

液状化に起因する長距離地盤流動により 被災したインフラ施設の復旧と対策



東京大学生産技術研究所 清田 隆

愛媛大学： 岡村未対・小野耕平

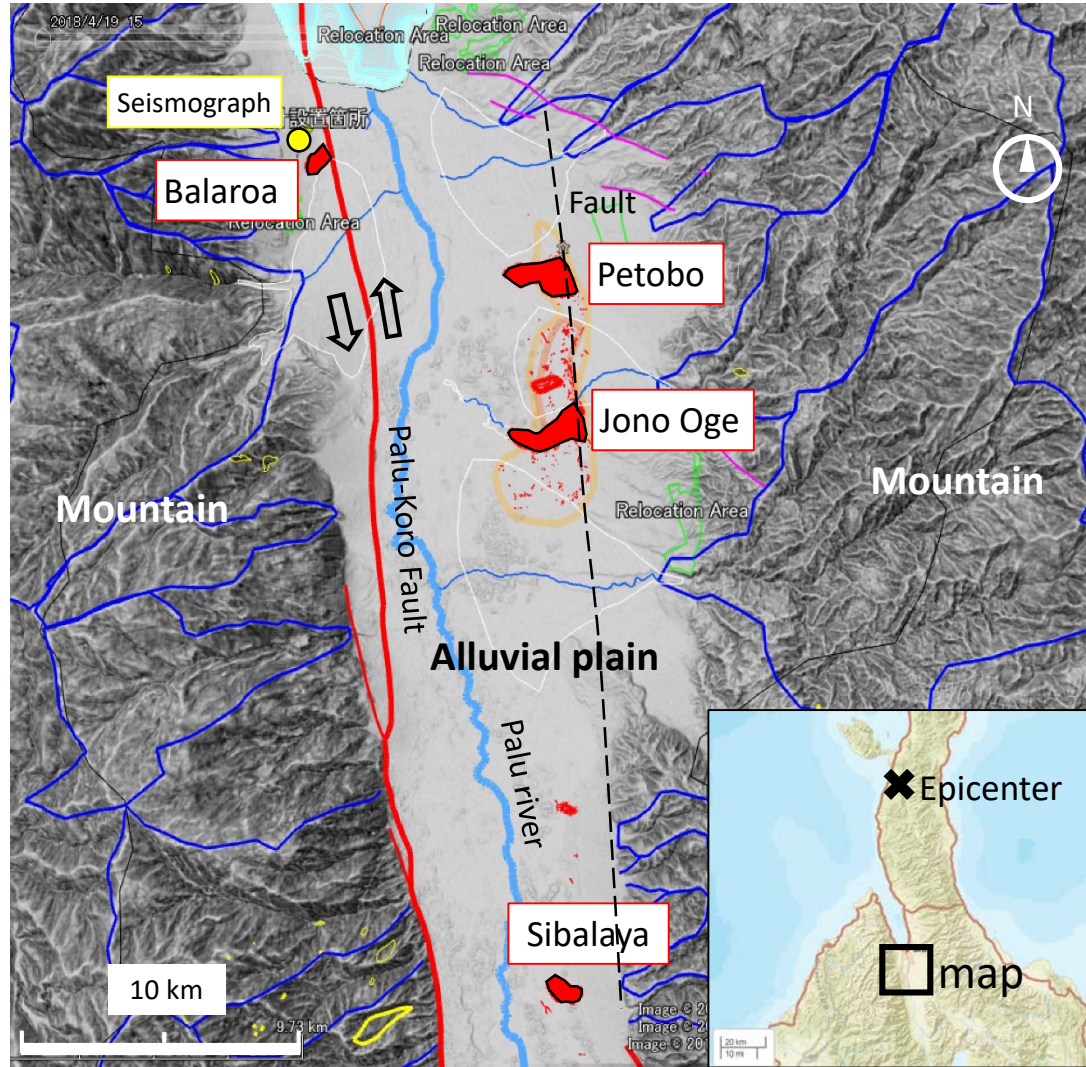
九州大学： ハザリカ ヘマンタ

八千代エンジニアリング： 古市久士



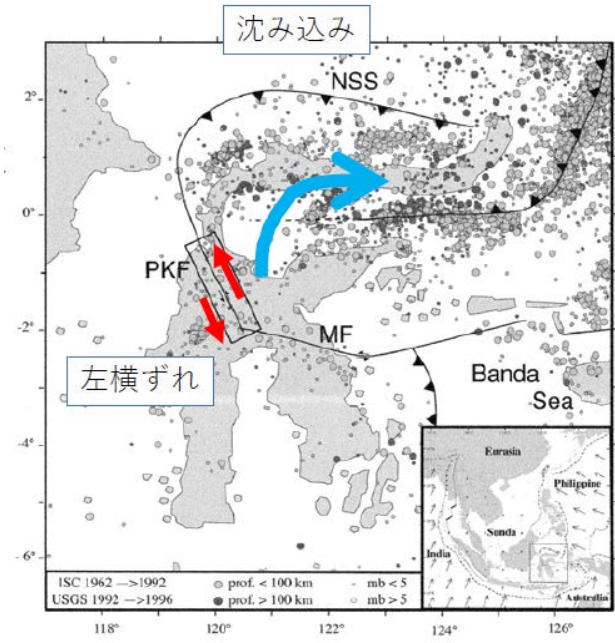
長距離地盤流動の概要

- ◆ Mw 7.5 (Depth 10km)、左横ずれ断層
- ◆ 地すべりは東西の山脈に挟まれた幅約10kmの沖積低地(扇状地)で発生

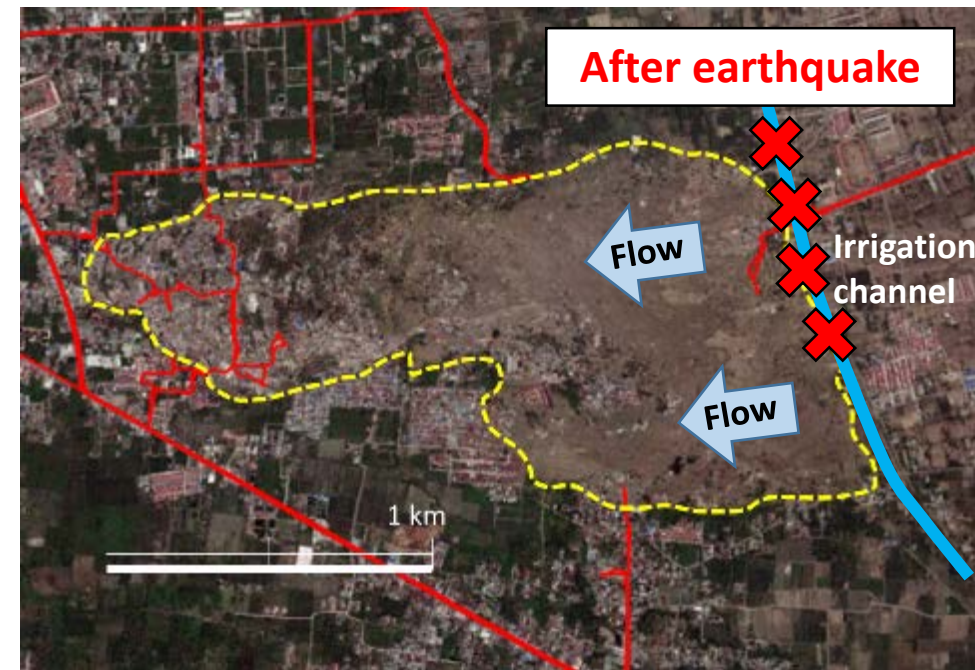


| | | |
|----------|---------------------|---------------|
| Balaroa | 0.39km ² | (930 houses) |
