地盤工学会東北支部災害協定に基づく講習会『地盤リスクに関するシンポジウム』
主催；公益社団法人地盤工学会東北支部，共催；秋田県，秋田地盤研究会
会場；秋田県庁第二庁舎 8階 大会議室，2019（令和元）年11月22日．

造成地盤のリスク

～最近の地震被害による宅地造成地の主なリスク～

地盤リスク検討小委員会 （復建技術コンサルタント）

幹事委員 佐藤 真吾

博士（工学），技術士（建設部門／総合技術監理部門），地盤品質判定士

内　容

1．地震・豪雨時の造成地盤のリスク

2．宅地造成地の地震被害の特徴
＜最近の3つの大地震被害（主な被害都市）＞
2011年 東北地方太平洋沖地震（仙台市）
2016年 熊本地震（益城町）
2018年 北海道胆振東部地震（札幌市）

3．宅地造成地の地震被害のメカニズム

4．宅地造成地の地震リスクについて

1．地震・豪雨時の造成地盤のリスク

【地震被害】宅地造成地の滑動による被害例

(1) 谷埋め盛土の滑動

(3) 腹付け盛土の滑動

(5) 盛土下の地盤の滑動

(2) 谷埋め盛土の滑動

(4) 腹付け盛土の滑動

(6) 盛土下の地盤の滑動

【地震被害】宅盤の不同沈下被害例

(1) 谷埋め盛土（滑動）

(2) 谷埋め盛土（滑動）

(3) 地震断層

(4) 切盛境界

(5) 谷埋め盛土（揺すり込み沈下）

(6) 宅盤下の火山灰質粘性土の流動化

(7) 盛土地盤の液状化

(8) 盛土地盤の液状化

(9) 地盤の液状化

(10) 盛土地盤の液状化

(11) 盛土地盤の液状化（滑動）

(12) 地盤の液状化（マンホールの隆起）

【地震被害】斜面に近接した住宅の被害例

(1) 盛土斜面

(2) 盛土斜面

(3) 自然斜面

【地震被害】不適格擁壁の被害例

(1) 増し積み擁壁

(2) 増し積み擁壁+建築ブロック擁壁

(3) 増し積み擁壁

(4) 玉石積み擁壁

(5) コンクリートブロック空石積み擁壁

(6) 石積み擁壁

(7) 二段擁壁

(8) 二段擁壁

(9) 高さ5mを超えるブロック積み擁壁

(10) 建築ブロック塀の擁壁

(11) 玉石積み擁壁上に家屋建設

(12) 支持力不足のL型擁壁

【地震被害】土砂災害によるもらい災害例

(1) 腹付け盛土の滑動

(2)　裏山の斜面崩壊

(3)　大規模地すべり

【地震被害】土石流による被害例

(1) 土石流の発生から到達時間（約10分）

(4) 斜面崩壊による土石流の流路変化

(7) 土石流の流下痕跡

(2) 土石流の源頭部（発生源）

(5) 土石流の流路変化により高台まで到達

(8) 土石流地盤の泥濘化状況

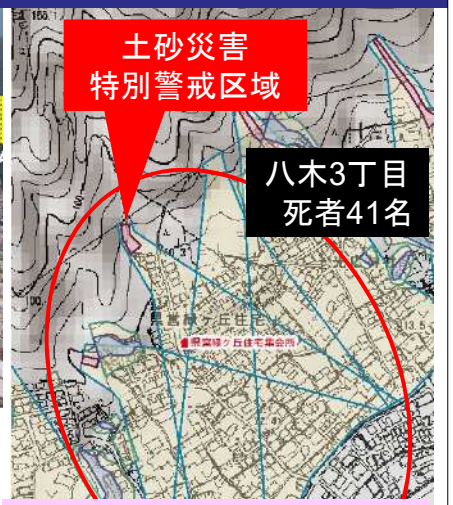
(3) 土石流の流路と堆積状況

(6) 土石流の堆積状況

(9) 土石流による流木堆積状況

【豪雨被害】土石流による被害例

※出典：平成26年広島豪雨土砂災害報告ー緊急調査団報告の概要ー、広島大学大学院教授 土田孝、地盤工学会土砂災害シンポジウム、平成26年10月30日.



【土砂災害特別警戒区域】
建築物に損壊が生じ住民等の生命又は身体に著しい危害が生ずるおそれがあると認められる区域

一連の豪雨で土石流は数回発生。
レッドゾーンは1回目の流下範囲とほぼ一致していたものの、1回目の土石流で流路が塞がれたため、2回目以降の土石流では予測していない方向に多量の土砂が流出

※出典：土砂災害ポータルひろしま

【豪雨被害】盛土斜面の被害例

(1) 杭基礎家屋の擁壁崩壊

(3) 谷埋め盛土斜面の崩壊

(5) 腹付け盛土斜面の崩壊

(2) 杭基礎家屋の擁壁崩壊

(4) 谷埋め盛土斜面の崩壊

(6) 地震で被災した擁壁の崩壊

【豪雨被害】土石流による被害例

(1) 数度の土石流で河床が閉塞され流路が変化
（正面から右手前方向が渓流の流路）

(2) 河床閉塞により流路を変えた土石流が住宅地を直撃

※出典：平成26年広島豪雨土砂災害報告－緊急調査団報告の概要－、広島大学大学院教授 土田孝、地盤工学会土砂災害シンポジウム、平成26年10月30日.

2. 宅地造成地の地震被害の特徴

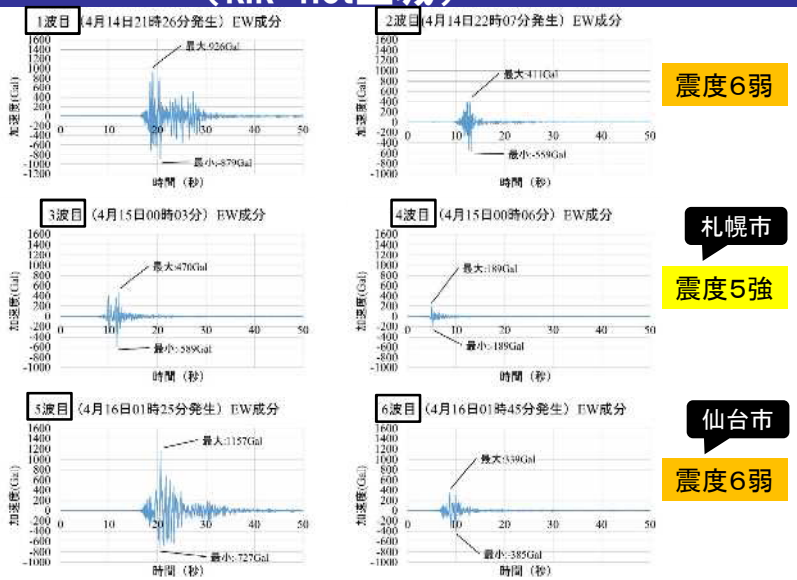
最近の3つの大地震における主な宅地被災地

【2018（H30）年 北海道胆振東部地震】
- 発生日時：2018年9月6日 3時8分
- 震央：北海道胆振地方中東部、深さ37km
- 地震の種類：逆断層型地殻内地震
- 規模：マグニチュードM6.7（気象庁）
- 最大震度：7（厚真町）
- 札幌市清田区（清田消防署）；
  震度5強（計測震度5.1），最大加速度278gal（南北）

【2016年（H28年）熊本地震】
- 発生日時：2016年16月6日 1時3分
- 震央：熊本県熊本地方、深さ12km
- 地震の種類：右横ずれ断層地震
- 規模：マグニチュードM7.3（気象庁）
- 最大震度：7（益城町）
- 益城町；
  震度7（計測震度6.7），最大加速度1157gal（東西）

【2011年（H23年）東北地方太平洋沖地震】
- 発生日時：2011年3月11日 14時46分
- 震央：三陸沖（仙台市の東方70km）
- 地震の種類：海溝型地震、深さ：23.74 km
- 規模：マグニチュードM9.0（気象庁）
- 最大震度：7（栗原市築館）
- 仙台市の丘陵地造成宅地；
  震度6弱（計測震度5.7），最大加速度703gal（東西）

熊本地震における益城町の観測地震動（kik-net益城）



【Kik-net益城】の観測地震波(EW成分)

