海底地すべりによる津波に関する 確率論的評価手法

Maritime Systems Engineering

🐝 防 衛 大 学 校

鴫原良典

防衛大学校 建設環境工学科

内容

- 1. 海底地すべり津波に関する研究
 - National Tsunami Hazard Mitigation Program
 - メキシコ湾での海底地すべり津波
- 2. 海底地すべり津波波源の確率論的推定手法
 - 手法の概要

TEXAS A&M

Ā M

- 解析結果(メキシコ湾への適用)
- 3. 今後の展開と日本での適用の可能性

National Tsunami Hazard Mitigation Program (NTHMP)



Mapping and Modeling Subcommittee

Science Member from each region of the Coordinating Committee:

- 米国での津波対策プログラム Tsunami mapping, modeling mitigation, planning, and education efforts
- ・ NOAA, USGS, FEMAが共同で推進

Rick Wilson, California/Co-chair George Priest, Oregon Jim Kirby, Stephan Grilli, Atlantic / East Coast States Juan Horrillo, Gulf Coast States Kwok Fai Cheung, Hawaii Tim Walsh, Washington Dmitry Nicolsky, Alaska Victor Huerfano, Puerto Rico Roy Watlington, U.S. Virgin Islands Elinor Lutu-McMoore, American Samoa Chip Guard, Guam

National Seismic Hazard Maps (USGS, 2014)



地盤の最大加速度(50年2%超過確率)

メキシコ湾と米国東海岸:プレート境界型地震発生の可能性は 低いため,海底地すべりによる津波発生を想定している

メキシコ湾について





- 北アメリカ大陸南東部とメキシコ北東部に 挟まれた湾
- 石油の一大産出地.海上に数千のプラント
- ハリケーンの常襲地帯
 Katrina(2005), Ike(2008), ...

Hurricane Ike (2008)による ガルベストン島の被害

メキシコ湾での海底地すべり津波ハザード評価 (NTHMP)



Regional Assessment of Tsunami Potential in the GOM (ten Brink et al., 2009)

- 大規模な海底地すべり跡が3か所に存在
- 後氷期(約7,500年前)に活動.現在も土砂を供給中.

Construction of tsunami inundation maps in the GOM (Horrillo et al., 2010)

- 数値計算により過去のイベントを再現:津波発生から沿岸の遡上まで
- Port Aransas (TX) の津波浸水マップを作成

海底地すべり津波の再現計算

- 地すべり跡に土砂を 復元
- 地すべり発生域は3 次元モデル
 TSUNAMI3D(土砂・ 水ともにNS式を解く)
- 外洋伝播・遡上は平 面2次元モデル NEOWAVE (Boussinesqモデル)







(Horrillo et al. 2010)



INUNDATION DEPTH(MISSISSIPPI CANYON LANDSLIDE) (Horrillo et al. 2010)



メキシコ湾での海底地すべり津波ハザード評価 (NTHMP)

課題

過去のイベントの再現には成功、しかし、海底地すべり津波は発生の不確実性が大きい現象

NTHMP-NOAA project

Construction of five (5) tsunami inundation maps in the Gulf of Mexico (P.I.: Horrillo et al. 2012~2015)

- メキシコ湾での海底地すべり津波波源の確率論的評価手法 を確立
- 再現期間数千年~1万年の海底地すべり津波イベントを推定
- メキシコ湾沿岸サイト5か所における浸水マップを作成

土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, 2014, I_281-I_285

確率論的手法による 海底地すべり津波波源の推定 - メキシコ湾への適用 --

鴫原良典*, Juan Horrillo**

概要

- 確率論的手法(モンテカルロ法)による海底地すべり津 波波源の推定法を提案し、メキシコ湾に適用した
- メキシコ湾での海底地すべり津波イベントの再現期間と 発生する津波の規模を明らかにした

確率論に基づく海底地すべり津波ハザード予測手法(Grilli et al., 2009)



