

JASMiRT 第 2 回国内ワークショップ 報告

テーマ

**「福島第一原子力発電所事故を教訓とした構造工学分野からの安全性向上を目指して
—現実的現象把握によるパフォーマンス評価とその安全性向上への活用—」**

開催の趣旨

新規制基準および新検査制度により、自主的安全性向上活動や、リスク情報を活用した意思決定が要求されるようになった。これらに対し、設計基準外事象や自然災害に対する事故シナリオの想定とリスク評価および事故影響緩和といった、構造工学分野からの技術的貢献の方向性を示すことを目的として、下記の要領で JASMiRT 国内ワークショップを開催した。

本ワークショップでの討論結果は、2019 年 8 月開催の SMiRT25 に対して、日本からの特別セミナーを提案するためにも活用される。

日 時：平成 30 年 8 月 23 日（木） 10:00～19:00
24 日（金） 10:00～12:30

場 所：電力中央研究所 大手町地区 733 大会議室（8 月 23 日）
電力中央研究所 横須賀地区 新本館大会議室（8 月 24 日）

2018 年 10 月 3 日版

原子力構造工学推進連絡会（JASMiRT）WG2

目次

I WG2 メンバー

II プログラムと発表サマリー

III アンケート結果

IV まとめ

V 発表資料

VI 参考資料

I WG2 メンバー

区分	氏名	所属	WG2 委員	WG2幹事会 メンバー
アカデミア	笠原 直人	東大	○	○
	出町 和之	東大	○	
	望月 正人	阪大	○	
	山田 知典	東大	○	
	丸山 一平	名大	○	
	前田 匡樹	東北大	○	
	月森 和之	福井大	○	
中立委員	森下 正樹	JAEA	○	
	浅山 泰	JAEA	○	
	若井 隆純	JAEA	○	○
	勝山 仁哉	HAEA	○	○
	中村 いずみ	防災科研	○	
事業者	山崎 達広	JANSI	○	○
	釜谷 昌幸	INSS	○	
	堂崎 浩二	日本原電	○	○
	島本 龍	中部電力	○	
	梅木 芳人	NRRC	○	○
	三浦 直樹	電中研	○	○
産業界	宮崎 克雅	日立	○	○
	渡辺 久訓	三菱	○	
	小川 琢矢	東芝ES	○	○
	紺谷 修	鹿島建設	○	
本委員会	高田 毅士	東大		○
	安部 浩	原子力学会		○

Ⅱ プログラムと発表サマリー

プログラム 一日目（8月23日）：電力中央研究所 大手町地区 733 大会議室

時 間	講 演 題 目 ・ 講 師 ・ 講 演 概 要	司 会
10:00～10:10	主催者代表挨拶 (東京大学 高田毅士)	東京大学 笠原直人
10:10～10:40	基調講演「安全性向上に向けて—構造工学分野への期待—」 (横浜国大 白鳥正樹) 原子力プラントの構造健全性設計/評価は、建屋、機器に作用する応答（加速度、変形、応力等）がそれぞれに対して定められた許容値を超えないという基準で行われる。地震荷重を考えた場合、応答の評価および許容値の決定プロセスに大きな不確かさが内在しており、結果として大きな安全裕度をとらざるを得ない。この安全裕度を定量的に把握することは難しく、また機器ごとに裕度の大きさが異なっている。このことが構造物システムとしての合理的な健全性設計/評価を困難にしている。現在、この不確かさを定量的に評価する様々な試みが行われているが、本講ではこのような試みに対する私見と期待を述べる。	
10:40～11:40	セッション1 金属材料の破壊・劣化現象と強度評価	日立製作所 宮崎克雅
	「設計を超える状態に対する構造強度分野からのアプローチの意義と課題—破壊制御技術の適用による大規模バウンダリ破壊の防止—」 (東京大学 ○佐藤拓哉、笠原直人) 深層防護は設計状態（DBE）と設計を超える状態（BDBE）に大別される。構造強度工学は主に DBE に適用され、圧力バウンダリの構造健全性を確保する役割を担ってきた。BDBE に対しては主に安全工学分野からのアプローチにより影響緩和が図られてきた。ここでは、BDBE に対して構造工学を適用することにより、効果的な影響緩和策が可能な状況にすることの意義と課題について述べる。具体的には、破壊制御技術を適用することにより、圧力バウンダリの小規模破壊を先行させて荷重を緩和することにより、大規模破壊を防ごうとするものである。	
	「事象把握のための破壊試験と解析的取組み —模擬材料を用いた構造物クリープ試験の実施—」 (三菱重工 ○廣瀬悠一、片岡紘希、首藤伸伍、中馬康晴) 原子力プラントにおけるシビアアクシデント時の破壊メカニズムを把握し、破壊による被害を低減させるための破壊制御の考え方の検討に資することを目的に、原子炉容器モデルの内圧クリープ試験を実施している。試験体には鉛をベースとした模擬材料を適用して、100℃未満の比較的低い温度でクリープによる破壊現象を詳細に確認できることが特徴である。これまでの試験から、構造不連続部の有無による破壊位置やき裂方向の違いなどを確認しており、これらの結果に基づき、終局破壊を再現するための解析手法や破壊制御の考え方について検討を進める。	

