

2014年3月27日 於 東京都市大学

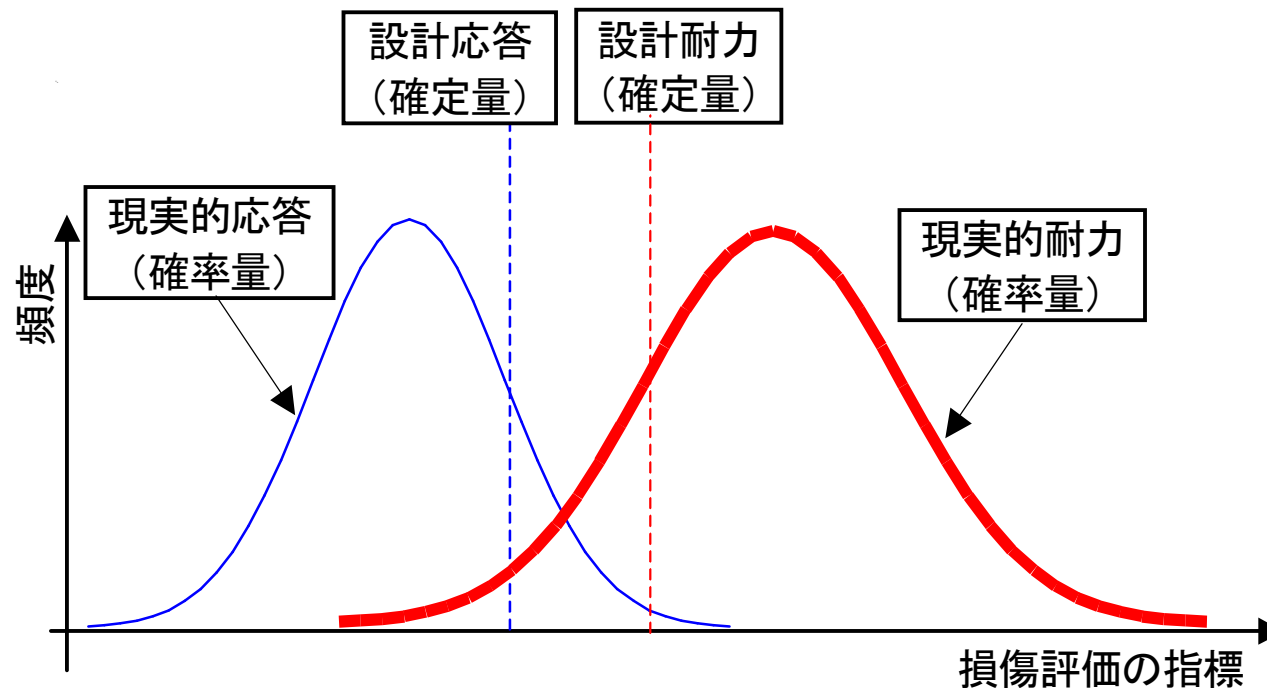
地震 PRA 実施基準の改訂について 機器・建屋フラジリティ評価

標準委員会セッション リスク専門部会
フラジリティ作業会主査

大阪大学 山口 彰

フラジリティ評価とは

- 発電用原子炉施設において地震リスクの観点で影響を及ぼしうるものとして選定された機器、建物・構築物等を対象とする
- 地震時の現実的な応答と現実的な耐力を評価する
- 両者の関係をもとに任意の地震動強さに対する機器、建物・構築物等の条件付損傷確率を算定する

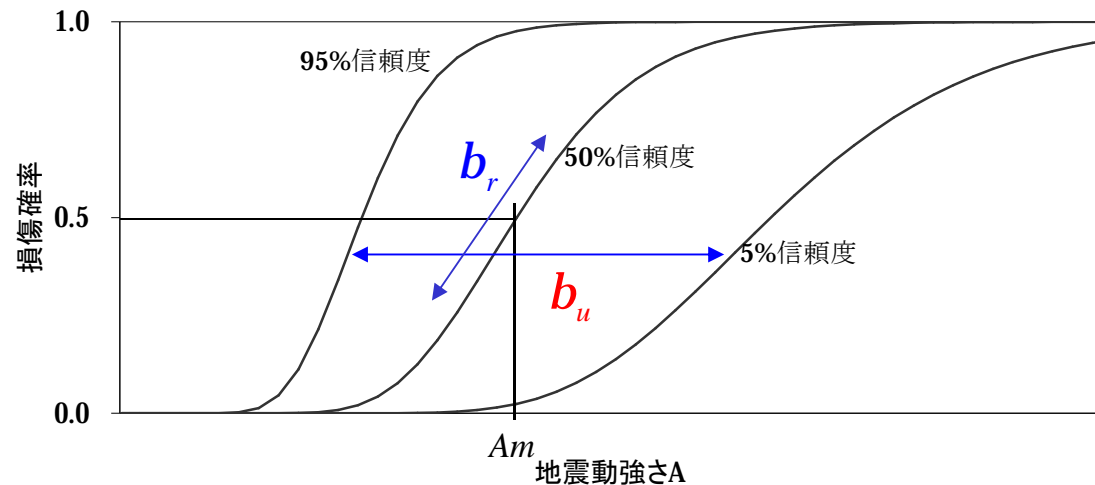


fragility parameters (to be evaluated)

