

鉄道構造物を対象とした表層地盤の地震動増幅率についての評価

0417071 田中 康友

指導教員 岡田 久輝 吉川 弘道

1. 背景と目的

近年、兵庫県南部地震などの地震による大災害が多く発生している。こうした地震は、主要な公共財である鉄道に対して大きな被害をもたらため、地震時の早期復旧が必要であり重要である。本研究は、その早期復旧を実現するために、ある鉄道路線に着目し、シナリオ地震(想定された地震)に対して精度の高い鉄道路線の被害推定を最終目的とし、特に表層地盤における地震動の増幅率を評価するものである。

2. 研究の手順

本研究は、鉄道構造物を対象とした表層地盤の地震動の増幅率について三つの手法を用いて評価を行った。三つの手法の特徴や解析方法の概略を表 1 に、研究の手順は図 1 のフローチャートに示す。初めに、解析対象地点の選定をと、それぞれの地点の工学的基盤面と作用させる入力地震動を選定する。この入力地震波形をもとに 3 つの手法で加速度と速度の増幅率を算定し、対象地点において地震応答解析の評価を行う。

3. 地点の選定

東京西部から神奈川県にかけて実在する鉄道路線の駅や高架橋の地点を選定した。対象地点は、V4, V7, V12, V13 と仮名した計 4 地点である。対象とした鉄道路線の地質縦断図を図 2 に示す。

4. シナリオ地震と強振動シミュレーション

シナリオ地震は以下に示す理由から 1923 年関東地震を選定した。

- ① 関東地方において大きな被害をもたらした地震である。
- ② 対象鉄道路線において地震動レベルが大きいと予想されている。

解析地点での工学的基盤面におけるシナリオ地震の地震波形を強震動シミュレーション¹⁾を用いて作成した。その結果である震度分布の推定結果を図 3 に、解析地点の強震動シミュレーションの結果の一つを図 4 に示す。強震動シミュレーション¹⁾とは、地盤をモデル化し、断層で発生する地震動を長周期地震と短周期地震に分け、長周期地震をボクセル型有限要素法による波動伝播解析、短周期地震を統計的 Green 関数法と一次元重複反射理論を用いて、それぞれの工学的基盤面での応答を解析し、長周期領域と短周期領域の応答をハイブリット合成することによって工学的基盤面での地震動を作成することができるものである。

5. 地震動の増幅率の算出

前項において地点ごとに作成した地震波形をもとに手法 1, 2, 3 のそれぞれにより表層地盤における地震動の増幅率を算定した。

5.1 手法 1 による地震動の増幅率の算定

この手法は、重複反射理論と等価線形化法の二つの理論を用いて解析

キーワード: 鉄道, 増幅率, 地震応答解析, 微地形, AVS(30)

表層地盤(基盤面-地表面)の増幅率の算定手法	増幅率算定式	備考
地震応答解析(SHAKE) →一次元伝播モデルによる *重複反射理論による 等価線形化法	$AF_{PGA} = \frac{PGA_{site}(\alpha)}{PGA_{ref}(\beta)}$ $AF_{PGV} = \frac{PGV_{site}(\alpha)}{PGV_{ref}(\beta)}$	液化判定システム「LIQUEUR(リキュール)」の地震応答解析
周波数特性を考慮した、微地形による増幅率 *内山・緑川(2004)による経験式	$\log AF_c = a1 + a2 \log(f + a3)$ $\log AF_s = a1 + a2 \log(f + a3)$	米国NEHRPの耐震基準の改良
最大応答値に注目した微地形による増幅率 *藤本・室川(2006)による経験式	$\log AF_{PGA} = -0.852 \log(AVS(30)/600)$ $= 2.36 - 0.852 \log(AVS(30)/0.166)$ $\log AF_{PGV} = b \log(AVS(30)/AVS(30)_r)$ $= b \log(AVS(30)/600) + 0.200$	微地形分類を国土数値情報と全国地形分類図を使用

