



1

## 近年（1980年以降）の地盤流動の経緯

\* 地盤流動は、側方流動とも呼ばれる

**1983年日本海中部地震**：濱田らが液状化に伴う地盤流動を指摘 \* 傾斜地など

↓  
地盤流動に関する調査・研究の進展

\* 土木研究所：大型振動台実験など

**1995年阪神淡路大震災**：大阪湾岸の護岸の地盤流動により、橋梁の橋桁が落下

↓

**1996年道路橋示方書V耐震設計編**：流動力の規定 \* 対策：基礎の強化

**2011年東北地方太平洋沖地震**：千葉県香取市の河川護岸で地盤流動が発生／対策の検討・実施

↓

公共施設と宅地との一体的な液状化対策事業の実施

**2016年熊本地震**：熊本市の河川護岸で地盤流動が発生／対策の検討・実施

**2024年能登半島地震**：石川県内灘町の傾斜地・宅地で地盤流動が発生 → 今後、復興！

以上から、1) 地盤流動による被害が少なく、液状化と比較して、注目度、重要度は大きくなかった。

2) 地盤流動の発生は、主に護岸部であり、住宅被害はその近傍に限定されていた。

能登半島地震での特筆点

(1) 護岸部以外の傾斜地で地盤流動が発生したこと。

(2) 傾斜地の全域にわたる住宅地で被害が発生したこと。

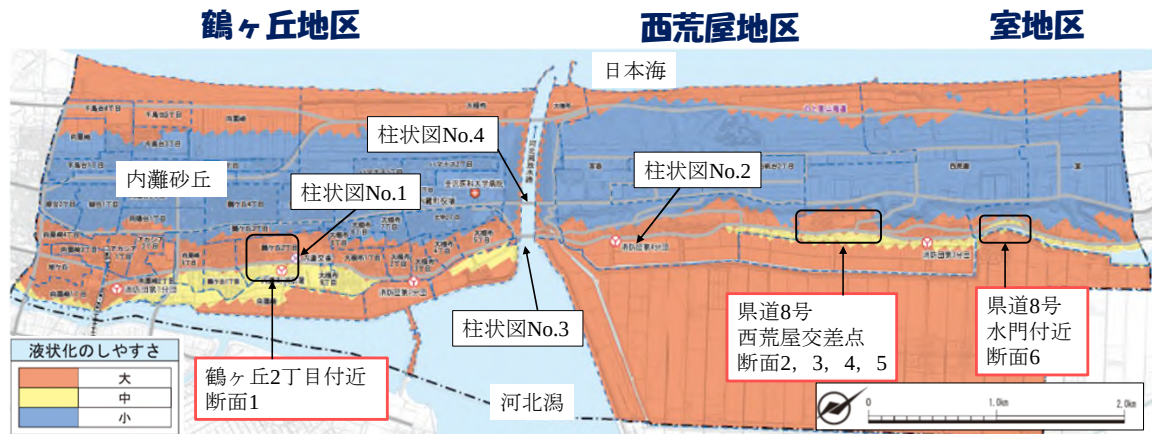
2

## 現地調査の実施

調査日：2024年2月27日

調査地域：内灘町（鶴ヶ丘地区、西荒屋地区、室地区）

\* 内灘砂丘の東側：背面の傾斜地



内灘町：液状化マップ

課題：地盤流動マップの要否と作成方法

3

鶴ヶ丘地区 断面1



西荒屋地区 断面2～5



室地区

\* 断面6  
護岸に隣接



\* 断面5  
県道8号に隆起・ずれ発生

いずれの断面も 概ね  
・県道8号の横断方向  
・東西方向  
・傾斜地の傾斜方向

4



傾斜地の地形の特性は？

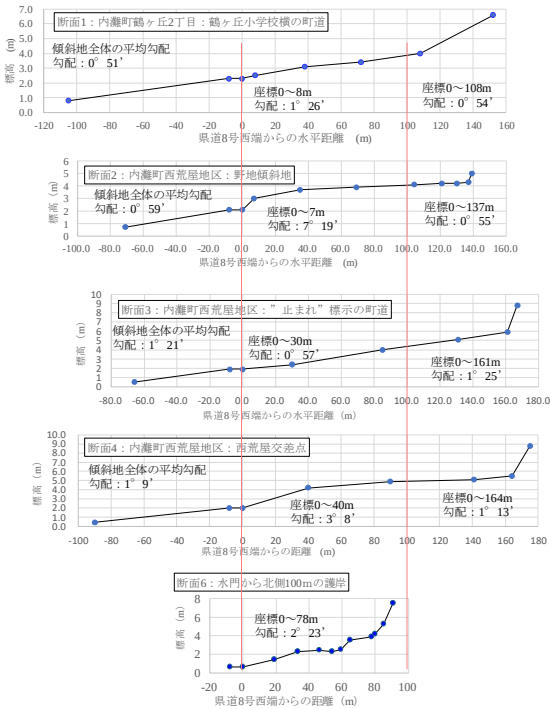
国土地理院：GIS Mapsにより、今次の地震の発生前の傾斜地の任意の地点について、Mapsに表示される標高（0.1m単位）の読み取り、県道8号の西端（座標0.0、砂丘方向が+）からの水平距離を計測。

|            |     |                        |       |       |      |       |                     |       |       |       |       |       |       |       |      |  |           |
|------------|-----|------------------------|-------|-------|------|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|-----------|
| 断面 1       |     |                        | -105  | -8    | 0    | 8     | 38                  | 72    | 108   | 152   |       |       |       |       |      |  | 傾斜地<br>全長 |
| 内灘町鶴ヶ丘2丁目  |     |                        | 0.8   | 2.3   | 2.3  | 2.5   | 3.1                 | 3.4   | 4.0   | 6.6   |       |       |       |       |      |  | 213m      |
| 鶴ヶ丘小学校横の町道 |     |                        | 0°51' |       |      | 1°26' |                     |       | 0°54' |       |       |       |       |       |      |  |           |
| 断面 2       |     |                        | -71.0 | -8.0  | 0.0  | 7.0   | 35.0                | 69.0  | 104.0 | 121.0 | 130.0 | 137.0 | 139.0 | 143.0 |      |  | 傾斜地<br>全長 |
| 内灘町西荒屋     |     |                        | 0.7   | 2.1   | 2.1  | 3     | 3.7                 | 3.9   | 4.1   | 4.2   | 4.2   | 4.3   | 5     | 7.4   |      |  | 208m      |
| 野地傾斜地      |     |                        | 0°59' |       |      | 7°19' |                     |       |       |       |       | 0°55' |       |       |      |  |           |
| 断面 3       |     |                        | -66.0 | -8.0  | 0.0  | 30.0  | 85.0                | 131.0 | 161.0 | 167.0 |       |       |       |       |      |  | 傾斜地<br>全長 |
| 内灘町西荒屋     |     |                        | 0.5   | 1.9   | 1.9  | 2.4   | 4.0                 | 5.1   | 5.9   | 8.8   |       |       |       |       |      |  | 227m      |
| "止まれ"表示の町道 |     |                        | 1°21' |       |      | 0°57' |                     |       | 1°25' |       |       |       |       |       |      |  |           |
| 断面 4       |     |                        | -90   | -8    | 0    | 40    | 90                  | 141   | 164   | 175   | 185   |       |       |       |      |  | 傾斜地<br>全長 |
| 内灘町西荒屋     |     |                        | 0.4   | 2.0   | 2.0  | 4.2   | 4.9                 | 5.1   | 5.5   | 8.8   | 16.8  |       |       |       |      |  | 254m      |
| 西荒屋交差点     |     |                        | 1°9'  |       |      | 3°8'  |                     |       | 1°13' |       |       |       |       |       |      |  |           |
| 断面 5       |     |                        | -91.0 | -45.0 | -8.0 | 0.0   | 19.0                | 38.0  | 43.0  | 48.0  | 65.0  | 68.0  | 72.0  |       |      |  | 傾斜地<br>全長 |
| 内灘町西荒屋     |     | 0.8                    | 2.1   | 2.4   | 2.6  | 3.5   | 4.6                 | 4.5   | 4.8   | 5.4   | 6.1   | 8.7   |       |       |      |  | 156m      |
| 交差点から北100m |     |                        | 1°41' |       |      |       |                     |       |       | 2°28' |       |       |       |       |      |  |           |
| 断面 6       |     |                        |       | -8.0  | 0.0  | 19.0  | 33.0                | 46.0  | 54.0  | 59.0  | 65.0  | 78.0  | 80.0  | 85.0  | 91.0 |  | 傾斜地<br>全長 |
| 内灘町室       |     |                        |       | 0.6   | 0.6  | 1.4   | 2.3                 | 2.4   | 2.3   | 2.5   | 3.5   | 3.9   | 4.2   | 5.3   | 7.5  |  |           |
| 水門から北120m  |     |                        | 2°25' | 護岸    |      |       | 2°57'               |       |       |       |       | 2°25' |       |       |      |  | 86m       |
| 凡例         | 上段： | 起点からの距離(m)             |       |       |      |       | 県道8号西端（起点）からの傾斜地の範囲 |       |       |       |       |       |       |       |      |  |           |
|            | 中段： | 標高(m)                  |       |       |      |       | 傾斜地全体の平均勾配          |       |       |       |       |       |       |       |      |  |           |
|            | 下段： | 傾斜地の平均勾配（全体あるいは起点に対する） |       |       |      |       |                     |       |       |       |       |       |       |       |      |  |           |

断面1～4：県道8号に目立つ変状が無い断面。断面5：県道8号がずれ、隆起した断面。  
断面6：県道8号に水路護岸が隣接した断面

5

傾斜地の断面の対比



安田・石川による 20240106 補修済み：20240227



6

## 県道8号に変状が見られない断面1～断面4の平均的な地盤の特性

- ① 選定した干拓地端の標高は、0.4～0.8m。
- ② 干拓地端から県道8号（幅8m）東端までの距離は58～97m、最大100m程度。
- ③ 県道8号の標高は、1.9～2.3mであり、概ね2.0m程度。
- ④ 傾斜地の上端は、勾配が急増する地点とすると、  
県道8号西端からの距離は108～164m。
- ⑤ 傾斜地の上端の標高は、4.0～5.9mであり、最大で概ね6m。
- ⑥ 傾斜地の全体の平均勾配は、0°51'～1°21'、概ね1°～1.5°。
- ⑦ 県道8号から砂丘側の傾斜地の平均勾配は、0°54'～1°25'、概ね1°～1.5°。

→ 上記の結果は、傾斜地の地盤モデル化（後述）に反映。

7

## 地震動の作用規模は？

防災科学技術研究所：強震観測記録

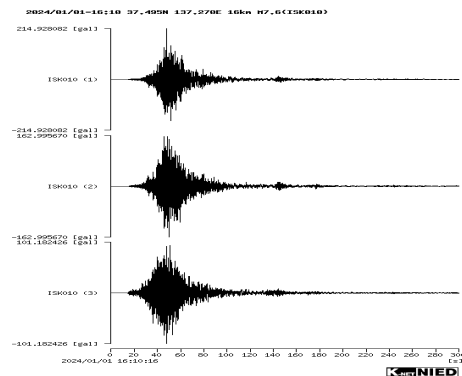
内灘町の記録は無いが、津幡～金沢の間にあるため、  
概ね200gal、設計震度で0.2程度と推定。 \*液状化が発生するレベル。

金沢 K-NET

三成分合成：224.3gal

震度：4.6

震央距離：120km

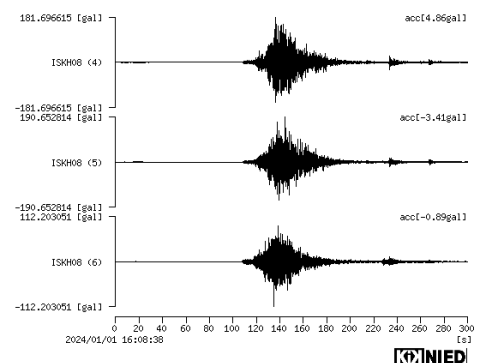


津幡 -KiK-

三成分合成：195.2gal

震度：4.6

震央距離：94km



（国研）防災科学技術研究所：強震観測網（K-NET, KiK-net），<<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>>.3.1)

8



## 1) 地盤流動の変状

### 1-1) 流動に伴う傾斜地の一般的な変状 **【局所の変状】**

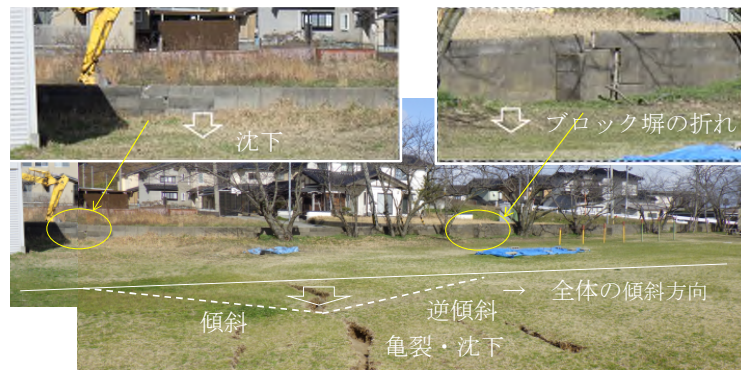


- ・地表面がずれて、段差が発生し、沈下しているが、ずれの発生は、局所的、離散的。
- ・地盤の緩み・圧縮などにより、ずれ量は縮小し、下方にそのまま伝達するものではない。

地盤流動による局所的な変状例：矢印は概略の傾斜方向

9

### 1-2) 流動に伴う傾斜地の一般的な変状 **【面的変状】**



地盤流動による傾斜地の面的、地域的な変状例

【知見】側方流動は、表層のずれ・亀裂・段差・噴砂により発現するが、それにより、地表面は沈下、隆起、傾斜の変化などが発生する。

これらの現象は局所的、離散的な変状

面的、地域的な変状 の2タイプがあることが特徴。

Cf. 液状化は局所の変状が卓越。∴ 地盤流動の方が、複雑、多様。

10

10

## 2) 県道8号の変状特性

### 2-1) 道路の移動とずれ変位

\* 砂丘側と干拓地側の差異



国号8号の車道は変状は無く、線形も変わっていない。やや移動している。

道路の西端（砂丘側）は移動しないで、歩道部が20cmの隆起。

干拓地側の道路端のコンクリート版が隆起している。概ね数cmの移動と推定。

道路舗装の両側の変状例1  
：西荒屋地区、断面2

11

11



砂丘側は、隆起。

道路は変状無し。

県道8号から干拓地側の状況

- ・ 緩い傾斜
- ・ 変状無し
- あるいは
- ・ 軽微な変状：ブロック塀の傾斜

道路舗装の両側の変状例2：内灘町鶴ヶ丘2丁目、断面1

12

12



## 2-2) 道路の隆起



T型擁壁が道路に  
突き出し  
水平変位：90cm



- ・側溝が40cmほど移動
- ・電柱の傾斜角：70°
- ・道路の左右の高低差：110cm



【知見】側方流動が大きいと道路が隆起・ずれる。  
ただし、ずれ量は40cm、隆起量は110cmほど。

道路の補修工事中 20240227

砂丘側（左）はコンクリート版が隆起・突き出し・電柱が傾斜  
干拓地側（右）は、ずれた道路により電柱が傾斜。

13

13

## 2-3) 道路の沈下と噴砂・隆起

- ・県道8号の沈下は、この場所だけである。
- ・原因は、山側の大量の噴砂による地盤の体積減少。
- ・噴砂は、極めて“きれいな砂”であり、他所も同様。  
＊類似の場所の柱状図からは、中砂、細中砂。



