

東北地方太平洋沖地震の地震動の特徴と土砂災害

平成24年1月17日
日本大学工学部土木工学科
中村 晋

内容

- 地震の概要(+津波)
- 地震動の特徴
- 福島県における被害を中心とした地震被害の特徴
 - ✓ 津波被害,公共施設,社会基盤施設など
- 地盤災害の特徴と地震動

地震による揺れと津波

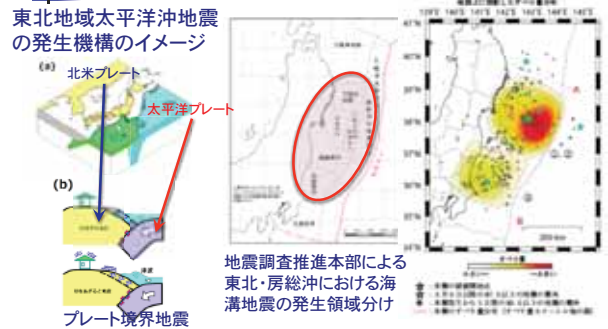
東日本大震災による揺れと津波



日本全体の揺れの加速度振幅の時間変化
日本全体の津波の波高の時間変化
東京大学地震研究所:古村研究室より

地震の概要

震源過程と地震動:震源域

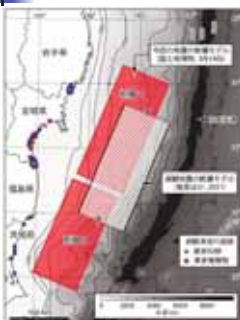


東北地域太平洋沖地震の発生機構のイメージ

地震調査推進本部による東北・房総沖における海溝地震の発生領域分け

地震の概要

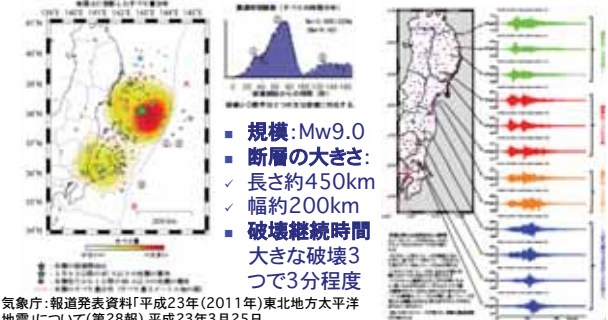
東北地方太平洋沖地震と貞観地震



- 東北地方太平洋沖地震(2011年, Mw=9.0)
 - ✓ 断層の規模:幅200km, 長さ450km
- 貞観地震(869年, Mw=8.3-8.4)
 - ✓ 断層の規模:幅50km, 長さ200km

地震の概要と揺れの特徴

地震動の発生に係わる震源過程

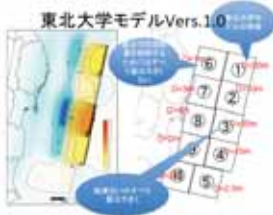


気象庁:報道発表資料「平成23年(2011年)東北地方太平洋地震」について(第28報),平成23年3月25日

東北地方太平洋沖地震の津波の特徴

津波の発生に係わる震源過程

藤井・佐竹モデル(ver4.0)

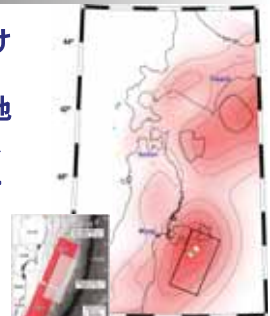


- 津波の震源は断層のマクロな動き
- 宮城県沖で東北大のモデルでは35m動く

地震の概要

岩手・宮城・福島の前合で何が起きていたか？

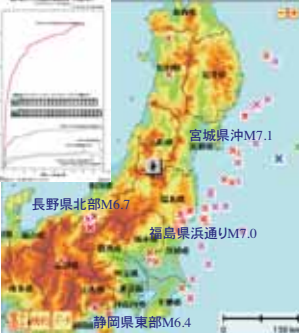
- 宮城県から福島県にかけての固着域
- ⇒ 固着域の解放によって地震が発生。幾つかの地震の発生の可能性が懸念。
- ✓ 宮城県沖地震(複数の連動型も含む)
- ✓ 福島沖の地震
- ✓ 貞観地震のような地震(869年, Mw=8.3-8.4)



