

# 線状施設地震損失推定のための表層地盤増幅特性評価

学生氏名 下村 紘之

指導教員 吉川 弘道 岡田 久輝

## 1.背景と目的

近年、兵庫県南部地震や新潟中越地震などの大災害を起こす地震が多く発生している。また、中央防災会議では、首都圏直下地震や東海・東南海地震の将来的な危険性などが指摘されている。このような大地震が発生した際重要な公共の交通機関である鉄道に対して大きな被害をもたらすと考えられる。そのため、早期復旧が必要であり重要である。

早期復旧を行うためには、シナリオ地震(予測された地震)に対して被害の予測をたてておく必要がある。この被害の予想は、表層地盤における地震動から求めることができる。また、表層地盤における地震動は工学的基盤面での地震動を応答解析などを行うことによって求めることができる。

そこで、本研究では地震時に線状施設早期復旧の基礎研究として、線状施設の地震損失推定を目標とした表層地盤の地震動増幅特性の評価を行う。表層地盤の地震動増幅特性は、対象路線上の施設を対象とし、既存の土質調査結果(ボーリング調査)から表層地盤をモデル化し1次元地震応答解析(SHAKE)により、地点ごとに増幅特性を把握することを目的とする。なお、工学的基盤面( $V_s=300\text{m/sec}$ 以上)に与える地震動は、近年の強震動予測の高精度な予測が可能になってきていることから、震源断層での地震発生からの地盤内の波動伝播を一貫して解析できる強震動シミュレータを用いた。

## 2.研究方法

本研究は、図のフローチャートの手順をもとに検討を行う。線状構造物を選定するため首都圏西部を走っている鉄道路線を対象に解析を行う。シナリオ地震は1923年に発生した関東地震を選定する。理由として、首都圏に大きな被害をだした地震であり、地震動が大きいと予測されるため関東地震を選定した。強震動シミュレータ(震源断層の仮定と深部地盤のモデル化による長周期地震動と短周期地震動とのハイブリット合成)を行い工学的基盤面( $V_s=300\text{m/sec}$ )における時刻歴波形を算出。土質調査結果(ボーリング調査94本)を使用し、そのデータから表層地盤をモデル化する。これらのデータをもとに1次元地震応答解析(SHAKE)を使用して、表層地盤における時刻歴波形を算出する。その表層地盤の時刻歴波形から表層地盤の応答

