

地震基盤位置における波形データベースを用いた設計地震動評価に関する基礎的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 田中 浩平
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 坂井 公俊
 中央開発株式会社 正会員 ○王寺 秀介

1. はじめに

震源を特定した強震動予測手法により、地点依存の地震動を評価することの重要性が指摘されている。その一方で、鉄道や道路のような線状に連続する構造物において、地点や構造物ごとに強震動予測手法による網羅的な解析を実施して設計地震動を設定する場合は、実務上の膨大な手間が発生する。ここで、地震動に影響を与える特性として、震源特性、伝播経路特性、地点特性がある。このうち、一般的に、地点特性は地震基盤 ($V_s=3000\text{m/s}$) から地表面までの地震増幅特性 (サイト増幅特性)¹⁾であり、地震観測や常時微動観測により地点ごとに評価する必要がある。一方、特に内陸地殻内地震のような発生頻度が低い地震は、震源特性については地震規模や走向等の巨視的な諸元を除けば、各震源固有に設定できる諸元は少なく、文献²⁾などから標準的な値を設定する。また、伝播経路特性も散乱減衰などに地域固有の値が多少みられる程度である。以上から、現状の強震動予測手法で、地点固有の設定が必要なのは地点特性であり、地震基盤位置で評価した地震動については、評価地点によらず同一の結果を活用することで、評価の手間を軽減できる可能性がある。そこで、以下のような設計地震動の設定方法を考える。

- ① 事前に特定できる地震規模 M_w のみの条件から、震源モデルを網羅的に変化させた地震基盤位置の地震動評価を実施し、地震基盤位置の波形データベースを作成する。
- ② 対象地震の規模および震源距離に該当する波形群をデータベースから抽出し、文献³⁾の方法で、任意の所要降伏震度スペクトル (例えば地震波形群の平均) に適合する波形を地震基盤位置の時刻歴波形として作成する。
- ③ 地表面位置の時刻歴波形は、地震基盤位置の時刻歴波形に各地点のサイト増幅特性を乗じることで作成する。

本論文では、①で評価した地震基盤位置の波形群が、観測記録と同様の傾向を有しているかを確認し、②、③の手法に従って、地表面位置の時刻歴波形を評価した事例を示す。

2. 強震動予測手法の概要

強震動予測手法として、震源・伝播経路をそれぞれモデル化した位相特性を用いた統計的グリーン関数法⁴⁾により、地震基盤位置の地震動を評価する。グリーン関数の振幅スペクトルには、近地項、中間項の影響も考慮する⁵⁾。また、高周波遮断周波数 $f_{\max}$ は 6Hz、ラディエーションパターン係数は全方位の平均値として 0.63、地震動を水平方向の2成分に分配する係数は $1/\sqrt{2}$ 、自由表面の影響による増幅は 2.0 をそれぞれ用いる。地震動評価にあたっては、震源モデルごとに、断層破壊進展の揺らぎやグリーン関数に与える位相スペクトルの変動といった不確定性を考慮した 100 ケースの地震動を評価する。また、本検討で用いた震源モデルは、文献⁶⁾における主要な活断層から、対象とする地震の規模に該当する震源モデルを抽出することで設定した。

3. 地震基盤波形の検証

提案手法を検証するために、 $M_w6.6$ の地震に対して地震基盤位置の波形データベースを作成し、既往の観測記録との比較を行う。強震動予測シミュレーションにおける震源モデルは、検証対象の $M_w6.6$ に該当する主要な活断層を抽出して設定した (表 1)。このとき、計算地点は断層面との幾何学的な位置関係が網羅的になるように設定した。比較対象の既往地震を表 2 に示す。震源近傍で甚大な構造物被害が発生した地震も含まれており、内陸地殻内地震のうち、観測記録が存在するものとして十分に大きな規模である。シミュレーションと観測の比較は地震基盤位置で行うため、各記録をその地点のサイト増幅特性¹⁾で除すことにより地震基盤位置の記録に変換している。

