

中山間地域における道路盛土の粒度特性の把握に関する研究

防衛大学校 国際会員 野々山栄人
中部大学 国際会員 余川 弘至
中部大学 正会員 ○浅野 憲雄

1. はじめに

我が国の国土の約7割以上が山地や丘陵地帯に属しており、河谷に沿って狭長な緩斜面を示す崖錐帯が形成されている。その中でも比較的規模が大きい崖錐帯は、緩斜面であることに加え、山地から供給される地下水の存在などによって、古くから生活の場として利用されることが多い。地形的に緩傾斜地であることから、生活の場である崖錐帯区域の生活道路として構築される地域幹線道路は、切土・盛土が交互に分布するような道路構成となる。

この崖錐帯の地層構成は、土砂が山地から自然落下で供給されることが支配的であるため、道路横断方向に成層状態になることが多く、地盤中に透水性の高い薄層を挟むこともあり、山地内部より浸透水が流下する薄層となる。

道路地盤中への浸透水は、道路縁部の盛土のり先の崩壊や舗装の劣化を生じさせるほか、道路基盤中の埋設管などへの浸透水の供給源となる。実際、山間部などの集落排水（下水）管が劣化し、浸透水が下水管へ流入するなどの事例を確認している（写真-1）。写真-1は、長野県北部地震（2011）で、埋設管の影響による道路崩壊の様子である。このような現象は、埋設管設置の際にサンドマットなどで管を取り巻くため、周辺地盤から供給された浸透水が埋設管を中心に「貯留」、「流動」することで地盤の劣化が生じていると考えている。



写真-1 埋設管の影響による道路崩壊、長野県北部地震(2011)

中山間地域の幹線道路は、非常時の避難路やライフライン布設などに利用され、単に人・車の通行だけに資するものではない。このような崖錐土砂からなる中山間地域の道路に地震動が作用すると、埋設管を中心とした局所的な液状化現象が発生し、埋設管の浮き上がりや盛土のり面の崩壊などの現象が生じて避難路・ライフライン施設の機能停止につながってしまう。

本研究では、模型実験および数値解析を用いて、地震時における中山間地域の道路盛土の安定性や対策工を検討してゆく。本報告では、その事前調査として岐阜県北部地域を研究対象地域と選定し、既存の土質調査報告書を整理・分析することで中山間地域における道路盛土の粒度特性を把握してゆく。なお、研究対象地域は、山地内を流下する河川によって形成された谷底平坦面と、山地から供給された土砂で形成された崖錐帯が河川に沿って広がる地域である。

2. 研究対象地域とその粒度特性

研究対象地域は、我が国の主要な地質から構成されており地形的にも各種の地殻変動を受けることで、河谷の侵食と崖錐帯の形成が顕著である岐阜県北部域を対象とした。中山間地域における盛土は、現地発生土

を利用することが原則となっているため、山間道路の主要な地形・地質である崖錐土砂の特性を知ることは中山間地域の盛土特性を把握することになる。この地域では高～低位の段丘が河川に沿って分布し、段丘面上には形成された時代が異なった新旧の崖錐帯が分布しているが、現谷底付近には現在も拡大傾向にある新規崖錐帯が広がっている。そのため、崖錐帯を構成する土砂の材料特性を把握するためには、対象地域内のできるだけ多くの地点について土性の調査・把握を行う必要がある。また、中山間地域の集落間を結ぶ道路は、集落形成の基となる生活環境条件から河川に沿った崖錐帯を横切るように構築されているため、このような道路建設・維持のための土質調査報告書をまとめることで崖錐土砂層の特徴を把握することができると考えた。

本研究では、山間地域である当該地域での主要幹線道路において実施された路床材料調査報告書の結果を収集時点で各調査箇所（区間）の地形特性を検討し、崖錐地形と考えられる地点の報告書（24 地点）を集計した。図-1 は、資料収集箇所の山地の斜面勾配を解析した地形区分図を示したものである。図-1 より崖錐帯の土砂採取地点は、当該区域の主要河川である神通川水系宮川・高原川などの支川が形成した、谷底平坦地や山地裾野部に点在するように大半が位置していることが分かる。これは、報告書に添付される局所的な位置図でも判定されるが、広域な地形解析図に試料採取地点を配置すると、当該地域の主要幹線が山地谷底付近の生活の場をつなぐように構築されていることが理解できる。

