

社会基盤施設の地震リスク解析 ‘単体リスク’から, ‘システムリスク’へ

東京都市大学(旧武蔵工業大学):吉川弘道
総合研究所/地震リスクマネジメント研究室
工学部/都市工学科/災害軽減研究室

0:導入:

地震被害/兵庫県南部地震の教訓

⇒性能設計の確立

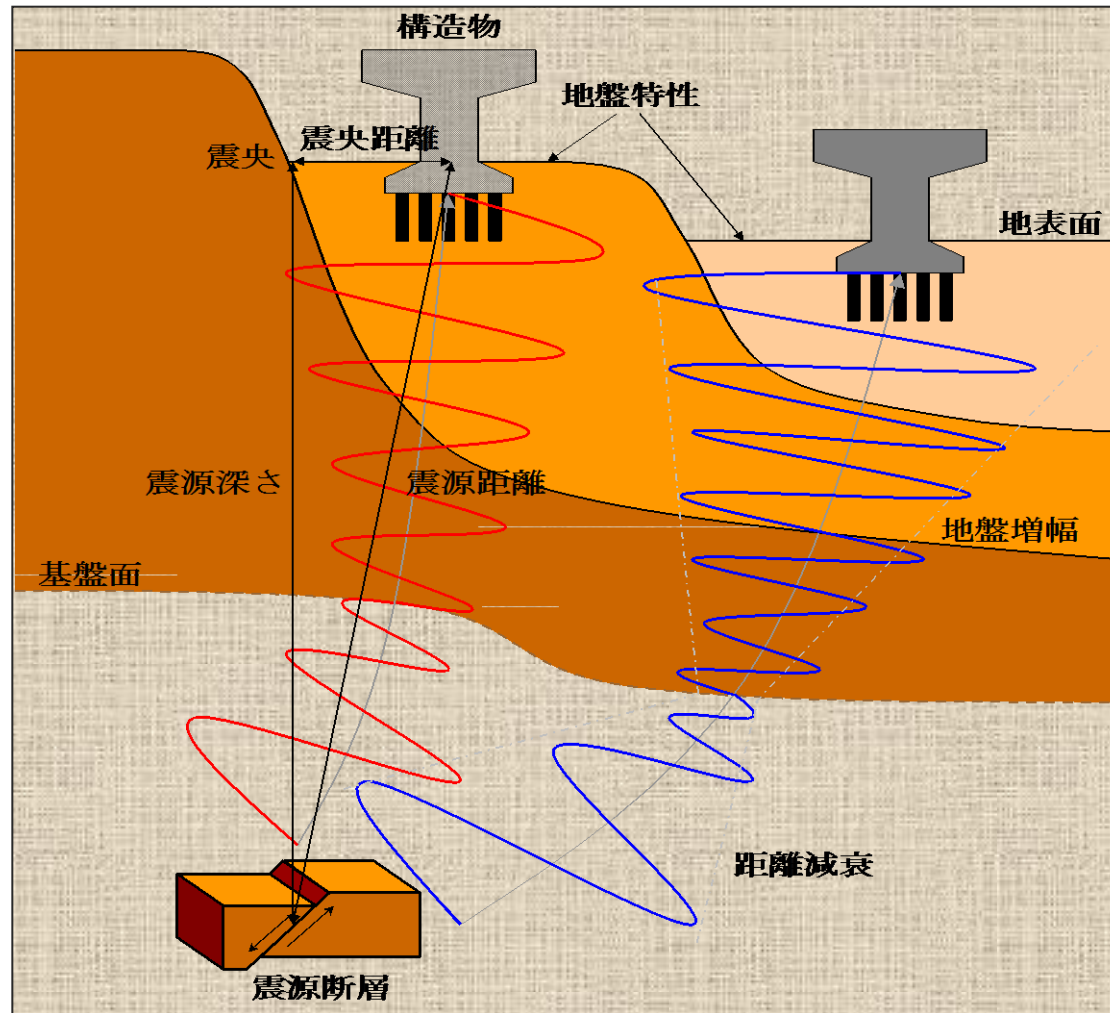
⇒地震リスクの提唱



P126(Asランク:再構築)

