

意見書（4）

令和8年5月16日

野津 厚



* 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 特別研究主幹

博士（工学）

筆者の意見書（２）では，日本地震工学会を通じて販売されている東北地方太平洋沖地震の本震と最大余震における発電所敷地の地表の地震観測記録をもとに，発電所敷地のサイト増幅特性が港湾地域強震観測の「常陸那珂・U」観測点のサイト増幅特性と大きくは異なることを示しました．常陸那珂・U のサイト増幅特性¹⁾は 0.3－2Hz の広い周波数帯域でまんべんなく 8～9 倍とかなり大きな値を示しています（図 1）．このような大きなサイト増幅特性は日本原子力発電所が採用している発電所敷地の地下構造モデルでは説明がつかず，発電所敷地の地下構造モデルが不適切であることは確実です．発電所敷地の地下構造モデルは基準地震動の算定，耐震性の検討に用いられており，それらをやり直さない限り，発電所の安全性は担保されないと言えます．

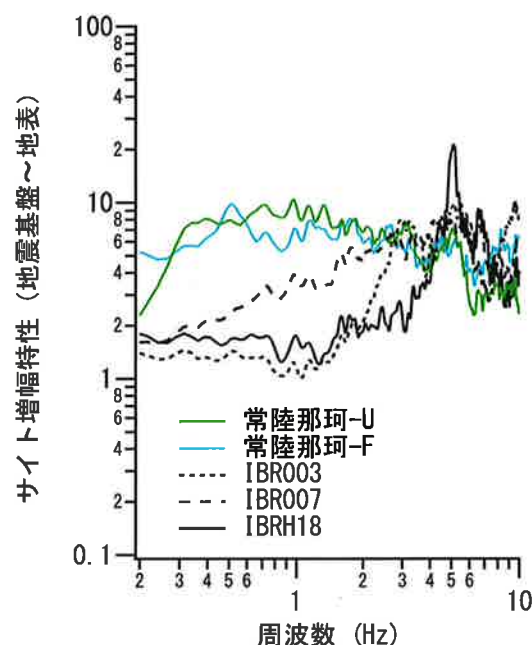


図 1 常陸那珂・U のサイト増幅特性（周辺のサイト増幅特性との比較）

ところで，常陸那珂・U では東北地方太平洋沖地震による津波の影響により本震と最大余震の記録を取得できておらず，本震と最大余震の記録を常陸那珂・U と発電所敷地との間で直接比較することができないため，意見書（２）では，周辺の第三の観測点に対する常陸那珂・U と発電所敷地の相対的なサイト増幅特性をそれぞれ求め，それらを比較することにより，常陸那珂・U と発電所敷地のサイト増幅特性が類似しているかどうか検討しました．その際，発電所敷地に比較的近く，本震と最大余震の記録をとともに取得している観測点として，防災科学技術研究所の K-NET の観測点である IBR003 を第三の観測点として用いました．一般に地震動のフーリエスペクトルは震源特性・伝播経路特性・サイト増幅特性

の積で表されますが、発電所敷地と IBR003 は十分近接しているため、各々の地震に対し、震源特性と伝播経路特性は発電所敷地と IBR003 に対して共通と見なすことができ、IBR003 に対する発電所敷地のフーリエスペクトル比をとることで、IBR003 に対する相対的なサイト増幅特性が求められます。結果を図 2 に再掲します。なお、本稿で用いるフーリエスペクトルはすべて水平 2 成分の自乗和平方根をとりバンド幅 0.05Hz の Parzen ウィンドウを適用したものです。この図の縦軸の値がほぼ 1 であるならば、常陸那珂-U または発電所敷地のサイト増幅特性が IBR003 とほぼ同じであることを意味しますが、そうになっていません。常陸那珂-U と発電所敷地の IBR003 に対する相対的なサイト増幅特性はともに 0.3–2Hz 付近で大きな値を示しており、2Hz より高周波側で値が小さい点も含め、非常に良く似ていると言えます。したがって、この結果から、発電所敷地と常陸那珂-U のサイト増幅特性は似ていると言えます。