表 1 解析に用いた各手法のまとめ

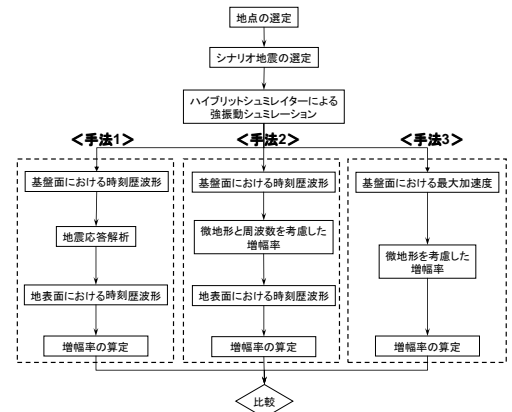


図 1 解析フローチャート

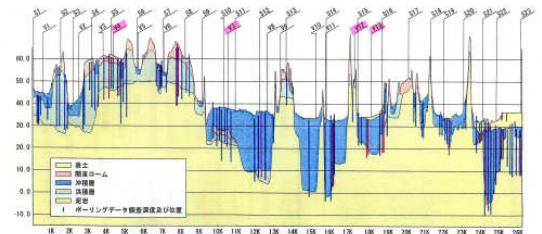


図 2 対象とした鉄道路線の地質縦断図

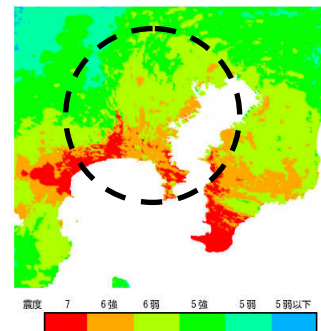


図 3 関東地震による震度分布の推定結果

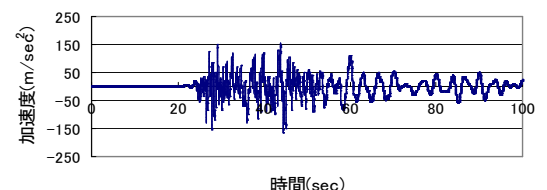


図 4 V4 の強振動シミュレーション結果

をおこなう手法である。本研究では、この地震応答解析による手法を実務において多く使用されている SHAKE により解析をおこなった。地震応答解析による手法の特徴は、解析をおこなう際に地点の工学的基盤面の情報と地震波形の情報が必要となるが精度の高い結果を算定することができることである。結果は図 5 のように工学的基盤面と地表面における地震波形が時刻歴で算定されるので、その二つの最大値を比較することにより、地震動の増幅率を算定した。

5.2 手法 2 および手法 3 による地震動の増幅率の算定

この二つの手法は、地震動の増幅率が微地形に相関があるという考えと過去の地震データ記録の統計とに基づき、微地形から地震動の増幅率を算定する方法である。また、手法 1 とは異なりボーリングデータなどの詳細な地盤データを必要とせず地震動の増幅率を求めることができるのが特徴である。

地震動の増幅率の算定方法は、まず地点の微地形区分と標高をもちいて震度 30m までの平均せん断波速度である AVS(30)を翠川・藤本(2003)²⁾を用い算定する。求められた AVS(30)から加速度と速度の増幅率を算定することができる。手法 2 は内山・翠川³⁾を用いて加速度と速度の増幅率を算定し、手法 3 は翠川・藤本(2006)⁴⁾を用いて増幅率を算定した。また、微地形区分の違いによる地震動の増幅率の差を比較するために、国土数値情報と全国地形分類図を用い、それぞれ手法 3A、3B として解析を行った。

6. 解析結果と考察

各解析地点における加速度と速度の増幅率を比較したものを、それぞれ図 6 の(a)、(b)に示した。この図 6 の結果を基に本研究で使用した手法の中で理論的に最も精度が良い手法 1 を手法 2、手法 3 と比較すると以下のことが考察できた。

手法 2 は、加速度において過大評価、速度において近似される可能性がみられた。手法 3 は、加速度において過小評価、速度において過大される可能性がみられた。これらの原因は、地震動増幅率が微地形区分に強く依存しているためと分かった。よって、より精度の高い被害推定を行うためには手法 1 の地震応答解析による方法を用いるのが最善と考えられる。

