

博士論文

中国地方における高速道路の斜面災害と
地盤特性に関する研究

A Study on the National Expressway Slope Disasters
and the Ground Characteristics in the Chugoku Region

2016年3月

下野 宗彦

Munehiko SHITANO

山口大学大学院 理工学研究科

要 旨

我が国は、急峻な地形と脆弱な地質という素因を有しており、降雨による斜面災害が後を絶たない。道路に影響を及ぼす自然斜面と設計施工された人工斜面(切土・盛土のり面)で構成される「道路斜面」においても災害は根絶していない。我が国の道路斜面は、急峻地形が多いことから膨大な数量を抱えており、災害発生に伴う危険性と社会的影響は非常に高いものである。昨今では、災害に強い安全な国土づくりを目指し、道路斜面の維持管理が重要視され、道路防災として比較的丁寧な点検が実施されてきている。

膨大な数量を抱える道路斜面の維持管理は、災害発生に伴う危険性と社会的影響の軽減を目的として効率的かつ効果的に行っていく必要があるため、現在では、損傷や変状の発生発見によって対応する「対症療法型管理(事後保全)」から、道路斜面の安定性が損なわれる前に対応する「予防保全型管理(予防保全)」という考え方が取り入れられてきている。道路斜面の予防保全は、資料調査による抽出道路斜面の点検やその結果に基づく防災対策から、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面を含んだものにその対象が広がっている。西日本高速道路(株)は、5年毎の全数点検を計画しているが、膨大な数量であるが故にこのサイクルで点検することは困難を極めている。道路斜面の予防保全には工夫が必要である。

道路斜面災害の要因には、素因と誘因があり、道路斜面の現状の健全性や点検結果は素因と損傷事象を基に評価されている。素因には「風化度、(後背)地形、構造(走向傾斜)、地質、含水比、地下水位、植生状況等」がある。このうち「地質」は道路斜面災害の素因として欠かすことのできない要素であり、整備されている地質図等からこれを把握することが可能である。予防保全の観点からみると、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面に対しても、地質の分析から現状の健全性を把握する必要がある。また、風化度については、標準的な地盤指標として採用され既存の標本数が膨大に存在している「 N 値」から把握することが考えられる。斜面崩壊は、滑動力が抵抗力を上回った時に発生し、この場合の抵抗力は、標準貫入試験結果である N 値が大きくなると抵抗力が大きくなる。 N 値は地盤の硬軟を定量的に示す数値であり理論上は、 N 値が大きいほどその地盤は強固で崩壊し難いと言えるため、地質とその地盤の硬軟を定量的に示す指標として、標準貫入試験結果(N 値)に着目した。

本研究は、道路斜面災害の素因である「地質と風化度」に着目し、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路を挟む2km巾の表層地質図」と「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N 値)」及び「過去の高速道路斜面災害記録」を用いて、災害の形態分析及び表層地質と道路斜面災害発生箇所に関連性から、標準貫入試験結果(N 値)の違いをまとめたものである。地質と風化度以外の素因である「(後背)地形、構造(走向傾斜)、含水比、地下水位、植生状況等」については、残存する資料や現時点における点検結果のデータ整備を含めて今後の課題としている。

中国地方は、潜在的な危険素因を有す斜面が非常に多く、昨今の局地的集中豪雨の増

加現象を鑑みると、今後は土砂災害の発生リスクが増加していく可能性が高い。中国地方は、この数年間に大規模な斜面災害が複数回発生しており、大きな社会問題になっていることから、道路斜面の予防保全を慎重にかつ積極的に進めていく必要があるといえる。

西日本高速道路(株)が管理運営する中国地方の高速道路斜面災害は、1974年から2012年3月末時点までに、663件が記録されており、全体の44.5%(295件)が切土のり面、50.8%(337件)が盛土のり面、4.7%(31件)が土石流を含む自然斜面となっている。のり面崩壊は、その100%近くが深度5m以内の表層で発生していること、必ずしもその高さ(段数)が大きいものほど崩壊しているとは限らないこと、切土のり面災害295件のうち81.7%(241件)は源頭部である切土のり面の最上段に崩壊損傷痕が見られ崩壊形態が不明なもの(20件)を含めると88.5%(261件)になり、大部分は切土のり面の最上段及びその上方の自然斜面が損傷を受けていること等を明らかにした。斜面災害の大部分は、切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締り具合と切土を中心とした道路斜面災害の関連性が疑われることを示した。

高速道路斜面災害箇所と表層地質の関係は、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路を挟む2km巾の表層地質図」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、該当箇所の地山地質が大きく影響を与える「切土のり面」、「自然斜面」を対象に分析を行った。地質分類は、細分化された地質をその生成時代と各地質の主な構成岩種等により、「①新生代;未固結堆積層、②新生代;火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層、③中生代後期～新生代初期;花崗岩類、④中生代;碎屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外)、⑤古生層(碎屑岩、火成岩の堆積層)」の5分類に区分した。中国地方で災害発生指数が高い地質は、新生代第三紀から第四紀初期のグリーンタフを中心とした火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層であること、1箇所あたりの被災規模が100m³以上で災害発生指数が高い地質は、新生代の火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層と中生代の生物岩・碎屑岩・火山岩の堆積層であり、山陰沿岸部と山口県西部に集中していること等が明らかになった。

中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N 値)」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」と未発生箇所の「被災履歴なし地山」を対象に、斜面崩壊が発生しやすい表層の緩んだ地盤の性状を N 値の違いに着目して分析した。高速道路の斜面災害の傾向分析結果によると、斜面災害の大部分は切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締り具合を N 値の深度分布から考察し、斜面災害発生箇所と未発生箇所の違いに着目した分析を行ったものである。5分類した地質毎の平均 N 値は、対数正規分布に類似した発現傾向を示し、「被災該当地山」の平均 N 値は「被災履歴なし地山」の平均 N 値を下回ることがわかった。「被災該当地山」に関する平均 N 値は、深度と N 値の関係において、高い決定係数を有す線形で表わされるため、深度毎の平均 N 値と標準偏差 σ から危険限界 N 値(N_{DL} 値)を算出すると、「被災該当地山」における各深度の N 値は、80%以上の確率で N_{DL} 値以下であることが判明した。

算出した N_{DL} 値は、1974年から2012年3月末時点までの高速道路斜面災害記録を用い

て算出したものである。従って、2012年4月から2015年3月までの斜面災害発生箇所について、危険限界 N 値 (N_{DL} 値) の検証を行い、その有効性の確認をした。

本論文は、6章で構成される。第2章から第4章までが中国地方における斜面災害の地域性把握を主とした『災害の傾向分析』について、第5章が前章までの結果を基に災害発生箇所と未災害箇所の標準貫入試験結果 (N 値) の違いについてまとめた『標準貫入試験結果 (N 値) の分析』となっている。以下、本研究の概要を各章毎に示す。

第1章 序論

道路斜面に対する予防保全の対象は、資料調査により抽出された箇所の点検及びその結果に基づき選定された箇所から、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面まで広がっている。確実な点検の実施に加え、自動化された計測手法による「動態観測」を取り入れて斜面監視する等の工夫を行い安全性の確保に努めているが、道路斜面は、膨大な数量であるが故に対象箇所のスクリーニングに更なる工夫が必要とされる。本章では、道路斜面管理と防災対策の現状を整理し、先行研究の事例をまとめるとともに、解決すべき課題を抽出して本研究の背景と目的を明確にした。

また、本研究の流れを明確にするために、論文の構成と概要を示した。

第2章 中国地方における土砂災害

中国地方の地域的な特徴を把握するために、近代以降の地理教育で用いられてきた「一般的な8地方区分」で比較分析を行った。高速道路斜面災害に関する全国データの入手が困難であったため、全国砂防便覧の土砂災害データを使用している。「土砂災害」は、自然斜面における土石流、地すべり、崖崩れを対象とし、切土及び盛土のり面の崩壊を含むものは、「斜面災害」と定義した。

中国地方の土砂災害発生件数は全国第4位、年降水量は第3位でともに中位であること、単位面積当たりの災害発生指数(災害発生件数/対象地域面積)と災害危険箇所指数(土砂災害危険箇所数/対象地域面積)で比較すると中国地方は災害発生指数に比べて災害危険箇所指数が非常に高く、潜在的な危険素因を有す斜面が多いことを示した。昨今の局地的集中豪雨の増加現象を鑑みると、今後は土砂災害の発生リスクが増加していく可能性があることが把握できた。中国地方は、この数年間に大規模な斜面災害が複数回発生しており、大きな社会問題になっていることから、道路斜面の予防保全を慎重にかつ積極的に進めていく必要があるといえる。

第3章 中国地方における高速道路の斜面災害

西日本高速道路(株)が管理運営する中国地方の高速道路災害記録から、道路斜面災害の形態分析を行った。

中国地方の高速道路斜面災害は、全て降雨が誘因である。1974年から2012年3月末時点までに、663件が記録されており、全体の44.5%(295件)が切土のり面、50.8%(337件)

が盛土のり面、4.7% (31 件) が土石流を含む自然斜面となっている。のり面崩壊は、「その100%近くが深度 5m以内の表層で発生していること、必ずしもその高さ(段数)が大きいものほど崩壊しているとは限らないこと、切土のり面災害 295 件のうち 259 件(87.8%)は、切土のり面の最上段及びその上方の自然斜面が損傷を受けていること」等が明らかになった。

斜面災害の大部分は、切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締り具合と切土を中心とした道路斜面災害の関連性が疑われることを示した。

第 4 章 高速道路の斜面災害発生箇所と表層地質

高速道路斜面は、大きく「切土のり面」、「盛土のり面」及び「自然斜面」に区分される。盛土(のり面)は、該当箇所もしくは近接する地山の地質が主体で構成されていると考えられるが、施工範囲や施工時期等により、他工区からの客土施工、購入による客土施工、構造物掘削残土の埋め戻し処理等も多々あり、その材質を近接する地山の地質で判断することは、非常に難しい。従って、高速道路の斜面災害箇所と表層地質の関係は、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路を挟む 2km 巾の表層地質図」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、該当箇所の地山地質が大きく影響を与える「切土のり面」と「自然斜面」を対象に分析を行った。中国地方における高速道路を挟む 2km 巾の表層地質は分布面積が各々大きく違うため、地質分布単位面積当たりの災害発生指数(災害発生件数/対象地域面積)で比較した。

高速道路沿線の表層地質は、中国地方全域の傾向と同様に花崗岩類の広い分布が大きな特徴として挙げられ、流紋岩類、三郡変成岩類がこれに続いている。災害発生箇所の地質分類は、細分化した地質をその生成時代と各地質の主な構成岩種等によって「①新生代;未固結堆積層、②新生代;火山岩・(火山)砕屑岩の堆積層、③中生代後期～新生代初期;花崗岩類、④中生代;砕屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外)、⑤古生層(砕屑岩、火成岩の堆積層)」の 5 分類に区分した。中国地方で災害発生指数が高い地質は、新生代第三紀から第四紀初期のグリーンタフを中心とした火山岩・(火山)砕屑岩の堆積層であること、1 箇所あたりの被災規模が 100m³ 以上で災害発生指数が高い地質は、新生代の火山岩・(火山)砕屑岩の堆積層と中生代の生物岩・砕屑岩・火山岩の堆積層であり、その災害発生箇所は、山陰沿岸部と山口県西部に集中していること等が明らかになった。

第 5 章 高速道路の斜面災害箇所と標準貫入試験結果の関連性

中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N 値)」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」に着目し、斜面崩壊が発生しやすい表層の緩んだ地盤の性状を 5 区分した地質分類毎に N 値の違いから分析した。斜面災害の大部分は、切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締り具合と切土を中心とした道路斜面災害の関連性が疑われる。従って、切土施工を行う前に調査した山

腹の調査ボーリング結果である N 値から、「切土のり面最上段及びその上方自然斜面」の脆弱な表層風化部である地山を対象に、過去の災害発生履歴に着目し、被災該当地山(災害発生箇所)と被災履歴なし地山(未発生箇所)の N 値深度分布の違いについて分析を行った。斜面災害の大部分が切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締り具合を N 値の深度分布から考察し、斜面災害被災箇所と非被災箇所の違いに着目した分析を行ったものである。また、降雨を誘因とする斜面崩壊は、ほぼ 100%が深度 5m未満で生じている。5m 以深の N 値発現傾向を把握することを含めて分析する深度は、GL-10m までとした。 N 値の発現頻度は、代表値が低 N 値側に出現し、高 N 値側に裾野が長い分布になっている。高い N 値側に裾を引く歪み部分のバラツキを把握し「被災該当地山の N 値」と「被災履歴なし地山の N 値」の違いを分析するために、中央値よりも高い数値である N 値の「平均値」に着目した。

5 区分した地質分類毎の平均 N 値は、対数正規分布に類似した発現傾向を示し、「被災該当地山」の N 値は「被災履歴なし地山」の N 値を下回ることがわかった。「被災該当地山」に関する平均 N 値は、深度と N 値の関係において、高い決定係数を有す線形で表わされる。深度毎の平均 N 値と標準偏差 σ から危険限界 N 値(N_{DL} 値)を算出すると、「被災該当地山」における各深度の N 値は、80%以上の確率で N_{DL} 値以下であることが判明した。

また、危険限界 N 値(N_{DL} 値)は、1974 年から 2012 年 3 月末時点までのデータを用いて算出したものであるため、2013 年 4 月から 2015 年 3 月までの斜面災害発生箇所についてその検証を行い、有効性の確認を行った。

第 6 章 結論

本章では、本研究成果を要約して総括するとともに、今後計画される道路の設計上の留意点や現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面の予防保全に関する提案と「点検の頻度や動態観測の可否及び詳細調査と防災対策の優先度付けに対する基礎資料」として活用するための課題及び今後の展望を整理した。

Abstract

In our country, due to the factors including steep terrains and weak geology, slope disasters caused by rainfall continue to occur. Even on the road slopes consisting of natural slopes (which may have an effect on the roads), and artificial slopes (cut and fill slopes), disasters have not been eradicated. Because of the steep terrains, Japan has a vast number of slopes, resulting in the high level of risk and social influence associated with the disasters. Nowadays, in the aim of securing the strength and safety of the land, the importance of the maintenance and management of the road slope has been recognized, and relatively thorough inspection has been performed as a method of disaster prevention.

The maintenance and management of the vast number of slopes needs to be performed efficiently and effectively in order to reduce the danger and social effect associated with the occurrence of disasters. For this reason, the mode of management is shifting from the “symptomatic treatment method (post-incident maintenance)” in which the treatment is done after the deformation or damage is found, to the “preventative maintenance” in which the treatment is done before the stability failure of the road slopes. The scope of the preventative maintenance has been expanded from the disaster prevention based on the inspection results of the road slopes selected from the documents, to include the slopes without any evident behavior of damage or collapse. At the West Nippon Expressway Co., Ltd., all of the slopes are planned to be inspected every five years, but due to the vast quantity, it is extremely difficult to complete the inspection within this cycle. The preventative maintenance of the slopes requires an innovative approach.

The cause of the road slope disaster can be divided into the prime factor and the trigger, and the soundness and inspection results at the present state is evaluated based on the prime factor and the damage. The prime factor includes the “weathering,” “(back) geography,” “structure (strike and dip),” “geology,” “moisture content,” “underground water level,” and the “vegetation situation.” Of these factors, the “geology” must be considered in terms of the cause of the road slope disasters, and the information on the geology can be obtained from the geological map and other existing documents. From the viewpoint of the preventative maintenance, the soundness of the road slope without any current signs of collapse or damage needs to be grasped based on the analysis of the geology. In addition, the degree of weathering can be grasped from the N -value, which is commonly used as a ground index, with large amounts of existing sample data. The collapse of the slope occurs when the sliding force exceeds the resistance, and the resisting force increases as the N -value of the Standard Penetration Test increases. The N -value represents the quantitative hardness of the ground, and theoretically, the ground with a higher N -value is more solid and less likely to collapse. For this reason, the result of the Standard Penetration Test (N -value) was noted as an index to indicate the geology and the hardness of the ground.

In this research, from the “Geological Map of the 2km Width Alongside the Expressway,” the

“Result of the Standard Penetration Test (*N*-value) Implemented during the Expressway Planning,” and the “Disaster History of the Expressway Slopes,” focusing on the geology and the weathering which are the factors primary factors of the road slope disasters, the difference in the Standard Penetration Test results (*N*-value) was summarized based on the correlation between the disaster pattern, surface geology, and the location of the disaster. In terms of the primary factors other than the geology and weathering; the “(back) geography,” “structure (strike and dip),” “moisture content,” “underground water level,” and the “vegetation situation,” the examination of the existing documents and the organization of the current inspection result data will be considered in the future.

In the Chugoku Region of Japan, there are many slopes with potentially dangerous prime factors, and considering the rising number of localized heavy rainfall, the risk of sediment disasters is likely to increase. Since there have been several cases of severe slope disasters in the Chugoku region becoming a serious social problem in the past few years, it is necessary to carefully and proactively implement the preventative maintenance of the road slopes.

There have been 663 cases of slope disasters recorded on the expressway managed by the West Nippon Expressway Co., Ltd. between 1974 through the end of March, 2012, and 44.5% (295 cases) occurred on the cut slopes, 50.8% (337 cases) on the fill slopes, and 4.7% (31 cases) on the natural slopes including the debris flow. In addition, the following facts were made clear; nearly 100% of the slope failures occur on the surface layer within a depth of five meters, the higher slopes (slopes with more vertical sections) does not necessary have a higher rate of collapse, and 81.7% (241 cases) of the 295 cases of cut slope failures have traces of collapse damage on the top level of the slope, and when combined with the cases with unknown collapse situations (20 cases), the rate increases to 88.5% (261 cases), which shows that the majority of them have damage on the top section of the slope and the natural slope above it. Due to the fact that majority of the slope disasters occur on the top section of the cut slopes and the natural slope above it, it is speculated that there is an interrelationship between the firmness of the weathered ground surface and the occurrence of disasters.

The correlation between the expressway slope disaster areas and the surface geology was analyzed using the “Geological Map of the 2km Width alongside the Expressway” and the “Disaster History of the Expressway Slopes,” which were organized as technical documents of the expressways in the Chugoku region, with the “cut slopes” and “natural slopes” as the object of the analysis due to the significance of the effect of the geology. For the geological classification, the ground was categorized into five groups depending on the period of formation and the major rock type: “①Cenozoic Era: Unconsolidated Sediment Layer,” “②Cenozoic Era: Volcanic Rock, (Volcanic) Clastic Rock Sediment Layer,” “③Late Mesozoic to Early Cenozoic Era: Granite” “④ Mesozoic Era: Clastic/Volcanic Rock Sediment Layer (excluding Granites),” and “⑤Paleozoic Strata (Clastic/Igneous Rock Sediment Layer)”. It was revealed that the geology in the Chugoku

region with a high probability of disaster is the sediment layer of volcanic/clastic rock comprised mainly of green tuff from the Tertiary to Quaternary Cenozoic Era. In addition, the geology with the disaster prone area larger than 100m³ was found out to be the sediment layer of volcanic/ (volcanic) clastic rock of the Cenozoic Era, and the sediment layer of bioliths, clastic rocks, and volcanic rocks. The area with a high concentration of these geological features is the coast of the Sanin area and the western part of the Yamaguchi Prefecture.

From the “Result of the Standard Penetration Test (*N*-value) Implemented during the Expressway Planning,” and the “Disaster History of the Expressway Slopes,” organized as technical documents of the expressways in the Chugoku region, the characteristics of the ground with a loose surface prone to slope failure in both the “Natural Ground with a Disaster History” representing the area where slope disaster has occurred, and the “Natural Ground without any Disaster History,” was analyzed based on the difference in the *N*-value. From the analysis result of the expressway slope disaster tendency, since the majority of slope disasters occur on the top section of the cut slopes and the natural slope above it, the firmness of the weathered surface layer of the ground was examined from the depth distribution of the *N*-value, and the analysis was done focusing on the difference between the area with and without a history of slope disaster.

The average *N*-value of each of the five geological classifications showed a tendency similar to the log-normal distribution, and the average *N*-value of the “Natural Ground with a Disaster History” was lower than the average *N*-value of the “Natural Ground without any Disaster History”. The average *N*-value of the “Natural Ground with a Disaster History,” in terms of its relation with the depth, is indicated by a line with a high coefficient of determination, and by calculating the *N*-value of the dangers limit (*N*_{DL} Value) from the average *N*-value of each depth and the standard deviation σ , the *N*-value at each depth of the “Natural Ground with a Disaster History” was proved to be lower than the *N*_{DL} Value in over 80% of the cases.

The *N*_{DL} Value was calculated based on the expressway slope disaster record from 1974 through the end of March, 2012. For this reason, the *N*_{DL} Value of the slope disaster areas from April, 2012 through March, 2015 was additionally obtained and its validity was verified.

This paper is comprised of six chapters. Chapters 2 through 4 explains about the “Tendency Analysis of the Disasters,” mainly the regional slope disaster characteristics of the Chugoku Region, and in Chapter 5, based on the facts from the previous chapters, the difference in the Standard Penetration Test results of the areas where disasters have and have not occurred is summarized as the “Analysis of the Standard Penetration Test Result (N Value)”.

The summary of each of the chapters of this research is indicated below.

Chapter 1 Introduction

The object of the maintenance management of the road slopes extends from the areas selected based on the inspection results of the locations extracted from the documentary survey, to the road slopes that do not currently show any clear damage or behavior of collapse. In order to secure the safety, the automated “Displacement Measurement” to observe the slopes has been introduced, in addition to the implementation of a thorough inspection. However, due to the vast number of road slopes, there is a necessity for an ingenious approach of screening for the objective area. In this chapter, the current situation of the road slope management and the disaster prevention method, and the case examples from the previous studies are organized. In addition, the problems to be solved are extracted, and the background and objective of this research are defined.

Furthermore, the structure and outline of this paper is indicated in order to clarify the flow of this research.

Chapter 2 Sediment Disasters in the Chugoku Region

In order to grasp the local characteristics of the Chugoku Region, the “8 General Regional Division” used in the modern geography education, was utilized to perform the comparative analysis. Due to the difficulty of obtaining the national data of the expressway slope disasters, the sediment disaster data from the national erosion and sediment control handbook was used. The “Sediment Disaster” includes the debris flow, earth fall, and landslide of the natural slopes, and the failure of the cut and fill slopes are designated as “Slope Disasters”.

In this chapter, it is indicated that the number of sediment disasters in the Chugoku Region is ranked fourth nationwide, and the annual rainfall amount is ranked third, both in the mid range. It is also indicated that the number of slopes with potentially dangerous primary factors is high, from the fact that the disaster prone area index (number of disaster prone areas/ area of the object region) in the Chugoku Region, is considerably higher than the disaster occurrence index (number of disasters/ area of the object region). Considering the recent rise in the number of localized heavy rain, the risk of sediment disaster may increase in the future. Since there have been several cases of severe slope disasters in the Chugoku region becoming a serious social problem in the past few years, it is necessary to carefully and proactively implement the preventative maintenance of the road slopes.

Chapter 3 Expressway Slope Disaster in the Chugoku Region

From the disaster history of the expressways in the Chugoku Region managed by the West Nippon Expressway Co., Ltd., the disaster pattern of the road slopes was analyzed.

Rain is the cause of all of the expressway slope disasters in the Chugoku Region. There have been 663 cases of expressway slope disasters between 1974 through the end of March, 2012, and 44.5% (295 cases) occurred on the cut slopes, 50.8% (337 cases) on the fill slopes, and 4.7%

(31cases) on the natural slopes including the debris flow. In addition, the following facts were made clear; nearly 100% of the slope failures occur on the surface layer within a depth of five meters, the higher slopes (slopes with more vertical sections) does not necessary have a higher rate of collapse, and 259 out of the 295 cases (87.8%) of the cut slope failures have damage on the top section of the slope and the natural slope above it.

Due to the fact that majority of the slope disasters occur on the top section of the cut slopes and the natural slope above it, it is speculated that there is an interrelationship between the firmness of the weathered ground surface and the occurrence of disasters.

Chapter 4 Expressway Slope Disaster Locations and the Surface Geology

The expressway slopes can be divided in to three groups: “Cut Slopes,” “Fill Slopes,” and “Natural Slopes”. It is usually conceived that the embankment (slopes) consist of the same geology as the constructed location or the area adjacent to it, but depending on the area and period of the construction, soil from other construction areas, purchased soil, back filling of the surplus soil from the structure excavation, and other factors make it difficult to estimate the material from the geology of the adjacent ground. For this reason, the correlation between the expressway slope disaster areas and the surface geology was analyzed using the “Geological Map of the 2km Width alongside the Expressway” and the “Disaster History of the Expressway Slopes,” which were organized as technical documents of the expressways in the Chugoku region, with the “cut slopes” and “natural slopes” as the object of the analysis due to the significance of the effect of the geology. Since the area of each geological feature on the surface across the 2km width along the expressway in the Chugoku Region differs greatly depending on the location, the disaster occurrence index (number of disasters/ area of the object region) per unit area of the geological distribution was used for the comparison.

The major characteristic of the surface geology along the expressway, as with the whole Chugoku Region, is the wide distribution of granites, followed by the rhyolite and the Sangun Metamorphic Rock. The ground in the areas where disasters have occurred was classified into five categories depending on the period of formation and the major rock type; “①Cenozoic Era: Unconsolidated Sediment Layer,” “②Cenozoic Era: Volcanic Rock, (Volcanic) Clastic Rock Sediment Layer,” “③Late Mesozoic to Early Cenozoic Era: Granite” “④Mesozoic Era: Clastic/Volcanic Rock Sediment Layer (excluding Granites),” and “⑤ Paleozoic Strata (Clastic/Igneous Rock Sediment Layer)”. It was revealed that the geology in the Chugoku Region with a high probability of disaster is the sediment layer of volcanic/clastic rock comprised mainly of green tuff from the Tertiary to Quaternary Cenozoic Era. In addition, the geology with the disaster prone area larger than 100m³ was found out to be the sediment layer of volcanic/ (volcanic) clastic rock of the Cenozoic Era, and the sediment layer of bioliths, clastic rocks, and volcanic rocks. The area with a high concentration of these geological features is the coast of the Sanin area

and in the western part of the Yamaguchi Prefecture.

Chapter 5 Correlation between the Standard Penetration Test Results (*N*-value) and the Expressway Slope Disaster Locations

From the “Result of the Standard Penetration Test (*N*-value) Implemented during the Expressway Planning,” and the “Disaster History of the Expressway Slopes,” organized as technical documents of the expressways in the Chugoku region, the characteristics of the ground with a loose surface prone to slope failure, focusing on the “Natural Ground with a Disaster History” representing the area where slope disaster has occurred, was analyzed based on the difference in the *N*-value for each of the five ground categories. Since the majority of slope disasters occur on the top section of the cut slopes and the natural slope above it, the firmness of the weathered surface layer of the ground was examined from the depth distribution of the *N*-value, and the difference between the area with and without a history of slope disaster was analyzed. Due to the fact that majority of the slope disasters occur on the top section of the cut slopes and the natural slope above it, it is speculated that there is an interrelationship between the firmness of the weathered ground surface and the occurrence of disasters. Therefore, from the *N*-value which is the result of the boring survey of the mountainside implemented before the construction, the difference in the depth distribution of the *N*-value of the ground with a disaster history (area where a disaster has occurred) and the ground without any disaster history (area where a disaster has not occurred) was analyzed, focusing on the disaster history of the weak weathered surface of the ground at the “top layer of the cut slope and the natural ground above it”. Since the majority of slope disasters occur on the top section of the cut slopes and the natural slope above it, the firmness of the weathered surface layer of the ground was examined from the depth distribution of the *N*-value, and the analysis was done focusing on the difference between the area with and without a history of slope disaster. In addition, the slope failure caused by rainfall occurs at a depth of less than five meters in nearly all of the cases. The depth of the analysis was set at a maximum of GL-10m, in order to grasp the tendency of the *N*-value at spots deeper than five meters. As for the distribution, the central Value tends to be at the lower side, and the number decreases as the *N*-value rises. In order to grasp the dispersion at high *N*-values and analyze the difference between the “*N*-value of the Natural Ground with a Disaster History” and the “*N*-value of the Natural Ground without any Disaster History,” the “Average Value” which is higher than the central Value was used.

The average *N*-value of each of the five geological classifications showed a tendency similar to the log-normal distribution, and the average *N*-value of the “Natural Ground with a Disaster History” was lower than the average *N*-value of the “Natural Ground without any Disaster History”. The average *N*-value of the “Natural Ground with a Disaster History,” in terms of its relation with the depth, is indicated by a line with a high coefficient of determination. By

calculating the N -value of the dangers limit (N_{DL} Value) from the average N -value of each depth and the standard deviation σ , the N -value at each depth of the “Natural Ground with a Disaster History” was proved to be lower than the N_{DL} Value in over 80% of the cases.

The N_{DL} Value was calculated based on the expressway slope disaster record from 1974 through the end of March, 2012. For this reason, the N_{DL} Value of the slope disaster areas from April, 2012 through March, 2015 was additionally obtained and its validity was verified.

Chapter 6 Conclusion

In this chapter, the result of the research is summarized. The points to consider in designing new roads and the preventative maintenance of the road slopes without any obvious signs of damage or collapse are proposed, in addition to defining the problems and the prospect of the application as the “basic document for prioritizing the detailed inspection and disaster prevention measures, and determining the frequency of the inspection as well as the feasibility of the displacement measurement”.

目次

第1章 序論	1
1.1 本研究の背景と課題	1
1.2 既往の研究	5
1.2.1 災害の傾向分析	5
1.2.2 標準貫入試験結果(<i>N</i> 値)の分析	7
1.3 本研究の目的	9
1.4 本論文の構成	10
第1章の参考文献	14
第2章 中国地方における土砂災害	17
2.1 はじめに	17
2.2 地形・地質・降雨の特徴	18
2.2.1 全国の特徴	18
2.2.2 中国地方の特徴	24
2.3 土砂災害の傾向	29
2.3.1 全国の土砂災害	29
2.3.2 中国地方の土砂災害	31
2.3.3 災害発生指数と危険箇所指数による比較	33
2.4 まとめ	36
第2章の参考文献	37
第3章 中国地方における高速道路の斜面災害	39
3.1 はじめに	39
3.2 高速道路斜面の数量	40
3.2.1 中国地方とその他地域の比較	40
3.2.2 中国地方における高速道路斜面の概要	41
3.3 高速道路の斜面災害の傾向	43
3.3.1 高速道路斜面災害のデータ	43
3.3.2 高速道路斜面災害の概要	43
3.3.3 のり面段数による分析	44
3.3.4 供用年数による発生傾向	46

3.3.5	降雨特性と斜面災害	48
3.3.6	切土のり面における災害発生部位	50
3.4	まとめ	52
第3章	参考文献	53
第4章	高速道路の斜面災害発生箇所と表層地質	54
4.1	はじめに	54
4.2	高速道路沿線の表層地質分布特性	54
4.3	表層地質区分毎の発生傾向	58
4.4	災害規模が大きく災害発生リスクが高い地域	65
4.5	まとめ	67
第4章	参考文献	68
第5章	高速道路の斜面災害箇所と標準貫入試験結果の関連性	69
5.1	はじめに	69
5.2	分析した対象地域と概要	69
5.2.1	対象地域	69
5.2.2	抽出した N 値の資料	70
5.2.3	対象とする崩壊の形態と N 値の深度	71
5.2.4	災害箇所と未災害箇所の地山	72
5.2.5	分析に使用した N 値	73
5.3	N 値の深度別分布	74
5.3.1	N 値の発現傾向	74
5.3.2	分析する N 値の代表値	76
5.3.3	平均 N 値の深度分布	77
5.4	災害発生箇所及び災害未発生箇所の該当地山の N 値の比較	80
5.4.1	N 値の発現頻度と平均 N 値の深度別発現傾向	80
5.4.2	地質分類による平均 N 値の深度別発現傾向	83
5.5	危険限界 N 値の提案	87
5.5.1	使用したデータと危険限界 N 値	87
5.5.2	危険限界 N 値の有効性	96
5.6	まとめ	100
第5章	参考文献	102

第 6 章 結論	103
6.1 本研究のまとめ	103
6.2 今後の課題と展望	108
第 6 章の参考文献	109
本研究の関連論文	112
謝辞	114

第 1 章

第1章 序論

1.1 本研究の背景と課題

我が国は、急峻な地形と複雑かつ脆弱な地質が広く分布しているという素因を有しており、降雨等による斜面災害が後を絶たない。総務省統計局資料の「昭和57年度国土数値情報作成調査」によると、国土は約70%が山地や丘陵地で占められており、戦後の経済発展と人口増加に伴い山地や丘陵地にまで開発が進んだために、道路や鉄道等の社会資本整備が進展しその結果斜面災害を受ける危険性が上昇した。

自然斜面を対象とする土砂災害(土石流, 地すべり, 崖崩れ)は、表-1.1に示すとおり、大災害発生後のフォローアップである具体の法律の下で減災・防災の施策が推進されてきた。しかし図-1.1に示すとおり、土砂災害の発生は増減を繰り返し10年平均で比較すると、ここ30年間は増加の傾向にある¹⁾。

表-1.1 土砂災害に対する主な施策

西暦	和暦	施策	大災害
1,896年	M29	明治29年水害 河川法, 森林法の制定	明治三陸地震 (M8.2~8.5)
1,897年	M30	砂防法の制定	
1,945年	S20		枕崎台風; 終戦
1,957年	S32		西九州地方 豪雨災害 (地すべり)
1,958年	S33	地すべり等防止法の制定	
1,959年	S34		伊勢湾台風
1,967年	S42	急傾斜地崩壊対策事業の開始	昭和42年7月豪雨(北部九州他; 崖崩れ)
1968年	S43	道路防災点検の開始	飛騨川バス転落事故(104名死亡)
1,969年	S44	急傾斜地崩壊による災害の防止に関する法律の制定	
1,989年	H元	「土石流対策技術指針(案)」策定	
1,999年	H11		平成11年広島豪雨災害(土石流, 崖崩れ)
2,000年	H12	土砂災害防止法の制定	東海豪雨
2,004年	H16		福井新潟他豪雨災害, 新潟県中越地震(M6.8)
2,005年	H17	水防法, 土砂災害防止法一部改正(ハザードマップ等)	
2,010年	H22	土砂災害防止法の一部改正	
2,011年	H23		東日本大震災(M9.0)

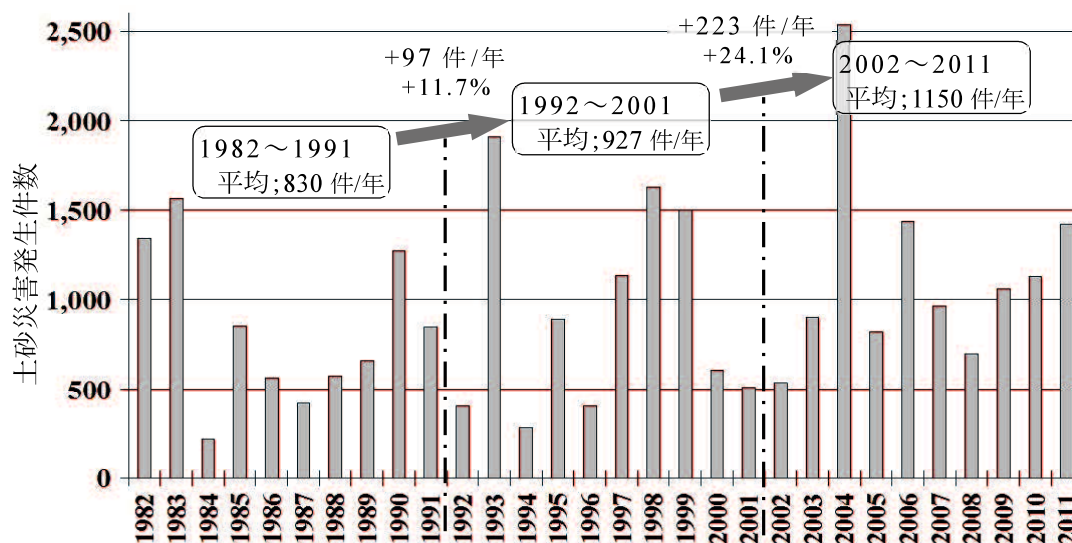


図-1.1 土砂災害発生件数の推移

道路に影響を及ぼす自然斜面と設計施工された人工斜面(切土・盛土のり面)で構成される「道路斜面」においても災害は根絶していない^{2),3)}。急峻で複雑かつ脆弱な地質を有す我が国の道路斜面は、約4万km²という膨大な数量を抱えており、災害発生に伴う危険性と社会的影響は非常に高いものである⁴⁾。道路防災は、1968年(昭和43年)に発生した「飛騨川バス転落事故」を契機にその体制が整備され、道路防災点検が制度化されるとともに道路斜面災害に対する防災・減災対策が推進されてきた。昨今では、災害に強い安全な国土づくりを目指し、道路斜面の維持管理が重要視され、表-1.2に示すように、道路防災として比較的丁寧な点検が実施されてきている。

平成8年度の全国一斉道路防災総点検以降、点検と防災対策の進捗は大きく進展していった。しかし、図-1.2に示すように「危険」と評価された要対策箇所及びカルテ対応箇所斜面より「危険性なし」あるいは「スクリーニングで問題ないため点検対象外」と判断された斜面の方が災害発生箇所にも占める割合が高くなっている。³⁾。「危険性なし」あるいは「スクリーニングで点検対象外」と判断された斜面は、当然であるが点検時点で明確な損傷や崩壊挙動を示していないため、点検結果の評価に基づく詳細な調査設計や補修補強工事の検討を直ちに実施する事は、現実的に不可能である。従って、道路斜面管理は、「現時点で明確な損傷や崩壊挙動を示していない斜面を、効率よく的確に抽出すること」が大きな課題である。

表-1.2 主な点検種別とその概要

点検種別	概要
初期点検	構造物の完成後の初期状況を把握するために、近接目視及び打音により行う。
日常点検	道路全般の異常、損傷などを早期に発見するために、主に日常車上目視により行う。
定期点検	管理区間内構造物の状況を定期的に把握するとともに、点検計画立案に資するために、主に遠望目視により行う点検。
臨時点検	地震や異常気象時等必要に応じて行う。
防災点検	国交省主導の下、豪雨・豪雪等による災害を防止するため、道路斜面の安定性等について行う詳細な点検。点検後の対応策等を記した「防災カルテ」の作成や点検結果のデータベース化等を行っている。
詳細点検	構造物の損傷状況を詳細に把握するために、近接目視及び打音により行う点検であり、補修計画などの立案も行う。

※西日本高速道路(株):道路構造物点検要領(案)に加筆

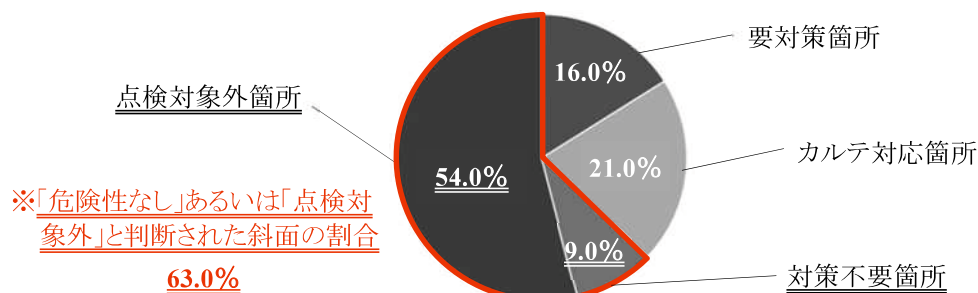


図-1.2 H8 道路防災総点検結果と災害発生割合³⁾

一方、膨大な数量を抱える道路斜面の維持管理は、災害発生に伴う危険性と社会的影響の軽減を目的として効率的かつ効果的に行っていく必要があるため、現在では、損傷や変状の発生発見によって対応する「対症療法型管理(事後保全)」から、道路斜面の安定性が損なわれる前に対応する「予防保全型管理(予防保全)」という考え方が取り入れられてきている。予防保全型の維持管理は、アセットマネジメントや構造物の延命化等とほぼ同じ意味で使われており、「損傷が発生してから対応する対症療法型管理ではなく、損傷の発生や推移を適切に予測し事故の発生を未然に防ぐことによりトータルコストを縮減する」という考え方が基本にある。道路斜面の予防保全を遂行するためには、資料調査により抽出された道路斜面の点検やその結果に基づく防災対策から、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面を含んだものにまでその対象が広がっていく。西日本高速道路(株)は、5年毎の全数点検を計画しているが、膨大な数量であるが故にこのサイクルで点検することは困難を極めている。

道路斜面の予防保全が橋梁やトンネル、舗装等他の構造物と大きく異なるのは、主に自然が対象であることが挙げられる。斜面は、材料の不均一性や地域的な地質特性等の素因の違いが顕著であり、これらが災害の規模や形態に影響を与えるために画一的な管理が難しいということに集約される。しかし、点検の要領や基準では、対象道路斜面の抽出手法や評価は全国一律で、地域性が考慮されていない。従って、道路斜面の予防保全は、地域の特性に応じた災害の特徴とその素因を過去の災害事例と既存資料からマクロ的に分析して関連付け、戦略的に対応することが必要であり、大きな課題であるといえる。図-1.2に示す結果から見られるように、「危険性なし」あるいは「点検対象外」と判断された斜面の割合が63.0%になっている原因は、対象道路斜面の抽出手法や点検の評価判定に対し、「地域の特性に応じた地質の素因特徴の反映が不足していること」、「評価が全国一律で地域性が考慮されていないこと」等が考えられる。

道路斜面管理の現状と課題は下記にまとめられる。

- (1) 我が国の道路斜面は、約4万km²という膨大な数量を抱えており、今後も点検から調査及び防災対策に膨大なコストと時間を要す
- (2) 道路斜面の予防保全を遂行するためには、資料調査による抽出道路斜面の点検やその結果に基づく防災対策から、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面を含んだものにまでその対象が広がる
- (3) 道路防災点検の評価結果と災害の実態に不整合がある
- (4) 道路斜面の抽出手法や点検の評価判定に対し、「地域の特性に応じた地質の素因特徴」が反映されておらず、過去の災害事例と既存資料を使用したマクロ的な分析が不十分である

これらの解決策としては、対象道路斜面の抽出手法や点検の評価判定に対し地域の特性を反映させ、対象斜面を絞り込んで予防保全を行うことが考えられる。そのためには、当該斜面に内在する危険素因を出来る限り把握し、定量的な閾値を以って抽出することが

求められる。

「地域の特性に応じた地質の素因特徴」を把握するためには、まず、中国地方における斜面災害の事例分析を行いその傾向を把握することが重要であり、その後に素因の特徴を整理することが望まれる。

斜面災害の素因には「風化度、(後背)地形、構造(走向傾斜)、地質、含水比、地下水位、植生状況等」がある。道路斜面の現状の健全性や点検結果は、素因と損傷事象を基に評価されており、このうち「地質」は道路斜面災害の素因として欠かすことのできない要素である。予防保全の観点からみると、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面は、素因である地質の分析から現状の健全性を把握することが可能であると考えられる。そのためには、該当道路斜面が有す地盤の脆弱性を明らかにすることが必要である。また、風化度については、標準的な地盤指標として採用され既存の標本数が膨大に存在している「 N 値」から把握することが考えられる。従って、「地域の特性に応じた地質の素因特徴」を把握するために、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N 値)」を使用して分析することを試みた。斜面崩壊は、滑動力が抵抗力を上回った時に発生し、この場合の抵抗力は、標準貫入試験結果である N 値が大きくなると抵抗力が大きくなる。 N 値は地盤の硬軟を定量的に示す数値であり理論上は、 N 値が大きいほどその地盤は強固で崩壊し難いと言えるため、地質とその地盤の硬軟を定量的に示す指標として、標準貫入試験結果(N 値)に着目した。中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路を挟む2km巾の表層地質図」と「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N 値)」及び「過去の高速道路斜面災害記録」から、中国地方における土砂災害の特徴、高速道路斜面災害の形態分析及び表層地質と道路斜面災害発生箇所に関連性把握、標準貫入試験結果(N 値)の分析を行った。

論文は、中国地方における『災害の傾向分析』と『標準貫入試験結果(N 値)の分析』に大別され、地形、地質、降雨及び災害発生概要の把握と表層地質の関連性から中国地方の特徴を導き、災害発生箇所と未災害箇所における地質と風化度である標準貫入試験結果(N 値)の違いについてまとめたものとなっている。地質と風化度以外の素因である「(後背)地形、構造(走向傾斜)、含水比、地下水位、植生状況等」については、残存する資料や現時点における点検結果のデータ整備を含めて今後の課題としている。

なお、土砂災害は、一般的に「土石流、地すべり、崖崩れ」に大分され、いずれも自然斜面が対象である。切土及び盛土のり面は、災害の発生防止を目指して設計・施工された人工斜面であるため、これらと区分される。従って、本論文中の「土砂災害」は、自然斜面における土石流、地すべり、崖崩れを対象とし、切土及び盛土のり面の崩壊を含むものは、「斜面災害」と定義した。道路に関するものは、「道路斜面災害」としている。

1.2 既往の研究

1.2.1 災害の傾向分析

道路ネットワークの信頼性向上のためには、道路ネットワークを阻害する道路斜面災害をできる限り防止することが重要である。そのためには、発生し得る災害現象について既存資料と事例分析により、道路斜面災害の素因を把握したうえで戦略的に対応する必要がある。その際に基本となるのは過去の災害事例の蓄積と分析である。災害データの分析のアプローチとしては、データをマクロ的に統計解析し全体の傾向を示す手法と、個々の災害状況を詳細に分析していく手法がある。

佐々木ら³⁾は、直轄国道災害事例分析から過去の災害に学ぶ姿勢が重要であり、この中で弱い地質に注目することを挙げ、災害特性や地域特性をマクロ的に把握して点検を行う必要性を報告している。今後の道路防災点検は、災害事例による地質情報の把握に重点を置いた点検箇所⁴⁾の絞込みが必要であると考えられる。

斜面災害と地質及び降雨の関係については、特定地域の大規模災害を中心に多くの研究・報告がなされており、災害危険度評価を試みた様々な手法も提案されている。広域を対象とした災害危険度評価に関する研究・報告では、大林ら⁵⁾による人工衛星データの活用があるが、道路斜面を含まない自然斜面を対象としている。災害履歴と地質に着目すると、渡部・田中⁶⁾が地質調査結果と岩石試験、弾性波探査等を加えて関連付けを行った研究を行っているが、秩父盆地の自然斜面崩壊のみを対象としている。このように特定地域の大規模災害と地質の物性データを関連付けたものは、数多く存在する。