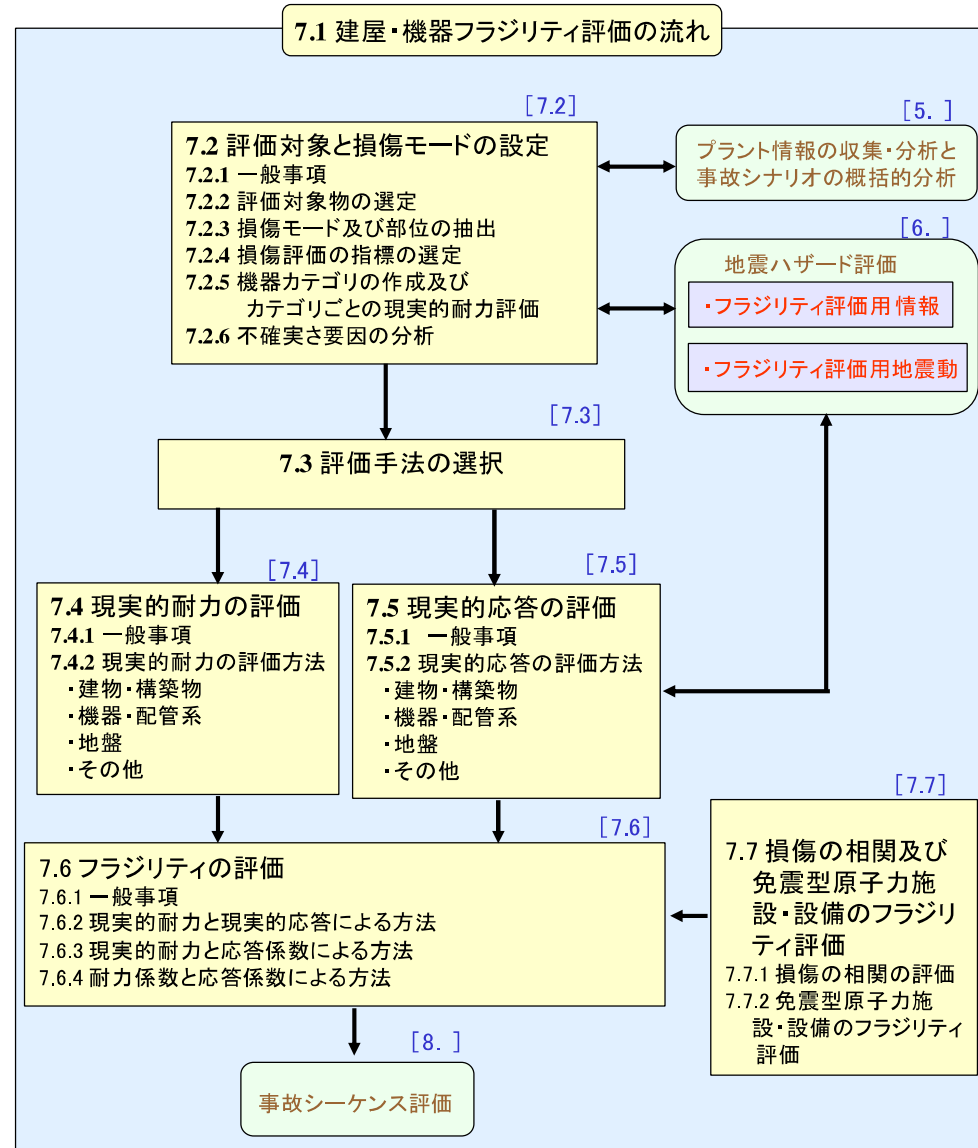
- 3 parameters

- A_m : fragility central value
- β_u : epistemic uncertainty
- β_r : aleatory uncertainty