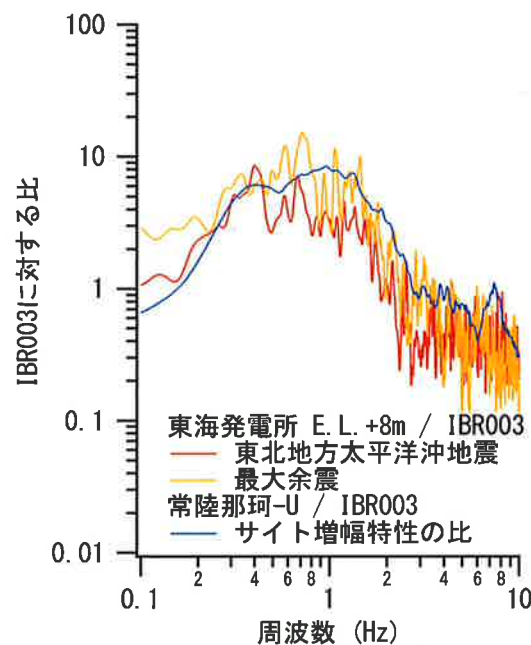


図 2 IBR003 に対する発電所敷地のフーリエスペクトルの比と IBR003 に対する常陸那珂-U のサイト増幅特性の比（IBR003 を介して発電所の敷地と常陸那珂-U のサイト増幅特性を比較している）

ところで、このような比較を行うにあたり注意すべき点として地盤の非線形挙動があります。地盤の非線形挙動とは、大地震時に地盤の特性が変化することであり、その内容は多岐にわたりますが、地震工学において一般的に考慮される基本的な事項として、地盤の剛性の低下（これは S 波速度の低下でもあり固有周波数の低下でもあります）と減衰定数の増加があります。その結果として、地

震動の増幅特性は大地震時に変化することが一般的です。個別の周波数に着目すると、地盤の非線形挙動により振幅が大きくなる場合と小さくなる場合の両方があります。図 2 において、青線（常陸那珂・U の IBR003 に対する相対的なサイト増幅特性）は中小地震記録の解析¹⁾から求まっていますので地盤の非線形挙動の影響はありませんが、赤線と黄色線（発電所敷地の IBR003 に対する相対的なサイト増幅特性）は本震および最大余震の記録から求めたものですので、地盤の非線形挙動の影響を受けている可能性があります。その際、地盤の非線形挙動の影響は分母と分子の両方に入り得ます。そこで、本来は、発電所敷地のサイト増幅特性も中小地震記録から求めることが望ましいのですが、現時点では発電所敷地の中小地震記録が開示されていないため、発電所敷地のサイト増幅特性は大地震時（本震と最大余震）の記録を参考に評価せざるを得ません。発電所敷地の中小地震記録が開示されれば、「発電所敷地のサイト増幅特性は常陸那珂・U ほど大きくない」とする日本原子力発電所の主張が正しいかどうか検証することにつながり、裁判所の判断に資することになります。日本原子力発電所が中小地震記録の公開に前向きでないのは、自らの主張の誤りが明らかになることを恐れているためと推察されます。

いずれにしても、発電所敷地の中小地震記録が開示されていない現状を踏まえると、発電所敷地では大地震記録を用いざるを得ず、それに伴い、基準となる第三の観測点でも大地震記録を用いざるを得ません。その際、発電所敷地での地盤の非線形挙動の影響を避けることはできませんが、せめて、基準となる第三の観測点はできるだけ地盤の非線形挙動が小さいと考えられる観測点を選択した方がよいと考えられます。IBR003 はこのような観点から選択したものです。もちろん、本震および最大余震による茨城県の揺れは強いため、岩盤が完全に路頭している観測点でない限り、地盤の非線形挙動の影響は不可避であると考えられます。実際に、最近の筆者の検討²⁾によれば、少なくとも本震において、IBR003 では、（表層地盤全体ではないかも知れませんが）極表層付近において、地盤剛性の低下が生じていたと考えられます。しかし、それに関わらず、周辺観測点である IBR003、IBR007、IBRH18 の中では、IBR003 を選択することがもっとも妥当であると考えられます。その理由については既に意見書（3）で説明したところですが、肝心の点のみ再掲します。

IBR003、IBR007、IBRH18 の 3 地点のサイト増幅特性¹⁾を比較してみると（図 3）、IBR003 と IBRH18 は 2Hz 程度以下ではほぼフラットで、高周波側にピークが見られますので、岩盤上に比較的薄い堆積層が載っている観測点であると考えられます。それに対して IBR007 は低周波側もまんべんなく増幅する傾向が見られるため、IBR007 は堆積層が比較的厚い観測点であると考えられます。堆積層の厚い観測点は非線形挙動が生じる可能性が高いため（＝大地震時と

小地震時で増幅特性が変わる可能性が高いため) 基準観測点としては不向きであり, IBR007 は基準観測点として選定しませんでした. 2011 年に地震動の事後推定³⁾を行った際はそこまで深く考えることができていませんでしたが, 意見書(3)の時点での判断が妥当であると考えます.