【知見】液状化による噴砂量が多い場合は、舗装を含めた表層の沈下が発生する：必然現象。  
なお、噴砂は隆起ではなく、体積収縮の扱いが妥当。

道路舗装の沈下と沿道の噴砂・隆起例

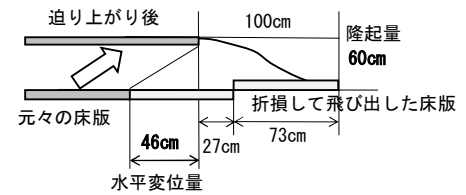
14

14



### 3) 県道8号沿道の変状特性

#### 3-1) 住宅の隆起・沈下・傾斜



沿道の住宅の隆起例1：西荒屋地区、断面3

水平変位量は、他所と比べて、やや大きいが、土砂がある状態での計測であるので、参考値とする。

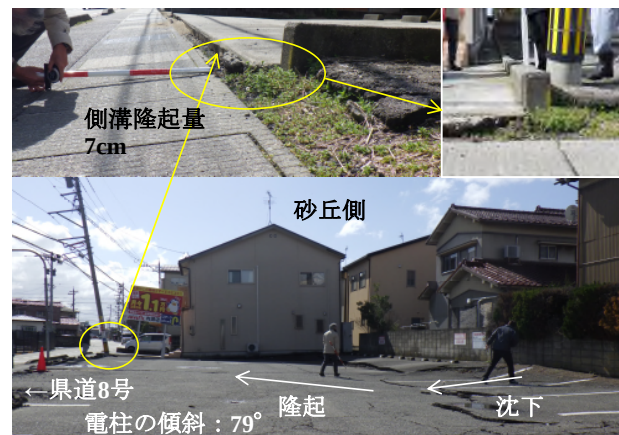
15

15

県道8号が地盤流動を抑制し、その結果、地盤が隆起、その背後が沈下し、地盤面は傾斜と逆傾斜。住宅などは、傾斜、逆傾斜により被害。



沿道の住宅の隆起例2：鶴ヶ丘2丁目、断面1付近



沿道の住宅の隆起例3：鶴ヶ丘2丁目、断面1付近

16

16

県道8号の砂丘側の野地：噴砂と縁石背後の地表面の隆起（30～40cm程度）。  
縁石のずれ。



県道8号の砂丘側の裸地の隆起例：西荒屋地区、断面2付近

17

### 3-2) 交差道路の隆起



傾斜方向の道路の隆起例1：鶴ヶ丘2丁目、断面1

30mほど奥では、道路が沈下  
(36cm)

交差町道の勾配：4°  
\*地震前は1°であり、やや隆起している（推定）。  
これにより、右写真の沈下現象が発生（推定）。

18

18



## 隆起例2：西荒屋交差点 断面4 補修後



道路の北側の隆起



補修後の西荒屋交差点



道路の南側の隆起



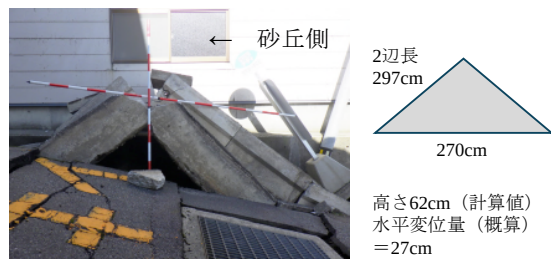
県道8号の砂丘側の噴砂と隆起による土留め壁（高さ90cm）の傾斜、傾斜角度：60°

19

19

## 隆起例3：断面3の交差道路の隆起

西荒屋交差点 変状直後（1/6）  
安田・石井による



県道8号

20

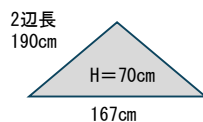
20



## 現地計測を実施

県道8号沿いの  
地表面の水平変位、  
隆起量の規模

### 計測例



水平方向変位量（概算）＝190-167  
＝23cm



県道8号の沿道の隆起量・水平変位量：砂丘側6か所・干拓地側1か所

21

## 県道8号の沿道の住宅などの被害形態

- ① 道路により砂丘側の地盤流動が抑制されている。
- ② ①により、砂丘側の沿道は隆起（傾斜）し、その背後は沈下（逆傾斜）する。
- ③ ②の傾斜により、家屋は傾斜する。
- ④ ①～③の地盤流動による被害の他、液状化により家屋などは不同沈下、傾斜する。

## 地盤流動の変状規模

県道8号沿いの隆起した側溝、コンクリート版などの変形状から、表層地盤の隆起量および水平変位量を計測、算出すると、

- ① 砂丘側の水平変位量は、概ね20～35cmである。
- ② 干拓地側の水平変位量は、20cmの箇所（本調査では1箇所）があるが、  
全体的には概ね数cm（推定）である。
- ③ 砂丘側の地盤の隆起量は、道路舗装に変状が発生しない場合、  
大きくとも概ね60～110cmである。

上記の通り、写真、映像では、視覚的に変状が顕著に見えるが、水平変位量はたかだか35cm以下であり、それほど大きくないが、その程度でも住宅などの被害は大きい。

22

## 野地傾斜地の変状状況からの地盤流動の基本性状

県道8号沿いの砂丘側に住宅などが無い野地の傾斜地があり、  
人工物の影響が無い傾斜地の地盤流動特性を把握。  
断面2であり、道路西端（写真の右側）から砂丘までの距離は約137m、勾配は $0^{\circ}54'$



23

## 野地傾斜地の全景：断面2



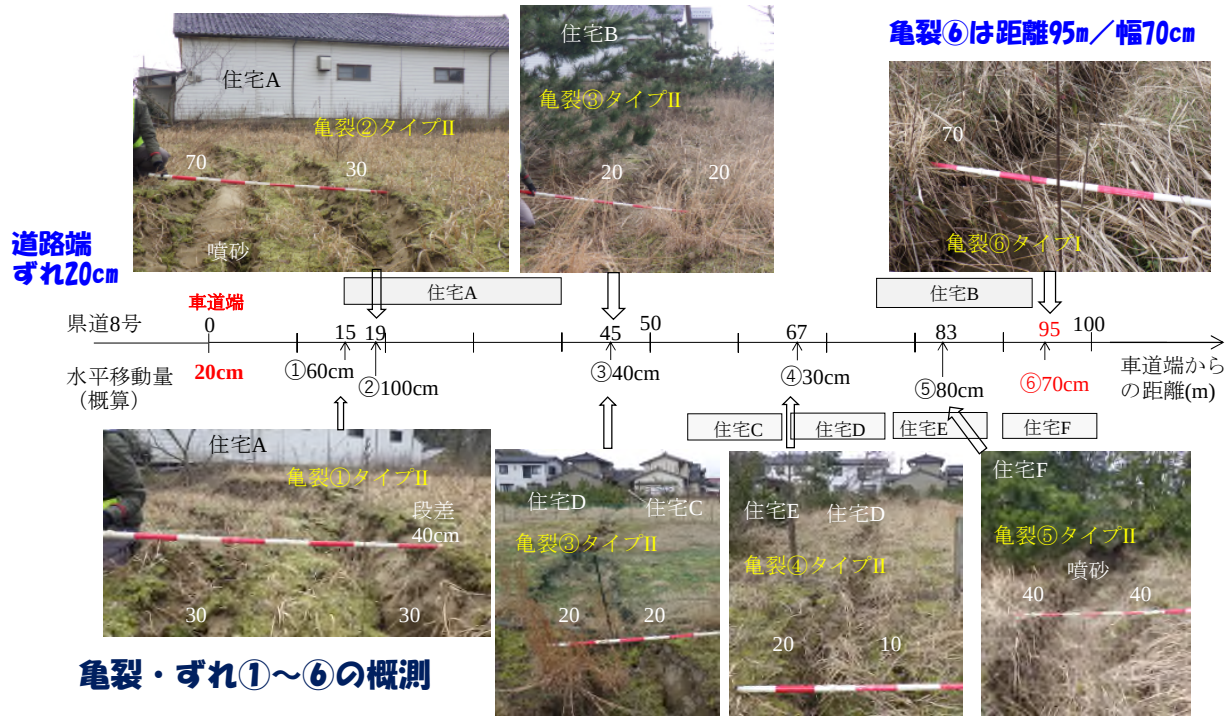
## 県道8号の砂丘側の近傍の変状特性



傾斜地の地盤流動により、道路背後が**隆起・傾斜**し（コンクリート土留めから分かる）、その背後の地表面は**亀裂・段差・ずれ・沈下**し、さらに砂丘側は**逆傾斜**。

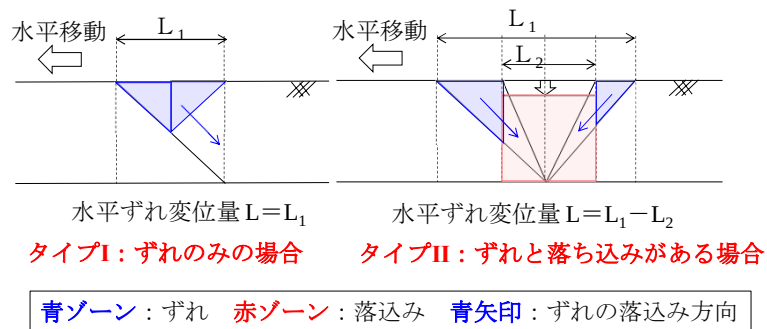
24





25

### 傾斜地の水平ずれ変位の発生形態（推察1）



タイプI  
亀裂⑥



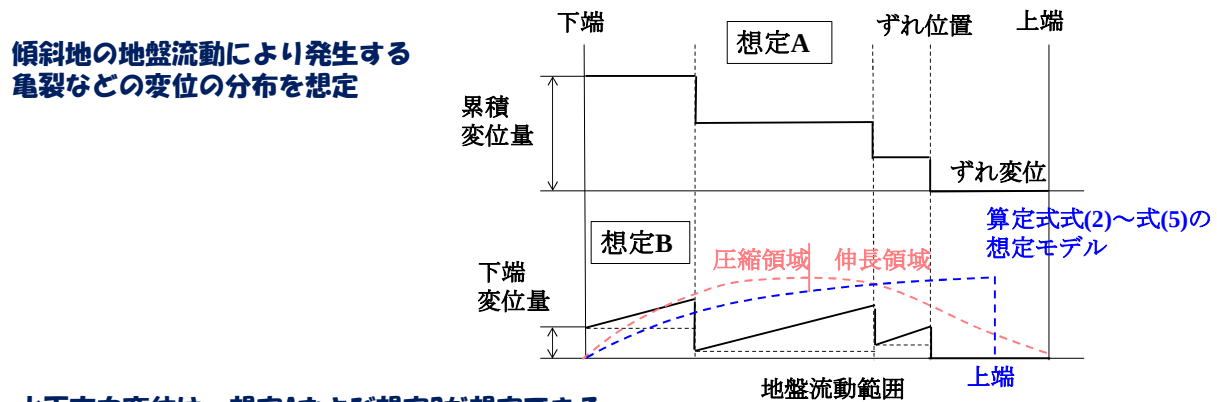
タイプII  
亀裂②



26



## 地盤流動機構：傾斜方向の流動分布特性（推察2）



水平方向変位は、想定Aおよび想定Bが想定できる。

**想定A**：傾斜地で発生する個別の変位が累積する場合。

**想定B**：累積しないとする場合

① **赤い破線**：領域の上下端のをゼロとして、上方が伸張領域、下方が圧縮領域とする。

② **青の破線**：下端をゼロ、上端を自由端で最大変位とする。

ここで、野地傾斜地の状況からは、想定Aはあり得ず、想定Bの「黒の実線」が推察される。

27

## 地盤流動による地表面・表層部の変状形態（推察3）

表層部は、ブロックとして扱い  
右図のように、

**想定Ⅰ**：剛体的移動

**想定Ⅱ**：圧縮変状、伸長変状  
として、変状形態を推察する。

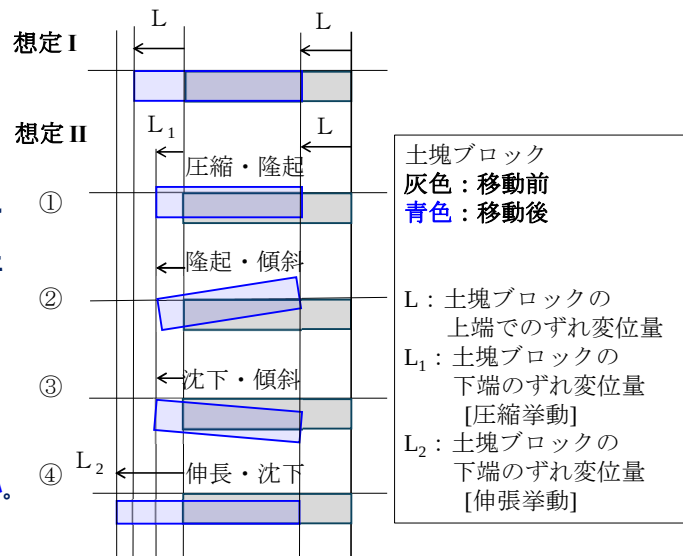
あるずれ変位の発生箇所とその下方で発生するずれ変位の間にある表層部を土塊ブロックと想定。  
土塊ブロックの上端で発生したずれ変位 ( $L$ ) と土塊ブロックの下端のずれ変位 ( $L_1$  あるいは  $L_2$ ) との大小か関係の形態を想定。