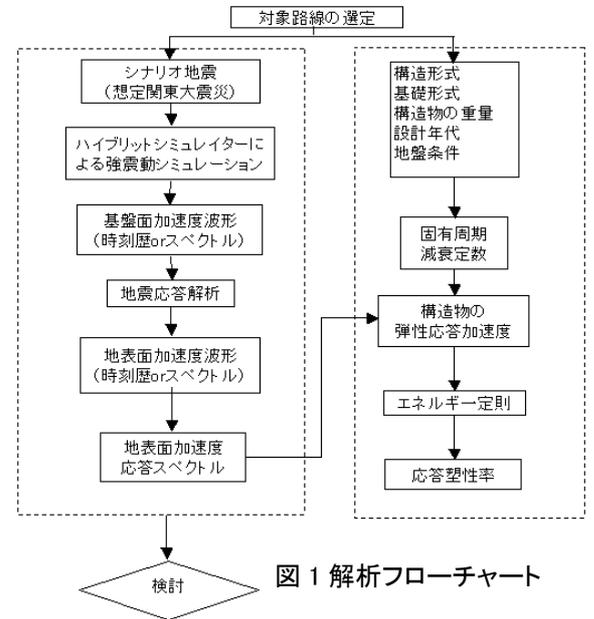


図1 解析フローチャート

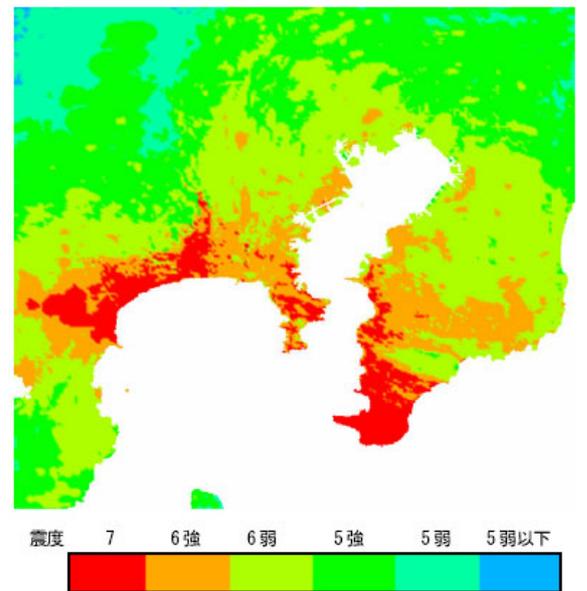


図2 関東地震による震度分布の推定結果

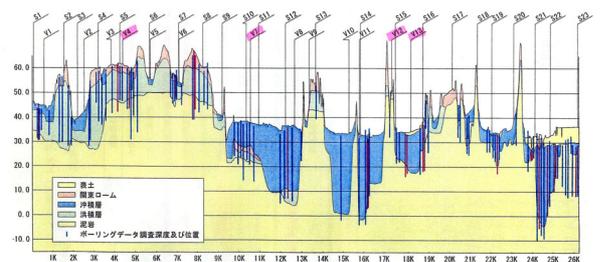


図3 対象とした鉄道路線の地質縦断図

key word:固有周期, 増幅率, スペクトル,

スペクトルを算出する。全てのデータをもとに路線内の表層地盤の分類ごとに表層地盤の増幅特性を把握し各地点や地域ごとに比較を行う。表層地盤の周波数増幅特性と構造物の固有周期と比較を行い、線状施設の地震損失の危険箇所を想定する。

### 3.解析条件

地震応答解析(SHAKE)を使用するため表1を一例とし各地点の地盤条件を入力する。表1と入力地震で地表面の地震加速度等を算出する。各地点の近辺のボーリングデータをもとに、それぞれの値を出していく、また、土質については高速道路設計要領より選定した。

表2は各地点の震源からの距離、層厚、固有周期を算出した。地震の震源地を小田原市の中心部からの距離を測り求めた。固有周期は地盤の固有周期でせん断波速度と層圧を使い算出された値です。震源距離は距離減衰に使用し、固有周期はフーリエスペクトルで比較を行うために算出しました。

### 4.解析結果

#### 4.1 加速度・速度増幅率

前項の解析条件を使用し、解析を行う。表1の地盤条件を入力し入力波をもとに地表面の加速度と速度を求めることができる。図4で加速度の基盤面と地表面の時刻歴波形の一例である。表3は各地点の加速度・速度の増幅率とその標準偏差を示した。図4では一例として対象路線図の図3からS1使用した。

表1 入力地盤条件例(S1)

地点S1	地層番号	土質	N値	深度(m)	せん断弾性係数G <sub>0</sub>	単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	せん断波速度Vs(cm/sec)
	1	Ts	1	1.50	3571.4		14
	2	Am	1	2.35	3571.4		14
	3	Ds	35	5.50	207450.8		19
	4	Dm	10	6.50	80514.8		17
	5	Dg	50	11.38	186128.3		21
	6	Tm	50	14.34	192857.1		21

表2 各地点の条件

S	震源からの距離(km)	層(m)	固有周期(sec)	V	震源からの距離(km)	層(m)	固有周期(sec)
S1	78.8	14.34	0.351	V1	78.7	12.69	0.351
S2	78.6	29.13	0.460	V3	77.0	15.19	0.353
S4	77.5	22.00	0.468	V4	76.3	16.14	0.335
S5	76.4	20.50	0.431	V6	75.7	10.20	0.292
S7	75.7	10.20	0.248	V7	72.3	15.82	0.363
S8	76.2	20.23	0.382	V8	66.2	33.50	0.558
S10	72.4	18.16	0.398	V12	61.0	11.00	0.223
S11	72.0	25.10	0.487				
S12	66.5	27.10	0.468				
S13	64.4	15.10	0.316				
S19	61.3	20.11	0.223				
S20	56.7	14.13	0.243				
S21	56.7	10.26	0.231				
S22	54.5	28.15	0.680				
S23	55.6	25.20	0.366				

