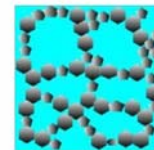


液状化について

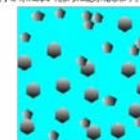
山形県地質土壌調査業協会
技術副委員長 渡邊明弘
(株式会社 双葉建設コンサルタント)



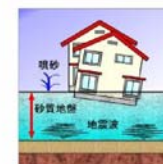
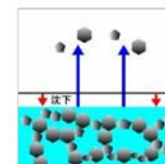
② なにこともなければ地中の砂粒子は互いに噛み合い、隙間の水(間隙水)も固定しています。



③ 大きな地震が起きると、その揺れで土の体積は小さくなるように。砂粒子の隙間に加わる圧力が急激に高くなります。圧力が砂粒子の噛み合う力を越え、隙間水は砂粒子の隙間から逃げ、砂粒子が水に包まれるようになります。



④ さらに間隙水は逃げ場を求め、土砂を伴い地表を移動し、吹き出します。土砂を伴って吹き出した体積だけ地盤も沈下することになるのです。



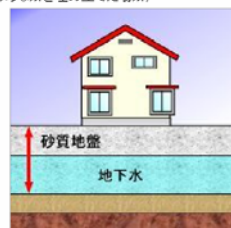
液状化現象がなぜ起きるのか

地盤の液状化は、地盤条件がそろって起きます。

- ① 緩い砂質地盤があること。
- ② 地下水があること。
- ③ 地震動などにより地盤が繰り返し揺れること。

このことが、重なり液状化が発生します。

- ① 地下水が比較的浅い所にあり、砂を多く含む地盤に注意が必要です。(むかし海・川・池・沼であったような所を埋め立てた場所)



液状化が起きやすい地形



図1 地形模式図による液状化区分²⁾

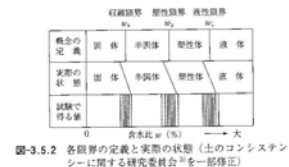
表1 液状化から見た液状化可能性(文献¹⁾ p.30の表1.1より引用)

液状化可能性の程度	液状化可能性の地形
大	自然埋積砂浜、北東の小さい自然埋積、蛇行河、旧河道、旧池沼、砂質堆積の河川、砂丘、埋積砂浜、人工海浜、砂丘埋積地、埋積地、埋立地、埋立地(等)。
中	平野、砂質堆積地、自然埋積、埋積地、埋立地、埋立地(等)。
小	埋立地、砂質堆積地、砂質堆積地、砂質堆積地、砂質堆積地。

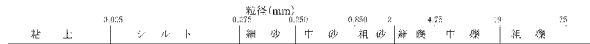


液状化が起きる地盤の詳細

- ①一般に地表面から20m程度以浅の沖積層であること。
- ②細粒分含有率が35%以下の土であること。
- ③ただし、埋立地などの人口造成地は、35%以上でも、低塑性シルト・液性限界に近い含水比を持ったシルトなどは、液状化することがある。
- ④粘土分の含有率が10%以下でまたは塑性指数IPが15以下の埋立であるいは盛土地盤であること。
- ⑤細粒土を含む礫・透水性の低い土層に囲まれた礫など。



(日本建築学会:建築基礎構造設計指針)



過去に起きた液状化地点

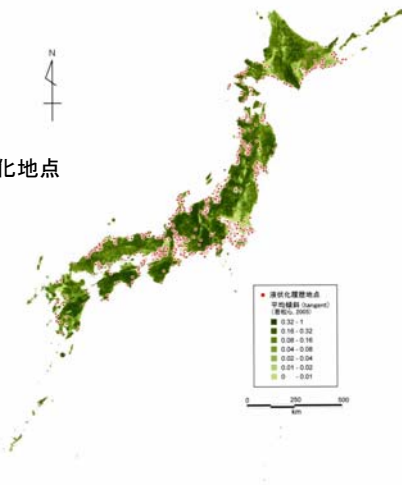
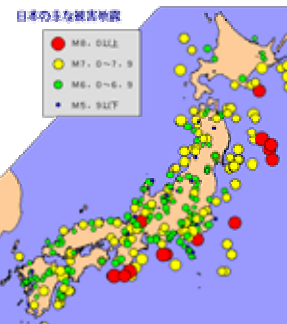


図 1.4 745~2008 年に発生した地震による液状化履歴地点の分布
Fig. 1.4 Distribution of liquefied sites during the earthquakes from 745 to 2008

過去の地震・液状化

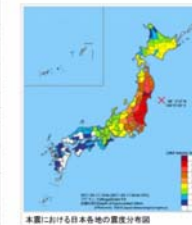
液状化は、地震が発生して、起きる現象です。
では、日本近辺の地震活動は、以下のようになっています。



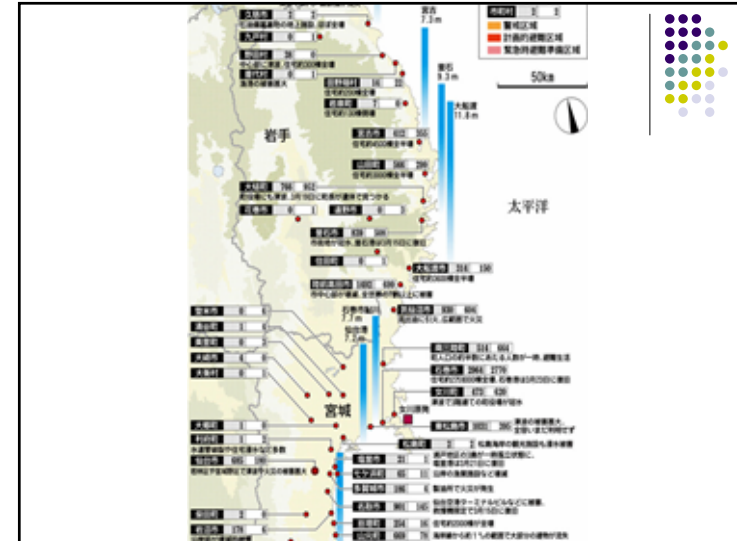
東北日本大震災

東北地方太平洋沖地震(23.3.11 PM2:46発生)

