

震基 12-2-1

敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド
(案)

平成 25 年 4 月 5 日

目次

まえがき	
1. 目的	1
2. 適用範囲	1
3. ガイドの構成	1
4. 東北地方太平洋沖地震から得られた知見の反映	1
5. 調査及び調査結果の信頼性	2
I 編：地質・地質構造、地下構造及び地盤等に関する調査・評価	
1. 調査・評価方針	3
2. 将来活動する可能性のある断層等の認定	4
2.1 基本方針	4
2.2 将来活動する可能性のある断層等の活動性評価	5
3. 敷地内及び敷地極近傍における地盤の変位に関する調査	8
3.1 調査方針	8
3.2 敷地内及び敷地極近傍の調査	8
4. 震源断層に係る調査及び評価	10
4.1 共通事項	10
4.1.1 地震発生様式	10
4.1.2 断層等の調査手法	10
4.2 内陸地殻内地震に係る調査	14
4.2.1 陸域における調査	14
4.2.2 海域における調査	15
4.3 プレート間地震及び海洋プレート内地震に係る調査	16
4.3.1 プレート間地震	16
4.3.2 海洋プレート内地震	17
4.4 震源断層の評価	18
4.4.1 震源断層の評価における共通事項	18
4.4.2 内陸地殻内地震に関する震源断層の評価	21
4.4.3 プレート間地震に関する震源断層の評価	22
4.4.4 海洋プレート内地震に関する震源断層の評価	23
5. 地震動評価のための地下構造調査	25
5.1 調査方針	25
5.2 地下構造調査	26
5.2.1 深部地下構造調査（概査）	26
5.2.2 浅部地下構造調査（精査）	26

6.	敷地及び敷地周辺の地盤及び周辺斜面に関する調査	27
6.1	調査方針	27
6.2	地盤調査	27
6.2.1	基礎地盤調査	27
6.2.2	周辺斜面調査	28
7.	全プロセスの明示	28
8.	附則	28

Ⅱ編：基準津波の策定に必要な調査

1.	調査方針	29
2.	津波の発生要因に係る調査及び波源モデルの設定に必要な調査	29
2.1	調査対象	29
2.2	調査範囲	30
2.3	発生要因の調査	30
2.4	波源モデル設定の調査	30
3.	敷地周辺に來襲した可能性のある津波に係る調査	31
3.1	調査範囲	31
3.2	津波痕跡調査	31
3.3	津波堆積物調査	31
4.	津波の伝播経路に係る調査	34
5.	砂移動の評価に必要な調査	35
6.	全プロセスの明示	35
7.	附則	35

Ⅲ編：調査に関する信頼性

1.	調査に関する信頼性	36
1.1	調査手法に関する信頼性	36
1.2	調査結果に関する信頼性	36
2.	調査結果の表示	36

(別添)	海上音波探査マニュアル	40
------	-------------	----

まえがき

1. 目的

本ガイドは、発電用軽水型原子炉施設の設置許可段階の安全審査において、新規制基準に基づき、審査官等が、基準地震動及び基準津波の策定並びに地盤の安定性評価等に必要な調査及びその評価の妥当性を確認する際に活用することを目的とする。

2. 適用範囲

本ガイドは、発電用軽水型原子炉施設に適用される。なお、これ以外の原子炉施設及びその他の原子力関係施設にも本ガイドの基本的な考え方は参考となるものである。

3. ガイドの構成

本ガイドでは、Ⅰ編には、主に、将来活動する可能性のある断層等の認定、建物・構築物の地盤の支持性能及び周辺斜面の安全性を評価するための調査、震源を特定して策定する地震動を評価するための断層調査、基準地震動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等を、Ⅱ編には、基準津波の策定に必要な調査を、Ⅲ編には、調査の信頼性を規定している。

4. 東北地方太平洋沖地震から得られた知見の反映

調査結果の総合的評価においては、2011年東北地方太平洋沖地震とそれに関連する事象から得られた知見が、可能な限り反映されていることが重要である。

特に、当該地震の発生により、従来地震活動のほとんど観測されていなかった場所においても誘発されたと考えられる地震活動が活発になっていることや、2011年4月11日に発生した井戸沢断層及び湯ノ岳断層の周辺の地震(M7.0)に関する従来及び新たな調査結果も踏まえ、断層等に関する詳細調査については、より厳密かつ総合的に行う必要があるため、特に以下のような点に注意が払われている必要がある。

- ① 当該地域について、地震観測等により、どのような応力場であるかを把握しておくこと。
- ② 変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査について、それぞれが独立した視点から行う調査であることを踏まえ、例えば変動地形学的調査により、断層の活動を示唆する結果が得られ、これを他の調査で否定できない場合には、活動性を否定できないこと等を念頭に評価を進めること。
- ③ 後期更新世の複数の地形面又は連続的な地層が欠如する場合には、さらに古い年代の地形面や地層の変形等を総合的に検討すること。

また、歴史地震・津波については、古文書等に記された歴史記録、伝承、考古学的調査の資料等の既存文献等の調査・分析により、敷地周辺において過去に來襲した可能性のある地震・津波の発生時期、規模、要因等について、できるだけ過去にさかのぼって把握される必要がある。地質調査等によってその痕跡が把握できない場合は、調査地点の妥当性について詳細に検討される必要がある。

5. 調査及び調査結果の信頼性

基準地震動及び基準津波の策定等に関する調査に当たっては、調査手法の適用条件及び精度等に配慮し、目的に応じた調査手法により実施されることが必要である。また、第三者の専門家の評価を受けることにより調査結果の信頼性と精度が向上することから、調査計画の立案段階から第三者の専門家の評価を受けるとともに、計画・調査・評価に係る全ての結果について公表されていることが望ましい。その際、一部の整合していないデータについても、その整合しない理由とともに公開されることが重要である。

I 編：地質・地質構造、地下構造及び地盤等に関する調査・評価

1. 調査・評価方針

- (1) 基準地震動及び基準津波の策定並びに地盤の変位の評価に当たって行う調査については、断層等の活動性の評価が重要であり、目的に応じた調査手法が選定されるとともに、調査手法の適用条件及び精度等に配慮し、調査結果の信頼性と精度が確保されていることを確認する。
- (2) 調査方法に関しては、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から総合的に評価されていることを確認する。
- (3) 基準地震動及び基準津波の策定並びに地盤の変位の評価に当たって行う調査や評価は、最新の科学的・技術的知見を踏まえていることを確認する。また、既往の資料等について、調査範囲の広さを踏まえた上で、それらの充足度及び精度に対する十分な考慮を行い、参照されていることを確認する。なお、既往の資料と異なる見解を採用した場合には、その根拠が明示されていることを確認する。
- (4) 震源断層の設定においては、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査の結果に基づく平均変位速度、変位量及び活動間隔等を活用することが重要であり、地質・地質構造調査においてこれらが得られていることを確認する。

2. 将来活動する可能性のある断層等の認定

2.1 基本方針

- (1) 「将来活動する可能性のある断層等」は、後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できないものとする。
- (2) その認定に当たって、後期更新世（約12～13万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。
- (3) なお、活動性の評価に当たって、設置面での確認が困難な場合には、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断する必要がある。
- (4) また、「将来活動する可能性のある断層等」には、震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持基盤を切る地すべり面が含まれる。
- (5) 「震源として考慮する活断層」とは、地下深部の地震発生層から地表付近まで破壊し、地震動による施設への影響を検討する必要があるものをいう。

[解説]

- (1) 約12～13万年前以降の複数の地形面又は連続的な地層が十分に存在する場合は、これらの地形面又は連続的な地層にずれや変形が全く認められないことを明確な証拠により示されたとき、後期更新世以降の活動を否定できる。なお、この判断をより明確なものとするため、活動性を評価した年代より古い（中期更新世までの）地形面や地層にずれや変形が生じていないことが念のため調査されていることが重要である。
- (2) 約12～13万年前の地形面又は地層が十分に存在しない場合には、より古い（中期更新世まで）、地形面又は地層にずれや変形が認められないことを明確な証拠により示されたとき、後期更新世以降の活動を否定できる。
- (3) 約40万年前から約12～13万年前までの間の地形面又は地層にずれや変形が認められる場合において、約12～13万年以降の地形面又は地層にずれや変形が確認されない場合は、調査位置や手法が不適切であるおそれがあるため、調査結果を詳細に検討する必要がある。
- (4) 新設の場合には、敷地及び敷地の極近傍における将来活動する可能性のある断層等の活動性評価において、造成工事前の上載層がある段階で、詳細な調査を行うこと。これは、活動性の低い断層等の活動性評価を行うことが多く、活動年代が問題となるためである。
- (5) 地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び支持基盤を切る地すべり面の認

定にあたっては、上記のほか、以下の点に留意する。

- ① 地震活動に伴って永久変位が生じる断層と、支持基盤を切る地すべり面とは、露頭では、区別が困難な場合がある。
- ② 地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び支持基盤を切る地すべり面は、地震活動と常に同時に活動するとは限らない。このことから、これらの活動性をもとに活動性評価をすると過小評価になることがあり得る。
- ③ 上記のような断層等は、場所により正断層、横ずれ断層、逆断層と似た構造を呈することがある。

2.2 将来活動する可能性のある断層等の活動性評価

将来活動する可能性のある断層等の活動性評価にあたっては、以下の各項目が満足されていることを確認する。

- (1) 調査結果の精度や信頼性を考慮した安全側の判断が行われていることを確認する。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、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、それぞれ認定されていることを確認する。
- (2) 将来活動する可能性のある断層等が疑われる地表付近の痕跡や累積的な地殻変動が疑われる地形については、個別の痕跡等のみにとらわれることなく、その起因となる地下深部の震源断層を想定して調査が実施されていることを確認する。また、それらの調査結果や地形発達過程及び地質構造等を総合的に検討して評価が行われていることを確認する。その際、地表付近の痕跡等とその起因となる地下深部の震源断層の活動時期や向きは、必ずしも一致しないことに留意する。
- (3) 地球物理学的調査によって推定される地下の断層の位置や形状は、変動地形学的調査、地質調査によって想定される地表の断層等や広域的な変位・変形の特徴と矛盾のない位置及び形状として説明が可能なことを確認する。
- (4) 将来活動する可能性のある断層等の認定においては、一貫した認定の考え方により、適切な判断が行われていることを確認する。
- (5) 将来活動する可能性のある断層等の認定においては、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が示されていることを確認し、調査結果の精度や信頼性を考慮した安全側の判断を行っていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 後期更新世以降の活動性評価には、この時代の段丘面や地層の変位・変形に注目する方法が一般的である。中でも、酸素同位体ステージ 5e に対応づけられる中位段丘面や地層は分布および保存が良好なため有効である。利用可能な火山灰も多いため、比較的精度の高い年代評価に基づいた断層等の活動性評価が

実施されている。

- (2) 中期更新世以降の断層等の評価には、この時代の地形面や地層の変位・変形に注目することが一般的であり、中でも酸素同位体ステージ 7、9、11 に対応づけられる段丘面や地層の利用が有効である。また、阿多鳥浜テフラ（23 万年前～25 万年前*）や加久藤テフラ（約 30 万年前*）など火山灰の存在も詳細に確認されている。

