

付録1 津波越流時を想定した植生を有する地盤の耐侵食性の評価

1. はじめに

津波越流時を想定した流れに対する、植生を有する砂丘・盛土地盤の耐侵食性を評価することを目的に、現地調査及び水路実験を行った。

2. 現地調査

(1) 供試体採取地等での根量調査

全国7海岸（表-1）を対象に、海岸周辺における植生の分布状況を調査するとともに、根量密度の深度分布及び粒度分布を計45点で計測した。対象海岸は多様な環境を含むように全国から選定し、各測点は砂浜から背後の砂丘までの範囲で設定した。ただし、岩沼海岸では海岸堤防の裏法上の盛土を対象とした。

表-1 調査対象海岸の概要

名称	場所	備考
石狩浜	北海道石狩市	日本海側・亜寒帯
岩沼海岸	宮城県岩沼市・岩沼海岸	裸地、試験植栽地
羽咋一ノ宮	石川県羽咋市 寺家町	日本海側
袋井	静岡県袋井市中新田	太平洋側
芸西海岸	高知県安芸郡芸西村	太平洋側
宮崎海岸	宮崎県高鍋町堀之内地先	太平洋側
渡口の浜	沖縄県宮古島市伊良部	亜熱帯海洋性気候

根量密度は、対象海岸に設定した0.5 m四方の方形枠において深さ50 cm程度まで掘削して根を採取し、深度方向に設定した各層（厚さ3～10 cm）における根の重量を根の太さ別（5段階）に測定し、それを各層の体積で除して求めた。測点の設定に当たっては、地形や環境省自然環境保全基礎調査のデータを参考に、海岸線からの距離等に応じた植生の変化を考慮した。

図-1 に、岩沼、袋井、石狩浜での根量密度の深度分布を示す。各地点の植生概況、おもな植物種、中央粒径を表-2 に示す。岩沼1は植生がないため、根量密度を測定していない。根量密度が比較的大きい石狩浜では、根量密度は地表から一定の深さまで高く、その下では低くなる傾向が見られた。また、今回調査した45箇所のうち約半数で、根量が比較的多い層は地表から10 cmまでに存在し（図-2）、その根量密度は40箇所が0.01 g/cm³以上であり、最大で0.13 g/cm³であった（図-3）。このうち根径5 mm以下の細根に着目すると、根量密度は0.01 g/cm³前後を中心に0.06 g/cm³までの範囲に43箇所が分布していた。河川堤防の法面で採取した供試体（表面にシバまたはチガヤが分布）の根毛量を測定した宇多ら¹⁾の結果と比較すると、今回の結果は根量密度の最大値（宇多ら¹⁾は最大0.38g/cm³）が小さいものの、より深くまで根が分布している箇所があった（宇多ら¹⁾は地表面から数 cmの範囲）。

