



# 柏崎刈羽原発五学会合同調査報告 地震工学会

---

北川良和、鈴木浩平、鈴木祥之  
源栄正人、若松加寿江

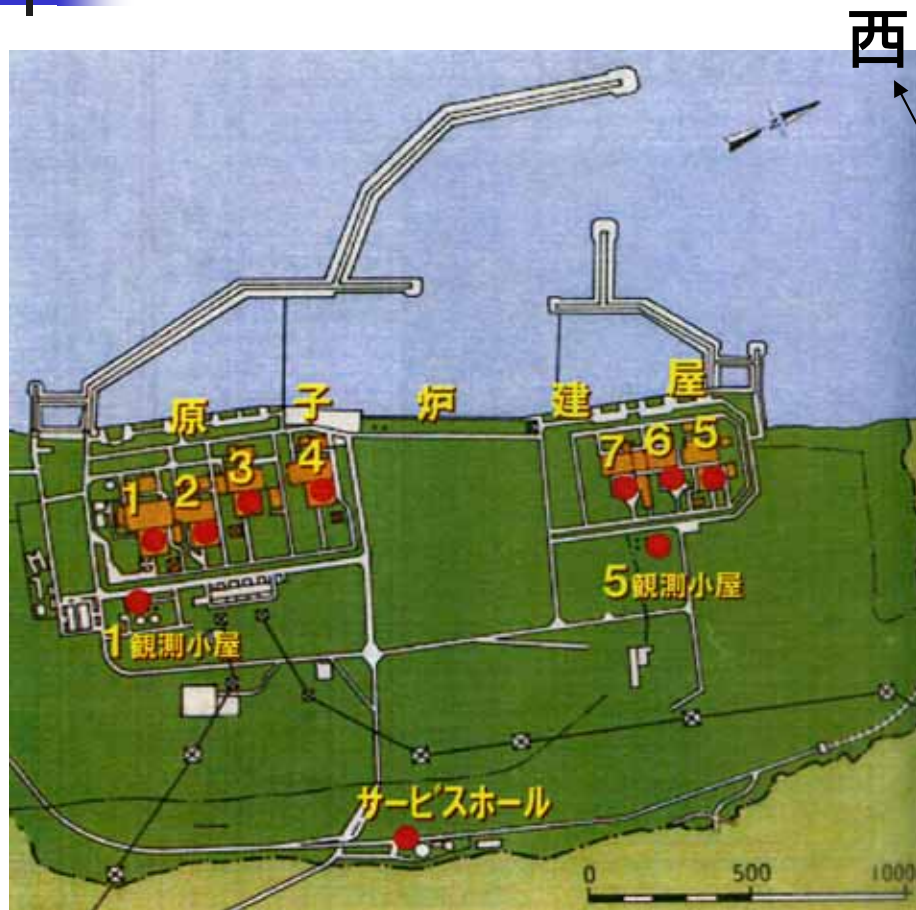


## 報告内容

---

- はじめに～柏崎刈羽原発の特徴と今回地震
- 現場視察の所感
- 詳細調査の提案
- 原発の地震時安全性高度化への一般的提案

