

津波による盛土侵食機構に関する研究

海岸・沿岸環境研究室
 37116038 長坂陽介
 主査 佐藤慎司教授
 副査 東畑郁生教授

▶ 海岸付近での津波による大きな洗掘・侵食



民家周辺の洗掘(2004、インドネシア)



盛土の侵食(2011,岩手県鶴住居)

▶ 盛土の防災上の意義
 鉄道・道路などの盛土構造物は日常生活に欠かせないインフラ
 二線堤などの津波防災計画にも位置づけられている

津波による盛土侵食機構の解明と適切な被害予測が必要

既往の研究

▶ 盛土の被害調査報告
 研究例はわずか: Shuto(2001)など

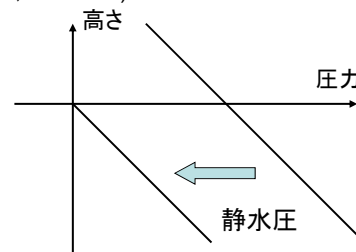
盛土被害の詳細な記録がない

▶ 侵食メカニズム
 1. **せん断力型**: 一般的な侵食予測モデル (Hanson, 1989など)

$$\text{侵食速度} \propto \frac{\text{流れによるせん断力}}{\text{摩擦による抵抗力}}$$

2. 津波引き波時の**急激な水位低下**の影響(Katoら, 2000など)
 水位低下時の間隙水圧の挙動

水位低下が遅い ⇒ 静水圧のまま



既往の研究

▶ 盛土の被害調査報告
 研究例はわずか: Shuto(2001)など

盛土被害の詳細な記録がない

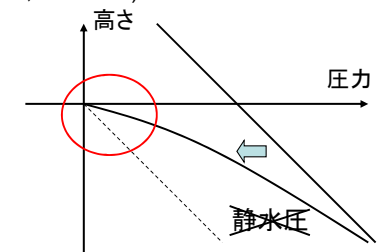
▶ 侵食メカニズム
 1. **せん断力型**: 一般的な侵食予測モデル (Hanson, 1989など)

$$\text{侵食速度} \propto \frac{\text{流れによるせん断力}}{\text{摩擦による抵抗力}}$$

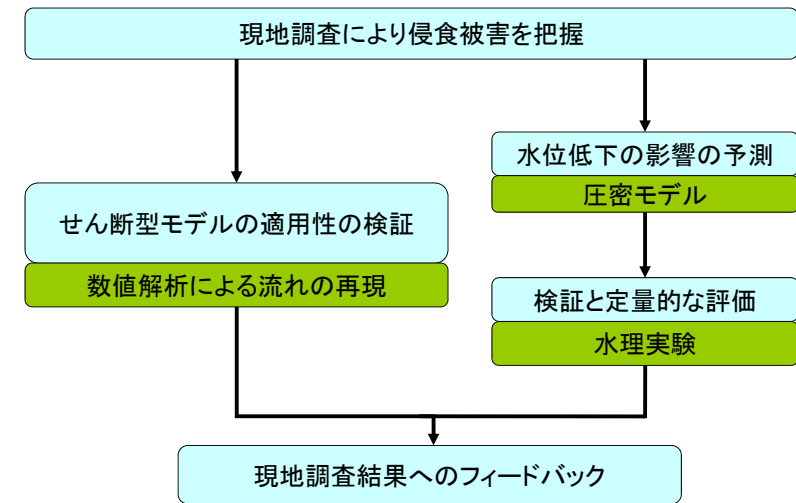
2. 津波引き波時の**急激な水位低下**の影響(Katoら, 2000など)
 水位低下時の間隙水圧の挙動

水位低下が**急激で大きい**
 ⇒ 地盤内部の水圧伝達が地表面の水圧低下より遅くなる
 ⇒ **付加的な浮力により侵食を促進**
 効果は水位低下が**大きく急激なほど大きい**

具体的に侵食への影響を示した例はない



1. 現地調査により津波による盛土の侵食被害を詳細に把握する
2. 盛土の侵食機構について、せん断力と水位の急低下による効果とその寄与を明らかにする



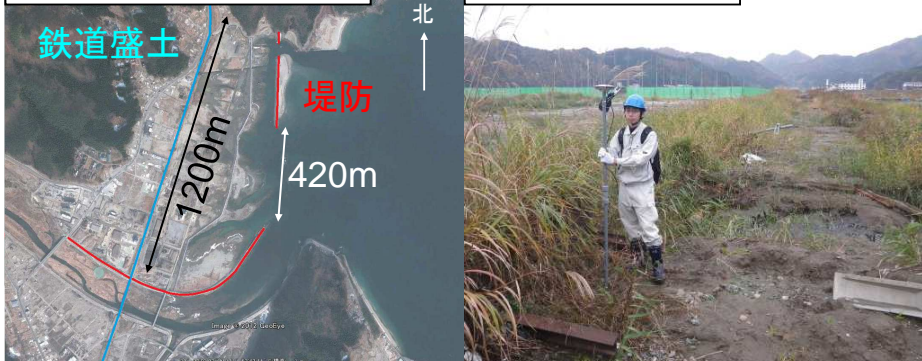
盛土侵食調査の概要



- 2011年6,11月 岩手県釜石市鵜住居の鉄道盛土
- 盛土は堤防から約400mの距離
- RTK-GPSによる測量
- ⇒ 誤差数cmの高精度な測量が可能
- 範囲: 長さ1200m、合計314点測量

