

原子力規制庁が収集した地震・津波等の事象に関する知見の分析結果について

令和3年5月18日

原子力規制庁

原子力規制庁では、国内外の原子力施設の事故・トラブルに係る情報に加え、最新の科学的・技術的知見を、規制に反映させる必要性の有無について、整理し認識を共有することを目的とした技術情報検討会（以下「検討会」という。）を開催している。資料2に示すように、検討会では、要対応技術情報（案）やスクリーニングアウトとなった情報の検討結果について原子炉安全専門審査会・核燃料安全専門審査会に報告することとなっており、このうち、自然ハザードに関する情報については、地震・津波部会に報告し、ご審議いただく手順としている。

検討会では、議論された情報に関する対応の方向性の案として、以下のように区分される。

対応の方向性（案）

- i) 直ちに原子力規制部等関係部署に連絡・調整し、原子力規制庁幹部に報告する。
- ii) 対応方針を検討し、技術情報検討会へ諮問する。
- iii) 技術情報検討会に情報提供・共有する。
- iv) 情報収集活動を行い、十分な情報が得られてから再度判断する（必要な場合には安全研究を実施する）。
- v) 安全研究企画プロセスに反映する。
- vi) 終了案件とする。

地震・津波部会は、今回が第1回会合であることを踏まえ、本資料では、直近1年間に開催された検討会で報告された自然ハザードに関する情報のうち、地震・津波等に関する要対応技術情報（案）を以下に示す（上述の「vi）終了案件」を除く。）を報告し、これらの情報についてご審議いただく。なお、検討会で報告されたその他の地震・津波等に関する情報については、資料3-2にまとめた。

NO.	件名	対応の方向性（案）	議論された検討会	日付	資料ページ
1	内閣府「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について（概要報告）」について（案）	iii)	第41回	令和2年5月11日	p. 2
2	内閣府「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について（概要報告）」に関して公開されたデータを用いた分析結果について	—	第45回	令和3年4月14日	p. 23
3	土木学会論文集掲載の論文「海底地すべりによる津波の将来想定手法の提案」について	iii)	第44回	令和3年1月27日	p. 32
4	NRA 技術報告「野島断層の断層破碎物質を用いた地震性すべりの直接的年代測定手法の検証」に係る最新知見について	iii)	第45回	令和3年4月14日	p. 37

1. 内閣府「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について（概要報告）」について（案）

令和2年5月11日

長官官房 技術基盤グループ 地震・津波研究部門
原子力規制部 審査グループ 地震・津波審査部門
原子力規制部 審査グループ 研究炉等審査部門
原子力規制部 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

内閣府「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について
(概要報告)」について (案)

1. 概要

- 内閣府の「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会（以下「本モデル検討会」という。）」は、地震・津波防災対策を行う上で想定すべき最大クラスの地震・津波断層モデルの設定方針や断層モデルによる津波・地震動の推計などの検討結果の概要を令和2年4月21日に公表した。
- 今回の最大クラスの地震・津波断層モデルの検討は、岩手県から北海道の太平洋沿岸地域における津波堆積物の資料を基に推定することを基本としている。
- 千島海溝から日本海溝の北部の領域において、Mw9クラスの科学的に想定され得る最大クラスの津波断層モデルとして、①「千島海溝（十勝・根室沖）モデル」（Mw9.3）と②「日本海溝（三陸・日高沖）モデル」（Mw9.1）を想定し、北海道から千葉県の沿岸での津波の高さや浸水域を推計している。
- 上記①及び②の津波断層モデルの震源域において地震の強震動生成域（以下「SMGA」という。）を配置し、震度分布を推計している。
- 原子力施設所在市町村における津波高及び震度の推計値は以下のとおり。
- なお、本モデル検討会は、今後、具体的な防災対策の検討過程での審議を踏まえ、必要な点検等を行うとともに、最大クラスのモデル検討の考え方や基礎資料等の詳細な分析・整理を行い報告書として取りまとめる予定としている。

表1 原子力施設所在市町村における津波高及び震度の推計値

サイト	所在市町村	津波高 ¹	震度 ²
大間	大間町	10.3m(太平洋側)	5強
東通	東通村	13.9m	6弱
リサイクル燃料 備蓄センター (RFS)	むつ市	13.4m(太平洋側)	6弱

¹ 所在市町村の最大沿岸津波高であり、敷地の最大浸水深ではない

² 参考図集の図から読み取りのため多少の誤差あり

六ヶ所	六ヶ所村	10.7m	6強
女川	石巻市、女川町	13.3m（石巻市） 11.7m（女川町）	5弱
福島第1	大熊町、双葉町	14.1m（大熊町） 13.7m（双葉町）	5弱未満
福島第2	楡葉町、富岡町	13.2m（富岡町） 10.9m（楡葉町）	5弱未満
東海第2、JRR-3 ³ 及び東海再処理 ⁴	東海村	5.0m	— ⁵
HTTR ⁶	大洗町	4.8m	— ⁵

2. 今回の情報を踏まえた規制対応の要否

2.1 新規制基準、解釈及び審査ガイド

- 基準地震動の審査ガイド⁷及び基準津波の審査ガイド⁸では、基準地震動及び基準津波の策定に当たって、プレート間地震の発生様式を考慮することとしている。今回の情報で対象となっている日本海溝・千島海溝沿いの地震は、両審査ガイドで示されている地震の発生様式に該当しているため、両審査ガイドを改訂する必要はない。
- 基準津波の審査ガイドは「3.6基準津波の選定結果の検証」の「3.6.2行政機関による既往評価との比較」において、「波源設定の考え方、解析条件等の相違点に着目して内容を精査した上で、安全側の評価を実施するとの観点から必要な科学的・技術的知見を基準津波の策定に反映されていることを確認する。」としている。今回の情報は、同審査ガイドに示された行政機関による既往評価に該当することから、同審査ガイドを改訂する必要はない。

2.2 新規制基準適合性審査等

- 日本海溝・千島海溝沿いの地震・津波に関する情報は、東北及び北関東地方の原子力施設にとって新規制基準適合性審査に関連する情報である。
- 今回設定された地震・津波断層モデルは、行政機関が想定した新たな地震・津波であり、震源の領域や不均一なすべり分布、推計された津波高さや地震動等の情報は基準地震動・基準津波の策定に関連する情報である。
- 個々の施設に関しては以下のとおり⁹である。

³ Japan Research Reactor-3

⁴ 核燃料サイクル工学研究所の再処理施設

⁵ 未公表

⁶ High Temperature engineering Test Reactor

⁷ 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

⁸ 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド

⁹ 津波高さについては、全て東京湾平均海面（T.P.）換算値

2.2.1 新規制基準適合性審査

(1) 設置変更許可済みの施設（女川、東海第2、JRR-3）

○女川

- ・津波については、審査では、今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震（Mw9クラス：青森県東方沖～茨城県沖及び岩手県沖南部～茨城県沖）の震源域を設定して津波評価を実施し、入力津波高さは23.7mとしていることを確認している。したがって、今回の公表結果（13.3m）は、事業者の評価結果を大きく下回り、基準津波への影響はないと判断する。
- ・地震については、地震動評価において震源域及びその中のSMGA位置の影響が大きく、審査では、今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震（Mw9クラス：三陸沖中部～茨城県沖）の震源域を設定して、地震動評価を実施していることを確認していることから、基準地震動への影響はないと判断する。

○東海第2

- ・津波については、審査では、今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震（Mw9クラス：三陸沖中部～茨城県沖）による津波と比較した上で、茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震（Mw8.7）の震源域を設定して津波評価を実施し、入力津波高さは敷地前面東側：17.9m、敷地側面北側：15.4m、敷地側面南側：16.8mとしていることを確認している。したがって、今回の公表結果（5.0m）は、事業者の評価結果を大きく下回り、基準津波への影響はないと判断する。
- ・地震については、地震動評価において震源域及びその中のSMGA位置の影響が大きく、審査では、今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震（Mw9クラス：三陸沖中部～茨城県沖）の震源域を設定して、地震動評価を実施していることを確認していることから、基準地震動への影響はないと判断する。

○JRR-3

- ・津波については、審査では、今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震（Mw9クラス：三陸沖中部～茨城県沖）による津波と比較した上で、茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震（Mw8.7）の震源域を設定して津波評価を実施し、敷地内での遡上高さは14.6mとしていることを確認している。したがって、今回の公表結果（5.0m）は、事業者の評価結果を大きく下回り、基準津波への影響はないと判断する。
- ・地震については、地震動評価において震源域及びその中のSMGA位置の影響が大きく、審査では、今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震（Mw9クラス：三陸沖中部～茨城県沖）の震源域を設定して、地震動評価を実施していることを確認していることから、基準地震動への影響はないと判断する。

いと判断する。

(2) 審査書案のパブコメ結果を取りまとめ中の施設（HTTR）

○HTTR

- ・津波については、審査では、今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震（Mw9クラス：三陸沖中部～茨城県沖）による津波と比較した上で、茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震（Mw8.7）の震源域を設定して津波評価を実施し、敷地前面での遡上高さは17.8mとしていることを確認している。したがって、今回の公表結果（4.8m）は、事業者の評価結果を大きく下回り、基準津波への影響はないと判断する。
- ・地震については、地震動評価において震源域及びその中のSMGA位置の影響が大きく、審査では、今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震（Mw9クラス：三陸沖中部～茨城県沖）の震源域を設定して、地震動評価を行っていることを確認していることから、基準地震動への影響はないと判断する。

(3) 補正書及びまとめ資料を確認中の施設（六ヶ所、リサイクル燃料備蓄センター）

○六ヶ所

- ・津波については、審査では、敷地前面にMw9クラスのプレート間地震（三陸沖北部～根室沖）による津波波源を設定し、すべり量が既往知見を大きく上回るモデルで評価を行い、沿岸での評価津波高さは24.8mと評価し、敷地（標高40m以上）に浸水しないとしていることを確認している。したがって、今回の公表結果（10.7m）は、事業者の評価結果を大きく下回り、これまで審査において確認してきた津波評価への影響はないと判断する。
- ・地震については、審査では、敷地前面に「日本海溝（三陸・日高沖）モデル」と同規模のMw9クラスのプレート間地震（三陸沖北部～根室沖、三陸沖北部～宮城県沖）を設定し地震動評価を行っていることを確認している。また、地震動評価に影響の大きいSMGAの短周期レベルは既往知見を上回るように設定しているとともに、不確かさケースとしてSMGAの位置を敷地に近づけたケースを実施していることを確認している。さらに、プレート間地震の地震動評価結果と基準地震動として選定されている内陸地殻内地震の出戸西方断層による地震の地震動評価結果を比較すると、出戸西方断層による地震の地震動評価の応答スペクトルの方が全周期帯にわたって有意に大きいことを確認している。以上のことから、これまで審査において確認してきた基準地震動への影響はないと判断する。

○リサイクル燃料備蓄センター

- ・津波については、審査では、青森県想定（三陸沖中部～三陸沖北部）の2倍の津波高である仮想的な大規模津波を想定し、沿岸での評価津波高さを23mと評価していることを確認している。したがって、今回の公表結果（13.4m）は、事業者の評価結果を大きく下回り、これまで審査において確認してきた津波評価への影響はないと判断する。
- ・地震については、審査では、敷地前面に「日本海溝（三陸・日高沖）モデル」と同規模のMw9クラスのプレート間地震（三陸沖北部～根室沖、三陸沖北部～宮城県沖）を設定し地震動評価を行っていることを確認している。また、地震動評価に影響の大きいSMGAの短周期レベルは既往知見を上回るように設定しているとともに、不確かさケースとしてSMGAの位置を敷地に近づけたケースを実施していることを確認している。さらに、プレート間地震の地震動評価結果と基準地震動として選定されている内陸地殻内地震の横浜断層による地震の地震動評価結果を比較すると、横浜断層による地震の地震動評価の応答スペクトルの方が全周期帯にわたって有意に大きいことを確認している。以上のことから、これまで審査において確認してきた基準地震動への影響はないと判断する。