- 海底地すべり津波イベントをモンテカ ルロ法により確率論的に予測する手 法を開発
- 波源(初期水位)は確率論から決定
- 津波伝播・遡上は経験式から求める
- NY, NJ沿岸における再現期間100年・
 500年の津波高を算出



確率論に基づく海底地すべり津波ハザード予測手法(Grilli et al., 2009)



手法:本研究のモンテカルロシミュレーション(MCS)の概要

- 確率論的に決定された海底 斜面の安定性(FS)を計算
 海底地すべりで発生する津 波波源振幅を推定
 繰り返しデータを集める

 試行回数 N= 1,000,000
 海底地すべり津波イベントの
 - ・
 ・
 はしりへり洋波イベンドの

 最大再現期間10,000年(0.01%
 年超過確率)



最終的に得たい結果: **津波を発生させる海底地すべり** のパラメータ (再現期間数千年~1万年イベント)







海底地すべりデータ (McAdoo et al., 2000; ten Brink et al., 2009)

No	Latitude	Longitude	type	Area	Depth of headscarp : d	Runout (HS to toe) : L	Unfailed adj. slope	Headscarp height : T	Slide volume	
-	degrees	degrees	-	sq. km	m	km	degrees	m	cubic km	
1	26.25	-93	Translational	452	-1918	49	1.1	60	8.9	
2	27.42	-92.49	Rotational	44	-1423	3.8	2.1	140	2	
3	27.39	-92.37	Translational	29	-1469	12	3	111.7	1.1	
4	27.4	-92.27	Rotational	62	-1356	12	3.1	148.3	3	
5	27.3	-92.19	Translational	48	-1301	5.5	5.5	75	1.2	
6	26.67	-92.26	Translational	52	-2024	14	5	200	3.4	
7	26.67	-92.19	Blocky	15	-1874	8.8	11.5	160	0.8	
8	26.28	-92.14	Translational	15	-2053	8.6	1.1	110	0.5	
9	26.36	-91.98	Translational	10.3	-2019	3	6	203.3	0.7	
10	26.74	-91.61	Translational	1156	-2150	79	NaN	263.3	100.4	
11	27.29	-91.41	Blocky	9.6	-1757	4.9	12	160	0.5	
12	27.11	-91.41	Translational	34	-1733	7.6	2.5	60	0.7	
13	27.94	-91.32	Blocky	143	-1076	12	5	176.3	8.3	
14	26.21	-91.19	Translational	28	-2399	7.3	5.1	191.7	1.8	
15	27.79	-91.18	Blocky	42	-1332	6.8	8.1	172.5	2.4	
16	28.03	-90.95	Translational	70	-910	5.8	3.1	146.7	3.4	
17	26.51	-90.88	Translational	148	-2262	12	7.5	315	15.1	
18	26.72	-90.72	Translational	55	-2395	7.1	9.9	255	5.6	
19	27.9	-90.54	Translational	40	-1091	4.2	4.4	161.3	2.1	
20	27.57	-90.24	Translational	748	-1404	45	1	55	13.6	
21	27.46	-90.04	Translational	5509	-2328	167	1.3	53.8	97.7	
22	28.01	-89.42	Translational	1394	-2228	79	1.6	73.8	33.9	
23	29.1	-88.93	Translational	2913	-1136	124	2	48.3	46.4	
24	29.95	-87.64	Translational	2460	-1414	111	1.3	97.5	79.1	
25	30.87	-87.02	Translational	1098	-121	89	1.9	60	13.1	
26	27.71	-94.69	Translational	519	-150	39	1.1	160	21.95	East Break
27	28.51	-89.78	Translational	3687	-250	145	1	300	425	Mississippi Canyor
28	26.09	-84.75	Translational	647	-800	19	5.8	150	16.2	West Florida

Translational Slide (表層すべり)が80% 地すべりも大規模

確率分布の決定

発生位置と規模を確率論的に与える(過去のイベントの観測データから推定)