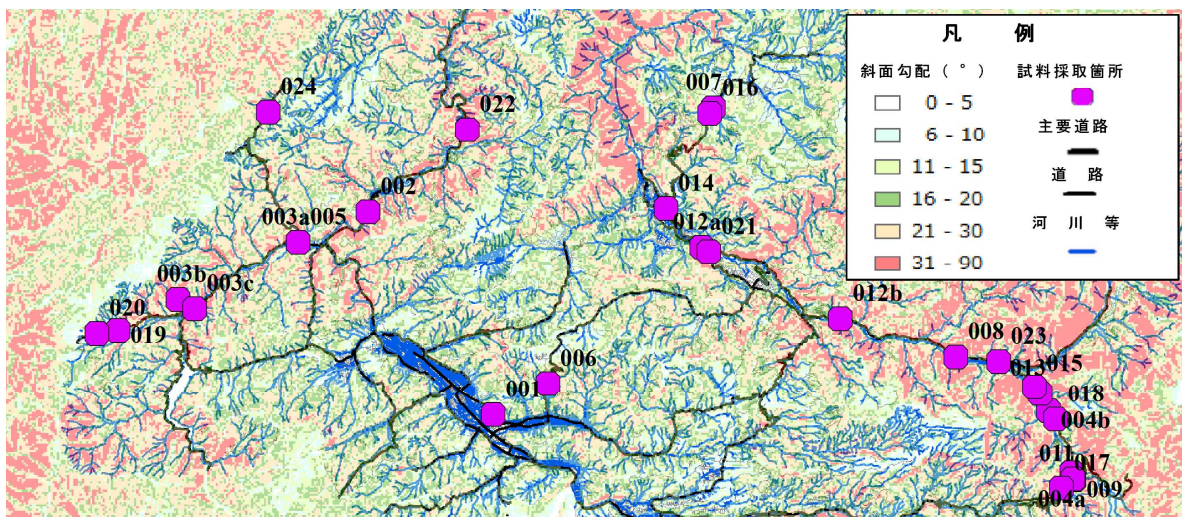
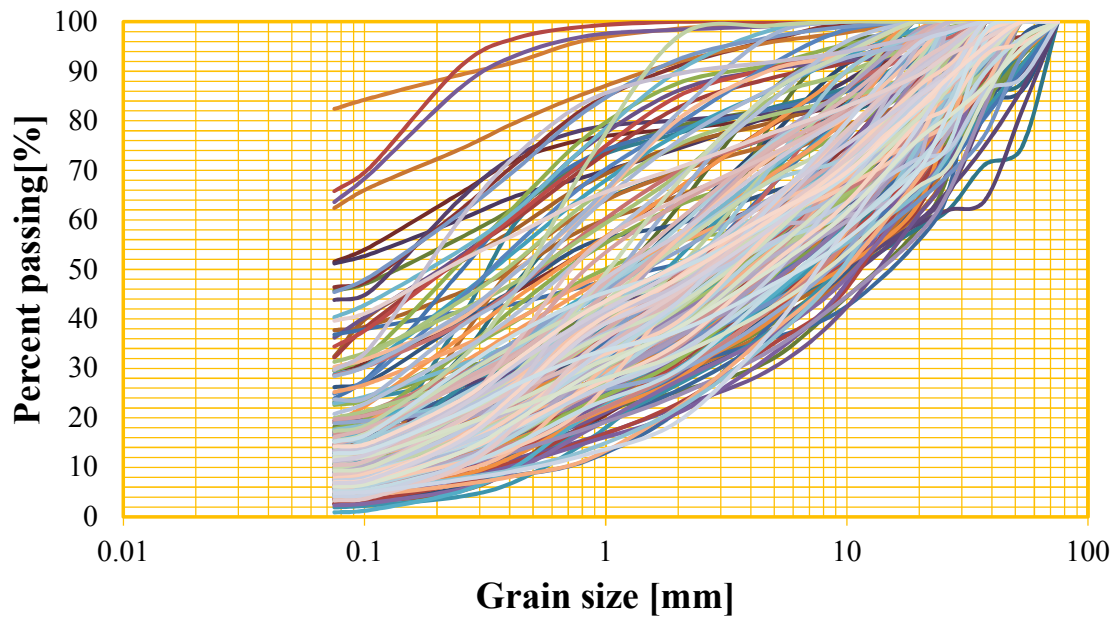


