

2011.7.29 震災の工学 特別セミナー

東日本大震災から学ぶ
ー地震、津波の発生から復興計画までー

地震の概要と地盤の被害



北海道大学工学部
国土政策学コース

石川達也 准教授

1

目 次

1. 地震の概要
2. 液状化被害の特徴
 - ・ 広域液状化被害
 - ・ 複合要因による被害
3. 震災の教訓と今後の課題
 - ー防災・減災のためにー

2

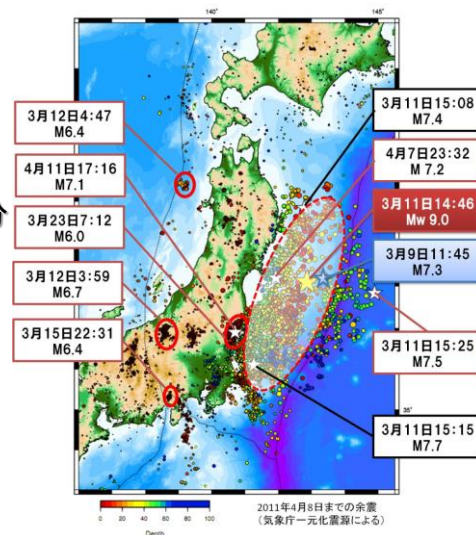
1. 地震の概要

3

東北地方太平洋沖地震

概要(気象庁)

- 名称:平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震
- 発生日時:3月11日14時46分
- 震源地:三陸沖
 - ・ 北緯37度49分, 東経143度3分
 - ・ 深さ24km, Mw=9.0
 - ・ 最大震度7(宮城県栗原市)
- 地震活動は本震～余震型で推移(～7/8現在)
 - ・ 岩手県沖から茨城県沖(南北500km, 東西200km)
 - ・ M7.0以上の余震は5回(M5.0以上は517回)
 - ・ 余震数は2003年十勝沖地震(M8.0)の10倍, 現在も増加中



東京大学地震研究所HPより引用

4

地震発生メカニズム

地殻内地震

スラブ内地震

プレート境界地震

引きずり込む

津波

はねあがると地震

日本付近で起きるプレート境界地震

日本海溝

三陸沖

宮城沖

福島沖

茨城沖

青森沖

太平洋プレート

フィリピン海プレート

西南日本

南海

東海

日向海

南海トラフ

日本

オホーツクプレート (北米プレート)

M7.5~8程度の地震が頻発する可能性がある

M6~8.5程度の地震が10年間でくり返してきた

M7~8程度の地震が頻発する可能性がある

M7~7.5程度の地震が頻発する可能性がある

M9.0の震源断層

東日本沖巨大地震

歴史上の巨大地震発生は知られていない

200~300年間隔でくり返してきた

M8~8.5程度の地震が100~150年間隔でくり返してきた

M6~8.5程度の地震(同発生する場合はM8.7)

GoogleMapを基として既存文献や研究機関のWebサイト上の公表データをもとに小山(静岡大学)が作成

静岡大学HPより引用

日 時	地 震 名	M	日 時	地 震 名	M
1964.06.16	新 潟	7.5	2000.10.06	鳥取県西部	7.3
1968.05.16	十 勝 沖	7.9	2001.03.24	芸 予	6.7
1973.06.17	根室半島沖	7.4	2003.05.26	三 陸 南	7.1
1978.01.14	伊豆大島近海	7.0	2003.07.26	宮城県北部	6.4
1978.06.12	宮城県沖	7.4	2003.09.26	2003十勝沖	8.0
1983.05.26	日本海中部	7.7	2004.10.23	新潟県中越	6.8
1993.01.15	釧 路 沖	7.8	2005.03.20	福岡県西方沖	7.0
1993.07.12	北海道南西沖	7.8	2007.03.25	能登半島	6.9
1994.10.04	北海道東方沖	8.2	2007.07.16	新潟県中越沖	6.8
1994.12.28	三陸はるか沖	7.6	2008.06.14	岩手・宮城内陸	7.2
1995.01.17	兵庫県南部	7.3	2011.03.11	東北地方太平洋沖	9.0