震度	新道府県	市区町村
7	宮城県	栗原市(計測震度6.67)
6強	宮城県	涌谷町 登米市 美郷町 大崎市 名取市 蔵王町 川崎町 山元町 仙台市宮城野区 石巻市 塩竈市 栗田島市 大島村
6弱	福島県	白河市 須賀川市 国見町 天栄村 磐石町 磐前町 富岡町 大船町 双葉町 浪江町 新地町
5強	茨城県	鉾田市 日立市 茨城県 小美玉市 龍岡市 笠間市 筑西市 常陸大宮市
5弱	栃木県	大田原市 宇都宮市 奥州市 市貝町 高橋沢町
5	岩手県	大船渡市 釜石市 滝沢村 矢野町 花巻市 一関市 盛岡市 奥州市
4強	宮城県	気仙沼市 南三陸町 白石市 角田市 岩沼市 大河原町 登米町 仙台市青葉区 仙台市若林区 仙台市東区 松島町 利根町 大和町 大郷町 塩谷町
4弱	福島県	福島市 郡山市 二本松市 桑折町 国見町 川俣町 西郷村 中島村 矢野町 棚田町 玉川村 渡川町 小野町 田村市 本宮市 伊達市 いわき市 相馬市 山形市 川内町 東田町 南相馬市 雄勝町
4	茨城県	水戸市 北茨城市 ひたちなか市 茨城県 常陸太田市 土浦市 石岡市 守谷市 取手市 つくば市 鹿嶋市 潮来市 美浦村 坂東市 船橋市 かずみがうら市 行方市 桜川市 常総市 つくばみらい市 城里町
3強	栃木県	那須町 那須塩原市 芳賀町 那須烏山市 那須川町
3	群馬県	桐生市
2強	埼玉県	深谷町
2	千葉県	成田市 印西市 浦安市



地震発生のメカニズム



震災直後の協会の対応

- 3/13 東北地質調査業協会より緊急調査の要請
山形県ならびに秋田県協会に対して意思確認
応援可能な会社と人員、車両の確認
- 3/14 東北地質調査業協会より応援要請
宮城県土木部との災害協定に基づく緊急調査
主体は宮城県(在仙)業者としその傘下で協力
土石流・地すべり危険箇所(全1583箇所)の被害調査
- 3/19 調査体制の整備と実施計画の決定
新東京ジオ・システム, 新和設計, 高田地研の3社で対応
- 3/22～3/26 大河原土木事務所管内で実施
秋田県協会からは4社が参加

液状化被害



その他の液状化被害

港湾構造物被害



道路被害



2011/03/12 高知



2011/03/12 高知



2011/03/14 高知



2011/03/14 高知

東日本大震災での液状化被害

ライフライン被害



農業被害



庄内平野での地震

山形県内に被害を及ぼした主な地震(山形気象台調べ)

西暦(和暦)	地域(名称)	マグニチュード	主な被害
850	出羽	7.0	国府の城柵が壊れ、圧死者多数。最上川の岸が崩壊、海水は国府から4kmまで迫った。
1804.7.10 (文化元.6.4)	象潟地震	7.0	飽海、田川郡で被害。死者333。倒壊家屋5,500余。酒田では津波で浸水家屋300余。
1833.12.7 (天保4.10.26)	羽前、羽後、越後、佐渡	7.5	庄内地方で死者42。倒壊家屋475。沿岸を津波が襲う。
1894(明治27).10.22	庄内地震	7.2	酒田付近を中心に被害。死者726、負傷者1,060、住宅全壊3,858、家屋焼失2,148。
1896(明治29).8.31	陸羽地震	7.2	秋田県・岩手県で大きな被害。県内は壁の剥離などの小被害。
1939(昭和14).5.1	男鹿地震	6.8	秋田県で大きな被害。県内は小被害。津波あり。
1944(昭和19).12.7	左沢地震	5.5	鮎屋街壊、土蔵の破損、家屋の傾斜・移動。煙突の折損、山崩れ・地割れあり。
1962(昭和37).8.19	蔵王山付近	4.4	震央付近で地鳴り、がけ崩れあり。
1964(昭和39).6.16	新潟地震	7.5	死者9、負傷者91、建物全壊486、半壊1,189、床上浸水16、床下浸水23、非住家被害1,772。水田流失・埋没・冠水、道路損壊、機架流失、堤防決壊、山崩れ、鉄道被害、通信被害、船舶損壊など。津波あり。



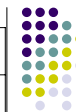
西暦(和暦)	地域(名称)	マグニチュード	主な被害
2003(平成15).5.26	宮城県沖	7.1	負傷者10、建物一部損壊2、非住家被害85、道路被害14など。
2003(平成15).7.26	宮城県中部	6.4	山形市と山辺町で負傷者2。
2004(平成16).10.23	平成16年(2004年)新潟県中越地震	6.8	一部で水道管の破裂による断水、一時的な交通規制。
2005(平成17).8.16	宮城県沖	7.2	負傷者1、壁・天井の一部損壊7、交通規制。
2008(平成20).6.14	平成20年(2008年)岩手宮城内陸地震	7.2	負傷者1、建物一部損壊1、非住居3、道路損壊1、交通規制
2008(平成20).7.24	岩手県沿岸北部	6.8	負傷者2(庄内町1・山形市1)、建物一部破損1(山形市商業施設)

