

## 地震波干渉法による岩盤部分の減衰定数検討の 進捗状況について

- ・本資料は、2023年7月31日提出の「耐震建物08 設工認に係る補足説明資料 耐震設計の基本方針に関する地震応答解析における地盤モデル及び物性値の設定について (R18)」のうち、「別紙2-3 岩盤部分の減衰定数に係る検討について」における地震波干渉法による減衰定数の評価方法及び結果について、現状結果の見込みが得られている中央地盤の内容を示すものである。
- ・本資料の記載内容については、今後、西側地盤及び東側地盤における評価結果の追加と合わせて見直しの上、上記資料に反映する。

## 7.4 地震波干渉法による検討

### 7.4.1 評価の概要

Fukushima et al. (2016)では、地表の観測波形を基準として、地中の観測波形をデコンボリューションした波形に基づき、地震計間の減衰定数を推定する手法を提案している。本手法は、2つの地震計間で一様な地盤を仮定しているため、最終的に得られた減衰定数は、2地点間の平均的なQ値とみなすことができる。

Fukushima et al. (2016)では、この手法の適用性について、以下の条件を示している。

- ① ボアホール地震計の深さが300m以上
- ② ボアホール地震計設置位置のS波速度が3000m/sより小さい。
- ③ ボーリングの検層結果に基づく地表と地中の地震計位置の理論往復走時が0.5秒より大きい。

ただし、Riga et al. (2019)によれば、地震観測記録の分析の結果として、入射波と反射波が分離されていれば、上記の条件を満足しておらずとも、この方法が適用可能であることが示されている。

後述する当社敷地の地震観測記録（中央地盤）に基づく、地表面の地震観測深さ（G.L.-2m）を基準点としたときの解放基盤表面深さ（G.L.-125m）のデコンボリューション波形において、後述の第7.4.2-3図に示すとおり、入射波と反射波が明確に分離されていることを確認したことから、本手法を敷地に適用することに問題はないと考えられる。

## 7.4.2 地震観測記録のスタッキング及び評価に用いる観測記録の抽出

### (1) 検討対象とする地震

評価に用いる地震については、まず、母集団として、第 7.4.2-1 図に示す、敷地からの震央距離 150km 以内で観測された 1995 年 12 月から 2021 年 3 月までの地震のうち、M4 以上かつ地表面 (G.L. -2m) と解放基盤表面レベル (G.L. -125m) の地震計において地震観測記録が得られている地震 (350 地震) とした。

これらの地震には、内陸地殻内地震、プレート境界地震及びプレート内地震が混在し、到来方向や入射角度が一樣ではないため、前述のとおり各地震観測記録に対して、デコンボリューションを行うことにより、震源特性や伝播経路特性による影響は除去されるため、敷地における特性に着目した検討が行えることとなる。

また、各地震観測記録に対しては、S 波を含む 20 秒の区間を切り出して評価を行った。

これらの地震観測記録から、評価に用いる地震動の抽出を、(2) に示すとおり実施した。

### (2) 地震観測記録に対する処理

まず、母集団とした地震全てに対し、各地震における地表面を基準とした解放基盤表面レベルにおけるデコンボリューション波形を作成した。また、それぞれのデコンボリューション波形を平均処理した波形 (以下、「スタッキング波形」という。) を作成した。

これらの波形に対し、以下の式で定義される Anderson(2004)による GOF (Goodness of fitting) を算出し、各地震におけるデコンボリューション波形とスタッキング波形との相関が高い記録を選定した。

$$\text{GOF} = 10 \times \max[C(a_1(t), a_2(t)), 0]$$
$$C(a_1(t), a_2(t)) = \frac{\int a_1(t)a_2(t)dt}{[\int a_1^2(t)dt]^{1/2}[\int a_2^2(t)dt]^{1/2}}$$

ここで  $a_1$ 、 $a_2$  はスタッキング波形と個々のデコンボリューション波形を表す。

第 7.4.2-1 表に示すとおり、Anderson(2004)は、GOF の値に応じた適合度を第 7.4.2-1 表 のように設定している。第 7.4.2-1 表の判断基準を