(4) 地震動及び津波を審査中の施設（大間、東通）

今後の審査の中で対応する。

2.2.2 新規制基準適合性審査以外の審査

○東京電力福島第一原子力発電所

- ・津波については、東北地方太平洋沖地震相当の約14mの津波高さに対し、津波による建屋内滞留水の流出リスクを低減する目的で建屋開口部の閉止作業を2021年度末までの完了を予定している。今回の公表による津波高さは、福島県双葉郡双葉町（発電所敷地北部）における最大沿岸津波高13.7m、双葉郡大熊町（発電所敷地外の南方）における最大沿岸津波高14.1mとなっており、これとほぼ同程度の津波高さに対して対策を講じることとしている。

また、東京電力では、想定を超える津波の襲来後においても対処可能な可搬式設備等を高台（約33m）に用意している。

- ・地震については、公表された地震の震源域が発電所敷地から十分に遠方に位置しており、また、立地町における震度が5弱未満であることから、施設の耐震安全性に影響はないと判断する。

○東海再処理

- ・津波については、審査では、東海第2及びJRR-3と同様に今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震（Mw9クラス：三陸沖中部～茨城県沖）に

よる津波と比較した上で、茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震 (Mw8.7) の震源域を設定して津波評価を実施し、入力津波高さは13.6m としていることを確認している。したがって、今回の公表結果 (5.0m) は、事業者の評価結果を大きく下回ることから、廃止措置計画用設計津波への影響はないと判断する。

- 地震については、地震動評価において震源域及びその中のSMGA位置の影響が大きく、審査では、東海第2及びJRR-3と同様に今回の震源域より近い東北地方太平洋沖型地震 (Mw9クラス：三陸沖中部～茨城県沖) の震源域を設定して、地震動評価を実施していることを確認していることから、廃止措置計画用設計地震動への影響はないと判断する。

3. 今後の対応

- 設置変更許可済みの施設 (女川、東海第2、JRR-3)、審査書案のパブコメ結果を取りまとめ中の施設 (HTTR) については、今回の情報は基準津波等への影響はないと判断されるので、特段の対応を要しない。
- 補正書及びまとめ資料を確認中の施設 (六ヶ所、リサイクル燃料備蓄センター) については、今回の情報はこれまで審査において確認してきたことに影響はないと判断されるので、特段の対応を要しない。
- 地震動及び津波を審査中の施設 (大間、東通) については、今後の審査の中で確認していく。
- 東京電力福島第一原子力発電所については、特定原子力施設監視・評価検討会等において計画している津波対策が予定どおり着実に実施されていることを確認していくとともに、必要に応じて追加対策を検討する。
- 東海再処理については、今回の情報は廃止措置計画用設計津波等への影響はないと判断されるので、特段の対応を要しない。
- 今回の情報では、「本概要報告で取り纏めた震度分布・津波高等は、被害想定を検討する過程において、改めて検証した結果、修正されることがある。」とのことから、引き続き、本モデル検討会の動向を注視していく。また、地方自治体が今回の情報に基づいて津波想定を改訂する可能性がある。そのため、引き続き、公表される知見の収集を進めていく。

令和2年4月21日
内閣府（防災担当）

日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について（概要報告）

1. はじめに

日本海溝及び千島海溝沿いの領域では、プレート境界での地震、地殻内や沈み込むプレート内での地震等、マグニチュード（M）7からM8を超える巨大地震や、地震の揺れに比べ大きな津波を発生させる“津波地震”と呼ばれる地震まで、多種多様な地震が発生しており、幾度となく大きな被害を及ぼしてきた。

このため、過去に発生が確認されている地震を対象として策定された「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進基本計画」（平成18年3月）等に基づき防災対策を推進してきたところ、平成23年（2011年）3月11日、従来の想定を遙かに超えるM9.0の東北地方太平洋沖地震が発生し、宮城県栗原市で震度7、宮城県・福島県・茨城県・栃木県で震度6強を観測した他、東北地方から関東地方北部の太平洋側沿岸に巨大な津波が襲来し、死者・行方不明者（震災関連死も含め）2万2千人以上、全壊家屋12万棟以上などの甚大な被害が発生した。

この教訓を踏まえ、中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」の報告（平成23年9月）は、今後の地震・津波対策の想定は、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきである」とし、「最大クラスの津波に対しては、避難を軸に総合的な津波対策をする必要がある」と提言している。

日本海溝及び千島海溝沿いの海溝型地震についても、このような考え方に沿い、最大クラスの地震・津波を想定した検討を行うため、平成27年（2015年）2月に「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会（以下、「本モデル検討会」と呼ぶ）」（座長：（第1回～第7回）阿部勝征 東京大学名誉教授、（第8回～）佐竹健治 東京大学地震研究所教授）を内閣府に設置し、日本海溝・千島海溝沿いの海溝型地震に係る各種調査結果や科学的な知見等を幅広く収集し、防災の観点から分析・整理するなどして検討を進めてきた。

今般、本モデル検討会における最大クラスの地震・津波断層モデルの検討結果を踏まえ、中央防災会議防災対策実行会議の下に「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ（WG）」が設置され、当該地域における被害想定及び対策を検討する運びとなった。

本概要報告は、今後のWGでの検討のほか、道、県での検討に資するため、最大クラスの津波断層モデル検討の基本的な考え方や震度分布、津波高、浸水域の推計結果等の本モデル検討会での検討の主要な事項について、事務局（内閣府）で取り纏めたものである。

2. 最大クラスの津波断層モデルと強震断層モデル

(1) 検討対象領域と検討における基本的な考え方

東北地方太平洋沖地震は、日本海溝で発生した最大クラスの地震で、震源断層域は岩手県沖から茨城県沖までの広範な領域に及んでいるが、その主たる「大すべり域」は宮城県沖の領域にある。今後、この大すべり域の北側領域（岩手県沖以北の日本海溝及び千島海溝沿いの領域）、あるいは南側領域（福島県以南の日本海溝及び伊豆・マリアナ海溝沿いの領域）で、大すべりが発生し、巨大な津波を伴う最大クラスの地震となる可能性が考えられる。

しかしながら、これら両領域は、北側は岩手県沖からカムチャツカ半島までの約2,400km、南側は福島沖から伊豆・小笠原海溝の南端まで2,000km以上にも及んでいる。このような広範な領域をほぼ同時に破壊するような地震は知られていないのと同様に、その領域のどの区域で最大クラスの地震が発生するのか、それがM9を上回った場合に断層のすべり量がどの程度の大きさになるのかについての蓋然性の高い推測は、現在の科学的知見では困難である。

一方で、地震調査研究推進本部は、宮城県等の海岸域での過去3千年間の津波堆積物の調査資料から、東北地方太平洋沖地震と同程度の巨大な津波は、550～600年間隔で5回発生していることを示している。他の地域でも、これと同程度の発生頻度で最大クラスの津波が発生しているとする、過去3千年以上の津波堆積物の調査資料から、その間に発生した最大クラスの津波を推定できることを示唆する。この考え方を基にして、本モデル検討会では、過去6千年間の津波堆積物から想定される最大の津波断層モデルを、防災対策の観点から想定する最大クラスの津波断層モデルとして取り扱うこととした。

津波堆積物の調査資料については、岩手県から北海道の沿岸では、最大クラスの検討に必要な過去6千年間にわたる資料が調査されているが、福島県以南の沿岸においては資料が不足している。そのため、今回の検討では、岩手県から北海道の海溝沿いの領域における最大クラスの津波断層モデルを対象とすることとし、福島県以南の領域については、津波堆積物調査の進展を待つこととし、今後の課題とした。

(2) 最大クラスの津波断層モデル構築の基本的な考え方

今回の最大クラスの津波断層モデルの検討は、上述したとおり、過去約6千年間における津波堆積物資料を基に推定することを基本としている。岩手県から北海道の太平洋沿岸地域における津波堆積物の資料から、最大の津波によると考えられる津波堆積物は、岩手県から北海道の日高支庁以西の海岸領域では、12～13世紀あるいは、1611年慶長三陸地震または17世紀に発生した津波によるものが相当している。北海道の十勝支庁から根室支庁にかけての海岸領域では、12～13世紀あるいは、17世紀に発生した津波によるものが最大の津波によるものと考えられる。

これらの資料から最大クラスの地震の発生確率を求めることは困難であるが、12～13世紀の津波と1611年あるいは17世紀の津波との間隔が約3～4百年であり、17世紀の津波からの経過時間を考えると、いずれの領域においても、最大クラスの津波の発生が切迫している状況にあると考えられる。

(3) 二つの領域における最大クラスの津波断層モデルの構築

今回の検討対象領域で地震が発生した場合、海域で発生した津波は、震源域に面した海岸に大きな津波として伝播する特性を持つことから、東北地方の沖合で発生した地震による津波は、東北地方の海岸では大きいのに比して、北海道の襟裳岬より東の海岸への影響は小さく、逆に、北海道東部の太平洋沿岸で発生した地震による津波は、北海道東部の太平洋の海岸では大きいのに比して、東北地方の海岸、北海道の日高支庁以西の海岸への影響は小さい。

即ち、それぞれの海岸での最大の津波によると考えられる堆積物は、その海岸に面した海域で発生した津波によるものと考え、大きな津波を発生させる地震の領域は、岩手県沖から北海道日高地方の沖合の日本海溝沿いの領域と、襟裳岬から東の千島海溝沿いの領域とに区分けして検討することとした。ここでは、前者の領域を対象に検討したモデルを「日本海溝（三陸・日高沖）モデル」、後者を「千島海溝（十勝・根室沖）モデル」と呼ぶこととする。

推定された最大クラスの津波断層モデルの地震の規模は、日本海溝（三陸・日高沖）モデルがMw9.1、千島海溝（十勝・根室沖）モデルがMw9.3である。

(4) 地震の連動性に対する津波の推計結果の取扱い

日本海溝沿いと千島海溝沿いの地震が連動して発生したかについては、その発生メカニズムを含め関心の高いところである。しかしながら、津波堆積物の年代資料からは、この課題に関する詳細な分析は、今のところ困難である。

今回の「日本海溝（三陸・日高沖）モデル」と「千島海溝（十勝・根室沖）モデル」のそれぞれから推計される津波は、二つの領域での地震が連動したか否かに関わらず、それぞれの領域における最大の津波によると考えられる津波堆積物を説明するモデルとなっている。

被害想定や防災対応の検討で、二つの領域の地震の連動発生を想定する場合には、二つのモデルによる津波を加算して推計するのではなく、二つのモデルから推計される津波の最大のものを選択する方式により得られた津波高、浸水域等を用いることが妥当と考える。

(5) 最大クラスの津波発生時の強震断層モデル

最大クラスの津波断層モデルとは別に、この海溝型の断層が擦れ動いた際に発生する強震動を推定するためのモデルを、「最大クラスの津波発生時の強震断層モデル」として検討した。

強震断層モデルの検討においては、南海トラフの強震断層モデルの検討と同じく、海溝型地震の強震動生成域（SMGA）は、過去発生した地震のSMGAと概ね同じ領域にあるとの考えを基本的な考え方とした。この基本的な考え方を基に、日本海溝から千島海溝沿いで発生した過去の地震のSMGA（SMGAが求められていない地震はアスペリティ）を参考にしてSMGAを設置した。SMGAの面積と、SMGAのモーメントマグニチュード（Mw）との関係については、南海トラフ等の検討で用いた内閣府の関係式を用いた。

