資料1

東通原子力発電所 基準地震動の超過確率の参照について

2024年8月30日 東北電力株式会社



All rights reserved. Copyrights © 2024, Tohoku Electric Power Co., Inc.

基準地震動の策定全体フローと本資料の説明範囲



目次

| 1. 確率論的地震ハザードの評価 | 方針 | | | 3 |
|------------------|---------|------|------|----|
| 2. 特定震源モデルの設定 | • • • • | | | 5 |
| 3. 領域震源モデルの設定 | • • • • | | | 11 |
| 4. 地震動評価モデルの設定 | • • • | | | 17 |
| 5. ロジックツリーの作成 | | | | 19 |
| 6. 地震ハザード評価結果 | | | | 25 |
| 7. 超過確率の参照 ・ | • • • • | | | 31 |
| 参考資料 •••••• | • • • • | | | 34 |
| 参考文献 | | | | 41 |

1. 確率論的地震ハザードの評価方針

■基本方針

ー般社団法人日本原子力学会「原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2015」(以下,「日本原子力学会 (2015)」という。)に基づき,専門家活用水準1として地震ハザード評価を実施し,基準地震動の応答スペクトルがどの程度の年超過確率に相当す るかを確認する。

専門家活用水準1:地震ハザードの不確かさへの影響が比較的小さい水準を想定し, TI(Technical Integrator, ロジックツリーの技術的な纏め役)が文献レビュー及び自らの経 験に基づきコミュニティ分布(科学的集団が総合的に評価するその時点での不確実さの客観的分布)を評価し, ロジックツリーを作成する。

■震源モデルの設定

特定震源モデルと領域震源モデルを設定する。モデルの設定に際しては、地震調査研究推進本部(以下、「地震本部」という。)の知見及び各種調 査結果等を参考にする。

| 震源 | | モデルの設定 | | | | |
|-------|-----------|----------------------------|--|--|--|--|
| | プレート間地震 | 三陸沖北部の地震 | 地震本部(2004a)に基づき設定 | | | |
| | | 東北地方太平洋沖型地震 | 地震本部(2019),諸井ほか(2013)等に基づき設定 | | | |
| | | 十勝沖の地震 | 地震本部(2004b), (2017)に基づき設定 | | | |
| 特定震源※ | | 17世紀型地震 | 地震本部(2004b), (2017)に基づき設定 | | | |
| | 内陸地殻内地震 | 横浜断層による地震 | | | | |
| | | 下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震 | 検討用地震の評価結果,地質調査結果,L新編」日本の沽断層, 地震本部(2009)(2013)(2020)等に其づき設定 | | | |
| | | その他活断層による地震(敷地から100km程度以内) | 2020年間(2000), (2010), (2020) 守に至うて設定 | | | |
| | 領域区分 | 地震本部(2020)に基づき設定 | | | | |
| 領域震源 | 最大マグニチュード | | | | | |
| | 発生頻度 | | | | | |

※: 日本原子力学会(2015)において、特定震源モデルは、「陸域の活断層で発生する固有地震と、海域のプレート境界で発生する大地震に限定されると考えられ、これら以外は、 領域震源モデルで取り扱う」とされている。

また、敷地周辺の地震活動性においても固有地震としての特徴ある傾向は見られないことも踏まえて、海洋プレート内地震については領域震源モデルとして設定する。

■地震動評価モデルの設定

- ▶ 東北地方太平洋沖型地震については断層モデル手法による評価を用いる。
- ▶ その他の震源については, Noda et al. (2002)による距離減衰式を用いる。
- ▶ Noda et al. (2002)による距離減衰式に対しては、観測記録に基づいた補正(参考資料①)または、Noda et al. (2002)の手法に基づいた内陸補 正を考慮する(参考資料②)ことを基本とする。

■ロジックツリーの作成

震源モデル及び地震動評価モデルにおいて, 地震ハザード評価に大きな影響を及ぼす認識論的不確実さを選定し, ロジックツリーを作成する。



2. 特定震源モデルの設定 プレート間地震(三陸沖北部の地震,東北地方太平洋沖型地震)

<u>三陸沖北部の地震</u>

- ▶「三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について」〔地震本部(2004)〕では、 三陸沖北部の地震(Mw8.3)を想定した強震動評価を実施している。
- ▶ また,その平均発生間隔は「三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について」〔地震本部(2004)〕において,97.0年とされている。
- ▶ 特定震源として, 三陸沖北部の地震(M8.3)を考慮する。

東北地方太平洋沖型地震

- ▶「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」〔地震本部(2019)〕では,超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)としてM9.0程度の地震が評価されている。
- ▶ また、その平均発生間隔は「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」〔地震本部(2019)〕において、約550~600年とされている。
- ▶ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動において、右図に示すような三陸沖 北部~宮城県沖及び三陸沖北部~根室沖のM9プレート間地震を想定している ことから、特定震源として、三陸沖北部の震源域を含んだ東北地方太平洋沖型 地震(M9.0)を考慮する。



上記2地震の発生確率を踏まえ、三陸沖北部の領域で想定する地震は6回に1回は、連動が起こるものとしてロジックツリーの分岐を設ける。 なお、三陸沖北部~宮城県沖での連動と三陸沖北部~根室沖での連動のロジッ クツリーにおける分岐は1:1とする。



