

国道の災害復旧工事中における地表・地中計測を駆使した道路維持管理方法

札幌開発建設部 札幌道路事務所 第2工務課

○中野 賢也
青木 卓也
江川 倫法

供用中の国道において災害復旧工事を行う場合、応急対策工事を経て恒久対策工事を行う場合がある。その工事中あるいは完了直後の道路維持管理については、従来の管理方法では必ずしも道路の安全性を十分に確認出来ない場合がある。ここでは平成24年5月に発生した中山峠土砂災害において、特に被災規模が大きいKP=40.6付近の復旧工事の進捗に応じた維持管理方法について、災害の形態や規模に応じた地表および地中計測機器を選定・設置し、そのデータを踏まえた段階的な維持管理基準を設けた。同時に、その時の維持管理体制についても確立した。

キーワード：土砂災害，地表計測，地中計測，道路維持管理基準，道路維持管理体制

1. はじめに

一般国道230号は、高次医療設備の整った札幌管内への救急医療搬送、札幌の奥座敷である定山溪温泉をはじめニセコ、ルスツリゾート、洞爺湖などへの観光周遊ルートにもなっており、さらに道央と道南を結ぶ物流の要所となっている路線である。

平成24年5月4日、一般国道230号中山峠付近において多数におよぶ道路の土砂災害が発生した(図-1¹⁾)。その後、昼夜にわたり応急対策工が講じられた後、恒久対策工を実施しつつ一般供用された。

札幌道路事務所管内の一般国道230号におけるKP=28.6からKP=45.7の延長17.1kmの区間の維持管理は、特殊通行規制区間として、連続雨量や24時間降雪量、積雪と気温の関係、気象庁発表の震度など、気象に応じた基準値を設けて初動体制をとり、異常時巡回を行い、場合によっては事前通行規制を行うこととしている。

さらに今後要対策箇所となり得るような露岩している地質の特徴などを防災カルテとして作成し、継続して点検・記録し、その経年変化を確認して管理するようにしている区間である。しかし、今回のような被災を受けた状況での道路の維持管理は、このような従来の管理方法では必ずしも道路の安全を確認出来ない場合もあるため、現地の挙動を計測工により確認して維持管理する方法を取らねばならない。ところが、開発局ではこのような状況におかれた場合の道路維持管理の方法、計測機器の選定や計測データから得られた管理基準やその対応に関するマニュアル等資料がないのが現状である。

ここでは現地の災害形態や規模を勘案した計測機器の選定から工事完了後の孔内傾斜計の計測データ値からその管理基準の設定について、工事中に実施した現地踏査において得られた地表変化から考察する。また、通行規制を迅速に行うための管理体制も確立した。



図-1 位置図

2. 中山峠の気象と被災メカニズム

被災箇所の平成24年4月から5月の気象は、例年と比較して積雪は多くないものの、4月に入っても寒気が停滞し、残雪が多いところに、急激な暖気が始まったことで融雪が急速に進み、さらにそこにまとまった量の降雨も重なった状況であった。

開発局が管理・観測している道路テレメータ・東中山地点において、気温については、4月に入っても一桁台の数字の気温が続いていたところに28日からは10℃を越える暖気が急激に始まり、5月1日にはそれまでの最高となる18.9℃にまで上がり、5月2日まで5日間続いた。