他方、対象年代が古いことから下記の課題もある。

- (a) 高位段丘面の浸食

（特に断層付近の隆起側など）

- (b) 高位段丘堆積物の浸食・風化

（火山灰や離水時期を示す堆積物などの対比基準の消失）

また、中期更新世を対象とした年代評価には以下のような技術的課題があることを踏まえ、その適用限界や結果の精度に留意する必要がある。（*町田洋・新井房夫、2003：新編 火山灰アトラス - 日本列島とその周辺 -、東京大学出版会、336p.）

- (a) 放射性年代測定手法の適用年代範囲の限界と測定誤差

（炭素同位体年代測定、フィッシュン・トラック法 等）

- (b) 中期更新世の広域テフラに関する情報の不足

（噴出源と分布の関係、物理・化学的性質、年代 等）

- (3) 将来活動する可能性のある断層等の認定に当たっては、各調査手法には適用限界があり、すべての調査方法で確認されるとは限らないことに注意し、いずれかの調査手法によって、それらの断層等が存在する可能性が推定される場合は、調査手法の特性及び調査結果を総合的に検討する必要がある。
- (4) 基盤岩からなる山地内の河谷屈曲等が発達する場所、海食台等侵食作用が卓越する場所等においては、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震源として考慮する活断層の存在する可能性について総合的に検討する必要がある。
- (5) 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について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震源として考慮する活断層を想定する必要がある。
- (6) 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震源として考慮する活断層が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震源として考慮する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。
- (7) 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、震源として考慮する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必要がある。

[参考]

審査においては、地震調査研究推進本部の『「活断層の長期評価手法」報告書（暫定版）』（平成 22 年 11 月）に記載された下記の評価の考え方も参考にする。

- ① 「最近の地質時代」について、地表付近の形態は、主として段丘面上での活動の痕跡等から認定できること、高位段丘面の年代は、地域等により異なるが、最終間氷期（酸素同位体ステージ 5）より前の間氷期（酸素同位体ステージ 7、9、11）と対応づけられることが多いことから、約 40 万年程度を目安とする。
- ② 上記の目安について、現在の地殻変動様式や応力場がどれくらい前から継続しているかが、活断層を定義する上で重要であることから、地質学のごく最近の時代（例えば最終間氷期以降）の活動の痕跡が認められないことや、高位段丘面や第四紀前半の地層に累積的な変位がないことのみをもって活断層ではないと評価するのではなく、広域的な応力場の状況等も含めた検討を行う必要がある。
- ③ 第四紀に活動したが、将来活動する可能性は極めて低い断層もあり、これらの断層と活断層は地形的に区別がつきにくい場合もある。活断層と見なさない断層としては、岡田・東郷編（2000）にあるように、①第四紀前期の地層を切っているが、最近数十万年程度の地形面や地層を変位させていないもの、②火山地域などに多くみられる、ある時期（たとえば噴火期間）に動き、それ以降では全く活動していないもの、③日本アルプスの稜線付近にみられるような短い正断層で、山頂上部の重力性のずれによって生じたと考えられるものがある。

3. 敷地内及び敷地極近傍における地盤の変位に関する調査

3.1 調査方針

- (1) 重要な安全機能を有する施設の地盤には、将来活動する可能性のある断層等の露頭が無いことを確認する。
- (2) 敷地内及び敷地極近傍に将来活動する可能性のある断層等の露頭が存在する場合には、適切な調査、あるいはその組み合わせによって、当該断層等の性状（位置、形状、過去の活動状況）について合理的に説明されていることを確認する。
- (3) 敷地内及び敷地極近傍に将来活動する可能性のある断層等の露頭が存在する場合には、その断層等の本体及び延長部が重要な安全機能を有する施設の直下にはないことを確認する。なお、将来活動する可能性のある断層等が重要な安全機能を有する施設の直下にはない場合でも、施設の近傍にある場合には、地震により施設の安全機能に影響がないことを、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」により確認する。
- (4) 将来活動する可能性のある断層等とは、震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持基盤を切る地すべり面が含まれる。

〔解説〕

- (1) 重要な安全機能を有する施設が、将来活動する可能性のある断層等の露頭がある地盤面に設置された場合、その将来の断層等の活動によって安全機能に重大な影響を与えるおそれがある。
- (2) このようなことを避けるために、敷地内及び敷地極近傍に将来活動する可能性のある断層等の存否や性状（位置、形状、過去の活動状況）等を明らかにする必要がある。

3.2 敷地内及び敷地極近傍の調査

- (1) 敷地内及び敷地極近傍の調査は、「4.1.2 断層等の調査手法」、「4.2 内陸地殻内地震に係る調査」及び「6. 敷地及び敷地周辺の地盤及び周辺斜面に関する調査」に基づき確認する。
- (2) 施設に与える影響を正確に評価するための十分な調査密度や精度が保たれていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 敷地内及び敷地極近傍においては、地盤のずれによる被害が大きな問題とな

るため、震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持基盤を切る地すべり面を対象とする。

- (2) 逆断層では、例えば、断層の変位に伴って、上盤側に局所的な引張場が形成され別の正断層が形成される場合があること、断層とは傾斜が反対の別の逆断層（バックスラスト）が形成される場合があること、これらの断層が活動して永久変位を起こすことがあることに留意する。
- (3) 伏在逆断層によって生じた断層関連褶曲に伴って、断層等が活動して永久変位を起こすことがあることに留意する。
- (4) 横ずれ断層では、例えば着目する亀裂等が横ずれ断層に伴うフラワー構造の一部である可能性に留意する。
- (5) 地すべり面は、冠頂部で正断層、側方部で横ずれ断層、末端部で逆断層と似た様相を呈することがある。

4. 震源断層に係る調査及び評価

4.1 共通事項

4.1.1 地震発生様式

震源断層に係る調査は、以下の地震発生様式（内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震）を踏まえて実施されていることを確認する。

（1）内陸地殻内地震

「内陸地殻内地震」とは、陸のプレートの上部地殻地震発生層に生じる地震をいい、海岸のやや沖合で起こるものと、海溝から離れたプレート境界より分岐する断層で起こるものを含む。

（2）プレート間地震

「プレート間地震」とは、相接する二つのプレートの境界面で発生する地震をいい、海溝直近の境界面から分岐した断層を含む。

（3）海洋プレート内地震

「海洋プレート内地震」とは、沈み込む（沈み込んだ）海洋プレート内部で発生する地震をいい、海溝軸付近ないしそのやや沖合で発生する「沈み込む海洋プレート内の地震」と、海溝軸付近から陸側で発生する「沈み込んだ海洋プレート内の地震（スラブ内地震）」の2種類に分けられる。

4.1.2 断層等の調査手法

既存文献の調査、変動地形学的調査、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が満たされていることを確認する。

4.1.2.1 既存文献の調査

- （1）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、地震活動、歴史地震、測地資料、津波、断層等、変動地形、地質・地質構造、地球物理学的調査研究等に関する文献・地図、地震・地震動観測記録等を収集・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、断層等との関連、地震発生様式、発震機構（正断層、逆断層、右横ずれ断層、左横ずれ断層など）及び地質構造との関係等が把握されていることを確認する。
- （2）遠方の巨大地震や長大活断層（群）等による敷地への影響が考えられる場合には、これらを含め調査されていることを確認する。
- （3）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4.1.2.2～4.1.2.4の調査を適切に組み合わせ合わせた十分な調査が実施されていることを確認する。

〔解説〕

- （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

いて正確に把握されていること。

- (2) 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、適切な調査仕様が決められていること。
- (3) 既存の調査研究の成果については、必要に応じて関連する地図、写真等が添付され適切な解説が行われていること、当該地域の地震の性質が把握されていること。
- (4) 内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震の地震規模、震源領域、発震機構の推定にあたっては、観測記録に基づく解析結果等が有効に活用されていること。

4.1.2.2 変動地形学的調査

- (1) 地形発達過程（地形の成因を含む。）を重視し、震源として考慮する活断層を認定するための根拠等が明らかにされていることを確認する。変位地形の解析からずれ量や活動年代が詳細に検討されていることを確認する。
- (2) 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、地震性地殻変動の存在を示唆する海岸地形についても検討対象とされていることを確認する。
- (3) 海域については、調査地域の特性に応じた十分な精度と解像度を有する測深調査により、詳細な海底地形図が作成され、変動地形学的な検討が行われていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 地形発達の観点から地形の成因が考察され、震源として考慮する活断層の存在する可能性が検討されていることが重要である。
- (2) 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、幅数十メートル～数十キロメートルにわたる変位・変形をいう。
- (3) 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、震源として考慮する活断層の認定が容易ではない地域については、このような地域性を踏まえて調査を行う必要がある。
- (4) 通常の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が実施されている必要がある。

[参考]

調査手法として、高精度な空中写真判読や航空レーザー測量等については、地震調査研究推進本部の『「活断層の長期評価手法」 報告書（暫定版）』（平成22年11月）を適宜参照する。

4.1.2.3 地質調査

- (1) 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が実施されているとともに、断層近傍と推定される地域が精査されていることを確認する。
- (2) 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・変形構造が詳細に把握されているとともに、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が検討されていることを確認する。
- (3) 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震源として考慮する活断層の存在を否定するのではなく、断層等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が行われていることを確認する。
- (4) 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、これらの地形面の構成層と堆積物について、堆積年代を明らかにするための詳細な調査が行われていることを確認する。
- (5) 将来活動する可能性のある断層等が疑われる地表付近の痕跡や累積的な地殻変動が疑われる地形については、個別の痕跡等のみにとらわれることなく、その起因となる地下深部の震源断層を想定して調査が実施されていることを確認する。その際、地表付近の痕跡等とその起因となる地下深部の震源断層の活動時期や向きは、必ずしも一致しないことに留意する。

[解説]

- (1) 地表踏査やボーリング調査により確認できる範囲は限定的であることを踏まえ、トレンチ調査等を実施し、断層の存否及び活動性の解明に努めることが必要である。より深い地質構造を把握するためにボーリング調査結果を有効に組み合わせ、また浅部の地層の変形を確認するために板状のサンプル取得を可能とする調査方法も導入し、断層活動の解明に努める必要がある。信頼性の高い地層の層序区分・編年が必須である。
- (2) 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、震源として考慮する活断層をより精度良く認定することが可能となる。

- (3) 断層活動の累積性は地形面・地層の年代から判断できる。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) 火山灰は地層編年に有効であり、地層中にその存在が認められた場合には、二次堆積の可能性を考慮し、火山灰の降下年代と地層の堆積年代が一致するか検討する必要がある。とくに火山灰の量がごく少量の場合には対比そのものの精度にも留意する必要がある。
- (5) 断層の活動性評価に対し、断層活動に関連した微細なずれの方向（正断層、逆断層、右横ずれ断層、左横ずれ断層など）や鉱物脈あるいは貫入岩等との接触関係を解析することが有効な場合がある。
- (6) 最新活動のずれの方向を特定する際には、当該構造が最新であると判断できる根拠を示す必要がある。特に、ずれの性状の解析により、既存の古い断層とは逆の動きが示される構造が認められる場合には、第四紀に再活動した可能性を考慮する必要がある。
- (7) 断層破碎物質の性状に関する知見は、断層の活動性評価に対し、参考にはなるが、現状では決定的な証拠にならないことに留意する必要がある。
- (8) 群列ボーリング等により地質断面を推定する際に、調査位置や年代測定結果が得られている深度が空間的に偏っている場合や、鍵層や地層境界の連続性に乏しい場合、その解釈には任意性を伴う。そのため、解釈の任意性を考慮した地層対比図が示されていることを確認するとともに、解釈の信頼性及び追加調査の必要性を検討する必要がある。