東北大学大学院・海野教授資料

地震の特徴

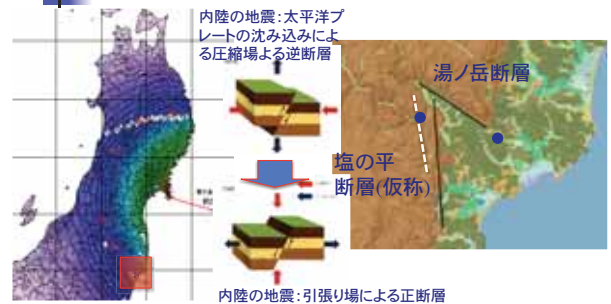
余震による地震動強さと地震動: 余震の活動の状況



- 多くの余震が長期にわたり発生している
- 規模の大きな余震が発生している。
- 誘発地震が多数発生
- ✓ 長野県北部地震: 3.12, M6.7
- ✓ 静岡県東部地震: 3.15, M6.4
- ✓ 福島県浜通り地震: 4.11, M7.0

地震の特徴

地殻変動と余震: 福島県浜通りの地震の例



国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>

地震の特徴

余震により地表に現れた断層: 福島県浜通りの地震の例

塩の平断層(仮称)



最大段差約1.8mの発生位置

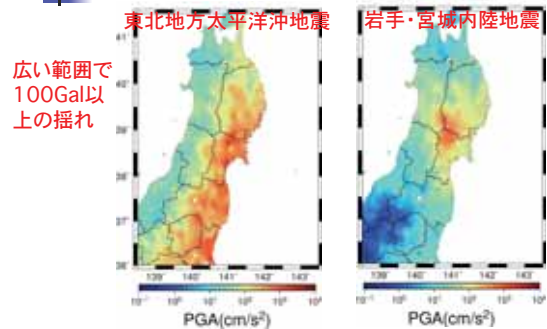
湯ノ岳断層



段差による建物の損傷

地震による揺れの特徴

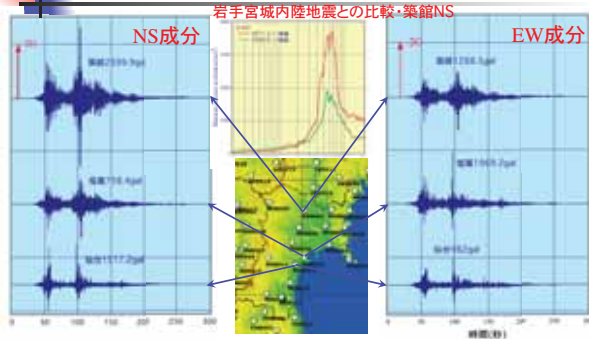
合成最大加速度分布: 既往地震との比較



広い範囲で100Gal以上の揺れ

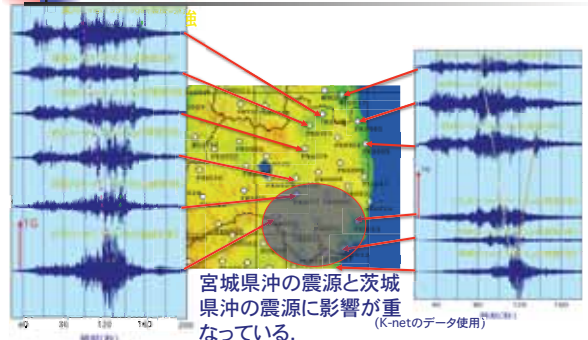
地震動の特徴(本震)

宮城県内での地震動(k-net)



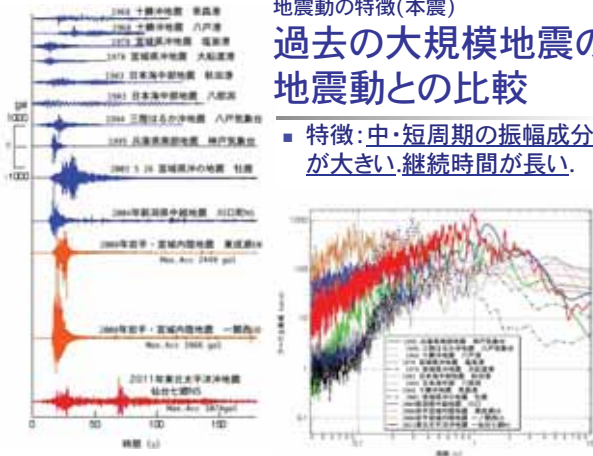
地震動の特徴(本震)

福島県内での地震動(k-net)