	「既往研究で取得された関連材料特性データの現状 ―オーステナイト系ステンレス鋼の超高温材料特性式の開発―」 (JAEA ○鬼澤高志、下村健太、加藤章一、若井隆純) 原子力プラントにおけるシビアアクシデント時の構造健全性評価に適用することを目的に、オーステナイト系ステンレス鋼の超高温材料特性式を開発した。具体的には、SUS304および SUS316 に対して、1000℃までの引張試験およびクリープ試験を実施して、取得したデータより超高温の材料特性を評価した。さらに、取得データおよび評価結果に基づき、高速炉設計用として 650℃まで整備されている各種材料特性式との接続性を考慮しつつ、1000℃まで適用可能な弾塑性応力-ひずみ関係式およびクリープ特性式を開発した。	
11:40～12:40	昼 食	
12:40～13:40	セッション2 コンクリート材料の変質と部材性能評価 「運転期間延長認可制度とコンクリート構造物の特別点検」 (関西電力 北川高史) 2013年に法制化された原子力発電所の運転期間延長認可制度では、認可申請にあたってコンクリート構造物の特別点検が義務付けられており、強度低下及び遮蔽能力低下事象に着目し、条件が厳しい場所で採取したコアサンプル等による強度、遮蔽能力、中性化深さ、塩分浸透及びアルカリ骨材反応の確認が要求されている。国内で初めて認可を受けた高浜発電所1、2号機及び美浜発電所3号機では、規制要求に基づき、点検方法、点検場所等を具体化のうえ点検を実施した。そのプロセス、結果等について報告する。	電中研 NRRC 梅木芳人
	「放射線照射がコンクリート特性に及ぼす影響」 (鹿島建設 紺谷修) 原子力発電所の長期安全運転に向けて、運転期間の長期化に伴いコンクリートの放射線累積照射量が大きくなるため、放射線照射に対するコンクリートの健全性評価の重要性が増大する。一方、コンクリートに対する放射線照射試験は1960年代から行われてきたが、放射線がコンクリート特性に及ぼす影響やその影響を引き起こすメカニズムについては、必ずしも明確になっていない。このため本研究では、中性子およびガンマ線の加速照射試験を行い、放射線がコンクリート特性に及ぼす影響について検討し、コンクリート強度・剛性に影響があることを確認した。	
	「廃止措置プラントを活用したコンクリート健全性評価研究」 (中部電力 島本龍) 原子力施設におけるコンクリート構造物は支持機能や遮蔽機能が要求されており、コンクリートの健全性評価が重要視されている。コンクリートの強度や遮蔽能力は、コアサンプリングによるコア強度や中性化等の確認を行っている。しかし、建屋から多くのコアを採取することは、構造物に損傷を与えることになるため、非破壊試験や数値解析を有効に活用し、コア採取数を最小限に抑えた合理的な健全性評価が望まれている。このため、廃止措置中の浜岡発電所1号機原子炉建屋を活用し、コンクリート構造物の合理的な健全性評価手法の構築を目指している。	

