

千里浜なぎさドライブウェイの維持・再生技術の開発を目的とした 北部加越海岸のトラフィカビリティ調査

国立高等専門学校機構 石川工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授 大橋慶介

1. はじめに

石川県羽咋郡宝達志水町今浜から同県羽咋市千里浜町に広がる『千里浜なぎさドライブウェイ』は日本で唯一、世界でも5例ほどしかないと言われる車両走行可能な全長約8kmの砂浜海岸である。しかし、その海浜は1986年前後から侵食により浜幅が減少し¹⁾、金沢港の浚渫土砂の海中投入、離岸堤や人工リーフ設置等による大規模な養浜がなされている。現時点ではこれらの対策により侵食速度が抑えられているように見受けられるが、今後も継続的な養浜が必要である²⁾。

現状の養浜は、漂砂量を増加させるために土砂の海中投入を実施し、強い波浪による侵食および漂砂を捕捉するための離岸堤・人工リーフを建設しているように、海の作用に期待した間接的な養浜が採用されている。しかし、適当な粒度の金沢港における浚渫土砂量にも限りがあり、他の地域の土砂を用いることも検討される段階に差し掛かっているが、その際に指標となる粒度は明らかではない。加えて、ドライブウェイに求められる海浜底質特性自体が明らかでない現状がある。仮に、十分な車両走行性（トラフィカビリティ）を担保し得る底質特性が明らかになれば、現状のような土砂運搬船や海洋構造物に頼った高コストな養浜ではなくとも、土砂を千里浜に直接置き砂する低コストな養浜の可能性が開ける。

そこで本研究では、北部加越海岸におけるトラフィカビリティ分布とその背後にある因子を明らかにする目的で、各種土質試験、海浜標高、地下水位等の物理指標を調査する。

2. 研究方法

千里浜海岸から手取川河口までの約50km区間の8地点（A今浜（千里浜）、B米出、C高松、D白尾、E千鳥台、F安原、G徳光、H小舞子）を調査する。調査地点を図-1に示す。この8地点において、コーン貫入試験、土質試験サンプル採取、地下水位計測を実施する。

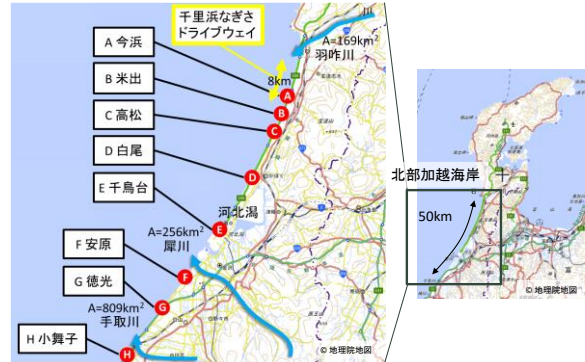


図1 研究対象地域

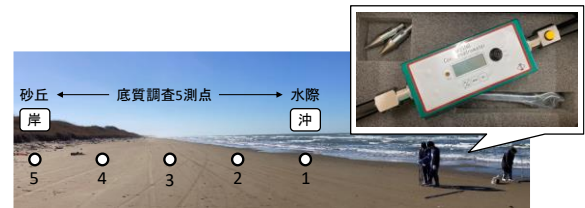


図2 コーン貫入試験によるCI値計測

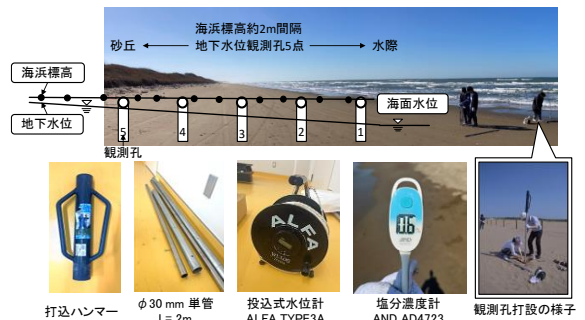


図3 地下水位・海浜地表高の計測

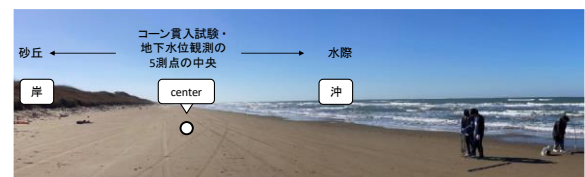


図4 室内土質試験試料採取位置

コーン貫入試験で得られるコーン指数 CI (kN/m^2) はトラフィカビリティの直接的な指標となるため本テーマの重要な計測項目である。米国陸軍の規格によると、1.5 t の前輪駆動の車両が走行可能であることを示す車両コーン指数 VCI は 500 kN/m^2 であり、海浜底質がこの値を超えることがドライブウェイ成立の目安となる。コーン貫入試験は、図-2 に示すように、調査地点の海岸を岸沖方向に等分した 5 点で実施する。

