

熊本地方の特殊土と地盤特性値の信頼性の確認方法

Regional Soil Properties in Kumamoto District and Reliability to Handle

福田 光 治 (ふくだ みつはる)

肥後地質調査㈱ 技師長

山 崎 智 寛 (やまさき ともひろ)

肥後地質調査㈱ 係長

西 浦 讓 二 (にしうら じょうじ)

肥後地質調査㈱ 技術部長

北 園 芳 人 (きたその よしと)

熊本大学大学院 教授

1. はじめに

多くの地方の地盤調査は N 値主体であることが推察される。このため地盤情報の信頼性は N 値を基礎とする全国版のマニュアルに凝縮された傾向に依拠することになる。しかし N 値と地盤情報の相関は地域性を帯びているため、信頼性を完全に保証することはできない。本報文では熊本市周辺の建築地盤で遭遇する表層地盤を対象に、火山灰堆積土や溶岩の透水性、非溶結火災流の S 波速度、阿蘇湖成層の強度を取り上げて一般性からの乖離としての特殊性のレベルを調べた結果について報告する。熊本市周辺の特殊土として赤ぼく、黒ぼく、赤ぼや、よな、弱溶結火砕流堆積物、灰土が取り上げられている^{1)~4)}。しかし言及しないが熊本市の南北には秩父帯や四万十帯あるいは三郡変成帯などの古生代から中生代の中間山地が続き^{5)~7)}、この地域では急峻で褶曲した構造地質と風化帯が形成されており、場合によってはこれらについても特殊土あるいは特殊地帯として把握する必要がある。

2. 熊本の表層地質の特徴と地盤リスク

熊本市周辺の表層は託麻砂礫層の丘陵地と有明海東側に広がる熊本平野によって構成される^{5),6)}。そしてこの地域は南側を古生代や中生代の急峻な山地により、北側は三郡変成帯や貫入花崗岩に挟まれている。この丘陵地や平野の地下には縦横にはしる埋没した河岸段丘や海岸段丘などがあり起伏に富む基礎地盤である⁷⁾。

また熊本市周辺の地下には砥川溶岩、非溶結阿蘇4火砕流が広範囲に伏在し、砥川溶岩の上に阿蘇3火砕流、阿蘇4火砕流、さらにその上に託麻砂礫層や保田窪砂礫層、島原海湾層、そして最上部に有明層が堆積している。熊本県の地質は県北、熊本阿蘇、天草、八代、人吉に区分され、それぞれに特徴がある。黒ぼく、赤ぼく、赤ぼやは熊本阿蘇地域と人吉地域に分布し、阿蘇火砕流堆積物は県北、熊本阿蘇地域、人吉地域が核になっている。また先阿蘇火山岩類が阿蘇地域にあり、阿蘇中央火口丘群からの火山灰で被覆されている。

したがって特殊土となる素因を火山灰起源に求めるならば熊本県一帯は特殊土で被覆されており、全国版のマニュアルに依存する雰囲気を取捨していかねばなら

ないことになる。

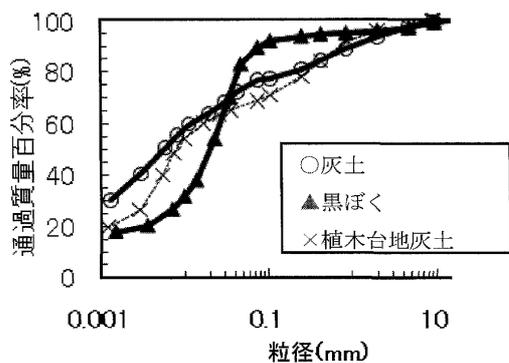
3. 地盤特性の信頼性の確認

熊本市周辺の基礎地盤として実務的に問題になるのは黒ぼくや赤ぼくなどの表層地盤を被覆する火山灰土の透水性、支持層あるいは耐震基盤面としての非溶結阿蘇4火砕流の信頼性である。また阿蘇山カルデラ内の基礎岩盤は花崗岩であるが200 m以深に伏在し、その上の地盤は N 値が小さい厚い軟弱層が堆積している。これらの地盤は一般的な土を基準にすると性質が異なる特殊土として把握して初めて信頼性が吟味できる。