2. 特定震源モデルの設定 プレート間地震(十勝沖の地震, 17世紀型地震)

<u>+勝沖の地震</u>

- ▶「千島海溝沿いの地震活動の長期評価」〔地震本部(2017)〕では、十勝沖のプレート間巨大地震として地震規模M8.0~8.6程度の地震を評価している。
- ▶ また,その平均発生間隔は「千島海溝沿いの地震活動の長期評価」〔地震本部 (2017)〕において,80.3年とされている。
- ▶ 特定震源として、 十勝沖の地震(M8.6)を考慮する。

<u>17世紀型地震</u>

- ▶「千島海溝沿いの地震活動の長期評価」〔地震本部(2017)〕では,超巨大地震 (17世紀型地震)として地震規模M8.8程度以上の地震を想定している。
- ▶ また, その平均発生間隔は「千島海溝沿いの地震活動の長期評価」〔地震本部 (2017)〕において, 340~380年とされている。
- ▶ 特定震源として、17世紀型地震(M8.8以上)を考慮する。



千島海溝沿いの評価対象領域[地震本部(2017)]

上記2地震の発生確率を踏まえ、十勝沖の領域で想定する地震は4回に1回は、連動が起こるものとしてロジックツリーの分岐を設ける。

2. 特定震源モデルの設定 内陸地殻内地震(横浜断層による地震)

「横浜断層による地震」の確率論的評価については、検討用地震の評価の際に考慮した震源断層モデルを対象に評価を行う。

「横浜断層による地震」

- ▶ 断層パラメータは, 断層長さL=27km, 断層傾斜角を60度とする。
- ▶ 平均変位速度は [新編]日本の活断層に基づきC級(0.05mm/年)とする。この平均変位速度及び松田(1975)で求められた地震規模に対応する平均活動間隔は24000年である。
- ▶ 発生確率についてはポアソン過程を採用する。



「横浜断層による地震」において考慮する震源断層モデルの設定

2. 特定震源モデルの設定 内陸地殻内地震(下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震)

「下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震」の確率論的評価については,検討用地震の評価の際に考慮した震源断層モデルを 対象に評価を行う。

8

「下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震」

- ▶ 当該地震は領域震源として評価することも考えられるが,基準地震動の超過確率を参照する目的を踏まえ,活断層に準じた特定 震源モデルとして評価する。
- ▶ 断層パラメータは、基本ケース(L=20km、断層傾斜角60度)に加えて、距離減衰式の評価結果に影響を与える地震規模の不確か さケース(L=27km、断層傾斜角60度)及び断層傾斜角の不確かさケース(L=20km、断層傾斜角45度)について、ロジックツリーに分 岐として反映する。
- ▶ 平均変位速度は、横浜断層位置に設定したことを踏まえC級(0.05mm/年)とする。 当該地震は地表に活断層を伴わない規模の小さい地震をベースにしていることから、Somerville et al.(1999)または入倉・三宅 (2001)により算定したM₀と武村(1990)のM-M₀関係により地震規模Mを算定し、変位量は武村(1998)のlogD(m) = 0.4M-2.84 を用 いて算定する(参考資料③)。この地震規模に対応する平均活動間隔はそれぞれ14000年(基本ケース)、18000年[不確かさケース (地震規模)]、16000年[不確かさケース(断層傾斜角)]である。

▶ 発生確率についてはポアソン過程を採用する。



「下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震」において分岐を考慮する震源断層モデルの設定

2. 特定震源モデルの設定 内陸地殻内地震(その他活断層による地震)

内陸地殻内地震のうち、「横浜断層による地震」及び「下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震」以外の地震の確率論的 評価については、下表に示す敷地から100km程度以内の「震源として考慮する活断層」(次頁参照)を対象として評価する。また、ロ ジックツリーに反映する諸元の算定は以下のとおり行う。

▶ 地震規模Mは、内陸地殻内地震の確定論評価で示した「震源として考慮する活断層による地震等の諸元」の値を採用する。

- ▶ 平均活動間隔は、考慮するそれぞれの断層の活動度を踏まえ、下表の断層長さから算定した地震規模を用いて、松田(1975)^{※1}による平均変位速度により算定した。
- ▶ 発生確率については、ポアソン過程を採用する。

| 社会電話の夕み | | 地雷扫描M | 等価震源距離 | 迁动庄※2 | 平均変位速度 ^{※3} | 平均活動間隔 |
|--------------------|----------|-----------|---------|--------------------------|----------------------|--------|
| 特定長線の石桥 | 町唐長さ(Km) | □□一一也辰况保ᢂ | Xeq(km) | 冶 到皮 [™] | (mm/年) | (年) |
| 出戸西方断層 | 11 | 7.0 | 17 | С | 0.05 | 24000 |
| 敷地東方沖断層 | 14.5 | 7.0 | 18 | В | 0.5 | 2400 |
| 上原子一七戸西方断層 | 51 | 7.7 | 69 | С | 0.05 | 83000 |
| 恵山沖断層 | 47 | 7.6 | 95 | В | 0.5 | 7200 |
| 折爪断層 | 53 | 7.7 | 97 | В | 0.5 | 8300 |
| 根岸西方断層 | 38 | 7.5 | 73 | В | 0.5 | 6300 |
| 青森湾西岸断層帯 | 31 | 7.3 | 77 | В | 0.5 | 4700 |
| 津軽山地西縁断層帯北部 | 16 | 7.3 | 78 | В | 0.5 | 2400 |
| 津軽山地西縁断層帯南部 | 23 | 7.3 | 80 | В | 0.5 | 3600 |
| 函館平野西縁断層帯(海域南東を含む) | 26 | 7.2 | 97 | В | 0.5 | 4100 |
| 函館平野西縁断層帯(海域南西を含む) | 28 | 7.2 | 103 | В | 0.5 | 4100 |

