

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Characteristics of  $N$ -value Depth Distributions and Slope Failure Locations in Granite Areas  
of Chugoku Region

下野宗彦 Munehiko SHITANO (西日本高速道路エンジニアリング中国(株))  
村上豊和 Toyokazu MURAKAMI (西日本高速道路(株)中国支社)  
中田幸男 Yukio NAKATA (山口大学大学院理工学研究科)

インフラ整備や防災などの計画・設計・施工において、地盤の状況を地質学的・土質工学的に調査することは、必要不可欠な要素である。このうちボーリング調査結果から求められる標準貫入試験は、ボーリング孔を利用して行なわれるため複雑な地盤条件にも適応する試験として広く普及・定着しており、地盤の調査ボーリングには標準貫入試験が併用されることが一般的である。試験結果である  $N$  値は、土構造物の設計検討に必要な地盤定数(土質定数)の推定に利用され、膨大なデータが存在している。本研究では、高速道路沿線の標準貫入試験結果  $N$  値に着目し、中国地方に広く分布している代表的な花崗岩地質の深度分布と斜面災害発生箇所(被災該当地山)の特性を取りまとめたものである。

キーワード：斜面災害、 $N$  値、花崗岩、中国地方、維持管理 (IGC : C-9, E-6, H-6)

## 1. はじめに

標準貫入試験(Standard Penetration Test 以下 SPT と称す)は、1951 年(S26)頃に我が国で導入され、各種の地盤に対する試験の適用性を検討するために、各方面で比較試験が行われたり、試験方法は、1961 年(S36)に JIS A 1219「土の標準貫入試験方法」として制定され、 $N$  値が設計基準等に標準的な地盤指標として採り入れられた。また、SPT はボーリング孔を利用して行なわれるため貫入試験と同時に土が採取できるという他のサウンディングにない利点を有しており、試験を実施した深さの土を観察する事や必要に応じて室内試験を実施できる事が、地層評価や柱状図作成及び地層断面図作成等に重要な役割を果たしている。SPT は、その規格化と普及に加え、試験の汎用性から、我が国で地盤調査を実施する場合に、標準的な原位置試験として位置付けられている<sup>2)</sup>。

SPT 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、日本経済が飛躍的に成長を遂げた高度成長期にあたる。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。インフラの維持管理においても斜面防災を検討する上でも SPT は基本的な試験として活用されており、 $N$  値の情報は膨大に存在している。また、 $N$  値は、データの不確実性と設計の信頼性に課題を残しているとはいうものの、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おり、斜面の安定解析に重要な地盤定数の推定も、その適用条件・限界・精度等を十分考慮すれば可能である<sup>3)</sup>。

$N$  値は、高速道路の建設から維持管理においても構造

物の設計検討に対する標準的な地盤指標として活用されてきた。西日本高速道路(株)中国支社は、中国地方の高速道路に関する約 13,000 本のボーリング柱状図を保有している。公共事業における業務成果品の電子納品は 2001 年(H13)からであり、その大部分は、アナログデータ(スキャナー処理後のイメージデータ)としてデータベース化され、検索抽出を中心とした運用を行っている。これらは、点検結果に基づいて抽出した要注意斜面の補修・改良や災害復旧等の概略検討に対する地盤の評価に数多く利用され、実務の効率的な遂行に大きく寄与している。しかし、膨大なボーリング柱状図のデータは、TEXT 処理されていないために、定量的な  $N$  値でさえ維持管理上の各事象断面に応じた活用に留まっており、管理する高速道路斜面の点検や防災検討を目的とした評価には活用されていないのが実情である。

斜面災害は、近年増加傾向にある集中豪雨等により、その発生が後を絶たない。斜面の崩壊は、表土層のみが崩れる表層崩壊と表土層及びその下層の風化岩盤も崩れる深層崩壊に分類される。このうち表層崩壊は、深層崩壊に比べると規模及び被害の程度は小さいことが多いが、狭い地域で同時に多発する傾向があり、頻度は深層崩壊に比べると圧倒的に高い<sup>4)</sup>。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”<sup>5)・6)</sup>。斜面災害の素因には、“土質・岩質条件”の物性と“地層の構成”という地質構造が挙げられ<sup>5)</sup>、表層 5m 程度までの斜面災害は、この 2 つの素因である「物性と地質構造」が大きく影響を受ける一因であると考えられる。

斜面災害から道路の被害を軽減するためには、道路斜面の点検結果に基づく調査・設計から対策工の実施が必

要である。そのうえで、効果的な点検を実施するためには、まず対策が必要な地域(区間)を適切にスクリーニングすることが重要となる。高速道路は、各県内に存在する管理事務所で維持管理を行っており、少なくとも各県毎のマクロ的リスク評価が必要となるが、それには過去の災害を集積し、防災対策が必要な地域(区間)の地盤特性を的確に把握することが不可欠であると考えられる。

先に述べたように、 $N$  値は、その適用条件・限界・精度等を十分に考慮すれば、斜面の安定解析に重要な地盤定数の推定が可能である<sup>3)</sup>。従って、本研究では、中国地方の高速道路沿線の膨大な  $N$  値の深度分布について斜面災害被災箇所(被災該当地山)と非被災箇所(被災履歴なし地山)の違いに着目した分析を統計的に行い、 $N$  値の深度分布特性を考察したものである。なお、対象とした地質は、「①表層地質が花崗岩類に分類されている地域において豪雨による土砂災害が後を絶たないこと、②我が国で1種類の岩種として最大分布面積(13%強)を占めていること、③中国地方においても30%弱の分布を示す代表的な地質である<sup>7)</sup>こと」の理由により花崗岩類を取り上げた。