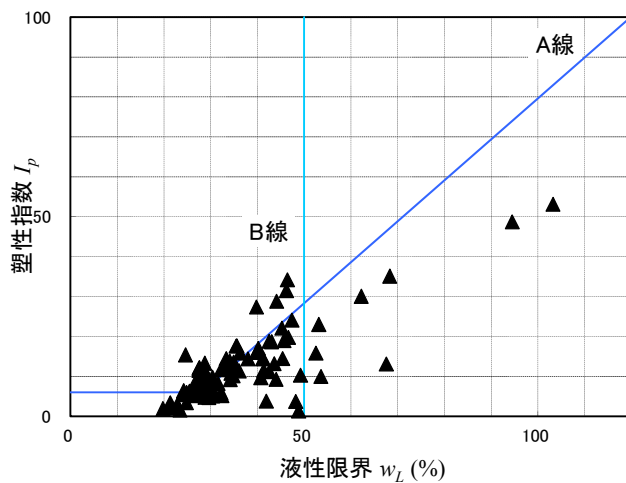
図-1 対象地域と調査箇所位置図（24 地点の位置図）

当該地域での調査結果から、大半の調査箇所が 2 層以上の多層構造を示していた。この特徴は、当該地域における崖錐帯の形成過程が、単に風化浸食作用によるものではなく、地殻変動（地盤隆起）によって土砂供給特性が変化し、土性の異なる薄層が積み重なる地盤特性を示すと考えられる。このように中山間地域の崖錐帯では、地盤形成の特徴から異なった土質特性を有する薄層が同様な地盤特性を示すと考えられる。図-2 には、調査報告書に記載されていた 216 データの物理特性（粒径加積曲線、塑性図および地盤材料の工学的分類）を示す。なお、工学的分類に必要な情報がないデータについては除外している。

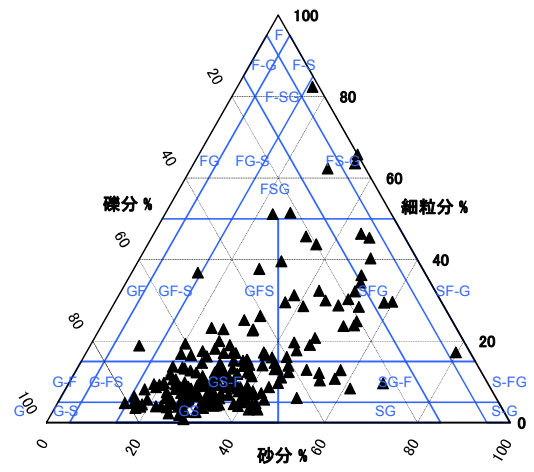
図-2(a)の粒径加積曲線からもわかるように、粒度特性としては、概ね礫質土と区分できるようななだらかな曲線を示す材料が支配的であるが、粗粒～細粒成分の配合に大きな差があるような試料も見受けられる。これは、崖錐土砂層の形成時に河川等の流水によって細粒土が運び込まれた場合、細粒成分が異常に含有されることがあるためと判断できる。このような箇所は、地形的に河川に近い平坦地や比較的大きな谷出口である。同様に、図-2(b)に示したコンシステンシー特性にも地点ごとにばらつきがあり、河川や表土の影響で細砂や有機質の混入による塑性指数の低下が生じていることがわかる。



(a) 粒径加積曲線



(b) 塑性図



(c) 三角座標

図-2 検討試料の物理特性 (216 データ)

3. 崖錐帯の粒度特性

崖錐帯は、礫質土主体の土砂層で構成されるが、礫質土層としては比較的緩い状態であることが多い。ここで、崖錐帯を構成する土砂の材料特性については、背後の山地を構成する地質（岩質）や斜面勾配・植生などが関係して異なる材料特性となることが考えられる。よって、本研究では、河川規模の差と地形的特徴（高～低位段丘面上・低次谷の谷底付近・土石流地帯など）を踏まえて既存の調査報告書を分析し、地形的特徴と崖錐土砂の材料特性を整理してゆく。

崖錐帯とそれ以外の非崖錐帯を区別するために、24 地点 216 データから、試料採取時点の含水比・粒度特性に着目し、地形条件なども踏まえて、以下の基準で除外すべきデータを整理した。