※1: 平均変位速度の算定に用いる松田(1975)においてはM6.8に満たない断層については、M6.8として評価する。

※2: [新編]日本の活断層による値を参照。記載の無いものについてはB級として設定。また、出戸西方断層については10万年に2~5m程度の変位という調査結果に基づき、 活動度をC級とした。

※3:活動度に対応する平均変位速度は、松田(1975)を参考に設定した。

2. 特定震源モデルの設定 (参考)震源として考慮する活断層

敷地周辺の「震源として考慮する活断層」の位置及び諸元を示す。



敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震※1

| No. | | 断層名 | 断層 長さ (km) | 地震 規模 M | 震央 距離 (km) | 等価 震源距離 ^(km) |
|------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|---------------|------------------|-------------------------------|
| 1 | 横浜断層※2 | | 15.4 | 7.0 | 12 | 14 |
| 2 | 出戸西方断層 | | 11 | 7.0 | 18 | 17 |
| 3 | 敷地東方沖幽 | 所層 | 14.5 | 7.0 | 21 | 18 |
| 4 | 上原子一七月 | 51 | 7.7 | 67 | 69 | |
| 5 | 恵山沖断層 | | 47 | 7.6 | 96 | 95 |
| 6 | 折爪断層 | | 53 | 7.7 | 96 | 97 |
| 7 | 7 根岸西方断層 | | 38 | 7.5 | 68 | 73 |
| 8 | 青森湾西岸断層帯 | | 31 | 7.3 | 72 | 77 |
| 9 | 津軽山地西縁断層帯北部 | | 16 | 7.3 | 86 | 78 |
| 10 | D 津軽山地西縁断層帯南部 | | 23 | 7.3 | 86 | 80 |
| 11 函館平野 西縁断層帯 | 海域南東延長部を含む 函館平野西縁断層帯 | 26 | 7.2 | 93 | 97 | |
| | 西縁断層帯 | 海域南西延長部を含む 函館平野西縁断層帯 | 28 | 7.2 | 95 | 103 |

敷地周辺の活断層分布図

- ※1: No.1~3は、「地震発生層を飽和し地表地震断層としてその全容を表す規模」及びアスペリティ位置を考慮したモデルによる等価震源距離を採用。その他活断層による地震の等価震源距離は一様断層モデルより算定。No.8~10の地震規模は、地震本部(2009)による。
- ※2:「横浜断層による地震」については、地質調査結果に基づく断層長さ(L=15.4km)に対し、保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置付けでM₀=7.5×10¹⁸ (Nm)以上(L=27km)を考慮している。

3. 領域震源モデルの設定 設定の概要

> 領域区分の設定

・ 地震本部(2020)*1において考慮されている領域区分を参照する。

- ▶ 最大マグニチュード及び地震の発生頻度等の設定
 - 日本原子力学会(2015)^{※2}を基本に, 評価対象領域の地震規模の不確実性も考慮する。具体的には, 評価対象領域の過去の地震や長期評価結果等に基づく「モデル1」と, 地震活動度の不確実性を大きくとる等の検討を加えた「モデル2」の分岐を設定する。
 - 分岐の重み付けは、モデル1:モデル2=2:1を基本とする^{※3}。

【モデル1】

- □ 最大マグニチュードは, 地震本部の長期評価の結果等を基本にした地震本部(2013)の「モデル1」(従来モデル)^{※4}の値を参照する^{※5}。 詳細をp.13に示す。
- □ 地震の発生頻度は、領域毎に日本被害地震総覧及び気象庁地震カタログを用いてG-R式に基づくb値モデルにより算定する。

【モデル2】

- ・最大マグニチュードは、評価対象領域における地震規模の不確実性を大きくとるなどの検討を加えた地震本部(2020)の値を参照する。
 詳細をp.14に示す。
- □ 地震の発生頻度は、地震本部(2020)※6を採用する。
- ※1: 地震本部(2020)は, 垣見ほか(2003)による地震地体構造を基に検討された領域区分に, 最近発生した地震活動モデルとの対応が十分ではない地震 (2016年11月22日福島県沖の地震, 2018年9月6日北海道胆振東部地震)等を踏まえ, 領域の追加・変更が一部実施されている(p.14図の赤字部)。
- ※2:日本原子力学会(2015)では、「地震規模(マグニチュード)と地震発生頻度の設定」について、最大マグニチュードとしては、評価対象領域における過去の 地震の最大値又は地震地体構造区分上の最大マグニチュードを採用してもよい、とされている。
- ※3: 海洋プレート内地震の領域10及び11におけるモデル2の最大地震規模M8.4は,不確実性が高い(参考資料④参照)ことから,ロジックツリー上の重みを「モデル1」:「モデル2」=4:1とする。
- ※4: 地震本部での長期評価の結果を基本とし、震源についての情報が十分に得られておらず長期評価されていない、より小さな地震を「震源断層を予め特定 しにくい地震」として取り入れたモデル。
- ※5: 地震本部(2013)以降に発生した地震がある場合,その規模も考慮する(p.16の領域32)。
- ※6: 地震本部(2020)では, 地震カタログ期間として, 東北地方太平洋沖地震後の地震活動まで拡張されている。また, 余震を除去する方法と, カタログに含ま れる全ての地震を対象とする方法を併用して地震発生頻度の不確実さ等も考慮されている。

