

令和3年度

弘前大学大学院 地域共創科学研究科 地域リノベーション専攻

修士論文

表層地盤の改良が 入力地震動に与える影響

弘前大学大学院 地域共創科学研究科

地域リノベーション専攻 レジリエンステクノロジー領域

20GC113 渡邊 駆

令和4年1月31日提出

要旨

住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）が施行されたことにより、住宅を建てる際にはより一層責任が求められ、安全性を確保するために表層を地盤改良する機会が増加している。特に、軟弱地盤が広がる土地では、住宅を建てる際に地盤改良を行うケースが多く見受けられる。青森県では八戸市・三沢市・六ヶ所村周辺に火山灰台地が広がっており、このような場所でも地盤改良が行われている。地盤改良の種類としては、1m～2mの比較的浅い範囲を硬くする表層改良や、8m程度までを複数の柱で支持する柱状改良などがある。建設される住宅の大きさや軟弱地盤の深さによって行われる地盤改良の種類は異なるが、一般的な住宅を建てる際にはコストが安価である表層改良が行われている。しかし、軟弱地盤を改良した際には表層地盤が硬くなり、改良地盤直下の地盤において剛性低下が生じ、せん断ひずみが増大すると予想される。

そこで、本研究では、せん断ひずみ、地表の水平動加速度と上下動加速度がどのように変化するかを検討した。特に、非線形性は入力振幅に変化するので、入力振幅を変化させて検討した。応答は地盤や入力地震動によっても異なるため、複数のケースで等価線形FEM解析を行う。使用した入力地震動は、1978年宮城県沖地震(開北橋周辺)・2003年十勝沖地震(清水道路維持出張所)・1995年兵庫県南部地震(神戸海洋気象台)・2011年東北地方太平洋沖地震(K-NET 牡鹿)・2003年十勝沖地震(K-NET 襟裳岬)・1940年インペリアルバレー地震(エルセントロ)の6種類である。また、地下構造は、K-NET 三沢・八戸工業大学・階上町役場・上北変電所・南八戸変電所・JMA 八戸の6種類である。

計算の結果、改良体直下のせん断ひずみに関しては、改良することで1.2～1.3倍程度大きくなった。地盤改良することによる地盤の剛性は低下するがそれほど大きな変化ではないことが判った。これにともない、水平動加速度に関しては改良前と改良後でほぼ同様の値を示しており、剛性低下による影響はあまり見られなかった。

しかしながら、改良体の端部に上下動加速度が生じることが判った。解析地点、入力振幅によらず水平動加速度1～2%程度の上下動加速度が生じており、比較的大きな回転動が発生する結果となった。

今回検討したモデルは住宅を考慮しない改良体のみでの解析であるため、より現実的に検討するには、今後は住宅の振動応答を考慮した解析が必要となってくる。

目次

第1章	はじめに	1
1.1.	研究背景	1
1.2.	研究概要	2
第2章	用いるデータ	3
2.1.	地震動	3
2.2.	地下構造	10
2.2.1.	対象地点と地下構造	10
2.2.2.	対象地点の線形時の増幅特性	17
2.2.3.	剛性低下曲線	19
第3章	解析	20
3.1.	用いる解法	20
3.2.	解析モデル	21
3.3.	解析条件	22
第4章	結果と考察	23
4.1.	検討項目	23
4.2.	未改良地盤最大せん断ひずみ	24
4.3.	改良地盤最大せん断ひずみ	28
4.4.	最大せん断ひずみ変化率	32
4.5.	水平動最大加速度変化率	36
4.6.	上下動最大加速度	40
4.7.	上下動/水平動 最大加速度比	44
第5章	まとめ	48

参考文献

謝辞

第1章 はじめに

1.1. 研究背景

住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）が施行されたことにより、住宅を建てる際には施工業者により一層の責任が求められ、施工業者のリスクを回避することから表層を地盤改良する機会が増加している。特に、軟弱地盤が広がる土地では、住宅を建てる際に地盤改良を行うケースが多く見受けられる。図 1.1.1 に青森県における微地形区分¹⁾を示す。青森県では八戸市・三沢市・六ヶ所村周辺に火山灰台地が広がっており、このような場所でも地盤改良が行われている。

地盤改良の種類としては、1m～2m の比較的浅い範囲を硬くする表層改良や、8m 程度までを複数の柱で支持する柱状改良などがある。建設される住宅の大きさや軟弱地盤の深さによって行われる地盤改良の種類は異なるが、一般的な住宅を建てる際にはコストが安価である表層改良が行われている。しかし、地盤改良をした場合には有限の範囲で地盤の性質が変化するため、地震の際には改良されていない地盤とは異なる応答となると考えられる。

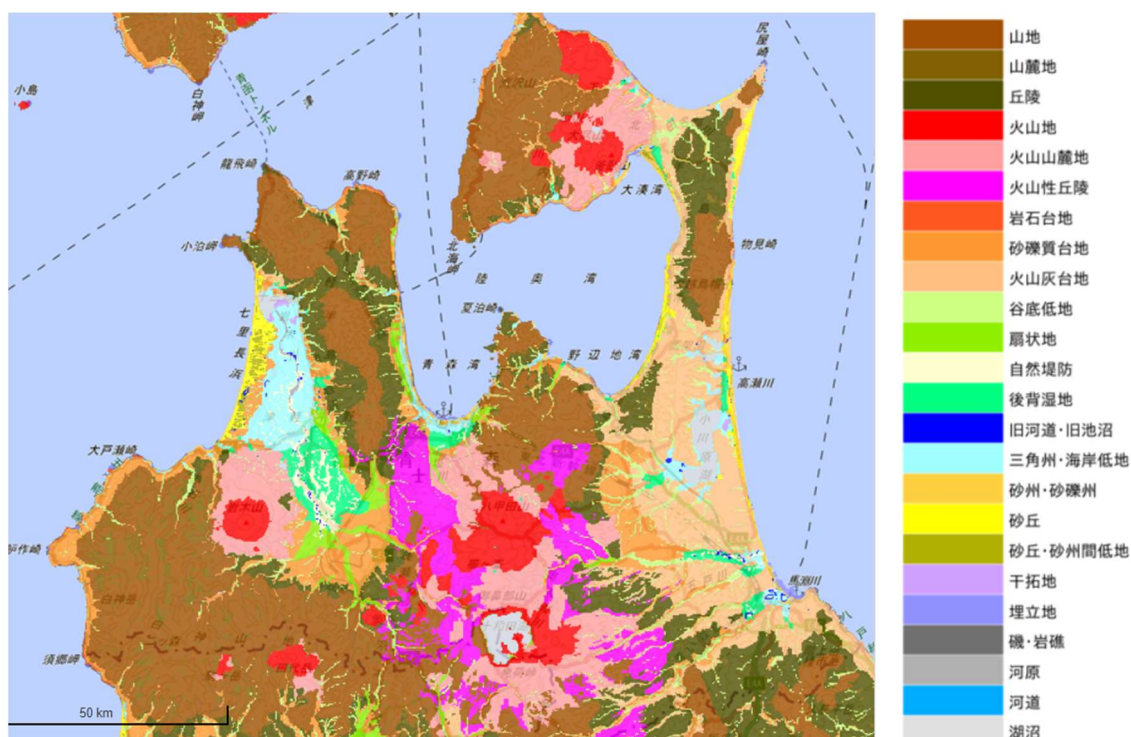


図 1.1.1 青森県における微地形区分

J-SHIS 表層地盤-微地形区分 <https://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/wm2020/>

1.2. 研究概要

本研究では、軟弱地盤の表層を改良した際にどのような応答となるのかを把握することを目的とする。応答は地盤や入力地震動、入力振幅レベルによって異なることが予想され、それぞれの特徴を把握するためには複数の地盤や入力地震動での検討が必要である。本検討では、先行研究²⁾と同様の地下構造・入力地震動で解析を行う。地震動の入力振幅レベルに関しても同様の範囲で行うため、地震動の入力振幅レベルは最大速度で基準化し、0.01cm/s～50cm/s の間で10段階(0.01, 0.1, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 12.5, 25, 50)で解析を行う。

第2章 用いるデータ

2.1. 地震動

先行研究で稲葉氏が検討した地震動³⁾を同様に用いる。表 2.1 に使用した入力地震動を示す。道路橋示方書の入力地震動⁴⁾は I 種地盤のものが用いられている。地震動レベルが 3 種類あり、レベル 1 地震動は橋の設計供用期間中にしばしば発生する地震動であり、レベル 2 地震動は橋の設計供用期間中に発生することは極めて稀であるが、一度生じると橋に多大な影響を及ぼすと考えられる地震動である。さらに、レベル 2 地震動のうち、プレート境界型地震はタイプ I、内陸直下型地震をタイプ II と分類されている。道路橋示方書の入力地震動は、道路橋の設計用に、既往の強震記録を標準加速度応答スペクトルに近似した特性を持つように調整が行われている⁵⁾。