千木良⁷⁾は、2002年(平成14年)～2004年(平成16年)の九州南部と紀伊半島における自然斜面の大規模災害事例から、岩種と地形に応じた崩壊しやすい場所の特定を試みている。地質は、火山岩、堆積岩、変成岩という大きな括りで分類されており、他地域への評価に応用することも可能であるが、対象は自然斜面の大規模災害である。

道路斜面を含めた研究・報告では、佐々木ら⁸⁾が、国道斜面災害データベースを用いた災害特性分析を行っている。これらは、道路のり面を含めているが、地質把握は1/100万地質図を使用し、災害発生箇所、直轄国道通過地点の斜面傾斜は国土地理院の数値地図50mメッシュ標高データから算出している。小規模な斜面や切土のり面等については表現されにくいという問題点もあるが、全国のデータが一律に整理されていることから、広域的な分析には適していると判断されている。上出ら⁹⁾は、舞鶴道の切土のり面・自然斜面を対象に素因を抽出して評価している。特定地域の災害事例と実効雨量の分析である。奥園ら^{10),11)}は、全国の高速度道路の切土のり面崩壊データから風化特性の分析を行っている。

小山内ら¹²⁾は、1972年(昭和47年)から2007年(平成19年)までの崖崩れ災害の実態について、斜面の地形・地質・植生状況や崖崩れの形態・規模、崩壊誘因である降雨量や湧水の有無等に注目し整理を行っている。これは、急傾斜地崩壊対策事業の推進を目的とし、

自然斜面を対象とした崖崩れ災害リスクを定量的に評価する手法の検討に向けた「基礎資料」としてまとめられたものである。

中国地方に着目すると、山本ら¹³⁾の山口県下の三郡変成岩地域における切土のり面の分析や海堀ら^{14),15)}によるまさ土分布域における土砂災害危険度評価などの研究が数多く報告されている。いずれも、特定地域の特定地質分布域における災害事例と実効雨量の分析である。

これらの先行研究の特徴は、その対象が限られた領域の特定の地質と実効雨量で行われているもの、対象とする災害が大規模なもの、自然斜面に特化したもの、地質区分が巨視的であること、地質構造の詳細な解明に主眼を置いたもの等が多い。中国地方の小規模災害を含めた長期にわたる災害事例の研究・報告は見受けられない。

従って本研究における『災害の傾向分析』は、全国砂防便覧の土砂災害データを使用し「①中国地方における土砂災害の特徴」を把握すること、西日本高速道路(株)が管理運営する中国地方の高速道路災害記録から「②高速道路斜面災害の形態分析」を行うこと、高速道路を挟む2km巾の表層地質図と過去の高速道路斜面災害記録から「③高速道路斜面災害発生箇所と表層地質の関係把握」を行った。該当箇所の地山地質が大きく影響を与える「切土のり面」、「自然斜面」を対象に、中国地方の降雨に伴う高速道路斜面災害の履歴から、発生形態、規模、災害箇所の地質分布を把握し、表層地質区分との関連性評価及び災害発生地域の地質的特徴を導き出したものである。

1.2.2 標準貫入試験結果(N 値)の分析

標準貫入試験(Standard Penetration Test以降SPTという)結果である N 値の分析や評価は、「試験器具・方法に関するもの、補正に関するもの、試験結果の解釈に関するもの、特定地域の特定された事象に対する工学特性に関するもの、他の試験結果との相関性に関するもの等」を中心に過去に多くの研究・報告がなされている。これは、 N 値がディメンジョンを持たない「単なる打撃数」で地盤定数(例えば粘着力 c や内部摩擦角 ϕ 等)と直接関連するものではないにも関わらず、多くのデータ分析結果から他の試験とある程度の相関性が認められている¹⁶⁾ことに加え、SPTがその汎用性から標準的な原位置試験として実際の現場調査で極めて便利であるという簡便さに起因しており¹⁷⁾、数多くのデータがあるためである。

SPTは、その規格化と普及に伴い多くの N 値分析から、貫入試験の効率化と精緻化に関する研究が進んだ。前者は、サンプラーの改良や簡易動的コーン貫入試験、ラムサウンディング、ロータリー式動的円錐貫入試験等の開発に繋がる。後者は、藤田¹⁸⁾、小黒¹⁹⁾ら、正垣²⁰⁾、日下部²¹⁾、牧原ら²²⁾を始め多数の研究者が評価や解釈を取り纏めており、「地盤調査の方法と解説²³⁾、 N 値と $c \cdot \phi$ の活用法²⁴⁾、 N 値の話²⁵⁾」等の文献に掲載されている。特に土質力学上の重要な定数である $c \cdot \phi \cdot q_u$ は、実務において頻繁に扱われるため、 N 値との関連付けが数多くなされてきた²⁶⁾。砂質土における N 値と $c \cdot \phi \cdot q_u$ の関係は、データの不確実性や有効上載圧の影響が加味されていないことに留意する必要があるが、Terzaghi and Peck²⁷⁾、Meyerhof²⁸⁾、Dunham²⁹⁾、大崎ら³⁰⁾等によって各々関係式が提案されている。また、青木³¹⁾、田中³²⁾、畑中ら³³⁾、(独)土木研究所³⁴⁾は、有効上載圧の影響を考慮した N 値との関係について報告している。

牧原ら²²⁾は、東京都23区12地点の N 値について不確実性(以下バラツキと称す)を調べ、基礎構造の支持地盤として関連の深い地層の分類を行っている。また、限られた地域ではあるが N 値は対数正規分布を示し、変動係数が0.4~0.5程度であることを明らかにしている。鈴木ら³⁵⁾は、珪藻泥岩地盤の各種試験より求めた一軸圧縮強度とコーン貫入抵抗及び N 値のバラツキを調べている。上野³⁶⁾は、扇島埋立地における N 値を統計処理した結果、変動係数は概ね0.4~0.6の範囲にあり、 N 値の分布型は正規分布または対数正規分布に類似することを示している。前田³⁷⁾らは、高架橋の杭基礎の設計に対する洪積砂質土と粘性土の N 値の統計的性質を検討しており、 N 値が14以上の地層では変動係数が0.3~0.4程度と比較的小さい値であることを示している。これらは、いずれも杭の支持力を推定する過程に含まれるバラツキに着目したものである。

これまで我が国では、 N 値が標準的な地盤指標として採用され既存の標本数が膨大に存在していたため、多くの研究者・研究機関が、データの評価や解釈、地盤定数との関連性、他試験結果との相関性、地層区分への適用等が論じられてきた。これら先行研究の多くは、 N 値を使用した設計の信頼性に対し、地盤物性値そのものが持つ不確実性と地盤定

数の推定に至るまでの過程に含まれる不確実性を考慮するために行われてきたものである。その結果現在では、これらを皆無にすることは不可能ではあるものの、各種設計基準に N 値からの土質定数推定や設計計算の方法が細かく記されている。 N 値を得ると設計に必要なあらゆるパラメータが求められ、推定できるといえる³⁸⁾。

地質と深度別 N 値から広域地盤の特徴等について纏められたものでは、東京都土木研究所³⁹⁾が東京都について、土質工学会関西支部・関西地質調査業協会^{40),41)}、岩崎ら⁴²⁾が大阪府の「広域地盤地図構築」に向けて整理された結果を取り纏めている。土質工学会九州支部⁴³⁾は、侵食性と斜面の安定性及び液状化の観点から工学的に問題のある「シラス」に着目し、南九州の N 値分析を行ってシラスの分布域を推定している。旧建設省(現国土交通省)と鹿児島県⁴⁴⁾は、鹿児島市周辺における沖積シラス低地の地質特性を纏め、その中で深度別 N 値の出現傾向を報告している。若松ら⁴⁵⁾は、支笏火山灰の N 値特性について述べている。中国地方では、松浦ら⁴⁶⁾が広島県呉市のまさ土地盤の N 値について分析しており、砂質土の締め具合と N 値の関係性において同一密度の比較では「Terzaghi and Peckの結果よりやや大きい」と報告している。(公社)地盤工学会⁴⁷⁾は、科学技術振興調整費の重要課題解決型研究として参画した「表層地盤情報データベース連携に関する研究」の中で、平成18年度に過去多くの組織が個別に取りまとめた地盤情報データベースに関する現状を、全国9支部毎にまとめている。これは、全国電子地盤地図システムに含める地盤情報の最低限の種類の規定や仕様を定めるために国内の地盤情報データベース構築について、その歴史と現状の整備状況を各支部で調査されたものである。平成22年度には、Web公開⁴⁸⁾されているが構築されたデータは一部の地域に止まっているために地域毎に応じた N 値データの分析や評価はなされていない。

これら先行研究は、広域地盤図及びその編纂に伴う規定や仕様の検討、 N 値データの不確実性と設計の信頼性に関するもの、地盤定数との関連性、地盤支持力の推定等に関する研究が大多数を占めており、地質と深度分布に対する特性を統計的かつ包括的に分析した事例は非常に少ない。特に、中国地方の N 値を広域的に分析・評価されたものは見受けられない。

従って本研究における『標準貫入試験結果(N 値)の分析』は、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N 値)」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」に着目し、『災害の傾向分析』によって得られた結果に基づき、斜面崩壊が発生しやすい表層の緩んだ地盤の性状を、5区分した地質分類毎に N 値の違いから導き出したものである。

1.3 本研究の目的

本研究は、道路斜面管理の現状と課題である「道路斜面数量の多さに起因する道路斜面管理実施の困難性」、「道路防災点検の評価結果と災害実態の不整合性」を解決するため、中国地方の特性に応じた災害の特徴とその素因について、過去の災害事例と既存資料からマクロ的に分析し、道路斜面の脆弱性について標準貫入試験結果(N 値)の危険限界値を合理的に求めることを目的としている。この成果を基に、今後計画される道路の設計上の留意点や現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面の予防保全に関する提案と「点検の頻度や動態観測の可否及び詳細調査・防災対策の優先度付け」に対し、有意な基礎資料として活用されることを目指している。論文は、中国地方における斜面災害の地域性把握を主とした『災害の傾向分析』と災害発生箇所と未災害箇所の標準貫入試験結果(N 値)の違いについてまとめた『標準貫入試験結果(N 値)の分析』に大別される。

『災害の傾向分析』については、まず第 1 ステップとして、中国地方の土砂災害の特徴と全国的に見た災害リスクを全国砂防便覧の土砂災害データを使用して把握し、降雨量と災害発生の実態及び潜在的な危険斜面の存在を明らかにした。第 2 ステップでは、西日本高速道路(株)が管理運営する中国地方の高速道路災害記録から、道路斜面災害の形態分析を行い、切土のり面、盛土のり面、自然斜面別の発生傾向、規模、供用年数比較、高さ構造分類、災害発生箇所分析等を行い、災害事例からその特徴を掴むことを行った。最後に第 3 ステップとして、表層地質と災害発生箇所の関連性を見出すことを試みた。地質分類は、細分化された地質をその生成時代と各地質の主な構成岩種等により、「①新生代;未固結堆積層, ②新生代;火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層, ③中生代後期~新生代初期;花崗岩類, ④中生代;碎屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外), ⑤古生層(碎屑岩, 火成岩の堆積層)」の 5 分類に区分し、中国地方で災害発生指数が高い地質及び 1 箇所あたりの被災規模が 100m^3 以上で災害発生指数が上位 10 位以内の地質である被災箇所の分布を明らかにした。

以上の結果を基に、『標準貫入試験結果(N 値)の分析』を行うこととした。中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N 値)」と「1974 年から 2012 年 3 月末時点までの高速道路斜面災害記録」から、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」に着目し、斜面崩壊が発生しやすい表層の緩んだ地盤の性状を N 値の違いから分析した。地質分類毎に表層 N 値の発現傾向を深度別にまとめ、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」の N 値と斜面災害が発生していない箇所に該当する「被災履歴なし地山」に明確な差があることを示し、深度毎の平均 N 値と標準偏差 σ から危険限界 N 値(N_{DL} 値)を算出することを試みた。また、2012 年 4 月から 2015 年 3 月までの斜面災害発生箇所について N_{DL} 値の検証を行い、その有効性の確認をした。

本研究成果である N_{DL} 値は、中国地方の特徴を反映したものであり、対象道路斜面の抽出手法や点検の評価判定に対し、当該斜面に内在する「地域の特性に応じた地質の素因」を定量的な閾値で示す指標になると考えられる。また、各章毎の本研究成果は、点検の頻度や動態観測の可否及び詳細調査と防災対策の優先度付けに対する基礎資料として、今後活用されることに期待したい。

1.4 本論文の構成

本論文は、6章で構成される。第2章から第4章までが中国地方における斜面災害の地域性把握を主とした『災害の傾向分析』について、第5章が前章までの結果を基に災害発生箇所と未災害箇所の標準貫入試験結果(N 値)の違いについてまとめた『標準貫入試験結果(N 値)の分析』となっている。各章の概要は、以下に示すとおりである。

第1章 序論

道路斜面に対する予防保全の対象は、資料調査により抽出された箇所の点検及びその結果に基づき選定された箇所から、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面まで広がっている。確実な点検の実施に加え、自動化された計測手法による「動態観測」を取り入れて斜面監視する等の工夫を行い安全性の確保に努めているが、道路斜面は、膨大な数量であるが故に対象箇所のスクリーニングに更なる工夫が必要とされる。本章では、道路斜面管理と防災対策の現状を整理し、先行研究の事例をまとめるとともに、解決すべき課題を抽出して本研究の背景と目的を明確にした。

また、本研究の流れを明確にするために、論文の構成と概要を示した。

第2章 中国地方における土砂災害

中国地方の地域的な特徴を把握するために、近代以降の地理教育で用いられてきた「一般的な8地方区分」で比較分析を行った。高速道路斜面災害に関する全国データの入手が困難であったため、全国砂防便覧の土砂災害データを使用している。「土砂災害」は、自然斜面における土石流、地すべり、崖崩れを対象とし、切土及び盛土のり面の崩壊を含むものは、「斜面災害」と定義した。

中国地方の土砂災害発生件数は全国第4位、年降水量は第3位でともに中位であること、単位面積当たりの災害発生指数(災害発生件数/対象地域面積)と災害危険箇所指数(土砂災害危険箇所数/対象地域面積)で比較すると中国地方は災害発生指数に比べて災害危険箇所指数が非常に高く、潜在的な危険素因を有す斜面が多いことを示した。昨今の局地的集中豪雨の増加現象を鑑みると、今後は土砂災害の発生リスクが増加していく可能性があることが把握できた。中国地方は、この数年間に大規模な斜面災害が複数回発生しており、大きな社会問題になっていることから、道路斜面の予防保全を慎重にかつ積極的に進めていく必要があるといえる。

第3章 中国地方における高速道路の斜面災害

西日本高速道路(株)が管理運営する中国地方の高速道路災害記録から、道路斜面災害の形態分析を行った。

高速道路斜面災害は、全て降雨が誘因である。1974年から2012年3月末時点までに、663件が記録されており、全体の44.5%(295件)が切土のり面、50.8%(337件)が盛土のり

面、4.7%(31件)が土石流を含む自然斜面となっている。のり面崩壊は、その100%近くが深度5m以内の表層で発生していること、必ずしもその高さ(段数)が大きいものほど崩壊しているとは限らないこと、切土のり面災害295件のうち81.7%(241件)は源頭部である切土のり面の最上段に崩壊損傷痕が見られ崩壊形態が不明なもの(20件)を含めると88.5%(261件)になり大部分は切土のり面の最上段及びその上方の自然斜面が損傷を受けていること等を明らかにした。斜面災害の大部分は、切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締り具合と切土を中心とした道路斜面災害の関連性が疑われることを示した。

第4章 高速道路の斜面災害発生箇所と表層地質

高速道路斜面は、大きく「切土のり面」、「盛土のり面」及び「自然斜面」に区分される。盛土(のり面)は、該当箇所もしくは近接する地山の地質が主体で構成されていると考えられるが、施工範囲や施工時期等により、他工区からの客土施工、購入による客土施工、構造物掘削残土の埋め戻し処理等も多々あり、その材質を近接する地山の地質で判断することは、非常に難しい。従って、高速道路の斜面災害箇所と表層地質の関係は、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路を挟む2km巾の表層地質図」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、該当箇所の地山地質が大きく影響を与える「切土のり面」と「自然斜面」を対象に分析を行った。中国地方における高速道路を挟む2km巾の表層地質は分布面積が各々大きく違うため、地質分布単位面積当たりの災害発生指数(災害発生件数/対象地域面積)で比較した。

高速道路沿線の表層地質は、中国地方全域の傾向と同様に花崗岩類の広い分布が大きな特徴として挙げられ、流紋岩類、三郡変成岩類がこれに続いている。災害発生箇所の地質分類は、細分化した地質をその生成時代と各地質の主な構成岩種等によって「①新生代;未固結堆積層、②新生代;火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層、③中生代後期～新生代初期;花崗岩類、④中生代;碎屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外)、⑤古生層(碎屑岩、火成岩の堆積層)」の5分類に区分した。中国地方で災害発生指数が高い地質は、新生代第三紀から第四紀初期のグリーンタフを中心とした火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層であること、1箇所あたりの被災規模が100m³以上で災害発生指数が高い地質は、新生代の火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層と中生代の生物岩・碎屑岩・火山岩の堆積層であり、その災害発生箇所は、山陰沿岸部と山口県西部に集中していること等が明らかになった。

第5章 高速道路の斜面災害箇所と標準貫入試験結果の関連性

中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N値)」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」に着目し、斜面崩壊が発生しやすい表層の緩んだ地盤の性状を5区分した地質分類毎にN値の違いから分析した。斜面災害の大部分は、切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締り具合と切土

を中心とした道路斜面災害の関連性が疑われる。従って、切土施工を行う前に調査した山腹の調査ボーリング結果である N 値から、「切土のり面最上段及びその上方自然斜面」の脆弱な表層風化部である地山を対象として過去の災害発生履歴に着目し、被災該当地山(災害発生箇所)と被災履歴なし地山(未発生箇所)の N 値深度分布の違いについて分析を行った。斜面災害の大部分は切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生しているため、地山表層風化部の締り具合を N 値の深度分布から考察し、斜面災害発生箇所と未発生箇所の違いに着目した分析を行ったものである。また、降雨を誘因とする斜面崩壊は、ほぼ 100%が深度 5m未満で生じている。5m 以深の N 値発現傾向を把握することを含めて、分析する深度は GL-10m までとした。 N 値の発現頻度は、代表値が低い N 値側に出現し、高い N 値側に裾野が長い分布になっている。高い N 値側に裾を引く歪み部分のバラツキを把握し「被災該当地山の N 値」と「被災履歴なし地山の N 値」の違いを分析するために、中央値よりも高い値である N 値の「平均値」に着目した。

5 区分した地質分類毎の平均 N 値は、対数正規分布に類似した発現傾向を示し、「被災該当地山」の N 値は「被災履歴なし地山」の N 値を下回ることがわかった。「被災該当地山」に関する平均 N 値は、深度と N 値の関係において、高い決定係数を有す線形で表わされる。深度毎の平均 N 値と標準偏差 σ から危険限界 N 値(N_{DL} 値)を算出すると、「被災該当地山」における各深度の N 値は、80%以上の確率で N_{DL} 値以下であることが判明した。

また、危険限界 N 値(N_{DL} 値)は、1974 年から 2012 年 3 月末時点までのデータを用いて算出したものであるため、2013 年 4 月から 2015 年 3 月までの斜面災害発生箇所についてその検証を行い、有効性の確認を行った。

第 6 章 結論

本章では、本研究成果を要約して総括するとともに、今後計画される道路の設計上の留意点や現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面の予防保全に関する提案と「点検の頻度や動態観測の可否及び詳細調査と防災対策の優先度付けに対する基礎資料」として活用するための課題及び今後の展望を整理した。

図-1.3 に本論文の構成を示す。

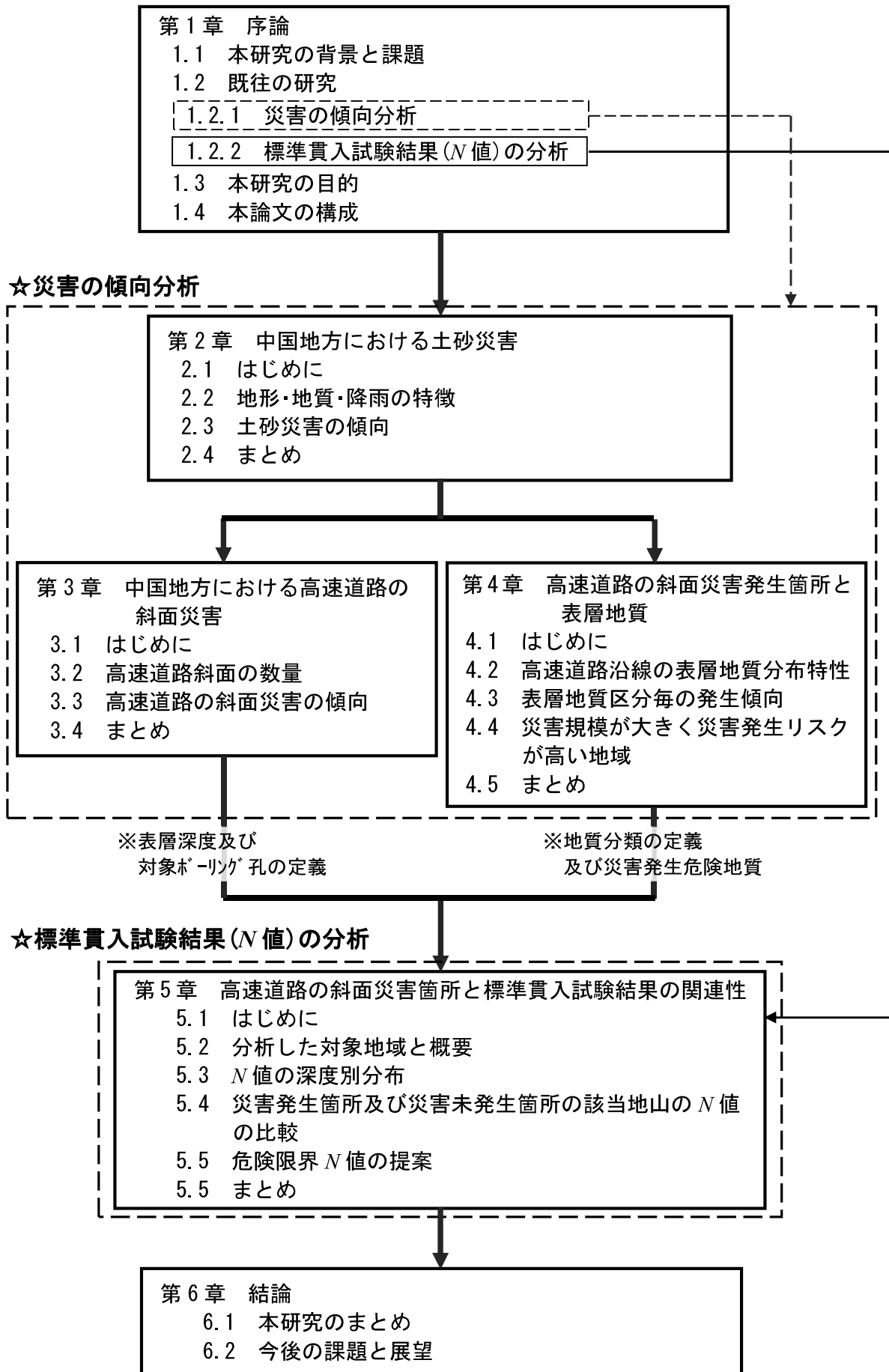


図-1.3 本論文の構成

第 1 章の参考文献

- 1) 内閣府：H23 年度 防災白書，p.3，（参照 2014 年 12 月 30 日），
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h23/bousai2011/html/honbun/1b_1h_1s_3.htm
- 2) 佐々木靖人，小橋秀俊，浅井健一：防災点検の有効性と災害の提言に向けて・道路防災総点検の手引き，pp.1-80，全国地質調査業協会連合会，2013.
- 3) 浅井健一，林浩幸，宮本浩二，佐々木靖人：事例分析により明らかになった最近の国道斜面災害の特徴と道路斜面管理における留意点，応用地質，Vol.54, No.6, pp.281-298，(一社)応用地質学会，2014.
- 4) 佐々木靖人，浅井健一：防災点検の有効性と災害の提言に向けて－10 年間の防災対策の進捗と課題－，p.2，全国地質調査業協会連合会，2013.
- 5) 大林成行，小島尚人，笠博義：斜面崩壊予測を対象とした衛星マルチスペクトルデータの実利用化について，土木学会論文集，No.415, pp.71-80，1990.
- 6) 渡部景隆，田中芳則：斜面崩壊の地質学的研究，地学雑誌，Vol.85, No.3, pp.123-142，1976.
- 7) 千木良雅弘：崩壊の場所，pp.29-108，近未来社，2007.
- 8) 佐々木靖人，矢島良紀，倉橋稔幸：全国国道斜面災害データベースの構築と過去 15 年間の災害分布特性，日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集，pp.377-380，2006.
- 9) 上出定幸，土肥泰之，小泉圭吾，細木康夫，殿垣内正人，中辻啓二：降雨を考慮した斜面の崩壊危険度評価に関する考察，地盤工学ジャーナル，Vol.5, No.1, pp.159-168，2010.
- 10) 奥園誠之：斜面防災 100 のポイント，172pp.，鹿島出版会，2006.
- 11) 菊池英明，古川浩平，河村浩恵，奥園誠之，田山聡：長期追跡調査による切土のり面の風化の進行と安定性，土木学会論文集，No.588, pp.151-164，1998.
- 12) 小山内信智，富田陽子，秋山一弥，松下智祥：がけ崩れ災害の実態，国土技術政策総合研究所資料，国総研資料第 530 号，203pp.，2009.
- 13) 山本哲朗，大原資生，西村祐二郎，瀬原洋一：山口県下の三郡変成岩からなる切土斜面に見られる豪雨崩壊の特徴，地盤工学会論文報告集，Vol.36, No.1, pp.123-132，1996.
- 14) 海堀正博：まさ土分布地域における植生の変遷と土砂災害の変遷に関する研究，砂防学会誌，Vol.49, No.4, pp.49-51，1996.
- 15) 中井真司，海堀正博，佐々木康，森脇武夫：最近の土砂災害への新しい雨量指標 R' の適用と警戒避難のための表現方法，砂防学会誌，Vol.60, No.1, pp.37-42，2007.
- 16) N 値の話編集委員会：改訂 N 値の話，理工図書(株)，pp.9-11，2007.
- 17) 竹中準之介：N 値を考える 6. N 値と土質特性(その 1)，土と基礎，Vol.22, No.7, p.7，1974.

- 18) 藤田圭一：土質調査結果の解釈と適用例，第2章標準貫入試験，土質基礎工学ライブラリー4，pp.29-75，1968.
- 19) 小黒譲司，室町忠彦：土質調査法(第1回改訂版)，第6章サウンディング，2.標準貫入試験，pp.176-208，1972.
- 20) 正垣孝晴： N 値の解釈と適用「 N 値および $c \cdot \phi$ 」，地盤工学会，pp.51-72，1992.
- 21) 日下部治，正垣孝晴：地盤データのばらつきの原因と一次処理，講座「土質データのばらつきと設計」，土と基礎，Vol.35，No.2，pp.89-97，1987.
- 22) 牧原依夫，田部井哲夫，山口英俊，笹尾光：東京付近に分布する地層の N 値-ばらつきの実態と地域性-，基礎構造物の限界状態設計法に関するシンポジウム，pp.201-206，1994.
- 23) 地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会：地盤調査の方法と解説 二分冊の1/二分冊の2，pp.279-312，(公社)地盤工学会，2013.
- 24) 地盤工学会 N 値と $C \cdot \phi$ の活用法編集委員会： N 値と $C \cdot \phi$ の活用法，201pp.，(公社)地盤工学会，2005.
- 25) N 値の話編集委員会： N 値の話，231pp.，理工図書(株)，2007.
- 26) N 値の話編集委員会：改訂 N 値の話，理工図書(株)，p.113，2007.
- 27) Terzaghi, K. and Peck, R.B. : Soil Mechanics in Engineering Practice, *John Wiley & Sons*, 1948.
- 28) Meyerhof, G.G. : Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, Proc of ASCE, *Journal of the Soil Mech and Found Div.*, Vol.82, No.SM.1, pp.866., 1956.
- 29) Dunham, J.W. : Pile Foundation for Buildings, Proc. of ASCE, *Journal of the Soil Mech and Found Div.*, Vol.80, SM.1, pp.1-21, 1954.
- 30) 大崎順彦，北沢五郎，竹山謙三郎，鈴木好一，大河原春雄：東京地盤図，技報堂，1959.
- 31) 青木一二三：砂の内部摩擦角の新算定式，構造物設計資料 No.82，pp.33-35，日本鉄道施設協会，1985.
- 32) 田中洋行： N 値の考え方と利用例一港湾構造物，基礎工，Vol.25，No.12，pp.77-81，1997.
- 33) 畑中宗憲，内田明彦，田屋裕司：砂質地盤の内部摩擦角 ϕ と正規化された標準貫入試験の N 値(N_I)の関係，土と基礎，47-8，pp.5-8，1999.
- 34) (独)土木研究所：三軸圧縮試験による砂の内部摩擦角と標準貫入試験 N 値との関係，土木研究所資料，第3849号，2002.
- 35) 鈴木誠，本田眞，松本樹典，道勇治：試験法とデータサンプリング間隔が土質定数の統計的推定に与える影響，第29回土質工学研究発表会，Vol.3，pp.1519-1522，1994.
- 36) 上野誠：講座「土質データのばらつきと設計」，3.地盤データの二次処理(統計的処理手法と実際)，土と基礎，Vol.35，No.3，pp.77-84，1987.
- 37) 前田良刀，遠藤元一，松井謙二：場所打ち杭の支持力に関する信頼性評価，橋梁と基

- 礎, Vol.20, No.5, pp.8-16, 1986.
- 38) 地盤工学会 N 値と $C \cdot \phi$ の活用法編集委員会: N 値と $C \cdot \phi$ の活用法, pp.21-40, p.125, (公社)地盤工学会, 2005.
 - 39) 東京都土木研究所: 東京都総合地盤図 I -東京都地質図集 3 東京都の地盤(1), pp.2-6, 技報堂出版, 1977.
 - 40) 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会: 新版大阪地盤図, p.286, コロナ社, 1987.
 - 41) 日本建築学会近畿支部, 土質工学会関西支部: 大阪地盤図, p.330, コロナ社, 1966.
 - 42) 岩崎好規, 諏訪靖二, 山本浩司, 松山紀香, 井上陽介: ボーリングデータベースからみた大阪地盤の特徴, 日本応用地質学会 H4 年研究発表会講演論文集, pp.129-132, 1992.
 - 43) 土質工学会九州支部: 九州・沖縄の特殊土, pp.146-148, 九州大学出版, 1983.
 - 44) 建設省, 鹿児島県: 鹿児島県始良地区の地盤, 都市地盤調査報告書第 19 巻, 1969.
 - 45) 若松幹男, 近藤務: 北海道の火山灰土, 土と基礎, Vol.37(9), pp.24-29, 1989.
 - 46) 松浦誠, 椋代仁朗: 構造物基礎としてのまさ土分帯地盤の長期安定性に関する各種の実験, 文部省科学研究費自然災害特別研究成果報告, pp.6-36, 1976.
 - 47) (社)地盤工学会 表層地盤のデータベース連携に関する研究委員会: 表層地盤のデータベース連携に関する研究報告書, pp.7-53, 2007.
 - 48) (社)地盤工学会: 全国地盤地図 Web サイト, http://www.denshi-jiban.jp/map_menu.htm, (参照 2014 年 12 月 30 日).
 - 49) 奥園誠之: 斜面防災 100 のポイント, 172pp., 鹿島出版会, 2006.
 - 50) 小山内信智, 富田陽子, 秋山一弥, 松下智祥: がけ崩れ災害の実態, 国土技術政策総合研究所資料, 国総研資料第 530 号, pp.75-79, 2009.

第 2 章

第2章 中国地方における土砂災害の特徴

2.1 はじめに

我が国は、近代化以降、欧州を範とした施策(治水三法等)を展開し、戦後は、大災害のフォローアップである具体の法律の下で、減災・防災に関わる施策が推進されてきた。その成果は、非常に大きなものであったと考えられるが、災害発生の根絶には至っておらず、近年では、局地的集中豪雨の増加に伴う土砂災害の増加が顕著である。急峻な地形と脆弱な地質という素因を膨大に抱える我が国は、減災・防災に至るまでの効率的なアプローチと対応が喫緊の課題であるが、風化の進行と土構造物の老朽化に対し、具体の法律の下での点検と調査及び対策が追い付いていない。

膨大な数量を抱える道路斜面の維持管理は、災害発生に伴う危険性と社会的影響の軽減を目的として効率的かつ効果的に行っていく必要があるため、現在では、損傷や変状の発生発見によって対応する「対症療法型管理(事後保全)」から、道路斜面の安定性が損なわれる前に対応する「予防保全型管理(予防保全)」という考え方が取り入れられてきている。予防保全型の維持管理は、アセットマネジメントや構造物の延命化等とほぼ同じ意味で使われており、「損傷が発生してから対応する対症療法型管理ではなく、損傷の発生や推移を適切に予測し事故の発生を未然に防ぐことによりトータルコストを縮減する」という考え方が基本にある。道路斜面の予防保全を遂行するためには、資料調査による抽出道路斜面の点検やその結果に基づく防災対策から、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面を含んだものにまでその対象が広がっていく。

道路斜面の予防保全が橋梁やトンネル、舗装等他の構造物と大きく異なるのは、主に自然が対象であることが挙げられる。斜面は、材料の不均一性や地域的な地質特性等の素因の違いが顕著であり、これらが災害の規模や形態に影響を与えるために画一的な管理が難しいということに集約される。しかし、点検の要領や基準では、対象道路斜面の抽出手法や評価は全国一律で、地域性が考慮されていない。従って、道路斜面の予防保全は、地域の特性に応じた災害の特徴とその素因を過去の災害事例と既存資料からマクロ的に分析して関連付け、戦略的に対応することが必要である。

佐々木ら¹⁾は、直轄国道災害事例分析から過去の災害に学ぶ姿勢が重要であり、災害特性や地域特性を把握して道路斜面の予防保全を行う必要性を報告している。今後の道路防災点検は、災害事例による地質情報の把握に重点を置いた点検箇所絞込みが必要であると考えられる。

本章では、中国地方の地域的な土砂災害の特徴を把握することを行った。まず、地形・地質・降雨の特徴を全国と中国地方でまとめ、その後に土砂災害の傾向を同様に整理した。本研究では「土砂災害」は、自然斜面における土石流、地すべり、崖崩れを対象とし、切土及び盛土のり面の崩壊を含むものは、「斜面災害」と定義している。

2.2 地形・地質・降雨の特徴

2.2.1 全国の特徴

(1) 我が国の地形

我が国の地形概要は、総務省統計局資料の「昭和 57 年度 国土数値情報作成調査²⁾」のデータを基に分析を行った。当該データは北海道の北方領土を含み、陸域の湖沼、河川等の面積を除くものとなっている。内水域の定義は、港湾、遠浅地、海域に接している湖沼である。中国地方の地域的な特徴を把握するために、近代以降の地理教育で用いられてきた「一般的な 8 地方区分」で比較分析を行った。

表-2.1、表-2.2 に示すとおり、国土面積 377,330km² のうち 274,663km² が山地及び丘陵地であり、約 73% を占めている。国土の大部分が、斜面災害の危険性を有す山地と丘陵地であることがわかる。詳細を表-2.3 に示す。

表-2.1 全国の地形別面積

	山地丘陵地 (km ²)	rank	台地 (km ²)	rank	低地 (km ²)	rank	内水域等 (km ²)	rank	総面積 (km ²)
北海道	52,866	2	15,364	1	9,794	2	5,367	1	83,391
東北	51,002	3	5,964	3	9,538	3	367	7	66,871
関東	16,741	7	8,211	2	6,699	4	679	3	32,330
中部	56,489	1	4,436	5	10,952	1	648	4	72,525
近畿	20,572	6	1,102	6	4,558	6	1,010	2	27,242
中国	28,172	5	211	8	3,067	7	415	6	31,865
四国	16,104	8	635	7	1,909	8	127	8	18,775
九州	32,717	4	5,548	4	5,447	5	619	5	44,331
全国	274,663	—	41,471	—	51,964	—	9,232	—	377,330

表-2.2 全国の地形別比率

	山地丘陵地 (%)	rank	台地 (%)	rank	低地 (%)	rank	内水域等 (%)	rank	総面積 (%)
北海道	63.395	7	18.424	2	11.745	6	6.436	1	100.000
東北	76.269	4	8.919	4	14.263	4	0.549	8	100.000
関東	51.782	8	25.397	1	20.721	1	2.100	3	100.000
中部	77.889	3	6.117	5	15.101	3	0.893	6	100.000
近畿	75.516	5	4.045	6	16.732	2	3.708	2	100.000
中国	88.410	1	0.662	8	9.625	8	1.302	5	100.000
四国	85.774	2	3.382	7	10.168	7	0.676	7	100.000
九州	73.802	6	12.515	3	12.287	5	1.396	4	100.000
全国	72.791	—	10.991	—	13.771	—	2.447	—	100.000

表-2.3 全国の地形別面積とその比率

地方区分	都道府県	総面積 (km ²)	地形別面積比率 (%)					
			山地	丘陵地	台地	低地	内水域等	合計
北海道	北海道	83,391	48.977	14.419	18.424	11.745	6.436	100.000
東北地方	青森県	9,624	50.582	16.313	19.025	12.853	1.226	100.000
	岩手県	15,263	72.207	13.687	5.772	8.262	0.072	100.000
	宮城県	7,263	29.712	36.803	8.977	24.191	0.317	100.000
	秋田県	11,631	58.078	14.006	6.104	21.090	0.722	100.000
	山形県	9,319	67.679	9.025	8.327	14.948	0.021	100.000
	福島県	13,771	75.441	5.098	8.089	10.435	0.937	100.000
関東地方	茨城県	6,087	23.723	7.163	37.293	27.058	4.764	100.000
	栃木県	6,405	52.896	9.602	25.558	11.741	0.203	100.000
	群馬県	6,363	76.803	3.520	10.278	9.194	0.204	100.000
	埼玉県	3,796	32.403	6.112	23.709	37.250	0.527	100.000
	千葉県	5,127	7.568	30.720	32.573	28.321	0.819	100.000
	東京都	2,161	39.241	7.589	29.107	12.679	11.384	100.000
	神奈川県	2,391	37.432	17.357	18.862	24.049	2.300	100.000
中部地方	新潟県	12,577	64.737	9.231	3.904	22.064	0.064	100.000
	山梨県	4,469	85.478	0.582	4.968	7.675	1.298	100.000
	長野県	13,592	84.925	0.743	8.615	5.525	0.191	100.000
	富山県	4,252	64.276	7.785	4.610	23.213	0.118	100.000
	石川県	4,180	48.995	30.550	4.761	15.694	0.000	100.000
	岐阜県	10,596	77.935	8.805	1.963	11.080	0.217	100.000
	静岡県	7,777	72.650	5.696	4.179	14.851	2.623	100.000
	愛知県	5,135	41.558	12.366	18.306	22.356	5.414	100.000
	三重県	5,766	64.239	7.423	9.799	17.881	0.659	100.000
	福井県	4,181	72.255	2.416	2.846	22.291	0.191	100.000
関西地方	滋賀県	4,016	48.531	9.263	4.905	23.282	14.019	100.000
	京都府	4,606	68.302	9.292	3.647	17.803	0.955	100.000
	大阪府	1,864	37.876	11.373	0.107	32.725	17.918	100.000
	兵庫県	8,357	58.131	16.202	5.887	19.193	0.586	100.000
	奈良県	3,688	80.260	10.060	1.790	7.402	0.488	100.000
	和歌山県	4,711	81.342	8.151	3.757	6.708	0.042	100.000
中国地方	鳥取県	3,505	87.218	0.086	0.285	11.726	0.685	100.000
	島根県	6,712	72.184	17.610	0.104	7.375	2.726	100.000
	岡山県	7,080	69.153	13.785	0.636	16.116	0.311	100.000
	広島県	8,466	79.778	12.781	0.532	6.603	0.307	100.000
	山口県	6,102	66.568	21.550	1.704	7.555	2.622	100.000
四国地方	徳島県	4,140	79.903	3.527	1.739	13.309	1.522	100.000
	香川県	1,870	49.305	5.615	16.898	25.348	2.834	100.000
	愛媛県	5,663	82.854	6.127	1.183	9.836	0.000	100.000
	高知県	7,102	85.553	7.153	2.534	4.604	0.155	100.000
九州地方	福岡県	4,944	48.321	10.417	14.239	24.757	2.265	100.000
	佐賀県	2,429	51.173	18.444	2.100	26.554	1.729	100.000
	長崎県	4,069	62.694	8.798	11.649	8.331	8.528	100.000
	熊本県	7,392	76.691	2.773	7.346	12.960	0.230	100.000
	大分県	6,332	78.964	3.948	6.965	9.397	0.726	100.000
	宮崎県	7,736	73.203	8.260	8.363	9.876	0.297	100.000
	鹿児島県	9,170	51.603	18.997	20.763	8.408	0.229	100.000
沖縄県	2,259	24.214	33.909	34.706	6.684	0.487	100.000	
合計		377,330	61.042	11.749	10.991	13.771	2.447	100.000

(2) 我が国の地質

我が国の地表面付近の地質を図-2.1に示す。我が国の地質の特徴は様々な種類の地質や岩体が存在し、これらの構成が西ヨーロッパ・北アメリカ東部等の安定大陸に比べて極めて複雑であることが挙げられる。地表面付近の地質は、古生代～新生代の未固結の堆積物を含む様々な堆積岩、未固結火山噴出物を含む火成岩と変成岩からなり、弧状に伸びた列島の方向とほぼ平行な帯状分布をしている。帯状分布を構成する地質は、主に古生代～中生代～新生代古第三紀の地層群と貫入した火成岩類である。新第三紀の地質は、日本海側のグリーンタフ地域と太平洋側の新第三紀堆積盆地に大きく区別される⁴⁾。

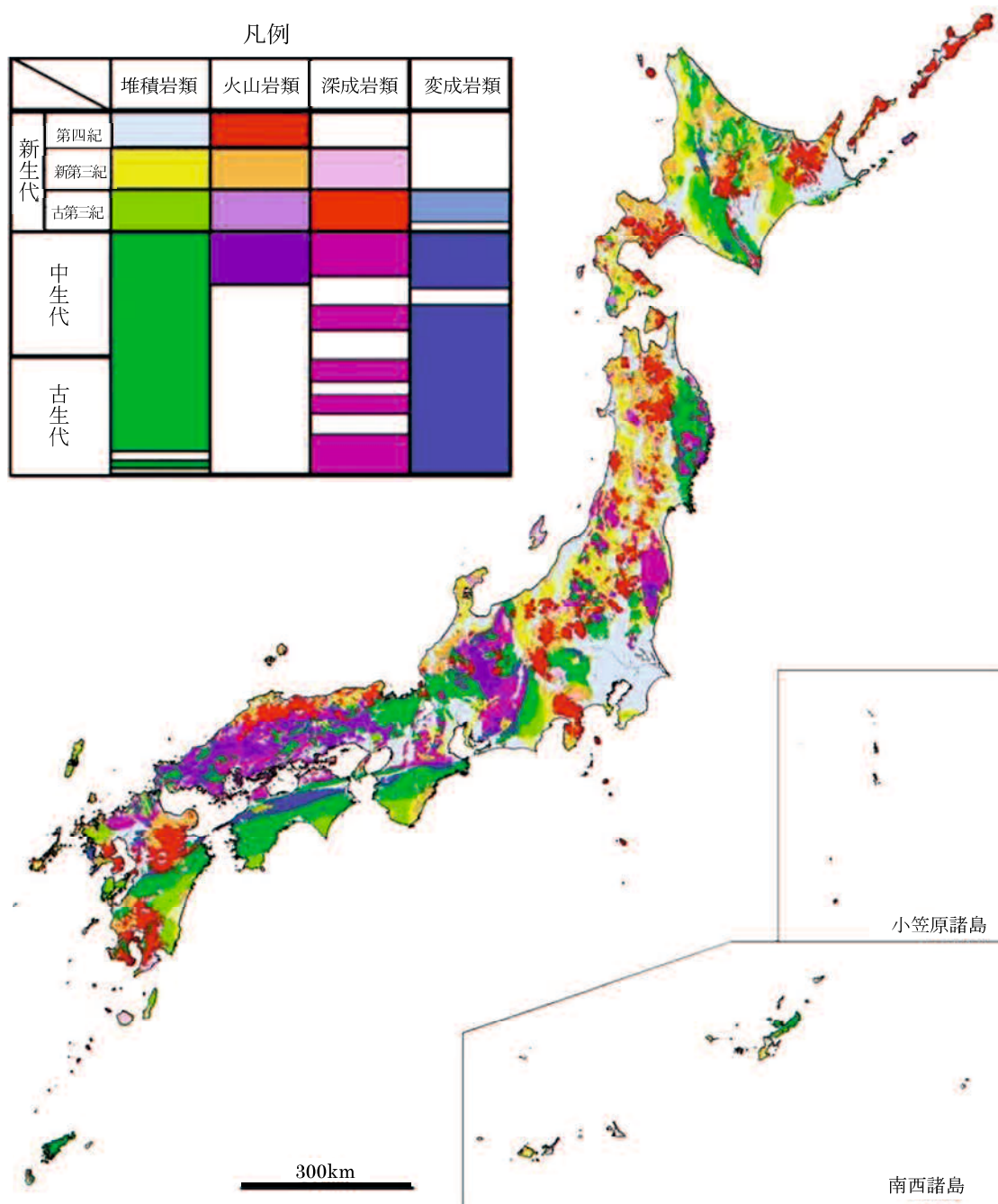


図-2.1 日本列島の地質分布³⁾

日本に分布する地表付近での地層の分布割合は、表-2.3 に示すとおりである。岩種別では堆積岩 55.3%，火成岩 40.2%，変成岩 4.5%であり，時代別では古生代～中生代～新生代古第三紀 43.0%，新第三紀 34.9%，第四紀 22.1%である。

地質は、我が国で広く分布する花崗岩をはじめ，火山岩類および堆積岩類が複雑に分布している。これに対して欧米の地質は，各地質の1ユニットが広く分布し，地質構造が単調で安定した大陸地塊を形成している。同じ高密度な経済活動の中心地域でありながら，西ヨーロッパ・北アメリカ東部等の地形・地質は安定しているが，日本は脆弱で不安定であるという相違点がある⁴⁾。