擁壁被害

【東日本大震災】

盛土の滑動

増し積み擁壁

【熊本地震】

空石積みが目立つ

17

宅盤被害

【東日本大震災】

盛土の滑動

液状化

【熊本地震】

盛土の滑動

地震断層

液状化

18

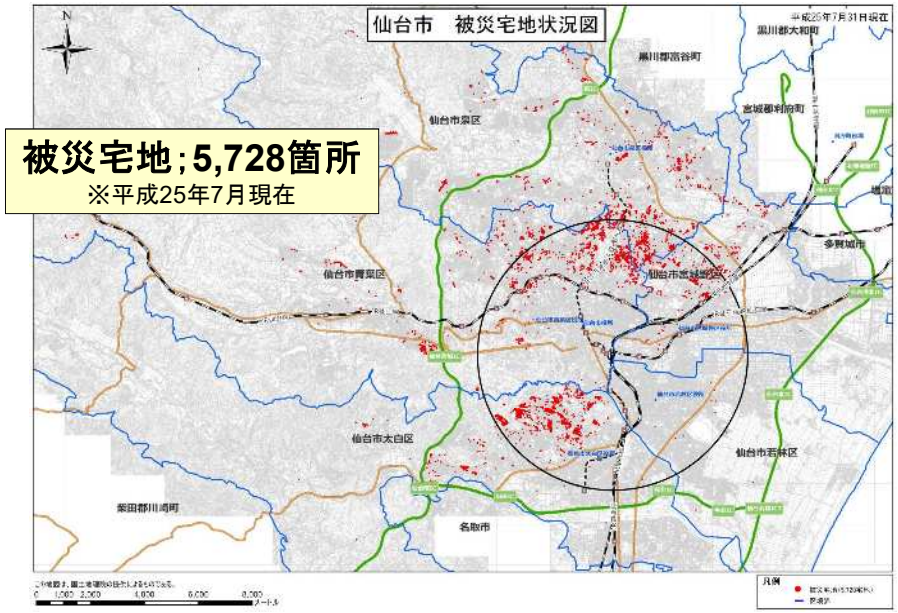
北海道胆振東部地震（札幌市の被害）

19

北海道胆振東部地震（札幌市の被害）

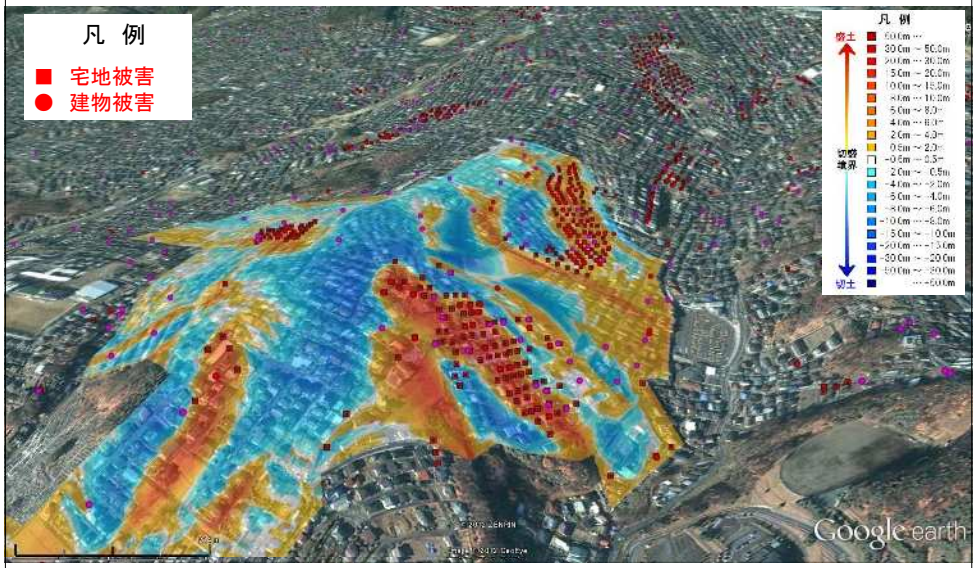
2－1　2011年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）における造成宅地の地震被害（仙台市）