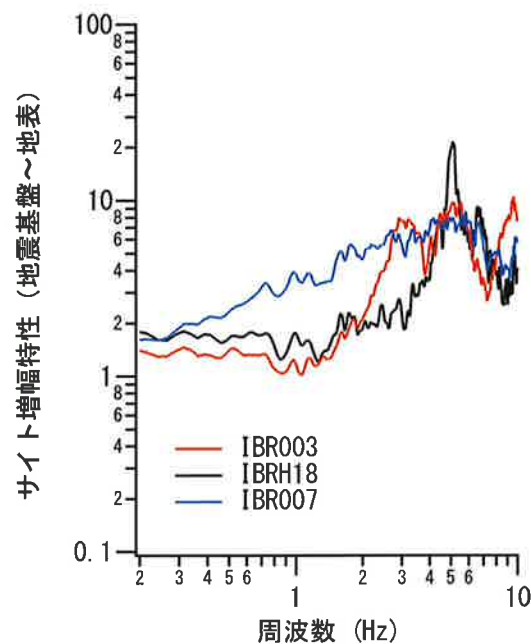


図 3 IBR003, IBR007, IBRH18 の 3 地点のサイト増幅特性の比較

次に, IBR003 と IBRH18 において, サイト増幅特性と, 本震時と最大余震時のフーリエスペクトルを比較してみました. その結果が図 4 です. IBR003 では, サイト増幅特性は 3Hz 付近にピークを有していますが, 本震時および最大余震時のフーリエスペクトルもほぼ 3Hz にピークを有しているため, 地盤の非線形挙動の影響はさほど顕著ではないと判断されます. 一方, IBRH18 では, サイト増幅特性は 5Hz 付近にピークを有していますが, 本震時および最大余震時のフーリエスペクトルは図の左側(低周波側)にピークがずれており, スペクトル全体の形状も, 5Hz 付近で急激に増える傾向ではなく, より低周波側からだんだんと増えるような形状になっています. このことから, IBRH18 の本震時および最大余震時の記録は, IBR003 よりもより強く, 地盤の非線形挙動の影響を受けていると考えられます.

これらのことを考慮し, 第三の観測点としては, 地盤の非線形挙動の影響が比較的小さい IBR003 をとるべきであると判断しました.