強震断層モデルは、「日本海溝（三陸・日高沖）モデル」と「千島海溝（十勝・根室沖）モデル」のそれぞれの最大クラスの津波断層モデルに対応するものを想定した。

なお、この強震断層モデルは、海溝地震発生時の強震動を推計するためのモデルであり、それぞれの地点における最大の揺れとなる地震については、沈み込むプレート内で発生する地震、地殻内で発生する地震が別途あることに留意する必要がある。

3. 津波高・浸水域について

(1) 津波高、浸水域等の推計条件等

検討した最大クラスの津波断層モデルをもとに、津波シミュレーション計算を実施し、海岸沿いにおける津波の高さや、浸水域の推計を実施した。

今回の推計結果は、避難等を軸にした対策の検討に活用されるものであることから、潮位は満潮位、堤防は津波が越流すると破堤する条件で推計している。また、断層変位により陸域の地盤が隆起した場合には、南海トラフの巨大地震検討会と同様に、隆起量は考慮しない方式としている。

それぞれの津波断層モデルによる海岸での津波の高さの推計結果、シミュレーション計算の条件については、参考図表集に示す。

(2) 津波高・浸水域の推計結果

今回推計された海岸沿いにおける津波の高さや浸水域については、別添資料に示す。東日本の太平洋沿岸の極めて広い範囲で大きな津波が想定される。東北地方太平洋沖地震の津波高と比較すると、青森県以北では今回推計した津波高の方が高いが、岩手県内では、海岸地形にもよるが、宮古市付近より北で今回推計した津波高の方が高くなる場所がある。

各地域における主な津波高等を北海道から東北地方にかけて例示すると次のとおりである。

- ・北海道では、根室市からえりも町付近にかけて10～20mを超える津波高となっており、高いところではえりも町で30m弱。えりも町より西側の地域においても苫小牧市や函館市などで10m程度の津波。
- ・青森県では、八戸市で高いところでは25mを超える津波高となるなど、太平洋沿岸で10～20m程度の高い津波。
- ・岩手県では、宮古市で高いところでは30m近い津波高となるなど、10～20m程度の高い津波。
- ・宮城県以南については、宮城県や福島県などで場所によっては10mを超える津波高であるが、一部の地域を除き東日本大震災よりも低い。

4. 震度分布について

(1) 最大クラスの津波発生時の強震断層モデルによる震度分布の推計条件

今回想定した強震断層モデルの強震動生成域（SMGA）をもとに、統計的グリーン関数法で強震動を推計した。強震動の推計は、250mメッシュで行った。但し、広域図で震度分布を概観するには、250mメッシュでは細かすぎて全体像が把握できない

いことから、広域図においては、1 kmメッシュでその中の最大の震度で示すこととした。

(2) 震度分布の推計結果

推計された震度分布等については参考図表集に示す。岩手県から北海道の太平洋側の広い範囲で強い揺れが推定されている。各地域における大きな震度の主なものを北海道から東北地方にかけて例示すると次のとおりである

- ・北海道厚岸町付近で震度7
- ・北海道えりも町から東側の沿岸部では震度6強
- ・青森県太平洋沿岸や岩手県南部の一部で震度6強

5. 留意点について

(1) 今回推計した震度分布・津波高・浸水域は、広範囲に及ぶ領域での全体を捉えた防災対策の参考とするために推計したものであり、必ずしも各局所的な地先において最大となる震度分布・津波高等を示しているものではない。例えば、津波計算については便宜上最小10mメッシュの計算格子を地形と堤防データによって構成したシミュレーションモデルを用いて計算しており（建物は粗度係数と呼ばれる摩擦係数に置き換えて計算）、このような一定条件下における計算モデルによる推計結果であることに留意する必要がある。また、使用した地形や堤防データは、道県からの提供データを用いているが、作成された時期により現状とは異なる場合があることにも留意する必要がある（注：宮城県については、最新のデータは整備中のため、震災前のデータを用い計算している）。

(2) 地震・津波は自然現象であり不確実性を伴うものであることから、今回推計した震度分布・津波高等はある程度幅を持ったものであり、必ずしも今回の推計結果とおりになるとは限らず、場合によってはこれを超えることもあり得ることに注意することが必要である。

(3) 本モデル検討会での検討は、一般的な防災対策を検討するための最大クラスの地震・津波を想定したものである。より安全性に配慮する必要がある個別施設の検討については、それぞれ個別施設の設計基準等に基づき地震・津波の推計を行う必要がある。

(4) 「最大クラスの津波発生時の強震断層モデルによる震度分布」は、最大クラスの津波断層モデルがずれ動いた際に、地震動による堤防への影響を評価するためのもので、それぞれの地域における最大の震度を想定したものではない。それぞれの地域での最大の震度については、プレート内で発生する地震、地殻内で発生する地震等、別途検討が必要である。

- (5) 本モデル検討会で想定した最大クラスの津波は、「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」報告に示されている二つのレベルの津波のうち、「発生頻度は極めて低いものの、甚大な被害をもたらす最大クラスの津波」に相当するものである。一般的に、最大クラスの津波の発生頻度は極めて低いものである。巨大な津波が切迫した状況にあるとは言え、次に発生する津波が必ずしも最大クラスの津波であるとは限らない。
- (6) 上記の報告では、最大クラスの津波に対しては、「住民等の生命を守ることを最優先とし、住民の避難を軸に、総合的な津波対策により対応する必要がある」としている。最大クラスの津波の検討結果の活用にあたっては、このことに留意する必要がある。
- (7) 本概要報告で取り纏めた震度分布・津波高等は、被害想定を検討する過程において、改めて検証した結果、修正されることがある。

6. 今後の予定について

今後、中央防災会議防災対策実行会議の下に設置された「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ(WG)」において、各地域の特性を踏まえ、最大クラスの地震による被害を想定し、具体的な防災対策が検討される運びとなる。

本モデル検討会においても、WGでの検討過程での審議を踏まえ、必要な点検等を行うとともに、最大クラスのモデル検討における考え方や基礎資料等の詳細な分析・整理をおこない報告書として取り纏める予定である。

(添付資料)

①参考図表集

検討の基本的な考え方、津波堆積物調査による過去地震の発生履歴、最大クラスの津波断層モデルと地殻変動、想定される海岸での津波高、強震断層モデルの強震動生成域の分布と震度分布、津波計算の条件

②別添資料

日本海溝・千島海溝沿いの最大クラスの津波による浸水想定(道県別資料)

日本海溝・千島海溝沿いの 巨大地震モデルの検討について

(参考図表集)

日本海溝・千島海溝沿いにおける最大クラスの地震の検討（基本的な考え方）

東日本大震災の教訓を踏まえ、津波堆積物調査などの科学的な知見をベースに、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」において検討

最大クラスの地震の検討対象領域

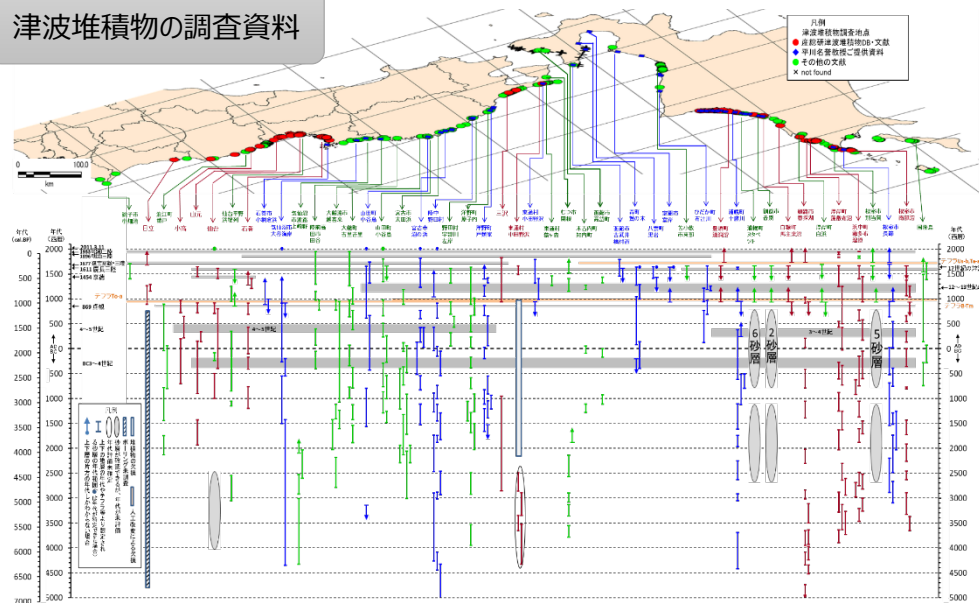
- ・東北地方太平洋沖地震の大すべり域の中心領域に隣接する日本海溝の北部から千島海溝にかけて検討。

最大クラスの巨大地震モデルの検討方針

【過去地震資料】

- ・古文書等 ⇒ 資料が不足
- ・地震規模とすべり量の関係 ⇒ M9以上の適用が難しい
- ・津波堆積物 ⇒ 概ね過去6千年間の調査資料

津波堆積物の調査資料



【日本海溝における津波の履歴】

- ・1611年慶長三陸地震あるいは17世紀の巨大な地震
- ・12～13世紀に巨大な地震
- ・869年貞観地震と同時代、4～5世紀などにも巨大な地震の痕跡

【千島海溝における津波の履歴】

- ・約6500年間に18回の巨大地震の痕跡
- ・直近では17世紀に巨大な地震
- ・12～13世紀、869年貞観地震と同時代、3～4世紀などにも巨大な地震の痕跡

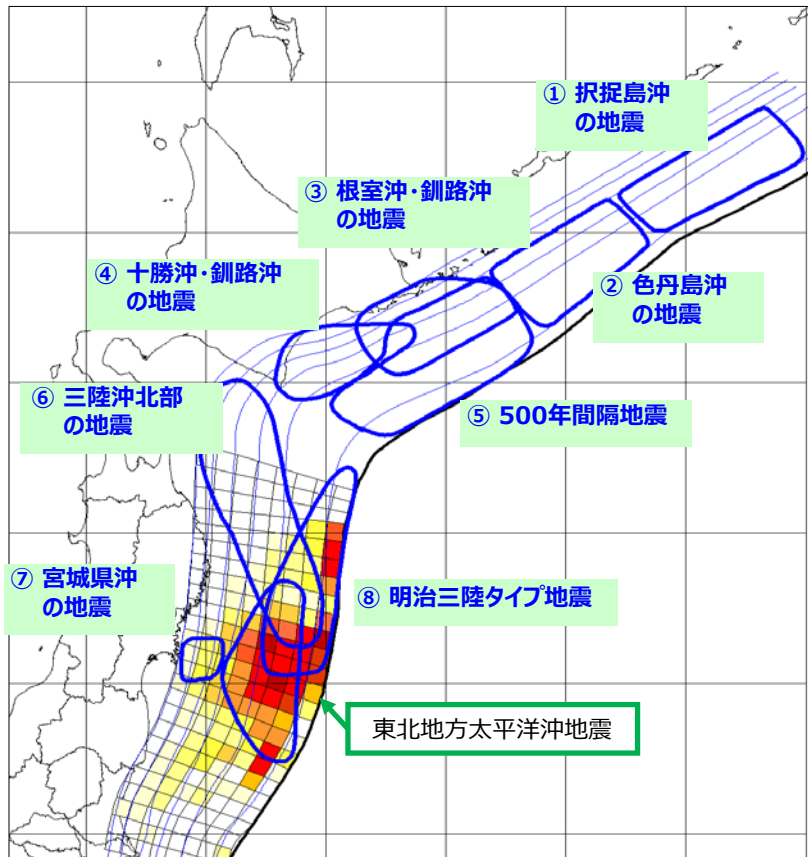
- ・再現に使用する津波堆積物を精査
- ・津波堆積物の地点まで津波を浸水させる断層モデルを逆解析

