

論文

アスファルト舗装道路の変形に与える岩石の種類, 地質構造および斜面傾斜角の影響

塚本 峻一*・小暮 哲也*

Effects of the types of rocks, geological structure
and slope angle on deformation of roads covered with asphalt

Ryoichi Tsukamoto* and Tetsuya Kogure*

Abstract

Factors affecting the frequency of occurrence of cracks (number/km) on roads paved with asphalt around Matsue City were discussed through field investigations. Results show that the frequency varies with the types of rocks. Many cracks are found in the andesite beds of the Miocene Omori Formation (8.3/km), siltstone in the Miocene Furue Formation (7.7/km) and mudstone in the Miocene Josoji Formation (7.5/km). On the other hand, the rocks with low frequency are sandstone in the Miocene Fujina Formation (1.6/km), Eocene Hiyodori granite (3.4/km) and conglomerate in the Miocene Koura Formation (3.6/km). The frequency is higher on dip slope than opposite slope. The frequency increases as the slope angle around the roads increases. The frequency sharply increases when the slope angle exceeds 25 degrees in the andesite beds in the Omori Formation and Hiyodori granite, showing a similar trend, as is shown in the relationship between the frequency of occurrence of slope failure and slope angle.

Key words: types of rocks, slope angle, geological structure, asphalt, crack

はじめに

日本の道路の95%はアスファルト舗装である(国土交通省, 2015)。アスファルト舗装はコンクリート舗装などの他の舗装方法と比べ、敷設が容易であり、舗装作業時間が短い。しかし、アスファルト舗装は継続して力をかけ続けられると脆くなり、コンクリート舗装より容易に変形する(山田, 2008)。特に傾斜地では、亀裂を伴う変形が平地に比べ多く発生し、斜面下部から上部に向かって亀裂が弧を描く(第1図)。これは、傾斜地であるがゆえの斜面の不安定性が原因であると考えられるが、地すべりや表層崩壊などに代表される斜面崩壊の発生と道路変形との関連性を示す研究は、我々が知る限り存在しない。

通常、アスファルトの強度(たとえば、天野ほか, 1998; Chairuddin *et al.*, 2016)は岩石強度(たとえば、岡林ほか, 1983; 磯野ほか, 2014)より弱いため、その地域の地質の不安定性は、斜面崩壊だけでなく道路上における亀裂としても現れると考えられる。斜面崩壊の発生頻度は、斜面を構成する岩石・土壌の種類により変化する(たとえば、若月ほか, 2009)ため、地質が異なれば、道路の亀裂の発生頻度にも差が生じる可能性がある。斜面崩壊と道路の亀裂の発生頻度に相関があれば、手軽な調査により算出可能な道路の亀裂の発

生頻度から、その地質(地域)における斜面崩壊発生頻度を推定できる。この手法は、ある地質の斜面崩壊発生の危険度を評価する有効な調査方法となる可能性がある。

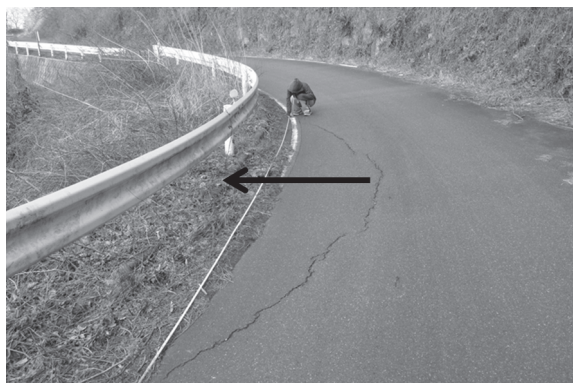
本研究では、上記の手法確立に向けた第一歩として、地質の種類と道路の亀裂発生頻度との関係を調査した。同時に、亀裂発生頻度を支配する要因と考えられる受け盤や流れ盤などの地質構造や、斜面傾斜角の大きさが与える影響についても検討したので、結果を報告する。

調査地域と地質概要

調査地域は宍道湖の北側および南側である(第2図, 第3図)。北側の地域と南側の地域は同年代の地層であり、岩石の種類に比較に適する。北側の地域は西に松江市上大野町、東に松江市上佐陀町の東西約8 km, 南北約4 kmの範囲であり、朝日山(標高341.8 m)や経塚山(標高316 m)、本宮山(標高278.8 m)、秋葉山(標高127.3 m)を有する。また、宍道湖に向かっていくつかの小さな三角州がある。南側の地域は花仙山(標高199.7 m)を中心とした東西約3 km, 南北約2 kmの範囲である。