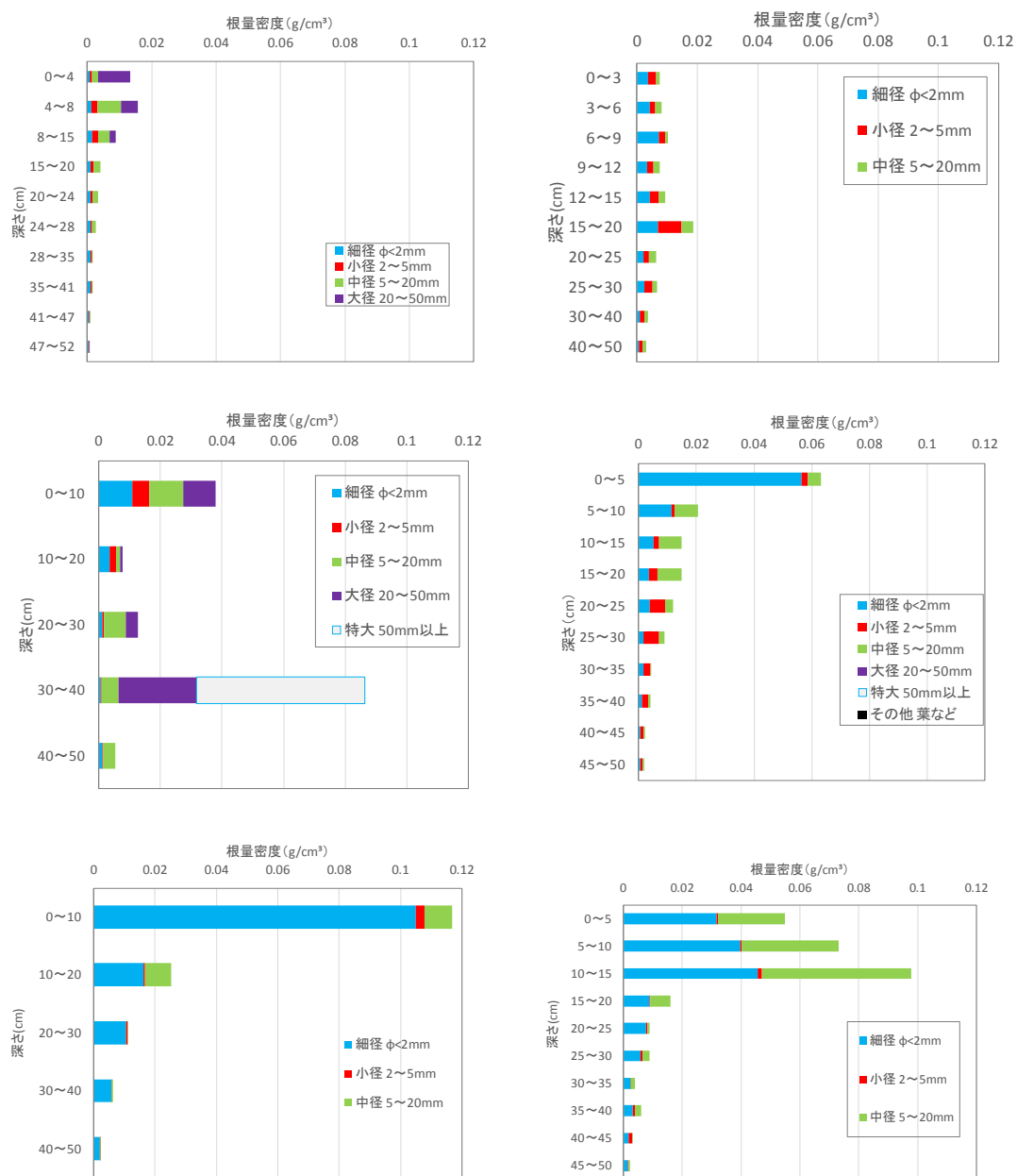


図-1 根量密度の深度分布 (左上: 岩沼 2、右上: 袋井 1、左中: 袋井 2、右中: 石狩浜 1、左下: 石狩浜 2、右下: 石狩浜 3)

表-2 各供試体の特性（植物種、中央粒径は供試体近傍の測点での調査結果）

供試体	植生概況	主な植物種	D ₅₀ (mm)
岩沼 1	人工盛土・裸地	—	1.100
岩沼 2	人工盛土・植栽	シラカシ、ヒメムカシヨモギ	1.560
袋井 1	砂浜・草地	ハマヒルガオ、ケカモノハシ	0.320
袋井 2	クロマツ植林	マンリョウ、テイカカズラ	0.299
石狩浜 1	砂丘草地	カモガヤ、ハマナス	0.302
石狩浜 2	砂丘草地	ススキ、イネ科	0.226
石狩浜 3	砂丘、二次草原	チマキザサ、コマユミ	0.272

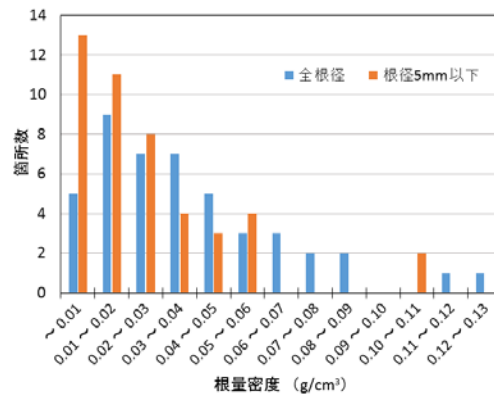
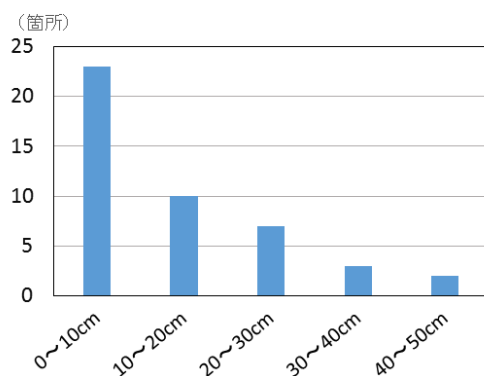