	「原子力発電所の建屋の材料、構造及び工法の開発」 (三菱重工 山本知史、日立 GE ニュークリア・エナジー ○若杉健一、東芝エネルギーシステムズ 高橋宗孝) 平成 25 年に施行された国の新規制基準では、原子力施設に想定する外部ハザードの種類は多くなり、またその大きさは増大傾向にある。外部ハザードに対して有効な対策の 1 つである壁厚の増加は、逆にコンクリートの物量（重量）増加による耐震性の低下等に繋がる可能性がある。このため、本研究では、建屋の安全性向上のため、コンクリートの物量を抑えつつ外部ハザードにも抵抗できる建屋を目指し、原子力施設では採用実績のない高強度等のコンクリート材料の適用について検討することとした。	
13:40～14:40	セッション 3 建屋・機器・配管の応答挙動と解析法 「高性能計算を利用した原子力発電所建屋の 3 次元非線形地震応答解析」 (東京大学 堀宗朗) 鉄筋コンクリート原子力発電所建屋の地震応答解析を高度化する一策として、並列有限要素法を利用したソリッド要素詳細解析モデルの利用が検討されている。相互作用の項を含まない非線形波動方程式を数値解析することで、構造物－地盤相互作用をより正確に評価することが期待できるからである。本講演では、並列有限要素法とソリッド要素詳細解析モデルの概要を説明し、実構造物を対象とした 3 次元非線形地震応答解析の例を紹介する。 「原子炉建屋の耐震評価のための三次元モデル化手法の標準化への取り組み」 (JAEA ○西田明美、崔炳賢、塩見忠彦、李銀生) 計算工学及び計算機技術等の発展により、近年は構造解析等において実形状に基づく三次元モデルが作成され、応力解析や応答解析等に活用されている。原子炉建屋においても、三次元モデルは耐震性評価等に活用されつつある。しかしながら、三次元モデルの精度にはばらつきがあり、原子炉建屋のように実大実験が困難な規模の構造に対しては、解析結果の妥当性が課題となっている。このような状況を踏まえ、JAEA では原子炉建屋の三次元モデルの構築手法の標準化への取り組みを開始した。本発表では、その概要について述べる。 「原子力配管に対する確率論的破壊力学の適用」 (JAEA ○勝山仁哉、山口義仁、李銀生) 地震に起因する確率論的リスク評価（PRA）に資するため、従来の設計基準を超える地震動に対応した亀裂進展評価手法を確率論的破壊力学（PFM）解析コードに導入し、原子力配管における経年劣化を考慮してフラジリティ評価を行う手法を整備した。また、同コードに信頼度評価機能を導入することにより、高信頼度低損傷確率を数値指標とした耐震裕度の定量評価が可能であることを示した。本発表では、以上のような JAEA における PFM 評価に係る最近の取り組みについて概説する。	東京大学 山田知典
14:40～15:00	休 憩	
15:00～16:00	セッション 4 リスク評価とパフォーマンス評価、および安全性向上への活用 「外的事象リスクに対処する原子力安全の枠組み」 (東京大学 糸井達哉) 外的事象リスクに対処する原子力安全の枠組みについて、深層防護、不確かさへの対処、リスク情報の活用等の観点から議論する。	福井大学 月森和之

	「確率論的リスク評価から得られる情報の活用について」 (電中研 NRRC 南則敏) リスク情報活用による安全性の継続的な向上のためには、従来の決定論的なリスク評価に加え、確率論から得られるリスク情報も活用していく必要がある。これらについて、現在電気事業者で進めている取組について紹介するとともに、将来的な活用の推進方策について議論する。	
	「システム化規格概念に基づく液体金属炉用供用期間中検査規格 ASME コードケース N-875」 (JAEA 浅山泰) ASME ボイラー及び圧力容器規格 Section XI Division 3(液体金属炉用の供用中検査規格)に対して、2017 年にシステム化規格概念に基づく Code Case N-875 が発刊され、従来よりも合理的な検査計画が適用可能になった。本稿ではコードケースの内容を審議の経緯を含めて紹介するとともに、現在 ASME 規格委員会において本コードケースの概念を取り入れながら開発が進められている、軽水炉を含む多様な炉型をカバーする維持規格案の動向にも言及する。	
	「川内原子力発電所の第 1 回安全性向上評価の概要について」 (九州電力 江藤和敏) 新規制基準の適合性審査に合格、再稼働した原子力発電所は、原子炉等規制法に基づき、安全性向上評価を実施し、原子力規制委員会に届け出ることとされており、九州電力川内原子力発電所 1、2 号機については、平成 29 年 7 月及び 9 月に第 1 回届出を行った。今回、この届出内容についてご紹介するとともに、原子力規制庁との「実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善に係る会合」における後続プラントへの反映も念頭においた今後の安全性向上評価の継続的な改善に向けた議論を経て、原子力規制委員会に報告された、同評価の改善事項について、その対応状況を合わせて説明する。	
16:00～16:10	休 憩	
16:10～17:20	パネルディスカッション「安全性向上に向けた構造工学分野の課題と展望」 パネリスト 横浜国大 白鳥正樹、東京大学 佐藤拓哉 電中研 NRRC 梅木芳人、東京大学 堀宗朗、JAEA 浅山 泰 ✓ パネルディスカッションの主旨説明 ✓ セッションごとの課題と展望 ✓ 論点 1：設計基準外事象を含む事故シナリオ想定、リスク評価および事故影響緩和を行うには、どのような技術が必要か。 ✓ 論点 2：論点 1 に照らして、各分野の現状の技術はどのレベルか。 ✓ 論点 3：論点 1 の技術を達成するため、どのような方針を立て、何から着手すべきか。 ✓ まとめと総括	モデレーター 東京大学 笠原直人
17:30～19:00	意見交換会	