$$F(A) = \Phi\left(\frac{\ln(A / A_m) + b_u \cdot \Phi^{-1}(p)}{b_r}\right)$$

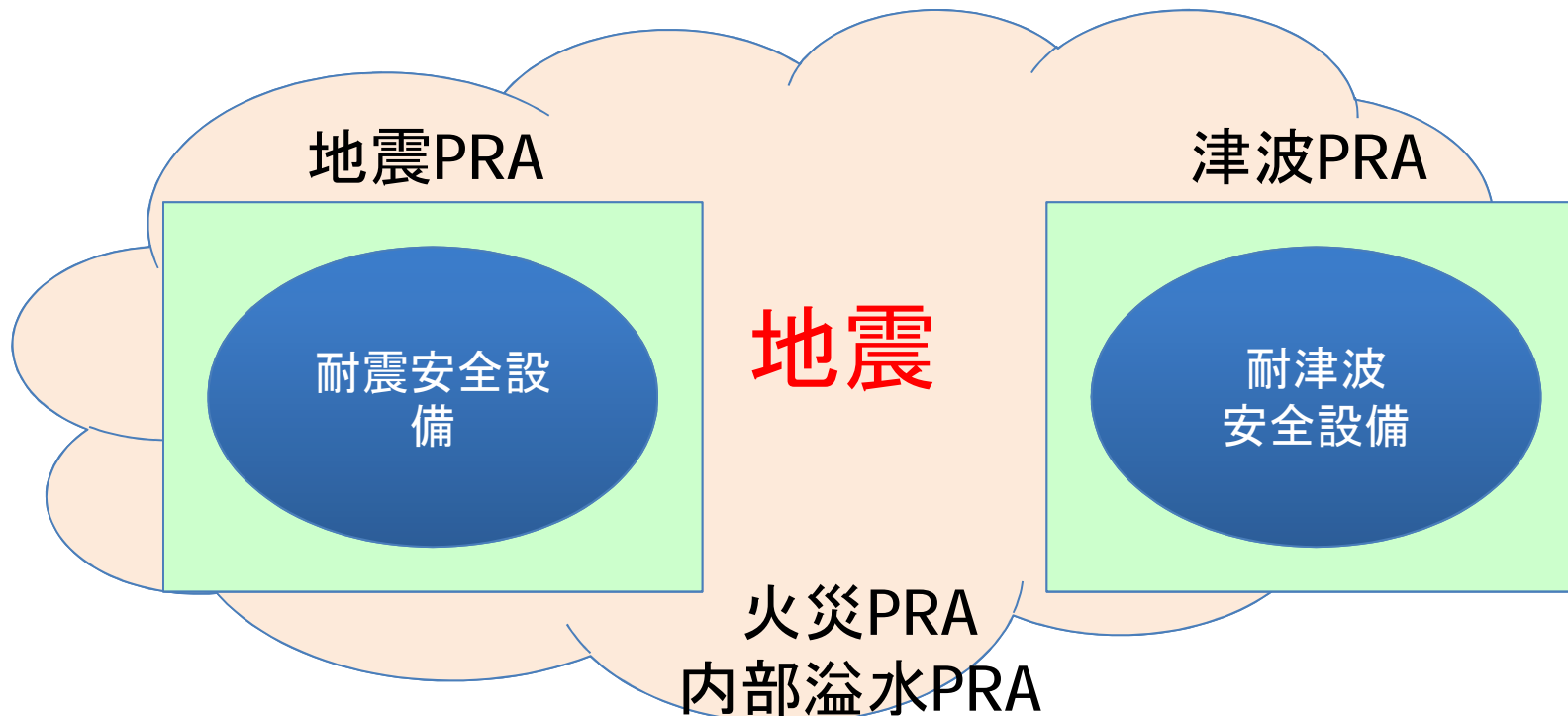


fragility evaluation flow



建屋・機器フラジリティ評価の改訂のポイント

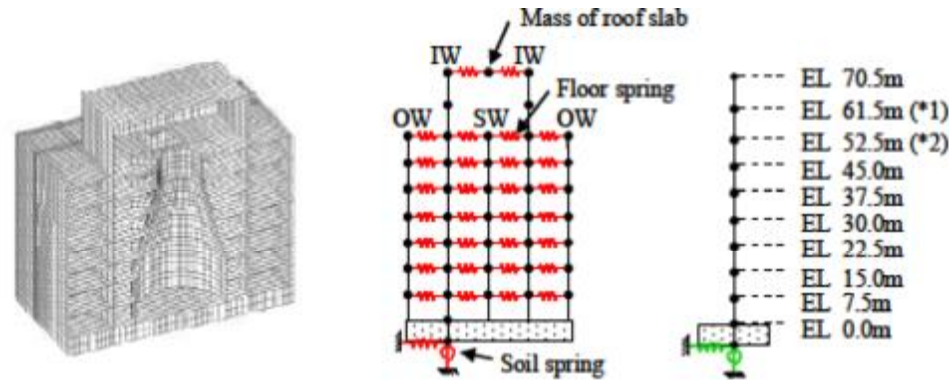
- 地震起因の他のリスク評価(津波等)に関連する要求事項を明確化
 - 7.5.1現実的応答評価における基本事項において『さらに、6.7で記載される本震経験後の津波による現実的応答評価に資するために、本震による構造的損傷後の影響を必要に応じて評価する。』と要求事項として明確化