## 2. $N$ 値の分析・評価に関する既往研究と本研究の位置付け

$N$  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」を中心に過去非常に多くの研究・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  $\phi$  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<sup>3)</sup>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<sup>8)</sup>、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<sup>9)</sup>、小黒<sup>10)</sup>ら、正垣<sup>11)</sup>、日下部<sup>12)</sup>、牧原ら<sup>13)</sup>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<sup>14)</sup>、 $N$  値と  $c \cdot \phi$  の活用法<sup>15)</sup>、 $N$  値の話<sup>16)</sup>」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た<sup>17)</sup>。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

Peck<sup>18)</sup>、Meyerhof<sup>19)</sup>、Dunham<sup>20)</sup>、大崎ら<sup>21)</sup>等によって各々関係式が提案されている。また、青木<sup>22)</sup>、田中<sup>23)</sup>、畑中ら<sup>24)</sup>、(独)土木研究所<sup>25)</sup>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<sup>13)</sup>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<sup>26)</sup>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<sup>27)</sup>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<sup>28)</sup>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<sup>29)</sup>。

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<sup>30)</sup>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<sup>31),32)</sup>、岩崎ら<sup>33)</sup>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<sup>34)</sup>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。旧建設省と鹿児島県<sup>35)</sup>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<sup>36)</sup>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<sup>37)</sup>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<sup>38)</sup>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

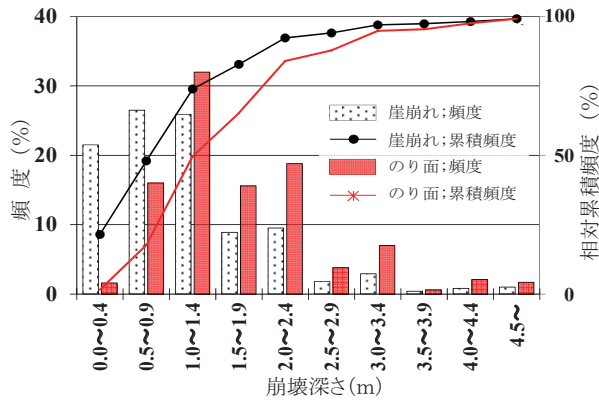


図-1 崖崩れ・のり面崩壊の深さ (m) と発生頻度<sup>5),6)</sup>

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支部毎に整理している。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<sup>39)</sup>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。

図-1 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未満でほぼ100%に達している<sup>5),6)</sup>。また、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<sup>5)</sup>。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。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  $\tau$  で表され、式(1)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。

$$\tau = c + \tan \phi \quad (1)$$

砂質土及び粘性土における  $N$  値と「 $c \cdot \phi \cdot q_u$ 」の関係は、表-1 に示されているものが一般的であり<sup>14),15)</sup>、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め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。このことは、既存の標本数が膨大に存在している  $N$  値を統計的に分析することで、斜面崩壊が発生しやすい緩んだ表層地盤を、 $N$  値の違いによって

表-1  $N$  値と地盤定数の推定<sup>14),15)</sup>

出典	砂質土	粘性土	
	内部摩擦角 $\phi$ (°)	一軸圧縮強度 $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )
Terzaghi-Peck	—	12.5N	—
Peck	$27 + 0.3N$	—	—
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)	$\sqrt{(15N) + 15}$	—	$(6.0 \sim 10.0)N$
道路橋示方書(2002)	$\phi = 4.8 \log N_i + 21$ $N_i = 170N / (\sigma'_v + 70)$ $\sigma'_v = \gamma_1 h_{w1} + \gamma_l^2(x - h_w)$	—	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 $N/16$ (kgf/cm <sup>2</sup> )

■ 西日本高速道路(株)が管理運営する高速道路  
 ■ 国交省等が管理運営する高速道路

※国土地理院電子地形図に高速道路網を追記して掲載

図-2 中国地方の高速道路網<sup>44)</sup>

把握することが可能と考えられる。しかし、未だこれに類する研究報告がなされていない。

筆者らは、中国地方の斜面災害履歴の分析や地形地質との関連性評価、中国地方における代表的地質である風化花崗岩のまさ土特性等から、道路斜面に関する予防保全を目指した取り組み<sup>40),41),42),43)</sup>を行ってきている。そこで本論文では、これらの一環として中国地方の花崗岩を本研究の対象地質とし、高速道路に関する約13,000本のボーリング柱状図から  $N$  値を数値データ化することを試み、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て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統計的に行った。

### 3. 分析データの対象と概要

#### 3.1 対象地域

西日本高速道路(株)が管理する中国地方の高速道路は、1973年(S48)11月14日の中国自動車道小月IC~下関IC間開通を皮切りに年々建設が進み、現時点でその総延長は1,037.7kmに至っている。高速道路網は、図-2に示すように、ほぼ中国地方全域を網羅する高速道路ネットワークが形成されている。

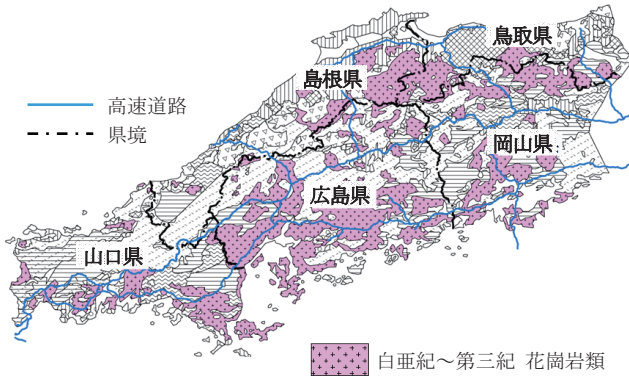


図-3 中国地方における花崗岩類の分布<sup>45)</sup>

花崗岩類は、一般的に全国各地に広く分布し我が国の国土面積の13%強を占めていると言われて<sup>45)</sup>が、中国地方全体では、水域を除く全面積中の約28.1%を占める<sup>40)</sup>。図-3に示すとおり、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である。