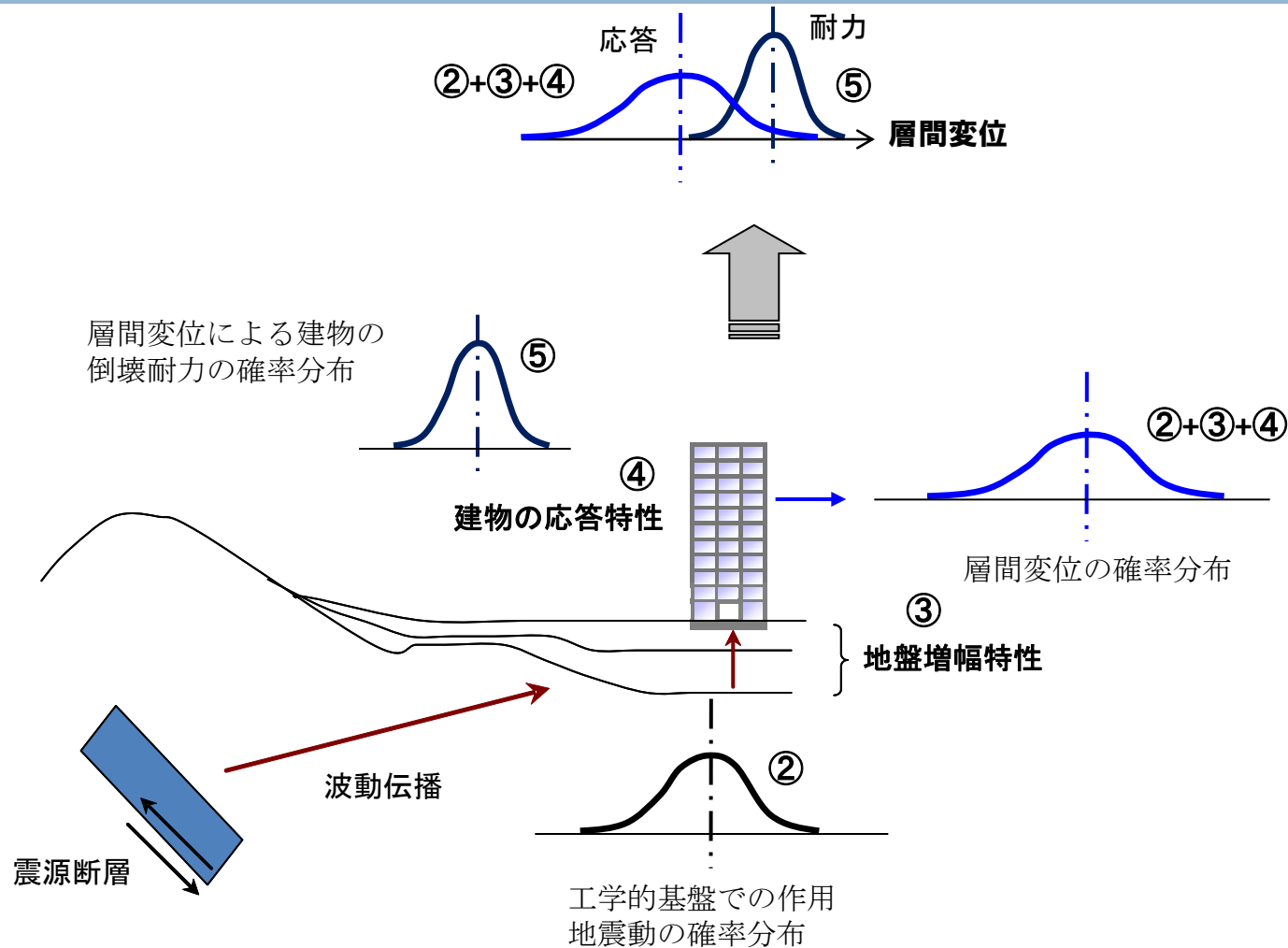


地震波の発生/伝播/増幅/構造物の応答/被害



震源断層から構造物被害:一貫解析

地震リスク解析の提唱:確率論的手法の導入



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

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

1: 単体構造物の脆弱性評価

フラジリティ曲線: Seismic Fragility Curve