表-2.3 全国の地質別面積とその比率⁴⁾

岩 種		地質時代	面積(km ²)	比率(%)
①	堆積岩	第四紀	62,259	16.5
		新第三紀	61,505	16.3
		古第三紀～白亜紀	11,697	3.1
		ジュラ紀	4,151	1.1
		三疊紀	1,132	0.3
		古生代	45,280	12.0
	堆積岩を主体付加コンプレックス	古第三紀～白亜紀	22,640	6.0
		計	208,663	55.3
②	火成岩	第四紀	21,130	5.6
		新第三紀	66,787	17.7
		古第三紀～白亜紀	14,339	3.8
		計	102,256	27.1
	深成岩	新第三紀	3,396	0.9
		白亜紀～古第三紀	39,997	10.6
		先白亜紀	1,509	0.4
超塩基性岩類	新生代古第三紀～古生代	4,528	1.2	
		計	49,430	13.1
③	変成岩	新生代古第三紀～古生代	16,980	4.5
		合計	377,330	100.0
※集計				
	① 堆積岩(付加コンプレックスを含む)			55.3
	② 火成岩(付加コンプレックス及び超苦鉄質火成岩を含む)			40.2
	③ 変成岩			4.5

(3) 我が国の降雨量

土砂災害，斜面災害の多くは，降雨を誘因とするものである．特に，地球温暖化が謳われた1980年代以降では，気象の変化が顕著で，「異常気象」や「観測史上最大の豪雨」等の言葉が毎年のように繰り返されている．

昨今の我が国の降雨について，気象庁のデータ⁵⁾を基に，表-2.4に示す全国の主要地区48地点を抽出し，1982年(昭和57年)から30年間の年降水量(年降水量/地点数)を降雨傾向として図-2.2に取りまとめた．

年降水量は地域によって多少差があるものの，年毎の変動が大きく増減傾向として明瞭ではないため，10年毎の平均で30年間分を比較した．我が国の年降水量は，長期的には減少傾向にあると言われている⁶⁾が，抽出した48地区の近年30年間は，ほぼ横ばい状態である．次に，昨今の災害の直接的な要因である局地的集中豪雨に着目する．局地的集中豪雨の発生指標として時間降水量50mm以上の年間発生回数に着目したものを図-2.3に示す．

10年間の増加率を比較すると時間降水量50mm以上の年間発生回数は，図-2.2に示す年降水量に比べて増加が著しいといえる．

地球温暖化が全世界的な課題として取り上げられてきているこの30年間の我が国の降雨傾向は，年降水量が大きく変化していないにもかかわらず，局地的集中豪雨の増加が顕著である．つまり，雨の総量は変わっていないが，降り方自体が変わってきたといえる．特にここ10年間は，年降水量に比べて局地的集中豪雨の発現が10%近く増えており，今後この傾向が続くと考えられている⁶⁾．

表-2.4 年降水量の算出地点名

項目	地区名
全国主要地区48地点	北海道(札幌，帯広)，青森，秋田，盛岡，山形，仙台，新潟，福島，宇都宮，前橋，熊谷，水戸，東京，勝浦，横浜，甲府，長野，静岡，富山，金沢，福井，岐阜，名古屋，津，彦根，京都，大阪，奈良，和歌山(潮岬)，神戸，鳥取，岡山，松江，広島，山口(下関・山口)，高松，徳島，松山，高知，福岡，佐賀，長崎，大分，熊本，宮崎，鹿児島，那覇

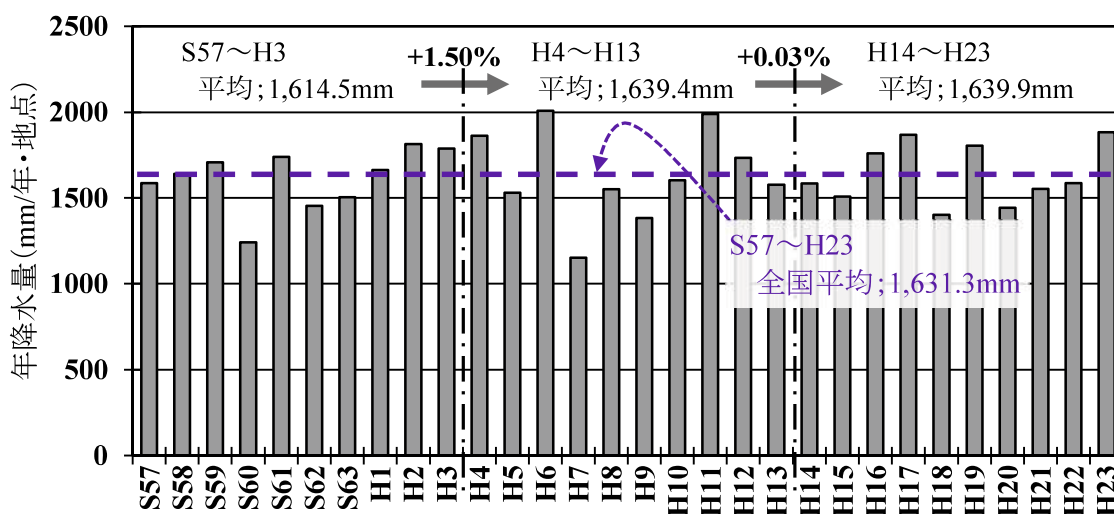


図-2.2 全国48地点年降水量(気象庁気象統計情報⁵⁾に加筆)

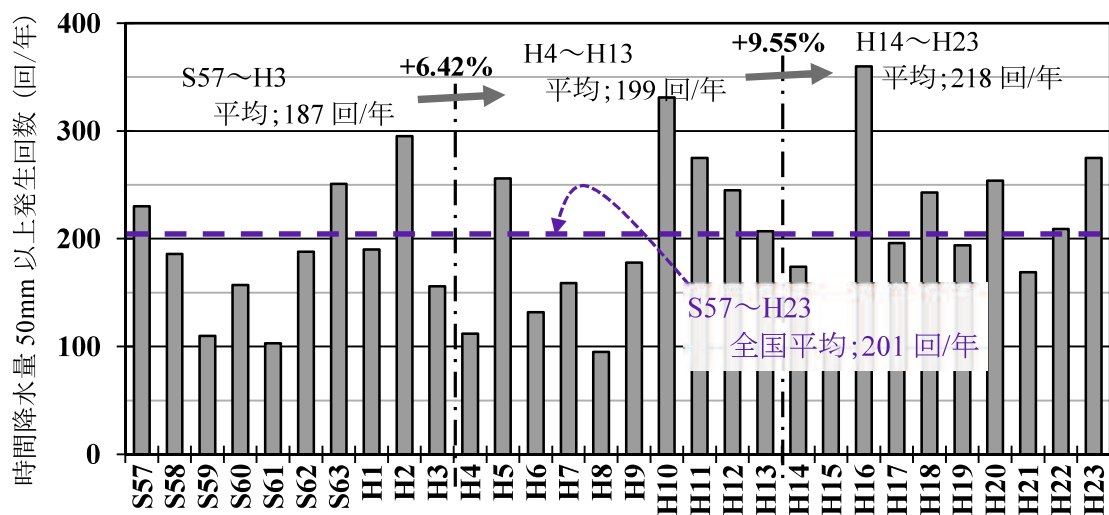


図-2.3 全国の時間降水量 50mm 以上年間発生回数
 (気象庁気象統計情報⁵⁾に加筆; 1000 地点換算)

2.2.2 中国地方の特徴

(1) 中国地方の地形

衛星写真等で見ると、中国地方は、四国、近畿、九州地方が幾筋もの深いしわ模様で刻まれているのに比べ、概して単調で、他の地貌と極めて対照的特色である。中国地方の地形は、**図-2.4**に示すとおり、東西に伸びる脊梁状の中国山地に対し南北方向の階段的な丘陵地帯で構成され、北東-南西方向を主とする断層やリニアメントが発達している。中国山地から山陽側は緩やかで、山陰側は日本海沿岸から比較的急峻な地形を呈している^{7,8)}。但し、山地の標高は、1,000m前後が大部分である。

総務省統計局資料の「昭和57年度 国土数値情報作成調査²⁾」のデータから**表-2.2**で示したように、中国地方は総面積に対する山地・丘陵地の占める比率が88.4%で、全国平均の72.8%より15.6%も高くなっている。全国で一番平地部が少ない地方である。県別で山地・丘陵地の占める比率を見ると、広島県が一番高く、島根県、山口県、鳥取県、岡山県の順になっている。但し、各県とも全て全国平均率を上回っている。

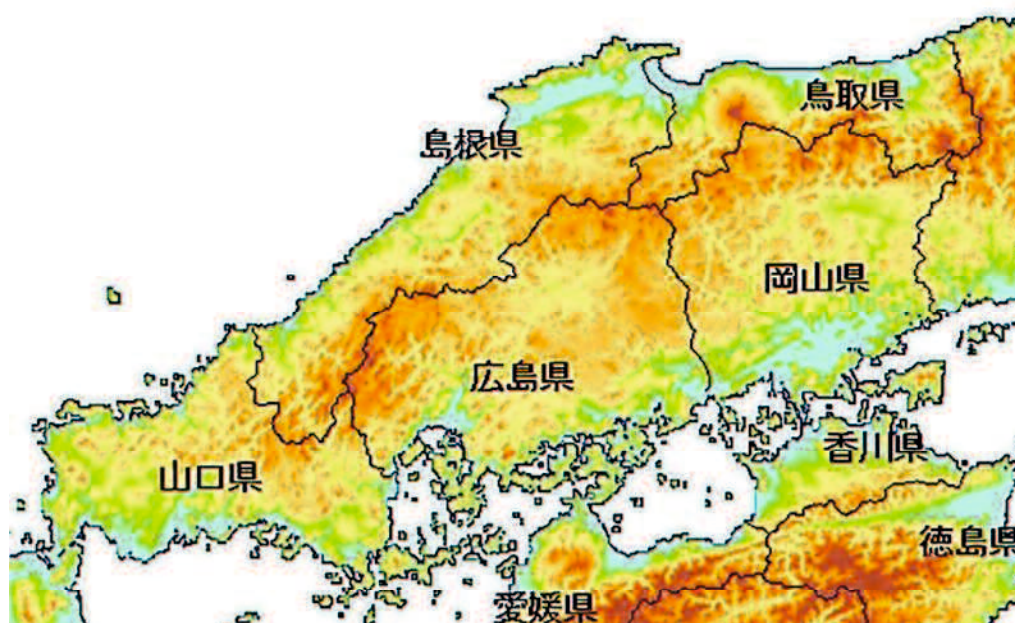


図-2.4 中国地方の地形図⁹⁾

表-2.5 中国地方の地軽別面積率 (%)

地域	山地・丘陵地	rank	台地	低地	内水域等	Σ(%)
鳥取県	87.304	4	0.285	11.726	0.685	100.000
島根県	89.794	2	0.104	7.375	2.726	100.000
岡山県	82.938	5	0.636	16.116	0.311	100.000
広島県	92.558	1	0.532	6.603	0.307	100.000
山口県	88.119	3	1.704	7.555	2.622	100.000
中国地方	88.410	1	0.662	9.625	1.302	100.000
全国	72.791	—	10.991	13.771	2.447	100.000

(2) 中国地方の地質

中国地方の概略地質図を図-2.5に示す。中国地方の主な表層地質の分布状況を面積比率で表すと、表-2.5のとおりである。これは、(独)産業技術総合研究所の20万分の1日本シートレス地質図¹⁰⁾から算出した。

花崗岩類は、一般的に全国各地に広く分布し、国土面積の13%強を占めている¹¹⁾とされている。しかし、図-2.5及び表-2.5に示すように、中国地方全体では、水域を除く全面積中のおよそ30%弱が花崗岩類で覆われている。花崗岩類の広範囲な分布が、中国地方の地質の大きな特徴として挙げられる。

次に多く占める地質は、流紋岩類であり、白亜紀の大規模な火山活動の影響により広く分布している。これらは、阿武層群、匹見層群、高田流紋岩類に代表され、流紋岩質溶結凝灰岩を主体としている。また、岡山県、鳥取県と山口県で顕著に見られるのは、三郡変成岩類である。これらは、形成年代や形成条件によって、智頭変成岩、三郡-蓮華変成岩、周防変成岩に区分され、いずれも、泥質・砂質片岩、珪質片岩を主体としている¹²⁾。

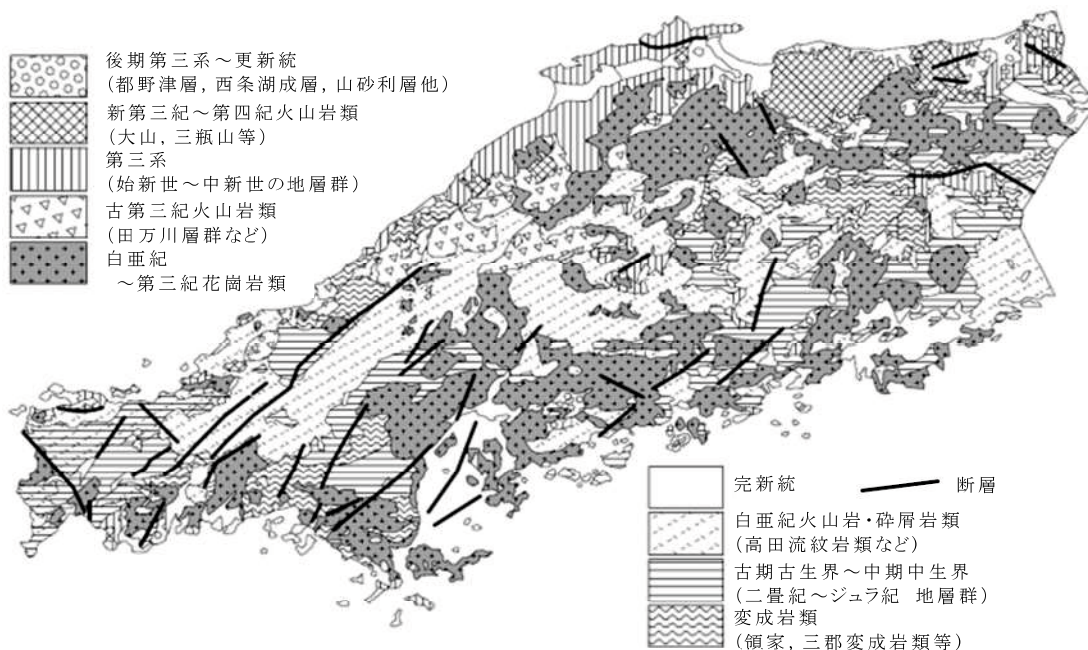


図-2.5 中国地方の概略地質図¹³⁾

表-2.5 中国地方における各県別の主な地質分布状況

※上段；面積(km²)，下段；分布率(%)

地質名	岡山県	広島県	山口県	鳥取県	島根県	中国地方
花崗岩類	169,943 24.18(%)	321,269 38.03%	129,815 21.32%	91,863 26.41%	172,734 26.45%	885,624 28.05%
流紋岩類	64,721 16.42%	3,597 28.40%	60,947 15.69%	35,946 7.40%	32,850 27.49%	198,061 20.78%
三郡変成岩類	64,721 9.21%	3,597 0.43%	60,947 10.01%	35,946 10.33%	32,850 5.03%	198,061 6.27%
その他	352,845 50.20%	279,932 33.14%	322,667 52.98%	194,326 55.86%	267,940 41.03%	1,417,709 44.90%
計	702,903 100.0%	844,697 100.0%	608,988 100.0%	347,882 100.0%	653,059 100.0%	3,157,528 100.0%

(3) 中国地方の降雨量

図-2.6は、気象庁のデータ¹⁴⁾を基に、表-2.6に示す中国地方各県の主要観測地点を抽出し、1982年(昭和57年)から2011年(平成23年)の30年間のデータを基に算出した各県代表地の平均月降水量である。山陽側の降雨は春先から夏季が多く、山陰側の降雨は秋季から冬季が多くなっている。山陽側岡山県の月降水量は、ほぼ年間を通じて中国地方で一番少ない。

表-2.6 中国地方各県の主要観測地点名

項目	観測地区名
中国地方主要観測地点	岡山県；岡山市，広島県；広島市，山口県；下松市，鳥根県；出雲市，鳥取県；鳥取市

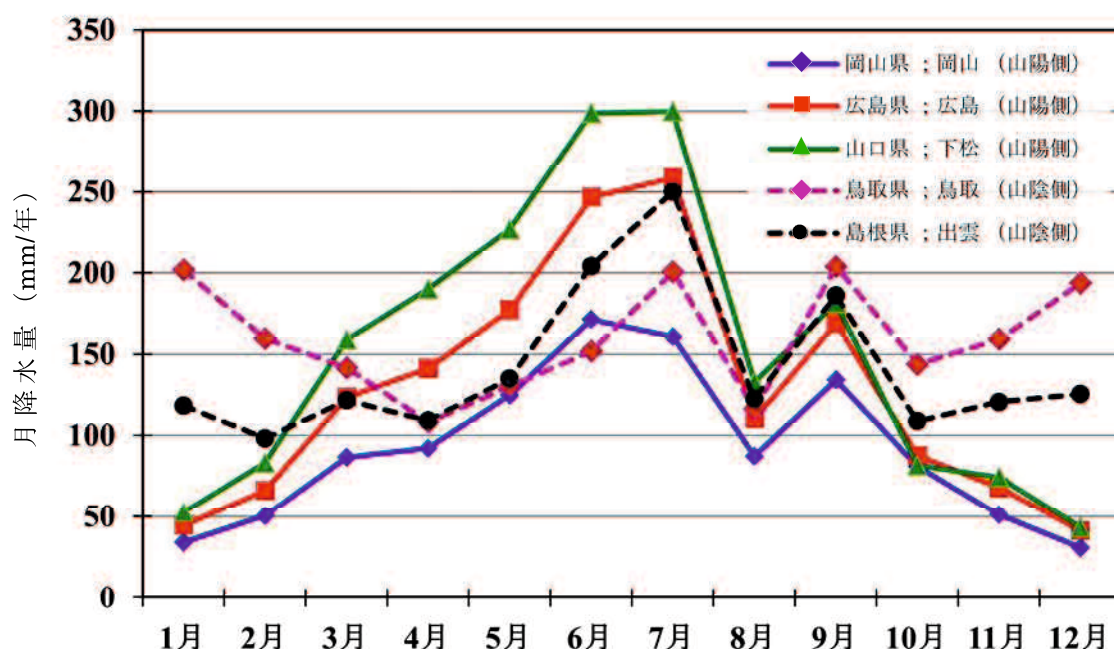


図-2.6 中国地方各県代表地の月降水量

次に、中国地方の高速道路沿線における降雨形態を、1982年(昭和57年)から2011年(平成23年)の30年間について、下記の観測地点を対象に取りまとめた。

アメダス観測地点：40 地点(S57年)から 41 地点(H23年)
 高速道路観測地点： 2 地点(H6年)から 126 地点(H23年)
 ∴1994年(H6年)以前のデータは欠落している

高速道路上の観測地点が大きく増加しているのは、残存するデータの有無と供用開始に伴う観測施設の増加によるものである。中国地方の高速道路沿線における年降水量(Σ 年降水量/年・地点)は、図-2.7のとおりである。

図-2.2に示した全国平均の年降水量は、1982年(昭和57年)から2011年(平成23年)までを10年毎の平均値で比較すると、+6.42%、+9.55%と増加している。中国地方は、-7.65%、-4.27%と減少しており、全国平均と違い若干の減少傾向にある。しかし、その傾きは小さく、平均して1,500mm前後を推移している。

年平均降水量を各県別に比較したものが図-2.8である。年平均降水量は多い方から、山口県、島根県、鳥取県、広島県、岡山県になっている。山口県、島根県、鳥取県が中国地方の平均を上回っており、広島県、岡山県が下回っている。各県で降水量の違いはあるが、偏差は、平均値(1,510mm/地点・年)に対し±15%内外で収まっている。

次に、局地的集中豪雨の傾向を表す指標として時間30mm以上の降雨が1観測地点あたり年間何時間発生したかを年毎に示したものを図-2.9に示す。中国地方の局地的集中豪雨は、気象庁が発表している全国傾向と同様にその増加が著しいものである。年間累計降雨量は、それほど大きな変化が認められないが、局地的集中豪雨は年々増加する傾向にある。

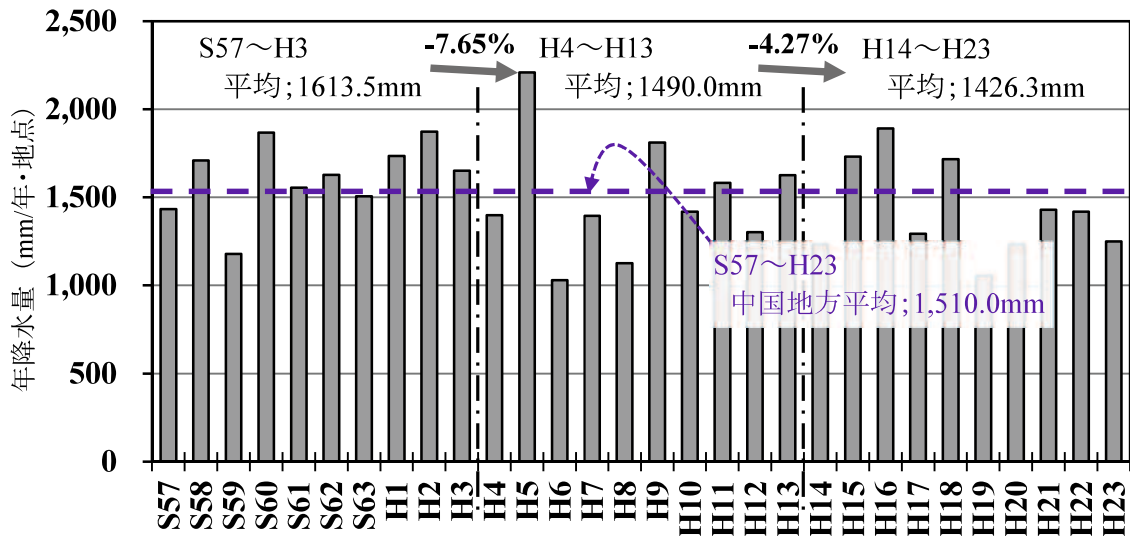


図-2.7 中国地方の年降水量

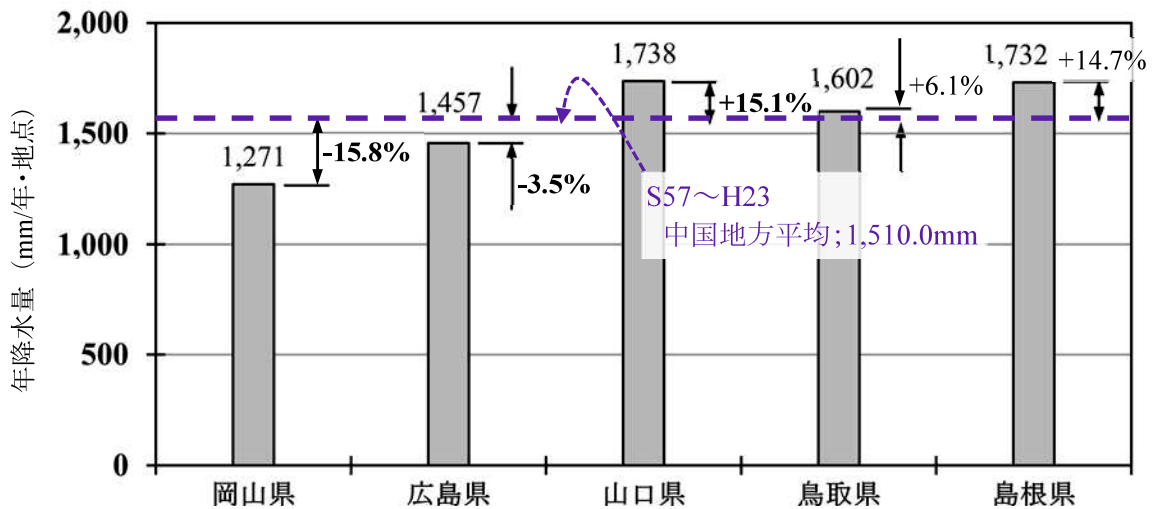


図-2.8 中国地方の各県別年平均降水量

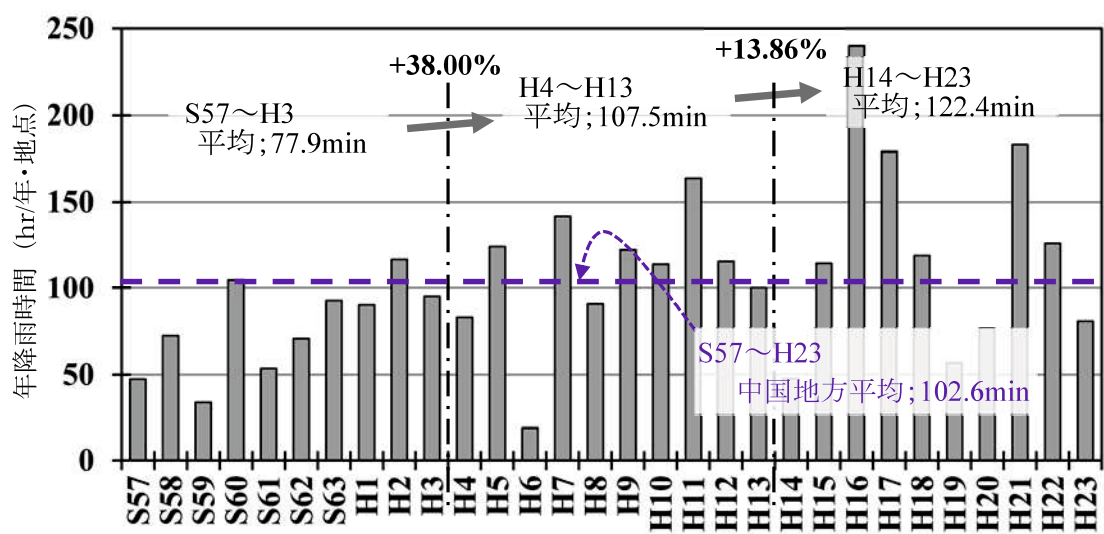


図-2.9 時間雨量 30mm 以上の年間発生時間 (100 地点換算)

2.3 土砂災害の傾向

2.3.1 全国の土砂災害

土砂災害の傾向分析は、全国砂防便覧のデータ¹⁵⁾と国土交通省の土砂災害情報¹⁶⁾を使用している。1982年(昭和57年)から2011年(平成23年)30年間の全国土砂災害発生件数の推移は、**図-2.10**に示すとおりである。1992年(平成4年)から2001年(平成13年)は、直前の10年間(昭和57年から平成3年)に比べ+97件/年(+11.69%)、平成14年から平成23年は、平成4年から平成13年に比べ+223件/年(+24.06%)の増となっている。2.2.1項(3)で述べた降雨傾向では、全国48地点年降水量の10年毎の変化率が+1.50%と+0.03%で、全国の時間降水量50mm以上年間発生回数の10年毎の変化率は+6.42%と+9.55%であり、10年間の増加率を比較すると、時間降水量50mm以上の年間発生回数は、年降水量に比べて増加が著しい。全国土砂災害発生件数の増加傾向は、**図-2.2**に示す年降水量よりも**図-2.3**に示す時間降水量50mm以上の年間発生現象の方に類似している。

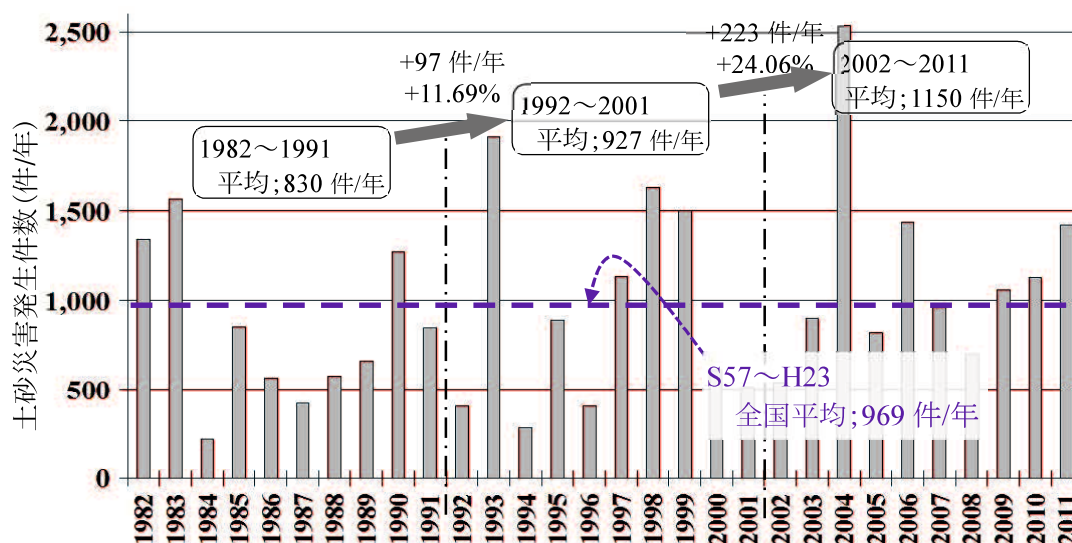


図-2.10 土砂災害発生件数の推移

これを、局地的集中豪雨の発現が顕著である2002年(平成14年)から2011年(平成23年)の間で、全国の土砂災害を形態別(土石流・地滑り・崖崩れ)に分析すると**図-2.11**のようになる。グラフの近似式は、最小二乗法による回帰直線であるが、年度毎のバラツキが大きく相関性は低い。従って前半5年間と後半の5年間を比較したものを**表-2.7**に示す。

図-2.11、**表-2.7**から、近年10年間の全国土砂災害の形態別発生傾向は、**表-2.8**のようにまとめられる。災害発生件数は、2004年(平成16年)の中越地震、新潟・福島豪雨と台風21・23号等の影響により突出しているが、5年平均で比較すると地すべりを除く土石流と崖崩れが概ね増加している。

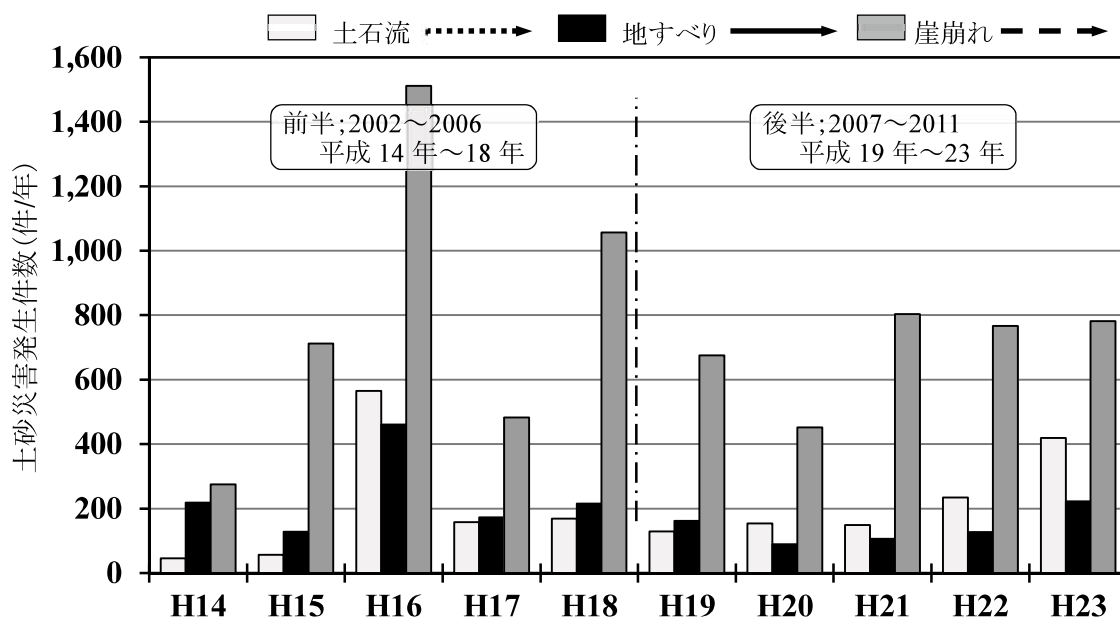


図-2.11 H14～H23 全国土砂災害 形態別発生件数

表-2.7 H14～H23 全国土砂災害 5年平均の増減

形態	前半;H14～H18		後半;H19～H23		増減:% b/a-1
	Σ 件数	件数/年;a	Σ 件数	件数/年;b	
土石流	1,043	208.6	1,254	250.8	+20.2%
地すべり	1,251	250.2	921	184.2	-26.4%
崖崩れ	4,403	880.6	4,535	907.0	+3.0%

表-2.8 H14～H23 全国の土砂災害形態別傾向一覧

形態	件数	比率	発生傾向
土石流	2,297	17%	5年平均で比較すると後半の5年間は、20.2%増加している。年毎の変動が大きく、明瞭ではないが、5年平均で見ると、増加傾向にあると考えられる。
地すべり	2,172	16%	H16の件数に影響されている他、年毎の変動も多少あるが、5年平均で比較すると26.4%減少している。5年平均で見ると、減少傾向を示している。
崖崩れ	8,938	67%	年毎の変動が大きく、明瞭な傾向とはいえない。H16、H18の件数に影響されているものの、全体的には微増傾向を示している。5年平均で比較すると3.0%増加している。
計	13,407	100%	

2.3.2 中国地方の土砂災害

中国地方の土砂災害に関する傾向分析は、2.3.1項の土砂災害と同様に、砂防便覧のデータ¹⁵⁾と国土交通省の土砂災害情報¹⁶⁾を使用している。中国地方の土砂災害発生件数は、局部的集中豪雨の発現が顕著である2002年(平成14年)から2011年(平成23年)までの10年間でまとめると、**図-2.12**のようになる。2006年(平成18年)、2009年(平成21年)、2010年(平成22年)の発生件数が多いが、前期5年間の平均は108.8件/年、後期の平均は177.6件/年で5年毎の平均値は増加している。

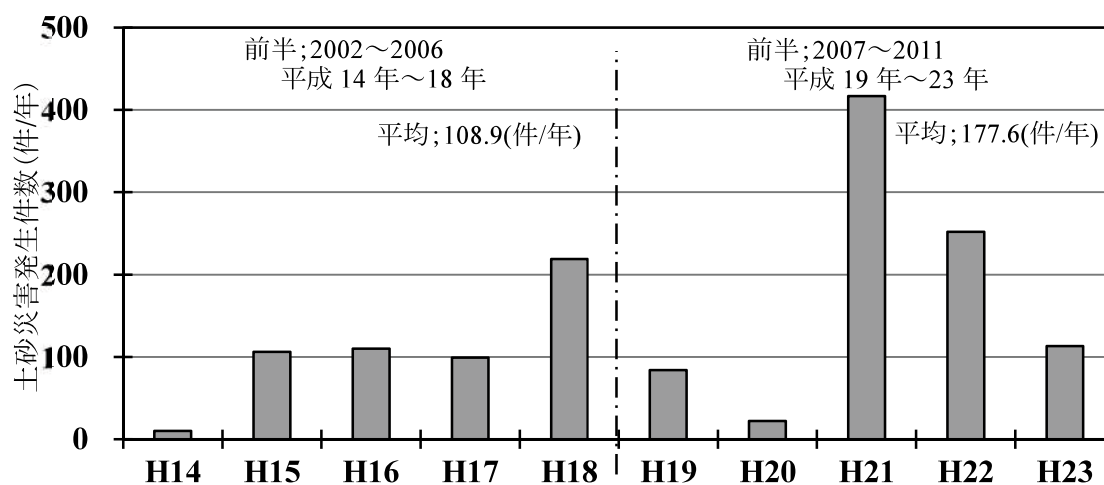


図-2.12 H14～H23 中国地方土砂災害発生件数

これを災害形態別に分析すると**図-2.13**のようになる。グラフの近似式は、最小二乗法による回帰直線であるが、全国的な傾向と同じように年度毎の変化が大きく相関性は低い。ため、**表-2.9**に示すとおり前半5年間と後半の5年間を比較した。上段は中国地方、下段は全国のデータを表している。

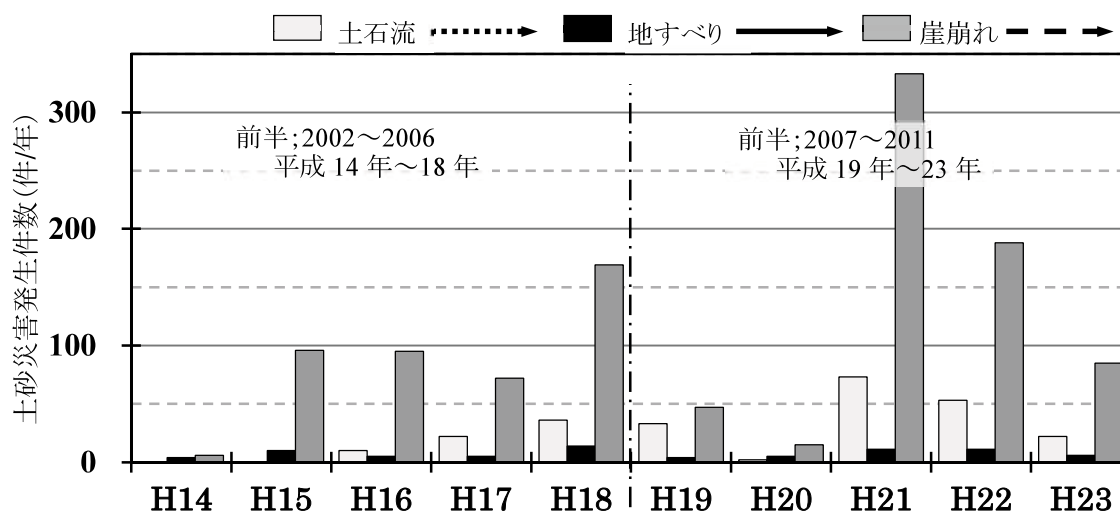


図-2.13 H14～H23 中国地方土砂災害発生件数

表-2.9 H14～H23 中国地方及び全国土砂災害 5年平均の増減

形態		前半;H14～H18		後半;H19～H23		増減:% b/a-1
		Σ (件数)	Ave ; a (件数/年)	Σ (件数)	Ave ; b (件数/年)	
土石流	中国	68	13.6	183	36.6	+169.1%
	全国	1,043	208.6	1,254	250.8	+20.2%
地すべり	中国	38	7.6	37	7.4	-2.6%
	全国	1,251	250.2	921	184.2	-26.4%
崖崩れ	中国	438	87.6	668	133.6	+52.5%
	全国	4,403	880.6	4,535	907.0	+3.0%

※上段；中国地方 下段；全国

表-2.10 H14～H23年 中国地方の土砂災害形態別傾向一覧

形態	件数	比率	発生傾向
土石流	251	18%	年毎の変動は若干見られるが、5年平均で比較すると後半の5年間は169.1%の増加となっている。5年平均で見ると、増加傾向にあると考えられる。
地すべり	75	5%	発生件数は全国と比べて少なく、増減傾向が見られない。
崖崩れ	1,106	77%	年毎の変動が大きく、明瞭な年度増加傾向があるとはいえないが、5年平均で比較すると後半の5年間は52.5%の増加となっている。5年平均で見ると、明瞭とはいえないが増加傾向にあると考えられる。
計	1,432	100%	

中国地方の土砂災害発生傾向について近年10年間の増減傾向を5年平均で比較すると、中国地方は、土石流・崖崩れの増加割合が大きくなっており、地すべりはわずかに減少している。増減の割合は、全国データと大きく違い、土石流は全国の8倍強、崖崩れは17倍となっている。反対に地すべりは、全国の1/10であった。

図-2.13、表-2.9から近年10年間の中国地方における土砂災害の形態別発生傾向は、表-2.10のようにまとめられる。

中国地方の地質は、白亜紀末の火成岩類(花崗岩類)が広く分布しており、強風化されたまさ土で覆われている。のり面・斜面の表層崩壊は、強風化花崗岩で多発するといわれており、これら分布地域においては土石流・崖崩れの発生が多くなっている¹⁷⁾。一方、中国地方における典型的な地すべりは第三紀層地すべりに属し、島根県下に集中している¹⁸⁾。分布域が小さく地域的に偏っているため、地すべりの発生件数は少なくなっている。近年の中国地方の土砂災害発生形態は、これと一致している。

2.3.3 災害発生指数と危険箇所指数による比較

本節の2.3.1項と2.3.2項では、土砂災害の発生件数に着目してきた。しかし、土砂災害の発生件数は、対象となる地域の面積に大きく影響される。単純に全国と中国地方を比較することは出来ないため、単位面積当たりの統計単位で分析する。

また、中国地方は全国と比較して「山地・丘陵地」が多いことが特徴であることが明らかになっている。土砂災害の対象となる斜面が多いことは、潜在的に危険な素因を含む斜面が多いことにも繋がる可能性がある。

従って、単位面積当たりの統計単位で分析する項目は、「単位面積当たり災害発生件数」と「単位面積当たり危険斜面数」の2種類とした。本論文では、前者を α 、後者を α' とする。

α は、砂防便覧¹⁵⁾と国土交通省の土砂災害情報¹⁶⁾の災害発生件数(n)を各地方面積 $A(\text{km}^2)$ で除し、1,000.0 km^2 あたりを統計単位としたものである。

$$\alpha = (n/A) \times 1,000 \quad (1a)$$

α' は、各県が公表している土砂災害危険箇所数(n')を各地方面積 $A(\text{km}^2)$ で除し、1.0 km^2 あたりを統計単位としたものである。土砂災害危険箇所は、土砂災害の原因となる発生源としての溪流や斜面等に注目し、当該地の行為制限と必要な施設整備を行うためのハード対策に向けた指定危険箇所のことである¹⁹⁾。

$$\alpha' = (n'/A) \times 1.0 \quad (1b)$$

本項では、中国地方の地域的な特徴を把握するために、全国データを近代以降の地理教育で用いられてきた「一般的な8地方」に区分して比較を行った。

結果を、表-2.11と図-2.14に示す。

表-2.11 地方別土砂災害発生指数 α と順位

	土石流;a		地すべり;b		崖崩れ;c		Σa_c	
	α	順位	α	順位	α	順位	α	順位
北海道	0.344	8	0.102	8	0.689	8	1.135	8
東北	2.285	6	2.375	4	8.454	7	13.114	7
関東	1.665	7	1.203	7	34.263	4	37.131	5
中部	10.237	2	18.476	1	22.637	5	51.351	3
近畿	6.437	5	2.231	6	14.921	6	23.589	6
中国	7.863	4	2.349	5	34.647	3	44.859	4
四国	14.091	1	4.892	2	37.699	2	56.682	1
九州, 沖縄	9.242	3	2.833	3	43.153	1	55.229	2
全国平均	5.578	—	5.098	—	20.155	—	30.830	—

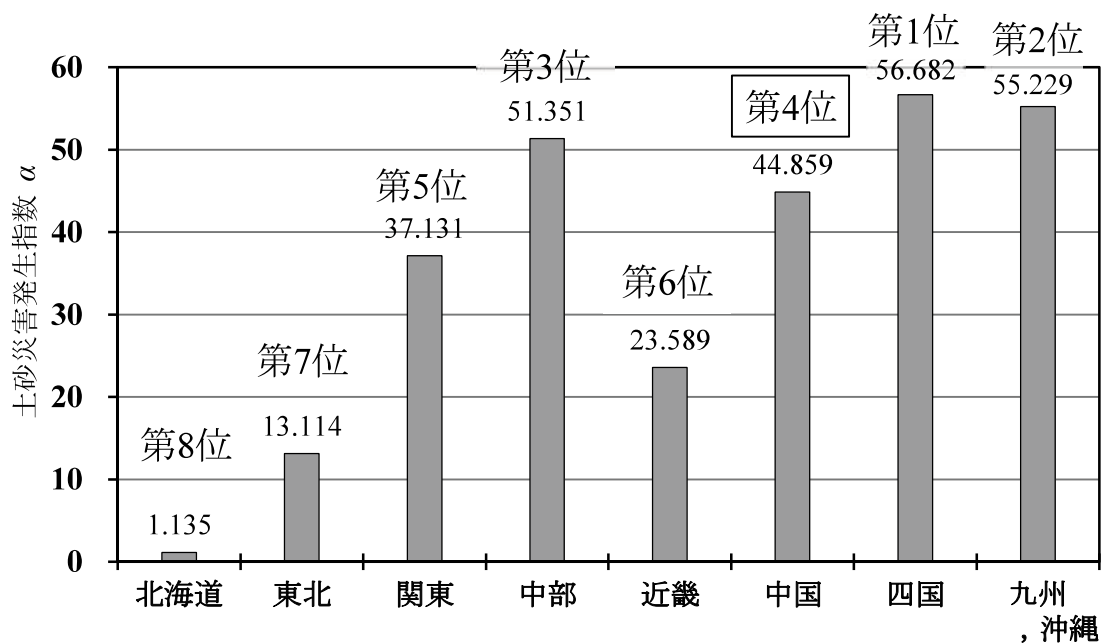


図-2.14 地方別土砂災害発生指数 α

表-2.11 地方別土砂災害危険箇所指数 α' と順位

	土石流;a		地すべり;b		崖崩れ;c		Σa_c	
	α'	順位	α'	順位	α'	順位	α'	順位
北海道	0.064	8	0.006	8	0.082	8	0.152	8
東北	0.335	7	0.015	7	0.352	7	0.702	7
関東	0.354	6	0.020	6	0.994	5	1.368	6
中部	0.537	5	0.047	3	0.897	6	1.481	5
近畿	0.907	2	0.042	4	1.448	4	2.397	3
中国	1.085	1	0.029	5	1.852	2	2.967	1
四国	0.844	3	0.074	1	1.915	1	2.833	2
九州, 沖縄	0.689	4	0.053	2	1.532	3	2.274	4
全国平均	0.493	—	0.030	—	0.885	—	1.409	—