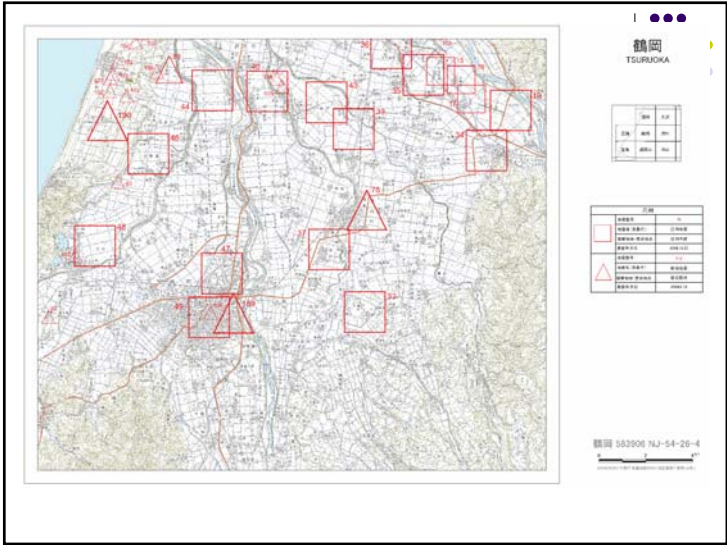
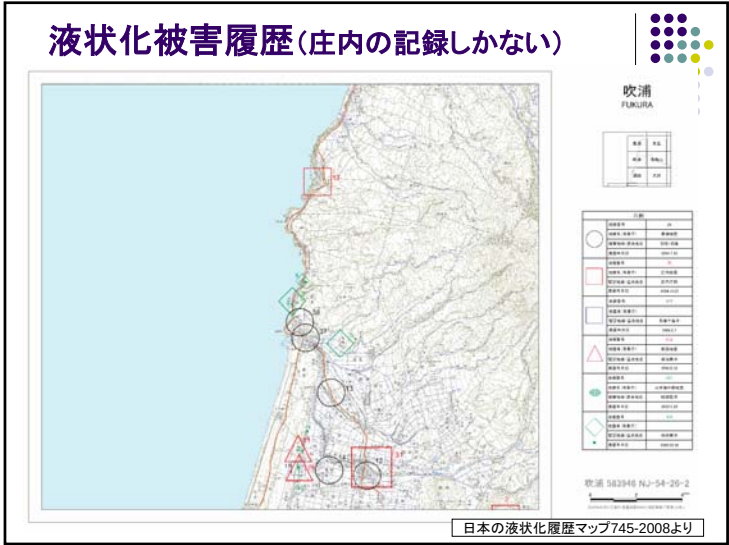
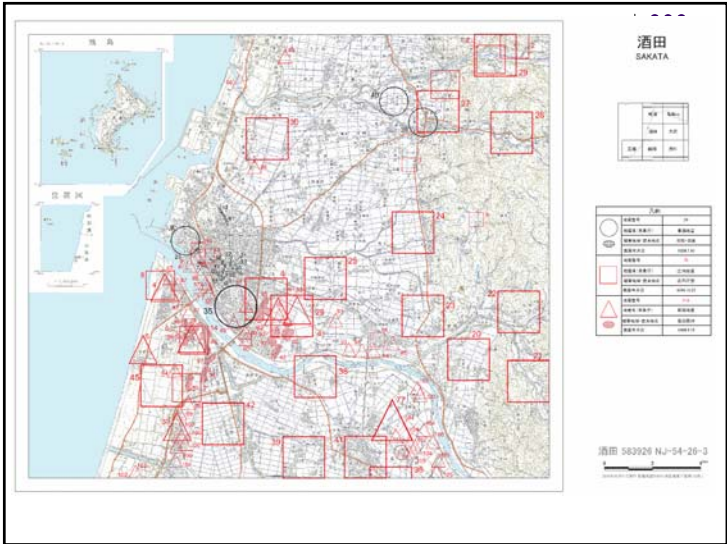
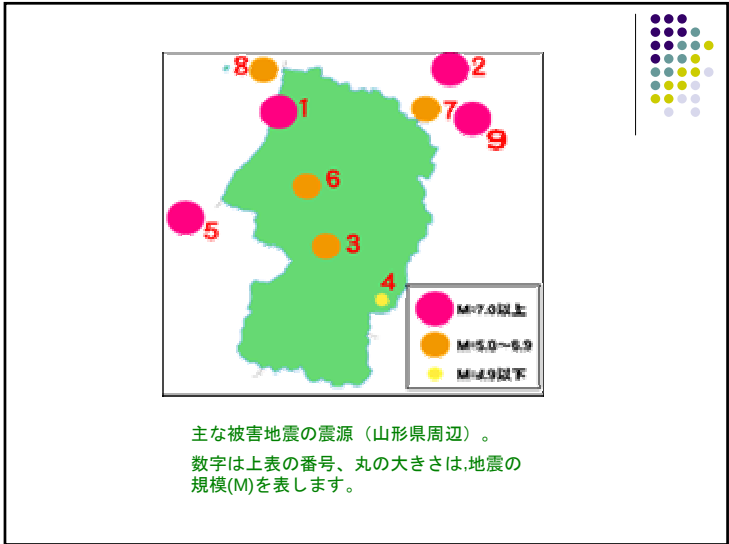