観測波は硬質地盤の記録から選出されたものであり、エルセントロで観測された波形は日本建築センター⁶⁾、その他は防災科研⁷⁾から入手された加速度波形である。

以下に鹿島俊英氏作成のフリーソフトウェア ViewWave⁸⁾を用いて作成された加速度波形、速度波形、加速度応答スペクトル(h=5%)を記す。

表 2.1 入力地震動

道路橋示方書の入力地震動		観測波
レベル1	1978宮城県沖地震 (開北橋周辺)	2011東北地方太平洋沖地震 (K-NET牡鹿)
レベル2 タイプ I	2003十勝沖地震 (清水道路維持出張所)	2003十勝沖地震 (K-NET襟裳岬)
レベル2 タイプ II	1995兵庫県南部地震 (神戸海洋気象台)	1940インペリアルバレー地震 (エルセントロ)

1) 宮城県沖地震(開北橋周辺)

宮城県沖地震は、1978年(昭和53年)6月12日17時14分25秒に発生した地震である。図2.1.1に、道路橋示方書のレベル1地震動(宮城県沖地震の際の開北橋周辺記録を調整したもの)の加速度波形、それを積分して求められた速度波形と、加速度応答スペクトルを示す。最大加速度は102.4 cm/s²、最大速度は21.97 cm/sである。

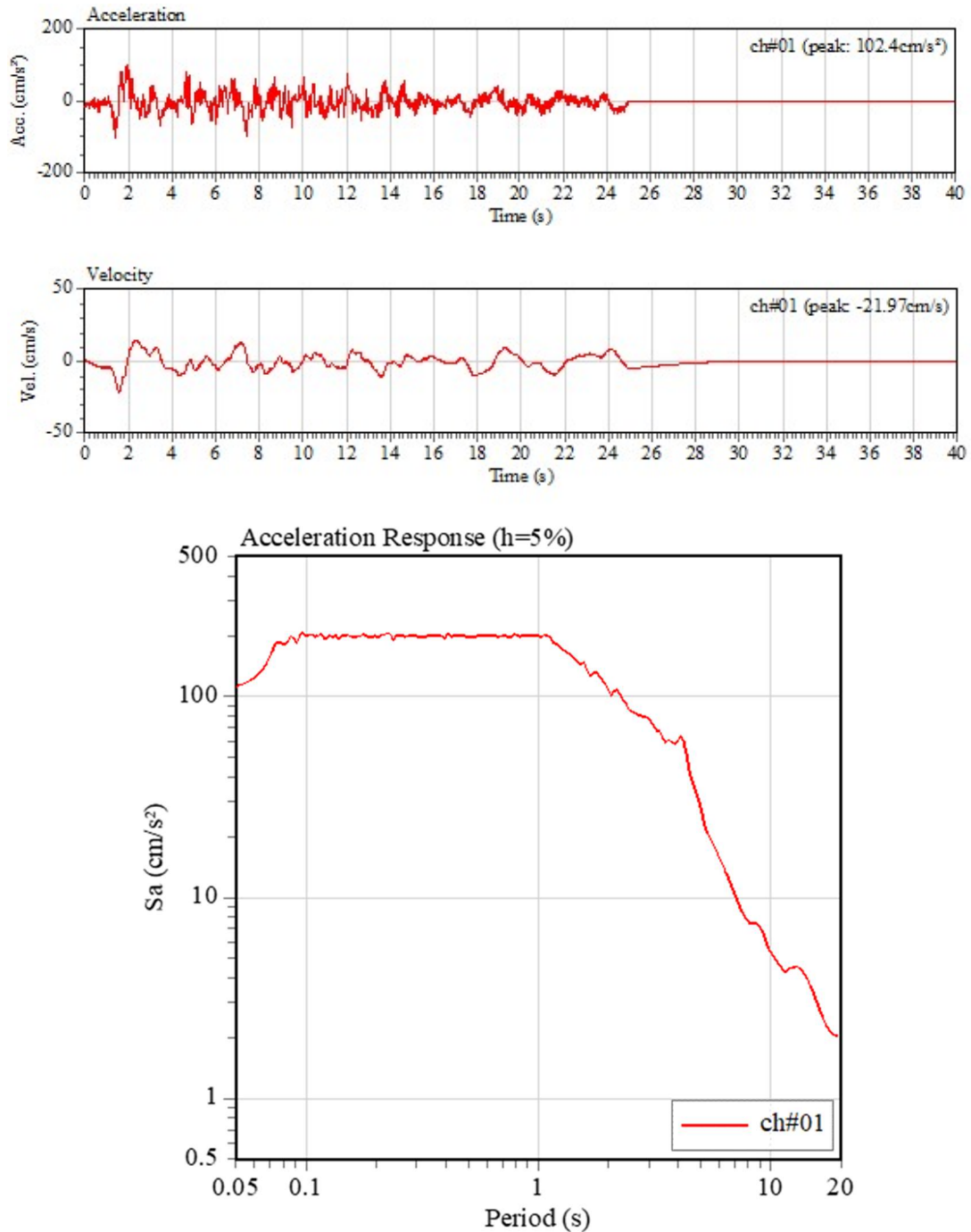


図 2.1.1 宮城県沖地震(上:加速度波形, 中:速度波形, 下:加速度応答スペクトル)

2) 十勝沖地震(清水道路維持出張所)

十勝沖地震は、2003年(平成15年)9月26日4時50分7秒に発生した地震である。図2.1.2に、道路橋示方書のレベル2タイプI地震動(十勝沖地震の際の清水道路維持出張所構内記録を調整したもの)の加速度波形、それを積分して求められた速度波形と、加速度応答スペクトルを示す。最大加速度は537.8 cm/s²、最大速度は84.62 cm/sである。

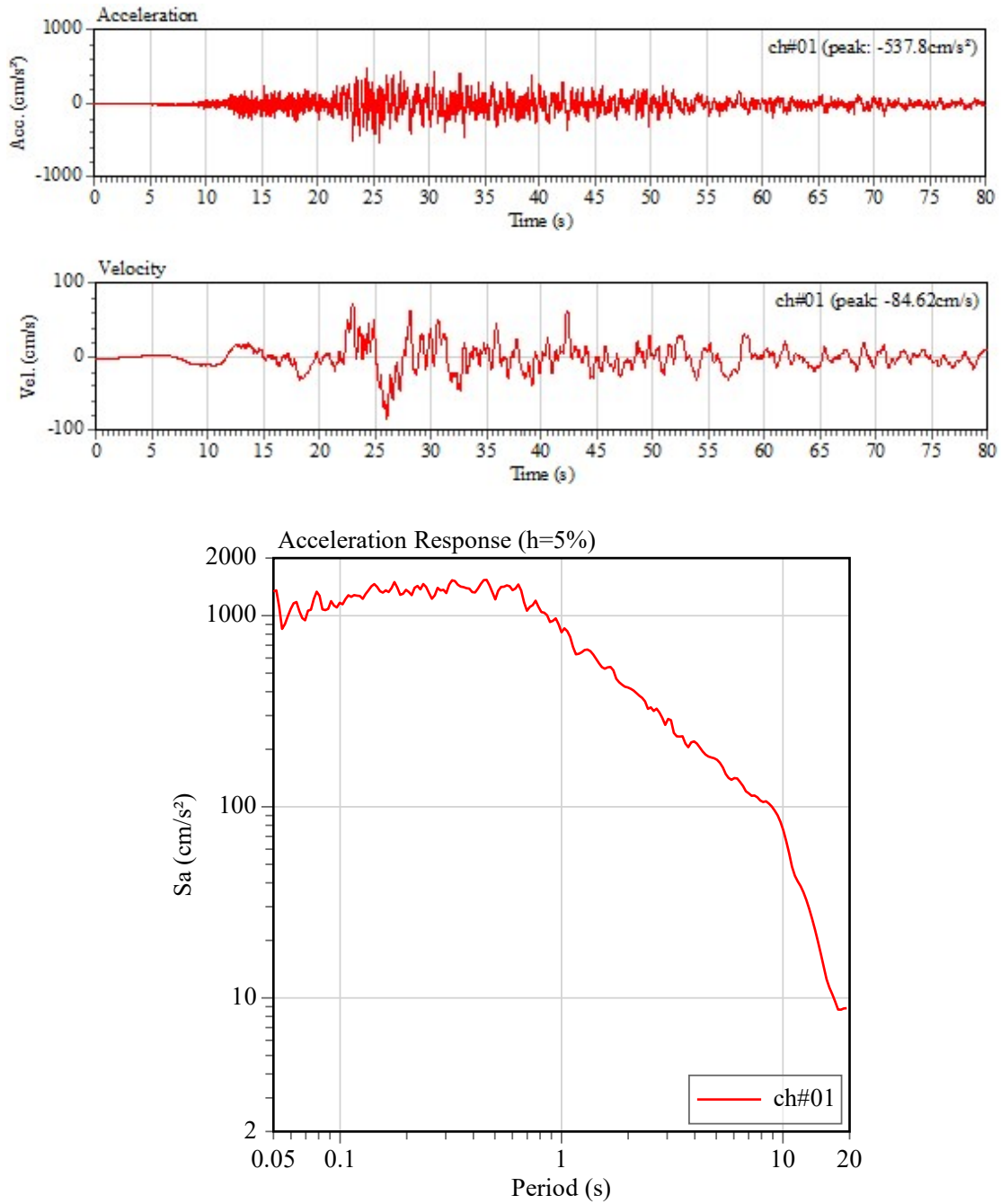


図 2.1.2 十勝沖地震(清水)(上:加速度波形, 中:速度波形, 下:加速度応答スペクトル)