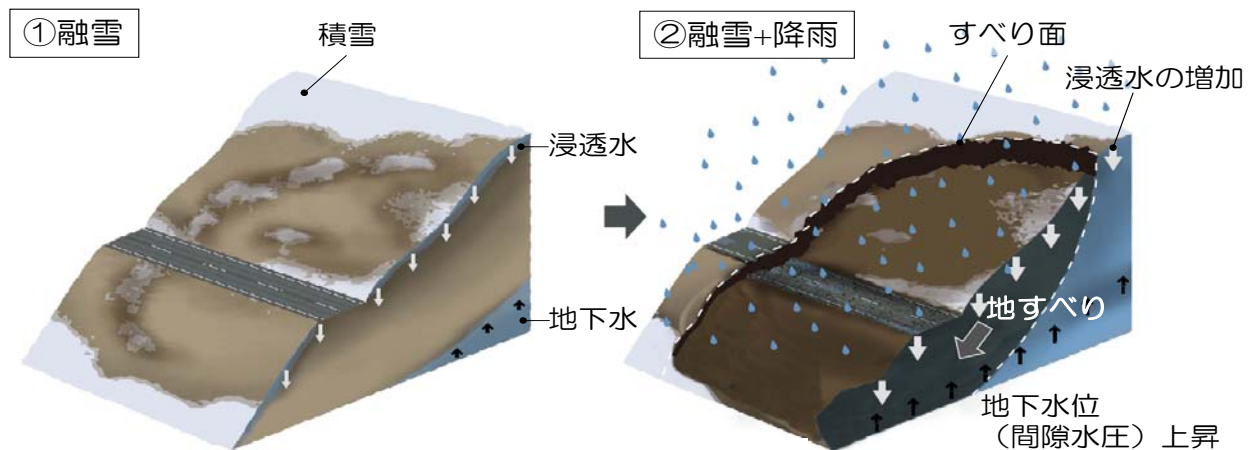


図-2 土砂災害のメカニズム

積雪深については、4月28日時点で112 cmあったが、5月4日には43 cmとなり、実に69 cmもの雪がこの6日間で気温や風雨により融雪した。また、降雨については、5月3日16時から降り出した雨が5月4日9時まで連続で57 mmもの累積雨量となり、5月5日には90 mmにも達した。このように、数日間の気象変化により地表から雨の供給と現道側方法面上部の高地からの浸透水が現道側へ流下されることにより地下水水位が上昇した。

考えられる土砂災害のメカニズムは、図-2の左図に示すように、通常、積雪は気象の温暖変化にともない融水となり地表から地下に浸透する。そこに同右図に示すようにさらに降雨もともなって浸透し、例年以上に間隙水圧が上昇してくることですべり抵抗が低下することですべり面が発生し、土砂災害に至る。さらに、谷地形であるため全体的に集水されやすい地形の特徴にもなっていた。

3. 計測工の検討

開発局の管理する国道では、過去にも大きな災害を経験し、その表面的な範囲・深さや崩壊形態により、現地に応じた計測機器を設置し、道路を維持管理するための確認の手段としている。一般国道38号野花南の斜面崩壊では、雨量計や実際の地表の動きを捉えるワイヤーセンサー、簡易傾斜計で斜面の傾きを動きと捉え確認している。

ここでは、中山峠の被災地における応急対策工事が完了し、片側交互での一般供用が始まった後から恒久対策工事中および完了後における計測工の基本的考え、計測器の選定について検討する。この計測工は、崩壊箇所の挙動を観測することはもとより、道路維持管理の迅速な行動に繋がるものであり、ひいては安全に道路が保たれているかどうかの確認の指標にもなる。そこで地すべり調査に関する文献²⁾³⁾やNEXCO高速道路調査会報告書⁴⁾から現地踏査で得られた崩壊形態や規模に応じた計測工の選定を行う。

そのなかで、地表面の変位を計測するものと地中で発生する変位やひずみの計測とを合わせ、全体の挙動が把握できるように設置することを基本理念とする。そしてこれらの全ての計器は自動計測し、PCで遠隔で確認できるようにする。

このように、地表と地中の観測を同時に行い連携を図ることで全体の崩壊ブロックの挙動が確認でき、データの確実性や挙動をリアルタイムに察知することができるため早期の現地対応が可能となる。

(1) 地表・気象計測

表-1に示すとおり、気象データを採ることとGPSによるマクロ的な地表面の挙動を確認し、伸縮計は表面に現れている段差を跨ぐように設置し、応急対策工のH杭頭部の観測も行う。

表-1 地気象計測機器 (図-3参照)