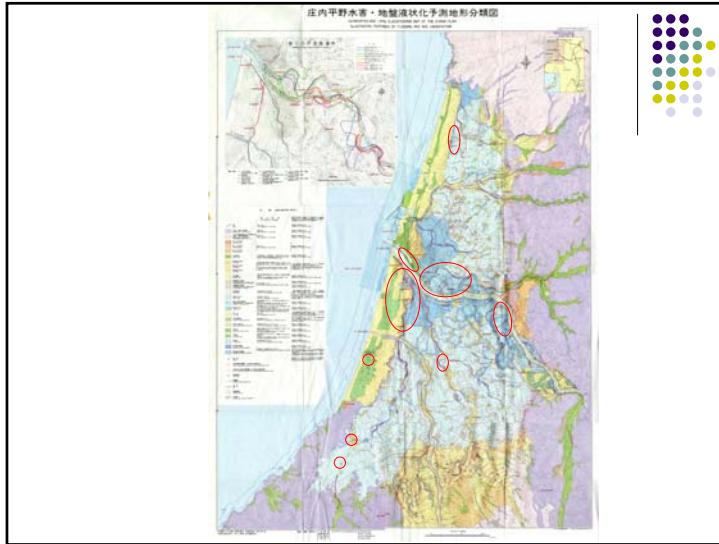
西暦(和暦)	地域(名称)	マグニチュード	主な被害
1968(昭和43).5.16	1968年十勝沖地震	7.9	青森県・岩手県・北海道で大きな被害。県内は非住家被害1、停電1,800戸。
1972(昭和47).8.20	山形県庄内	5.3	小被害(コンクリートアパートの壁剥離、停電など)。
1978(昭和53).2.20	宮城県沖	6.7	負傷者3、建物の一部損壊1、非住家被害3、道路損壊2。
1978(昭和53).6.12	1978年宮城県沖地震	7.4	負傷者1、住宅全壊1、一部損壊1、非住家被害2。道路損壊4、土砂崩れ、農業用送水管破裂、停電19万戸、交通障害、電話回線の不通など。
1983(昭和58).5.26	昭和58年(1983年)日本海中部地震	7.7	津波による漁船の沈没9、建物の一部損壊1、文教施設23。道路損壊1、停電563、水道管破裂、電話回線の不通など。
1993(平成5).7.12	平成5年(1993年)北海道南西沖地震	7.8	飛島で住民約650人が高台に避難。
1996(平成8).8.11-14	秋田、宮城、山形県境	6.1(最大)	最上町や尾花沢市などで被害が発生し負傷者12。住宅の一部損壊3、非住家被害11、文教施設3。道路の損壊12、河川などの被害6、田畑の亀裂5。
1999(平成11).2.26	秋田県沖	5.3	遊佐町や酒田市などで住宅の一部損壊217。水道管の破裂、停電、道路の段差・亀裂など。



西暦(和暦)	地域(名称)	マグニチュード	主な被害
2011(平成23).3.11	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震	9.0	○人的被害 死者2(山形市2)、 重傷者6(山形市1・天童市1・尾花沢市1・新庄市2・南陽市1) 軽傷者12(上山市1・天童市1・尾花沢市1・中山町1・新庄市7・川西町1) その他:人工呼吸器バッテリー低下により救急搬送(山形市6・上山市1・東根市3)、停電による呼吸困難により救急搬送(山形市1) ○住家 一部損壊21(山形市2・上山市1・村山市1・尾花沢市2・中山町2・朝日町1・舟形町2・戸沢村3・米沢市6・南陽市1) ○小屋、倉庫等の非住家 全壊・半壊(上山市・東根市・中山町・大石田町・米沢市・高島町・川西町) ○教育施設 公立(小学校31校・中学校17校・高校28校(県立27校、市立1校))
2011(平成23).4.7	宮城県沖	7.1	○人的被害 死者1(尾花沢市1)、 重傷者2(上山市1・河北町1)、 軽傷者9(山形市1・尾花沢市2・大石田町1・金山町2・酒田市2・庄内町1) その他:人工呼吸器バッテリー低下により救急搬送(河北町1・上山市3・川西町1・高島町1)、気分悪く救急搬送(大石田町1) ○住家 半壊1(尾花沢市1) 一部損壊16(尾花沢市16) ○小屋、倉庫等の非住家 全壊・半壊(尾花沢市)







2 庄内平野東縁断層帯の長期評価の改訂内容

前回の長期評価は、断層帯の全てが同時に活動した場合を評価したものであるが、今回の評価では、北部と南部に活動区間を分け、それぞれが単独で活動した場合の地震規模及び発生確率が示された。

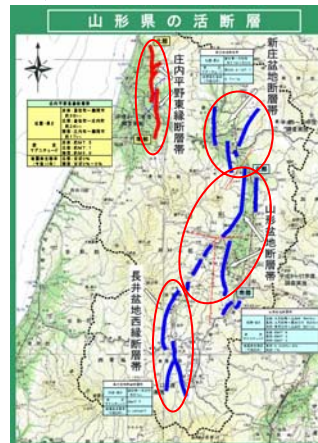
- (1) 北部の地震規模はマグニチュード（以下「M」）7.1 程度、今後 30 年以内の地震確率はほぼ 0%
- (2) 南部の地震規模は M6.9 程度、今後 30 年以内の地震確率は 0%～6%
- (3) 活断層全体が同時に活動する場合の地震規模は、前回と同じ M7.5 程度

項目	前回の評価 (H17.4.13 公表)	今回の評価 (H21.10.19 公表)
長さ	約 38 km（遊佐町～鶴岡市）	全体：約 38 km 北部：約 24 km（遊佐町～酒田市） 南部：約 17 km（酒田市～鶴岡市）
最新活動時期	約 3000 年前以後、18 世紀末以前	北部：1894 年庄内地震 南部：約 3000 年前以後、18 世紀末以前
平均活動間隔	2400～4600 年程度	北部：1000～1500 年程度 南部：約 2500～4600 年
地震の規模	M7.5 程度	全体：7.5 程度、北部：7.1 程度、南部：6.9 程度
地震発生確率 (30 年)	ほぼ 0%～6%	北部：ほぼ 0%、南部：ほぼ 0%～6%

予測されている地震

活断層による直下型地震

- ・庄内平野東縁断層帯
- ・新庄盆地断層帯
- ・山形盆地断層帯
- ・長井盆地西縁断層帯



プレート型の海洋型地震

1 日本海東縁部の長期評価

日本海東縁部では、地球の表面に敷き詰められたプレートと呼ばれる岩盤の相対運動により、東西方向からの圧縮力を受けています。さらに、日本海東縁部では、図 1 の点線で示すプレートの境界が、圧縮力による「ひずみ」が集中した何条かの断層帯などから成っていると考えられています。この「ひずみ」の解放が日本海東縁部で発生する地震なのです。（図 1）