〔参考〕

ボーリングデータの活用法については、地震調査研究推進本部の『「活断層の長期評価手法」 報告書（暫定版）』（平成22年11月）を適宜参照する。

4.1.2.4 地球物理学的調査

- (1) 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ていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 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。)については、平野等の新しい堆積物の変形を明らかにし、活断層の位置等を確認するための浅部探査と、深部の断層形状や褶曲構造の解明を対象とした深部探査があり、探査対象を明確にして、仕様が決められていること。
- (2) 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、地球物理学的調査が実施されていることを確認する。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。

[参考]

調査手法として、反射法地震探査や重力異常分布データの活用法、地震波トモグラフィなどによる構造調査等については、地震調査研究推進本部の『「活断層の長期評価手法」 報告書（暫定版）』（平成22年11月）を適宜参照する。

4.2 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ることを確認する。

4.2.1 陸域における調査

陸域の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ることを確認する。

- (1) 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、その根拠が明らかにされていることを確認する。
- (2) 空中写真判読、航空レーザー測量等から、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、その認定の根拠が明らかにされていることを確認する。
- (3) 陸域で活断層の存在が推定された場合、その存在及び活動年代を確認するため、トレンチ調査が、また、その位置及び形状を確認するため、ボーリング調査等の地質調査が実施されていることを確認する。また、地質構造との関連を捉えるために必要に応じて深層ボーリングや弾性波探査等が実施されていることを確認する。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が適切に評価されていることを確認する。
- (4) トレンチ調査等は、断層活動をj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

果が明らかにされていることを確認する。

- (5) 段丘面等の高度分布から、累積的な変動が明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が実施され、地下深部に至る震源断層の形状が推定されていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 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が把握される必要がある。
- (2) 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が推定される必要がある。
- (3) 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必要がある。トレンチ調査は原則として平坦な地形面上で実施される必要がある。斜面においてトレンチ調査が実施されている場合、斜面上を堆積物が移動しやすく、その堆積年代が地層を構成する物質年代と異なることがある。このことを踏まえ、斜面におけるトレンチ調査では、上載地層の年代から断層の活動時期を推定する場合は注意する必要がある。
- (4) 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が払われている必要がある。変位量は活断層に沿って変化するため、調査地点によっては、活動が不明確な場合がある。
- (5) 縄文海進期以降に形成された離水海岸地形が標高数メートルを超える場所や複数段ある場合には、間欠的な地震性隆起の証拠である可能性が示唆されるため、その起因となる地下深部の震源断層を想定して様々な調査技術を組み合わせた十分な調査が実施されていることを確認する必要がある。

4.2.2 海域における調査

海域の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ることを確認する。

- (1) 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が実施され、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・形状が推定され、その根拠が明らかにされていることを確認する。
- (2) 海域では堆積環境の場も多いため、海底地形及び地層の変形が広域的に明らかにされていることを確認する。

- (3) 反射断面の層序区分が断面の交点全てで矛盾なく行われていることを確認する。
- (4) 海底下の地層の年代が十分な信頼性をもって決定されていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 通常の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が実施されている必要がある。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が使用される必要がある。
- (2) 中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が使用される必要がある。
- (3) 海域の活断層の活動性を確認する場合には、海底ボーリング等により海底地質試料を採取し、堆積層の年代が特定され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）との対比に合理性があれば、それを用いることもできる。
- (4) 反射断面は測線に沿う線的な情報に留まるのに対し、海底変動地形は面的な解析結果であるため、海底活断層の連続性の判断においては個別の反射断面の解釈のみに捉われず、反射断面と変動地形学的調査の結果を総合して判断することが重要である。
- (5) 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が把握されていることが望ましいが、断層が連続して追跡できない場合が多いことに留意する。
- (6) 詳細な内容に関しては、別添「海上音波探査マニュアル」を参照すること。

4.3 プレート間地震及び海洋プレート内地震に係る調査

敷地周辺の中・小・微小地震や各種文献等の知見に基づき、日本列島周辺のプレート境界及び海洋プレート内で発生する地震に関する調査が実施されていることを確認する。

4.3.1 プレート間地震

- (1) 世界で起きた大規模なプレート間地震の発生機構やテクトニクス的背景およびプレート境界の大規模形状について、日本付近のプレート間地震との類似性を考慮した上で既存文献調査が行われていることを確認する。
- (2) 世界で起きた大規模なプレート間地震の強震動発生域の分布、応力降下量、

- 破壊開始点、破壊過程等について既存文献調査が行われていることを確認する。
- (3) 活動間隔が百～二百年以内のプレート間地震については、地震規模や震源領域を推定するために、歴史記録や観測記録等が検討されていることを確認する。
 - (4) 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が検討されていることを確認する。
 - (5) 海溝付近にプレート境界の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（DEMを含む。以下同じ。）及び弾性波探査記録を用いて、分岐断層の分布と形状が検討されていることを確認する。
 - (6) プレート形状、すべり欠損分布、破壊伝播速度、破壊の開始点とアスペリティとの位置関係等について既存文献等の調査がされていることを確認する。
 - (7) 震源領域については、断層の三次元形状、海底地質構造並びに海底の変動地形学的証拠、海岸の隆起・沈降等の変動地形学的証拠、重力異常・地震波速度構造・微小地震分布・発震機構分布・地震時及び地震間の地殻変動等の地球物理学的データに関し、既存文献等の調査がされていることを確認する。
 - (8) 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に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や波蝕台の高度分布、地震や津波の観測記録、歴史記録及び津波堆積物等に関する調査・研究結果が慎重に検討されていることを確認する。
 - (9) 津波堆積物の調査に関しては、「Ⅱ編 3.3 津波堆積物調査」を参照し、適切に実施されていることを確認する。

〔解説〕

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。

- (1) 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）や浸水範囲とその空間的分布を活用して巨大地震や津波の規模を評価できるが、データが限定されるために、過小評価となる場合がある。
- (2) 海底地形図と弾性波探査記録には、津波波源の位置等に関する情報が含まれていることがある。

4.3.2 海洋プレート内地震

- (1) 沈み込む海洋プレート内の地震（アウターライズ地震）及び沈み込んだ海洋プレート内の地震（スラブ内地震）を考慮していることを確認すること。

- (2) 海洋プレート内地震においては、テクトニクス的背景を考慮して適切な発震機構であることを確認すること。
- (3) 海洋プレート内地震の地震規模や震源領域の推定にあたっては、観測記録に基づく解析結果等が有効に活用されていることを確認する。
- (4) アウターライズ地震及びスラブ内地震については、発生機構やテクトニクス背景が類似の過去に発生した国内及び世界の事例について調査されていることを確認する。
- (5) 津波堆積物の調査に関しては、「Ⅱ編 3.3 津波堆積物調査」を参照し、適切に実施されていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 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するにあたり、「Ⅰ編 4.3.1 プレート間地震 解説」に準拠する。
- (2) 測深調査による詳細な海底地形図に基づいた変動地形学的な検討により、アウターライズ地震付近の海底活断層が確認される場合がある。

4.4. 震源断層の評価

4.4.1 震源断層の評価における共通事項

- (1) 4.4.2～4.4.4 において設定される起震断層、活動区間や震源領域の活動性は、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査の結果に基づく平均変位速度、変位量及び活動間隔等により推定されていることを確認する。また、ハザード評価に活用されていることを確認する。
- (2) 地震発生層の浅さ限界・深さ限界は、敷地周辺で発生した地震の震源分布・キュリー一点深度・速度構造データ等を参考に設定されていることを確認する。ただし、地震発生層の浅さ限界を設定する際には、周辺地域やテクトニクス背景が類似の地域における、大地震の余震の精密調査による観測点直下およびその周辺の精度の良い震源の深さが参考とされていることを確認する。
- (3) 地震発生層は、調査結果から判明した浅さ限界・深さ限界を明らかにし、調査の不確かさを踏まえた浅さ限界・深さ限界が設定されていることを確認する。
- (4) 震源断層の位置及び形状等は、調査結果から判明した長さ、断層傾斜角等に基づき、調査の不確かさを踏まえて設定されていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 震源として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が整備される必要がある。

- ① 活断層の三次元構造を把握することが重要である。必要に応じて三次元弾性波探査等適切な探査法が使用されることが望ましい。
 - ② 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。
 - ③ 弾性波探査により得られた反射面では、物質境界（異なる地層同士が接している境界）の方が、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、すなわち断層面）より鮮明に見える場合がある。
 - ④ 活断層（群）については、地表断層の不連続や形状変化が震源断層の不連続を示さない場合がある。
- (2) 地震動評価及びハザード評価等に資する観点から、下記を踏まえ、データが収集される必要がある。
- ① 断層浅部のアスペリティの位置の推定には、活断層に沿った1回の変位量（平均変位速度）の変化に関する情報が有効である。
 - ② 破壊開始点の推定には、活断層の分岐形状等の地表形態が有用である。
 - ③ 活動時期や一回の変位量の推定には、変動地形の情報に加え、トレンチ調査、海上音波探査等が有用である。
- (3) 評価された震源断層については、調査結果から得られた震源特性モデルが設定され、それらの不確かさの範囲が明らかにされ設定されている必要がある。また、活断層（群）については、震源断層の連動が考慮される必要がある。
- (4) 基準地震動の策定において、地震動を断層モデル等により詳細に評価した結果、震源特性パラメータやその不確かさ等の設定において、情報が不足する場合、不確かさの幅をより大きく設定する必要がある。

[参考]

審査においては、地震調査研究推進本部の『「活断層の長期評価手法」報告書（暫定版）』（平成22年11月）に記載された下記の評価の考え方も参考にする。これらの他、微化石分析による古気候学的調査が有効となる場合もある。

(1) 地形学的証拠に基づく断層活動の認定

- ① 一続きの地形面上に断層崖が認められる場合には、その地形面が形成された時期以降に少なくとも1回の断層活動があったと判断する。
- ② 異なる時代に形成された地形面に断層崖が認められ、時代の古い地形面の方でずれの量が有意に大きい場合には、两段丘面の形成時期の間に断層活動があった可能性について検討する。
- ③ 異なる時代に形成された複数の段丘が断層の両側に分布し、それらの分布高度

に一定の高度差が認められる場合には、その段丘面が形成された時期以降に少なくとも1回の断層活動があったと判断する。

- ④ 撓曲（とうきょく）帯（たわみの領域）の幅が広く上下のずれの量が十分に大きな場合には、隆起した地形面が段丘化していることに基づいて断層活動を判断する。

（2）地質学的証拠に基づく断層活動の認定

- ① 地層の切断やずれの不連続の有無、断層低下側の崩壊に伴う堆積物（崖錐堆積物）の有無などに基づいて、過去の断層活動を認定する。
- ② 地層が緩やかに撓んでいる場合には、その付近に分布している撓んだ地形面の傾斜と比較して判断する。
- ③ 断層活動の証拠が認められた地層（以下、活動層準）では、1回のずれの量が過大にならない限り、各々の活動層準において最小回数の断層活動を設定する。複数回の活動が想定可能な場合はその旨を併記する。
- ④ 断層活動の認定根拠から、場所ごとかつ活動ごとに断層活動の有無の信頼度を判断し、記述する。
- ⑤ 断層活動がなかった期間が判断できる場合には、その期間を記述する。
- ⑥ 上記の他、断層面と鉱物脈の交差関係が有効となる場合もある。