### 3.2 抽出したN値の資料(調査報告書等)

N値は、中国地方の高速道路に関する技術資料として残存する調査報告書(1,073冊)から切土施工を行う前の山腹調査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。

### 3.3 表層崩壊の形態とN値の深度

中国地方の高速道路における花崗岩地域の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、99件が記録されており、全て降雨が誘因である。このうち92.9%(92件)の崩壊形態は、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。のり面小段以下の小崩壊や植生のり面工の肌落ち等でも、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侵食が発達し、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。

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、地山表層風化部の絞り具合を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。

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。

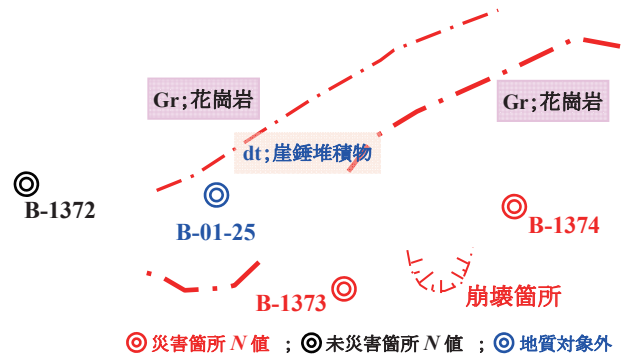


図-4 抽出したN値(ボーリング孔)位置関係の例

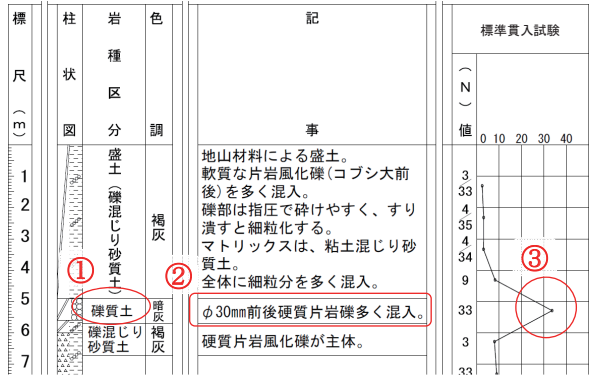


図-5 ボーリング柱状図 異常値の一例

### 3.4 被災該当地山(災害箇所)と被災履歴なし地山(未災害箇所)のボーリング孔

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-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、未災害箇所の「被災履歴なし地山」としている。また、地質が違う(B-01-25)や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。

### 3.5 打ち止め値(貫入不能値)の扱い

SPT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≧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。

### 3.5 礫打ち部等の異常値の排除

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に示すよ

表-3 分析に使用した花崗岩地域のデータ

	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	N値データ数	N値データ数	N値データ数	N値データ数
山口県	413	6,234	3,816	1,721					9	1,712
広島県	1,308	23,562	12,027	4,378					12	4,366
岡山県	406	7,088	3,743	1,312					12	1,300
島根県	101	1,897	950	422					4	418
鳥取県	69	1,377	648	150					1	149
合計	2,297	40,158	21,184	7,983					38	7,945

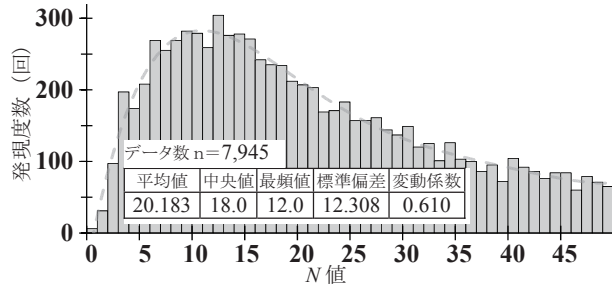


図-6 花崗岩地域におけるN値の発現頻度

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。

### 3.6 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-3のとおりである。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。

## 4. 中国地方花崗岩地域におけるN値の深度分布

### 4.1 N値の発現傾向

中国地方の花崗岩地域におけるN値の発現頻度は, 図-6に示すとおりである。データは, 牧原ら<sup>13)</sup>が整理した東京都のN値発現頻度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<sup>46)</sup>と報告されている。中国地方の花崗岩地域におけるN値のパラツキは, 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-7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(2)に示す発現率Pを算出して比較した。

$$P = \{ \text{該当深度のN値発現数} / \Sigma(\text{N値発現数}) \} \times 100 \quad (2)$$

県別のN値発現率は, 図-6に示す中国地方の花崗岩地域におけるN値の発現頻度と同様に対数正規分布に類似している。鳥取県のN値発現率は, その他の県と比較して, 少しバラツキがある。表-4は, 各県N値の平