調査地域における地層の層序は鹿野ほか(1994)および鹿野・中野(1986)に従う。北側の地域は下位から、新第三系下部中新統古浦層の砂岩と礫岩、下部中新統-中部中新統成相寺層の泥岩と流紋岩、中部中新統古江層のシルト岩に区分される(第4図)。また、古浦層-牛切層に貫入した塩基性-中性岩の岩床がいくつか確認される。しかし、ほとんどの岩石は変質し、貫入時期を特定できないものが多く、貫入岩の詳細

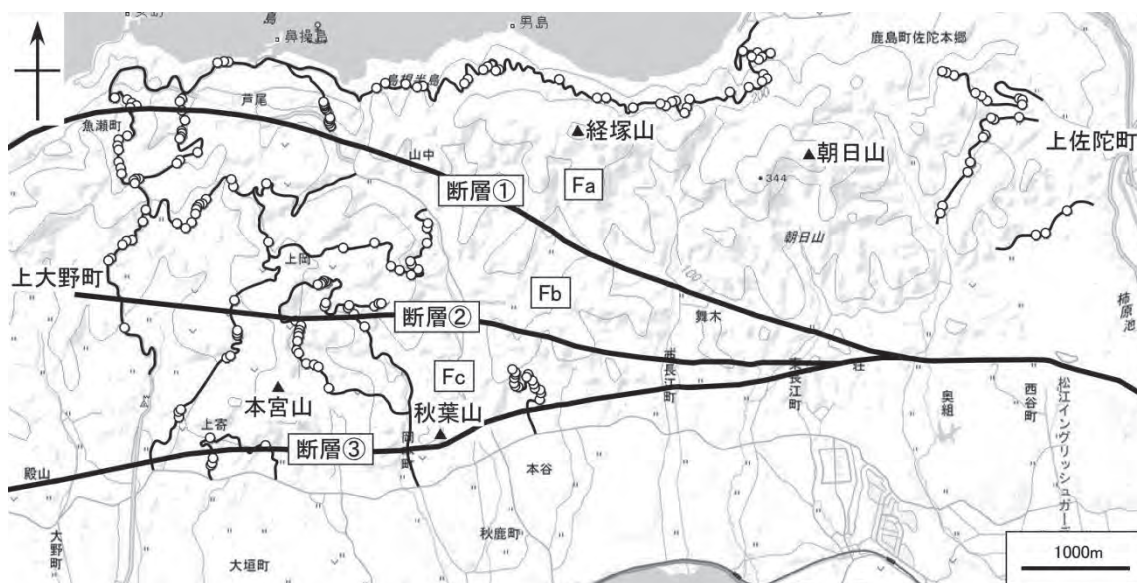
* 690-8504 島根大学総合理工学研究科地球資源環境学領域
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane
University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan



第1図 道路の亀裂の形と方向. 矢印は亀裂の測定方向を表す.



第3図 鳥根県の宍道湖より南側の地形図. 線は調査したルートを示す. 丸は道路の亀裂地点を示す. 国土地理院の電子地形図 25000「松江」を掲載.



第2図 鳥根県の宍道湖より北側の地形図. 線は調査したルートを示す. 丸は道路の亀裂地点を示す. Fa: 断層①より北部, Fb: 断層①と断層②の間, Fc: 断層②と断層③の間. 国土地理院の電子地形図 40000「加賀」, 「松江」, 「恵曇」および「秋鹿」を掲載.

な岩石判定は難しい(鹿野・中野, 1986). 本研究では, 貫入岩の地域内から閃緑岩が確認されたため, 貫入岩の地域の地質を閃緑岩とする. 南側の地域の地質は現地調査により作成した. 下位から, 古第三系暁新統鶴花崗岩, 新第三系中部中新統大森層の安山岩, 布志名層の砂岩に区分される(第5図).