| Petobo | 1.63km ² | (1255 houses) |
| Jono Oge | 1.75km ² | (238 houses) |
| Sibalaya | 0.5km ² | (unknown) |

- ◆ 僅か1~4%程度の地表面勾配にも関わらず数百m以上の地盤流動



研究の背景・目的



地震前の斜面勾配: 2~3% (1~2 deg), 流動斜面上部に灌漑用水路があり、大きな被害を受けた。



研究の目的

長距離地盤流動の要因として、被圧地下水の存在が考えられるが、具体的な発生機構は未解明

○発生メカニズムの解明

「灌漑用水路の影響」

○対策の方針



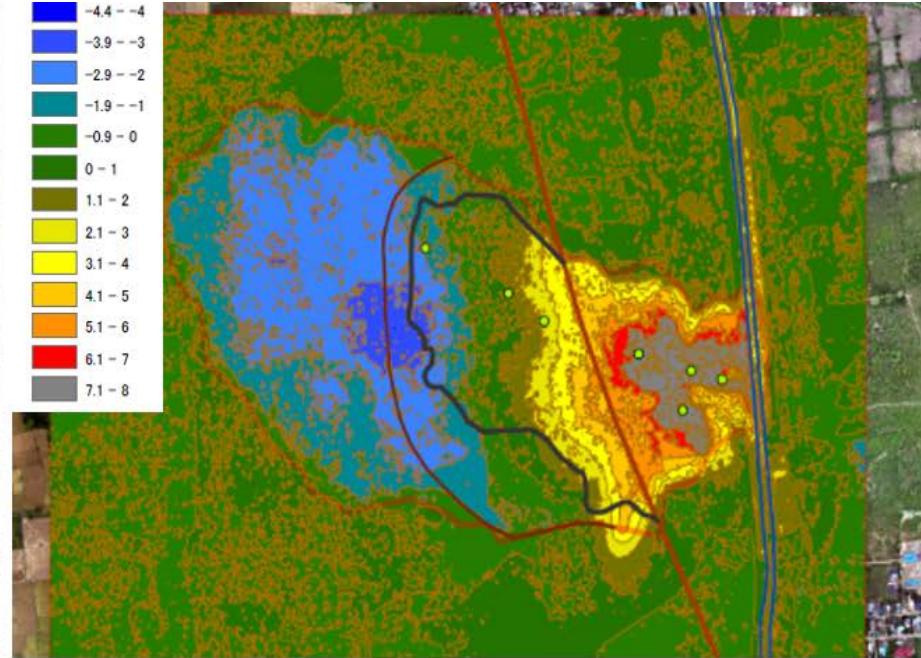
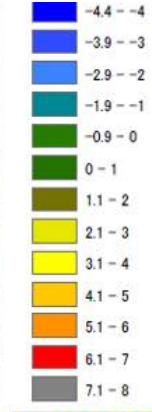
UAV測量を用いた流動前後の地形変化