3) 兵庫県南部地震(神戸海洋気象台)

兵庫県南部地震は、1995年(平成7年)1月17日5時46分52秒に発生した地震である。図2.1.3に、道路橋示方書のレベル2タイプII地震動(兵庫県南部地震の際の神戸海洋気象台記録を調整したもの)の加速度波形、それを積分して求められた速度波形と、加速度応答スペクトルを示す。最大加速度は 812.3 cm/s^2 、最大速度は 70.71 cm/s である。

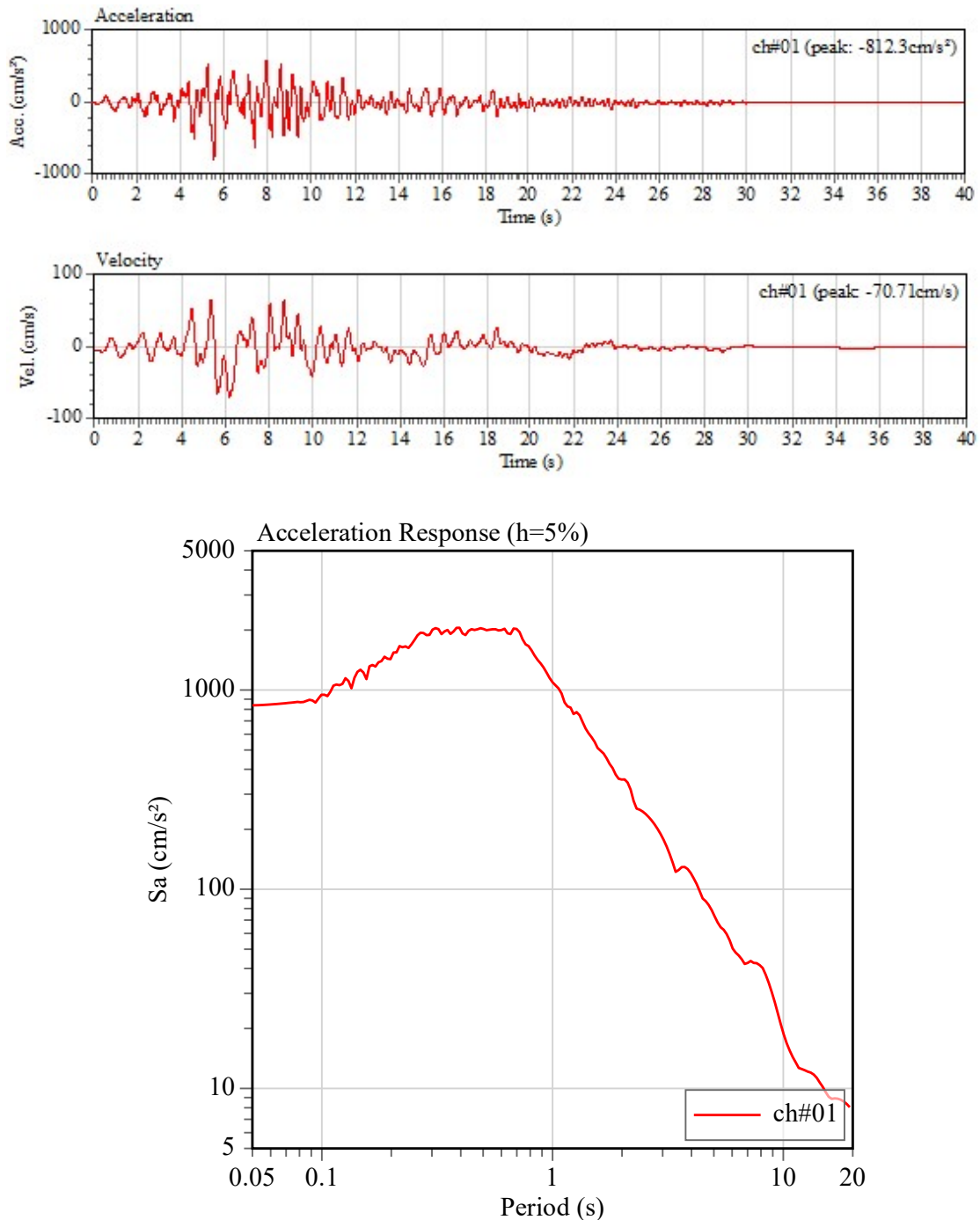


図 2.1.3 兵庫県南部地震(上:加速度波形, 中:速度波形, 下:加速度応答スペクトル)

4) 東北地方太平洋沖地震(K-NET 牡鹿)

東北地方太平洋沖地震は、2011年(平成23年)3月11日14時46分18秒に発生した地震である。図2.1.4に、K-NET 牡鹿における東北地方太平洋沖地震の加速度波形、それを積分して求められた速度波形と、加速度応答スペクトルを示す。最大加速度は 921 cm/s^2 、最大速度は 17.39 cm/s である。

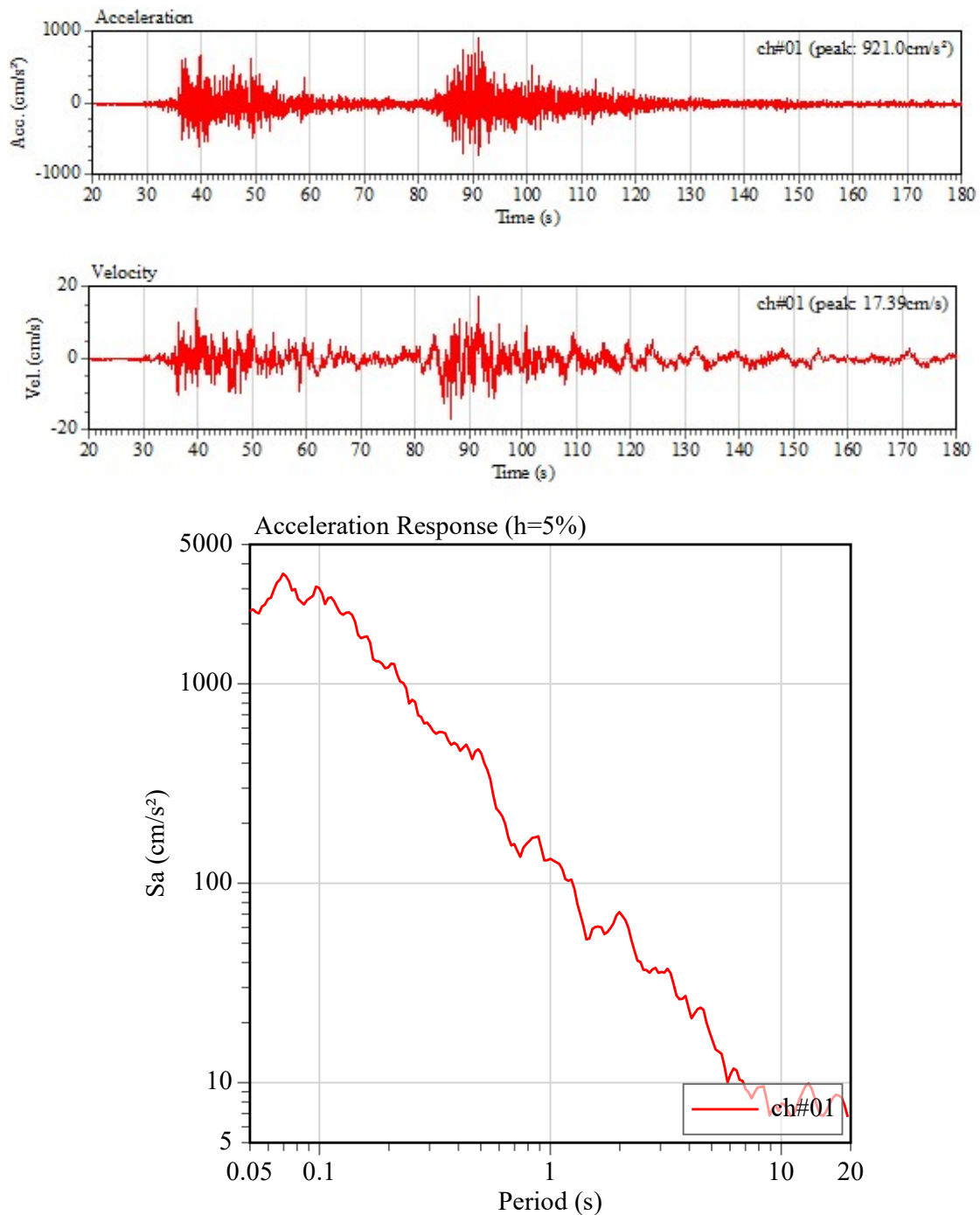


図 2.1.4 東北地方太平洋沖地震(上:加速度波形, 中:速度波形, 下:加速度応答スペクトル)