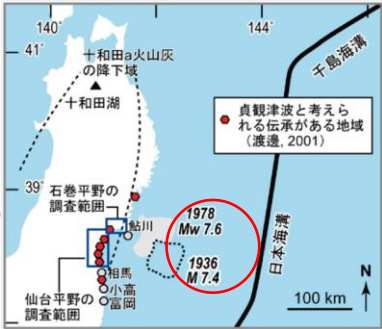
- 平均発生間隔
- | | | |
|---------------|----------------|--------------|
| ・ 三陸北部: 約97年 | ・ 宮城県沖: 約37年 | ・ 茨城県沖: 約21年 |
| ・ 三陸南部: 約105年 | ・ 福島県沖: 400年以上 | |

過去の巨大地震

貞観地震(869年)

- ・ 平安時代前期の日本で起こった巨大地震。
- ・ 貞観11年5月26日(西暦869年7月13日)に陸奥国東方の海底を震源として発生。
- ・ 地震の規模は少なくともM8.3以上と推定。
- ・ 津波堆積物等の研究結果から、想定震源域は、宮城県沖から福島県沖とされている。
- ・ 貞観地震を含め過去4回発生しており再来間隔は450 - 800年程度と推定されている。
- ・ 公式史書『日本三代実録(901年)』に地震に関する記述が記されている。

貞観地震津波の伝承がある地域



産業技術総合研究所HPより引用

陸奥國地大震動、流光如晝隱映、頃之、人民叫呼、伏不能起、或屋仆壓死、或地裂埋殮、馬牛駭奔、或相昇踏、城＝倉庫、門櫓牆壁、頽落顛覆、不知其數、海口嗥吼(海鳴り)、聲似雷雷、驚濤涌潮(潮が湧き上がり)、浜＝漲長(川が逆流)、忽至城下、去海數十百里、浩々不弁其涯＝、原野道路、忽為滄溟、乘船不遑、登山難及、溺死者千許、資産苗稼、殆無子遺焉(後には何も残らなかった)。