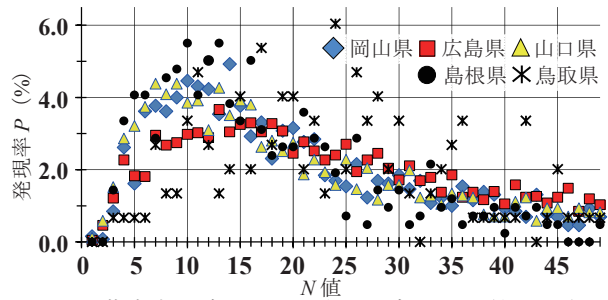


図-7 花崗岩地域における中国地方県別N値発現率

表-4 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	中央値	最頻値		
岡山県	18.948 (3.154)	16.0 (3.308)	13.0 (4.923)	11.850	0.625
広島県	21.526 (2.268)	19.5 (2.771)	12.0 (3.665)	12.475	0.580
山口県	18.442 (2.745)	15.0 (3.797)	6.0, 8.0 (4.381)	12.238	0.664
島根県	16.275 (2.392)	14.0 (3.349)	9.0, 12.0 (5.502)	10.370	0.637
鳥取県	22.550 (6.040)	22.0 (1.342)	23.0 (6.040)	10.980	0.487
中国地方	20.183 (2.555)	18.0 (2.945)	12.0 (3.826)	12.308	0.610

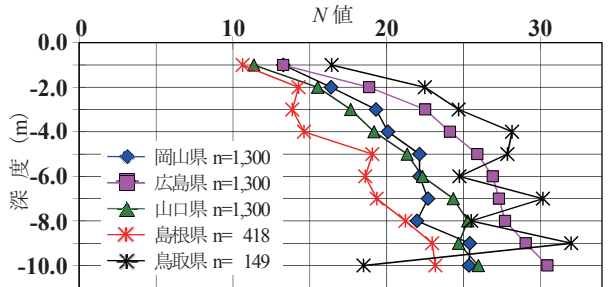


図-8 中国地方花崗岩地域の深度別平均N値

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。山口県と島根県は, 低N値側に最頻値が複数発現する。標準偏差は10.370~12.475, 変動係数は0.487~0.667の範囲にあり, 各県とも大きな差はない。N値の大小関係に着目すると, 岡山県, 広島県, 山口県, 島根県は, 「平均値>中央値>最頻値」で, 発現率の大小関係は, 「平均値<中央値<最頻値」の関係になっており, 図-7に示すような対数正規分布に類似した形状を示す。しかし, 鳥取県だけはこの傾向と合致していない。鳥取県は, 通過する高速道路の延長が短いため, データ数が少ないことが原因であると考えられる。

### 4.2 平均N値の深度分布

平均N値の深度分布を各県別に比較した結果は, 図-8に示すとおりである。各県のデータ数が各々異なっているが, 岡山県, 広島県, 山口県, 島根県の深度毎の平均N値は, 一部の深度で例外があるものの, 概ね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ことが一般的であり<sup>47)</sup>, 中国地方のGL-5.0m迄の平

表-5 各県の深度別平均 N 値と rank

深度 (GL-m)	岡山県 n=947	広島県 n=3,334	山口県 n=1,227	島根県 n=276	鳥取県 n=125
-1.0	N 値 13.275 rank 3	13.279 4	11.361 2	10.630 1	16.422 5
-2.0	N 値 16.382 rank 3	18.868 4	15.515 2	14.266 1	22.486 5
-3.0	N 値 19.304 rank 3	22.501 4	17.660 2	13.863 1	24.684 5
-4.0	N 値 20.081 rank 3	24.119 4	19.179 2	14.622 1	28.154 5
-5.0	N 値 22.128 rank 3	25.905 4	21.339 2	19.070 1	27.846 5

※rank は、平均 N 値の低い順である

表-6 各県花崗岩地域の災害発生指数<sup>43)</sup>と rank

	岡山県	広島県	山口県	島根県	鳥取県
災害件数	17	35	37	10	0
分布面積	85.670	262.187	125.051	33.751	7.808
$\beta'$	19.844	13.349	29.588	29.629	$\infty$
rank	3	4	2	1	5

※rank は、災害発生指数の高い順である

均 N 値は、この傾向と合致している。鳥取県は、GL-6.0m 以深では、平均 N 値が大きく増減し、深度との関連性が見られないという結果になった。これは、N 値が低い「GL-6.0m,-8.0m,-10.0m」の試験位置が、全て 3km 以内の狭い範囲にあり、花崗岩風化土に斜長石を多く含む粘土化された土が挟在していたことによるものである。

表-5 は、GL-5.0m 迄の深度別平均 N 値を各県別に比較したものである。表中の「rank」は、平均 N 値の低い順を示している。深度毎の平均 N 値は、各県の相対関係が入れ替わらず、全ての深度で低い方から「島根県、山口県、岡山県、広島県、鳥取県」の順であった。

表-6 は、式(3)で求めた花崗岩地域の災害発生指数  $\beta'$  を各県で比較したものである。花崗岩分布面積は、過去発生した用地外からの災害発生箇所を全て含む高速道路を挟んだ 2km 巾の面積で、花崗岩地域の高速道路災害発生数を 100km<sup>2</sup> あたりに換算した指数である。

$\beta' = (\text{花崗岩地域災害件数} / \text{花崗岩分布面積}) \times 100$  (3)  
表-5 に示す GL-5m 迄の各県毎の深度別平均 N 値の順位は、表-6 の災害発生指数  $\beta'$  の順位と完全に一致した。GL-5.0m 迄の表層崩壊に対し、その発生頻度の高さは、深度別平均 N 値の低さに関連することが裏付けられた。

