

# ○発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き

平成22年12月20日  
原子力安全委員会了承

## I. まえがき

発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引きは、平成18年9月19日に改訂した「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下「耐震設計審査指針」という。）の運用・解釈を明確にすることを目的としている。

本手引きは、「原子力発電所の地質、地盤に関する安全審査の手引き（昭和53年8月23日原子炉安全専門審査会）」を全面改訂したものであり、これまでの安全審査の経験及び最新の知見を踏まえ、敷地周辺の地質・地質構造等の調査、基準地震動の策定、建物・構築物の地盤の支持性能に関する調査と評価、地震随件事象に対する考慮に関する調査と評価に係る事項等について、「活断層等に関する安全審査の手引き（平成20年6月20日原子力安全委員会了承）」に規定した事項も含め、取りまとめたものである。なお、耐震設計上の重要度分類、耐震設計方針及び荷重の組合せと許容限界については、耐震設計審査指針に必要な事項が規定されていることから本手引きには規定していない。

安全審査においては、これまでに蓄積された知識・技術を用いるとともに、関連する新しい知見・技術が年々蓄積・向上している状況を踏まえ、その取入れに最大限の努力を払わなければならない。また、本手引きは、今後の新しい知見・技術と経験の蓄積に応じて、適宜見直される必要がある。

## II. 用語の定義

本手引きにおける用語の定義及び用法については、原則として耐震設計審査指針における用語の定義及び用法にしたがうこととし、さらに以下によるものとする。

- (1)「地形面」とは、一般的に平坦なひとつづきの地形をいうが、本手引きでは、平坦な沖積面、段丘面のほかに、斜面、段丘崖面も含み、活断層認定の際の指標（変位基準）となる地形をいう。  
なお、斜面と斜面が交わる谷線や尾根線等も活断層認定の際の指標（変位基準）となる。
- (2)「層序区分」とは、陸域及び海域の地質を構成する岩石及び地層、あるいは地形面を構成する堆積物及び地形面を被覆する土壌や風成堆積物等を形成年代順に区分することをいう。
- (3)「編年」とは、地形面区分された各地形面と層序区分された各地層区分ごとに、それらが形成された、あるいは堆積した時代・年代を同定すること及びその結果を得ることをいう。
- (4)「地震基盤」とは、地殻最上部にある S 波速度 3km/s 程度の堅硬な岩盤をいう。

### Ⅲ. 敷地周辺の地質・地質構造等の調査

敷地周辺（敷地を含む。以下同じ。）の地質・地質構造等の調査は、目的に応じて適切に行う必要がある。本章では、主として「1. 敷地周辺の活断層調査」に敷地ごとに震源を特定して策定する地震動を評価するための活断層調査及び津波に対する安全性を評価するための調査に関する事項を、「2. 敷地周辺の地質・地質構造の調査及び地盤調査」に基準地震動  $S_s$  の策定における地震波の伝播特性等の把握のための調査、建物・構築物の地盤の支持性能及び施設の周辺斜面の安全性を評価するための調査に関する事項を規定する。

#### 1. 敷地周辺の活断層調査

##### 1. 1 既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査

既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査については、次に示す各事項の内容を満足していなければならない。

- (1) 既存文献の調査については、敷地中心から概ね 100km 以内を対象に、地震活動、歴史地震、測地資料、津波、活断層、変動地形、地質構造、地球物理学的調査研

究等に関する文献・地図等を、調査地域の地形・地質等の特性及び敷地からの距離に応じて収集・整理し、当該地域で発生した、あるいは発生する可能性のある地震について、活断層の性質や地震発生様式等を把握すること。なお、100km以遠であっても遠方の長大活断層等による敷地への影響が考えられる場合には、これを含め調査すること。

(2) 敷地中心から少なくとも半径 30 km の範囲（以下、単に「半径 30km 範囲」という。）については、既存文献の調査を踏まえ、調査地域の地形・地質等の特性、敷地からの距離や敷地に与える影響に応じ、以下の調査を適切に組み合わせた十分な調査を実施すること。なお、半径 30km 以遠であっても敷地への影響が大きいと考えられる活断層の存在が想定される場合には、これを含め調査すること。