プログラム 二日目（8月24日）：電力中央研究所 横須賀地区 新本館大会議室

時 間	スケジュール	進 行
10:00	集 合 電力中央研究所 横須賀地区 正門入ってすぐの新本館入口の守衛所で入構手続きをお済ませの上、館内にお入りいただき、一階の大会議室に集合ください。	電中研 三浦直樹
10:00～10:20	研究設備の概要紹介	
10:20～12:20	研究設備見学 ✓ 収差補正透過型電子顕微鏡 ✓ 三次元アトムプローブトモグラフィ ✓ 材料強度試験設備 ✓ 原子炉水中構造健全性環境影響評価試験設備 ✓ 実機コンポーネント寿命評価試験設備 ✓ 材料分析棟	
12:30	解 散 「電力中央研究所正門」バス停より「YCAT」行きバス乗車（片道 1,020 円） 13 時 59 分「電力中央研究所正門」発、14 時 55 分「横浜駅改札口前」着 「鹿島」バス停より「逗子駅」行きバス乗車（片道 450 円（IC 利用時）） 12 時 32 分「鹿島」発、13 時 07 分「逗子駅」着 12 時 56 分「鹿島」発、13 時 30 分「逗子駅」着 13 時 02 分「鹿島」発、13 時 37 分「逗子駅」着	

