点・基準点等の配点

変状・破損が激しい水路閣橋台に定点を設け、定期観測(3次元観測)を行ったほか、それに際し不動点(基線基準点)を設け、さらに精度向上を目的とした基準点を設けた。

定点観測の基準となる基線基準点は、車両や歩行者及び経年変化を及ぼさない箇所に永久標識を2点設置(NO.1・NO.2:地下埋設)し、GPS観測を行った。また、同基準点について標高を求めるため、レベルによる直接水準測量を行なっている。

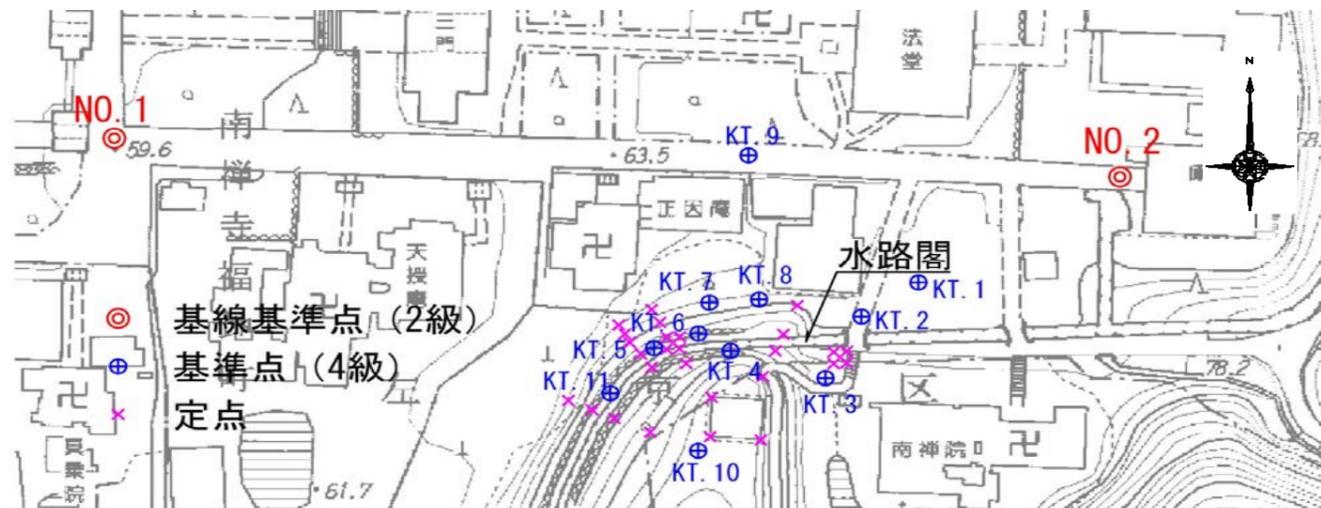


図-4 配点図

詳細図は次頁図示。

2. 定点等設置状況

公共測量作業規程等に準じ、以下のように現地観測点(定点)を設置した。



定点(地山) 【杭】



定点(史跡) 【マーキング】

図-5 定点設置状況

3. 観測日

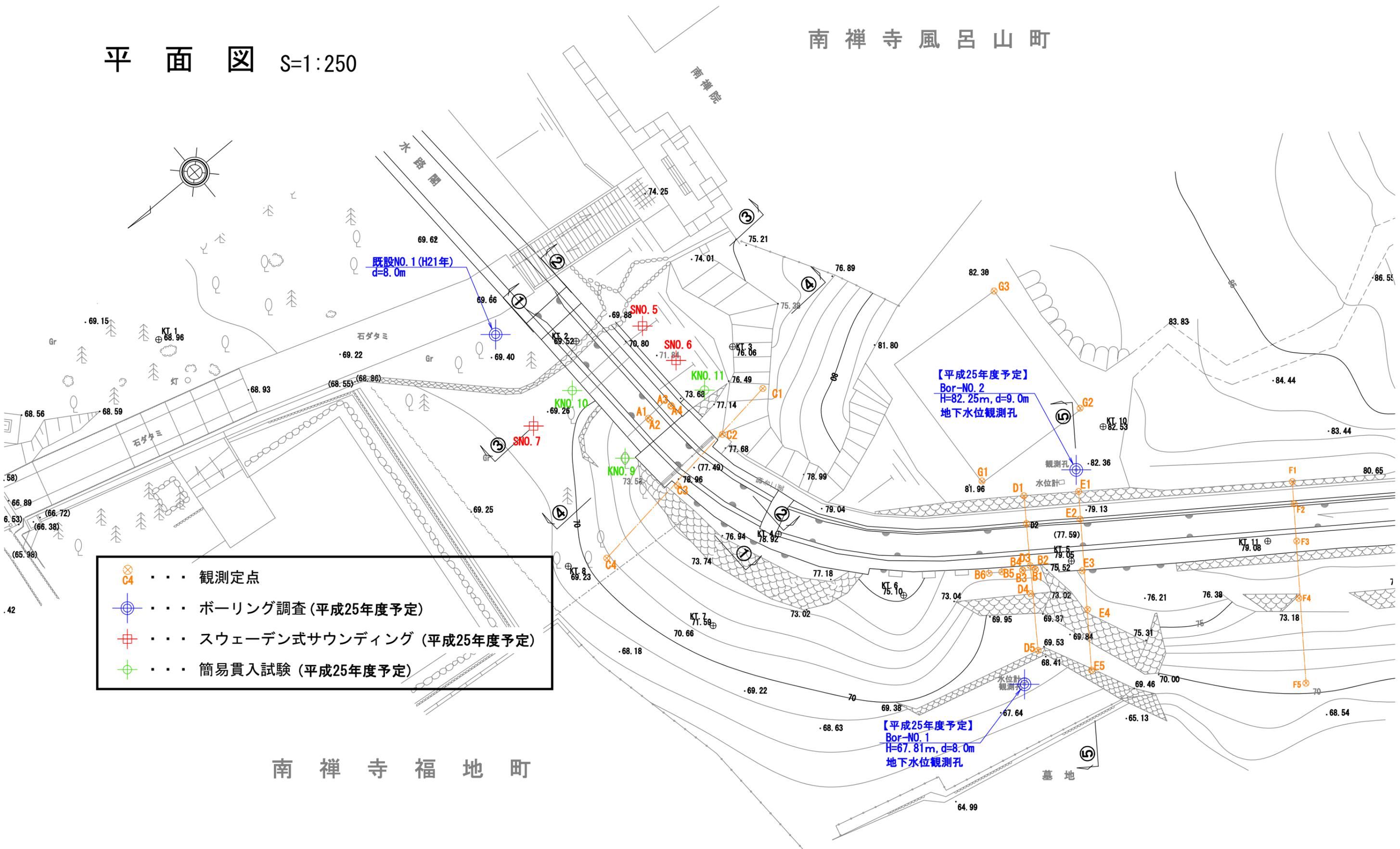
構造物定点は微小変位を捉えるため月1回観測、横断方向定点観測は大きな変位に着目するため年4回(1回/3ヶ月)の観測とした。