① 変動地形学的調査においては、地形発達過程（地形の成因を含む。以下同じ。）を重視し、耐震設計上考慮する活断層を認定するための根拠等を明らかにすること。

また、断層通過地点の変動だけでなく、段丘面等に現れている傾動等の広域的な変位・変形も検討対象とすること。

② 地表地質調査においては、既存文献の調査及び変動地形学的調査の結果を踏まえ、調査地域の広域的な地質・地質構造を把握するための調査を実施するとともに、断層近傍と推定される地域を精査すること。

特に断層露頭や地層が変形している露頭の発見と、その露頭観察による断層活動時期の特定が重要である。こうした露頭と変位地形との位置関係、断層や破碎帯の性状、地層・岩石の変位・変形構造を詳細に把握するとともに、地層及び地形面の詳細な編年を行うことにより断層活動の時期を検討すること。

断層活動の証拠が明確に確認されない地域においては、これをもって直ちに活断層の存在を否定するのではなく、活断層の存否及び活動性の確認について追加調査の実施等、特段の注意を払った検討を行うこと。

また、段丘面等に現れた広域的な変位・変形も調査対象として、これらの地形面の編年に関する詳細な調査を行うこと。

③ 地球物理学的調査においては、調査地域の地形・地質等の特性に応じた適切な探査手法及び解析手法を用い、地下の断層の位置や形状及び褶曲等の広域的な地下構造の解明に努めること。

- (3) 調査地域の地形・地質条件に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等の特性を活かし適切に組み合わせた調査計画に基づき得られた結果を総合的に評価すること。

(解説)

1. 1 既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査

(1) 既存文献の調査においては、調査地域の地震活動やテクトニクス的背景について正確に把握することがまず必要である。調査計画立案に当たっては、当該地域の地震の性質及び地形・地質等の特性を把握し、各調査手法の有効性を検討した上で、適切な調査仕様を決めることが必要である。既存の調査研究の成果は、必要に応じて関連する地図、写真等を添付し適切な解説を行い、当該地域の地震の性質を把握する必要がある。

(2) 変動地形学的調査においては、リニアメントの明瞭度は活断層の確実度の指標にはならず、地形発達の観点から地形の成因を考察し、活断層の存在する可能性を検討することが必要である。

広域的な変位・変形とは、沖積面や段丘面、斜面等の地形面の変形（撓曲、傾動、波状変形）、段丘面から復元される過去の河床縦断面の変形、海成段丘面・旧汀線の局所的な高度変化及び堆積物に現れている撓曲構造等の数十メートル～数十キロメートルにわたる変位・変形をいう。

変位・変形の有無の基準となる地形の発達が明瞭でない地域や最近の堆積速度が大きい沖積低地等の地域のように、活断層の認定が容易ではない地域については、特段の注意を払う必要がある。

(3) 地表地質調査においては、地表踏査により確認できる範囲が限定的であることを踏まえ、トレンチ調査、ボーリング調査等を適切に組み合わせ、断層の存否及び活動性の解明に努める必要がある。また、信頼性の高い地層の層序区分・編年を行うことが重要である。

長期的・広域的な応力場やテクトニクスにより、多くの活断層は中期更新世以前から活動してきた可能性が高いことから、鮮新世以降に形成された構造を広域的に明らかにすることによって、後期更新世以降に活動している活断層をより精度良く認定することが望ましい。

また、最新活動時期は、断層変位を受けた地形面・地層と断層変位を受けていない地形面・地層との年代関係から推定できる。

- (4) 地球物理学的調査のうち、弾性波探査（反射法弾性波探査、音波探査等を含む。以下同じ。）については、平野等の新しい堆積物の変形を明らかにし、活断層の存否を確認するための浅部構造探査と、深部の断層形状や褶曲構造の解明を対象とした深部構造探査があり、探査対象を明確にして、仕様を決めることが重要である。

海域では、地形・地質情報を取得するため、音響測深や弾性波探査等、地球物理学的調査を実施する必要がある。これらの調査によって、地下深部の震源断層の位置や形状に関する情報も得られる可能性がある。

