

地盤工学会北陸支部

土質力学講座

2025年度 第4回 (2026年1月8日)

液状化

新潟大学 保坂吉則

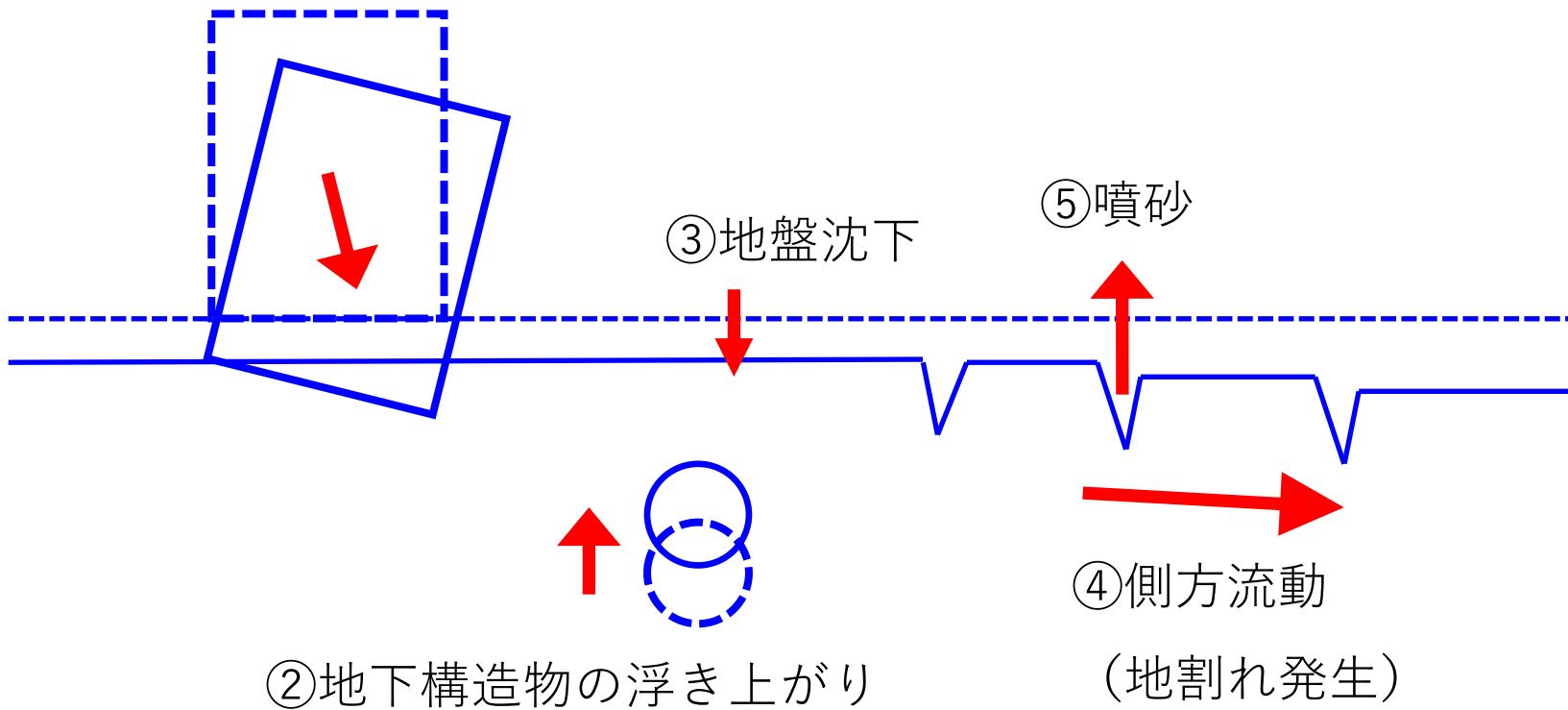
目次

1. 液状化被害（被害形態と事例）
2. 液状化発生のメカニズム
3. 液状化強度の定義
4. 液状化しやすい地盤・しにくい地盤
5. 液状化の予測（予測方法とハザードマップ）
6. 液状化対策

1. 液状化被害

液状化はどのような被害をもたらすか？

①構造物の沈下・転倒、盛土の陥没



被害① 構造物の沈下・転倒、盛土の陥没

剛性の高い建物は、破損せずに沈下・傾斜



新潟県土木部砂防課提供

鉄筋コンクリート造建築物の沈下・傾斜
(新潟地震 川岸町県営アパート)

1964年の新潟地震

鉄筋コンクリートアパートが沈下・傾斜
多くの木造家屋も沈下被害が発生
建物の構造体の損傷は少ない

液状化した層がS波を伝えないことで、建物に作用した地震動は小さかった可能性

剛性の低い盛土構造物は崩壊を伴って沈下



越後線荒浜駅ホームの沈下
2007年新潟県中越沖地震（刈羽村）

盛土構造物も、その重量
によって沈下被害が発生

盛土は剛性が小さいため、
沈下時に崩壊を伴う

被害② 地下構造物の浮き上がり

マンホールなどの地下に埋設された軽量の構造物は浮き上がる



大型のマンホールの浮き上り
2004年新潟県中越地震（柏崎市）

新潟県中越沖地震では各地で地下に埋設されたマンホールの浮き上りが多発

目視はできないが、地下の埋設管も浮き上がる被害

被害③ 地盤沈下



杭基礎により沈下しなかった建物の基礎部分

沈下した駐車スペース

人工島のポートアイランドは島全体が30~50cm沈下
(阪神淡路大震災: 神戸市)

建物と地盤の境界では、給排水管やガス管の破断が発生する恐れ

被害④ 側方流動

斜面だけでなく、
ほぼ平坦な地盤でも水平に移動



ポートアイランドの岸壁の側方流動で地割れが発生（阪神淡路大震災）

側方流動の影響

ブロック状に動くため、流動部と不動部の境界で大きな影響が発生

- 埋設管の破断
 - 地割れと交差する方向の埋設管が被害（新潟地震）
- 杭の破断・変形
 - 支持層と杭頭部間で大きな相対変位
 - 杭の折損例（新潟駅前のビル取り壊し時に判明）
 - 昭和大橋は、河床の流動でパイルベント橋脚が傾き、橋桁が落下
 - 能登半島地震では坂井輪中学校の杭基礎が損傷
- 緩傾斜地の構造物・建物被害
 - 傾斜地のすべりを伴う流動では、地表面に地割れや階段状の変状が発生
 - すべりブロック下部の宅地が隆起
- 土地境界の移動
 - 新潟地震で信濃川の河道は20m程度狭くなった。
 - 広がる土地、狭くなる土地が発生（民事問題）