地震損失関数: Damage Function

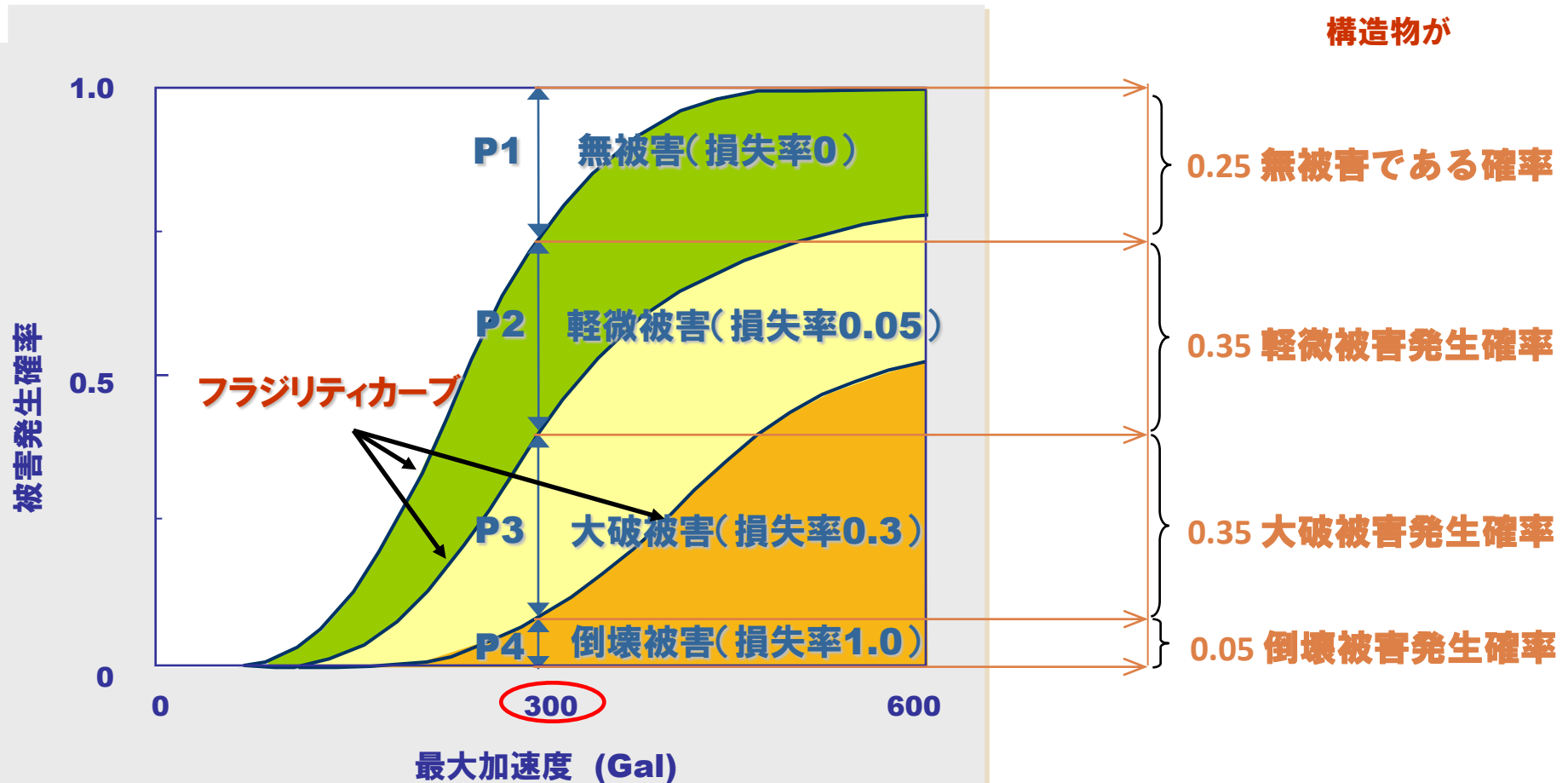
フラジリティ曲線：SFC (Seismic Fragility Curve)

- 構造物の損傷規模に関する条件付き確率
- 横軸/地震動規模：最大基盤加速度
- 縦軸/確率：対数正規確率 Log-Normal
- 構造物の損傷規模の例：
小規模、中破、大破、崩壊
None, Minor/Slight, Moderate,
Major, Complete/Collapse