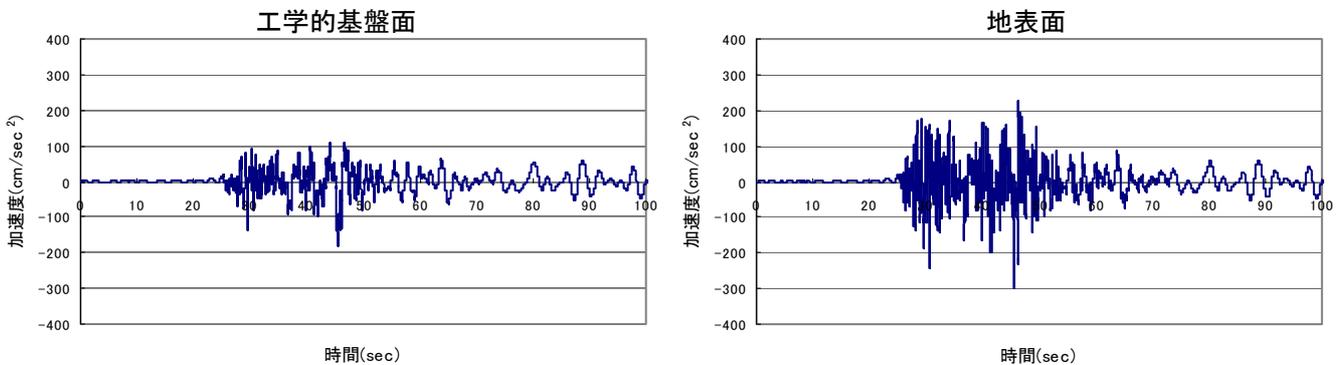


図4 加速度時刻歴波形

表3 増幅率

加速度増幅率				速度増幅率			
S1	1.623	V1*	1.306	S1	1.201	V1*	1.071
S2	1.770	V3	1.457	S2	1.180	V3	1.051
S4	1.527	V4	1.636	S4	1.215	V4	1.015
S5	1.576	V6	1.753	S5	1.107	V6	1.015
S7	1.497	V7	1.295	S7	1.013	V7	1.055
S8	1.545	V8	1.140	S8	1.006	V8	1.075
S10	1.627	V12	1.245	S10	1.076	V12	1.015
S11	1.280			S11	1.073		
S12	1.384			S12	1.069		
S13	1.207			S13	1.059		
S15	1.245			S15	1.015		
S19	1.326			S19	1.061		
S20	1.735			S20	1.030		
S21	1.233			S21	1.010		
S22	1.014			S22	1.442		
S23	1.054			S23	1.011		
平均	1.412			平均	1.081		
標準偏差	0.250			標準偏差	0.096		

$$AF_{PGA} = \frac{PGA_{\max}}{PBA_{\max}}$$

$$AF_{PGV} = \frac{PGV_{\max}}{PBV_{\max}}$$

$AF_{PGA}$  = 加速度の増幅率

$AF_{PGV}$  = 速度の増幅率

$PGA_{\max}$  = 地表面最大加速度

$PBA_{\max}$  = 基盤面最大加速度

$PGV_{\max}$  = 地表面最大速度

$PBV_{\max}$  = 基盤面最大速度

## 4.2 距離減衰

震源からの距離に対する工学基盤面と地表面の各評価地点加速度を図5に示した。

図5をみると、震源距離が近ければ工学的基盤面加速度(入力地震動)と地表面加速度共に大きくなるのがわかる。震源からの距離によって地震の大きさが違うことがわかる。S21 S22 S23 は近似曲線と離れていて大きい。また、先ほどの3つとS20では震源距離はほとんど変わらないが加速度が低い。これは、地盤の影響だと考えられる。地表面に関しては60kmより離れると300gal以下の値を示している。これは、距離的な境ではないかと考えられる。