5) 十勝沖地震(K-NET 襟裳岬)

地震の概要は 2)十勝沖地震と同様である。図 2.1.5 に、K-NET 襟裳岬における十勝沖地震の加速度波形、速度波形と加速度応答スペクトルを示す。最大加速度は 143 cm/s^2 、最大速度は 15.82 cm/s である。

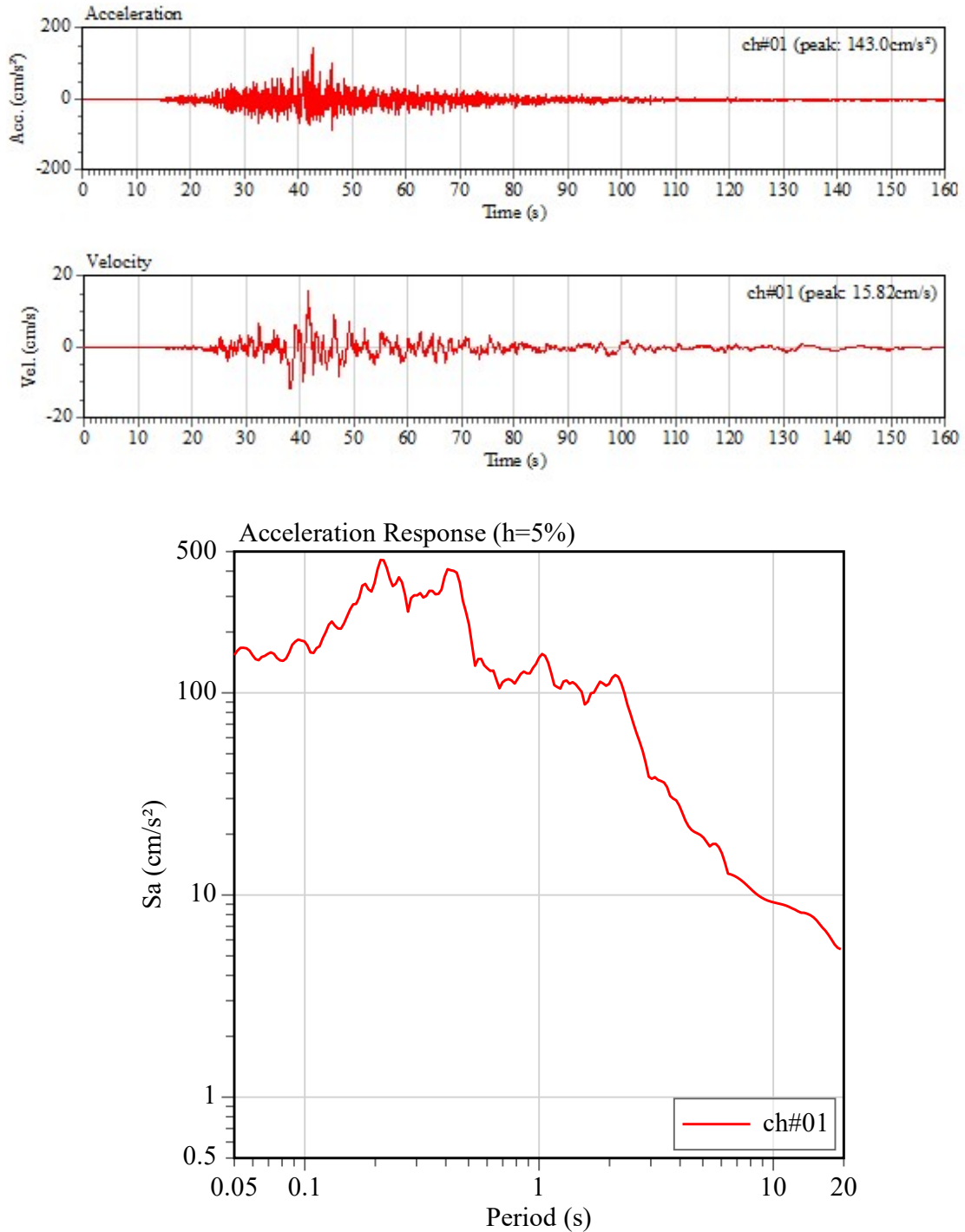


図 2.1.5 十勝沖地震(襟裳岬)(上:加速度波形, 中:速度波形, 下:加速度応答スペクトル)

6) インペリアルバレー地震(エルセントロ)

インペリアルバレー地震は、1940年5月18日20時36分40秒に発生した地震である。図2.1.6にエルセントロ波の加速度波形、速度波形と加速度応答スペクトルを示す。最大加速度は 341.7 cm/s^2 、最大速度は 34.79 cm/s である。

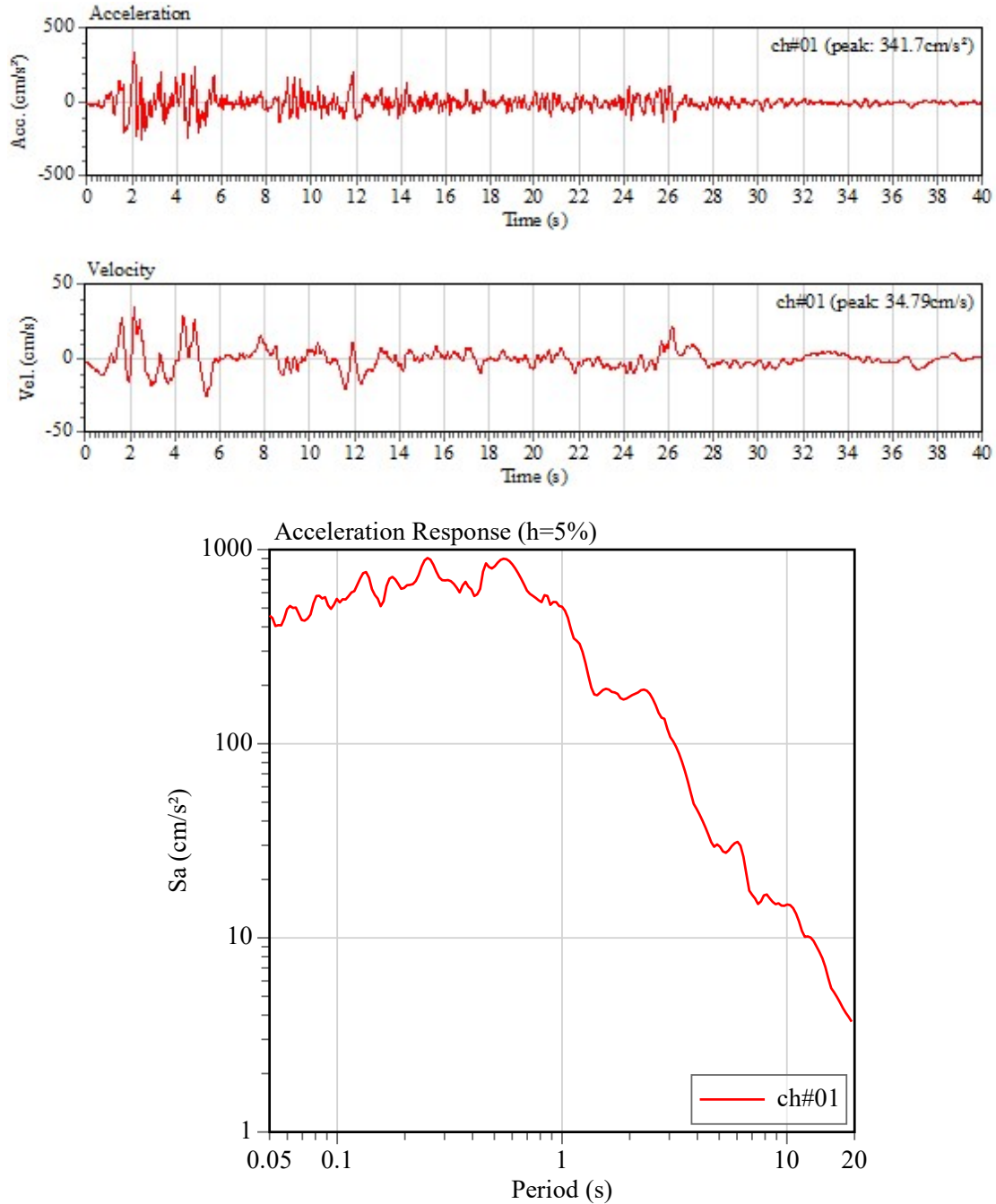


図 2.1.6 インペリアルバレー地震(上:加速度波形,中:速度波形,下:加速度応答スペクトル)

2.2. 地下構造

2.2.1. 対象地点と地下構造

先行研究で稲葉氏が検討した地下構造⁹⁾を同様に用いる。解析に使用された対象地点は、S波速度構造が既知である K-NET 三沢(AOM011)⁷⁾、八戸工業大学¹⁰⁾、階上町役場¹¹⁾、上北変電所¹²⁾、南八戸変電所¹²⁾、JMA 八戸¹³⁾である。図 2.2.1 に対象地点の位置を示す。対象地点は火山灰台地上にあり、工学的基盤面と呼ばれる S 波速度が 400m/s~700m/s 程度の層はいずれの地点でも 20m 程度までには存在している。図 2.2.2~2.2.7 に対象地点の柱状図を示す。層厚と S 波速度は文献から入手されており、密度については土質から推定されている。