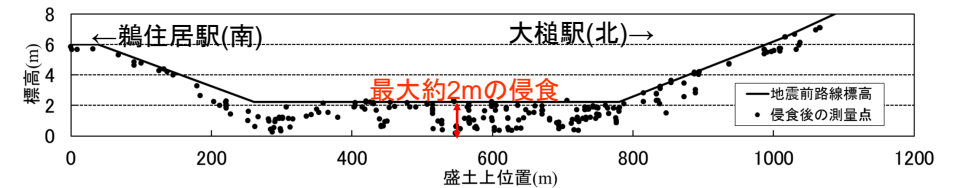
鵜住居航空写真(GoogleEarthより)

調査の様子(2011年11月)



調査結果1: 侵食深の分布

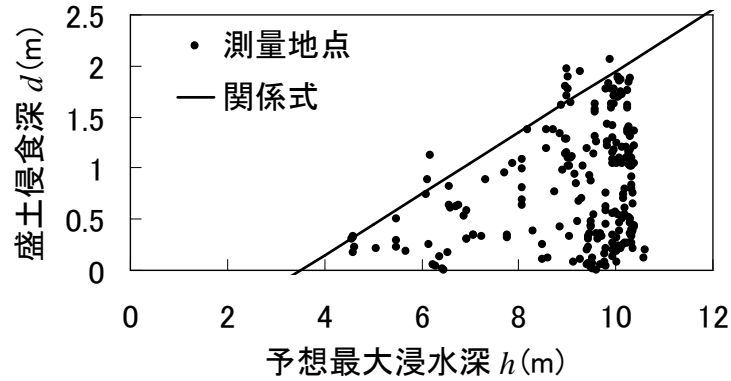
▶ 測量地点結果まとめ



浸水深hと最大侵食深dの関係

$$d = 0.3 \times (h - 3.5)$$

侵食が始まる限界浸水深3.5m
その後は比例関係



最大侵食深は浸水深によりほぼ決定される

流れによる侵食の指標

流れによるせん断力
摩擦による抵抗力

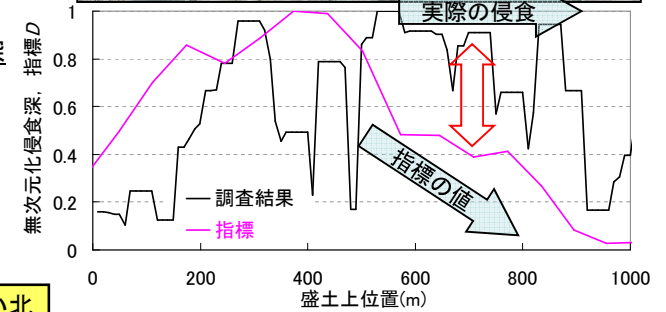
$$\Rightarrow \frac{1/2 \cdot \rho C_d u^2 (\pi d^2 / 4)}{(\rho_s - \rho) g (\pi d^3 / 6)}$$

せん断力による侵食深
の指標

$$\int \frac{u^2(x,t)}{gd} dt$$

u:流速、g:重力加速度
d:粒径

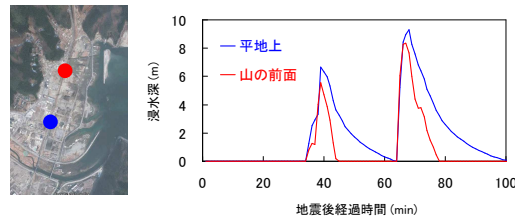
流れによる力が小さい北
側で侵食を過小評価



水位低下の影響で侵食が増大したのでは？

検討2:水位低下の影響の予測

場所による浸水深の時間変化の違い



平地上: 緩い水位低下

山の前面: 急な水位低下

水位低下速度による影
響の違いは？

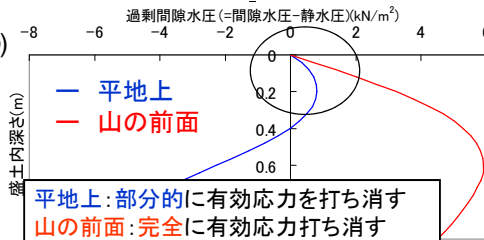
圧密方程式による予測

地表面水圧変動(p_b)
飽和度(α) \Rightarrow 間隙水圧(p)

$$\alpha \frac{\partial p(t,z)}{\partial t} - \frac{\partial p_b(t)}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 p(t,z)}{\partial z^2}$$

p : 間隙水圧、 α : 排水係数
 c_v : 圧密係数、 p_b : 地表面水圧

計算結果例($\alpha=2.0$, $c_v=10\text{cm}^2/\text{s}$, $t=78\text{min}$)