**想定Ⅰ**：土塊ブロックが剛体的に移動。

**想定Ⅱ**：4形態 (①～④) を想定。

①～③の場合：土塊ブロックが圧縮挙動に相当。  
圧縮、隆起、傾斜により、ずれ変位量は**減少**。

④の場合：土塊ブロックが伸張挙動に相当。  
伸張により、ずれ変位量は**増加**。



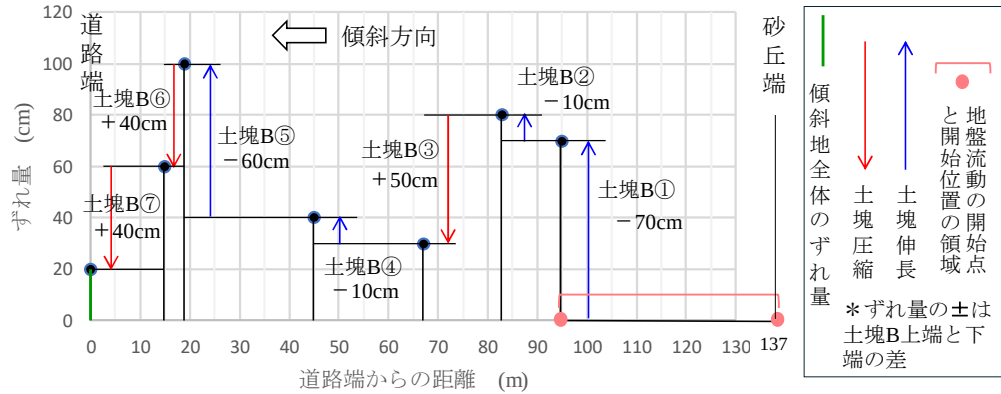
実斜面では、想定Ⅰと想定Ⅱの各形態が発生。

地盤流動により地表面土塊ブロックの想定  
と変状の発生形態の概念

28

## 野地傾斜地：断面2における地盤流動変位の分布（推察4）

地盤流動により傾斜地の土塊ブロックの剛体移動、圧縮・伸張挙動により発生するずれ変位



- 1) 亀裂・ずれが発生した7か所と傾斜地の下端（道路）、上端（砂丘端）を境界として、傾斜地上端からずれ土塊ブロックB①～B⑦とする。
- 2) 各土塊の上端と下端のずれ量の差が（-）の場合、土塊は引張状態、（+）の場合、圧縮状態。
- 3) 傾斜地下端のずれ（20cm）が、傾斜地全体のずれ量。
- 4) 当該傾斜地の側方流動の開始点は、95～137mの範囲（現地では、未把握）。

29

## 家屋の被害が顕著な区域と軽微な区域がある → 対策のヒント 面的・地域的視点



30



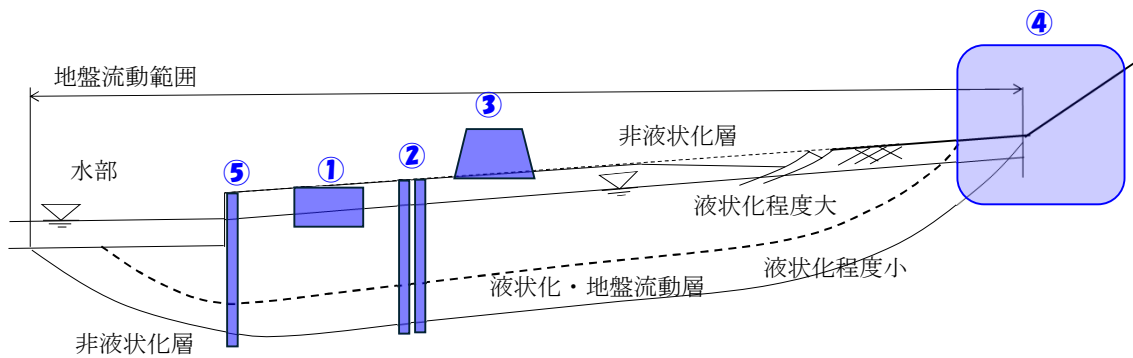
## 地盤流動、家屋被害の軽微な地区に関わる要因

### 5要因を抽出

- ① 県道8号の舗装・路床構造
- ② 建築物等の基礎構造
- ③ 道路などの盛土構造
- ④ 水路の護岸構造
- ⑤ 傾斜地上端付近の砂丘の隣接地盤構造

### 想定される抑制効果

- \* 人工地盤の剛性による流動抑制・遮断
- \* 群杭、剛体基礎による流動抑制・遮断
- \* 上載荷重による液状化抑制・流動抑制・遮断
- \* 剛体構造による流動遮断
- \* 砂丘の構造拘束による液状化発生抑制



31

### ① 県道8号の舗装・路床構造

県道8号が地盤流動を抑制していると推定される事例

上：断面3付近

中：断面2付近

下：断面4付近

いずれも

- ・ 砂丘側の沿道の変状が大
- ・ 干拓地側の沿道の変状は僅か。



32

## ② 建築物等の基礎構造

建築物基礎が地盤流動を抑制していると推定される事例

小学校のグラウンドと校舎の背後の差異



ゾーンA：小学校校舎の裏側：無被害\*  
噴砂・ずれ無し。

小学校グラウンドの背後：被害  
\*噴砂・ずれ・沈下有り。

33

## ③ 道路などの盛土構造

道路盛土が地盤流動を抑制していると推定される事例

道路盛土を挟んで、  
・砂丘側は変状・被害が皆無  
・干拓地側は変状・被害あり

なお、道路盛土にも段差など



道路盛土の丘陵側と干拓地側の差異

34

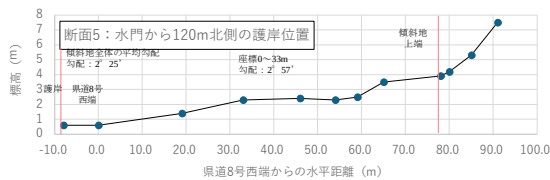


#### ④ 水路の護岸構造

**堅固な護岸が地盤流動を抑制していると推定される事例**

側方流動が発生しやすい箇所とされる表層地盤の急勾配部としての護岸箇所の調査

- ・護岸は鋼矢板基礎で頑強なためか、護岸および背後の道路に変状は無い。
- ・道路に隣接する民地では、地盤の隆起、電柱の傾斜などの変状が発生



室地区 水門から北約120m付近：断面6

35

#### ⑤ 傾斜地上端付近の砂丘の隣接地盤構造

**砂丘近傍の地盤特性が液状化、地盤流動を抑制していると推定される事例**

砂丘の近傍の家屋（左側）：被害僅か  
道路を挟んだ反対側の家屋（右側）：被害

前面道路が沈下（沈下量32cm）しているが、被害は僅かな砂丘近傍の家屋（右側）



砂丘に隣接する街区とその前面道路

36

地盤特性データによる傾斜地地盤のモデル化 限られた情報とその活用



(一財) 国土地盤情報センターが無料公開した地盤情報から、  
該当しそうな柱状図 (4箇所) を参照。

内灘町のHPから、  
河北潟干拓事業

- ・昭和35年 (1960年) ~37年: 農林省金沢農地事務所が実施計画
- ・昭和38年~: 「国営河北潟干拓土地改良事業」として開始
- ・干陸化は、昭和45開始~46年完了。
- ・干拓地の平均標高は -2.1m  
河北潟の平常水位は50cm、水深は-2.5m。

柱状図の作成年次

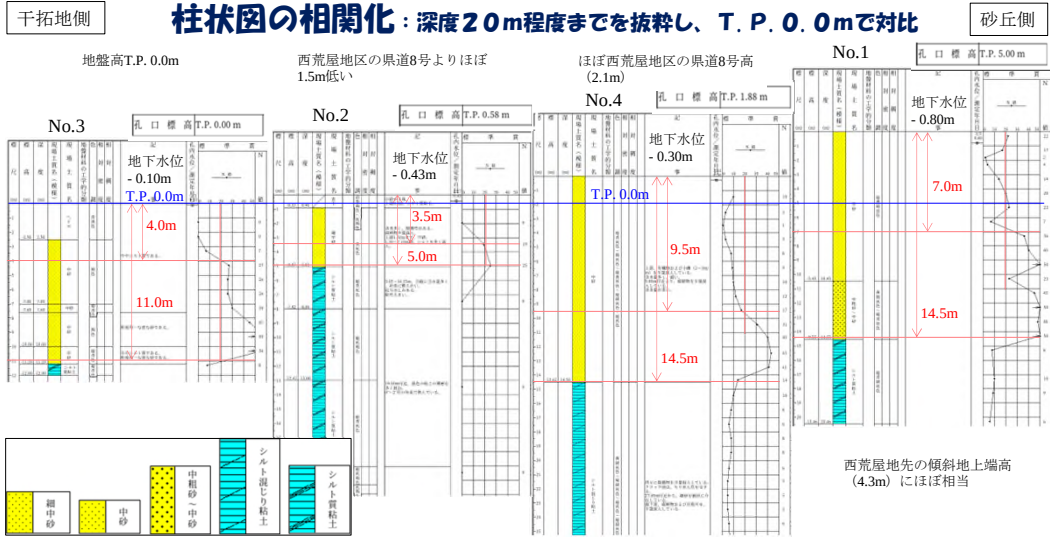
- ・No. 4: 昭和37年7月11日。 [放水路の掘削前]
- ・No. 1: 昭和44年3月。 \*断面1から約50m北東の県道8号沿い。
- ・No. 2: 昭和46年2~3月。 [干陸化中]
- ・No. 3: 昭和50年1月1日。 [放水路の掘削後]
- \*ヘド口層の底面が放水路の底面。

\*西荒屋地区では傾斜地の地盤情報が無い。

No. 2は西荒屋交差点から約1,700m南西の県道8号の干拓地側の宅地。

出典: (一財) 国土地盤情報センター 災害復旧支援 地盤情報緊急公開サイト NGiC \*加筆

37

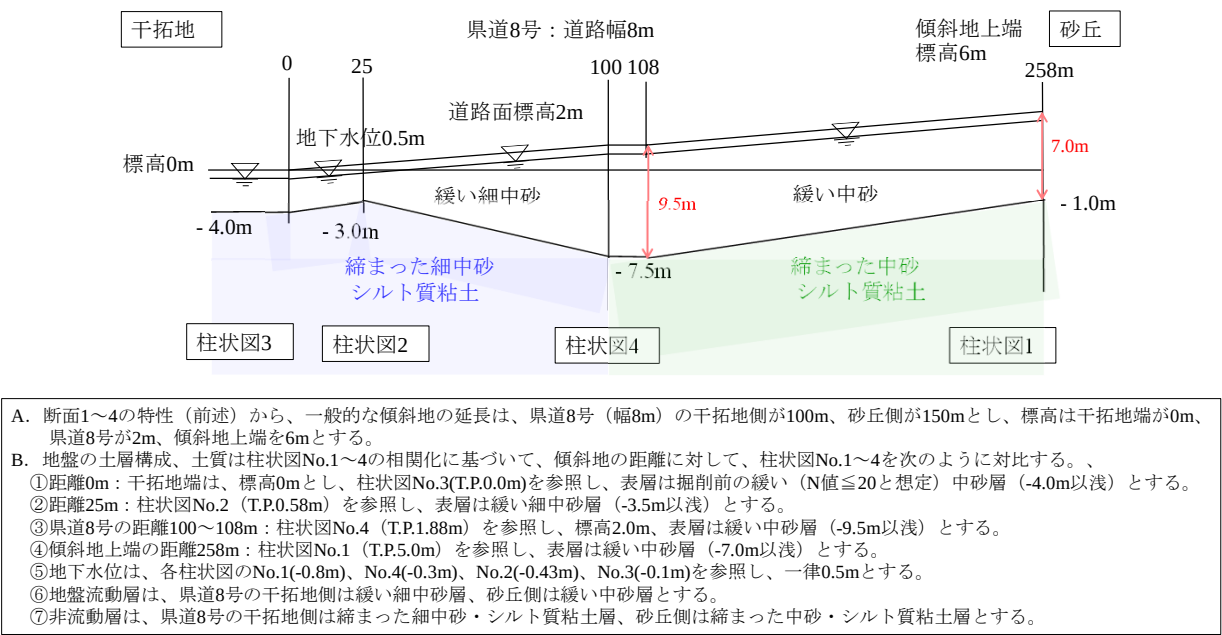


中砂層あるいは細中砂層において、「N値20以下: 緩い、N値20以上: 締まった」として、以下の通り、想定。

- No. 3: T.P. 0.00m。地下水位-0.10m。ヘド口層を含む深度4mまでは緩い中砂層、4~11mは締まった中砂層。
- No. 2: T.P. 0.58m。地下水位-0.43m。深度3.5mまでは緩い細中砂層、3.5~5mは締まった細中砂層。
- No. 3: T.P. 1.88m。地下水位-0.30m。深度9.5mまでは緩い中砂層、9.5~14.5mは締まった中砂層。
- No. 1: T.P. 5.00m。地下水位-0.80m。深度7.0mまでは緩い中砂層、7.0~14.5mは締まった中砂層。

38

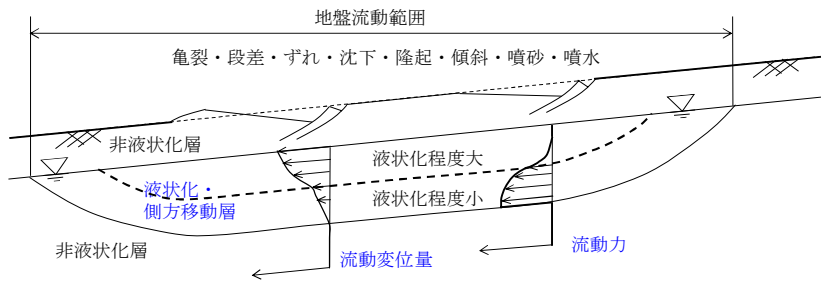
傾斜地の一般モデル化の試行：断面1～4の断面特性と柱状図1～4を照合して想定



- A. 断面1～4の特性（前述）から、一般的な傾斜地の延長は、国道8号（幅8m）の干拓地側が100m、砂丘側が150mとし、標高は干拓地端が0m、国道8号が2m、傾斜地上端を6mとする。
- B. 地盤の土層構成、土質は柱状図No.1～4の相関化に基づいて、傾斜地の距離に対して、柱状図No.1～4を次のように対比する。
- ①距離0m：干拓地端は、標高0mとし、柱状図No.3(T.P.0.0m)を参照し、表層は掘削前の緩い（N値 $\leq 20$ と想定）中砂層（-4.0m以浅）とする。
  - ②距離25m：柱状図No.2（T.P.0.58m）を参照し、表層は緩い細中砂層（-3.5m以浅）とする。
  - ③国道8号の距離100～108m：柱状図No.4（T.P.1.88m）を参照し、標高2.0m、表層は緩い中砂層（-9.5m以浅）とする。
  - ④傾斜地上端の距離258m：柱状図No.1（T.P.5.0m）を参照し、表層は緩い中砂層（-7.0m以浅）とする。
  - ⑤地下水位は、各柱状図のNo.1(-0.8m)、No.4(-0.3m)、No.2(-0.43m)、No.3(-0.1m)を参照し、一律0.5mとする。
  - ⑥地盤流動層は、国道8号の干拓地側は緩い細中砂層、砂丘側は緩い中砂層とする。
  - ⑦非流動層は、国道8号の干拓地側は締まった細中砂・シルト質粘土層、砂丘側は締まった中砂・シルト質粘土層とする。