フラジリティ曲線SFCの算定例

地震発生時に構造物の被害を4形態(無被害、軽微、大破、倒壊)とすると、

最大加速度300Gal時に
構造物が



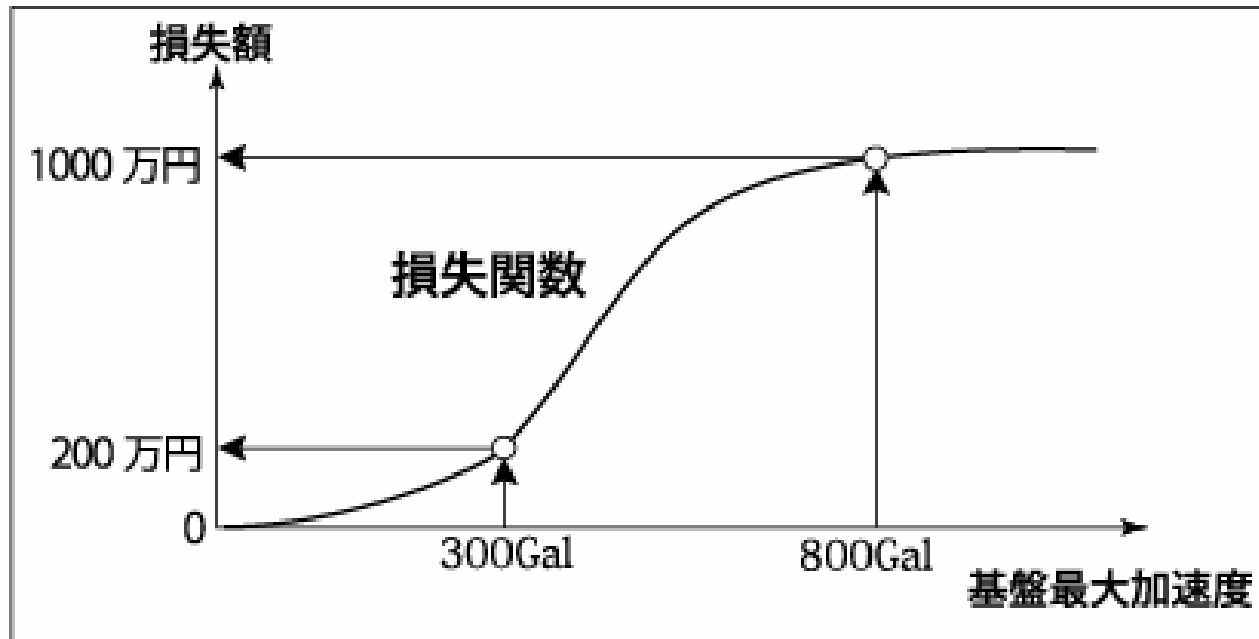
※損失率=損失額/対象施設総額

地震損失関数:DF (Damage Function)

- 地震動規模に対する構造物の損傷程度を対応させたもの
- 横軸/地震動規模:最大基盤加速度
- 縦軸/損傷レベル:損失額(再調達価格)
- 地震損失関数:
 - 「どのくらいの最大加速度が入力したら、どれくらいの損害を被るか」を説明する

地震損失関数:DF (Damage Function)

損失関数



➡ 地震動強度に対する予想損失額を表現

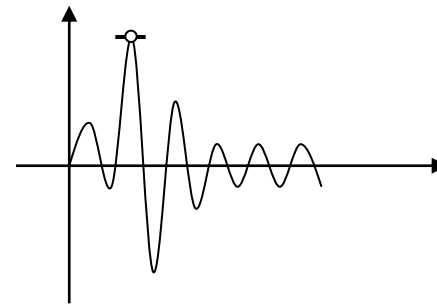
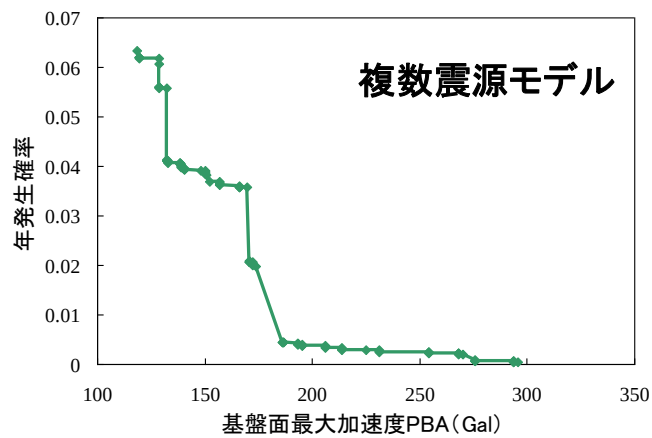
2: 単体構造物の地震リスク解析