図-2 根量密度が高い層の深さ分布（全根径） 図-3 根量密度が高い層における根量密度の分布

(2) 供試体の採取

水路実験に用いるため、石狩浜（北海道石狩市）、岩沼海岸（宮城県岩沼市）、浅羽海岸（静岡県袋井市）から計 7 供試体を採取した（表-2）。地盤にチェーンソーで切り込みを入れた後に鋼製型枠（幅 1.2 m×奥行 1.5 m×深さ 0.6 m）を挿入し、型枠周囲の土砂を除去後、底面にもチェーンソーで切り込みを入れてから底板を挿入して供試体を採取することで、可能な限り供試体内部を乱さないようにした。

3. 水路実験

(1) 実験の方法・条件

実験水路は、幅 1.2 m、水路延長 8.9 m、水路勾配 1/250 の開水路である（図-4）。水路中央のピット部（窪地）に供試体を設置し、水路底面と供試体表面が同じ高さになるよう調整した。

実験は流速 1 m/s から開始し、通水中断後の測量で侵食がほぼ進まなくなったことが確認されれば流速を上げて再度通水するという操作を繰り返した。なお、侵食により供試体表面が上下流の水路床より低下した場合には、水路床の高さまで供試体全体を持ち上げて通水を再開した。また、通水の前後に供試体表面の侵食深を 10 cm 間隔の格子毎に計測し、

各通水後の平均侵食深を算出した。その際、側壁及び鋼製型枠の影響を受けて局所洗掘が進んだ供試体の左右端 10 cm および上下流端 20 cm 分の侵食深のデータは除外した。また、予め整理した水路上流の貯水槽の水位と水路内の流速の関係をを用いて、貯水槽水位から水路の断面平均流速を求めた。



図-4 高流速実験水路の諸元

(2) 各ケースの状況

各ケースにおける水深および流速、平均侵食深の時間的変化について説明する。なお、図-7～11 中の植生を含む地盤の耐侵食性を表す定数 α については次節で説明する。

a) 岩沼 1

写真-1 のように供試体の表面は裸地になっているが、流速 1 m/s の通水後の平均侵食深は 5 cm 程度であった。その後、流速を 3 m/s 程度に上げたところ、平均侵食深が 10 cm を超えた辺りから侵食が急激に進んだ (図-5)。

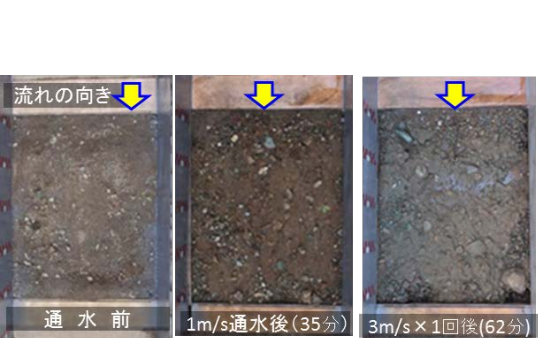


写真-1 供試体表面の変化 (岩沼 1)

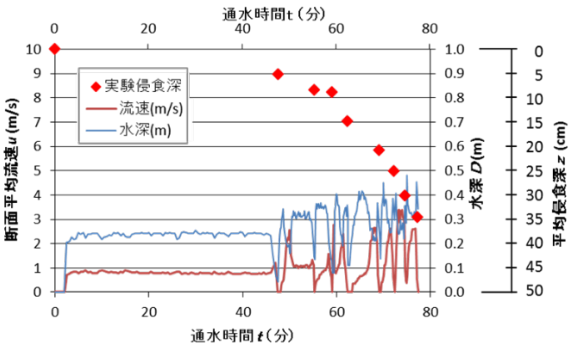


図-5 平均侵食深、流速、水深の時間変化 (岩沼 1)

b) 岩沼 2

写真-2 のように供試体の表面のほとんどが裸地であり，流速 1 m/s の通水後の平均侵食深は約 2 cm であった．その後，流速を 3 m/s 程度に上げたところ，平均侵食深が 3 cm を超えた辺りから侵食が急激に進んだ (図-6)．