39

現地状況からの地盤液状化と地盤流動の発生機構の概念



- 概念図の主旨・前提**
- 1) 地盤流動は液状化層および傾斜・高低差の存在が素因であり、液状化層の範囲が地盤流動の範囲となること。
  - 2) 液状化層の液状化が誘因となり、地盤内の液状化の発生程度は異なるが、通常、浅い方が液状化し易いこと。
  - 3) 地盤流動による作用には、「流動変位量」と「流動力」があり、流動変位量は液状化の発生程度が大きいほど大きく、他方、流動力は液状化の発生程度が小さいほど大きいこと。
  - 4) 液状化層が傾斜方向あるいは深度方向に必ずしも一様・均一ではないため、流動変位の発生も同様であること。
  - 5) 地下水位より上の表層の非液状化層では、液状化層の傾斜方向の側方移動により、亀裂・段差・ずれ・沈下・隆起・傾斜などの変位に関わる地表部の変位が発生し、地中内部の液状化発生の際として地表面での噴砂・噴水が発現することがあること。（注）噴砂・噴水が無いから液状化が発生していないことではないこと。
  - 6) 地表面上の住宅などは、地表部変位により隆起・沈下・傾斜などの被害を受けること。なお、液状化による沈下・傾斜も発生し、流動あるいは液状化のいずれか、あるいは両方が関係すること。

40



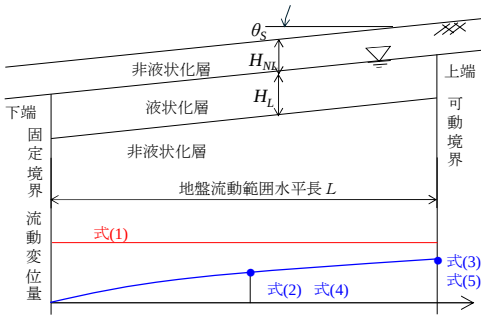
地盤流動変位量の発生要因と予測法

濱田 (1986) : 1983年日本海中部地震の被害から  
液状化層厚 ( $H$  : m) および地表面あるいは液状化層下面のうちの  
最大勾配 ( $\theta$  : %) による簡易推定式 (1) を提示。

$$D = 0.15 \sqrt{H} \sqrt[3]{\theta} \quad (1)$$

式 (1) の  $D$  は、2つの要因を考慮し、図の赤線の通り、  
傾斜地の位置によらず、一定値。

次ページの式 (2) ~ 式 (5) は、図の青線の分布曲線の中央および上端に相当する。式 (1) と違い、傾斜地の任意の位置での流動変位量が算出できるが、流動変位量が最大となる上端での最大流動変位量を式 (3) および式 (5) で算出している。



濱田政則・安田 進・磯山龍二・恵本克利：液状化による地盤の永久変位の測定と考察，土木学会論文集，NO. 376／Ⅲ-6，pp. 211-220，1986.

41

東・常田・松本・東畑 (1992)

- (1) 液状化に起因する地表面の流動変位量 ( $D$ ) が、流動範囲水平長 ( $L$ )、液状化層厚 ( $H_L$ )、表層の非液状化層厚 ( $H_{NL}$ ) および地表面の勾配 ( $\theta_s$ ) の4つの要因に着目。
- (2) 4要因を考慮した流動変位量の簡易算定式を提案  
条件：傾斜地における地盤流動範囲の上端を自由、下端を固定とした場合。  
流動範囲の中央および上端の流動変位量の算定。

[  $L=10\sim100\text{m}$  の場合 ]

流動範囲の中央  $D = 1.73 \times 10^{-5} \cdot L^{1.94} \cdot H_L^{0.298} \cdot H_{NL}^{-0.275} \cdot \theta_s^{0.963} \quad (2)$

流動範囲の上端  $D = 2.07 \times 10^{-5} \cdot L^{1.96} \cdot H_L^{0.295} \cdot H_{NL}^{-0.276} \cdot \theta_s^{0.978} \quad (3)$

べき数に注意！

[  $L=100\sim1,000\text{m}$  の場合 ]

流動範囲の中央  $D = 1.29 \times 10^{-5} \cdot L^{1.99} \cdot H_L^{0.280} \cdot H_{NL}^{-0.243} \cdot \theta_s^{0.995} \quad (4)$

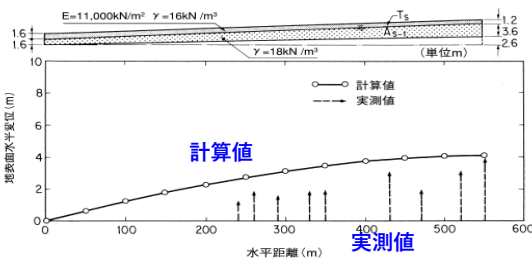
流動範囲の上端  $D = 1.70 \times 10^{-5} \cdot L^{1.99} \cdot H_L^{0.278} \cdot H_{NL}^{-0.242} \cdot \theta_s^{0.995} \quad (5)$

ここに、 $D$ ：地表面の流動変位量 (m)       $L$ ：流動範囲水平長 (m)       $H_L$ ：液状化層厚 (m)  
 $H_{NL}$ ：表層の非液状化層厚 (m)       $\theta_s$ ：地表面の勾配 (%)

東 拓生・常田賢一・松本秀應・東畑郁生：液状化による地盤流動量の簡易予測，土木学会年次学術講演会，講演概要集，第3部，47巻，pp. 262-263，1992.

数値解析方法：ポテンシャルエネルギー - (液状化層・非液状化層のひずみエネルギー - 位置エネルギー) 最小化理論の適用例 \* 東畑郁夫氏による

適用例 (日本海中部地震)：下端固定・上端自由



42



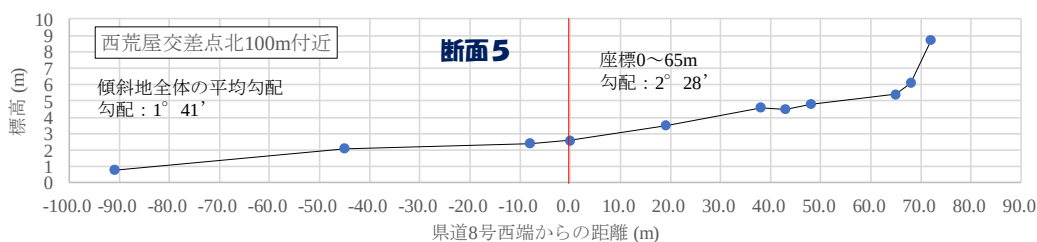
## 断面5：県道8号が隆起・ずれた断面の特性

### 断面1～4（道路の隆起が無い）との比較と差異

- ・傾斜地全長 156m < (断面1～4：208～254m)
- ・勾配 1° 41' / 2.9% > ( 同 : 0° 51' ～1° 21' / 1.5～2.4%)
- ・道路砂丘側の傾斜地長 65m < ( 同 : 108～164m)
- ・勾配 2° 28' / 4.3% > ( 同 : 0° 54' ～1° 25' / 1.6～2.5%)
- ・道路標高 2.4～2.6m > ( 同 : 1.9～2.3m)

### 道路が隆起した原因（推察）

- ・傾斜地長は短いものの、勾配がやや大きい、これら以外に、地下水位が高く、液状化層厚が厚いあるいは液状化の発生特性（深度および程度）が顕著であることなどが想定される。
- ・今後の調査、検証が必要。



45

## 断面5（県道8号大変状）と断面2（県道8号変状軽微）および式（1）と式（2）の比較

断面5：西荒屋交差点の北100m  
道路が隆起した傾斜地：県道8号から65m位置

流動範囲の上端

$$D = 2.07 \times 10^{-5} \cdot L^{1.96} \cdot H_L^{0.295} \cdot H_{NL}^{-0.276} \cdot \theta_s^{0.978}$$

$$\begin{aligned} L &= 65\text{m} & L^{1.96} &= 3575.28 \\ HL &= 9\text{m} & HL^{0.295} &= 1.912 \\ HNL &= 0.5\text{m} & HNL^{-0.276} &= 1/0.826 \\ \theta_s &= 2^\circ 28' = 4.31\% & \theta_s^{0.978} &= 4.174 \end{aligned}$$

$$2.07 \times 10^{-5} \times 3575.28 \times 1.912 / 0.826 \times 4.174 = 7104.3 / 100000 = 0.71\text{m} = 71\text{cm}$$

式（1）：濱田らによると、  
 $0.75 \times 3 \times 1.627 = 3.66\text{m}$

断面2：野地傾斜地  
県道8号から95m位置

流動範囲の上端

$$D = 2.07 \times 10^{-5} \cdot L^{1.96} \cdot H_L^{0.295} \cdot H_{NL}^{-0.276} \cdot \theta_s^{0.978}$$

$$\begin{aligned} L &= 95\text{m} & L^{1.96} &= 7522.09 \\ HL &= 9\text{m} & HL^{0.295} &= 1.912 \\ HNL &= 0.5\text{m} & HNL^{-0.276} &= 1/0.826 \\ \theta_s &= 1^\circ = 1.75\% & \theta_s^{0.978} &= 1.729 \end{aligned}$$

$$2.07 \times 10^{-5} \times 7522.09 \times 1.912 / 0.826 \times 1.729 = 62317.7 / 100000 = 0.62\text{m} = 62\text{cm}$$

cf.実測（概測）70cm

濱田らによると、  
 $0.75 \times 3 \times 1.205 = 2.71\text{m}$

式（2）は、71cmと62cm：大差は無い。 1.15倍

式（1）は、3.66mと2.71m：比較的差が大きい。 1.35倍

46



## 効果的、合理的な地盤流動対策の視点

式(2)～式(5)により、流動変位量 ( $D$ ) を抑止あるいは抑制する方法は、以下の4つが想定できる。

**方法1：流動範囲水平長 ( $L$ ) を低減する。**

＊流動を誘発する液状化対象層を傾斜方向で仕切り、流動範囲を狭める。

**方法2：液状化層厚 ( $H_L$ ) を低減する。**

＊液状化対象層を薄くするが、液状化の発生度合いを低減してもよい。  
従来の液状化対策が相当する。

**方法3：表層の非液状化層厚 ( $H_{NL}$ ) を増加する。**

＊液状化対象層の上載荷重を増加する。方法2が関係する。

**方法4：地表面の勾配 ( $\theta_s$ ) を低減する。**

＊傾斜地の勾配を緩和、できれば平坦化する。

さらに、算定式の各要因の「べき数」の大小から推測できるのは、

- ・流動範囲水平長 ( $L$ ) のべき数が最も大きい (2程度) →  $L$  の低減が最も効果的。
- ・次に、勾配 ( $\theta_s$ 、べき数1程度) の低減。
- ・さらに、液状化層厚 ( $H_L$ 、べき数0.3程度)  
と非液状化層厚 ( $H_{NL}$ 、べき数-0.3程度) の低減。

現地の状況に応じて、上記の方法1～4の適用性と実現性の検討が必要。

47

## 3地区における現地調査からのまとめ・知見・課題 (1)

令和6年(2024年)能登半島地震による石川県内灘町で顕在化した地盤流動および住宅などの被害に関する現地調査および入手できた既往資料の範囲内において、以下の知見が得られた。

- 1) 地盤流動が発生したのは、内灘砂丘と河北潟干拓地に挟まれた幅250m程度、標高0.0mから4.0～6.0m程度であり、平均勾配1°～1.5°(1.75%～3.17%)の傾斜地である。
- 2) 傾斜地の地盤は、河北潟のシルト質粘土層の上に、砂層(細中砂あるいは中砂)が堆積しているが、上部は緩く、下部は締まっており、砂層は砂丘に向かって深くなるとともに、砂層の下部の締め固まった層が厚くなり、他方、上部の液状化、側方流動が発生しやすい緩い層が薄くなる層構造である。
- 3) 地盤流動による表層の変状は、ずれ・亀裂・段差・噴砂であるが、それらは部分的、局所的に発生しているが、地表層の沈下・隆起・圧縮・伸張などの変状として広範囲、広域的な広がりを呈している。
- 4) 現地計測に拠れば、県道8号の沿道における地盤の隆起は概ね60～110cmまでであり、側溝・コンクリート板の突き上げなどが顕著に見えるが、発生している水平変位量は概ね20～35cm程度であり、それほど大きくは無い。しかし、僅かな変位でも住宅などの甚大な被害に繋がっている。

48

## まとめ・知見・課題（２）

- 5) 県道8号の隆起あるいは沈下が見られる箇所もあるが、道路の変状は無く、干拓地側の沿道の変状は比較的軽微であり、砂丘側の沿道の隆起が顕著である。これは、道路構造（舗装・路床）により地盤流動が抑止、抑制されていると推定される。
- 6) 地盤流動の抑止、抑制に関わる要因として、(1) 県道8号、(2) 建築物等の基礎構造、(3) 道路などの盛土構造、(4) 水路の護岸構造、(5) 傾斜地上端付近の砂丘の隣接地盤構造が推定される。
- 7) 傾斜地の地盤流動の発生機構は、地表部の概ね200gal程度の地震動により、地下水位が高い（0.5m程度）傾斜地の緩い（N値が20程度以下）細中砂層あるいは中砂層（層厚7～10m程度）が液状化し、僅かな傾斜であるが、局所的なずれ・亀裂・段差・噴砂の発生とともに、傾斜地の表層部の土塊ブロックは沈下・隆起・圧縮・伸張したと推定される。
- 8) 地盤流動の対策の視点は、(1) 流動範囲水平長の低減、(2) 液状化層厚を低減、(3) 表層の非液状化層厚の増加、(4) 地表面の勾配の低減が想定される。

以上の通り、今後は、8) の対策の視点を具体化する**ハード対策**の検討、考案が必要である。

### 参考文献（１）：現地調査関係

- 1) 濱田政則・安田 進・磯山龍二・恵本克利：液状化による地盤の永久変位の測定と考察，土木学会論文集，NO.376／Ⅲ-6，pp.211-220，1986.
- 2) 東 拓生・常田賢一・松本秀應・東畑郁生：液状化による地盤流動量の簡易予測，土木学会年次学術講演会，講演概要集，第3部，47巻，pp.262-263，1992.
- 3) （公社）日本道路協会：道路橋示方書 V 耐震設計編，平成29年11月.
- 4) 内灘町：液状化マップ，HP，[https://www.town.uchinada.lg.jp/uploaded/life/1734\\_5630\\_misc.pdf](https://www.town.uchinada.lg.jp/uploaded/life/1734_5630_misc.pdf)，閲覧 2024年3月.
- 5) 国土地理院：GIS Maps，入手先 <https://maps.gsi.go.jp/>
- 6) （一財）国土地盤情報センター：災害復旧支援 地盤情報緊急公開サイト NGiC，<https://publicweb.ngic.or.jp/emergency-1/>，閲覧 2024年3月.
- 7) 内灘町：河北潟干拓事業，HP，<https://www.town.uchinada.lg.jp/soshiki/soumu/2702.html>，閲覧 2024年3月.
- 8) 常田賢一：防災・減災、国土強靱化のための性能評価の最適化の実務－個別最適から全体最適への展開－，（一社）地域国土強靱化研究所，東京官書普及（株），330p.，2023.
- 9) 防災科学技術研究所：強震観測網（K-NET，KiK-net），入手先 <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 10) 安田 進・石川敬祐：令和6年能登半島地震の現地調査報告，地盤工学会，公開日：2024/02/06