最終的に得られた結果を図 1, 2 に示す。図 1 に示す最大加速度は、観測記録の数を確保するため計算結果が存在しない震源距離 40-50km 程度まで表示している。いずれの距離も計算結果と観測記録の距離減衰特性が比較的類似しており、ばらつきも同程度であることが確認できる。図 2 に示す加速度応答スペクトルは、震源距離 35km 以内の比較的震源近傍の記録で比較を行った。これを見ると、それぞれの観測記録は震源の破壊過程などの影響により、比較的大きなばらつきを有している。ここには記載していないが、当然のようにこのような大きなばらつきは、計算結果にも同様に見られる。ただし、最終的に評価された平均および平均+標準偏差のスペクトルは、計算結果と観測結果の比較では広い周期帯で一致しており、評価された地震基盤位置の地震波形の妥当性が検証された。

4. 適用事例

提案手法の適用事例として、K-NET 長岡(NIG017)地点において $M_w6.6$ 、震源距離 30km の震源に対する時刻歴波

キーワード 強震動予測手法, 設計地震動, 地震動評価, サイト増幅特性

連絡先 〒169-8612 東京都新宿区西早稲田 3-13-5 中央開発 (株) TEL03-3208-5252

形を評価する。はじめに、 $M_w 6.6$ の地震基盤の波形データベースから震源距離 29-31km に該当する波形を抽出する。この波形群に対して所要降伏震度スペクトルを評価し、文献³⁾に示す方法に従って平均、平均±標準偏差に該当する所要降伏震度スペクトルをターゲットとしたスペクトル適合波を作成した(図3)。図4に所要降伏震度スペクトルの比較結果を示すが、適合波のスペクトルがターゲットスペクトルに一致していることが確認できる。これを地震基盤位置の時刻歴波形とし、この地震動のフーリエ振幅スペクトルに対して、K-NET 長岡のサイト増幅特性を乗じたものを地表面波形とした。最終的に評価された地表面波形の所要降伏震度スペクトルを図5に示す。なお、K-NET 長岡地点は、新潟県中越沖地震において震源距離 29.7km の記録が観測されているため、その記録の所要降伏震度スペクトルを図5に重ね書きした。観測記録は、作成した時刻歴波形のスペクトルの平均±標準偏差の間にあり、本手法により適切な波形が作成されていることが確認できる。

5. おわりに

強震動予測手法による設計地震動の設定を簡略化することを目的として、地震基盤位置の地震動データベースに基づき地表面波形を評価する手法を提案し、手法の妥当性を検証した。

参考文献 1) 野津, 長尾, 山田: 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, Vol.7, No.2, pp.215-234, 2007, 2) 地震調査研究推進本部: 震源断層を特定した地震動の強震動予測手法(「レシピ」), 2014, 3) 坂井, 室野: 多数の参照地震動群と構造物非線形挙動を考慮した設計地震動波形の合成, 鉄道総研報告, Vol.29, No.3, pp.11-16, 2015, 4) 坂井: 土木構造物の非線形応答特性を考慮した性能設計のための地震動評価の高度化に関する研究, 京都大学学位論文, p.259, 2014, 5) 野津: 統計的グリーン関数法に近地項と中間項を導入するための簡便な方法, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.190-193, 2006, 6) 地震調査研究推進本部: 全国地震動予測地図別冊 震源断層を特定した地震動予測地図

表1 シミュレーションにおける震源モデル⁶⁾

断層名	長さ(km)	幅(km)	傾斜角(°)	地震モーメント(N・m)
庄内平野東縁断層帯北部	26.0	18.0	30.0	1.17E+19
伊勢断層	22.0	18.0	60.0	8.98E+18
高山・大原断層帯国府断層帯	28.0	14.0	90.0	8.55E+18
温身断層南東部	22.0	18.0	90.0	8.98E+18
雲仙断層群南東部	26.0	18.0	60.0	1.07E+19