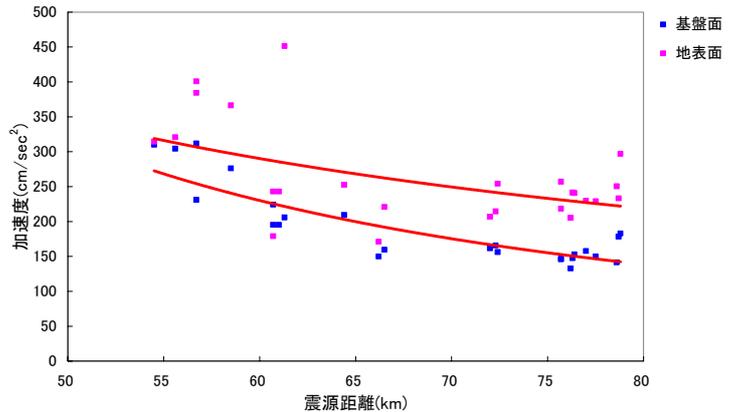


図5 距離減衰

## 4.3 フーリエスペクトル

フーリエスペクトルは、地震波にはさまざまな周期の波が含まれている。地震波をさまざまな周期の振動の集まりととらえ、周期ごとの地震波の強さを分解し表したものをフーリエスペクトルという。図6はS1の基盤面と地表面の重ね合わせフーリエスペクトル。また、固有周期を見る多ために地盤の固有周期の線と固有周期から-1.0~+1.0の点線で示した。

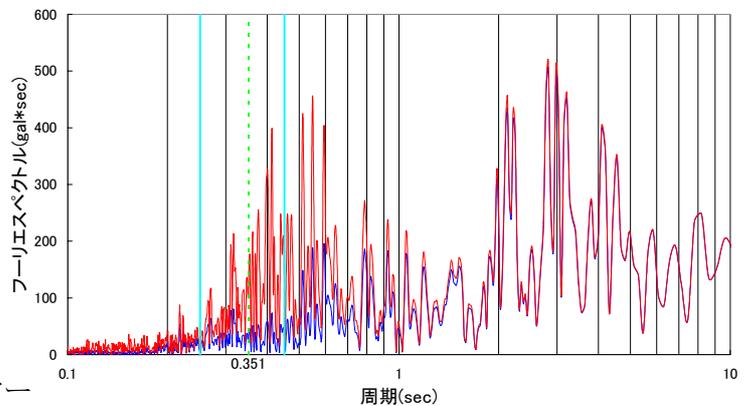


図6 フーリエスペクトル(S1)

各地点のフーリエスペクトルを求め、その卓越周期(フーリエスペクトルの一番大きい周期)をグラフから読み取ることにより各地点の特徴を把握することができる。ほとんどの地点でフーリエスペクトルの値が基盤面より地表面の方が大きくなっている。卓越周期は2~3(sec)である。そこで一番強い地震波が来たことを示している。また、各地点に特徴があり距離が遠いところでも同じような形の図あり、その理由として図1の地盤の条件が似ているためまた、地盤の厚さが同じような結果になったと考えられる。

## 4.4 応答スペクトル

応答スペクトルとは地震動に対していろんな周期と減衰定数に有する線形弾性系の応答を解析し、最大応答値を縦軸に固有周期を横軸にプロットしたものを示している。また、今回は図7のように5%の減衰定数を使用した。