計測機器	設置箇所
雨量計	今回の災害誘因のひとつと考えられる雨量を量る計器。開発局で管理している道路テレメータ・東中山を利用するとともに、実観測として現地にも設置した。
地震計	気象庁発表を基本とするが、開発局管理の喜茂別観測所にある地震計・WISEも参考とした。
GPS	地表挙動の方向を特定するために山側法面に設置した。パイプひずみ計の値と併せて活用するものである。単位mm。
伸縮計	今回の災害で発生したものは特定できなかったが、山側法面に確認できる段差を跨ぐように2箇所設置した。単位mm。
測量による構造物の動態観測	応急対策工のH型鋼頭部に4箇所ターゲットを設け、トンネル工事などで使用するマンモス光波測量による定点観測を行った。単位mm。

さらに、現地に観測局舎を置き、24時間体制で有人監視することとし、計測器やデータ管理し、早期に現地踏査できる体制を取る。

(2) 地中計測

a) パイプひずみ計

地中の挙動を塩ビパイプに貼り付けたゲージの伸びがひずみとして表されるものである。パイプの屈折により圧縮と引張りで表示され、地表に設置したGPSとも併せて判断する。(図-3 写真参照)。

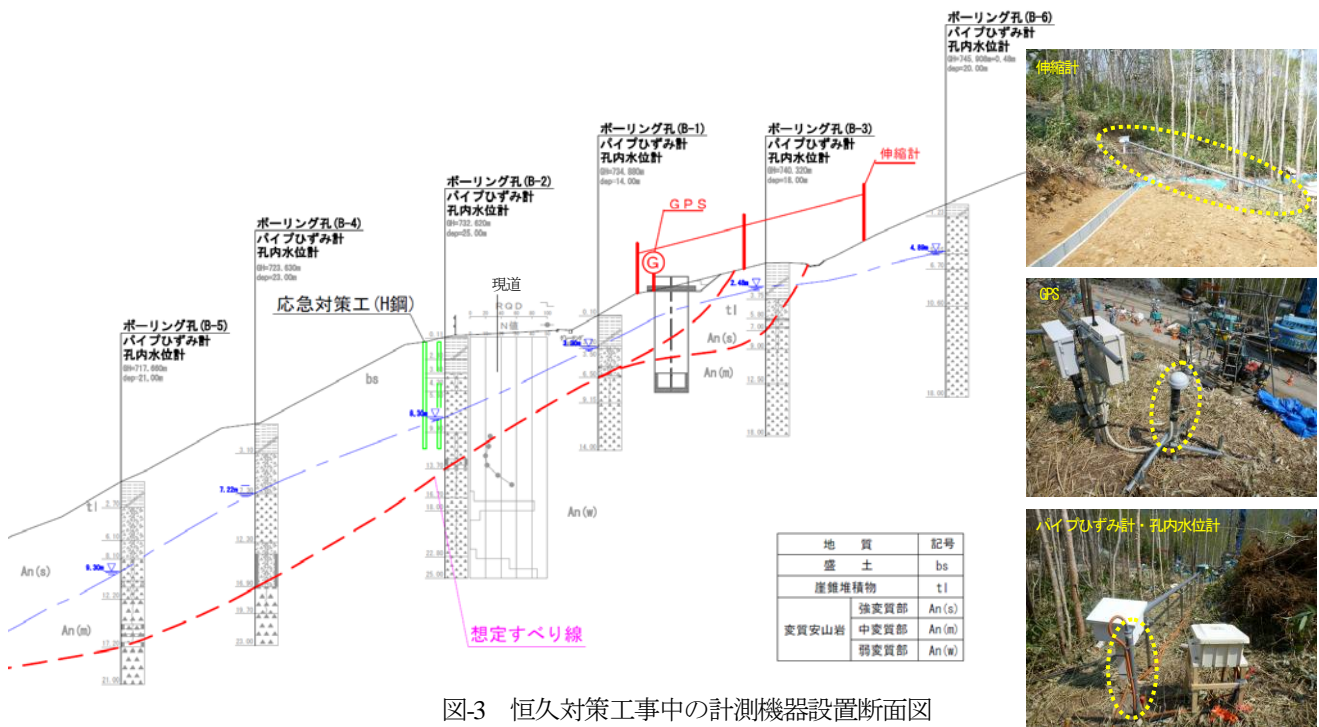


図3 恒久対策工事中の計測機器設置断面図

b) 孔内水位計

崩壊の誘因となる地中に含水された水位を計測する。パイプひずみ計とGPSと併せ挙動の判断材料となる。また、山側法面に施工した集水井工の機能確認もできる(図3 写真参照)。