表-2 観測実施日

観測日	構造物定点観測		横断方向斜面定点観測	
	【1回/月】		【4回/年】	
第1回	平成 24 年	5月18日(金)	○	○
第2回		6月14日(木)	○	-
第3回		7月9日(月)	○	-
第4回		8月3日(金)	○	○
第5回		8月29日(水)	○	-
第6回		9月24日(月)	○	-
第7回		10月19日(金)	○	-
第8回		11月15日(木)	○	○
第9回		12月11日(火)	○	-
第10回	平成 25 年	1月8日(火)	○	-
第11回		1月31日(木)	○	-
第12回		2月28日(木)	○	○

平面図 S=1:250

南禅寺風呂山町



- ⊗ C4 . . . 観測点
- ⊕ . . . ボーリング調査 (平成25年度予定)
- ⊕ . . . スウェーデン式サウンディング (平成25年度予定)
- ⊕ . . . 簡易貫入試験 (平成25年度予定)

南禅寺福地町

図-6 観測点位置図

§ 4. 動態観測結果概要【24年度】

1. 構造物定点

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、結果を以下に示す。

【Aブロック：水路閣橋台】

- ・ A1とA2は、概ね北西側へ変位したあと、北東方向へ移動し、その後南側へ移動する。それぞれの観測毎で見ると、変位量はA1とA2で異なる。
- ・ A3とA4は亀裂を境として近接するが、挙動に連動性は伺えない。
- ・ A1・A2とA3・A4の変位の規則性は確認されない。
- ・ 各点の変位量に着目したが、それぞれの規則性や連動性も確認できない。
- ・ 基礎側のA2・A4は比較的変位量が少ないが、上部工側のA1・A3は相対的に変位量が多い。

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。

【Bブロック：水路閣橋台】

- ・ B1とB2は、概ね南西側へ変位したあと、北東方向への変位に変化し、その後南方へ移動後、北方へ移動する。それぞれの観測毎で見ると多少挙動は異なるが、大局的に大きな違いはない。
- ・ B3とB4は、概ね南側へ変位したあと、北西から北方向へ移動し、それぞれの観測毎で見ると多少挙動は異なるが、同様の変位傾向が伺える。
- ・ B5とB6は、それぞれの観測毎で見ると挙動が異なり、横方向亀裂を境に上部工側(B6)と下部工側(B5)で挙動が異なることが分かった。
- ・ A3とA4は亀裂を境として近接し、変位挙動に連動性が伺えない。
- ・ 各地点とも第2回~8回観測(6月~11月)までの間で変位量が多い傾向にある。

月の累積降雨量が多くなる期間に、変位量が多い傾向にある。また、亀裂を境に上部工側と下部工側で変位量や挙動(変位方向)に差異があることが分かった。

2. 横断方向定点

【NO.1 測線(C測線)】⇒尾根筋

- ・ 水路閣を挟んで山側(C1, C2)は、南西方向へ定量的に変位し、その後北西方向へ移動する。
- ・ 谷側(C3, C4)は、変位方向にバラツキがあるが、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。
- ・ 相対的に水平変位量は小さいが、他に比べて高低的な変位が大きい。