鹿野・中野(1986)によれば, 北側の地域には東西方向に3本の断層が走り, 断層によって地質の走向・傾斜が異なる. 本研究では東西方向に走る3本の断層を北から断層①, 断層②, 断層③とし, 断層①より北部の地域をFa, 断層①と断層②の間の地域をFb, 断層②と断層③の間の地域をFcとする(第2図).

調査および図面作業

調査項目は, 地質調査と道路の亀裂位置の確認, 亀裂の方向(第1図矢印)の計測である. 亀裂の方向は亀裂全長の中心位置から斜面下方を指す.

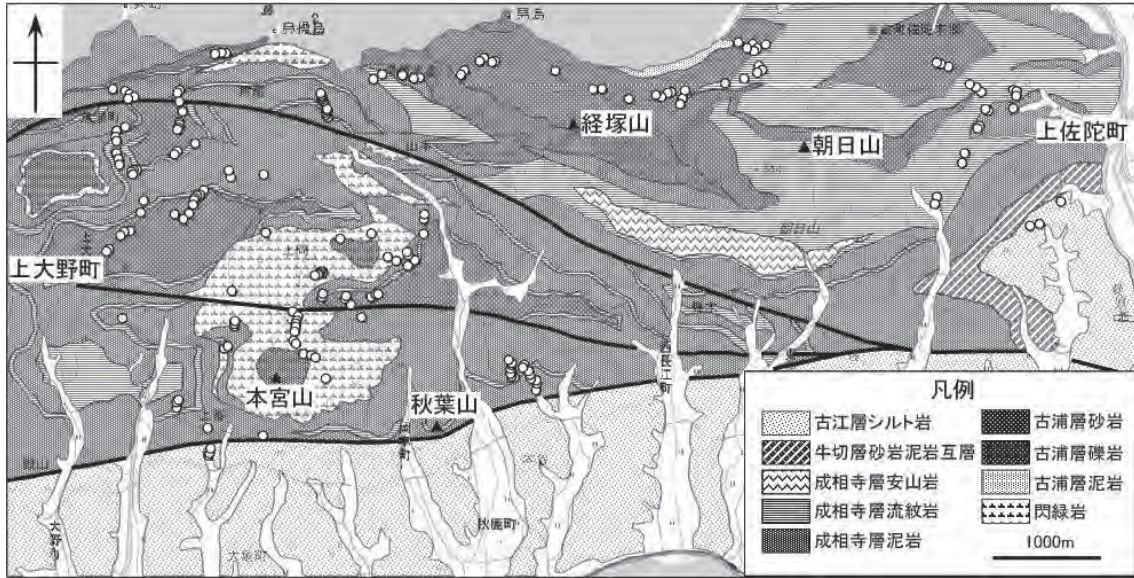
図面作業は, 地質ごとの道路1km当たりの亀裂頻度と亀裂位置の斜面傾斜角, 斜面傾斜角に対する道路1km当たりの亀裂頻度の算出である. 地質ごとの道路1km当たりの亀裂頻度の算出方法は, 地質境界間の道路距離と各地質内の亀裂数から(1)式を用いて算出した.

$$F = \frac{\alpha}{l} \times 1000 \quad (1)$$

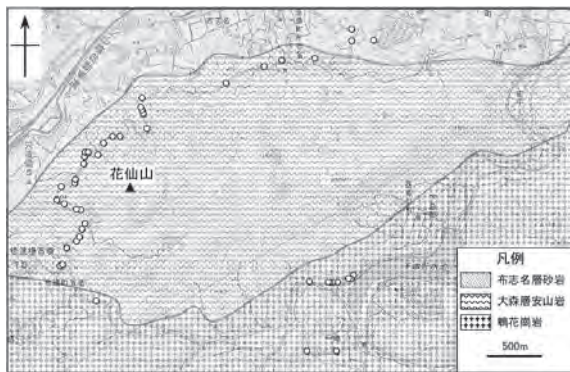
ここで, F は1km当たりの亀裂頻度(本/km), α は亀裂数(本), l は地質ごとの道路距離(m)である.

亀裂頻度と与える斜面傾斜角の影響を評価するため, 地形図を用いて斜面傾斜角を算出した. 1/5000の地形図に亀裂位置をプロットし, その点に交わるように斜面上部と下部の等高線から直線で結んだ(第6図). 斜面傾斜角は斜面上部と下部の等高線の標高差と直線の距離から(2)式により算出された.

