

地点依存の動的解析による地震動の評価が構造物応答に及ぼす影響（その1：地表面地震動の評価）

東海旅客鉄道㈱

正会員

○酒井 大央

増田 智哉

寶地 雄大

安原 真人

(公財)鉄道総合技術研究所

正会員

月岡 桂吾

伊吹 竜一

坂井 公俊

井澤 淳

1. はじめに

鉄道構造物の耐震設計実務では、設計標準¹⁾に示される予め設定された地表面地震動（以下、標準地震動と呼ぶ）及び応答スペクトル（以下、標準スペクトルと呼ぶ）を用いて構造物の応答値を算定する場合が多い。一方で、同標準では地点依存の動的解析により表層地盤の挙動を算定し地表面地震動を算定する手法が推奨されている。この手法を用いることで建設地点の地盤挙動を考慮したより実現象に近い地表面地震動の評価が可能となる。そこで、本検討では延長 18 km の区間における地質調査結果を基に、地点依存の動的解析により地表面地震動及び弾性加速度応答スペクトルを算定し、標準地震動、標準スペクトルと比較した結果を報告する。

2. 地点依存の動的解析による地表面地震動の評価

（1）建設地点の地盤条件

本検討は中央新幹線の計画路線のうち約 18 km の区間を対象に実施した地質調査結果を用いて行った。当該区間は、表層地盤の最大深度が約 60m の沖積層が厚く堆積した砂層、粘土層が互層に介在する地盤である。また、当該区間は設計標準に示される地盤種別のうち G2～G5 地盤に分類されており、表-1 に示す通り地盤種別毎に計 83 地点を対象に地点依存の動的解析により地表面地震動を評価した。

（2）表層地盤のモデル化及び入力地震動

地点依存の地表面地震動の算定には、質点系モデルによる逐次非線形解析法を用いた。土の応力-ひずみ関係を表現する非線形構成則は GHE-S²⁾モデルを用いた。ここで、動的解析により地盤応答を評価する場合には、入念な土質調査に基づく非線形特性の設定が必要であるが、今回は設計標準に示される標準パラメータを使用した。また、減衰特性は減衰定数 h を 1 次、2 次モードで 3% となるレーリー減衰を設定し、入力地震動は設計標準の標準 L2 地震動スペクトル I、II（G1 地盤）を用いた。

（3）解析結果の比較

動的解析により算定した地表面地震動の最大加速度及び最大変位を地盤種別毎に平均化した結果を表-2 に示す。なお、同表には比較のために標準地震動の値も示している。なお、G2 地盤は固有周期 T_g の大きさと調査地点の位置等を勘案して 2 つにグループ分けを行っている（G2-A、G2-B）。これを見ると、標準地震動に比べて大局的には加速度、変位ともに標準地震動に対して数%～40%程度低減している。一方で、スペクトル II を入力した G3、G4 地盤の結果では、最大変位が 5～10%増加していることも分かる。

表-1 地点数

地盤種別	地点数
G2	26
G3	12
G4	22
G5	23
計	83

表-2 地盤種別ごとの最大応答値の比較

地盤種別	T _g (sec)	動的解析				標準地震動				比率（動解/標準）			
		Acc Max(gal)		Dis Max(cm)		Acc Max(gal)		Dis Max(cm)		Acc Max(gal)		Dis Max(cm)	
		spc I	spc II	spc I	spc II	spc I	spc II	spc I	spc II	spc I	spc II	spc I	spc II
G2-A	0.118	589.7	956.4	1.4	3.4	851.6	1028.6	3.8	4.9	0.69	0.93	0.37	0.69
G2-B	0.228	573.7	714.1	5.0	8.9	851.6	1028.6	7.3	9.4	0.67	0.69	0.68	0.95
G3	0.378	452.5	537.3	9.9	17.1	663.7	872.3	12.1	15.6	0.68	0.62	0.82	1.10
G4	0.664	367.6	418.1	19.5	28.9	539.8	788.9	21.3	27.4	0.68	0.53	0.92	1.05
G5	0.818	352.4	402.1	21.9	31.3	445.0	664.6	26.2	33.8	0.79	0.61	0.84	0.93

キーワード 地点依存、動的解析、地表面地震動、動的解析、弾性加速度応答スペクトル

連絡先 〒108-8204 東京都港区港南二丁目 1 番 85 号 JR 東海品川ビル A 棟 中央新幹線建設部 TEL 03-6851-4364

3. 地表面地震動の弾性加速度応答スペクトル

(1) 検討条件

地表面地震動を用いて弾性加速度応答スペクトルを算定し、構造物応答への影響を検討する。さらに、地盤種別毎のスペクトル群の非超過確率 90% のスペクトル³⁾を算定すると共に、これを基に弾性加速度応答スペクトルを直線化した。なお、以降では紙面の都合上、地点数が多いスペクトル II を入力した G2 地盤の結果のみを示す。