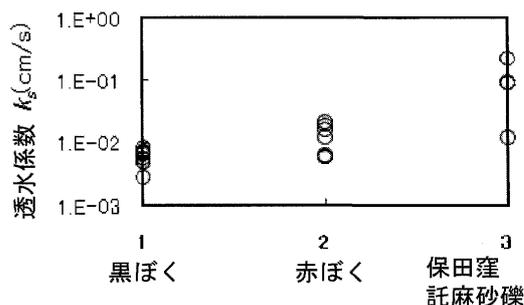
九州の特殊土に関しては(地土質工学会九州支部の「九州・沖縄における特殊土」^{1)~4)}で詳細に吟味されているが、実務的に参考にされるのは全国版としてのマニュアルである。このため本報文では全国版マニュアルに対する熊本市周辺の地盤特性の位置によって、全国的な傾向に沿う場合を一般性、それから乖離する地盤を特殊土として定義した。そして乖離する特殊土とする原因が「九州・沖縄における特殊土」に整理されていると考えている。

4. ザル田と火山性堆積土の透水性

熊本市の水道供給源は100%地下水に依存している。涵養源は明確になっており、託麻砂礫層の丘陵地である⁸⁾。ところがこの地域の地下水位は深度20 m付近にあり、地表水は不飽和帯を通過して地下水に達する。この涵養源はザル田といわれ、10 cm/日以上減水深が観測されている。背後の阿蘇谷の年間降水量は2500 mm/年で日本の平均降水量に比べかなり大きい。降雨は阿蘇山カルデラ内に貯留され、地下水盆になっており、地下水は豊富である。しかしカルデラ内の地下水は閉鎖系で、熊本地域の涵養源はカルデラ内の地下水系とは別系統になる阿蘇山外輪山山麓と農業用水システムからである。図-1、図-2は熊本北方植木台地で得られた黒ぼく、赤ぼくの粒度分布と原位置透水試験結果で得られた透水係数を示している。粒度分布から推定される透水係数に対し、原位置の透水係数は4乗乖離し、原位置の値が非常に大きいことがわかっており⁹⁾、このことから黒ぼく、赤ぼくなどは粒子からなる単純な地盤ではなく、鉛直節理などクラックの発達が予想される。したが



図一 熊本地域表層度の粒度分布

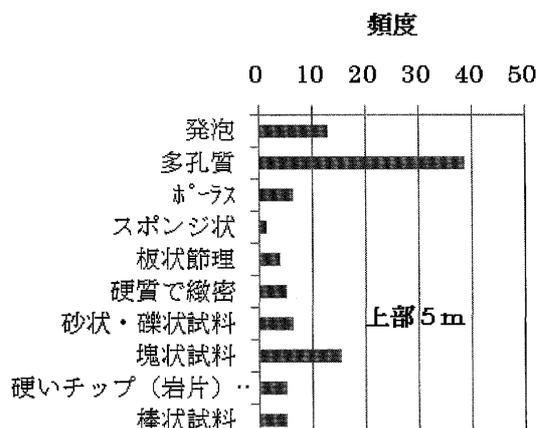


図二 表層土の透水係数

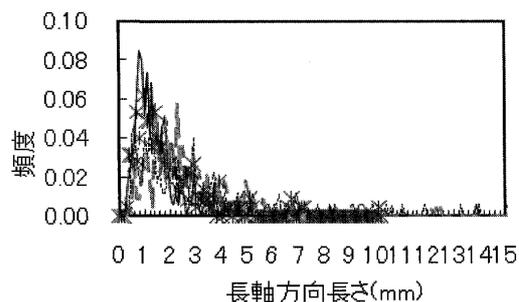
って室内土質試験結果から現場透水係数を評価することは困難である。

さらに透水性を複雑にしているのは高い透水性を示す涵養源の地下水位が深度約20 m 付近にあるため、降雨浸透から地下水位にいたる経路が不飽和ゾーンになることである。したがって不飽和土透水係数を検討しなければならない。