但し、今回の検討では P 波速度も必要になる。P 波速度が文献に記載されていない場合には、その地点の地下水位をもとに、地下水位以浅では周辺の公表値のポアソン比を基に S 波速度から推定している。このようにして求めた P 波速度も各図に示してある。

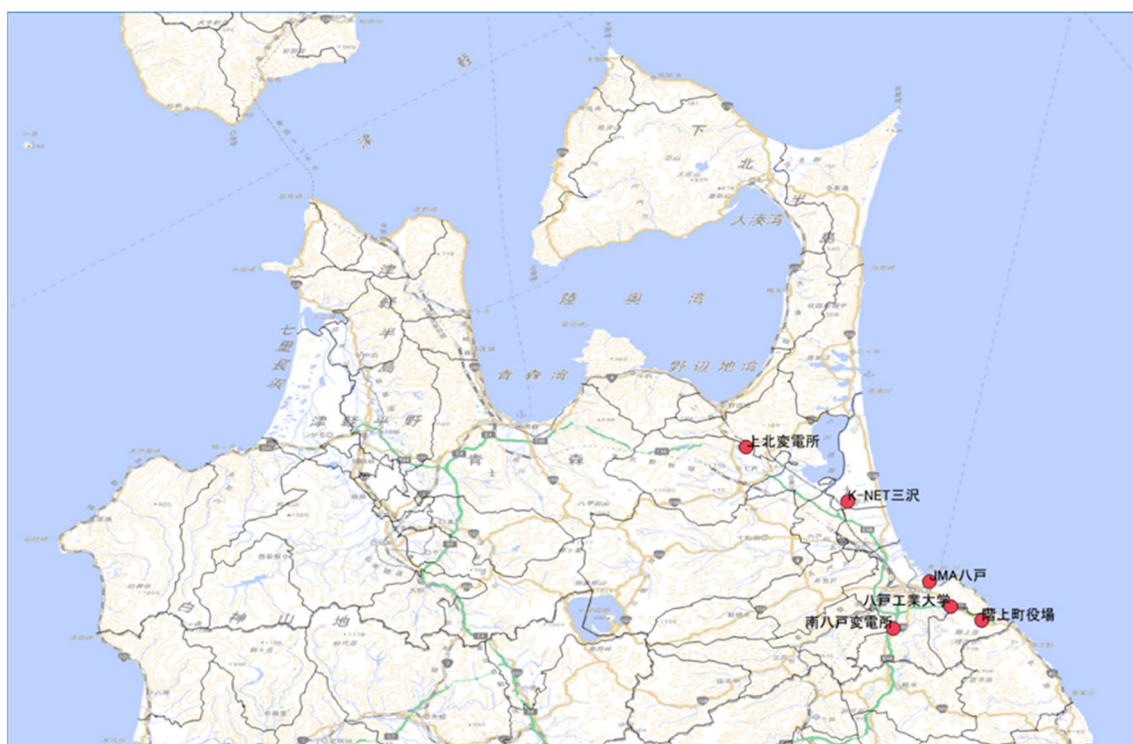


図 2.2.1 対象地点(先行研究⁹⁾より引用)

① K-NET 三沢(AOM011)

この地点の地下構造を図 2.2.2 に示す。地盤構成は表層から厚さ 8m の火山灰層, 8m 以深は砂層となっている。表層では V_p :200m/s, V_s :130m/s である。また, 基盤面では V_p :1600m/s, V_s :420m/s である。P 波速度や S 波速度, 密度はいずれも K-NET による公表値である。

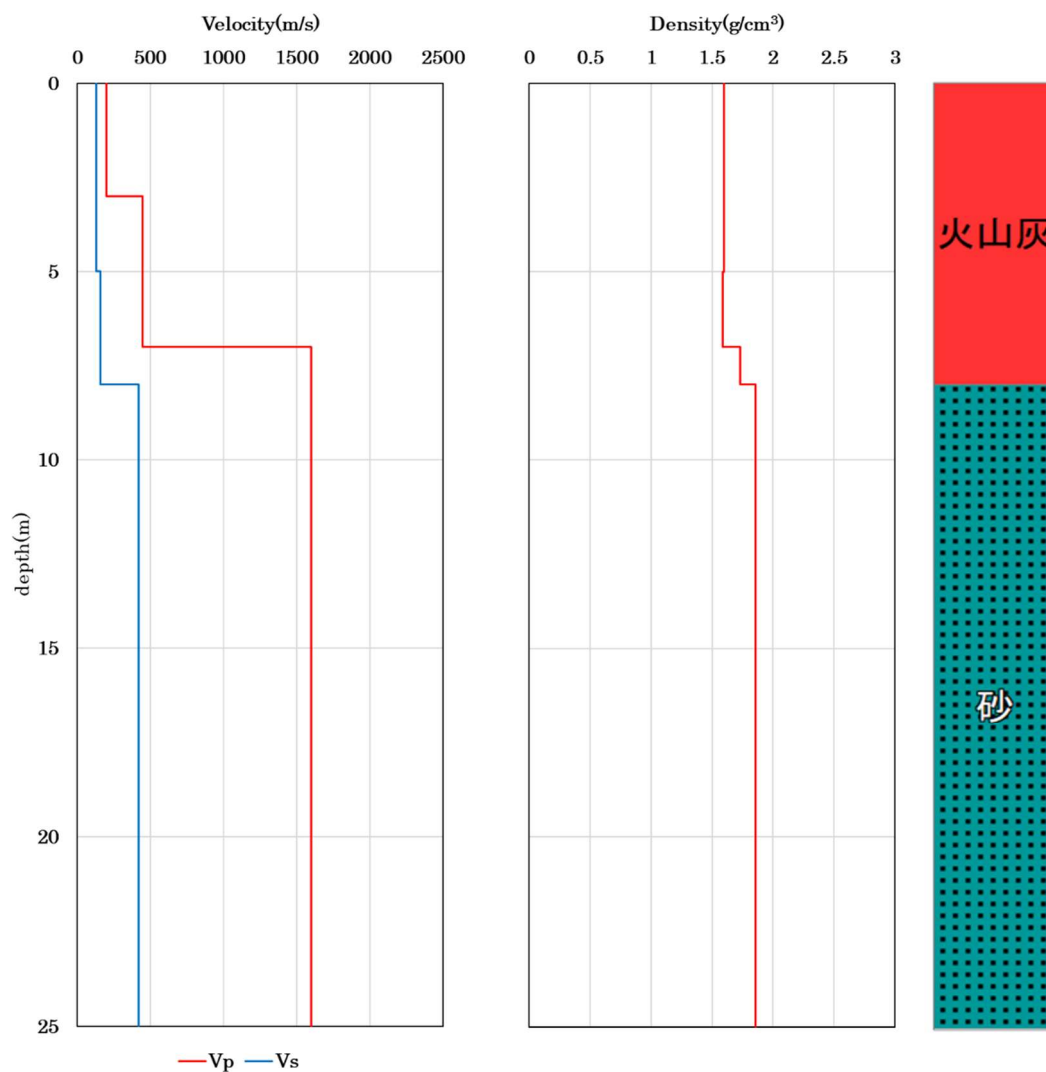


図 2.2.2 K-NET 三沢(AOM011)(先行研究⁹⁾より引用, 一部改変)

② 八戸工業大学

この地点の地下構造を図 2.2.3 に示す。地盤構成は表層から厚さ 12m の火山灰層、厚さ 3m の砂層、15m 以深は粘板岩層となっている。表層では V_p :160m/s, V_s :70m/s である。また、基盤面では V_p :1600m/s, V_s :700m/s である。P 波速度や S 波速度は文献¹⁰⁾で求められた PS 検層結果を使用している。密度は文献¹⁰⁾に記載がなかったため、土質から適切な値が推定されている。