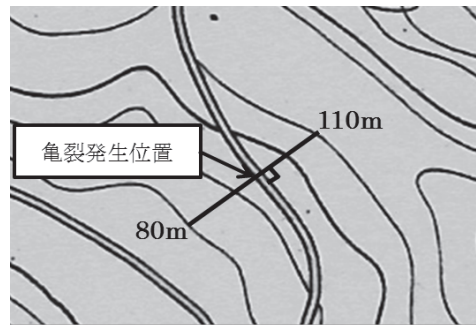
$$\theta = \tan^{-1} \frac{h}{l} \quad (2)$$



第4図 島根県の宍道湖より北側の地質図 (鹿野・中野, 1986). 丸は道路の亀裂地点を示す.



第5図 島根県の宍道湖より南側の地質図. 丸は道路の亀裂地点を示す.

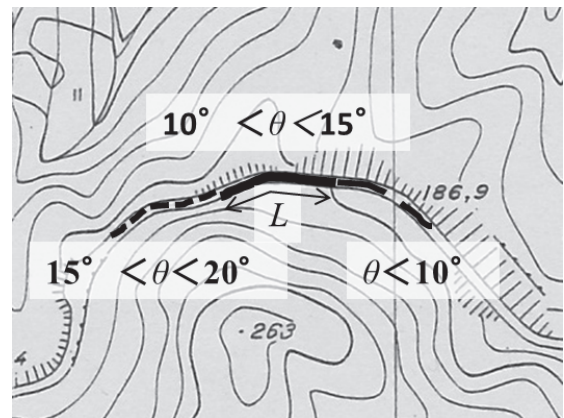


第6図 斜面傾斜角の算出方法の例.

ここで、 θ は斜面傾斜角 ($^{\circ}$), h は標高差 (m), t は直線の距離 (m) である. 次に、(2) 式より算出された道路の亀裂位置の斜面傾斜角は傾斜度を 5° ごとに分け、 5° ごとの個数を亀裂数 (β) とする. それぞれの斜面傾斜角における道路 1 km 当たりの亀裂頻度は、亀裂数 (β) と道路距離から (3) 式により算出された.

$$E = \frac{\beta}{L} \times 1000 \quad (3)$$

ここで、 E は斜面傾斜角に対する 1 km 当たりの道路の亀裂頻度 (本/km), L は斜面傾斜角ごとの道路距離 (m) である. (2) 式を用いて調査地域の全道路の斜面傾斜角を計算し、階級が変化した地点を境界とし、境界間の距離を L とした (第7図).



第7図 道路の亀裂発生率の計算に必要な道路距離の例. 実線・破線・点線は各斜面傾斜角に対する道路距離 (L) を示す.

亀裂の増加要因

1. 岩石の種類

確認された道路上の亀裂数は計 229 本であり、それらの位置を第2図および第3図中の旗として示す. また、表1に地

質ごとの亀裂数および亀裂頻度を示す. 亀裂数は、鶴花崗岩において 11, 大森層の安山岩 31, 布志名層の砂岩 3, 閃緑岩 29, 古浦層の砂岩 49, 古浦層の礫岩 3, 成相寺層の泥岩 76, 成相寺層の流紋岩 21, 古江層のシルト岩 6 であった. 亀裂頻

表1 地質ごとの道路1km当たりの亀裂頻度.

地質	全長 (m)	亀裂数	1km当たりの頻度 (本/km)
シルト岩 (古江層)	776	6	7.7
流紋岩 (成相寺層)	4355	21	4.8
泥岩 (成相寺層)	10166	76	7.5
礫岩 (古浦層)	826	3	3.6
砂岩 (古浦層)	7291	49	6.7
閃緑岩	5827	29	5.0
砂岩 (布志名層)	1909	3	1.6
安山岩 (大森層)	3754	31	8.3
花崗岩 (鶉花崗岩)	3230	11	3.4
合計	38134	229	

表2 各地質と安山岩の節理の走向・傾斜.