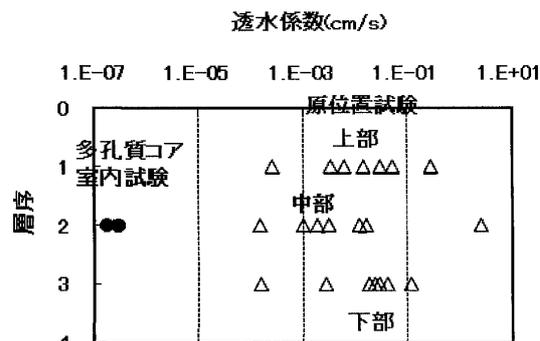
砥川溶岩は熊本の地下水帯水層を構成する重要な基本地層で特殊な構造が発達している。帯水層となる理由に多量の発泡とクラックが挙げられている。砥川溶岩はクラック状態から上・中・下の3層に区分され、図一3は上部5 mのコア観察例である。発泡、多孔質など空隙を表現する頻度が多く、砥川溶岩の代名詞になっている。塊状試料、砂状・棒状、硬いチップ状で表現されるような多くの亀裂の発達が砥川溶岩を帯水層としているゆえんである。しかし発泡は透水性にはほとんど関与していない。発泡の多くは楕円状をしているが、その長軸方向の大きさを示したものが図一4である。約1 mm 付近に集中している。このポアが高い透水係数を予想させる。しかしよく観察するとポアとポアの間には薄い膜があり、ポアは Kocheny・Carmann のモデル¹⁰⁾のようなチャンネルにはなっていない。このことを明確にするために行った室内透水試験結果と原位置試験結果を比較したのが図一5である。コアの透水係数は 10^{-7} cm/s オーダーであるが、原位置では 10^{-3} cm/s オーダーであり、約4乗乖離している。したがって砥川溶岩を帯水層にしている理由は発泡の存在ではなく、クラックの存在にあると考えられる。



図三 砥川溶岩コア観察例



図四 ポアの大きさ



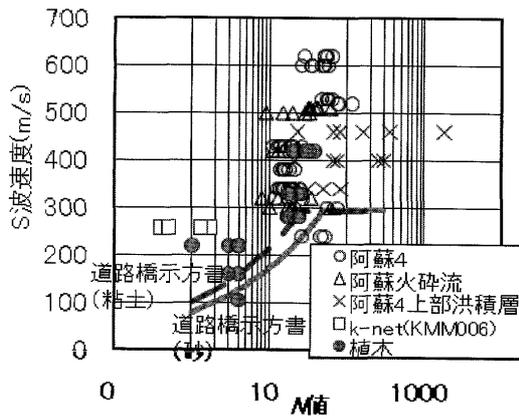
図五 砥川溶岩コアと原位置透水試験結果

5. 非溶結阿蘇4火砕流基礎地盤としてのS波特性

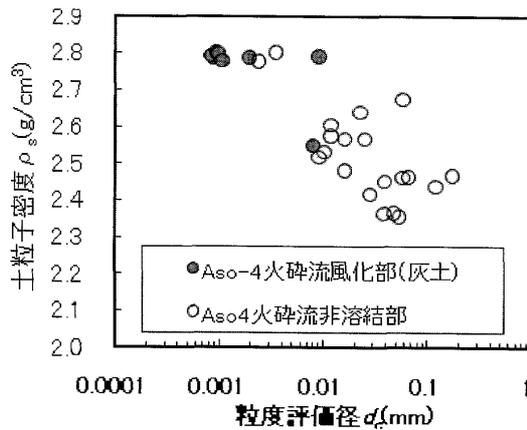
熊本市の地下広範囲に伏在する砥川溶岩は良好な耐震基盤面とされている。また託麻砂礫層はN値とS波速度の一般的な関係を踏まえると耐震基盤面の条件を有している。しかし託麻砂礫層の下にある非溶結阿蘇4火砕流が耐震基盤面の条件を満足していないため託麻砂礫層を耐震基盤面にすることは躊躇されている。図一6は非溶結阿蘇4火砕流のN値とS波速度の関係を示したものである。原位置試験で得られる非溶結阿蘇4火砕流のN値は15~20が多い。このため一般的な傾向から推定されるS波速度は200 m/s程度になり、一般的な関係¹¹⁾に依拠するならば耐震基盤面に加えることはできない。しかしPS検層結果からは300 m/sは確保される場合が多く、耐震基盤面と解釈することができる。