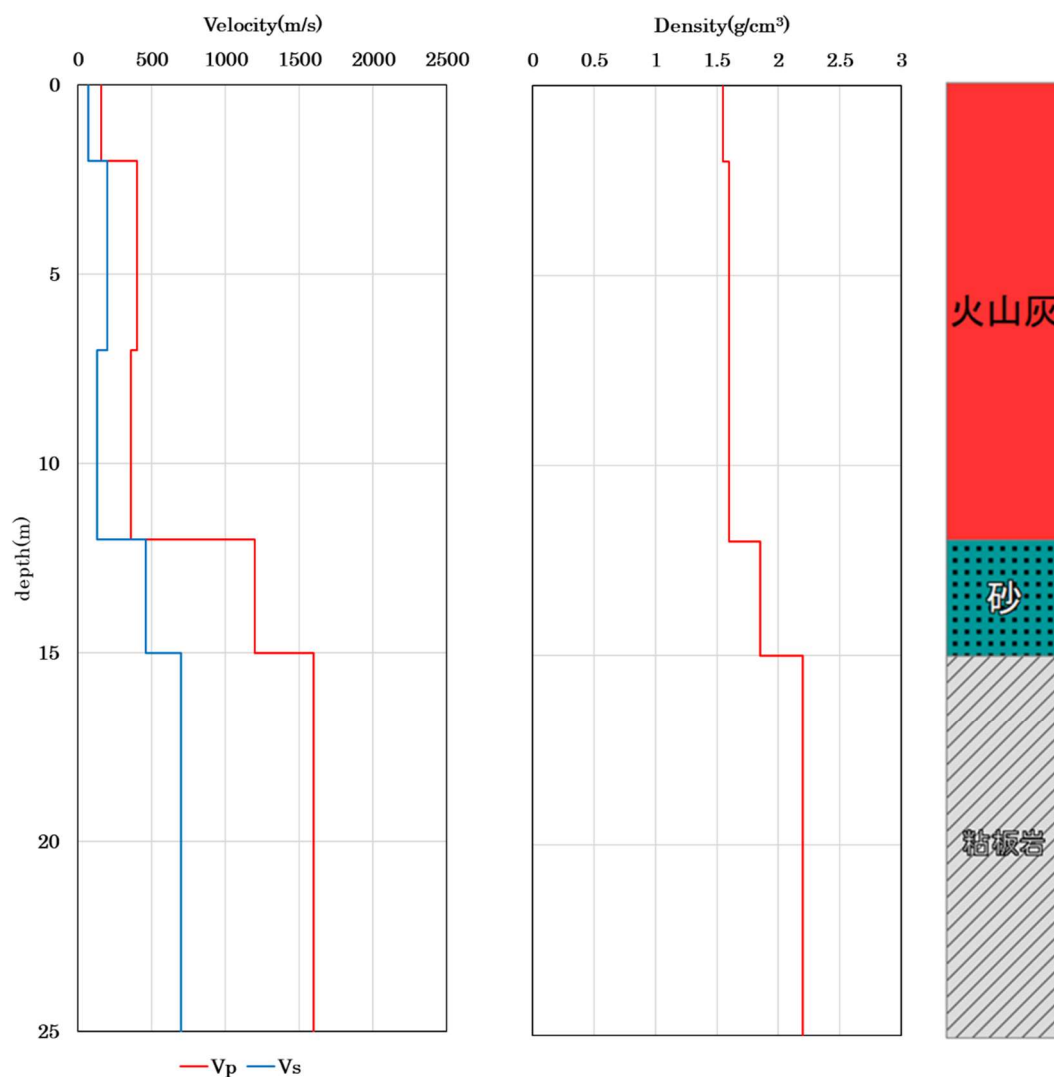


図 2.2.3 八戸工業大学(先行研究⁹⁾より引用, 一部改変)

③ 階上町役場

この地点の地下構造を図 2.2.4 に示す。地盤構成は表層から厚さ 4m の火山灰層, 厚さ 8m のシルト層, 厚さ 2m の粘土層, 厚さ 2m の砂礫層, 16m 以深は凝灰質砂層となっている。表層では V_p :1007m/s, V_s :141m/s である。また, 基盤面では V_p :1900m/s, V_s :401m/s である。 S 波速度は微動アレー探査による推定¹⁾から作成されている。 P 波速度は微動アレー探査の際にポアソン比を 0.49 と仮定したことから, その値を用いている。密度は文献¹⁾に記載がなかったため, 土質から適切な値が推定されている。

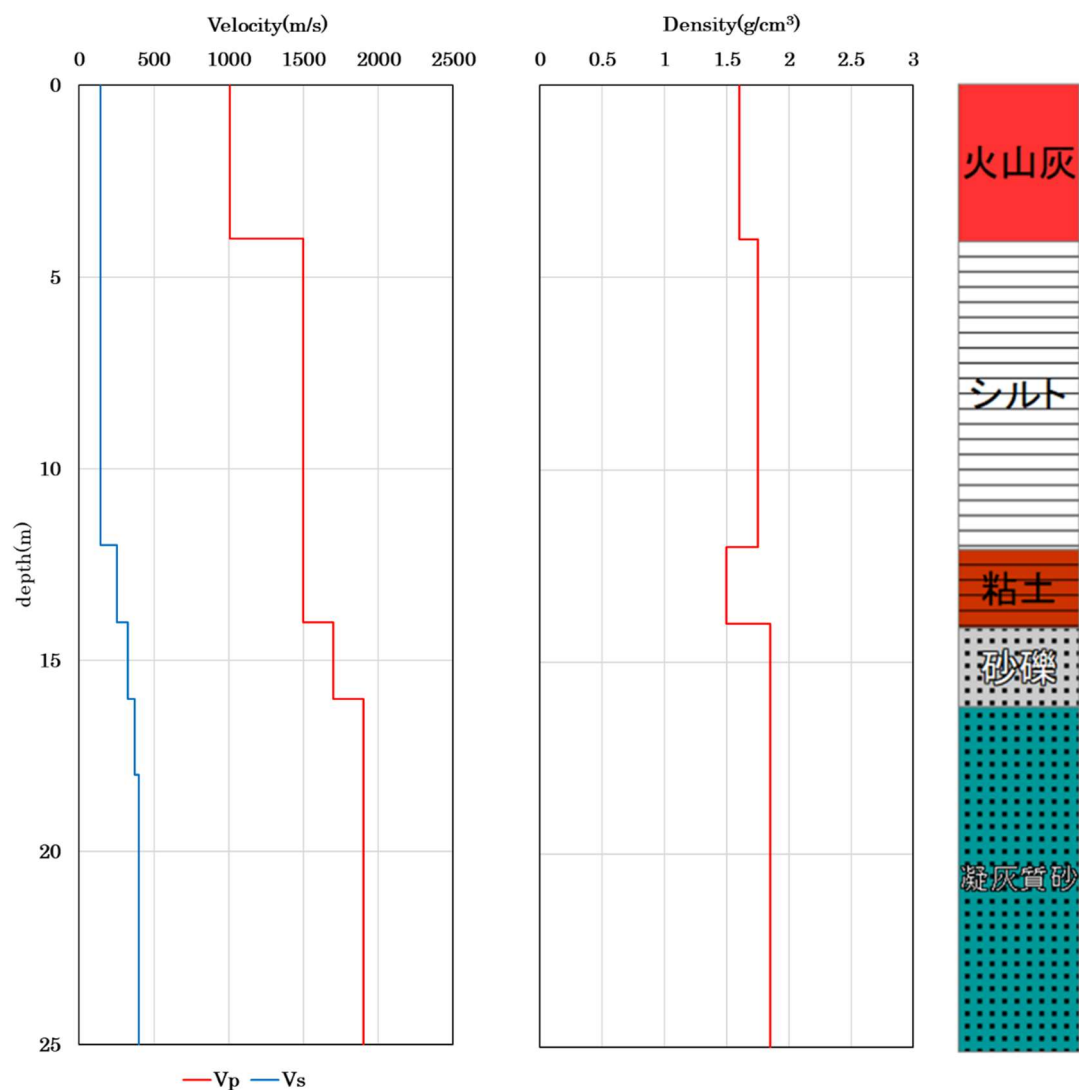


図 2.2.4 階上町役場(先行研究⁹⁾より引用, 一部改変)

④ 上北変電所

この地点の地下構造を図 2.2.5 に示す。地盤構成は表層から厚さ 7.5m の火山灰層、厚さ 3m の細砂層、厚さ 5.5m のシルト層、厚さ 4m の砂礫層、厚さ 3m の砂層、23m 以深は砂礫層となっている。表層では V_p :324m/s, V_s :155.5m/s である。また、基盤面では V_p :2100m/s, V_s :700m/s である。基盤層の S 波速度は文献¹²⁾に記載が無かったが、同文献では八戸工業大学の地盤モデルを用いて地盤増幅率の計算を行ったとの記述があるため、八戸工業大学と同様の 700m/s とされている。P 波速度は周辺地盤のポアソン比を用いて S 波速度から推定している。密度は文献¹²⁾による公表値が用いられている。