津波堆積等の調査資料について、これを再現する津波断層モデルを検討

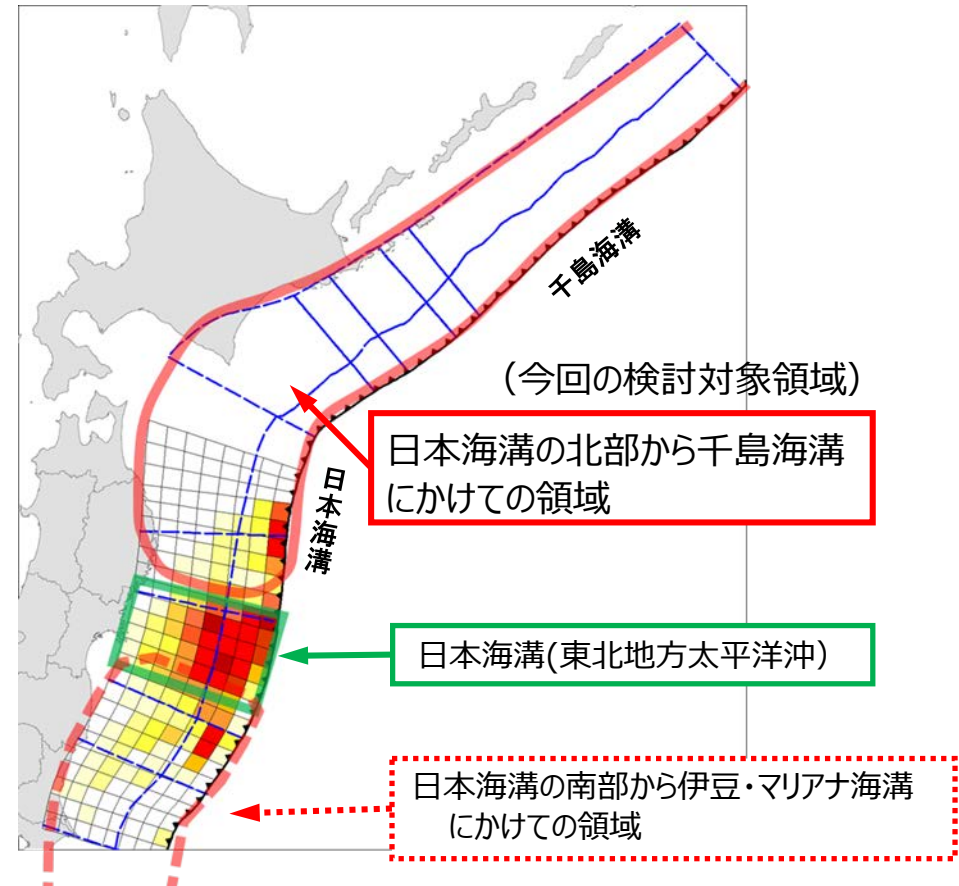
日本海溝・千島海溝沿いにおける最大クラスの地震の検討対象領域

○「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」での検討（平成18年1月公表）

過去に大きな地震が繰り返し発生しているものについては、近い将来発生する可能性が高いと考え、8つの地震を検討対象地震として選定（M8クラス）



○「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」での検討対象領域

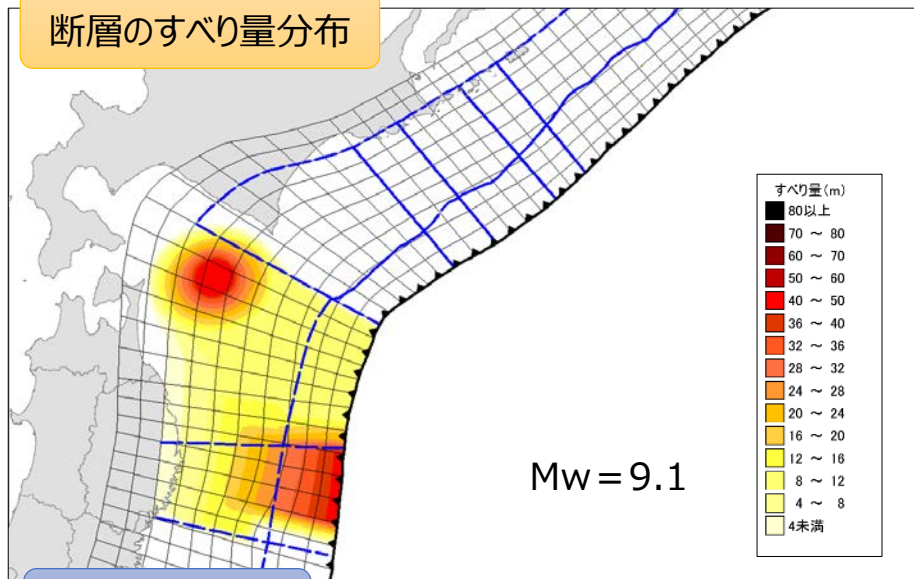


最大クラスの津波断層モデル

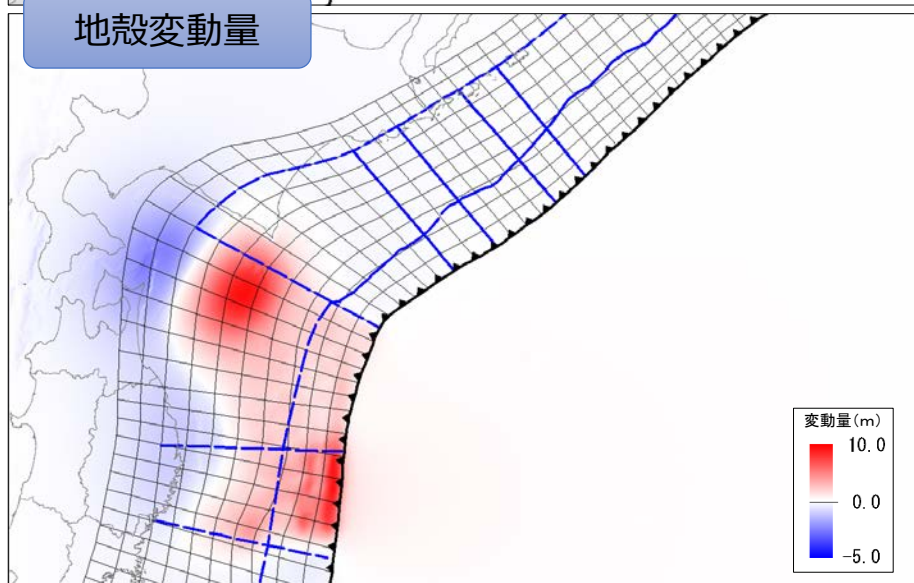
○津波堆積物などのデータを用いて、これらを説明するような津波断層モデルを推定し検討