図 1（資料：地震調査研究推進本部）

山形県近海の長期評価一覧及び領域図

表1 (資料：地震調査研究推進本部)

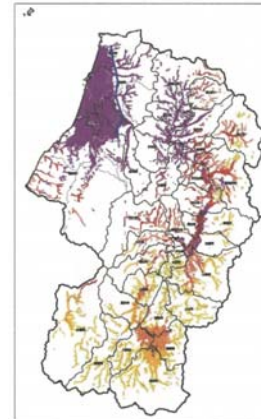
評価領域	秋田県沖 (空白域)	山形県沖 (山内沖の地震発生域)	新潟県北部沖 (新潟地震発生域)	佐渡島北方沖 (空白域)
地震規模	M 7.5程度	M 7.7前後	M 7.5前後	M 7.8程度
震源断面	長さ90km程度	1833年庄内沖の地震(M7.7)の断層を想定(北側50km・南側70km)	1964年新潟地震(M7.5)の断層を想定(80km)	長さ140km程度
平均発生間隔	1000年程度以上	1000年程度以上	1000年程度以上	500～1000年程度
今後10年以内発生確率	1%程度以下	43.4%程度	42.1%程度	1～2%
今後30年以内発生確率	3%程度以下	42.4%程度	42.1%程度	3～6%
今後50年以内発生確率	5%程度以下	42.4%程度	42.1%程度	5～10%

※表中「M」は地震マグニチュードを示す。以下の表中、図中及び本文中においても同様を示す。

図3 (資料：地震調査研究推進本部)



液状化の危険度



庄内平野東縁断層帯地震

凡例
液状化の危険度低
液状化の危険度(小)
液状化の危険度(中)
液状化の危険度(大)

液状化危険度分布

資料：山形県 (1998)「山形県地震対策基礎調査」
 山形県 (2002)「山形盆地断層帯被害想定調査」
 山形県 (2005)「山形県地震被害想定調査」

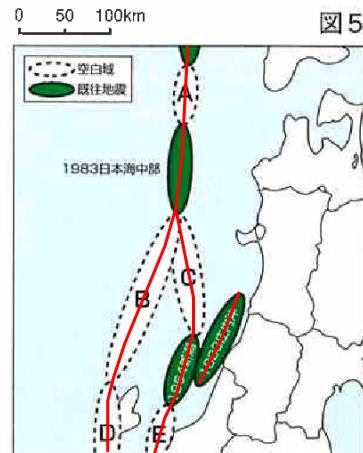
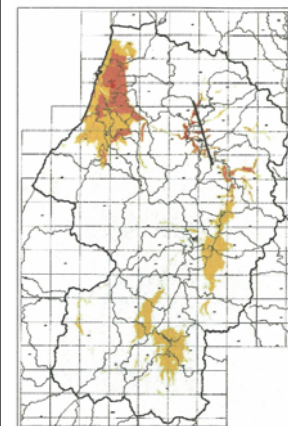
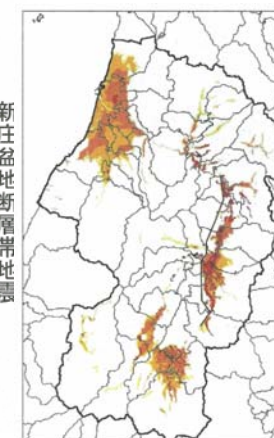


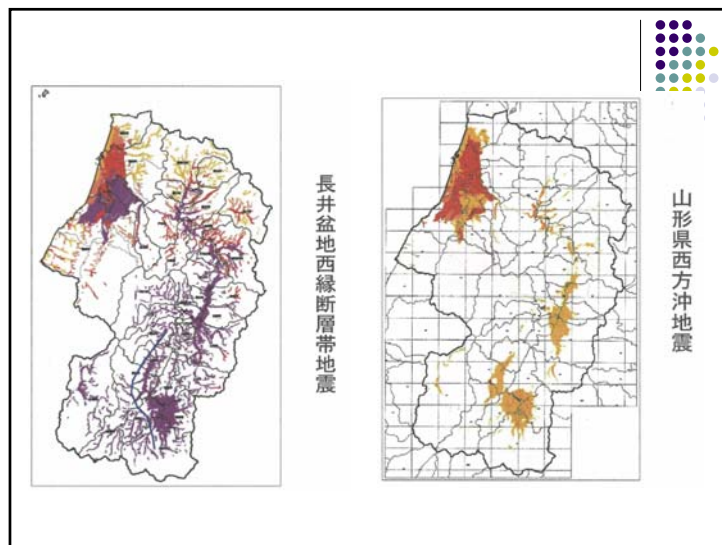
図5



新庄盆地断層帯地震



山形盆地断層帯地震



小規模建築物の場合の液状化深度

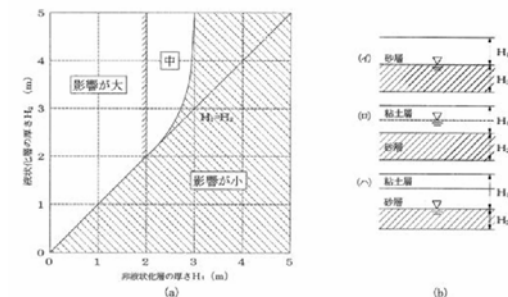


図2 液状化の影響が地表面におよぶ程度の判定(地表面水平加速度値200cm/s²相当)

5mとなっていますが、液状化に対して特に気をつけたいのであれば、**地盤の専門家に調査を依頼し、調査計画・費用を確認してから地盤調査を実施し、対策工を決定する方法がよい**と思います。