### 参考文献（２）：現地調査報告関係

- 1) 常田賢一・島 馨・土橋聖賢・小野田 敏：令和6年能登半島地震による液状化・地盤流動の現地調査からの知見－内灘町の地盤変状および住宅被害に基づく地盤流動特性および対策方法の考察－，**地盤工学会誌**，寄稿，Vol.72，No.7，pp.1-4，2024.
- 2) 常田：令和6年能登半島地震における地盤流動に関する現地調査からの考察－地盤流動特性と地盤流動対策の概念－，（一社）地域国土強靱化研究所，LRRi技術資料，Vol.12，No.4，増補版，pp.1-22，2024.3

地盤流動対策をどう考えるか！

1) 既往の地盤流動対策から学ぶ

**2011年東北地方太平洋沖地震**：千葉県香取市の河川護岸で地盤流動が発生／対策の検討・実施  
**2016年熊本地震**：熊本市の河川護岸で地盤流動が発生／対策の検討・実施

熊本市の液状化対策技術検討委員会  
・2011年東北地方太平洋沖地震による液状化および側方流動の取り組み状況を下表で整理。  
・地下水位低下工法（排水管方式あるいは汲み上げ井戸方式）および格子状地中壁工法は液状化対策であり、側方流動対策工法は香取市での事例。 **\*側方流動対策の事例は僅か、しかも河川護岸付近。**

以下、地盤流動対策について、**香取市**および**熊本市**の事例を概観する。

| 工法名           | 地下水位低下工法<br>(排水管方式)                      | 地下水位低下工法<br>(汲み上げ井戸方式) | 格子状地中壁工法       | 側方流動対策工法        |
|---------------|------------------------------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| 対策の考え方        | 地下水位を低下させめり込み沈下を軽減する                     |                        | 地震による地盤の変形を抑える | 液状化に伴う側方流動を防止する |
| 他地域での<br>施工実績 | ・茨城県神栖市<br>・茨城県鹿嶋市<br>・千葉県千葉市<br>・埼玉県久喜市 | ・千葉県我孫子市<br>※委員会での検討のみ | ・千葉県浦安市        | ・千葉県香取市         |

51

地盤流動対策事例1  
**香取市**

2011東北地方太平洋沖地震 **\*特に、地盤流動対策について**

**浦安市**の検討：H23.7～11→12月：市民報告会  
H25.3 現場実験 → 工法変更 H28.9 報告書

第1回 香取市液状化対策検討委員会

議事次第

日時：平成24年11月1日（木）10：30～12：00  
場所：香取市役所 501・502会議室

香取市液状化対策検討委員会

| 氏 名   | 所 属 等                                |
|-------|--------------------------------------|
| 石井 良典 | 千葉県建設業協会 香取支部長<br>(石井工業株式会社)         |
| 石原 研而 | 中央大学研究開発機構 教授                        |
| 古関 潤一 | 東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門<br>基礎地盤工学研究室 教授 |
| 中井 正一 | 千葉大学大学院工学研究科 教授                      |
| 中村 徹立 | 国土交通省関東地方整備局<br>利根川下流河川事務所 所長        |
| 林 清一  | 千葉県建築士会 香取支部長<br>(林一級建築士事務所)         |
| 松下 克也 | 株式会社ミサワホーム総合研究所 部長                   |

(50 音順・敬称略)

液状化対策事業計画策定検討

- ・ 地区の状況
- ・ 液状化の検証
- ・ 再液状化の診断
- ・ モデル地区の設定
- ・ 液状化対策のための工法検討
- ・ 液状化対策事業計画(案)の作成

52

52





**液状化対策** 検討箇所

## 地盤流動：側方流動が顕在化した箇所

**佐原市街地：十間側川、小野川**

利根川



十問川

**小野川**

53

53

## 地盤流動の発生

**\* 河川護岸での  
地盤の高低差  
に起因**



液状化の噴砂で埋まった小野川



小野川沿いの道路の地盤流動  
\* 水平変位：数十cm（目測）



液状化により埋まった十間川  
\* 噴砂と地盤のずれがある<sup>54</sup>

### 沈下・水平移動の状況例

＊十間川の一部抜粋

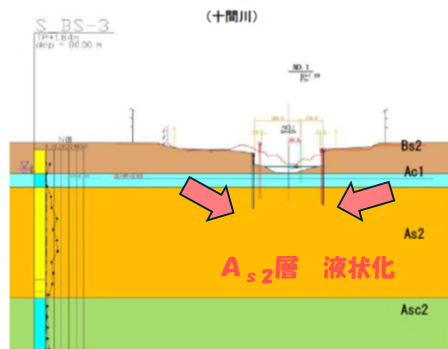
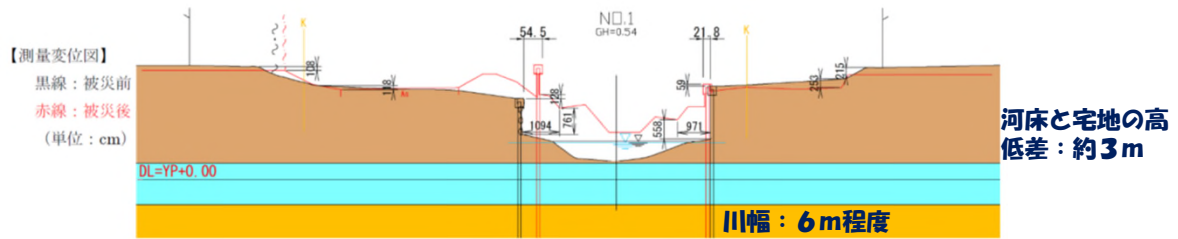
### 兩岸の川側への水平変位

：主な計測点を抜粋  
左岸：5か所 0.3～0.8m程度  
右岸：7か所 0.2～1.0m程度

54

## 地盤流動の発生状況例

十間川（十間川・小野川合流箇所付近）



被害

- ・河床隆起
- ・護岸（壁高2.1m：鋼矢板）のずれ、せり上がり
- ・沿川道路のずれ、隆起
- ・住宅の沈下、傾斜 など

ボーリング孔口標高：1.8m

地下水位：2m

As2層：-3.4～-13.6m

層厚 約10m

N=2～15

シルト混り細砂

55

55

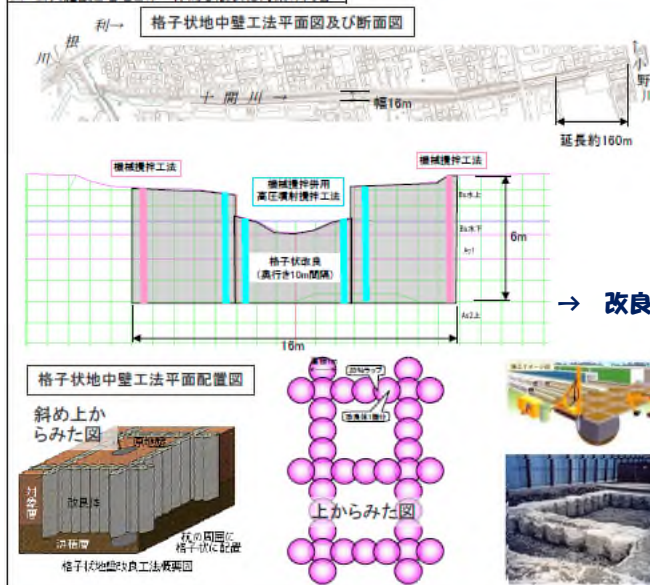
事業概要 東北地方太平洋沖地震（2011.3.11）により公共施設（市道、河川、ライフライン等）及び住宅に液状化被害があり、十間川では側方流動が生じた。将来、発生が想定される地震による液状化被害を軽減するため、十間川でセメント系固化材等による地盤改良を実施し、液状化に対する抵抗力を増強する事業である。

第7回委員会 2013.12  
資料8

軽減：防止ではない、できない

抵抗力の増強が目的ではなく、直接的には「側方流動の抑制」

### 四 公共施設と宅地との一体的な液状化対策の内容



### 第7回時点の対策工法

→ 第9回委員会 変更  
陸上部の機械式攪拌工法は外す。  
護岸背後の2列も外す。  
河床の直下に限定。

→ 改良深さは、As2層の上部の約2.5mまで。

\* 改良体の沈下？

\* 流動抑制効果の程度？

→ 第9回委員会 変更  
河床下の改良長は5m。  
As2層の途中まで。  
改良範囲の両側は護岸の  
既設鋼矢板（Asc2層まで）を存置。  
台船施工。

56

56



対策工（側方流動対策）の詳細

地盤流動対策の目標：閾値の設定

- 対策工の地盤改良工は以下の閾値を目標に、範囲を設定した。
  - ①タイプ1地震に対しては、宅地の液化化程度が軽微となることを目標に、水平変位5cm以下とする。
  - ②タイプ2地震に対しては、宅地に有害な変位が生じないよう、宅地境界から10mの範囲でひずみ0.3%以下とする。
- 対策工の地盤改良は、変位抑制効果の高い河床部を中心に実施し、必要に応じて護岸部分を改良する。
- 対策工の地盤改良は改良率50%以上の格子状改良を基本に設定した。
- 施工方法は、高圧噴射方式を設定した。

第9回委員会 2015.4 資料5

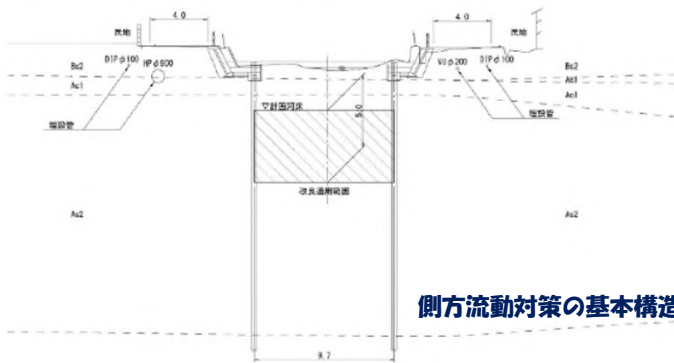
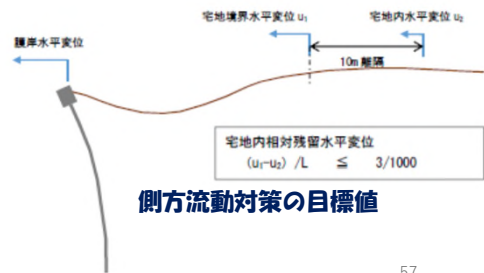


表 1.2 側方流動対策の目標値（参考）

| 項目                         | 閾値               |
|----------------------------|------------------|
| 宅地境界位置残留水平変位量<br>（タイプ1地震動） | 5cm 以下           |
| 宅地内相対残留水平変位<br>（タイプ2地震動）   | 3/1000 (0.3%) 以下 |

※詳細は、3章で記述



側方流動対策の基本構造

側方流動対策の目標値

57

57

- 検討対象断面は、被害の大きさ、護岸の形式、背後の条件、地盤条件に配慮して、十間川は5断面、小野川では3断面を選定した。
- 工学的基盤面における入力地震動として、タイプ1、タイプ2の2波形を設定した。なお、タイプ2地震動はk-net 佐原での観測記録を基盤に戻した継続時間の長い波形とした。
- 解析コードは2次元有効応力解析プログラムFLIPを用いた。
- 対策目標は、タイプ1地震動に対して地盤の変位がほとんど生じないこと、タイプ2地震動に対しては側方流動による宅地への影響がほとんど生じないこととした。

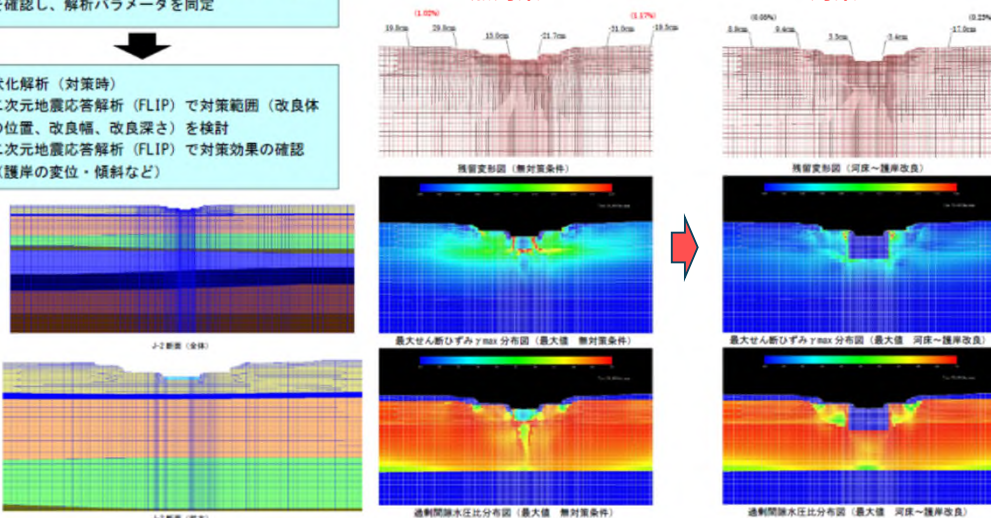
第9回委員会  
2015.4  
資料5

- ②液状化解析（無対策時）
- 二次元地震応答解析（FLIP）で被害実態との整合を確認し、解析パラメータを同定

- ③液状化解析（対策時）
- 二次元地震応答解析（FLIP）で対策範囲（改良体の位置、改良幅、改良深さ）を検討
  - 二次元地震応答解析（FLIP）で対策効果の確認（護岸の変位・傾斜など）

図 4.2 十間川標準断面（J-2 断面）の検討結果（タイプ2地震動）

無対策 1.17% → 対策 0.25%



宅地内のひずみが閾値以下。

河道近傍の液状化・地盤ひずみは、改良体の設置により抑制・低減。

なお、河道から離れた領域では、改良体の効果は及ばず、液状化は発生。  
\* 対策効果は、河道の地形変化部近傍に限定。  
→ 地形変化が広い傾斜地はどうか？ 内灘町

58



## 地下水の阻害の検証 第9回委員会

### ④地下水解析（三次元浸透流FEM解析）

- ・上記③で決定した対策範囲で地盤改良を施工した場合、地下水の流動阻害が生じるかどうかを検討

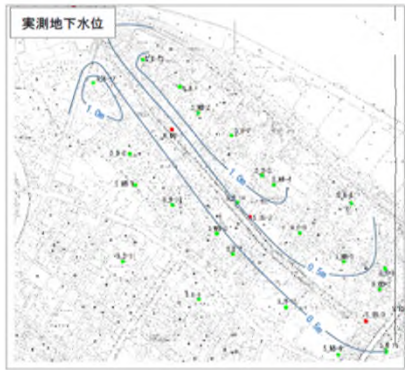


図 6-1 側方流動を抑制するための改良を行った場合の地下水位コンター図

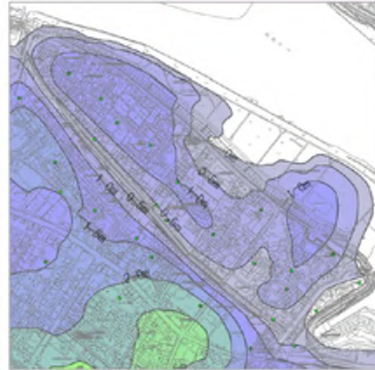


図 6-2 地下水位変化量コンター図

- 側方流動を抑制するための改良を行った場合、地下水は改良範囲の周辺で僅かに上昇し、低下することが予測された（最大0.4m）。
- 地下水位が一部で上昇し、低下するが、地下水位のもともと高い場所であることから、影響の程度は小さいと考えられる。