## 1. 2 陸域・海域の特性を踏まえた調査

### (1) 内陸地殻内地震に係る調査

内陸地殻内地震に係る調査については、次に示す各事項の内容を満足していなければならない。

#### ① 半径 30km 範囲の陸域の調査

- i) 空中写真判読から、活断層、活褶曲、活撓曲、広域的な地形面の変位・変形を認定する場合には、地形発達過程を考慮し、その認定の根拠を明らかにすること。
- ii) 広域的な地形面の変位・変形から、地下に伏在する活断層や褶曲の存在が想定される場合には、変動地形学的調査・地表地質調査・地球物理学的調査によって、その位置・形状を推定し、その根拠を明らかにすること。
- iii) 陸域で活断層の存在が推定された場合、その存在及び形状を確認するため、トレンチ調査、ボーリング調査等の地表地質調査を実施すること。また、必要に応じて深層ボーリングを実施すること。当該活断層から発生する地震の規模を推定するため、活断層の活動区間や変位量を適切に評価すること。
- iv) トレンチ調査等は、後期更新世以降の断層活動を確認する最も信頼できる手法のひとつであり、適切な掘削場所の選定が重要である。このため、トレンチ調査により活断層を確認できない場合には、その位置選定が適切であったかを検討し、検討結果を明らかにすること。

v) 段丘面等の高度分布から、後期更新世以降の累積的な変動が明らかな地域においては、累積的な変動の様式や広がりをもとに沿岸域に活断層が推定される場合がある。このような場合には、適切な調査技術を組み合わせた十分な調査を実施し、地下深部に至る活断層の形状を推定すること。

## ② 半径 30km 範囲の海域の調査

i) 海域においては、適切な各種の調査技術を組み合わせた十分な調査を実施し、広域的な海底地形と海底地質構造から深部の活断層を含め活断層の位置・形状を推定し、その根拠を明らかにすること。

ii) 海域は基本的には堆積場である場合が多く、海底地形及び地層の変形を広域的に明らかにすること。

iii) 海底下の地層の年代を十分な信頼性をもって決定すること。

## (2) プレート間地震に係る調査

プレート間地震に係る調査については、次に示す各事項の内容を満足していなければならない。

① プレート間地震は、活動間隔が数百年以内のものが多く、歴史記録から地震規模や震源領域を推定することが可能である場合が多いため、歴史記録等を検討すること。

また、歴史記録が存在しない場合でも、古地震学的調査や考古学的調査等の資料等を検討すること。

② プレート間地震では海底に分岐断層が露出する場合は知られていることから、震源領域や津波の波源域を把握するため、既存の海底地形図及び弾性波探査記録を用いて、分岐断層の分布と形状を検討すること。

③ プレート間地震の起こり方については、海溝に沿う破壊が比較的狭い震源領域で止まる場合と、隣接する震源領域が連動して破壊が広範囲に及ぶ場合があるため、敷地に大きな影響を与える歴史記録のない巨大地震発生の可能性を検討する観点から、敷地周辺における海成段丘面の高度分布や津波堆積物等に関する調査・研究結果を慎重に検討すること。

(解説)

### 1. 2 陸域・海域の特性を踏まえた調査

(1) 内陸地殻内地震に係る調査

① 半径 30km 範囲の陸域の調査

- i) 活断層の存在が推定される場所に連続する自然露頭がある場合を除き、自然露頭調査のみによって活断層の存在を否定することはできない。このため、活断層が推定される場所においてトレンチ調査を行うことが重要である。それが困難な場合には、十分な数量の群列ボーリングやその他の地層確認調査を実施し、活断層や地層の変形帯の全体像を把握することが望ましい。
- ii) 鮮新世・更新世の累積的な褶曲運動が推定される地域では、地質構造の詳細な調査を行い、その性状に応じ地下の活断層の推定に努める必要がある。
- iii) トレンチ調査においては、活断層が新期堆積物で覆われていることもあるので、適切な掘削深度をとり、堆積物の変形に注意すること。
- iv) 活断層の活動性を評価する場合には、調査地点の代表性に注意すること。

② 半径 30km 範囲の海域の調査

- i) 調査地域の特性に応じ十分な精度を有する測深調査により、詳細な海底地形図を作成し、変動地形学的な検討を行うことが必要である。また、測深調査では判別が困難な海底面の微細変動地形については、これを把握するための適切な手法での調査を実施することが望ましい。
- ii) 海底下の浅部構造が明瞭に把握できる探査法を使用することを基本とする。さらに、必要に応じて深部構造を明瞭に把握できる適切な探査法を使用することが望ましい。