【①日本海溝（三陸・日高沖）モデル】

断層のすべり量分布

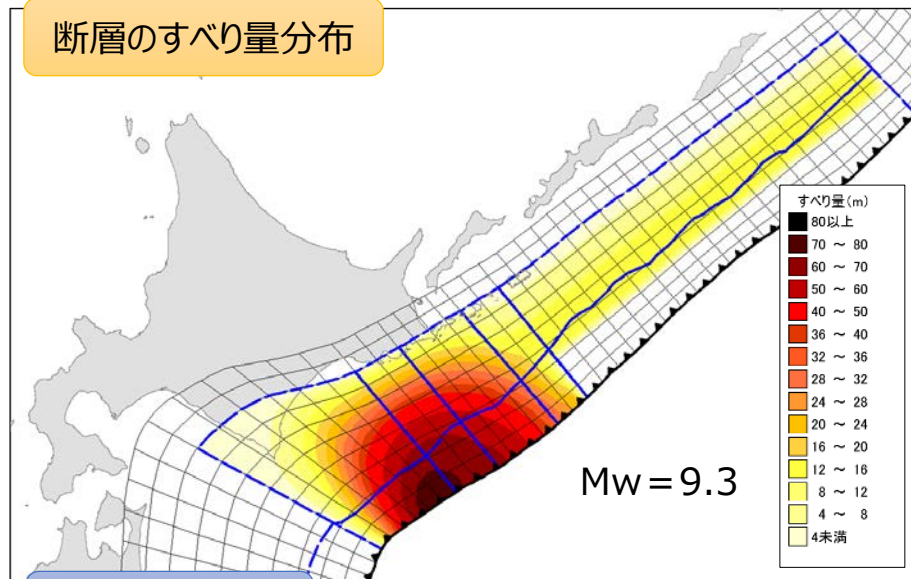


地殻変動量

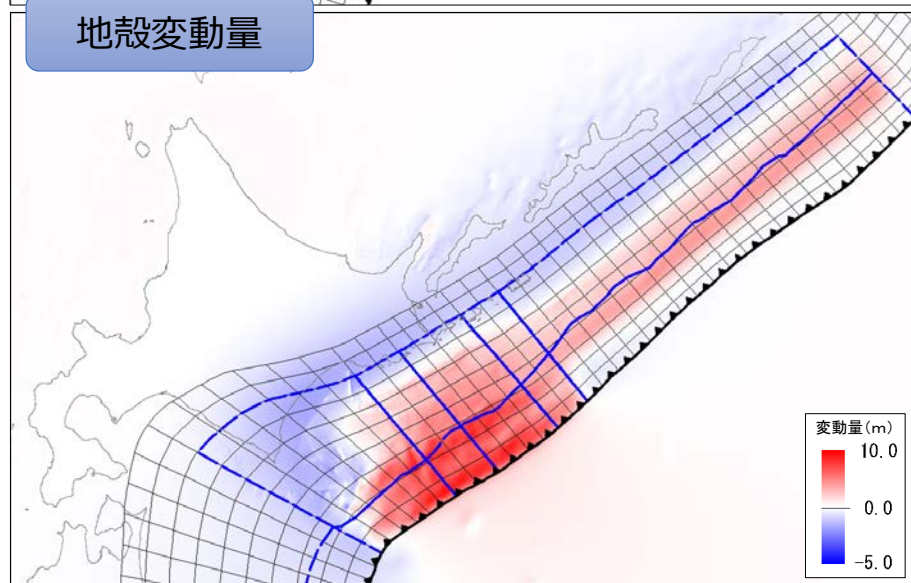


【②千島海溝（十勝・根室沖）モデル】

断層のすべり量分布



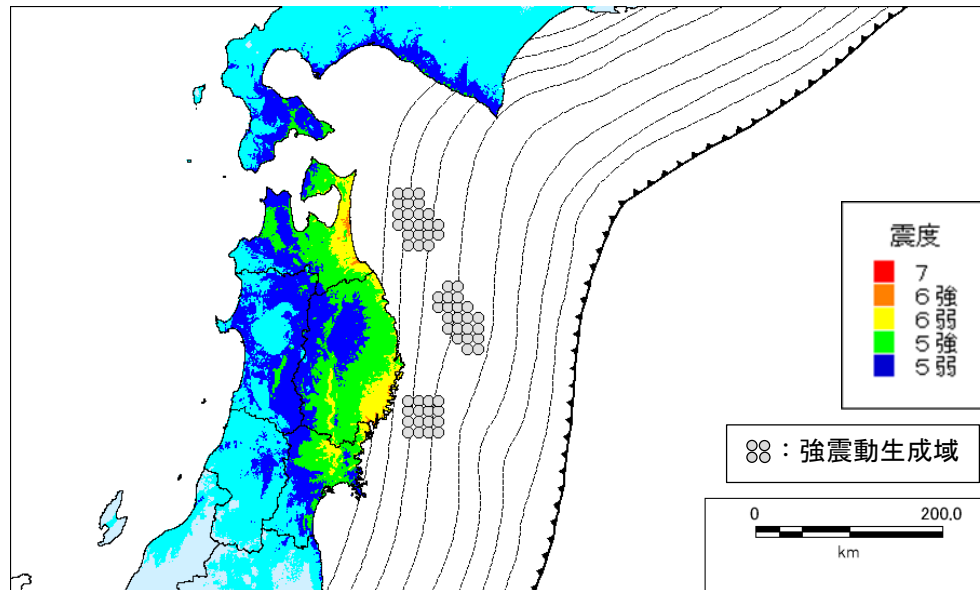
地殻変動量



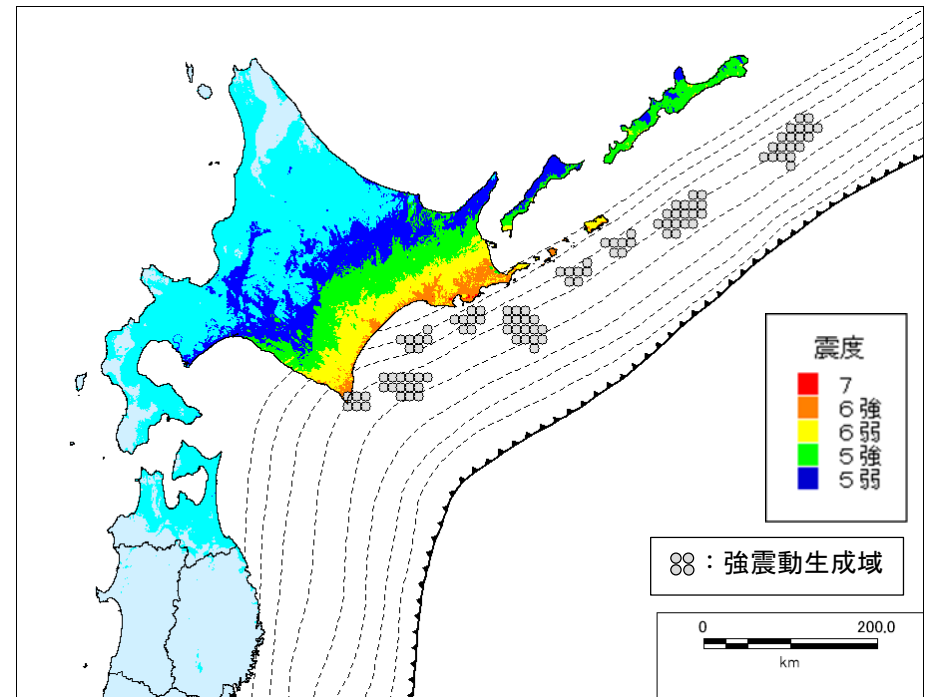
強震断層モデルの強震動生成域の分布と震度分布

津波断層モデルの検討で得られた震源域において、過去の地震や地震活動の状況を参考に、強い揺れの発生源（強震動生成域）を配置し、震度分布を計算

【①日本海溝（三陸・日高沖）モデル】



【②千島海溝（十勝・根室沖）モデル】



・プレート境界の地震としては最大クラスの地震動であるが、プレート内部や地殻内の浅い場所（活断層）で発生した地震の方が揺れの影響としては大きくなる場合があることに留意する必要がある。

津波計算の条件等について

(避難等を軸にした対策の検討のための設定)

項目	本検討での計算条件
支配方程式	非線形長波式
初期水位	断層モデルから計算される鉛直変位に水平変位の寄与を加算し、Kajiuraフィルターを適用 ※地殻変動計算は海洋研究開発機構より提供いただいた有限要素法コードを用いた計算結果を使用
動的断層パラメータの設定	破壊伝播速度 2.5km/s ライズタイム 60秒 ※破壊開始点については日本海溝モデルで2パターン、千島海溝モデルで3パターン考慮。今回示す計算結果はこれらを包含して表示。
潮位条件	朔望平均満潮位
計算格子間隔	陸域：10m 海域：10 m～3,240 m（ネスティング）
境界条件	陸側：小谷ほか（1998） 沖側：完全無反射
地震による地盤変動	<p>海域：隆起・沈降を考慮 陸域：沈降のみ考慮</p> <p>※海岸での津波の高さは陸域の沈降量を加算</p> <p>陸域の隆起量をゼロとし、海岸からの距離が10kmの範囲で海底の隆起量を低減しスムーズに接続</p>
計算時間	12時間
計算時間間隔	C.F.L.条件を満たすとともに計算の安定性等を考慮して設定
打ち切り水深	1cm
堤防等施設	<ul style="list-style-type: none"> ・津波が越流した段階で破堤 ・地震動による影響（破壊・沈下）は震度6弱以上のエリアを対象とし、地震発生から2分後に破壊・沈下とした。 <p>※過去の被害等を参考に震度6弱を閾値としたが、実際にはこれより小さな震度でも地盤条件等により影響が出る場合もあることに留意。 なお、沈下量は各道県で浸水想定が作成された際のデータを参考に設定。なお、岩手・宮城については今回は耐震性が図られていると仮定。</p>

- ・各種データについては、各機関でとりまとめられた成果を収集するとともに、各道県からも津波浸水想定に用いているデータ等を提供いただいた。
- ・なお、宮城県については最新の堤防データ等が未整備のため、震災前のデータを用いて計算を行った。

2. 内閣府「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について（概要報告）」に関して公開されたデータを用いた分析結果について

資料45-2-1-3

令和3年4月14日

長官官房 技術基盤グループ 地震・津波研究部門

内閣府「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について（概要報告）」に関して公開されたデータを用いた分析結果について（案）

1. 概要

- 第41回技術情報検討会（令和2年5月11日開催、以下「前回報告」という。）及び第5回原子力規制委員会（令和2年5月13日開催）において「内閣府「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について（概要報告）」¹⁾について（案）」を報告した（参考資料1）。その際、詳細なデータが公開された場合には、波源設定の考え方や解析条件等に関する分析の要望があったことから、分析の結果を報告する。
- 前回報告の概要は以下のとおりである。
 - ① 内閣府は日本海溝及び千島海溝沿いの海溝型地震について最大クラスの地震・津波を評価するため、強震断層モデル及び津波断層モデルの検討を行った。
 - ② 最大クラスの津波断層モデルは、岩手県から北海道の太平洋沿岸地域における概ね過去6千年間の津波堆積物の地点まで津波を浸水させる断層モデルを逆解析によって求められた（以下「津波堆積物による最大クラスの津波断層モデル」という。）。
 - ③ 最大クラスの強震断層モデルは、津波断層モデルの検討で得られた震源域において、SMGA（強震動生成域）は過去発生したSMGAと概ね同じとし、その面積とモーメントマグニチュードとの関係については、南海トラフ等の検討で用いられた内閣府の式（以下「内閣府の式」という。）を用いて設定された。
 - ④ 新規規制基準及び関連する審査ガイド¹⁾（以下「審査ガイド等」という。）では、地震規模に係るスケーリング則に沿って確立された津波断層モデル（以下「スケーリング則による津波断層モデル」という。）の設定方法が採用され、かつ、基準津波の妥当性確認において、基準津波による津波高さが敷地周辺で確認されている津波堆積物の標高を上回ることを確認しているため、審査ガイド等を改訂する必要はないとした。
 - ⑤ 新規規制基準適合性審査に係る設置変更許可済みの施設、審査書案のパブリックコメント結果を取りまとめ中の施設及び補正書並びにまとめ資料を確認中の施設については、各施設の入力津波と各所在市町村での津波高さの比較

¹⁾ 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド並びに基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド

等に基づき基準地震動及び基準津波への影響はないとのことから特段の対応は要しないと、審査中の施設に対しては審査の中で確認していくとした。

- ⑥ 新規制基準適合性審査以外の審査に係る東京電力福島第一原子力発電所については、計画している津波対策が予定どおり着実に実施されていることを確認していくとともに、必要に応じて追加対策を検討するとした。また、東海再処理については特段の対応は要しないととした。
- 前回報告後、内閣府は「G空間情報センター」²のサイトにて、これに関するデジタルデータを正式に公開した（令和2年12月16日）ことから、公開されたデータを用いた分析を行った。
 - ① 公開されたデータは、最大クラスの強震断層モデル及び津波断層モデルの詳細なデジタルデータであり、前回報告から追加された知見はない。
 - ② 津波堆積物による最大クラスの津波断層モデルは、スケーリング則による津波断層モデルと異なる手法であることから、その地震規模及びすべり量がどの程度のものであるか把握しておくことは規制を行う上で有用な知見となる。
 - ③ そこで、公開されたデジタルデータを用いて、津波堆積物による最大クラスの津波断層モデルとスケーリング則による津波断層モデルとの違いを分析し、その特徴を把握することとした。
 - ④ なお、最大クラスの強震断層モデルの設定に当たっては、内閣府の式が用いられていることから、今回の分析対象から除外した。

2. 公開データを用いた地震規模等に関する分析

2.1 公開データの概要

(1) 津波断層モデルに関するもの

1) 初期水位データ

鉛直方向の地殻変動量に水平方向の地殻変動量の寄与を加算し、Kajiura フィルターを適用したデータ

2) 地殻変動量データ³

断層によるコサイスマミックな地殻変動量（鉛直方向）のデータ

3) 津波断層パラメータ⁴

小断層の緯度経度、深さ、走向、傾斜角、すべり角等

² 一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会が運営・管理しており、様々な主体が様々な目的で整備している地理空間情報（＝G空間情報）の有効活用と流通促進を図ること、また社会課題を解決するアクターの後方支援を行うためのデータ流通支援プラットフォームである。

³ この地殻変動量データは、津波シミュレーションの外力として用いる初期水位データではなく、地震による海底面および地盤面の隆起・沈降を示すデータである。

⁴ 地殻変動量データは、この津波断層パラメータから計算したものではなく、東京大学地震研究所で開発された有限要素法解析コードを用いて海洋研究開発機構で計算された結果を使用した。

- 4) 陸域における津波浸水深データ（最大包絡値）
- (2) 強震断層モデルに関するもの
 - 1) 計測震度
 - 2) 強震断層パラメータ
 - 小断層（SMGA）の緯度経度、深さ、走向、傾斜角、すべり角、応力降下量（30MPa）等

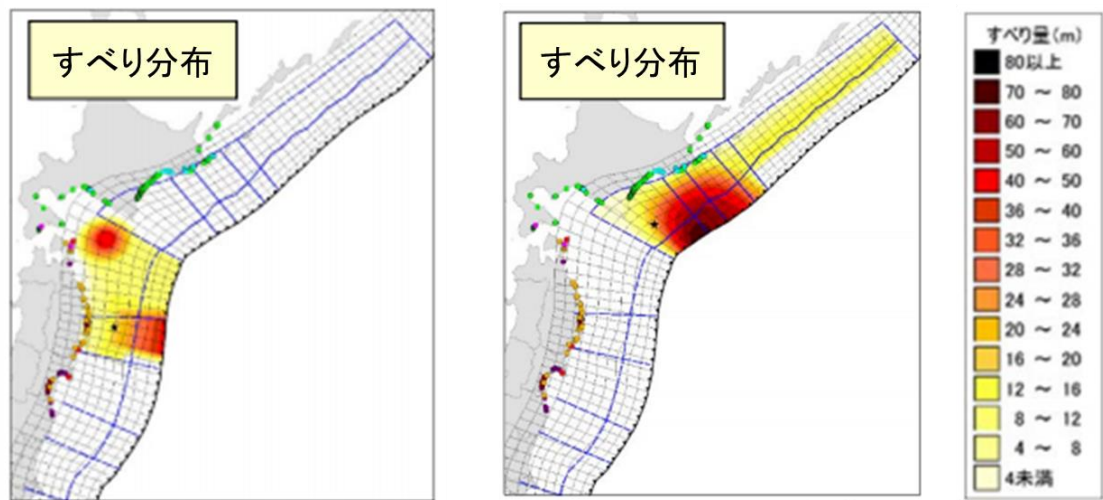
2.2 津波断層パラメータを用いた地震モーメント等の算出

公開された津波断層パラメータを用いて、図1に示す日本海溝（三陸・日高沖）モデル及び千島海溝（十勝・根室沖）モデルそれぞれの地震モーメント、平均すべり量等を算出した（表1）。