59

59

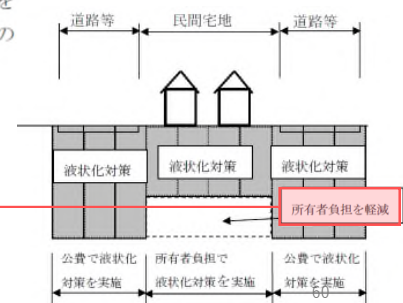
## 液状化対策事業 2011年東北地方太平洋沖地震の被害を受けて創設された制度を活用

道路・下水道等の公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策：

### 補助要件

1. 東日本大震災復興特別区域法に規定する復興整備計画又は復興交付金事業計画の区域、その他国土交通大臣が東日本大震災による液状化被害があると認める市町村内で行うもの
2. 液状化対策事業計画の区域内で行うもの
3. 液状化対策事業計画の区域の面積が3,000平方メートル以上でありかつ、区域内の家屋が10戸以上であるもの
4. 液状化対策事業計画の区域内の宅地について所有権を有する全ての者及び借地権を有する全ての者のそれぞれ3分の2以上の同意が得られているもの（すべてのものの同意を得ることが望ましい）
5. 公共施設と宅地との一体的な液状化対策が行われていると認められるもの

“所有者負担の軽減”のためには、  
公費の対策が民間宅地の液状化（被害）を軽減する  
ことの検証、明示が必要！



60

香取市の地盤流動被害・対策からの参考事項

- 1) 小規模河川の近傍で、液状化に起因する地盤流動が顕著に発生していること。  
\* 河川の近傍での地盤流動
  - 2) 地盤流動の素因は、河床と周辺の道路、宅地などとの高低差（例：3m程度）があること。  
\* 平坦地での局所的な地盤の高低差が関係
  - 3) 地盤流動対策は、公共施設と宅地との一体的な液状化対策として検討されていること。  
\* 財政支援と住民自身の対策
  - 4) 地盤流動対策は、防止・抑止ではなく、水平変位・地盤ひずみの軽減・抑制であること。  
\* 対策の目安：閾値を設定して、数値解析により検証
  - 5) 地盤流動対策は、公共施設である河川の区域内で実施されていること。  
\* 事業制度の主旨、施工の制約・周辺への影響の低減
  - 6) 地盤流動の対策工法は、格子状改良工法にしていること。  
\* 浦安市の液状化対策を参照
  - 7) 対策の効果は、河道の地形変化部近傍に限定されること。  
\* 宅地境界から10m以内、それ以外は液状化が発生
  - 8) 格子状改良工法では、地下水阻害が検討されていること。  
\* 結果：問題はない程度
- ・・・など。

61

61

地盤流動対策事例2

熊本市  
2016年熊本地震 特に、地盤流動について

熊本市液状化対策技術検討委員会

熊本市液状化対策技術検討委員会名簿

委嘱期間 29. 6. 1～31. 3. 31

| 専門分野          | 氏 名    | 所属又は職名                         |
|---------------|--------|--------------------------------|
| 地域防災          | 北園 芳人  | 熊本大学 名誉教授                      |
| 建築構造<br>防災    | 友清 衣利子 | 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授             |
| 地盤工学<br>(液状化) | 永瀬 英生  | 九州工業大学大学院工学研究院<br>建設社会工学研究系 教授 |
| 地盤工学<br>(液状化) | 村上 哲   | 福岡大学工学部社会デザイン工学科 教授            |
| 地下水学          | 市川 勉   | 東海大学大学院産業工学研究科 教授              |

3. 出席者

(1) 委員

北園芳人会長 市川勉副会長 永瀬英生委員 村上哲委員 友清衣利子委員

(2) 国土交通省都市局都市安全課

松下企画専門官

(3) 熊本県

<建築課>

上妻課長、尾上政策監、原井審議員、小松主幹

(4) 事務局

○熊本市

<熊本市長>

大西一史

<都市建設局>

田中技監 小路総括審議員

<震災宅地対策課>

上野課長 山部副課長 上村技術主幹 久保田技術参事 米野主任技師 須納瀬主任技師 安達技師

2017.6 第1回

↓

2024.2 第20回

・対策計画

・実証実験

・工事

・モニタリング など

〇オブザーバー：熊本県

62

62

白川沿岸部で枝分かれするように、3つの液状化の帯が見える。  
一部で旧河道が確認される箇所があるが、ほとんどが微高地（自然堤防）の一部で帯として生じている。



近見地区  
宅地  
液状化対策

秋田地区  
河川近傍  
流動対策

特に、  
対策工法に注目

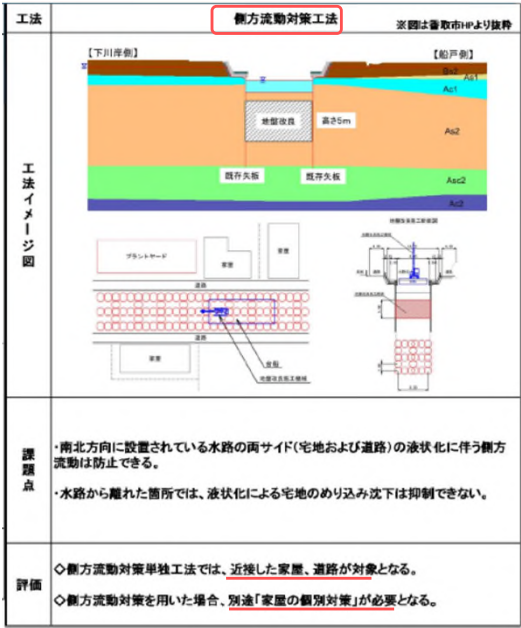
地盤工学会平成28年度熊本地震地盤災害調査団液状化班報告(平成28年5月11日)

治水地形分類図と噴砂箇所の重ね図

5

63

63



香取市の例

河道：公共空間を利用した地盤改良  
家屋は別途、液状化対策が必要

64

64



## 流動対策工の検討

### 河川に隣接する地区の 地盤流動

\* 河床と護岸背後との地表面  
の高低差などに起因

第10回熊本市液状化対策技術検討委員会

説明資料

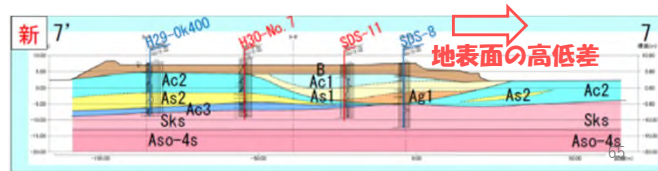
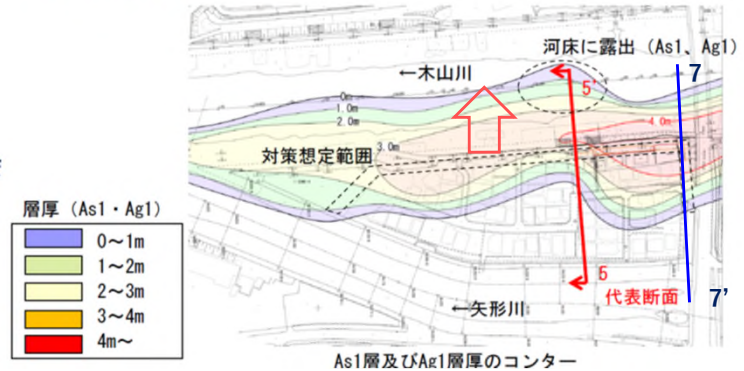
【秋津町秋田地区】

熊本市

令和元年11月8日

### 大きく流動したと想定される層の厚さ (As1層及びAg1層)

As1層及びAg1層は、木山川側だけに分布する。これらの層は、木山川の河床に露出しており、液状化によって木山川側へ大きく流動したと推定する。



65

## 改良諸元の設定

・各設定諸元は、次の方針とした。

### ①改良幅について

改良体全体の安定計算（滑動、転倒、支持力）を行い、満足する改良幅を設定した。

・改良諸元は、改良強度、根入れ、改良率を設定した後に、細分区分毎に改良壁の安定性（滑動、転倒など）が確保できる改良幅を設定した。

### ②改良深度について

流動層の流動抑止及び、改良体の沈下抑止を目的に、液状化下端より下位のSks層（島原海湾層）に1m根入れする。

### ③改良強度について

原則として、一般値の $q_0=500\text{kN/m}^2$ 以上とした。

### ④改良率apについて

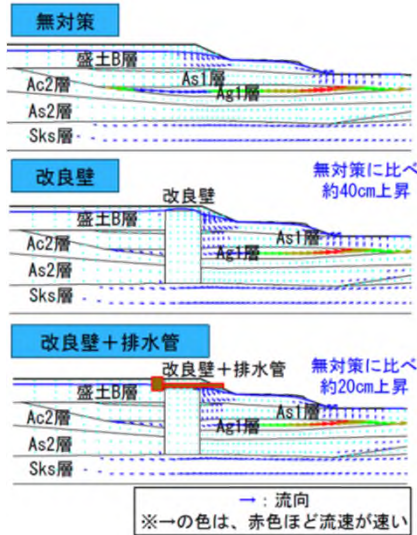
改良深度が13mを超えるため、深層混合処理工法を想定する。  
流動を抑止することを目的とするため、改良率ap=78.5% (接円)

66

66

## 改良壁の設置に付随する 課題の発生と対処の必要

### 地下水の流動阻害



- ・改良壁の打設により、無対策に比べ約40cm水位が上昇する。
- ・改良壁を横断する排水管の設置により、水位上昇を約20cmに抑えることができる。
- ・地下水の上昇は、地盤の支持力低下を引き起こすため、**排水管を設置し、水位の低下を図る。**

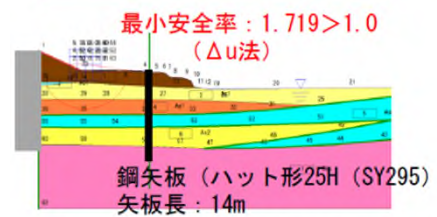
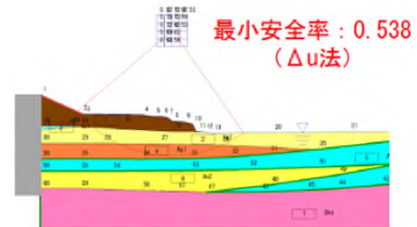
#### 維持管理上の課題

- ・排水管の機能保持
- ・水位低下の確認

### 改良壁前面の法面崩壊

- ・改良壁を含む法面の崩壊を防止することを目的として、補助工法（鋼矢板）が必要となる。

#### 改良壁は、前面の法面の安定が前提で設計



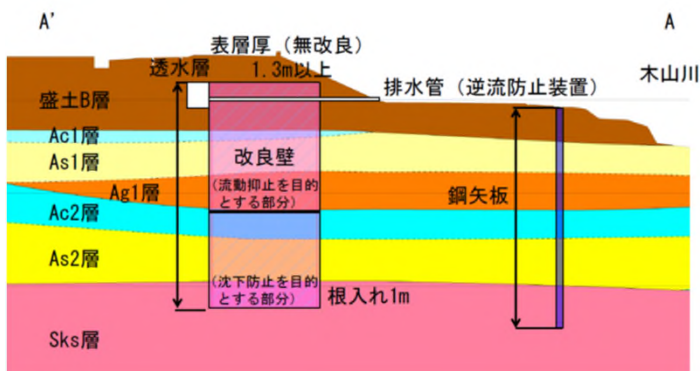
区間C (5-5' 断面) における検討結果

67

## 面的・地域的な地盤流動対策とは！

“改良壁＋排水管＋鋼矢板”の組合せ技術・工法 → **全体最適**  
**複合構造最適**  
**部材間複合構造最適の姿勢**

#### 検討結果を踏まえた対策工の概要図



#### 検討結果を踏まえた対策工の概要図



68

## 熊本市の地盤流動被害・対策からの参考事項

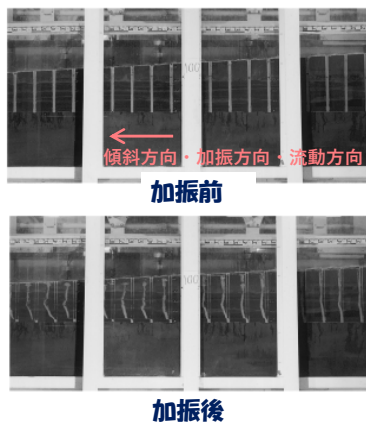
- 1) 中規模河川（木山川）の護岸付近で、液状化に起因する**地盤流動**が発生していること。  
\* 顕著な地盤流動は1箇所だけで、その他は液状化被害が主体
  - 2) 地盤流動の素因は、河床と護岸背後との高低差であること。  
\* 河川の護岸付近の地盤流動
  - 3) 地盤流動対策は、公共施設（道路、下水道など）と宅地との一体的な液状化対策として検討されていること？ \* 該当しているか未確認、護岸に隣接した宅地に被害ある？  
\* 木山川以外多くの地域では「宅地液状化防止事業」の下、地下水位低下工法（排水管方式、遮水矢板併用）を検討。
  - 4) 地盤流動対策は、河川区域内で実施されている？ \* 未確認
  - 5) 地盤流動対策は、深層混合処理工法（改良率78.5%）による改良壁の設置が想定されていること。  
\* 接円改良であり、格子状改良ではない
  - 6) 深層混合処理工法は、滑動・転倒・支持力の検証により地盤流動の防止を図っていること。
  - 7) 改良壁により地下水阻害および前面法面の崩壊の発生が想定され、それぞれ排水管および鋼矢板の補助工法が必要とされていること。  
\* 主対策に付随した変状が発生と措置
- ・・・など。