## 5. 被災該当地山と被災履歴なし地山の比較

### 5.1 N 値の発現頻度と平均 N 値の深度別発現傾向

中国地方の高速道路における花崗岩地域の切土のり面及び自然斜面災害は、1974 年(S49)～2012 年(H24)3 月末時点までに 99 件が記録されており全て降雨が誘因である。このうち 92.9%(92 件)の崩壊形態は、切土のり面最上段及びその上方自然斜面が損傷を受けている。過去の災害発生履歴に着目し、被災該当地山と被災履歴

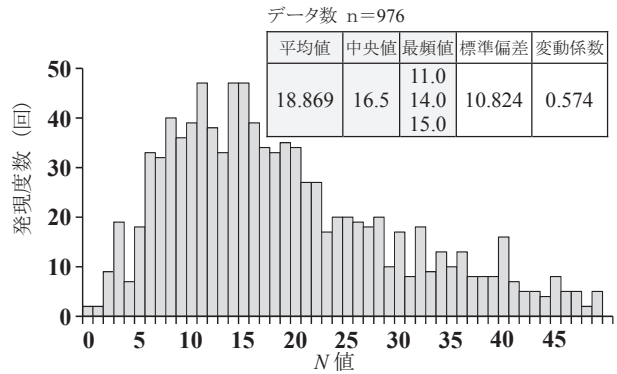


図-9 被災該当地山の N 値発現頻度 (GL-10m 迄)

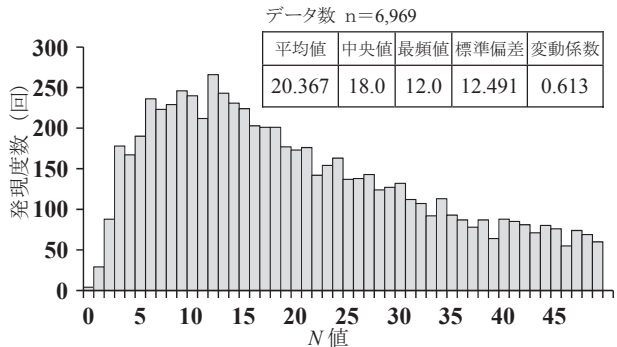


図-10 被災履歴なし地山の N 値発現頻度 (GL-10m 迄)

なし地山の N 値深度分布の違いについて分析を行った。被災該当地山と被災履歴なしの地山の N 値発現頻度をそれぞれ図-9、図-10 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。

表-7 は、これを深度別に比較したものである。平均 N 値は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。GL-7.0m 以外の深度別平均 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 2.970 と 1.498 であり、深度-5.0m 迄の平均 N 値の方が大きい。変動係数は、0.6 前後でありデータのバラツキの差は小さい。中央値は、平均 N 値と同様に、GL-7.0m 以外の全てにおいて、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、最頻値に着目すると、GL-8.0m,-9.0m の値のみが被災履歴なしの地山の N 値が被災該当地山の N 値を上回っており、平均 N 値や中央値の大小関係と違う結果になった。図-9、図-10 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。平均 N 値と中央値は、GL-7.0m 以外の全てにおいて、被災履歴なしの地山の N 値が被災該当地山の N

表-7 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	中央値	最頻値	標準偏差	変動係数	データ数	平均値	中央値	最頻値	標準偏差	変動係数	データ数
-1.0	9.810	8.0	8.0	6.618	0.675	n=153	13.173	10.0	3.0	10.395	0.789	n=1,557
-2.0	14.203	13.0	10.0	7.125	0.502	n=143	18.059	15.0	7.0	11.728	0.649	n=1,264
-3.0	16.902	14.0	14.0	9.145	0.541	n=123	21.085	19.0	12.0	12.047	0.571	n=1,028
-4.0	18.804	16.0	12.0 15.0	9.447	0.502	n=112	22.431	21.0	14.0	11.615	0.518	n=794
-5.0	21.510	18.5	18.0	10.745	0.500	n=100	24.244	22.0	12.0	12.502	0.516	n=635
-6.0	22.111	19.5	28.0	10.793	0.488	n=90	24.903	24.0	15.0	12.077	0.485	n=517
-7.0	25.306	24.5	19.0 25.0	11.215	0.443	n=72	25.293	23.0	12.0	11.908	0.471	n=410
-8.0	25.271	21.5	19.0	11.144	0.441	n=70	25.648	25.0	18.0 22.0	11.440	0.446	n=307
-9.0	25.610	23.0	15.0 22.0	10.093	0.394	n=59	27.171	27.0	19.0	11.666	0.429	n=257
-10.0	26.963	26.5	16.0 21.0	9.088	0.337	n=54	28.080	27.0	18.0	11.670	0.416	n=200
計	-	-	-	-	-	n=976	-	-	-	-	-	n=6,969
-5.0 m 迄平均	15.639	14.0	11.0	9.424	0.603	n=631	18.609	16.0	6.0	12.173	0.654	n=5,278
-10 m 迄平均	18.869	16.5	11.0 14.0 15.0	10.824	0.574	n=976	20.367	18.0	12.0	12.491	0.613	n=6,969