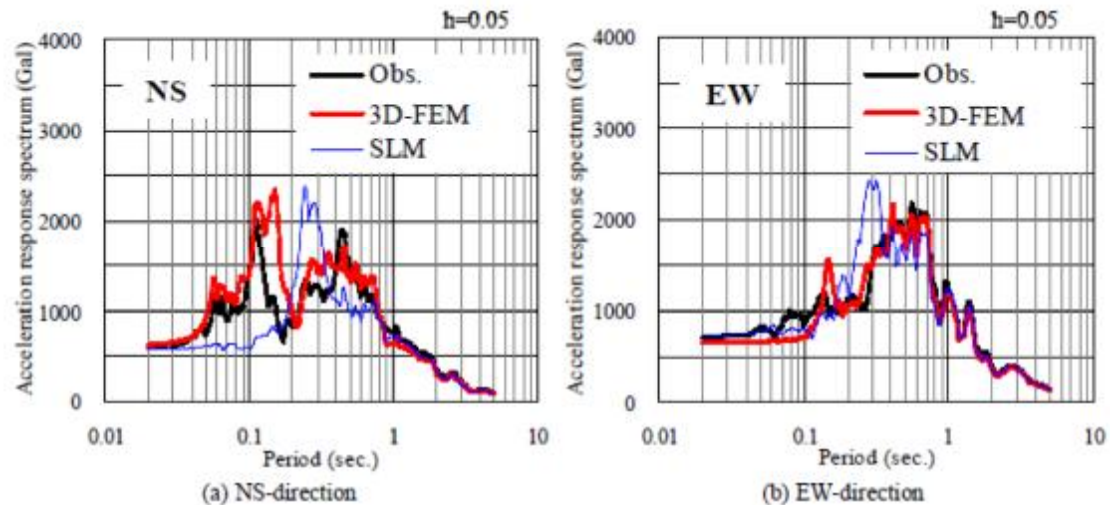
建屋・機器フラジリティ評価の改訂のポイント

- 2007年以降に得られた基準地震動を超える地震動による被害及びシミュレーション解析等を踏まえた新たな知見を追加
 - 『応答解析に基づく方法及び応答係数に基づく方法による現実的応答の評価において、地震応答解析に用いる解析モデルは、地震観測記録のシミュレーション解析など及び使用実績に基づき、建物・構築物の三次元応答及びそれが安全上重要な機器・配管系に及ぼす影響に留意し、損傷限界までの現実的応答の評価に適したものとする。三次元応答による影響として、床の変形、ねじれ及びロッキングなどに配慮する。』として新知見を要求事項として明確化

附属書BY 建物・構築物の現実的 応答評価にかかる参考資料



(a) 3D-FEM model (Case-A) (b) MLM (Case-B) (c) SLM (Case-C)
 (*1) Ceiling crane level (*2) Operating floor level



福島事故等の知見

- 福島事故等の知見を踏まえて、シビアアクシデント対策設備及びそれらの搬入路、使用済燃料プール、免震重要棟、のフラジリティ評価を要求事項として明確化。
 - 7.2 評価対象と損傷モードの設定～7.5 現実的応答の評価に至って、「使用済燃料プール」「シビアアクシデント対策設備」に関する記載を追記。

中越沖地震以降の地震経験の考慮

- 社団法人 日本機械学会 動力エネルギーシステム部門 中越沖地震の柏崎刈羽原子力発電所への影響評価研究分科会, “平成19年度, 平成20年度 中越沖地震の柏崎刈羽原子力発電所への影響評価研究分科会 活動報告書”, 2008.6
- 一般社団法人 日本原子力技術協会 中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会, “中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価 平成22～23年度報告”, 2012.3
- 東京電力株式会社, “柏崎刈羽原子力発電所3号機所内変圧器3Bの火災について(中間報告)”, 東京電力プレスリリース, 2008.8
- 藤田, 中村, 古屋他, “日本機械学会による機械設備などの地震被害調査活動”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2012, 2012.8
- 藤田, 皆川, 中村, “東日本大震災における工場の被害”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2012, 2012.8
- 藤田, 下秋, 宮田, “東日本大震災における昇降機の被害と提言”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2012, 2012.8
- 渡邊, 小林, 河田, 原田, “東日本大震災におけるクレーン設備の被害状況”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2012, 2012.8
- 藤田, 皆川, “東日本大震災における半導体製造工場の被害と復旧”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2012, 2012.8
- 船橋, 田村, 原田他, “東日本大震災における火力発電施設の被害と復旧”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2012, 2012.8
- 原子力安全・保安院, “原子力発電所の外部電源にかかる状況について”, 東京電力株式会社 福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会(第1回)－配付資料, 2011.10

シビアアクシデントマネジメント対処設備

- “関西電力大飯3号機ストレステスト、保安院,(独)原子力安全基盤機構から事業者への質問事項に対する事業者からの回答資料”,平成24年1月17日(その1)
- “東北電力東通1号機ストレステスト、保安院,(独)原子力安全基盤機構から事業者への質問事項に対する事業者からの回答資料”,平成24年9月13日(暫定版)