（3）オフフォールト古地震情報の活用

大地震が発生すると、震源域及びその周辺では強震動によって液状化現象や地すべりといった地盤変状が発生する場合もある。これらの情報は断層活動の直接的な証拠にはならないが、断層活動時期を推定する際に参考にすることは可能である。

（4）年代測定の精度・信頼度向上のための調査

断層活動時期は、トレンチ調査や群列ボーリング調査において観察された地層の構造の中から、断層活動により変位を受けた地層とそれを覆う変位を受けていない地層（もしくは変形量に有意な差が認められる地層同士）の年代を測定することによって評価される。

- ① 炭素同位体年代
 - a) 含有される炭素の由来が明らかな植物の種子や葉などを単体で計測することが望ましいが、条件の良い試料を得るのは難しいため、ある層準については木片を分析し、別の層準では腐植土で分析した結果を用いて評価する例も少なくない。
 - b) 貝殻片など海生生物由来の試料を分析するときには、海洋リザーバ効果を考慮する必要がある。しかし、この値には地域差があり、さらに時代による変

化もあるので、各地域、時代において想定すべき補正值については今後の研究成果を待つ必要がある。

② 火山灰編年

火山灰編年は、炭素同位体年代と並んで地層の堆積年代決定に有効な指標である。特に、広域に分布する火山灰については、編年の研究が進んでおり、その降下年代の決定精度が向上している。これまでに実施された活断層の長期評価においても、トレンチ調査などで確認された始良丹沢火山灰（AT：約 2.6～2.9 万年前）や鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah：約 7300 年前）などが、活動時期の推定に利用されている。

4.4.2 内陸地殻内地震に関する震源断層の評価

- (1) 内陸地殻内地震においては、複数の連続する活断層や近接して分岐、並行する複数の活断層が連動してより規模の大きな地震を引き起こすことを考慮して、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査の結果に基づき起震断層が設定されていることを確認する。
- (2) 活断層（群）においては、破壊の開始点とアスペリティとの位置関係等によって、一括放出型地震（起震断層全体の活動による地震）よりも分割放出型地震（起震断層を構成する一部の活断層の活動による地震）の方が敷地に大きな影響を及ぼす可能性がある場合には、分割放出型地震に対応する活断層（群）から構成される活動区間が設定されていることを確認する。
- (3) 長大な活断層による地震や孤立した短い活断層による地震の規模は、最新の知見を十分に考慮して設定されていることを確認する。
- (4) 地震活動に関連した活褶曲、活撓曲等については、活断層と同様に調査対象とし、その性状に応じて震源として想定する断層の評価に考慮されていることを確認する。
- (5) 震源断層モデルの長さ又は面積、あるいは1回の活動による変位量と地震規模を関連づける経験式を用いて地震規模を設定する場合には、経験式の適用範囲を十分に検討されていることを確認する。その際、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、そのばらつきも考慮されていることを確認する。
- (6) 震源として想定する断層の形状評価を含めた震源特性パラメーターの設定に必要な情報が十分得られなかった場合には、その設定に当たって不確かさの考慮が適切に行われていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 内陸地殻内地震における起震断層及び活動区間は、調査結果の信頼度（確か

らしさ)や精度等を考慮し、地形発達過程、地質構造、断層の活動履歴や地震1回の変位量分布・平均変位速度分布、過去及び現在の地震活動の特徴等を総合して安全側に設定される必要がある。また、地表においては断層が不連続である場合には、重力異常・地震波速度構造・地殻変動(測地・測量データ)等の地球物理学的データを十分に考慮して、連続性が検討される必要がある。

- (2) 長大な活断層の震源断層の設定においては、世界の長大な活断層や海溝周辺で発生した地震のデータ、断層の運動モデルと、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査に基づき適切に設定される必要がある。
- (3) 孤立した短い活断層については、地表で認められる活断層の長さが震源断層の長さを示さないことから、対象地域での地震発生層の厚さ、重力異常や地質断層を参考とした地下構造、地質構造を十分に考慮して、断層の長さが設定される必要がある。
- (4) 既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査によって得られた個々のデータや結果については、信頼度、精度、空間代表性等を評価し、震源特性パラメータの設定に反映される必要がある。空間代表性は、震源特性パラメータの設定に大きな影響を与えることから、個々のデータについて慎重に検討して評価される必要がある。

4.4.3 プレート間地震に関する震源断層の評価

- (1) プレート間地震に関しては、国内のみならず世界で起きた大規模な地震を踏まえ、地震の発生機構やテクトニクスの背景の類似性を考慮した上で規模及び震源領域の設定が行われていることを確認する。
- (2) 国内のみならず世界で起きた大規模な地震を考慮した上で、強震動生成域の分布、応力降下量、破壊開始点、破壊過程等の設定が行われていることを確認する。
- (3) 敷地周辺において過去に発生した地震の規模、すべり量、震源領域の広がり等に関する地形・地質学的、地震学的及び測地学的な直接・間接的な情報が、可能な限り活用されていることを確認する。
- (4) プレート形状、すべり欠損分布等を踏まえ、不確かさ(ばらつき)を考慮して震源領域、すべり量分布等を適切に設定されていることを確認する。また、隣り合う震源領域が連動して、より規模の大きな地震を引き起こすことがあるため、震源領域の連動を適切に考慮されていることを確認する。

[解説]

- (1) 巨大地震は沈み込みプレート境界では過去の事例の有無や場所に関わらず

その発生を否定できないこと及び地震の発生域と規模は過去の事例によるだけではそれを超えるものが発生する可能性を否定したことにはならないこと等から、過去に国内のみならず世界で起きた大規模な事例を踏まえ、地震の発生機構やテクトニクス的背景の類似性を考慮した上で、検討する必要がある。

- (2) プレート間地震については、地震発生域の深さの下限から海溝軸までが震源域となる地震（断層幅が飽和するような地震）を考慮すること。その際、テクトニクス的背景を考慮して、深部における低周波地震・微動の発生域の下限、或いは長期間の隆起・沈降の分布から推定されるプレート境界固着域の最深部を深さの下限として設定する必要がある。
- (3) プレート間地震における震源領域は、分岐断層を含む断層の三次元形状、海底地質構造並びに海底の変動地形学的証拠、海岸の隆起・沈降等の変動地形学的証拠、重力異常・地震波速度構造・微小地震分布・発震機構分布・地震時及び地震間の地殻変動等の地球物理学的データが十分に考慮される必要がある。また、震源領域の最大規模の連動は、国内のみならず世界で起きた大規模な地震を踏まえ、地震や津波の観測記録及び歴史記録、津波堆積物等の地質学的証拠等に基づいて設定されていること。

4.4.4 海洋プレート内地震に関する震源断層の評価

- (1) 海洋プレート内地震に関しては、国内のみならず世界で起きた大規模な地震を踏まえ、地震の発生機構やテクトニクス的背景の類似性を考慮した上で規模、震源領域等の設定が行われていることを確認する。
- (2) 敷地周辺において過去に発生した地震の規模、すべり量、震源領域の広がり等に関する地形・地質学的、地震学的及び測地学的な直接・間接的な情報が、可能な限り活用されていることを確認する。
- (3) 震源領域周辺の過去の地震履歴、地震活動、プレート形状等を踏まえ、ばらつきを考慮して震源領域、地震規模等が適切に設定されていることを確認する。
- (4) テクトニクス的背景を考慮した上で、発震機構が設定されていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 大規模な海洋プレート内地震は、沈み込みプレート境界付近やスラブ内では過去の事例の有無や場所に関わらずその発生を否定できないこと及び地震の発生域と規模は過去の事例によるだけではそれを超えるものが発生する可能性を否定したことにはならないこと等から、過去に国内のみならず世界

で起きた大規模な事例を踏まえ、地震の発生機構やテクトニクス的背景の類似性を考慮した上で、検討する必要がある。

5. 地震動評価のための地下構造調査

5.1 調査方針

- (1) 地下構造（地盤構造、地盤物性）の性状は敷地ごとに異なるため、地震動評価のための地下構造モデル作成に必要な地下構造調査に際しては、それぞれの敷地における適切な調査・手法が適用されていることを確認する。
- (2) 地下構造調査により、敷地及び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・解放基盤の位置や形状、地下構造の三次元不整形性、岩相・岩質の不均一性、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性が適切に把握できていることを確認する。
- (3) 敷地及び敷地周辺の調査については、地域特性、既往文献の調査、既存データの収集・分析、地震観測記録の分析、地質調査、ボーリング調査、二次元又は三次元の物理探査等を適切な手順と組合せで実施されていることを確認する。
- (4) 地震動評価の過程において、地下構造が成層かつ均質と認められる場合を除き、三次元的な地下構造により検討されていることを、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」により確認する。

〔解説〕

- (1) 敷地からの距離に応じて、地震基盤から解放基盤までを対象とした地下構造調査（以下「深部地下構造調査（概査）」という。）と解放基盤から表層までを対象とした地下構造調査（以下「浅部地下構造調査（精査）」という。）を組み合わせた調査を実施して、地下構造データが適切に取得される必要がある。
- (2) 「深部地下構造調査（概査）」及び「浅部地下構造調査（精査）」においては、それぞれ物理探査と地震動観測等を組み合わせた十分な調査が実施される必要がある。
- (3) 「深部地下構造調査（概査）」は、低密度な物理探査と水平アレイ地震動観測等を組み合わせた調査、一方「浅部地下構造調査（精査）」では、高密度な物理探査と鉛直アレイ地震動観測及び水平アレイ地震動観測、物理検層等を適切に組み合わせた十分な調査が実施されていること。
- (4) 適切な調査とは、調査により取得された地下構造データに基づき作成された地下構造モデルを用いて、比較的短周期領域における地震動を高い精度で評価可能な地下構造調査を意味する。

5.2 地下構造調査

5.2.1 深部地下構造調査（概査）

- (1) 比較的長周期領域における地震波の伝播特性に大きな影響を与える、地震基盤から解放基盤までの「深部地下構造モデル」を作成するための深部地下構造調査（概査）が適切に行われていることを確認する。
- (2) 深部地下構造調査（概査）として、ボーリング及び物理検層、反射法・屈折法地震探査、電磁気探査、重力探査、微動アレイ探査、水平アレイ地震動観測等による調査・探査・観測を適切な範囲及び数量で実施していることを確認する。
- (3) 震源から対象サイトの地震基盤までの地震波の伝播経路特性に影響を与える地殻構造調査として、弾性波探査や地震動観測等を適切な範囲及び数量で実施していることを確認する。

〔解説〕

- (1) 深部地下構造調査（概査）により、地震基盤から解放基盤までの三次元深部地下構造、地下構造の三次元不整形性等が適切に把握できている必要がある。
- (2) 小地震、遠地地震などの敷地における観測記録を用いて、震源の深さや距離による変化を考慮した上で、方位による振幅や波形の変化を調査することが重要である。観測波形を用い、レシーバー関数法、地震波干渉法などにより地下構造を求めることができる。