以上、図3に示すとおり、地すべりブロックに対して誘因となり得る現象を見逃すことなく計測機器を配置することとした。

一段階繰り下げ、震度3で実施することとした。

地山の地表・地中の挙動については、GPS、伸縮計、パイプひずみ計の値をよりどころとし、GPS、伸縮計ともに通行止め管理基準値を100 mm/日とし、初動体制の発動は前者で50 mm/日、後方で4 mm/2Hとした。パイプひずみ計については、参考値として考え、工事の影響を多分に受けることを想定しつつも、累積値1,000 μ毎で現地踏査を行い、変状が認められれば通行止め措置をとる。さらに、それが5,000 μに達した場合は、対策工を含めた検討を道路防災有識者を行うこととした。

4. 恒久対策工事中の道路維持管理

道路維持管理に必要な計測工について述べたが、次にその計測データ値から行動するための管理基準を決定しなければならない。この基準の設定にあたっては、過去の経験やNEXCO高速道路調査会報告書の表2⁴⁾に示す値を参考に表3のとおり決定した。

まず、崩壊の誘因と考えられる降雨量に関しては、従来80 mmに達した段階で道路巡回としていたが、今回の被災時の降雨状況を踏まえ80 mmに達した段階で全面通行止めとし、安全を図ることとした。この時の初動体制の確立については、徐々に経験することが必要のため降雨量が20 mmに達した時点から開始することとした。つまり、降雨の強度によりどの程度の時間を要して80 mmに達するかかわからないため、まず始めに20 mmに達した時点で準備にかかる時間を逆算して時間差を考慮したり、各役割や体制の確認を行うなど、経験に経験を重ねていくこととし、その後段階的に初動体制確立時の基準を見直していった。

地震については、通常、震度4で道路巡回するところ、

表2 施工段階での管理基準値(NEXCO)

計測区分と計測機器	対応区分	点検・要注意または観測強化	対策の検討	警戒・応急対策	嚴重警戒・一時退避
伸縮計	地表面の 地中伸縮計	5mm以上/10日 ⁴⁾	5-50mm/5日	10-100mm/1日	100mm以上/1日
光波測距儀					
挿入型地中傾斜計	すべり面付近 の変化速度	1mm以上/10日	5-50mm/5日	— ⁴⁾	—
パイプひずみ計	累積値	100μ以上	1000-5000μ	— ⁴⁾	—

表3 恒久対策工事における管理基準値

	設置箇所	計測頻度	精度	管理基準値	初動基準値	初動基準値超過時の対応
雨量	テレメータ 東中山 現地雨量計	1回/時	—	連続雨量 80mm	連続雨量 20mm	現地点検
地震	喜茂別観測所 (WISE)	都度	—	震度3	—	目視観察 (KP40.6)
GPS	KP40.6	1回/時	水平：5mm 鉛直：10mm	100mm/日	50mm/日	計器の誤作動確認 現地状況の確認
伸縮計	KP40.6	1回/時	1mm	100mm/日	4mm/2h	計器の誤作動確認 現地状況の確認
パイプひずみ計	KP40.6 6孔	1回/時	10μ	(参考値) 累積 1,000μ 毎	(参考値)	監視員による 現地確認および データ確認
孔内水位計	KP40.6 6孔	1回/時	10mm	(参考値)	(参考値)	—

