

地震/津波/洪水による災害リスク の統合評価と GIS-VRによるリスクの可視化

東京都市大学 工学部 都市工学科
吉川弘道

1

0. 地震リスクの考え方と定義

2

広義のリスクと狭義のリスク

- 広義のリスク:
大辞林: ①予測できない危険、②保険者の担保責任
広辞苑: ①危険(リスクを伴う)、②保険で損害を受ける可能性
‘滅多に起こらないが、もし起きると大変なことになる’
- 狭義のリスク: Engineering Risk
Risk=被害の発生確率×そのときの被害
地震リスク=損失の発生確率p × 損失の規模D

$$R = \sum_{j=1}^k (p_j \times D_j)$$

3

地震リスクの定義: Engineering Risk 工学的定義

- リスク/Risk =
地震の発生確率/Hazard
× 被害の発生確率/Vulnerability
× そのときの被害額/Consequence
- 「リスク = 発生確率 × 影響度」

$$R = \sum_{j=1}^k (p_j \times D_j) \quad \text{ただし、} \quad \sum_{j=1}^k p_j = 1$$

4

複数震源モデル

入力地震動/PBAと年発生確率

フラジリティ曲線

構造物の被害: 軽微/大破/倒壊

地震イベントリスク曲線

物的損失/Money ⇒ How Much?
機能停止/Days, Months, Years
⇒ How Long?

5

地震イベントリスク曲線 (Seismic Event Risk Curve)

6

リスク解析の最終評価：
NEL, PML, 地震イベントリスク曲線

★ 損失の期待値NEL: $NEL_j = \int_0^{c_{max}} c \cdot f_c(c/j) dc$

★ 予想最大損失ML: $0.9 = \int_0^{PML_j} f_c(c/j) dc$

★ 地震イベントリスク曲線:

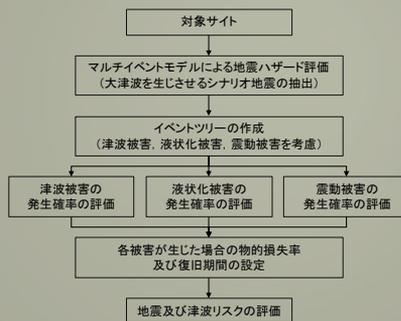
$j > 1: Q_j = 1 - (1 - q_j) \prod_{j=1}^m (1 - q_j)$

1. まえがき：研究概要

- ▶ 地震災害、津波災害、液状化、火災は、発生特性と被害形態がきわめて異なる災害である。
- ▶ 一旦発災すれば、地震規模と防災力に応じた被災規模を呈するが、個々に扱うのではなく、統合する必要がある。
- ▶ 対象とする災害リスク(リスクの統合):
当初の計画: 地震災害、津波災害、洪水災害
今回: 震動災害、津波災害、液状化災害
* 理由: 洪水リスクは、その他の災害リスクと無関係に発生する(相関特性を持たない)。

2: 統合リスクの評価方法

統合リスクの評価フロー



イベントツリー解析:
物的損失・停止日数

津波被害	液状化被害	震動被害	損害率 (%)	復旧期間 (日)
なし	なし	なし	0	0
		軽微	3	10
		中破	10	30
		大破	100	180
小規模	大規模	なし	5	10
		軽微	5	10
		中破	10	30
		大破	100	180
大規模	大規模	なし	100	180
		軽微	100	180
		中破	100	180
		大破	100	180

物的損失 = Σ被害形態の発生確率 × 被害形態の損失率
復旧期間 = Σ被害形態の発生確率 × 被害形態の復旧期間

イベントツリー: 要因数4 * 帰結数7

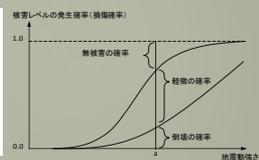
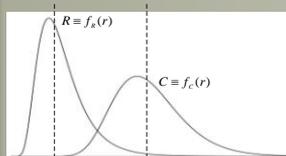


Σ (物的損失率の期待値) = 0.275

フラジリティ特性:対数正規分布

被害要因	損傷モード	耐力中央値 (cm/s ²) (地震面最大加速度換算)			複合 偏差	損失率	復旧期間 (日)
		東京港	鹿島港	仙台港			
津波被害	津波未発生	抽出したシナリオ地震毎に発生確率を算出			—	0.00	0
	津波発生				—	1.00	180
液状化被害	液状化未発生	—	—	—	—	0.00	0
	液状化発生	200	320	360	0.54	0.30	60
護岸被害	無被害	—	—	—	—	0.00	0
	沈下	500	500	500	0.54	0.20	90
	滑動	600	600	600	0.54	0.40	180
コンテナクレーンの被害	無被害	—	—	—	—	0.00	0
	脱輪	400	400	400	0.54	0.05	60
	部材の損傷	700	700	700	0.54	0.15	120
受変電設備の被害	無被害	—	—	—	—	0.00	0
	損傷	600	600	600	0.54	0.05	10
コンテナの被害	無被害	—	—	—	—	0.00	0
	落下	400	400	400	0.54	0.01	5

震動被害の発生確率： フラジリティ曲線の算出



$$F_x(r_m) = \int_0^{r_m} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \zeta_Z x} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \ln c_m}{\zeta_Z}\right)^2\right\} dx$$