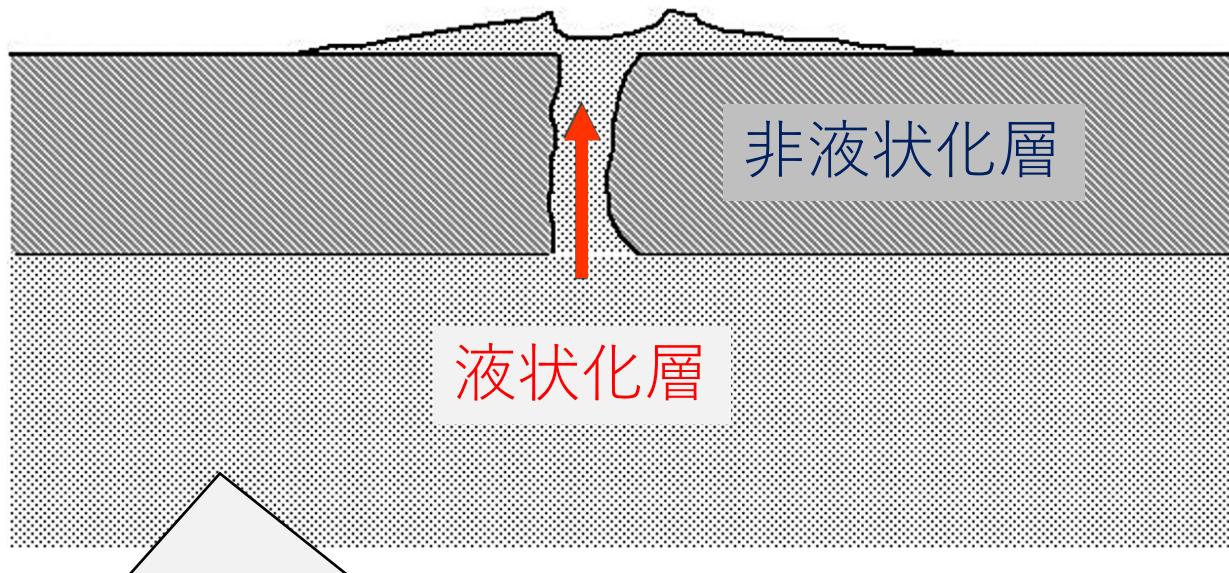
被害⑤ 噴砂

液状化によって水圧上昇

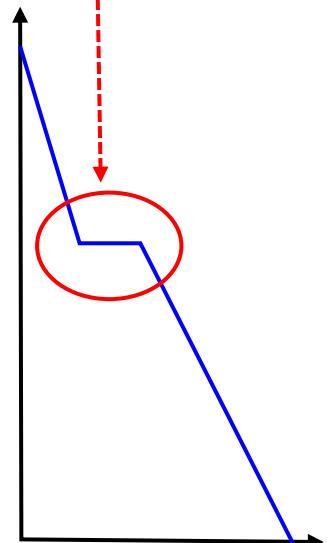
→ 非液状化層境界部で水頭差が発生

→ 非液状化層の弱部や亀裂から大量の砂を含んだ地下水が上昇

→ 地表面に噴き出した砂が噴丘を形成



住宅街の道路面に大量の砂が噴出
→ 通行困難になるなどの障害が発生
→ 噴出した砂の処理にも時間と費用が必要



液状化直後の水圧分布

能登半島地震における新潟市内の被害例（黒崎地区）



住宅の不同沈下
隣接建物でよくある例



側方流動による
横ずれの亀裂



住宅街を覆う噴砂、
舗装路面損壊、
建物の不同沈下



善久高架橋
取付盛土の沈下

能登半島地震における新潟市内の被害例（坂井輪地区）



砂丘斜面の地すべり
(側方流動)による
路面の横断亀裂



比較的変位が大き
かつた箇所は舗装や
住宅外構が損壊



急傾斜の砂丘斜面のす
べりによる宅地の隆起
と建物の傾斜
宅地地盤内は液状化



側方変位に伴う
擁壁のはらみ出し

能登半島地震における新潟市内の被害例（坂井輪地区）



重量のある斜面下の
盛土は沈下



新潟西郵便局東側駐車場が1m程度沈下



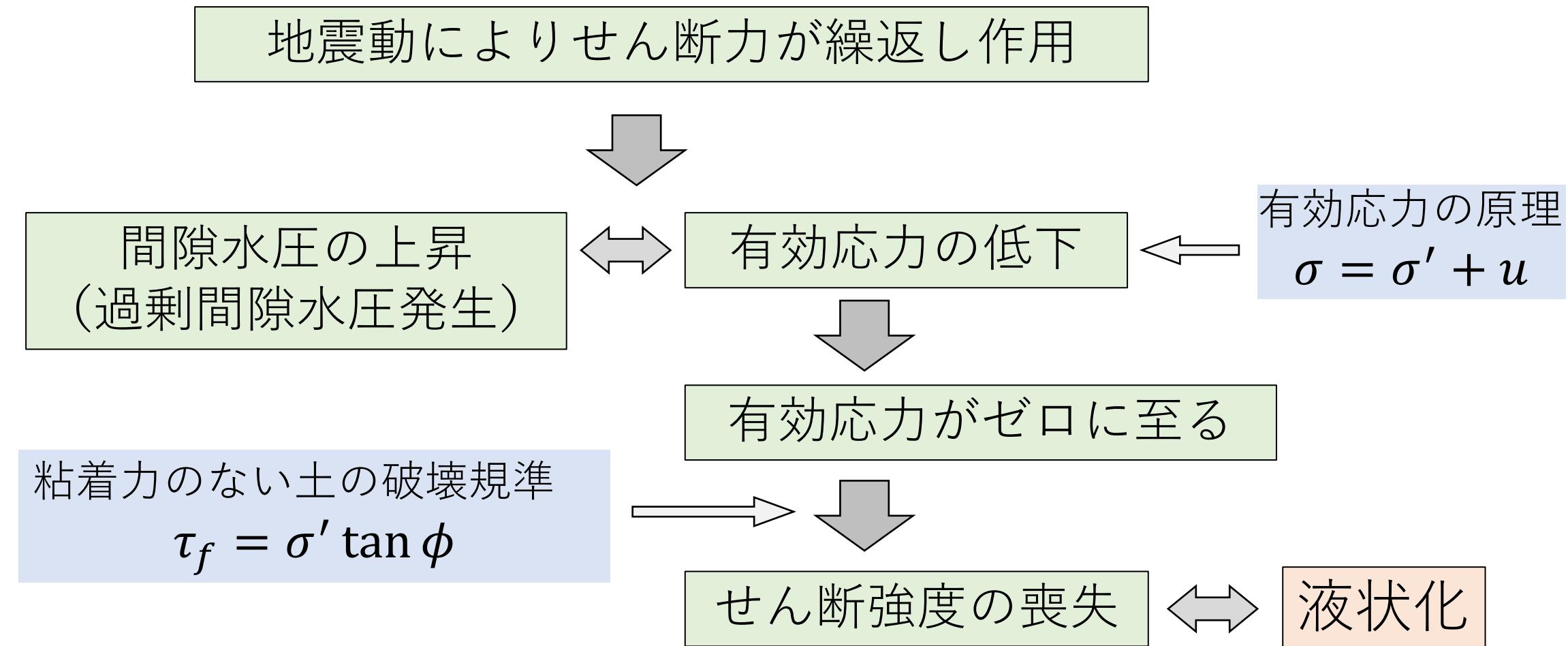
低地側の緩斜面上の
盛土が側方流動



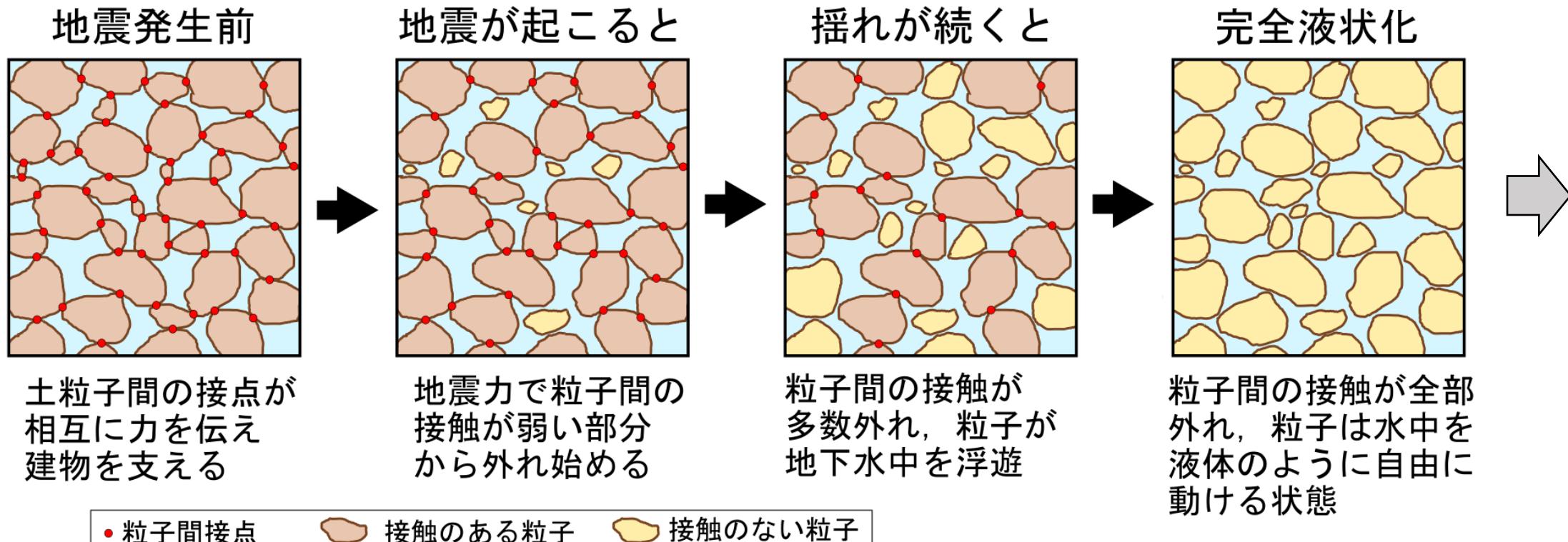
緩傾斜の砂丘下部における液状化被害

2. 液状化のメカニズム

土質力学の観点で見た液状化に至るプロセス



粒子の挙動から考える液状化発生のメカニズム

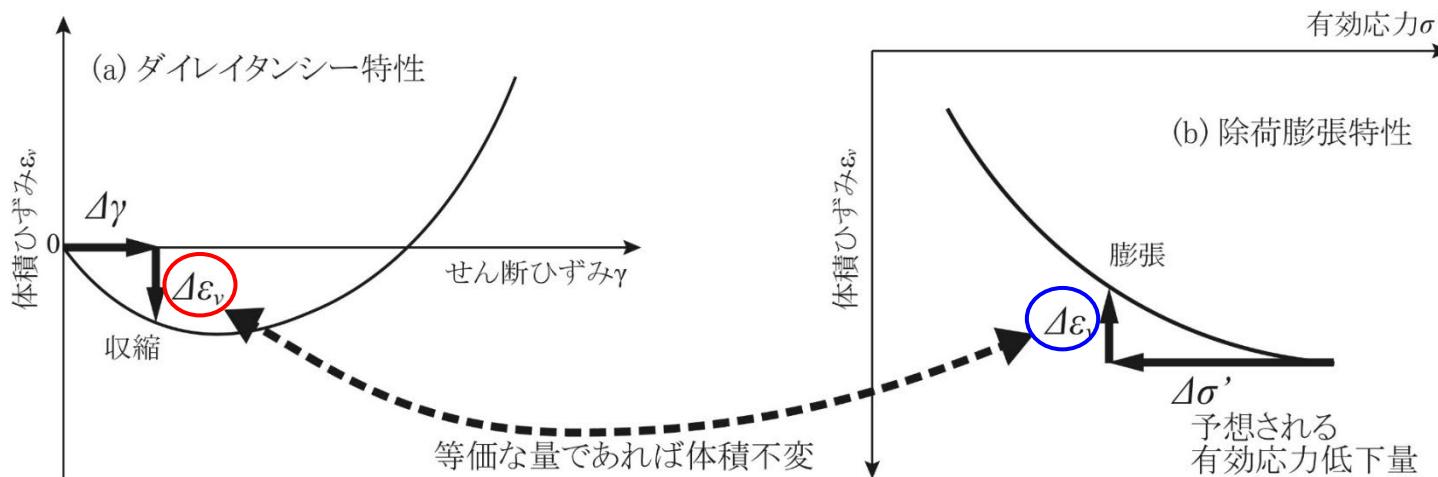


接点力の喪失 = 有効応力の低下

その後粒子が沈降し地盤が沈下

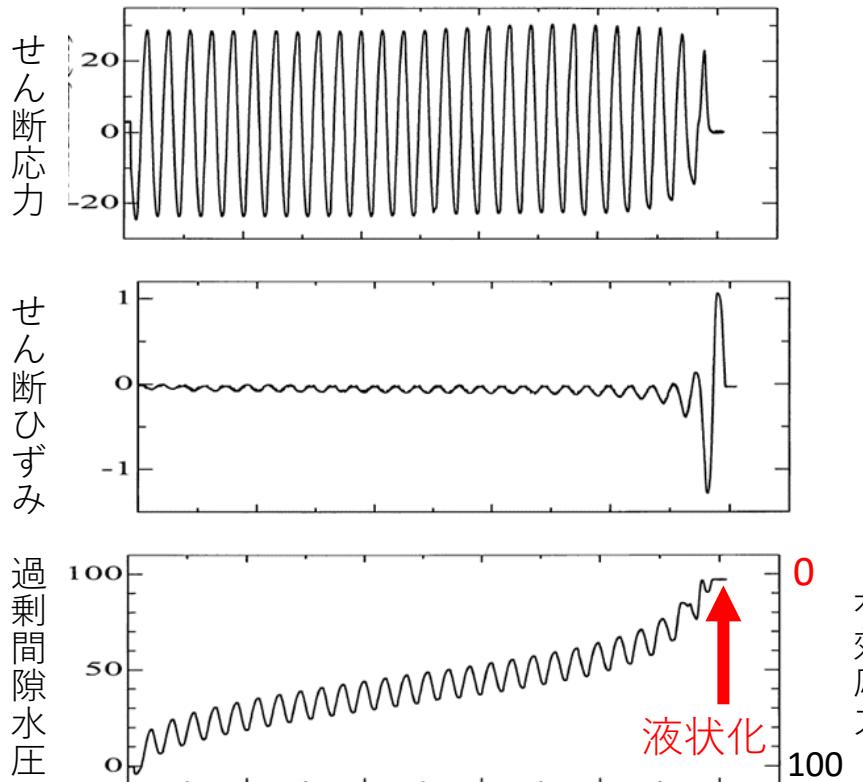
土の力学挙動から考える液状化メカニズム

- 地震時は、砂地盤でもほぼ非排水条件
 - 非排水条件 = 等体積条件
- せん断時にダイレイタンシーによる体積収縮 = 除荷による体積膨張ならば等体積条件を満足
- したがって、非排水せん断時は、除荷相当分の有効応力低下が発生

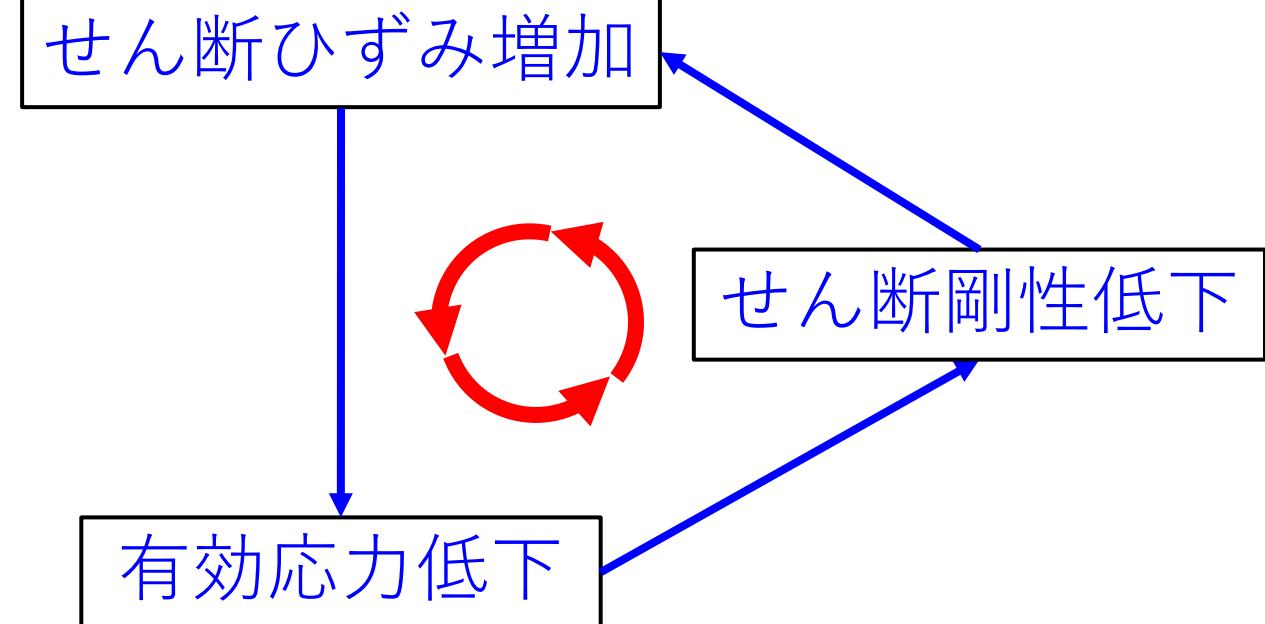


繰返しせん断で有効応力が徐々に低下

三軸液状化試験の観測例



地震動の繰返しせん断作用時は
以下のサイクルで有効応力が低下



終局的に有効応力ゼロ（剛性ゼロ） \rightarrow 液状化

土の破壊規準と液状化

Coulombの破壊規準

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$$

地震時に作用するせん断応力 τ_d は、

液状化前の地盤のせん断強度 τ_f より十分小さい ($\tau_d \ll \tau_f$)