基盤面と地表面の比較また、各地点の比較を行い特徴を得る。加速度は短周期1.0sec以下で最大値になる。速度は逆に長周期で最大値になる。

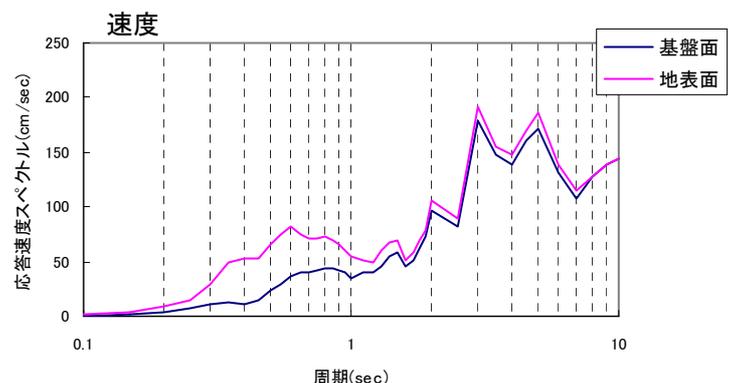
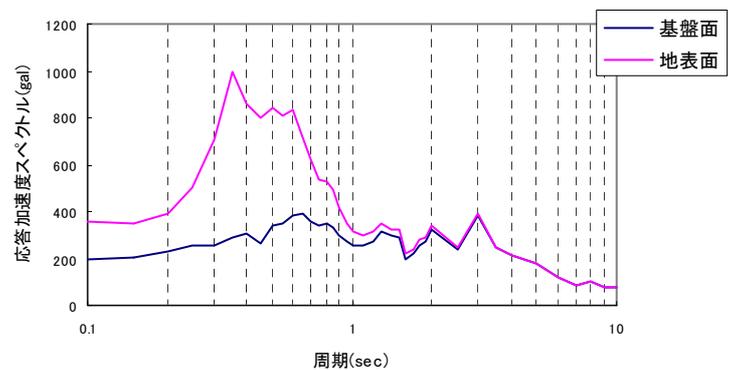


図7 応答スペクトル(S1)

## 5.総括

本研究にてシナリオ地震を選定し解析を行った。その結果から各評価地点には色々な特徴がある。今回

考察を行うために評価地点を9タイプに分類し、それぞれのタイプの特徴を見ていく。まず初めに9つのタイプA~Iまでにどの評価地点が入るかを表4に示す。上記の表に入っていないS16,V1,V13に関しては、解析ソフトの説明書より付録に載っている最大深度分布図のせん断ひずみが1%以上のため求められた値に信頼性が低いため考察には使用しませんでした。次に地盤タイプ別に整理を行う。そのために4つの項目を用意し、それに対する各タイプについて整理を行った。

今回関東地震をシナリオ地震と想定した。工学的基盤面から地表面に対しての加速度の増幅を図10と図11に示した。顕著に特徴が出たとは言えないが震源からの距離が短い方が加速度の増幅が小さく逆に距離が長いと増幅率が大きくなっていることがみてとれる。距離が近いと工学的基盤面加速度が大きくなっているが増幅は小さい。図10は評価地点別に表した図であるが、増幅率が大きいほど震源からの距離が大きくなっていることを示している。

鉄道路線は既存のボーリングが多いため、表層地盤の増幅算定は、これらのボーリングデータを活用し地震応答解析を行うことが望ましい。

局所てきな表層地盤条件が、構造物に入力される地震動を決定する大きな要因であることが分かった。地盤の地質や層厚によって固有周期と増幅との違いがあった。結果、表層地盤が軟らかいとより増幅することがわかった。周期から見ると短周期で揺れの増幅が大きい長周期では基盤面と地表面の揺れは変わらないが短周期よりも大きいことが読み取れた。

## 6. 今後の課題

- ・今回は1つのシナリオ地震しか行っていない。数多くの卓越周期の異なる地震断層で行い、当該鉄道路線の地盤増幅特性を明らかにすることが望まれる。
- ・表層地盤の増幅率をタイプ別で把握できたこの基礎的な研究を今後、鉄道高架橋等の構造物の地震リスク解析につなげていくことが望まれる。