【NO.3 測線(E測線)】⇒谷筋

- ・ 水路閣より山側と谷側で挙動が異なる。
- ・ 谷側(E4~E5)で変異量がやや大きい。

【NO.4 測線(F測線)】⇒尾根筋

- ・ 水路閣より山側と谷側で挙動が異なる。
- ・ 谷側(E4~E5)で変異量がやや大きい。

【鐘つき堂(G測線)】⇒尾根

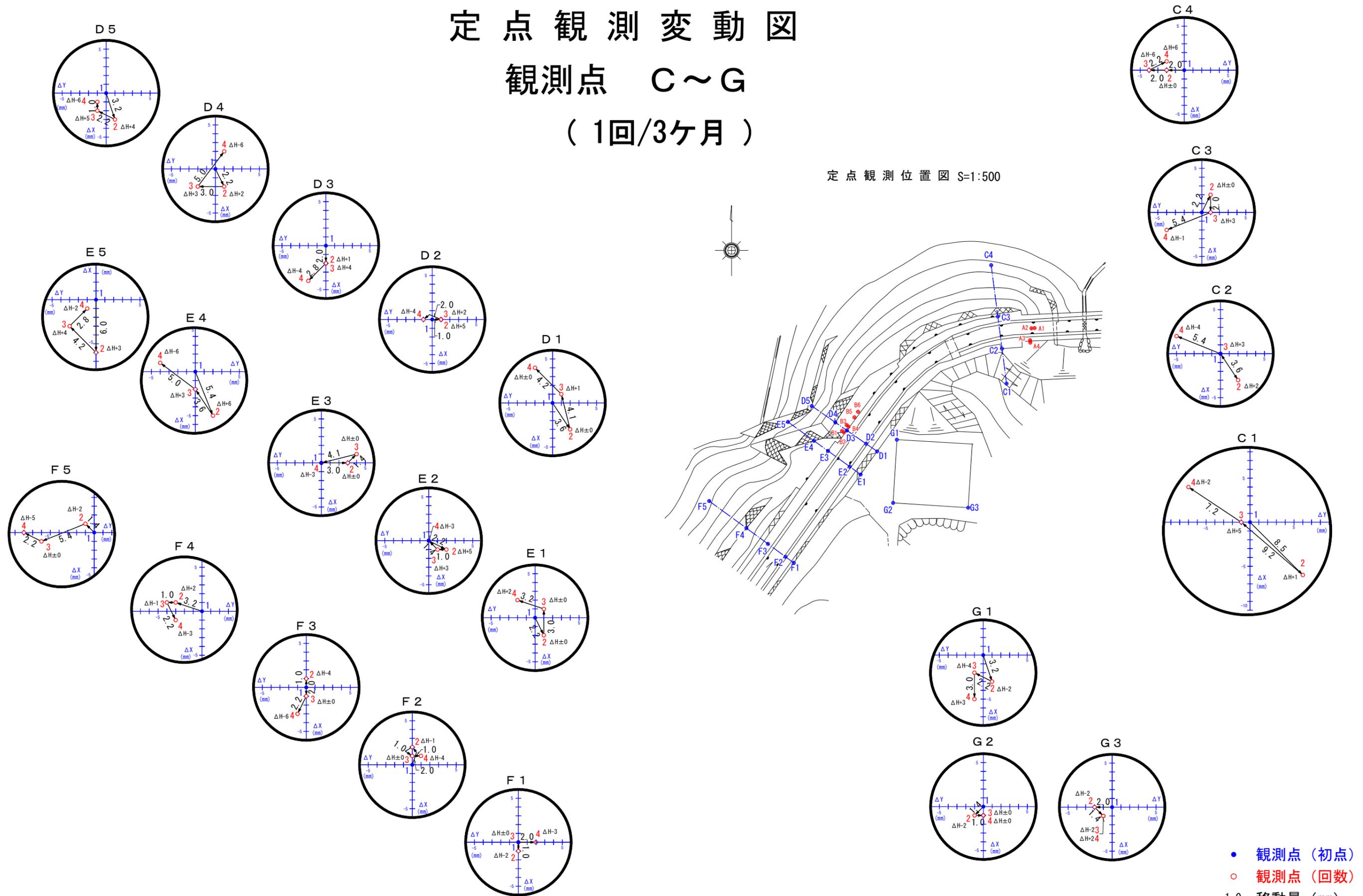
- ・ G1~G3定点は、概ね南方へ変位するが、その量は比較的小さい。
- ・ 現時点で高さ方向も含め、明確な傾向は見出せない。

各測線とも概ね2回目(8月3日)以降の観測で変位量が大きくなる傾向にある。また、変位量は水路閣を挟んだ山側と谷側で差があり、谷側で大きい傾向にある。

定点観測変動図

観測点 C~G

(1回/3ヶ月)



定点観測位置図 S=1:500

- 観測点 (初点)
- 観測点 (回数)
- 1.0 移動量 (mm)
- ΔH-1 高さ移動量

図-8 観測結果図(2)

3. 亀裂(クラック)の発達

亀裂の密度が高い地点（Bブロック上流端部）で継続監視を行った結果、下図に示すように、1年を通りして亀裂が開口と閉塞を繰り返しており、この状況は定点観測結果とも一致する。



図-9 季節による亀裂開口量の変動

4. 降雨状況

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り、6月から7月にかけて多い。また、これを詳しく見ると、6月中旬から7月中旬の間で460mm/月を記録している。日最大降雨量で見ると、7月15日に観測された117.5mm/日が期間を通して最も多いが、当該年度は例年に比べて降雨量および豪雨回数とも少なかった。