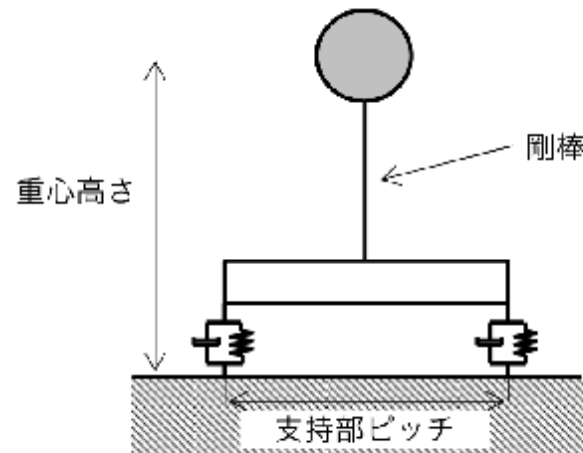


図 BL.1 解析モデル例

最新の耐力試験に関するデータの更新 36文献を引用

- (独)原子力安全基盤機構, “08耐部報-0012 平成19年度原子力施設などの耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その4(タンク)にかかる報告書”, 2008年10月
- (独)原子力安全基盤機構, “08耐部報-0017 平成19年度原子力施設などの耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その4(弁)にかかる報告書”, 2009年3月
- (独)原子力安全基盤機構, “09耐部報-0007 平成20年度原子力施設などの耐震性評価技術に関する試験及び調査地震履歴を受けた機器アンカー部の耐力試験にかかる報告書”, 2009年11月
- (独)原子力安全基盤機構, “09耐部報-0008 平成20年度原子力施設などの耐震性評価技術に関する試験及び調査動的上下動耐震試験(クレーン類)にかかる報告書”, 2009年12月
- (独)原子力安全基盤機構, “10耐部報-0002 平成20~21年度原子力施設などの耐震性評価技術に関する試験及び調査耐震機能限界試験(ファン)にかかる報告書”, 2011年3月
- (独)原子力安全基盤機構, “JNES-SS-1102 平成22年度耐震機能限界試験(非常用ディーゼル発電機)ガバナ振動台加振試験”, 2011年7月
- (独)原子力安全基盤機構, “11耐部報-0005 平成21~22年度耐震機能限界試験(スナバ)にかかる報告書”, 2011年3月
- (独)原子力安全基盤機構, “耐震性の実証及び耐震限界の把握ー大型振動台などによる耐震裕度関連の試験概要ー”, 2009年12月
- (22) JNES, “Verification of Seismic Safety and Assessment of Seismic Capacity -Overview of tests relating to seismic safety margins using a large shaking table, etc.-”, December 2009

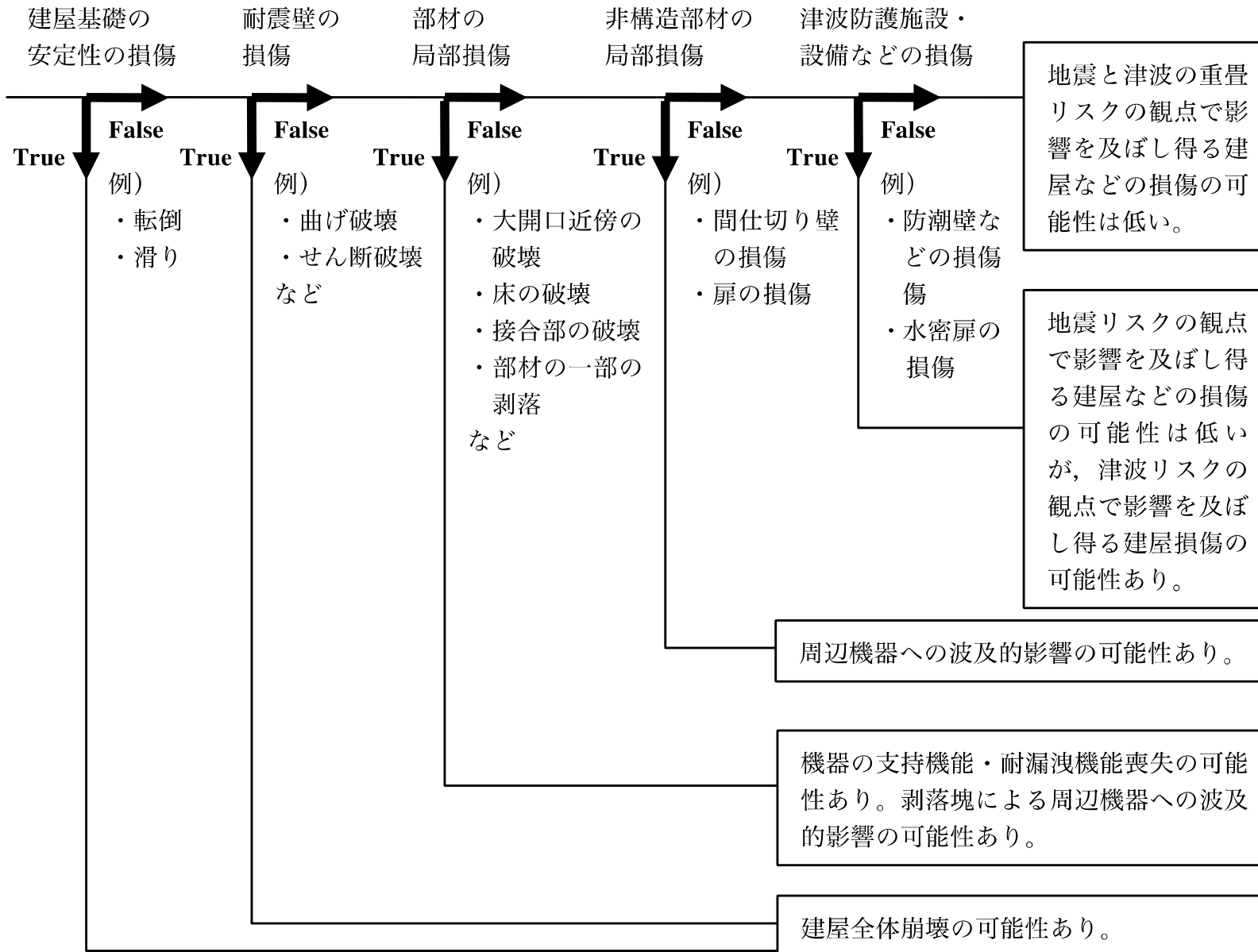
斜面や地盤に関する評価範囲を拡大

- 地震起因の斜面崩壊による建屋や施設への影響を斜面の安定性による間接評価のみならず、崩壊後の土塊の移動や構造物への衝突による衝撃力などを考慮した直接評価についても要求事項として明確化。
- 本震以外の余震、地殻変動及び断層変位に起因した地盤変状によるフラジリティ評価を要求事項として明確化。