余白

3. 領域震源モデルの設定 「モデル1」で参照する最大マグニチュード

「モデル1」で参照する最大マグニチュードの設定に用いた地震本部(2013)の「モデル1(従来モデル)」を以下に示す。



海溝型地震※1

内陸地殼内地震※2

モデル1で参照する最大マグニチュード[地震本部(2013)]

※1: 地震本部(2013)では上図以外に、長期評価された地震のうち、震源が特定されていない地震として以下の地震を考慮している。

プレート間地震: +勝沖・根室沖のひとまわり小さいプレート間地震(M7.1) 三陸沖北部の繰返し以外(プレート間):M7.1~7.6 海洋プレート内地震:プレート内のやや浅い地震:M8.2 プレート内のやや深い地震:M7.5

※2: 地震本部(2013)では上図以外に、日本海東縁部の震源断層を予め特定しにくい地震の最大規模をM7.3としている。

3. 領域震源モデルの設定 領域区分と「モデル2」で参照する最大マグニチュード

「モデル1」,「モデル2」の評価で参照する領域区分及び「モデル2」で参照する最大マグニチュードの設定に用いた地震本部(2020)を以下に示す。



海溝型地震 「モデル1」、「モデル2」の評価で参照する領域区分及びモデル2で参照する最大マグニチュード〔地震本部(2020)に一部加筆〕

3. 領域震源モデルの設定 各領域の最大マグニチュード(海溝型地震)

▶ 敷地から半径200km以内の領域において、「モデル1」及び「モデル2」について、地震発生様式毎に考慮する最 大マグニチュードを整理し、ロジックツリーの分岐を設定する。







敷地から半径200km以内の領域において地震発生様式毎に考慮する最大地震規模(海溝型地震)

3. 領域震源モデルの設定 各領域の最大マグニチュード(内陸地殻内地震)

- ▶ 敷地から半径200km以内の領域において、「モデル1」及び「モデル2」について、地震発生様式毎に考慮する最 大マグニチュードを整理し、ロジックツリーの分岐を設定する。
- ▶ 浦河沖付近については、地震本部(2020)において、「浦河沖の震源断層を予め特定しにくい地震」として下図に 示すように、内陸地殻内地震の領域の下部に領域震源(10, 20)を設定しているため、領域震源として考慮する。



敷地から半径200km以内の領域において地震発生様式毎に考慮する最大地震規模(内陸地殻内地震)

※: 2013年以降に発生した2016年の福島県沖の地震(M7.4)を考慮。

4. 地震動評価モデルの設定 設定の概要

- ▶ 地震動評価モデルの諸元は、以下のように設定する。
- >「東北地方太平洋沖型地震」は、断層モデル手法により評価する。
- ▶ その他の震源については, Noda et al.(2002)による距離減衰式を用いる。
- ▶ Noda et al. (2002)を用いる場合の補正係数としては、プレート間地震及び海洋プレート内地震の評価においては、敷地における観測記録とNoda et al. (2002)との比に基づく補正を行うことを基本とするが(参考資料①参照)、「十勝沖の地震」及び「17世紀型地震」については補正係数を考慮しない(参考資料⑤参照)。内陸地殻内地震の評価においては、Noda et al. (2002)に基づく補正係数の有無をロジックツリーにおいて1:1の分岐として考慮することを基本とするが、「下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震」については、Noda et al. (2002)に補正係数を考慮した評価結果がNGA距離減衰式の平均に対して同等以上となっていることから(参考資料②参照)、補正係数の有無をロジックツリーにおいて2:1の分岐として考慮する。
- ▶ 評価に対するばらつきについては、日本原子力学会(2015)に示されるばらつき0.53の他、奥村ほか(2004)による十勝沖で得られた地震記録を用いた地震動強さのばらつき0.46を採用することとし、1:1の分岐として考慮する。なお、ばらつきの打ち切り範囲は、いずれの手法も、対数標準偏差の3倍(3σ)とする。

| | 考慮 | する震源 | 評価手法 | 補正係数 | ばらつき | ばらつきの 打ち切り |
|---------|----------------------------|-------------------|---|---|------|---------------|
| | | 三陸沖北部の地震 | 陸沖北部の地震 Noda et al.(2002) 敷地における観測記録とNoda et al.(2002)との 比に基づく補正係数 | | | |
| | プレート間地震 | 東北地方太平洋沖型地震 | 断層モデル手法 | - | | |
| 特 | | 十勝沖の地震 | Noda et al.(2002) | _ | | |
| 定震 | | 17世紀型地震 | Noda et al.(2002) | _ | | |
| 源 | | 横浜断層による地震 | Noda et al.(2002) | Noda et al.(2002)の内陸補正の有無で分岐 | | |
| 内陸地殻内地震 | 下北半島中軸部高速度層の 高まりを考慮した地震 | Noda et al.(2002) | Noda et al.(2002)の内陸補正の有無で分岐 | 0.53 0.46 | 3σ | |
| | | その他活断層による地震 | Noda et al.(2002) | Noda et al.(2002)の内陸補正の有無で分岐 | | |
| 領 | プレート間地震 | | Noda et al.(2002) | 敷地における観測記録とNoda et al.(2002)との 比に基づく補正係数 | | |
| 域震 | 海洋プレート内地震 | | Noda et al.(2002) | 敷地における観測記録とNoda et al.(2002)との 比に基づく補正係数 | | |
| | 内陸地殻内地震 | | Noda et al.(2002) | Noda et al.(2002)の内陸補正の有無で分岐 | | |