変数	名称	単位	確率分布	μ	σ	下限	上限
d	地すべり最小没水深	m	正規分布	1559.8	735.6	121	2399
L	開始点から終端までの距離	km	対数正規分布	3.14	1.34	3	167
Τ	地すべり上端の層厚	m	対数正規分布	4.78	0.63	48.3	315









地すべり幅(W)は, 過去のイベント のデータ(β,A)から求めた回帰式より 推定





手法:土質パラメータの決定

- 湿潤密度 *ρ*_s[kg/m3]
- 非排水せん断強さ S_u[kPa] を試錐データの回帰式から求める





手法:斜面の安定解析と津波の発生



手法:海底地すべり津波の発生確率

モンテカルロシミュレーションから

- 津波波源の位置,規模,振幅
- 海底地すべりが発生するための地震
 の再現期間

海底地すべり津波の発生確率

| 全ての海底地すべりが津波 | を引き起こすとは限らない

$$P_{SL} = P_{PHA} \cdot P_F$$



解析結果:海底地すべり津波の再現期間と波源振幅



- 津波イベント出現が顕著になる再現期間は数千年オーダー
- 再現期間が大きくなるにしたがい,大きな津波(波源振幅)が出現
- 断面1のη₀>断面2のη₀・・・ 凹凸が少ない地形であるため, 地すべりの 規模が大きくなり易い



Т

Mgsinβ

 $M = 1/2(\rho_s - \rho_w)TL_sW$

Mg

- d< 300~400m, Mgsinβ > 10¹² N で発生
 Mgsinβが大きくても、dが深ければ発生 する津波η₀は小さい (dが津波の発生効率に大きく依存)
 - 断面1の方が浅い場所で大規模な地 滑りが起こりやすい(海底地形の違い が影響)

解析から得られた結論

確率論的手法による海底地すべり津波波源の推定法を 提案し、メキシコ湾に適用

- ▶ 津波イベントの再現期間は数千年オーダー
- ▶ 波源振幅が10m以上のイベントが発生する条件は, 地すべり塊重量が大きく,最小没水深が小さい(数 百mオーダー)必要がある.特に後者が重要
- ▶ 浅い海域での海底地形の違いが、波源振幅や再 現期間に影響を及ぼす
- ◆本手法で得られた地すべり津波波源を初期条件として 数値シミュレーションを実施:メキシコ湾沿岸での津波 ハザード評価が可能

今後の展開(継続中)

MCSモデル

 確率パラメータの改良
 相関を持った乱数の発生(地す べり長さ,幅,面積,体積など)

推定した地すべりによる津波 発生・伝播・浸水計算

- 沿岸5都市での津波浸水マップ の作成
- 新しい断面上での波源の検討(地質データの有無)
- ハリケーンとの相関(再現期間, カテゴリー)

(Horrillo et al. 2014)



今後の展開(継続中)

Panama City, FLの海底地すべり津波 ハザードマップ (Horrillo et al. 2014)

Mississippi canyon landslide



Figure 3. Inundation and momentum flux maps for Panama City, FL produced by the Mississippi Canyon tsunami source scenario. Left panel, Inundation depth; right panel, maximum momentum flux.

Probabilistic landslide D



Figure 4. Inundation and momentum flux maps for Panama City, FL produced by the Transect D Probabilistic tsunami source scenario. Left panel, Inundation depth; right panel, maximum momentum flux.

日本での適用の可能性

必要なデータ

- 1. 海底地形
- 2. 過去の海底地すべりに関する文献:地形条件(確率 分布)を決める ← 情報が必要
- 3. 土質パラメータ ← 多分野の試掘データを探すか 自分で掘る
- 4. 海底の地震ハザードカーブ ← 民間に委託するか 国が作ってくれるのを待つ
- 5. 数値モデルの開発:可能なら海底地すべりは3D, 伝播・遡上は2D

日本での適用の可能性:日本周辺のボーリングデータ



日本での適用の可能性:地震ハザードカーブ



陸域のみ入手可.海域はない

防災科研HP