後期更新世以降の地層の変形を確実にとらえるため、調査地域の特性に応じて、十分な精度を有し、明瞭な反射面が得られる探査法を採用することが望ましい。
- iii) 反射断面の層序区分は断面の交点全てで矛盾なく行う必要がある。
- iv) 海域の活断層の活動性を確認する必要がある場合には、海底ボーリング等により海底地質試料を採取し、堆積層の年代を特定することが必要である。この場合、同等の詳細さを持つ既存文献（海水準変動曲線等）との合理的な対比を用いることもできる。
- v) 海底及び沿岸域における地すべりは津波の発生に寄与しうることから、地すべりの分布やその規模等に関するデータを取得することが望ましい。

vi) 陸域と海域の境界部においては、適切な調査により、陸域と海域を連続させた地形及び地下構造を把握することが望ましい。これが行えない場合には、境界部の連続地下構造評価の妥当性とその根拠を明示する必要がある。

③ 耐震設計上考慮する活断層の認定やそれ以降の地震動評価において、活断層の性状をできるだけ正確に把握することが必要であり、調査段階において次の点を踏まえつつデータを整備することが望ましい。

i) 活断層の三次元構造を把握することが重要であり、必要に応じて三次元弾性波探査等適切な探査法を使用すること。

ii) 露頭において観察される断層面の傾斜は、必ずしも地下深部の断層面の傾斜と同一ではないこと。

iii) 弾性波探査により得られた反射面の解釈では、物質境界（異なる地層同士が接している境界）が、現在の力学境界（両側の相対的なずれ・変位によって歪みを解消している境界）とは必ずしも一致しない場合があること。

iv) 断層モデルに係る地震動評価に資する観点から、

- ・ アスぺリティの位置の推定には、活断層に沿った変位量（平均変位速度）の変化に関する情報が有効であること。
- ・ 破壊開始点の推定には、活断層の分岐形状等の地表形態に注目すること。

## (2) プレート間地震に係る調査

地震性地殻変動の累積によって形成された海成段丘面の高度分布や歴史記録等を詳細に検討し、震源領域の推定のため、次の点に留意することが望ましい。

- ・ 沖積平野の干潟や湿地が発達する場所において、湿地堆積物中に砂層が含まれる場合には、その砂が海岸から運搬されたものかどうかを確認するとともに、堆積構造や水平的な広がりから、津波堆積物かどうかを判断すること。
- ・ 巨大地震や津波の規模の評価において、津波堆積物の時代を特定し、津波遡上高（海岸から内陸へ津波がかけ上がる高さ）とその空間的分布を活用すること。
- ・ 津波波源の位置等に関する情報が含まれていないか、海底地形図と弾性波探査記録を検討すること。



### 1. 3 耐震設計上考慮する活断層の認定

耐震設計上考慮する活断層の認定については、次に示す各事項の内容を満足していなければならない。

(1) 耐震設計上考慮する活断層の認定については、調査結果の精度や信頼性を考慮した安全側の判断を行うこと。その根拠となる地形面の変位・変形は変動地形学的調査により、その根拠となる地層の変位・変形は地表地質調査及び地球物理学的調査により、それぞれ認定すること。

いずれかの調査手法によって、耐震設計上考慮する活断層が存在する可能性が推定される場合は、他の手法の調査結果も考慮し、安全側の判断を行うこと。

(2) 後期更新世以降の累積的な地殻変動が否定できず、適切な地殻変動モデルによっても、断層運動が原因であることが否定できない場合には、これらの原因となる耐震設計上考慮する活断層を適切に想定すること。

(3) 地球物理学的調査によって得られる地下の断層の位置や形状は、変動地形学的調査、地表地質調査によって想定される地表の活断層や広域的な変位・変形の特徴と相互に矛盾のない合理的な説明ができること。

(4) 耐震設計上考慮する活断層の認定においては、一貫した認定の考え方により、適切な判断を行うこと。

(5) 耐震設計上考慮する活断層の認定においては、認定の考え方、認定した根拠及び認定根拠の情報の信頼性等を示すこと。

(解説)

### 1. 3 耐震設計上考慮する活断層の認定

(1) 半径 30km 範囲の耐震設計上考慮する活断層の認定に当たっては、すべての調査方法で活断層の存在が必ず確認されるとは限らないので、いずれかの調査手法で相当程度の確からしさをもって認定できる場合は、その認定根拠の本質に立ち返って総合的に検討する必要がある。

(2) 基盤岩からなる山地内の河谷屈曲等が発達する場所、海食台等浸食作用が卓越する場所等については、堆積物の年代により断層運動の時代を特定できない場合でも活断層の存在する可能性を総合的に検討する必要がある。