# 発電用施設の設置状況と地震動の主軸方向



西

真北

18.9

プラント軸の北

地震動の主軸

# 柏崎原発の特徴

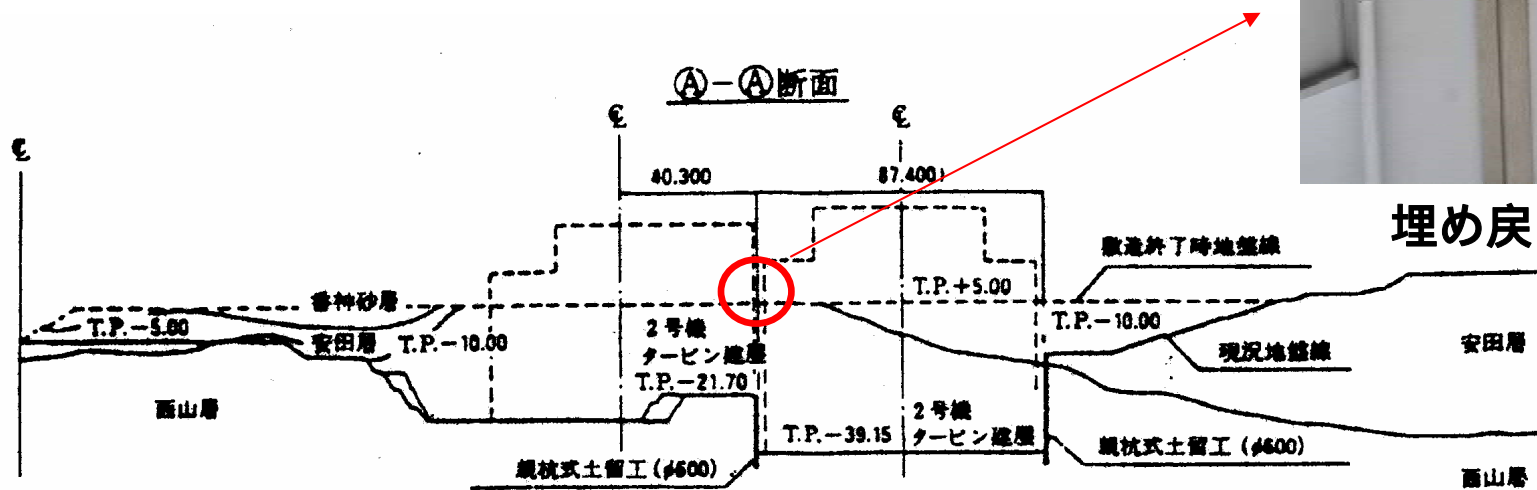
- 軟岩に設置された**埋込み建屋**
- R / BとT / Bに段差
- オープンカット・直掘りに**埋め戻し土**