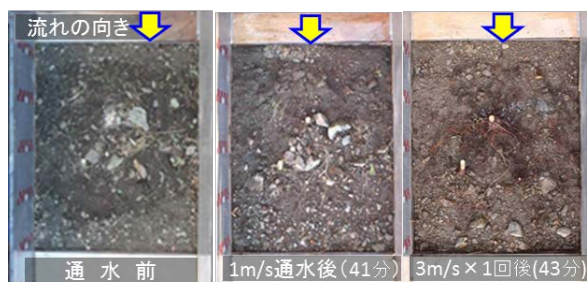


写真-2 供試体表面の変化 (岩沼 2)

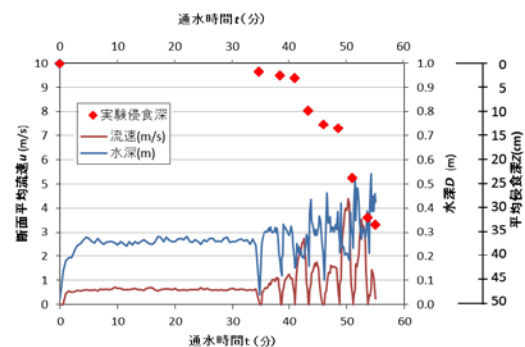


図-6 平均侵食深，流速，水深の時間変化 (岩沼 2)

c) 袋井 1

写真-3 のように，通水前の供試体の表面は草で覆われていた．流速 1 m/s での通水後には，平均侵食深は 4 cm となり，供試体表面は侵食によって露出部分が長くなった草で覆われていた．その後，流速 9 m/s の通水を行ったところ，平均侵食深が急激に増加したが，供試体表面は最後まで草で覆われていた (図-7)．

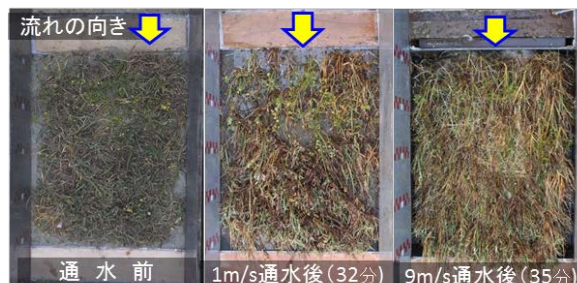


写真-3 供試体表面の変化 (袋井 1)

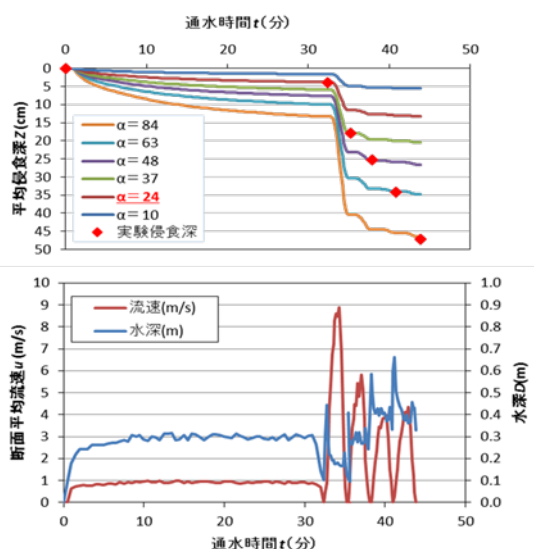


図-7 平均侵食深，流速，水深の時間変化 (袋井 1)

d) 袋井 2

写真-4 のように、供試体の表面は流速 1 m/s の通水後も草に覆われたままで、平均侵食深は 0.3 cm であった。その後、流速 7 m/s の通水を行ったところ、供試体は下流部を中心に大きく侵食された (図-8)