余白

5. ロジックツリーの作成 特定震源 プレート間地震





5. ロジックツリーの作成 特定震源 内陸地殻内地震



5. ロジックツリーの作成 領域震源 プレート間地震







5. ロジックツリーの作成 領域震源 内陸地殻内地震(1)





5. ロジックツリーの作成 領域震源 内陸地殻内地震(2)





6. 地震ハザード評価結果 平均ハザード曲線



6. 地震ハザード評価結果 フラクタイルハザード曲線



6. 地震ハザード評価結果 震源別ハザード曲線

> 内陸地殻内地震の特定震源と領域震源の影響が大きい。



余白

6. 地震ハザード評価結果 地震発生様式別領域震源ごとのハザード曲線(水平方向)

- ▶ 各地震発生様式で考慮した領域震源について、水平方向についての領域ごとの影響度を下図に示すとおり確認した。
- ▶ 領域震源について、プレート間地震では敷地前面の領域3,海洋プレート内地震では敷地直下の領域11,内陸地殻内地震では 敷地直下の領域7の影響が大きく、敷地に近い領域が支配的になっている。



6. 地震ハザード評価結果 地震発生様式別領域震源ごとのハザード曲線(鉛直方向)

> 鉛直方向の地震発生様式別の領域震源の寄与について、水平方向と同様の傾向である。



7. 超過確率の参照 基準地震動Ss



※: KiK-net-関東の基準地震動は水平方向のみ策定。鉛直方向は、別途、評価用地震動を設定。

第1235回審査会合(2024.3.8) 資料1-1 p.23 一部修正

7. 超過確率の参照

ー様ハザードスペクトルと基準地震動Ss(敷地ごとに震源を特定して策定する地震動)の比較

- ▶ 基準地震動Ssの応答スペクトルと一様ハザードスペクトルは下図のとおり。
- ▶ 基準地震動Ss-D1の年超過確率は、おおむね10⁻⁴~10⁻⁵程度である。
- ▶ 基準地震動Ss-F1~F4の年超過確率は、基準地震動Ss-D1を超過する周期帯でおおむね10⁻⁴~10⁻⁵程度である。



※:実線:NS方向, 点線:EW方向

7. 超過確率の参照

ー様ハザードスペクトルと基準地震動Ss(震源を特定せず策定する地震動)の比較

- 内陸地殻内地震の領域7による一様ハザードスペクトルを、震源を特定せず策定する地震動に基づき策定している基準地震動Ss-N1~N4と比較する。
- ▶ 内陸地殻内地震の領域7による一様ハザードスペクトルとの比較によれば,基準地震動Ss-N1~N4の年超過確率は,おおむね10⁻⁴~10⁻⁶程度である。





※:実線:NS方向(Ss-N2はダム軸方向), 点線:EW方向(Ss-N2は上下流方向)

参考資料① Noda et al.(2002)の評価に用いる補正係数(プレート間地震)