exp. joint

2号機

R/B

T/B



埋め戻し土の沈下

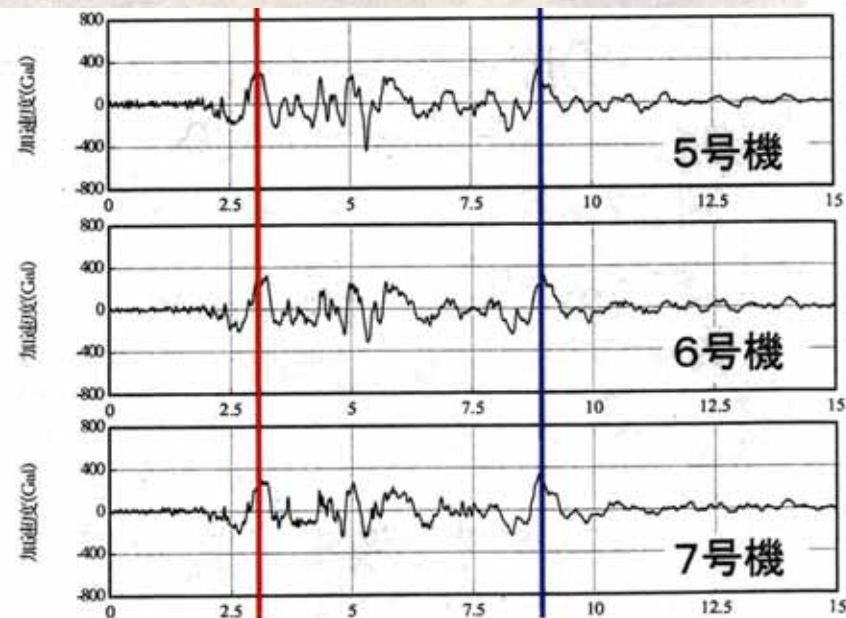
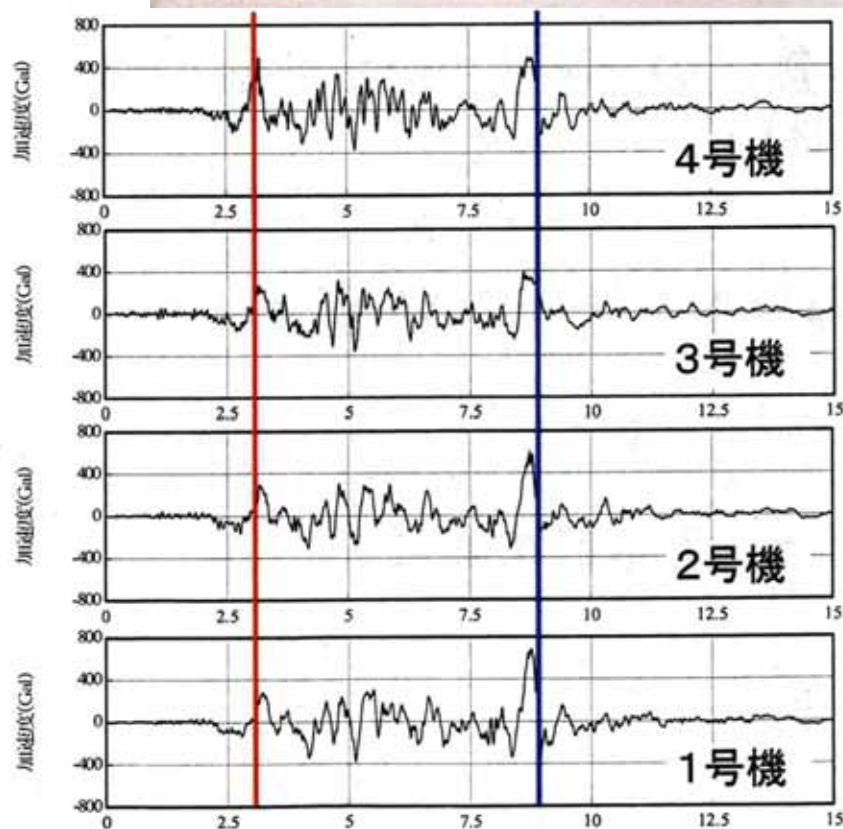
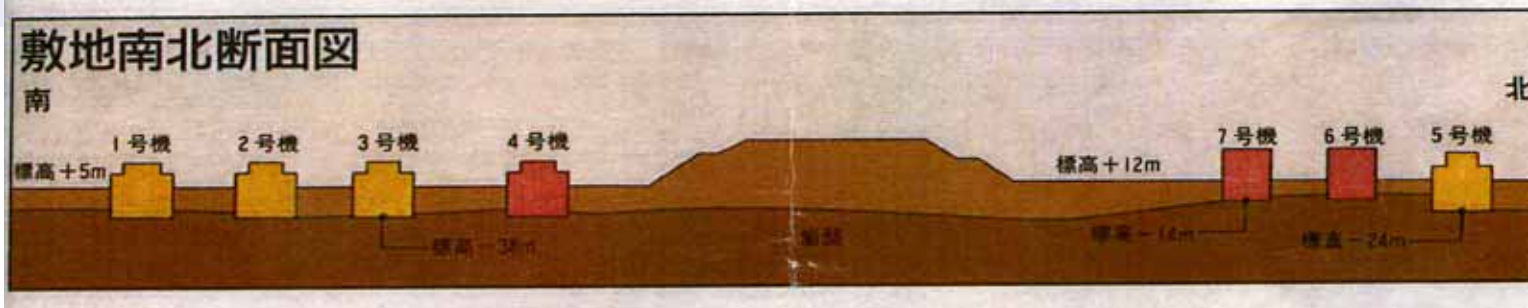
2号機本館基礎掘削断面図