表2 Mw6.6に該当する既往観測地震

地震発生日時	地震名	震源位置		震源深度(km)	地震モーメント(N・m)
		緯度(°)	経度(°)		
2000/10/6 13:30:18	鳥取県西部地震	35.2752	133.3498	11.3	8.62E+18
2004/10/23 17:56:00	新潟県中越地震	37.2895	138.8703	13.1	7.53E+18
2005/3/20 10:53:40	福岡県西方沖地震	33.7392	130.1763	9.2	7.80E+18
2007/7/16 10:13:23	新潟県中越沖地震	37.5568	138.6095	16.8	9.30E+18
2011/4/11 17:16:12	福島県浜通りの地震	36.9457	140.6727	6.4	9.58E+18

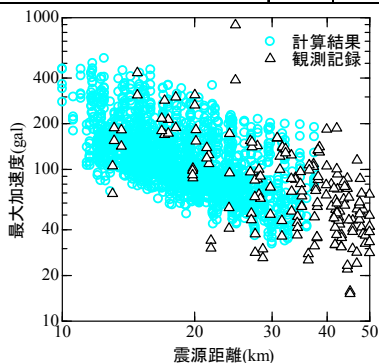


図1 最大加速度における比較結果

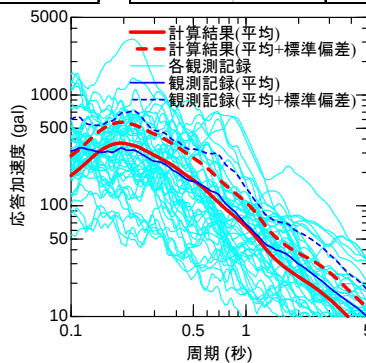


図2 加速度応答スペクトルにおける比較結果

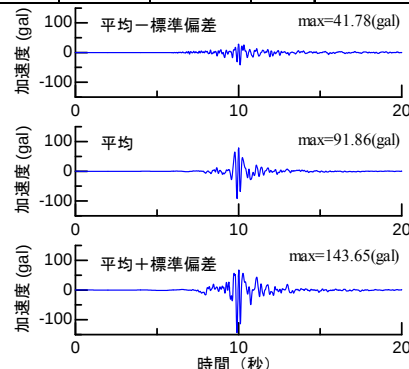


図3 地震基盤におけるスペクトル適合波

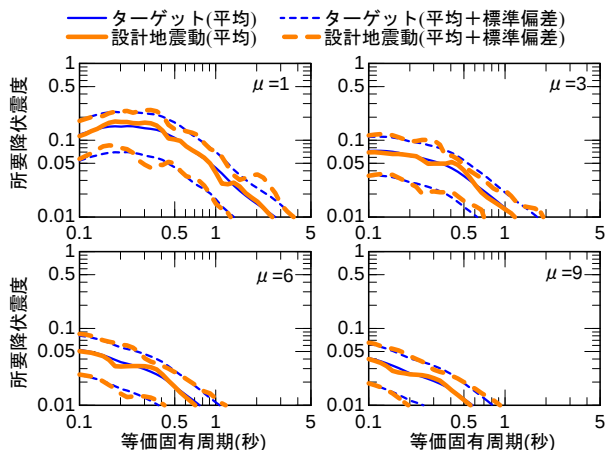


図4 所要降伏震度スペクトルの比較結果(地震基盤)

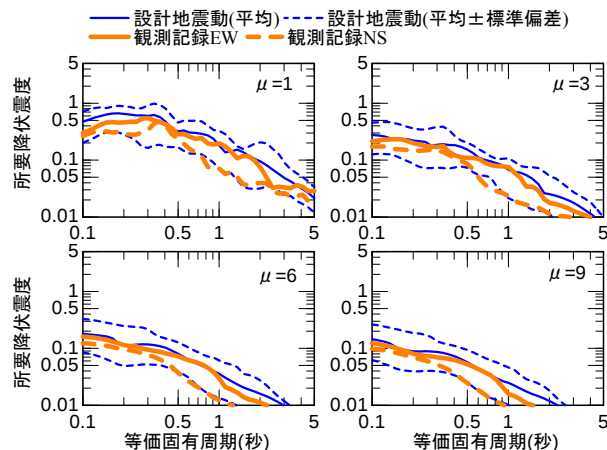


図5 地表面設計地震動と K-NET 長岡の観測記録の比較