◆ 灌漑用水路は流動開始後に決壊⇒ 決壊した水が地すべりを引き起こしたのではない

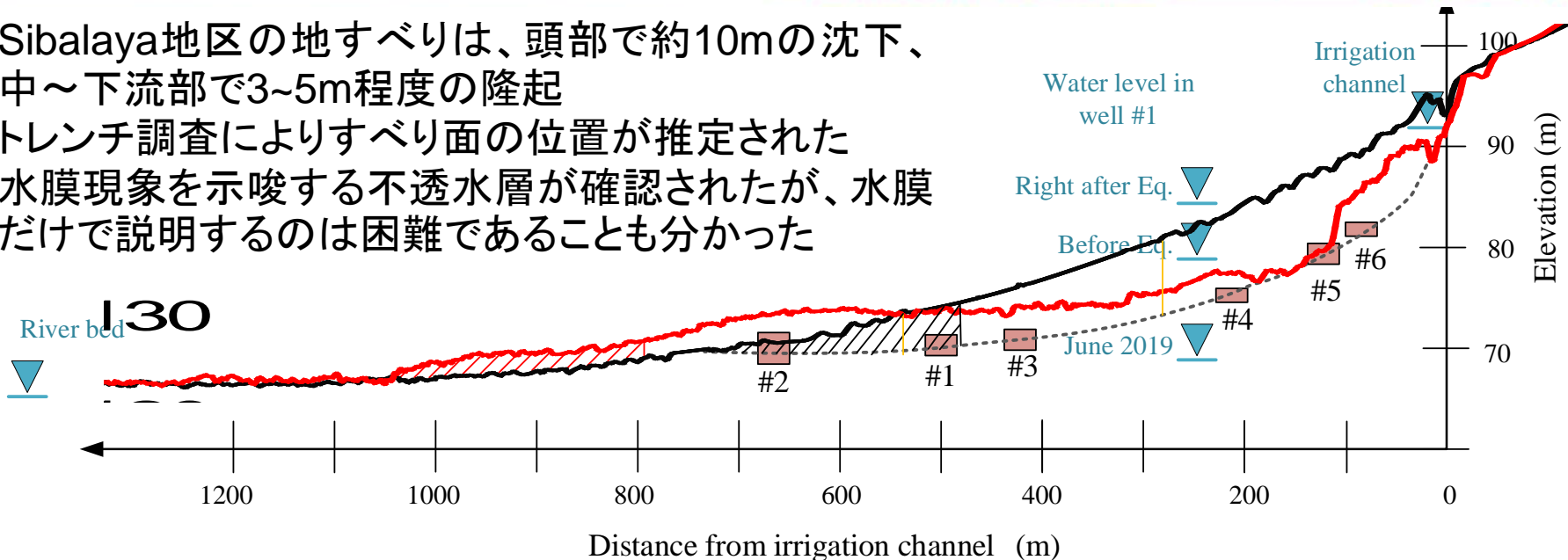
Irrigation channel

Major flow paths

Main road



- ◆ Sibalaya地区の地すべりは、頭部で約10mの沈下、中～下流部で3~5m程度の隆起
- ◆ トレンチ調査によりすべり面の位置が推定された
- ◆ 水膜現象を示唆する不透水層が確認されたが、水膜だけで説明するのは困難であることも分かった

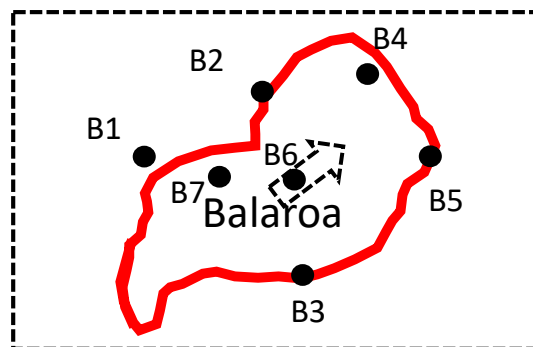


現地ヒアリング調査

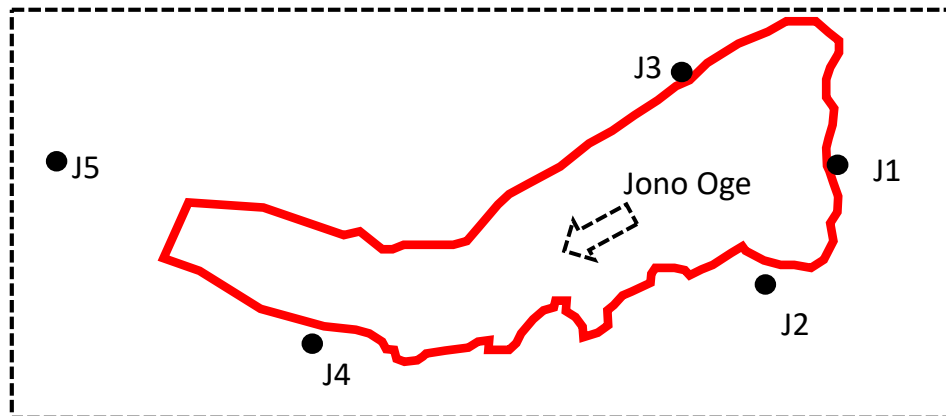
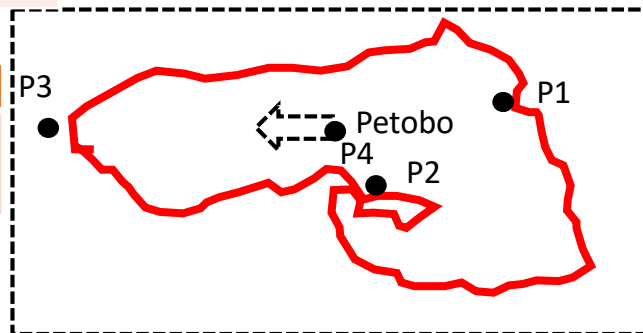
◆ 灌漑水路の建設は1980年代。建設後から下流域では地下水位が上昇した。

地震後の地盤挙動
(流動域内にいた人の答え)

| Loc. | Outline of interview result |
|------|--|
| B6 | Ground lifted up to 4-5 m before horizontal movement. Ground rotated in counter-clockwise while flown. |
| B7 | House was lifted up to 20m and rotated before collapsed. |



| Loc. | Outline of interview result |
|------|---|
| P4 | Ground lifted up 1-2 min after earthquake, and the ground roared. |