今、実施している**SS試験では、液状化判定はできません**。

液状化の判定基準

- 建築基礎構造設計指針: 日本建築学会
- 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編: 日本道路協会
- 水道施設耐震工法指針・解説: 日本下水道協会
- 下水道施設の耐震対策指針と解説: 日本下水道協会
- 共同溝設計指針: 日本道路協会
- 河川砂防技術基準(案)同解説: 日本河川協会
- 危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示: 自治省(総務省)
- 高圧ガス設備等耐震設計指針: 高圧ガス保安協会
- 港湾の施設の技術上の基準・同解説: 日本港湾協会
- 鉄道構造物等設計標準・同解説: 鉄道総合技術研究所

地震時の液状化検討(道路橋示方書)

(1) 耐震設計上の基盤面

耐震設計上の基盤面とは対象地点に共通する広がりを持ち、耐震設計上振動するとみなす地盤の下方に存在する十分堅固な地盤の上面としている。**十分堅固な地盤とは粘性土ではN値25以上、砂質土ではN値50以上の地層とされている。**「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 P.26」

(2) 液状化の判定

液状化の判定を行う必要がある地層条件

1. 地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層。
2. 細粒含有率FCが35%以下の土層、またはFCが35%をこえても塑性指数Ipが15以下の土層。
3. 50%粒径D50が10mm以下で、かつ10%粒径D10が1mm以下である土層。

液状化の判定方法

ここでは、液状化の判定は「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」に基づく。

ただし、平成24年度より、改訂が実施されているので、詳細は、改訂編を確認してください。

液状化の判定を行う必要のある土層に対して、液状化に対する抵抗率FLを算出し、この値が1.0以下の土層は液状化するものと判定する。

液状化の判定式

液状化抵抗率FLは以下の式によって求められる。

$$FL = R / L$$

$$R = CW \cdot RL$$

$$L = \gamma d \cdot khg \cdot \sigma V' / \sigma V'$$

$$\gamma d = 1.0 - 0.015x$$

$$\sigma V = \gamma t1 \cdot hW + \gamma t2' (x - hW)$$

$$\sigma V' = \gamma t1 \cdot hW + \gamma t2' (x - hW)$$

(タイプ I の地震動の場合)

$$CW = 1.0$$

(タイプ II の地震動の場合)

$$1.0 (RL \leq 0.1)$$

$$3.3 + 0.67 (0.1 < RL \leq 0.4)$$

$$2.0 (0.4 < RL)$$

ここに、

FL: 液状化に対する抵抗率

R: 動的せん断強度比

(中空ねじり試験)

L: 地震時せん断応力比

CW: 地震動特性による補正係数

RL: 繰返し三軸強度比

(繰返し三軸試験から求められる)

γd : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

khg: レベル2地震動の地盤面における設計水平震度

σV : 全上載圧

$\sigma V'$: 有効上載圧

x: 地表面からの深さ

$\gamma t1$: 地下水位面より浅い位置での土の単位体積重量

$\gamma t2$: 地下水位面より深い位置での土の単位体積重量

$\gamma t2'$: 地下水位面より深い位置での土の有効単位体積重量

hW: 地下水位の深さ

耐震設計上の地盤種別判定

耐震設計上の地盤種別は、原則として次式により算出する地盤の特性値TGを基に表-5.4により区分するものとする。地表面が基盤面と一致する場合は I 種地盤とする。「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 P.25」

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n (H_i / V_{si})$$

耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値 T_G
I 種	$T_G \leq 0.5$
II 種	$0.5 < T_G \leq 1.0$
III 種	$T_G > 1.0$

ここに、

TG: 地盤の特性値 (s)

H_i: i 番目の地層の厚さ (m)

V_{si}: i 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)

(PS検層の実測値がない場合は以下の式から推定してもよい。)

粘性土層の場合: $V_{si} = 100 N_{i1} / 3$ ($1 \leq N_{i1} \leq 25$)

砂質土層の場合: $V_{si} = 80 N_{i1} / 3$ ($1 \leq N_{i1} \leq 50$)

N_i: 標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値

i: 当該地盤が地表面から耐震設計上の基盤面まで n 層に区分されるとき地表面から i 番目の地層の番号。基盤面とは粘性土層の場合 N 値が 25 以上、砂質土層の場合は、N 値が 50 以上の地層の上面、もしくはせん断弾性波速度が 300 (m/s) 程度異状の地層の上面をいう。

なお、N 値が 0 の場合は $V_{si} = 50$ (m/s) としよ。

設計水平震度

設計水平震度は次式により算出する。

$$khg = C_z \cdot khg_0$$

ここに、

khg₀: レベル2地震動の地盤面における設計水平震度の標準値

C_z: 地域別補正係数 (山形県は地域区分より、C_z = 0.85)

設計水平震度の標準値 khg₀

地震動・地震種別	タイプ I	タイプ II
I 種	0.30	0.80
II 種	0.35	0.70
III 種	0.40	0.60

地震動のタイプⅠとタイプⅡ・レベル1とレベル2の違いって何？

- (1) 橋の耐震設計においては、橋の供用期間中に発生する確率の高い地震動(以下「レベル1地震動」という。)と
橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動(以下「レベル2地震動」という。)の2段階のレベルの設計地震動を考慮するものとする。
 ここで、レベル2地震動としては、プレート境界型の大規模な地震を想定した。
タイプⅠの地震動および**内陸直下型地震を想定したタイプⅡ**の地震動の2種類を考慮するものとする。
- (2) 橋の重要度は、道路の種別および橋の性能・構造に応じて、重要度が標準的な橋ととくに重要度が高い橋(以下、それぞれ、「A種の橋」および「B種の橋」という。)の2つに区分する

表-7 橋の重要度の区分

橋の重要度の区分	対象となる橋
A種の橋	下記以外の橋
B種の橋	- 高速自動車国道、都市高速道路、指定都市高速道路、本州四国連絡道路、一般国道の橋 - 都道府県道、市町村道のうち、地断面、跨線橋、跨道橋及び地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等からとくに重要な橋