※ハッチング部は、平均N値が小さい方を示す

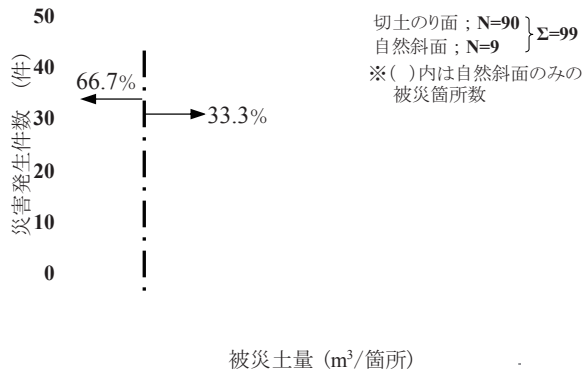


図-11 中国地方高速道路の花崗岩地域被災規模傾向

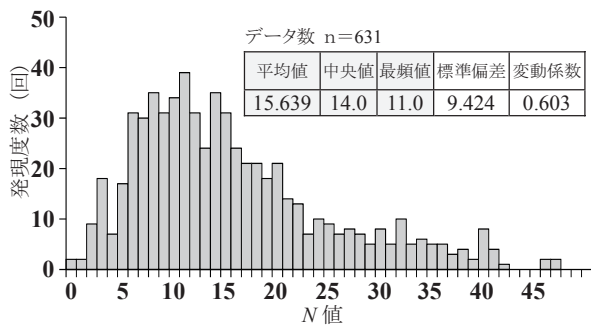


図-12 被災該当地山 GL-5.0m 迄のN値発現頻度

値を上回っている。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。

## 5.2 被災該当地山のN値分布特性

中国地方の高速道路における花崗岩類の災害発生は、1974年(S49)～2012年(H24)3月末時点で、切土のり面と自然斜面を合わせて99件が記録されており、全て降

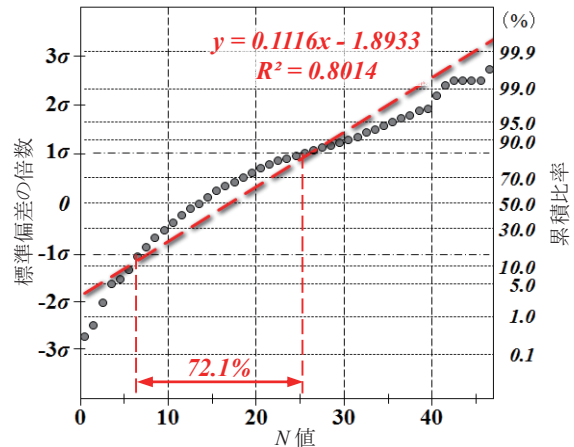


図-13 被災該当地山 GL-5.0m 迄の正規確率プロット

雨が誘因である。1箇所当りの被災規模による発生件数は、図-11に示すとおりである。降雨を誘因とする斜面災害は深度5m未満でほぼ100%を占めている<sup>5)6)</sup>こと、花崗岩地域における斜面災害の形態は表層からの軽微な土砂流出が多くを占めている<sup>40,41,43)</sup>ことから、被災該当地山のN値分布の分析は、GL-5.0m迄を対象とした。

被災該当地山に関するGL-5.0m迄のN値発現頻度を、図-12に示す。図-6、9、10と同じように、対数正規分布に類似しており、低N値側にピークが出現している。

図-13は、図-12に示した被災該当地山GL-5.0m迄のN値発現頻度の正規確率プロット図である。信頼区間を±1σとすると、±1σ間は、低いN値側に偏る。-1σの信頼区間から下方のN値は0から6の7階級で、+1σの信頼区間から上方のN値は26から49の24階級である。信頼区間外のN値は、+1σより上方のN値側に多く存在することを示している。なお、図-13以降に決定係数R<sup>2</sup>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。図-13に示した正規確率プロット図の線形は、比較的高い決定係数R<sup>2</sup>を示している。

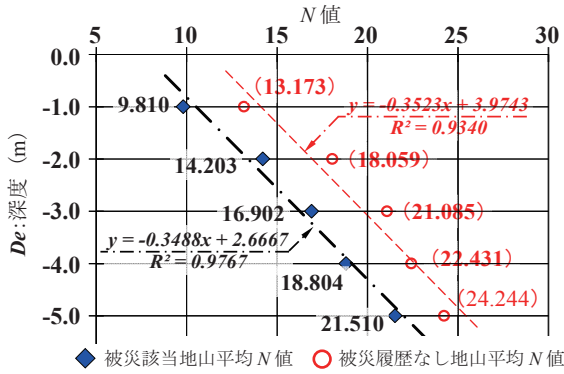


図-14 深度別平均 N 値

表-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	1σ 上限 N 値	1σ 上限 N 値 (切上)	データ数	1σ 内 データ数	1σ 内 データ 確率
-1.0	9.810	6.618	16.429	17.0	153	132	86.3%
-2.0	14.203	7.125	21.328	22.0	143	118	82.5%
-3.0	16.902	9.145	26.048	27.0	123	101	82.1%
-4.0	18.804	9.447	28.251	29.0	112	90	80.4%
-5.0	21.510	10.745	32.255	33.0	100	80	80.0%
Σ	-	-	-	-	631	521	82.6%

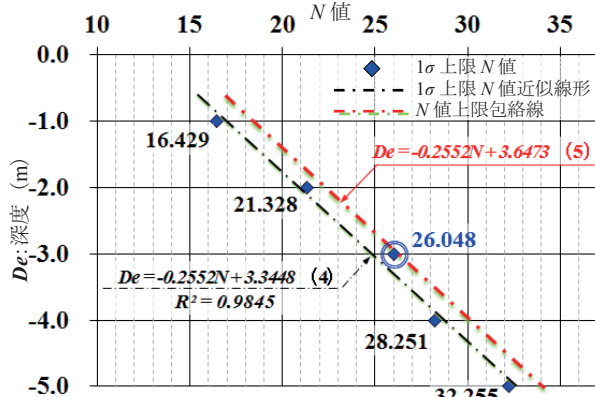


図-15 深度毎の「1σ 上限 N 値」と上限包絡線

図-14 は、被災該当地山と被災履歴なし地山に関する GL-5.0m 迄の平均 N 値である。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。「被災該当地山平均 N 値」は、「被災履歴なし地山平均 N 値」より各深度とも明らかに小さい値であった。よって、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、標準偏差を用いた「1σ 上限 N 値」に着目した。