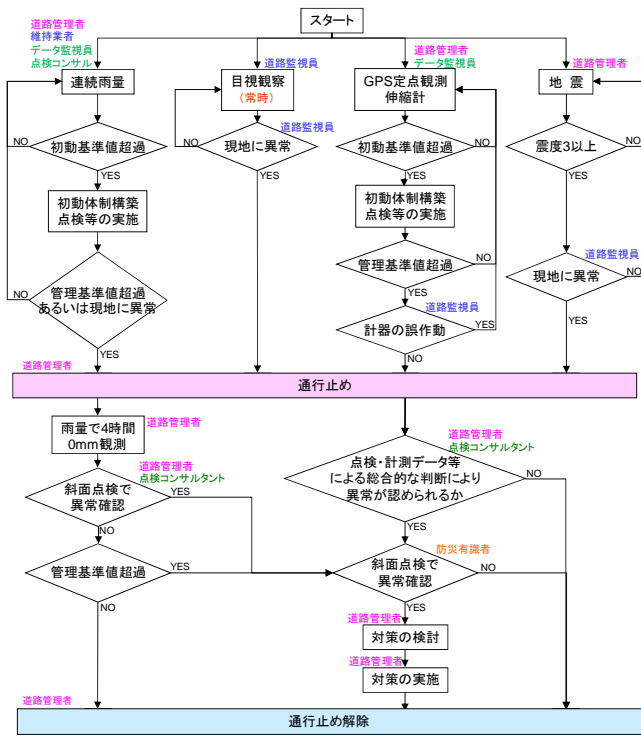


図4 恒久対策工事中における計測・管理体制

このように恒久対策工事中の維持管理体制については、図-4に示すとおりである。

5. 恒久対策工事後の道路維持管理

工事後についても、目に見えない地中の挙動を詳細にいち早く察知することが重要となるが、B-1孔のパイプひずみ計が、工事重機や調査ボーリング施工の影響から計測不能となった。そもそも、計器の寿命も2年程度のものもあり、さらに降雪により計測もできなくなる。

これらの問題点を熟慮し、孔内傾斜計⁵⁾を道路に対して山側に深度16 m (K-1孔・6基) および谷側に深度22 m (K-2孔・8基) に設置し、恒久対策工後の主要計測とすることとした (図-5)。

ここで変位量の求め方は、水平変位・円弧変位・斜め変位があり、設置位置や傾きに応じてその方法を決定するが、ここでは、当初のセンサの傾きを基準に、前の位置からどれだけ水平移動したかを計算する方法とした。

図-6のモデル図に示したような挙動を示した場合、式1のように、設置区間の傾きの変位量を各々計算し、

$$\delta_n = L_n \sin \theta_n \quad \dots (式1)$$

それを式2のようにその変位を累積して、

$$\delta = \sum_{n=1}^n \delta_n = \sum_{n=1}^n L_n \sin(\theta_n) \quad \dots (式2)$$