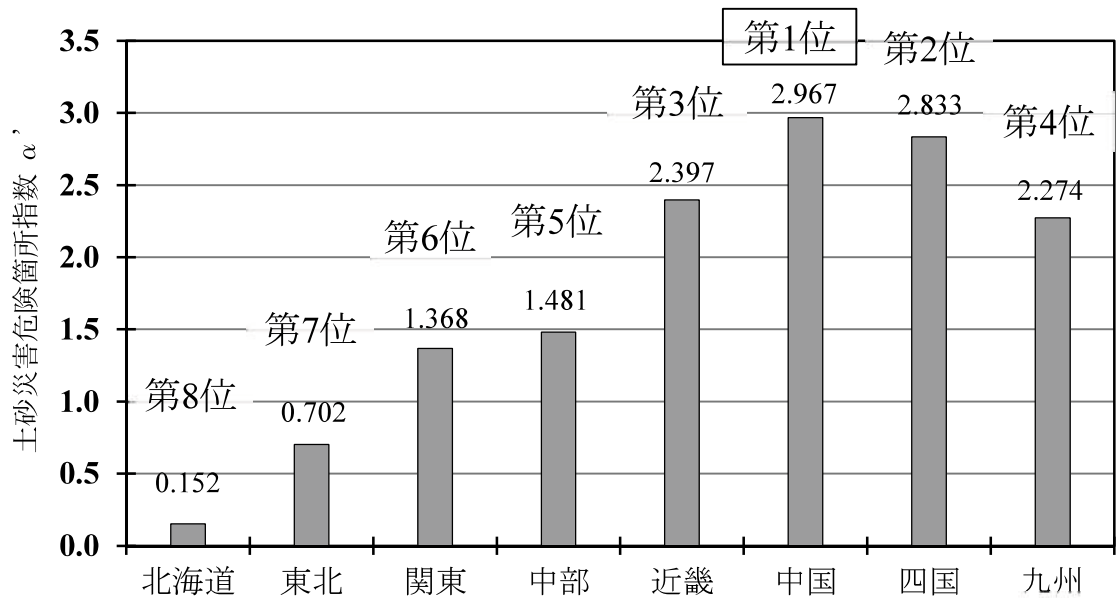


図-2.15 地方別 土砂災害危険箇所指数 α' , 沖縄

中国地方は、表-2.11と図-2.14に示す地方別土砂災害発生指数で見ると全国第4位であるが、土砂災害危険箇所指数 α' は、表-2.11及び図-2.15のように第1位となっている。危険箇所の割合が全国一多いにも関わらず、災害発生割合が少ないということになる。災害発生指数 α が小さい要因は、九州、四国地方等と比較して降雨量(特に集中豪雨)が少ないこと¹⁴⁾が大きいと考えられる。また、土砂災害危険箇所指数 α' が大きい要因は、過去の降雨等による浸食形成が小さいこと、花崗岩や流紋岩の風化土砂が広く分布していること、比較的山裾まで可住地域が拡大していること等が影響していると考えられる。

従って、中国地方は、災害発生履歴(発生件数)に比べて、人家・公共施設等の保全対象に影響を与える恐れがある危険な斜面が多く、地形・地質的観点から見ても昨今の局地的集中豪雨の増加現象¹⁴⁾を鑑みると、今後は土砂災害の発生リスクが増加していく可能性がある。

2.4 まとめ

道路斜面の予防保全は、地域の特性に応じた災害の特徴とその素因を過去の災害事例と既存資料からマクロ的に分析して関連付け、戦略的に対応することが必要である。

従って、本章では、中国地方の地域的な土砂災害の特徴を把握することを行った。まず、地形・地質・降雨の特徴を全国と中国地方でまとめ、その後に土砂災害の傾向を同様に整理した。結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 我が国は、国土の約73%が斜面災害の危険性を有す山地と丘陵地である。中国地方の山地と丘陵地は88.4%を占め、各県とも全て全国値を上回っている。
- 2) 我が国の地質は、様々な種類の地質や岩体が存在し極めて複雑である。地表付近での地質の年代は、50%以上が新生代新第三紀以降のものであり脆弱で不安定である。中国地方は、30%弱が花崗岩類で覆われており、花崗岩類が広く分布していることが中国地方の地質分布の大きな特徴として挙げられる。花崗岩類、流紋岩類、三郡変成岩類で50%近くを占めており、表層風化土は脆弱である。
- 3) 全国平均の年降水量は、1982年(昭和57年)から2011年(平成23年)までを10年毎の平均値で比較すると、+6.42%、+9.55%と増加している。中国地方は、-7.65%、-4.27%と減少しており、全国平均と違い若干の減少傾向にある。中国地方の局地的集中豪雨は、気象庁が発表している全国傾向と同様にその増加が著しい。年降水量は、それほど大きな変化が認められないが、局地的集中豪雨は年々増加する傾向にある。
- 4) 中国地方の土砂災害発生傾向について近年10年間の増減傾向を5年平均で比較すると、中国地方は、土石流・崖崩れの増加割合が大きくなっており、地すべりはわずかに減少している。増減の割合は、全国データと大きく違い、土石流は全国の8倍強、崖崩れは17倍となっている。反対に地すべりは、全国の1/10倍であった。
- 5) 中国地方は、災害発生指数に比べて災害危険箇所指数が高く、潜在的な危険素因を有す斜面が非常に多い。昨今の局地的集中豪雨の増加現象を鑑みると、土砂災害の発生リスクは増加している。

第 2 章の参考文献

- 1) 佐々木靖人, 浅井健一, 林浩幸, 宮本浩二: 事例分析により明らかになった最近の国道斜面災害の特徴と道路斜面管理における留意点, 応用地質, Vol.54, No.6, pp.281-298, (一社)応用地質学会, 2014.
- 2) 総務省統計局: S57 年度 国土数値情報作成調査, (参照 2015 年 6 月 30 日), www.stat.go.jp/data/nenKAN/zuhyou/y0108000.xls
- 3) 村田泰章, 鹿野和彦: 「100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 版」から求めた日本列島を構成する岩石の分布, 地質ニュース, No.493, pp.26-29, (独)産業技術総合研究所地質調査総合センター, 1995.
- 4) 小野千恵子, 礒見博: 日本列島におけるいろいろな岩石のしめる面積の比較および考察, 地質調査所月報, No.18, Vol.7, pp.467-476, 通産省工業技術院地質調査所, 1967.
- 5) 気象庁: 気象統計情報, 2012. <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>
- 6) 文部科学省, 気象庁: 温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート「環境省: 日本の気候変動とその影響」, pp.16-18, 2009.
- 7) 村田秀一, 森脇武夫: 中国地方の地盤災害, 土と基礎, Vol.38, No.3, pp.47-53, 1990.
- 8) 高田圭太, 中田高, 野原壯, 原口強, 池田安隆, 伊藤潔, 今泉俊文, 大槻憲四郎, 鷺谷威, 堤浩之: 震源断層となりうる活断層とリニアメントの検討ー中国地方を事例としてー, 活断層研究, Vol.23, pp.77-91, 2003.
- 9) 国土交通省国土地理院: 電子国土ポータルサイト, (参照 2014 年 11 月 1 日), <http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse/index.html>.
- 10) (独)産業技術総合研究所: 数値地質図 20 万分の 1 日本シームレス地質図, DVD, (独)産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2009.
- 11) (社)土質工学会: 風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用(土質基礎工学ライブラリー16), pp.3-5, 1989.
- 12) 山本哲朗, 鈴木素之, 植野泰史: 三郡変成岩風化土の土工上の問題とその改良, 山口大学工学部研究報告, Vol.51, No.1, pp.57-64, 2000.
- 13) 低引洋隆: 中国地方の地形地質, 土と基礎, Vol.38, No.3, pp.9-14, 1990.
- 14) 気象庁: 気象統計情報, 2012. <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>
- 15) (社)全国治水砂防協会: 砂防便覧 平成 20 年度版, pp.50-55, 2008.
- 16) 国土交通省: 土砂災害情報, 2011. <http://www.sabo.or.jp/saigai/2011saigai.htm>
- 17) 千木良雅弘: 災害地質学入門, pp.156-157, 近未来社, 2005.
- 18) 中国地方土木地質図編纂委員会: 中国地方土木地質図解説書, pp.249-258, (財)国土開発技術研究センター, 1984.

19) (社)全国治水砂防協会：砂防便覧 平成 20 年度版, p.386, 2008.

第 3 章

第3章 中国地方における高速道路の斜面災害

3.1 はじめに

西日本高速道路(株)中国支社が管理する中国地方の高速道路は、1966年(昭和41年)から中国道吹田～落合間及び美祢～下関間で建設が始まり、1974年(昭和49年)5月29日の広島呉道仁保IC～坂南IC(1期)、同年7月31日の中国道小郡IC～小月ICの開通(小月IC～下関ICは九州支社管轄)以来、今日では1,000km以上が供用路線として営業されている。

本章では、第2章でまとめた「中国地方における土砂災害」の特徴を概観しつつ、高速道路の斜面災害について特徴を取り纏める。各県及び路線等の発生地域、斜面種別及びのり面段数による分析、供用年数による発生傾向、災害規模、供用後の経年変化、切土のり面における災害発生部位等を明らかにした。

3.2 高速道路斜面の数量

中国地方の高速道路は、図-3.1に示すように東西に走る「山陽道」、「中国道」と南北方向に櫛の歯状に横断する「広島浜田道」、「岡山米子道」などが供用路線として営業されており、2012年(平成24年)3月末時点でその総延長は、1,037.7kmに至っている。中国地方は、ほぼ全域を網羅する形で高速道路ネットワークが形成されている。



図-3.1 中国地方の高速道路網

3.2.1 中国地方とその他地域の比較

中国地方は、平野部が非常に少ない急峻山地地形である。従って、高速道路を構成する道路構造物のうち、土工(切土, 盛土), トンネルが占める割合が他の地域(支社・局)に比べて高くなっている。なお、本項で示す全国データは、道路公団民営化時の支社局区分に基づいて提示されたものを平成20年3月末時点で修正している。比較対象とした高速道路用地内にある構築物は、道路斜面の数量に関連する「のり面, トンネル, 橋梁」である。各地域の対象構築物が、全国の高速道路に対しどれくらいの割合で保有しているのかを比較している。対象構築物の保有率(%)は、下記の考え方に基づいて算出した。

- ・のり面保有率；支社局別のり面面積/全国のり面面積
- ・トンネル保有率；支社局別トンネルチューブ数/全国トンネル保有チューブ数
- ・橋梁保有率；支社局別橋梁延長/全国橋梁延長

中国地方は、**図-3.2**～**図-3.4**に示すように、橋梁保有率は第4位であるが、のり面保有率とトンネル保有率は、全国第1位となっている。

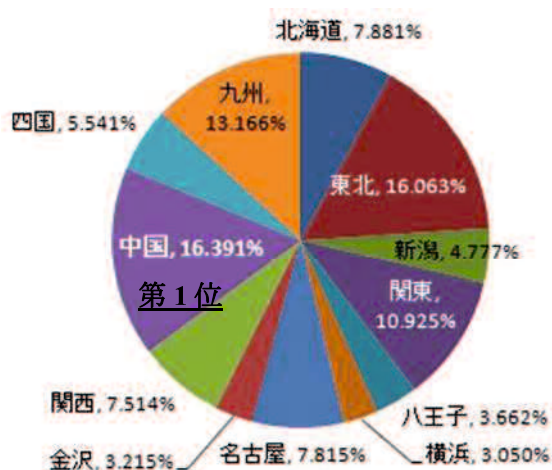


図-3.2 のり面保有率

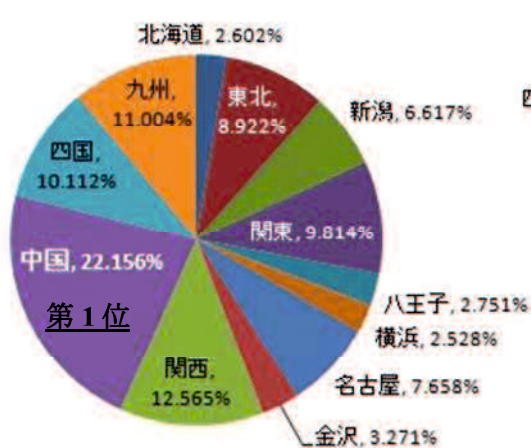


図-3.3 トンネル保有率

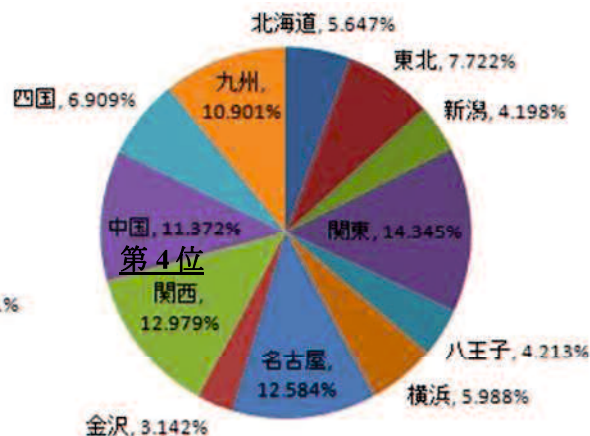


図-3.4 橋梁保有率

中国地方は、全国の高速道路の1/4弱のトンネルチューブ数を抱えている。これは、高速道路が比較的急峻な地形を通過している事に直結しており、その結果、切土のり面と盛土のり面が数多く存在している事に繋がっている。

3.2.2 中国地方における高速道路斜面の概要

表-3.1は、中国地方における高速道路斜面を「切土のり面、盛土のり面、自然斜面」毎に整理したものである。西日本高速道路(株)及びグループ会社が保有する道路資産データを基にしている。自然斜面は、高速道路に接している後背地の流域毎の集計値である。

表-3.1 中国地方における高速道路斜面の数量

路線名	延長 km	切土のり面		盛土のり面		自然斜面	
		箇所数	面積 km ²	箇所数	面積 km ²	箇所数	面積 ha
山陽自動車道	354.5	2,492	4.214	3,242	5.436	1,145	12,594
広島呉道路	15.9	123	0.216	111	0.083	62	184
中国自動車道	405.4	3,192	4.880	4,565	5.761	2,034	21,054
岡山自動車道	43.9	292	0.636	426	0.650	103	861
米子自動車道	66.1	591	0.798	707	0.982	243	2,292
広島自動車道	17.2	156	0.256	179	0.267	74	618
浜田自動車道	56.6	589	0.816	667	0.817	197	1,529
松江自動車道	10.6	67	0.099	82	0.189	24	90
山陰自動車道	33.9	296	0.408	293	0.442	64	530
安来道路	19.1	130	0.300	154	0.236	47	332
江津道路	14.5	160	0.234	170	0.213	44	203
計	1,037.7	8,088	12.857	10,596	15.076	4,037	40,287

表-3.2 中国地方における高速道路路線別 切土のり面段数

路線名	延長 km	①	②	③=②/①	rank	Max
		のり面 箇所数	のり面 Σ 段数	平均 段数		
山陽自動車道	354.5	2,492	6,041	2.424	5	13 段 2 箇所
広島呉道路	15.9	123	329	2.675	4	10 段 2 箇所
中国自動車道	405.4	3,192	7,469	2.340	6	12 段 1 箇所
岡山自動車道	43.9	292	790	2.705	3	11 段 3 箇所
米子自動車道	66.1	591	1,345	2.276	8	12 段 2 箇所
広島自動車道	17.2	156	445	2.853	2	8 段 2 箇所
浜田自動車道	56.6	589	1,230	2.088	10	8 段 4 箇所
松江自動車道	10.6	67	153	2.284	7	6 段 1 箇所
山陰自動車道	33.9	296	663	2.240	9	9 段 2 箇所
安来道路	19.1	130	378	2.908	1	10 段 1 箇所
江津道路	14.5	160	325	2.031	11	8 段 1 箇所
計	1,037.7	8,088	19,168	2.370	—	—

表-3.3 中国地方における高速道路路線別 盛土のり面段数

路線名	①	②	③=②/①		rank	Max
	延長 km	のり面 箇所数	のり面 Σ 段数	平均 段数		
山陽自動車道	354.5	3,242	4,382	1.352	6	9段 1箇所
広島呉道路	15.9	111	147	1.324	8	4段 1箇所
中国自動車道	405.4	4,565	5,312	1.164	11	6段 4箇所
岡山自動車道	43.9	426	535	1.256	10	6段 1箇所
米子自動車道	66.1	707	924	1.307	9	6段 1箇所
広島自動車道	17.2	179	239	1.335	7	4段 3箇所
浜田自動車道	56.6	667	902	1.352	5	5段 5箇所
松江自動車道	10.6	82	139	1.695	1	6段 3箇所
山陰自動車道	33.9	293	429	1.464	4	5段 4箇所
安来道路	19.1	154	238	1.545	3	5段 1箇所
江津道路	14.5	170	282	1.659	2	7段 1箇所
計	1,037.7	10,596	13,529	1.277	—	—

表-3.2, 表-3.3は、切土のり面と盛土のり面の構造(段数)に着目し、路線別の地形の険しさを比較したものである。

中国地方の地形は、東西に伸びる脊梁状の中国山地に対し、その南北方向の階段的な丘陵地帯(台地・高原)で構成されているため、その中心を通過する中国道及び横断道筋にのり面が多く存在するイメージがある。

しかし、実際は、比較的交通量の多い瀬戸内沿岸及び山陰沿岸部と都市部近郊の横断道付近に、切盛のり面が集中している。

これらの地域は、急峻な山地裾野に民家をはじめとした保全対象物が存在しており、これが道路線形計画上のコントロールポイントとなっているため、比較的大規模のり面が多くなっているものと考えられる。

中国地方の高速道路斜面は、切土のり面が8,088箇所、盛土のり面が10,596箇所、自然斜面が4,037箇所である。高速道路用地内の切土のり面と盛土のり面だけでも18,684箇所に上る。高速道路の点検は、橋梁、トンネル、道路付属物等多岐にわたる。用地内の道路斜面について全数点検を行う場合、仮に5(箇所/日・パーティ)の能力で365日間のフル稼働で実施しても10年以上かかることになる。

3.3 高速道路の斜面災害の傾向

3.3.1 高速道路斜面災害のデータ

西日本高速道路(株)中国支社が管理する中国地方の高速道路は、1974年(昭和49年)7月の中国自動車道 小郡IC～小月IC間15.5kmの供用を皮切りに整備が拡充され、2012年(平成24年)3月末時点で、1,037.7kmの管理延長となっている。本節以降で使用する高速道路斜面災害のデータは、西日本高速道路(株)及びグループ会社が保有する道路建設中を除く供用期間中に発生したもので、本研究開始時に残存しているもの663件を整理した。1974年(昭和49年)から2012年(平成24年)3月迄のものである。

なお、残存する災害記録は、対策工の有無が記載されていないためにその有無に関わらず抽出されたものである。

3.3.2 高速道路斜面災害の概要

中国地方の高速道路斜面災害の誘因は全て降雨である。その件数は、表-3.3に示すように、1974年から2012年3月末時点で663件が記録されており、全体の44.5%(295件)が切土のり面、50.8%(337件)が盛土のり面、4.7%(31件)が土石流を含む自然斜面となっている。土石流を含む自然斜面災害の発生件数は、意外と少ない。

路線毎の災害件数は、中国自動車道、山陽自動車道、浜田自動車道の順になっている。災害件数は、路線の管理延長に関係する。よって、各路線の土工延長を基本として災害発生率を算出した。土工延長は、本線延長から橋梁延長とトンネル延長を除いた土構造物で施工された区間延長である。災害発生率で路線を高い順に見ると、浜田自動車道、山陰自動車道、松江自動車道、江津道路の順になり、上位は全て山陰側の路線であった。

表-3.3 高速道路路線別 斜面災害箇所数と発生率

路線名	管理延長 (km) —	土工延長 (km) ①	斜面構造別災害箇所数			合計 (箇所) ⑤	災害発生 率 ⑤/①*100	災害発生 率 順位
			切土 ②	盛土 ③	自然斜面 ④			
山陽自動車道	354.5	216.4	63	96	18	177	81.8	7
広島呉道路	15.9	8.0	2	1	0	3	37.6	10
中国自動車道	405.4	338.3	98	122	10	230	68	8
岡山自動車道	43.9	31.3	8	10	0	18	57.4	9
米子自動車道	66.1	43.3	22	28	2	52	120.1	5
広島自動車道	17.2	10.4	0	2	1	3	29	11
浜田自動車道	56.6	46.3	55	44	0	99	213.9	1
松江自動車道	10.6	5.7	3	6	0	9	159.1	3
山陰自動車道	33.9	19.6	19	21	0	40	204.1	2
安来道路	19.1	13.4	13	2	0	15	111.9	6
江津道路	14.5	12.1	12	5	0	17	140.8	4
計	1,037.7	744.7	295	337	31	663	—	—

3.3.3 のり面段数による分析

斜面災害発生件数の95.3%を占める切土・盛土のり面について、災害箇所別の斜面構造(段数)に対する分析を行った。表-3.4は、斜面構造(段数)別の発生件数と発生確率及び1箇所あたりの平均災害規模(崩壊土量)をまとめたものである。図-3.5は、切土及び盛土のり面の段数別被災率(%；災害箇所数/のり面総数)を表したものである。

表-3.4 切土のり面の被災箇所数と斜面構造(段数)

		段数													計
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
切土のり面	災害箇所数	42	55	59	44	46	24	16	6	0	2	1	0	0	295
	のり面総数	3,802	1,497	1,064	707	429	264	150	83	41	29	16	4	2	8,088
	被災率(%)	1.1	3.7	5.5	6.2	10.7	9.1	10.7	7.2	0.0	6.9	6.3	0.0	0.0	—
	崩壊土量(m ³ /箇所)	143	68	240	173	258	1,023	238	1,706	0	181	100	0	0	—

表-3.4 盛土のり面の被災箇所数と斜面構造(段数)

		段数													計
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
盛土のり面	災害箇所数	149	116	55	8	7	1	1	0	0	—	—	—	—	337
	のり面総数	8,611	1,352	432	129	44	18	7	2	1	—	—	—	—	10,596
	被災率(%)	1.7	8.6	12.7	6.2	15.9	5.6	14.3	0.0	0.0	—	—	—	—	—
	崩壊土量(m ³ /箇所)	226	195	893	510	73	600	92	0	0	—	—	—	—	—

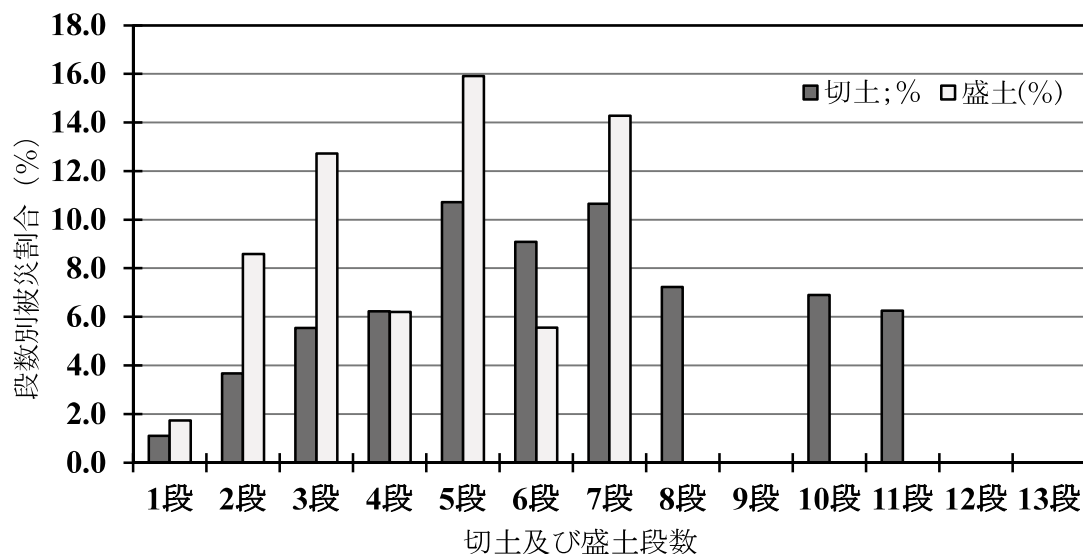


図-3.5 斜面構造(段数)別の被災割合

のり面の安定度は、点検の諸基準にも示されているとおり、その高さ(段数)が大きな影響を与える一つの素因であるという考え方が一般的である。これは、のり面の高さ(段数)が大きくなれば、崩壊の対象となる面積が広くなり不安定素因が増加するという事に起因している。特に、地質の影響を受ける長大切土のり面では、地山掘削による応力(地殻変動等による過去に受けた応力の残留分)開放の影響が、その後の風化にも影響を与えることが考えられる¹⁾。しかしながら、実際の崩壊は、必ずしもその高さ(段数)が大きいものほど崩壊しているとは限らない。これは、高速道路の長大切土のり面や高盛土の設計が、設計要領に示された標準勾配、保護工のみで判断することなく詳細な調査とのり面の安定検討を行う²⁾とされていることが原因の一つであると考えられる。

3.3.4 供用年数による発生傾向

切土・盛土のり面は、斜面構造、地質、地形に関わらず、施工直後の不安定期間に崩壊することが多い。

表-3.5は、供用後3年未満と3年超えの災害件数と各々が占める割合を、斜面種別(切土のり面、盛土のり面、自然斜面)毎に分類したものである。

供用後3年未満に発生した斜面災害は、1974年(昭和49年)から2012年(平成24年)3月末時点までの斜面災害全数(663件)に対し、295件(39.1%)を占めている。

斜面別に見ると、供用後3年未満で発生する災害は、切土のり面が全295件に対し91件(30.8%)、盛土のり面は全337件に対し160件(47.5%)、自然斜面は全31件に対し8件(25.8%)となっている。供用後3年超えで発生する災害は、切土のり面が204件(69.2%)、盛土のり面が177件(52.5%)、自然斜面が23件(74.2%)となっている。供用後3年未満に発生した比率では、盛土のり面が、切土のり面、自然斜面より大きいという結果になっている。

表-3.5 供用経過年数区分による斜面種別災害発生件数

	切土のり面		盛土のり面		自然斜面		合計	
	件数	率	件数	率	件数	率	件数	率
供用3年未満:a	91	a/c 30.8%	160	a/c 47.5%	8	a/c 25.8%	259	a/c 39.1%
供用3年超え:b	204	b/c 69.2%	177	b/c 52.5%	23	b/c 74.2%	404	b/c 60.9%
合計:c	295	100.0%	337	100.0%	31	100.0%	663	100.0%

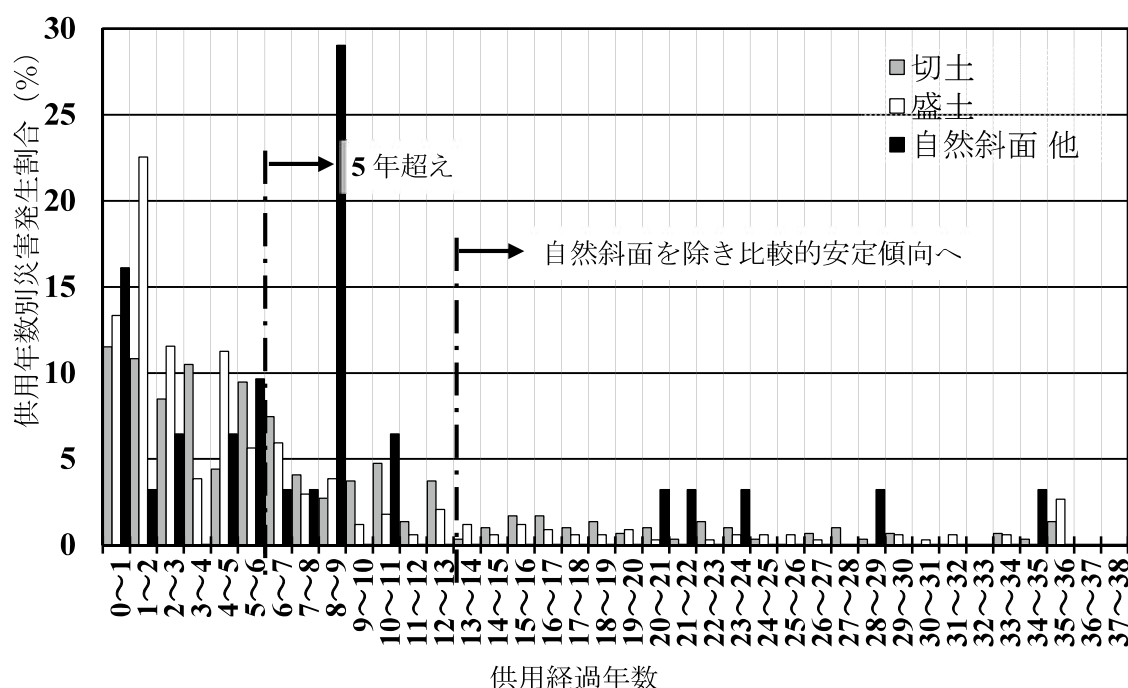


図-3.6 高速道路供用年数別災害発生割合の推移

図-3.6は、高速道路沿線の斜面種別毎の災害発生割合の供用経過年数推移を示している。災害発生件数をその当該供用経過年数ののり面総数量で除したものである。

盛土のり面の災害割合は、供用後5年までが多く、5年以降は切土のり面の方が多いという傾向がある。切土のり面は、掘削後の風化作用により、年々脆弱化する傾向にあることが原因の一つとして考えられる。切土・盛土のり面の災害発生割合は、いずれも供用年数が13年経過するまでその不安定さが継続する。切土・盛土のり面である人工斜面は、地形・地質やのり面形状に対する総合的な検討に基づいて設計され、浸食劣化を防止する保護工を含めて適正な管理に基づき施工することが前提²⁾になっており、崩壊が地形改変を伴う施工後の不安定さに影響を受けていることが大きいことに繋がっている。

自然斜面の災害発生割合は、供用年数が11年経過すると一旦減ってきているが、20年を超えたところで経過年数に関係なく再び発生している。災害記録によると、供用経過年数5年と10年は、1993年(平成5年)7月27日台風第5号による広島市北部の土砂災害であり、供用経過年数8年・21年・23年・28年・34年の全ての災害は、2009年(平成21年)7月21日の中国・九州北部豪雨によるもので、山口県西部に集中していた。自然斜面は、道路用地外であり、地形改変を伴わないため、施工後の不安定さに影響を受けにくいことと、地山風化及び間伐の遅れによる不十分な森林保全が進行していること³⁾に加え、局地的な集中豪雨を受けたことが大きな原因であると考えられる。供用経過年数の推移とともに安定しているとはいえない。

3.3.5 降雨特性と斜面災害

盛土(のり面)は、該当箇所もしくは近接する地山の地質が主体で構成されていると考えられるが、施工範囲や施工時期等により、他工区からの客土施工、購入による客土施工、構造物掘削残土の埋め戻し処理等も多々あり、その材質を近接する地山の地質で判断することは、非常に難しいと考えられる。しかし、切土のり面と自然斜面の崩壊は、該当箇所の地山地質が大きく影響を与えることから、本項以降は、この切土のり面と自然斜面の崩壊に着目する。

中国地方における高速道路の斜面災害は、1974年7月から2012年3月末時点までで663件を数え、全て降雨によるものである。このうち、切土のり面と自然斜面の災害は、326件である。表-3.6は、これらを地域(管理事務所)で分類したものである。また、各管理事務所は、所掌する路線延長と構造物保有比率が各々違うため、式(3)で示す土工延長(km)を分母とした災害発生指数 β を算出し、その傾向を分析した。

β : 災害発生指数(土工100kmあたりの発生頻度)

$$\beta = (\text{被災箇所数}/\text{土工延長}) \times 100 \quad (3)$$

表-3.6 地域(所掌事務所)別災害発生指数 β

事務所	主な通過地域(県)	土工延長(km)	斜面別被災箇所数		合計(箇所)	災害発生指数 β	災害発生指数順位
			切土のり面	自然斜面			
		a	b	c	d	d/a*100	
岡山(高)	岡山, 広島	71.4	15	2	17	23.8	8
津山(高)	岡山	99.9	24	2	26	26.0	7
福山(高)	広島	42.7	5	0	5	11.7	11
広島(高)	広島	76.4	13	4	17	22.3	9
三次(高)	広島	83.5	33	2	35	41.9	5
千代田(管)	広島, 島根	61.1	7	1	8	13.1	10
徳山(管)	山口	45.9	17	2	19	41.4	6
小郡(管)	山口, 島根	126.4	59	16	75	59.3	3
松江(高)	島根	38.7	35	0	35	90.4	2
浜田(管)	島根	58.3	66	0	66	113.2	1
米子(管)	鳥取, 岡山	40.4	21	2	23	56.9	4
合計		744.7	295	31	326	43.8	

表-3.7 地域(中国地方各県)別災害発生指数 β

地域(県)	土工延長(km)	斜面構造別被災箇所数		合計(箇所)	災害発生指数 β	災害発生指数順位
		切土のり面	自然斜面			
	a	b	c	d	d/a*100	
岡山県	210.4	56	6	62	29.5	4
広島県	240.0	74	7	81	33.8	3
山口県	155.4	75	18	93	59.8	2
島根県	115.8	84	0	84	72.5	1
鳥取県	23.1	6	0	6	26.0	5
合計	744.7	295	31	326	43.8	

災害発生指数 β の上位地域は、山口県の瀬戸内側西部(山陽道)と内陸部(中国道)、広島県中央内陸部(中国道)、浜田、松江、米子の山陰部に偏っている。これを各県別に区分したものが、表-3.7である。

また、これを2.2.2項に示す図-2.8の各県別年降水量の平均と比較したものが、図-3.7である。中国地方の年降水量平均値は1,510mm/地点・年で、各県平均値との増減割合(偏差)が、上は+15.1%(山口県)下は-15.8%(岡山県)である。これに対し災害発生指数 β の平均は43.8で、各県の偏差が、上は+65.5%(島根県)下は-40.6%(鳥取県)の差になっている。中国地方における斜面災害の誘因は、主に降雨であるが、年降水量と災害発生指数には、明瞭な関係が認められなかった。

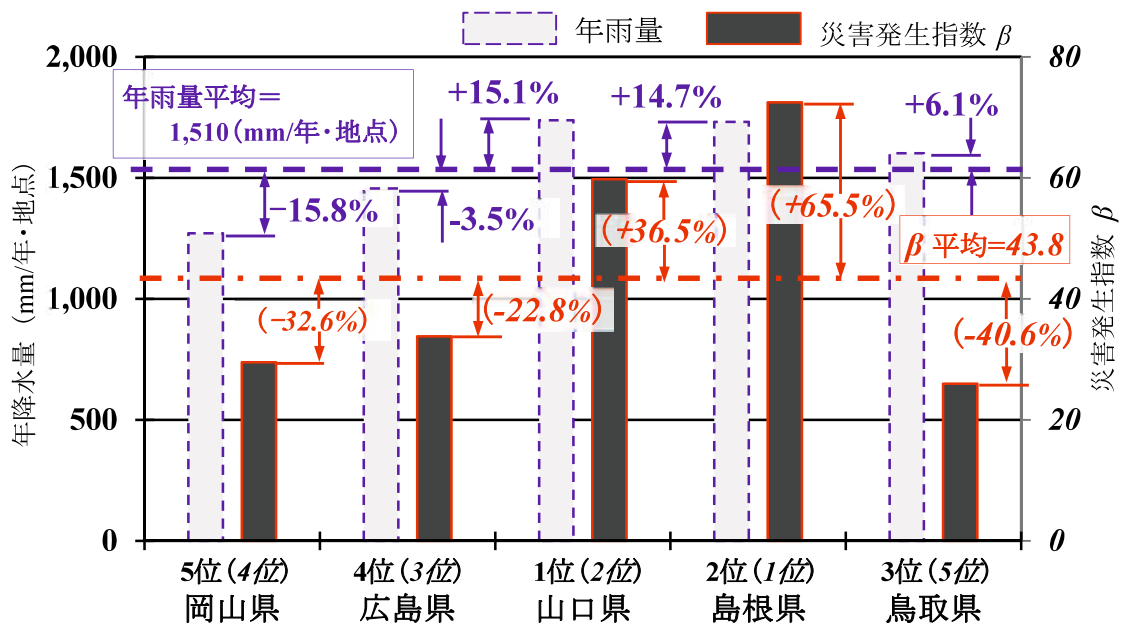


図-3.7 各県別降水量と災害発生指数 β の差

この結果は、中国地方各県の年降水量と災害発生指数を全体的な傾向として比較したものである。崩壊し易い所に集中豪雨等の発生が少なかったことも考えられ、詳細な降雨履歴との関係把握は今後の課題である。

3.3.6 切土のり面における災害発生部位

切土のり面は、自然地盤である地山を掘削した人工斜面である。極めて高い崩壊性要因を持つ地質のり面では詳細な設計検討を行うが、一般的な地質であれば基準等に記されている標準のり面勾配の範囲で決定できる。図-3.8は、その標準的な構成を表したもので、地山地表面から「土砂、軟岩、硬岩」が出現する。道路切土のり面での「土砂、軟岩、硬岩」は、掘削の施工性に応じて定義されたものであり、排土板で掘削できるものを土砂、リッパ作業によるものを軟岩、主に発破作業によって掘削する岩を硬岩と呼ぶことが一般的である^{4),5)}。従って切土のり面は、一般的に道路計画地点より地山地表面に近い上段の地層の方が、より軟らかく緩いものであり、土砂から軟岩、硬岩が発現する下段のり面は、その勾配がきつくなっている。

斜面災害は図-3.9に示すとおり、降雨を誘因とする崩壊の約90%は深度3m未満で生じており、深度5m未満ではほぼ100%に達している^{6),7)}。

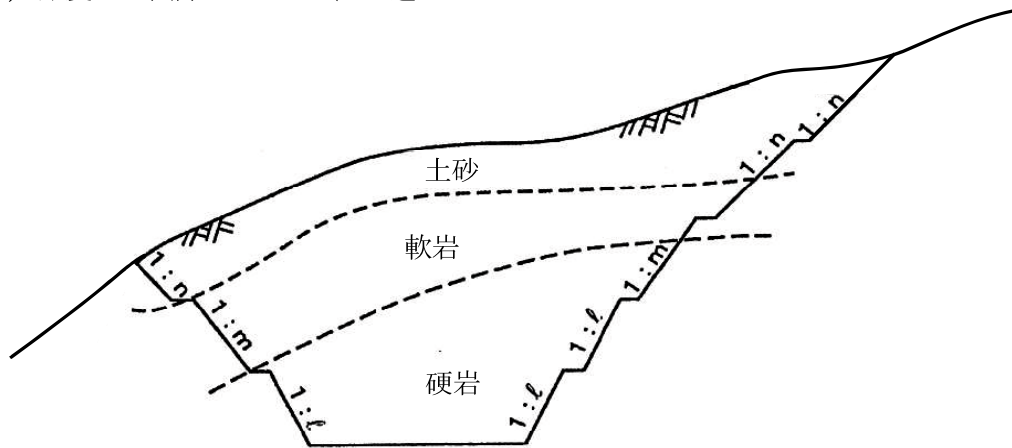


図-3.8 切土のり面の標準的な構成

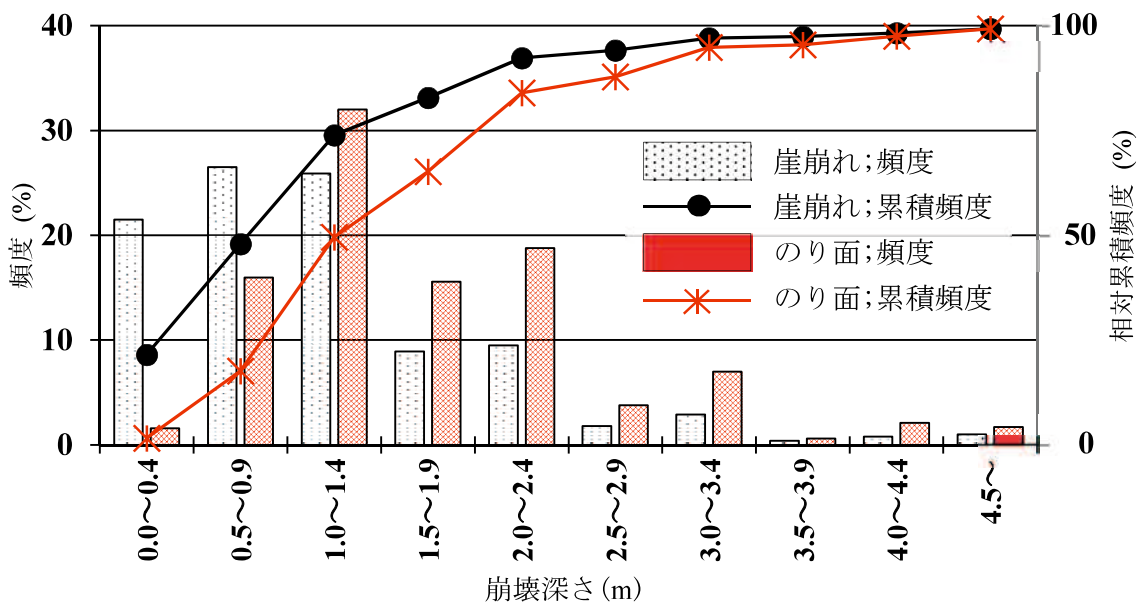


図-3.9 崖崩れ・のり面崩壊の深さ(m)と発生頻度^{5),6)}

斜面災害の素因は、土質・岩質条件の物性と地層がどのように構成されているかという地質構造が挙げられる⁶⁾。斜面災害の発生深度は5m未満でほぼ100%であり、表層5m(深度5m)までの物性と地質構造が大きく影響を受ける。

中国地方の高速道路における切土のり面災害は、1974年(S49)から2012年(H24)3月末時点までに、295件が記録されており、このうち81.7%(241件)は源頭部である切土のり面の最上段に崩壊損傷痕が見られる。崩壊形態が不明なもの(20件)を含めると88.5%(261件)になる。

表-3.8 中国支社地方における高速道路切土のり面災害の発生部位

事務所	主な通過地域(県)	災害箇所数	損傷部位別(箇所)					
			最上段	不明	計	率	最上段以外	率
岡山(高)	岡山, 広島	15	12	1	13	86.7%	2	13.3%
津山(高)	岡山	24	11	8	19	79.2%	5	20.8%
福山(高)	広島	5	5	—	5	100.0%	—	0.0%
広島(高)	広島	13	13	—	13	100.0%	—	0.0%
三次(高)	広島	33	24	8	32	97.0%	1	3.0%
千代田(管)	広島, 島根	7	6	—	6	85.7%	1	14.3%
徳山(管)	山口	17	16	—	16	94.1%	1	5.9%
小郡(管)	山口, 島根	59	54	1	55	93.2%	4	6.8%
松江(高)	島根	35	24	—	24	68.6%	11	31.4%
浜田(管)	島根	66	57	1	58	87.9%	8	12.1%
米子(管)	鳥取, 岡山	21	19	1	20	95.2%	1	4.8%
合計		295	241	20	261	88.5%	34	11.5%

のり面小段より下方の小崩壊や植生のり面工の肌落ち等においても、切土のり面最上段及びその上方自然斜面の脆弱な土砂部でガリー浸食が発達し、雨水の流入とともにのり面排水工の跳水、越流等によって崩落している。切土のり面は、地山表層から下方に向けて「土砂～軟岩～硬岩層」が発現し、表層風化された脆弱な土砂部が存在する地山付近の最上段のり面が損傷を受けやすいと考えられる。一方、地形的観点から見ると切土のり面のり肩付近は遷緩変化点であるため、固結度の低い土砂層の斜面災害はこの付近から発生することが多いといえる。

従って、点検要領等では、切土のり面点検の留意事項において「のり肩上部地山」の現況把握が優先事項として記されている^{8),9)}。

斜面災害の大部分が切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生しており、この部分脆弱な土砂部は災害が発生しやすい。

3.4 まとめ

本章では、中国地方の高速道路斜面災害の概要を全国の他の地域と比較し、災害の傾向を把握することを行った。斜面災害は、1974年(昭和49年)から2012年(平成24年)3月末時点までに、663件が記録されており、全て降雨が誘因である。

中国地方における高速道路斜面及び災害の特徴と傾向をまとめると以下のようなになる。

- 1) 中国地方は、のり面保有率とトンネル保有率は、全国第1位となっている。中国地方の山地・丘陵地率が第1位であることと繋がり、数多くの道路斜面を有す。
- 2) 中国地方の高速道路斜面は、切土のり面が8,088箇所、盛土のり面が10,596箇所、自然斜面が4,037箇所である。高速道路用地内の切土のり面と盛土のり面だけでも18,684箇所に上り、膨大な数量の点検が課題である。
- 3) 中国地方の高速道路斜面災害の誘因は全て降雨である。その発生件数の総数は663件で、全体の44.5%(295件)が切土のり面、50.8%(337件)が盛土のり面、4.7%(31件)が土石流を含む自然斜面となっている。
- 4) 路線毎の災害件数は中国自動車道、山陽自動車道、浜田自動車道の順になっているが、災害発生率で路線を高い順に見ると、浜田自動車道、山陰自動車道、松江自動車道、江津道路の順になり、上位は全て山陰側の路線であった。
- 5) のり面崩壊は、必ずしもその高さ(段数)が大きいものほど崩壊しているとは限らない。
- 6) 切土・盛土のり面は、供用年数が10数年経過するまでその不安定さが継続するが、自然斜面は、供用経過年数と災害発生に対する関連性は低い。
- 7) 降雨を誘因とする斜面災害の約90%は深度3m未満で生じており、深度5m未満でほぼ100%に達している。表層崩壊が大部分を占める。
- 8) 切土のり面災害の88.5%は、のり面の最上段及びその上方の自然斜面から崩壊している。固結度の低い土砂層の斜面災害は、のり肩付近は遷緩変化点で発生しやすい。

第3章の参考文献

- 1) 奥園誠之：斜面防災 100 のポイント， pp.67-70， 鹿島出版会， 2006.
- 2) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株)：設計要領第一集， 第2章， pp.10-11， 第3章， pp.12-13， 2010.
- 3) 森林保全・管理技術研究会：森林保全・管理技術の現状と今後のあり方， 社団法人国土緑化推進機構「緑と水の森林基金」事業助成 報告書， pp.7-17， 2012.
- 4) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株)：設計要領第一集， 第3章， pp.1-18， 第3章， pp.12-13， 2010.
- 5) (社)日本道路協会， 道路土工 切土・斜面安定工指針， pp.123-190. 2009.
- 6) 奥園誠之：斜面防災 100 のポイント， 172pp.， 鹿島出版会， 2006.
- 7) 小山内信智， 富田陽子， 秋山一弥， 松下智祥：がけ崩れ災害の実態， 国土技術政策総合研究所資料， 国総研資料第 530 号， pp.75-79， 2009.
- 8) (社)日本道路協会， 道路土工 切土・斜面安定工指針， pp.1623-163. 2009.
- 9) 佐々木靖人， 小橋秀俊， 浅井健一：防災点検の有効性と災害の提言に向けて・道路防災総点検の手引き， pp.1-80， 全国地質調査業協会連合会， 2013.