地震ハザード: 複数震源モデル/Multi-Event Curve

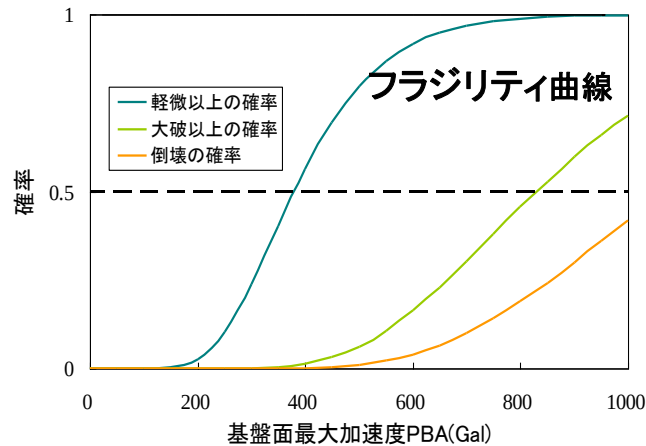
脆弱性評価: 地震損失関数/Damage Function

地震リスク評価:

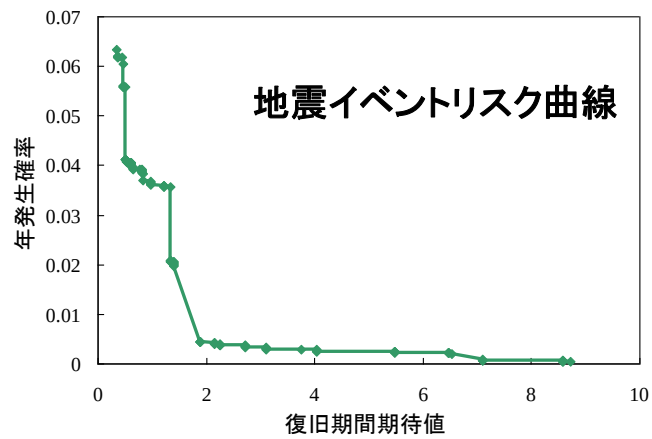
- ・地震リスク曲線/Seismic Risk Curve
- ・損失期待値/Annual Expected Loss
- ・最大予想損失PML/Probable Maximum Loss



入力地震動/PBAと年発生確率



構造物の被害: 軽微/大破/倒壊



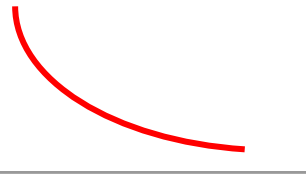
物的損失/Money ⇒ How Much?

機能停止/Days, Months, Years
⇒ How Long?

地震リスクイベント曲線:

Seismic Event Risk Curve

年超過確率

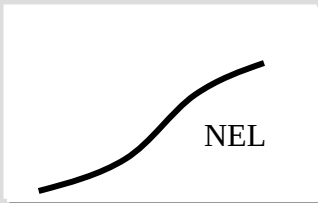


地震動の大きさ

地震危険度 (ハザード曲線)