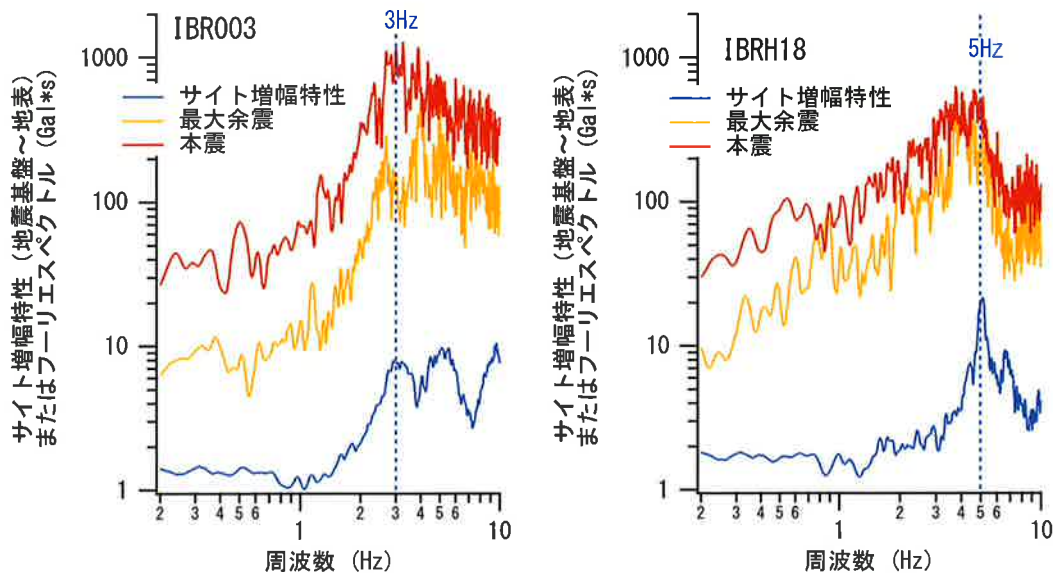


図4 IBR003, IBRH18 の2地点におけるサイト増幅特性と、
本震時と最大余震時のフーリエスペクトルを比較

ただし、上述のような結果が、基準となる第三の観測点の選択に依存していないかどうかについては、さらに確認することが望ましいと言えます。ここまで議論の俎上に上っていない観測点として、IBRH18の地中観測点があります（これまで議論してきたIBRH18は地表観測点）。IBRH18の地中観測点は深度504mであり、S波速度2200m/sの堅固な地層に位置しているため、少なくともセンサー周辺の地層の非線形挙動は無視できると考えられます。地中観測点といえども地表面からの反射波は地盤の非線形挙動の影響を受けるため、地中観測点で観測される地震波に地盤の非線形挙動の影響が全く含まれないわけではありません⁴⁾。しかし、IBR007やIBRH18の地表に比べれば地盤の非線形挙動の影響が小さいことが期待できるため、ここではIBR003に代えてIBRH18の地中観測点を第三の観測点として用いた検討も行いました。

図5では東北地方太平洋沖地震の本震と最大余震における発電所敷地とIBRH18地中における観測記録のフーリエスペクトルを示しています。図6ではIBRH18地中に対する発電所敷地のフーリエスペクトルの比を示しています。