## 観測された地震記録の特徴

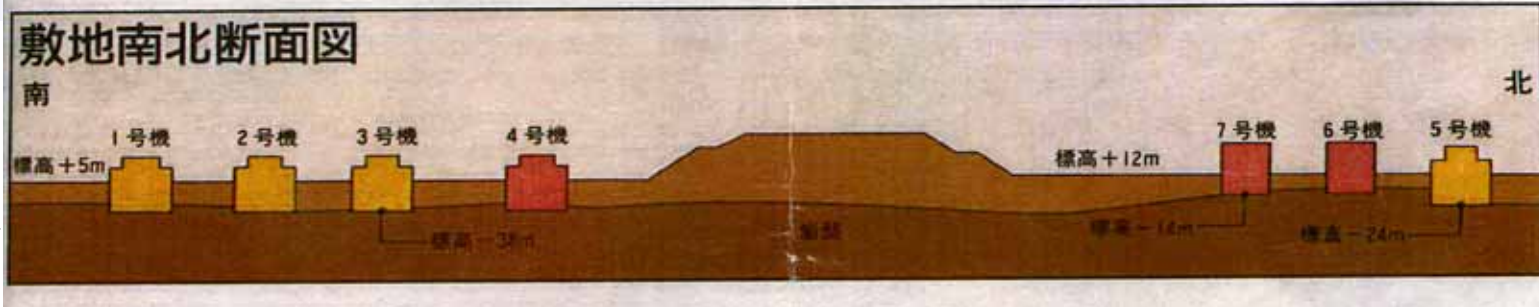
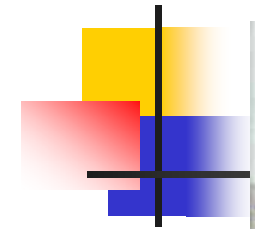
- 耐震設計上想定された地震動より1.5～2.5倍お大きな最大加速度、応答スペクトル
- 2gを超える床応答(3号機タービン建屋)
- プラントEW方向(NW - SE)の記録が大きい方向性のある地震動
- 1号機～7号機の基礎版上端の最大加速度で1号機と2号機の値がかなり大きい・・・1号機地盤系と5号機地盤系でVs700m/s相当以上の岩盤で2倍以上の差
- 2つのパルス状の波形が特徴的、一つ目やや長周期、2つめ短周期。到達時間のずれ、震源特性との関係
- 地盤系の非線形増幅特性