丘陵地造成宅地の被災状況【仙台市内】

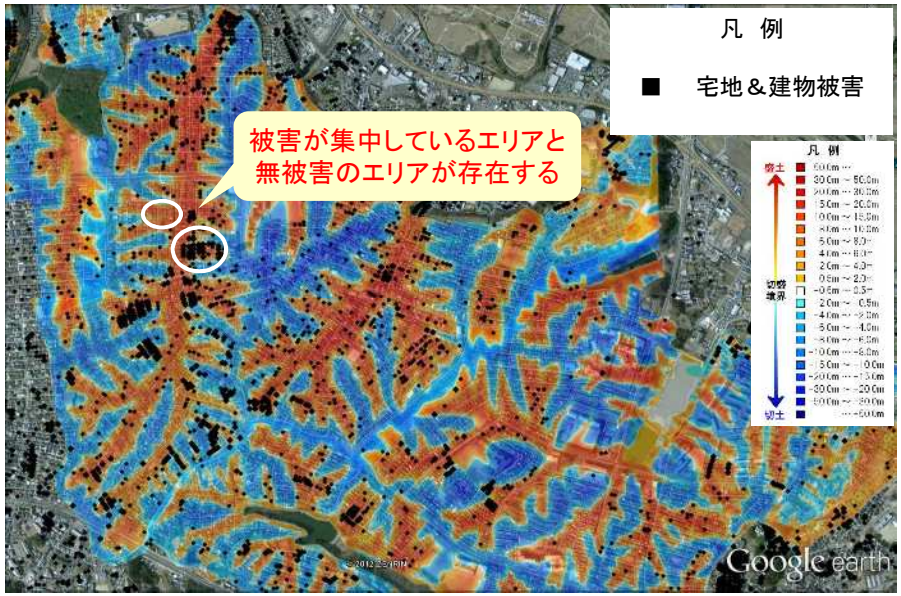


出典：仙台市HP，http://www.city.sendai.jp/jutaku/takuchihisai_010.html

切盛図と被害分布



大規模盛土造成地と被害の関係



盛土造成地の被害形態

(1) 滑動崩落・変形被害

a) 全体すべり

地山と盛土の境界をすべり面とする地すべり的被害

b) ひな壇すべり

盛土の中でも、**ひな壇部の特に緩い盛土部分が変状**する地すべり的被害

(2) 沈下被害（不同沈下）

c) 揺すり込み沈下

緩い盛土が地震動により**揺すり込み沈下**する被害

d) 液状化による沈下

地震動で**泥水が噴出**する等の現象の後に**沈下**が発生する被害
また，噴泥等がなくても、地中で**液状化が発生**して沈下する被害

(3) 擁壁被害

e) 擁壁の安定性不足による変状

擁壁が耐震性不足により損壊または変形することにより宅地地盤が変状する被害

2－2　2016年熊本地震における造成宅地の地震被害（益城町）

造成宅地の被害要因の分類

(1) 谷埋め型盛土の滑動に起因

(2) 腹付け型盛土の滑動に起因

(3) 切盛境界に起因

(4) のり面の安定性不足に起因

(5) 擁壁の安定性不足に起因

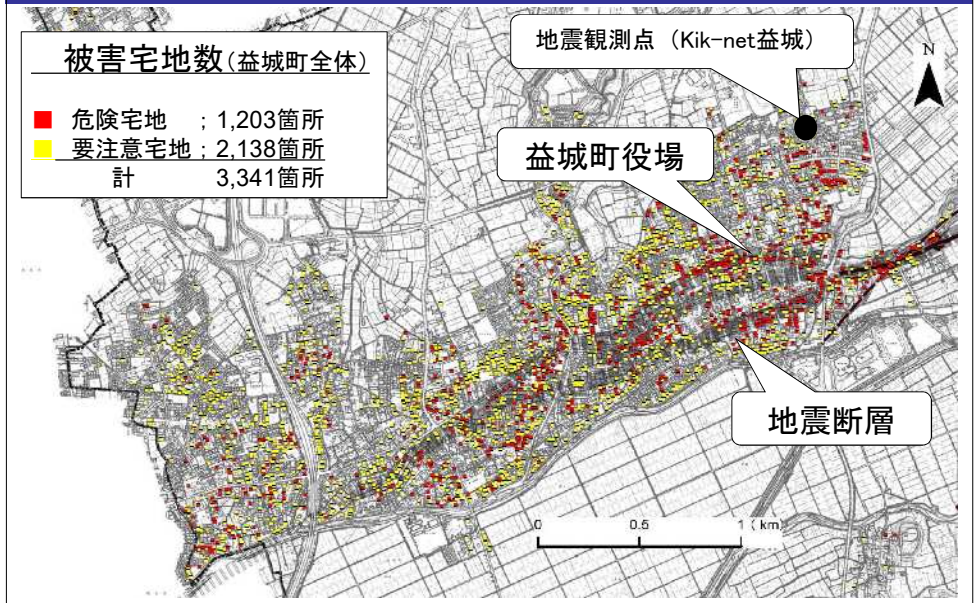
(6) 緩い盛土状態に起因

(7) 地盤の液状化に起因

熊本地震における宅地被害の分布

※出典：熊本県土木部，平成28年熊本地震，熊本県の被災状況【土木部全体版】

宅地被害状況【益城町中心部】



29

被害状況

益城町の被害状況

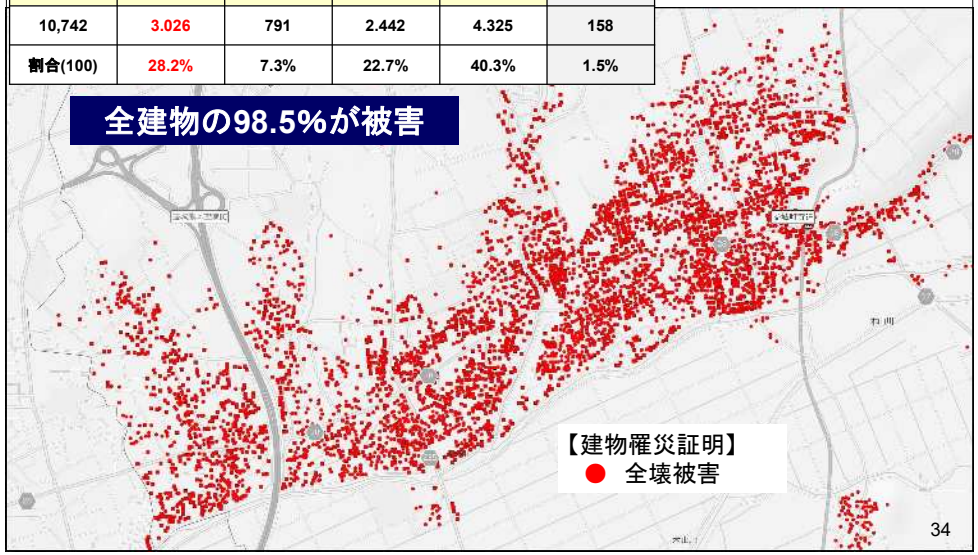
30

被害状況

被害状況

建物被害状況【中心部】

町内の住家総数（棟）	被害判定内訳(罹災証明)（棟）				
	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	無被害
10,742	3.026	791	2.442	4.325	158
割合(100)	28.2%	7.3%	22.7%	40.3%	1.5%



2－3　2018年北海道胆振東部地震における造成宅地の地震被害（札幌市）

北海道胆振東部地震（札幌市の被害）

北海道胆振東部地震（札幌市の被害）

北海道胆振東部地震（札幌市の被害）

北海道胆振東部地震（札幌市の被害）

平成30年北海道胆振東部地震【札幌市清田区】
火山灰質土の流動化と強度回復

札幌市清田区の現場付近は、市内で最も被害が大きかった場所。9月6日の未明に地震が起きた後、報道陣は一斉に現場に入り、中継などをしていた。

「最初は近所の住民が何人も助けに来ました。手にはスコップやショベルを持って集まった。ところが、**あたり一帯が液状化しているので、埋まっている土屋アナの近くに行って、泥をかき出すことができない**。

一緒に埋まった男性のスタッフは、自力で抜け出したようで、土屋アナに『頑張れ』と声を掛けていました。住民の一人は消防に救助を求めて連絡をしていました。ところが、実際に**消防が駆け付けたのは、電話してから1時間半も経過**してからでした。

当日は天気がよかったこともあり、**救急が到着する間に液状化した泥がどんどん固まっていった**んです。**まるで石のように固くなっていた**。写真では**埋まった土屋アナのすぐ隣に救急隊員が立っていますが、それは泥が乾燥して固くなり、立つことができた**からなんです。

救急隊員は梯子を横に寝かせて足場を作り、少しずつ彼女を引き上げようとしていました。でもなかなか引き上げることができない。周りにいる住民たちも、心配そうに救助劇を見つめ『頑張って』と声をかけていました」

付近の住民らが見守るなか、土屋アナらを救い出す作業が続いたが、**液状化した泥に埋まると身動きできなくなる**ことがわかる。

「ようやく**救助できたのは夕方の5時半ごろ。彼女が埋まってからじつに6時間半もかかって救出**できたんです。住民らは一斉に拍手を送り、救出できてよかったと口々に言っていました。

女子アナが泥から出られない「北海道大地震」液状化の恐怖

SmartFLASH 9/15(土) 6:00配信

Copyright (C) 2018 Kobunsha Co., Ltd. All Rights Reserved.

3. 宅地造成地の地震被害のメカニズム

41

3－1　2011年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）における造成宅地の地震被害のメカニズム（仙台市）

42

造成宅地の被害メカニズム【仙台市】

素 因

- ■ 地震動に弱い地盤（⇐大規模盛土造成地）
  - ・盛土は脆弱（N値0~5⇒緩い状態）である
  - ・地下水位が高い
- ■ 擁壁の構造や支持力・安定性に問題がある

↓

誘 因

- ■ 強い地震動（震度6弱～6強）が作用
- ■ 長い時間継続して作用（約180秒継続）
- ■ 飽和砂質土層では液状化が発生

↓

宅地被害

- ■ 大規模盛土造成地の滑動崩落または変形
- ■ 宅盤の不同沈下（段差、開口クラック等含む）
- ■ 擁壁の破壊・変状（⇒宅盤の変状を助長）

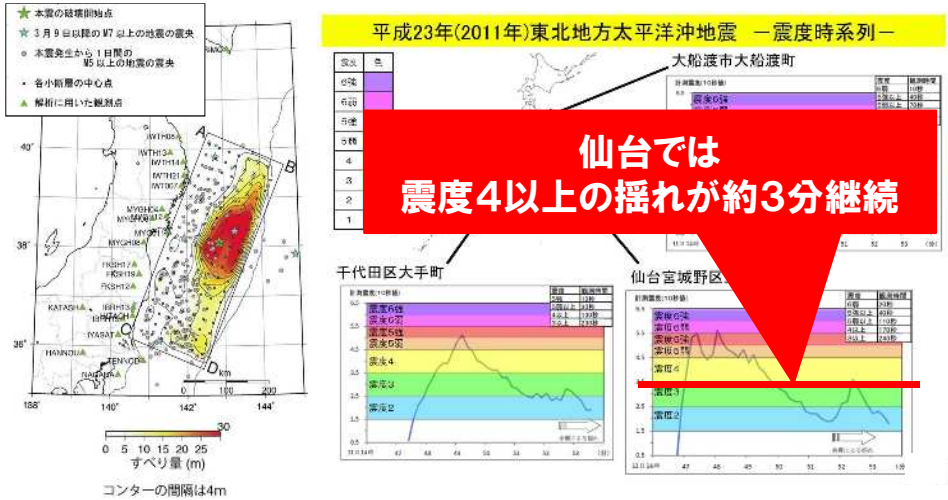
↓

住宅等の構造物被害

43

地震の特徴（継続時間）

震度３以上の揺れが３分以上継続した！



※出典：気象庁，東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会資料（資料2），2011/05/28

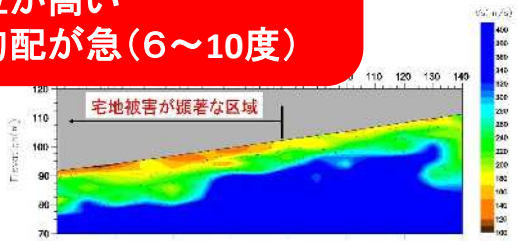
44

甚大な被害地区の盛土地盤の状況

め度の例

甚大な被害地区の盛土地盤は

- 非常に緩い締固め状態である
- 地下水位が高い
- 地表面勾配が急（6～10度）

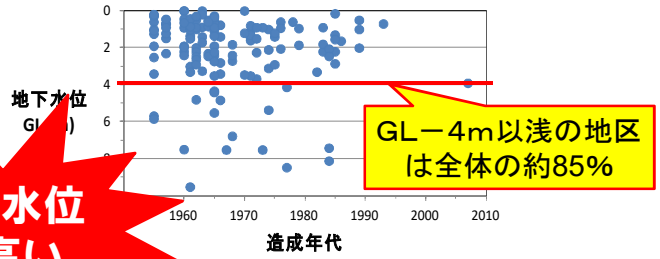


(b) 緩い盛土と宅地被害の関係

45

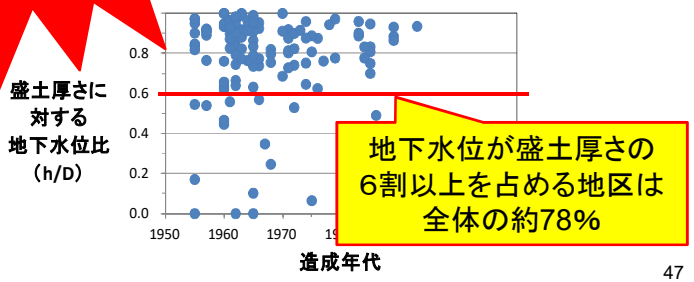
仙台市滑動崩落緊急対策事業（160地区）
盛土内の地下水位

地下水位
GL－(m)