第 4 章

第4章 高速道路の斜面災害発生箇所と表層地質

4.1 はじめに

斜面災害の素因は、土質・岩質条件の物性と地層がどのように構成されているかという地質構造が挙げられる¹⁾。前章で述べたとおり、降雨を誘因とする斜面災害の約90%は深度3m未満で生じており、深度5m未満でほぼ100%に達している¹⁾²⁾。本章では、表層5m(深度5m)までの物性と地質構造が大きく影響を受けるため、高速道路の斜面災害発生箇所と表層地質についての関連性をまとめる。

高速道路の斜面災害箇所と表層地質の関係は、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路を挟む2km巾の表層地質図」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、該当箇所の地山地質が大きく影響を与える「切土のり面」と「自然斜面」を対象に分析を行った。

4.2 高速道路沿線の表層地質分布特性

高速道路沿線の地質分布は、技術資料として整理されていた「高速道路を挟む2km巾の表層地質図(以下地質概要図という)³⁾」を基に、空間分析を行って算出した。地質概要図は、調査時に複数段階で実施される「予備調査、概略調査、第1次・第2次土質調査」等の報告書で作成された地質平面図を基にベクトル処理と座標標定を行い、高速道路沿線の後背地を含む約2km幅を基本に作成したものである。上述の報告書に記載されていない地域及びエリアについては、独立行政法人産業技術総合研究所が作成した全国統一基準の地質図(20万分の1 日本シームレス地質図)を基に作成している。

地質概要図の地質区分は、表層を覆う土壌や草木以外の地殻表面の岩石(未固結の碎屑物も含む)を、その種類又は岩相(堆積相、変成相、変形相なども含む)と時代とで区別したものである⁴⁾。シームレス地質図の基本定義を指標とし、報告書等で定義された地質と竣工段階の最終地質データに基づいて各情報の対比整合を図るとともに、中国地方で一般的に使用される地質区分名に集約定義した。なお、本地質区分は、その年代や解釈等が最新の地質学的知見と異なる場合があるが、当時の報告書に詳細に記載された地質特性評価や災害脆弱性の指摘に従い忠実に再現したものである。これらを踏まえて、高速道路沿線の地質区分の統合整理を行った結果は、表-4.1に示すとおりである。道路斜面における防災管理上のデータ取扱いを考慮して、43種類に絞り込んだ統一地質区分を設定している。

高速道路沿線における地質分布の分析は、表-4.1に示した43種類の統一地質区分で道路を挟む2.0km幅を基本とした分布面積を算出して整理を行った。高速道路沿線における地質分布の面積比率と分布順位を表-4.2に示す。

表-4.1 中国地方の高速道路沿線における統一地質区分

地質年代			No	記号	地質区分名	代表的な岩種及び土質	
代	紀	世					
人工構造物			1	B	盛土	砂・シルト(堰堤盛土も含む)	
新生代	第四紀	完新世	2	al	沖積層	砂・シルト・粘土	
			3	dt	崖錐堆積物	砂礫・砂・シルト・粘土	
			4	tr	段丘堆積物	礫・砂礫・砂・粘土	
			5	df	土石流堆積物	礫・砂礫	
			6	Sg	西条層	砂礫層・シルト層	
		更新世	7	Py	大山火山岩類	安山岩類・同質火砕岩類	
			8	Ab	大山・青野火山岩類	安山岩	
			9	Ts	都野津累層	礫岩・泥岩・凝灰岩	
			10	An	三平山安山岩	安山岩類	
	第三紀	鮮新世	11	Yg	山砂利層	礫岩	
			中新世	12	Fm	布志名層	シルト岩および泥岩
		13		Os	大森層(1)	砂岩・泥岩・凝灰岩など	
		14		Ad	大森層(2)	安山岩・安山岩質凝灰岩	
		15		Rt	久利層	砂岩・礫岩・泥岩・流紋岩類	
		16		Kw	川合層	砂岩・礫岩・泥岩・流紋岩類	
		17		Bi	備北層群	シルト岩・砂泥互層・砂岩・礫岩	
		18		Fu	福山累層	礫岩・砂岩・泥岩	
		始新世		19	Us	宇部層群	砂岩・泥岩・凝灰岩
				20	Dk	岩脈類	花崗斑岩・流紋岩・斑れい岩
		新生代 ～中生代	第三紀 ～白亜紀		21	Gr	花崗岩類
22	Gd		花崗閃緑岩	花崗閃緑岩			
23	Rt		流紋岩類	流紋岩・石英安山岩質凝灰岩			
中生代	白亜紀	後期	24	Sl	周南層群	流紋岩・デイサイト・凝灰岩	
			25	Qd	石英閃緑岩	石英閃緑岩→花崗閃緑岩	
		前期	26	Ka	関門層群	砂岩・頁岩・安山岩類	
			27	Sm	下関亜(関門)層群	安山岩類・火砕岩類	
			28	Rp	領家変成岩類	はんれい岩・片麻岩・片岩	
	29	Rt	酸性凝灰岩層	流紋岩類			
	ジュラ紀		30	Tu	豊浦層群	砂岩・頁岩・砂岩頁岩互層	
	三疊紀	後期	31	Hi	広野累層	頁岩・砂岩・礫岩	
			前期	32	Ku	玖珂層群	礫質泥岩・シルト質泥岩・チャート
		33		Mn	美祢層群	頁岩・砂岩・礫岩・石炭・石灰岩	
		34	At	厚保層群	頁岩・砂岩・礫岩・石炭・石灰岩		
中生代 ～古生代	白亜紀 ～二疊紀		35	Ad	安山岩・同質火砕岩類	安山岩類・同質火砕岩類	
古生代	二疊紀	後期	36	Ma	舞鶴層群	砂岩・頁岩・緑色岩・玄武岩	
			37	Ya	夜久野複合岩類	はんれい岩・玄武岩・蛇紋岩	
	石炭紀 ～二疊紀	38	Sp	三郡変成岩類	泥質片岩・砂質片岩・珪質片岩		
		39	Ub	塩基性岩類	塩基性片岩・蛇紋岩・はんれい岩		
		40	Pc	古生層	粘板岩・砂岩・チャート・石灰岩		
第四紀・完新世			41	sd	砂丘堆積物	砂	
			42	(fd)	扇状地堆積物	砂礫・礫	
人工構造物			43	W	ため池・貯水池	ため池・貯水池等湛水面	

表-4.2 高速道沿線における地質分布面積比率と分布順位

CD	地質区分名	岡山県		鳥取県		広島県		島根県		山口県		中国地方	
		面積率	順位	面積率	順位	面積率	順位	面積率	順位	面積率	順位	面積率	順位
		%		%		%		%		%		%	
B	盛土	0.177	19	0.033	8	0.437	15	0.394	17	0.530	16	0.367	25
al	沖積層	21.941	—	22.697	—	15.217	—	18.871	—	18.130	—	18.502	—
dt	崖錐堆積物	11.306	—	10.201	—	12.526	—	10.761	—	13.208	—	12.034	—
tr	段丘堆積物	3.079	7	5.720	3	2.665	7	0.967	12	2.869	5	2.687	6
df	土石流堆積物	0.051	21	0.000	9	2.578	8	0.000	20	0.074	22	0.866	16
Sg	西条層	0.000	23	0.000	9	0.723	13	0.000	20	0.000	23	0.234	32
Py	大山火山岩類	1.180	11	41.491	1	0.000	22	0.000	20	0.000	23	1.472	10
Ab	大山・青野 火山岩類	0.000	23	0.000	9	0.357	17	0.000	20	0.617	14	0.257	30
Ts	都野津累層	0.000	23	0.000	9	0.000	22	6.498	6	0.000	23	0.867	15
An	三平山安山岩	0.407	18	3.927	4	0.000	22	0.000	20	0.000	23	0.224	34
Yg	山砂利層	2.501	8	0.000	9	1.270	10	0.000	20	0.000	23	1.127	11
Fm	布志名層	0.000	23	0.000	9	0.000	22	3.053	10	0.000	23	0.407	24
Os	大森層(1) ※1	0.000	23	0.000	9	0.000	22	6.665	5	0.000	23	0.889	14
Oa	大森層(2) ※2	0.000	23	0.154	7	0.000	22	8.343	3	0.000	23	1.118	12
Kr	久利層	0.000	23	1.856	5	0.000	22	5.109	7	0.000	23	0.732	18
Kw	川合層	0.000	23	0.000	9	0.000	22	0.693	15	0.000	23	0.093	37
Bi	備北層群	6.600	4	0.000	9	3.568	4	0.000	20	0.000	23	3.044	5
Fu	福山累層	0.565	15	0.000	9	0.845	12	0.000	20	0.000	23	0.435	22
Us	宇部層群	0.000	23	0.000	9	0.000	22	0.000	20	1.878	8	0.431	23
Dk	岩脈類	0.154	20	0.000	9	0.256	19	0.416	16	0.185	20	0.225	33
Gr	花崗岩類	13.815	1	13.752	2	38.181	1	11.501	1	26.079	1	24.201	1
Gd	花崗閃緑岩	0.439	17	0.000	9	0.582	14	3.150	9	0.000	23	0.734	17
Rt	流紋岩類	12.471	2	0.000	9	6.734	2	9.325	2	2.644	6	7.601	2
Sl	周南層群	0.000	23	0.000	9	0.000	22	0.000	20	1.573	10	0.361	26
Qd	石英閃緑岩	0.000	23	0.000	9	0.000	22	0.000	20	0.610	15	0.140	35
Ka	関門層群	0.490	16	0.000	9	0.010	21	0.102	18	0.750	13	0.329	28
Rp	領家変成岩類	0.000	23	0.000	9	0.000	22	0.000	20	4.017	4	0.921	13
Tu	豊浦層群	0.000	23	0.000	9	0.000	22	0.000	20	0.290	19	0.066	39
Hi	広野累層	0.881	13	0.000	9	0.000	22	0.000	20	0.000	23	0.252	31
Ku	玖珂層群	0.000	23	0.000	9	4.595	3	0.000	20	1.861	9	1.913	8
Mn	美祢層群	0.000	23	0.000	9	0.000	22	0.000	20	1.136	12	0.260	29
At	厚保層群	0.000	23	0.000	9	0.000	22	0.000	20	1.471	11	0.337	27
Ad	安山岩類 ・同質火砕岩類	2.263	9	0.000	9	1.386	9	1.946	11	1.967	7	1.807	9
Ma	舞鶴層群	4.246	6	0.000	9	3.056	6	0.000	20	0.000	23	2.204	7
Ya	夜久野複合岩類	1.619	10	0.000	9	0.277	18	0.000	20	0.000	23	0.553	20
Sp	三郡変成岩類	9.502	3	0.000	9	0.000	22	3.488	8	14.471	2	6.504	3
Ub	塩基性岩類	1.111	12	0.000	9	0.914	11	0.000	20	0.110	21	0.639	19
Pc	古生層	4.623	5	0.000	9	3.455	5	7.244	4	4.755	3	4.499	4
Sd	砂丘堆積物	0.000	23	0.000	9	0.000	22	0.740	13	0.000	23	0.099	36
fd	扇状地堆積物 崖錐堆積物一部	0.008	22	0.000	9	0.014	20	0.011	19	0.367	18	0.093	37
W	ため池・貯水池	0.571	14	0.169	6	0.357	16	0.724	14	0.409	17	0.474	21
		100.000		100.000		100.000		100.000		100.000		100.000	

※1 大森層(1) ; 砂岩, 泥岩, 凝灰岩, 礫岩からなる第三紀後期の堆積岩類

※2 大森層(2) ; 玄武岩, 安山岩, 凝灰角礫岩を主体とした第三紀後期の火山岩類

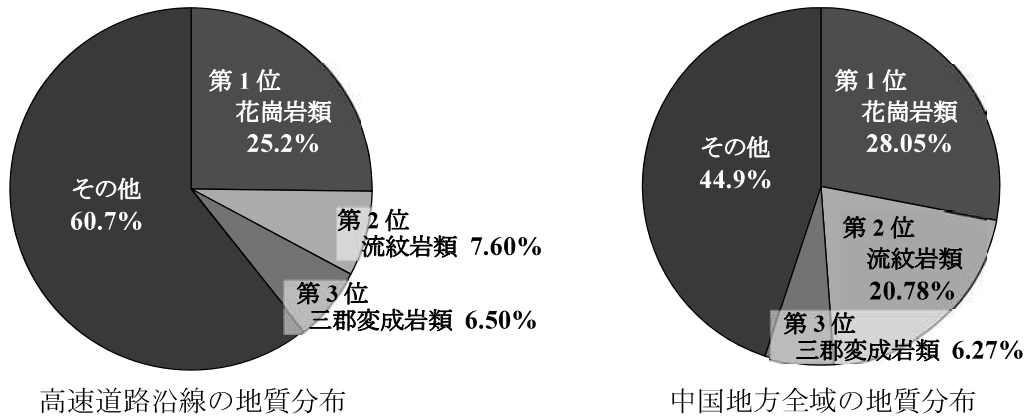


図-4.1 中国地方全域と高速道路沿線の地質分布率

高速道路沿線の地質分布は中国地方全域の分布傾向と同様に、花崗岩類の広い分布が大きな特徴として挙げられる。主な地質分布の構成は、図4.1に示すとおり、第三紀から白亜紀の花崗岩類の分布が第1位となっている。橋梁区間や盛土施工区間が主体である沖積層、崖錐堆積物層を除くと、流紋岩類、三郡変成岩類がこれに続いている。高速道路沿線と中国地方全体の主な地質の分布を比較すると、花崗岩類と三郡変成岩類はほぼ同様の分布率であるが、第2位の流紋岩類で10%強の開きがある。流紋岩類は、山口県中央北部から島根県西部及び広島県北部の急峻な中国山地を中心とした広い範囲で分布しており、流紋岩類の分布率の差は、高速道路がこの中国山地を避けて計画された影響である。

4.3 表層地質区分毎の災害発生傾向

中国地方における高速道路の斜面災害と表層地質による評価は、表-4.1の43区分を基本に分析を行った。切土のり面と自然斜面の崩壊は、該当箇所の後背地を含めた地質が大きく影響を与えるため、被災箇所数を該当地質分布面積(km²)で除し、各地質に対する100km²あたりの災害発生指数 β' を式(4)により算出し、表-4.3、図-4.2にまとめた。

β' ：災害発生指数(土工100km²あたりの発生頻度)

$$\beta' = (\text{被災箇所数} / \text{地質分布面積}) \times 100 \quad (4)$$

表-4.3 地質区分ごとの災害発生箇所数と災害発生指数 β'

記号	地質区分名	地質面積 分布面積 km ² ; a	地質区分ごとの災害発生箇所・災害発生頻度				
			切土のり面	自然斜面	切土のり面+自然斜面 計		
			b 地質毎の 災害発生 箇所数	c 地質毎の 災害発生 箇所数	d = b + c Σ箇所	災害 発生指数 β' d / a * 100	β' 順位
al	沖積層	371.59	2		2	0.538	30
dt	崖錐堆積物	239.84	17	7	24	10.007	25
tr	段丘堆積物	56.33	10		10	17.753	18
df	土石流堆積物	17.50	3		3	17.143	20
Py	大山火山岩類	30.54	6		6	19.646	16
Ts	都野津累層	18.61	25		25	134.336	3
Yg	山砂利層	23.88	3		3	12.563	23
Fm	布志名層	3.00	3		3	100.000	6
Os	大森層(1)	14.22	18		18	126.582	4
Ad	大森層(2)	10.41	6		6	57.637	10
Rt	久利層	1.73	4		4	231.214	1
Kw	川合層	3.64	3		3	82.418	8
Bi	備北層群	63.40	13	1	14	22.082	14
Fu	福山累層	5.66	1		1	17.668	19
Us	宇部層群	7.83	8	7	15	191.571	2
Dk	岩脈類	5.85	1		1	17.094	21
Gr	花崗岩類	482.94	90	9	99	20.499	15
Gd	花崗閃緑岩	14.97	5		5	33.400	12
Rt	流紋岩類	156.31	15		15	9.596	26
Ka	関門層群	6.88	6	1	7	101.744	5
Hi	広野累層	5.18	1		1	19.305	17
Ku	玖珂層群	38.83	2		2	5.151	28
Mn	美祢層群	4.70	3		3	63.830	9
At	厚保層群	7.00	6		6	85.714	7
Ad	安山岩類 ・同質火砕岩類	38.19	12	1	13	34.040	11
Ma	舞鶴層群	44.35	1	1	2	4.510	29
Ya	夜久野複合岩類	11.01	1		1	9.083	27
Sp	三郡変成岩類	129.81	11	3	14	10.785	24
Ub	塩基性岩類	13.26	3		3	22.624	13
Pc	古生層	102.05	16	1	17	16.659	22
	合計	1,929.51	295	31			

新生代(第四紀)

新生代(第三紀)

中生代

古生代

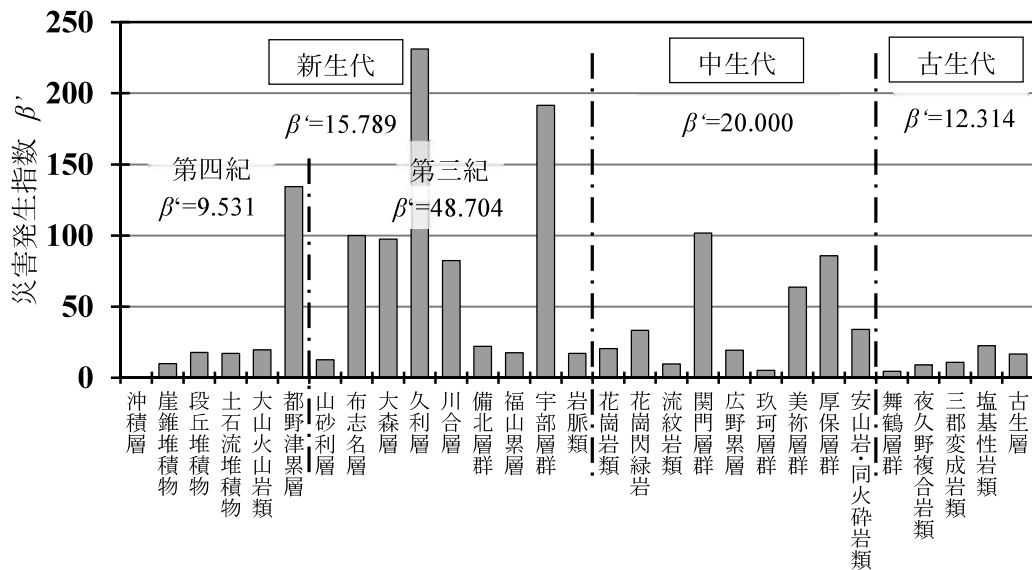


図-4.2 中国地方の高速道路の地質別災害発生指数 β'

切土のり面の災害発生箇所数は、第1位が花崗岩類で90件(全体の約30%)で圧倒的に多くなっており、都野津累層、大森層、崖錐堆積物と続いている。自然斜面では、件数は少ないが、花崗岩類、宇部層群、崖錐堆積物で多く発生している。災害発生箇所数は、花崗岩類が圧倒的に多くなっているが、これは、分布面積の大きさが起因していると考えられる。沖積層の大部分は、橋梁や盛土で施工されているため災害発生件数が少ない。

災害発生箇所数は、分布面積に影響されるため災害発生指数 β' で比較した。花崗岩類の β' は中位(第15位)で、上位は比較的新生代第三紀層から第四紀初期に偏っている

これらのうち、布志名層・大森層・久利層・川合層は、島根県と鳥取県に点在し、新生代第三紀の著しく変質を受けた火山噴出物であるグリーンタフ(主に頁岩・泥質片岩・泥岩・凝灰岩で構成される)と称されている⁵⁾。

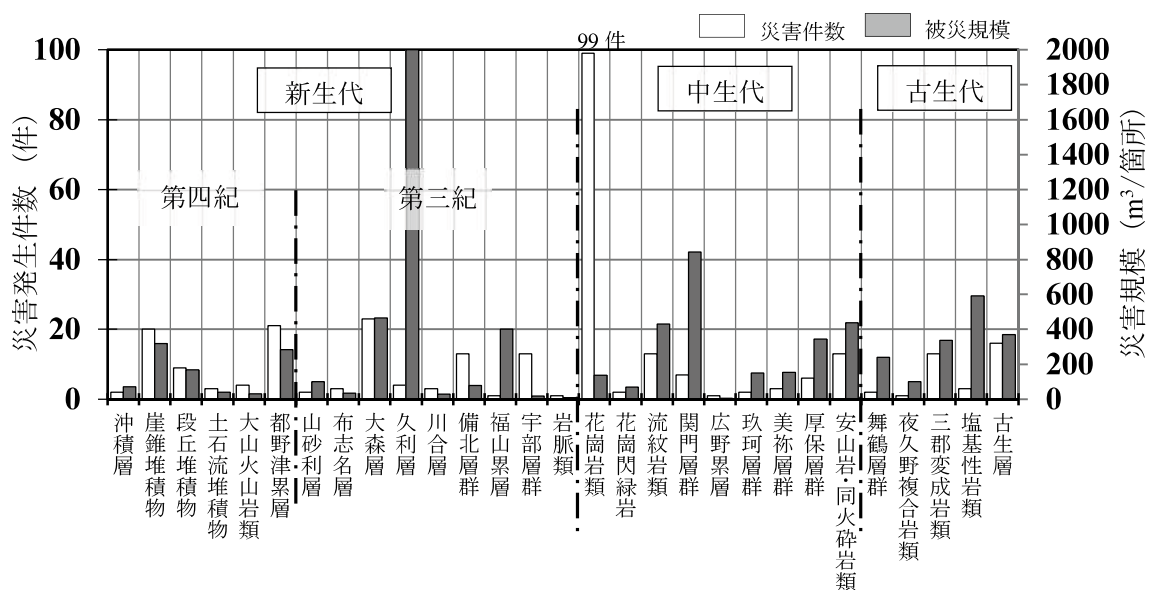


図-4.3 中国地方の高速道路の地質別災害件数と災害規模

図-4.3は、地質別災害件数と箇所あたり平均災害規模を示している。災害箇所数は花崗岩類が突出しているが、災害規模は、久利層が圧倒的に大きく関門層群、塩基性岩類と続いている。これ以外では、地質区分毎に多少の差はあるが450m³/箇所以下となっている。

久利層は、凝灰質泥岩と砂礫を主体とした堆積層である⁶⁾。崩壊箇所は、全て島根県山陰沿岸部を通過する山陰道の下り車線(山口方面へ向かう車線)側北向き斜面で、日本海側に向かって緩い流れ盤構造を呈しており、明瞭な脆弱層を介在した地すべり性崩壊であることが災害記録に記載されている。関門層群は、山口県北西部と岡山県中部の備中地域に分布する凝灰岩質泥岩を主体とした砂礫と火山砕屑岩層及び頁岩が挟在した堆積層である。比較的堅固な地層であるが、貫入岩接触部付近では亀裂が多く見られる⁷⁾。災害記録によると、関門層群の斜面崩壊は岩盤崩壊型の災害が多く見られた。塩基性岩類は山口県西部及び広島県から岡山県の中国道筋に分布し、蛇紋岩、斑れい岩を主体としている⁸⁾。斜面崩壊は、蛇紋岩が著しく変質風化した粘土質のり面で発生しているが被災規模の差異は大きいものであった。

次に、中国地方の30%近くを占め代表的な地質である花崗岩類に着目する。

図-4.2、図-4.3に示すように花崗岩類の災害発生件数は際立って多いが、災害発生指数 β は低く、地質分布面積が大きいため件数が突出したという結果になっている。災害発生件数は、切土のり面と自然斜面を合わせて99件である。図-4.4に示すように、被災規模は小さいものが多く100m³以下が66.7%であり、このうち、切土のり面災害の半数は、50m³以下であった。比較的軽微な土砂流出が多くを占めている。

99件のうち、自然斜面災害は9件である。表-4.4に内訳を示す。自然斜面災害9件中6件は、600m³を超える大規模な土石流である。

図-4.5は、図-4.4を各県別に分類したものである。

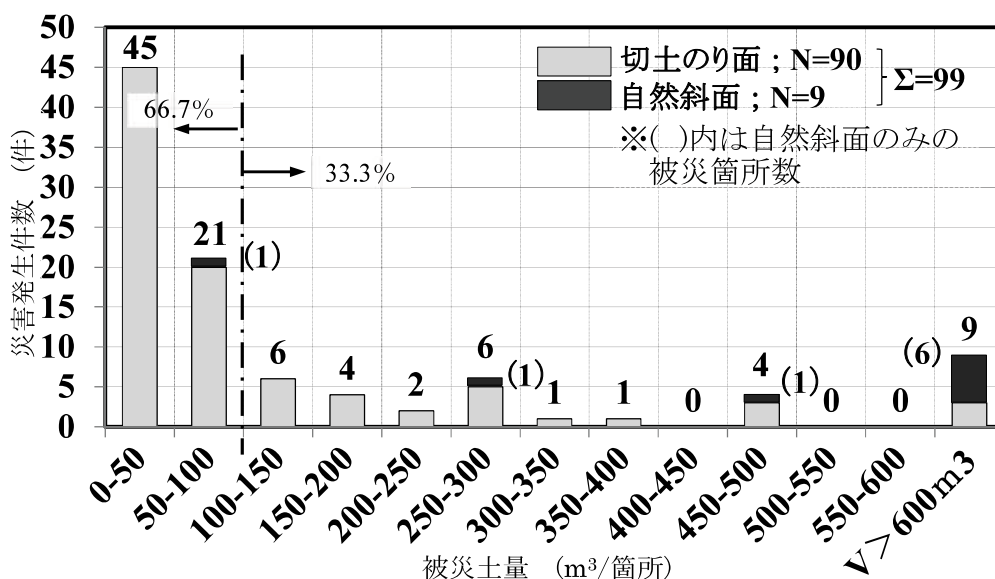


図-4.4 中国地方高速道路の花崗岩地域被災規模傾向

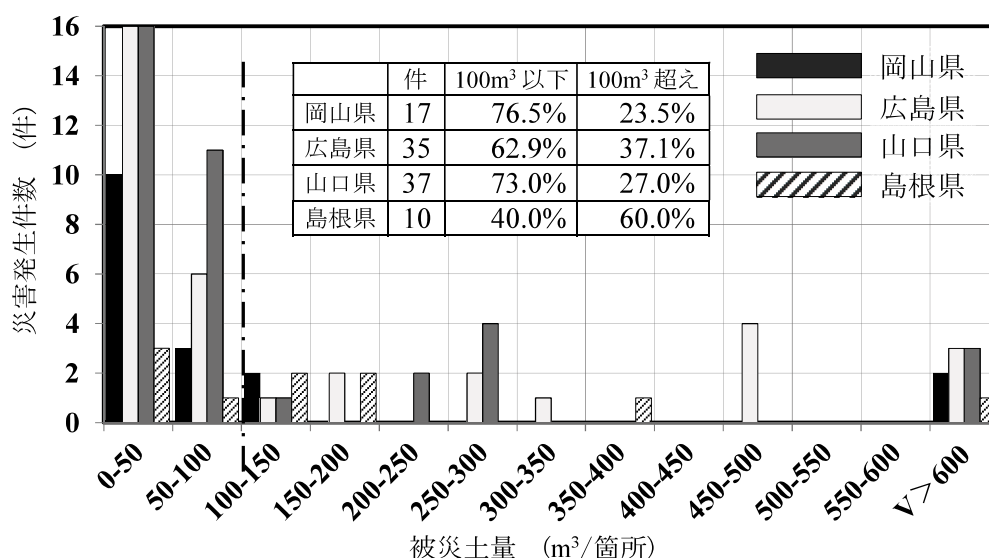


図-4.5 中国地方高速道路の県別花崗岩類被災規模傾向

表-4.4 花崗岩地域における自然斜面の被災規模

路線名	インター間	被災土量 (m³)	災害形態	発生日
1.山陽自動車道	防府西 IC～山口南 IC	80	土砂流出+切土	2009/7/21
2.山陽自動車道	植生 IC～下関 JCT	300	土石流+切土	2009/7/21
3.山陽自動車道	西条 IC～志和 IC	500	土石流	1993/7/28
4.山陽自動車道	西条 IC～志和 IC	700	土石流	1999/6/29
5.中国自動車道	徳地 IC～山口 IC	800	土石流	1981/6/26
6.広島自動車道	西風新都 IC～広島 JCT	2,000	土石流	2005/9/7
7.中国自動車道	徳地 IC～山口 IC	3,000	土石流	1981/4/5
8.山陽自動車道	防府西 IC～山口南 IC	3,000	土石流	1993/8/3
9.米子自動車道	久世 IC～湯原 IC	7,500	土石流	1997/8/5

中国地方の山陰側を除く全域に広く分布している花崗岩類は、鳥取県を除いて被災履歴があるが、その多くは小規模である。山口・広島・岡山各県の被災規模は、各々件数の差はあるが100m³以下が半数以上を占めている。

中国地方広域に分布する花崗岩類は、その主要なものが粗粒花崗岩で、石英が多く有色鉱物が少ないことから、粘着力が小さく、透水係数が大きいため、表面浸食を受けやすい⁹⁾。従って、花崗岩類の風化土砂(まさ土)が主体の斜面は、降雨による掘れ溝(ガリー)が発生しやすく、これが進行した土砂流出と小規模な表層崩壊が数多く発生する^{10),11)}。また、まさ土は、保肥性と保水性が乏しいため植生のり面工の育成繁茂に問題があり¹²⁾、災害記録によると植生のり面工の肌落ちも数多く発生している。

表-4.5は、災害が発生した地質の分布(面積率)と件数及び災害発生指数 β' を各県別に分類整理したものである。

表-4.5 地質区分毎の県別分布率と災害発生件数及び災害発生指数 β'

時代	地質区分名	地質分布率(面積率);%					災害発生件数					災害発生指数 β'				
		岡山	広島	山口	島根	鳥取	岡山	広島	山口	島根	鳥取	岡山	広島	山口	島根	鳥取
新生代(第四紀)	沖積層	21.94	15.22	18.13	18.87	22.70	1	1				0.77	0.98			
	崖錐堆積物	11.31	12.53	13.21	10.76	10.20	5	5	7	5	2	7.44	5.94	11.13	16.77	34.53
	段丘堆積物	3.08	2.67	2.87	0.97	5.72	3	6	1			16.38	33.51	7.32		
	土石流堆積物	0.05	2.58	0.07	0.00	0.00		3					17.32			
	大山火山岩類	1.18	0.00	0.00	0.00	41.49	2				4	28.51				16.98
	都野津累層	0.00	0.00	0.00	6.50	0.00					25					138.85
新生代(第三紀)	山砂利層	2.50	1.27	0.00	0.00	0.00	1	2				6.72	23.44			
	布志名層	0.00	0.00	0.00	3.05	0.00				3					35.46	
	大森層	0.00	0.00	0.00	15.01	0.15				24					57.71	
	久利層	0.00	0.00	0.00	5.11	1.86				4					28.26	
	川合層	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00				3					156.15	
	備北層群	6.60	3.57	0.00	0.00	0.00	6	8				15.29	33.37			
	福山累層	0.57	0.85	0.00	0.00	0.00	1					29.79				
	宇部層群	0.00	0.00	1.88	0.00	0.00			15						167.72	
	岩脈類	0.15	0.26	0.19	0.42	0.00	1					109.17				
	中生代	花崗岩類	13.82	38.18	26.08	11.50	13.75	17	35	37	10		20.70	13.64	29.80	31.38
花崗閃緑岩		0.44	0.58	0.00	3.15	0.00				5					57.28	
流紋岩類		12.47	6.73	2.64	9.33	0.00	5	5		5		6.74	11.05		19.35	
関門層群		0.49	0.01	0.75	0.10	0.00	1		6			34.30		167.99		
広野累層		0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	1					19.09				
玖珂層群		0.00	4.60	1.86	0.00	0.00		2					6.48			
美祢層群		0.00	0.00	1.14	0.00	0.00			3						55.49	
厚保層群		0.00	0.00	1.47	0.00	0.00			6						85.68	
安山岩類 同火砕岩類		2.26	1.39	1.97	1.95	0.00	4	4	5			29.72	42.94	53.39		
古生代	舞鶴層群	4.25	3.06	0.00	0.00	0.00	2					7.92				
	夜久野複合類	1.62	0.28	0.00	0.00	0.00	1					10.39				
	三郡燧石岩類	9.50	0.00	14.47	3.49	0.00	6		8			10.62		11.61		
	塩基性岩類	1.11	0.91	0.11	0.00	0.00	3					45.43				
	古生層	4.62	3.46	4.76	7.24	0.00	2	10	5			7.28	43.08	22.09		
全地質	—	—	—	—	—	62	81	93	84	6	10.60	13.08	28.48	45.57	20.44	

※災害発生指数の中国地方平均値=18.73

中国地方各県の特徴は、以下に示すとおりである。

岡山県は、花崗岩類の発生件数が多い。花崗岩類の発生件数は、広島県と山口県各々

の半数以下であり、地質分布率の差に類似する。災害発生件数の半数以上を占める地質は、「花崗岩類、備北層群、三郡変成岩類、流紋岩類、崖錐堆積物」の5種類であり、他の4県に比べて多様である。その他の地質でも数件ずつ発生している。花崗岩類以外では、地質及び地質時代に対する極端な偏りは見られない。災害発生指数 β' は、岩脈類が非常に大きく、「塩基性岩類、関門層群」と続いているが、これらは、地質分布が小さいことが影響を与えている。災害発生指数 β' は、地質によって大きく違うが、地質時代にする極端な偏りは見られない。災害発生指数 β' の平均値(10.60)は、中国地方では一番小さい。

広島県は、広域に分布している花崗岩類の災害発生件数が非常に多い。災害発生件数の半数以上を占める地質は「花崗岩類、古生層」の2種類である。古生層は、古生代ペルム紀から石炭紀にかけて形成された「粘板岩・泥岩・砂岩・チャート」を主体とする付加体である^{3),13)}。災害発生指数 β' は、「古生層、安山岩類・同質火砕岩類、段丘堆積物、備北層群」が比較的大きく、花崗岩類が小さい。災害発生件数及び災害発生指数 β' は、ともに地質と地質時代によって違いが見られる。災害発生指数 β' の平均値(13.08)は、岡山県より高いが、中国地方平均値(18.73)の約70%であり、広島県は、中国地方の中では災害発生指数 β' が低い。

山口県は、花崗岩の発生件数が非常に多く、災害発生件数の半数以上を占める地質は、「花崗岩類、宇部層群」の2種類である。これ以外の地質では、地質年代に関係なく数件ずつ発生している。災害発生指数 β' は、「関門層群、宇部層群」が突出しており、「美祢層群、安山岩類・同質火砕岩類」へと続く。災害発生件数及び災害発生指数 β' は、ともに地質と地質時代によって違いが見られる。災害発生指数 β' の平均値(28.48)は、中国地方平均値(18.73)の約150%であり、山口県は、災害件数及び災害発生指数 β' ともに中国地方の中では比較的高い値を示す。

島根県は、災害発生件数の半数以上を占める地質が、「都野津累層、大森層」の2種類である。災害発生指数 β' は、「都野津累層、川合層」が突出しており、「大森層、花崗閃緑岩」へと続く。災害発生件数及び災害発生指数 β' の高い値は、共に「新生代第三紀~第四紀前半」の地質時代に偏っている。災害発生指数 β' の平均(45.57)は、中国地方平均(18.73)の2.5倍近い値を示している。

鳥取県は、件数は少ないが「新生代第四紀」の崖錐堆積物と大山火山岩類の2種類の地質で発生しており、災害発生指数 β' も比較的高い値を示している。

表-4.6は、中国地方で過去に災害が発生した箇所の29地質と災害発生指数 β' を、地質時代と各地質の主な岩種及び土質に応じた堆積層に分類したものである。分類は、堆積に至る過程と主成分により、「未固結堆積物」、泥・砂・礫で構成される「碎屑岩」、火山岩塊・火山礫・軽石・スコリア・火山灰等の「火山碎屑岩」及び生物の遺骸が沈殿堆積した「生物岩(チャート・石炭・石灰岩)」とした¹⁴⁾。

災害発生指数 β' の上位は、新生代の火山岩、(火山)碎屑岩の堆積層に偏っている。

表-4.6 地質と主な岩種及び土質による堆積層の分類

	地質名	主な岩種及び土質	β'	順位	堆積層分類
新生代 第四紀	沖積層	粘土・シルト・砂	0.54	29	□:新生代 未固結堆積層
	崖錐堆積物	粘土・シルト・砂・砂礫	10.01	24	
	段丘堆積物	粘土・砂・砂礫・礫	17.75	17	
	土石流堆積物	砂礫・礫	17.14	19	
	大山火山岩類	安山岩類・同質火砕岩類	19.65	15	○:新生代
	都野津累層	泥岩・凝灰岩・礫岩	134.34	3	火山岩, (火山) 碎屑岩堆積層
新生代 第三紀	山砂利層	礫岩	12.56	22	□:新生代 未固結堆積層
	布志名層	泥岩・シルト岩・砂岩	100.00	5	○:新生代 火山岩, (火山) 碎屑岩堆積層
	大森層	泥岩・砂岩・凝灰岩・安山岩	97.44	6	
	久利層	泥岩・砂岩・礫岩・流紋岩類	231.21	1	
	川合層	泥岩・砂岩・礫岩・流紋岩類	82.42	8	
	備北層群	シルト砂泥互層・砂岩・礫岩	22.08	13	
	福山累層	泥岩・砂岩・礫岩	17.67	18	
	宇部層群	泥岩・砂岩・凝灰岩	191.57	2	
	岩脈類	花崗斑岩・斑れい岩・流紋岩	17.09	20	△:中生代後期 ~新生代初期
中生代	花崗岩類	細粒花崗岩・粗粒花崗岩	20.50	14	花崗岩類
	花崗閃緑岩	花崗閃緑岩	33.40	11	
	流紋岩類	石英安山岩・同質凝灰岩・流紋岩	9.60	25	◇:中生代 生物岩, 碎屑岩, 火山岩堆積層 (花崗岩類以外)
	関門層群	頁岩・砂岩・安山岩類	101.74	4	
	広野累層	頁岩・砂岩・礫岩	19.31	16	
	玖珂層群	シルト質礫質泥岩・チャート	5.15	27	
	美祿層群	頁岩・砂岩・礫岩・石炭・石灰岩	63.830	9	
	厚保層群	頁岩・砂岩・礫岩・石炭・石灰岩	85.71	7	
	安山岩類・同質火砕岩類	安山岩類・同質火砕岩類	34.04	10	
古生代	舞鶴層群	頁岩・砂岩・礫岩・玄武岩	4.51	28	*:古生代 古生層(生物岩, 碎屑岩, 火成岩堆積層)
	夜久野複合岩類	蛇紋岩・斑れい岩・玄武岩	9.08	26	
	三郡変成岩類	泥質砂質・泥質片岩・珪質片岩	10.79	23	
	塩基性岩類	蛇紋岩・斑れい岩・塩基性片岩	22.62	12	
	古生層	粘板岩・砂岩・チャート・石灰岩	16.66	21	

※太字・ハッチング部分は、災害発生指数 β' の上位 10 位以内

4.4 災害規模が大きく災害発生リスクが高い地域

前節では災害発生指数 β' の上位が、新生代の火山岩、(火山)碎屑岩の堆積層に偏っており、地質別の箇所あたり平均災害規模は久利層が圧倒的に大きく関門層群、塩基性岩類と続くことが明らかになった。久利層は、島根県山陰沿岸部、関門層群は山口県北西部と岡山県中部の備中地域、塩基性岩類は山口県西部及び広島県から岡山県の中国道筋に分布している。本節では、災害規模が大きく災害発生リスクが高い地域をまとめる。

図-4.6は、表-4.6の地質と主な岩種及び土質による堆積物の層(堆積層)の分類に基づき、100m³を超える災害規模の場所を中国地方の地図上に示したものである。

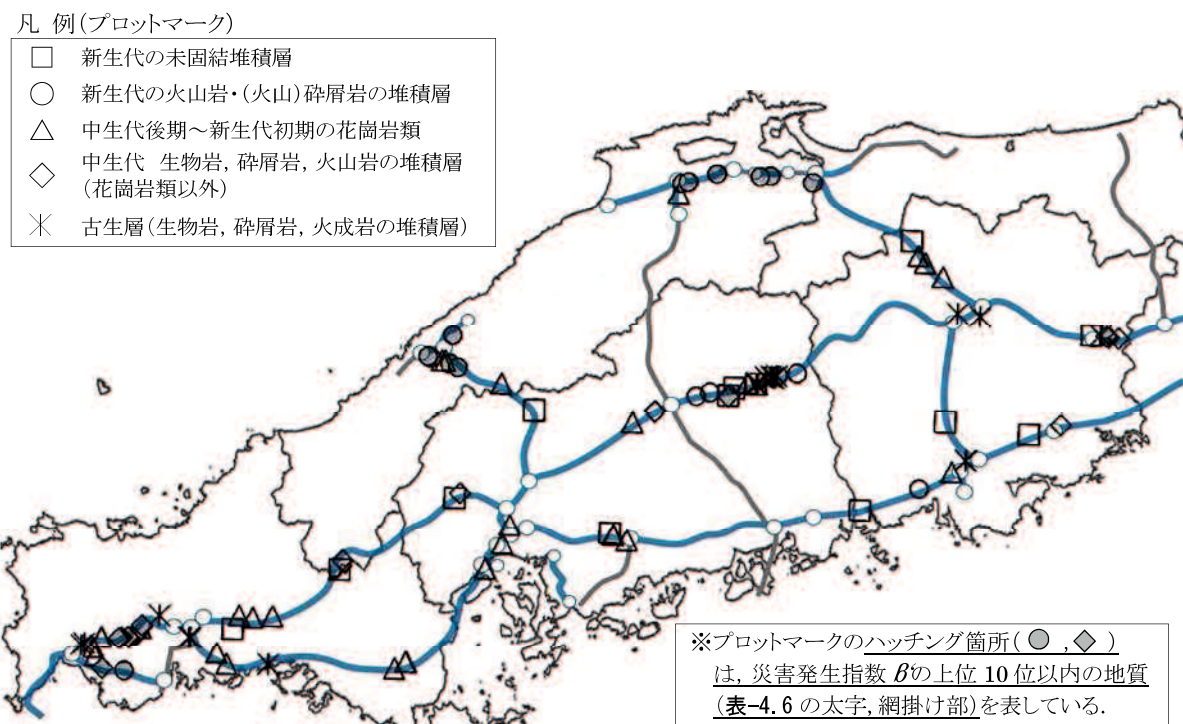


図-4.6 中国地方における1箇所あたりの被災規模が100m³以上の災害分布

100m³を超える災害は、新生代の「未固結堆積層、花崗岩類」の地質で、山口県の西部と中央部及び東部沿岸部、広島県西部と東部内陸部、岡山県南部、島根県中央部等にわたって発生しており、これ以外の地質では、山口県の西部～中央部、広島県北東部、岡山県北部、山陰沿岸部に集中している。

また、表-4.6で示したように、災害発生指数 β' の上位10位以内の地質は、地質年代が古生代以外である。新生代第三紀～第四紀初期の「都野津累層、布志名層、大森層、久利層、川合層、宇部層群」は、固結速度の速い火山岩と泥岩・砂岩・凝灰岩を主体とした(火山)碎屑岩の風化堆積層で、中生代の「関門層群、美祢層群、厚保層群、安山岩類・同質火砕岩類」は、生物岩である石炭・石灰岩、頁岩・砂岩主体の碎屑岩、固結速度の速い火山岩

の風化堆積層である。

中国地方における1箇所あたりの被災規模が 100m^3 以上で災害発生指数 β' の上位10位以内の地質である被災箇所の分布は、**図-4.6**に示すプロットマークのハッチング箇所である。山口県西部、山陰沿岸部の新生代第三紀～第四紀初期の火山岩と(火山)碎屑岩等の堆積層及び中生代の生物岩、碎屑岩、火山岩の堆積層分布地域に集中している。

これら新生代第三紀～第四紀初期の火山岩と(火山)碎屑岩等の堆積層及び中生代の生物岩、碎屑岩、火山岩の堆積層が分布する山口県西部、山陰沿岸部の地域の斜面管理は、十分注意する必要がある。

4.4 まとめ

高速道路斜面は、大きく「切土のり面」、「盛土のり面」及び「自然斜面」に区分される。盛土(のり面)は、該当箇所もしくは近接する地山の地質が主体で構成されていると考えられるが、施工範囲や施工時期等により、他工区からの客土施工、購入による客土施工、構造物掘削残土の埋め戻し処理等も多々あり、その材質を近接する地山の地質で判断することは、非常に難しい。従って、高速道路斜面災害箇所と表層地質の関係は、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路を挟む 2km 巾の表層地質図」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、該当箇所の地山地質が大きく影響を与える「切土のり面」、「自然斜面」を対象に分析を行った。中国地方における高速道路を挟む 2km 巾の表層地質は分布面積が各々大きく違うため、地質分布単位面積当たりの災害発生指数 β' (災害発生件数/対象地域面積) で比較した。

中国地方における高速道路の斜面災害発生箇所と表層地質の関連性をまとめると以下のようなになる。

- 1) 高速道路沿線の表層地質は、中国地方全域の傾向と同様に花崗岩類の広い分布が大きな特徴として挙げられ、流紋岩類、三郡変成岩類がこれに続いている。風化土砂はいずれも脆弱である。
- 2) 花崗岩類の災害発生指数は中位である。被災履歴は数多くあるが、これは分布面積の大きさに起因する。
- 3) 花崗岩類の斜面災害は、土石流を除き比較的軽微な土砂流出(表層肌落ち等)が多くを占める。
- 4) 中国地方で過去に災害が発生した箇所の地質をその生成時代と各地質の主な構成岩種等により分類すると「①新生代;未固結堆積層, ②新生代;火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層, ③中生代後期~新生代初期;花崗岩類, ④中生代;碎屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外), ⑤古生層(碎屑岩, 火成岩の堆積層)」の大きく5つに区分される。
- 5) 災害発生指数 β' が高い地質は、新生代第三紀から第四紀初期のグリーンタフを中心とした火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層に比較的偏っている。中生代は、関門層群(碎屑岩と火山岩の堆積層), 美祢層群・厚保層群(碎屑岩と火山岩及び生物岩の堆積層)である。
- 6) 1箇所あたりの被災規模が 100m^3 以上で、災害発生指数が上位10位以内の地質である被災箇所は、新生代の火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層と中生代の生物岩・碎屑岩・火山岩の堆積層であり、山陰沿岸部と山口県西部の山陽道・中国道に集中している。

第4章の参考文献

- 1) 奥園誠之：斜面防災 100 のポイント，172pp.，鹿島出版会，2006.
- 2) 小山内信智，富田陽子，秋山一弥，松下智祥：がけ崩れ災害の実態，国土技術政策総合研究所資料，国総研資料第 530 号，pp.75-79，2009.
- 3) 西日本高速道路エンジニアリング中国(株)：中国支社管内地質概要図，2006.
- 4) 鹿野和彦，星住英夫：地質図に用いる用語・記号・模様・色及び凡例の表示に関する基準とその解説，地質調査所月報，第 51 巻，第 12 号，pp.657-678，2000.
- 5) 中国地方土木地質図編纂委員会：中国地方土木地質図解説書，pp.249-258，(財)国土開発技術研究センター，1984.
- 6) 中国地方土木地質図編纂委員会：中国地方土木地質図解説書，pp.64-66，(財)国土開発技術研究センター，1984.
- 7) 中国地方土木地質図編纂委員会：中国地方土木地質図解説書，pp.62-64，(財)国土開発技術研究センター，1984.
- 8) 中国地方土木地質図編纂委員会：中国地方土木地質図解説書，pp.87-91，(財)国土開発技術研究センター，1984.
- 9) 中国地方土木地質図編纂委員会：中国地方土木地質図解説書，pp.150-153，(財)国土開発技術研究センター，1984.
- 10) 千木良雅弘：災害地質学入門，pp.156-157，近未来社，2005.
- 11) 奥園誠之：斜面防災 100 のポイント，pp.106-107，鹿島出版会，2006.
- 12) 日本道路公団広島建設局：広島型花崗岩における植生のり面工施工検討書，pp.1-4，1985.
- 13) (独)産総研：数値地質図 20 万分の 1 日本シームレス地質図，DVD，2009.
- 14) 千木良雅弘：災害地質学入門，pp.20-21，近未来社，2005.