■プレート間地震

▶ 敷地で得られた観測記録とNoda et al. (2002)の応答スペクトル比から策定した補正係数を採用する。

▶ 補正係数の策定に用いる地震は、震源距離が200km程度以内の範囲で発生したM5.5以上のプレート間地震とする。

補正係数の策定に用いた地震の諸元

| No. | 発生日 | м | 震央 距離 (km) | No. | 発生日 | м | 震央 距離 (km) |
|-----|-------------|-----|------------------|-----------|-------------|-----------|-------------------------|
| 1 | 1994年12月28日 | 7.6 | 216 | 24 | 2010年12月6日 | 5.8 | 160 |
| 2 | 1994年12月29日 | 6.5 | 182 | 25 | 2011年3月11日 | 7.4 | 192 |
| 3 | 1994年12月30日 | 5.6 | 84 | 26 | 2011年3月11日 | 5.9 | 159 |
| 4 | 1994年12月31日 | 5.8 | 157 | 27 | 2011年3月17日 | 5.9 | 146 |
| 5 | 1995年1月7日 | 7.2 | 132 | 28 | 2011年6月23日 | 6.9 | 171 |
| 6 | 1995年1月7日 | 6.2 | 133 | 29 | 2011年8月1日 | 5.8 | 169 |
| 7 | 1995年2月6日 | 5.6 | 74 | 30 | 2011年9月17日 | 6.6 | 177 |
| 8 | 1995年9月26日 | 5.9 | 185 | 31 | 2011年9月17日 | 6.1 | 186 |
| 9 | 1995年12月30日 | 6.2 | 189 | 32 | 2011年9月17日 | 5.5 | 172 |
| 10 | 1995年12月31日 | 5.6 | 189 | 33 | 2011年11月24日 | 6.2 | 140 |
| 11 | 1997年2月20日 | 5.9 | 139 | 34 | 2012年1月28日 | 5.7 | 145 |
| 12 | 1999年3月19日 | 5.8 | 155 | 35 | 2012年5月24日 | 6.1 | 64 |
| 13 | 2001年8月14日 | 6.4 | 90 | 36 | 2012年8月25日 | 6.1 | 191 |
| 14 | 2002年10月14日 | 6.1 | 75 | 37 | 2014年7月5日 | 5.9 | 179 |
| 15 | 2003年4月17日 | 5.6 | 84 | 38 | 2014年8月10日 | 6.1 | 75 |
| 16 | 2003年9月26日 | 7.1 | 201 | 39 | 2014年10月11日 | 6.1 | 158 |
| 17 | 2004年7月21日 | 5.5 | 173 | 40 | 2015年2月17日 | 5.7 | 137 |
| 18 | 2004年8月10日 | 5.8 | 180 | 41 | 2015年6月8日 | 5.6 | 61 |
| 19 | 2004年11月27日 | 5.6 | 189 | 42 | 2016年1月14日 | 6.7 | 146 |
| 20 | 2008年4月29日 | 5.7 | 67 | 43 | 2017年9月10日 | 5.6 | 140 |
| 21 | 2009年2月15日 | 5.9 | 136 | 44 | 2017年9月27日 | 6.1 | 136 |
| 22 | 2009年6月5日 | 6.4 | 199 | 45 | 2018年1月24日 | 6.3 | 91 |
| 23 | 2010年9月13日 | 5.8 | 68 | \square | | \square | \square |



参考資料① Noda et al.(2002)の評価に用いる補正係数(海洋プレート内地震)

■海洋プレート内地震

- ▶ 敷地で得られた観測記録とNoda et al.(2002)の応答スペクトル比から策定した補正係数を採用する。
- ▶ 補正係数の策定には, 震央距離が200km程度以内の範囲で発生したM5.5以上の海洋プレート内地震を用いた。

補正係数の策定に用いた地震の諸元

| No. | 発生日 | М | 震央距離(km) |
|-----|-------------|-----|----------|
| 1 | 2001年4月3日 | 5.6 | 78 |
| 2 | 2001年12月2日 | 6.4 | 199 |
| 3 | 2005年2月26日 | 5.7 | 116 |
| 4 | 2007年4月19日 | 5.6 | 171 |
| 5 | 2008年7月24日 | 6.8 | 163 |
| 6 | 2014年6月15日 | 5.5 | 200 |
| 7 | 2015年7月10日 | 5.7 | 94 |
| 8 | 2017年12月16日 | 5.5 | 177 |
| | | | |





参考資料②

下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震に対するNoda et al. (2002)の適用性

▶「下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震」については、等価震源距離が短く、Noda et al.(2002)のデータ範囲外となるが、データ適用範囲内の各種距離減衰式[※]の平均に対してNoda et al.(2002)の評価結果は保守的である。
 ▶ また、鉛直方向の評価が可能であることを踏まえ、Noda et al.(2002)を用いる。
 ▶ Noda et al.(2002)に補正係数を考慮した評価結果は、NGA距離減衰式の平均に対して同等以上となっていることから、ロジックツリーにおいて、Noda et al.(2002)の内陸補正を、「補正有:補正なし=2:1」で考慮する。



※:NGA距離減衰式。(第1039回審査会合 資料1-1-2 p.63参照)。鉛直方向はNoda et al.(2002)における水平方向と鉛直方向の応答スペクトル 比を参考に、データ適用範囲内の各種距離減衰式の水平平均を2/3倍した。

下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震の平均活動間隔について

▶ 活断層による地震の平均活動間隔を算定する際,変位量Dの算定には以下の式を用いることが考えられる。
 log D(m) = 0.6M - 4.0
 …① 松田(1975)
 log D(m) = 0.6M - 3.92 (M ≥ M_t)
 …② 武村(1998)
 log D(m) = 0.4M - 2.84 (M < M_t)
 …③ 武村(1998)
 ここで M_t = 6.8

▶「下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震」は、地表痕跡が認められない活断層を伴わない規模の小さい地震である。 したがって、地表面に地震断層が現れない地震を想定した③式を用いることが適切であると考えられるが、比較のため①~③ 式による平均活動間隔をそれぞれ算定する。

▶ 比較した結果保守性を踏まえ、活動間隔が最も短い③式を用いることとする。

| | | 平均 | 匀活動間隔(: | | |
|----------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| ケース名 | 地震モーメント M ₀ (Nm) | ①式 松田 (1975) | ②式 武村 (1998) | ③式 武村 (1998) | 採用値 (年) |
| 基本ケース | 4.40 × 10 ¹⁸ | 23143 | 27824 | 14790 | 14000 |
| 不確かさケース(地震規模) | 7.83 × 10 ¹⁸ | 31106 | 37397 | 18012 | 18000 |
| 不確かさケース(断層傾斜角) | 6.43 × 10 ¹⁸ | 28109 | 33794 | 16836 | 16000 |

下北半島中軸部高速度層の高まりを考慮した地震の平均活動間隔 各式の比較

参考資料④ 領域震源モデルの設定(各領域の最大マグニチュードの重み付け)