Result Summary in Balaroa

| Location | Outline of interview result on groundwater / surface water |
|----------|--|
| B1 | Ground began to move around 15 seconds after the earthquake occurred. Water did not blow out. |
| B2 | First, mud blew out from road when the earthquake happened. Next, water from sewage pipe blew out and flowed (10-20 seconds later), and then ground started to move (30 seconds later) |
| B3 | Ground movement and water blowout took place at the same time around 20 seconds after the earthquake. |
| B4 | Ground movement and water blowout took place at the same time around 2 minutes after the earthquake. |
| B5 | Water did not blow out, but flowed at the same with the ground movement 20 seconds after the earthquake occurred. |

Result Summary in Petobo

| Location | Outline of interview result on groundwater / surface water |
|----------|---|
| P1 | |
| P2 | Ground movement happened first (15 – 30 seconds after the earthquake) and then water blew out (1 minute after) and flowed for 30 minutes. |
| P3 | Ground movement happened first (15 – 30 seconds after the earthquake) and water blow-out followed shortly afterwards. |

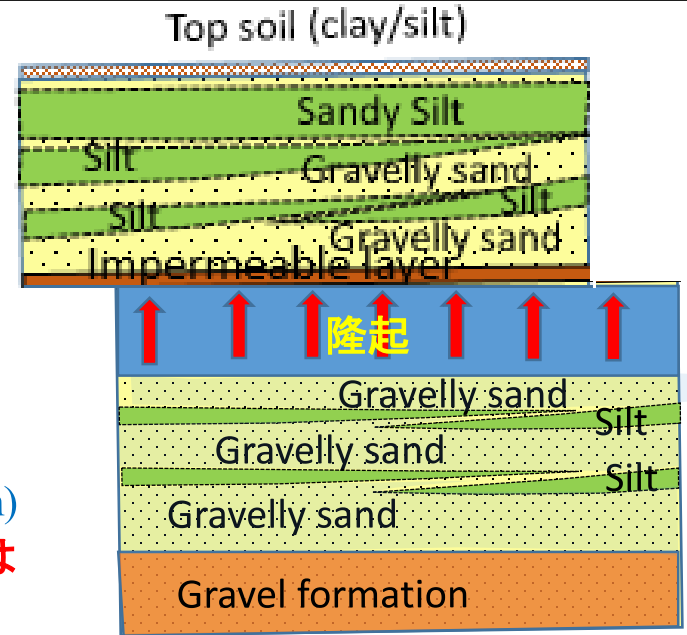
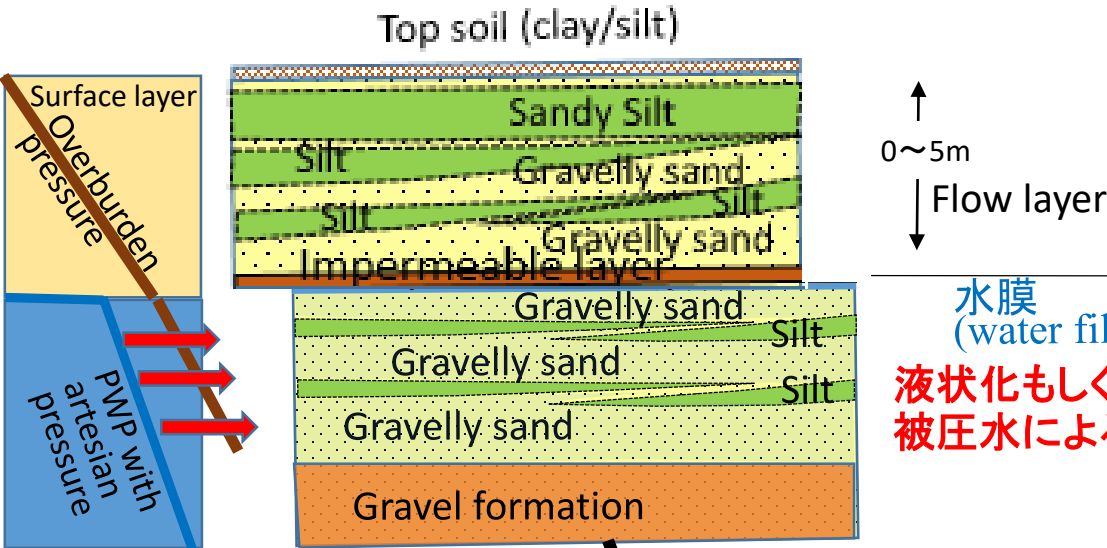
Result Summary in Jono Oge

| Location | Outline of interview result on groundwater / surface water |
|----------|---|
| J1 | Ground started to move and water& mud blew out immediately after the earthquake (10 seconds later). Water started to flow from the breakage of irrigation channel 2 minutes after that. |
| J2 | Ground started to move and water blew out immediately after the earthquake (10 seconds later). The water blow-out is due to broken drainage and water kept flowing for 2 days. |
| J3 | Ground movement and water blowout/flow happened at the same time, both starting around 1 minutes from the earthquake occurrence. |
| J4 | Water blowout took place during the movement of ground (1 minute after the occurrence of earthquake) |