×

損失率

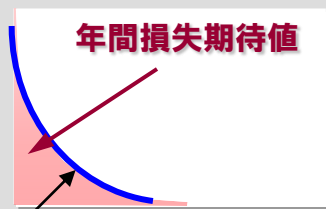


地震動の大きさ

地震ロス関数

↓

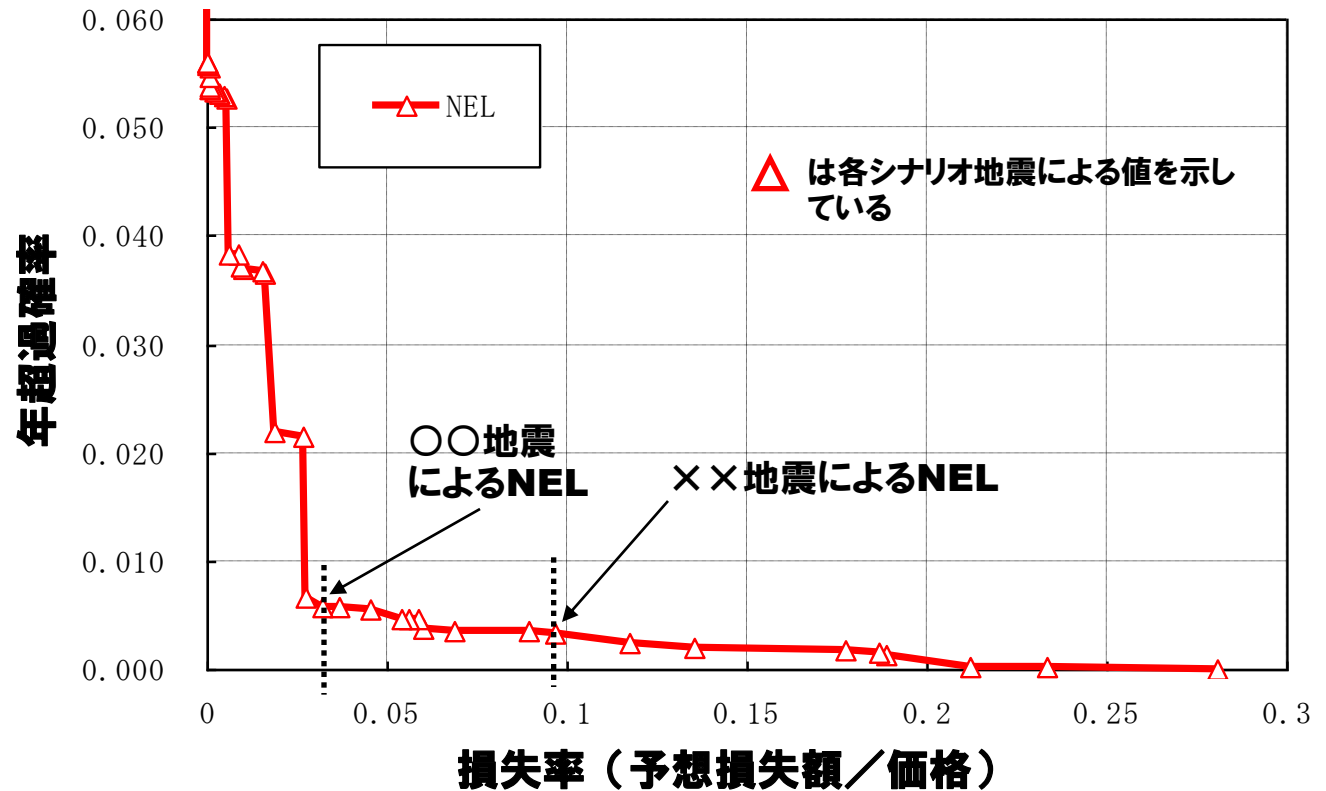
年超過確率



NEL

損失率

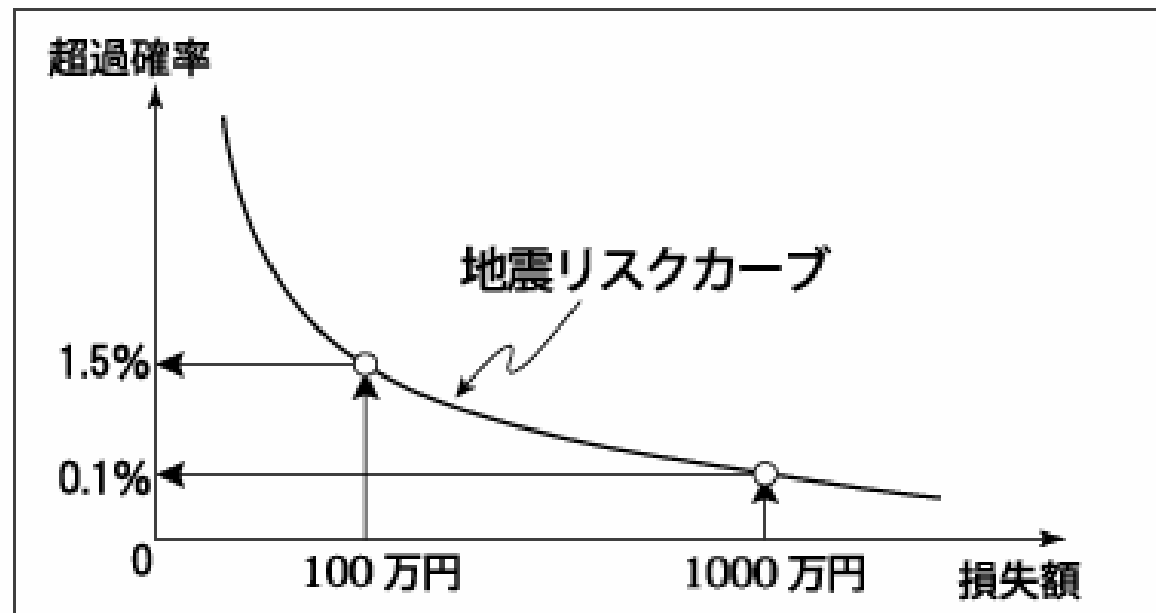
リスクカーブ



シナリオ地震による地震リスク曲線

地震リスク曲線: Seismic Risk Curve

地震リスクカーブ



➡ 着目地点における
対象構造物固有のリスクを表現
「地震リスク評価」

地震リスク曲線 (Seismic Risk Curve)