- ▶ 地震本部(2020)では「千島海溝で発生した1994年北海道東方沖地震と同程度の規模の地震が発生する可能性は否定できないとされており、深い地震も同様に1994年北海道東方沖地震の規模(M8.4)を最大マグニチュードとする。」としている。この地震の震源域は領域10及び11とは異なる地震地体構造区分である。
- ▶ 藤原ほか(2023)では「プレート内地震のうち比較的浅部で発生するものについてはM8.4を,80km程度より深いものはM7.5をそれぞれその領域の最大マグニ チュードとしている」とされており、領域10と領域11では、「M≧7.6の地震の断層面は浅い側の境界に沿って1列のみ配置」としている。
- ▶ 海洋プレート内地震の領域10及び11におけるモデル2の最大地震規模M8.4は、不確実性が高いことから、ロジックツリー上の重みを「モデル1」:「モデル2」 =4:1とする。



海洋プレート内地震の領域震源と 設定した最大地震規模

| | 番号 | 最大 M | 根拠 | 備考 |
|-----|---------------|------|---|----------------------------------|
| 1 | プレート間 | 8.6 | 長期評価の色丹島沖及び択捉島沖のプレー | |
| | | | ト間巨大地震の最大規模 | |
| | プレート内 | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と同程度の | |
| | | | 地震が発生し得ると仮定 | |
| 2 | プレート間 | 7.9 | | 別途プレート間巨大地震が考慮されている |
| | | | | |
| | プレート内 | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と同程度の地 | |
| | | | 震が発生し得ると仮定 | |
| 3 | プレート間 | 7.8 | | 別途プレート間巨大地震が考慮されている |
| | | | | |
| | ブレート内 | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と同程度の地 | |
| L | | | 震が発生し得ると仮定 | |
| 4 | ブレート間 | 8.0 | | 別途海溝沿いのプレート間地震(津波地震 |
| | | | | 等)が考慮されている |
| | プレート内 | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と同程度の地 | |
| | | | 腰が発生し得ると仮定 | |
| 5 | プレート間 | 8.2 | 領域面積から設定 | |
| | and the state | | 1004 10 04 divisit to the life of the second second | |
| | JU-FM | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と回程度の地 | |
| 6 | -f1 - 1 88 | 7.0 | 展が死生し侍ると似足 | 回応報告になたたていませんを使えたでいる |
| ° | J D - Pinj | 1.8 | | 別迷練返し完生する地展から思されている |
| | -flow late | 0.4 | 1004 10 04 北海港市土地地震上回到南小地 | |
| | JU-PH | 8.4 | 1994.10.04 礼借退東万件地展と回程度の地 備式発生) 得ると仮定 | |
| 7 | プレート間 | 82 | 展が死生し付ると奴足 領域面積から設定 | |
| 1 ° | プレート内 | 8.4 | 1904 10 04 小海道東古油地震と同窓座の地 | |
| | 20000 | 0.4 | 電気発生) 得ると仮定 | |
| 8 | プレート間 | 83 | 領域面積加ら設定 | |
| | プレート内 | 8.4 | 1994 10 04 北海道東方油地震と同程度の地 | |
| | | | 電が発生し得ると仮定 | |
| 9 | プレート間 | 8.5 | 領域面積から設定 | |
| - | | | (ただし、上限値としての 8.5) | |
| | ブレート内 | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と同程度の地 | |
| | | | 震が発生し得ると仮定 | |
| 10 | プレート間 | - | | (全てプレート内地震と仮定) |
| | プレート内 | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と同程度の地 | M≥7.6の地震の断層面は浅い側の境界に沿 |
| | | | 震が発生し得ると仮定 | って1列のみ配置 |
| 11 | プレート間 | - | | (全てプレート内地震と仮定) |
| | プレート内 | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と同程度の地 | M≥7.6の地震の断層面は浅い側の境界に沿 |
| | | | 震が発生し得ると仮定 | って1列のみ配置 |
| 12 | プレート間 | 8.5 | 領域面積から設定 | 上限値として M8.5 を適用 |
| | | | (ただし,上限値としての 8.5) | |
| | プレート内 | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と同程度の地 | |
| | | | 震が発生し得ると仮定 | |
| 13 | プレート間 | - | | (全てプレート内地震と仮定) |
| | プレート内 | 8.4 | 1994.10.04 北海道東方沖地震と同程度の地 | M≥7.6の地震の断層面は浅い側の境界に沿 |
| 1 | 1 | 1 | 雪が発生し得ると仮定 | ヘイ1剤の五配層 |

藤原ほか(2023)に一部加筆

参考資料⑤ 十勝沖の地震及び17世紀型地震に対するNoda et al.(2002)の適用性(1)

特定震源のうち十勝沖の地震(M8.6)及び17世紀型地震(M8.8程度以上)は距離が遠く、また、地震規模が大きいため、 Noda et al.(2002)のデータ 範囲外となることから、その適用性について確認する。

東北地方太平洋沖地震の観測記録との関係

- > 敷地では東北地方太平洋沖地震(M9.0)の観測記録が得られている。
- 以下の手順でNoda et al.(2002)による応答スペクトルを算定し、東北地方太平洋沖地震の観測記録と比較する。 ①地震規模は、内閣府(2012)、司ほか(2016)より距離減衰式から求められるM8.3とする。