地震時は

- 繰返しせん断で有効応力 σ' が徐々に低下
- せん断強度 τ_f が徐々に低下
- $\tau_d > \tau_f$ に至ると地盤がせん断破壊

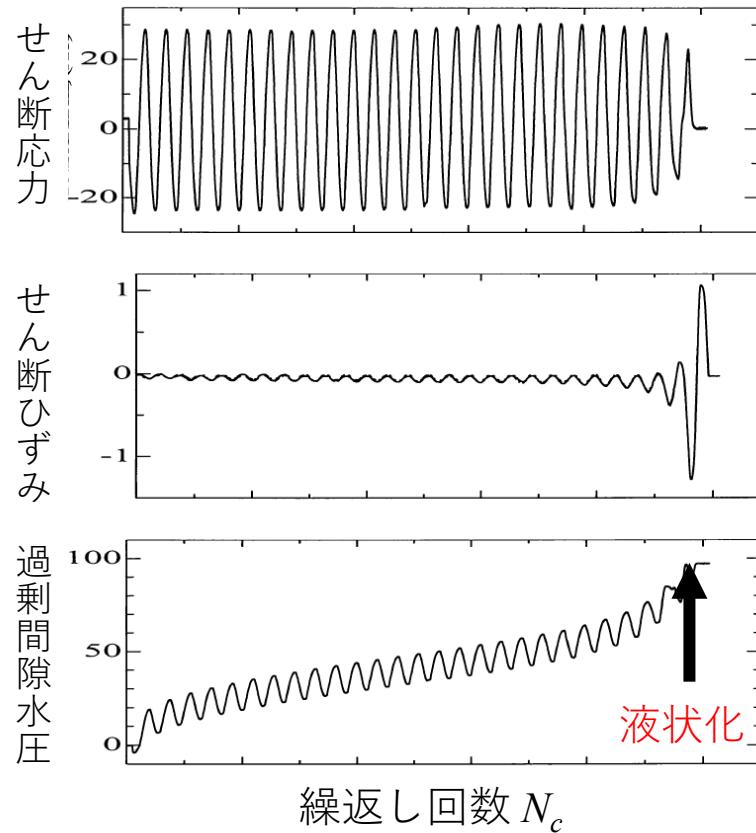
レベル1地震動で、
 τ_d は τ_f の1/4程度

$c'=0$ の砂地盤は、 終局的 ($\sigma'=0$) に $\tau_f=0$

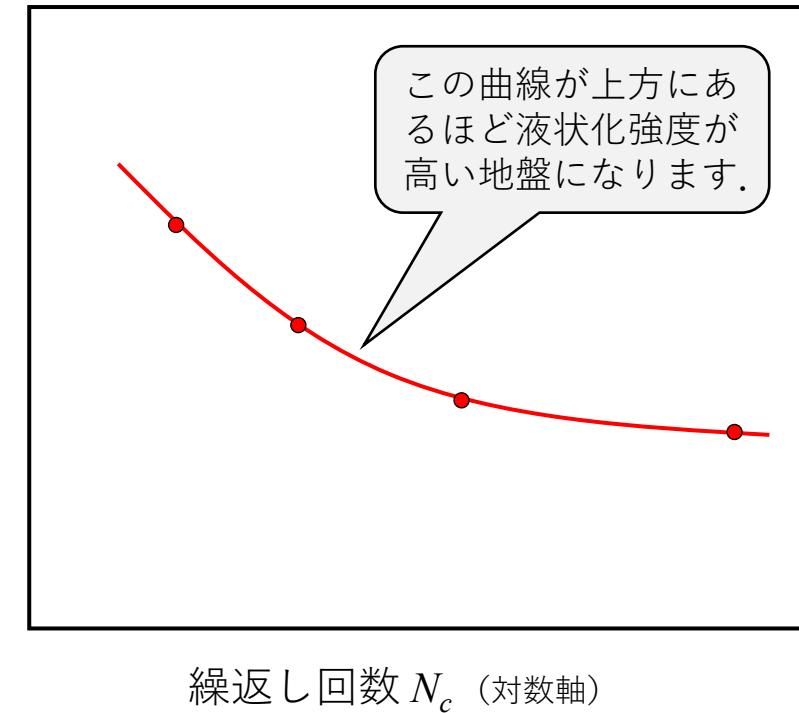
⇒ せん断強度を失った物質は、 流体のように振る舞う

3. 液状化強度の定義

～振動三軸試験で得られる液状化強度曲線～



三軸液状化試験の例



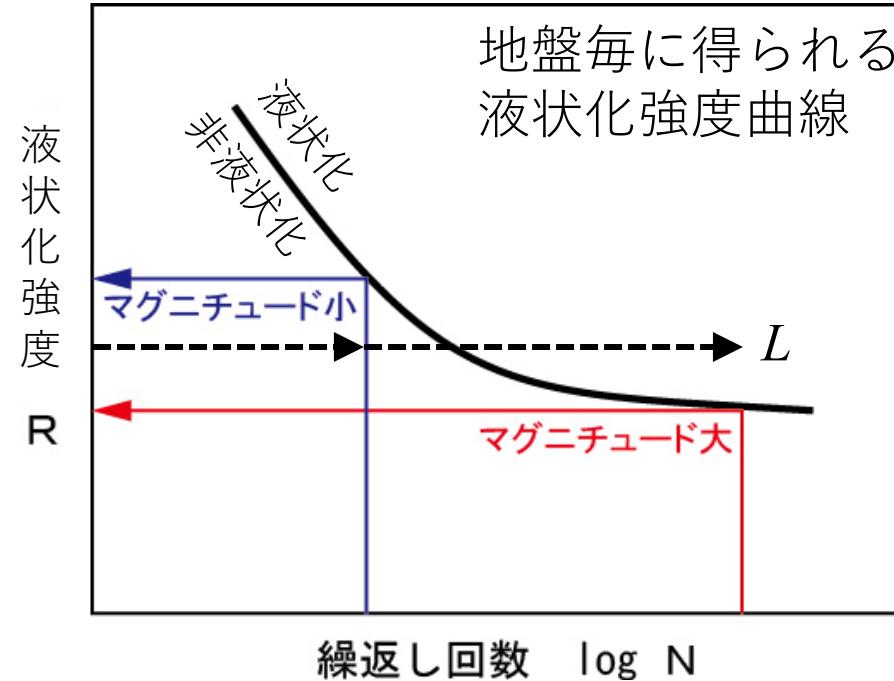
液状化強度曲線

異なるせん断応力振幅毎に
液状化までの繰返し回数を求め,
そのプロットを結んだ曲線

液状化強度の定義と地震規模の関係

～どの繰返し回数で見るか？

液状化強度曲線の
縦軸を、その場所
の有効応力を除して
無次元化します。



$$\text{液状化強度比} : R = \frac{\tau_f}{\sigma'}$$

τ_f ：ある繰返し回数で液状化するせん断応力
 σ' ：地盤の初期有効応力

$$\text{地震時せん断応力比} : L = \frac{\tau_d}{\sigma'}$$

τ_d ：地震時の等価せん断応力

L が左図のように作用する場合、
→ 繼続時間が短ければ非液状化
→ 繼続時間が長くなると液状化

最大加速度対応の
せん断応力の6~7
割前後の値に設定

マグニチュードにより地震動継続時間が異なる → 強度を定義する繰返し回数をMを考慮して設定

地震マグニチュード M	8.5	7.5	6.75	6	5.25
等価繰返し回数 N_{eq}	26	15	10	5	2~3

$\tau = 0.65 \tau_{max}$ に対する
等価繰返し回数(Seedら, 1983)

※繰返し回数20回でRを求めることが多い

4. 液状化しやすい地盤・しにくい地盤

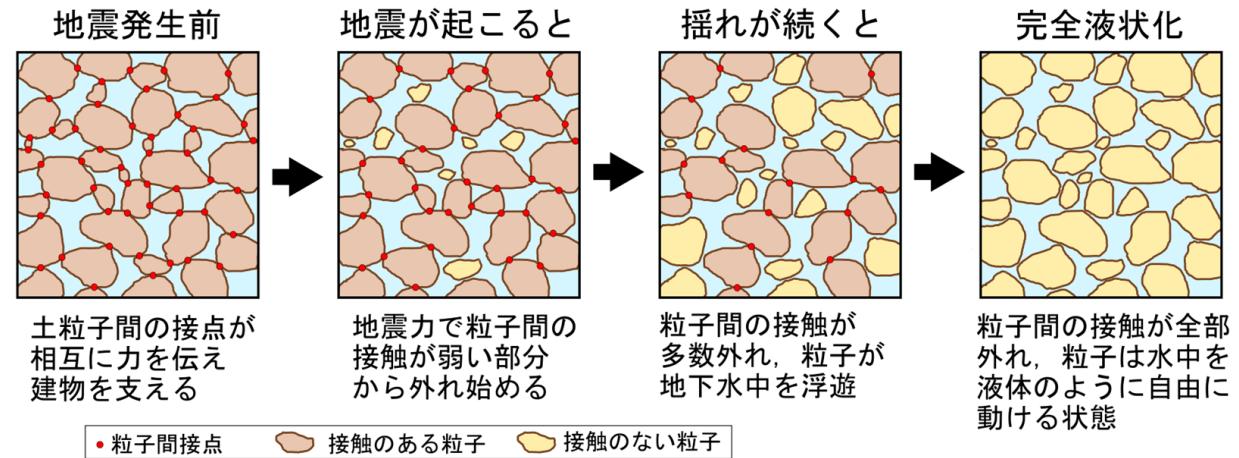
- 発生メカニズムから
 - 地盤密度の影響（幾何学的構造）
 - 粘着力・結合力の影響（接点の化学的構造）
 - 応力履歴の効果（接点の物理的構造）
- 地下水の影響
 - 不飽和土
 - 碾地盤について
- 再液状化について