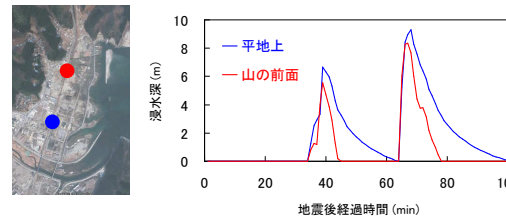


平地上: 部分的に有効応力を打ち消す
山の前面: 完全に有効応力打ち消す

流速が小さい領域でより侵食を増大させた可能性がある

検討2:水位低下の影響の予測

場所による浸水深の時間変化の違い



平地上: 緩い水位低下

山の前面: 急な水位低下

水位低下速度による影
響の違いは？

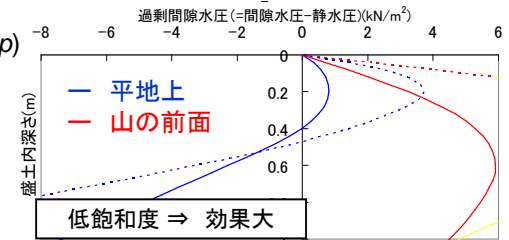
圧密方程式による予測

地表面水圧変動(p_b)
飽和度(α) \Rightarrow 間隙水圧(p)

$$\alpha \frac{\partial p(t,z)}{\partial t} - \frac{\partial p_b(t)}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 p(t,z)}{\partial z^2}$$

p : 間隙水圧、 α : 排水係数
 c_v : 圧密係数、 p_b : 地表面水圧

計算結果例($\alpha=5.0$, $c_v=10\text{cm}^2/\text{s}$, $t=78\text{min}$)



低飽和度 \Rightarrow 効果大

飽和度が低い盛土では水位低下の影響は大きくなる

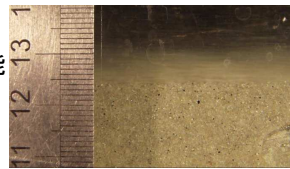
目的

地表面水圧の急低下がどのようにに侵食へ影響するか調べる

実験装置

振動流装置

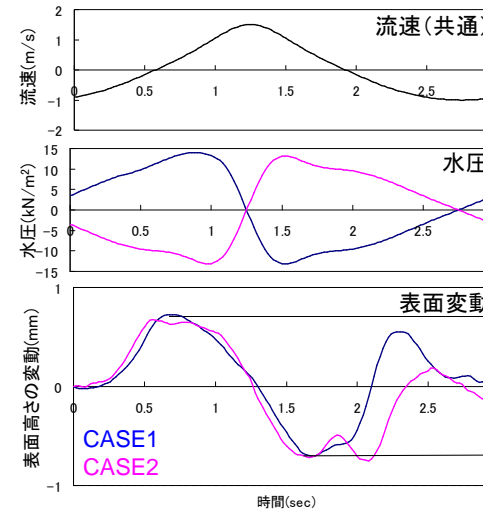
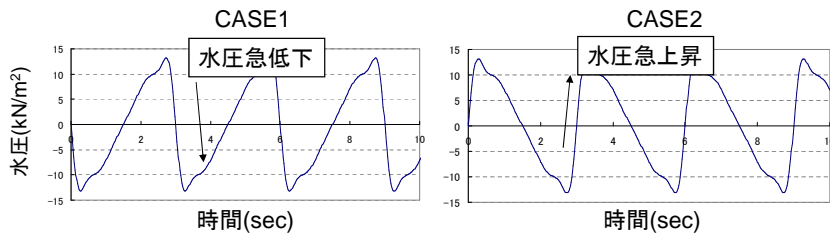
- ・他の装置より大きな水圧変動を伴う漂砂を観測可能
- ・流速と水圧変動を容易にコントロールできる