69

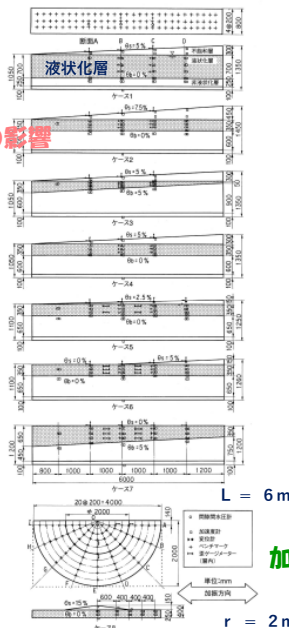
69

## 2) 大型土槽振動台実験から示唆される地盤流動の特性

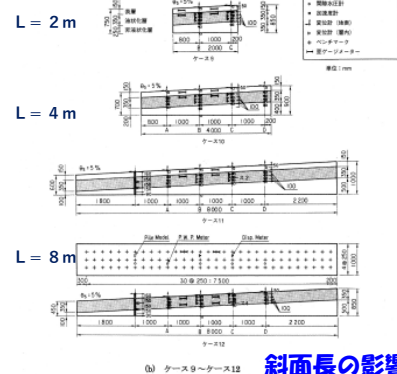
1990年頃の実験  
土木研究所大型振動台：8m×8m  
土槽：長さ8m・高さ2m・奥行2m



液状化層・勾配の影響



加振方向の影響

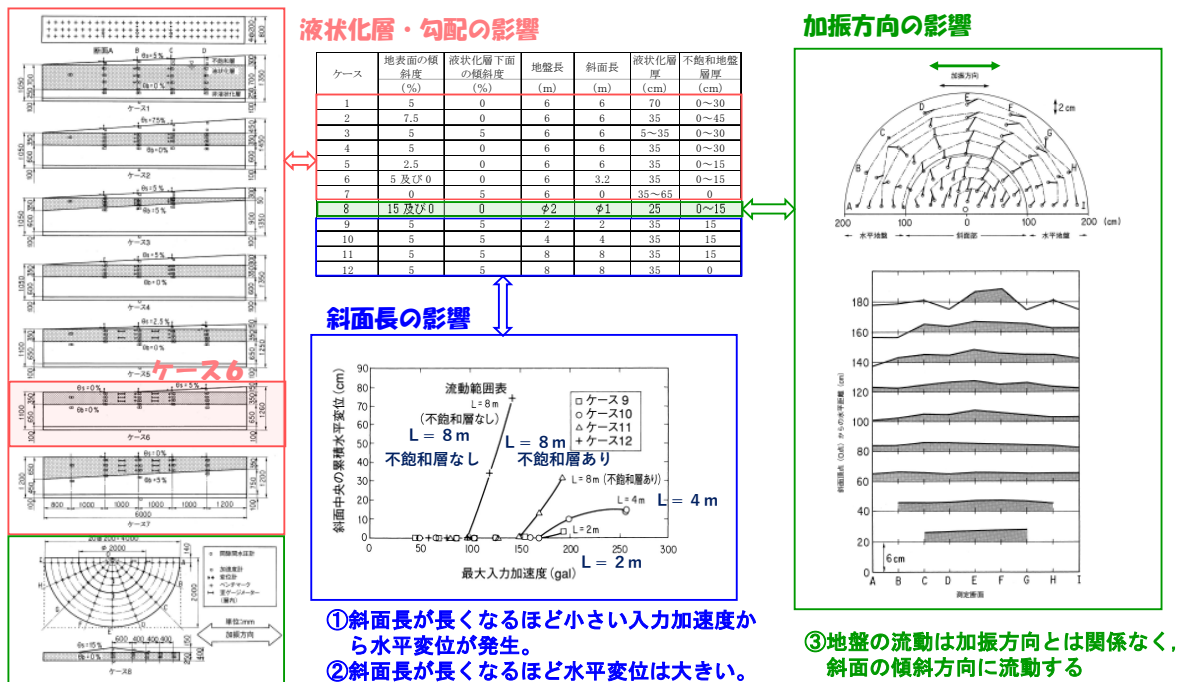


斜面長の影響

- 要因
- ① 液状化層厚
  - ② 地表面勾配
  - ③ 液状化層下面勾配
  - ④ 加振方向
  - ⑤ 斜面長

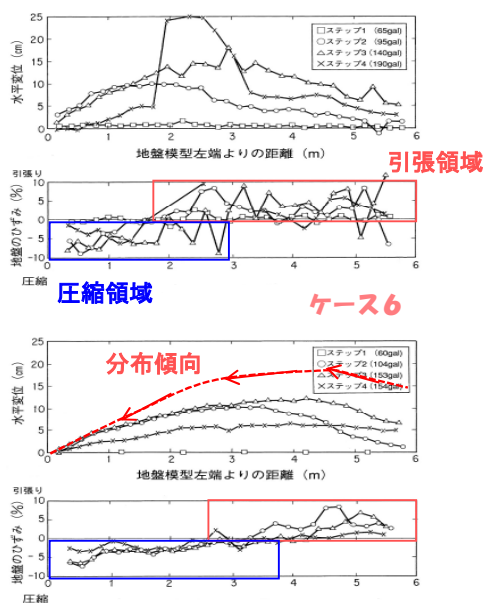
70



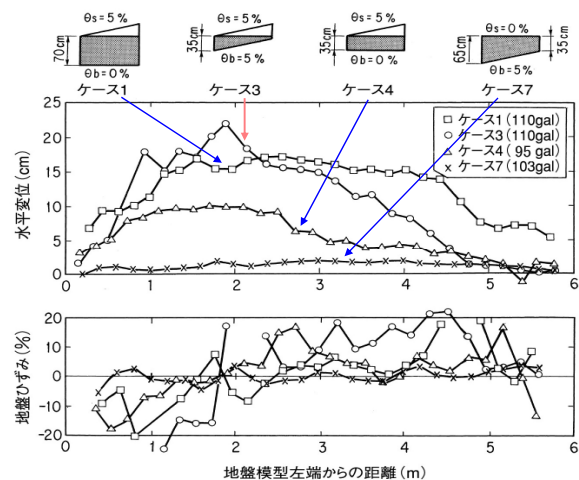


71

- ④上端から下端に向けて、水平変位が低減。  
⑤流動により地表面は圧縮、伸張。



- ⑥地表面が水平の場合でも、液状化層下面が傾斜していると、流動が発生。ただし、僅か。【ケース7】  
⑦液状化層が水平でも、地表面が傾斜している場合には流動が発生。顕著に。【ケース1, 4】  
⑧地表面と液状化層が傾斜していると流動が顕著。【ケース3】



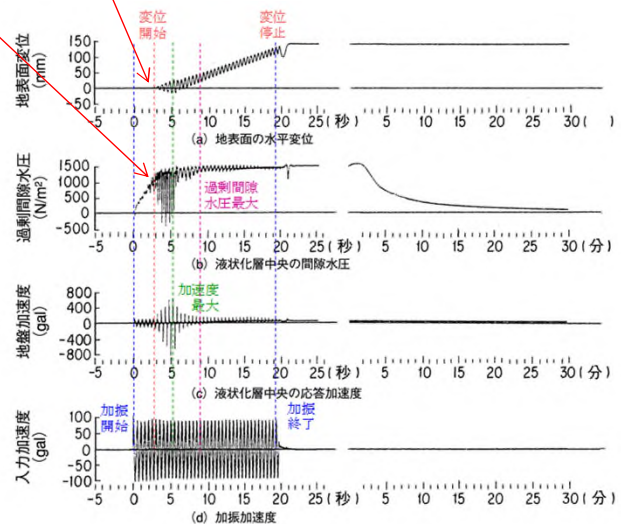
72

## 地盤流動はいつ、始まるか？

- i) 過剰間隙水圧は、加振開始と同時に増加を開始し、最大（完全液状化状態）に達した後、加振中は最大を維持。
- ii) 地盤加速度は、過剰間隙水圧が最大になる前まで増加し、その後、急減。
- iii) 地表面の流動変位は、過剰間隙水圧があるレベルに至ると増加を開始し、その後、加振停止まで増加が継続。

言い換えると、  
過剰間隙水圧（比）が  
あるレベル以下では、  
顕著な流動は発生しない。

あるレベルとは、どの位のレベルか？  
→ 次ページ



73

## 地盤流動が始まる過剰間隙水圧比は？

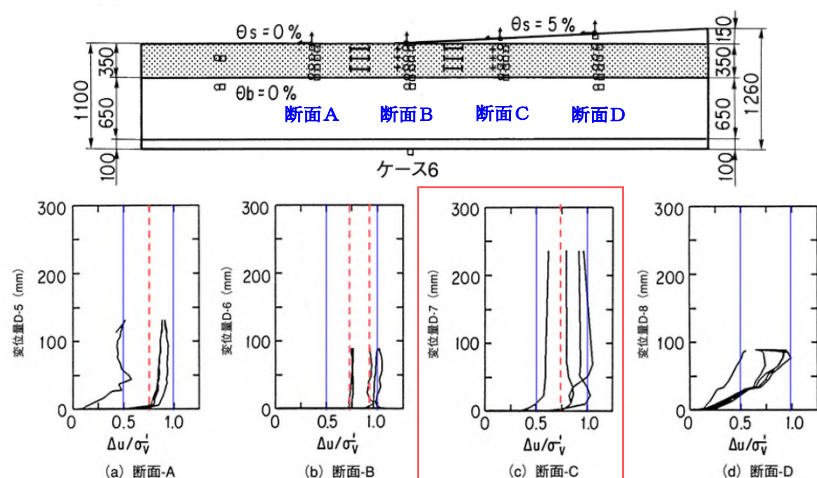
ケース6のステップ2（加速度振幅104gal）の場合

断面A～Dの地表面の変位量と液状化層内の4～5深度の過剰間隙水圧比の関係。

傾斜部で流動変位量が大きい断面Cに着目すると、

- ① 過剰間隙水圧比がほぼ0.3～0.8、特に、0.6～0.8の領域で水平変位が発生し始める。
- ② 過剰間隙水圧比がほぼ0.8～1.0の領域で変位量は急増する。

言い換えると、  
過剰間隙水圧比があるレベル  
（例えば、0.6程度）までは  
流動は発生しない。



74

## 大型土槽模型振動台実験からの知見

- 1) 地盤流動量は、**斜面長**を減ずると抑制できる。
- 2) 液状化層の**過剰間隙水圧比**があるレベルに達するまでは、**地盤流動**は発生しない。

## 現地調査に対する知見（前述）

- 1) **流動範囲水平長**の低減
- 2) **液状化層厚**を低減
- 3) 表層の**非液状化層厚**の増加
- 4) 地表面の**勾配**の低減

## 地盤流動対策事例：地盤改良工法からの知見（前述）

- 1) 本工法に加えて、**補助工法**で全体最適を図ること
- 2) **地下水流**を阻害しないこと

## 以上から、対策技術・工法の視点

**対策1：流動範囲の抑制。** → (1) 道路舗装・路床の強化 (2) 地盤改良／地中壁など・・・

**対策2：非液状化層厚を増加。** → (1) 地下水位低下 (2) 地盤改良／固結など・・・

**対策3：液状化層の過剰間隙水圧比の上昇を抑制／有効上載圧を増加。**  
→ (1) 地下水位低下 (2) 上載荷重の増加／盛土など・・・

**対策4：地表面の高低差・勾配の低減。**  
→ (1) 平坦化 (2) 不陸整正・整地・・・

75

## 工法例：地盤改良による地盤流動抑制／壁式地盤改良工法

### 本工法としての機能

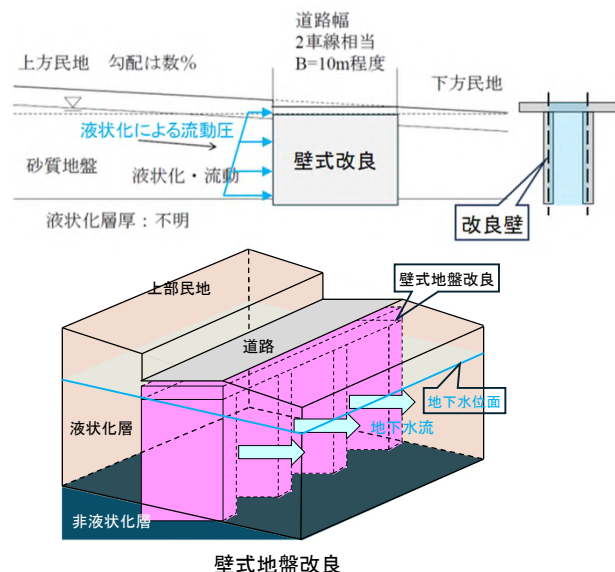
- ① 液状化及び側方流動の抑制
- ② 路面の安定性及び平坦性の確保
- ③ 道路の変形の抑制（不陸防止含む）
- ④ 民地の流動量の抑制
- ⑤ 傾斜地方向の地下水流阻害の抑止・抑制

### 有効な補助工法

- ① 舗装・路床の強化
- ② 排水性の確保・向上
  - ・ 傾斜地方向：排水ボーリング、暗渠・・・
  - ・ 道路縦断方向：ふとんかご工・・・

\* 格子状地中壁は、地下水流を阻害。

\* 傾斜地は自然流下のため、汲み上げ井戸方式は不要。



(一財) 土木研究センター・壁式改良工法研究会

壁式改良工法 <[https://www.pwrc.or.jp/nanjiyaku\\_jiban/j2023\\_2.html](https://www.pwrc.or.jp/nanjiyaku_jiban/j2023_2.html)>

76

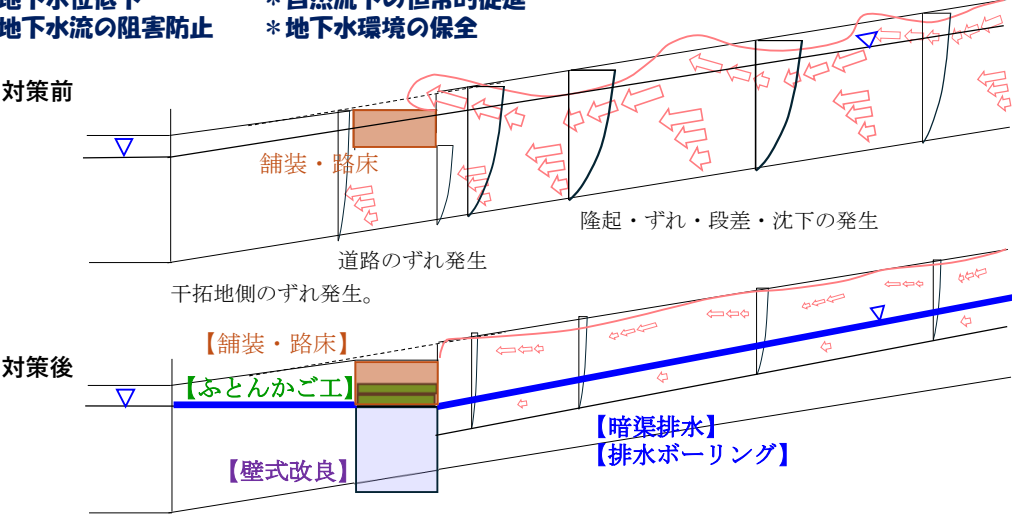
76



工法の組合せ：部材間複合構造最適による地盤流動対策のイメージ例  
本工法：壁式改良工法および補助工法：舗装・路床、ふとんかご工、暗渠排水・排水ボーリング

期待する地盤流動の抑制機能

- 1) 地盤流動範囲の狭隘化
- 2) 地下水位低下
- 3) 地下水流の阻害防止
- \* 道路空間の活用
- \* 自然流下の恒常的促進
- \* 地下水環境の保全