地表面の変位量とする。ここで、

δ : 地表面での変位量

δ_n : 各深度での変位量

L_n : 設置間隔

θ : 各深度での傾斜角度 となる。

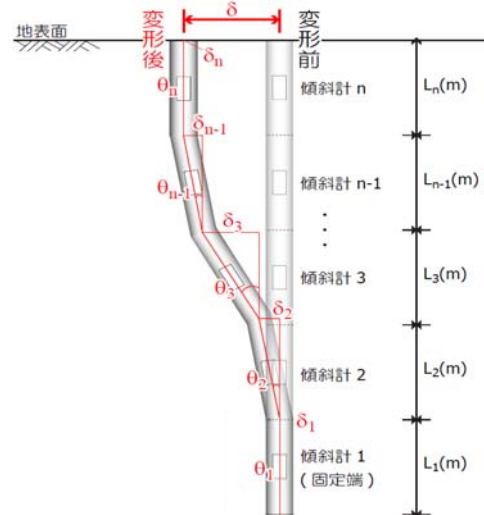


図-6 傾斜変位モデル図

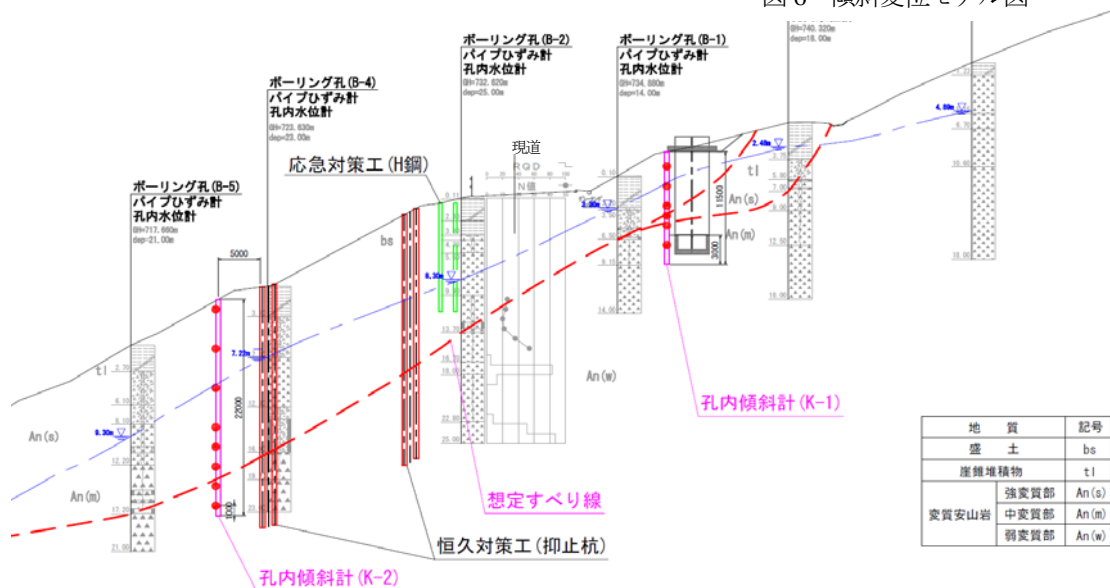


図-5 恒久対策完了後の計測機器設置断面図

次に、工事施工段階同様、管理基準を決定する。これも本箇所の実態に則された事例はないが、過去の経験やNEXCO高速道路調査会報告書の表4⁴⁾に示す値を参考に表-5のとおり決定した。

降雨量に関しては、従来とおり80 mmに達した段階で道路巡回することとした。地震についても、震度4で巡回する。次に地山の地中の挙動については、孔内伸縮計の値をよりどころとし、50 mm/日に達した場合は、カルテ点検業務や職員による現地踏査を行い、路面と法面の確認を行うこととした。また、参考として、豊平峡ダムの流入量にも注目し、200 m³/sに達した場合も巡回と点検を行う。

表-4 維持管理段階での管理基準値(NEXCO)

計測区分と計測機器	対応区分	点検・要注意または観測強化	対策の検討	警戒・応急対策 通行止め等の検討	厳重警戒・通行止め
伸縮計	地表面の変位速度	10 mm以上/30日 ^{a)}	5~50 mm/5日	10~100 mm/1日	100 mm以上/1日
地中伸縮計 光波測距儀	挿入型地中傾斜計	すべり面付近の変位速度 1 mm以上/10日	5~50 mm/5日	— ^{b)}	—
地盤傾斜計	累積値	10~50秒/10日	— ^{b)}	—	—

表-5 恒久対策完了後における基準値

	設置箇所	計測頻度	精度	基準値	基準値超過時の対応	モニタリング方法
基準値	雨量 [東中山 無音根]	テレメータ	1回/時	連続雨量80mm	バトロール [特殊通行 規制区間]	【テレメータ】 北海道地区道路情報
		現地雨量計		連続雨量100mm 日雨量80mm	カルテ点検 [特殊通行 規制区間]	【現地雨量計】 遠隔計測 [計測しない]
参考値	地震	気象庁 (札幌市)	都度	震度4	バトロール および カルテ点検 [特殊通行 規制区間]	気象庁地震情報
	孔内傾斜計	KP40.6 2孔	1回/時	50mm/日	カルテ点検 (KP40.6)	遠隔計測
	パイプ ひずみ計	KP40.6 6孔	1回/時	10μ (参考値) 累積5,000μ/毎	カルテ点検 (KP40.6)	遠隔計測
	孔内水位計	KP40.6 6孔	1回/時	10mm (参考値) 基準無し	—	遠隔計測
	杭頭変位 計測	KP40.6 9箇所	1回/月 都度	— (参考値) 累積50mm	カルテ点検 (KP40.6)	手動計測
豊平峡ダム 流入量	豊平峡ダム	都度	— (参考値) 200m ³ /s	バトロール および カルテ点検 [特殊通行 規制区間]	国土交通省 川の防災情報 日本気象協会 MICOS	