4: 統合リスクの評価事例

対象とする災害リスクと対象施設

▶ 取扱う災害リスク

震動災害、津波災害、液状化災害
これら3災害は、同一の震源(シナリオ地震)を起因とするが、伝播と作用、および防災力(脆弱性)により、異なる被害形態を呈する。

▶ 対象施設:3つの港湾施設

東京港、鹿島港(茨城県)、仙台港(宮城県)
港湾施設は、震動災害、津波災害、液状化被害のすべてに被災の可能性がある。

マルチイベントモデルによる地震ハザード評価 地震イベント曲線

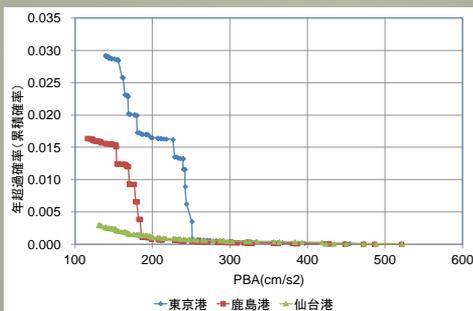
想定されるシナリオ地震の発生確率を累積して求めた超過関数

$$j=1: Q_1 = q_1$$

$$j>1: Q_j = 1 - (1 - q_j) \prod_{i=1}^{j-1} (1 - q_i)$$

シナリオ地震:活断層地震/海溝型地震/背景地震
地震の個数: m=100 (津波リスク絞込む)

地震ハザード： マルチイベントモデル

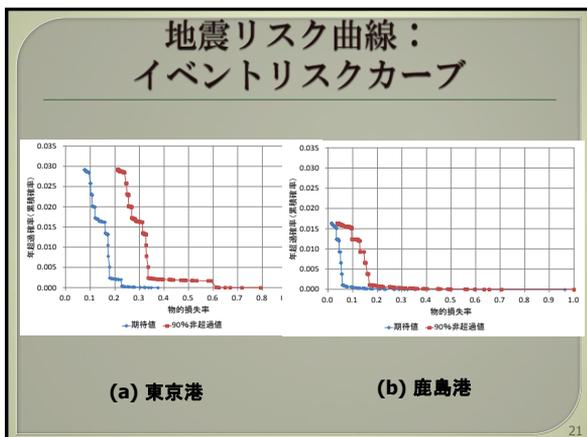


イベントツリーの作成： 対象とする災害リスク

➤ 取扱う災害リスク：

1. 津波被害：浸水未発生、浸水発生
2. 液状化による護岸背後地盤の被害：
3. 震動災害*護岸被害
4. 震動災害*コンテナクレーン*脱輪被害
5. 震動災害*コンテナクレーン*部材の被害
6. 震動災害*受変電設備の被害
7. 震動災害*コンテナの被害

イベントツリー：要因数7*帰結数33



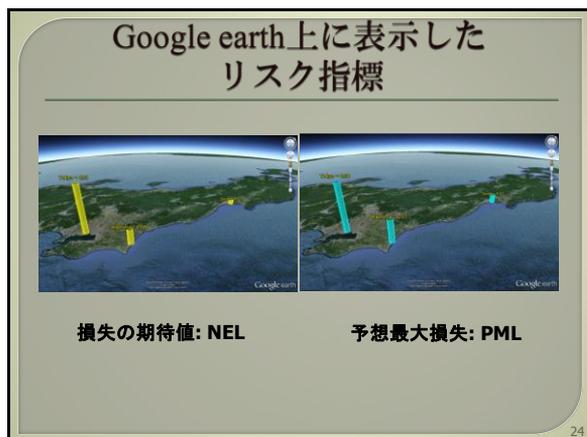
リスク指標の算出： NEL:損失の期待値、 PML:予想最大損失

★ 損失の期待値NEL：
$$NEL_j = \int_0^{c_{max}} c \cdot f_c(c/j) dc$$

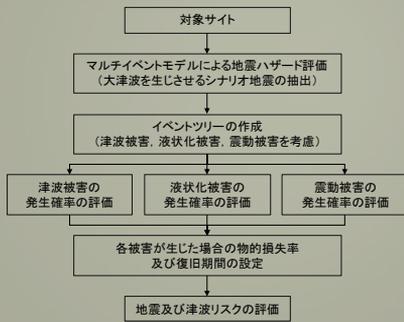
★ 予想最大損失ML：
$$PML_j = \int_0^{PML_j} f_c(c/j) dc$$

NEL:損失の期待値、 PML:予想最大損失

	物的損失率に 関するPML		復旧期間(日) に関するPML	
	期待値	90%非超過値	期待値	90%非超過値
東京港	0.21	0.38	58	110
鹿島港	0.06	0.17	17	53
仙台港	0.02	0.07	7	22



まとめ1:統合リスクの評価フロー



25

まとめ2：リスク解析vs.性能設計

- 性能設計/Performance-Based Design: →
‘これだけの地震に耐えられる’ことを照査する
- 地震リスク/Seismic Risk →
‘これだけ壊れる’ことを数値として表す
- 地震リスク解析：次の場合に有効
 - 発生確率は小さいが、一旦発生すると大きな被害
 - 大小様々なリスクが存在する
 - 異なる構造物/異なる建設地点、にて評価したい
 - 異なる被災形態：地震動、津波、液状化被害

5: 3D-VRによる災害リスク の認知効果実験

27

大画面（6Kデジタルサイネージ）による 災害リスクの3D-VR視聴評価実験



28

災害リスクの3D-VR視聴評価実験

- 実験手順：
災害状況を3次元バーチャルリアリティ(3D-VR)で可視化
被験者を3種類画面にて体験
アンケートに回答。出題者と被験者にて質疑問答
- 被験者：
学生3名、社会人7名＝合計10名
- アンケート回答⇒集計
- 参加全員による意見交換会

29