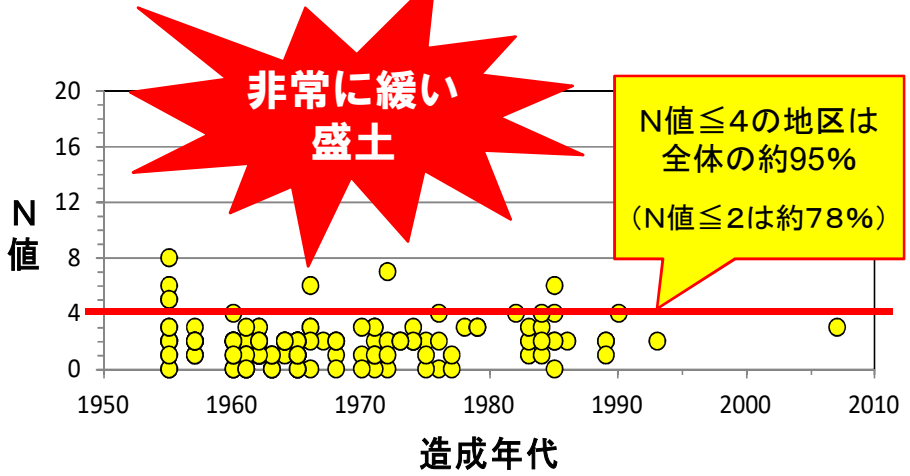
地下水位
が高い

盛土厚さ(D)に
対する
地下水位比(h)
(h/D)