地質	走向・傾斜
シルト岩 (古江層)	-
Faの流紋岩 (成相寺層)	N76°W50°S
Faの泥岩 (成相寺層)	N40°W50°S
Fbの泥岩 (成相寺層)	N76°W24°N
Fcの泥岩 (成相寺層)	N40°E50°S
礫岩 (古浦層)	-
Faの砂岩 (古浦層)	N85°W5°N
Fbの砂岩 (古浦層)	N20°W20°S
Fbの閃緑岩	-
Fcの閃緑岩	-
砂岩 (布志名層)	N85°E5°N
安山岩 (大森層)	N85°E5°N
安山岩の節理	N72°E36°N
花崗岩 (鶉花崗岩)	-

度が高い上位三つの地質は、大きい順に大森層の安山岩 (8.3本/km)、古江層のシルト岩 (7.7本/km)、成相寺層の泥岩 (7.5本/km) であり、亀裂頻度が低い地質は小さい順に、布志名層の砂岩 (1.6本/km)、鶉花崗岩 (3.4本/km)、古浦層の礫岩 (3.6本/km) であった。

今回の結果からは、堆積岩と火成岩の亀裂頻度に大きな差は見られなかった。すなわち、どちらの岩石にも亀裂頻度が大きい岩石と小さい岩石が含まれる。したがって、亀裂頻度の大きさを支配する岩石力学的要因を探ることが今後の課題であり、そのために各種岩石の物理・力学的性質を評価する必要がある。

2. 流れ盤構造

表2は各地質の層理面の走向・傾斜を表す。風化が著しい地質においてはデータを取得できなかった。また、大森層の安山岩には顕著な節理面が認められたため、節理面の走向・

傾斜も測定した。

各地質の亀裂数を10°の方位別に第8図に示す。図中には表2の各地質の走向 (実線) と傾斜 (破線) も示した。第8図には、堆積岩と火成岩において亀裂数が多い上位二つの地質の走向・傾斜を示す。第8図から、成相寺層の流紋岩以外の地質では、亀裂は流れ盤側斜面に多く発生することが分かる。受け盤側にも発生するものの、その頻度は流れ盤側に比べ極めて小さい。流紋岩地域において受け盤側に亀裂が多く発生する理由を明らかにするためには、今後より詳細な調査が必要である。