77

77

まとめ：液状化対策と地盤流動対策 既往と今後

|        |                                      |                        |                                       |                        |                        |                           |
|--------|--------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| 地盤変状原因 | 液状化                                  |                        |                                       |                        |                        |                           |
| 地盤変状形態 | 鉛直方向：沈下                              |                        |                                       | 水平方向：地盤流動／亀裂・段差・沈下・傾斜  |                        |                           |
| 変状範囲   | 点・線・面：1次元・2次元空間                      |                        |                                       | 線・面：2次元・3次元空間          |                        |                           |
| 地形条件   | ほぼ平坦地                                |                        |                                       | 高低差地：海岸護岸・河川護岸         |                        | 傾斜地                       |
| 対策対象   | 液状化                                  |                        |                                       | 地盤流動／側方流動              |                        |                           |
| 本工法    | 地下水位低下工法<br>(排水管方式)                  | 地下水位低下工法<br>(汲み上げ井戸方式) | 深層混合処理工法<br>(格子状地中壁工法)                | 深層混合処理工法<br>(格子状地中壁工法) | 深層混合処理工法<br>(接円改良工法)   | 深層混合処理工法<br>(壁式改良工法)      |
| 補助工法   |                                      |                        |                                       | 矢板工                    | 排水管・矢板工                | ふとんかご工・暗渠工<br>・排水ボーリング工   |
| 対策の考え方 | 地下水位を低下して、液状化の発生<br>／地盤沈下・不陸発生を抑制    |                        | 格子状に地盤を拘束して、格子内地盤の液状化の発生／地盤沈下・不陸発生を抑制 | 格子状に地盤を改良して、地盤の流動変位を抑制 | 接円状に地盤を改良して、地盤の流動変位を抑制 | 平行する壁状に地盤を改良して、地盤の流動変位を抑制 |
| 施工実績   | 茨城県神栖市<br>茨城県鹿嶋市<br>千葉県千葉市<br>埼玉県久喜市 | 千葉県我孫子市<br>＊委員会での検討のみ  | 千葉県浦安市                                | 千葉県香取市                 | 熊本市秋田地区                |                           |
| 備 考    | 施工実績は、熊本市の委員会資料による                   |                        |                                       |                        |                        | 提案工法                      |

78

78

## 液状化対策、特に、地盤流動対策は「全体最適：地域最低」の姿勢が重要

**姿勢1**：「公共施設と宅地との一体的な液状化対策事業」は

全体最適：地域最適＆関係者・関係組織最適である！

(1) 個別の住宅の液状化対策：個別最適

\* 個別最適の地盤流動対策は無い

(2) 公共施設と宅地との一体的な液状化・地盤流動対策

1) 地理的な地域一体的な対策：地域最適

2) 自治体と住民の一体的な意思疎通・合意：関係者・関係組織最適

**姿勢2**：「本工法と補助工法の組合せ地盤流動対策」は

全体最適：複合構造最適の部材間複合構造最適である！

(例1) 香取市：格子状地中壁＋鋼矢板（存置活用）

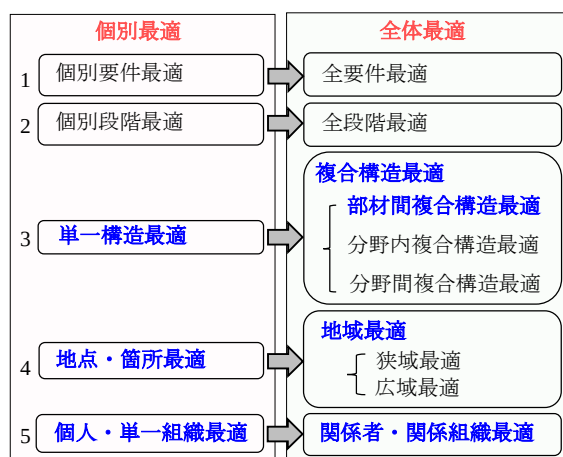
(例2) 熊本市：改良壁＋排水管＋鋼矢板

(例3) 壁式改良工法＋舗装・路床／ふとんかご工／暗渠排水・排水ボーリング

\* 技術・工法の複合化、多機能化、機能補完・強化・・・

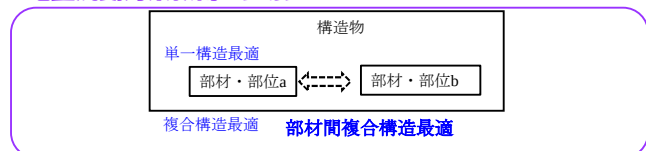
79

## 個別最適と全体最適の概念

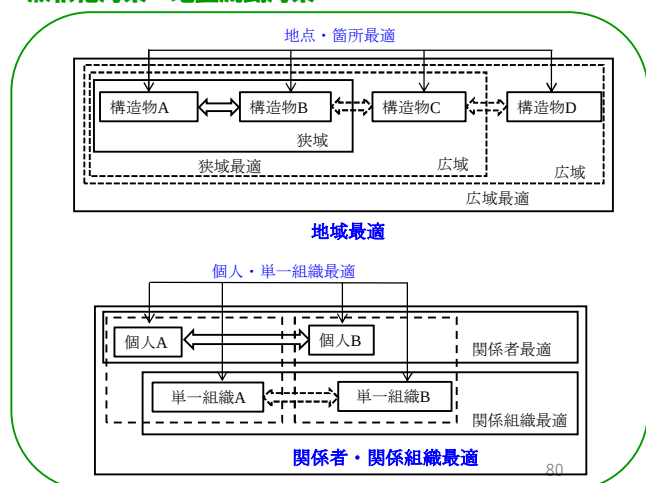


公共施設と宅地との一体的な液状化・地盤流動対策では、全体最適が必須

## 地盤流動対策技術・工法



## 液状化対策・地盤流動対策



80

参考文献（３）：地盤流動対策関係

- 1) 熊本市：第1回熊本市液状化対策技術検討委員会，資料，3.5 液状化対策工法について，p.44，H29.6.27.
- 2) 熊本市：第10回熊本市液状化対策技術検討委員会，資料2，R1.11.8.
- 3) 浦安市：浦安市市街地液状化対策検討委員会，報告書，H28.9.
- 4) 香取市：第9回香取市液状化対策検討会，資料-5，2015.4.21.
- 5) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株)：設計要領 第一集 土工 【保全編】，8-2-1 砕石堅排水工，令和2年7月
- 6) 北口峻輝・常田賢一：道路盛土における堤内ふとんかごの排水性および耐震性の評価、第51回地盤工学会研究発表会、No. 564，2016.

参考文献（４）：個別最適と全体最適関係

- 1) 常田賢一：防災・減災、国土強靱化のための性能評価の最適化の実務一個別最適から全体最適への展開一，（一社）地域国土強靱化研究所，東京官書普及（株），330p.，2023.3
- 2) 常田賢一：防災・減災、国土強靱化のための個別最適から全体最適への展開，地盤工学会誌，総説，Vol. 72，No. 4，pp. 1-6，2004.

従来の技術とのコスト比較

●盛土、地盤条件：盛土高さ：8.0m、軟弱層厚：21.2m  
●設計水深：●盛土天端の地下量：供用後3年間で30cm以下  
●官民境界（法面が6.2m幅h）の地下量：盛土開始から5cm以下

| 壁式地盤改良（パラウォール工法） | 杭式地盤改良工法（従来の技術） |
|------------------|-----------------|
| 断面               | 断面              |
| 平面               | 平面              |
| 経済性/工期           | 経済性/工期          |
| 0.71 / 0.69      | 1.00 / 1.00     |

壁式地盤改良 パラウォール工法の適用例

○補強土壁・壁付け盛土・法面基礎（傾斜型）  
○傾斜基礎での盛土基礎（傾斜型）  
●液状化対策

●傾斜型（壁式改良）は基礎の安定と周辺地盤の安定同時に効果的である  
・地下水流量が少ないので従来の杭式よりコスト削減への影響が少ない

●壁全体で格納するため液状化に対して非常に安定である  
・地下水流量が少ない傾斜型では、ダムアップ現象による水圧が発生しにくい

●傾斜壁に固められた地盤が固められたのと同様の水圧が発生しにくい  
・液状化対策としての壁式改良が液状化対策を兼ねたことになる

特許・NETIS

●特許番号/特許図 5961712号・壁付け盛土を有する壁式地盤改良工法 ●NETIS/ KT-180144-A：フローティング型 壁式地盤改良工法

壁式改良工法研究会＜特別・正会員＞（事務局：（一社）土研センター）

| 小野田ケミコ株式会社                                                                  | 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-21 JPRクレストビル | TEL 03-6386-7044 |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| 三建建設工業株式会社 <td>〒111-0052 東京都豊島区橋本2-19-6</td> <td>TEL 03-5625-3707</td>      | 〒111-0052 東京都豊島区橋本2-19-6            | TEL 03-5625-3707 |
| 新日本プラント工業株式会社 <td>〒115-0031 東京都墨田区清水一丁目15-18</td> <td>TEL 092-511-5991</td> | 〒115-0031 東京都墨田区清水一丁目15-18          | TEL 092-511-5991 |
| 日南建設株式会社 <td>〒103-0004 東京都中央区東日本橋5-10-6</td> <td>TEL 03-5645-5115</td>      | 〒103-0004 東京都中央区東日本橋5-10-6          | TEL 03-5645-5115 |
| ライト工業株式会社 <td>〒102-8236 東京都千代田区九段4-2-35</td> <td>TEL 03-3265-2945</td>      | 〒102-8236 東京都千代田区九段4-2-35           | TEL 03-3265-2945 |
| 九州地盤研究所 <td>〒819-0395 福岡市西区元町744緑地 九州大学大学院</td> <td>TEL 092-802-3381</td>   | 〒819-0395 福岡市西区元町744緑地 九州大学大学院      | TEL 092-802-3381 |
| 一般財団法人土木研究センター <td>〒300-2624 茨城県つくば市西元2-2</td> <td>TEL 029-864-2521</td>    | 〒300-2624 茨城県つくば市西元2-2              | TEL 029-864-2521 |

＜一社代表＞ 応用地盤工学 サンココンクリート（一社）地盤改良と地盤改良研究所 日本国土開発、日本地研

Designed by Mariko Ito 2022.10

経済的に盛土と周辺地盤の沈下・変形を抑制できる

## 壁式地盤改良 パラウォール工法

壁式改良工法研究会





|                                                                       |                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第1章 性能と性能評価の基本<br>1) 性能設計の契機と推移<br>2) 性能設計から性能評価への展開<br>3) 性能評価の意義と特徴 | 第2章 性能評価における多様な視点<br>1) 災害による被害レベルは性能レベル<br>2) 俯瞰的評価による全体最適<br>3) 粘り強い性能<br>4) 評価指標と評価基準<br>5) 性能評価の妥当性の根拠・エビデンス<br>6) 技術・工法の提案のための根拠・エビデンスの明示事例<br>7) ローカルルールとの位置付け |
| 第3章 性能評価・最適化の実践<br>1) 施策・行動計画における性能評価・最適化<br>2) 分野別の性能評価・最適化の事例       |                                                                                                                                                                      |
| 第4章 まとめと課題                                                            |                                                                                                                                                                      |

[購入の注文方法]

注文、支払いは、下記をお願い致します。注文受付後、下記より配送致します。

東京官書普及（株） 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町1-2 TEL：03-3292-3701  
URL：http://www.tokyo-kansho.co.jp 土木関係専門書籍販売サイト シビルBooks  
地域国土強靱化研究所書籍販売サイト[東京官書普及（株）](tokyo-kansho.co.jp)

**特長**  
近年の国土交通省の政策・事業を、性能評価の視点で、分野（道路、河川、海岸、砂防）横断的に整理、比較し、考察している。



御紹介2 土木技術者のためのプロフェッショナルの姿勢と視点

ポイント：土木技術者としての心構えと日頃直面する課題の見方

発行：一般財団法人土木研究センター 2020.6  
問合せ：土木研究センターHP

第1部 土木のプロフェッショナルとしての姿勢

- 姿勢 1 土木の先人の偉業、思いを忘れない
- 姿勢 2 土木技術者が活躍する場の多様性を知る
- 姿勢 3 土木技術者の行動規範・倫理規定を理解する
- 姿勢 4 プロフェッショナル意識により倫理を実践する
- 姿勢 5 不正に対するペナルティを自覚し、行動する
- 姿勢 6 土木の存在感の高揚と全体最適のための産学官の連携
- 姿勢 7 自己の存在証明を向上し、発信する
- 姿勢 8 立場に応じた権限と義務を自覚し、果たす
- 姿勢 9 土木技術者の資格の意義を知り、自己研鑽に努める
- 姿勢 10 土木の特異性、建築との差異を理解し、土木の意義を発揮する
- 姿勢 11 土木のデザイン、プロジェクトデザイナーを意識する

第II部 土木技術者としての多面的な視点

- 視点 1 感性を磨き、災害の示唆を見逃さず、学ぶ
- 視点 2 定式化、モデル化の意義と意味
- 視点 3 個別段階から全段階の最適化と連携
- 視点 4 視野を広げ、発想を転換
- 視点 5 デジタルとアナログ、視覚情報の理解
- 視点 6 現状に留まらないう、先を読む
- 視点 7 土木施設は資源
- 視点 8 既存技術を鵜呑みせず、ルーツを知り、さらに展開
- 視点 9 魅力と生き甲斐のある土木に変貌

あとがき  
付属資料：計画・設計で活かせる知見  
1. 設定条件で変わる円弧すべり法の安全率 他 6項目  
【豆知識】  
1. 江戸時代から生き続け、土木技術の手本となる山田堰 他 14項目



## 御紹介3 盛土の性能評価

2015土工構造物技術基準の策定の前  
新潟県中越地震などの盛土の被害特性・対応策など

編集：一般財団法人災害科学研究所  
発行：一般財団法人土木研究センター  
2014.10  
問い合わせ：土木研究センターHP



87

## 御紹介4 土工構造物の性能評価

2015土工構造物技術基準の策定を踏まえて、実務上、想定される  
課題および考え方の例示など

編集：一般財団法人災害科学研究所  
発行：一般財団法人土木研究センター  
2019.8  
問い合わせ：土木研究センターHP



87

## 御紹介5 津波の被害、原因、対策の総括と盛土の意義

内容：津波被害特性、盛土の耐越流性、性能評価、盛土の津波対策例・  
ポイント：多重防御、防潮盛土など、盛土の活用が有効  
理工図書（株）



88

## 御紹介6 地震断層の影響、評価、対策の総括

内容  
・地震断層による被害  
・影響の評価方法  
・対策の姿勢  
・対策事例 など  
ポイント：知恵を出せば、地震断層と共生できる！  
理工図書（株）



88