深度-5.0m 迄の深度別平均 N 値に対し「1σ 上限 N 値」を求めた結果は、表-8 に示すとおりである。また、図-15 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(4)で示すように高い決定係数を有す線形で表わされる。

$$De = -0.2552N + 3.3448 \quad (4)$$

De は GL-深度 (m), N は N 値である。深度と N 値の関係には高い相関性が見られるため、式(4)の傾きを基準として、上限包絡線を求めると式(5)のようになる。

表-9 GL-5.0m 迄の各深度の危険限界 N 値 (N<sub>DL</sub>)

深度 GL- (m)	N <sub>DL</sub>		被災 データ総数	N <sub>DL</sub> 内 データ数	N <sub>DL</sub> 外 データ数	N <sub>DL</sub> 内 データ確率
	計算値	切上 整数				
-1.0	18.211	19	153	144	9	94.1%
-2.0	22.129	23	143	124	19	86.7%
-3.0	26.048	27	123	103	20	83.7%
-4.0	29.966	30	112	94	18	83.9%
-5.0	33.885	34	100	83	17	83.0%
Ave-5.0	25.063	26	631	541	90	85.7%

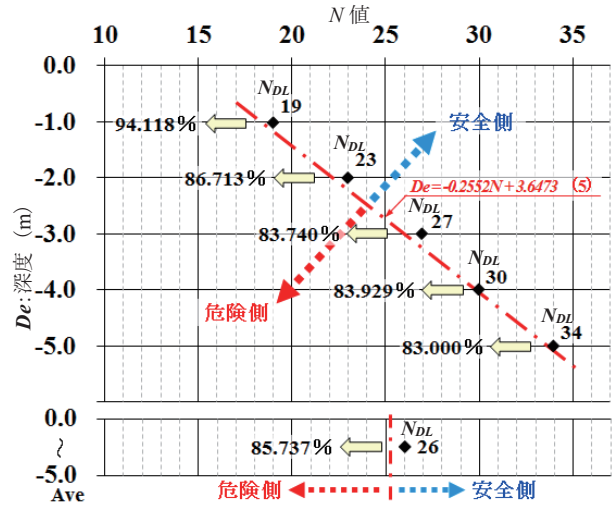


図-16 GL-5.0m 迄の N<sub>DL</sub> ライン

$$De = -0.2552N + 3.6473 \quad (5)$$

ここで、上限包絡線と与えられる N 値を「危険限界 N 値 (N<sub>DL</sub>)」と考え、深度 5.0m 迄の危険限界 N 値 (N<sub>DL</sub>) は、式(5)を変形した式(6)で表わされる。

$$N_{DL} = (-De + 3.6473) / 0.2552 \quad (6)$$

式(6)から GL-5.0m 迄の各深度の N<sub>DL</sub> 値を求めた結果は、表-9 のとおりである。計算値を切り上げた整数値が危険限界 N 値 (N<sub>DL</sub>) である。GL-5.0m 迄の各深度の N<sub>DL</sub> 値と N 値の上限包絡線を図-16 に示す。中国地方の高速道路において 1974 年 (S49) から 2012 年 (H24) 3 月末時点までに花崗岩地域で被災を受けた地山は、GL-5.0m 迄の各深度の N 値が 80% 以上の確率で N<sub>DL</sub> 値以下であることが判明した。但し、この N<sub>DL</sub> 値の確率は災害箇所該当する被災該当地山の分析結果に対するものである。

被災該当地山 (災害箇所) の GL-5.0m 迄の平均 N 値から危険限界 N 値 (N<sub>DL</sub>) を算出した結果では、N 値が 26 よりも低い値を示す地盤は、斜面崩壊に対して注意する必要がある。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<sup>48)</sup>とされており、N<sub>DL</sub> 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。

本研究は、過去の災害履歴から、斜面災害発生箇所該当する「被災該当地山」の深度別 N 値に着目し、N 値について分析を行ったものである。未災害箇所該当する「被災履歴なし地山」を含めた詳細な分析や降雨量と被災規模、後背地形等の関連性等については今後の課題であると考えている。



## 6. 結論

本研究は、高速道沿線の標準貫入試験結果である  $N$  値に着目し、中国地方に広く分布している代表的な花崗岩地質の深度分布と斜面災害発生箇所の特性を取りまとめたものである。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 中国地方の花崗岩地域における  $N$  値の発現頻度は、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。平均  $N$  値は 20.183 である。
- (2) 県別の  $N$  値発現率は、 $N$  値の発現頻度と同様に対数正規分布に類似しているが、島根県と鳥取県は、岡山県、広島県、山口県と比較して、少しバラツキがある。
- (3) 県別の GL-5.0m 迄の深度別平均  $N$  値は、県別災害発生指数  $\beta'$  の相対関係と一致する。GL-5.0m 迄の表層崩壊に対し、その発生頻度の高さは、深度別平均  $N$  値の低さに関連することが裏付けられた。
- (4) 被災該当地山(災害箇所)の  $N$  値の発現傾向は、対数正規分布に類似する。変動係数は、中国地方の花崗岩地域における  $N$  値の発現頻度と比較して大きな差はない。
- (5) 被災該当地山(災害箇所)と被災履歴なしの地山(未災害箇所)の  $N$  値を比較すると、GL-7.0m 以外の全ての深度で、平均値、中央値のいずれも被災履歴なしの地山の  $N$  値が被災該当地山の  $N$  値を上回る。
- (6) 被災該当地山(災害箇所)の GL-5.0m 迄の  $N$  値発現頻度は、対数正規分布に類似する。信頼区間を外れる階級 ( $N$  値) は、高  $N$  値側に偏る。
- (7) 被災該当地山に関する GL-5.0m 迄の平均  $N$  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。
- (8) 深度 5.0m 迄の危険限界  $N$  値 ( $N_{DL}$ ) は、次の式で表わされる。被災該当地山における各深度の  $N$  値が 80% 以上の確率で  $N_{DL}$  値以下であることが判明した。