長距離地盤流動の想定メカニズム

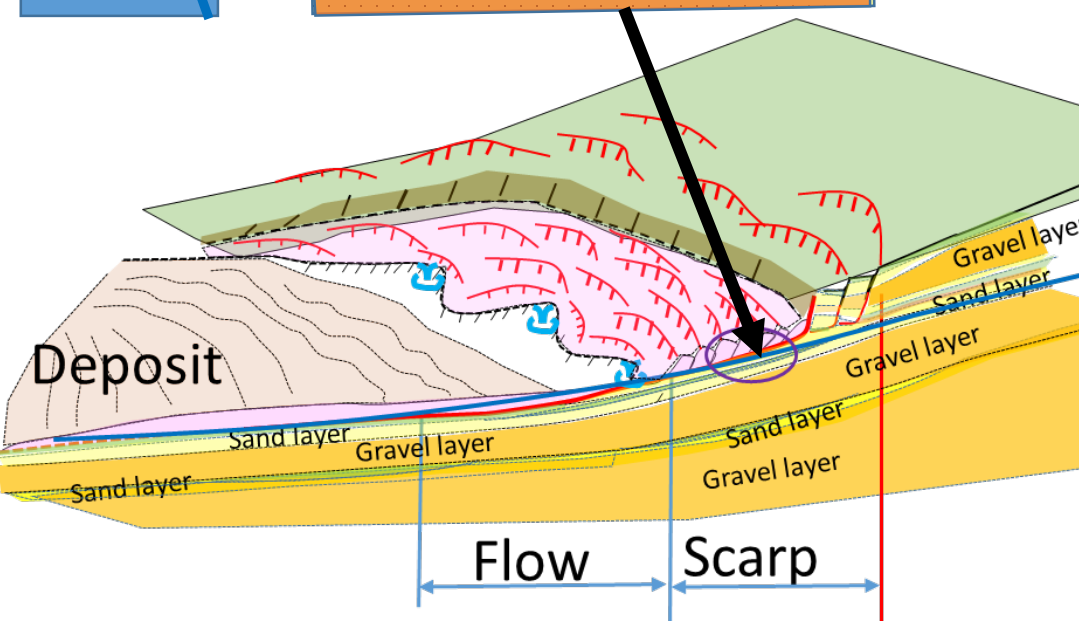
Mechanism 1: 表層の液状化と流動

Mechanism 2 水膜現象

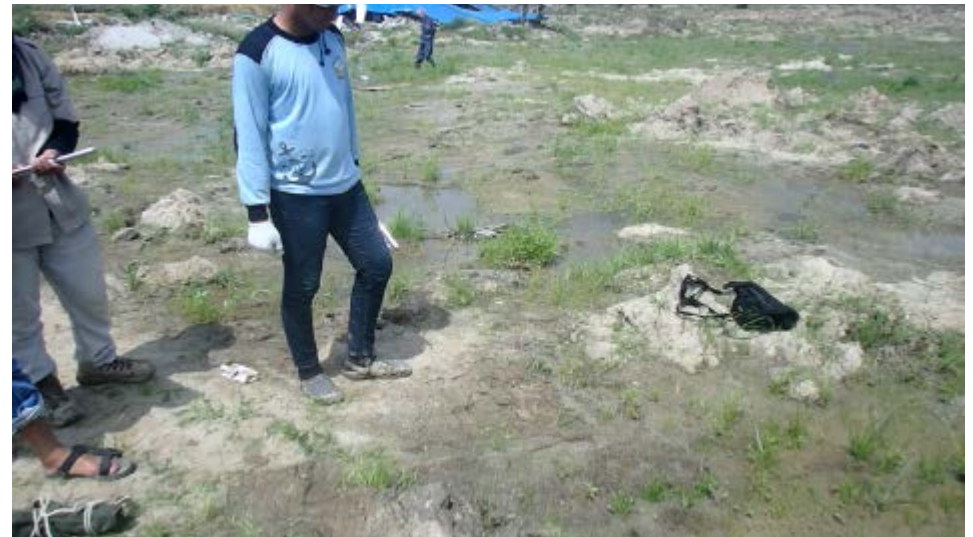
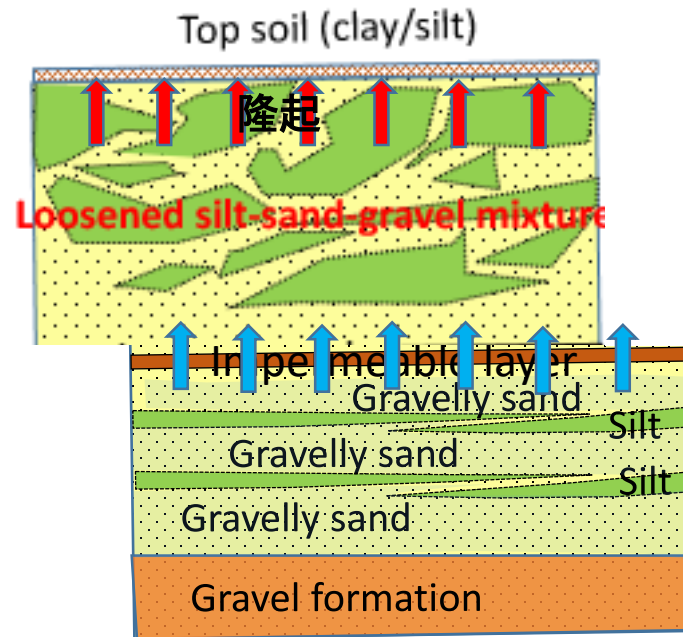


目撃情報 Mechanism 3

| Location | Outline of interview result on groundwater / surface water |
|----------|---|
| J1 | In landslide areas, muddy water started to blow out up to 6m in height from the ground 10 seconds after the earthquake and lasted for several seconds. |
| Loc. | Outline of interview result |
| B6 | Ground lifted up to 4-5 m before horizontal movement. Ground rotated in counter-clockwise while flown. |
| B7 | House was lifted up to 20m and rotated before collapsed. |
| Loc. | Outline of interview result |
| P4 | Ground lifted up 1-2 min after earthquake, and the ground roared. |