第 5 章

第5章 高速道路の斜面災害箇所と標準貫入試験結果の関連性

5.1 はじめに

斜面災害の素因は、土質・岩質の物性と地層構成である「地盤特性」が欠かせないものとして挙げられる¹⁾。道路斜面の予防保全を遂行するためには、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面にまでその対象が広がるため、潜在的な危険素因を有す斜面の効果的な抽出に「地盤特性」の把握が必要とされる。降雨を誘因とする斜面災害は、その約90%が深度3m未満で生じており深度5m未満でほぼ100%に達している^{1),2)}ため、表層5mまでの地盤特性の把握が重要である。

斜面災害は、対象となる地盤の特性である硬さや締まり具合が大きく影響を与えることから、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果の*N*値」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」に着目し、斜面崩壊が発生しやすい表層の緩んだ地盤の性状を5区分した地質分類毎に*N*値の違いから分析する。

斜面災害の大部分が切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締り具合を*N*値の深度分布から考察し、斜面災害被災箇所と非被災箇所の違いに着目した分析を行うものである。

5.2 分析した対象地域と概要

5.2.1 対象地域

道路斜面の予防保全は、地域の特性に応じた災害の特徴とその素因を過去の災害事例と既存資料からマクロ的に分析して関連付けることが必要であり、本研究では、中国地方の高速道路を事例として取り上げる。

中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(*N*値)」と「過去の高速道路斜面災害記録」を基に、中国地方における高速道路用地内を対象として分析を行う。


中国地方の高速道路は、-5.1に示すように東西に走る「山陽道(下関JCT～備前IC)」、
「中国道(下関IC～佐用IC)」と南北方向に楯の歯状に横断する「広島浜田道」、「岡山米子道」などが供用路線として営業されており、2012年(平成24年)3月末時点でその総延長は、1,037.7kmに至っている。中国地方は、ほぼ全域を網羅する形で高速道路ネットワークが形成されている。



図-5.1 中国地方の高速道路網³⁾

5.2.2 抽出したN値の資料

分析に使用したデータは、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N値)」と「過去の高速道路斜面災害記録」である。「過去の高速道路斜面災害記録」は、道路建設中を除く供用期間中に発生したもので、西日本高速道路(株)及びグループ会社が保有する1974年(昭和49年)から2012年(平成24年)3月迄のものである。盛土(のり面)は、施工範囲や施工時期等により、他工区からの客土施工、購入による客土施工、構造物掘削残土の埋め戻し処理等も多々あり、その材質を近接する地山の地質で判断することは、非常に難しいと考えられる。しかし、切土のり面と自然斜面の崩壊は、該当箇所の地山地質が大きく影響を与えることから、本章では、この切土のり面と自然斜面の崩壊に着目する。また、「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果(N値)」は、高速道路の調査計画時に実施した地質調査報告書(1,073冊)から山腹調査のボーリング結果を抽出した。調査報告書の年代は、1968年(S43)～2012年(H24)3月末である。

5.2.3 対象とする崩壊の形態とN値の深度

中国地方の高速道路における切土のり面及び自然斜面災害は、1974年(S49)から2012年(H24)3月末時点までに、295件が記録されており、全て降雨が誘因である。

図-5.2で示すとおり、切土のり面は、地山表層から下方に向けて「土砂～軟岩～硬岩層」が発見し、表層風化された脆弱な土砂部が存在する地山付近の最上段のり面が損傷を受けやすい。切土のり面は、一般的に道路計画地点より地山表面に近い上段の地層の方が軟らかく緩いものである。一方、地形的観点から見ると切土のり面のり肩付近は遷緩変化点であるため、固結度の低い土砂層の斜面災害はこの付近から発生することが多いといえる。従って、点検要領等では、切土のり面点検の留意事項において「のり肩上部地山」の現況把握が上位に記載されている^{4),5)}。

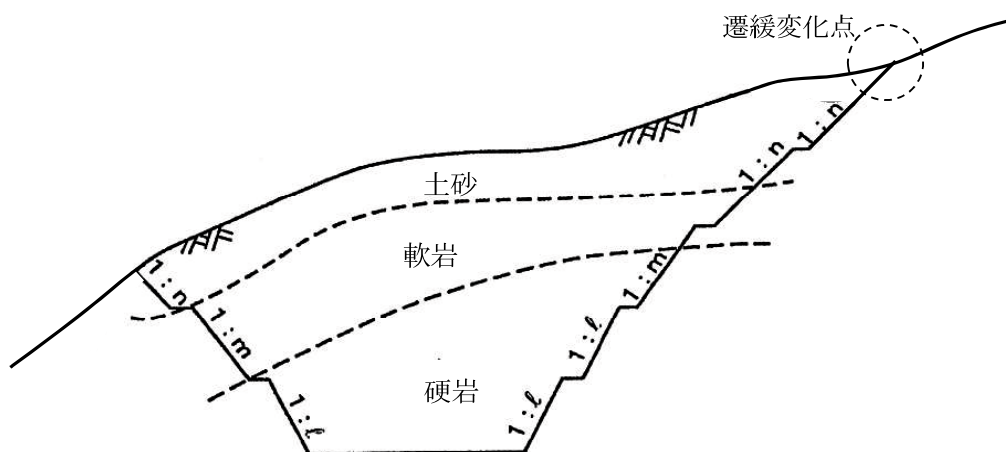


図-5.2 切土のり面の標準的な構成

3.3.6項の表-3.8に示すとおり、切土のり面災害のうち81.7%(241件)の崩壊形態は、のり面の最上段及びその上方の自然斜面が損傷を受けている。崩壊形態が不明な箇所は20件ありこれを含めると88.5%(261件)になる。

斜面災害の大部分が切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生しており、この部分脆弱な土砂部は災害が発生しやすいといえる。

従って、切土施工を行う前に調査した山腹の調査ボーリング結果であるN値から、「切土のり面最上段及びその上方自然斜面」の脆弱な表層風化部である地山を対象に、過去の災害発生履歴に着目し、被災該当地山(災害箇所)と被災履歴なし地山(未災害箇所)のN値深度分布の違いについて分析を行った。斜面災害の大部分が切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締め具合をN値の深度分布から考察し、斜面災害被災箇所と非被災箇所の違いに着目した分析を行うものである。

図-3.9で示したとおり、降雨を誘因とする斜面崩壊は、ほぼ100%が深度5m未満で生じている^{1),2)}。分析する深度は、5m以深のN値発現傾向を把握することを含めてGL-10mまでとした。

標準貫入試験は、JIS A 1219で「打撃回数は特に必要のないかぎり50回を限度とする」となっている。現行の東・中・西日本高速道路(株)の調査要領では、「 $N > 50$ の堅固な支持層を確認するまでボーリングを行う」とある。従って、打ち止め付近の深度では $N \geq 50$ が複数回発生するため表層風化部の N 値の扱いは、50未満を対象とした。

また、 N 値は、玉石や礫・転石を含む地層において、サンプラーの先端がこれらに当たったり、開口部が閉塞したりすることによって、極端に大きな値を示し、地層全体の強さに比べ過大な値になることがある。図-5.3に示すように、「①柱状図の記号に礫・転石が記されている、②記事に礫・転石・玉石等が多く含まれている等の記載がある、③前後の N 値と比較して該当する深度だけが大きく外れている」等の条件に基づき、これらを異常値として扱った。

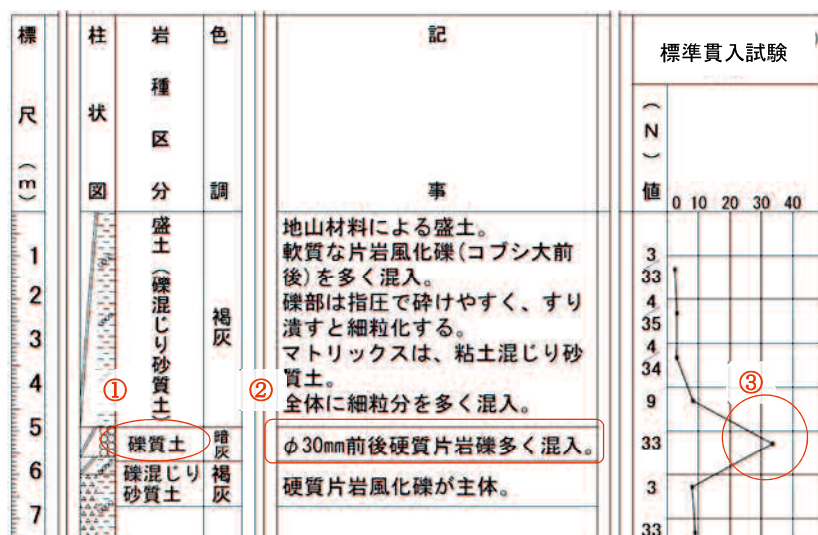


図-5.3 ボーリング柱状図 異常値の一例

5.2.4 災害箇所と未災害箇所の地山

被災該当地山(災害箇所)と被災履歴なし地山(未災害箇所)の対象ボーリング孔の基本的な考え方を、図-5.4の事例に示す。災害箇所の対象ボーリング孔は、表層が花崗岩部で災害発生箇所と同一山腹における「B-1373, B-1374」が対象で、これらを「被災該当地山」の N 値とし、山頂や等高線の流れが異なっているボーリング孔「B-1372」は、違う山として未災害箇所の「被災履歴なし地山」としている。谷筋深部を横過する橋梁等の構造物基礎工調査データ、トンネル等の水平ボーリングデータは、分析の対象外とした。地質分類に応じて分析する場合は、地質が違う(B-01-25)は別グループとしている。

切土施工を行う前に調査した山腹の調査ボーリング結果である N 値から、「切土のり面最上段及びその上方自然斜面」の脆弱な表層風化部である地山を対象に、過去の災害発生

履歴と地質分類に着目し、被災該当地山(災害箇所)N値と被災履歴なし地山(未災害箇所)のN値の違いについて分析を行うものである。なお、被災該当地山(災害箇所)は対策工の有無に関わらず抽出している。

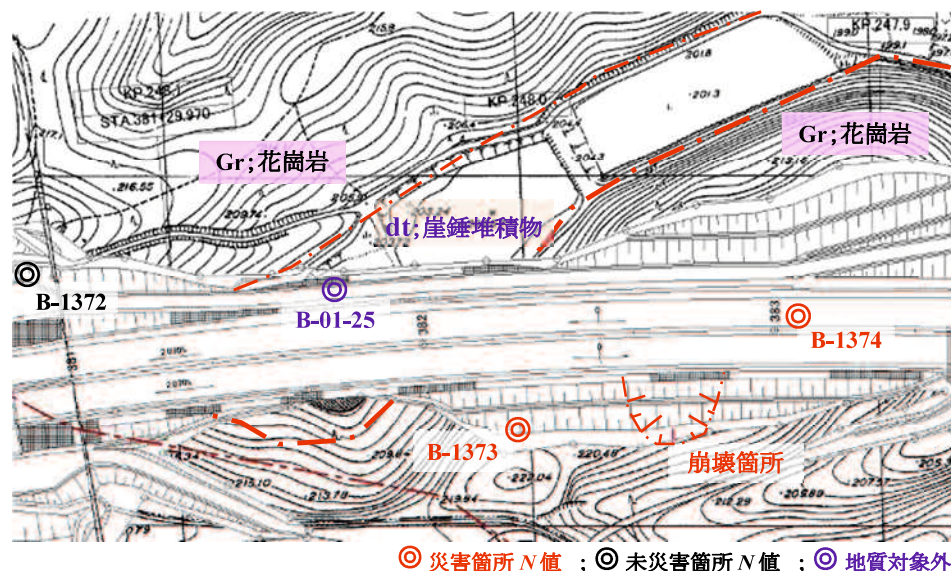


図-5.4 抽出したN値(ボーリング孔)位置関係の例

5.2.5 分析に使用したN値

中国地方の高速道路に関する調査報告書等から抽出したN値は、表-5.1のとおりである。地域によるデータ数の差異を見るため、各県毎に集計している。

分析対象N値データの総数は、7,945個となった。鳥取県は、通過する高速道路の延長が短いため、データ数が一番少ない。

表-5.1 分析に使用した各地域のデータ

	全深度 全て		GL-10m迄	N値<50	異常値	分析データ
	ボーリング 本数	N値 データ数	N値 データ数	N値 データ数	N値 データ数	N値 データ数
岡山県	3,661	56,180	32,236	11,382	125	11,257
広島県	5,055	80,098	45,686	17,412	101	17,311
山口県	2,638	40,549	24,056	11,077	84	10,993
島根県	1,094	20,183	10,221	4,710	29	4,681
鳥取県	472	9,047	4,482	1,615	8	1,067
合計	12,920	206,057	116,681	46,196	347	45,849

5.3 N 値の深度別分布

5.3.1 N 値の発現傾向

中国地方における N 値の発現頻度は、**図-5.5** に示すとおりである。データは、牧原らが整理した東京都の N 値発現頻度⁶⁾の傾向と同じように、低 N 値側にピークが出現しており、対数正規分布に類似する。東京都のデータでは、同じ地層の N 値の変動係数は最小が 0.5 程度であり、最大 1.0 を超えるものがある⁷⁾と報告されている。中国地方における N 値のバラツキは、この範囲内の小さい値であった。

N 値の発現傾向を県別に見ると、**図-5.6** のようになる。分析データのサンプル数が各県で違うため、式(5)に示す発現率 P を算出して比較した。

$$P = \{ \text{該当深度の } N \text{ 値発現数} / \Sigma(N \text{ 値発現数}) \} \times 100 \quad (5)$$

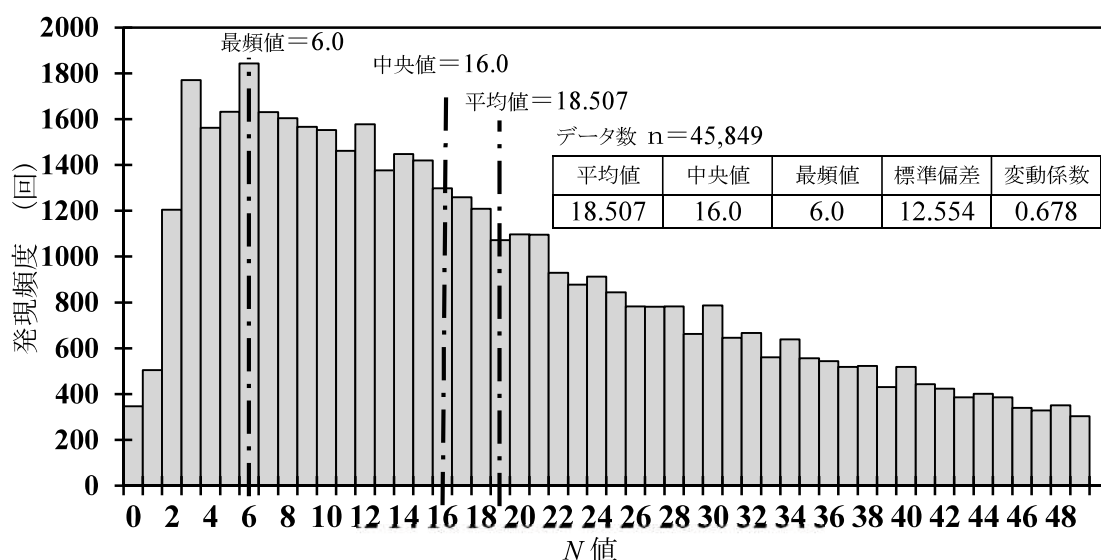


図-5.5 中国地方における N 値の発現頻度

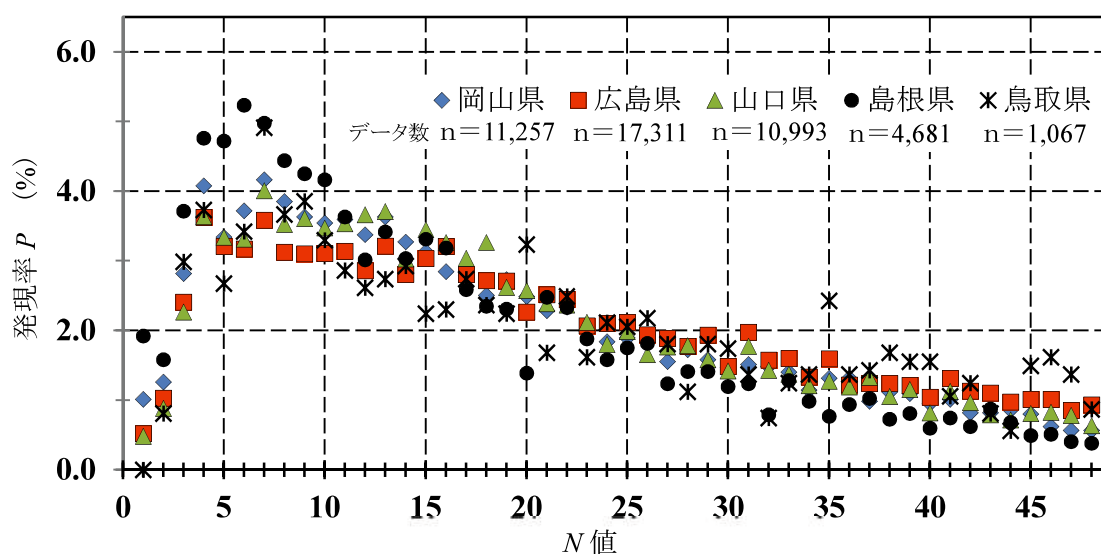


図-5.6 中国地方における N 値の県別発現頻度

県別の N 値発現率の形状は, 図-5.5 に示す中国地方における N 値の発現頻度と同様に対数正規分布に類似している. 表-5.2 は, 各県 N 値の平均値, 中央値, 最頻値と, その発現率及び標準偏差, 変動係数を示している. 標準偏差は 11.895~13.385, 変動係数は 0.654~0.759 の範囲にあり, 各県ともそれほど大きな差はない. N 値の各代表値の大小関係に着目すると, 各県ともに, 「最頻値<中央値<平均値」で, 発現率の大小関係は, 「最頻値>中央値>平均値」の関係になっている. N 値の発現頻度は, 低い値側に偏っている. 平均値で比較すると, 鳥取県が一番堅固な地盤で広島県, 山口県, 岡山県, 島根県と続く. 中央値も似たような傾向である. 最頻値は広島県が特に低い値を示し, その他の県は 5.0 と 6.0 になっている.

表-5.2 県別 N 値の代表値

地域	N 値 (上段; N 値, 下段;発現率 %)				標準偏差	変動係数
	平均値	rank	中央値	最頻値		
岡山県	17.852 (2.727)	2	15.0 (2.843)	6.0 (4.166)	12.351	0.692
広島県	19.634 (2.513)	4	17.0 (2.715)	3.0 (3.628)	12.833	0.654
山口県	18.396 (2.574)	3	16.0 (3.038)	6.0 (4.012)	12.211	0.664
島根県	15.669 (2.585)	1	13.0 (3.034)	5.0 (5.234)	11.895	0.759
鳥取県	19.973 (1.680)	5	17.0 (2.365)	6.0 (4.916)	13.385	0.670
中国地方	18.507 (2.338)	—	16.0 (2.831)	6.0 (4.020)	12.554	0.678

※rank は平均 N 値の昇順 (N 値が低いほうからの順番)

5.3.2 分析する N 値の代表値

中国地方における N 値の発現頻度は図-5.5, 5-6, 表-5.2 に示したとおりである, 低い N 値側に発現が偏り高い N 値側に裾を引く歪みを持った分布を示す. 各県 N 値の最頻値, 中央値, 平均値の大小関係は, 「最頻値 < 中央値 < 平均値」になっている. 中央値, 平均値は各県の相対順位が類似しているが, 最頻値は広島県を除いて大きな差はない. 平均値と中央値と比較すると, 鳥取県が一番堅固な地盤で広島県, 山口県, 岡山県, 島根県と続くことがわかるが, 最頻値では広島県以外の県は差異がないため, 比較が難しい. N 値の発現頻度は, 低い N 値側に発現が偏り高い N 値側に裾を引く歪みを持った分布を示しており, 高い N 値側に裾を引くこのバラツキの誤差を考慮する必要がある.

一方, 設計定数を求めるための代表 N 値は, 平均値と標準偏差が用いて安全側となるように設定すること^{8),9)}が一般的である. また, 牧原らは N 値のバラツキについて平均値と変動係数で論じている^{6),7)}.

従って, 分析する N 値の代表値は, 平均値(以降, 平均 N 値という)に着目することとした.

5.3.3 平均 N 値の深度分布

平均 N 値の深度分布は、**図-5.7**、**表-5.3** に示すとおりである。平均 N 値は、深度の増加に従って大きくなっている。 N 値は、原位置における有効上載圧下でのせん断強さを測定しているものと考えられているため、深度の増加に従って大きくなるのが一般的であり¹⁰⁾、**図-5.7** に示す中国地方の GL-10.0m 迄の平均値 N 値は、この傾向と合致している。**表-5.3** に示す標準偏差は 10.389~12.546、変動係数は 0.483~0.857 の範囲にあり、深度分布にそれほど大きな差は見られない。

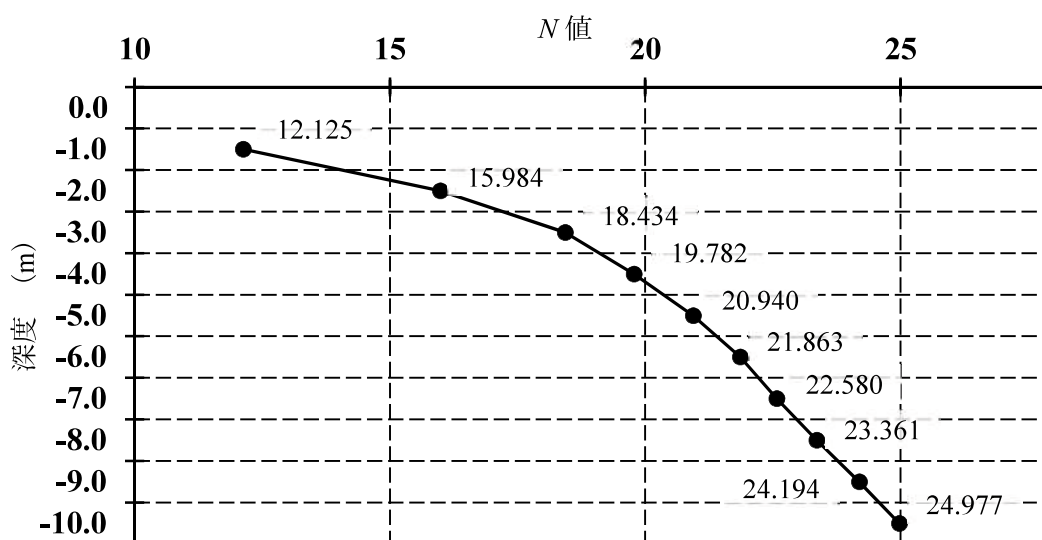


図-5.7 中国地方の深度別平均 N 値

表-5.3 深度別平均 N 値と標準偏差及び変動係数

深度 ; GL-(m)	平均値	標準偏差	変動係数	データ数	参考	
					中央値	最頻値
1.0	12.125	10.389	0.857	n=9,087	9.0	3.0
2.0	15.984	11.670	0.730	n=7,622	13.0	6.0
3.0	18.434	12.271	0.666	n=6,371	16.0	7.0
4.0	19.782	12.372	0.625	n=5,303	18.0	12.0
5.0	20.940	12.539	0.599	n=4,380	19.0	12.0
6.0	21.863	12.546	0.574	n=3,665	20.0	14.0
7.0	22.580	12.530	0.555	n=3,055	21.0	17.0
8.0	23.361	12.252	0.524	n=2,487	22.0	19.0
9.0	24.194	12.206	0.505	n=2,117	23.0	15.0
10.0	24.977	12.058	0.483	n=1,762	24.0	18.0
-0.0~3.0	15.141	11.655	0.770	n=23,080	12.0	3.0
-0.0~5.0	16.667	12.130	0.728	n=32,763	14.0	3.0
-0.0~10.0	18.507	12.554	0.678	n=45,849	16.0	6.0

次に、深度別平均 N 値のヒストグラムを**図-5.8**に、GL-3.0m 迄、GL-5.0m 迄、GL-10.0m 迄の平均 N 値のヒストグラムを**図-5.9**に示す。

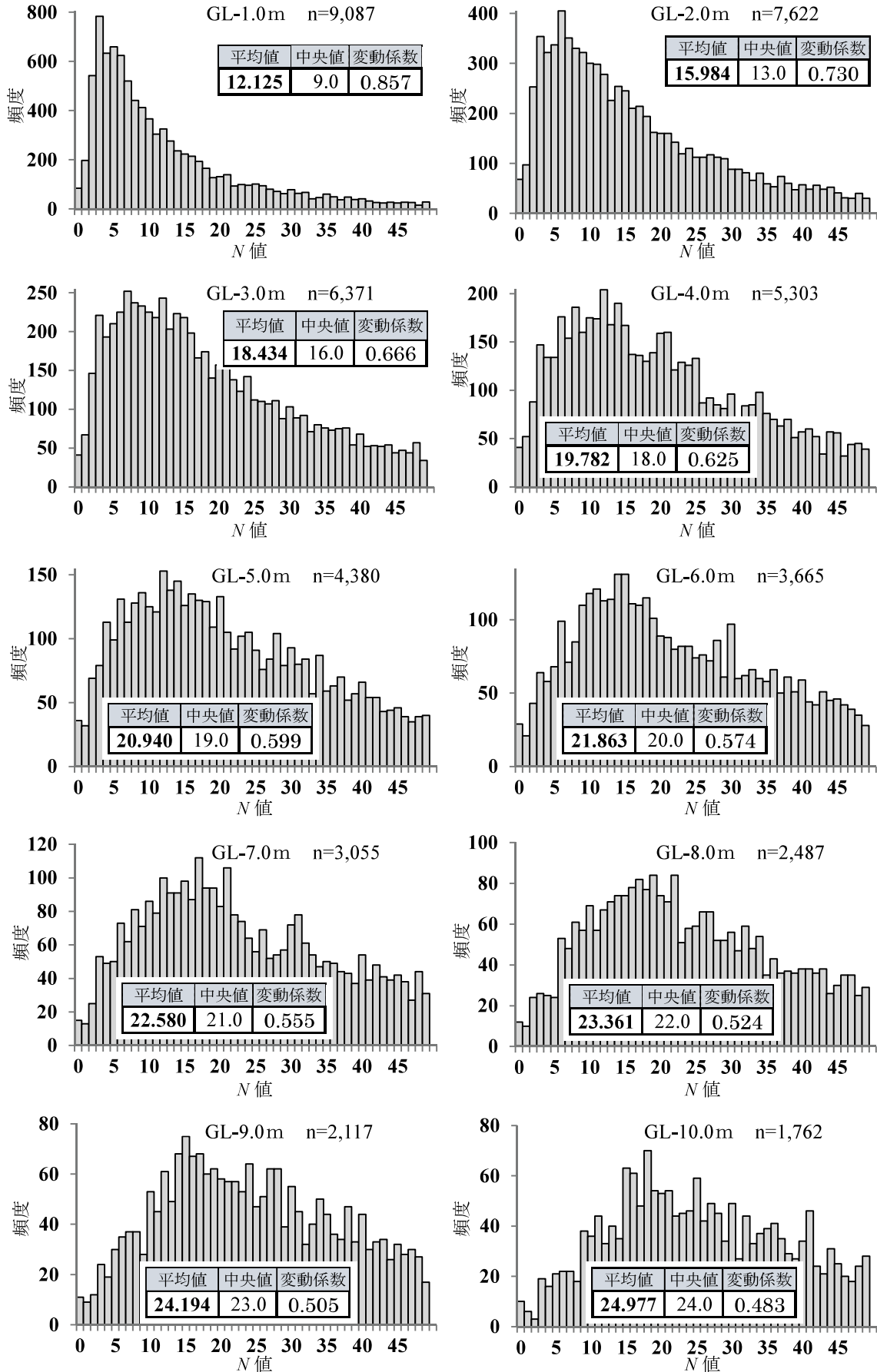


図-5.8 深度別平均N値のヒストグラム

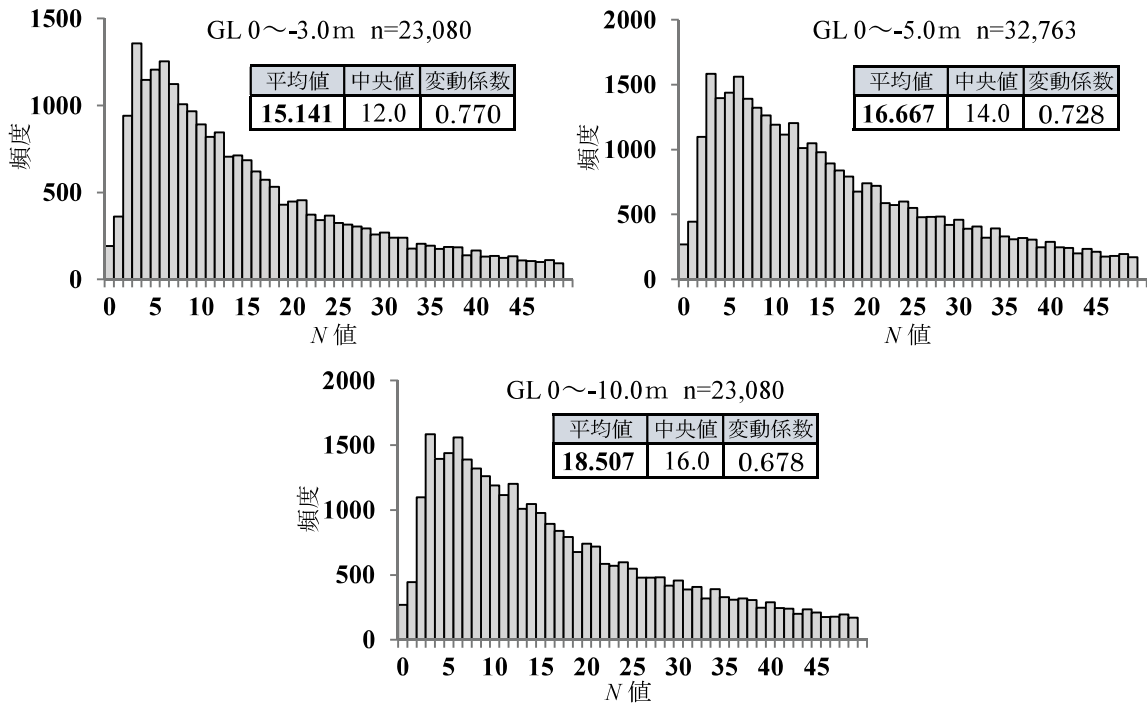


図-5.9 GL-3.0m 迄, GL-5.0m 迄, GL-10.0m 迄の平均 N 値ヒストグラム

N 値の平均値と中央値は深度に応じて低い値側から高い方へ移動し、グラフは高い N 値側に裾を引く分布形状から左右対称に近い山形に近づく。図-5.9に示した GL-3.0m 迄, GL-5.0m 迄, GL-10.0m 迄の平均 N 値のヒストグラムは、いずれも高 N 値側に裾を引く対数正規分布に類似した分布形状である。

N 値の深度分布は、GL-1.0m から GL-10.0m までの各々の平均値と中央値及び GL-3.0m 迄, GL-5.0m 迄, GL-10.0m 迄の平均値と中央値ともに深度の増加に従って値が大きくなっている。地表面から浅い深度ほど N 値が低く固結度が悪いといえる。

5.4 災害発生箇所及び災害未発生箇所の該当地山の N 値の比較

中国地方の高速道路斜面災害の誘因は全て降雨である。その件数は、3.3.2 項の表-3.3 で示したように、1974 年から 2012 年 3 月末時点で 663 件が記録されており、全体の 44.5% (295 件) が切土のり面、50.8% (337 件) が盛土のり面、4.7% (31 件) が土石流を含む自然斜面となっている。切土のり面の災害は、3.3.6 項で示したとおり深度 5m 未満でほぼ 100% に達している。切土のり面災害は、1974 年(S49)から 2012 年(H24)3 月末時点までに 295 件が記録されており、このうち 81.7% (241 件) は源頭部である切土のり面の最上段に崩壊損傷痕が見られる。崩壊形態が不明なもの(20 件)を含めると 88.5% (261 件)になる。のり面小段より下方の小崩壊や植生のり面工の肌落ち等においても、切土のり面最上段及びその上方自然斜面に崩落や損傷痕が見られる。切土のり面は、地山表層から下方に向けて「土砂～軟岩～硬岩層」が発現し、表層風化された脆弱な土砂部が存在する地山付近の最上段のり面が損傷を受けやすいと考えられる。一方、地形的観点から見ると切土のり面ののり面付近は遷緩変化点であるため、固結度の低い土砂層の斜面災害はこの付近から発生することが多いといえる。従って、過去の災害発生履歴に着目し、被災該当地山と被災履歴なし地山の N 値深度分布の違いについて深度 5m までのデータで分析を行った。

5.2.4 項で示したように、「被災該当地山」は災害発生箇所と同一山腹の地山とし、「被災履歴なし地山」は山頂や等高線の流れが災害発生箇所と異なり違う山として判断される未災害箇所の地山と定義する。

5.4.1 N 値の発現頻度と平均 N 値の深度別発現傾向

被災該当地山と被災履歴なし地山の深度 5m までの N 値発現頻度をそれぞれ図-5.10、図-5.11 に示す。 N 値の発現頻度は、両方とも低 N 値側にピークが出現しており、分布の形状は対数正規分布に類似している。被災該当地山と被災履歴なしの地山の N 値データ数に違いはあるが、変動係数に大きな差はなく、発現傾向は類似している。しかし、平均値、中央値は、いずれも被災履歴なしの地山の N 値が被災該当地山の N 値を上回っている。各々の深度別平均 N 値のヒストグラムを図-5.12、図-5.13 に示す。

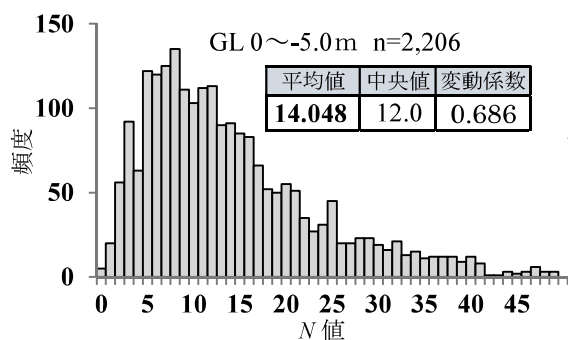


図-5.10 被災該当地山 N 値

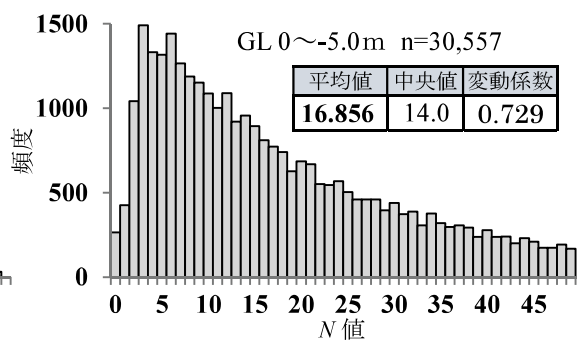


図-5.11 被災履歴なし地山 N 値

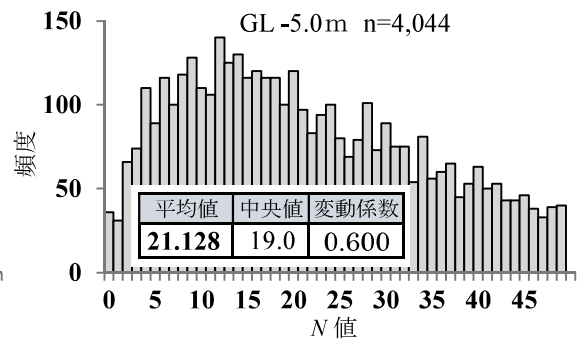
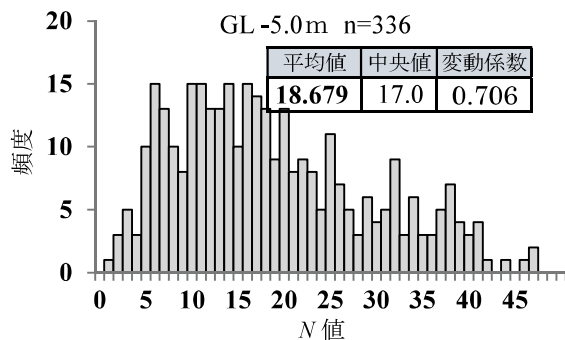
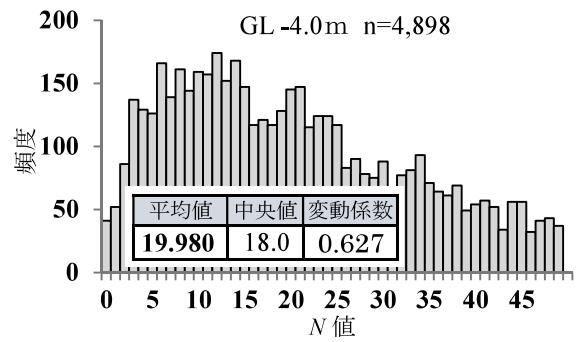
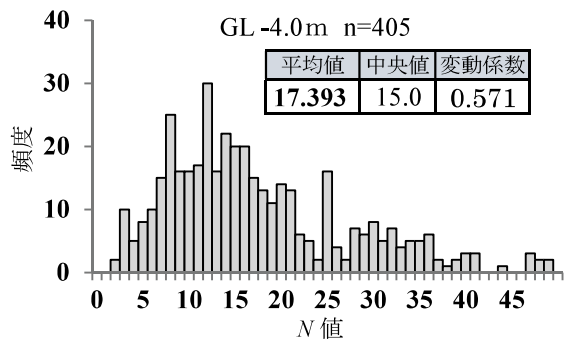
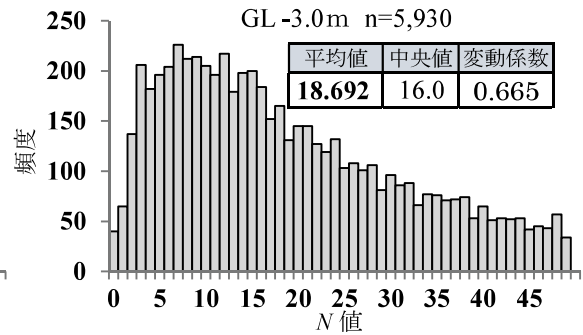
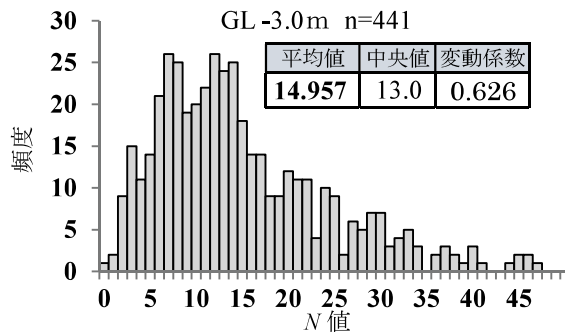
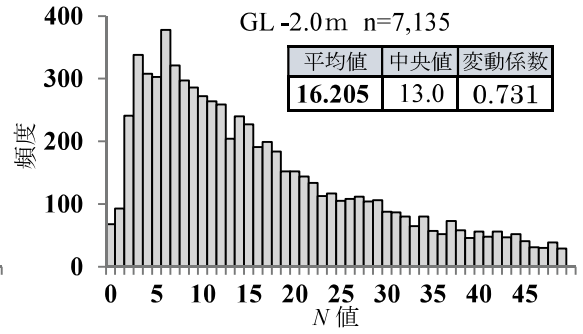
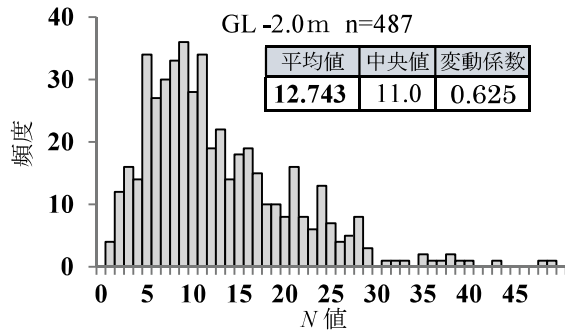
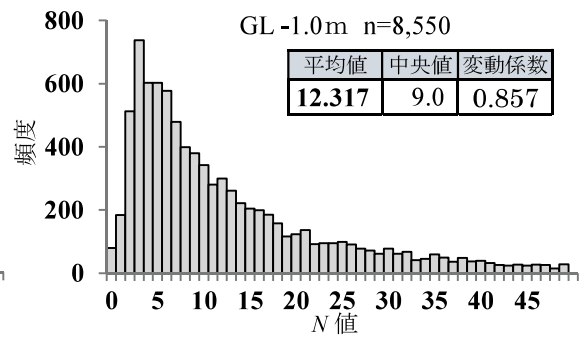
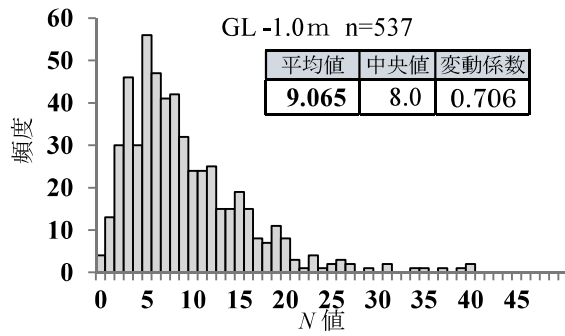


図-5.12 被災該当地山深度別 N 値

図-5.13 被災履歴なし地山深度別 N 値

表-5.4 被災該当地山と被災履歴なし地山の深度別平均 N 値

深度 (GL-m)	被災該当地山の N 値						被災履歴なし地山の N 値					
	平均値	標準偏差	変動係数	データ数	参考		平均値	標準偏差	変動係数	データ数	参考	
					中央値	最頻値					中央値	最頻値
-1.0	9.065	6.400	0.706	537	8.0	5.0	12.317	10.560	0.857	8,550	9.0	3.0
-2.0	12.743	7.969	0.625	487	11.0	9.0	16.205	11.848	0.731	7,135	13.0	6.0
-3.0	14.957	9.360	0.626	441	13.0	7.0 12.0	18.692	12.422	0.665	5,930	16.0	7.0
-4.0	17.393	9.934	0.571	405	15.0	12.0	19.980	12.532	0.627	4,898	18.0	12.0
-5.0	18.679	10.429	0.558	336	17.0	6.0 10.0 11.0 14.0 15.0	21.128	12.681	0.600	4,044	19.0	12.0
-6.0	20.672	11.539	0.558	299	18.0	13.0	21.969	12.627	0.575	3,366	20.0	15.0
-7.0	21.249	11.002	0.518	253	19.0	17.0	22.700	12.652	0.557	2,802	21.0	21.0
-8.0	22.612	10.977	0.485	227	20.0	17.0	23.437	12.370	0.528	2,260	22.0	22.0
-9.0	23.108	12.050	0.521	204	21.0	15.0	24.309	12.217	0.503	1,913	24.0	15.0
-10.0	23.343	10.599	0.454	175	22.0	15.0	25.157	12.195	0.485	1,587	24.0	18.0
計	—	—	—	3,364	—	—	—	—	—	42,485	—	—
-5.0 m 迄 平均	14.048	9.386	0.668	2,206	12.0	8.0	16.856	12.283	0.729	30,557	14.0	3.0
-10 m 迄 平均	16.789	10.779	0.642	3,364	14.0	8.0	18.643	12.674	0.680	42,485	16.0	6.0

※ハッチング部は、平均 N 値が小さい方を示す

表-5.4 は、被災該当地山と被災履歴なし地山の N 値発現頻度を深度別に比較したものである。平均 N 値は両方とも深度の増加に従って大きくなり、バラツキが小さくなっている。深度別平均 N 値は、全て被災履歴なしの地山の N 値が被災該当地山の N 値を上回っている。深度-5.0m 迄の平均 N 値と深度-10.0m 迄の平均 N 値を比較すると、その差は 2.808 と 1.854 であり、深度-5.0m 迄の平均 N 値の方が大きい。変動係数は、被災履歴なし地山の方が大きい。中央値は、平均 N 値と同様に全ての深度において、被災履歴なしの地山の N 値が被災該当地山の N 値を上回っている。一方、最頻値はその大小関係が一定ではなく、平均 N 値や中央値と違う結果になった。図-5.10、図-5.11 に示すとおり「被災該当地山の N 値」と「被災履歴なし地山の N 値」はその形状が概ね対数正規分布に類似しているが、分布の尖度が若干違い、被災該当地山の N 値は最頻値が複数発現する。また、 N 値は、高い値側に裾を引く歪みを持った分布を示し、「中央値 < 平均値」の関係が成り立っている。従って、この高い値側に裾を引く歪み部分にバラツキが含まれている。被災該当地山の N 値と被災履歴なし地山の N 値の違いを分析するためには、安全側の設定となる中央値よりもバラツキを多く含む平均 N 値が適切であると考えられる。