47

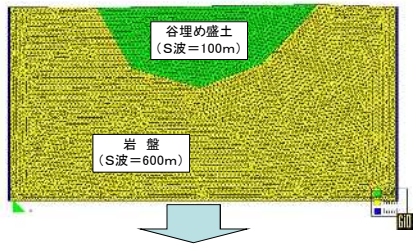
仙台市滑動崩落緊急対策事業（160地区）
盛土のN値の最小値



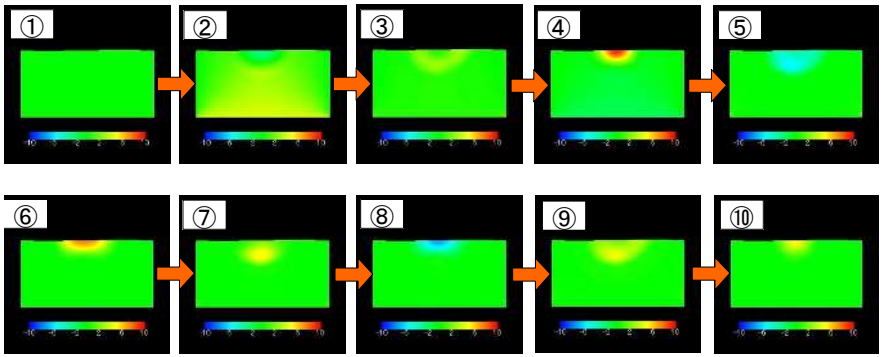
46

盛土は切土と比較して長く大きく揺れる

波動場シミュレーション



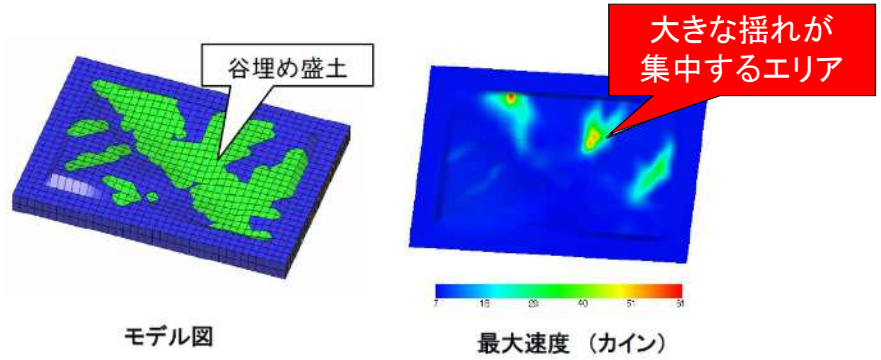
【変位表示】



▲ 市村強（准教授、東京大学地震研究所）作成

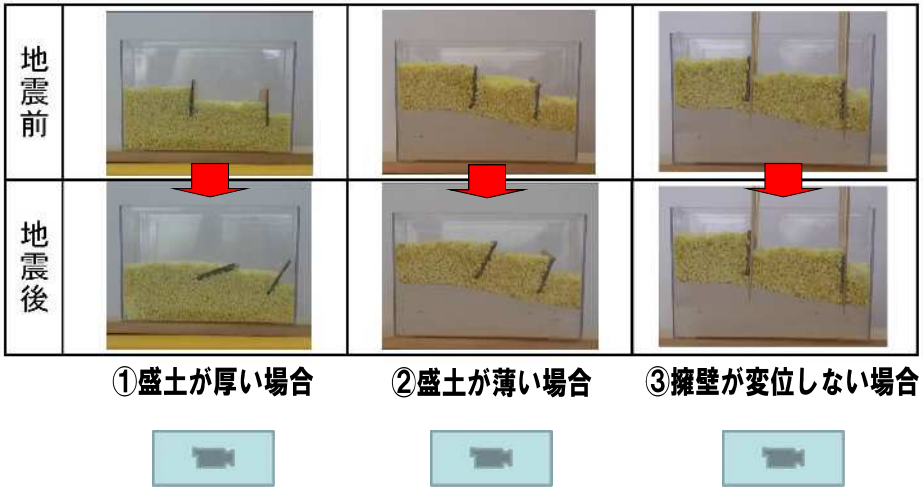
48

盛土地盤における地震波の増幅特性



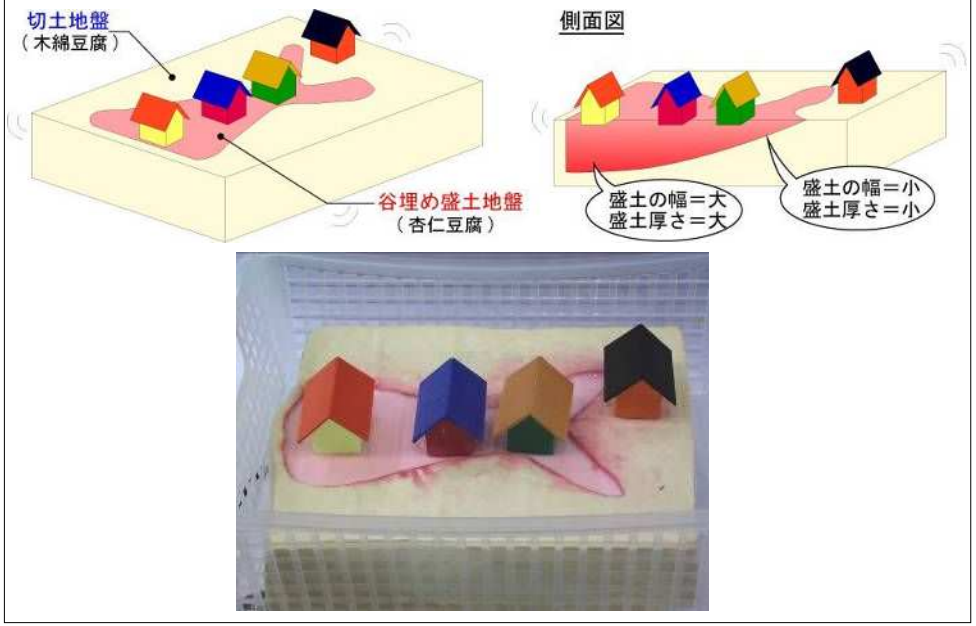
49

緩い盛土のひな壇すべり
（擁壁被害と宅盤の不同沈下）



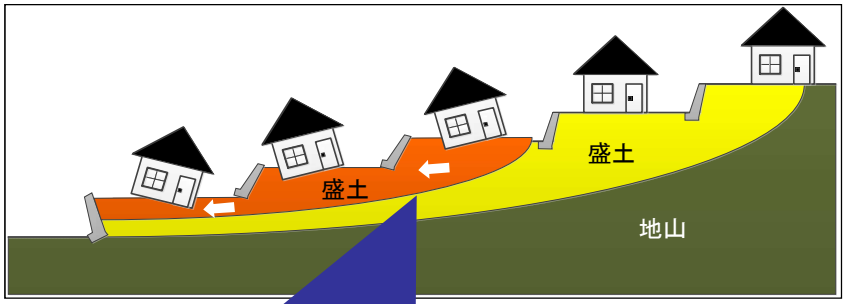
51

宅地造成地の被害のメカニズム



盛土造成地の地すべり的被害（滑動崩落）

明瞭なすべり面が存在しない



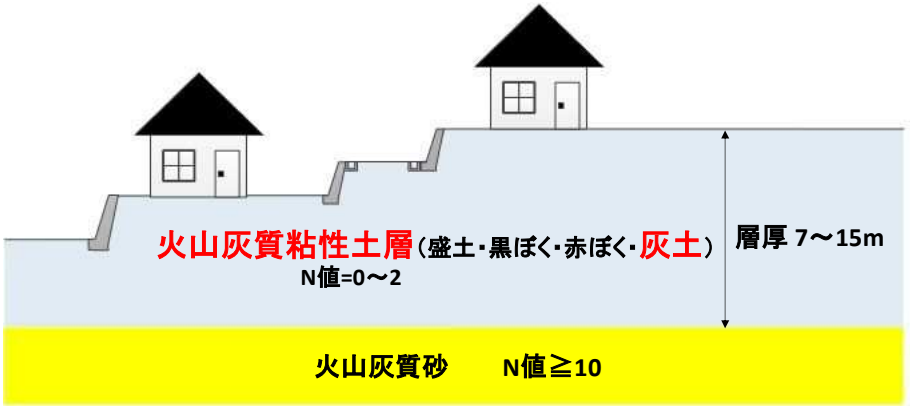
- 盛土のすべり面は明瞭ではない
- 自然地形の地すべりの場合は、特定の面がすべり面となるが、盛土の場合は状況によってすべり面の位置や大きさ等が大きく変わる

52

3－2　2016年熊本地震における造成宅地の地震被害のメカニズム

53

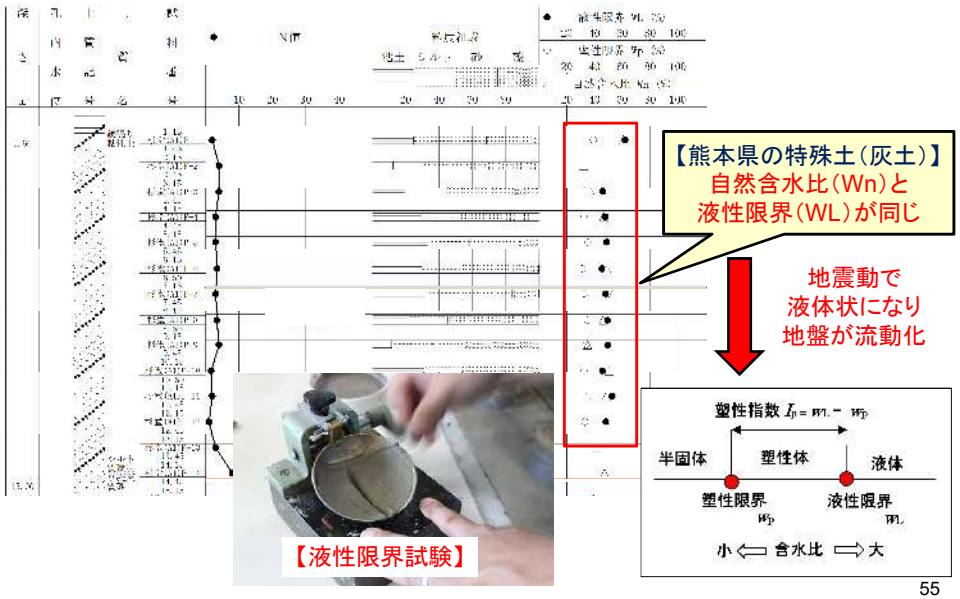
益城町中心部の表層地盤模式図



54

【素因】宅地地盤は地震動に弱い性質

（自然含水比と液性限界が同じ地盤⇒地震動で流動化しやすい土）



55

【素因】宅地地盤は地震動に弱い性質

（自然含水比と液性限界が同じ地盤⇒地震動で流動化しやすい土）

【自然状態】
水分が少なく，比較的固い
（灰土の自然含水比　平均63%）

【こね返し】
水分が滲みだし，液体状に変化
（灰土の液性限界　平均56%）

※撮影：泉谷聡志（東北大学）

56

【誘因】熊本地震（大きな揺れが繰返し発生）

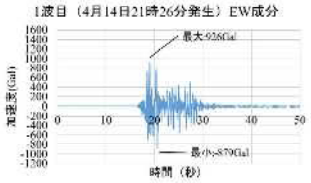
発生日時	発生時刻	経過時間	マグニチュード Mj	益城町宮園の震度（気象庁）	KIK-net益城(KMMH16)	
					計測震度	最大加速度 (m/s²)
4月14日	21時26分	0	6.5	7	6.4	9.3（EW）
4月14日	22時07分	41分後	5.8	6 弱	5.7	5.6（EW）
4月15日	00時03分	2時間37分後	6.4	6 強	5.7	5.9（EW）
4月15日	00時06分	2時間40分後	5.0	5 強	上記から連続した波形のため不記載	
4月16日	01時25分	27時間59分後	7.3	7（本震）	6.5	11.6（EW）
4月16日	01時45分	28時間19分後	5.9	6 弱	5.5	3.8（EW）

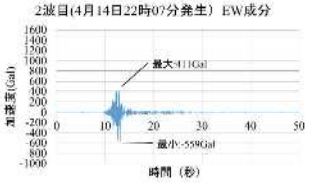
28時間で大きな揺れを6回観測

震度 7　2回
震度6強　1回
震度6弱　2回
震度5強　1回

【誘因】熊本地震（大きな揺れが繰返し発生）

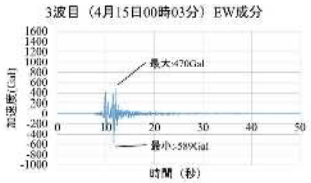
震度7

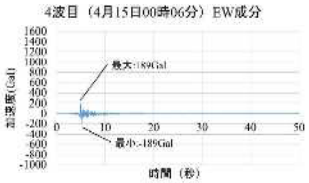




震度6弱

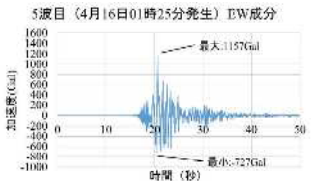
震度6強

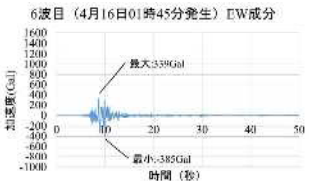




震度5強

震度7（本震）



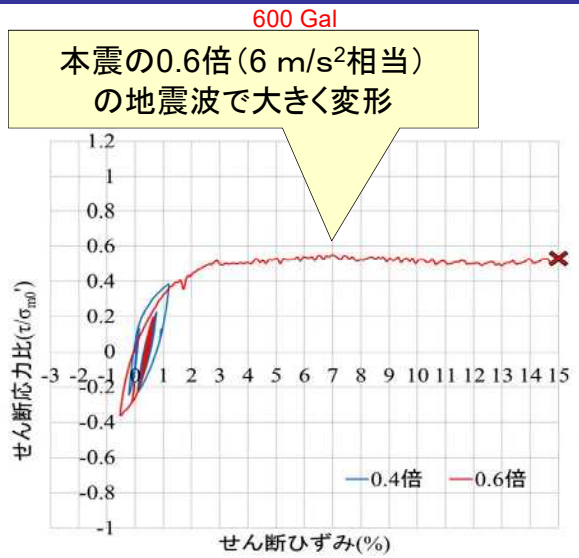


震度6弱

【Kik-net益城】の観測地震波(EW成分)