算出した地震モーメント（ M_0 ）及び面積（ S ）並びに平均すべり量（ D ）及び面積（ S ）の関係を、スケーリング則による津波断層モデルで用いる手法（これまでの新規制基準適合審査で用いられてきたEshelby（1957）²⁾の円形クラックモデル（以下「円形クラックモデル」という。）及び複数の地震データからの回帰分析した結果であるMurotani et al.（2013）³⁾（以下「回帰分析モデル」という。）と比較した（図2及び図3）。

その結果、津波堆積物による最大クラスの津波断層モデルの地震モーメントは、同じ面積で比較したとき、円形クラックモデルの約2倍、回帰分析モデルの約4倍であった（図2）。また、津波堆積物による最大クラスの津波断層モデルの平均すべり量及び面積の関係も円形クラックモデルの約2倍、回帰分析モデルの約4倍であった（図3）。

津波堆積物による最大クラスの津波断層モデルの地震モーメントが、スケーリング則による津波断層モデルの地震モーメントに比べて大きな値になっているのは、津波発生年代が異なる全ての津波堆積物を、一つの津波断層モデルで再現しようとしたことによると考えられる。



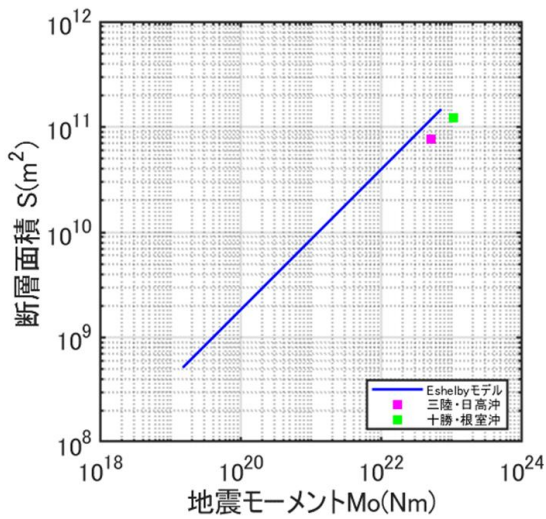
日本海溝(三陸・日高沖)モデル 千島海溝(十勝・根室沖)モデル

(内閣府(2020)に一部追記)

図1 日本海溝(三陸・日高沖モデル)及び
千島海溝(十勝・根室沖モデル)のすべり分布

表1 日本海溝(三陸・日高沖モデル)及び
千島海溝(十勝・根室沖モデル)の津波断層パラメータ

パラメータ	日本海溝(三陸・日高沖)モデル	千島海溝(十勝・根室沖)モデル	設定値
モーメントマグニチュード(M_w)	9.1(9.078)	9.3(9.286)	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$
断層面積(S)	76,332,341,172 (m^2)	123,141,350,441 (m^2)	内閣府(2020)
平均すべり量(D)	14.755 (m)	18.77 (m)	内閣府(2020)から算出: $M_0 / \mu S$
剛性率(μ)	4.63×10^{10} (N/m^2)	4.63×10^{10} (N/m^2)	内閣府(2020): 密度 $\rho \times (S$ 波速度 $V_s)^2$
地震モーメント(M_0)	5.215×10^{22} (Nm)	1.07×10^{23} (Nm)	内閣府(2020)から算出: $\sum \mu \times D_i \times S_i$

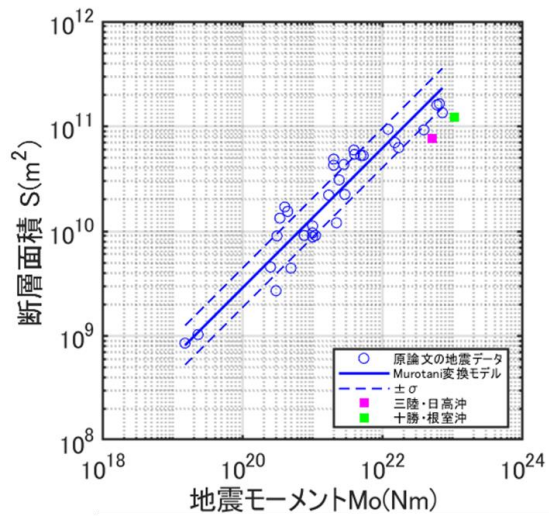


a) 円形クラックモデル

$$S = (7 / (16 * \Delta\sigma))^{2/3} * \pi * Mo^{2/3}$$

$$\Delta\sigma = 3.1 * 10^6$$

(地震本部 2009⁴⁾、杉野他 2014⁵⁾参照)

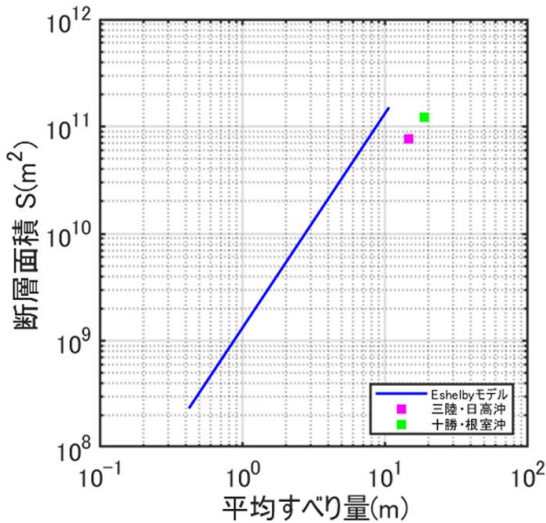


b) 回帰分析モデル

$$S = 1.34 * 10^{-4} * Mo^{2/3}$$

$$\pm\sigma = 1.54$$

図 2 面積 (S) 及び地震モーメント (Mo) のスケーリング則との比較

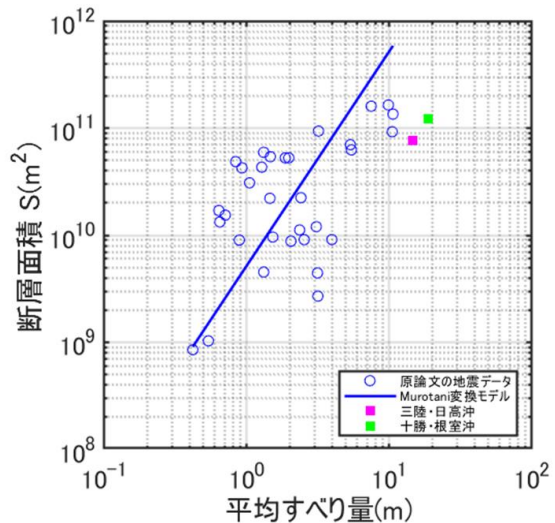


a) 円形クラックモデル

$$S = (7 / (16 * \Delta\sigma))^2 * \pi^3 * (\mu D)^2$$

$$\Delta\sigma = 3.1 * 10^6$$

$$\mu = 4.63 * 10^{10} \text{ (内閣府 2020¹⁾)}$$



b) 回帰分析モデル

$$S = (1.34 * 10^{-4})^3 * (\mu D)^2$$

$$\mu = 4.63 * 10^{10}$$

(内閣府 2020¹⁾)

図 3 面積 (S) 及び平均すべり量 (D) のスケーリング則との比較

2.3 すべり域の累積面積比率

津波堆積物による最大クラスの津波断層モデルの不均一なすべり分布の特徴を把握するため、以下の分析を行った。

- (1) 断層面全体の平均地震モーメントに対する各小断層の単位面積当たりの地震モーメントの比（以下「規格化したすべり量比率」という。）を大きい順に並べる。
- (2) 大きい方から順に規格化したすべり量比率を平均化した値を縦軸に、各小断層の累積面積比率を横軸にとり、すべり量比率とそれが占める面積を算出する。
- (3) 杉野他（2014）⁵⁾の特性化波源モデル（以下「特性化波源モデル」という。）の場合と比較する（図4）。

その結果、日本海溝（三陸・日高沖）モデルは、特性化波源モデルと比べて、平均すべり量の2倍（2D）となる領域の累積面積比率が小さいことを確認した。一方、千島海溝（十勝・根室沖）モデルでは、特性化波源モデルとほぼ同じ累積面積比率であることを確認した（表2）。

2.2の平均すべり量の分析結果も踏まえると、日本海溝（三陸・日高沖）モデルでは、より狭い領域に大きなすべり量が設定されたと考えられる。

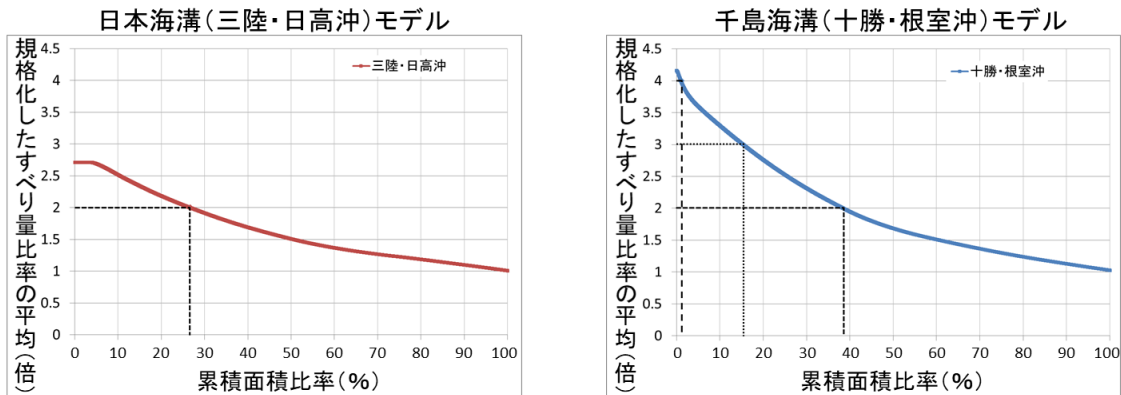


図4 各モデルのすべり域の累積面積比率

表 2 各モデルのすべり域の累積面積比率の比較

	日本海溝 (三陸・日高沖)モデル	千島海溝 (十勝・根室沖)モデル	参考: 杉野他2014 ⁵⁾
平均すべり量:D	14.76m	18.77m	-
4Dの場合の面積比率	-	1%	-
3Dの場合の面積比率	-	15%	15%
2Dの場合の面積比率	27%	38%	40%

3. 今後の対応案

審査ガイド等は、確立した方法として、スケーリング則による津波断層モデルの設定方法を採用して基準津波を想定するとともに、基準津波の妥当性確認として、基準津波の大すべり域の配置等を変化させたときの津波高さが敷地周辺で確認されている津波堆積物の標高を上回ることを確認している。

内閣府の策定した津波堆積物による最大クラスの津波断層モデルによる評価は、津波堆積物の再現による手法であり、その性質上、過去の情報にのみ基づいている。審査ガイド等は「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(3.3.1)」としており、津波堆積物による最大クラスの津波断層モデルによる評価は、基準津波を想定する方法としてこれだけでは十分ではない。このため、津波堆積物による最大クラスの津波断層モデルは審査ガイド等の「行政機関による既往評価」と位置付けて、この津波断層モデルによって評価される津波水位を考慮するのが適当であると考えている。

前回報告では、新規基準及び審査ガイド等を改定する必要はないとしたが、本報告においても新たな知見は得られなかったことから、これに変更はないと考える。なお、現在審査中の施設(大間、東通)については、審査の中で本知見の取扱いを確認していくこととなる。

参考文献

- 1) 内閣府, 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について(概要報告), 2020.
- 2) Eshelby, J. D., The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proc. R. Soc. London, Series A 241, pp. 376-396, 1957.
- 3) Murotani, S., K. Satake and Y. Fujii, Scaling relations of seismic moment, rupture area, average slip, and asperity size for M₉ subduction-zone earthquakes, Geophysical Research Letters, Vol. 40, pp. 5070-5074, 2013.