炉心損傷直結モードの詳細化

- 建屋崩壊，格納容器崩壊，原子炉圧力容器の損傷など，炉心損傷に直結すると見なす起因事象とその他の機器・配管系の局部損傷の起因事象に区分けする場合には，炉心損傷に直結する損傷モードとそれ以外の損傷モードに区分けしてフラジリティ曲線を求める
 - 建屋の要求機能喪失に繋がる構造的損傷モードとしては，安定性にかかる損傷モード，層崩壊にかかる損傷モード，局部破壊にかかる損傷モード，間仕切り壁及び扉などの非構造部材の破壊にかかる損傷モードなどが想定され，それらの中から支配的な構造的損傷モード及び部位を選定する。

建屋などの崩壊シーケンスを構成する損傷モード



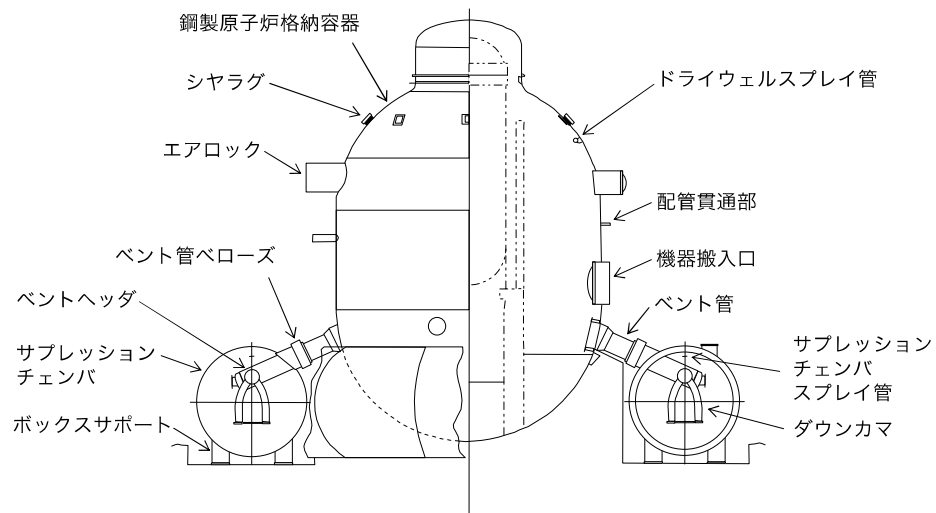
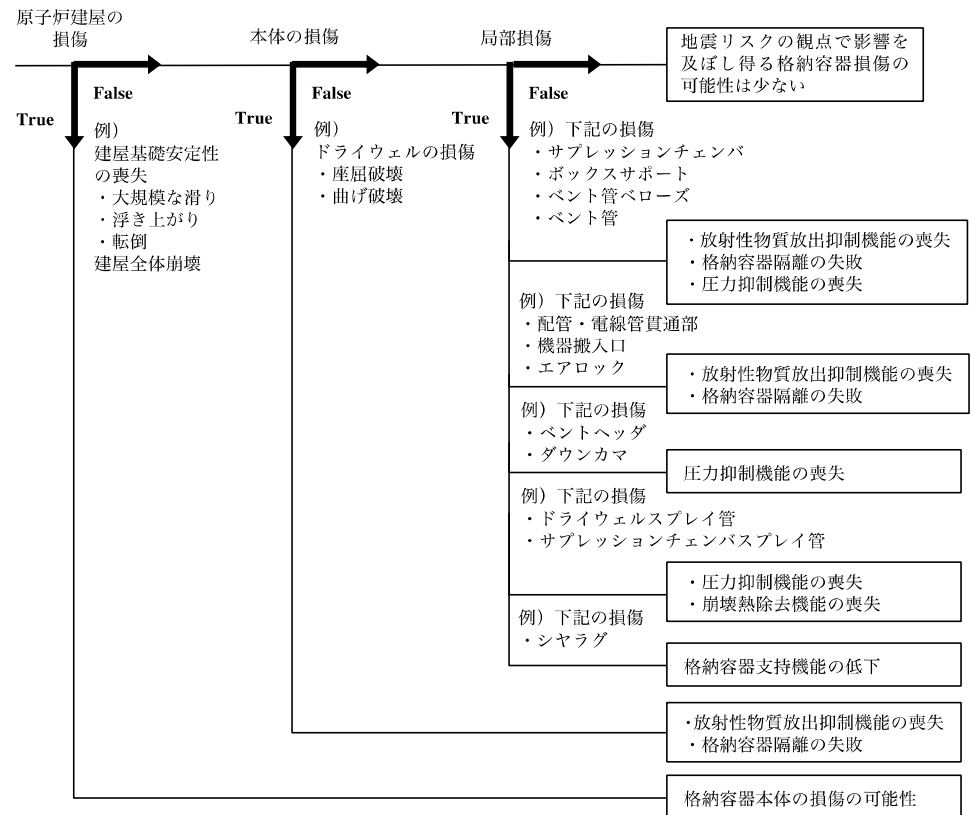
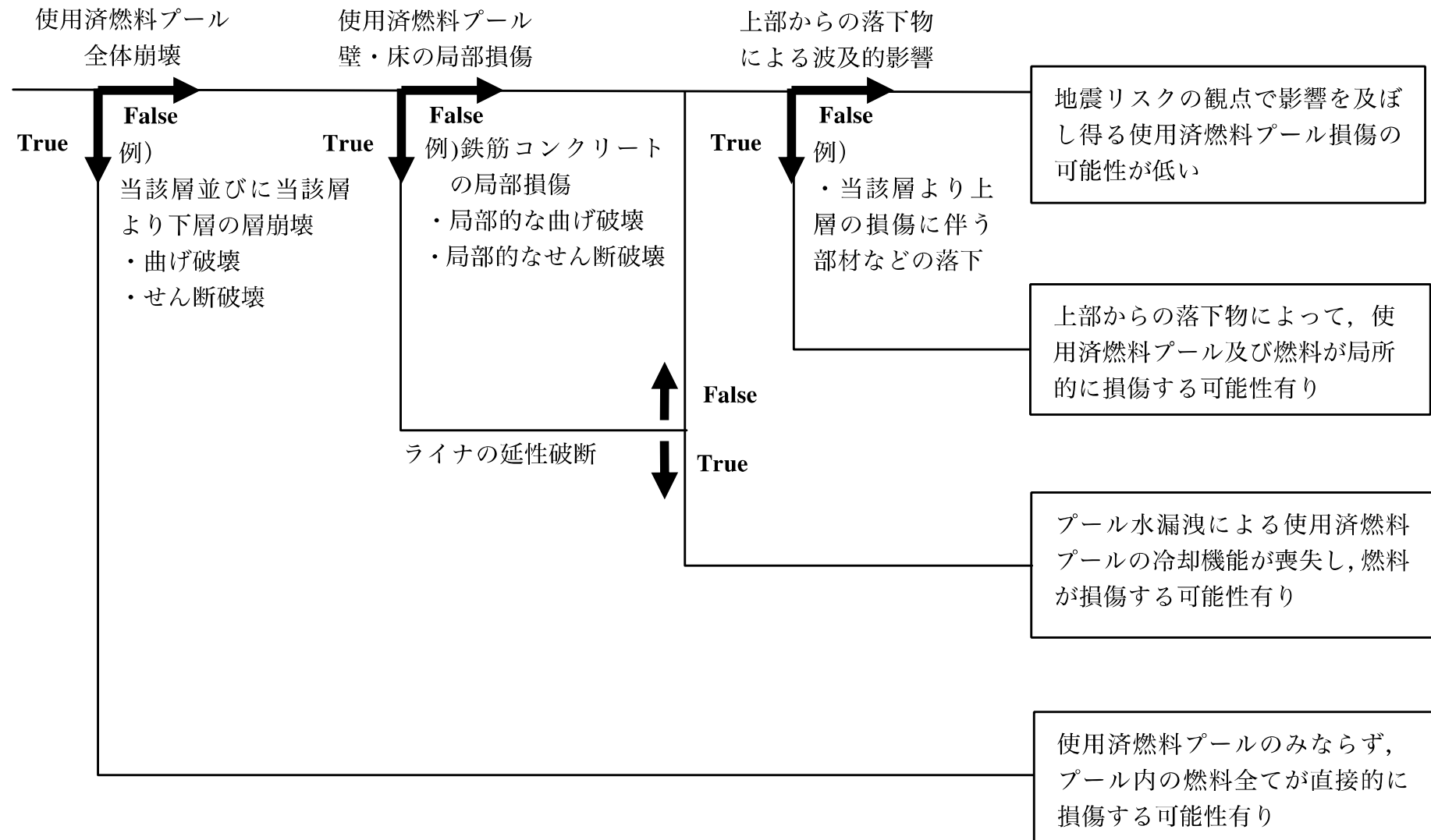