不飽和火山灰質粘性土（灰土）の非排水繰返しせん断試験による残留変形特性

中空ねじりせん断試験機



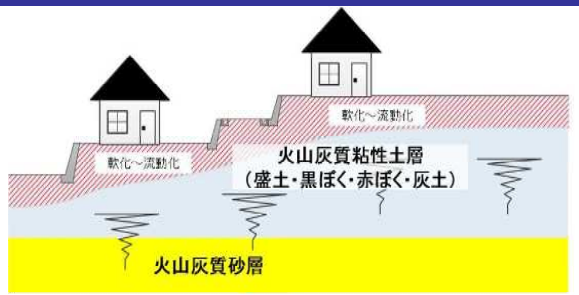
宅地被害のメカニズム

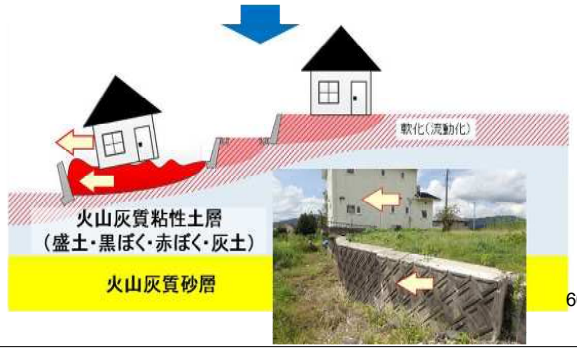
大きな地震動が短時間に繰返し（6回）作用

⬇

地表面に近く拘束圧が比較的小さい場所の**火山灰質粘性土が軟化～流動化**して，**残留変形が発生**

家屋が水平移動した現象は，**地盤が軟化～流動化した状態で，次の大きな地震動（水平力）が作用**したことによる





3－3　2018年北海道胆振東部地震における造成宅地の地震被害のメカニズム

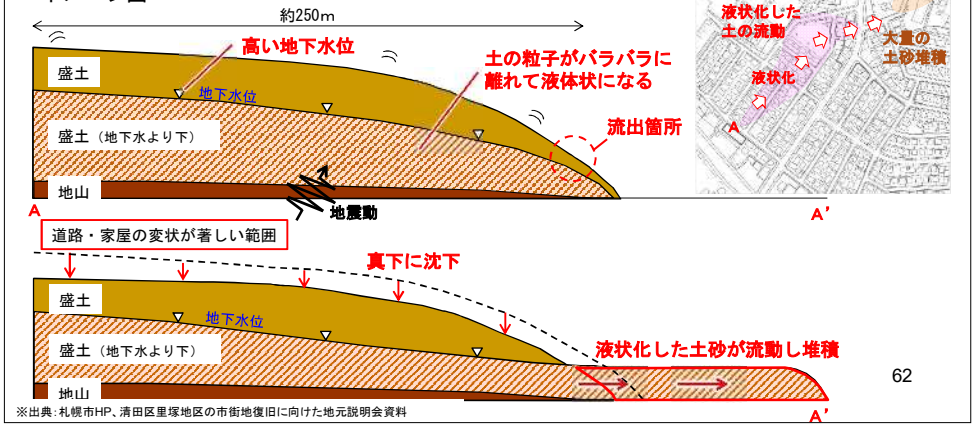
61

被害メカニズム

【被災メカニズム】

地震発生 ⇒ 造成盛土の地中で液状化発生 ⇒ 造成前の沢沿いに液状化した土砂が帯状に流動 ⇒ 緩い傾斜地 ⇒ 土砂流出 ⇒ 大規模な沈下変形 / 大量の土砂堆積

イメージ図



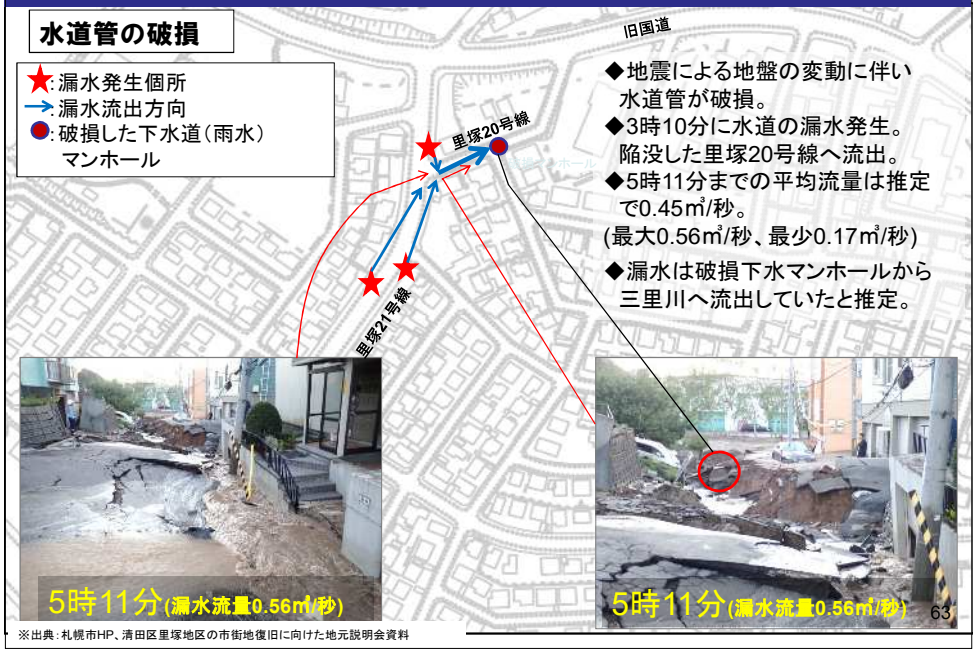
62

※出典：札幌市HP、清田区里塚地区の市街地復旧に向けた地元説明会資料

被害メカニズム

水道管の破損

★:漏水発生個所
→:漏水流出方向
●:破損した下水道（雨水）マンホール



◆地震による地盤の変動に伴い水道管が破損。
◆3時10分に水道の漏水発生。陥没した里塚20号線へ流出。
◆5時11分までの平均流量は推定で0.45㎥/秒。
(最大0.56㎥/秒、最少0.17㎥/秒)
◆漏水は破損下水マンホールから三里川へ流出していたと推定。

63

※出典：札幌市HP、清田区里塚地区の市街地復旧に向けた地元説明会資料

被害メカニズム

【被災メカニズム】

・地震により盛土の中の地下水位より下の部分で液状化が発生
・造成前の緩く傾斜した沢に沿って液状化した土砂が帯状に流動

【被災メカニズムの発生要因】

■盛土の中で液状化が起きた要因
・砂質系火山灰の盛土内にある緩い土層　⇒　緩い土
・造成前の沢に沿った集水地形
・水を含みやすい土（砂質系火山灰）　⇒　高い地下水位
・前日の台風21号による降雨(可能性)

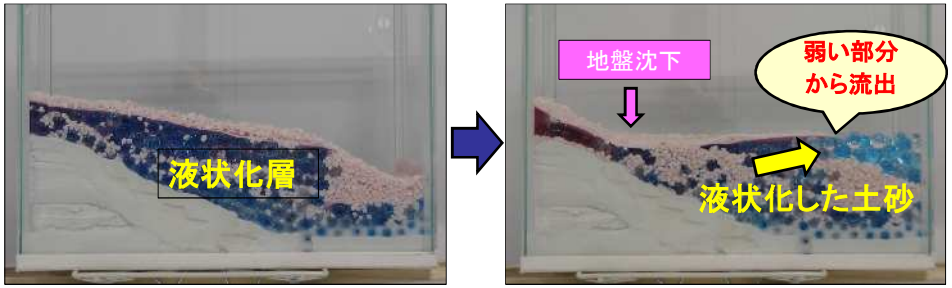
■帯状に流動化が起きた要因
・造成前の沢に沿った地形　⇒　傾斜地（高低差）
・砂質系火山灰での盛土　⇒　軽く水を含みやすい土