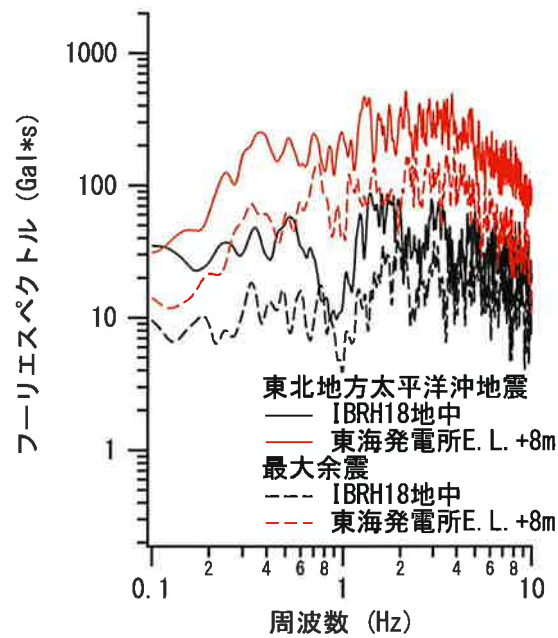


図5 東北地方太平洋沖地震の本震と最大余震における発電所敷地（地表）と IBRH18 地中における観測記録のフーリエスペクトル

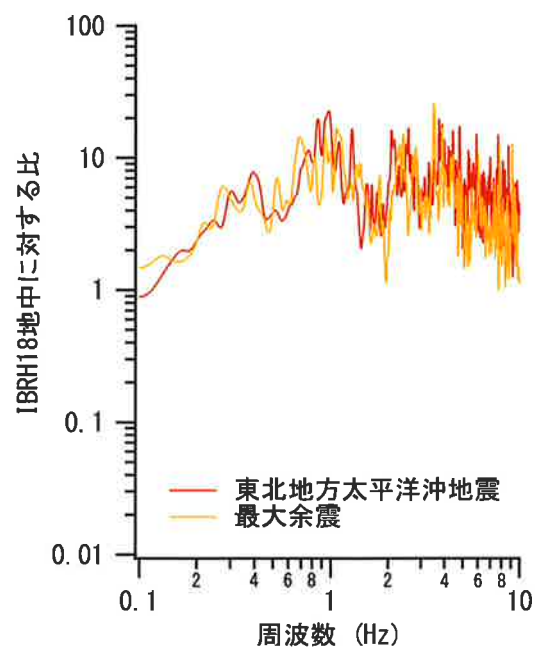


図6 IBRH18 地中に対する発電所敷地のフーリエスペクトルの比

図 7 では IBRH18 地中に対する発電所敷地のフーリエスペクトルの比と IBRH18 地中に対する常陸那珂-U のサイト増幅特性の比を比較しています。図 2 と同じように、今回は IBRH18 地中を介して、発電所の敷地と常陸那珂-U のサイト増幅特性を比較していることになります。ここで、IBRH18 地中のサイト増幅特性は、IBRH18 地表のサイト増幅特性¹⁾を、スペクトルインバージョン¹⁾に用いたのと同じ中小地震観測記録のスペクトル比で補正して求めています。常陸那珂-U と発電所敷地の IBRH18 に対する相対的なサイト増幅特性はともに 1Hz 付近で大きな値を示し、1.5Hz でいったん谷となり、その後また大きくなるなど、極めて近い挙動を示します。したがって、図 2 に加えこの結果からも、発電所敷地と常陸那珂-U のサイト増幅特性は似ていると言えます。

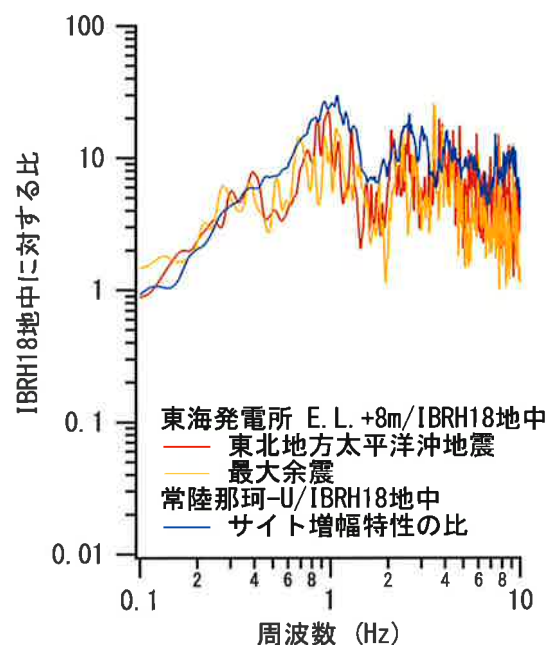


図7 IBRH18 地中に対する発電所敷地のフーリエスペクトルの比と IBRH18 地中に対する常陸那珂-U のサイト増幅特性の比 (IBRH18 地中を介して、発電所の敷地と常陸那珂-U のサイト増幅特性を比較している)

このように、発電所敷地と常陸那珂-U のサイト増幅特性が似ているという結論は、基準となる第三の観測点を変えても変わらないことがわかります。

繰り返しになりますが、常陸那珂-U のサイト増幅特性は 0.3–2Hz の広い周波数帯域でまんべんなく 8~9 倍とかなり大きな値を示しています (図 1)。このような大きなサイト増幅特性は日本原子力発電所が採用している発電所敷地の地下構造モデルでは説明がつかず、発電所敷地の地下構造モデルが不適切であることは確実です。発電所敷地の地下構造モデルは基準地震動の算定、耐震性の

検討に用いられており、それらをやり直さない限り、発電所の安全性は担保されないとと言えます。発電所敷地の中小地震記録が開示されれば、上記の主張が正しいか、それとも「発電所敷地のサイト増幅特性は常陸那珂・U ほど大きくない」とする日本原子力発電所の主張が正しいか、検証することにつながり、裁判所の判断に資することにつながりますので、日本原子力発電所に対して発電所敷地の中小地震記録の開示を求めることをお勧めしたいと思います。

参考文献

- 1) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例, 日本地震工学会論文集, Vol.7, pp.215-234, 2007.
- 2) 野津厚: 強震記録の上下動成分に見られる見かけの残留速度 V_{non} の生成要因, 日本地震工学会論文集, Vol.23, pp.2_1-2_22, 2023.
- 3) 野津厚: 2011 年東北地方太平洋沖地震による常陸那珂・U における地震動の事後推定, https://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/research_jpn/research_jpn_2011/jr_401.html
- 4) 若井淳, 野津厚: KiK net 地中観測点の記録に見られる表層地盤の非線形挙動の影響, 地震 2, Vol.67, pp.90-104, 2014.