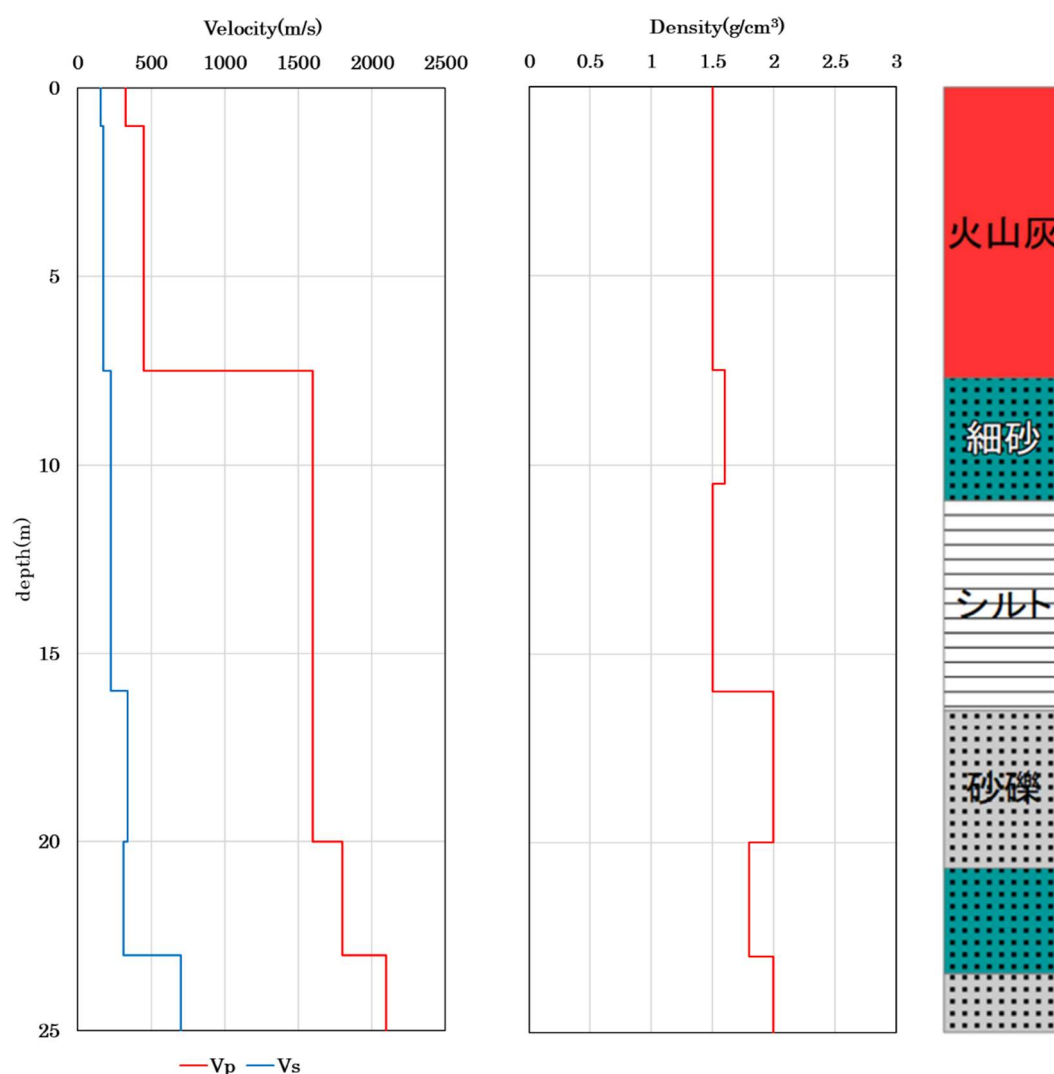


図 2.2.5 上北変電所(先行研究⁹⁾より引用, 一部改変)

⑤ 南八戸変電所

この地点の地下構造を図 2.2.6 に示す。地盤構成は表層から厚さ 1m の火山灰層, 厚さ 12.5m のシルト層, 厚さ 4m のシルト質砂層, 17.5m 以深は細角礫凝灰岩層となっている。表層では V_p :300m/s, V_s :144.1m/s である。また, 基盤面では V_p :2100m/s, V_s :700m/s である。上北変電所と同様に文献¹²⁾に基づき, 基盤層の S 波速度は 700m/s とされている。P 波速度は周辺地盤のポアソン比を用いて S 波速度から推定している。密度は文献¹²⁾による公表値が用いられている。

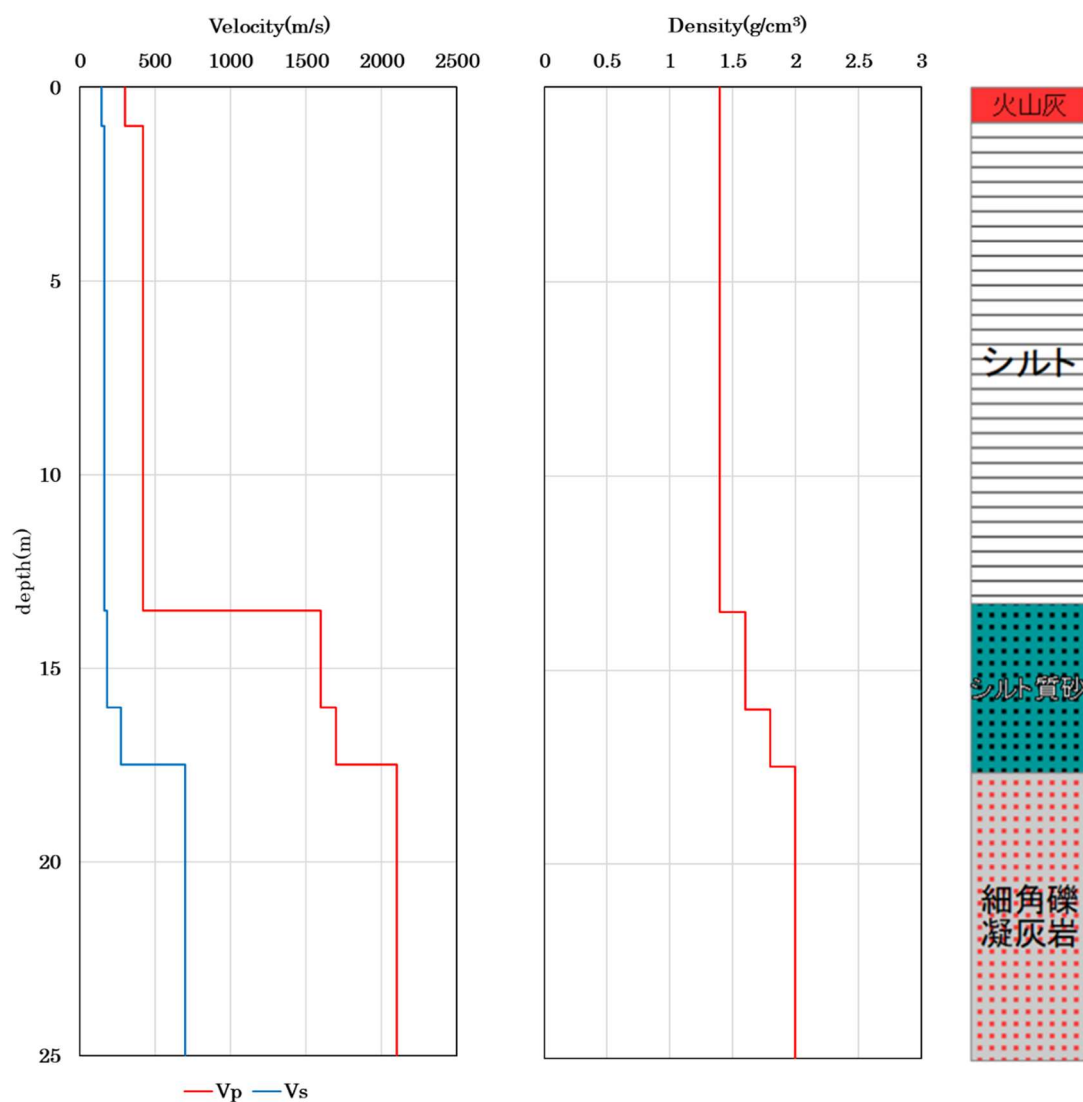


図 2.2.6 南八戸変電所(先行研究⁹⁾より引用, 一部改変)

⑥ JMA 八戸

この地点の地下構造を図 2.2.7 に示す。地盤構成は表層から厚さ 1.5m の火山灰層，厚さ 8m のローム層，9.5m 以深は凝灰岩層となっている。表層では V_p :250m/s, V_s :120m/s である。また，基盤面では V_p :2100m/s, V_s :700m/s である。S 波速度は文献¹³⁾でのアレー微動探査の結果と柱状図を基に作成されている。P 波速度は周辺地盤のポアソン比を用いて S 波速度から推定している。密度は文献¹³⁾による公表値を用いている。