(3) 顕著な海岸隆起によって累積的な変位が認められる地域では、弾性波探査によ

って断層が確認されない場合でも、これを合理的に説明する適切な地形発達過程を検討する必要がある。

また、海底に顕著な変動地形が認められる場合にも、それを合理的に説明できる活断層を想定する必要がある。

- (4) 後期更新世以降の地層が局所的に急傾斜している場所については、その地下の比較的浅いところに活断層の存在する可能性を検討する必要がある。

また、広域的な隆起等の変動についての要因を活断層によらないものと判断する際には、その理由を明確にする必要がある。

- (5) 後期更新世の地形面や地層が分布しない場合には、さらに古い年代の地形及び地質、地質構造、応力場等を総合的に検討し、耐震設計上考慮する活断層の認定を行う必要がある。

- (6) 厚い沖積層が分布する地域や、個々の変動地形が短いか又は不明瞭な地域等のように、活断層を見つけ出すことが困難な特性を持つ地域においては、そのことを念頭においた慎重な検討を行うことが望ましい。

## 2. 敷地周辺の地質・地質構造の調査及び地盤調査

敷地周辺の地質・地質構造、地下構造及び地盤物性等を把握するため、敷地周辺の地質・地質構造の調査及び地盤調査については、次に示す各事項の内容を満足していなければならない。

### (1) 敷地周辺の調査

敷地周辺の調査は、地域特性や敷地からの距離に応じて、既存文献の調査、既存の坑井データの収集・分析、地震観測記録の分析、地表地質調査、ボーリング調査、二次元あるいは三次元の物理探査（弾性波探査、電気探査、検層、微動探査、重力探査等）、トレンチ調査等を適切な手順と組合せで実施すること。

### (2) 施設の位置における調査

施設の位置における調査は、施設の耐震設計上の重要度に応じて、試掘坑調査、ボーリング調査、二次元あるいは三次元の物理探査（弾性波探査、電気探査、検層等）、地盤材料試験（岩石試験、土質試験）、原位置試験（サウンディング、原位置岩盤試験）、トレンチ調査等を適切な手順と組合せで実施すること。また、地下水の状況を明らかにする必要がある場合には、必要な範囲の地形や地下水流

動場を想定して地下水調査を行うこと。

(解説)

## 2. 敷地周辺の地質・地質構造の調査及び地盤調査

(1) 調査計画立案に当たっては、当該地域の地震の性質及び地形・地質等の特性を把握し、適切な調査範囲、各調査手法の有効性等を検討し、適切な調査仕様を決めることが必要である。

(2) 基準地震動  $S_s$  の策定及び入力地震動の評価を適切に行うためには、地震波の伝播特性（増幅特性を含む。以下同じ。）に影響を与える地下構造（地殻・上部マントル構造、地震基盤から地表までの深部・浅部地盤構造）を把握する必要がある。そのため、敷地周辺における地層の傾斜、断層、褶曲構造等の地質構造を把握するとともに、地震基盤の位置や形状、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を把握する必要がある。特に、不整形な地下構造が存在する場合には三次元的な地下構造を把握することが望ましい。浅部地盤では必要に応じ、地盤の非線形応答に関係する地盤の動的変形特性を把握すること。

なお、入力地震動とは、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して施設の安全機能が保持できること、建物・構築物が設置される地盤が十分な支持性能を持つこと（以下「建物・構築物の地盤の支持性能」という。）及び施設の周辺斜面で地震時に想定しうる崩壊等によっても施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないこと（以下「施設の周辺斜面の安全性」という。）を評価する際に用いる地震動であって、基準地震動  $S_s$  に基づくものをいう。

(3) 建物・構築物の地盤の支持性能及び施設の周辺斜面の安全性を評価するに当たっては、適切な解析モデルの作成のため、地質・地質構造や地盤の物理・力学特性等を把握する必要がある。

(4) 建物・構築物の地盤の支持性能の評価に必要な調査について

- ① 敷地の地質調査においては、断層及び地すべり面の存否確認とその分布・形状、活動性、性状等を調査する必要がある。また、施設に影響を及ぼすおそれのある変動地形や地すべり地形が認められる場合には、詳細に調査を行う必要がある。
- ② 敷地の地盤については、その後の詳細な調査・試験に利用する基本的な分類を行うために、原則として地質要素に工学的な判断を加えた地盤等級区分を行う必