また、手法 1 の解析結果から地表面での加速度と速度を比較した図 7 を作成した。図中の周期は震動を単振動と仮定したときの等価固有周期である。しかし、解析から地盤の固有周期は約 0.2~1.2sec、地震の卓越周期は約 2~4sec とどちらにも一致せず、二つの周期が影響した等価固有周期となると思われる。本研究は一つのシナリオ地震に対してのみ評価を行っており、地点毎の卓越周期がほぼ同等であったことから卓越周期の異なる地震の種類を増やしてみると加速度と速度の関係により強い相関を示す可能性が考えられる。

7. まとめ

本研究は表層地盤の地震動増幅率の評価を行った。結果として各手法の特徴は窺えたが評価数が少ないため、解析地点やシナリオ地震のパターンを増やすことが今後の課題となる。

【参考文献】

- 1) 秋山・池上・アフニマル:大規模 3 次元地下構造のモデル化と強振動シミュレーション, 土木学会論文集
- 2) 翠川・藤本(2003):日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤平均 S 波速度分布の推定, 日本地震工学論文集, Vol.3, No.3, 2003, pp.13-27
- 3) 内山・翠川:地盤分類別の地震増幅率を用いた基盤地震動スペクトルの簡便な評価法, 日本建築学会構造系論文集, 第 582 号, pp.39-46
- 4) 翠川・藤本(2006):近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅率と地盤の平均 S 波速度の関係, 日本地震工学論文集 第 6 巻, 第 1 号 2006
- 5) 独立行政法人防災科学技術研究所: <http://www.j-map.bosai.go.jp/>

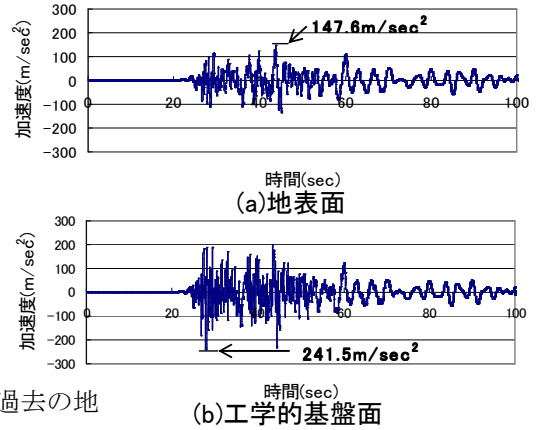


図 5 地震応答解析による V4 の結果

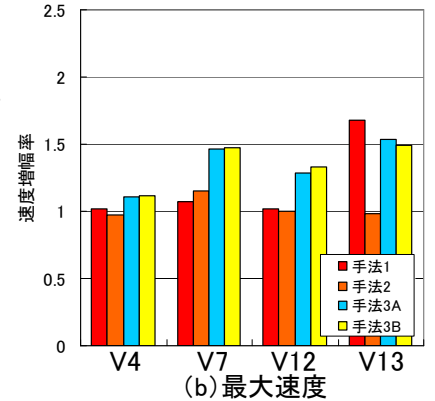
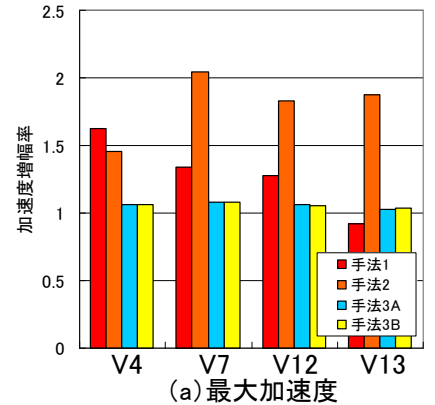


図 6 地盤増幅率の比較

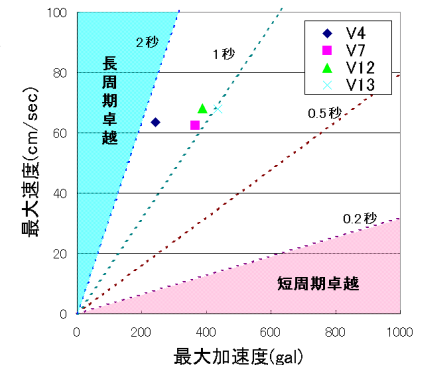


図 7 最大加速度と最大速度の関係