6. 当面の道路維持管理体制

今後の230号中山峠の特殊通行規制区間は従来の管理方法となるが、特にKP40.6付近においては、地山挙動が収束するまで観測が必要である。そこで図-7に示す枠内のとおり、前述した孔内傾斜計の動向も遠隔監視することとした(枠外は従来の体制)。管理体制については、事前の天気予報やMICOSデータを常時確認し、職員と点検および計測コンサル、年維持業者が連携して、迅速に行動して現地に赴き、路面や法面の踏査・点検と道路巡回を行い、異変が認められれば即時通行止めを行うこととした。

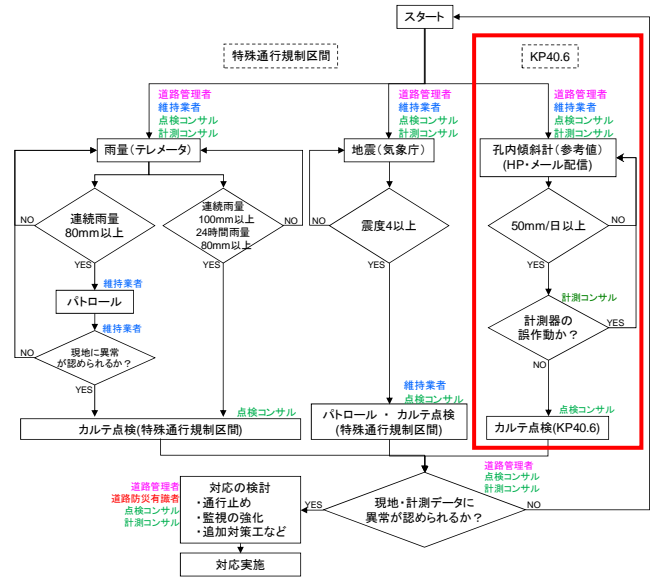


図-7 恒久対策完了後における計測・管理体制

7. 考察

前述したように、恒久対策工事中と後において、地表・地中と地山の挙動を計測しつつ道路維持管理に努めてきた。

対策中については、集水井工や鋼管杭などの工事の影響が過剰に反応し、ひずみ計に累積が認められたが、その都度早期に現地踏査を行い、現地に变化のないことを確認してきた。また、降雨についても最大50 mmを観測し、職員・年維持・点検コンサルと4回の初動体制を取ったが通行止めまでには至らなかった。また、図-8に示すように対策完了後の挙動については、冬季にも入ったことから数mm・日の動きしか認められていない。

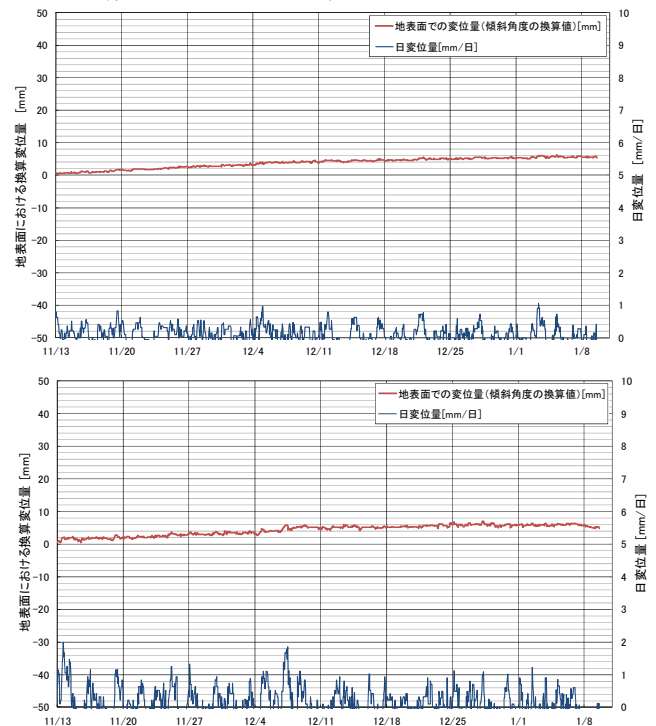


図-8 孔内傾斜計変位量(上段:山側K-1, 下段:谷側K-2)