図-3 の地下水位観測はコーン貫入試験と同じ位置で実施する。打ち込みハンマーによって直径 30 mm の単管パイプを人力で打ち込み観測孔を設け、現れた地下水面の高さを投げ込み式水位計を用いて計測する。地下水の基準となる海浜標高はトータルステーションによって約 2 m 間隔で計測する。同時に、電気伝導度測定方式の塩分計を用いて地下水の塩分濃度を計測する。

土質試験サンプルの採取は、図-4 の調査地点の岸沖方向中央にて実施する。試験項目は、自然含水比、砂置換法による現場密度試験、ふるい分け試験、締固め試験である。

3. 結果と考察

粒径加積曲線を図-5 に示す。千里浜なぎさドライブウェイの最南に位置する今浜地点の粒度が最も細粒である結果が得られたが、犀川の北に位置する、地点 A から E までの粒度はきわめて類似している。他方、犀川の南に位置する地点 F, G, H の粒度は、地点 A~E と比較して明らかに粒度が大きく、その粒度も南側に行くほど大きいものになっている。

均等係数 U_s を北から A 今浜, D 白尾, H 小舞子の順で見るとその値はそれぞれ, 1.26, 1.36, 1.47 である。調査地域の北部は南部と比較して均等係数は小さく、粒度が均一である結果が得られた。

各調査地点の土質試料の締固め曲線（試験方法 C-b）を図-6 に示す。青線のものは犀川以南、赤線は以北を表している。この結果から、粒度分布と同様に犀川を境に締固め曲線の傾向が 2 つに分類できるように読み取れる。つまり、千里浜を含む、犀川以北の海浜底質（A~E）は比較して緩く軟弱な地盤であり、犀川以南の底質（F~G）は硬く締め固めることのできる地盤という結果である。このこと