⇒これらの複合的な発生要因を踏まえた対策工の検討が必要

64

※出典：札幌市HP、清田区里塚地区の市街地復旧に向けた地元説明会資料

液状化による流動化の再現イメージ



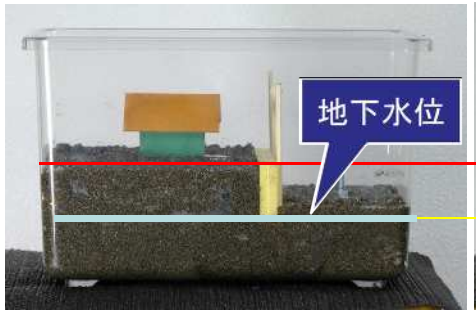
▲土砂流出後の不同沈下

▲流動化による隆起

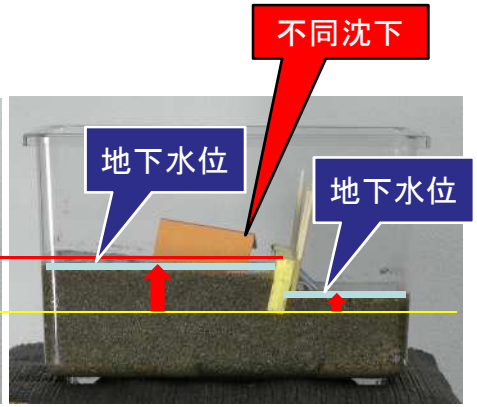
▲流動化した土砂の流出

65

ひな壇盛土の液状化現象と不同沈下



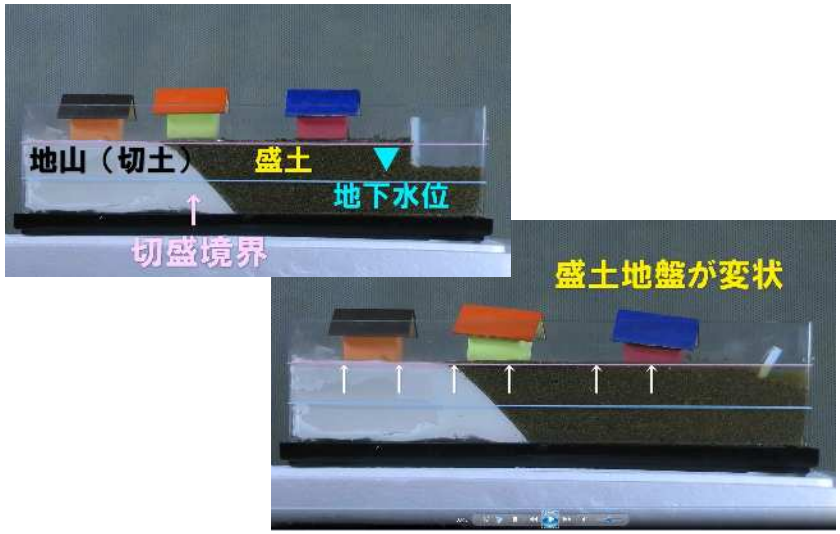
地震前



地震後

66

地盤の液状化による傾斜地の不同沈下と側方変形

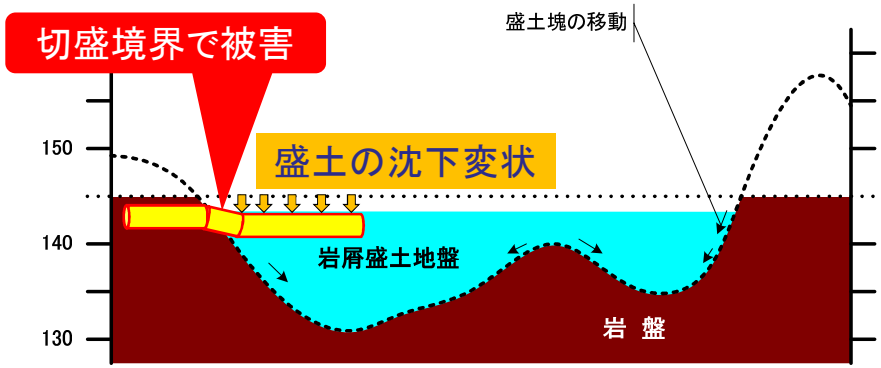


67

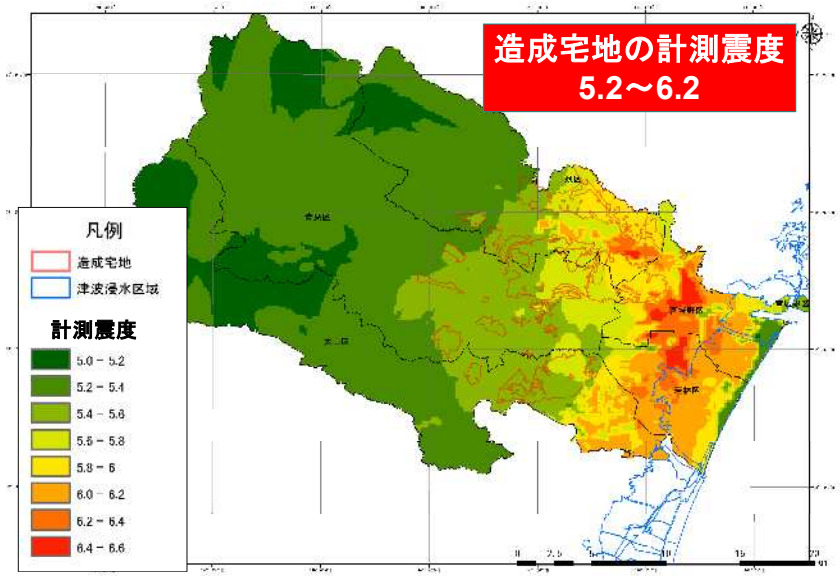
4. 宅地造成地の地震リスクについて

68

既存知見

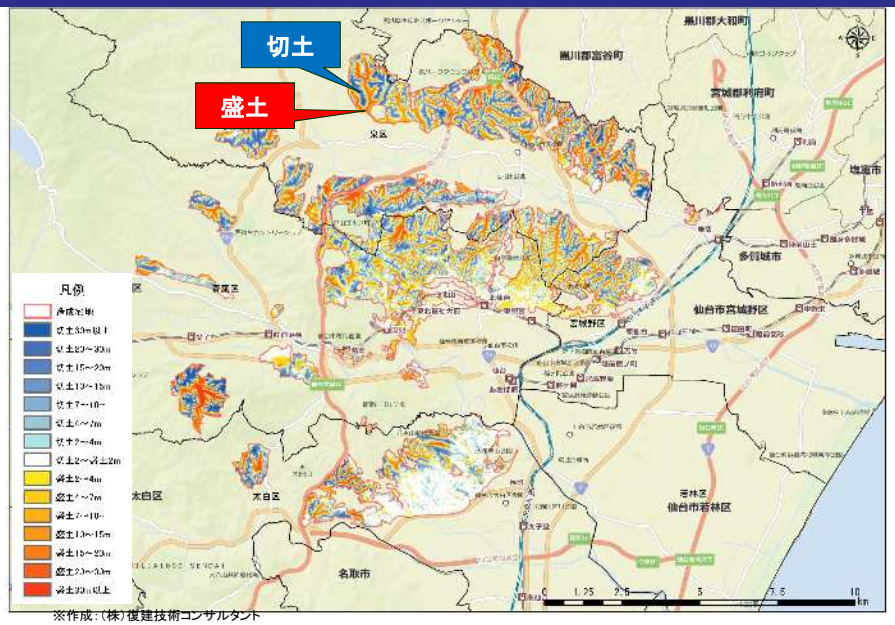


東日本大震災の計測震度分布図（仙台市）



計測震度分布図作成：大野晋（東北大学災害科学国際研究所、准教授）

仙台市造成宅地の切盛図

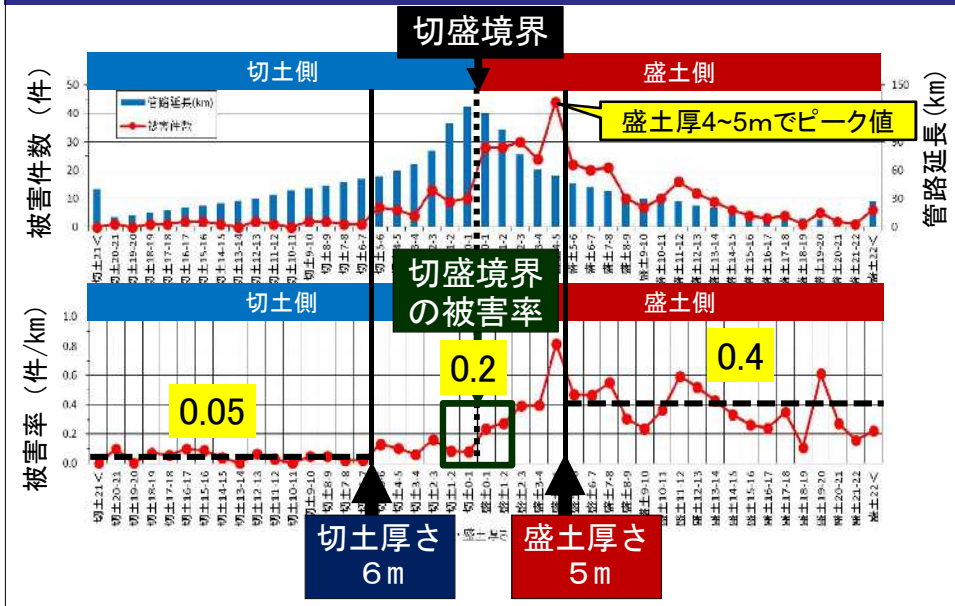


※作成：(株)復建技術コンサルタント

造成宅地の上・下水道被害状況

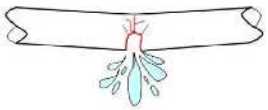
下水道被害例

切盛厚さと水道施設（漏水）被害

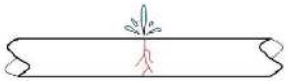


水道施設（漏水）被害

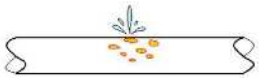
管折損



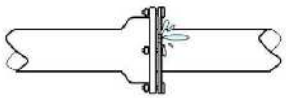
管亀裂



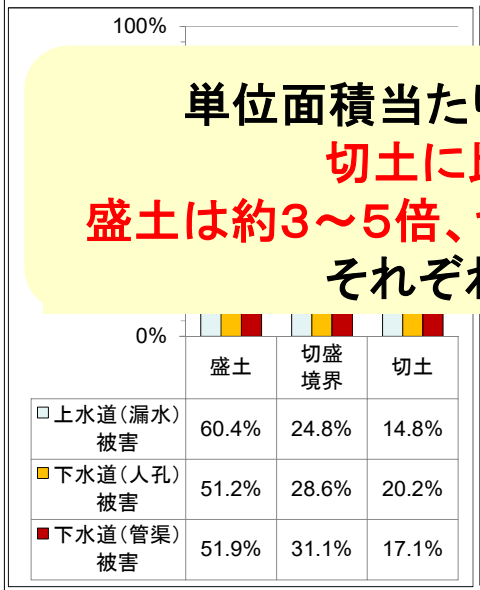