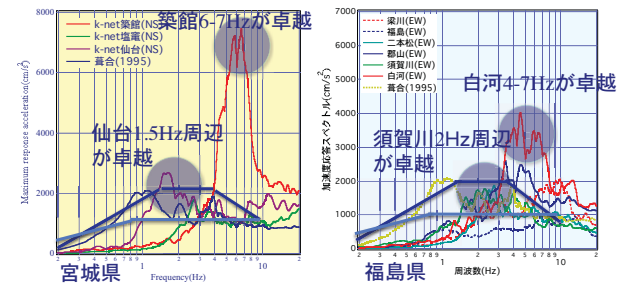
地震動の特徴(本震)

過去の大規模地震の地震動との比較



地震動の特徴(本震)

加速度応答スペクトルの比較(宮城県,福島県)



道示のレベルII地震動の標準加速度応答スペクトル(タイプII)との比較

東北地方太平洋沖地震による地震動の特徴

- 震源の主要な3つの破壊の影響:
 - ✓ 宮城県以北; 宮城県沖の主要な破壊の影響が卓越
 - ✓ 福島県: 宮城県沖と茨城県沖の影響を受ける
 - ✓ 福島県以南; 茨城県沖の影響が卓越
- 地震動強さが大きい(例えば震度6以上)地域が広い。
- 地震動の特徴:
 - ✓ 継続時間が長い
 - ✓ 1から1.5Hzより低周波数側の地震動成分は1995年兵庫県南部地震より少ない(住宅被害が倒壊ではなく地盤災害に起因している)。
 - ✓ 道示・レベルII地震動の設計地震動(標準加速度応答スペクトル)の短周期帯域で設計レベルを上まわる地震動が観測
- 地震被害をもたらす余震が多く発生し、まだ警戒が必要である [内陸地震への警戒: 地殻内の応力場が変化している]

福島県における被害を中心とした地震被害の特徴

津波による被害: 宮城県女川町, いわき市豊間



福島県における被害を中心とした地震被害の特徴 被害の特徴:災害拠点施設の被害



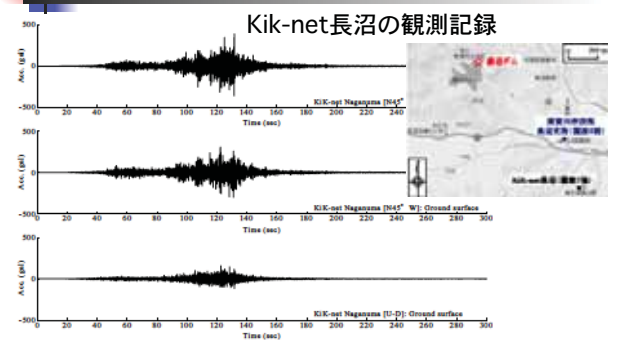
福島県における被害を中心とした地震被害の特徴 社会基盤施設の被害状況:道路・鉄道



福島県における被害を中心とした地震被害の特徴 フィルダム(藤沼ダム)の崩壊



福島県における被害を中心とした地震被害の特徴 フィルダム周辺での観測記録



福島県における被害を中心とした地震被害の特徴 フィルダムの崩壊による本堤下流のカ ルバート,盛土の崩壊



福島県における被害を中心とした地震被害の特徴 フィルダムの崩壊による本堤 下流の集落の被災



福島県における被害を中心とした地震被害の特徴

液状化による被害:下水管路の被害例



下水管の埋め戻し砂の液状化により管路部の沈下,マンホールの浮き上がり(地点によらず造成地,農道で発生)

福島県における被害を中心とした地震被害の特徴

2011年東日本大震災の被害概観

表 1955兵庫県南部地震との比較

	2011年東北地方太平洋沖地震	1955年兵庫県南部地震
死者(行方不明者)	15,960(4004)	6434(3)
全壊戸数	115,222	104,906
半壊戸数	162,457	144,272
一部損壊戸数	579,476	390,506

表 福島県内陸部と浜通りの比較

	浜通り地区	内陸部
全壊戸数	13,774 >	4,318
半壊戸数	28,112 <	24,534
一部損壊戸数	35,315 <	110,086
	77,201 <	138,938