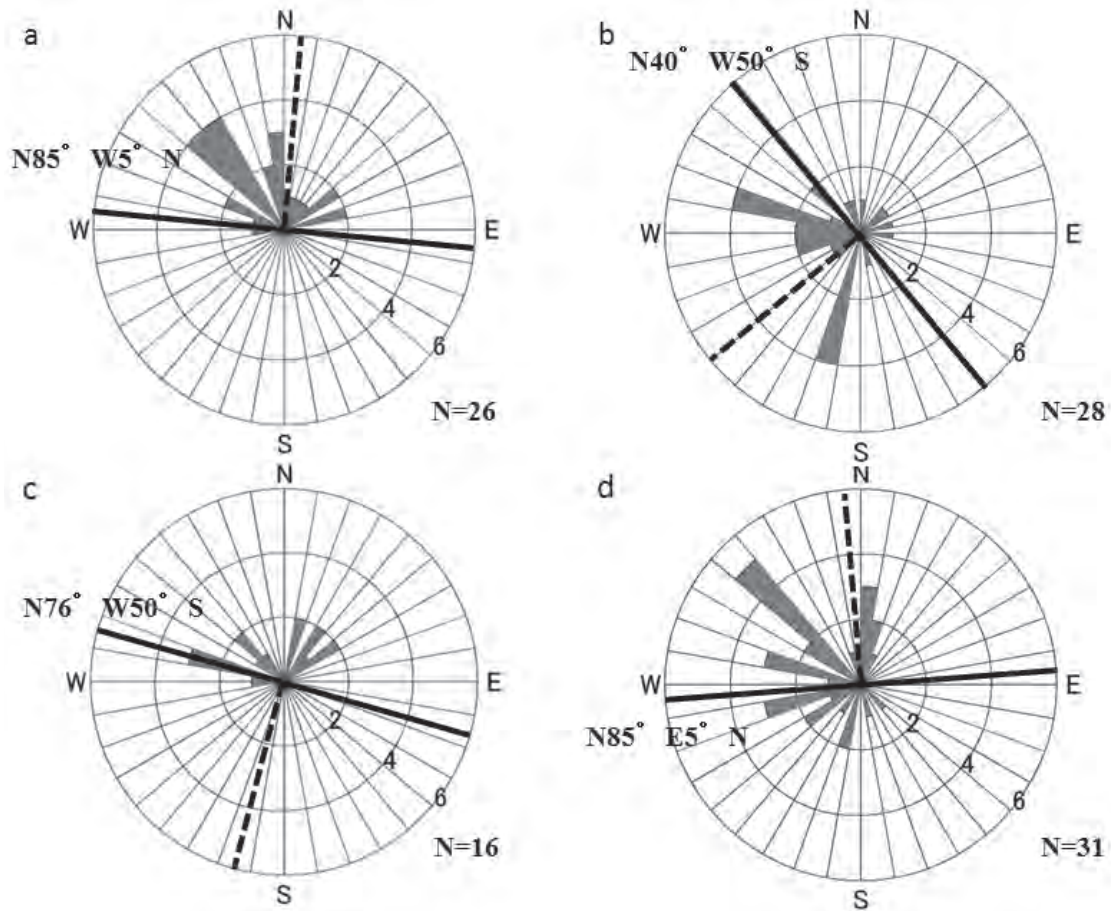
3. 斜面傾斜角

斜面傾斜角に対する亀裂頻度の算出結果のうち、亀裂頻度が高い上位三つの大森層安山岩、成相寺層泥岩、古浦層砂岩に加え、鶉花崗岩を第9図に示す。大森層安山岩と鶉花崗岩地域では、斜面傾斜角が25°以上になると、発生頻度が急増する (安山岩 25.4本/km、鶉花崗岩 26.3本/km)。

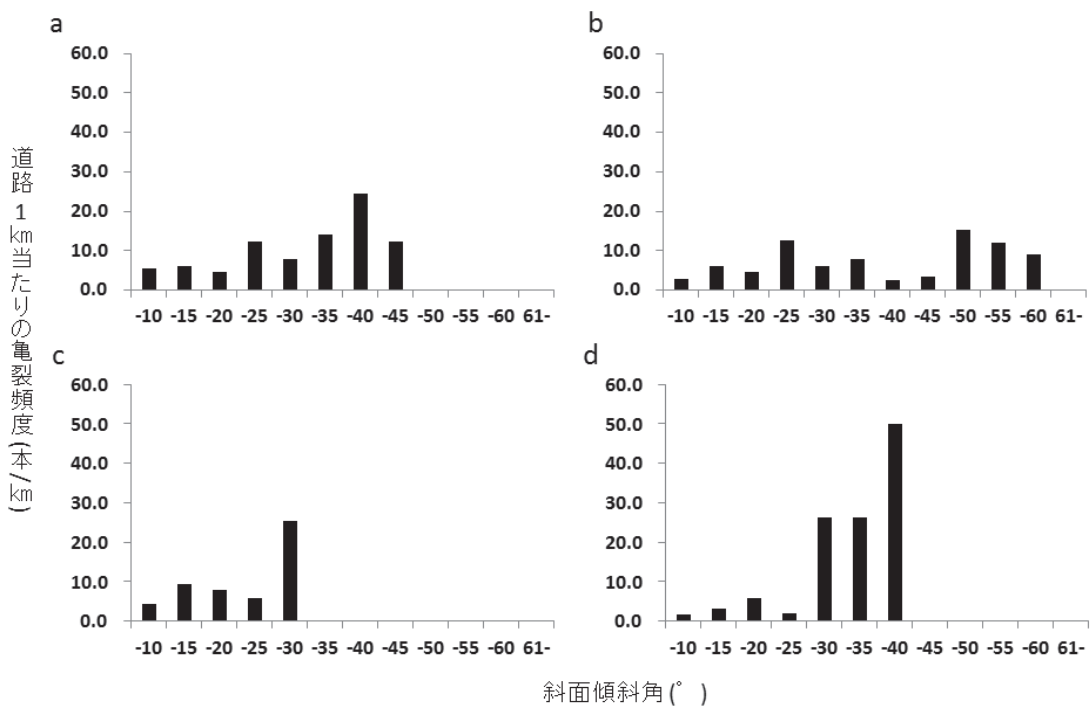
山田ほか (1971) は斜面傾斜角と斜面崩壊発生との関係を調べ、傾斜角が20°以上の時に発生率が上昇することを示した。このことは、上述した本研究結果と調和的である。したがって、道路における亀裂発生は、斜面の不安定性を反映すると考えられる。しかし、こうした傾向は一部の岩石に限られるため、斜面傾斜角の上昇に伴う崩壊発生頻度変化の特徴を岩石種類ごとに分析する必要がある。