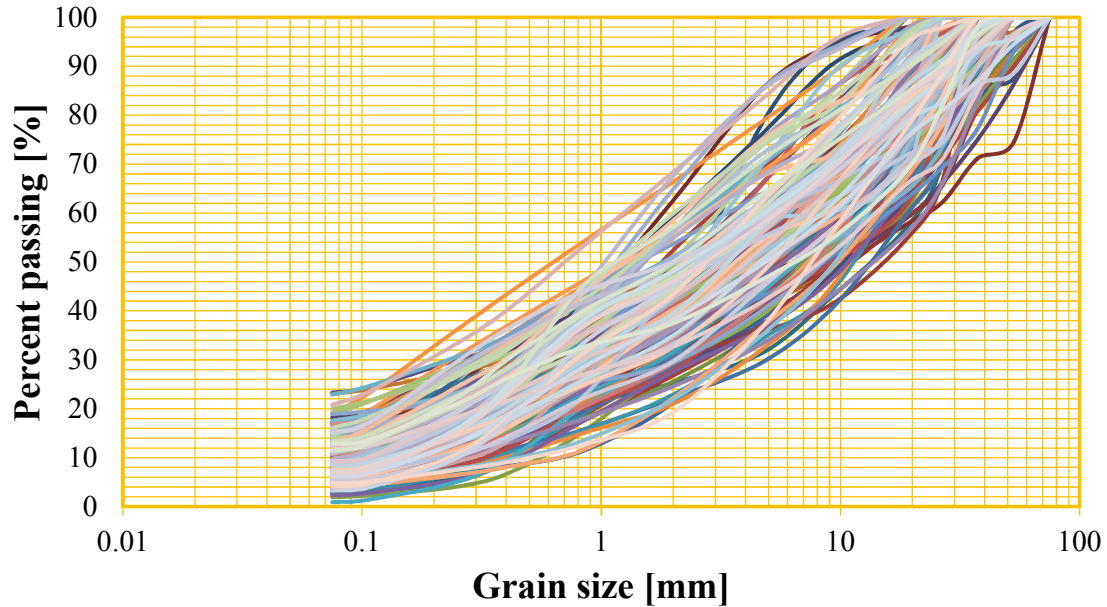
基準①：採取時点の含水比が 15%以上である。崖錐土砂は礫質土であるため、自然状態では比較的含水比が低い。

基準②：細粒分（75 μ m 以下）が 20%前後より多い（粗粒分の粒度分布を考慮して判定）。

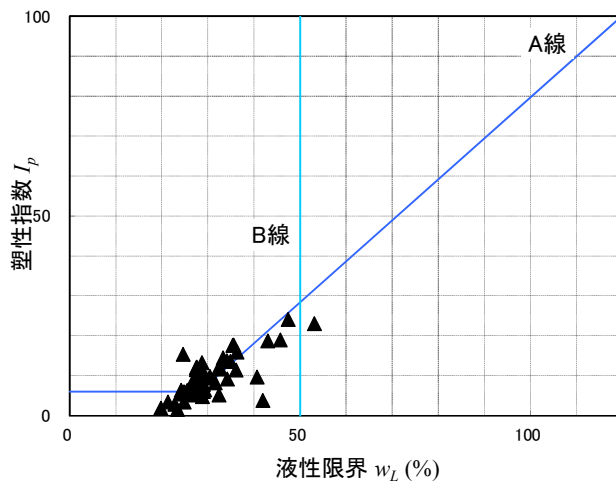
基準③：2mm 以下の粒径加積曲線が極端に傾斜している。砂分以下の材料は、流水の影響を受けやすく、粒径加積曲線が急勾配であれば河川等の影響を強く受けた土砂層であり崖錐土砂とは言い難い。

基準④：試料採取地点が、崖錐帯とは思えないような地点。例えば、湿地帯に近接する箇所など。

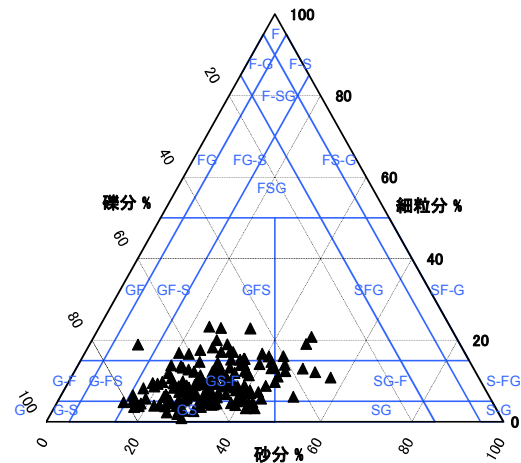
以下に、上記基準を適用し、崖錐土砂と一次判定した試料の物理特性を図-3 に示す。