(2) 応答スペクトルの算出結果

地盤種別毎の弾性加速度応答スペクトル及び非超過確率 90% のスペクトルをまとめて図-1 に示す。また、図-2 には非超過確率 90% のスペクトルとこれを基に算定した直線化スペクトルを示す。なお、スペクトルの直線化においては、一般的な鉄道構造物の周期帯の応答を適切に表現する事を重視し、極短周期領域では標準スペクトルと同一の勾配を設定した。また、表層地盤の強度と構造物応答の関係性を把握するため、地盤強度比 K_f ⁴⁾を算定した結果を図-3 に示す。

図-2 より G2-A の結果は、極短周期で標準スペクトルよりも大きくなる一方で、長周期側では応答が低減していることが分かる。また G2-B では短周期側の応答が低減する結果となった。

この要因を考察するために、地盤の固有周期、強度の観点で耐震設計標準の設計地震動を設定する際に検討を行った地盤（以下、標準地盤と呼ぶ）との関係（図-3）を見ると、標準地盤と比較して G2-A の地盤の方が相対的に周期 T_g が短く、強度 K_f が大きくなっている。その一方で G2-B には周期 T_g が長く、強度 K_f が小さい地盤が集中している。この結果として G2-A では地盤の非線形化の影響が相対的に小さくなり、短周期成分で大きく、長周期成分で小さな応答を示す地表面地震動となったと考えられる。また、G2-B では標準地盤と比較して地盤の非線形化の影響が相対的に強くなり、地表面地震動の短周期成分が低減したものと捉えることができる。

4. おわりに

地点依存の動的解析により算定した地表面地震動が構造物応答に与える影響を検討するため、地表面地震動及び弾性加速度応答スペクトルを算定し標準地震動と比較した。また、地表面地震動の大小を地盤の固有周期、強度の観点で整理した結果、地盤の非線形化の程度による応答の変化という一般的な傾向と調和的であることを確認した。

参考文献

1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善出版，2012 年。2) 室野剛隆，野上雄太：S 字型の履歴曲線の形状を考慮した土の応力～ひずみ関係，第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集，2006 年，pp.494-497。3) 坂井公俊，井澤淳，室野剛隆：地盤全体系の強度と固有周期を用いた耐震設計のための地盤分類法，土木学会論文集 A1，第 73 巻，2 号，2017 年，pp.433-442。4) 坂井公俊，井澤淳，室野剛隆，日野篤志：地盤全体系の強度指標の提案とその簡易推定法に関する検討，日本地震工学論文集，第 15 巻，第 7 号，2015 年，pp.22-33。

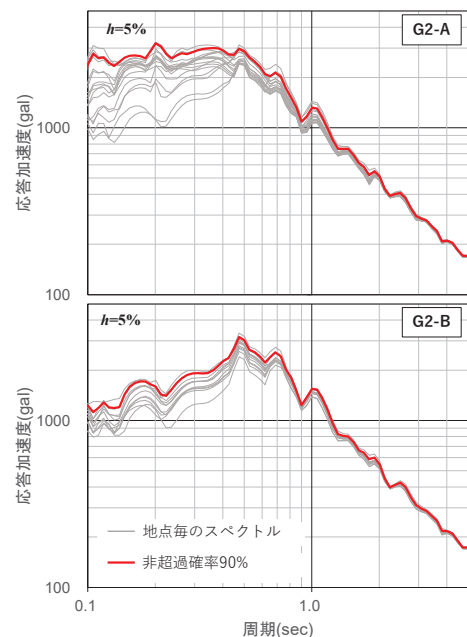


図-1 弾性加速度応答スペクトルの算出結果

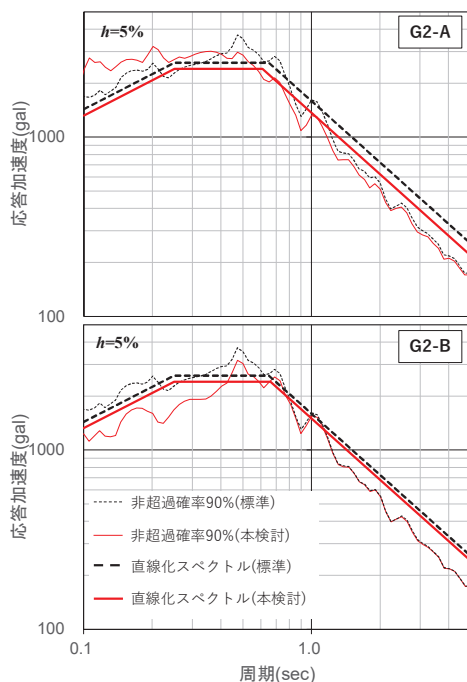


図-2 弾性加速度応答スペクトルの直線化

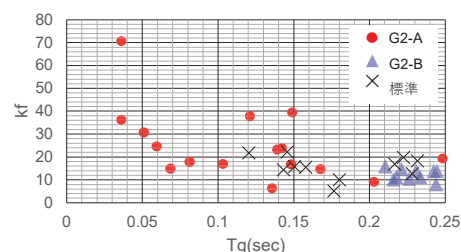


図-3 地点毎の T_g - K_f 関係