液状化しやすさを発生メカニズムから考える

液状化は
土粒子間の接点が外れやすい
地盤で発生しやすい

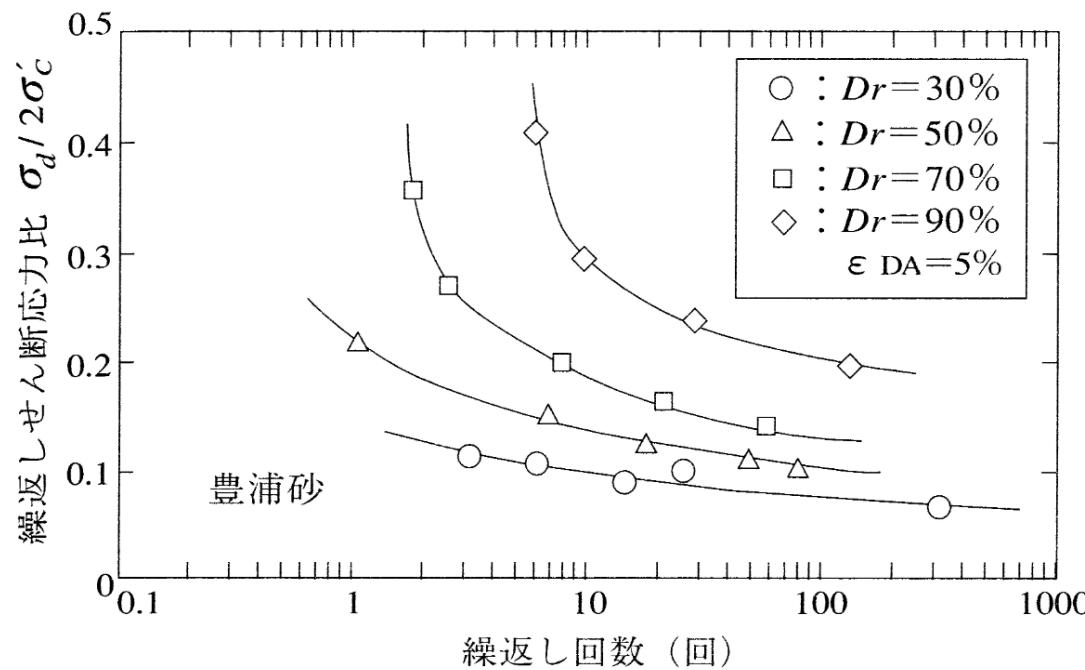


- 幾何学的構造
 - 間隙比が大きいほど外れやすい
- 接点の化学的構造
 - 結合力（粘着力）が無いと外れやすい
- 接点の物理的構造
 - 接点部のかみ合わせが無いと外れやすい



左の条件を満たす、
緩く堆積した砂地盤
は液状化しやすい

幾何学的構造～密度（間隙比）の影響～



(岡二三生：地盤液状化の科学，近未来社，2001より)

間隙比が小さな密な地盤は

- ①剛性が高い（硬い）
→ せん断変形しにくい
- ②せん断時の体積収縮が小さい
→ 膨張傾向



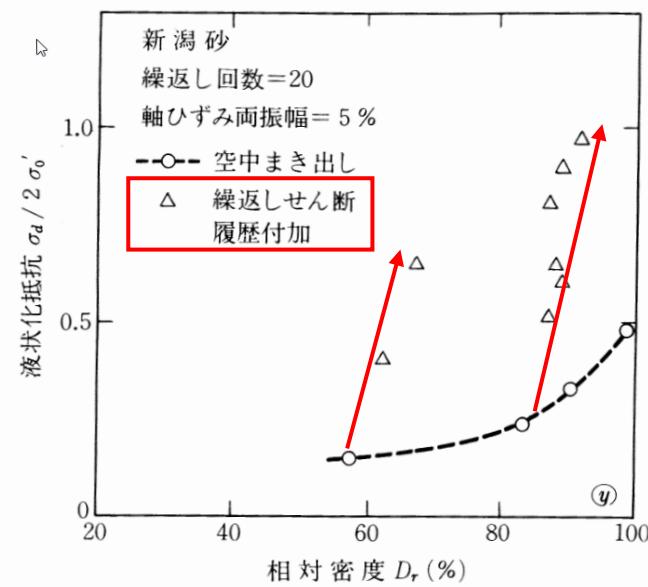
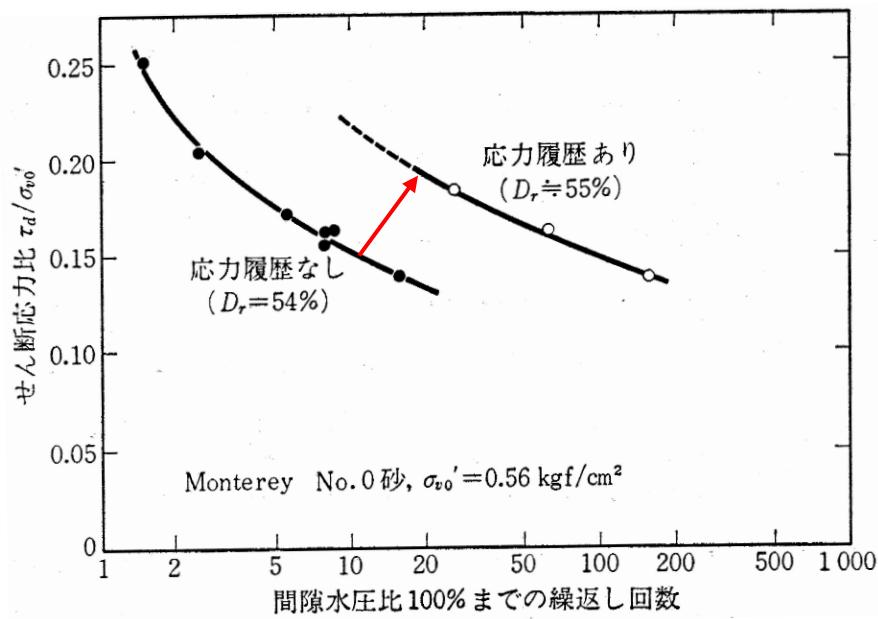
土粒子間の接点が外れにくい
ため、液状化強度が高い

接点部の化学的構造 ~粘着力・結合力の影響~

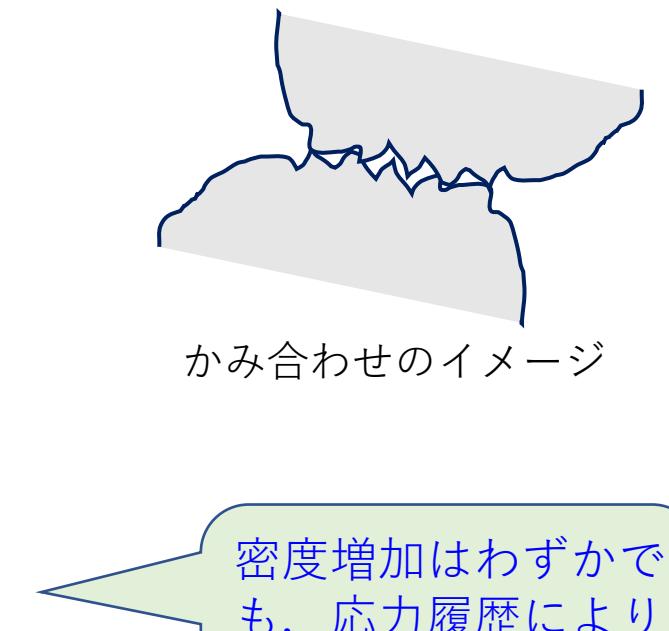
- 細粒分を多く含む土は液状化しにくい
 - 粘着力により接点が外れにくくなる
 - 有効応力ゼロでもせん断強度はゼロにならない
(有効応力がゼロに達しない場合が多い)
 - 粘性土は基本的に液状化しない
 - ただし、非塑性シルトで粘着力が無いと液状化する場合がある
- 堆積年代の古い地盤は液状化しにくい
 - 沖積層でも年代の古い地盤の液状化事例はほとんどない
 - 新潟市内陸部の古い砂丘列は、低地部でも液状化は発生していない
 - 被害箇所の大半は近代以降の埋立て地盤
 - 長期間で形成されたセメントーションによる結合力が想定

接点部の物理的構造 ~応力履歴の効果~

- 締固めや過圧密の履歴は液状化強度を高める
 - 土粒子接点の物理的なかみ合わせが強くなると考えられる
 - ひずみ硬化により、変形しにくい構造に



締固めに相当する繰返しせん断履歴により強度が増加した実験結果
(吉見吉昭:砂地盤の液状化, 技報堂出版, 1991より)

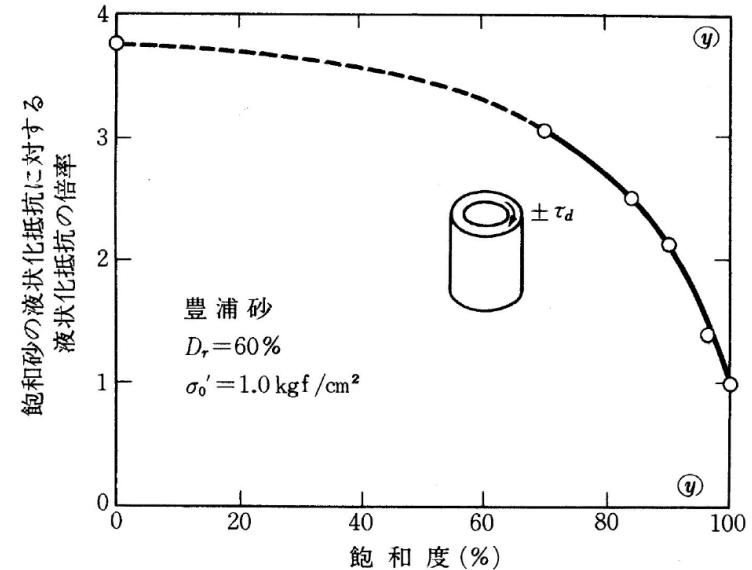


密度増加はわずかでも、応力履歴により液状化強度が増加した実験の例

液状化強度に及ぼす地下水条件の影響

- 不飽和土は液状化しにくい
 - 完全な非排水条件ではないため、水圧上昇（有効応力低下）が小さい
 - サクションによる見かけの粘着力の効果
- 礫地盤は液状化しにくい
 - 高い透水性により、非排水条件を満たさず、間隙水圧が上昇しにくい

※さらに接点が外れにくく、外れた粒子も水中を浮遊する状態が長く続かない



飽和度と液状化強度の関係

(吉見吉昭：砂地盤の液状化，技報堂出版，1991より)

再液状化について

液状化した地盤は再び液状化する可能性は高い

- 再液状化の事例

- 刈羽村では、新潟地震、中越地震、中越沖地震で液状化
- 新潟市も、江戸時代の三条地震や庄内地震で液状化の記録（新潟地震が初ではない）
- 能登半島地震における新潟市内の液状化箇所は新潟地震で液状化
- 余震で再液状化した事例も多い

液状化すると、
地盤沈下に伴い
密度が増加して液
状化しにくくなる
と想定されるが



• 1回の液状化による密度増は小さい ↑

- 長期形成された化学的結合（セメントーション）を破壊した可能性 ↓
- 締固め等による物理的な結合（かみ合わせ効果）を破壊した可能性 ↓



再液状化
の可能性
が残る

以上をまとめると、液状化しやすい地盤条件は

□砂地盤 (非塑性シルトも含む)

粘着力が無く、接点が外れやすい

□間隙が大きく低密度の地盤

粒子間接点数が少なく、外れやすい
低剛性でせん断時に収縮しやすい

□地下水で飽和した地盤

液状化は地下水面上で生ずる現象

すなわち

地下水面上にある、ゆるく堆積した、砂地盤

→ 埋立て地盤の多くがこれに該当

5. 液状化予測

強度の予測・評価

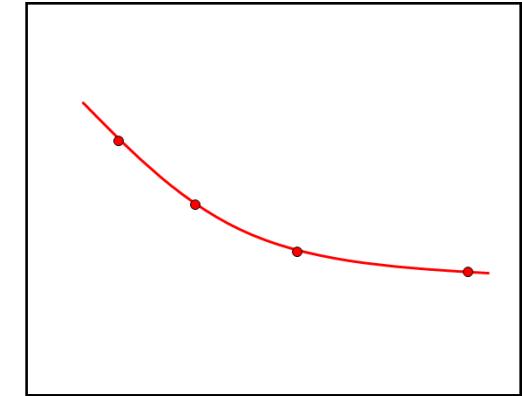
- サンプリング試料による室内液状化試験
 - 個別の構造物設計時に実施（主に重要構造物）
- サウンディングデータと液状化強度の相関性から評価
 - N値と土質情報を利用して、間接的に強度推定
 - 地域のボーリングデータベースで面的な危険度評価が可能
- 微地形区分から危険度を推定
 - 主に広域評価としてハザードマップ作成への利用
 - 簡易的であるが、全国の面的な評価が可能