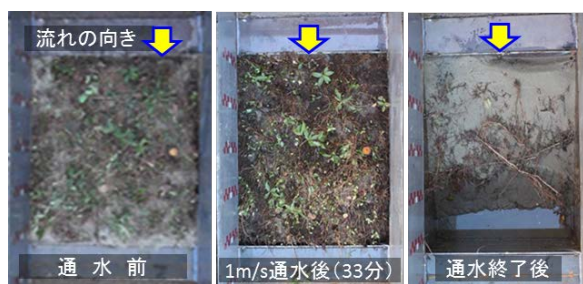


写真-4 供試体表面の変化 (袋井 2)

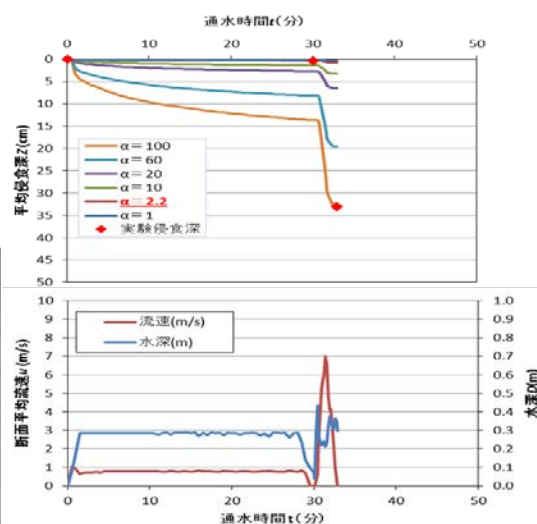


図-8 平均侵食深、流速、水深の時間変化 (袋井 2)

e) 石狩浜 1

写真-5 のように、供試体の表面は流速 1 m/s 程度の通水では草に覆われたままで、平均侵食深は 1 cm であった。その後、流速 5 m/s 程度の通水を行ったところ、供試体の左岸側半分で根が露出し、平均侵食深が大きく増大した (図-9)。

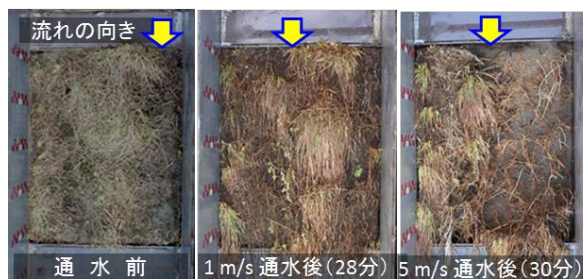


写真-5 供試体表面の変化 (石狩浜 1)

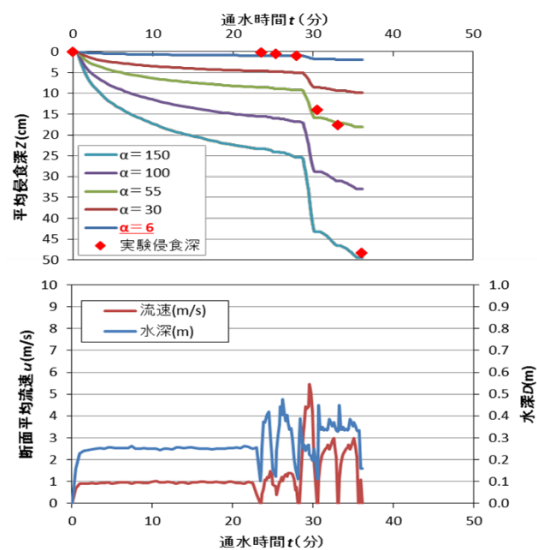


図-9 平均侵食深、流速、水深の時間変化 (石狩浜 1)

f) 石狩浜 2

写真-6 のように、草で覆われていた供試体表面は、流速 1 m/s の通水では大きく変化しなかったが、その後、流速を 7 m/s 程度まで上げたところ、一部で根が露出した。平均侵食深は、図-10 のように、流速 5 m/s 程度の通水後も 3 cm 程度に留まったが、流速 7 m/s 程度の通水により増大した。