$$N_{DL} = (-De + 3.6473) / 0.2552$$

※  $N_{DL}$  = 危険限界  $N$  値(切上整数値)

$$De = \text{GL-深度(m)}$$

## 謝辞

本研究を行うにあたり、既存資料収集に際しては、西日本高速道路(株)中国支社及び同管内の各事務所の関係者に御協力頂いた。データ整理の一部については、山口大学大学院理工学研究科地盤工学研究室の関係諸兄に御協力頂いた。統計解析については、山口大学大学院理工学研究科の榊原弘之准教授に御指導いただいた。評価分析の一部については、(財)高速道路調査会シニアフェロー奥園誠之氏に御指導頂いた。

以上、心より感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 村山朔郎, 森田紀元, 赤井浩一, 能城正治: 標準貫入試験と地盤の支持力について(1), 土と基礎, Vol.2(5), pp.12-18, 1954.
- 2) 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, pp.279-280, (公社)地盤工学会, 2013.
- 3)  $N$  値の話編集委員会: 改訂  $N$  値の話, 理工図書(株), pp.9-11, 2007.
- 4) 内田太郎: 表層崩壊の予測精度向上に向けて, 平成 25 年度 国土技術政策総合研究所講演会講演集, p.147, 2013.
- 5) 奥園誠之: 斜面防災 100 のポイント, 172pp., 鹿島出版会, 2006.
- 6) 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.
- 7) (社)土質工学会: 風化花崗岩とまき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.
- 8) 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(7), p.7, 1974.
- 9) 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.
- 10) 小黒讓司, 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16)  $N$  値の話編集委員会:  $N$  値の話, 231pp., 理工図書(株), 2007.
- 17)  $N$  値の話編集委員会: 改訂  $N$  値の話, 理工図書(株), p.113, 2007.
- 18) Terzaghi, K. and Peck, R.B.: Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, 1948.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 北沢五郎, 竹山謙三郎, 鈴木好一, 大河原春雄, 大崎順彦 : 東京地盤図, 技報堂, 1959.
- 22) 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.
- 23) 田中洋行 :  $N$  値の考え方と利用例—港湾構造物, 基礎工, Vol.25, No.12, pp.77-81, 1997.
- 24) 畑中宗憲, 内田明彦, 田屋裕司 : 砂質地盤の内部摩擦角  $\phi$  と正規化された標準貫入試験の  $N$  値 ( $N$ ) の関係, 土と基礎, 47-8, pp.5-8, 1999.
- 25) (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.
- 26) 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.
- 27) 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.
- 28) 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.
- 29) 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.
- 30) 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.
- 31) 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.
- 32) 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.
- 33) 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.
- 34) 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.
- 35) 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.
- 36) 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.
- 37) 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.
- 38) (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.
- 39) (社)地盤工学会 : 全国地盤地図 Web サイト, [http://www.denshi-jiban.jp/map\\_menu.htm](http://www.denshi-jiban.jp/map_menu.htm), (参照 2014 年 12 月 30 日).
- 40) 下野宗彦, 中田幸男, 清水則一 : 道路のり面・斜面に対する予防保全へのアプローチ, 国交省中国地方建設技術開発交流会, [http://www.cgr.mlit.go.jp/ctc/tech\\_dev/kouryu/T-Space/ronbun/pdf/25\\_hirosima/25\\_hirosima\\_4-1.pdf](http://www.cgr.mlit.go.jp/ctc/tech_dev/kouryu/T-Space/ronbun/pdf/25_hirosima/25_hirosima_4-1.pdf), (参照 2015 年 3 月 30 日).
- 41) 佐々木啓之, 下野宗彦, 中田幸男 : 中国地方における高速道路斜面災害の形態分析, H26 年度土木学会年次学術講演, pp.567-568, 2014.
- 42) 下野宗彦, 中田幸男, 兵動正幸, 吉本憲正 : 中国地方における土砂災害発生箇所  $N$  値深度分布特性, 第 49 回地盤工学研究発表会, pp.1759-1760, 2014.
- 43) 中田幸男, 下野宗彦 : まさ土の特性—花崗岩地質域の土砂災害を通して—, 基礎工, Vol.42, No.12, pp.15-18, 2014.
- 44) 西日本高速道路(株) : 道路網図, [http://corp.w-nexco.co.jp/activity/bus\\_area/](http://corp.w-nexco.co.jp/activity/bus_area/), (参照 2015 年 5 月 5 日).
- 45) 低引洋隆 : 中国地方の地形地質, 土と基礎, Vol.38(3), pp.9-14, 1990.
- 46) 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, p.24, (公社)地盤工学会, 2005.
- 47)  $N$  値の話編集委員会 : 改訂  $N$  値の話, 理工図書(株), p.28, 2007.
- 48) 東・中・西日本高速道路(株) : 設計要領第二集, 第 4 章, pp.15-16, 2011.

(2015 年 5 月 23 日 受付)