- 4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)、2009.
- 5) 杉野英治, 岩渕洋子, 橋本紀彦, 松末和之, 蛭沢勝三, 亀田弘行, 今村文彦: プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案, 日本地震工学会論文集, 第14巻, 第5号, 2014.

3. 土木学会論文集掲載の論文「海底地すべりによる津波の将来想定手法の提案」について

土木学会論文集掲載の論文「海底地すべりによる津波の将来想定手法の提案」について（案）

令和3年1月27日
技術基盤グループ地震・津波研究部門
原子力規制部地震・津波審査部門

1. 背景

設置許可基準規則¹第5条（津波による損傷の防止）は「設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波（以下「基準津波」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」とし、その解釈別記3第5条第2項において、津波を発生させる要因として海底地すべりを考慮することを求めている。

審査においては、基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド（以下「津波審査ガイド」という。）に基づき、事業者が海底地すべりによる津波評価を実施していることを確認しており、海底地すべりによる津波評価には、過去の海底地すべりの痕跡を復元する方法が用いられている。

令和2年11月公表の土木学会論文集 B2(海岸工学)において、海底地すべりによる津波評価に関し、過去の海底地すべりの痕跡を復元する方法と異なる方法が提案され、柏崎刈羽原子力発電所における海底地すべりによる津波評価を2つの方法で行った場合の比較が報告された。

2. 本論文の内容と得られた新知見

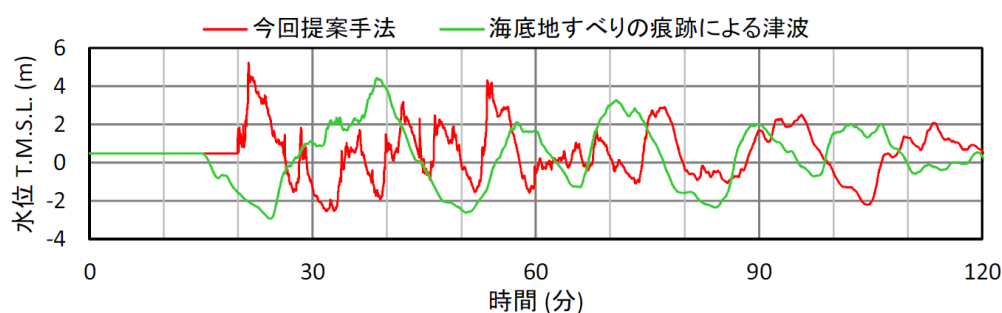
金戸²らは、土木学会論文集 B2(海岸工学)「海底地すべりによる津波の将来想定手法の提案」（以下「本論文」という。）において、「原子力発電所における海底地すべりによる津波評価は、過去の海底地すべり（以下「既往地すべり」という。）の痕跡を復元することで評価を行っている（以下「従来手法」という。）。一方、将来発生し得る海底地すべりによる津波は、既往地すべりサイト以外の不安定斜面で発生する地すべり（以下「初生地すべり」という。）も評価対象とすべきである。」と述べた上で、柏崎刈羽原子力発電所の半径 100km の範囲において、海底地すべりパラメータの経験モデルを用いて、海底地すべりによる津波の発電所への影響が大きなエリアを特定し、3次元地盤安定解析と2層流モデルによる津波評価を行う手法（以下「提案手法」という。）を提案した。

¹ 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則

² 東京電力ホールディングス株式会社

柏崎刈羽原子力発電所における津波水位³は、提案手法による初生地すべりを対象とした解析の結果約 5m となり、従来手法による既往地すべり^{*}を対象とした解析の結果約 4.5m に比べやや上回る結果となった。なお、同発電所の基準津波は、海底地すべりと地震による津波とを位相差を考慮した上で組み合わせて設定されており、地震のみによる津波に対して概ね 0.3m 程度高くなる結果となるが、既に設計工事計画を認可した 7 号機の入力津波は許容津波高さに対して余裕があることから、施設の安全性に直ちに影響を与えるものではない。

※従来の地すべり痕のパラメータは、論文中に発電所から距離約 30km、厚さ 130m、面積 33.5km²、体積 2.2km³と示されている。このパラメータは、審査会合資料⁴において、取水口前面水位上昇側最大ケースとして選定された海底地すべり「LS-2」のパラメータと一致する。加えて、従来の地すべり痕による津波水位の時刻歴波形が論文中の図に示されており、これは同審査会合資料の「LS-2」を波源とした場合の 1 号炉取水口前面の水位の時刻歴波形と同じと考えられる。



転載元：金戸俊道、山本和哉、木場正信、木村達人、西愛歩、渡部靖憲：海底地すべりによる津波の将来想定手法の提案、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.76、No.2、I_349-I_354。

図 提案手法と従来手法による津波水位の比較

³ 本論文中の図からの読み取り値

⁴ 第 404 回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合 資料 4-4-1

なお、確率論的なアプローチになるが、初生地すべりを対象とした津波ハザード評価の研究例として、Grilli ら⁵や、嶋原・Horrillo⁶、佐藤・杉野⁷があげられる。Grilli ら⁵は、アメリカ東海岸の大陸斜面を対象として、あらかじめ設定した斜面断面について、既往の調査結果から得られている海底表層の物性値や地すべり斜面長等のパラメータを統計的に整理して、モンテカルロシミュレーションを用いた斜面安定解析による地すべりのハザード評価を実施し、抽出した地すべり形状より初期水位分布を求め、対象地域の 100 年確率及び 500 年確率の津波高を推定する津波のハザード評価を行った。嶋原・Horrillo⁶は、メキシコ湾沿岸に設定した 2 つの斜面断面について、断面上の掘削データから得られた深度と物性値の散布図より平均的な傾向を表す回帰式を算定した。そして、Grilli ら⁵の手法を踏襲し、この回帰式による物性値を用いて斜面安定解析による地すべりのハザード評価を実施し、この結果を踏まえ同沿岸の津波ハザードを評価した。また、佐藤・杉野⁷は、海底地すべり起因津波の確率論的ハザード評価手法の整備の一環として、地盤物性値（せん断強さ等）の深度に応じたばらつき及び平面的な地すべり発生位置や移動方向を考慮し、確率論的手法を用いた海底地すべり危険度判定手法を構築した。また、モデル地形を対象に海底地すべり危険度マップを試作し、手法の適用性を確認した。

本論文は、既往の研究論文で確率論的に取り扱われてきた初生地すべりの評価に関し、決定論的手法として提案したものである⁸。計算条件の設定には、幾つか経験的な方法（例えば、地すべり斜面長と幅の関係式の設定、想定する地すべりの面積の上限値の設定、発電所の地層区分と海域の地層区分を対比しての地盤物性値の設定）を組み合わせており、初生地すべりを決定論的に評価するための工夫がみられる。

3. 規制対応案

本論文は、海底地すべりによる津波波源の設定に際し、既往地すべり以外の地すべりを用いて波源を設定する手法の提案及び適用例を示すものである。設置許可基準規則の解釈において、津波を発生させる要因として海底での地すべりを考慮するよう既に求め、津波審査ガイドに基づいて確認しているこ

⁵ Grilli, S. T., Taylor, O. D. S., Baxter, C. D. P., Marezki, S., : A probabilistic approach for determining submarine landslide tsunami hazard along the upper east coast of the United States, *Marine Geology*, 264, pp. 74-97, 2009.

⁶ 嶋原良典, Horrillo Juan: 確率論的手法を用いた海底地すべり津波波源の推定—メキシコ湾への適用—, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, 2014, I_281-I_285.

⁷ 佐藤太一, 杉野英治: 確率論的手法を用いた海底地すべり危険度判定手法の構築、日本地震工学会論文集, Vol. 19, No. 6, 2019, p. 283-295.

⁸ 土木学会論文集 B2 (海岸工学) に掲載された本論文は、3 名の専門家による査読を受けたものである。

とから、本知見により設置許可基準規則の解釈及び津波審査ガイドを変更する必要はない。

新規制基準適合性審査では、従来の手法が用いられている。従来手法では、海底地すべりが経験的にほぼ同じ場所で繰り返す特徴を踏まえており、過去の痕跡を復元した上で、同時すべりの想定やパラメータ設定において不確かさを考慮しており、信頼性のある確立された手法である。一方、本論文の提案手法は、発生頻度が低く、発生場所を特定できない不確かさの大きい初生地すべりを取り入れようとする新たな試みである。

また、従来手法は詳細なデータが入手可能な海底地形データを基に評価を行うことができるが、提案手法ではそれに加え、3次元の地盤安定性解析を行うための詳細な海底地質データ等が必要になるという側面もあり、本論文の評価対象地域以外でそのような情報・データが入手可能かどうかは定かではない。

以上のことから、本論文の提案手法については、事業者の自主的な取り組みである安全性向上評価の中で取り扱うのが適当であると考ええる。

4. NRA 技術報告「野島断層の断層破碎物質を用いた地震性すべりの直接的年代測定手法の検証」に係る最新知見について

NRA 技術報告「野島断層の断層破碎物質を用いた地震性すべりの直接的年代測定手法の検証」について

令和 3 年 4 月 14 日
技術基盤グループ地震・津波研究部門

1. 背景及び目的

設置許可基準規則の解釈別記 1 の 3 は「将来活動する可能性のある断層等」を、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し、必要な場合は、中期更新世以降(約 40 万年前以降)まで遡って活動性を評価することとしている。通常、断層の活動性は、断層の上位に堆積した地層の年代に基づき特定あるいは推定する(「図 1 断層の活動性評価手法の例」①参照。以下「上載地層法」という。)。しかし、地域によってはそのような地層が欠如している等の理由により、上載地層法の適用が難しい場合もある。このような場合、一般に鉱物脈や岩脈と断層との切断関係、あるいは断層本体の断層破碎物質の性状や年代測定等により総合的に活動性を評価する(同図②参照)。しかしながら、断層破碎物質を用いた活動性評価に関しては、信頼性の高い活動年代の評価手法が確立されていない。

これに関し、研究プロジェクト「断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法に関する研究 定量的評価手法に基づく断層の活動性評価手法の整備」(平成 25 年度~令和元年度)(以下「本研究」という。))において、断層破碎物質の年代測定によって、実際の活動時期との関連性を検証し、中期更新世以降の断層の活動性評価に適した年代測定手法を検討している。