*浜通り地区にて新地町,広野町の被害は不明

- 死傷者は大幅に兵庫県南部地震を上まわるものの,住宅被害は地震規模の差異ほど大きくない。
- 津波の被害が報道の影響で目立つが,内陸部の住宅被害も大きい

福島県における被害を中心とした地震被害の特徴

- **老朽建物,老朽公共建物が多く存在:**
 - ⇒被災を免れた構造物は今後も被災の可能性あり
 - ⇒拠点施設の被災により救急,復旧対応が遅れる(情報の分散化)
 - ⇒学校建物の被害(これからの日本を支える子供達の生命の安全が脅かされる,避難所の被災)
- **不安定な造成地盤が多数存在:**
 - ⇒住宅や工場が立派,また耐震化しても支えが心配(BCPへの懸念)
- **道路,鉄道,ガス,水道,下水道などの社会基盤施設にも老朽施設,耐震性能の不十分な施設が存在**
 - ⇒地域の復旧や災害後の物資輸送などが阻害
 - ⇒地域の経済基盤となる工場などのサプライチェーン寸断要因の一つとなる

東北地方太平洋沖地震による本震,余震による地盤災害地点の空間分布

- 対象:概ね幅10m以上の地すべりや崩壊

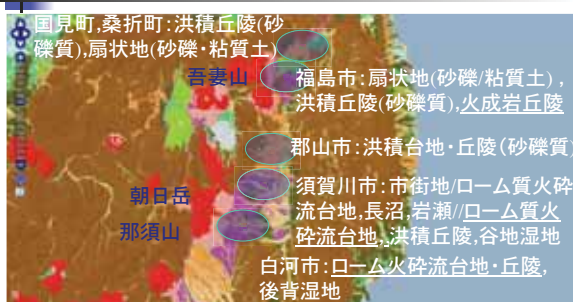
凡例:

- 赤:地すべり(すべり面が明瞭)
- 黄色:崩壊(すべり面が不明瞭or移動体がdisturb)



地震被害とその特徴:災害素因としての地質

福島県中通りの大まかな地形・地質



J-SHIS(<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>)より

地盤災害とその特徴

白河市葉の木平地区の斜面崩壊

①崩落土塊の下方から滑落崖



②滑落崖より崩落方向

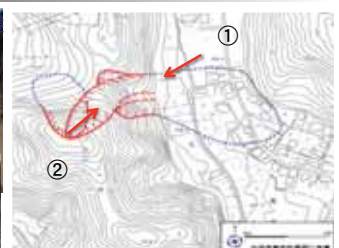
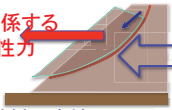


図 白河市葉ノ木平地区斜面崩壊地付近地形図と崩壊位置図(白河市都市計画図を使用し作成)

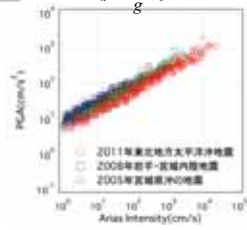
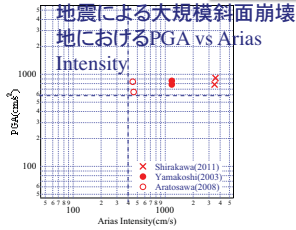
自然斜面の崩壊と地震作用の関係:PGA vs Arias Intensity

地盤内発生応力と関係する地震作用としての慣性力 \propto PGA



地震作用の継続時間や作用エネルギー量 \propto Arias Intensity

$$I_A = \frac{2\pi}{g} \int_0^T a(t)^2 dt$$



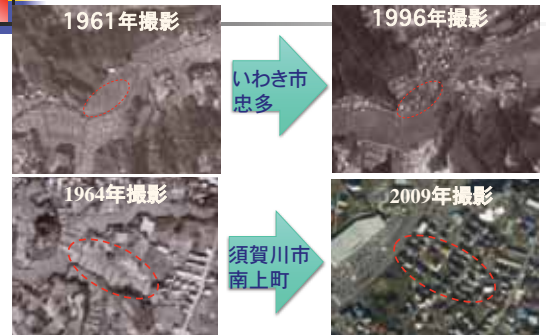
造成地盤の被害状況



福島市あさひ台団地の地形の変化 (航空写真, 地形図)

- 昭和40年代に造成
- 沢部の盛り立て
- 盛土材: 火山灰質粘性土, 層厚5~13m, N値0~7
- 旧表土: 腐植物混じり

須賀川市南上町, いわき市忠多の田畑上の盛土による地形の変化 (航空写真)