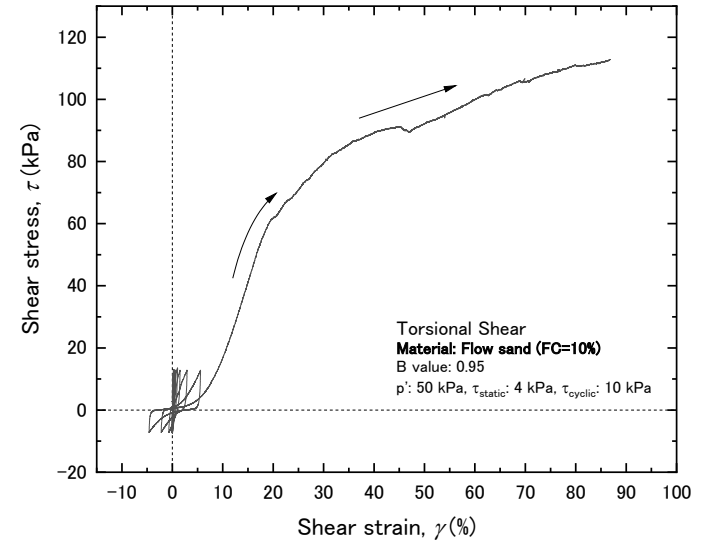
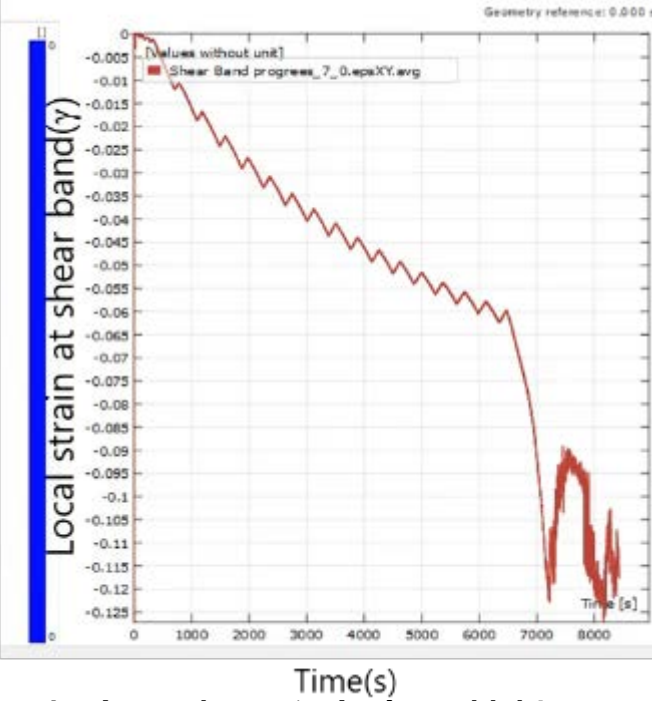
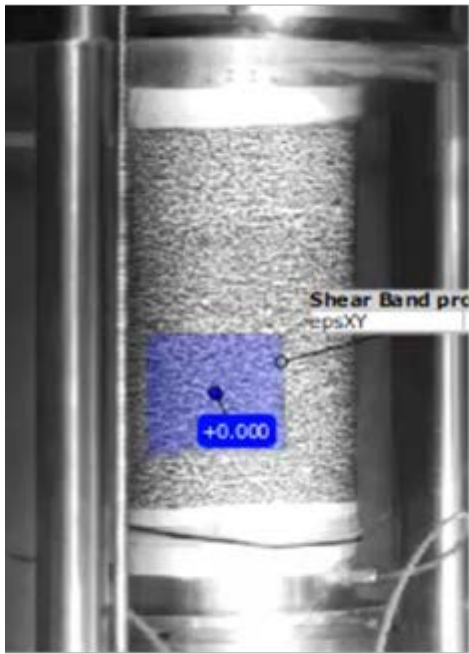
Mechanism 4
被圧地下水の流入



地震から一か月後の様子(動画)
表層地盤は依然として泥水に近い。

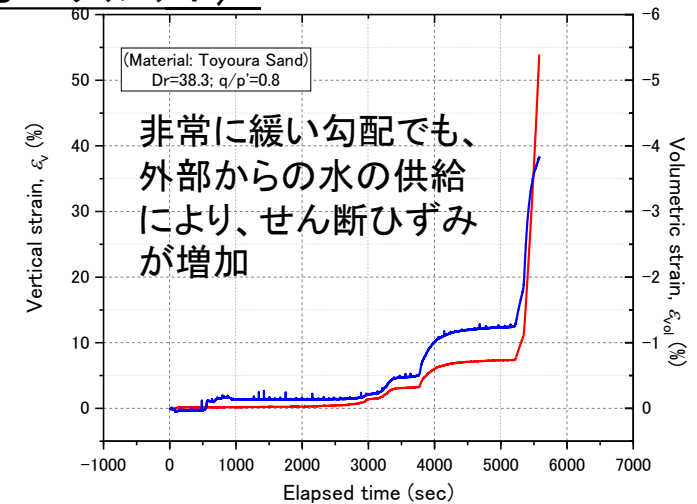
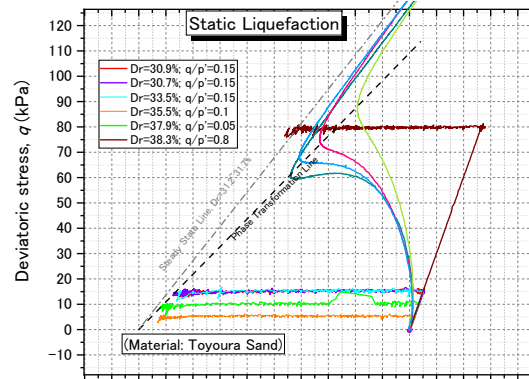
室内土質試験