さらに図-8において、全国的な地すべり範囲（面積）と伸縮計・孔内傾斜計の基数について示す⁶⁾。中山峠の場合、範囲は約8,000 m²で、それぞれ2基づつ設置しており、この相関をみても相応と判断している（点線上にある★印）。また、今後の計測期間については、被災した春先の融雪・融水期を未だ経験していないため、1年間の経過を観測しつつ状況判断することとする。

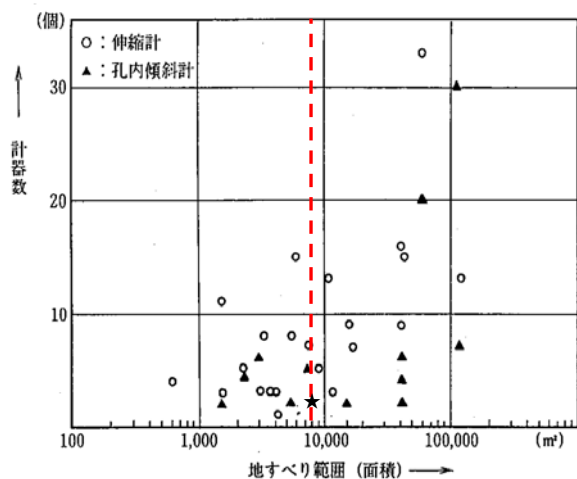


図-8 中山峠被災規模と計器の相関

8. 被災後の維持管理のあり方

これまでに開発局では落石、岩盤崩壊、土砂崩壊、地すべり、越波などによる様々な道路災害を経験して、その都度委員会を開催してきたが、道路維持管理における管理基準等は、当然、被害規模や災害形態によって管理方法は異なるため、今回の中山峠災害のような交通量が多い要所がかつ災害形態も大規模で複雑な箇所での維持管理手法の策定は非常に重要なことである。

今後についても災害形態からその原因を特定して、それを包括できる計測工を選定・設置すること。また、計

測値については工事等の影響なのか挙動なのかを十分に検討し結論をだすことが重要である。今回はNEXCO高速道路調査会の基準により管理基準を決定し、実践したが、累積値による現地踏査や道路防災有識者と検討するタイミングは妥当であると判断した。今後は、まだ経験していない被災した融雪期を迎えるが十分に注意して望むこととする。

謝辞：災害直後から現在まで、現地に赴き現地踏査やボーリングコア鑑定などを行っていただいたり、さらに調査・設計から応急復旧・恒久対策工事や維持管理に至るまで事ある毎にご指導・ご助言をいただいた道路防災有識者の独立行政法人寒地土木研究所 西本聡研究グループ長、同 伊東佳彦上席研究員、同 倉橋稔幸総括主任研究員、北電総合設計(株) 西川純一博士、さらにいち早く駆けつけ現地踏査を実施していただいた道路防災エキスパートの方々には、ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 北海道地図(株). (2011) : GISMAP. (論文転載許可済み)
- 2) 北海道開発局 建設部 道路建設課. (2004) : 北海道における岩盤斜面対策工マニュアル (案) .
- 3) (財)国土技術研究センター編. (2010) : 貯水池周辺の地すべり調査と対策.
- 4) 財団法人 高速道路調査会. (1988) : 地すべり危険地における動態観測施工に関する研究(その3)報告書.
- 5) 独立行政法人土木研究所, 応用地質(株), 坂田電機(株), 日本工営(株)共著. (2010) : 地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル.
- 6) (社)地すべり対策技術協会. (2012) : 地すべり観測便覧.