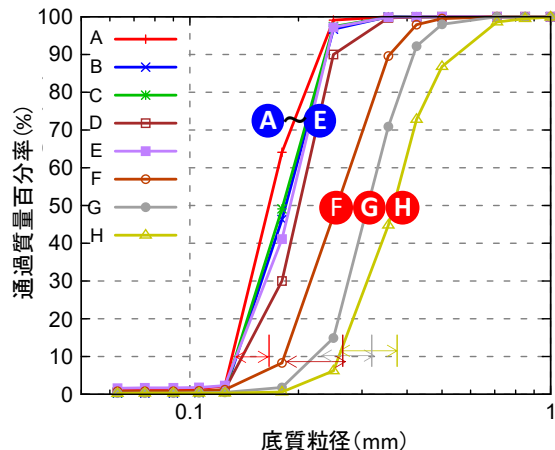


図5 底質試料の粒径加積曲線

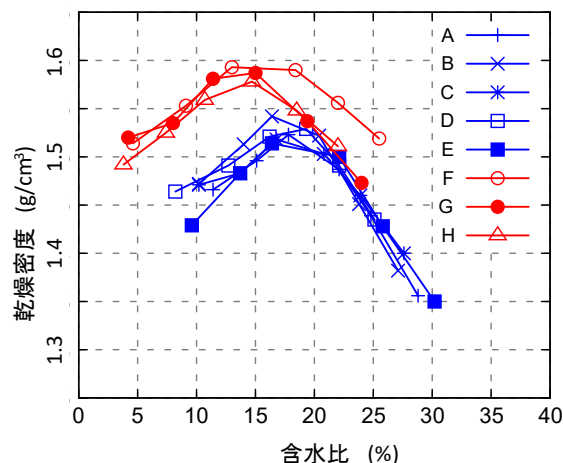


図6 室内土質試験による締固め曲線

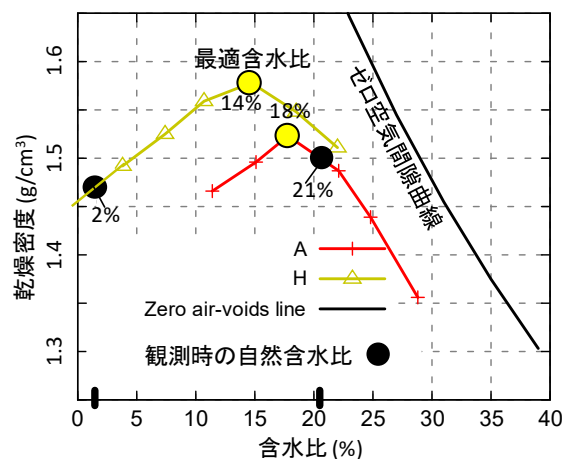


図7 今浜（千里浜）と小舞子の締固め曲線と自然含水比と観測時の自然含水比

は、他の海岸と比較して、千里浜を表現する際によく言われる、固く締まった砂浜という事実とは矛盾するような結果が得られた。

調査地点毎に締固め曲線を見ていくと、犀川以北のものはほぼ同一で、同一含水比に対する乾燥密度の差は 0.5 g/cm^3 以内に収まっている。犀川以南では、G 徳光と H 小舞子はほぼ同一であり、F 徳光が含水比 20%以上において乾燥密度の大きさが 0.5 g/cm^3 大きくなっている。この徳光海岸については、地点近傍に離岸堤が存在し、離岸堤背後のトンボロ状の位置で標本採取したため、他の海岸と一致しない傾向を示した可能性がある。

犀川以北および以南の地点における底質強度の違いについて考察するため、A 今浜と H 小舞子の締固め曲線に調査時の自然含水比をプロットしたものを図-7 に示す。前述の通り、底質特性としての最適含水比における最大乾燥密度は、試料 A および B はそれぞれ、 1.52 g/cm^3 および 1.58 g/cm^3 で小舞子が千里浜を上回っている。しかし、試料 A および B の自然含水比はそれぞれ、2%および 21%であり、そのときの乾燥密度は、およそ 1.47 g/cm^3 および 1.50 g/cm^3 となっており、その大小関係が逆転している。このことは、底質特性自体は、千里浜に代表される犀川以北底質より、犀川以南底質の方が潜在的な強度は高いが、自然状態の含水比の条件が加わった結果、犀川以北の底質の強度が以南のものを上回っているという可能性を示唆する結果となった。

その含水比に強く寄与していると考えられる各地点での地下水位分布を図-8 に示す。実線は地表高、鎖線は地下水位を示している。この結果では、粒度分布や締固め曲線のように、犀川を境にした傾向は見取れない。一般には、千里浜海岸は海浜勾配が小さいと表現されることが多いが、D 白尾や E 千鳥台（内灘町）の方がむしろ緩勾配海浜である。

地下水位の浅さに着目すると、千里浜の地点 A では地下水位は浅く、高い自然含水比の一因となっている可能性が高い。地点 E では、本調査において最も浅い位置に地下水が存在していることから、ドライブウェイとしての海浜利用はされていないものの、車両走行性のポテンシャルが高いことを示唆している。