液状化した後の強度変形特性（メカニズム1）

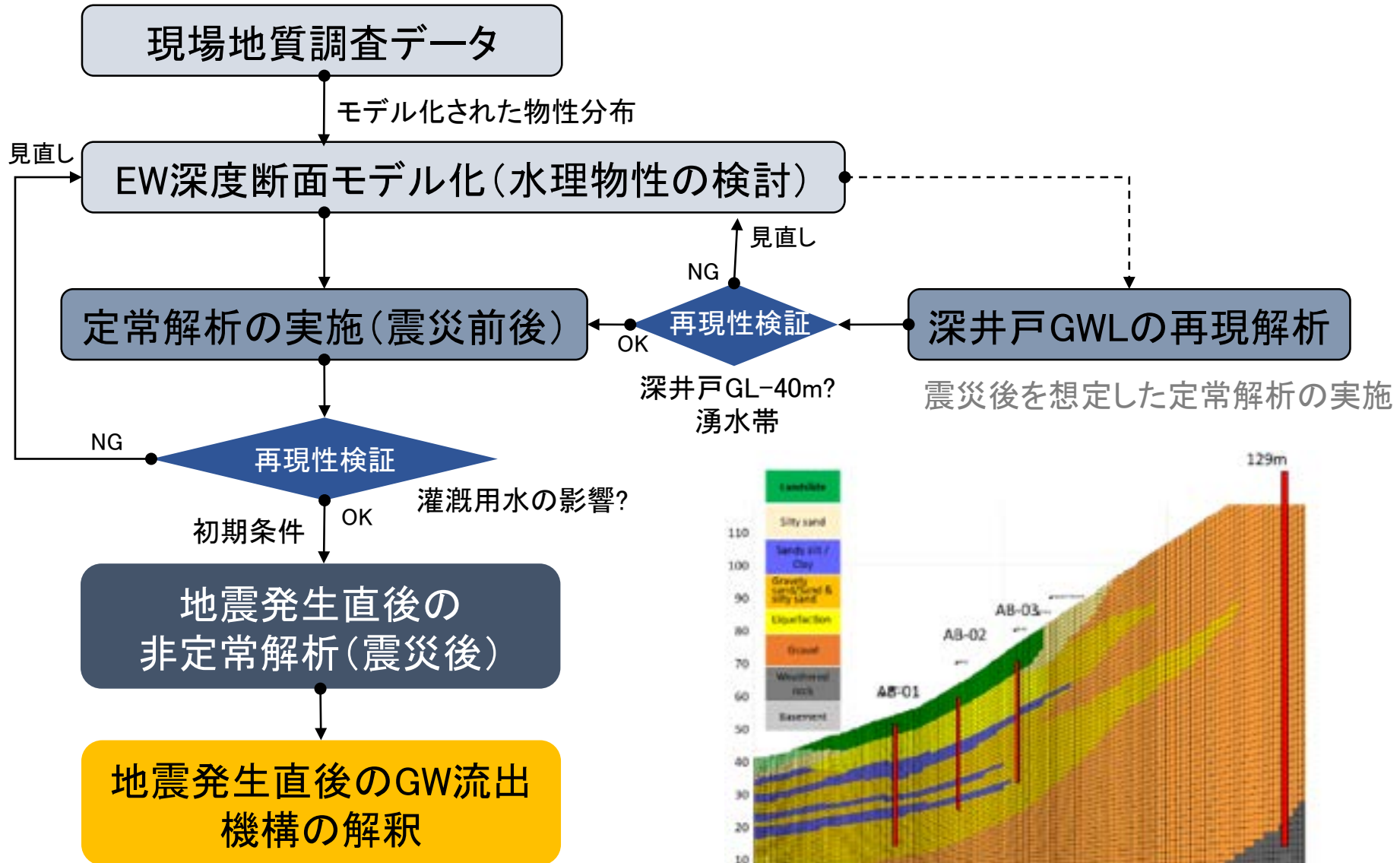


液状化後に顕著なひずみ硬化が発生
⇒ 地盤流動は発生しない

被圧帯水層からの地下水流入時の強度変形特性（メカニズム4）

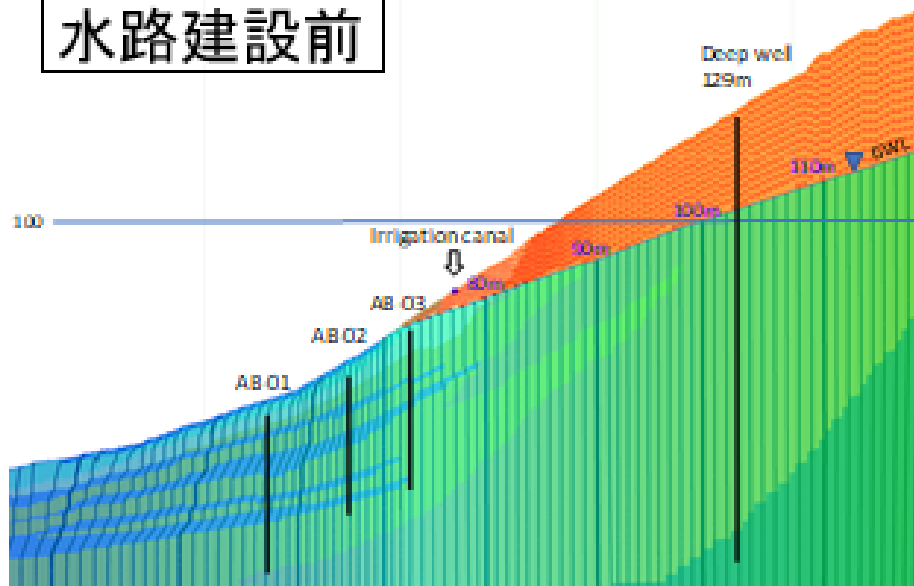


浸透流解析(東西二次元断面)