管腐食



管接合部



上・下水道被害の割合

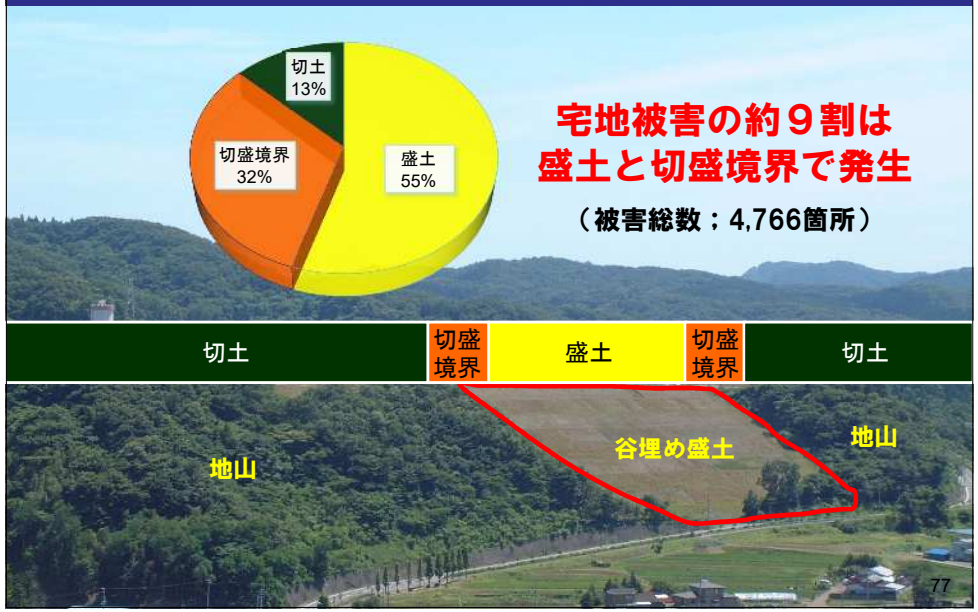


	盛土	切盛境界	切土
上水道（漏水）被害	60.4%	24.8%	14.8%
下水道（人孔）被害	51.2%	28.6%	20.2%
下水道（管渠）被害	51.9%	31.1%	17.1%

	盛土	切盛境界	切土	全体平均
上水道（漏水）被害	20.3	9.8	4.5	11.4
下水道（人孔）被害	23.5	15.5	8.4	15.5
下水道（管渠）被害	14.5	10.3	4.3	9.5

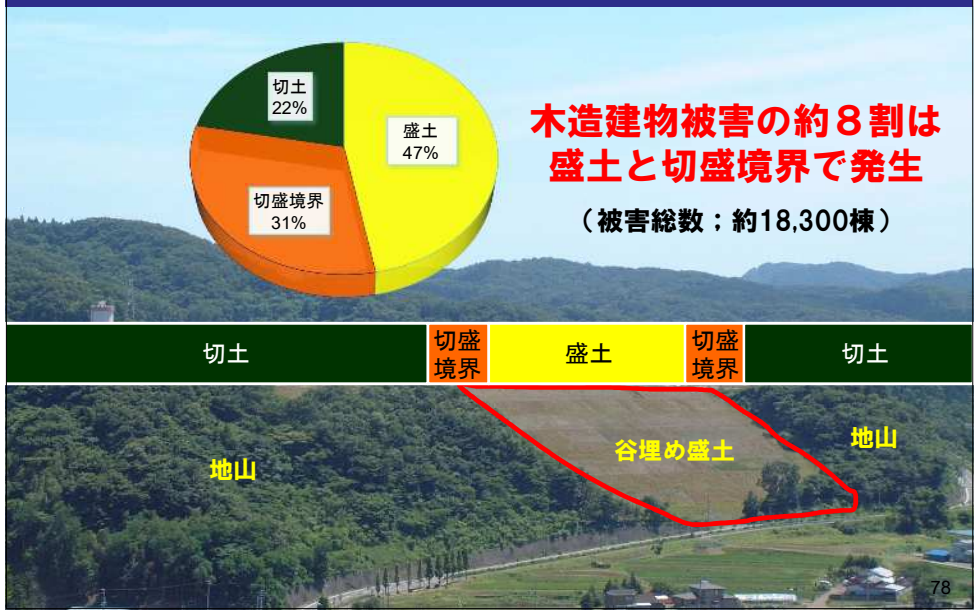
単位面積当たりの被害率は
切土に比べて
盛土は約3～5倍、切盛境界は約2倍
それぞれ高い

東日本大震災における仙台市造成宅地上の被害
【宅地被害】



77

東日本大震災における仙台市造成宅地上の被害
【木造建物被害（半壊以上）】



78

地震被害率

**盛土および切盛境界の被害リスクは
切土よりも明らかに高い**

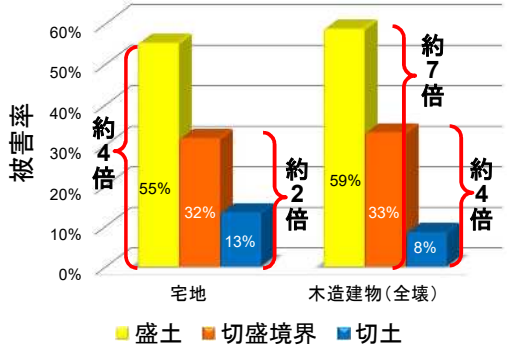


図1　被害総数を母数とした場合

（宅地被害総数：4,766箇所
木造建物被害（全壊）総数：19,206棟）

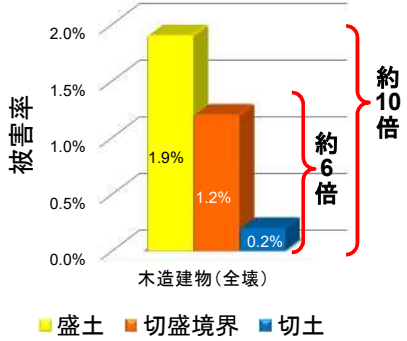


図2　建物総数を母数とした場合

（木造建物総数：159,707棟）

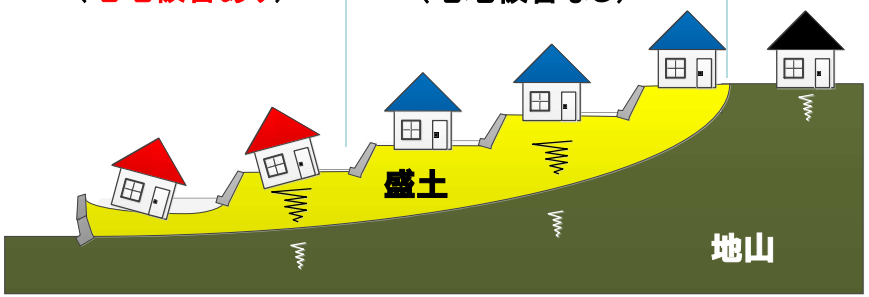
79

宅地被害と木造建物被害の関係

【木造建物；全壊の場合】

建物のみ原因の被害

盛土の変状による被害 40~70倍	盛土の地震動増幅による被害 4倍	切土の地震被害（基準）
32～55%	3.5%	0.8%
盛土（宅地被害あり）	盛土（宅地被害なし）	切土（宅地被害なし）



80