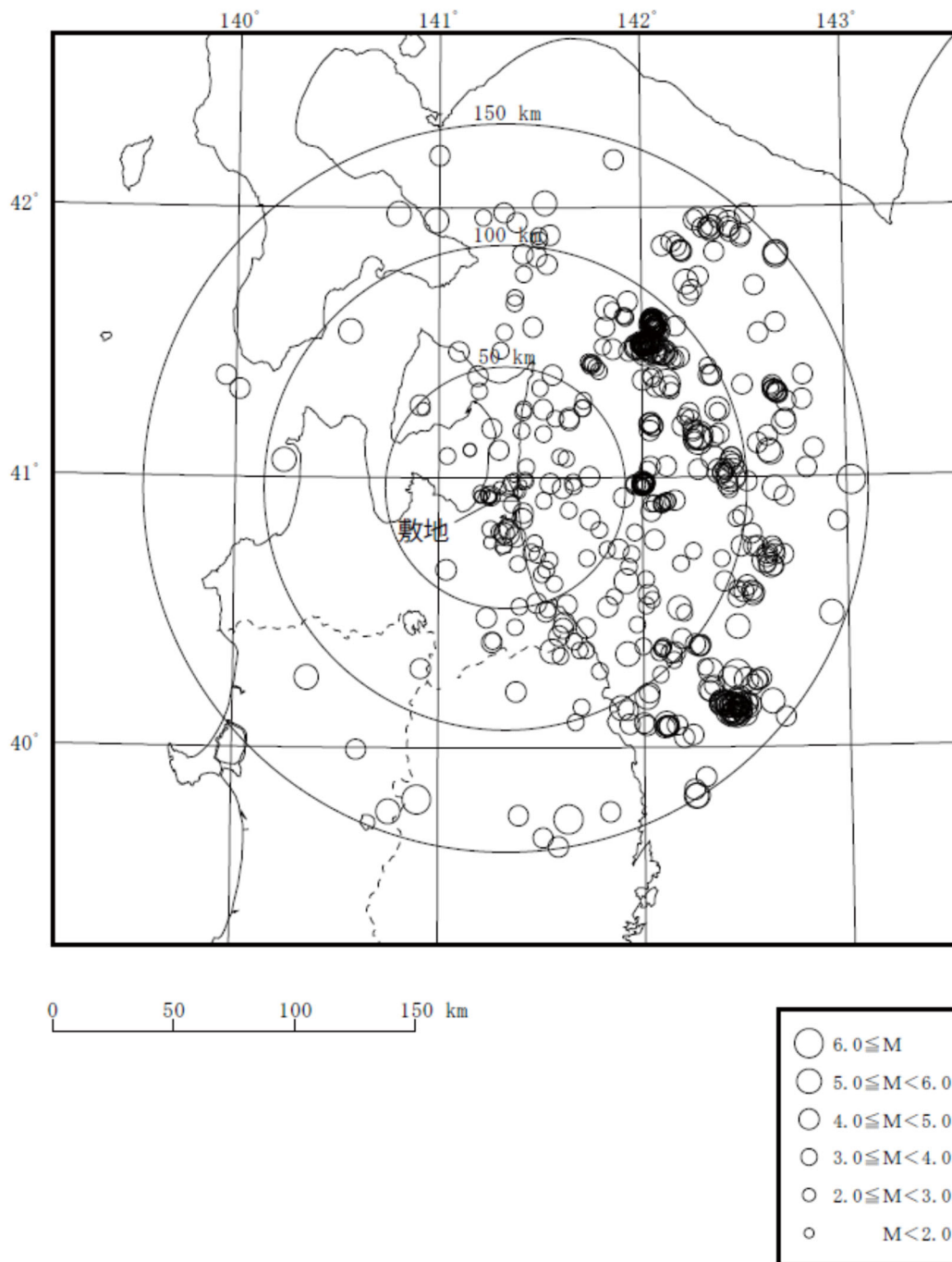
踏まえ、全地震のスタッキング波形に対する各波形の GOF を計算し、GOF の値が 8 以上の記録を用いて解析を行うこととした。GOF 値が 8 以上となっている地震は、全 350 地震中、311 地震であった。

また、Q 値は、スタッキング波形と各デコンボリューション波形から求めた伝達関数を平均した結果から求めるが、GOF の値が 8 以上の地震であっても、地震観測記録に含まれるノイズ等による影響により、各振動数成分の振幅が入射波 > 反射波となる地震観測記録がある場合、減衰定数を適切に評価することができないことから、これらのデータについては除くこととした。抽出の結果、上記を満足する地震は 180 地震であった。

最終的に Q 値を算定するためのスタッキング波形については、上記により抽出した 180 地震に基づき、改めて求めたものを用いた。

第 7.4.2-2 図に、各地震について、地表面の地震観測深さ (G.L. -2m) を基準点としたときの、解放基盤表面深さ (G.L. -125m) のデコンボリューション波形を算定した結果について例を示す。各図には、母集団とした全地震によるスタッキング波形を重ね書きで示している。なお、個々の地震のデコンボリューション波形のうち、図中で赤色で示しているものについては、GOF が 8 以上である波形であることを示す。