非溶結阿蘇4火砕流には大きな軽石が含有されてい

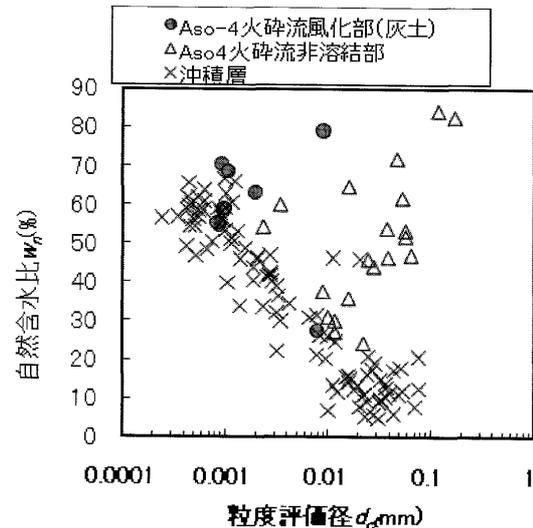
報告



図一六 非溶結阿蘇4火砕流のN値とS波速度



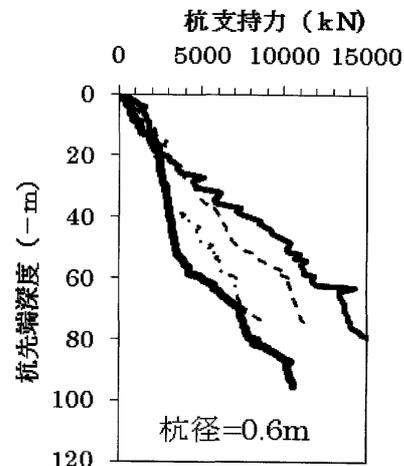
図一七 非溶結阿蘇4火砕流と灰土の連続性



図一八 非溶結阿蘇4火砕流と灰土の含水比

る。この軽石の破碎性のために低いN値になっている。高いエネルギーによる圧縮破壊を対象にするならば、この軽石は対応できないが、微小な地震伝播エネルギーに対して軽石は十分形状を保持できると考えられる。このためS波速度特性として非溶結阿蘇4火砕流は特殊土になり、地域的にデータを蓄積し、全国的な傾向とは乖離する傾向を確認していかねばならない。

非溶結阿蘇4火砕流と連続性を有するのが灰土である。熊本地盤では灰土は特殊土として非溶結阿蘇4火砕流に対して独立させ併記して述べられる^{1)~3)}。しかし図一七、図一八のように非溶結阿蘇4火砕流の研究に灰土を含めることによって新たな視点が得られる。ここに粒度評価径¹²⁾は粒度分布に対応するもので求め方は省略するが、 10^{-3} mm 以下は粘土、 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ mm は中間土、 10^{-2} mm 以上は砂の特性を示す。図一七より非溶結阿蘇4火砕流は 10^{-2} mm 以上が大部分で砂質土であるが、粒度評価径が大きくなるにつれて土粒子密度は小さくなり、図一八のように含水比は増加する傾向を示す。一方灰土は 10^{-3} mm 付近にあり、粘性土的な特性を示し、土粒子密度や含水比は一般的な沖積層の傾向に類似している。したがって両者の比較結果から図一六に示した非溶結阿蘇4火砕流の低N値の原因として軽石の存在を予想することができる。



図一九 阿蘇谷表層部分の支持力

6. 阿蘇谷湖成層の強度

阿蘇カルデラ内には数百mに及ぶ厚い軟弱層あるいは低N値層が堆積している。図一九は阿蘇谷内牧周辺のN値から推定した摩擦杭の支持力分布を示しており、良好な基礎地盤は存在しない。強いて言えば深度約60m付近にやや支持層らしきものがあるが、このようなジャンプは限られたボーリングでしか見られず、信頼性は乏しい。したがってこの低N値の地盤特性を明らかにして摩擦杭や浅層地盤を利用する必要がある。図一十は粒度特性と一軸圧縮強さの関係を示したものである。阿蘇谷堆積層の粒度分布は中間土であり、シルト分が多い地盤である。ところが一般的には大阪湾や韓国釜山の海成層のように粒径が大きくなるとシルトの粘着効果が小さく、側方を拘束しない一軸圧縮強さは小さくなる。しかし、阿蘇谷のデータはこの傾向からずれており一軸圧縮強さは大きい。

図一十一は阿蘇谷湖成層のN値と一軸圧縮強さの関係であるが、洪積粘性土の傾向に類似した関係が読み取れる。一般的には沖積粘土で $q_u = 12.5 \text{ kN/m}^2$ 、洪積粘性土で $q_u = 33 \text{ kN/m}^2$ の傾向が知られている¹³⁾。阿蘇

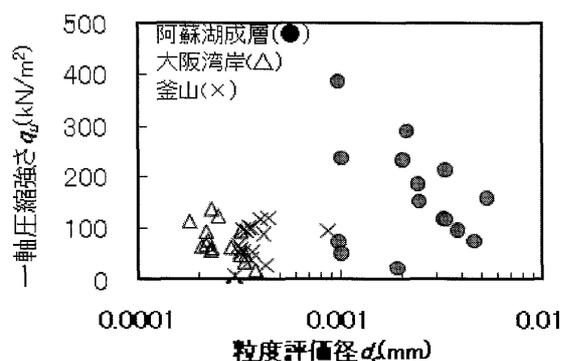
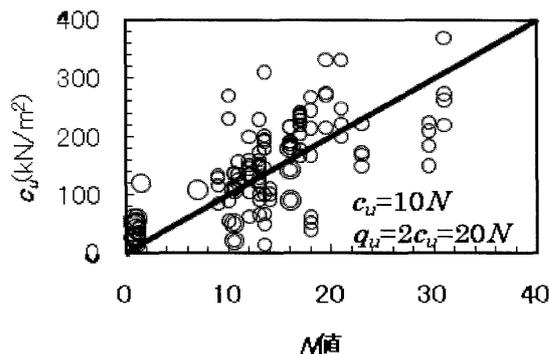