保立道久氏HPより引用 7

長期評価

宮城県沖

- ・ M7.5前後, 99%
- ・ 三陸沖南部海溝寄りと連動時はM8.0前後

三陸沖から房総沖

- ・ M8.2前後, 20%

福島県沖

- ・ M7.4前後, 7%

茨城県沖

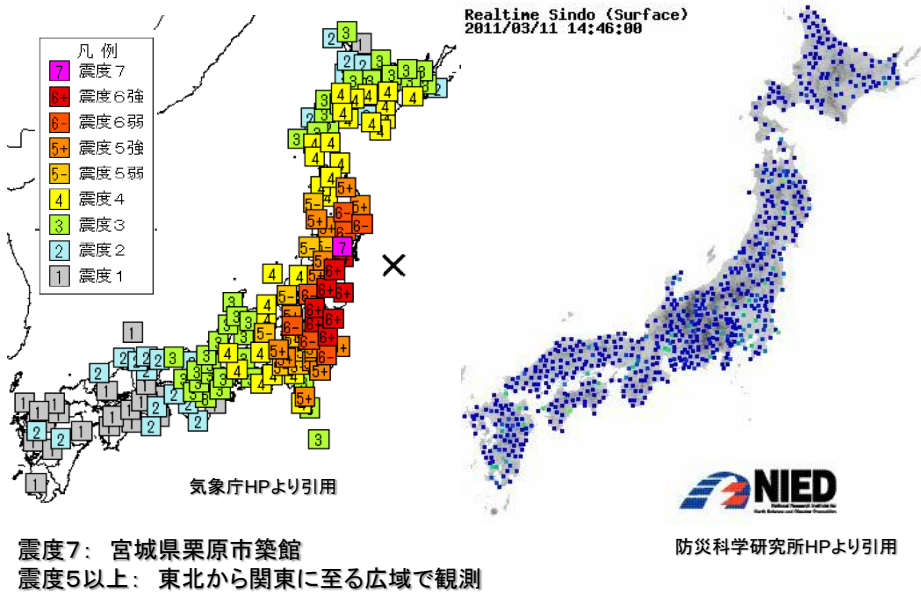
- ・ maxM7.2前後, 90%

東北地方太平洋沖地震の発生を受け、三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価の改訂を審議中



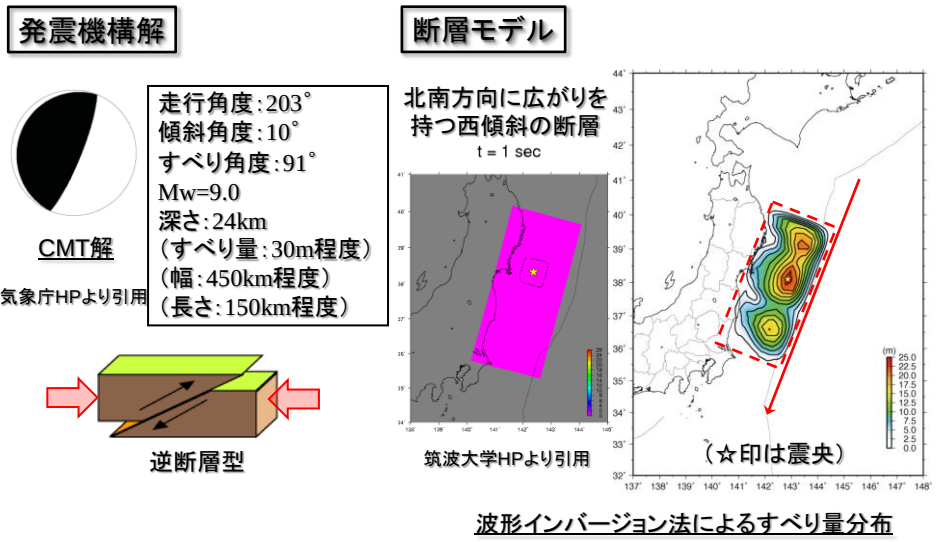
地震調査研究推進本部HPより引用 8

震度分布



9

発震機構の一例



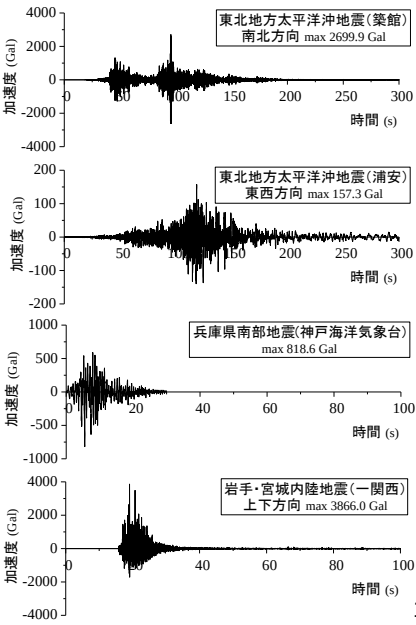
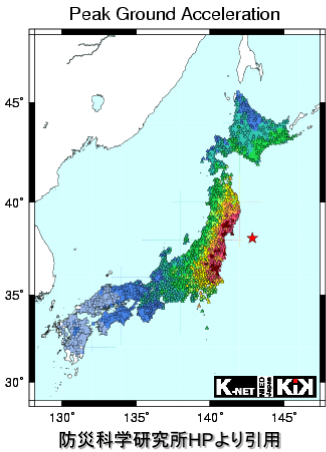
→ 西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で太平洋プレートと北米プレートの境界域(日本海溝付近)における海溝型地震

10

強震動記録

特 徴

- 最大加速度:2,933Gal(三成分合成値)
- 長い継続時間(2分〜3分)
- キラーパルス(周期1 - 2秒)より長い周期では相対的に揺れは小さい

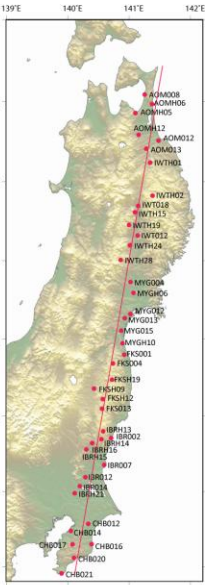


11

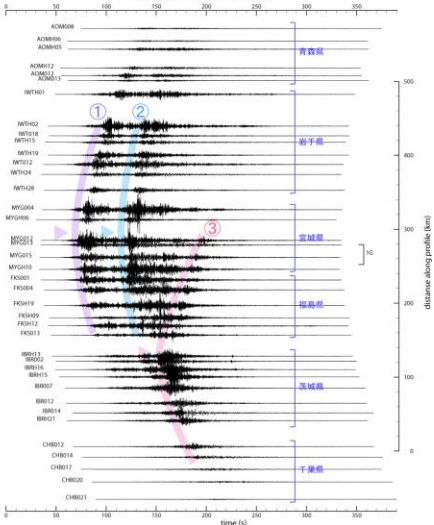
震源断層の破壊過程

連動型地震

- 最初の大きな断層破壊は宮城県沖で発生(図中の紫線)
- 数十秒後宮城県沖で再び大きな断層破壊再発生(水色)
- 距離による時間差は二つ目の断層破壊(水色)で小さいため遠い沖合で発生
- 直後に、三つ目の断層破壊が茨城県北部の陸に近い沖合で発生(赤色)