表-8

耐震性能の観点

橋の耐震性能	耐震設計上の安全性	耐震設計上の供用性	耐震設計上の修復性	
			短期的修復性	長期的修復性
耐震性能1: 地震によって橋としての健全性を損なわない性能	落橋に対する安全性を確保する	地震前と同じ橋としての機能を確保する	機能回復のための修復を必要としない	軽微な修復でよい
耐震性能2: 地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能	落橋に対する安全性を確保する	地震後橋としての機能を速やかに回復できる	機能回復のための修復が応急修復で対応できる	比較的容易に恒久復旧を行うことが可能である
耐震性能3: 地震による損傷が橋として致命的とならない性能	落橋に対する安全性を確保する	—	—	—

- (3) 橋の耐震性能は、橋全体系の挙動を踏まえ、以下のとおりとする。

耐震性能1

地震によって橋としての健全性を損なわない性能

耐震性能2

地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能

耐震性能3

地震による損傷が橋に致命的とならない性能

- (4) 橋の耐震設計においては、設計地震動のレベルと橋の重要度に応じて、以下のように設計するものとする。

レベル1地震動に対しては、A種の橋、B種の橋ともに、耐震性能1を確保するように耐震設計を行う。

レベル2地震動は、A種の橋は耐震性能3を、また、B種の橋は耐震性能2を確保するように耐震設計を行う。

- (5) 耐震設計で想定していない挙動や地盤の破壊等により構造系の破壊が生じて、上部構造の落下を防止できるように配慮するものとする。

橋梁の耐震設計

- 砂質土の軟弱地盤で、液状化判定だけで、橋梁の耐震設計ができるのか？

下部工はできるが上部工(支承の構造)はできません。
では何が必要か？

地盤の固有周期が必要になります。

橋が地震で揺れるとき、橋の持っている固有周期と地盤の持っている固有周期が一致すると共振し、揺れが大きくなり、橋が破壊する可能性が高くなります。

どうやって計算するのでしょうか？

地震応答解析の必要性

地震動の振幅や波形は、震源から地表に到達するまでに変化する。

この場合、震源から地殻を経て基盤に到る間の変化と基盤より上の地表地盤での変化を比較すると、比較的軟弱で土層構成が複雑な表層地盤中を伝播する間の地震動の変化が著しい。

このことは、地震時に表層地盤中に発生する加速度や応力が複雑に変化していることを示しており、液化化などの検討にあたってはこの点を十分に考慮できる地盤の地震応答解析法を用いる必要がある。

一般的な計算モデルの種類

重複反射モデルによる地震波の伝播

● 重複反射モデル

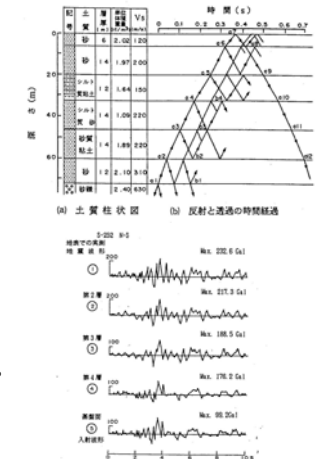
この計算モデルは、右図に示すように、地盤を水平な土層の重なりとみなし、基盤から垂直に入射したせん断波が上方に進行し、各層の境界で透過と反射を繰り返すとするものである。

右下図は各層の境界における地震動の時刻歴の一例を示している。

この方法では、土の応力—ひずみ関係を線形として取り扱うが、最近では疑似的に非線形性を考慮できる等価線形化手法による重複反射モデルが広く用いられている。

このモデルによる計算プログラムとしては、「SHAKE」がよくもちいられている。

この解析を行う場合、中空繰返しねじりせん断試験が必要となる。



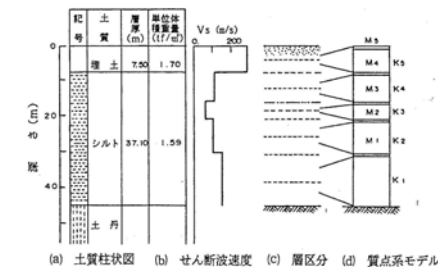
地震応答解析法の種類

解析法 (飽和地盤の取扱)	有効応力解析法、全応力解析法 (固相及び液相) (固相)
計算対象地域 (次元)	1次元、2次元、3次元
一般的な計算モデル	重複反射モデル、質点モデル、有限要素モデル
材料特性	線形、等価線形、非線形
計算領域	時間領域解析法、周波数領域解析法

質点モデル

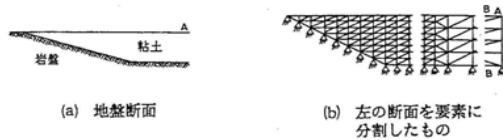
このモデルは、下図に示すように、地盤を1つまたは、複数個の質点とバネ及び減衰機構の組み合わせに置き換えるものである。

この方法は、計算プログラムが比較的簡単であり、バネに非線形な変位—復元力関係を導入することもできる。



有限要素モデル

このモデルは、下図に示すように、地盤を有限個数の要素に分割するもので、地盤に限らず広く各分野で利用されている。
この方法の特徴は、地盤の層厚や物性の2次元的な変化を容易に表現できることにある。実用プログラムとしては、「FLUSH」がよく知られている。



地震応答解析で求められるもの

- 地表面の最大加速度
- 地盤中の最大せん断応力(液状化検討の詳細検討で使用)
- 地表面での固有周期
- 地盤中の変位
- 地盤中のせん断ひずみ

地震波

表-参2.5 震動解析に用いる代表的な強震記録

(a) 標準加速度応答スペクトル S_a

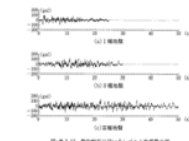
地震種別	地震名	マゴロジョードZ	記録場所
1 震地盤	1979年宮城県沖地震	7.4	東北横関近地盤上
2 震地盤	1980年山口県中津地震	7.5	萩高橋近地盤上
3 震地盤	1983年日本海中部地震	7.7	津軽大橋近地盤上