一方、月平均気温は下図に示す通りで、1日の気温差も約10℃と概ね例年並みである。

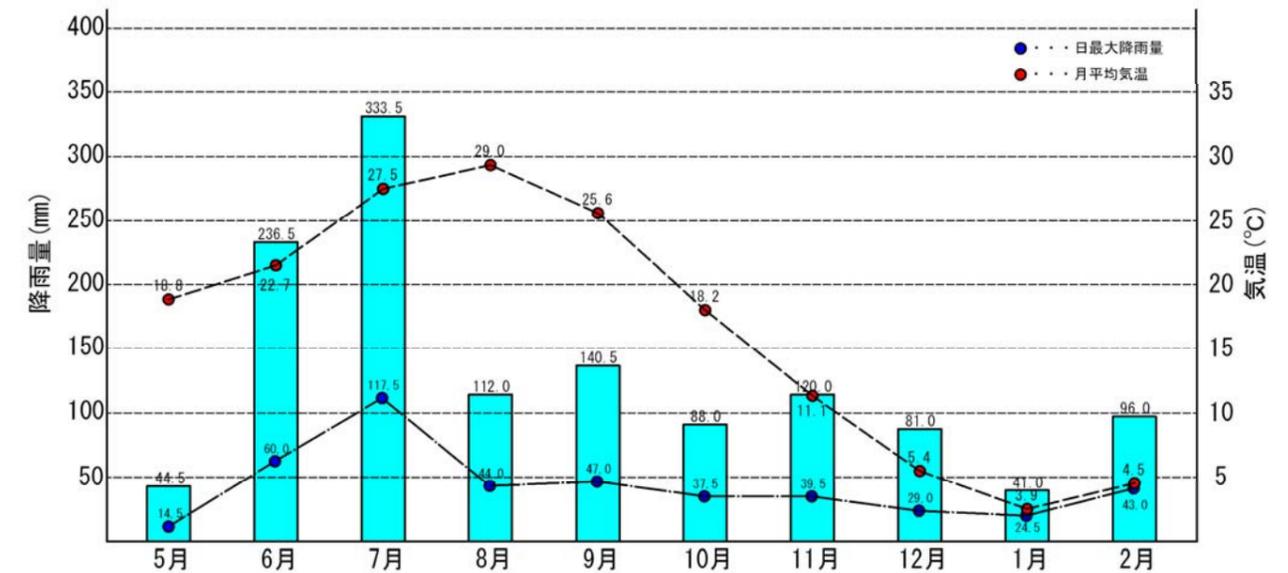


図-10 気候変動状況図(平成24年5月～25年2月)

5. 結果のまとめ

本調査(定点観測)は、水路閣本体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、以下の傾向が伺える。

- ・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ことが伺われる。
- ・変位し続けているが、初回と最終回の移動位置の差異は比較的小さい。
- ・7月を中心に降雨量が多く、気温差も8月から11月にかけて大きく変化し、構造物定点は6月～11月で変位が大きい。

今回の調査結果から、変位量と気象状況の変化の関連性は伺えたが、確証は得られていない。また、以前まで行われていた簡易クラックスケールでの日常点検結果などを踏まえると、今回の挙動や変位量は概ね想定した範囲内であり、初回と最終回の移動位置の差が小さいことから見ても、応急対策の緊急性は低いものと判断できるが継続監視は必要である。

§ 5. 平成 24 年度調査における考察【総合解析】

本調査により、1 年を通して全体的かつ継続的な変状が確認され、水路閣の変位は局部的な破損ではなく周辺地盤も含めた全体的な変位であること、降雨量が比較的多く気温差も大きかった 7 月～11 月に変位が大きいことが判明した。また、構造物の変状に着目すると、水平亀裂を境に上部と下部（基礎）で変位が異なることが分かった。

過年度調査では、煉瓦の強度や目地の状況に問題がないこと、亀裂は深いところで 1m に達し、煉瓦を貫通するクラックも確認されたことなどから、煉瓦と目地材の熱膨張率（煉瓦 9.5, コンクリート 12）や強度特性が変状の主因でないと推測される。

一方、過年度に実施されたモデル解析では、亀裂の方向などから以下のモデルで検証が行われている。このモデルは、橋軸直角方向において偏土圧が作用し、かつ、谷側より何らかの反力を受けているケースであるが、谷側に高木（固定端）のある西側橋台の状況と酷似する。（図-12『水路閣橋台』参照）