変形の予測・評価

- 地震応答解析による評価
 - 地盤と構造物の変形・破壊の予測
 - 解析に用いる土質データは地盤調査・室内試験結果を利用

液状化予測 ~地盤調査・試験による評価の方法~

- サンプリング試料による室内液状化試験
 - 主に三軸試験が用いられる。(繰返し載荷用)
 - サンプリングや試験は費用を要する
 - 試料の乱れによる過小評価に留意が必要
- サウンディングデータから液状化強度評価
 - 評価法が提案されているサウンディング試験
 - 標準貫入試験のN値による評価は各種設計基準に採用
 - 戸建住宅向けのSWS試験からN値換算
 - コーン指数による評価
 - 標準貫入試験は公共土木の地盤調査でほぼ実施しており、多数のデータを用いた地域の危険度評価が可能
 - 間接的な強度評価のため精度は十分でないが、データを多数活用した総合評価は有用



繰返し回数 N_c (対数軸)

三軸試験で得られる
液状化強度曲線

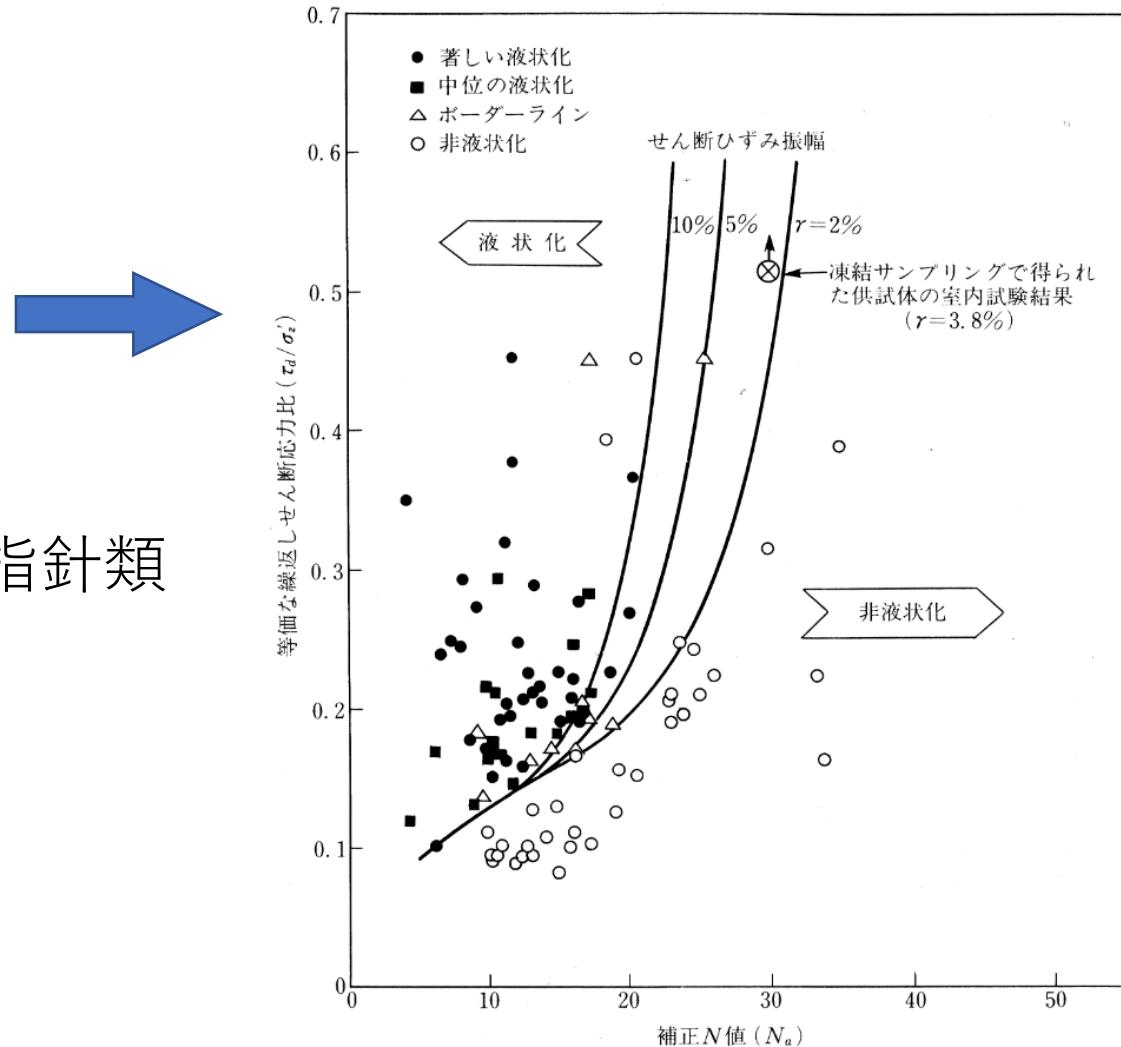
液状化強度と N 値の関係

動的な貫入試験である標準貫入試験の
 N 値は液状化強度との相関が高い

N 値による強度評価法を掲載した設計指針類

- ・道路橋示方書
- ・建築基礎構造設計指針
- ・水道施設耐震工法指針
- ・下水道施設耐震対策指針

など



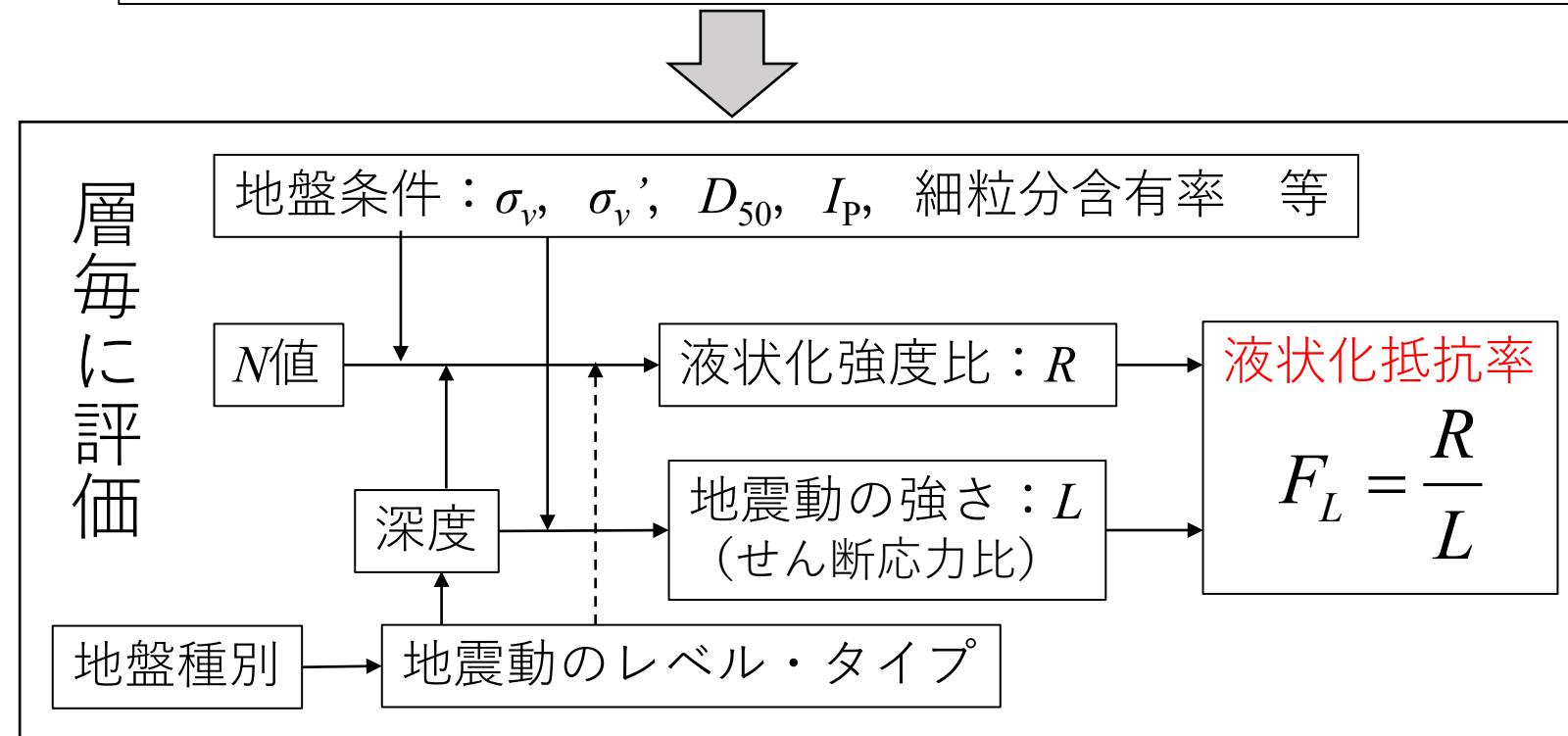
(日本建築学会編：建築基礎構造設計指針，丸善，1988より)

N 値を用いた道路橋示方書の評価法

「層」の液状化危険度評価

(道路橋示方書同解説V耐震設計編, 2017)

対象範囲：地表面からの深さ20mまでの砂質土層



※ $F_L < 1$ の層は液状化するが、被害に至るかどうかは別

※液状化の影響を設計で考慮するため、各層の F_L に基づいて土質定数を低減

液状化指數 P_L 値によるサイトの危険度評価

液状化指數 P_L :

各層の液状化抵抗率 F_L を算定し,
これを深度 x 方向に重み積分した値

(Tatsuoka etc, 1980)

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \cdot (10 - 0.5x) dx$$

浅層部ほど影響が大きく,
20mでは影響ゼロとなるように,
深度の重みを一次関数で定義

ただし, $F_L > 1$ の層は $F_L = 1$ とおいて計算

危険度評価の例

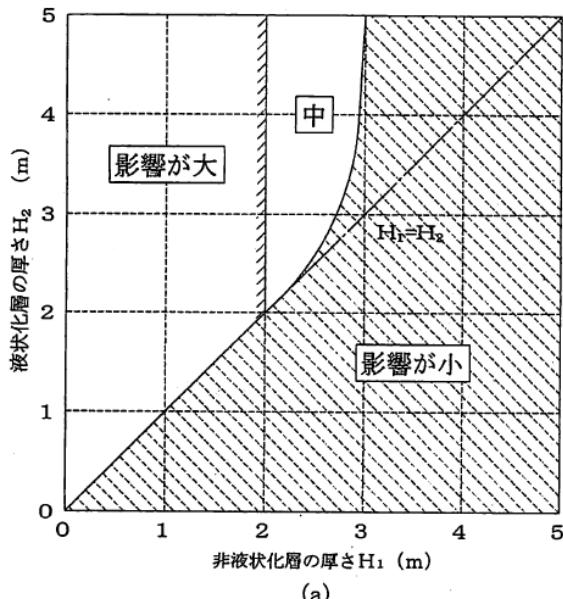
P_L 値	0~5	5~15	15~
液状化危険度	液状化の可能性は低い 無被害～小被害	液状化の可能性有り 小被害～中被害	液状化の可能性が高い 中被害～大被害