5.4.2 地質分類による平均 N 値の深度別発現傾向

中国地方の高速道路斜面災害は、発生箇所の地質をその生成時代と各地質の主な構成岩種等により分類すると「①新生代;未固結堆積層, ②新生代;火山岩・(火山)砕屑岩の堆積層, ③中生代後期～新生代初期;花崗岩類, ④中生代;砕屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外), ⑤古生層(砕屑岩, 火成岩の堆積層)」の大きく5つに区分される。第4章の分析結果によると、災害発生指数が高い地質は、新生代第三紀から第四紀初期のグリーンタフを中心とした火山岩・(火山)砕屑岩の堆積層と中生代の関門層群(砕屑岩と火山岩の堆積層), 美祢層群・厚保層群(砕屑岩と火山岩及び生物岩の堆積層)であり、比較的特定の地質分布域に偏っている。

これらの結果を踏まえ、本項では「①新生代;未固結堆積層, ②新生代;火山岩・(火山)砕屑岩の堆積層, ③中生代後期～新生代初期;花崗岩類, ④中生代;砕屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外), ⑤古生層(砕屑岩, 火成岩の堆積層)」の5つに区分された地質分類による平均 N 値の深度別発現傾向を分析する。

表-5.5 に使用したデータの内訳を示す。

「①新生代;未固結堆積層, ②新生代;火山岩・(火山)砕屑岩の堆積層, ③中生代後期～新生代初期;花崗岩類, ④中生代;砕屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外), ⑤古生層(砕屑岩, 火成岩の堆積層)」毎に比較した被災該当地山と被災履歴なし地山の深度5mまでの N 値発現頻度は、図-5.14 から図-5.18 に示すとおりである。図-5.19 は、全地質を対象とした深度5mまでの N 値発現頻度である。

表-5.5 分析に使用した地質分類毎のデータ内訳

	全深度 全て		GL-5m迄	N 値<50	異常値	分析データ
	ボーリング 本数	N 値 データ数	N 値 データ数	N 値 データ数	N 値 データ数	N 値 データ数
①新生代;未固結堆積層	6,819	100,972	33,804	19,273	162	19,111
②新生代;火山岩 ・(火山)砕屑岩の堆積層	1,154	19,914	5,693	2,631	21	2,610
③中生代後期 ～新生代初期;花崗岩類	2,464	43,214	12,263	6,263	32	6,231
④中生代;砕屑岩・火山岩等の 堆積層(花崗岩類以外)	1,147	19,237	5,667	2,047	26	2,021
⑤古生層(砕屑岩, 火成岩の 堆積層)	1,336	22,720	6,626	2,814	24	2,790
合計	12,920	206,057	64,053	33,028	265	32,763

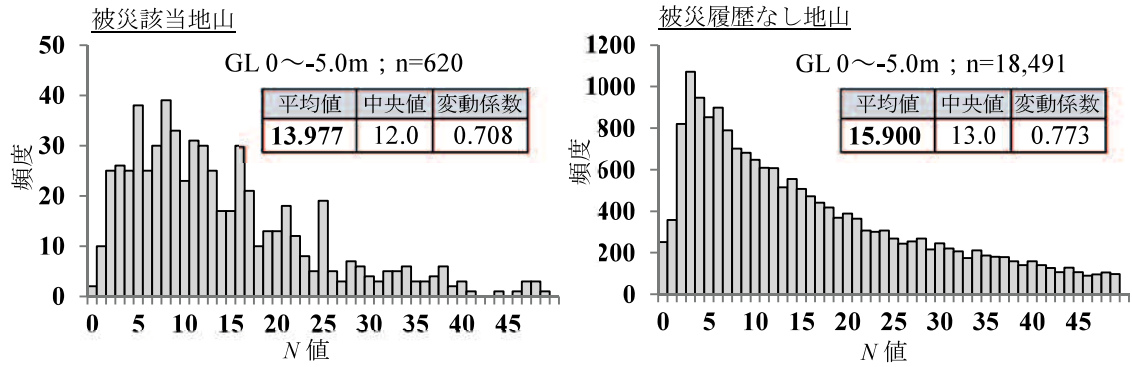


図-5.14 新生代 未固結堆積岩類の深度別 N 値

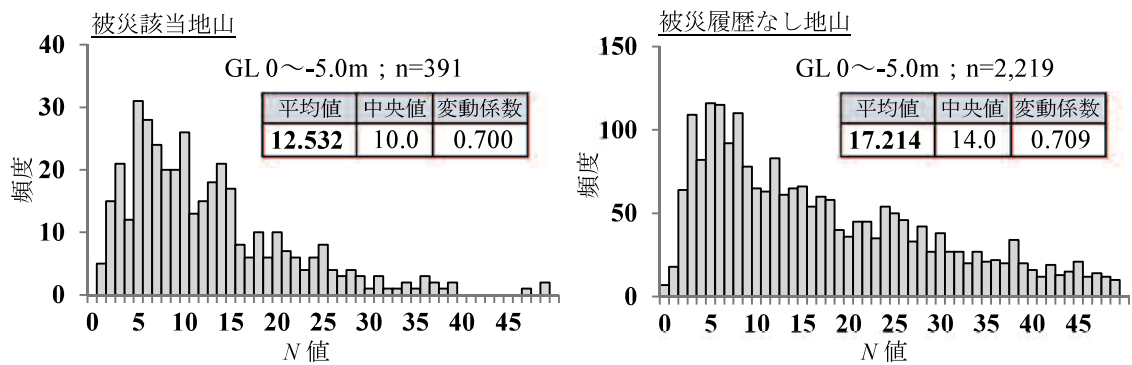


図-5.15 新生代 火山岩・(火山)砕屑岩類の深度別 N 値

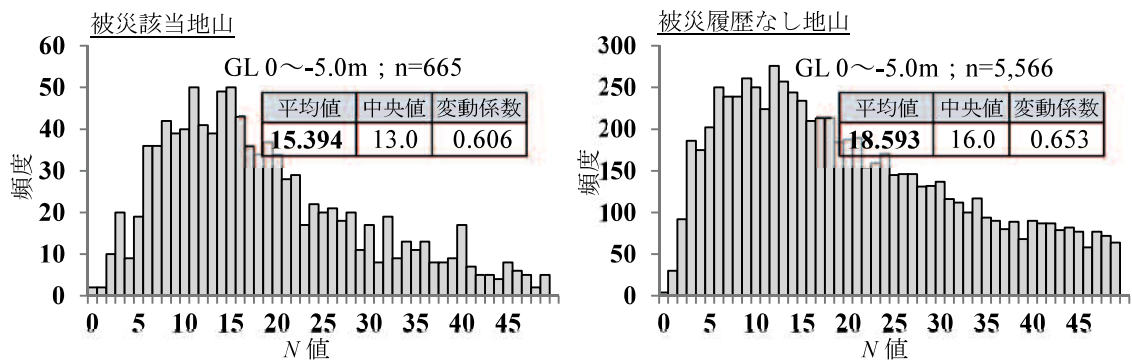


図-5.16 中生代後期～新生代初期 花崗岩類の深度別 N 値

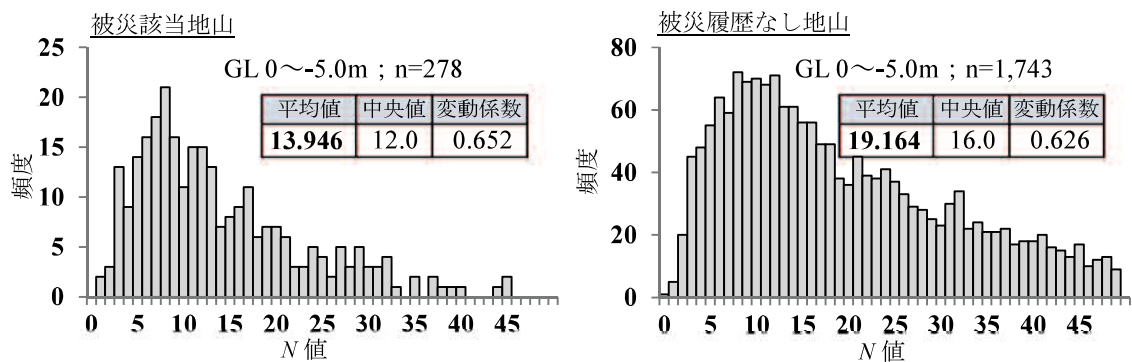


図-5.17 中生代 砕屑岩, 火山岩堆積層(花崗岩類以外)の深度別 N 値

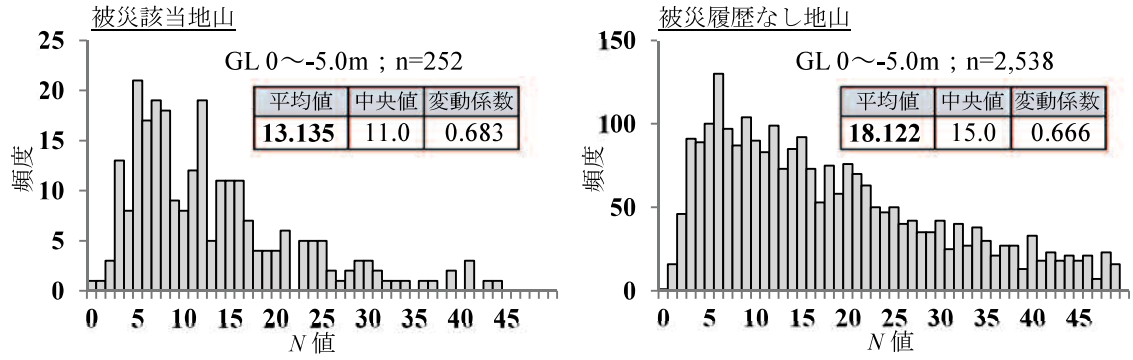


図-5.18 古生代 古生層(碎屑岩, 火成岩堆積層等)の深度別 N 値

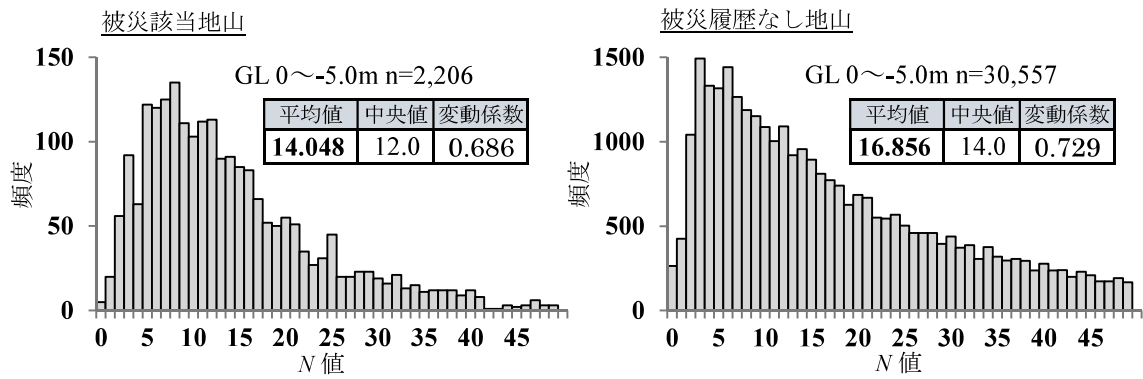


図-5.19 全地質に対する深度別 N 値

N 値の発現頻度は、両方とも低 N 値側にピークが出現しており、分布の形状は全地質を対象としたヒストグラムと類似している。地質分類毎の N 値データ数及び被災該当地山と被災履歴なしの地山の N 値データ数に違いはあるが、変動係数に大きな差はなく、発現傾向は類似している。いずれの N 値も、高い値側に裾を引く歪みを持った分布を示し、「中央値<平均値」の関係が成り立っている。分布の尖度は、新生代の未固結堆積層、新生代の火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層、古生層(碎屑岩、火成岩の堆積層)に比べて、中生代後期～新生代初期の花崗岩類、中生代の碎屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外)が緩くなっている。

表-5.6 は、5 つに区分した地質分類毎に図-5.14 から図-5.18 の結果をまとめたものである。平均値、中央値は、いずれの地質分類においても被災履歴なしの地山の N 値が被災該当地山の N 値を上回っている。平均 N 値及び中央値に対する被災該当地山と被災履歴なしの地山の差は、新生代の未固結堆積層以外は同じような開きになっている。

表-5.6 被災該当地山と被災履歴なし地山の地質分類別平均 N 値

地質分類	被災該当地山の N 値					被災履歴なし地山の N 値						
	平均値	標準偏差	変動係数	データ数	参考		平均値	標準偏差	変動係数	データ数	参考	
					中央値	最頻値					中央値	最頻値
①	13.977	9.901	0.708	620	12.0	8.0	15.900	12.284	0.773	18,491	13.0	3.0
②	12.532	8.770	0.700	391	10.0	5.0	17.214	12.210	0.709	2,219	14.0	5.0
③	15.394	9.332	0.606	665	13.0	11.0	18.593	12.150	0.653	5,566	16.0	6.0
④	13.946	9.091	0.652	278	12.0	8.0	19.164	11.998	0.626	1,743	16.0	8.0
⑤	13.135	8.968	0.683	252	11.0	5.0	18.122	12.063	0.666	2,538	15.0	6.0

※① 新生代;未固結堆積層

② 新生代;火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層

③ 中生代後期～新生代初期;花崗岩類

④ 中生代;碎屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外)

⑤ 古生層(碎屑岩、火成岩の堆積層)

※ハッチング部は、平均 N 値が小さい方を示す

5.5 危険限界 N 値の提案

5.5.1 使用したデータと危険限界 N 値

斜面災害の素因は、土質・岩質条件の物性と地層がどのように構成されているかという地質構造が挙げられる⁵⁾。降雨を誘因とする崩壊のほぼ 100%が深度 5m未満で発生している⁵⁾、⁶⁾ことから深度 5mまでの物性と地質構造が大きく影響を受ける。多くの斜面災害に対する潜在的な素因の評価は、表層の N 値からある程度推定することが可能であると考えられる。斜面崩壊は、滑動力が抵抗力を上回った時に発生する。この場合の抵抗力は、すべりに抵抗するせん断強さ τ で表され、式(6)に示す Coulomb の公式で求められる。斜面の安定解析はこの考え方を基本としており、滑動に対する抵抗力は、 $c \cdot \phi$ に支配される。

$$\tau = c + \tan \phi \quad (6)$$

砂質土及び粘性土における N 値と「 $c \cdot \phi \cdot qu$ 」の関係は、表-5.7 に示されているものが一般的である^{11),12)}。 N 値と「 ϕ 」との関係は砂質土、「 $c \cdot qu$ 」の関係は粘性土が対象であり、いずれも N 値が大きくなると、抵抗力が大きくなる。つまり、 N 値は地盤の硬軟や締り具合を定量的に示す数値であり、理論上は、 N 値が大きいほどその地盤は強固で崩壊し難いと言える。

但し、道路斜面を設計検討する場合には、一般的にこの関係式を単純に使用することではない。

表-5.7 N 値と地盤定数の推定^{11),12)}

出典	砂質土	粘性土	
	内部摩擦角 ϕ (°)	一軸圧縮強度 qu (kN/m^2)	粘着力 c (kN/m^2)
Terzaghi-Peck	—	12.5 N	—
Peck	27+0.3 N	—	—
Dunham	$\sqrt{(12N)+(15 \sim 20)}$	—	—
大崎	$\sqrt{(20N)+15}$	40+ $N/2$	—
建築基礎構造 設計規準解説	$\sqrt{(20N)+15}$	—	—
道路橋示方書 (1996)	$\sqrt{(15N)+15}$	—	(6.0~10.0) N
道路橋示方書 (2002)	$\phi = 4.8 \log N_I + 21$ $N_I = 170N / (\sigma'_v + 70)$ $\sigma'_v = \gamma_s h_{w1} + \gamma t^2 (x - h_w)$	—	土質試験 による
鉄道構造物等 設計標準	斜面概略安定計算 $\phi = 0.3N + 27$	—	斜面概略安定 $N/16(\text{kgf/cm}^2)$

前項までの結果から N 値は、全地質、深度別及び地質分類毎のいずれの場合も、被災該当地山の平均 N 値が明らかに被災履歴なしの地山の平均 N 値よりも低い値を示し、自然斜面及びのり面最上段の脆弱性を示すことが確認された。

従って、被災該当地山の脆弱性を示す指標として N 値の上限包絡線を求めるため、平均 N 値に標準偏差 1σ を加えたもの(以下、 1σ 上限 N 値という)に着目する。

3.3.2 項の表-3.3 で示したように中国地方の高速道路斜面災害は、1974 年から 2012 年 3 月末時点で 663 件が記録されており、全体の 44.5% (295 件) が切土のり面、50.8% (337 件) が盛土のり面、4.7% (31 件) が土石流を含む自然斜面となっている。本項で使用する災害データは、切土のり面と自然斜面の 326 件が対象である。 N 値の分析に使用した地質分類毎のデータ内訳は、5.4.2 項の表-5.5 に示したとおりである。

(1) 危険限界 N 値の算出(全地質)

全地質を対象とした被災該当地山と被災履歴なし地山に関する GL-5.0m 迄の 1σ 上限 N 値を図-5.20 に示す。これ以降の図に、決定係数 R^2 を含めて記載した近似式は、最小二乗法による回帰式である。深度と N 値の関係においては、非常に高い決定係数を有す線形で表わされる。被災該当地山の 1σ 上限 N 値は、被災履歴なし地山の 1σ 上限 N 値より各深度とも明らかに小さい値であった。

なお、本項以降に示す決定係数 (R^2) の評価基準は、下記に示すとおりである。

- ・ $R^2 \geq 0.8$; 非常に高い相関がある
- ・ $R^2 \geq 0.7$; 高い相関がある
- ・ $R^2 \geq 0.6$; 相関がある

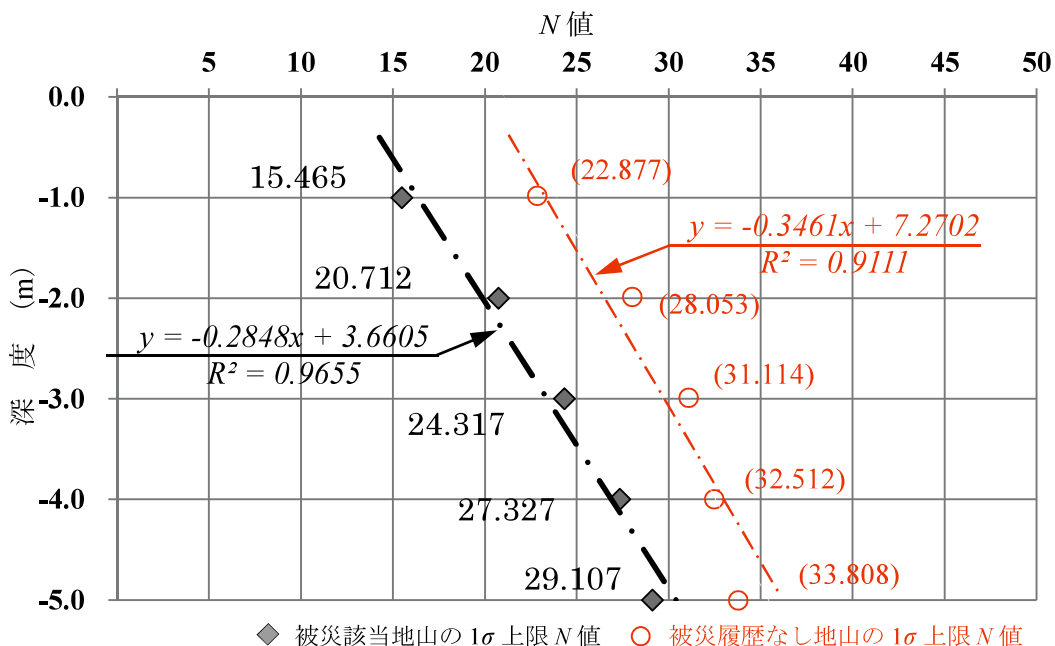


図-5.20 被災該当地山と被災履歴なし地山の深度別 1σ 上限 N 値

被災該当地山に対する深度-5.0m 迄の深度別 1σ 上限 N 値を求めた結果は、表-5.8 に示すとおりである。被災該当地山の N 値は、GL-5.0m 迄の各深度とも全て 80%以上の確率(割合)で 1σ 上限 N 値未満であった。なお、1σ 未満データ確率 y は、災害発生箇所と同一山腹の地山である「被災該当地山」の対象深度における全ての N 値データ数(Σn)が、平均 N 値から算出した 1σ 上限 N 値未満データ数(Σn₁)である比率を示している。

表-5.8 被災該当地山の深度別 1σ 上限 N 値

深度 GL-(m)	平均 N 値	標準偏差 σ	1σ 上限 N 値 (整数)	データ総数:n	1σ 未満 データ数:n ₁	1σ 以上 データ数	1σ 未満 ※ データ確率:y
-1.0	9.065	6.400	16.0	537	463	74	86.22%
-2.0	12.743	7.969	21.0	487	403	84	82.75%
-3.0	14.957	9.360	25.0	441	372	69	84.35%
-4.0	17.393	9.934	28.0	405	333	72	82.22%
-5.0	18.679	10.429	30.0	336	275	61	81.85%
計	—	—	—	2,206	1,846	360	83.71%

$$\text{※ } y(\%) = (\Sigma n_1 / \Sigma n) \times 100$$

また、図-21 は深度毎の「1σ 上限 N 値」と近似式及び上限包絡線である。「1σ 上限 N 値」の深度と N 値の関係は、式(7)で示すように高い決定係数を有す線形で表わされる。De は任意の N 値に対する深度(m)である。

$$De = -0.2848N + 3.6605 \quad (7)$$

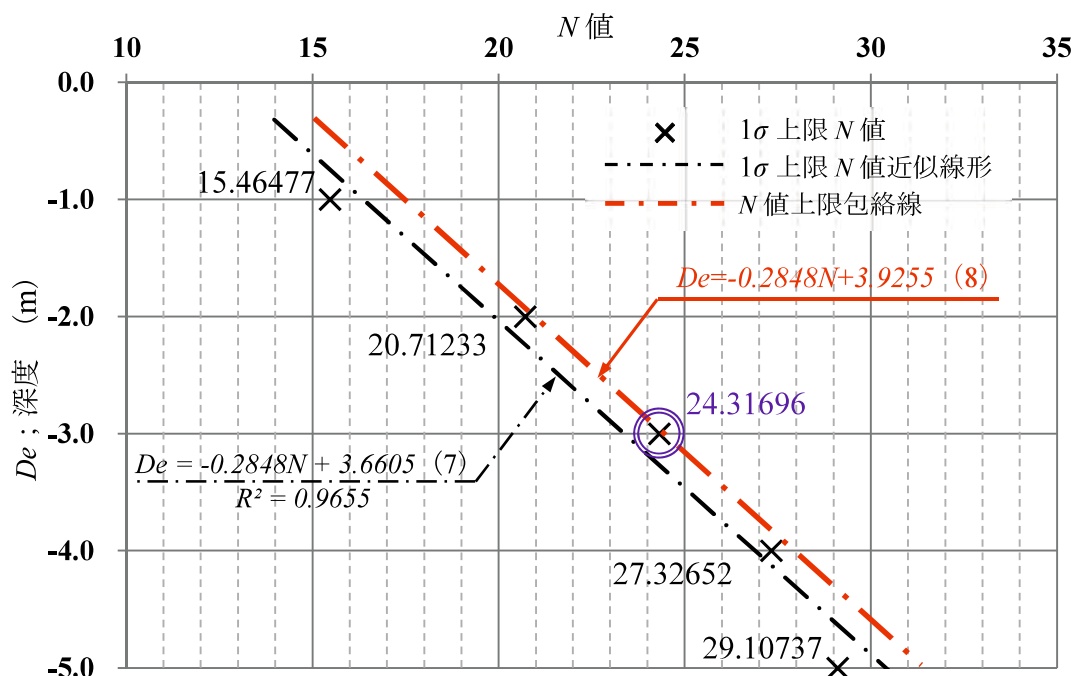


図-5.21 被災該当地山の深度別 1σ 上限 N 値と N 値上限包絡線

深度と N 値の関係には高い相関性が見られるため、式(7)の傾きを固定して平行移動させ、最大接点である深度-3.0m の N 値(24.31696)を通る直線が上限包絡線になる。

上限包絡線を求めると式(8)のようになる。

$$De = -0.2848N + 3.9255 \quad (8)$$

ここで、上限包絡線で与えられる N 値を「危険限界 N 値(以下 N_{DL} 値という)」とすると、深度 5.0m 迄の N_{DL} 値は、式(8)を変形した式(9)で表わされる。なお、図-5.21 に示す「 x 軸； N 値、 y 軸；深度(De)」を「 x 軸；深度(De)、 y 軸； N_{DL} 値」に入れ替えた場合の決定係数 R^2 は 0.9655 でありその差は僅かである。

$$N_{DL} = (-De + 3.9255) / 0.2848 \quad (9)$$

式(6)から GL-5.0m 迄の各深度の N_{DL} 値を求めた結果は、表-5.9 のとおりである。計算値を切り上げた整数値が N_{DL} 値である。 N_{DL} 値未満データ確率 y' は、災害発生箇所と同一山腹の地山である「被災該当地山」の対象深度における全ての N 値データ数(Σn)が、 N_{DL} 値未満データ数(Σn_2)である比率を示している。

GL-5.0m 迄の各深度の N_{DL} 値と N 値の上限包絡線を図-5.22 に示す。

表-5.9 全地質に対する被災該当地山の深度別 N_{DL} 値

深度 GL- (m)	平均 N 値	危険限界 N 値		データ総数; n	N_{DL} 値未満 データ数; n_2	N_{DL} 値以上 データ数	N_{DL} 値未満* データ確率; y'
		計算値	N_{DL} 値				
-1.0	9.065	17.294	18	537	486	51	90.50%
-2.0	12.743	20.806	21	487	403	84	82.75%
-3.0	14.957	24.317	25	441	372	69	84.35%
-4.0	17.393	27.828	28	405	333	72	82.22%
-5.0	18.679	31.339	32	336	284	52	84.52%
平均	14.048	22.561	23	2,206	1,835	371	83.18%

※ y' (%) = $(\Sigma n_2 / \Sigma n) \times 100$

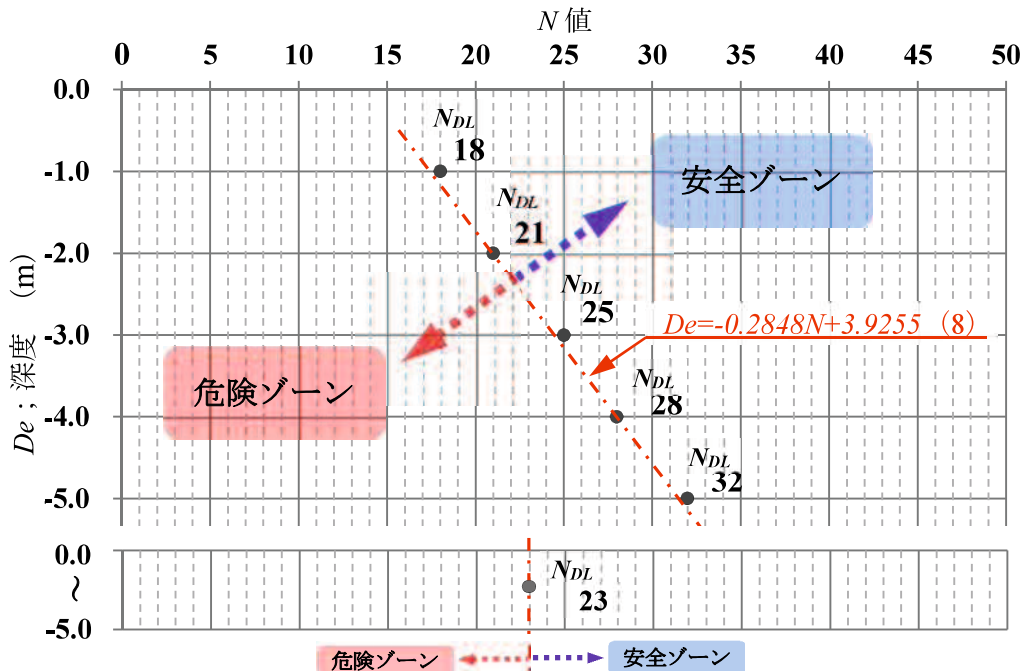


図-5.22 全地質に対する被災該当地山の深度別 N_{DL} 値

N_{DL} 値は、過去に被災を受けた災害箇所には該当する被災該当地山の N 値の上限値である。中国地方の高速道路において 1974 年 (S49) から 2012 年 (H24) 3 月末時点までに災害を受けた道路斜面 (被災該当地山) は、全地質を対象とした場合 GL-5.0m 迄の各深度の N 値が 80% 以上の確率 (割合) で、GL-5.0m 迄の平均 N 値は 84.4% が N_{DL} 値未満であることが判明した。

災害箇所には該当する被災該当地山の N 値が N_{DL} 値よりも低い値を示す斜面は、斜面災害に対して注意する必要がある。

(2) 地質分類別の N_{DL} 値

全地質と同じ手順で地質分類別の N_{DL} 値を深度毎に算出した。

STEP 1. 平均 N 値及び標準偏差の算出 ⇒ 深度毎及び GL-5.0m 迄の平均深度

STEP 2. 1σ 上限 N 値 (計算値) 算出

STEP 3. 最小 2 乗法による一次回帰式 ⇒ 決定係数の確認

STEP 4. 上限包絡線の決定 ⇒ 上式の傾きを固定して平行移動させ 1σ 上限 N 値 (計算値) の最大接点から上限包絡線を決定

STEP 5. N_{DL} 値を求める関係式に変換

⇒ GL-5.0m 迄の各深度及び平均深度の N_{DL} 値を求め N_{DL} 値未満データ確率を確認

地質分類は、第 4 章で示した「①新生代;未固結堆積層, ②新生代;火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層, ③中生代後期～新生代初期;花崗岩類, ④中生代;碎屑岩・火山岩等の堆積層 (花崗岩類以外), ⑤古生層 (碎屑岩, 火成岩の堆積層)」の 5 区分である。表-5.10 から表-5.14 に示す。

表-5.10 ①新生代;未固結堆積層 被災該当地山の深度別 N_{DL} 値

深度 GL- (m)	平均 N 値	危険限界 N 値		データ総数; n	N_{DL} 値未満 データ数; n_2	N_{DL} 値以上 データ数	N_{DL} 値未満* データ確率; y'
		計算値	N_{DL} 値				
-1.0	7.439	16.265	17	148	139	9	93.92%
-2.0	12.459	20.842	21	133	111	22	83.46%
-3.0	14.667	25.419	26	126	109	17	86.51%
-4.0	18.951	29.995	30	122	102	20	83.61%
-5.0	19.209	34.572	35	91	80	11	87.91%
平均	13.977	23.130	24	620	521	99	84.03%

※ N_{DL} 値未満データ確率 (%) $y' = (\sum n_2 / \sum n) \times 100$

表-5.11 ②新生代;火山岩(火山)碎屑岩の堆積層 被災該当地山の深度別 N_{DL} 値

深度 GL- (m)	平均 N 値	危険限界 N 値		データ総数; n	N_{DL} 値未満 データ数; n_2	N_{DL} 値以上 データ数	N_{DL} 値未満* データ確率; y'
		計算値	N_{DL} 値				
-1.0	9.421	18.022	19	95	86	9	90.53%
-2.0	11.500	20.760	21	86	75	11	87.21%
-3.0	12.588	23.498	24	80	71	9	88.75%
-4.0	15.708	26.237	27	72	60	12	83.33%
-5.0	15.138	28.975	29	58	53	5	91.38%
平均	12.532	22.129	23	391	339	52	86.70%

※ N_{DL} 値未満データ確率 (%) $y' = (\sum n_2 / \sum n) \times 100$

表-5.12 ③中生代後期～新生代初期;花崗岩類 被災該当地山の深度別深度別 N_{DL} 値

深度 GL- (m)	平均 N 値	危険限界 N 値		データ総数; n	N_{DL} 値未満 データ数; n_2	N_{DL} 値以上 データ数	N_{DL} 値未満* データ確率; y'
		計算値	N_{DL} 値				
-1.0	9.783	18.020	19	161	147	14	91.30%
-2.0	13.967	21.855	22	151	126	25	83.44%
-3.0	16.597	25.691	26	129	107	22	82.95%
-4.0	18.361	29.527	30	119	98	21	82.35%
-5.0	21.210	33.363	34	105	86	19	81.90%
平均	15.394	23.773	24	665	548	117	82.41%

※ N_{DL} 値未満データ確率(%) $y' = (\Sigma n_2 / \Sigma n) \times 100$

表-5.13 ④中生代;砕屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外) 被災該当地山の深度別 N_{DL} 値

深度 GL- (m)	平均 N 値	危険限界 N 値		データ総数; n	N_{DL} 値未満 データ数; n_2	N_{DL} 値以上 データ数	N_{DL} 値未満* データ確率; y'
		計算値	N_{DL} 値				
-1.0	9.797	19.114	20	69	67	2	97.10%
-2.0	12.810	23.014	24	63	56	7	88.89%
-3.0	16.172	26.914	27	58	47	11	81.03%
-4.0	14.638	30.814	31	47	43	4	91.49%
-5.0	18.732	34.714	35	41	38	3	92.68%
平均	13.946	24.964	25	278	238	40	85.61%

※ N_{DL} 値未満データ確率(%) $y' = (\Sigma n_2 / \Sigma n) \times 100$

表-5.14 ⑤古生層(砕屑岩, 火成岩の堆積層) 被災該当地山の深度別 N_{DL} 値

深度 GL- (m)	平均 N 値	危険限界 N 値		データ総数; n	N_{DL} 値未満 データ数; n_2	N_{DL} 値以上 データ数	N_{DL} 値未満* データ確率; y'
		計算値	N_{DL} 値				
-1.0	9.703	18.563	19	64	56	8	87.50%
-2.0	11.926	20.983	21	54	47	7	87.04%
-3.0	13.792	23.403	24	48	41	7	85.42%
-4.0	16.178	25.823	26	45	38	7	84.44%
-5.0	15.976	28.243	29	41	34	7	82.93%
平均	13.135	22.193	23	252	212	40	84.13%

※ N_{DL} 値未満データ確率(%) $y' = (\Sigma n_2 / \Sigma n) \times 100$

被災該当地山の脆弱性を示す指標として N 値の上限包絡線を求めるため 1σ 上限 N 値に着目し, 地質分類毎の深度から上限包絡線を設定し N_{DL} 値を算出する関係式を求めた. 被災該当地山の地質別及び全地質の N_{DL} 値と N_{DL} 値未満のデータ確率及び算出式は, 表-5.15 に示すとおりである.

中国地方の高速道路において 1974 年(S49)から 2012 年(H24)3 月末時点までに災害を受けた被災該当地山の N 値は, 全地質を対象とした場合も地質分類毎の場合も全て 80% 以上の高い確率で N_{DL} 値未満であることがわかった. 地質分類毎の N_{DL} 値は, 全ての地質が N 値の発現傾向と同様に深度の増加に従って大きくなっている. また, 地質分類毎の深度別 N_{DL} 値未満のデータ確率は, GL-1.0m ; 87.50%~97.10%, GL-2.0m ; 83.44%~88.89%, GL-3.0m ; 81.03%~88.75%, GL-4.0m ; 82.35%~91.49%, GL-5.0m ; 81.90%~92.68%, GL0.0m から-5.0m 迄 ; 82.57%~85.17%であり, その差は 3%から 10%の開きがある. GL0.0m から-5.0m 迄の平均値から算出した N_{DL} 値未満のデータ確率に対する地質分類毎の差は 4.3%であり大きな違いは見られない.

「被災該当地山」に関する平均 N 値は、深度と N 値の関係において、高い決定係数を有す線形で表わされ、深度毎の平均 N 値と標準偏差 σ から危険限界 N 値 (N_{DL} 値) を算出すると、「被災該当地山」における各深度の N 値は、80%以上の確率で N_{DL} 値以下であることが判明した。危険限界 N 値 (N_{DL} 値) は、道路斜面の脆弱性を表す指標として提案できると考えられる。また、一般に良質な支持地盤は、砂層、砂礫層で N 値が 30 程度以上¹³⁾とされており、GL0.0m から-5.0m 迄の N_{DL} 値は、これよりも緩い地盤の危険性を裏付ける結果となった。

表-5.15 被災該当地山の地質別 N_{DL} 値と N_{DL} 値未満のデータ確率及び算出式

地質区分	深度 GL-(m)	N_{DL} 値	N_{DL} 値未満* データ確率; y'	N_{DL} 値の算出式
①	-1.0	17	93.92%	$N_{DL} = (-De + 2.5539) / 0.2185$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	21	83.46%	
	-3.0	26	86.51%	
	-4.0	30	83.61%	
	-5.0	35	87.91%	
	平均	24	82.57%	
②	-1.0	19	90.53%	$N_{DL} = (-De + 5.5816) / 0.3652$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	21	87.21%	
	-3.0	24	88.75%	
	-4.0	27	83.33%	
	-5.0	29	91.38%	
	平均	23	86.70%	
③	-1.0	19	91.30%	$N_{DL} = (-De + 3.6977) / 0.2607$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	22	83.44%	
	-3.0	26	82.95%	
	-4.0	30	82.35%	
	-5.0	34	81.90%	
	平均	24	82.40%	
④	-1.0	20	97.10%	$N_{DL} = (-De + 3.9008) / 0.2564$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	24	88.89%	
	-3.0	27	81.03%	
	-4.0	31	91.49%	
	-5.0	35	92.68%	
	平均	25	85.60%	
⑤	-1.0	19	87.50%	$N_{DL} = (-De + 6.6702) / 0.4132$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	21	87.04%	
	-3.0	24	85.42%	
	-4.0	26	84.44%	
	-5.0	29	82.93%	
	平均	23	84.13%	
全地質	-1.0	18	90.50%	$N_{DL} = (-De + 3.9255) / 0.2848$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	21	82.75%	
	-3.0	25	84.35%	
	-4.0	28	82.22%	
	-5.0	32	84.52%	
	平均	23	83.18%	

※① 新生代;未固結堆積層

※ N_{DL} 値未満データ確率(%) $y' = (\sum n_2 / \sum n) \times 100$

② 新生代;火山岩・(火山) 碎屑岩の堆積層

③ 中生代後期~新生代初期;花崗岩類

④ 中生代;碎屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外)

⑤ 古生層(碎屑岩, 火成岩の堆積層)

なお、STEP 3 で実施する 1σ 上限 N 値算出の一次回帰式に対するすべての地質分類毎の決定係数 R^2 について、説明変数 x と従属変数 y を入れ替えて確認を行った結果は表 5.16 に示すとおりである。

表-5.16 被災該当地山深度別 1σ 上限 N 値の近似式に対する決定係数 R^2 値

	X 軸; N 値, y 軸; 深度			X 軸; 深度, y 軸; N 値		
	偏差平方和	回帰平方和	決定係数	偏差平方和	回帰平方和	決定係数
① 新生代; 未固結堆積層	10.0	9.24417	0.92442	193.62657	178.94592	0.92418
② 新生代; 火山岩(火山)砕屑岩の堆積層	10.0	8.40898	0.84090	63.04948	53.00585	0.84070
③ 中生代後期～新生代初期 花崗岩類	10.0	9.85780	0.98578	145.04345	142.99137	0.98585
④ 中生代 砕屑岩, 火山岩堆積層(花崗岩類以外)	10.0	7.05699	0.70570	107.34538	75.73504	0.70553
⑤ 古生代 古生層(砕屑岩, 火成岩堆積層等)	10.0	9.45806	0.94581	55.39636	52.39063	0.94574
全地質	10.0	9.65407	0.96541	119.02285	114.91422	0.96548

説明変数である x 軸(N 値)と従属変数である y 軸(深度)を x 軸(深度), y 軸(N 値)に入れ替えても、 R^2 値の変化は僅かである。 1σ 上限 N 値算出の一次回帰式に対するすべての地質分類毎の決定係数 R^2 は、何れの場合も高い相関があるといえる。

(3) 未災害箇所である「被災履歴なし地山」データの N_{DL} 値未満確率(割合)

未災害箇所である「被災履歴なし地山」データに占める N_{DL} 値未満確率(割合)と、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」データに占める N_{DL} 値未満確率(割合)を表-5.17 と図-5.23 に示す。

表-5.17 「被災該当地山」と「被災履歴なし地山」に占める N_{DL} 値未満確率(割合)

深度 GL-(m)	N_{DL} 値未満 DB 確率					
	① 新生代; 未固結堆積層	② 新生代; 火山岩(火山)砕屑岩堆積層	③ 中生代後期～新生代初期 花崗岩類	④ 中生代 砕屑岩, 火山岩堆積層(花崗岩類以外)	⑤ 古生代 古生層(砕屑岩, 火成岩堆積層等)	全地質
-1	93.92%	90.53%	91.30%	97.10%	87.50%	90.50%
	75.07%	74.70%	75.18%	71.92%	70.00%	74.40%
-2	83.46%	87.21%	83.44%	88.89%	87.04%	82.75%
	71.15%	66.10%	64.95%	59.72%	61.11%	67.62%
-3	86.51%	88.75%	82.95%	81.03%	85.42%	84.35%
	73.65%	61.72%	64.07%	66.67%	65.29%	68.21%
-4	83.61%	83.33%	82.35%	91.49%	84.44%	82.22%
	75.91%	71.69%	69.58%	70.28%	65.40%	70.97%
-5	87.91%	91.38%	81.90%	92.68%	82.93%	84.52%
	81.12%	65.83%	73.49%	75.71%	71.30%	74.98%
0-5	84.03%	86.70%	82.41%	85.61%	84.13%	83.18%
平均	73.41%	67.01%	67.07%	67.41%	66.51%	69.30%

※ 上段; 被災該当地山, 下段; 被災履歴なし地山

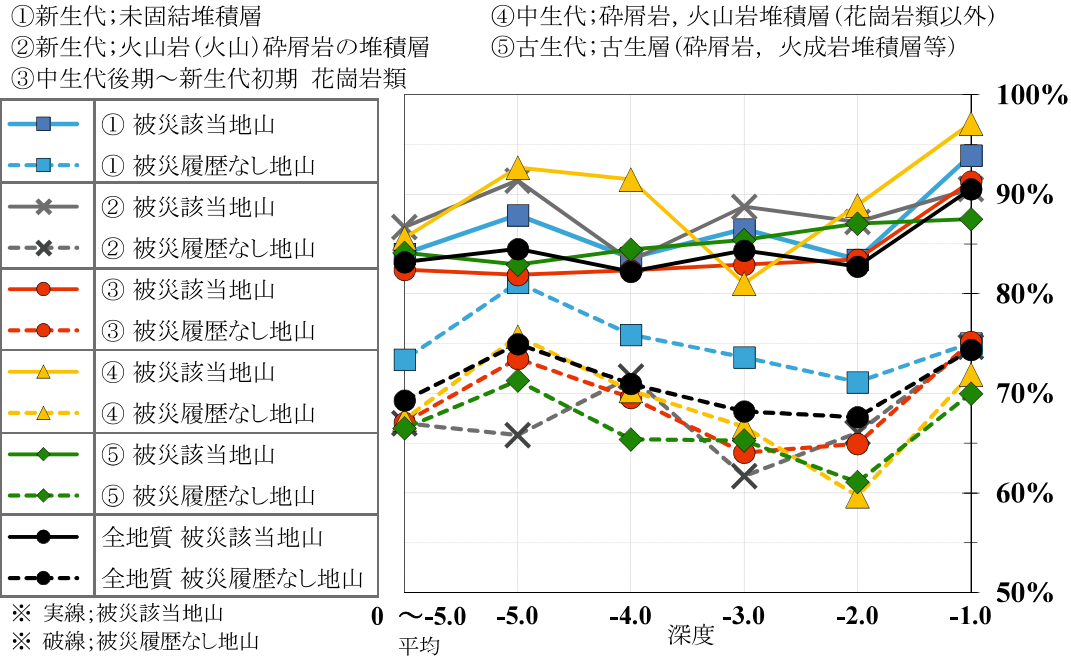


図-5.23 「被災該当地山」と「被災履歴なし地山」に占める N_{DL} 値未満確率(割合)

「被災該当地山」データに占める N_{DL} 値未満確率(割合)は、各地質分類及び全地質において全ての深度で「被災履歴なし地山」データに占める N_{DL} 値未満確率(割合)を下回っている。GL0.0m から-5.0m 迄の平均値から算出した N_{DL} 値では約 10%~20%の開きがあり、明らかに緩い地盤の危険性を裏付ける結果となった。

しかし、未災害箇所である「被災履歴なし地山」データに占める N_{DL} 値未満の確率(割合)は 70%前後ある。表層 N 値以外の素因についての分析は今後の課題である。

5.5.2 危険限界N値の有効性

前項で提案した危険限界 N 値(N_{DL} 値)は、1974年から2012年3月末時点までのデータを用いて算出したものであるため、2013年4月から2015年3月までの斜面災害発生箇所についてその検証を行い、有効性の確認を行った。切土のり面及び自然斜面で発生した斜面災害のうち、記録が残存しているものは20件である。内訳を表-5.18に示す。図-5.24から図-5.28は、その代表的な災害箇所の概況である。

表-5.18 2013年4月から2015年3月までの斜面災害発生箇所の概要

No	路線名	IC 区間	発生年月日	土量 (m^3)	区分	地質
1	岡山自動車道	有漢 IC～北房 JCT	2013/7/6	1,500	切土	古生層 (碎屑岩_火成岩堆積層等)
2	岡山自動車道	有漢 IC～北房 JCT	2013/7/10	6,500	切土	新生代 未固結堆積岩類
3	山陽自動車道	尾道 JCT～尾道 TB	不明	10	切土	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
4	米子自動車道	江府 IC～溝口 IC	2013/7/15	750	切土	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
5	米子自動車道	蒜山 IC～江府 IC	2013/7/15	—	自然斜面	中生代後期～新生代初期 花崗岩類
6	米子自動車道	蒜山 IC～江府 IC	2013/7/15	50	切土	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
7	米子自動車道	蒜山 IC～江府 IC	2013/7/15	—	自然斜面	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
8	米子自動車道	蒜山 IC～江府 IC	2013/7/15	—	切土	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
9	江津道路	江津 IC～江津西 IC	2013/8/24	36	切土	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
10	江津道路	江津 IC～江津西 IC	2013/8/24	25	切土	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
11	江津道路	江津西 IC～浜田東 IC	2013/8/24	2,500	自然斜面	古生層 (碎屑岩_火成岩堆積層等)
12	浜田自動車道	浜田 JCT～浜田 IC	2013/8/24	140	切土	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
13	中国自動車道	東城 IC～庄原 IC	2013/9/4	—	切土	新生代 未固結堆積岩類
14	山陰自動車道	松江玉造 IC～宍道 IC	2013/10/24	—	切土	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
15	山陽自動車道	福山西 IC～尾道 IC	2013/7/5	10	切土	新生代 火山岩_(火山)碎屑岩類
16	山陽自動車道	福山東 IC～福山西 IC	2013/7/5	15	切土	新生代 未固結堆積岩類
17	広島岩国道路	大竹 IC～大竹 JCT	2014/8/6	—	切土	新生代 未固結堆積岩類
18	山陽自動車道	尾道 JCT～尾道 TB	2014/8/12	—	切土	中生代後期～新生代初期 花崗岩類
19	山陽自動車道	広島 IC～広島 JCT	2014/8/20	—	切土	中生代後期～新生代初期 花崗岩類
20	山陽自動車道	五日市 IC～廿日市 JCT	2014/8/22	12	切土	中生代後期～新生代初期 花崗岩類