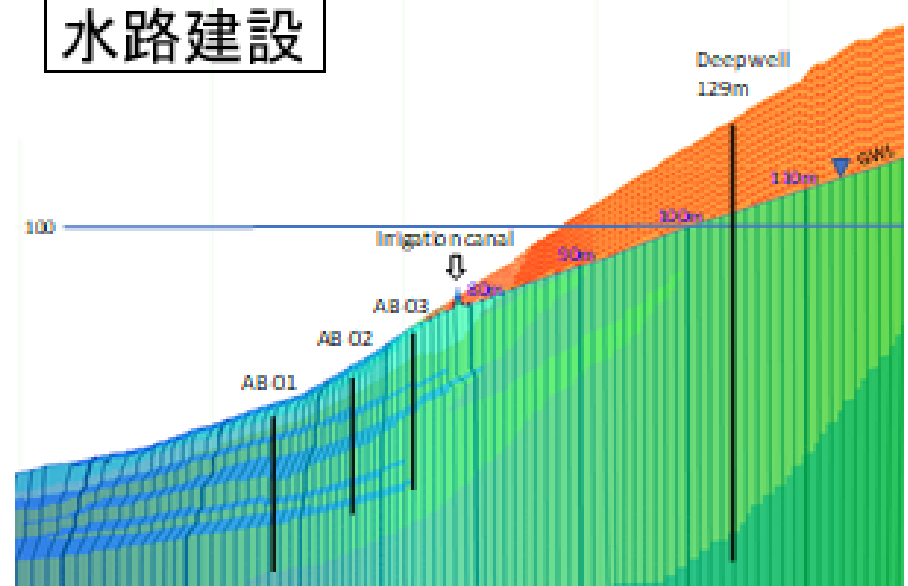


灌漑水路建設前後及び地震前後の水位変化

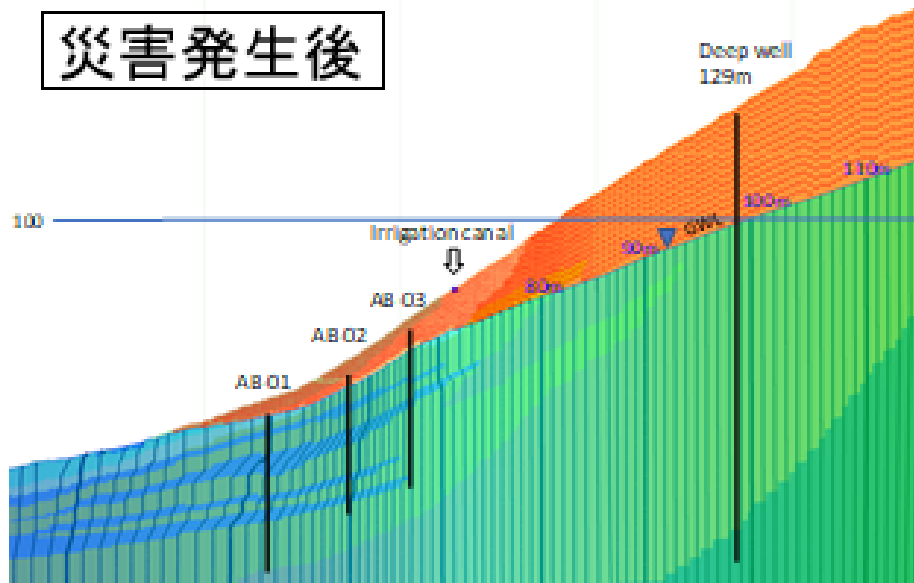
水路建設前



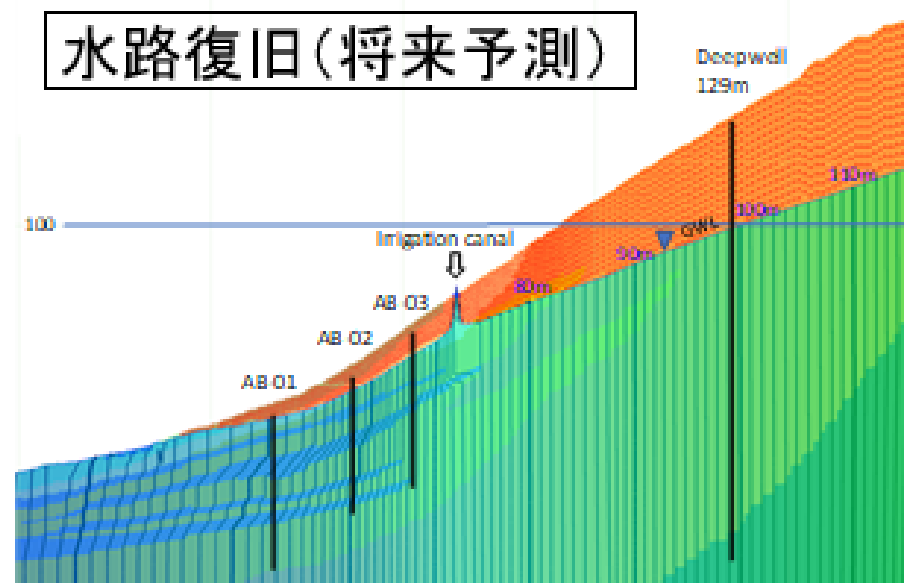
水路建設



災害発生後



水路復旧(将来予測)



まとめと今後の予定

◆現場調査、UAV測量等

地盤流動の形態を把握。トレンチ調査により、**流動層厚も推定**された

◆現地ヒアリング調査

灌漑用水路建設の影響、および**地盤流動時の様子**に関する情報が得られた。(地盤の隆起・地すべり上部での噴水、灌漑用水路の決壊タイミング等)

◆室内土質試験(大ひずみ中空ねじり試験)

表層地盤の液状化だけでは、その長距離流動を説明できない。**被圧地下水の流入**を考慮すると、非常に緩傾斜地盤でも流動する。

◆浸透流解析

灌漑用水路の建設により、用水路の直下では**地下水位が1~3m程度上昇**する。全体の地下水環境に与える影響は大きい

◆今後の予定

全体的に断片的な情報しかなく、解析モデルも改善が必要。

微動探査・表面波探査・サンプリング試料による室内試験を実施し、地層構造・解析パラメータの精査、流動発生メカニズムの裏付けと、対策工法の検討(灌漑用水路の構造を含む)