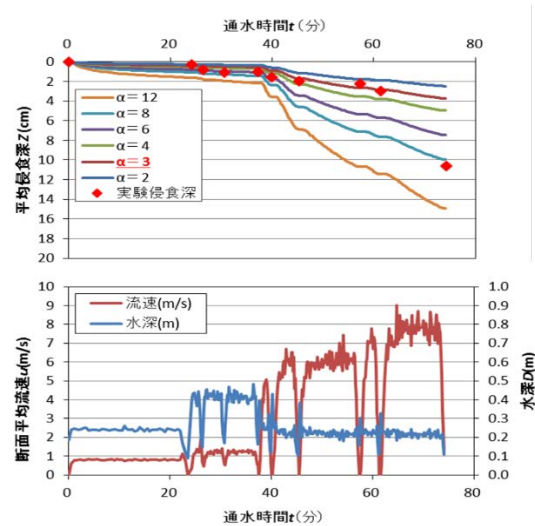
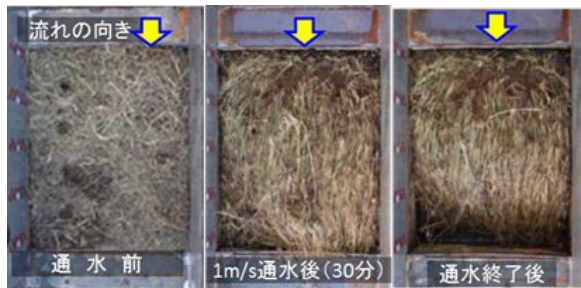


写真-6 供試体表面の変化 (石狩浜 2) 図-10 平均侵食深、流速、水深の時間変化 (石狩浜 2)

g) 石狩浜 3

写真-7 のように、草で覆われていた供試体表面は流速 1 m/s 程度の通水では大きく変化せず、その後の流速 5 m/s 程度の通水後も草や露出した根で覆われたままであった。通水後の平均侵食深は 3 cm にとどまり、侵食深が著しく増大する深さには達しなかった(図-11)。

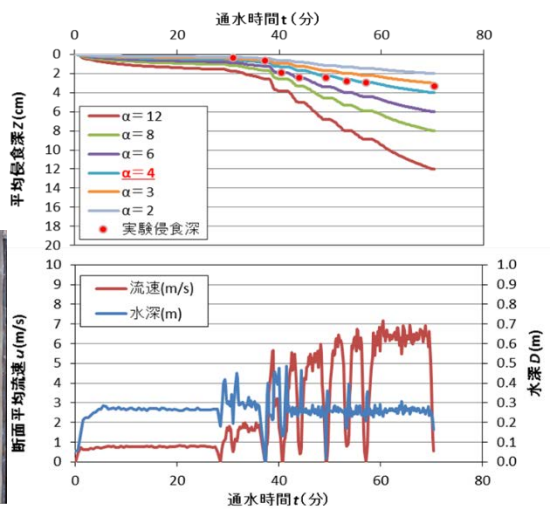
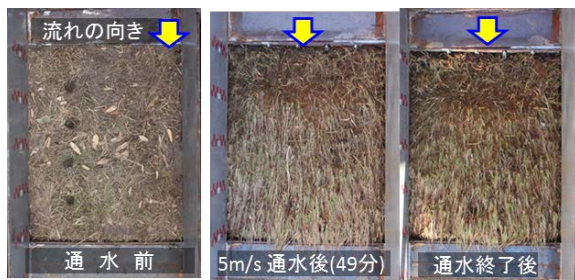


写真-7 供試体表面の変化 (石狩浜 3) 図-11 平均侵食深、流速、水深の時間変化 (石狩浜 3)

(3) 耐侵食性の評価と細根密度との関係

一定の摩擦速度を用いた原野ら²⁾とは異なり，摩擦速度の時間的变化を考慮できる宇多ら¹⁾の式(1)を用いて，地盤の耐侵食性の指標である α を同定した．その際，(2)で得られたデータのうち，根量密度が著しく小さい岩沼1及び岩沼2は除外した上で，現地調査で取得した供試体近傍の根量密度の深度分布と対比しながら侵食深が急激に増大する点を抽出して α を求めた．求めた α は図-7～11の凡例において赤字で表記した．

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\alpha u_*}{\ln(10)} \exp\left(-\frac{\ln(10)}{\alpha u_*} z\right) \quad (1)$$