条件設定

急激な水圧変動を伴う波形 → クノイド波

周期: 3s、最大流速: 1.5m/s、圧力変動の正負を変えた2ケースを設定



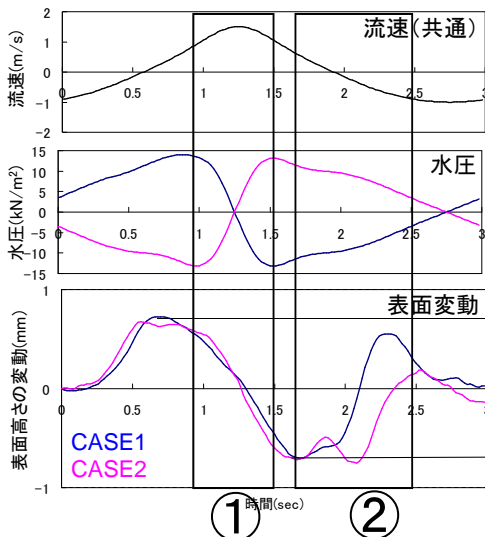
流速・水圧・地盤表面変動の関係

- ① 水圧急低下・急上昇 → 違いはなし
- ② 地表面が最も下がった後 → 水圧低下により不安定化

↓
飽和度の違い

- ① 浮遊層 { 飽和状態
水圧低下の効果なし
- ② 不動層 { 不飽和のまま
水圧低下により地盤不安定化

表面変動は飽和地盤では流速に支配されるが水圧低下の効果は不飽和地盤のとき顕著



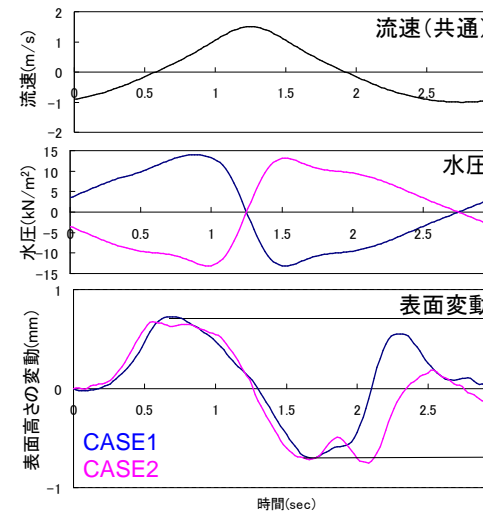
流速・水圧・地盤表面変動の関係

- ① 水圧急低下・急上昇 → 違いはなし
- ② 地表面が最も下がった後 → 水位低下により不安定化

↓
飽和度の違い

- ① 浮遊層 { 飽和状態
水圧低下の効果なし
- ② 不動層 { 不飽和のまま
水圧低下により地盤不安定化

表面変動は飽和地盤では流速に支配されるが水圧低下の効果は不飽和地盤のとき顕著



流速・水圧・地盤表面変動の関係

- ① 水圧急低下・急上昇 → 違いはなし
- ② 地表面が最も下がった後 → 水圧低下により不安定化

↓
飽和度の違い

- ① 浮遊層 { 飽和状態
水圧低下の効果なし
- ② 不動層 { 不飽和のまま
水圧低下により地盤不安定化

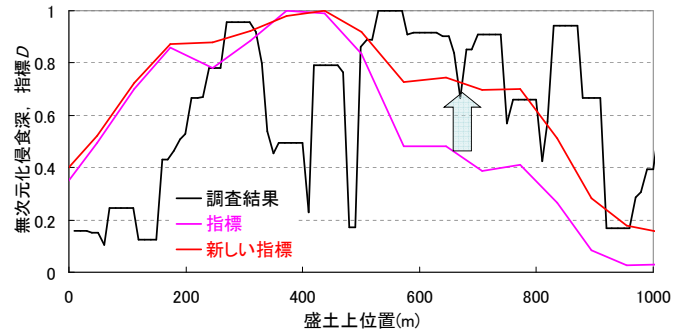
表面変動は飽和地盤では流速に支配されるが水圧低下の効果は不飽和地盤のとき顕著

▶ 急激な水位低下の効果を含めた侵食の指標

⇒ 水位低下により地盤が不安定になるときに地盤の抵抗力を下げるように設定する
その効果が無限大にならないように限度を設定

▶ 結果

- ・水位低下を考慮すると山が迫った部分での侵食が増えて調査結果の傾向に近づく
- ・津波では流速だけでなく浸水深も侵食に影響を与えるパラメータとなりうる



▶ 主要な結論

- ① 盛土侵食調査
侵食深はばらつきが大きく局所的な影響も強いが、最大侵食深は浸水深によりほぼ決定される
- ② 流れによる侵食
せん断型モデルでは、流れの弱い部分では傾向が一致しない部分がある
- ③ 水位低下の効果
せん断型モデルと組み合わせることで現地の傾向に近づいた

▶ 今後の課題

- ・具体的な侵食予測モデルとするにはデータ不足
⇒ 計測と実験で飽和度や透水係数などの条件による違いなど
- ・鵜住居以外での侵食被害も合わせた分析