5.2.2 浅部地下構造調査（精査）

- (1) 比較的短周期領域における地震波の伝播特性に影響を与える、解放基盤から地表面までの「浅部地下構造モデル」を作成するための浅部地下構造調査（精査）が適切に行われていることを確認する。
- (2) 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・地下構造を把握するために、ボーリング調査に加えて地震基盤相当に達する大深度ボーリング、物理検層、高密度な弾性波探査、重力探査、微動アレイ探査等による調査・探査、鉛直アレイ地震動観測や水平アレイ地震動観測等を適切な範囲及び数量で実施していることを確認する。

〔解説〕

- (1) 浅部地下構造調査（精査）により、解放基盤から地表面までの詳細な三次元浅部地下構造、地下構造の三次元不整形性等が適切に把握できている必要がある。

6. 敷地及び敷地周辺の地盤及び周辺斜面に関する調査

6.1 調査方針

- (1) 原子炉建屋等構造物の基礎地盤及び周辺斜面の地盤安定性評価に必要な調査・手法が適切に適用されていることを確認する。
- (2) 重要な安全機能を有する施設は、地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下（揺すり込み沈下を含む。）、液状化等の周辺地盤の変状により安全機能が重大な影響を受けるおそれがないことを確認する。また、地震発生に伴う地殻変動及び断層変位（評価に関してはⅡ編 4.2.2 を参照）によって生じる支持地盤の傾斜及び撓みに対しても、安全機能が重大な影響を受けるおそれがないことを確認する。
- (3) 施設を設置する地盤は、耐震設計方針に規定する地震力に対して十分な支持性能を有していることを確認する。耐震設計上の重要度分類Sクラスの設備等を支持する建物・構築物の地盤の支持性能については、将来活動する可能性のある断層等の露頭が無いことが確認された地盤について、地震動に対する弱面上のずれ等が無いことを含め、基準地震動に対する支持性能が確保されていることを確認する。

6.2 地盤調査

6.2.1 基礎地盤調査

- (1) 施設の位置における基礎地盤調査は、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、動的強度試験等）、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されていることを確認する。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が適切に実施されていることを確認する。
- (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（硬質岩盤、軟質岩盤等）がなされていることを確認する。
- (3) 敷地周辺に大規模な断層や褶曲構造等が存在し、地盤内応力がその影響を受けていることが想定される場合には、地盤の初期応力が適切に測定されていることを確認する。
- (4) 建物・構築物が設置される地盤の支持性能に影響を及ぼすと考えられる断層等の弱層は、その形態や性状及び物理・力学特性を詳細に調査されていることを確認する。

- (5) なお、地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓みについては、広域的な地盤の隆起、沈降によって生じるもののほか、局所的なものを含んでおり、これらのうち、局所的なものについては支持地盤の傾斜及び撓みの安全性への影響が大きいおそれがあるため、特に留意が必要である。

6.2.2 周辺斜面調査

- (1) 周辺斜面調査は、基礎地盤調査の調査項目に準じて実施されていることを確認する。
- (2) 基礎地盤調査の調査項目に加えて、地形測量・地形調査により斜面幾何形状、斜面傾斜、斜面型、オーバーハングの有無、物理探査により三次元地盤構造・地盤物性等を適切に調査できていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 敷地内及び敷地極近傍において、将来活動する可能性のある断層等が存在する場合、その断層等の本体及び延長部が調査対象の斜面に存在する可能性を考慮して調査を行うこと。

7. 全プロセスの明示

調査の信頼性を確保するために、調査に係る全プロセス（計画策定から調査結果のとりまとめまでの経過）が明示されていることを確認する。

8. 附則

本ガイドに記載されている手法等以外の手法等であっても、その妥当性が適切に示された場合には、その手法等を用いることは妨げない。

また、本ガイドは、今後の新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するよう見直していくものとする。

Ⅱ編：基準津波の策定に必要な調査

1. 調査方針

- (1) 津波の調査においては、必要な調査範囲を地震動評価における調査よりも相当広く設定した上で、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、地質調査、地球物理学的調査等の特性を活かし、これらを適切に組み合わせた調査が行われていることを確認する。
- (2) 上記の調査に加え、津波の発生要因に係る調査及び波源モデルの設定に必要な調査、敷地周辺に襲来した可能性のある津波に係る調査、津波の伝播経路に係る調査、砂移動の評価に必要な調査が行われていることを確認する。
- (3) 基準津波の策定に当たって行う調査や評価は、最新の科学的・技術的知見を踏まえていることを確認する。また、既往の資料等について、調査範囲の広さを踏まえた上で、それらの充足度及び精度に対する十分な考慮を行い、参照されていることを確認する。なお、既往の資料と異なる見解を採用した場合には、その根拠が明示されていることを確認する。
- (4) 基準津波の策定に必要な調査は、「Ⅰ編：地質・地質構造、地下構造及び地盤等に関する調査・評価」に掲げた事項に加え、次に示す各事項の内容が満たされていることを確認する。

2. 津波の発生要因に係る調査及び波源モデルの設定に必要な調査

2.1 調査対象

- (1) 「プレート間地震」とは、相接する二つのプレートの境界面で発生する地震をいう。津波の発生要因としては、下記の地震を考慮する必要がある。
 - ① プレート境界での大きなすべりにより強い揺れと大きな津波を生成する地震及び海溝直近の分岐断層まで同時に活動する地震
 - ② プレート境界（海溝近傍）でのゆっくりとした大きなすべりにより強い揺れは伴わないが大きな津波を生成する津波地震
 - ③ 上記の同時発生
- (2) 「海洋プレート内地震」とは、沈み込む（沈み込んだ）海洋プレート内部で発生する地震をいい、海溝軸付近ないしそのやや沖合で発生する「沈み込む海洋プレート内の地震（アウターライズ地震）」と、海溝軸付近から陸側で発生する「沈み込んだ海洋プレート内の地震（スラブ内地震）」の2種類に分けられる。津波を発生させる要因として、特にアウターライズ地震を考慮する必要がある。
- (3) 海域の活断層による地殻内地震は、海岸のやや沖合の陸側のプレート（大陸プレート）内部で生成するものと、海溝から離れたプレート境界より分岐する断

層で生成する地震をいう。活断層の認定については、「将来活動する可能性のある断層等」に準じる。

- (4) 陸域及び海底での地すべり、斜面崩壊は、過去に敷地周辺に津波を来襲させた可能性のある沿岸及び海底の地すべり、斜面崩壊を対象とする。
- (5) 火山現象は、過去に敷地周辺に津波を来襲させた可能性のある沿岸及び海域における噴火、山体崩壊、カルデラ陥没等を対象とする。

2.2 調査範囲

- (1) 広範囲の文献調査に基づいて必要な情報を収集し、津波の波源となる可能性のある領域が特定され、必要に応じて野外調査を実施されていることを確認する。
- (2) 遠地津波も含めた過去の津波来襲実績を踏まえ、施設に影響を与えるおそれがある津波を把握するために必要な調査範囲が設定されていることを確認する。その際、地震動評価のための調査範囲より相当広くなることに注意が必要である。
- (3) 津波の発生機構に応じ、特に詳細に調査すべき場所が適切に設定されていることを確認する。

2.3 発生要因の調査

- (1) 発生機構やテクトニクス的背景が類似のプレート境界で過去に発生した国内及び世界の津波の事例について調査されていることを確認する。
- (2) 国内及び世界で過去に発生した火山現象、地すべり及び斜面崩壊を要因とする津波の事例について調査されていることを確認する。

2.4 波源モデル設定の調査

- (1) 地震動評価のための調査(特に、断層及びプレートの形状、地震時のすべり量、断層の位置、震源領域の広がり等に関する地形・地質学的調査、地震学的調査及び地球物理学的調査等)に加え、プレート間のすべり欠損の時空間分布に係る調査を行われていることを確認する。
- (2) 過去に敷地周辺に津波を来襲させた可能性のある海域の地殻内地震について、断層のずれにより海底面に生じた1回当たりの変形や変位量に係る検討が行われていることを確認する。
- (3) プレート間地震及び海洋プレート内地震については、「I編 4.3 プレート間地震及び海洋プレート内地震に係る調査」の調査結果を参考に調査範囲が設定され、調査が実施されていることを確認する。
- (4) 海底活断層については、「I編 4.2 内陸地殻内地震に係る調査」の調査結果を参考に調査範囲が設定され、調査が実施されていることを確認する。
- (5) 過去に敷地周辺に津波を来襲させた可能性のある火山現象(噴火、山体崩壊、

カルデラ陥没等)、地すべり及び斜面崩壊の痕跡、分布、規模等について調査を行われていることを確認する。なお、海域の斜面崩壊や地すべり等の痕跡調査に当たっては、調査目的に応じて複数の調査技術を用いて広域的概査から局地的精査を段階的に実施し、斜面崩壊や地すべり等の分布、規模、発生時期等の検討を種々の解析手法を用いて行われていることを確認する。

3. 敷地周辺に来襲した可能性のある津波に係る調査

3.1 調査範囲

- (1) 津波の規模が大きいほど遠い地域の調査が必要となるため、津波堆積物調査は、敷地に近い範囲内の適地に加え、地域特性（津波波源・海岸付近における山体崩壊等）を考慮した調査範囲が設定されていることを確認する。

3.2 津波痕跡調査

- (1) 津波の観測記録、古文書等に記された歴史記録、伝承、考古学的調査の資料等の既存文献等の調査・分析により、敷地周辺において過去に来襲した可能性のある津波の発生時期、規模、要因等について、できるだけ過去にさかのぼって把握されていることを確認する。
- (2) 歴史記録や伝承の信頼性については、複数の専門家による客観的な評価が参照されていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 痕跡高データの信頼度が津波シミュレーションの妥当性に影響することから、より精度の高い痕跡データが用いられていること（例えば、痕跡データベース※）。
（※ 東北大学・JNESにより公開。個々の痕跡高に信頼度 A～E の 5 段階が付されているため、高い信頼度のデータを選別して利用することができる。）

3.3 津波堆積物調査

- (1) 敷地周辺及び地域特性（津波波源・海岸付近における山体崩壊等）を考慮した調査範囲における津波堆積物調査を行い、津波堆積物の有無、広域的な分布、供給源、津波の発生時期、規模（津波高、浸水域等）等について把握されていることを確認する。
- (2) 津波堆積物の調査においては、地形の形成過程や周辺の堆積物の分布条件に応じて適切な手法を組み合わせで行うこと。また、深海底の崩壊堆積物（地震性タービダイト）についても資料等の調査が行われていることを確認する。

- (3) 津波堆積物の調査は、調査範囲や場所に限界もあり、調査を行っても津波堆積物が確認されない場合がある。周辺の状況から津波が来襲した可能性がある場合には、安全側に判断していることを確認する。
- (4) 津波による浸水範囲の調査や津波遡上高の調査など、調査地点が調査目的に適した地形・地質等の環境にあることを確認する。
- (5) 津波堆積物であることを判断する際は、得られた調査・分析結果等に基づき、評価していることを確認する。また、1地点の調査結果で判断するのではなく、広域に調査した複数地点の調査結果に基づき、総合的に評価されていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 津波堆積物調査の際に、津波堆積物を挟んだ上下の古環境変化から地震時の地殻変動が読み取れることがある。

〔参考〕

詳細な調査手順及び観点等に関して、以下に概略を示す。

1. 事前調査

(1) 文献調査

- ① 敷地に影響を及ぼすと想定される古津波及び古地震の記録や津波堆積物が残りやすそうな地形（堆積速度など）、堆積物の供給源に関する情報、古環境の変遷などが調査されていることを確認する。
- ② 古津波及び古地震の一覧表や津波痕跡図、環境（古環境）について考慮した地形分類図を作成し、各調査地域の地形発達が検討・整理されていることを確認する。