K-NET, Kik-net強震計(加速度)記録



東京大学地震研究所HPより引用 12

2. 液状化被害の特徴

13

液状化被害(関東)



YouTubeより引用



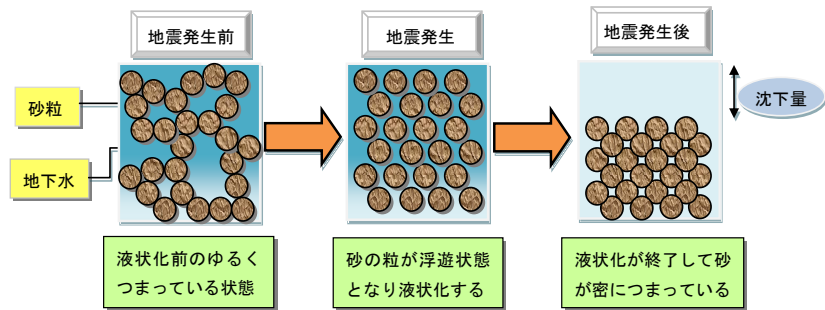
千葉～神奈川県にかけて広範囲の埋立地で液状化が発生



東京電機大学安田先生撮影 14

液状化現象

定義 地震動を受けることで土粒子のかみ合わせが外れるとともに、地盤内の水圧が上昇する結果、土が固体としての強さを失い、あたかも液体のように挙動する現象



液状化発生条件

- 緩く堆積した砂質土(密度小)
 - 高い地下水位
 - 大きな地震動
- ➡ どれか一つの条件でも排除すれば、液状化現象の発生を抑制できる¹⁵

液状化被害

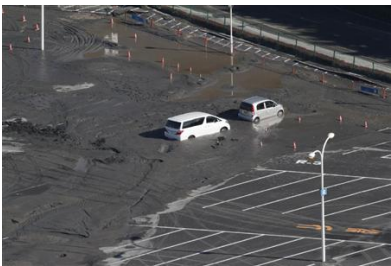


液状化発生範囲の調査結果(安田先生)