# 原子炉建屋基礎版上部の観測波形 (EW方向)

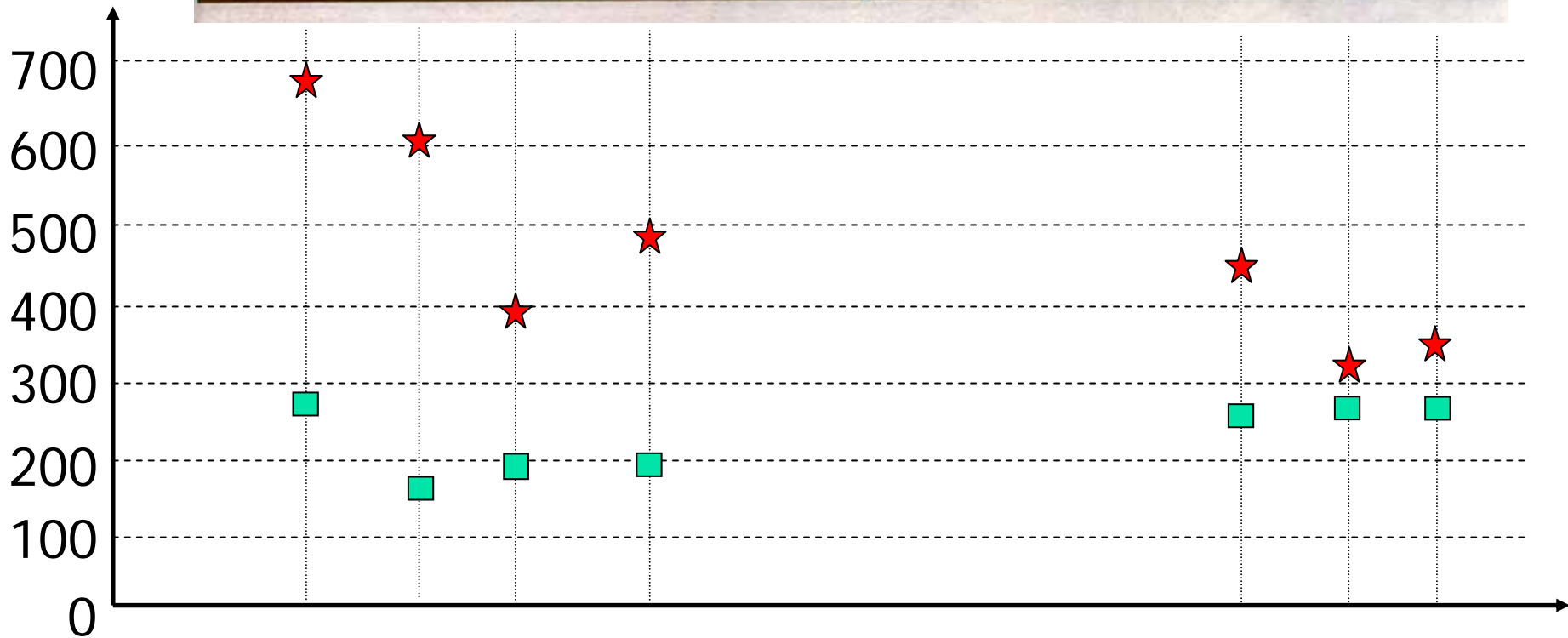


東京電力提供資料より

# 観測地震波の特徴 基礎版上端の最大加速度 (EW方向)



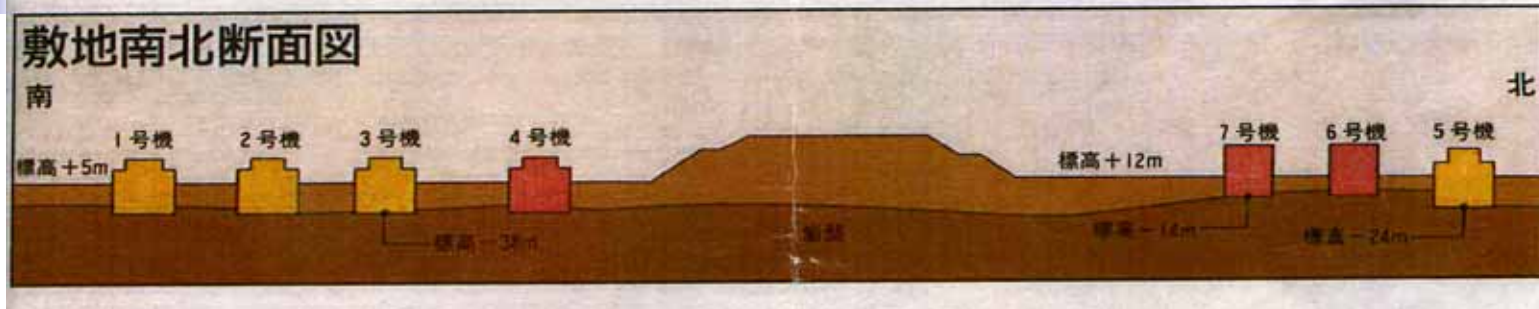
最大加速度



★ 観測波の最大加速度 ■ 設計時の最大加速度

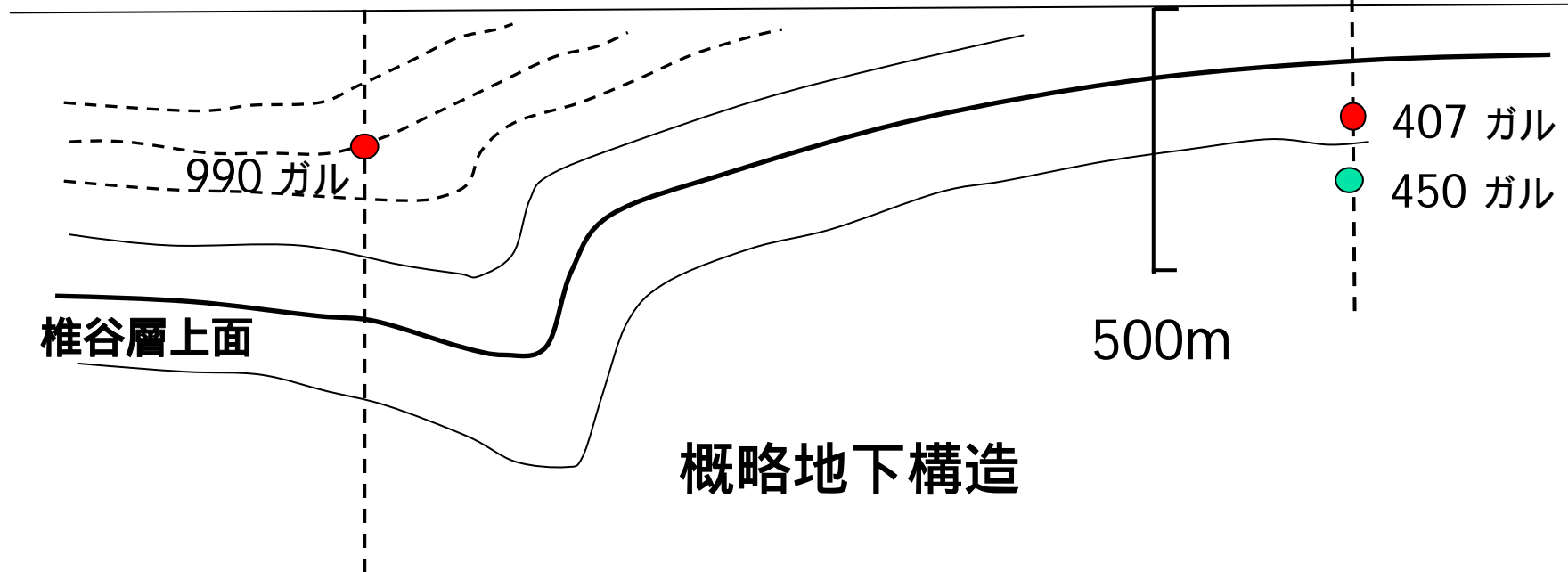


# 敷地地盤の深部地下構造



1号機地盤系

5号機地盤系







## 現地視察の所感(Ⅰ)－北川良和

---

- 耐震設計上想定された地震動より1.5～2.5倍も大きな最大加速度値が観測されたとのニュースに驚いたものの、原子炉冷却機能は正常で、自動的に運転は停止し、安全システムが働いたこと等に安堵
- 本丸は死守されたものの、外堀がやられたという感を受けた。敷地内での液状化、地盤沈下、外配管系や構造体エキスパンションジョイント・二次部材の被害は見られたものの、本体の機能・安全性は確保されていた。
- 観測記録の速やかな公開も高く評価



## 現地視察の所感(II)－鈴木浩平

- 新聞報道、最大加速度の発表値などから、サイト内部に相当の被害があると予想していたが、あれだけの強地震動でよく耐えているというのが実感であり、日本の原子力設備の耐震技術の優位性が実証されたことがもっと主張されてよい。
- 火災を発生した変圧器をはじめ、多くの損傷は、「クレーンの継手」、「ダクトのずれ」、「防油堤の沈下」、「連絡弁のつなぎめ」、「基礎ボルトの破断」というように、B,Cクラスの施設と非原子力設備などとの“連結、とりあい部”に生じている。この“とりあい部の重要性”があらためて示された。
- 今回は時間の制限もあり、タンク、屋外配管などの設備の状況を詳しくは見られなかったが、すくなくとも3号基の近傍の円筒タンクには明らかなエレファントフット座屈が発生していた。配管系の多くもタンクとの結合部で破損しており修理中であった。今後の詳しい調査結果を知りたい。