(b) 標準加速度応答スペクトル S_{a1}

地震種別	地震名	マゴロジョードZ	記録場所
1 震地盤	1979年宮城県沖地震	7.4	東北横関近地盤上
2 震地盤	1980年北海道内陸地震	7.8	七峰横関近地盤上
3 震地盤	1986年山口県中津地震	7.5	萩高橋近地盤上
4 震地盤	1994年北海道東方沖地震	8.2	釧路川内河川近地盤上
5 震地盤	1993年日本海中部地震	7.7	津軽大橋近地盤上
6 震地盤	1994年北海道東方沖地震	8.2	釧路川内河川近地盤上

(c) 標準加速度応答スペクトル S_{a2}

地震種別	地震名	マゴロジョードZ	記録場所
1 震地盤			神戸湾岸近地盤上
2 震地盤	1995年兵庫県南部地震	7.3	神戸湾岸近地盤上
3 震地盤	1995年兵庫県南部地震		大坂ガス自給供給所内近地盤上
4 震地盤	1995年兵庫県南部地震		東神戸大橋近地盤上
5 震地盤	1995年兵庫県南部地震		ポートアイランド内近地盤上



1989年日本海中部地震
津軽大橋近地盤上

1994年北海道東方沖地震
釧路川内河川近地盤上

1995年兵庫県南部地震
東神戸大橋近地盤上

1995年兵庫県南部地震
ポートアイランド内近地盤上

1995年兵庫県南部地震
ポートアイランド内近地盤上

液状化判定方法(建築基礎構造設計指針)

液状化判定の対象となる土層

- ① 一般に地表面から20m程度以浅の沖積層であること。
- ② 細粒含有率が35%以下の土であること。
- ③ ただし、埋立地などの人工造成地は、35%以上でも、低塑性シルト・液性限界に近い含水比を持ったシルトなどは、液状化することがある。
- ④ 粘土分の含有率が10%以下でまたは塑性指数IPが15以下の埋立であるいは盛土地盤であること。
- ⑤ 細粒土を含む礫・透水性の低い土層に囲まれた礫など。

(日本建築学会:建築基礎構造設計指針)

液状化判定方法

下式を用いて液状化判定を行う。

$FI > 1$: 液状化する可能性はない。

$FI \leq 1$: 液状化する可能性がある。

$$FI = \frac{d / \sigma' z}{\pi d / \sigma' z}$$

ここで、

$\pi d / \sigma' z$: 液状化抵抗比

$d / \sigma' z$: 等価な繰返しせん断応力比

この後は、建築基礎構造設計指針を見てください

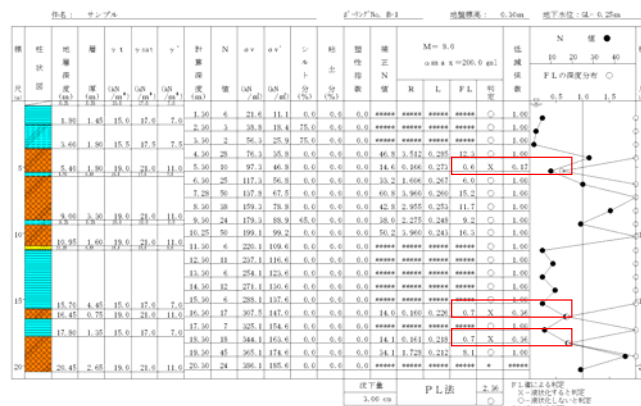
液状化対策工法

- ① 締固め工法(密度の増大): サンドコンパクションパイル工法
- ② 間隙水圧消散工法: グラベルドレーン工法
- ③ 置換工法: 液状化層が浅い場合、良質土の置き換える工法
- ④ 固結工法: 深層混合処理工法・柱状改良工法
- ⑤ せん断変形抑制工法: シートパイルや地中連続壁で周囲の地盤を遮断する工法

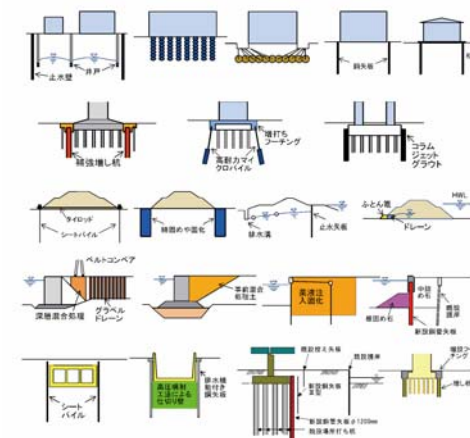
主に、中・大規模建築物での採用しているが小規模建築物である戸建てでは、敷地条件や費用の面で、制約が大きい。
新築時だと、調査費で200万程度・工事が80~800万と成る。

液状化の判定例

液状化簡易判定結果 (建築基礎構造設計指針 (新))



対策工法の例を以下に示す



終わりに



○ 液状化は、どんな地盤でも発生するのか？

A. 飽和している地盤で、土粒子の配列が、地震動によって配列変換が起きれば、どんな地盤でも発生する。一般的には「可能性がある」ということになる。過去に液状化履歴がなくても、粒子配列を乱すような地振動が発生すれば、どこでも起きる可能性がある。

○ どんな地震動か？

A. 2011.3.11の100倍の地震(M=10)が、もし発生するとすれば、発生地点からの平野部の約300km範囲で、地盤は液状化する可能性がある。(その前に全ての構造物が壊れるくらいの地震です)

ただし、発生しないと断言できる場合、過去の地震で最も大きい3.11の地震で液状化の発生している地点、ないし、同様な地震動での液状化解析を行い液状化する可能性が高い地点で、液状化する可能性が高いこととなる。

液状化の履歴がある場所にはなるべく住まないほうが得策である。