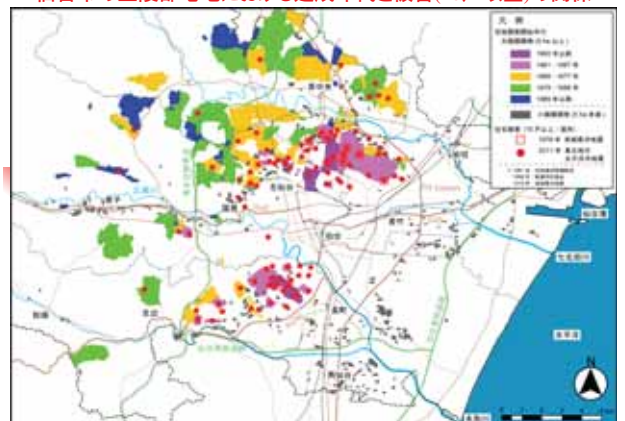


仙台市の丘陵部宅地における造成年代と全半壊被害

造成年代	全半壊家屋数 10 戸以上/地区			
	1978年 宮城県沖地震		2011年 東北地方太平洋沖地震	
	地区数	地区数	全半壊家屋数	被災地区家屋総数
~ 1960	4	8	1,571	21,172
1961 ~ 1967	9	44	3,529	58,779
1968 ~ 1977	0	14	620	18,188
1978 ~ 1988	-	8	346	11,055
1989 ~	-	1	14	448
造成年代不明	-	8	370	3,984
小規模開発・自然斜面等	-	14	858	13,002
計	13	97	7,308	126,628
全半壊家屋数 10戸未満/地区	不明	125	412	-

※1961年: 宅地造成等規制法施工 ※1968年: 新都市計画法施工
 ※1978年: 宮城県沖地震 ※地区家屋数は20 05 年時のデータ

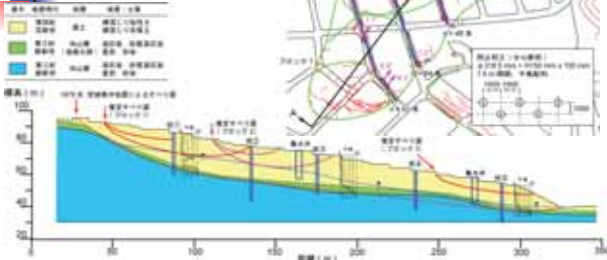
仙台市の丘陵部宅地における造成年代と被害(10戸以上)の関係



造成地盤の補強効果:
仙台市緑ヶ丘3丁目の
被災状況

(資料:宮城県より)

盛土のN値: 2~8
 地表面傾斜角: 約8度



かご工を擁壁として用いた復旧
工法が効果を発揮した事例

宮城県栗原市鶯沢(東日本大震災で震度6強程度)
 2008年岩手宮城内陸地震
 による被災



かご工による復旧箇所は無被害

2011年東日本大震災
 保水性の良い火山灰質砂質土による沢埋盛土
 集水地形→地下水排水処理が課題

被災した盛土の材料特性:福島県
内の事例

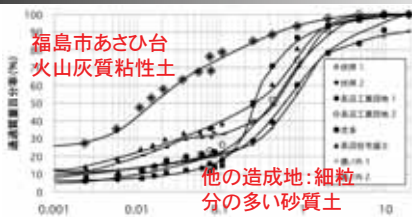


図 盛土材料の粒径加積曲線

須賀川市周辺の盛土材:灰色の凝灰質砂質土
 典型例:鹿ノ内の盛土⇨軽石を含み、保水性が高い
 ⇨2008年の地震による栗原市鶯沢工業高校の造成盛土の被害と類似している

火山灰質砂質土による造成盛土の崩
壊事例:須賀川市総合運動公園

テニスコートの流動的な滑り

畦道の水平移動



軽石を含む火山灰質砂質土で盛土
 保水性が高い地盤

被災形態および要因の総括

■ 被災した盛土の形態

① 沢(谷)埋盛土:

- ✓ 集水地形
- ✓ 盛土材料:凝灰質砂質土,凝灰質粘性土(ローム)
- ✓ 締固め施工が難しい

② 水田等の軟弱地盤の埋立

- ✓ 含水が多い
- ✓ 盛土材料:凝灰質砂質土,山砂

■ 被災要因

① 施工品質

- ✓ 施工年代が古い
- ✓ 盛土材料,排水処理,基盤の処理(伐開除根,段切)

② 地震作用:継続時間が長く強い揺れ

地盤工学上の技術課題

- 低コストで効果を発揮できる工法の開発:排水機能,抗土圧構造(もたれ式)を有するかご工などの利用
- 杭,アンカー工などの既存工法の耐震性能評価基準の策定
- 盛土の安定性の簡易評価手法の確立
- 盛土の安定性を含む宅地の安全性に関する分かり易い説明による市民と行政との情報共有のための技術構築(リスクコミュニケーション)