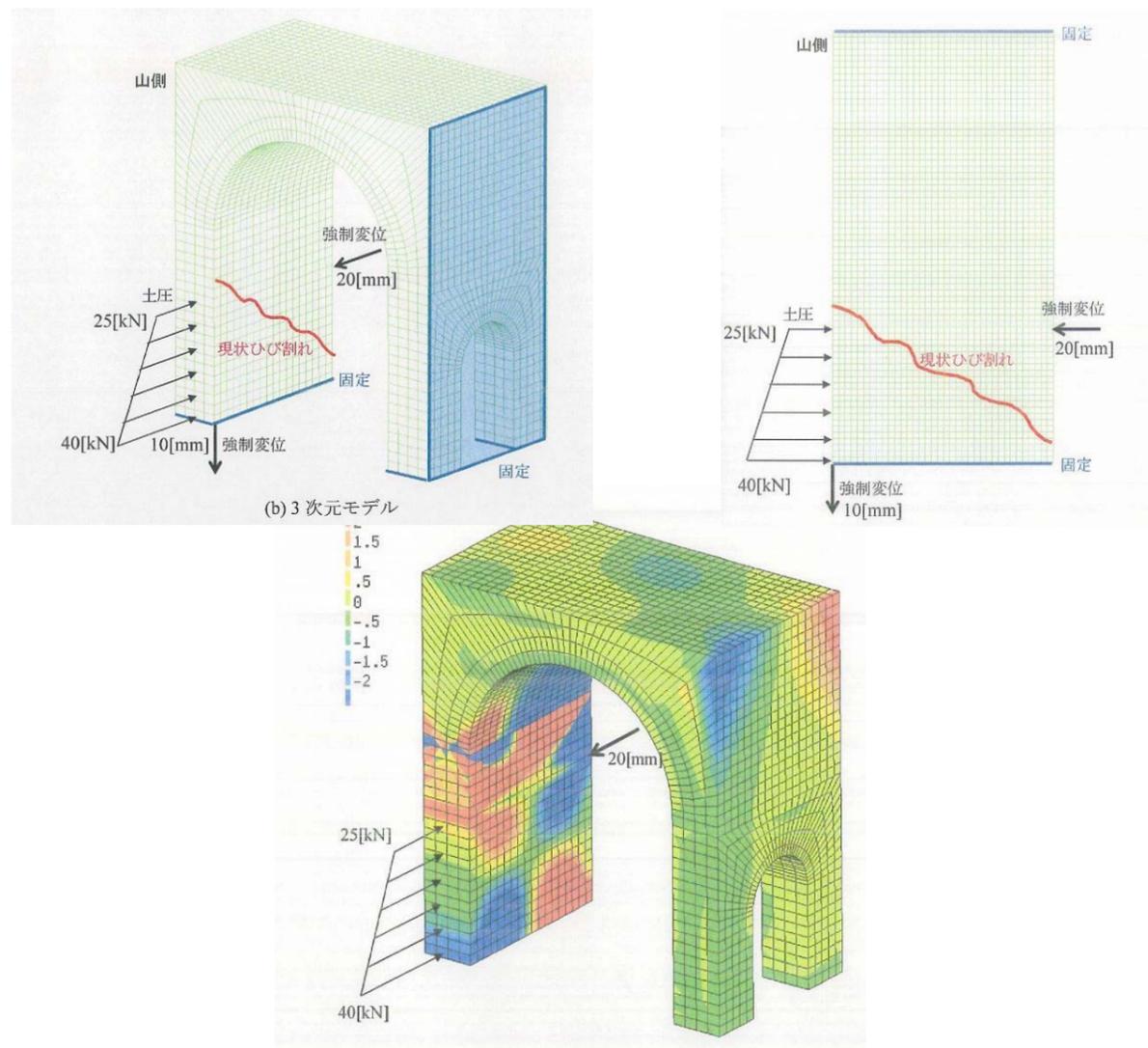


図-11 モデル解析図

この推定モデルについて、西側法面の谷側で確認された開口クラック（定点 B1～B6）の発生や水平亀裂の上部と下部（定点 A1～A4）で挙動が異なる点は、偏土圧が主要因と仮定すれば説明できる。

山側（風化岩）からの土圧については、岩盤の節理や層理の状況などから、トップリング*の可能性もあるほか、降雨や水路からの漏水により地中内の応力バランスが変化することで、土圧が不規則に変動して作用したとも考えられ、外力を受けない地上部と作用力が変化する地中部（基礎部）で変位挙動が異なる点も説明できる。

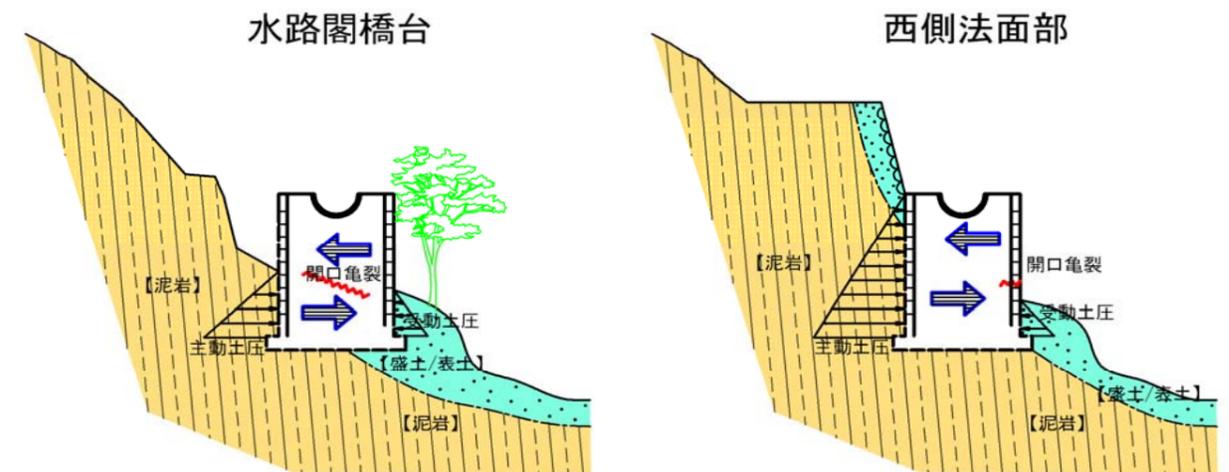
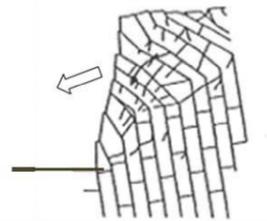


図-12 作用土圧モデル断面図

トップリング

岩塊や岩盤が鉛直方向に伸びた節理や層理を境界面として側方に倒れ込む現象。地すべりの円弧運動、凝灰角礫岩の礫質分脱落等とはメカニズムが異なり、崩壊の規模は大きな落石程度から山体崩壊までさまざま。