東京ディズニーランドの液状化対策

建設時に敷地全体を約10～15mの深さまでサンドコンパクションパイル工法で地盤改良
⇒ 締め固めた砂の柱を一定間隔で地中に造ることによって土の密度を高める

↑ 工学の実践例

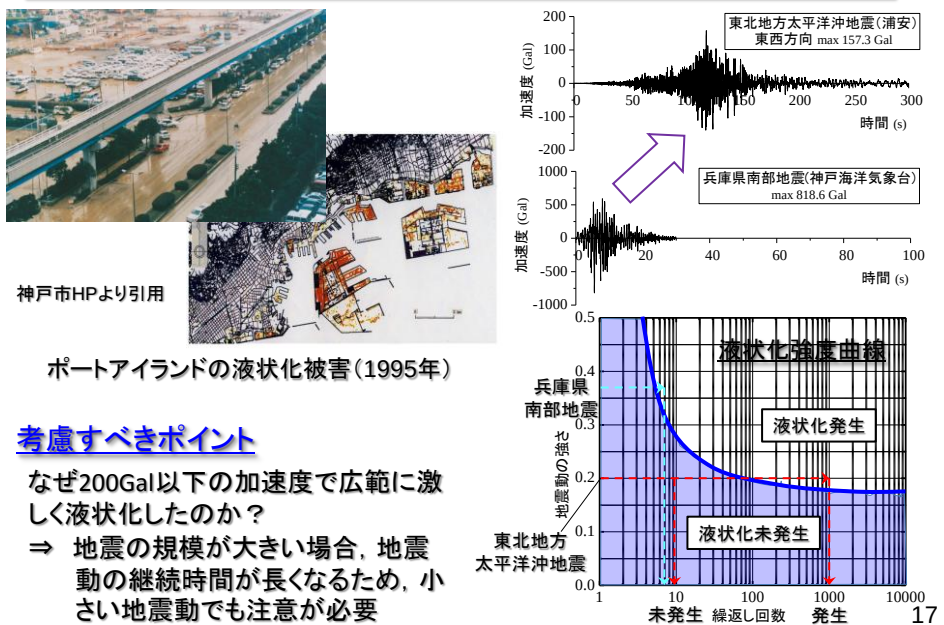


↑ 液状化した駐車場(ディズニーランド)
↓ 液状化対策済みの園内(被害無し)



東京ディズニーランド広報パンフより引用 16

広域液状化被害の原因



液状化被害(東北)



寒地土木研究所 福島氏撮影

石巻港

- 津波で流された箇所に噴砂跡が残ってる
- ⇒ 余震による噴砂と推定される
- ⇒ 本震でも同様な箇所において液状化が発生した可能性がある



建物の転倒(女川町)

津波の浸水高さは約14~17m

津波の進行

転倒後, 20m程度水平移動

これまで、杭で支持された鉄筋コンクリートや鉄骨構造物は津波シェルターとして可能な構造形式の一つと考えられていた...

19

建物の転倒(女川町)

フーチングから垂れ下がった形で引き抜かれた杭

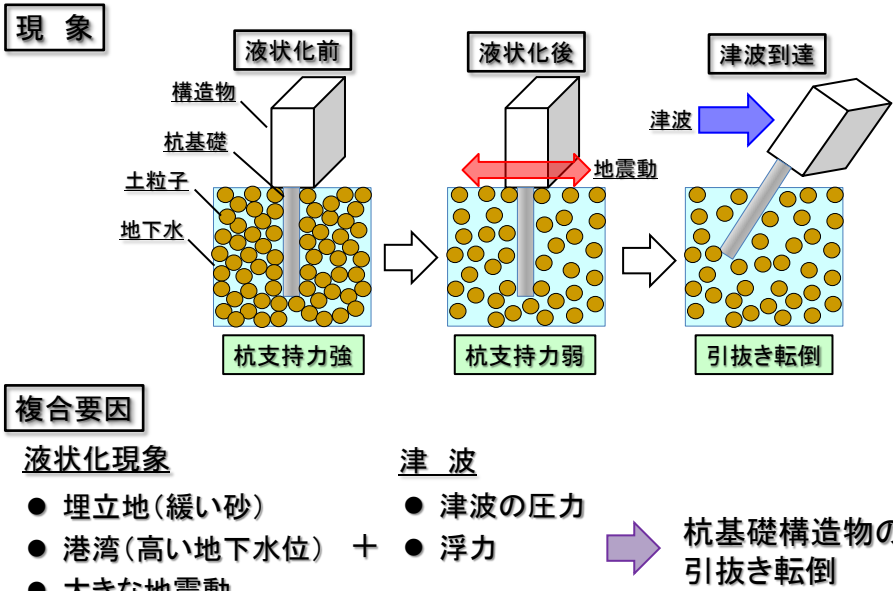
6m

Φ300mm コンクリート杭 (PHC)

疑問

- 津波を受けただけで杭ごと抜けるのか？
⇒ 地盤の液状化が発生したとしたらどうなる？

液状化と津波の複合要因



21

3. 震災の教訓と今後の課題

—防災・減災のために—

22

防災・減災のための教訓と課題

液状化対策の課題

- 液状化対策技術の有効性の検証
 - ⇒ 合理性の向上や施工コスト削減
- 地震活動の長期評価方法の検討
 - ⇒ より長周期あるいは未知の震源の評価
- レベルⅡと異なる巨大地震の検討
 - ⇒ 繰返し作用(長継続時間, 多余震)に対する対応(基準・設計法見直し)
- 広域多所災害に備えた対策
 - ⇒ 広域液状化被害に伴うライフライン確保

複合要因被害の課題

- 巨大津波に対する対策
 - ⇒ 津波と地盤災害の複合要因への対応(想定外の被害への対応)
- 沿岸部の広域地盤沈降に対する対策
 - ⇒ 地盤の塩水化防止への地盤工学の貢献

23