(a) 粒径加積曲線



(b) 塑性図



(c) 三角座標

図-3 一次判定した試料の物理特性（基準を満たしたデータ：170 データ）

図-3 より、コンシステンシー特性については、崖錐土砂層の形成についての条件で分類した結果、高精度に崖錐土砂層（同土砂を用いた盛土層も同様）の性質をつかめていると判定できる。粒度特性に関して見れば概ね崖錐土砂の粒度特性が判定できそうであるが、まだかなりの構成材料について分散傾向にある。そこで、以下のような地形解析を行うことで検討試料を再度区分し、地形的特徴と崖錐帯構成材料について分析した。

区分①：比較的規模が大きな河川の谷底部に形成された崖錐帯（谷底部）

当該地域の主要河川は谷底平野を形成しており、山地との境界付近に崖錐帯を有する。この崖錐帯は、洪水時などに流水の影響を受けている可能性がある。

区分②：当該地方に広がる大小段丘面に形成された崖錐帯（段丘面上）

当該地域には上～低位の河岸段丘が広域に分布する。これらの段丘面と山地間には中小の崖錐が分

布し生活の場となっている。

区分③：当該地方の山地高標高部に見られる準平原部の河谷・斜面内に形成された崖錐帯（準平原部）
最頂部付近に広がる準平原内の河谷は、比較的新しい時代の崖錐帯が存在する。

区分④：当該地域の小規模河谷部付近の斜面裾野に形成された崖錐帯（斜面裾野部）
山地を下刻しつつある中小河川の周辺では、山地表面の緩みが進み崩壊等に伴う崖錐帯が形成される。

上記4種の地形区分によって検討地域の崖錐土砂の粒度特性を分析する。当該地域の地形解析を行い、山地の標高区分による試料採取位置特性を示した図-4である。

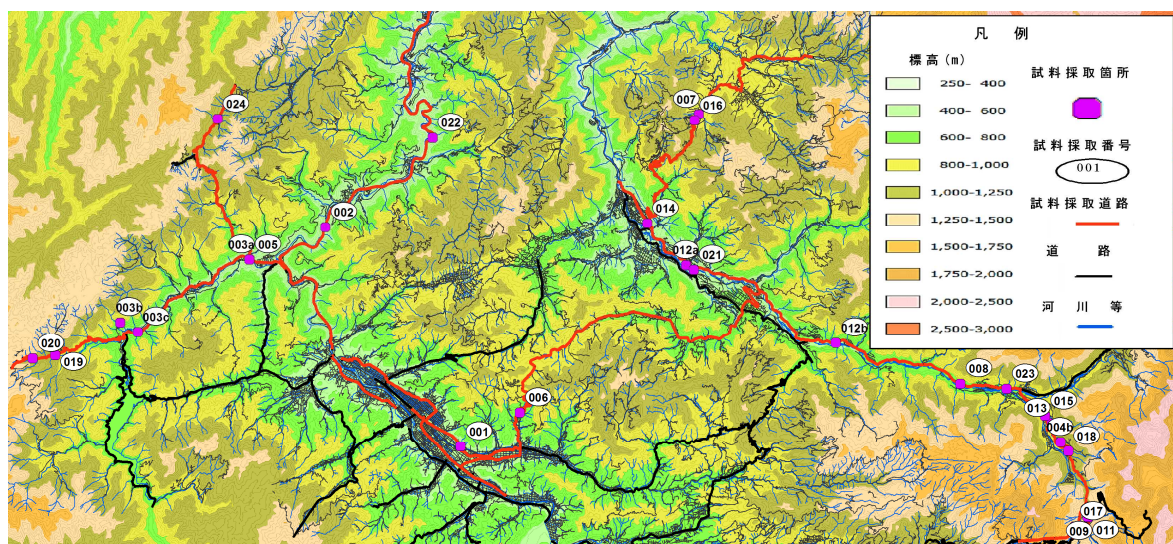


図-4 山地の標高区分と採取位置

図-4より、今回の検討箇所（区間）の位置が、主要な河谷の段丘・谷底部や山地内の小規模河川谷底・山地内平坦部（準平原）に沿って、上記の4種の地形部に分布しているが分かる。さらに、崖錐土砂は礫分を主体としているため、主要となる礫分の粒径と粒径加積曲線の勾配から判断できると考え、粒度特性を比較する目的で平均粒径 D_{50} における粒径加積曲線の勾配を調べた。以下にその手順をまとめた。