ま と め

松江市周辺におけるアスファルト舗装道路上の亀裂発生頻度の支配要因を検討した。その結果、岩石種類によって亀裂発生頻度が異なることが分かった。亀裂発生頻度が高い順に大森層の安山岩 (8.3本/km)、古江層のシルト岩 (7.7本/km)、成相寺層の泥岩 (7.5本/km) であり、頻度が小さい順に、布志名層の砂岩 (1.6本/km)、鶉花崗岩 (3.4本/km)、古浦層の礫岩 (3.6本/km) であった。亀裂の向きと地質の傾斜方向との比較から、亀裂は流れ盤側斜面に多く発生するこ



第8図 堆積岩地域の道路の亀裂の方向と地層または節理の走向・傾斜方向。実線は走行方向，点線は傾斜方向を示す。(a) Faの古浦層の砂岩，(b) Faの成相寺層の泥岩，(c) Faの成相寺層の流紋岩，(d) 大森層の安山岩。



第9図 斜面傾斜角に対する地質ごとの道路1km当たりの亀裂頻度。(a) 成相寺層の泥岩，(b) 古浦層の砂岩，(c) 大森層の安山岩，(d) 鴨花崗岩。

とがわかった。受け盤側にも発生するものの、その頻度は流れ盤側に比べ極めて小さい。また、斜面傾斜が増加するほど亀裂発生頻度は上昇するが、特に大森層安山岩と鴨花崗岩においては、斜面傾斜角が25°以上になると、発生頻度が急激に上昇することがわかった。この傾向は、既存研究により報告されていた傾斜角の増大に伴う斜面崩壊発生頻度の上昇と調和的であり、亀裂発生は斜面の不安定性を反映していると考えられる。

本研究により、道路の亀裂発生頻度は地質の種類により変化することが明らかになった。また、道路の亀裂が斜面の不安定性を反映する可能性も示唆された。したがって、今後は現地調査や空中写真判読などにより地質ごとの斜面崩壊発生頻度を調べ、道路の亀裂発生頻度との関係性を評価する。両者の関係を定量化できれば、ある地質の地域における斜面崩壊発生危険度の簡易評価手法の提案につながる。

引用文献

天野隆明・高橋守人・笠原彰彦・森吉昭博, 1998, アスファルト舗装における低温き裂の要因について, 石油学会誌, **41**, 98-106.

Chairuddin, F., Tjaronge, M. W., Ramli, M., Patanduk, J., 2016, Compressive Strength of Permeable Asphalt Pavement Using Domato Stone (Quarzite Dolomite) and Buton Natural Asphalt (BNA) Blend, *International Journal of Engineering and Technology*, **8**, 183-186.

磯野陽子・木村隆行・中島 悟, 2014, 近赤外分光法による花崗岩質岩石の水和度の評価と岩石強度との相関, 応用地質, **55**, 86-92.

鹿野和彦・中野 俊, 1986, 恵曇地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 30p.

鹿野和彦・山内靖喜・高安克己・松浦浩久・豊遙秋, 1994, 松江地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 126p.

国土交通省, 2015, 道路: 道の相談室: 道に関する各種データ集, http://www.mlit.go.jp/road/soudan/soudan_10b_01.html.

岡林信行・稲生道裕・大野 清, 1983, トンネル周辺岩盤の破壊規準の設定に関する一考察, 応用地質, **24**, 1-8.

若月 強・飯田智之・松四雄騎・小暮哲也・佐々木良宜・松倉公憲, 2009, 泥質岩の風化特性が土層形成・斜面崩壊・斜面形状に与える影響: 2003年台風10号により北海道日高地方で発生した斜面崩壊の事例, 地形, **30**, 267-288.

山田剛二・渡 正亮・小橋澄治, 1971, 地すべり・斜面崩壊の実態と対策, 山海堂, 572p.

山田優, 2008, コンクリート舗装への期待と課題, セメント協会, **735**, 5-11.

(受付: 2015年10月29日, 受理: 2015年11月16日)