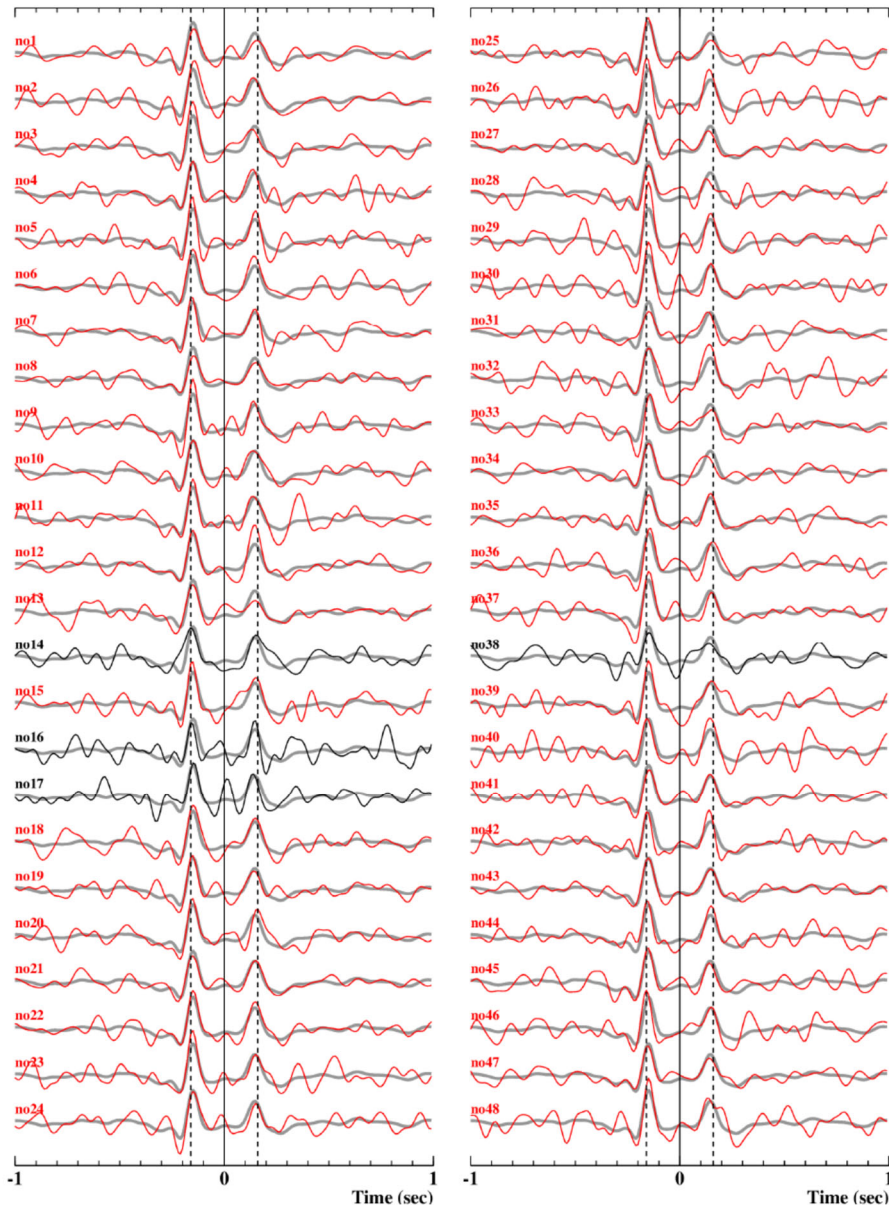
作成したスタッキング波形については、第 7.4.2-2 図に示されるとおり、入射波のピークと反射波のピークが明確に分離されていることから、「7.4.1 評価の概要」に示したとおり、Fukushima et al. (2016) における手法を当社敷地に適用することに問題はないと判断した。



第 7.4.2-1 図 評価に用いた地震の震央位置

第 7. 4. 2-1 表 Anderson(2004)における GOF に対する判定の考え方

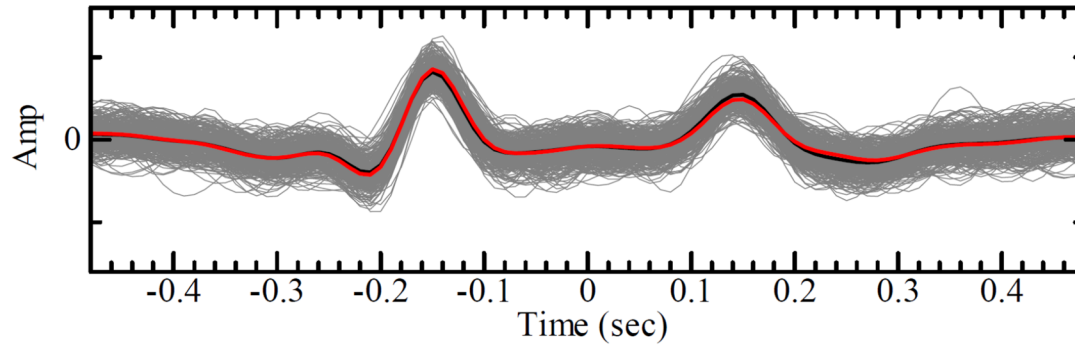
GOF の範囲	判定結果
4 以下	a poor fit
4 ~ 6	a fair fit
6 ~ 8	a good fit
8 以上	a excellent fit