手順①：平均粒径 D_{50} を既存の報告書や粒径加積曲線から求める。

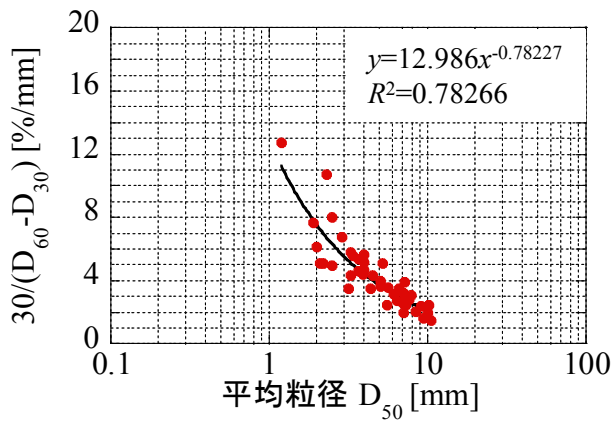
手順②：崖錐土砂は、粗粒土主体であるが形成過程で細粒成分の混入があり、有効径 D_{10} が得られていないことがある。よって、既存の報告書から30%粒径 D_{30} を求める。

手順③：既存の報告書から、60%粒径 D_{60} を求める。

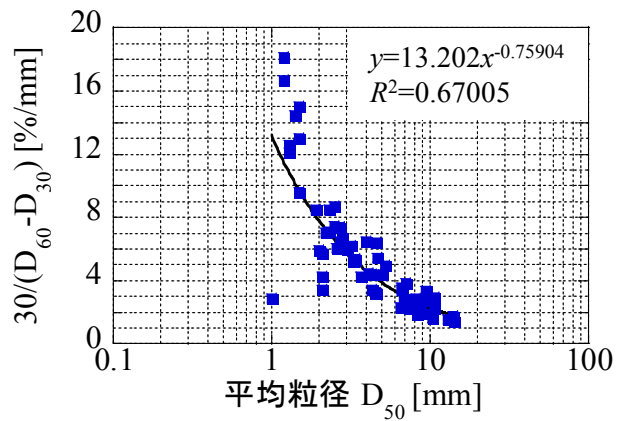
手順④：粒径加積曲線の勾配を次式より求める。

$$\text{粒径加積曲線の勾配} = \frac{30}{D_{60} - D_{30}} \quad [\%/mm] \quad (1)$$

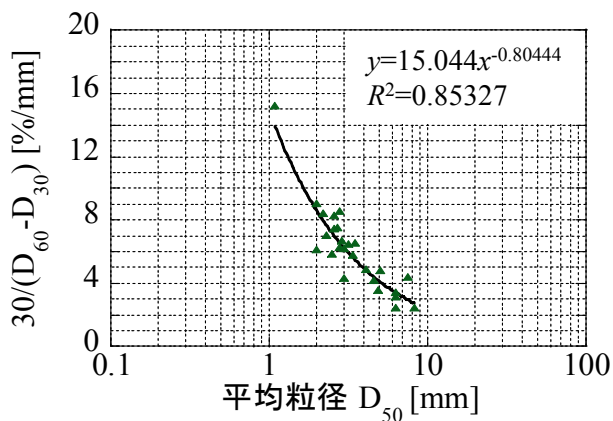
手順⑤：粒径加積曲線の勾配と平均粒径を用いてデータを整理し（図-5）、崖錐土砂の特性を把握する。



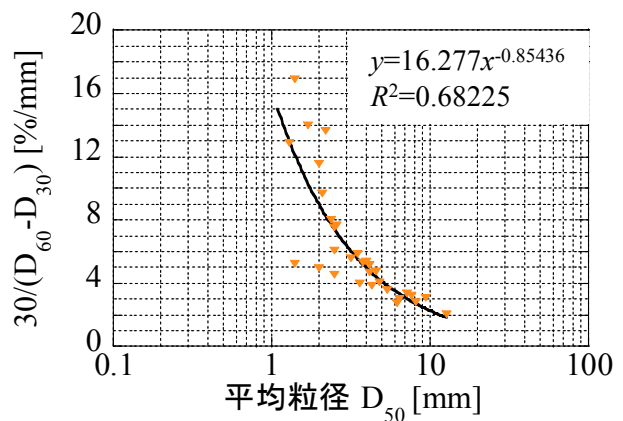
(a) 区分① (谷底部)



(b) 区分② (段丘面上)



(c) 区分③ (準平原部)



(d) 区分④ (斜面裾野部)