年間を通じた継続的な変位は、常時作用する偏土圧の変化が考えられる。作用土圧は、山側からの主動土圧と谷側の受動土圧に区分できるが、これらの変化に大きな影響を与える要素の1つが地下水位である。水位が変動すれば浮力の影響により構造物への作用土圧が変化するため、左右で根入れの異なる（偏土圧を受ける）当該構造物に対してその影響は多大である。また、当岩盤における特性変化として最も顕著な例として、乾湿繰返しによる細片化（一般的にはスレーキングと呼ばれている）が挙げられ、地下水位の変動による乾湿の繰返しで岩盤が強度低下し、トップリングが助長されていることも推察される。

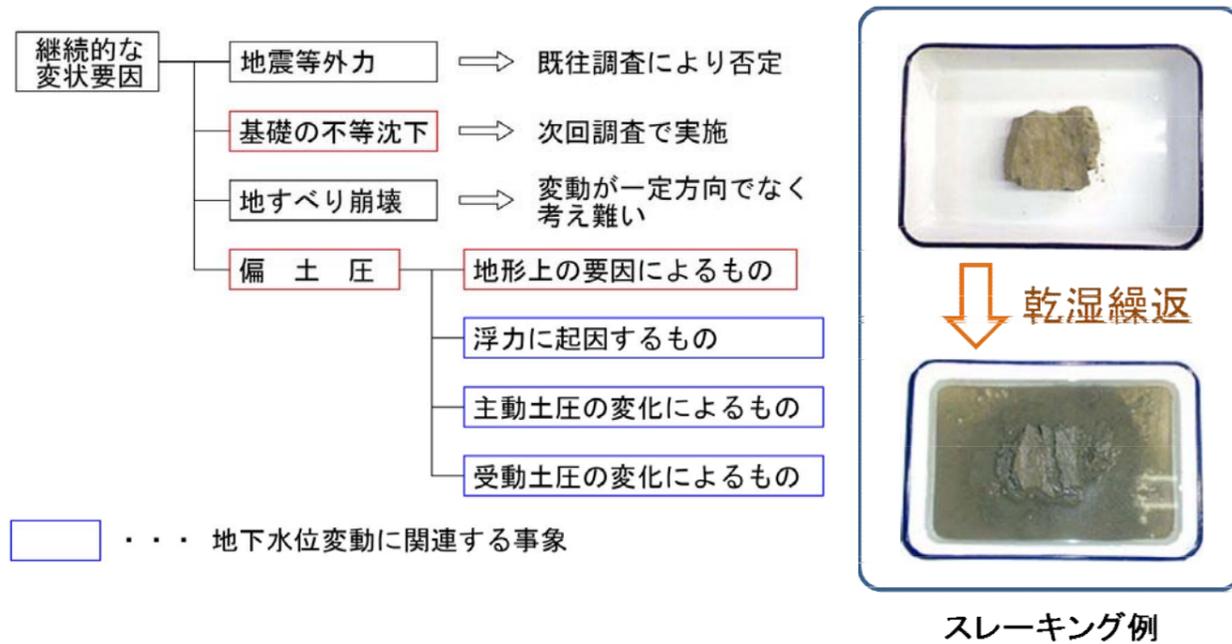


図-13 変状要因

§ 6. 平成 25 年度調査の方針

平成 23 年度までの調査・解析で構造的な検証がなされたが、原因特定には至っていない。また、平成 24 年度に前述の経過観察(動態観測)を行ったが、特段の地震や豪雨が無い中で継続的に変位し続けていたことなどから、

- 1) 基礎の不等沈下
- 2) 偏土圧

が変状要因として浮上し、平成 25 年度調査はこれらに着目した観測が必要と判断した。

基礎の不等沈下については、基礎が全体的に同一地盤(今回は軟岩)に支持されているかを確認する必要がある。西側橋台ではスウェーデン式サウンディングおよび簡易貫入試験により、孔内水位計を設置する西側法面ではボーリング調査(山側と谷側の 2 カ所)により岩盤の分布深度を把握すると共に、乾湿繰返試験によりスレーキングの可能性についても確認することとした。

一方、偏土圧の要因は地下水位の変動にあることが考えられるため、ボーリング孔に地下水位観測装置(自記水位計, 365 日連続観測)を設置し、降雨量との関係も含めて継続観測することとした。