(2) 現地調査

- ① 調査対象地域の堆積場の環境、地形的制約、地域特性による制限、断層による変位の有無などが調査されていることを確認する。
- ② 簡易掘削などを用いて津波堆積物の候補（イベント堆積物）が確認されていること。
- ③ 必要に応じて、地中レーダー等の最新技術を用いるのが良い。
- ④ 堆積物が確認できる頻度を考慮するとともに、堆積物の分布を把握するため、密に多点で簡易掘削が実施されていることを確認する。
- ⑤ 少なくとも完新世に形成された津波堆積物を対象とするため、古い年代まで含む試料採取が行われていることを確認する。
- ⑥ 本調査の実施地点の選定が行われていることを確認する。

(3) 地点の選定

- ① 本調査地点として、基本的に、津波堆積物らしきイベント堆積物が発見された地点及び地形（古環境）、堆積環境場（堆積速度など）、堆積物の供給源の観点からその分布の可能性が否定できない地点全てが選定されていることを確認する。
- ② また、津波堆積物であるかどうか判別するため、イベント堆積物の平面的な連続性について確認することができる、十分な調査範囲と調査密度が設定されているか確認する。

2. 本調査

(1) 掘削調査

- ① イベント堆積物の分布や形成年代、供給源等の情報を取得するため、堆積場や地形特性、地域特性、土壌の状態に応じ、地形学、地質学、地球物理学等を適切に組み合わせてイベント堆積物とその下位・上位の平常時堆積物の採取が行われていることを確認する。
- ② 掘削調査は、堆積物の分布を把握できる精度で密に多点で実施し、完新世に形成された津波堆積物を対象とするため、可能な限り古い年代まで含む試料採取が行われていることを確認する。

(2) 観察及び記載方法

- ① 露頭において観察できる堆積物や柱状試料などの特徴を記載・把握し、層序、イベント堆積物の成因の評価、津波堆積物の識別を行うための基礎情報が取得されていることを確認する。
- ② 対象とする露頭等が将来の人工改変で消失する可能性や、堆積構造や分析試料の経時的変化を考慮し、出来る限り詳細な記載が行われていることを確認する。
- ③ 少なくとも審査が終了するまで、試料（コアや分析試料全て）が保存されていることを確認する。

(3) 分析方法

- ① 露頭や柱状試料から採取されたイベント堆積物及びその下位・上位の平常時堆積物について、堆積物の供給源や構成物、物性値、堆積物の堆積年代、環境変化等の情報が取得されていることを確認する。
- ② 堆積学的分析、年代学的分析、古生物学的分析、化学的分析及び鉱物組成分析を組み合わせて実施されていることを確認する。

3. 総合評価

- (1) 結果の解釈は、1つの分析項目のみに捉われることなく、それらを総合的に判断する必要がある。

4. 津波の伝播経路に係る調査

- (1) 津波波源から敷地周辺（陸域遡上を考慮する）までの津波伝播範囲における陸域及び海域の地形に関する資料等の調査が行われていることを確認する。
- (2) エッジ波（陸棚波）の発生も考慮して、調査対象とする津波伝播範囲は十分広域にとられていることを確認する。
- (3) 既存文献又は現地調査等において、詳細な地形（人工構造物を含む）が把握されていることを確認する。
- (4) 信頼性が高い重要な津波痕跡がある場合は、波源から痕跡までの範囲についても信頼性の高い地形情報が得られていることを確認する。なお、発生当時の地形が現在と異なる場合は当時の地形が調査されていることを確認する。

〔参照〕

詳細な調査手順及び観点等に関しては、「津波浸水想定の設定の手引き Ver. 2.00」（国土交通省）を参照すること。以下に、該当箇所の概略を示す。

- (1) 地形データは、津波浸水シミュレーションによって得られる浸水の区域や水深に影響を与えることから、地形データは、最新のものとなるよう努めるとともに、東北地方太平洋沖地震等による地盤変動についてもできる限り考慮することとする。
- (2) 東北地方太平洋沖地震による地盤変動が生じている陸域については、東北地方太平洋沖地震後に航空レーザ測量で取得された標高格子データを使用することを基本とするが、東北地方太平洋沖地震後の地形データが存在しない地域では、東北地方太平洋沖地震の地盤変動量を考慮した上で、東北地方太平洋沖地震前の標高格子データを利用してもよい。
- (3) また、東北地方太平洋沖地震による地盤変動が生じている陸域のうち、東北地方太平洋沖地震後に航空レーザ測量が行われていない地域では、空中写真（ステレオマッチング）で取得された。
- (4) 地形データを使用してもよい。地形に関する既存文献の例として、陸域の場合は、基盤地図情報（数値標高モデル：5m、10m メッシュ）（国土地理院）等がある。海域の場合は、日本周辺の500m メッシュ海底地形データ（J-EGG500）（海上保安庁）や海底地形デジタルデータ（M7000、M5000 シリーズ）（一般財団法人日本水路協会）等がある。
- (5) 地形に関する現地調査については、「I編 4.2 内陸地殻内地震に係る調査」を参照すること。

5. 砂移動の評価に必要な調査

- (1) 既存文献又は現地調査等において、砂の分布、底質（砂の粒径や比重、水平及び鉛直分布等）が把握されていることを確認する。
- (2) 調査は、伝播経路と想定される範囲において行われていることを確認する。特に敷地前面の海域において行われていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 底質に関する既存文献には、例えば、底質（表層堆積物）分布図、海の基本図（海上保安庁）、採泥による堆積物の記載データなどがある。
- (2) 底質に関する現地調査の手法には、例えば、ドレッジ、グラブ採泥器、柱状試料採取調査、サイドスキャンソナー等がある。

6. 全プロセスの明示

調査の信頼性を確保するために、調査に係る全プロセス（計画策定から調査結果のとりまとめまでの経過）が明示されていることを確認する。

7. 附則

本ガイドに記載されている手法等以外の手法等であっても、その妥当性が適切に示された場合には、その手法等を用いることは妨げない。

また、本ガイドは、今後の新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するよう見直していくものとする。

Ⅲ編：調査に関する信頼性

基準地震動及び基準津波の策定等に当たっての調査については、目的に応じた調査手法が選定されていること、調査手法の適用条件及び精度等に配慮し、調査結果の信頼性と精度が確保されていることを確認する。

1. 調査に関する信頼性

1.1 調査手法に関する信頼性

- (1) 調査手法については、技術進歩を踏まえつつ新しい手法の適用の妥当性を検討した上で、適用条件及び手法の精度等を考慮し、適切なものが選択されていることを確認する。
- (2) 地震に関する歴史記録や伝承の信頼性については、専門家の客観的な評価が参照されていることを確認する。
- (3) 信頼性が高い重要な津波痕跡がある場合は、波源域から痕跡までの範囲についても信頼性の高い地形情報が得られていることを確認する。
- (4) 断層や古津波に関し、他の機関における既存の調査結果を参照する際に、調査仕様を考慮して、結果の信頼性が検討されていることを確認する。

[解説]

津波痕跡高データの信頼度については、それぞれのデータに対し信頼度 A～E の 5 段階に定義し、明示している津波痕跡データベース（東北大学・JNES により公開）が参考となる。

1.2 調査結果に関する信頼性

- (1) 空中写真、断層露頭やトレンチ壁面等の写真やスケッチ、弾性波探査記録、調査のスケッチ、地盤材料試験（岩石試験、土質試験、動的強度試験等）・原位置試験（サウンディング、原位置岩盤試験）の結果、ボーリング柱状図等の調査原資料は、調査目的に応じた十分な精度と信頼性を有していることを確認する。

2. 調査結果の表示

- (1) 各種調査の結果により作成された地質平面図、地質断面図及び速度構造図等は、それらの調査において実施した各種調査や試験の結果等に基づき適切に表示されていることを確認する。
- (2) 建物・構築物が設置される地盤の詳細な地質・地質構造を把握するための調査が複数の手法によって実施される場合には、それぞれの調査及び試験の結果が適切に反映された地質平面図、地質断面図、地盤等級区分断面図が表示されていることを確認する。

〔解説〕

- (1) 活断層、活撓曲、活褶曲、広域的な地形面等の変位・変形を総合的に把握できるよう、これらに関する調査結果等を適切に取りまとめた図を整理して作成する必要がある。
- (2) 活断層は、鮮新世以降に活動した断層や褶曲と関連する場合もあるため、これらの情報を明記した図を作成することとし、評価の際に用いる資料の縮尺等は、以下を原則とする。
 - ① 敷地周辺に関する調査結果をまとめた図は、原縮尺 20 万分の 1 以上で作成する。
 - ② 活断層等に関する調査結果をまとめた図は、調査地域ごとに原縮尺 2 万 5 千分の 1 以上で作成する。
 - ③ 断層露頭及びトレンチ壁面のスケッチや写真は、原縮尺 20 分の 1 以上で作成する。
- (3) 陸域・海域の弾性波探査記録の断面図は、地質構造を解釈する上で適切な縮尺や縦横比で作成することが必要である。その際、多重反射やノイズの除去処理等のデータ処理を必要に応じて適切に行うこと。
- (4) 炉心予定位置を中心とした範囲については、原縮尺 5 千分の 1 以上で作成された地質平面図及び鉛直地質断面図（少なくとも直交 2 方向又はこれに準ずる 2 方向）として表示することが必要である。
- (5) 建物・構築物が設置される地盤については、原則として施設の基礎底面レベルにおける原縮尺千分の 1 以上で作成された水平地質断面図・水平断面地盤等級区分図（それぞれ少なくとも 1 つずつ）及び炉心予定位置を通り互いに直交する同縮尺の鉛直地質断面図・鉛直断面地盤等級区分図（それぞれ 2 つ以上）を表示する必要がある。
- (6) 試掘坑での調査結果について、岩石等の種類、地質境界、断層・破碎帯等の分布・規模・性状・連続性、風化や変質の状況、地盤等級区分等が表示された原縮尺百分の 1 程度の試掘坑展開図を示す必要がある。
- (7) ボーリング調査結果として、岩石等の種類、風化や変質の状況、破碎帯・節理等の分布・規模・性状・連続性、地盤等級区分、コアの採取状況、地下水理特性等が表示されたボーリング柱状図を示す必要がある。
- (8) 地盤材料試験（岩石試験、土質試験、動的強度試験等）及び原位置試験（サンディング、原位置岩盤試験）の結果は、適切な図表等を示す必要がある。なお、断層破碎帯等の弱層については、試料を採取した地盤や試験地盤の性状等を示すこと。
- (9) 建物・構築物が設置される地盤については、地盤等級区分に応じた地盤の物理・力学特性を適切な図表等に表示する必要がある。

〔参考〕 調査及び調査結果に基づく評価の進め方

事業者が、調査及び調査結果に基づく評価結果の信頼性を確保するためには、調査及び調査結果に基づく評価を、以下のような進め方により公開の場において透明性を確保して進められていることが望ましい。