図-5 各地形区分における粒径加積曲線の勾配と平均粒径の分布

また、整理した全ての崖錐土砂の粒径加積曲線の勾配と平均粒径の関係をまとめたものが図-6 である。

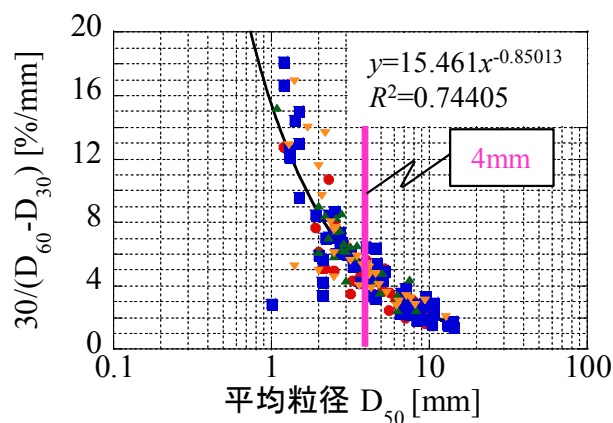


図-6 全資料の粒径加積曲線の勾配と平均粒径の分布

図-5、6 より、当該地域における崖錐土砂の特徴をまとめると以下のように判断される。

- 図 5、6 より、平均粒径が 4mm 以上の材料は近似線に集約する傾向にある。このような傾向は、採取試料が比較的大きな崖錐帯であることから、淘汰作用によって最大粒径がある程度、一定となると考えられる。

- 平均粒径が 4mm 以上の材料は、粒径加積曲線の平均粒径付近の勾配が緩い状況を示し、前述の崖錐土砂層としての条件（細粒成分の割合）と最大粒径の関係から粒度組成の良い材料特性を示す。このことは、地形条件に関わらず当該地域における崖錐土砂の特性といえる。
- 平均粒径が 4mm 以下の材料は、近似曲線から分散しているような特徴を示す。これは、細粒成分が比較的多い材料が均等粒度や階段状分布を示していることを意味する。ただし、「斜面裾野部」・「段丘面上」の 2 地形域と、「谷底部」・「準平原部」の 2 地形域とでは、多少異なった傾向を示す。「斜面裾野部」・「段丘面上」については、平均粒径が 2mm 以下を示す材料の粒径加積曲線の勾配が大きく分散しており、階段状の粒径加積曲線を示しているものが多いと考えられる。一方、「谷底部」・「準平原部」については、平均粒径が 2mm 以下の材料についても近似曲線からの分散は少なく、粒度組成が徐々に均等粒度に近くなることを意味している。この 2 地形域では、山地が侵食過程にあるため、斜面に形成された風下層の比較的細粒の土砂供給が同じような環境下で供給されつつあることを意味している。
- 今回の全崖錐土砂の平均粒径における粒径加積曲線の勾配は、平均粒径が 2mm 以上で近似曲線に収束しているようであり、崖錐土砂の特徴である礫質土として異なった地形・地質条件においても、主要構成材料としての礫分の粒度組成は同じような傾向を持って土砂形成されている。平均粒径が 2~4mm 以下の材料に関しては、崖錐帯端部などに位置し、河谷等の影響を強く受けた箇所と想定されることから、箇所数が多いものの崖錐土砂の分布範囲は河川に平行した狭い範囲と考えられる。よって、地震時などによる被害も生活の場としての崖錐帯の中でも局所的となる。

4. 中山間地域の盛土特性について

本研究では、地震時における中山間地域の道路盛土の安定性や対策工を検討するために、模型実験および数値解析を用いて検討することを目的としている。よって、本報では中山間地域の道路盛土ならびに基礎地盤の土質特性を把握し、模型実験のための材料特性把握を行った。結果として、検討対象とした飛騨北部域の主要幹線が構築されている箇所の大半が崖錐帯に位置し、崖錐土砂は崖錐帯を形成する山地地形に関わらず平均粒径が 4mm 程度を示し、比較的なだらかな粒度曲線を示し粒度組成の良い礫質土であることが判明した。このような粒度特性を有する崖錐土砂層であるが、力学的・水理学的特性を左右する要因としてはコンシステンシー特性が挙げられる。当該地区の崖錐土砂のコンシステンシー特性として地形条件等から区分された低地堆積土砂以外の崖錐土砂では、細粒成分が 20%程度以下であれば塑性図の A 線に接するような特性値を有する土砂が支配的であった。この土質特性は、地形・地質条件に関わらず当該地域の崖錐土砂全般の特性であり、一般的な細粒成分が塑性図の A 線付近に集約することがよく知られており、当該地域の細粒土も一般的な土性を有することが判明した。