ここで， z ：洗掘深 (cm)， t ：時間 (分)， u_* ：摩擦速度 (m/s)， α ：耐侵食性を表す指標（小さいほど耐侵食性が高い）である．摩擦速度は，原野ら²⁾と同様に，等流近似のもとで断面平均流速，水深，粗度係数 ($n=0.03$) を用いて算出した．

図-12は，侵食深が急激に増大する深さより浅い表層を対象に算出した径 5 mm 以下の細根密度と α との関係を，原野ら¹⁾のデータとともに示したものである．図中には，原野ら²⁾と同様に一定の摩擦速度を用いて本実験の α を求めた結果と，河川堤防法面に繁茂する植生を対象に宇多ら¹⁾が示した α の上限値を表す点線 ($\alpha = -50\sigma + 9$) も示している．本実験の α は，宇多ら¹⁾の上限値に対し，細根密度 0.01 g/cm³未満では大きく，細根密度 0.01 g/cm³以上では小さい．宇多ら¹⁾が上限値を求めるに用いた実験の供試体は細根密度(平均根毛量) 0.02～0.08 g/cm³のものが多くことから，本実験の細根密度 0.01 g/cm³以上の α は宇多ら²⁾と整合している．ただし，本実験のデータが少ないこと，現地での根量密度の測定層厚は宇多ら¹⁾と比べ厚いため表層の細根密度はより大きい可能性があることから，防災上の目的から侵食計算を行う場合には，細根密度 0.01 g/cm³以上における α は宇多ら²⁾の上限値を用いた方がよい．また，本実験のデータから原野ら²⁾の方法で求めた α の方が本実験の方法より小さい傾向が認められた．細根密度 0.01 g/cm³未満に分布する原野ら²⁾の α は耐侵食性を過大に評価している可能性があることに留意する必要がある．

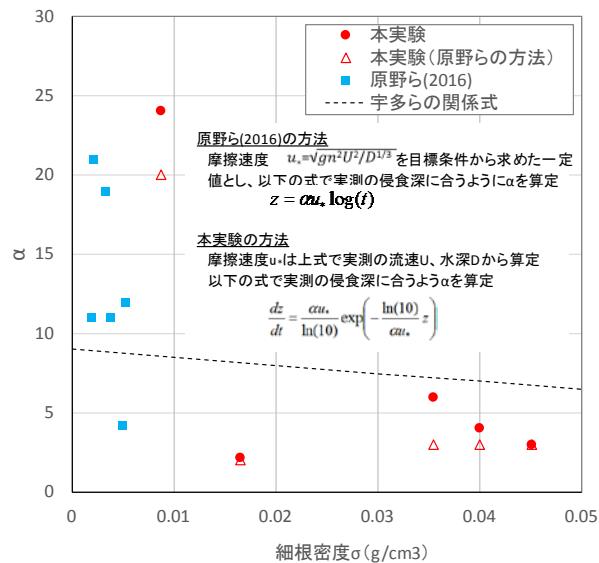


図-12 細根密度と α との関係

4. おわりに

得られた主な結論は以下の通りである。

- ・全国7海岸において根量密度の深度分布を測定した結果、根量密度が比較的高い層が地表から10 cmまでの範囲にある箇所が多いことがわかった。
- ・砂丘等における植生を有する現地地盤を対象に、津波越流時を模した高流速による侵食状況を水路実験により把握した。その結果、根量が比較的小さい深さまで侵食が進むと、侵食が急激に進むという、シバ等を有する河川堤防法面で確認されている侵食過程が砂丘等の現地地盤でも確認された。
- ・摩擦速度の時間的变化を考慮できる宇多ら¹⁾の侵食算定式で地盤の耐侵食性を表すパラメータ α を実験結果から同定し、 α と根量密度との関係を整理した。これにより、根量密度から植生を有する地盤の耐侵食性を評価できる。

参考文献

- 1) 宇多高明, 望月達也, 藤田光一, 平林桂, 佐々木克也, 服部敦, 藤井政人, 深谷渉, 平舘治: 洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動, 土木研究所資料, 第3489号, pp.97-214, 1997.
- 2) 原野崇, 浜口耕平, 渡邊 国広, 諏訪義雄, 伊藤幸義, 細谷治夫: 現地の樹木等を含む地盤供試体を用いた水理実験, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 72, No. 2, pp. I_1687-I_1692, 2016.