注記 GOF が8 以上のデコンボリューション波形は赤色で示す。

第7. 4. 2-2図 GL-2mに対するGL-125mの各地震のデコンボリューション波形（細線）とスタッキング波形（灰太線）の例

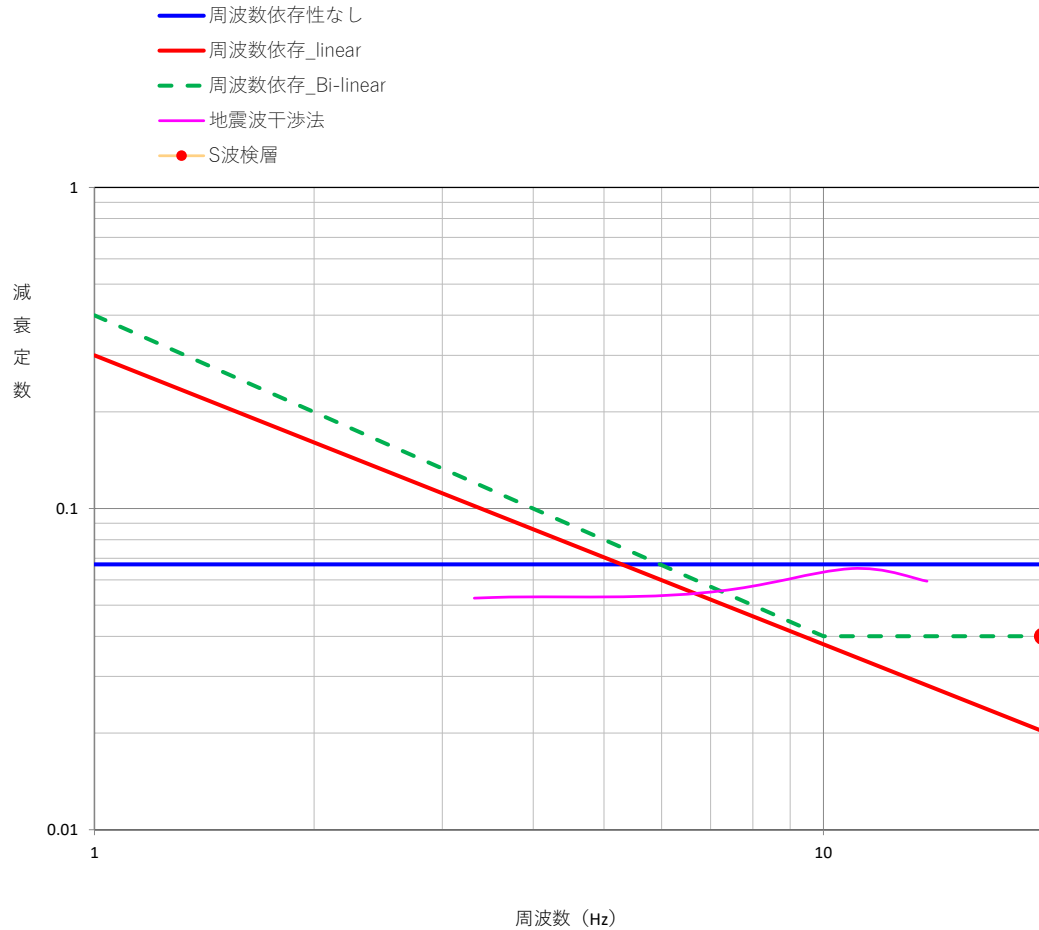
灰色線：GOF8以上の全地震波，  
赤線：GOF8以上かつ入射波>反射波となっているデータに基づき作成したスタッキング波形  
黒線：（参考）GOF8以上の全地震波に基づき作成したスタッキング波形



第 7.4.2-3 図 GOF が 8 以上となる各地震のデコンボリューション波形  
及びスタッキング波形の作成結果

### 7.4.3 減衰定数の推定結果

各地震のデコンボリューション波形における，入射波に対する反射波の振幅の比率に基づき減衰定数を評価した結果を第7.4.3-4図に示す。



第7.4.3-4図 地震波干渉法による減衰定数の評価結果（中央地盤観測点）  
（参考に，その他評価方法における結果を重ね書きで示す。）