## 【参考文献】

- 1) 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社:設計要領 第一集 土工編
- 2) 田中康友: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 構造材料研究室卒業論文
- 3) 秋山伸一・池上泰史・アフニマル・瀬瀬一:大規模3次元地下構造のモデル化と強震動シミュレーション

図7 応答スペクトル(S1)

表4 観測地点の地盤区分による分類

タイプA	S1	タイプB	S2 S4	タイプC	S5 S8 S13 V3 V4	タイプD	S10 S11 V7	タイプE	S12 V8
タイプF	S15 S19 S20 V12	タイプG	S21 S23	タイプH	S7 V6	タイプI	S22		

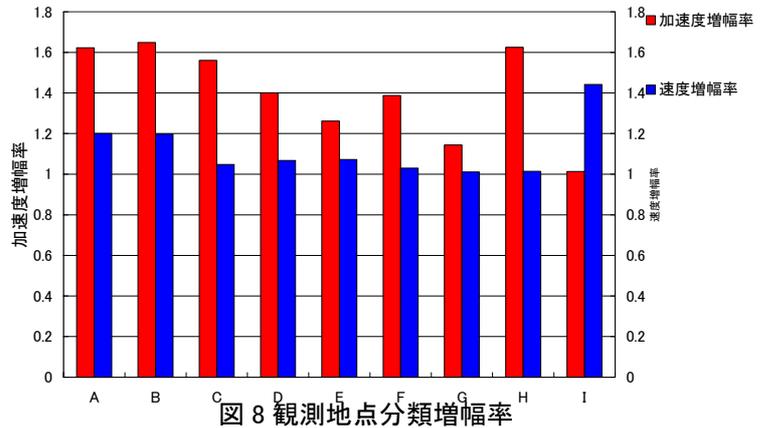


図8 観測地点分類増幅率

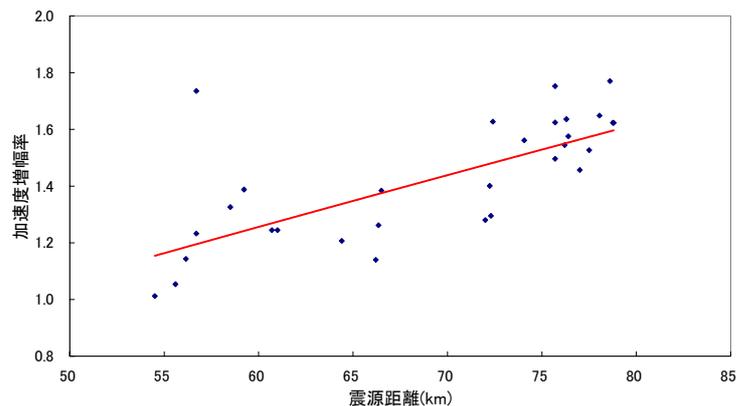


図9 加速度増幅率と震源距離

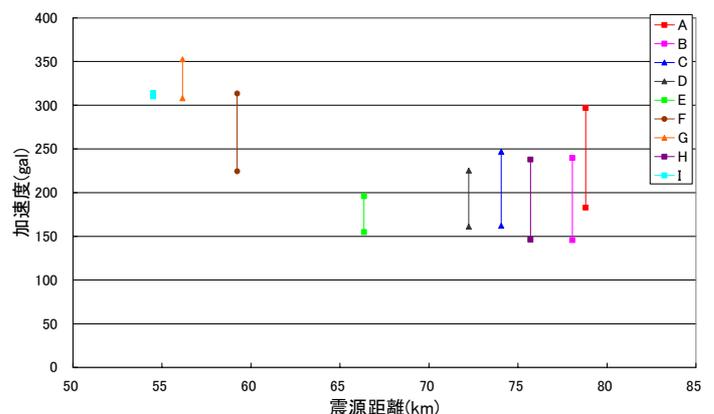


図10 観測地点分類加速度と震源距離