全地点の海浜標高には、明確な地域傾向は見られず、海底地形の影響による波浪や風に

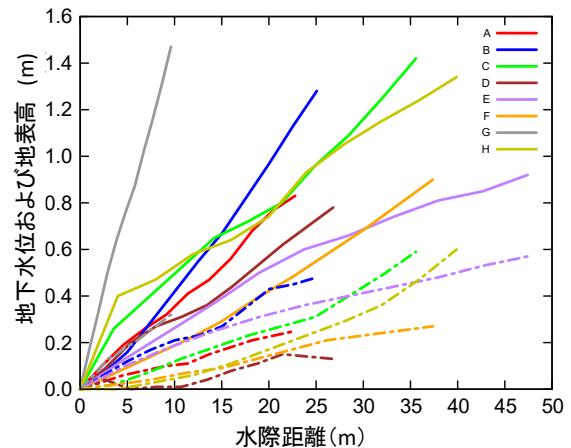


図 8 各査地点の地下水位および地表高

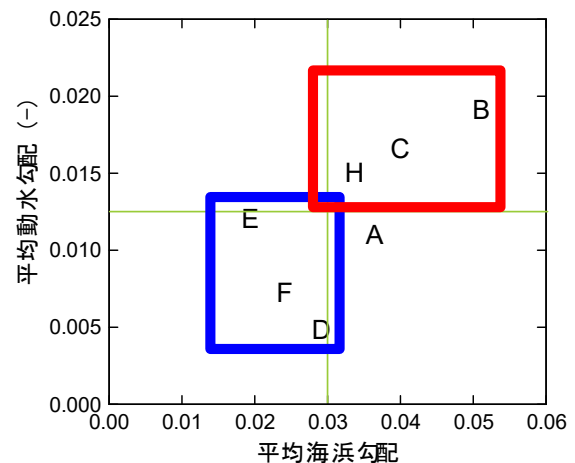


図 9 各地点の平均動水勾配と平均海浜勾配の関係

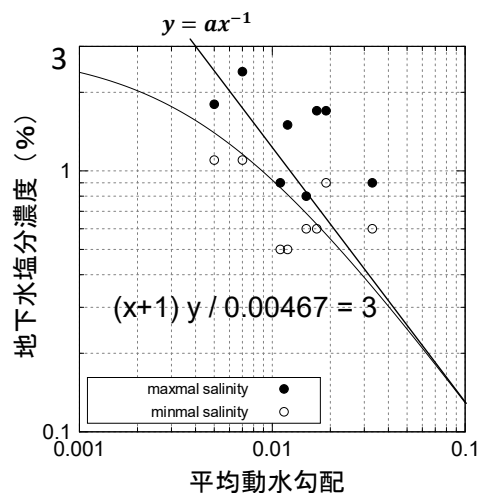


図 10 平均動水勾配と地下水塩分濃度との関係

よって複雑な海浜形状が形成されていることが考えられる。一方、地下水位を見ると、海浜背後に大きな河川流域が存在する地点では、比較的地下水位が高い傾向が見て取れる。例えば、羽咋川河口に近い千里浜の地点 A、宝達山からの中小河川が流出する地点 B～D、手取川河口付近の地点 H がそれに該当する。

その一方、海面水位に近い水位を有する河北潟に隣接する地点 D の地下水位は小さい。いくつかの例外があるため、断定はできないものの背後の流域からの地下水流量が動水勾配を決め、その地下水位と海浜標高の差が小さい地点では含水比が高くなり、乾燥密度の大きさ、トラフィカビリティの高さに寄与するメカニズムが存在するのではないかと考えられる。ただし、これを証明するには、地下水流量の大きさや底質の透水係数の調査が必要であり、今後の課題である。

仮に底質の透水係数が同一だと仮定すると、ダルシー則によると地下水流量の大きさは動水勾配の大きさに反映される。そこで、動水勾配と海浜勾配の関係を図-9 に示す。全体の傾向としては、海浜勾配と動水勾配には弱い正の相関が見て取れるが、前述の通り地域的な連続性は見出すことができない。

地下水流量の大きさを推定する材料として、地下水塩分濃度と平均動水勾配の関係を図-10 に示す。ここからは、両者には負の相関が見てとれ、地下水流量が倍になると、塩分濃度が半分になるという理に適った結果を示している。海水の塩分濃度を 3.0 % と仮定して、上述の-1 乗に比例するモデル式を最小 2 乗法で求めたとき、その関係式、

$$\frac{(x+1)y}{0.00467} = 3.0 \quad (1)$$

が得られた。図には塩分濃度の最大値と最小値が示されているが、モデル式は最小値の分布を良く示している。

最後にコーン貫入値 CI と含水比の関係を図-11 に示す。前述の通り、コーン貫入値は海浜のトラフィカビリティを直接的に表すことができる指標であるが、個人誤差と計測誤差が大きいため、物理指標の含水比で表すことができないかを検討したものである。これによると、両者は一見して無相関のようにも見えるが、仮に地点 C が何らかの影響で含水比が

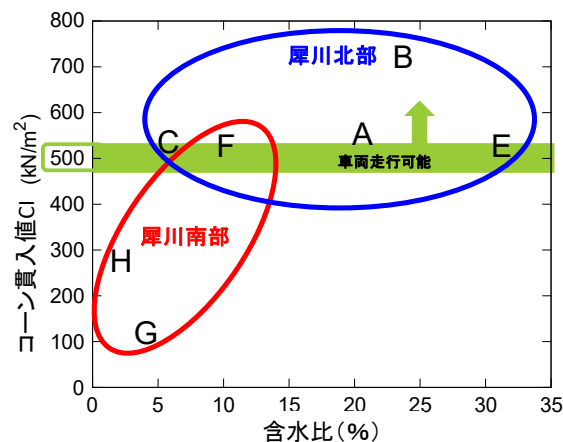


図 11 含水比とコーン貫入値 CI との関係

過小評価されていたと考えると、含水比と CI には高い正の相関が見出すことができる。これについても追加の調査が必要である。

4. 終わりに

本研究では、北部加越海岸流域の車両走行性（トラフィカビリティ）を明らかにするため、コーン貫入試験、地下水位、地下水塩分濃度、土質試験（粒度分布、含水比、現場密度、締固め曲線）を実施した。

千里浜海岸の海浜底質は、必ずしも強い地盤特性ではなく、むしろ弱い部類に属することが分かった。しかし、海浜背後の流域がもたらす地下水流量が含水比を大きくし、結果として高い乾燥密度が発現している可能性が示された。このことは、地下水塩分濃度や周辺河川の位置から定性的に裏付けられたものの、この仮説の証明には、底質透水係数や地下水流量といった情報を得るための、追加調査や流出計算が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 出村拓也，岸井徳雄，鷺見浩一：千里浜海岸の汀線変化と来襲波浪に関する研究，土木学会中部支部研究発表会，II-009，pp97-98，2011.
- 2) 石川県土木部河川課，『第 2 回千里浜海岸保全対策委員会「技術専門部」説明資料』，2006，<http://www.pref.ishikawa.jp/kasen/chirihama-i/presentationB2.pdf> (2023.02.16).