止むを得ない事情により講演内容に変更がある場合があります。予めご了承ください。

Ⅲ アンケート結果

No.	所属	年齢	職種	何によって本WSをお知りになりましたか	どのような目的で本WSに参加されましたか	印象に残った講演	理由	SMIRT25への参加をお考えですか	その他
1	メーカー	40代	研究	知り合いからの紹介	業務に関連、知識を深める	「川内原子力発電所の第1回・・・	最後にJASMIIRTへの要求、要望として設計許容値を超えた場合の実挙動モデル化についてご説明いただいた。本WSに対する大変有益なものであった。	参加の予定は無い	今回出された要求についてそれを具現化するための取組も是非JASMIIRTの場でご議論頂きたい。
2	電気事業	60代	その他	その他	課題を探る	セッション3のご発表	いずれも実務に適用するための実際の研究状況の報告であり、方向性が明確だった。	参加の予定は無い	
3	電気事業	50代	研究	知り合いからの紹介	業務に関連			検討中	
4	電気事業	50代	保全	知り合いからの紹介	その他(発表ディスカッション)	セッション2の放射線照射影響、廃炉材研究	コンクリート構造物の健全性評価を担当するものにとって、今後の新知見として取り入れていかないといけないテーマであるので。		
5	電気事業	40代	設計	メールでの案内	業務に関連			参加の予定は無い	
6	その他(ゼネコン)	30代	設計	知り合いからの紹介	知識を深める	廃止措置プラントを活用したコンクリート健全性評価研究	とても貴重なデータを手し、それを実建屋の評価に活かそうとしているのが、わかりやすかったため。	参加の予定は無い	
7	その他	50代	設計	知り合いからの紹介	業務に関連		各電力さんの発表は現実的で印象が強かった	参加の予定は無い	
8	その他(ゼネコン)	60代	設計	メールでの案内	知識を深める	セッション3の1つ目2つ目	3次元解析の例が自然な地震応答に見えて計算のハード、ソフトの進化に驚いた	参加の予定は無い	建屋質点系モデルの崩壊モードは層崩壊、3次元FEMモデルの建屋崩壊モードの議論が必要ではないかと思う。
9	その他(建設)	40代	研究	メールでの案内	知識を深める	3次元建屋モデルによる破壊解析	自社の研究と関連するため	検討中	
10	研究機関	40代	研究	メールでの案内	知識を深める、課題を探る	糸井先生の講演	安全に対する考え方が明快	参加する予定である	
11	電気事業	40代	保全	メールでの案内	知識を深める	基調講演	保守性が大きすぎると、真に検討すべき課題の優先順位が見えなくなるとのご指摘が本質的で、今後「保守的」という言葉の使い方に注意が必要と感じたため	参加の予定は無い	
12	電気事業	50代	管理、開発	その他(WGメンバー)	業務に関連、知識を深める、課題を探る	勝山氏のPFM、糸井先生のレジリエンス	勝山氏：継続的に発展している印象 糸井先生：深遠な内容	検討中	
13	研究機関	50代	研究	メールでの案内	知識を深める			検討中	
14	電気事業	20代	保全	メールでの案内、知り合いからの紹介	業務に関連、知識を深める、課題を探る			参加の予定は無い	
15	電気事業	40代		メールでの案内	業務に関連	パネルディスカッション	大変分かり易くまとめられていた。	検討中	
16	その他	60代	設計	メールでの案内	知識を深める			参加の予定は無い	
17	その他(建設)	60代	設計	知り合いからの紹介	知識を深める	セッション1	意図せぬ破壊(破損)を防止する上での、破壊制御技術の適用は、それを正確に評価できる手段があれば、大変興味深く、建設分野でもそのような考え方をものと取り入れてもいいと思われる。精密シミュレーション(セッション3)とセットで考える必要がある。(建設にも、昔、ソフトウェアストーリーという意味失敗した概念があった。)	参加の予定は無い	
18	メーカー	50代	設計	知り合いからの紹介	業務に関連、知識を深める、課題を探る	堀先生のご講演	解析能力の高さに驚いた。原子力建屋すべてをモデル化できない(機器も含めて)とされていたが、かなりの範囲をモデル化して挙動を予測できる気がした。	検討中	JASMIIRTの対象分野は多岐に渡るため各分野間でのシナジーを生かした成果が出ることを期待したい。
19	研究機関	40代	研究	知り合いからの紹介	業務に関連、知識を深める			参加する予定である	
20	メーカー	30代	研究	知り合いからの紹介	業務に関連	原子炉建屋の耐震評価のための三次元モデル化手法の標準化への取組		参加の予定は無い	
21	メーカー	50代	製造	知り合いからの紹介					
22	研究機関	30代	研究	知り合いからの紹介	業務に関連	白鳥先生の基調講演	原子力プラントの安全裕度(保守性)は大きければ大きいほどいいのではなく、建屋、機器配管等構造物システムとして考えて、終局強度として健全性評価する必要があることが分かった。	参加する予定である	原子力システムの安全性向上のためには、建屋、機器、配管材料、リスク等分野別横断的連携が重要であると感じた。
23	その他	50代	管理	メールでの案内	業務に関連	2-3	浜岡1号機を活用して、コア採取し研究されたことは、今後につながると思った。	参加の予定は無い	
24	電気事業	20代	設計	メールでの案内	知識を深める、その他	コンクリート材料について		参加の予定は無い	
25	電気事業	30代	設計	メールでの案内	業務に関連	運転期間延長認可申請とコンクリート構造物の特別点検	PLMとの比較で具体的な内容が分かり易く発表された。	参加の予定は無い	
26	メーカー	50代	設計	メールでの案内	業務に関連		それぞれ、設計超の構造物の考え方について最新知見の説明があり興味深かった。	参加の予定は無い	リスク評価と安全性評価のあり方について、NRAの意見等も踏まえた議論ができたら良いと思う。
27		60代	管理	知り合いからの紹介	業務に関連			参加の予定は無い	
28	電気事業	30代	管理	メールでの案内	業務に関連			参加する予定である	
29	メーカー	30代	設計	メールでの案内	業務に関連	東大堀先生とJAEA西田様発表の3DFEM	3DFEMを設計に取り込む流れになってきているため	参加の予定は無い	
30	電気事業	30代	設計	メールでの案内	業務に関連、知識を深める、課題を探る			検討中	
31	行政	40代	研究	メールでの案内	知識を深める			参加の予定は無い	
32	メーカー	20代	研究	知り合いからの紹介	業務に関連、知識を深める	セッション3「高性能計算を利用した～地震応答解析」		参加の予定は無い	
33	電気事業	50代	設計	メールでの案内	業務に関連、知識を深める	基調講演	OP、DR、AL、FPの関係がよく理解できた。規制で外力が大きくなって苦しい所をなんとかする手立てがあると思う。	参加する予定である	
34	研究機関	50代	管理	知り合いからの紹介	業務に関連		「設計」と「設計を超える状態」では、根本的な考え方を切り替える必要がある。バウダリが破れないようにすることはもちろん重要であるが、そのうえで、設計を超える状態においては、どこがどんな破れ方をするかを把握しておくことが、公衆を守るうえでは重要である。	検討中	一つ一つの講演の時間をもう少し長くして、個々に質疑応答の時間を設けたほうが議論が深まり、より有意義なWSになるのではないかと思います。
35	電気事業	20代		メールでの案内	業務に関連、知識を深める	設計と安全を分けて考えるべきと学んだ。			
36	メーカー	その他研究	研究	知り合いからの紹介	課題を探る			参加する予定である	議論の内容とそれの実施への展開との時間差にどれ位注意しているのかが大変疑問に感じる。今それがいつ頃になるのか考えているのか？
37	研究機関	50代	研究	知り合いからの紹介	知識を深める			検討中	
38	メーカー	40代	設計	知り合いからの紹介	業務に関連	基調講演、セッション2、3、パネルディスカッション	基調講演：客観的な意見として参考になった。 セッション2：実務につながる内容だった セッション3：将来的にどうなるのかを垣間見れた。 パネルディスカッション：ファシリテートが良い、もっと聞きたい	参加の予定は無い	
39	大学	60代	研究	メールでの案内	知識を深める		白鳥先生の原子力は総合分野、インターフェイス工学が重要というご提案	参加する予定である	今日は大変勉強になりました。ありがとうございました。