なお、これらの原因究明調査に対し、これまでと同様に定期監視(動態観測)を続け、緊急対応の是非や変状傾向を確認するものとした。

§ 7. 平成 25 年度調査結果速報

1. 西側橋台基礎地盤確認

橋台および橋脚の基礎が、同一地盤に支持されているか否かを確認するため、スウェーデン式サウンディングおよび簡易貫入試験を実施した。

結果の詳細は次頁に図示するが、橋脚基礎が同一地盤に支持されていないことが判明し、亀裂の要因に不等沈下も考慮する必要があると分かった。

2. 西側法面地下水位調査

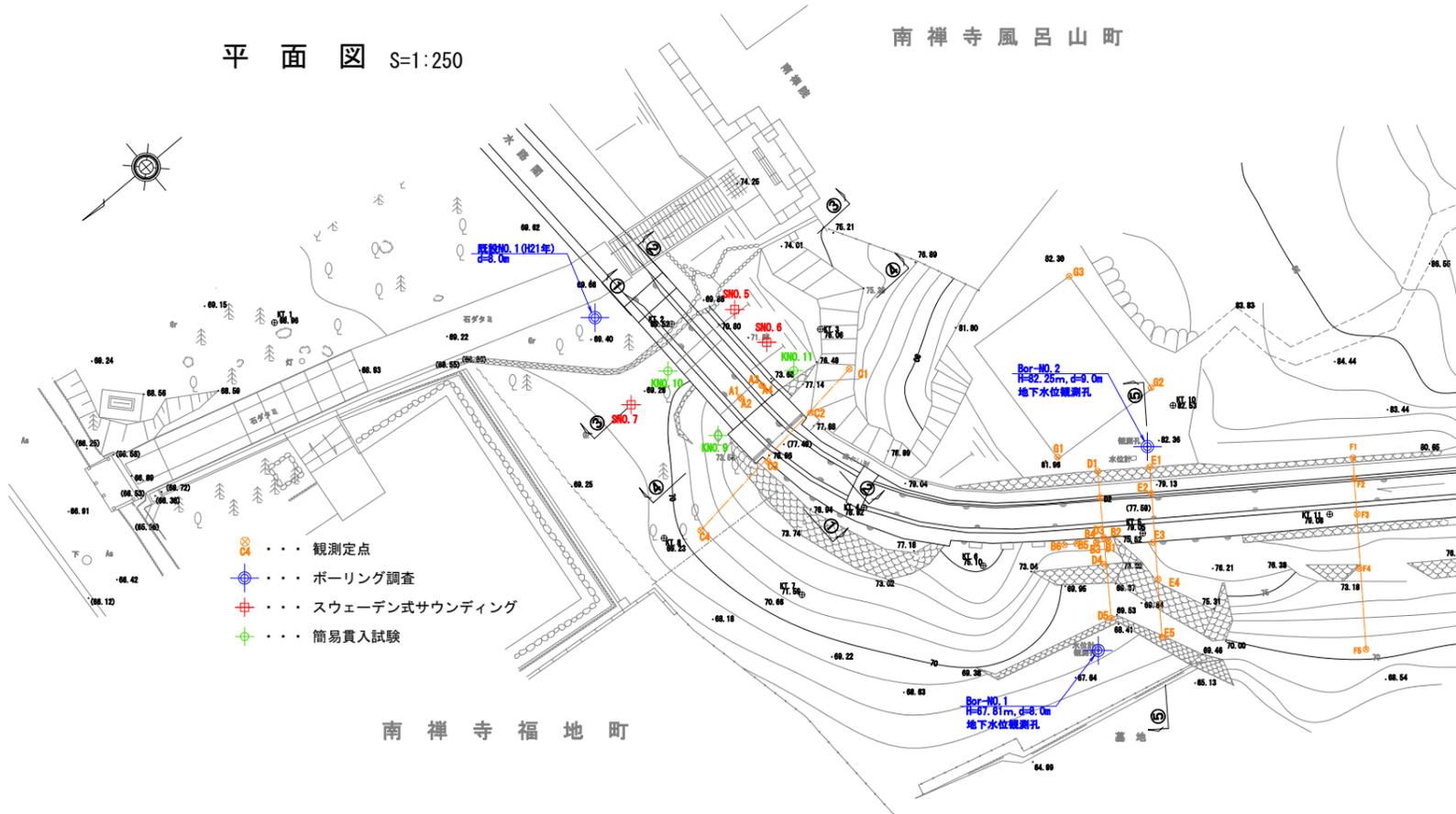
地下水位の有無による偏土圧の可能性を懸念していることから、今年度より西側法面部にてボーリング孔を利用した地下水位観測を行っている。

山側(N0.2)では、現時点で地下水位を観測していないが、梅雨や豪雨時等の状況等について今後も継続して観測する。

一方、谷側(N0.1)は GL-4.0m 付近に常時水位を確認している。しかし、この水位が地下水位とは限らないため、水路閘からの漏水や背後斜面からの湧水も視野に今後の観測で検証していく。(次頁参照)