## 現地視察の所感(III)－源栄正人

- 設計用基準地震動を大きく上回る地震動を受けた発電所内の状況は全体的にCalm(落ち着いている)という印象をうけた。600ガルを超える地震動を観測した2号機のR/BとT/Bのエクспанション部を見て、全く相対変形がないのを確認したとき、建屋の「岩着」の意味を実感するとともに、建屋の健全性は保たれていると思った。
- 少なくとも建屋の設計については、合理化設計の中において静的地震力 $3C_i$ (一般建築物の3倍の静的地震力)が「歯止め」の役割を果たし、設計断面に余裕度があったと思われる。
- 建屋周辺埋め戻し土の沈下は、二田地区排水処理場において同様に北西側の沈下が大きい片揺れの性質を見て取ったが、原発サイトの建屋でも想定していた通りであった。埋め戻し土や表層地盤が地盤変状するなか、S/Bや熱交換建屋などCクラスの杭基礎の建物の健全性をみて基礎設計の重要性を認識する反面、非原子力設備などの連結部の被害が目についた。



## 現地視察の所感(IV)-源栄正人(続)

- 建屋、機器それぞれの確証試験を多度津の振動台等で行ってきたが、「地盤-建物 機器連成の実物実験」という面から見ると境界条件の制約から必ずしも十分ではなかったかもしれないが、今回の地震により実機の健全性が実証されたと位置づけられるかもしれない。
- 3年前の新潟県中越地震の後に設置した地震観測システムにより得られた、今回の地震観測記録の速やかな公開は高く評価できる。今後、科学的検証を行う上で極めて重要である。



## 現地視察の所感(V)ー若松加寿江

---

- 設計値を大きく超えた地震力が作用したにもかかわらず、建屋自体には大きな損傷は認められなかったことは優れた証明というが、地盤変位、および異種基礎による構造物の不同沈下に起因する被害、すなわち地盤に起因する被害が多かったように見受けた。



## 詳細調査への提言ー北川良和

---

- 構造体の地震時挙動を把握する為に、観測記録の逆解析から、各種解析パラメータ・モデルの同定、及び構造躯体の発生応力度・歪度の算出・検討
- 構造躯体の耐震性能検証の観点から、耐震余裕度、残余耐震性の検討
- 構造体と配管系との取り合い、配管系支持部・接合部などの詳細調査



## 詳細調査への提言－源栄正人

- 1号機～7号機の基礎マット上端における最大加速度をみると、1号機と2号機の加速度が大きいのが、サイトの不整形な深部地盤構造(極度な褶曲地形:断層地形)に起因しているように思われる。敷地地盤の不整形性を考慮した解析的検討が望まれる。
- 最大値のみが得られている1号機の地盤系加速度データを見ると、上部ほど加速度値が小さくなっており、同様な傾向は、波形が得られているサービスホールのボアホール観測データにも見られる。地盤系の非線形増幅特性と埋め戻し土の非線形挙動と動土圧としての建物への影響についての解析的検討が望まれる。
- 3号機のタービン・ペデスタルにおける2gを超える波形特性の分析や振動解析モデルによる衝突の有無について検討したい。また、このレベルの加速度記録に対する機器配管系の応答特性と健全性について検討を要する。





## 詳細調査への提言－若松加寿江

- 航空写真測量，航空写真判読および現地調査による地盤変状分布図を作成し，それぞれの地点で発生した地盤変状の種類（沈下，噴砂，法面崩壊など）を整理する。
- 敷地内の切り盛り造成，盛土層厚，埋戻しの有無，土質など，土地の人工改変の履歴データを整理し，上記の調査した地盤変状との対応を調べる。特に、液状化層の特定が重要である。
- 建屋周囲の地下水をドレインで排水していたことは，液状化発生抑止に寄与していたと考えられる。液状化層の推定等に資するために，早急に（地下水位には季節的変動があるため）地下水位および常時の水か降雨などによる溜まり水か，などを調査することが望まれる。