戸建て住宅の危険度予測

軽量な住宅荷重の影響範囲は浅い層に限られ、
表層の 3 m 程度まで液状化しなければ被害は小さいことが多い。

日本建築学会の方法

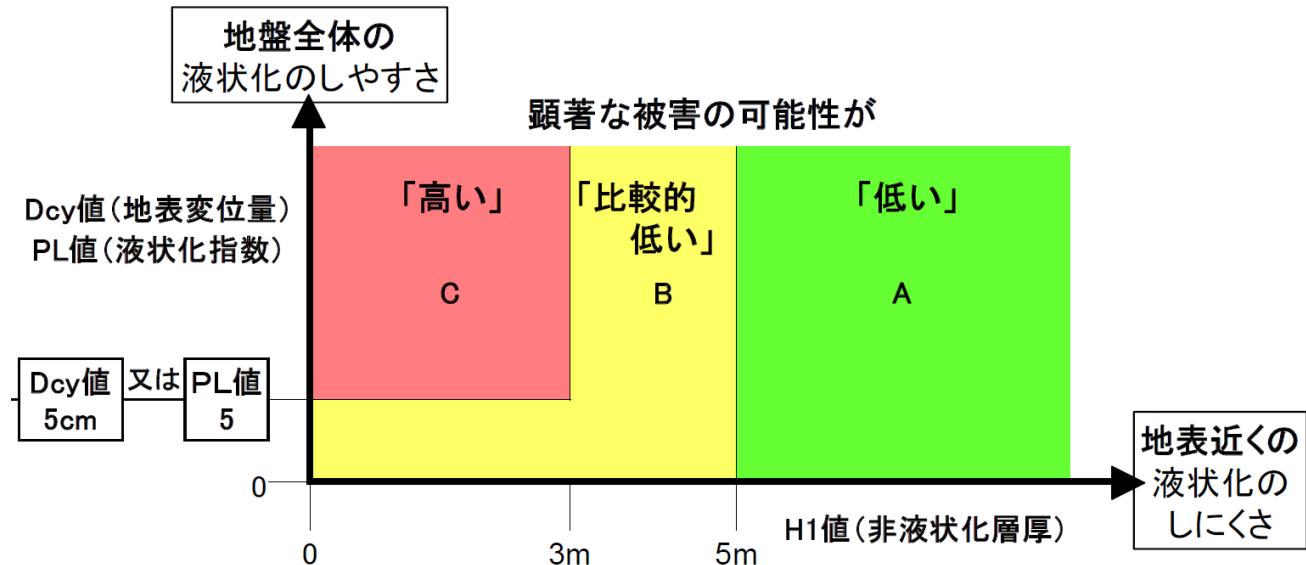
表層 5 m の範囲における非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 の関係から予測



小規模建築物基礎設計指針（2008）より

国土交通省（2013）

宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針



※ $\alpha_{max}=200\text{gal}$, $k_{hgL}=0.2$ 程度の地震を想定

微地形区分に基づく液状化危険度評価

地形条件と液状化の可能性評価

(国土庁：液状化地域ゾーニングマニュアル平成10年度版より)

地盤表層の液状化可能性の程度					微地形区分	
グレード 1	グレード2					
	レベル1地震動	レベル2地震動				
液状化の検討を要する地域	大	液状化の可能性は大きい	極大	液状化の可能性は非常に大きい	埋立地, 盛土地, 旧河道, 旧池沼, 蛇行州, 砂泥質の河原, 人工海浜, 砂丘間低地, 提間低地, 湧水地点	
	小	液状化の可能性は小さい	大	液状化の可能性は大きい	自然堤防, 湿地, 砂州, 後背低地, 三角州, 干拓地, 緩扇状地, デルタ型谷底平野	
	極小	液状化の可能性は極めて小	小	液状化の可能性は小さい	扇状地, 砂礫質の河原, 砂礫州, 砂丘, 海浜, 扇状地型谷底平野	
要しない地域	無	可能性無し	無	可能性無し	台地, 丘陵地, 山地	

※盛土地は、崖、斜面に近接した盛土地、低湿地・干拓地・谷底平野上の盛土地を指す。それ以外は盛土前の地形区分で判断。

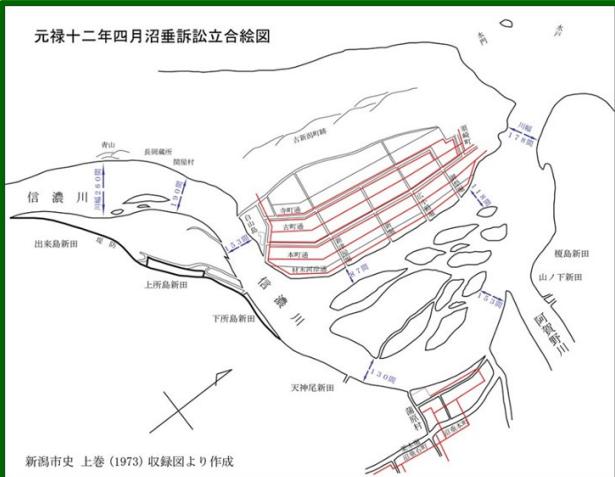
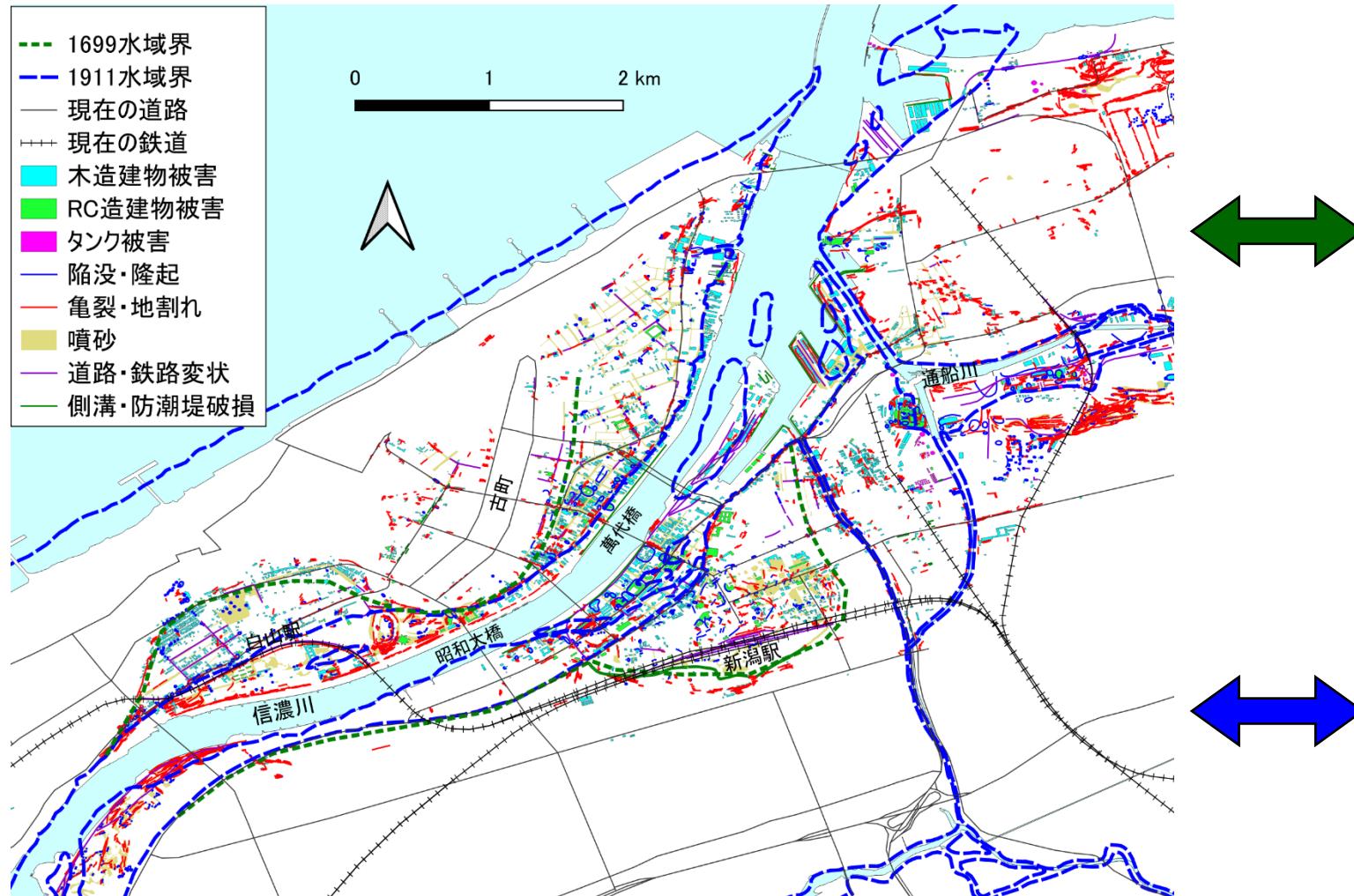
※砂丘のうち、砂丘末端斜面、切土部等の地下水位が高い部分は、液状化の可能性を2ランク高く評価する。

※自然堤防のうち、自然堤防辺縁部、比高の小さい自然堤防など、地下水位が高い部分は液状化の可能性を1ランク高く評価する。

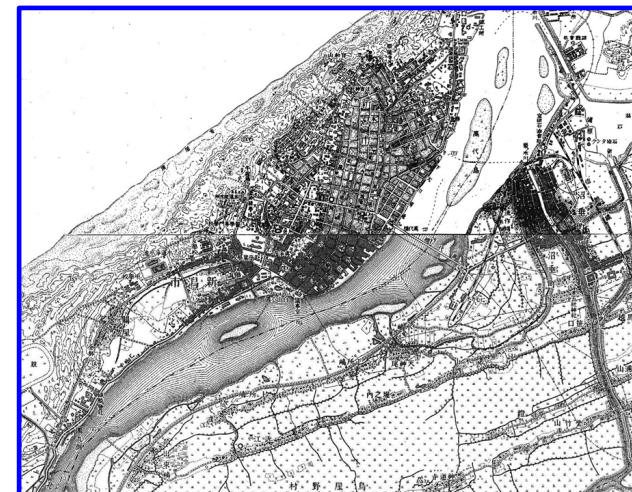
※段丘、台地上でも凹地部分等は、地下水位が高いため、液状化の可能性がある。

可能性が高い地形でも、粘性土が主体であれば液状化の可能性は低くなるので、土質条件を確認する必要がある

旧水域の埋土部と新潟地震の被害分布



1699年（元禄12年）の古絵図



能登半島地震の新潟市の被害分布と地形条件

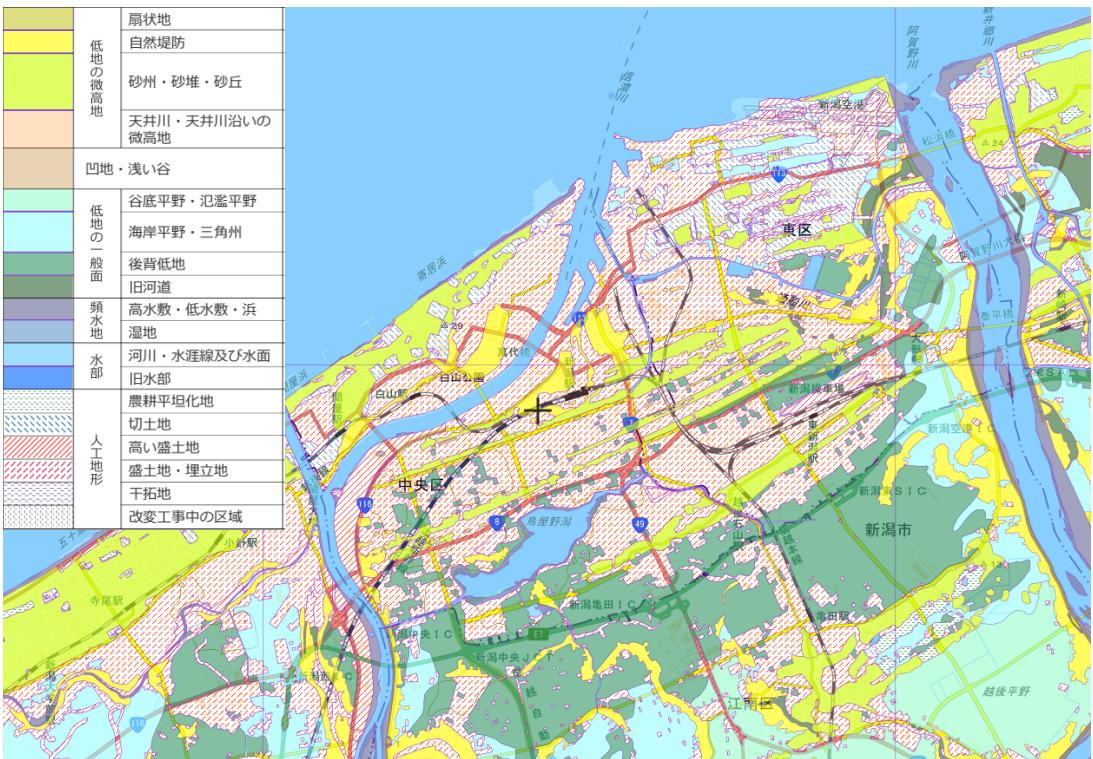


- 埋土地（旧水域）
 - 川岸町西部
 - 鳥屋野球場周辺
 - 天野地区
 - 黒崎地区
 - 新潟工業高校
- 砂丘と低地の境界
 - 浮洲町
 - 白山浦
 - 坂井輪地区