IV まとめ

初日のワークショップには 90 名、意見交換会には 51 名、二日目の研究設備見学には 18 名の参加者があり、活発な質疑応答と意見交換がなされた。

1. 安全性向上に向けた構造工学分野への期待

(1) 設計基準外事象や自然災害に対する安全性向上とは

設計の目的は事故の防止であるが、自然災害や設計基準外事象に対して絶対事故を起こさないようにするのは不可能である。このため、例えば事故が起こったとしても、拡大を防ぎ環境への影響を緩和することが目的となる。そのためには、相対的に弱い部分を発見することが必要となる。

(2) 安全性向上に向けた構造の性能とは

表 1 に安全性向上に向けた構造の性能に対する、設計と、設計基準外事象や自然災害に対する相違点を比較する。

表 1 安全性向上に向けた構造の性能とは

	設計	設計基準外事象や自然災害
目的	破損の防止	破損後の影響緩和
性能	いずれの破損モードも生じない。 局部的にも破損しない。	安全性に影響する破局的な破損モード（破断、倒壊など）が生じない。 破損箇所が限定されている。 荷重が緩和する。 その他

(3) 構造の性能を評価し向上させるにはどのような技術が必要か

設計では、壊さないことが目的であることから、「保守的荷重予測＋保守的許容値」が必要とされる。

合理的設計を行うには、不確定性と余分な裕度の合理化が求められることから、「合理的荷重予測＋合理的許容値」の開発努力が進められている。

設計を超える状態に対しては、現実的破損現象把握と影響緩和が目的となることから、合理的設計の手法をさらに進めて、「現実的荷重予測＋性能評価のための現実的耐力評価」が必要となる。また、両者を合わせてトータルでバランス良く評価する必要がある。

2. 各分野の課題と展望

(1) 金属材料の破壊・劣化現象と強度評価

「原子炉が破壊することはあってはならない」という従来の観念を払拭し、DBE に対する概念と BDBE に対する概念を明確に区別した、社会的コンセンサスを醸成する必要がある。

構造強度評価技術に関しては、絶対強度評価から相対強度評価へ、すべての破損モードに対する破損クライテリアの確立といった、発想の転換が必要である。

関連する技術分野、すなわちリスクベース工学、計算科学、建築土木などの分野との整合性のバランスが取れた協調が必要である。そのための数値解析技術の高度化、材料データの蓄積、試験による実証が求められる。