②等価震源距離は、諸井ほか(2013)における敷地至近のSMGA(右下図赤枠)からの等価震源距離(Xeq=246km)とする。

▶ 上記の手順で算定したNoda et al. (2002)による評価は観測記録に対して保守的な評価結果となっている。



※:Noda et al.(2002)の評価に用いる補正係数(プレート間地震) 参考資料①参照

+勝沖の地震及び17世紀型地震に対するNoda et al. (2002)の適用性(2)

2003年十勝沖地震の観測記録との関係

- ▶ 敷地では十勝沖の震源域で2003年十勝沖地震(M8.0)の観測記録が得られている。
- > 気象庁震源を用いて2003年十勝沖地震をNoda et al. (2002)により評価し、観測記録と比較する。
- ▶ 水平方向ではNoda et al.(2002)による評価に補正係数※を考慮した結果が観測記録に対して保守的な結果となっている。
- ▶ 鉛直方向ではNoda et al.(2002)による評価結果が観測記録と同程度となっている。

十勝沖の地震(M8.6)及び17世紀型地震(M8.8程度以上)に対しては, 地震規模M8.3, 等価震源距離は東北地方太平洋沖型地震の三陸沖北部~ 根室沖の連動モデルにおけるSMGA6の位置を参照して(Xeq=219km), Noda et al.(2002)により評価する。 その際, サンプル数が少なく不確実性が高いことから, 補正係数は考慮しない。



※:Noda et al.(2002)の評価に用いる補正係数(プレート間地震) 参考資料①参照

参考文献(1)

1. 確率論的地震ハザードの評価方針

- 1. 日本原子力学会(2015):日本原子力学会標準,原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準
- 2. 地震調査研究推進本部(2004a):三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について
- 3. 地震調査研究推進本部(2019):日本海溝沿いの地震活動の長期評価
- 4. 諸井孝文, 広谷浄, 石川和也, 水谷浩之, 引間和人, 川里健, 生玉真也, 釜田正毅(2013):標準的な強震動レシピに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現, 日本 地震工学会 第10回年次大会概要集
- 5. 地震調査研究推進本部(2004b):千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)
- 6. 地震調査研究推進本部(2017):千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)
- 7. 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層,東京大学出版会
- 8. 地震調査研究推進本部(2009):全国地震動予測地図 別冊2 震源断層を特定した地震動予測地図, 地震調査研究推進本部地震調査委員会
- 9. 地震調査研究推進本部(2013):今後の地震動ハザード評価に関する検討~2013年における検討結果~
- 10. 地震調査研究推進本部(2020):全国地震動予測地図2020年版
- 11. Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16–18, Istanbul

2. 特定震源モデルの設定

- 1. 地震調査研究推進本部(2004):三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について
- 2. 地震調査研究推進本部(2019):日本海溝沿いの地震活動の長期評価
- 3. 地震調査研究推進本部(2017):千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)
- 4. 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層,東京大学出版会
- 5. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第2輯 第28巻
- Somerville. P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, A. Kowada (1999): Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, Seismological Research Letters Vol.70 Number 1,1999
- 7. 入倉孝次郎, 三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌 110(6)
- 8. 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震 第2輯 第43巻
- 3. 武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則,地震 第2輯 第51巻
- 10. 地震調査研究推進本部(2009):全国地震動予測地図 別冊2 震源断層を特定した地震動予測地図, 地震調査研究推進本部地震調査委員会

参考文献(2)

3. 領域震源モデルの設定

- 1. 地震調査研究推進本部(2020):全国地震動予測地図2020年版
- 2. 日本原子力学会(2015):日本原子力学会標準,原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準
- 3. 地震調査研究推進本部(2013):今後の地震動ハザード評価に関する検討~2013年における検討結果~
- 4. 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子(2013):日本被害地震総覧599-2012, 東京大学出版会
- 5. 気象庁:地震月報(カタログ編), https://www.datajma.gojp/eqev/data/bulletin/index.html
- 6. 垣見俊弘,松田時彦,相田勇,衣笠善博(2003):日本列島と周辺海域の地震地体構造区分

4. 地震動評価モデルの設定

- 1. Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16–18, Istanbul
- 2. 日本原子力学会(2015):日本原子力学会標準,原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準
- 3. 奥村俊彦,渡辺基史,藤原広行(2004):2003年十勝沖地震の本震・余震記録に基づく最大速度のばらつきの検討,日本地震学会講演予稿集,2004年度秋季大会,B26.

参考文献(3)

参考資料

- 1. Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16–18, Istanbul
- 2. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について、地震 第2輯 第28巻
- 3. 武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則,地震 第2輯 第51巻
- 4. 地震調查研究推進本部(2020):全国地震動予測地図2020年版
- 5. 藤原広行ほか(2023):東日本大震災を踏まえた地震動ハザード評価の改良(その2),防災科学技術研究所研究資料,第489号
- 6. 内閣府(2012):南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高さについて(第一次報告),南海トラフの巨大地震モデル検討会
- 7. 司宏俊, 纐纈一起, 三宅弘恵(2016):プレート境界巨大地震の地震動距離減衰特性 ―伝播特性に着目した検討―, 日本地震工学会論文集, 第16巻, 第1号(特集号)
- 8. 諸井孝文,広谷浄,石川和也,水谷浩之,引間和人,川里健,生玉真也,釜田正毅(2013):標準的な強震動レシピに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現,日本 地震工学会 第10回年次大会概要集