図-10 粒度特性と一軸圧縮強さ

図-11 阿蘇湖成層の N 値と粘着力

谷表層堆積土は沖積層を主体にしているが、沖積粘土の特徴に比べると大きな強度になり、洪積粘土と沖積粘土の中間的な $q_u = 20 \text{ NkN/m}^2$ の関係にある。つまり二次火山灰土的な堆積環境である阿蘇湖成層は特殊土として把握する必要がある。また透水性で言及したようにカルデラ内表層地盤もザル田であり、この意味でも阿蘇谷湖成層も特殊土として位置付け、その特殊性を積極的に活用する地盤工学を体系化する必要がある。

7. 結 論

本報文では熊本市周辺地盤で遭遇する特殊土を取り上げた。地方では N 値を基準にして信頼性が吟味されることが多いようである。しかし N 値や均質な無機質地盤とした一般的な地盤特性に対して熊本地方の地盤はやや乖離した関係が与えられることが多い。本報文ではこのような例を示した。この結果熊本地方の表層土を特殊土として位置づけることにより特殊性を積極的に活かした地盤工学の体系化を確立する必要があることを示した。

本報文で例証した熊本地方の、一般性に乖離する特殊

性は以下のように整理される。

1) 黒ぼくや赤ぼくの透水係数は無機質粒子群の粒度分布から予想することは困難で、構造的な鉛直クラックが発達していることが予想される。

2) 砥川溶岩は溶岩でありながら熊本地方の重要な帯水層になっている。帯水層としている構造はクラックであり、多数の発泡は透水性には寄与していないと考えられる。

3) 非溶結阿蘇4火砕流は含まれる軽石のため N 値を低くする傾向があり、全国的なマニュアルでは耐震基盤面にするのは困難である。しかし、PS 検層結果では耐震基盤面として評価できる S 波速度が期待される。

4) 阿蘇カルデラ内湖成層は火山灰が混入されており、中間土でありながら高い一軸圧縮強さを示す。

参 考 文 献

- 1) 鈴木敦己：黒ぼく、赤ぼく、赤はや及びよな，土質工学会九州支部，九州・沖縄における特殊土，pp. 91~118, 1982.
- 2) 福富幹男：弱溶結火砕流堆積物，土質工学会九州支部，九州・沖縄における特殊土，pp. 119~130, 1982.
- 3) 黒木康夫：灰土，土質工学会九州支部，九州・沖縄における特殊土，pp. 131~140, 1982.
- 4) 藤本 広・春山元寿・村田秀一：しらす，土質工学会九州支部，九州・沖縄における特殊土，pp. 141~166, 1982.
- 5) 熊本県・熊本市：熊本地域地下水総合調査報告書，4p., 1995.
- 6) 熊本県地質調査業協会 地盤図編纂委員会：熊本市周辺地盤図，2003.
- 7) 熊本県地質図編纂委員会：熊本県地質図（10万分の1）（県北版・県南版・説明書），熊本県地質調査業協会，pp. 7~18, 2008.
- 8) 熊本地下水研究会・熊本開発研究センター：熊本地域の地下水研究・対策史（総論編）—「熊本地域の地下水に関する総合研究」報告書一，2000研究年報 財団法人熊本開発研究センター，pp. 4~48, 2000.
- 9) 福田光治・西浦謙二・西 英典・山崎智寛・川元雄一郎・松迫暁子・北園芳人：ボワズイユ則と熊本表層地盤の透水性地盤リスク，地盤工学会第8回環境地盤シンポジウム，pp. 7~14, 2009.
- 10) James K. Mitchell: FUNDAMENTALS OF SOIL BEHAVIOR, John Wiley & Sons, Inc., pp. 234~237, 1993.
- 11) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，43p., 1997.
- 12) 福田光治・宇野尚雄：「粒度評価径」の提案とそれに基づく日本統一土質分類法の分析，土木学会論文集，No. 582/III-41, pp. 125~136, 1997.
- 13) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，267p., 2004.

(原稿受理 2010.3.31)