(2) コンクリート材料の変質と部材性能評価

近年は、設計基準外事象への対応が求められるようになってきている。対応策として解析的には、弾塑性地震応答解析や 3D-FEM など、より詳細な手法が用いられるようになったが、実状に沿ったコンクリート強度、剛性の評価、3D-FEM を用いた弾塑性解析の実用化などの課題も残されている。

また、影響緩和として、耐震補強や多様性（制震・免震）による対策が考えられる。

今回は、『コンクリート材料』に焦点を当てた。これらの研究成果は、設計のみならず、例えばコンクリート強度評価手法などは、設計基準外事象評価にも活用できる。

このように、要素技術の高度化は設計基準内外の枠を超えて活用できると考える。今後も、成果の適用先を限定することなく、幅広く活用することが安全性向上にもつながると考える。

(3) 建屋・機器配管の応答挙動と解析法

建屋・機器配管の応答挙動解析法は、外力の上限（地震動）・強度の下限（劣化）を推定し、推定された上限・下限を考慮した、構造物の耐震安全性の評価のために活用される。

計算結果の精度・信頼度を品質とし、一定の品質を保証するために、プログラムの検証、モデル（解析モデル、物理モデル・数理モデル）の妥当性確認が必要である。ここで、連続体力学の物理モデル・数理モデルは妥当性確認が不要である。不確定性に関しては、定量化（確率論的取り扱い）が必要である。

今後、計算科学・計算機科学の利用や有限要素法専用計算機の開発が期待される。

(4) リスク評価とパフォーマンスベース評価および安全性向上への活用（浅山）

例えば、構造信頼性評価に関して、実現値の評価法は標準化されつつある。実現値の不確かさについて、確率分布母数の不確かさが信頼性評価結果に与える影響に関しては、何らかの評価法の提案ができそうである。さらに、「要求値」の設定方法を確立し、「実現値＞要求値」の体系が機能するようにすることが望まれる。

リスク評価（影響度×頻度）に必要な、影響評価のためには、変形、座屈、き裂貫通、破断などの破損モードの解明と予測のための研究が必要である。

3. 総括

(1) ニーズの把握

設計基準外事象や自然災害に対する安全性向上のために、構造分野に求められるのは、相対的に弱い部分を発見し、壊れた場合の影響緩和策（破局的破損の防止、破損の極限化、等）や、有効な緊急対応策を立てることにある。

(2) 基本思想の転換

設計基準内（破損防止）と設計基準外事象（影響緩和）とは基本思想が異なる。

設計では、壊さないことが目的であり、構造評価は壊れないことの確認である。

これに対し、弱点を発見するための、リスク評価やストレステストでは、現実的破損挙動の予測（万一破壊する場合、「どの部位が」、「どのような破損モードで」、「どの程度の規模で」破壊するのか）が必要である。

（３）現実的耐力評価

リスク評価や破損挙動予測に用いる場合には、保守的に設定された設計クライテリアや、裕度にバラツキがあるクライテリアでは、課題の優先順位が見えなくなるという弊害がある。

リスク評価には、頻度評価に焦点が当たられることが多いが、破損規模・影響度の把握（ベストエスティメート、終局強度予測）が必要である。そのためには、実際の破損現象を把握するための実験が重要である。

安全性能の予測や向上に用いるには、性能に影響する破損モードに対応した現実的耐力評価が必要である。建築分野における性能評価の考え方は、他分野の参考になる。

（４）現実的応答解析

上記現実的耐力を高精度で評価するための解析法とその検証法が必要である。

実現象（弾塑性等）の予測が目的であることから、設計用解析法（弾性等）の持つ保守性はここでも弊害となる。

また、荷重から強度までの全体を評価する必要があるが、分野ごとのインターフェースが弱点となっている。安全性能評価結果の感度を調べ、高いところから解決する必要がある。

上記に留意し、ハイパフォーマンスコンピューティングを有効に活用する。

V 発表資料

発表資料は、以下の JASMiRT の Web ページより閲覧可能である。

< http://webpark1671.sakura.ne.jp/JASMiRT/ws2018/national_ws2018.html >

VI 参考資料



主催者代表挨拶



ご来賓挨拶（日本原子力学会副会長中島先生）



基調講演（横浜国大白鳥先生）



セッションの様子



パネルディスカッションの様子



研究設備見学参加者一同