- 地震リスク曲線：地震動規模を消去して、地震損傷レベル(損失額)の発生確率(超過確率)
- 損失額100万円⇒1.5%、損失額1000万円⇒0.1%
- 地震による損失レベルが直接的に求まる
- 地震リスク曲線(地震規模が直接現れないでの)
 - ・他の災害ハザード(洪水、地滑り、津波)と同等に比較できる
 - ・対象構造物に対して、合算できる

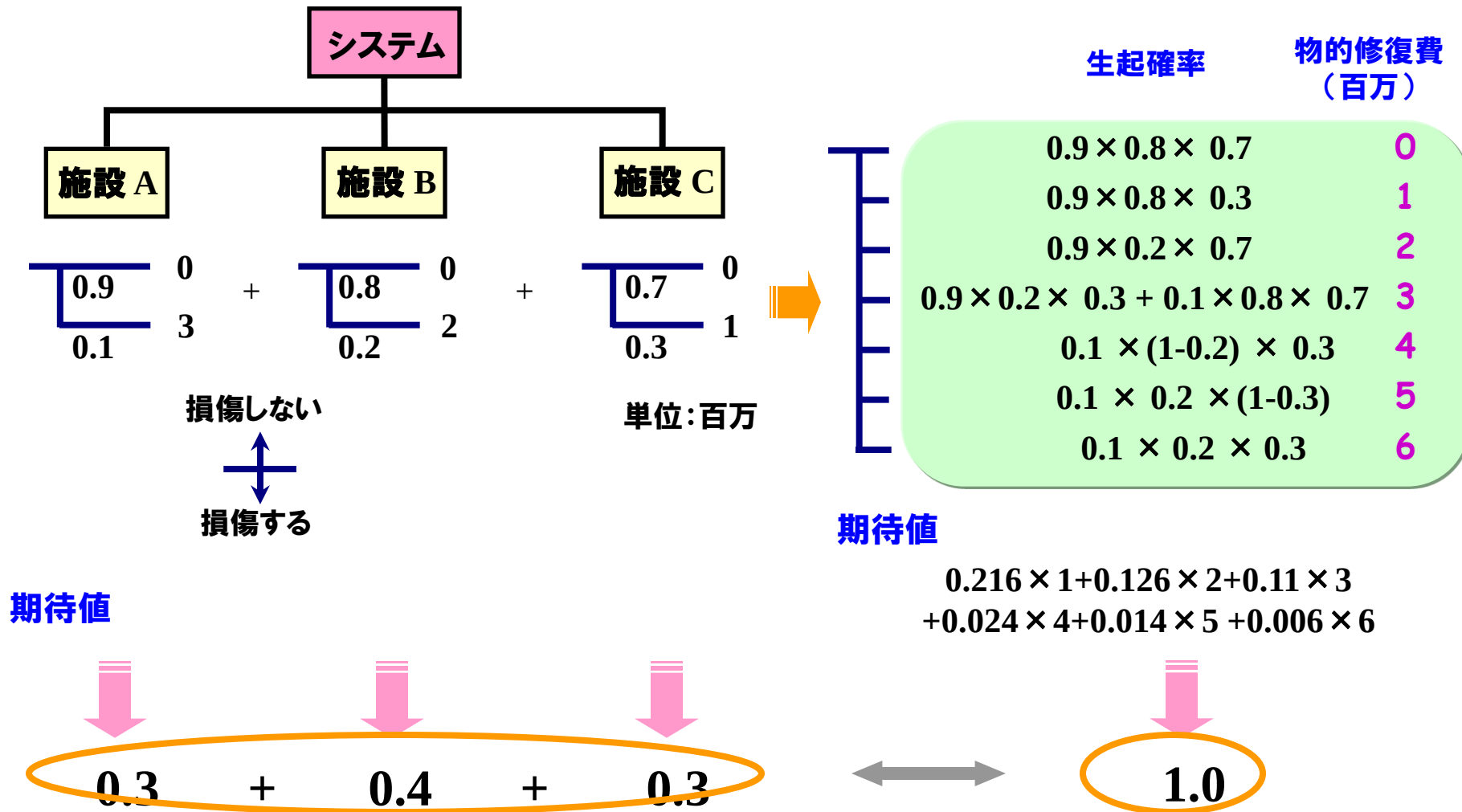


3:地震リスク解析

‘単体リスク’から‘システムリスク’へ

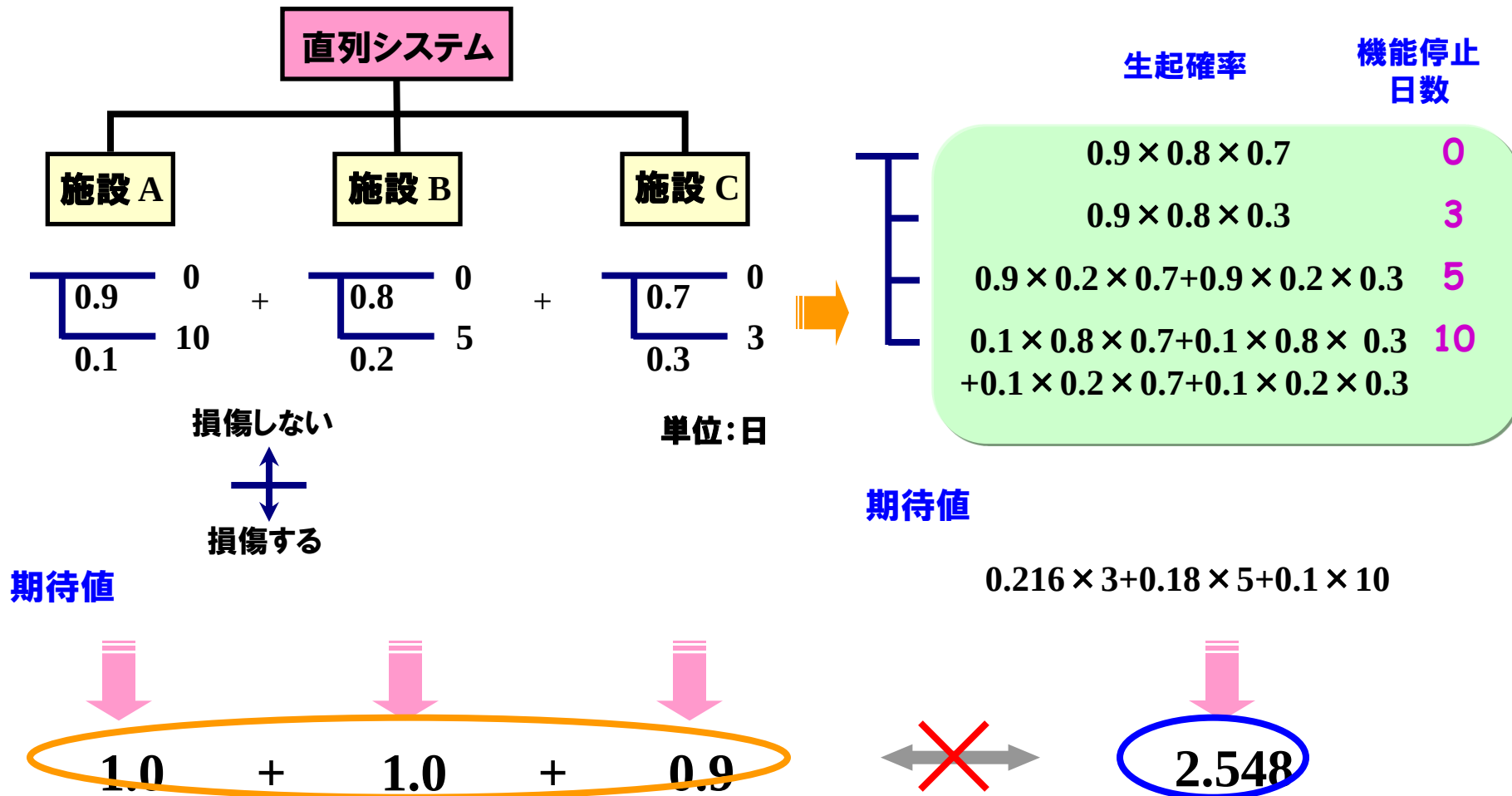
地震損失の集積方法：物的損失評価の場合

個々の施設の重合せが成立



地震損失の集積方法：機能停止評価の場合

システム解析と個々の施設の最弱



地震時システムリスク解析の提案

Seismic System Risk Analysis

➤ 線状施設の特徴：

- 強震時には，構造施設 1 個所の損傷により，機能停止を余儀なくされ，直接・間接損失を生じる．
- 多くの施設は，直列/並列混在システムとなり，システム解析を必要とする．

➤ 適用事例：

- 鉄道/道路施設，港湾/空港施設，電力施設，生産施設
- 事業継続性/BCP，目標復旧期間/RTOに対応