図-5.24 No.2 岡山自動車道 有漢 IC～北房 JCT 切土のり面災害



図-5.25 No.5 米子自動車道 蒜山 IC
～江府 IC 自然斜面(土石流)災害



図-5.26 No.11 江津道路
江津西 IC～浜田東 IC 自然斜面災害



図-5.27 No.14 松江自動車道
松江玉造 IC～宍道 IC 切土のり面災害



図-5.28 No.20 山陽自動車道
五日市 IC～廿日市 JCT 切土のり面災害

2013年4月から2015年3月までに切土のり面及び自然斜面で発生した斜面災害20件を対象に、被災該当地山の平均 N 値と前項で提案した N_{DL} 値の検証を行う。使用したデータは、表-5.19のとおりである。災害箇所の地質は、「①新生代;未固結堆積層, ②新生代;火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層, ③中生代後期～新生代初期;花崗岩類, ⑤古生層(碎屑岩, 火成岩の堆積層)」の4区分であり、これらと全地質を対象としたものについて比較した。結果を表-5.20に示す。

表-5.19 斜面災害箇所における平均 N 値算出に使用した地質分類毎のデータ内訳

	全深度 全て		GL-5m迄	N 値<50	異常値	分析データ
	ボーリング 本数	N 値 データ数	N 値 データ数	N 値 データ数	N 値 データ数	N 値 データ数
①新生代;未固結堆積層	8	73	40	37	0	37
②新生代;火山岩 ・(火山)碎屑岩の堆積層	21	189	103	95	0	95
③中生代後期 ～新生代初期;花崗岩類	11	68	53	41	0	41
④中生代;碎屑岩・火山岩等の 堆積層(花崗岩類以外)	—	—	—	—	—	—
⑤古生層(碎屑岩, 火成岩の 堆積層)	1	10	5	5	0	5
合計	41	340	201	178	0	178

表-5.20 被災該当地山の平均 N 値と N_{DL} 値の検証結果

地質区分	深度 GL- (m)	N_{DL} 値	被災該当地山 平均 N 値	有効性	N_{DL} 値の算出式
①	-1.0	17	10.000	OK	$N_{DL} = (-De + 2.5539) / 0.2185$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	21	12.625	OK	
	-3.0	26	11.286	OK	
	-4.0	30	20.375	OK	
	-5.0	35	18.333	OK	
	平均	24	14.405	OK	
②	-1.0	19	7.333	OK	$N_{DL} = (-De + 5.5816) / 0.3652$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	21	10.650	OK	
	-3.0	24	12.389	OK	
	-4.0	27	15.722	OK	
	-5.0	29	18.611	OK	
	平均	23	12.716	OK	
③	-1.0	19	9.727	OK	$N_{DL} = (-De + 3.6977) / 0.2607$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	22	18.364	OK	
	-3.0	26	26.889	NO	
	-4.0	30	28.714	OK	
	-5.0	34	25.000	OK	
	平均	24	19.732	OK	
④	-1.0	20	—	—	$N_{DL} = (-De + 3.9008) / 0.2564$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	24	—	—	
	-3.0	27	—	—	
	-4.0	31	—	—	
	-5.0	35	—	—	
	平均	25	—	—	
⑤	-1.0	19	4.000	OK	$N_{DL} = (-De + 6.6702) / 0.4132$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	21	6.000	OK	
	-3.0	24	5.000	OK	
	-4.0	26	6.000	OK	
	-5.0	29	4.000	OK	
	平均	23	5.000	OK	
全地質	-1.0	18	8.415	OK	$N_{DL} = (-De + 3.9255) / 0.2848$ (※ N_{DL} 値は切上げ整数値)
	-2.0	21	13.050	OK	
	-3.0	25	15.171	OK	
	-4.0	28	19.206	OK	
	-5.0	32	18.714	OK	
	平均	23	14.466	OK	

- ※① 新生代;未固結堆積層
 ② 新生代;火山岩・(火山) 砕屑岩の堆積層
 ③ 中生代後期~新生代初期;花崗岩類
 ④ 中生代;砕屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外)
 ⑤ 古生層(砕屑岩, 火成岩の堆積層)

2013年4月から2015年3月までに切土のり面及び自然斜面で発生した斜面災害20件を対象に被災該当地山の平均 N 値と前項で提案した N_{DL} 値の検証を行った結果は、表-5.17に示すとおりである。中生代の碎屑岩・火山岩等の堆積層は、災害が発生していないため検証は出来なかった。また、各深度の N 値には極端な異常値は見受けられなかった。

被災該当地山の平均 N 値は、中生代後期～新生代初期の花崗岩類における深度-3.0m以外は、中生代の碎屑岩・火山岩等の堆積層を除く全ての地質及び深度において N_{DL} 値を下回っている。被災該当地山の平均 N 値は、中生代後期～新生代初期の花崗岩類における深度-3.0mだけが N_{DL} 値を超えているが、GL0.0mから-5.0m迄の平均値から算出した N_{DL} 値では、全ての地質の平均 N 値方が低くなっている。一般に良質な支持地盤は、砂層、砂礫層で N 値が30程度以上¹³⁾と定義されている。被災該当地山の平均 N 値は、全てこれを下回っており緩い地盤の危険性を裏付ける結果となった。

5.5.1項で述べたが、GL0.0mから-5.0m迄の平均値から算出した N_{DL} 値未満のデータ確率に対する地質分類毎の差は、地質分類毎の深度別 N_{DL} 値未満のデータ確率の差に比べて小さいものであるため、 N_{DL} 値はGL0.0mから-5.0m迄の平均値から算出したものを使用することが適切であると考えられる。また、のり面全体の健全性や予防保全のための防災対策検討等の実務に N_{DL} 値を使用した場合を考えると、深度毎の適用よりもGL0.0mから-5.0m迄の N_{DL} 値を使用することの方が運用上適切ではないかと考える。

実務において、その地山の締まり具合や地層を評価する場合は、玉石や礫・転石等の影響で極端に大きな N 値を示し地層全体の強さに比べ過大な値になる異常値を除いて評価し、低い値は脆弱層の値として扱う。従って、GL0.0mから-5.0m迄の平均 N 値の算出は、これと同じ考え方で行うことが基本であると考えられる。

5.6 まとめ

斜面災害は、対象となる地盤の硬さや締まり具合が大きく影響を与える。従って、SPT結果である N 値は、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面の健全性判断に対するひとつの指標として活用できるものであると考えられる。

標準貫入試験方法が JIS で制定され、 N 値が標準的な地盤指標として採り入れられた 1961 年 (S36) 以降は、高速道路や新幹線等の交通インフラ整備が本格的に始まった時期でもあり、構造物の設計検討に対する地盤の評価には N 値が使用されてきた。中国地方の高速道路においても、技術資料として整理されている N 値は、20 万レコードを超える膨大なデータがある。しかし、これらは災害復旧等の個別事象断面に応じた活用に止まっており、管理する高速道路斜面の点検や防災検討を目的とした総合的な評価には活用されていない。

本章では、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した標準貫入試験結果である N 値」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、斜面災害発生箇所に関連する「被災該当地山」に着目し、斜面崩壊が発生しやすい表層の緩んだ地盤の性状を 5 区分した地質分類毎に N 値の違いから分析した。斜面災害の大部分が切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから、地山表層風化部の締め具合を N 値の深度分布から考察し、斜面災害箇所に着目した分析を行ったものである。

中国地方における高速道路の斜面災害箇所と SPT 結果の関連性をまとめると以下のようになる。

- 1) N 値の発現頻度は高 N 値側に裾を引く対数正規分布に類似し、各代表値の大小関係は「最頻値 < 中央値 < 平均値」になる。 N 値の発現頻度は、低い値側に偏っている。
- 2) N 値は、深度の増加に従って値が大きくなっている。地表面の浅い深度ほど N 値が低く固結度が悪いといえる。
- 3) 被災該当地山の N 値と被災履歴なし地山の N 値に分類した場合についても、ヒストグラムは両者とも高 N 値側に裾を引く形状を示し概ね対数正規分布に類似している。
- 4) 被災該当地山の N 値と被災履歴なし地山の N 値のヒストグラムは、分布の尖度を比較すると被災該当地山の N 値の方が若干緩やかであり、最頻値が複数発現する。 N 値は、高い値側に裾を引く歪みを持った分布を示し「中央値 < 平均値」の関係が成り立っているため、この高い値側に裾を引く歪み部分にバラツキが含まれている。被災該当地山の N 値と被災履歴なし地山の N 値の違いを分析するためには、安全側の設定となる中央値よりもバラツキを多く含む平均 N 値が適切であると考えられる。
- 5) 地質分類による被災該当地山と被災履歴なし地山の平均 N 値の深度別発現傾向は、両方とも低 N 値側にピークが出現しており、分布の形状は全地質を対象としたヒストグラムと類似している。平均値、中央値は、いずれの地質分類においても被災履歴なし

の地山のN値が被災該当地山のN値を上回っている。

- 6) いずれの地質分類においても被災履歴なしの地山のN値が被災該当地山のN値を上回っているため、被災該当地山の危険限界N値(N_{DL} 値)の提案を行った。被災該当地山のN値は、全地質を対象とした場合も地質分類毎の場合も全て80%以上の高い確率で N_{DL} 値未満であることがわかった。

表層地質分類毎における要注意斜面の基準となる N_{DL} 値とその計算根拠である算出式は以下ようになる。

地質区分	GL- (m)に対する N_{DL} 値 (N_{DL} 値は切上げ整数値)						摘要 (N_{DL} 値の算出式)
	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	平均※	
①新生代;未固結堆積層	17	21	26	30	35	24	$N_{DL} = (-De + 2.5539)/0.2185$
②新生代;火山岩・(火山)砕屑岩の堆積層	19	21	24	27	29	23	$N_{DL} = (-De + 5.5816)/0.3652$
③中生代後期～新生代初期;花崗岩類	19	22	26	30	34	24	$N_{DL} = (-De + 3.6977)/0.2607$
④中生代;砕屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外)	20	24	27	31	35	25	$N_{DL} = (-De + 3.9008)/0.2564$
⑤古生層(砕屑岩, 火成岩の堆積層)	19	21	24	26	29	23	$N_{DL} = (-De + 6.6702)/0.4132$
全地質	18	21	25	28	32	23	$N_{DL} = (-De + 3.9255)/0.2848$

※平均は GL0~-5.0m までの平均深度から算出

- 7) のり面全体の健全性や予防保全のための防災対策検討等の実務に N_{DL} 値を使用した場合を考えると、 N_{DL} 値はGL0.0mから-5.0m迄の平均値から算出したものを使用することが適切であると考えられる。
- 8) 2013年4月から2015年3月までに切土のり面及び自然斜面で発生した斜面災害20件を対象に被災該当地山の平均N値と N_{DL} 値の検証を行った結果、GL0.0mから-5.0m迄の平均値から算出した N_{DL} 値は、災害が発生していない中生代の砕屑岩・火山岩等の堆積層を除く全ての地質の平均N値方が低くなっている。全地質で比較すると全ての深度で平均N値は N_{DL} 値を下回っている。提案した N_{DL} 値の有効性が確認された。

第5章の参考文献

- 1) 奥園誠之：斜面防災 100 のポイント，172pp.，鹿島出版会，2006.
- 2) 小山内信智，富田陽子，秋山一弥，松下智祥：がけ崩れ災害の実態，国土技術政策総合研究所資料，国総研資料第 530 号，pp.75-79，2009.
- 3) 西日本高速道路(株)：道路網図，http://corp.w-nexco.co.jp/activity/bus_area/，(参照 2015 年 5 月 5 日).
- 4) (社)日本道路協会，道路土工 切土・斜面安定工指針，pp.1623-163. 2009.
- 5) 佐々木靖人，小橋秀俊，浅井健一：防災点検の有効性と災害の提言に向けて・道路防災総点検の手引き，pp.1-80，全国地質調査業協会連合会，2013.
- 6) 牧原依夫，田部井哲夫，山口英俊，笹尾光：東京付近に分布する地層の N 値-ばらつきの実態と地域性-，基礎構造物の限界状態設計法に関するシンポジウム，pp.201-206，1994.
- 7) 地盤工学会 N 値と $C\cdot\phi$ の活用法編集委員会： N 値と $C\cdot\phi$ の活用法，pp.21-40，p.125，(公社)地盤工学会，2005.
- 8) 地盤工学会「設計用地盤定数の決め方—土質編—」編集委員会：設計用地盤定数の決め方—土質編—，pp.66-67，(公社)地盤工学会，2009.
- 9) 山本正明，伊藤洋，本城勇介：土質データのばらつきと設計，土と基礎，Vol.35，No.5，pp.69-76，1987.
- 10) N 値の話編集委員会：改訂 N 値の話，理工図書(株)，p28，2007.
- 11) 地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会：地盤調査の方法と解説 二分冊の 1/二分冊の 2，pp.279-312，(公社)地盤工学会，2013.
- 12) 地盤工学会 N 値と $C\cdot\phi$ の活用法編集委員会： N 値と $C\cdot\phi$ の活用法，201pp.，(公社)地盤工学会，2005.
- 13) 東・中・西日本高速道路(株)：設計要領第二集，第 4 章，pp15-16，2011.

第 6 章

第6章 結論

6.1 本研究のまとめ

本研究は、道路斜面管理の現状と課題である「道路斜面数量の多さに起因する道路斜面管理実施の困難性」、「道路防災点検の評価結果と災害実態の不整合性」を解決するため、中国地方の特性に応じた災害の特徴とその素因について、過去の災害事例と既存資料からマクロ的に分析し、道路斜面の脆弱性について標準貫入試験結果(N 値)の危険限界値を合理的に求めることを目的としている。この成果を基に、今後計画される道路の設計上の留意点や現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面の予防保全に関する提案と「点検の頻度や動態観測の可否及び詳細調査・防災対策の優先度付け」に対し、有意な基礎資料として活用されることを目指している。論文は、中国地方における「斜面災害の傾向分析」と「標準貫入試験結果(N 値)の分析」に大別され、第2章から第4章までが「斜面災害の傾向分析」について、第5章が前章までの結果を基に「標準貫入試験結果(N 値)の分析」についてまとめたものとなっている。

以下、本研究の成果を各章毎に取りまとめる。

「第1章 序論」では、道路斜面管理と防災対策の現状を整理し、先行研究の事例をまとめるとともに、解決すべき課題を抽出して本研究の背景と目的を明確にした。

膨大な数量を抱える道路斜面管理と防災対策は、損傷や変状の発生発見によって対応する「対症療法型管理(事後保全)」から、道路斜面の安定性が損なわれる前に対応する「予防保全型管理(予防保全)」という考え方が取り入れられてきており、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面を含んだものにまでその対象が広がっていく。道路斜面の予防保全が橋梁やトンネル、舗装等他の構造物と大きく異なるのは、主に自然が対象であることが挙げられる。斜面は、材料の不均一性や地域的な地質特性等の素因の違いが顕著であり、これらが災害の規模や形態に影響を与えるために画一的な管理が難しいということに集約される。しかし、点検の要領や基準では、対象道路斜面の抽出手法や評価は全国一律で、地域性が考慮されていない。従って、道路斜面の予防保全は、地域の特性に応じた災害の特徴とその素因を過去の災害事例と既存資料からマクロ的に分析して関連付け、戦略的に対応することが必要であり、大きな課題である。

斜面災害の傾向分析の先行研究は、その対象が限られた領域の特定の地質と実効雨量で行われているもの、対象とする災害が大規模なもの、自然斜面に特化したもの、地質区分が巨視的であること、地質構造の詳細な解明に主眼を置いたもの等が多い。中国地方の小規模災害を含めた長期にわたる災害事例の研究・報告は見受けられなかった。標準貫入

試験結果(N 値)の分析については、広域地盤図及びその編纂に伴う規定や仕様の検討、 N 値データの不確実性と設計の信頼性に関するもの、地盤定数との関連性、地盤支持力の推定等に関する研究が大多数を占めており、地質と深度分布に対する特性を斜面災害箇所の視点から統計的かつ包括的に分析した事例は非常に少ない。特に、中国地方の N 値を広域的に分析・評価されたものは見受けられなかった。 N 値は標準的な地盤指標として採り入れられ膨大なデータがあるにも関わらず、これらは災害復旧等の個別事象断面に応じた活用に止まっており、管理する高速道路斜面の点検や防災検討を目的とした総合的な評価には活用されていないことが明らかになった。

本研究は、中国地方における土砂災害の特徴、高速道路斜面災害の形態分析及び表層地質と道路斜面災害発生箇所の関連性を整理し、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」の視点から斜面崩壊が発生しやすい表層の緩んだ地盤の性状を、5 区分した地質分類毎に N 値の違いから導き出したものである。

また、本研究の流れを明確にするために、論文の構成と概要を示した。

「第2章 中国地方における土砂災害」では、中国地方の地域的な土砂災害の特徴を把握することを行った。まず、地形・地質・降雨の特徴を全国と中国地方でまとめ、その後土砂災害の傾向を全国と中国地方で比較整理した。結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 我が国は、国土の約73%が斜面災害の危険性を有す山地と丘陵地である。中国地方の山地と丘陵地は88.4%を占め、各県とも全て全国値を上回っている。
- 2) 我が国の地質は、様々な種類の地質や岩体が存在し極めて複雑である。地表付近での地質の年代は、50%以上が新生代新第三紀以降のものであり脆弱で不安定である。中国地方は、30%弱が花崗岩類で覆われており、花崗岩類が広く分布していることが中国地方の地質分布の大きな特徴として挙げられる。花崗岩類、流紋岩類、三郡変成岩類で50%近くを占めており、表層風化土は脆弱である。
- 3) 全国平均の年降水量は、1982年(昭和57年)から2011年(平成23年)までを10年毎の平均値で比較すると、+6.42%、+9.55%と増加している。中国地方は、-7.65%、-4.27%と減少しており、全国平均と違い若干の減少傾向にある。中国地方の局地的集中豪雨は、気象庁が発表している全国傾向と同様にその増加が著しい。年降水量は、それほど大きな変化が認められないが、局地的集中豪雨は年々増加する傾向にある。
- 4) 中国地方の土砂災害発生傾向について近年10年間の増減傾向を5年平均で比較すると、中国地方は、土石流・崖崩れの増加割合が大きくなっており、地すべりはわずかに減少している。増減の割合は、全国データと大きく違い、土石流は全国の8倍強、崖崩れは17倍となっている。反対に地すべりは、全国の1/10倍であった。
- 5) 中国地方は、災害発生指数に比べて災害危険箇所指数が高く、潜在的な危険素因を有す斜面が非常に多い。昨今の局地的集中豪雨の増加現象を鑑みると、土砂災害の発生リスクは増加している。

「第3章 中国地方における高速道路の斜面災害」では、中国地方の高速道路斜面災害の概要を全国の他の地域と比較し、災害の傾向を把握することを行った。中国地方における高速道路斜面及び災害の特徴と傾向をまとめると以下ようになる。

- 1) 中国地方は、のり面保有率とトンネル保有率は、全国第1位となっている。中国地方の山地・丘陵地率が第1位であることと繋がり、数多くの道路斜面を有す。
- 2) 中国地方の高速道路斜面は、切土のり面が8,088箇所、盛土のり面が10,596箇所、自然斜面が4,037箇所である。高速道路用地内の切土のり面と盛土のり面だけでも18,684箇所に上り、膨大な数量の点検が課題である。
- 3) 中国地方の高速道路斜面災害の誘因は全て降雨である。その発生件数の総数は663件で、全体の44.5%(295件)が切土のり面、50.8%(337件)が盛土のり面、4.7%(31件)が土石流を含む自然斜面となっている。
- 4) 路線毎の災害件数は中国自動車道、山陽自動車道、浜田自動車道の順になっているが、災害発生率で路線を高い順に見ると、浜田自動車道、山陰自動車道、松江自動車道、江津道路の順になり、上位は全て山陰側の路線であった。
- 5) のり面崩壊は必ずしもその高さ(段数)が大きいものほど崩壊しているとは限らない。
- 6) 切土・盛土のり面は、供用年数が10数年経過するまでその不安定さが継続するが、自然斜面は、供用経過年数と災害発生に対する関連性は低い。
- 7) 降雨を誘因とする斜面災害の約90%は深度3m未満で生じており、深度5m未満でほぼ100%に達している。表層崩壊が大部分を占める。
- 8) 切土のり面災害の88.5%は、のり面の最上段及びその上方の自然斜面から崩壊している。固結度の低い土砂層の斜面災害は、のり肩付近は遷緩変化点で発生しやすい。

「第4章 高速道路の斜面災害発生箇所と表層地質」では、中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路を挟む2km巾の表層地質図」と「過去の高速道路斜面災害記録」から、該当箇所の地山地質が大きく影響を与える「切土のり面」、「自然斜面」を対象に分析を行った。中国地方における高速道路を挟む2km巾の表層地質は分布面積が各々大きく違うため、地質分布単位面積当たりの災害発生指数 β' (災害発生件数/対象地域面積)で比較した。中国地方における高速道路の斜面災害発生箇所と表層地質の関連性をまとめると以下ようになる。

- 1) 高速道路沿線の表層地質は、中国地方全域の傾向と同様に花崗岩類の広い分布が大きな特徴として挙げられ、流紋岩類、三郡変成岩類がこれに続いている。風化土砂はいずれも脆弱である。
- 2) 花崗岩類の災害発生指数は中位である。被災履歴は数多くあるが、これは分布面積の大きさに起因する。
- 3) 花崗岩類の斜面災害は、土石流を除き比較的軽微な土砂流出(表層肌落ち等)が多い。

- 4) 中国地方で過去に発生した災害箇所地質をその生成時代と各地質の主な構成岩種等により分類すると「①新生代;未固結堆積層, ②新生代;火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層, ③中生代後期～新生代初期;花崗岩類, ④中生代;碎屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外), ⑤古生層(碎屑岩, 火成岩の堆積層)」の大きく5つに区分される.
- 5) 災害発生指数 β' が高い地質は, 新生代第三紀から第四紀初期のグリーンタフを中心とした火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層に偏っている. 中生代は, 関門層群(碎屑岩, 火山岩堆積層), 美祢層群・厚保層群(碎屑岩, 火山岩及び生物岩堆積層)である.
- 6) 1箇所あたりの被災規模が 100m^3 以上で, 災害発生指数が上位10位以内の地質である被災箇所は, 新生代の火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層と中生代の生物岩・碎屑岩・火山岩の堆積層であり, 山陰沿岸部と山口県西部の山陽道・中国道に集中している.

「第5章 高速道路の斜面災害箇所と標準貫入試験結果の関連性」では, 中国地方の高速道路に関する技術資料として整理されていた「高速道路計画時に実施した SPT 結果である N 値」と「過去の高速道路斜面災害記録」から, 斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」に着目し, 斜面崩壊が発生しやすい表層の緩んだ地盤の性状を 5 区分した地質分類毎に N 値の違いから分析した. 斜面災害の大部分が切土のり面最上段の表層とその上方自然斜面で発生していることから, 地山表層風化部の締り具合を N 値の深度分布から考察し, 斜面災害箇所に着目した分析を行ったものである.

中国地方における高速道路の斜面災害箇所と SPT 結果の関連性をまとめると以下のようになる.

- 1) N 値の発現頻度は高 N 値側に裾を引く対数正規分布に類似し, 各代表値の大小関係は「最頻値 < 中央値 < 平均値」になる. N 値の発現頻度は, 低い値側に偏っている.
- 2) N 値は, 深度の増加に従って値が大きくなっている. 地表面の浅い深度ほど N 値が低く固結度が悪いといえる.
- 3) 被災該当地山の N 値と被災履歴なし地山の N 値に分類した場合についても, ヒストグラムは両者とも高 N 値側に裾を引く形状を示し概ね対数正規分布に類似している.
- 4) 被災該当地山の N 値と被災履歴なし地山の N 値のヒストグラムは, 分布の尖度を比較すると被災該当地山の N 値の方が若干緩やかであり, 最頻値が複数発現する. N 値は, 高い値側に裾を引く歪みを持った分布を示し「中央値 < 平均値」の関係が成り立っているため, この高い値側に裾を引く歪み部分にバラツキが含まれている. 被災該当地山の N 値と被災履歴なし地山の N 値の違いを分析するためには, 安全側の設定となる中央値よりもバラツキを多く含む平均 N 値が適切であると考えられる.
- 5) 地質分類による被災該当地山と被災履歴なし地山の平均 N 値の深度別発現傾向は, 両方とも低 N 値側にピークが出現しており, 分布の形状は全地質を対象としたヒストグラムと類似している. 平均値, 中央値は, いずれの地質分類においても被災履歴なしの地山の N 値が被災該当地山の N 値を上回っている.

- 6) いずれの地質分類においても被災履歴なしの地山の N 値が被災該当地山の N 値を上回っているため、被災該当地山の危険限界 N 値(N_{DL} 値)の提案を行った。被災該当地山の N 値は、全地質を対象とした場合も地質分類毎の場合も全て80%以上の高い確率で N_{DL} 値未満であることがわかった。

表層地質分類毎における要注意斜面の基準となる N_{DL} 値とその計算根拠である算出式は以下ようになる。

地質区分	GL-(m)に対する N_{DL} 値 (N_{DL} 値は切上げ整数値)						摘要 (N_{DL} 値の算出式)
	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	平均*	
①新生代;未固結堆積層	17	21	26	30	35	24	$N_{DL} = (-De + 2.5539) / 0.2185$
②新生代;火山岩・(火山)碎屑岩の堆積層	19	21	24	27	29	23	$N_{DL} = (-De + 5.5816) / 0.3652$
③中生代後期~新生代初期;花崗岩類	19	22	26	30	34	24	$N_{DL} = (-De + 3.6977) / 0.2607$
④中生代;碎屑岩・火山岩等の堆積層(花崗岩類以外)	20	24	27	31	35	25	$N_{DL} = (-De + 3.9008) / 0.2564$
⑤古生層(碎屑岩, 火成岩の堆積層)	19	21	24	26	29	23	$N_{DL} = (-De + 6.6702) / 0.4132$
全地質	18	21	25	28	32	23	$N_{DL} = (-De + 3.9255) / 0.2848$

※平均はGL0~-5.0mまでの平均深度から算出

- 7) のり面全体の健全性や予防保全のための防災対策検討等の実務に N_{DL} 値を使用した場合を考えると、GL0.0mから-5.0m迄の平均値から算出した N_{DL} 値を使用することが適切であると考えられる。
- 8) 2013年4月から2015年3月までに切土のり面及び自然斜面で発生した斜面災害20件を対象に被災該当地山の平均 N 値と N_{DL} 値の検証を行った結果、GL0.0mから-5.0m迄の平均値から算出した N_{DL} 値は、災害が発生していない中生代の碎屑岩・火山岩等の堆積層を除く全ての地質の平均 N 値の方が低くなっている。全地質で比較すると全ての深度で平均 N 値は N_{DL} 値を下回っている。提案した N_{DL} 値の有効性が確認された。

本研究によって中国地方は、災害発生指数に比べて災害危険箇所指数が高く潜在的な危険素因を有す斜面が非常に多いこと、昨今の局地的集中豪雨の増加現象を鑑みると災害の発生リスクが増加する可能性が高いこと、膨大な道路斜面に対する予防保全の遂行には素因に着目した評価指標が求められること、降雨を誘因とする斜面災害のほぼ100%は深度5m未満で発生していること等が明らかになった。よって、道路斜面における深度5mまでの表層脆弱性の視点から、標準貫入試験結果(N 値)の危険限界値(N_{DL} 値)を合理的に求めた結果、斜面災害発生箇所に該当する「被災該当地山」の平均 N 値は80%以上の確率で N_{DL} 値未満であり、提案した式に基づく N_{DL} 値の有効性が確認できた。

6.2 今後の課題と展望

本研究では、道路斜面における深度 5m までの表層脆弱性の視点から、 N_{DL} 値の提案を行いその有効性を確認した。この結果を踏まえ、膨大な道路斜面に対する予防保全の遂行について今後の課題を次に述べる。

6.2.1 今後の課題

(1) 盛土のり面に対する検討

N_{DL} 値は自然斜面と切土のり面の予防保全に対し、表層の脆弱性視点からの健全性評価に利用可能であるといえる。しかし、高速道路斜面災害の 50.8% を占める盛土のり面では、本提案式に基づく N_{DL} 値は使用できない。盛土(のり面)は、施工直後の標準貫入試験を行っていないこと、施工範囲や施工時期等により他工区からの客土施工や構造物掘削残土の埋め戻し処理等が多々ありその材質を近接する地山の地質で判断することが非常に難しいこと等から、本研究成果である提案式に基づく N_{DL} 値とは違う観点で検討する必要がある。現在、東日本・中日本・西日本高速道路(株)では、高速道路における更新計画(大規模更新、大規模修繕)を進めている。今後は、盛土のり面の標準貫入試験結果がデータとして整備されるため、近接する地山の地質や供用年数、盛土段数との相関比較等を行うことも考えられる。

(2) 降雨との関連性

中国地方の高速道路斜面災害は、全て降雨を誘因としている。年降水量と災害発生指数 β' には明瞭な関係が認められないが、時間降水量 50mm 以上の年間発生回数と災害発生件数の増加傾向は類似している¹⁾。本研究で使用した災害履歴は、集中豪雨等の発生範囲までは整理されていない。すなわち表層が脆弱で斜面崩壊が発生し易い箇所に集中豪雨が多かったこと等により平均 N 値が下がったことも考えられる。詳細な降雨履歴との関係把握は今後の課題である。但し、局地的な集中豪雨は積乱雲によって形成されその発生範囲の予測は非常に難しい²⁾とされている。集中豪雨はどこにでも発生する可能性があることを前提に斜面を評価することが適切であると考えられる。

(3) 表層 N 値以外の素因について

斜面災害の素因には「風化度、(後背)地形、構造(走向傾斜)、地質、含水比、地下水位、植生状況等」がある。本研究では、風化度(表層 N 値)と地質の素因に着目したが、高速道路斜面災害が発生した場合には、風化度(表層 N 値)と地質以外に着目する素因のポイントとして、(後背)地形、含水比、地下水位、すべり層の存在、走向傾斜等が挙げられる。供用後数年が経過した切土のり面の大部分は樹林化しているため、点検や現地踏査でこれら素


因を把握することは容易ではない。路線計画検討時の地形図や当初調査設計時の報告書、施工報告書等の膨大な資料整理を行い、施工前後と点検結果の対比整合や当初調査設計時の見落としも含めて今後はデータの整備が必要である。

6.2.2 今後の展望

本研究成果である N_{DL} 値の提案について、今後計画される道路設計上の留意点と道路斜面の予防保全に関する提案の観点から展望を述べる。

まず、道路設計上の留意点である。降雨を誘因とする斜面災害の約90%は深度3m未満で生じており、深度5m未満でほぼ100%に達している。また、崩壊の大部分は、切土のり面の最上段が損傷を受けている。よって、該当地山におけるGL0.0mから-5.0m迄の平均 N 値が N_{DL} 値未満であった場合は、最上段を含めた地山から5mまでの深度に該当するのり面に対し、表層を補強する切土補強土工法を適用することが考えられる。切土補強土工法は、切土のり面の補強を目的として比較的短い棒状補強材(モルタルまたはセメントミルク内に鉄筋等の芯材を配置したもの)を地山に配置するもので、主に補強材の引張り力によって切土のり面を補強する工法である³⁾。地山と補強材との相互作用によって一体化させ、のり面全体の安定性を高める効果があるとも言われている。コンクリート枠工やアンカー工に比べて施工性と経済性が優れているため、標準化への検討が望まれる。

次に、予防保全に関する提案の観点からの展望である。道路防災点検の要領には、崩壊性の土質要因に「浸食に弱い土質、水を含むと強度低下し易い土質、その他」があり各々に「顕著；8点、やや顕著；4点、該当せず；0点」と定義されている。これには点検者の主観が入るため、 N_{DL} 値を一つの指標として取り入れることが考えられる。本研究で提案した N_{DL} 値は平均 N 値に標準偏差を加えた安全側の上限包絡線から算出している。一つの試案ではあるが、この N_{DL} 値を「やや顕著；4点」の閾値とし、「顕著；8点」の閾値は平均 N 値に標準偏差の1/2(係数0.5)を加えた上限包絡線から算出したものを使用する等の展開も考えられる。係数設定は、災害発生箇所の N 値と比較しデータ確率から今後設定する必要がある。

また、中国地方は、潜在的な危険素因を有す斜面が非常に多く、限られた予算の中で道路斜面に対する予防保全を実施するためには、点検結果に応じた評価に加え、少なくとも地質区分と N_{DL} 値に応じた重要度とを設定して点検と監視の効率化を図ることが必要である。斜面の予防保全を遂行する上での課題の一つに、「現時点で明確な挙動を示していない斜面に対しいかに効率よく的確なリスクヘッジを行うか」ということがある。点検を効率的に丁寧に行ったとしても、明確な変状と挙動が発見されない場合は、その後の検討を行うことが非常に困難である。従って、斜面の予防保全では、点検結果に地質特性、 N_{DL} 値等を加えて危険箇所を抽出し、動態観測を行って監視することが一つの方策として考えられる。現在、東日本・中日本・西日本高速道路(株)では、図-6.1に示すように、GPS、孔内傾斜計、パイプ歪計、伸縮計等の計測を中心とした統合型地盤監視ネットワークシステ

ムを導入し、危険斜面の動態観測を行っている。

表-6.1は、統合型地盤監視ネットワークシステムを導入した2009年(平成21年)における道路斜面のスクリーニング評価項目と基準例⁴⁾である。残念ながら、災害発生箇所の多くはこれ以外のところから発生している。しかし、過去には動態観測を行った斜面のデータから事前通行止めを行い第三者被害を食い止めた事例⁵⁾が複数あり、道路管理者からは高い評価を受けているのも事実である。モニタリングは今後重要視されていくことが予想される。スクリーニング評価項目に地質分類と N_{DL} 値を組み込むことで、災害発生箇所の予測精度の向上の可能性が期待される。

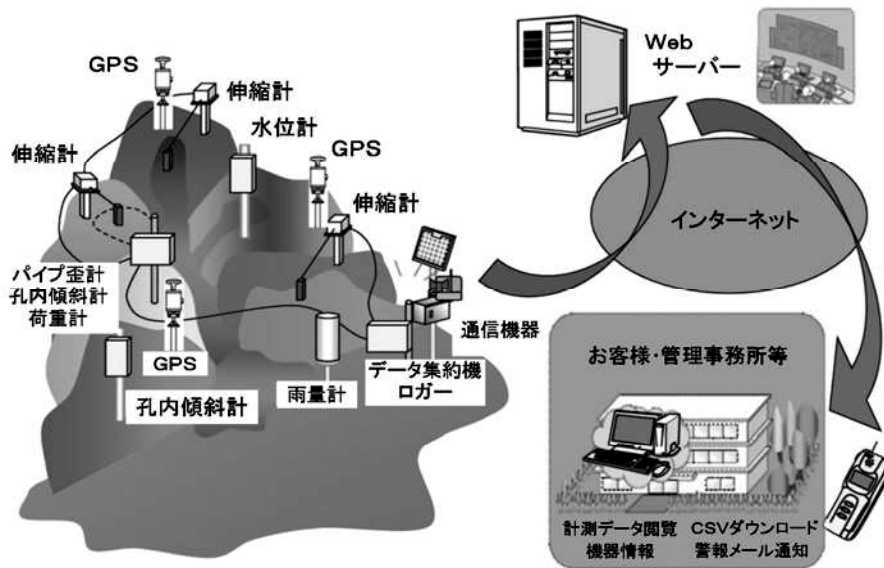


図-6.1 統合型地盤監視ネットワークシステムの概念図

表-6.1 道路斜面のスクリーニング評価項目と基準例

事象項目	10点	8点	6点	4点	2点
評価事象に対する緊急性	現在挙動が疑われる	比較的新しい変状がある	ランクⅠ(要対策箇所)	ランクⅡ(カルテ対応)	その他
被害の影響度	通行車, 周辺等への被害の可能性	—	本線変状	側道変状	その他構造物変状
交通量:(台/日)	17,000 超え	17,000~8,000	8,000~5,000	5,000~3,000	3,000 未満
素因項目	8点	6点	43点	2点	0点
地形構造	地すべり等	ボトルネック・沢地形	レベルバンク・リニアメント等	—	—
60分確率降雨(mm)	65 超え	60~65	55~65	55~50	50 未満
規制連続雨量(mm)	150 未満	150~170		170~200	200 超え

本研究の成果を基に、今後計画される道路の設計上の留意点や現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面の予防保全に関する提案と「点検の頻度や動態観測の可否及び詳細調査・防災対策の優先度付け」に対し、有意な基礎資料として活用することを目指していきたいと考える。

第 6 章の参考文献

- 1) 下野宗彦, 村上豊和, 中田幸男 : 中国地方における高速道路斜面の崩壊と表層地質区分の関連性, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol. 71, No. 2, pp.92-107, 2015.
- 2) 中北英一 : 集中豪雨のモニタリングと予測, (社)日本流体力学会誌, Vol.29, p p.203-210, 2101.
- 3) 東・中・西日本高速道路(株) : 切土補強土工法設計・施工要領, pp1-2, 2007.
- 4) 下野宗彦, 櫻谷慶治, 岩崎智治, 清水則一 : 供用中の高速道路における予防保全を目的とした GPS 自動計測監視システムの導入, 第 28 回日本道路会議講演集, 40071, 2009.
- 5) Shitano, M., Murakami, T., Shimizu, N., : Application of the GPS Displacement Monitoring System for the Preventive Maintenance of a Cut Slope along a National Expressway - a Case Study, *Proceedings of the 2014 IRSM International Symposium - 8th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS8)*, Rock Mechanics for Global Issues -Natural Disasters, Environment and Energy-, 6.Slope Stability, pp.1877-1886, 2014.

関連論文, 謝辞

本研究の関連論文

1. 関連論文

(a) 査読のある雑誌等

- (1) 著者氏名 : 下野宗彦・村上豊和・中田幸男
論文題目 : 中国地方における高速道路斜面の崩壊と表層地質区分の関連性
学術雑誌名 : 土木学会論文集C(地圏工学)
巻、号、頁 : Vol. 71, No. 2, pp.92-107
発行年月 : 平成 27 年 6 月発行
(本文との関連 : 第 2 章, 第 3 章, 第 4 章)

- (2) 著者氏名 : 下野宗彦・村上豊和・中田幸男
論文題目 : 中国地方の花崗岩地域における N 値深度分布と斜面災害発生箇所
の特性
学術雑誌名 : 地盤工学会中国支部 論文報告集 地盤と建設
巻、号、頁 : Vol. 33, No. 1, pp.27-36
発行年月 : 平成 27 年 12 月発行
(本文との関連 : 第 3 章, 第 4 章, 第 5 章, 第 6 章)

(c) その他

- (1) 著者氏名 : 中田幸男・下野宗彦
論文題目 : まさ土の特性 -花崗岩地質地域の土砂災害を通して-
学術雑誌名 : 基礎工
巻、号、頁 : Vol. 42, No. 12, pp.15-18
発行年月 : 平成 26 年 12 月発行
(本文との関連 : 第 1 章, 第 3 章, 第 5 章)

2. 参考論文

(a) 査読のある雑誌等

- (1) 著者氏名 : 仙石博嗣・櫻谷慶治・下野宗彦・村上豊和
論文題目 : 中国支社管内における溪流評価について(資料編)
学術雑誌名 : N E X C O 技術情報
巻、号、頁 : 第 11 号, 2010-7, pp.19-22
発行年月 : 平成 22 年 7 月発行

(2) 著者氏名 : 櫻谷慶治・下野宗彦・村上豊和
論文題目 : 中国支社管内における溪流評価について(現地調査編)
学術雑誌名 : N E X C O 技術情報
巻、号、頁 : 第 14 号, 2011-7, pp.3-10
発行年月 : 平成 23 年 7 月発行

(b) 査読のある国際会議の会議録等

(1) 著者氏名 : 下野宗彦・村上豊和・清水則一
論文題目 : Application of the GPS Displacement Monitoring System for the Preventive Maintenance of a Cut Slope along a National Expressway - a Case Study
学術雑誌名 : Proceedings of the 2014 IRSM International Symposium - 8th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS8)
巻、号、頁 : Rock Mechanics for Global Issues -Natural Disasters, Environment and Energy-, 6.Slope Stability, pp.1877-1886
発行年月 : 平成 26 年 12 月発行

謝辞

本研究は、2009年7月の「中国自動車道山口 IC 土石流災害」を受けて設立された「中国支社管内防災検討委員会」の中で、当時の委員長であった村田秀一名誉教授から「斜面災害の予防には工夫が必要だ。NEXCOには建設時の色々な調査データが揃っているようだが保安全管理業務にうまく活用されているのか？」という厳しい御指摘を契機に同委員会の委員であった中田幸男教授と試行錯誤を繰り返しながら進めてきたものです。中田幸男教授と議論を重ねていく中で我々実務者は、村田秀一名誉教授の御言葉どおり、過去のデータが道路斜面の保安全管理に有効活用されていないことを改めて痛感させられました。同委員会の最終取り纏めに入った2011年に研究のキーワードを「表層地質、調査ボーリングにおける標準貫入試験結果、災害記録」に絞込み、膨大なデータ収集と整理に約3年を費やしました。その後、分析を行い研究成果として取り纏めるまで足掛け6年弱の年月をかけたこととなります。

この間、中田幸男教授には斜面防災に関する実務での御指導を仰ぎながら、研究の方向性を導いて頂くとともに、学位論文を纏めるにあたっては、終始適切な御指導・御鞭撻を賜りました。表層地質と標準貫入試験結果及び災害記録との関連性に対する分析は、確固たる見通しもないままにスタートしたため、途中で挫折しそうなくらいの重圧を受けましたが、逐次論文内容を精査して頂くとともに、「誰もやり遂げていない研究を進めている」という言葉が大きな励みとなりました。また、研究に対する色々な角度からの着目性、論文をまとめる際の骨子と流れの階層性、図・表と表現の重み等、研究者としてあるべき厳しい姿勢を丁寧に教えて頂きました。中田幸男教授の下で研究に携わった6年弱は、今後の社会生活の中で大きな財産になると思っております。深く感謝いたします。

研究を進め学位論文を纏めるに当たり、兵動正幸教授、清水則一教授、鈴木素之准教授、榊原弘之准教授には、貴重な御助言と御指導を頂きました。また、兵動正幸教授、清水則一教授、鈴木素之准教授には、災害現場における調査解析の助言、土質試験の実施、動態観測の監修等の御指導を度々頂くとともに、研究室在籍の学生に対する現場見学会の機会を与えて頂きました。技術者、研究者として原点に戻るような貴重な経験でした。榊原弘之准教授には、不得手な統計解析について丁寧に御指導頂き貴重な考え方を御教示頂きました。深く感謝いたします。

本研究の実施には、山口大学大学院理工学研究科地盤工学研究室在籍の学生諸兄の協力なしでは成り立ちません。膨大なデータ収集と整理に約3年を費やしましたが地道で忍耐を必要とするデータ整理の多くを担って頂きました。深く感謝いたします。特に、居石和昭氏(現;ヒロセ株式会社)、犬飼惇氏(札幌市役所)、加藤晃氏(現;山口大学大学院)、久田裕史氏(現;西日本高速道路株式会社)、中本昌希氏(現;西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社)、船越理紗氏(現;九州旅客鉄道株式会社)には、図面との照合、データの分類や整理

手法の統一、データ入力規則の遵守等の細かい制約を理解し主導的な立場で作業を進めて頂きました。本当に頭が下がる思いで一杯です。

研究を進めるに当たり、奥園誠之九州産業大学元教授には、西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社技術顧問としての立場を含め、道路斜面防災に対する総合的な観点から有益な御助言を頂きました。分析・解析の自動処理及び主題図の空間分析については、国際航業株式会社の水上幸治氏、竹屋雄介氏、忽滑谷優里氏に貴重な助言とプログラムの提供を頂き、数十万レコードという膨大なデータ処理を効率的に進めることが出来ました。西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社の秦二朗氏には、地質分類とその特性を纏めることに対し、応用理学的な観点から貴重な助言や資料の提供を頂きました。西日本高速道路株式会社の村上豊和氏及び中国支社の方々には、災害記録等貴重なデータを提供頂きました。株式会社高速道路総合技術研究所土工研究室の田山聡氏には、過去の標準貫入試験導入経緯や災害記録の一部を提供頂きました。西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社調査設計部の皆さまには、図表の作成に対し御尽力頂きました。また、研究に取り掛かるきっかけを作って頂いた村田秀一名誉教授、学位取得に際し悩む私の背中を押してくださった桜井春輔神戸大学名誉教授と大島洋志首都大学客員教授は、会う度に助言や励ましの御言葉を頂きました。ここに、各位に対し深く感謝いたします。

また、国立研究開発法人土木研究所の小堀俊秀博士、国際航業株式会社の岩崎智治博士、中電技術コンサルタント株式会社の石田茂樹博士には、山口大学での学位取得に対する貴重な経験談と最終年の予定等数々の資料を提供して頂きました。深く感謝いたします。

厳しい社会情勢の中、学位取得の貴重なチャンスを与えて下さった岸洋正社長、佐々木芳文相談役をはじめとする西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社の皆様には、この上ない恩義を感じております。石橋彰常務、松富繁(元)常務、矢野寛(元)企画部長、石橋佳三(元)道路技術部長、梅田昭記営業部長は筆者に学位取得を勧めてください、そして数々の後押ししてくださいました。また、技術者として育ててくださった諸先輩方は、折に触れ励ましの言葉を頂きました。深く感謝しております。所属する調査設計部の皆様には、業務遂行上御迷惑をおかけする場面が多々あったと思いますが、研究活動を支援して下さり、大変感謝いたしております。研究成果およびこの貴重な体験を活かし、今後の業務や会社の発展に貢献して参る所存でございます。

最後に、論文執筆中は生活が不規則になりがちで、心身ともに追い詰められた時期もありました。最後の1年間の休日は、ほぼ研究を纏めることに費やしていましたが、そんな時にも妻と子供たちの笑顔に励まされ、これを乗り越えることができました。支えてくれた家族に改めて深く感謝します。