## 詳細調査への提言ー(続)若松加寿江

- 建屋周囲の埋戻し土の沈下が多く見られた。建屋周囲の埋戻し土の沈下の有無およびその程度の違いが、何に起因するものなのか(埋土材の土質・厚さ,あるいは建物の耐震重要度によって締固め強度が異なっていたのか?)調査すると共に,埋土の締固め特性を把握した上で,原子力施設全体に影響を与えないような施工管理基準を設定する必要がある。
- 異種基礎(杭基礎と直接基礎)の不同沈下が多く見られた。直接基礎の支持層(番神砂層あるいは西山層?)の支持力低下の原因について究明し,今後は,Cクラスの構造物とS,Aクラスの構造物の間の不同沈下の影響を考慮した設計・対策が望まれる。



# 原子力発電所の地震時安全性高度化への一般的提案 (I)・・・北川良和

- 耐震安全性・機能性の観点から、重要度によってA, B, Cのランクはあるものの、トータルシステムとしての性能保証について検討が必要です。
- 危機管理上の観点から、謙虚な気持ちで(日本は地震国である)、技術を過信すること無く、最新の知見と最高の技術を持って全体システムを構築され、フェールセーフとしての自動アラームシステム等最近の知見・技術を導入されることを期待



# 原子力発電所の地震時安全性高度化 への一般的提案(II)・・・鈴木浩平

- 重要度の異なる施設間の結合部、シケンス・システムとしての柔軟な耐震性の確保。個々の機器、配管などの耐震性はほぼ十分に担保されているとして良いが、それらを統合したシステム、シケンスとしての設計思想の確立が急務
- クレ ンなどの重要施設の結合部(今回は継手)、支持部などが地震時に損傷した時に、その機能が回復するに至るまでの復旧シナリオが不明確であったと思われる。被災から調査、復旧、再起動にいたるストラテジ を構築する必要があるそうである。
- IAEA,国の委員会、電力の自主調査とは異なる、第3者としての専門家集団の被害調査(例えば、今回の合同調査)のプライオリティがもっと高くてよい。最も客観的で高い専門技術者の視野で調査ができ、提言も得られるからである。



# 原子力発電所の地震時安全性高度化 への一般的提案(III)・・・鈴木祥之

- 地震後の一連の報道において、施設等の耐震設計あるいは施設等の耐震性に関連した報道に問題、地盤や建築物で観測された地震応答加速度の数値と設計時に想定した加速度の数値との比較がなされていたが、耐震設計の実情を示すものではないので、報道関係者、つまり一般市民に的確な情報を提供することが望まれる。
- 建築物、機器、配管等の個々にきめ細かく設計がなされていたと思われるが、やはり施設全体の安全性能、機能性能など多岐にわたる性能を総合的に設計することが課題として挙げられる。今回の地震を教訓として、施設全体の性能評価・点検を実施することが望まれる。
- 原子力発電所の地震や火災等に対する危機管理は、世間一般には最高レベルものと認識されていたが、地震後の報道等によって、その危機管理が危ういものであることを露呈したと言える。リスクマネジメントに基づいた対策が平常時に必要であることが認識される。



# 原子力発電所の地震時安全性高度化 への一般的提案(IV)・・・源栄正人

- 原子力発電所用施設設計用地震動評価の改定に伴う特定できない断層によるSs地震動のレベルと今回の地震動のレベル、3Ci相当の地震動レベルの柏崎サイトにおける大小関係を整理したい。
- 今回の1号機から7号機の観測地震動の大きさの違いを考えると、 $V_s=700\text{m/s}$ で基準地震動を設定するという解放基盤の考え方に無理があるように思える。基盤は地震基盤を基準にし、第三紀層以下の深部の不整形地盤構造も「構造」の一部であるとする捕らえ方が重要のように思う。
- 原子力施設としてのトータルシステムとしてバランスの取れた性能設計を行うための要素の性能を考えていく必要がある。今回の地震被害の全容を明らかにし、今後の対策に活用したい。