浮洲町と白山浦は江戸時代の旧水域

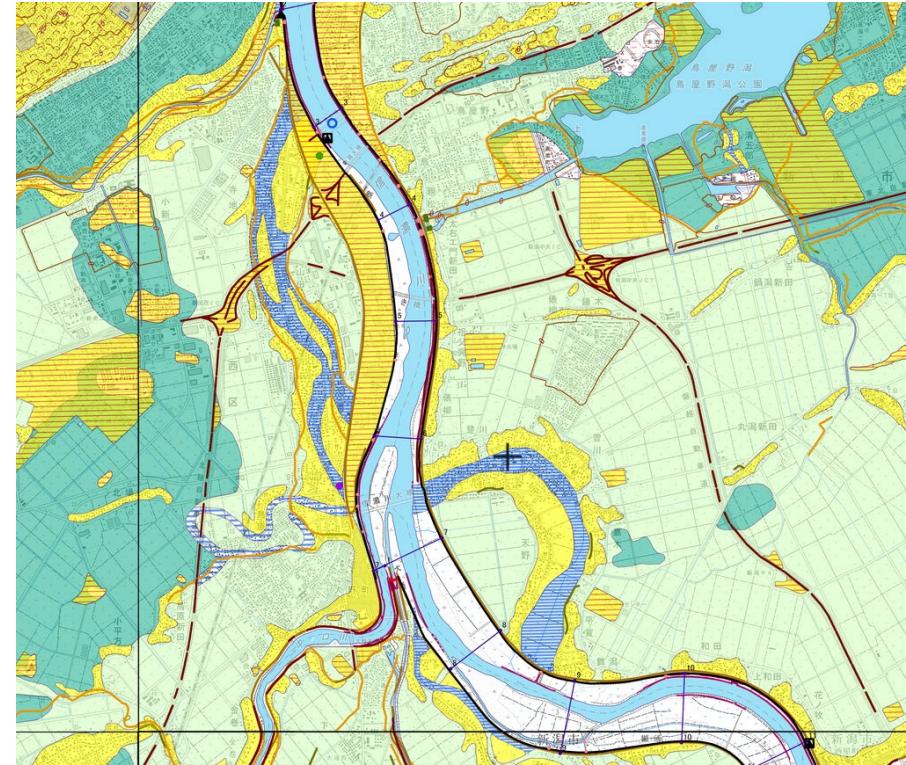
微地形を調べる

土地条件図：地形分類が確認できる



ただし、市街地に広がる「人工地形」は、
改変前の元の地形の把握が必要

治水地形分類図：旧河道が確認できる



ただし、戦前に開発が終わった都市部の古
い旧河道域は表示されていない場合がある。

※いずれも国土地理院の電子国土Webで閲覧可能

旧地形を調べる

空中写真

新旧比較で地形改変を確認
古い写真には旧地形の痕跡が残る

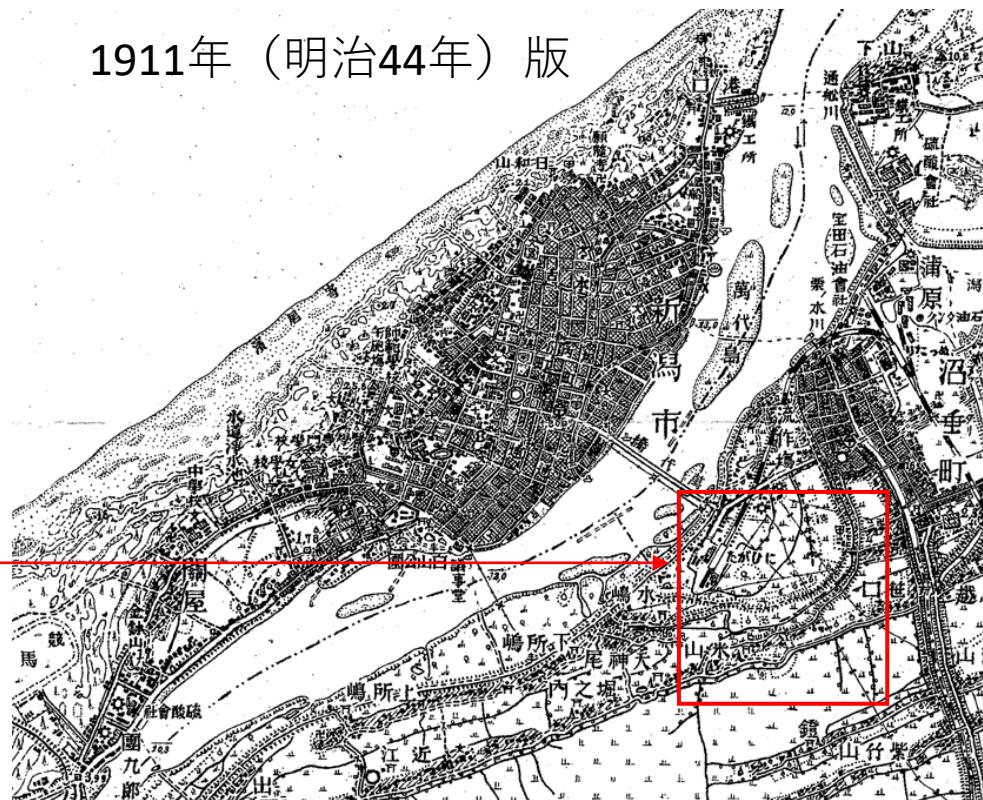


国土地理院のWebサイトで閲覧可能

旧版地形図

今の地図との比較で
地形改変が確認できる

1911年（明治44年）版



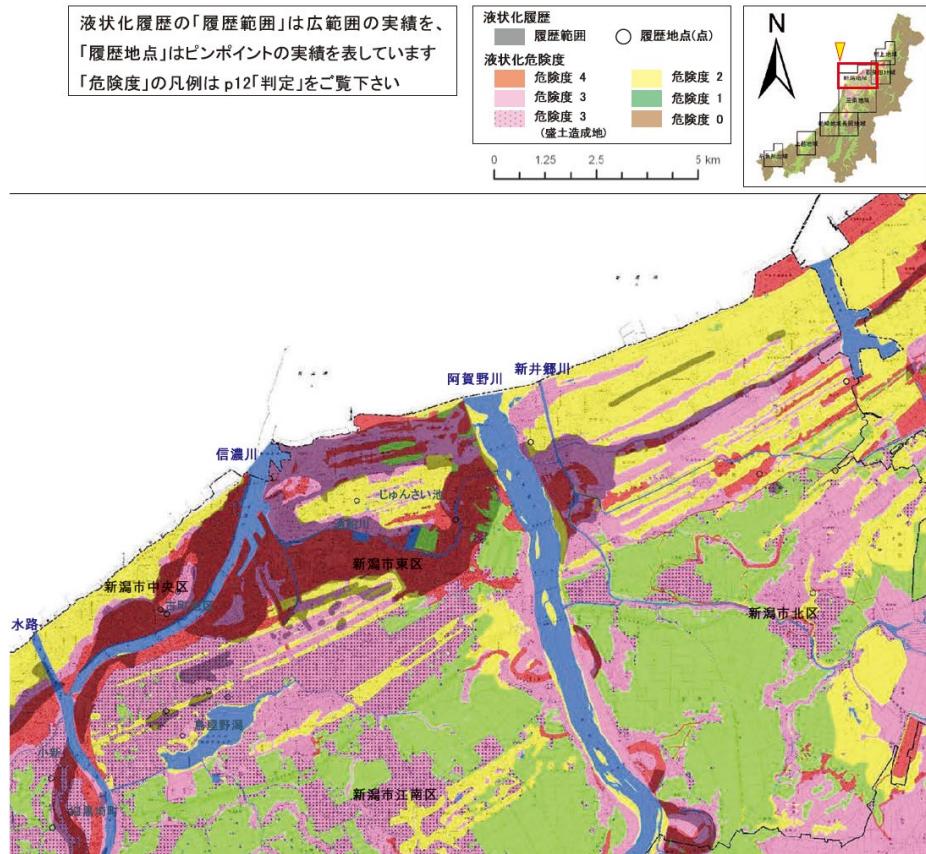
国土地理院に申請しオンライン購入可

古文書・古地図

明治以前の旧河道や
土地改変履歴の概略把握

液状化ハザードマップ

北陸の液状化しやすさマップ

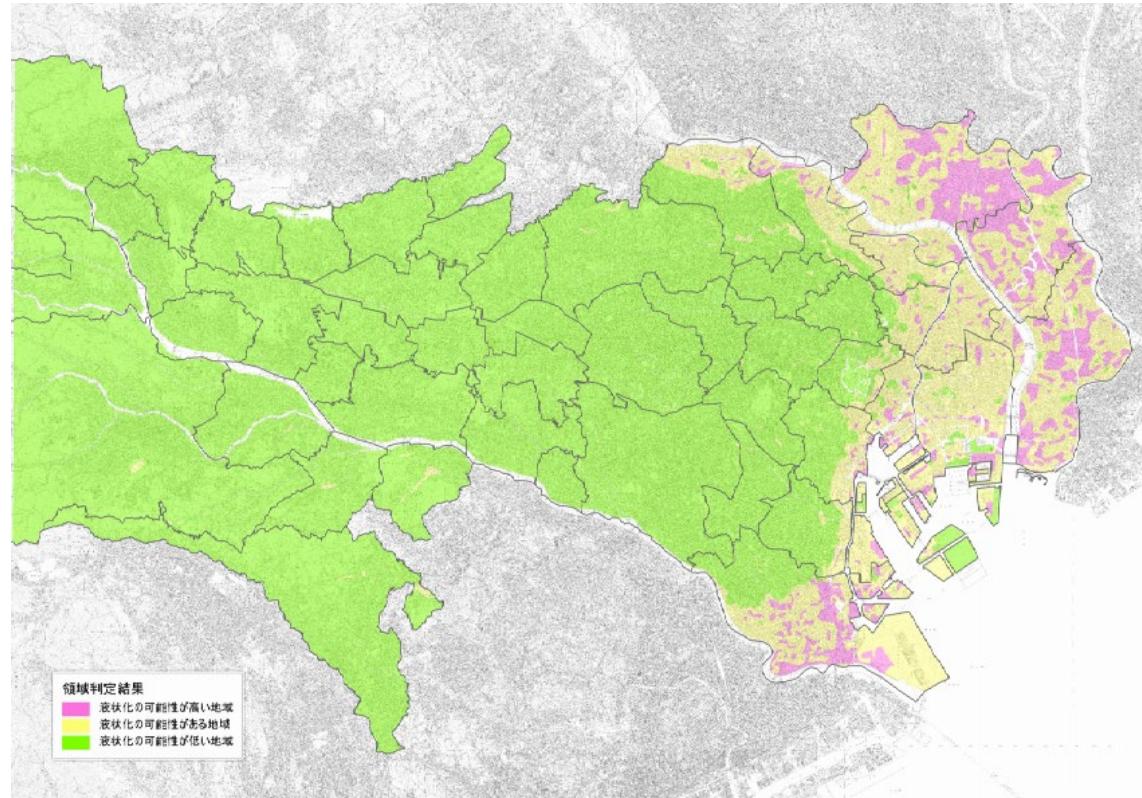


(国土交通省北陸地方整備局・地盤工学会北陸支部, 2012)