1. 調査の進め方

1.1 進め方の方針

- (1) 対象とする調査を専門家意見に基づき進める場合には、対象事案の技術的難易度によって、専門家意見が分かれる場合が考えられる。効率的な調査のためには、広範囲な専門家意見を反映するために、専門家の選定、調査手法の選定、意見集約の仕方等に工夫が必要である。
- (2) 調査開始に当たっては、まず、対象事案が技術的難易度として、どの程度かを見極め、専門家の選定、調査手法の選定、意見集約の仕方等について、公開の場で透明性を確保しつつ、科学的合理的な検討の進め方を明確にする。
- (3) 検討の仕方についての手順を設定する。
- (4) 検討手順としては、外的事象の不確実さの取り扱いの仕方として、次の手順が国内外で適用されている。

1.2 検討手順の概要

- (1) 対象とする各調査及び調査結果に基づく評価の技術的な難易度を判断し、それらのレベルに応じて専門家の活用水準（1.3（1）日本原子力学会標準参照）を判断する。
- (2) 技術的な難易度が高いと判断された場合、専門家の意見統合を図る技術的な纏め役（TFI：Technical Facilitator / Integrator）を選任し、TFI が専門家によるパネルを編成し、パネルが評価した課題当該分野のコミュニティ分布を公平に集約して、結論あるいは方向性を導出する。
- (3) TFI 及びパネルを構成する専門家の選定について、TFI は、対象とする技術課題に関する専門的知識、意見の抽出方法に関する専門知識を有している必要があり、専門家は対象事案に対する専門性を有すると共に、科学的中立性が求められる。
- (4) TFI や専門家は、それぞれ意見に対して責任を有するが、評価結果に対する責任は有しない。

1.3 検討手順の関連基準

このような評価の進め方は、以下の基準類の中で示されている。

- (1) 日本原子力学会標準「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施

基準：2007, 5.5 節地震ハザード評価における不確実さの取り扱い p45～p49

(2) 米国 原子力規制委員会規準

- ① NUREG/CR-6372 (1997): Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts
- ② NUREG-2117 (2012): Practical Implementation Guidelines for SSHAC Level 3 and 4 Hazard Studies

2. 調査結果に基づく評価の進め方

上記 1. に準拠する。

海上音波探査マニュアル

1. 調査計画・実施に係る審査事項

(1) 調査対象

原子力発電所の立地の際の調査として最も重要な点は、震源又は波源として考慮する活断層や、これに関連する活構造を見逃さないことである。

このため、既往調査でこの後に述べるような必要十分なデータが得られている場合を除き、広域を調査対象としているか確認すること。特に、文献等で指摘された断層については詳しい調査がなされている必要があり、更に、文献等で指摘されていない場合でも、地形や地質構造等から断層の可能性がある場合については調査対象とされているか確認すること。

また、遠方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指摘されていたり、推定される場合には、これも調査対象としているか確認すること。

(解説)

活断層が存在するかどうかは、変動地形学的調査、地質学的調査及び地球物理学的調査等によって総合的に判断する。このことに留意し、最新の知見も踏まえ調査対象とすべき断層が漏れなく選定されている必要がある。

また、大陸棚や大陸斜面などの海底地形や海岸地形について、地形・地質構造発達史的観点からその成因を考察し、活断層の存在する可能性を検討した上で、調査計画が策定されている必要がある。

(2) 既往資料

調査計画の策定に当たって既往の文献や探査記録を適切に参照しているか確認すること。

(解説)

海上音波探査の調査技術は常に進歩しているため、既往の探査記録の調査仕様、分解能等の特徴を良く理解し、調査目的に応じた適切な仕様による調査が行われていることを確認する必要がある。特に、他機関による調査での測線間隔や分解能は、調査目的が異なっているために、原子力発電所の耐震安全性の評価に必要な仕様でない場合がある。

原子力発電所の耐震安全性の評価に必要な探査記録の仕様は、中期更新世以降の地層が、活動性を評価する上で十分に明瞭であること、浅部から深部への変位・変形の累積性の確認ができることが挙げられる。このため、例えば既往資料のエアガ

ンの記録のみでは活動性についての検討が十分実施できない場合や、既往資料のスーパーカー等では分解能が十分でないために、活構造かどうかの判断が難しくデータとして不十分である場合などがある。また、調査時期により測地基準系や測量の精度が異なる点にも留意が必要である。

ただし、既往の探査記録でも活構造の評価に有効なデータが含まれている場合があることから、調査計画がこのことも勘案した上で必要な手法が選択されているか確認する必要がある。

(3) 測線配置

音波探査には、大局的な地質・地質構造の解明を目的とする調査と断層の活動性の評価を目的とする調査があるため、それぞれの目的に応じた適切な測線が配置され、調査を行っていることを確認する必要がある。

①断層の把握

地質構造を大局的にとらえるための格子状の測線のほかに、敷地に与える影響の大きな断層については、断層の端点、断層の三次元形状及び断層相互の三次元的位置関係を正確に把握するために、より密な測線配置となっているか、測線が断層に対して直角に近い角度で配置されているか、最新の文献や海底地形図等を用いて測線配置を検討しているか確認すること。

また、活断層の端部と認定されている場所の延長付近においても、活断層を見逃すことがないように、調査及び検討が十分に行われているか確認すること。

(解説)

一般に、断層の端部付近においては変位量や変形量が少なくなることから断層の活動性の確認が困難になるが、地質構造に直交した測線による調査により、断層端部付近の地質構造が明瞭に確認できる場合がある。

このため、特に敷地に与える影響の大きな断層については、その端部や延長付近において、断層の走向や海底地形から推定される地質構造に対して直交する複数の近接した測線配置により、活動性の変化を連続的にとらえている必要がある。

また、海底地形については、海上保安庁等の調査により海底地形図や海底地形のデジタルデータ等が更新されている場合があり、審査に当たっては最新かつ詳細な海底地形図等を用いて理解する必要がある。

②陸域・海域境界部の調査

陸域と海域の境界部においては、適切な調査により、陸域と海域の地質構造が連続的に把握されているか確認すること。何らかの理由により境界部の調査が実施されていない場合には、その理由の妥当性を確認すること。

(解説)

地形、水深等の制約から、陸域と海域の境界部の調査が可能な範囲は物理的に限られていることに配慮が必要である。

また、海上音波探査の実施が可能な海域においても、現状ではエネルギーは高いが分解能が低い音源を用いる必要があるベイケーブル方式によらざるを得ないことに留意が必要である。

(4) 調査手法

①音源

調査対象海域の水深、地質状況及び調査目的に応じた音源を選択して調査していることを確認する必要がある。更に以下の場合のように、断層等の活動性の評価を慎重に行う必要がある場合には、同じ調査測線上で複数の異なる種類の音源を適切に選択して浅部から深部までを調査し、その結果を基に評価が行われていることを確認する必要がある。

(ア) 中期更新世以降の地層が薄い又は欠落しているため断層等の活動性の判断が難しい場合

(イ) 深部で断層が認められるため浅部を対象とした中期更新世以降の地層の変位・変形の有無の確認が必要な場合

(ウ) 浅部の中期更新世以降の地層に断層の活動によるものか否かが不明な形状が認められるため、深部における断層による変位・変形の累積性の確認が必要な場合

(エ) 浅部の反射断面が不明瞭で、断層の有無が確認できない場合

(解説)

海上音波探査において使用される音源には、浅部を詳細に把握できる高分解能の音源（例えばブーマー）や、エネルギーが大きく深部の調査に適した音源（例えばエアガンやウォーターガン）がある。これらは探査可能な深度（可探深度）と地質構造の分解能という点で二律背反である。

具体的には、ブーマーは浅部を高分解能で調査できるが海底下でのエネルギーの減衰が大きく可探深度が限られること、エアガンやウォーターガンは深部への累積性の把握に適しているが浅部の活動性の評価には不向きであることなどである。

したがって、これらは互いに補完される関係にあるため、これらの異なる種類の音源を用いた調査を適切に組み合わせることで、活動性の評価をより正確に行うことが可能となる。なお、異なる種類の音源を用いた反射断面の対比では、その音源特性の違いに留意が必要である。

中期更新世以降の地層の形状が堆積や浸食によるものなのか、断層運動や褶曲による変形なのかを判断するためには、深部の地層の形状や基盤形状が上部の堆積層と調和的であるかどうか、また累積的な変位・変形を示すかどうかを確認する必要があるため、音響基盤の上面及び深部の地層の累重様式が確認できる記録が必要となる場合がある。

②高分解能調査

断層の中期又は後期更新世以降における活動性を評価するためには、分解能の高い音源が用いられ、かつ、SN比に優れたデータ（雑音量（noise）に対する信号量（signal）の比が高いデータ）を得ることが重要であるため、技術的に達成可能な限りこれらが満たされた調査仕様が選定されていることを確認すること。

（解説）

断層の端部などで、中期又は後期更新世以降の活動性を慎重に評価する必要がある場合には、分解能が高く、かつ、反射面が明瞭なデータを取得する必要がある。これには、ブーマー等の高分解能の音源を用いたマルチチャンネル調査によるSN比の高いデータの取得が効果的である。（内湾等で細粒堆積物が分布する極浅部の調査では、シングルチャンネルであってもより周波数の高い音源を用いたシステムが有効）

なお、水深が深いところは受振に時間を要することから発震間隔を長くする必要があり、水平方向の分解能が低下する点に注意が必要である。（逆に海底の多重反射は深いところに出てくるため、真の情報を確認しやすいという面もある。）また、調査時の海況によっては、分解能が著しく低下する場合もある。

③断層の幾何学形状の把握

断層の三次元形状や断層相互の三次元的な位置関係等の断層の幾何学的形状を把握することが重要である。必要に応じて三次元音波探査等適切な探査法が使用されているか確認すること。

（解説）

特に複数の活断層が会合しているところなど、活断層の同時活動（一つの地震と見なし得る連鎖的な断層の破壊）を評価する上で、当該断層の形状や相互の位置関係が重要となる。このため、これらの評価を行う際にはその活動性のほか、断層の三次元形状や位置関係についての検討が必要である。

原子力発電所の耐震安全性の評価のための調査として、三次元音波探査が常に必要となるものではないが、地下の構造や断層間の関係が非常に複雑なため、通常の二次元音波探査では断層の三次元形状又は断層相互の三次元的な位置関係を把

握することが困難な場合には、三次元音波探査が有効である。ただし、測線間隔を反射面の対比が容易に行える程度に二次元音波探査をちゅう密にすることで、同様のデータを得ることができる。

なお、今後、海上音波探査の技術が進歩し、同時に複数のケーブルを曳航した三次元による高分解能マルチチャンネル調査等を行うことが実用的となった際には、当初から当該調査を実施することが推奨される。

(5) 層序区分・地層の編年

地層の編年は音波探査記録により音響的に層序区分された地層の年代を試錐データ、海水準変動曲線との対比、陸・海域の文献との比較・検討等により決定する作業である。

層序区分の妥当性を確認する際には、層序境界の反射面を連続的に追跡していることを確認することが最も重要である。またその際には、各層における内部反射面の有無や内部反射面の形状の特徴に基づいた層序区分の記述、これらを示す典型的な反射断面図及び解釈断面図を考慮すること。更に、層序区分の説明については、適用できる範囲が明示されているか確認すること。

根拠となる試錐データ等と反射面の追跡により地層の編年を行う際には、合理的な理由がない限り、その追跡が困難となるような断層や地質構造をまたいでいないことを確認すること。地層の編年の根拠となる試錐データ等を十分に持っているか確認すること。