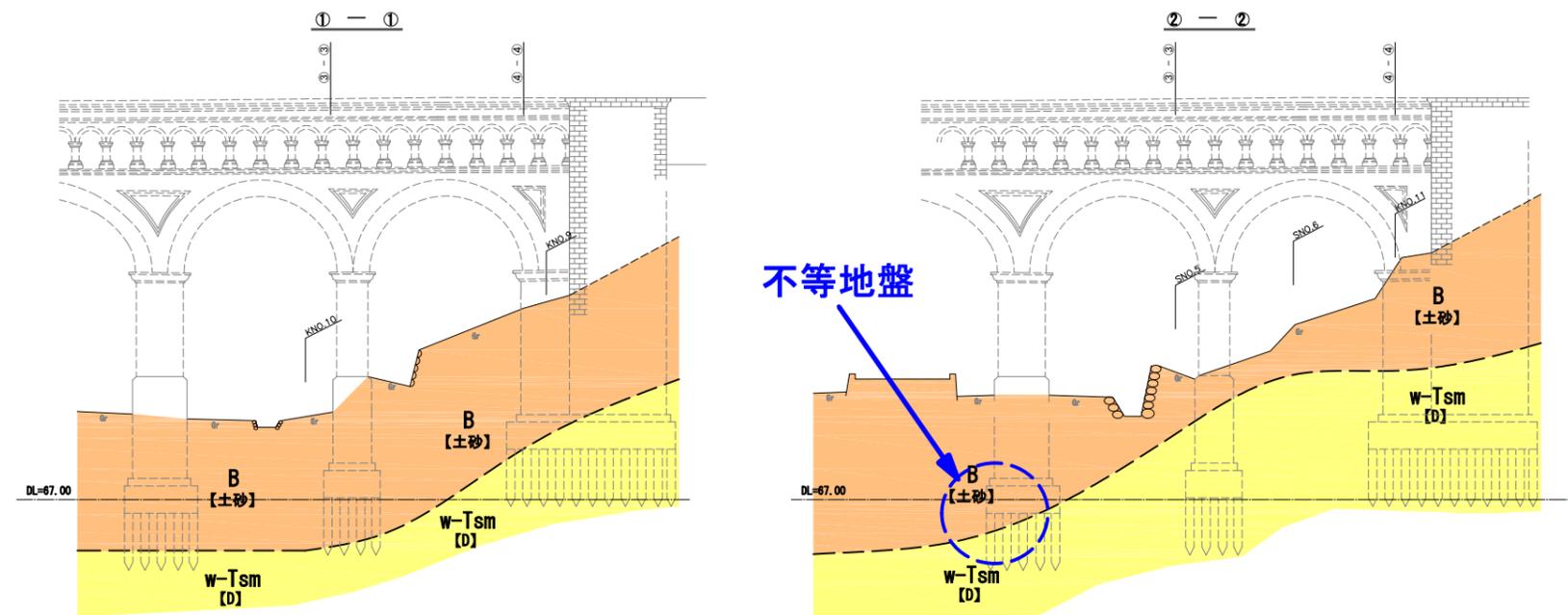
地層推定断面図

平面図 S=1:250

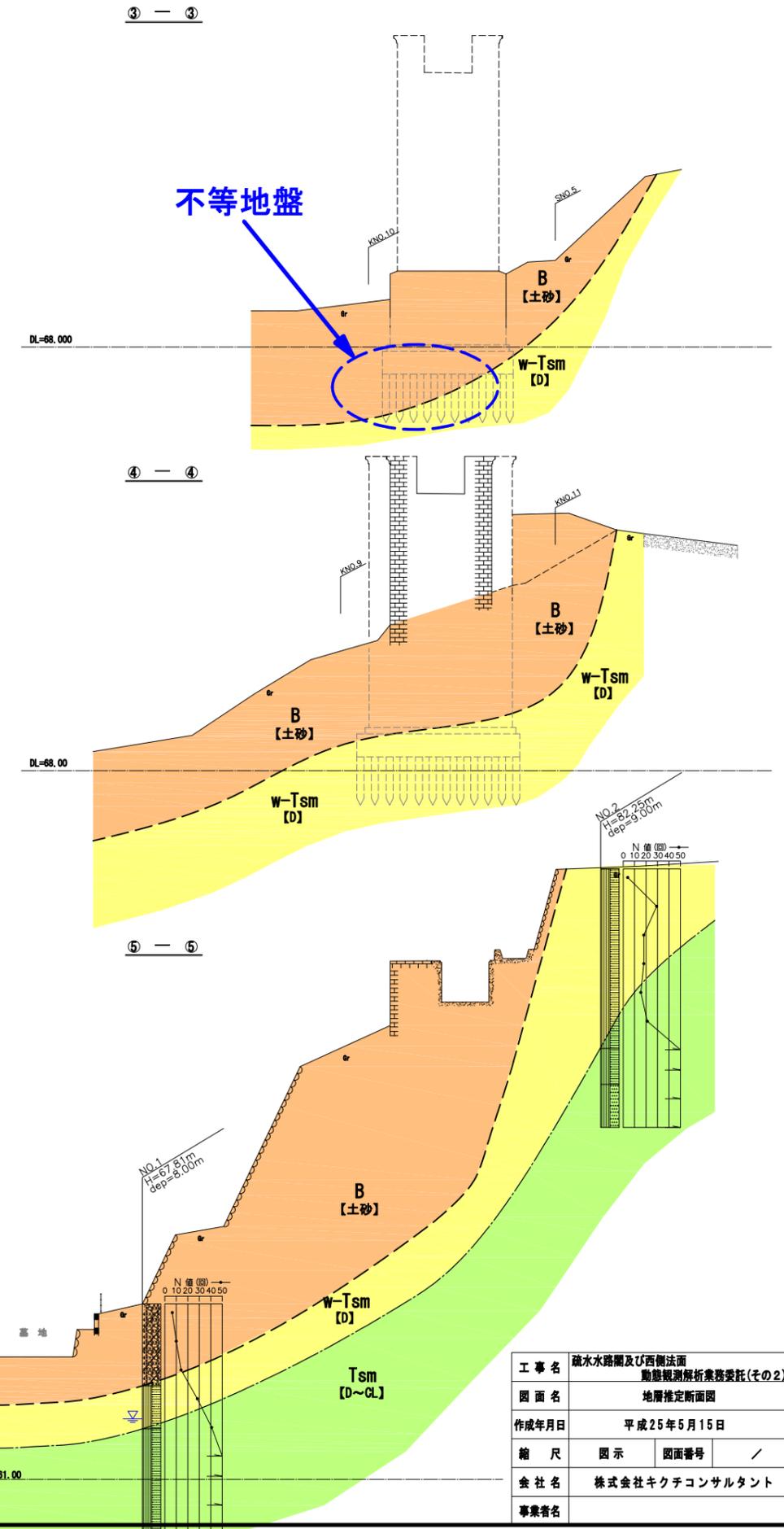


南禅寺福地町

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。



工事名	疏水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	株式会社キクチコンサルタント		
事業者名			