以上のような結果をもとに、模型実験を行う試料としては図-7 に示すような当該地域の全崖錐土砂を平均した粒度配合で実験を行っても、当該地域の平均的な盛土の安定検討が可能と考えられる。ただし、本報告は崖錐土砂の物理特性を総括したものであり、現地における力学的・水理的特性を把握したものではないため、現地における盛土密度・含水状態などの検証が必要となろう。

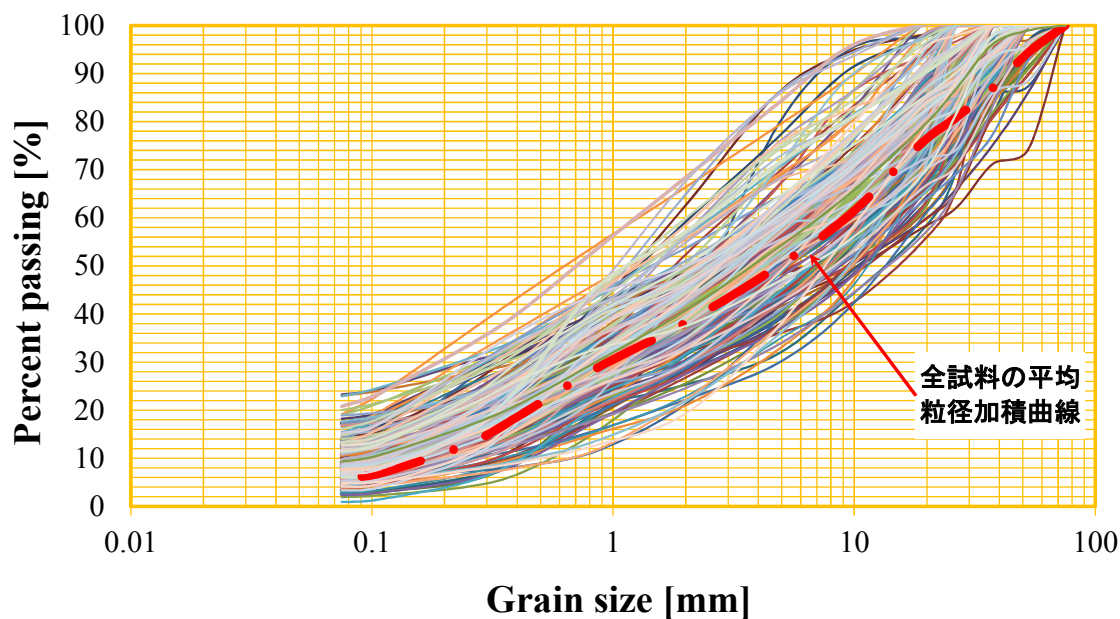


図-7 試料を平均した粒径加積曲線

5. まとめ

本報告では、中山間地域に構築されている幹線道路盛土の地震時安定性等を研究するために、事前調査として我が国の代表的な地質を有し、現在も地盤隆起過程にあるため、多種多様な崖錐帯が形成されて岐阜県飛騨北部域での既存路床調査報告書を収集し崖錐土砂の土質特性を把握することとした。

山間部の崖錐帯は、地盤勾配や利水の良さなどから、生活の場として古くから土地利用されている。中でも比較的大規模な崖錐帯では集落が発達し、地形的要因から切土盛土が交互するように山間部の幹線道路が必然的に構築されることとなる。このような山間部の道路盛土に地震等の外力が作用することで、盛土崩壊や幹線道路に埋設された管渠などが浮き上がるなどの被災を受けることとなる。

本報告では、収集した 170 データを粒度・コンシステンシー特性について分析した結果、当該地域の崖錐土砂は地形・地質が異なった箇所においても大きな粒度特性の変化が見られないことが判明した。ただし、土性としては、細粒成分の含有量やコンシステンシー特性によって変化するため、現地状況によっては力学的挙動が異なるかもしれない。ただし、研究の目的である実験と解析には、平均的な崖錐土砂の粒度特性とコンシステンシー特性を用いることで当該地域の平均的な崖錐土砂を再現できると考えられる。ここで、模型実験を実施する前に、崖錐土砂を用いた盛土層の密度や幹線道路の変状などについても把握しておくことが良いと考えられる。よって、今後は対象とした地点の現地調査を実施し、地形との関連性を考慮してゆきたい。

謝辞

本研究は、科研費(若手研究 B・26820191)による助成を受けた。また、岐阜県県土整備部ならびに岐阜県古川土木事務所に協力いただいた。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 社団法人地盤工学会 (1999): 地盤工学ハンドブック, 1828p.