下記サイトで閲覧可能

<http://www.hrr.mlit.go.jp/ekijoaka/attention.html>

東京都の液状化予測図

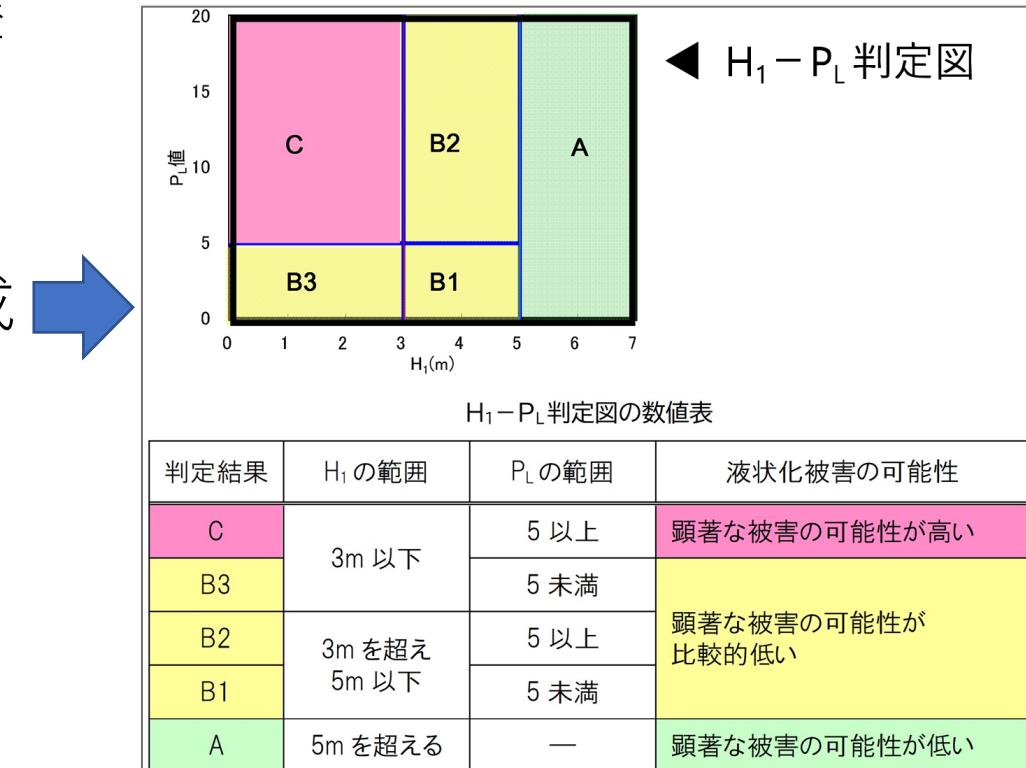


(東京都防災局, 2021)

従来は、自治体毎に異なる危険度評価に基づくマップが公開されていたが、近年、国土交通省が作成方針を提示

国土交通省では「リスクコミュニケーションを取るための液状化ハザードマップ作成の手引き」を公開（R2.3）

- 地域全体の液状化発生傾向を確認するための「地域の液状化発生傾向図」の作成
 - 微地形、旧地形・土地改変履歴、液状化被害履歴等の情報を活用
 - 5段階で評価・区分
- 個別宅地等の液状化被害リスクを確認するための「宅地の液状化危険度マップ」の作成
 - 地盤情報データを活用したPL値や非液状化層厚に基づき判定
- 液状化被害と対策・対応への理解を深めるための「災害学習情報」の作成
 - 対策・対応への行動促進



6. 液状化対策

～基本的な考え方～

- 液状化の発生を防止・抑制する
 - 液状化のメカニズムを踏まえ、その発生要因の除外が対策のポイント
- 被害に至らないように構造物側で対処
 - 杭基礎など
 - 地盤が液状化しても被害が出なければOK
- 代替機能を準備
 - ライフラインの二重化など
 - 一部が被災しても、別のルートが生きていればOK
- 液状化危険度の低い地域で建設

液状化の発生を防止・抑止する対策①

～発生メカニズムをふまえた対策法～

密度増大工法：間隙が小さな硬い地盤になるよう締め固める
対策の根拠

- ・砂粒子の接触が多く、すべての粒子間が外れるためには大きな力で長時間をする
- ・接触が外れても、粒子が浮遊して自由に動ける余地が少なく、液体状態が継続しない

主な対策工

振動締固め：盛土工事では、機械により振動を与えながら土を締固めて高密度の地盤を造成

コンパクションパイ爾：深部の締固めは、削孔して砂や礫を投入しながら振動を与えて高密度の地盤を造成

大規模な土木工事となる

液状化の発生を防止・抑止する対策②

～発生メカニズムをふまえた対策法～

地盤改良・固化：セメントや石灰、薬液で接点間を結合

対策の根拠

- 粘着力が無い砂粒子間に結合力を与え、地震力で粒子間が外れることを防ぐ

主な対策工

事前混合処理：盛土・埋立てに用いる土に、セメントや石灰をあらかじめ混ぜてから造成工事を実施

薬液注入工法：地盤内に2液タイプの薬液を浸透注入し、液が地盤内で混合すると固化する

深層混合処理：深部にセメント等の固化材を攪拌しながら地盤と混合して改良

新潟空港の滑走路
やすらぎ堤の対策
下水道被害の復旧
札幌市清田区の復旧
などで採用

既存建物の基礎下の
対策として利用可能

固化材を地盤内に入れる方法は他にも多く開発されている

液状化の発生を防止・抑止する対策③

～発生メカニズムをふまえた対策法～

地下水位低下工法

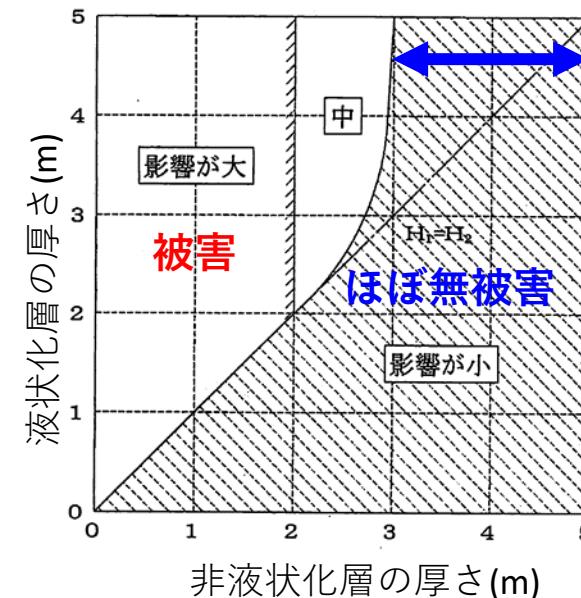
対策の根拠

- ・地下水水面より上は液状化しない
- ・表層の非液状化層が厚い場合、住宅基礎を支えることが可能
- ・深い層は液状化しにくい傾向

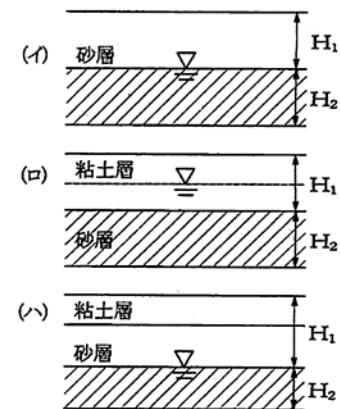
近年の多くの被災地で広域を対象とした復旧対策工として実施されており、能登半島地震の被災地の対策工としても採択

ただし、下部に軟弱な粘土層がある場所では、地下水位低下は地盤沈下を引き起こす副作用がある

経験的には、液状化層の上の非液状化層の厚さが3m以上ある場合、戸建て住宅は被害になりにくい



小規模建築物基礎設計指針より



液状化の発生を防止・抑止する対策④

～発生メカニズムをふまえた対策法～

排水促進：透水性の高い材料を地中に入れて震動中に地下水を逃がす

対策の根拠

- ・液状化時に水圧が上昇すると、水を通しやすい部分に水が流れ、粒子間の間隙が即縮小し、粒子間の接触が保たれて液状化しにくくなる

間隙水圧消散工法
とも呼ばれる

主な対策工

バーチカルドレーン：水が抜けやすく液状化しない碎石等で杭を構築し、排水を促す
碎石でなく樹脂材料が使われることも

排水が間に合わない場合（設置間隔が広い、非常に強い地震が作用する場合等）、液状化してしまう懸念もある

液状化の発生を防止・抑止する対策⑤

～発生メカニズムをふまえた対策法～

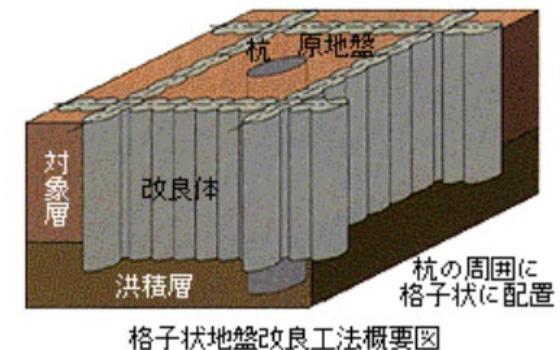
変形抑制：地中壁などで地盤の動きを拘束してせん断変位を抑制

対策の根拠

- 地盤より硬い地中壁等が地盤の変形を押さえ、
土粒子の動きが小さくなるため、粒子間の接触
が外れにくくなる

主な対策工

格子状改良：基礎下に地中壁を箱状に構築し、内部変形抑制
浦安では震災復旧で地中壁を道路の下に
格子状に構築して地域全体の対策を採用



おわりに

2024年1月1日の能登半島地震で被災された北陸地域の皆様には、あらためてお見舞いを申し上げます。

上部構造の耐震化が進むなか、液状化は、

- ・建物被害が出ないような比較的小さな地震動でも発生する可能性
- ・地盤が未対策では、最新の建物でも被害となる可能性
- ・人口が集積した都市の平野部は危険度が高い地盤が多い
→ 広域で被害が発生し、被災家屋が非常に多い地盤災害

したがって、液状化は多くの市民の関心が高い問題の一つであり、私たち地盤工学に携わる研究者、技術者は、市民の懸念や疑問に対して適切に対応していかなければならぬと感じています。

参考文献

- ・新潟県土木部編（1965）：公共土木施設被害写真集，新潟県。
- ・岡二三生（2001）：地盤液状化の科学，近未来社。
- ・吉見吉昭（1991）：砂地盤の液状化 第二版，技報堂出版。
- ・国土庁防災局（1999）：液状化地域ゾーニングマニュアル 平成10年度版。
- ・国土交通省（2013）：宅地液状化被害可能性判定に係る技術指針。
- ・新潟市編（1973）：新潟市史上巻(昭和九年発行の復刻版)，名著出版。
- ・日本建築学会編（1988）：建築基礎構造設計指針，日本建築学会。
- ・日本道路協会編（2017）：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，日本道路協会。
- ・Tatsuoka, etc. (1980) : Standard Penetration tests and soil liquefaction potential evaluation, Soils and Foundations, Vol.20, No.4,95-111.
- ・日本建築学会編（2008）：小規模建築物基礎構造設計指針，日本建築学会。
- ・国土交通省（2013）：宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針。
- ・国土交通省北陸地方整備局・地盤工学会北陸支部（2012）：北陸の液状化しやすさマップ，
<https://www.hrr.mlit.go.jp/ekijoka/attention.html>
- ・東京都防災局（2021）：東京の液状化予測図，<https://doboku.metro.tokyo.lg.jp/start/03-jyouhou/ekijyouka/top.aspx>
- ・国土交通省（2021）：リスクコミュニケーションを取るための液状化ハザードマップ作成の手引き，
https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html