また、反射面の追跡の妥当性を高めるため、試錐データ等は可能な限り測線上又はそのごく近傍で取得されていることが重要である。試錐データ等による層序対比では、柱状図と反射パターンとの対比に加えて、火山灰の分析や微化石の分析等により堆積層の年代を特定しているか確認すること。

(解説)

地層の層序区分・編年の妥当性を確認する上で、事業者が行った試錐データ等の取得場所とその内容は非常に重要である。地質構造を適切に把握するためには、可能な限り測線近傍の試錐データ等を多く用いた編年が行われていることが望ましい。ただし、地形、水深等の制約から、試錐等が可能な範囲は物理的に限られていることに配慮が必要である。

2. データの処理と解釈の信頼性に係る審査事項について

マルチチャンネル調査の場合、データ処理のパラメーターの設定や解釈は一義的に決定できるものではないため、事業者の評価の客観性が確保されているか、以下の点に注意して確認が必要である。

なお、シングルチャンネル調査についてもデジタル収録が望ましいが、デジタル収録を行ったものは以下のデータ処理が可能であるため、マルチチャンネル調査と同様の確認が必要である。

(1) データ処理の信頼性

① データ処理一般

事業者のデータ処理が、適切に行われていることを確認すること。

(解説)

事業者が行ったデータ処理のフローを確認し、各処理の考え方や処理前後の比較により、当該処理を採用した理由が妥当であることを確認する必要がある。

これは、海上音波探査のデータ処理は、マルチチャンネルによる調査の場合、データ処理は作業実施者が設定したパラメーターに依存するため、信号処理の過程で真の情報が何らかの原因で弱められたり、偽の情報が現れている可能性があるからである。例えば、ブーマーなど高周波の音源を用いたマルチチャンネル調査の場合、地下深部の音響基盤は高周波成分が伝わらないことから、一般的に深部の高周波成分を除去するフィルター処理を行うことがある。このため、その処理が適切に行われなかった場合には、中期更新世以降の地層の変位・変形の情報までも同時に除去されてしまう可能性がある。また、音源によっては発震波形が複雑なため、最小位相波形化が適切に行われなかった場合には、真の情報が見えづらくなる可能性がある。

したがって事業者が行った多重反射やノイズの除去処理等、データ処理が適切に行われたことを確認することが重要となる。

特に、活断層か否かの判断が難しい反射断面については、当該測線の多重反射やノイズの除去に有効であった処理について、当該処理の適用前後の反射断面図を比較して、判断に必要な真の情報が失われていないことを確認する。

② マイグレーション処理等

マイグレーション処理等が必要に応じ適切に行われていることを確認すること。

(解説)

特に深部の調査について、上に凸の反射波が複数認められる測線については、当該反射波は断層からの回折波の可能性もあるため、マイグレーション処理を行い断層の有無を確認する必要がある。

また、深部の調査について、断層の形状の理解を助けるためには深度変換断面も有効である。ただし、その際に設定された地層の弾性波速度は速度解析の値である場合があり、その場合は地層の真の速度とは限らないことや真の深さに対応

していない場合もあることに留意が必要である。

③縦横比

地質構造を解釈するために適切な縦横比の断面図を用いることが重要であるが、必要に応じて、縦横比を大きくした断面図で活動性を評価すること。

(解説)

中期又は後期更新世よりも古い地層に断層や褶曲構造が認められるが、その上の地層には一見して認められない場合でも、当該測線が活断層の端部付近などその活動性を慎重に検討しなければならない場合には、例えば、縦横比（反射断面を鉛直方向に引き延ばして見やすくした際の比率）が6程度の反射断面図に対し、さらにその2倍から3倍程度引き上げるなど、当該部分の縦横比を通常の反射断面図より上げて活動性を評価することが断層等の解釈に有効な場合がある。

ただし、地質構造の傾斜角が強調されていることから、その傾斜が構造運動によるものか否か慎重に検討する必要がある。また、縦横比を大きくすることで限られた紙面においては水平方向の分解能が低下するため、断層の測線上の位置関係や断層の傾斜角を把握することには不向きであることに注意が必要である。

④ニアトレース及びシングルチャンネル音波探査記録の併用

マルチチャンネルによる調査については、ニアトレース及びシングルチャンネル音波探査記録のデータによる反射断面等を必要に応じ確認すること。

(解説)

マルチチャンネルのデータはシングルチャンネルのデータに比べSN比が向上するメリットがあるが、一方で、前述の処理により真の情報が何らかの原因で弱められたり偽の情報が現れたりするおそれがある。このため、処理の妥当性を確認する必要が生じた場合などに、必要に応じて、マルチチャンネルによる調査を行う際に品質の確認のために記録しているニアトレースや当該測線上で実施したシングルチャンネル音波探査記録を比較資料として用いることが有効である。

(2) 解釈の信頼性

①浅部調査

中期又は後期更新世以降の活動性の解釈は、高分解能の調査手法を用いて行っているか確認すること。

(解説)

断層の活動性評価において重要な中期更新世以降の地層は比較的薄い場合が多

いことから、分解能が高い音源（例えばブーマー等）を用いて行う必要がある。これは、断層構造と誤認する可能性のあるプログラーションパターンなどの傾斜した堆積構造は、分解能が高い音源によって変形構造と区別できる場合があるからである。

②断層等の活動性

断層等の活動性の評価を行う際には、中期又は後期更新世の地層中の反射面だけでなく、層厚変化や同層の基底面の形状も確認すること。

（解説）

中期又は後期更新世の地層中の反射面に有意な変形が認められなくても、同層中の構造と同層基底面の形状が調和的でない場合には、その形状の成因と生じた時期の評価が必要となる。

③陸域・海域境界部の連続性

適切な地質調査、解析及び評価により、海域の地質・地質構造と陸域の地質・地質構造が連続的に把握されていることを確認すること。

（解説）

地質・地質構造は、陸域と海域とが独立に成り立っているわけではなく、一続きの連続した構造として存在している。活断層の評価において、陸域の地質構造と海域の地質構造を連続的に把握することは、重要な課題である。

したがって、陸域と海域の境界部においては、データの取得が困難な場合を除き、連続的に把握することが必要である。

なお、現状で実施可能なベイケーブル方式による調査は、エネルギーは高いが分解能が低い音源を用いる必要があるため、高分解能のデータの取得には限界があり、連続性の解釈に幅が生じる可能性がある点に留意が必要である。

3. 審査に必要な資料について

上記の審査を行うために、以下に示す資料が必要である。

(1) 調査によって得られた全ての反射断面図及び解釈断面図

（解説）

特定の断層に沿った部分だけを整理した断面を見るのではなく、まずは全ての断面を見て、全ての断層や褶曲が構造図に書かれているかどうかを確認する。

ある断層の評価のための測線が、周辺の断層の評価に重要となることがある。このため、全ての測線の記録を確認し、当該測線が評価することを目的とした断層以外の構造についても着目する必要がある。

また、反射断面図は用紙が小さいと反射面が見えづらいことから、大きくて視認性の良い図面での確認が必要となる場合がある。特に断層の中期又は後期更新世以降における活動性を評価する際の判断には、大きなサイズの図面の活用が必要である。

更に、当該測線と交差する測線がある場合には、交差する測線の位置が反射断面図及び解釈断面図に記載されていることを確認し、(2)の測線図により測線間の位置関係を把握する必要がある。

(2) SP又はCMP (GDP)の視認性が高い大きさの測線図

(解説)

反射断面図等が全ての測線の記録であるかを必要に応じて確認するために、また各反射断面図の正確な位置を確認するために(1)の各断面図に発震点(SP:Shot Point)又は共通反射点(CMP:Common Mid Point 又はGDP:Common Depth Point)が表示してあるか確認すると共に、適切な間隔でSP又はCMP (GDP)の位置が表示された視認性の良い大きな測線図が必要である。

(3) 試錐データ等から年代が特定された地層とその境界面を各測線へ追跡した解釈断面図

(解説)

試錐データ等から年代が特定された地層に対比される音響層序区分の展開を実際の各測線の反射断面図で事業者がどのように行ったのか、試錐箇所から各測線への展開の確認を行う必要がある。この場合も、(1)の大きくて視認性の良い解釈断面図で行うと良い。

なお、音響層序区分の展開の確認を行うに当たっては、年代を特定した根拠について、その妥当性をあらかじめ確認しておく必要がある。

(4) 各層の等深線図・層厚分布図

(解説)

当該海域の地質構造発達史的観点での把握や地質構造の大局的な理解を助ける上で、各層の等深線図(コンターマップ)や層厚分布図は有効である。ただし、これらは測線間のデータを内挿又は推測して作成される点に留意が必要であり、層厚

分布図は時間断面か深度変換断面のどちらに基づいて作成されているかを確認する必要がある。

(5) その他の資料 (必要に応じ)

① 船上で取得した処理前のオリジナルデータ及び処理後のSEG-Yフォーマットデジタル・データ

(解説)

事業者が行ったデータ処理及び解釈の妥当性の確認のために行う後述のクロスチェックにオリジナルデータ、データ処理後のSEG-Yフォーマットデジタル・データ及び測量データが必要となる場合がある。クロスチェックを行う場合は事業者これらのデータの提供を求めることとなる。

なお、これらのデータには海上音波探査を実施した調査会社の商業機密が含まれている場合があるため、取扱いには十分な注意が必要である。

② 海象や操船の情報等

(解説)

反射断面を確認する中で、変形しているように見えるがその成因が不明な反射面が確認された場合には、調査実施時の海象や操船の情報など、反射面の解釈を行う上で参考となる情報等を確認することで解決できる場合がある。

4. その他審査の際に留意すべき事項

(1) スケッチは当該測線の概要を理解する上で有効であるが、活構造の判断は反射断面図及び解釈断面図により行うこと。

(解説)

スケッチは概観を把握しやすいという利点があるが、反射断面図と同縮尺とは限らず、トレースが適切に行われているか確認が難しい。一方、解釈断面図は反射断面図上に直接書き込まれるため、反射断面図との比較を行いながら解釈の妥当性の確認を適切に行うことができる。

なお、解釈断面図も解釈された地層境界により先入観を持つおそれがあるため、反射断面図を必ず確認すること。

(2) 必要に応じ、クロスチェックを行うこと。

(解説)

事業者の評価の妥当性を判断するため、必要に応じクロスチェックを行い、事業者が行ったデータ処理やその解釈の妥当性を確認する。その際事業者から提供を受けるデータについては、その取扱いに注意すること。

参考文献

- 原子力安全・保安院原子力発電安全審査課：海上音波探査に関する安全審査要領（案）、耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ、合同W42-3-2
- 岡村行信（2000）：音波探査プロファイルに基づいた海底活断層の認定－fault related fold, growth strata 及び growth triangle の適用－，地質調査所月報 51, 59-77
- 阿部信太郎（1997）：浅海域における反射法地震探査記録の地質構造解釈とデータ処理法の検討，電力中央研究所報告 U97043, 32p
- 阿部信太郎，青柳恭平（2006）：日本列島沿岸海域における海底活断層調査の現状と課題－海底活断層評価の信頼度向上にむけて－，電力中央研究所報告 N05047, 36p
- 物理探査学会：物理探査ハンドブック、1999
- 財団法人日本水路協会：水路測量技術テキスト 水路測量 第3巻、2008
- 社団法人海洋調査協会：海洋調査技術マニュアル ー海洋地質調査編一、2004