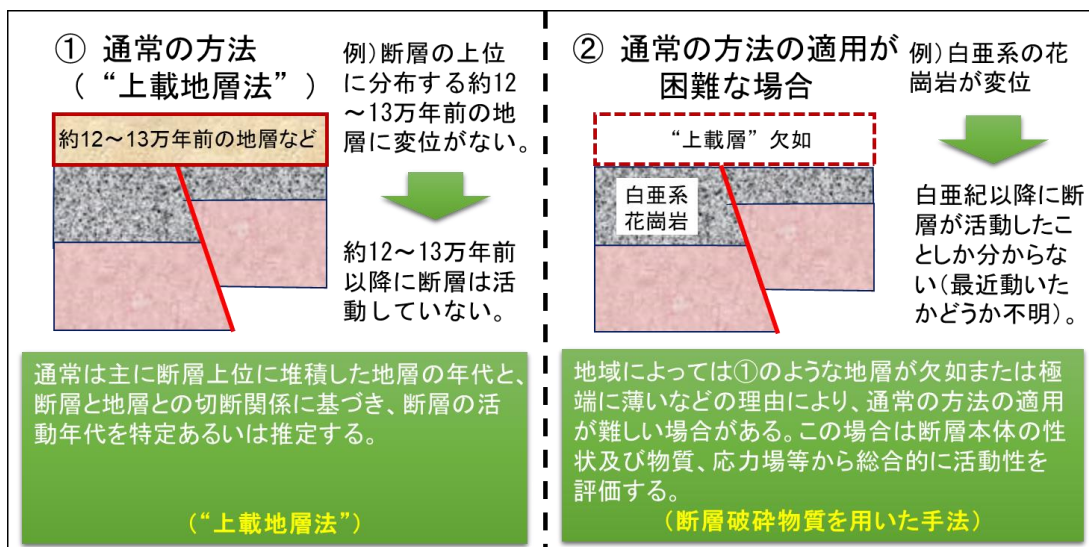
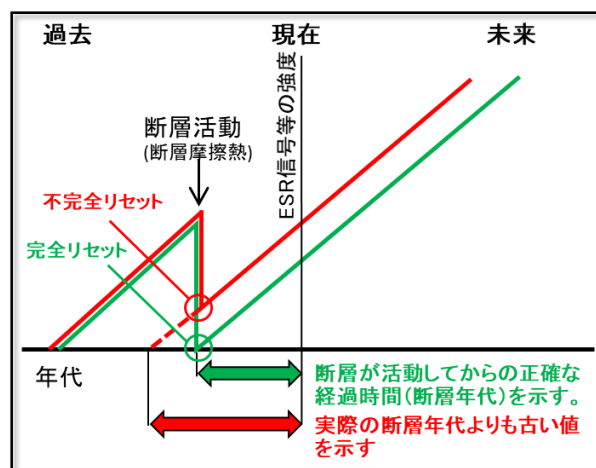


図 1 断層の活動性評価手法の例

2. 本研究の内容と得られた新発見

断層の最新活動時の年代値を取得する方法として、断層活動時の摩擦熱により年代がリセットする温度に達した断層破碎物質を用いて年代を測定する手法がある。しかし、断層破碎物質を用いた活動性評価に関しては、年代のリセットする条件が明らかとなっていないため信頼性の高い活動年代の評価手法が確立されていない。断層活動に伴う摩擦熱は、深部ほど封圧とせん断応力が大きくなるため高くなると考えられる。地表付近では摩擦熱が十分に高くないために断層の最新活動時の年代値が得られない(図 2)。正確な年代値を取得するためには、摩擦熱により年代がリセットした断層破碎物質の有無を確認し、その深度について検討する必要がある(図 3)。



出典)福地(2004)¹を一部編集

図 2 不完全なリセットが年代値に及ぼす影響

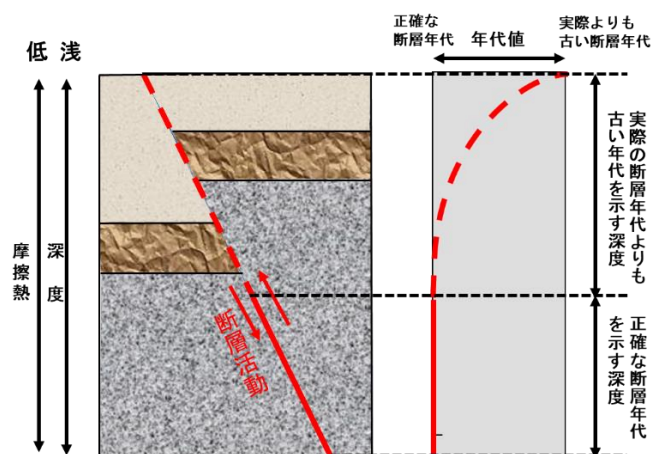
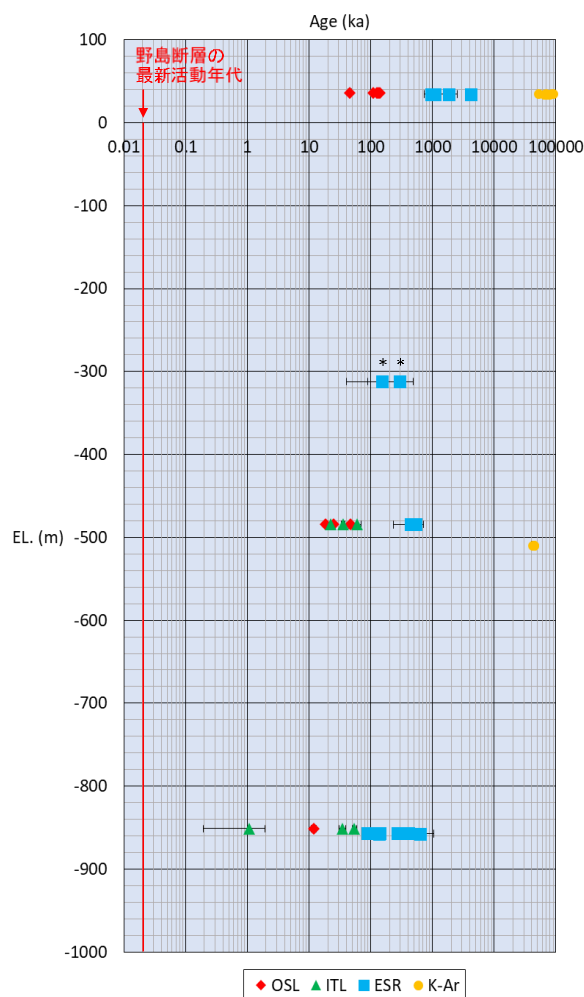


図 3 予想される断層沿いの年代リセット状況の変化

そこで、本研究では 1995 年の兵庫県南部地震で地表変位が確認されている野島断層を対象として、深部ボーリング調査等によって異なる深度の断層破碎物質を採取し、それぞれの試料について直接的年代測定としてルミネッセンス(OSL 及び ITL)年代測定、電子スピン共鳴(ESR)年代測定、K-Ar 年代測定を実施した。その結果、いずれの年代値も地下深部ほど若くなることが示された。この中で、ルミネッセンス年代値は、深度 897m の一部の断層破碎物質において、野島断層の最新活動時期(20 年前:本研究の実施時期からの起算)に対して数万年前の評価結果となり、活断層の認定に当たって、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合の基準である中期更新世以降(約 40 万年前以降)における断層活動の有無を判断する情報が得られることが示された。以上のことから、断層破碎物質を用いたルミネッセンス年代測定が断層の活動性評価に有効であることが示された。



出典)Miyawaki and Uchida (2018)²を一部編集

図 4 主断層における破碎部の各種年代値及び深度との関係

注)ka は千年前、エラーバーは 1 を示す。

*は Fukuchi (2001)³による ESR 年代。

野島断層で検証した年代リセット状況を踏まえて、任意の断層の活動性を審査において評価する上での留意点を検討した。

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(以下「審査ガイド」という。)では、将来活動する可能性のある断層等の認定について、「①将来活動する活断層等は、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」を定めている。野島断層での検証結果に基づくと、主断層の年代値は、いずれも深部に向かって若くなる傾向を示すことから、本研究で対象とした年代測定手法を用いて推定した年代値と深度との関係は、図5に示す3つのケースが想定される。ケース①及びケース②に示すように、地表部又は地下深部において主断層の年代値が約40万年前より若い値を示す断層については、審査ガイドに従うと将来活動する可能性のある断層等に該当することになる。ケース②及びケース③は、ともに地表部で約40万年前より古い値を示すが、地下深部で約40万年前以降の年代値を示すかどうかは、異なる深度の主断層の年代値を測定して判断する必要がある。一方、ケース①では、地表部において審査ガイドに示す将来活動する可能性のある断層等に該当しており、主断層の年代値が深部に向かって若くなる傾向を考慮すれば、深部の年代を測定する必要はない。

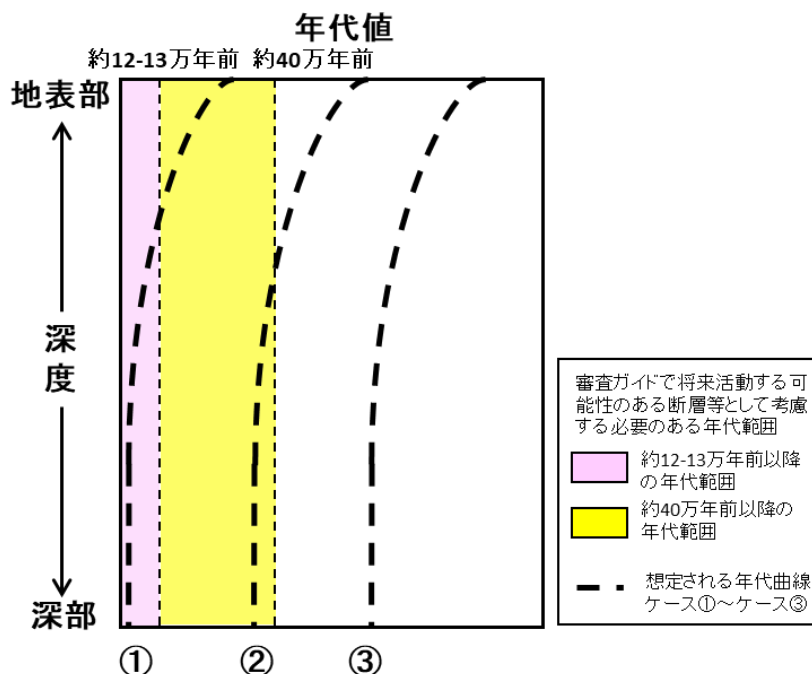


図5 想定される破砕部の年代値及び深度との関係

3. 今後の対応

本研究は、断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法による評価結果の一例について記したものである。よって、本知見により現行規制基準及びガイドを直ちに反映する事項はない。

本研究では、断層破碎物質を用いたルミネッセンス年代測定は K-Ar 年代測定に比べて信頼性の高い断層活動年代の評価手法であることを示す情報が得られたことは、審査にとって有用な知見であるといえる。このため、事業者に対して本知見を周知することとしたい。

参考文献

- 1 福地龍郎、“ESR 法による断層活動年代測定－その原理と実践－”、深田研ライブラリー no.63、2004.
- 2 Miyawaki, M., and Uchida, J., “Validation of the direct dating of coseismic fault slip events along the Nojima fault”, Hokudan 2020 International Symposium on Active Faulting, Hokudan earthquake memorial park, Awaji city, 2020.
- 3 Fukuchi, T., “Assessment of fault activity by ESR dating of fault gouge; an example of the 500 m core samples drilled into the Nojima earthquake fault in Japan”, Quaternary Science reviews, 20, 1005-1008, 2001.