図 BK.6 BWR の鋼製原子炉格納容器の損傷モードの例



断層変位に起因する損傷事例を調査

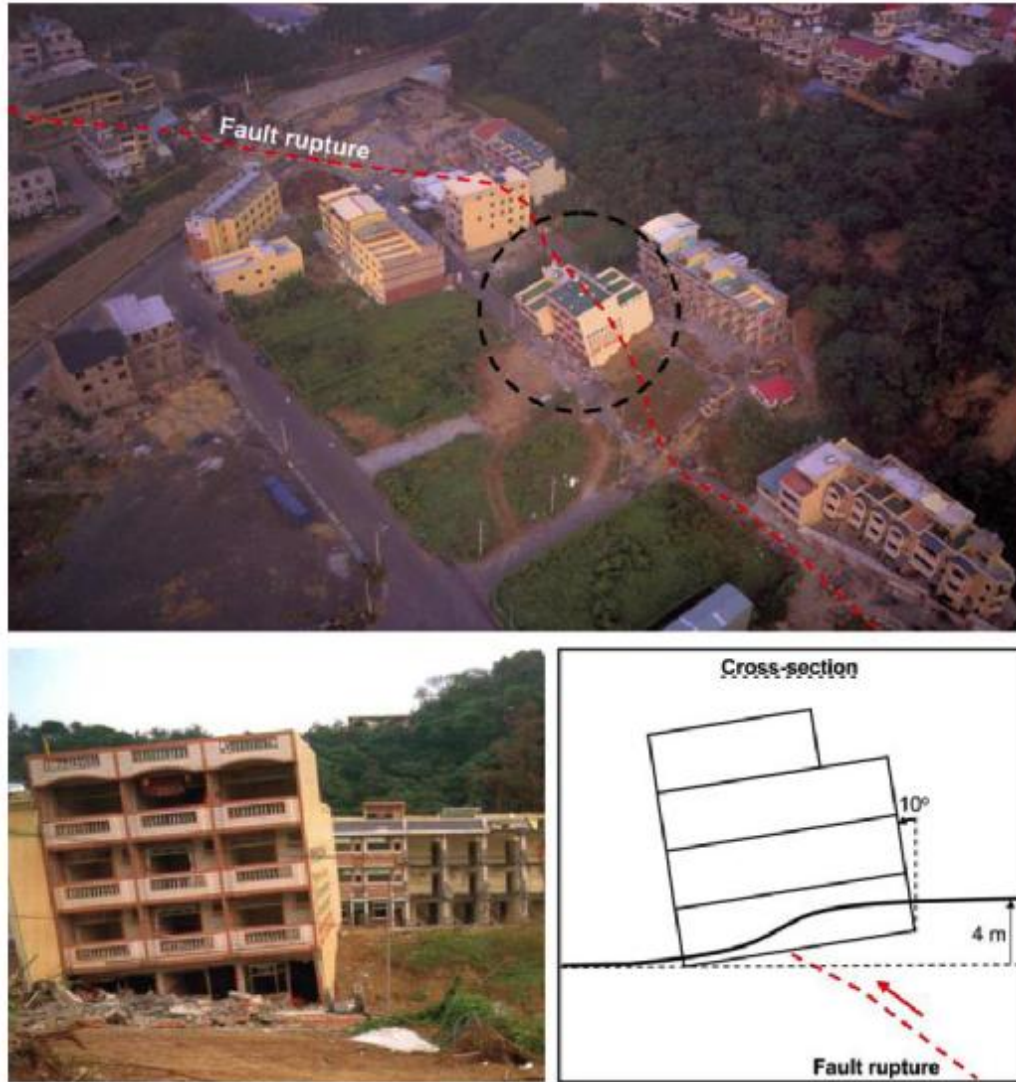
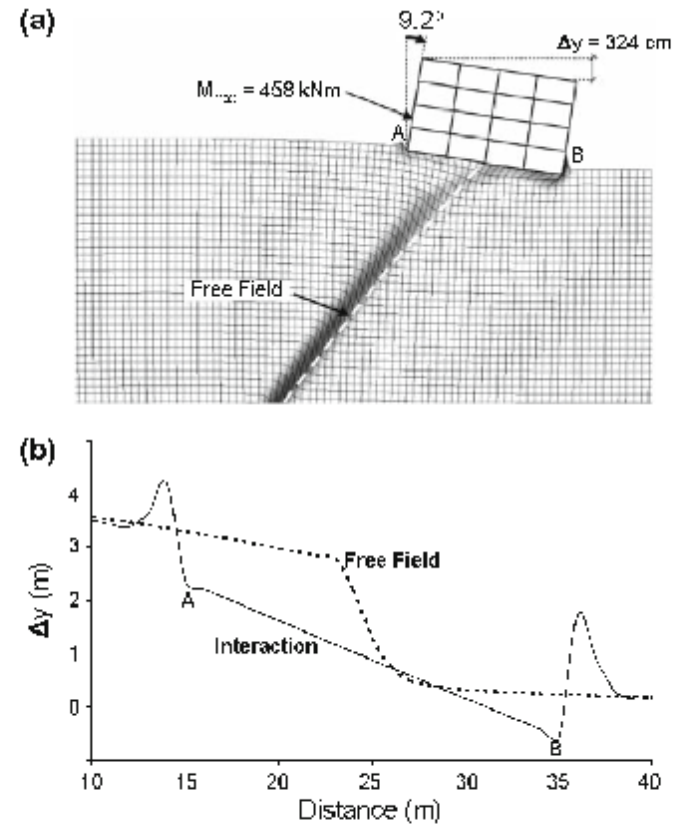


Fig. 7 Chelungpu thrust fault, Chi-Chi, Taiwan 1999 earthquake—Chung-Cheng Park, Fung-Yan City: 4-story building resting on a continuous and rigid foundation (photos adapted from Hwang 2000). The building survived 4 m of upthrust without substantial structural damage, but subjected to approximately 10° of rigid-body rotation



Finite element analysis of the 4-story building of Fig. 6 (a) — 4 m): a Deformed mesh and plastic strain, moment M_{max} at the ground surface, rotation Δy at the ground surface. The structure is subjected to rigid-body rotation, without bending. Analysis results can be seen to be in qualitative agreement with field observations

まとめ

CDFのみでなく影響・結果の分析を視野に

- 起因事象間の相互作用
- シビアアクシデントマネジメント設備
- 新しい知見、経験を含め、更新
- 地震応答評価に最近の研究成果を考慮
- 特に建物等の大型機器・設備の損傷モードを詳細化
- 地盤・斜面の耐力評価を詳細化