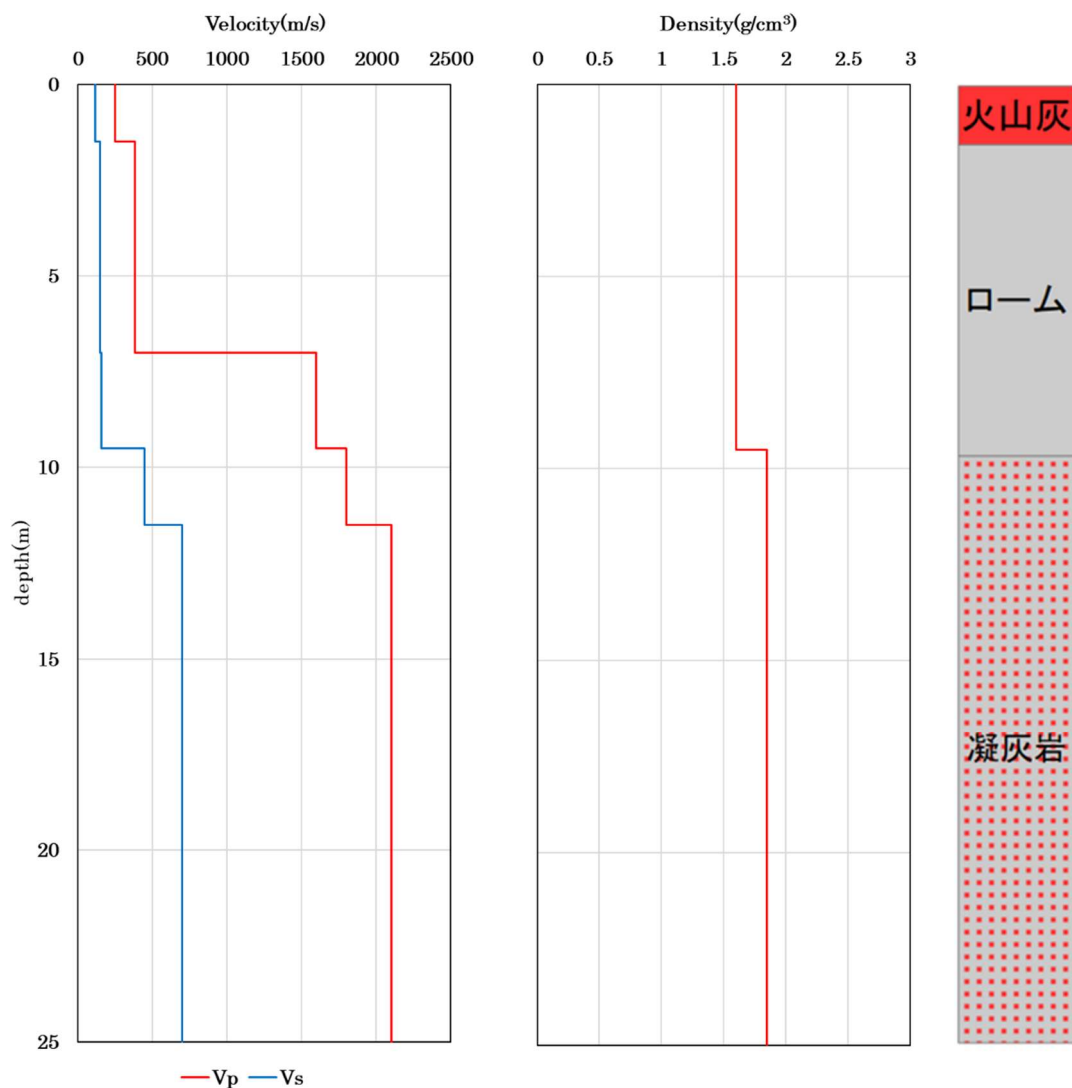


図 2.2.7 JMA 八戸(先行研究⁹⁾より引用，一部改変)

2.2.2. 対象地点の線形時の増幅特性

地下構造ごとの線形時の S 波, P 波それぞれの増幅特性(各層の減衰定数は 0.02)を図 2.2.8, 図 2.2.9 に示す。横軸が振動数(Hz), 縦軸が増幅倍率である。S 波は 20Hz までの間で複数回のピークがあるが, P 波は 20Hz までの間でのピークが 1 回程度であった。また, 本節以降で本論文中の図やグラフに示す地震動および地下構造の名称は以下のように決定する。

地震動	地下構造
kaihokubashi: 1978宮城県沖地震(開北橋周辺)	MSW: K-NET三沢
shimizu: 2003十勝沖地震(清水道路維持出張所)	HIT: 八戸工業大学
kobe: 1995兵庫県南部地震(神戸海洋気象台)	HSKM: 階上町役場
oshika: 2011東北地方太平洋沖地震(K-NET牡鹿)	KKSB: 上北変電所
erimo: 2003十勝沖地震(K-NET襟裳岬)	MHSB: 南八戸変電所
e_l_centro: 1940インペリアルバレー地震(エルセントロ)	JMAH: JMA八戸

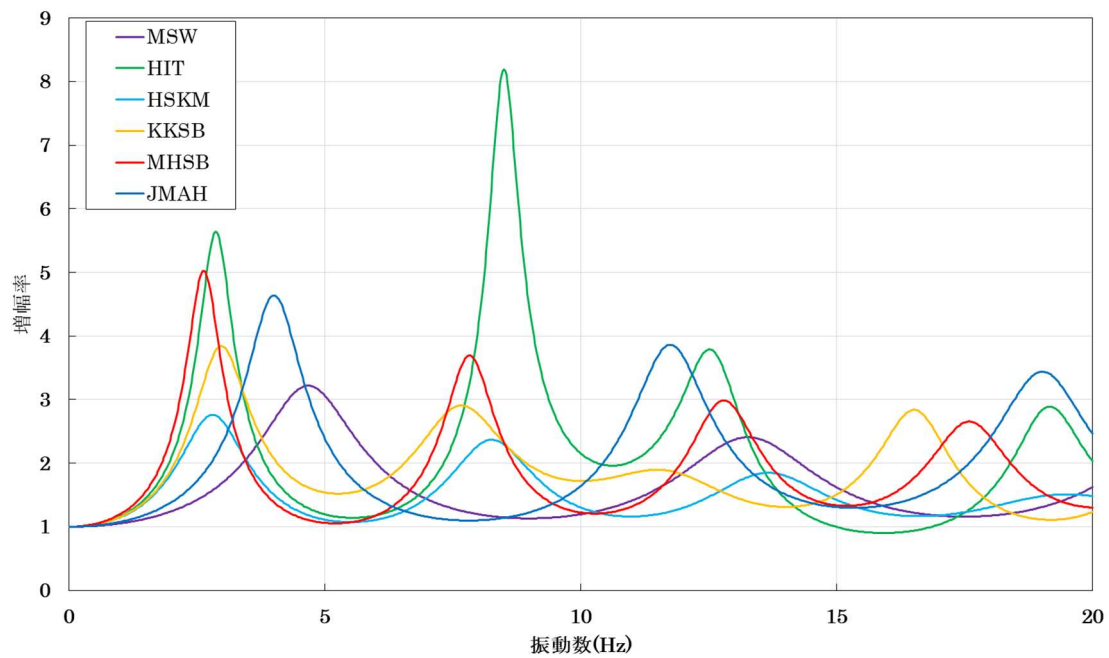


図 2.2.8 S波における線形時の増幅特性

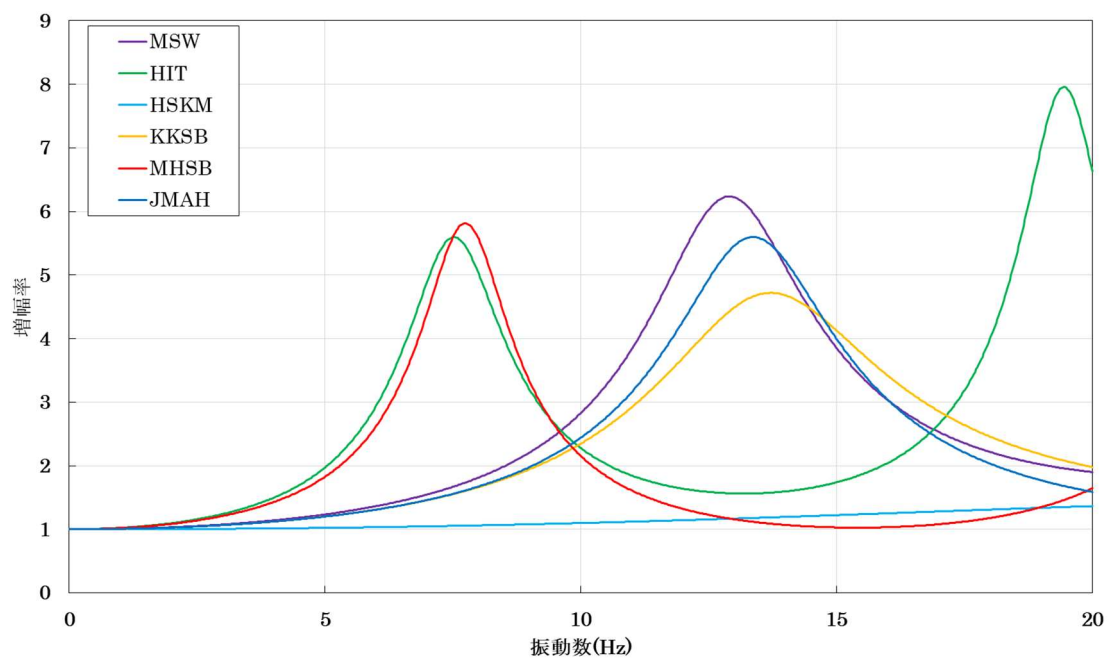


図 2.2.9 P波における線形時の増幅特性

2.2.3. 剛性低下曲線

先行研究で稲葉氏が用いた剛性低下曲線¹⁴⁾を使用する。先行研究では、県南地域の台地上の火山砕屑物は、JMA 八戸に堆積したものと同様と考え、火山灰質粘性土や凝灰岩層、火山灰由来と考えられるシルト質およびローム質の層は岩手ロームの剛性低下曲線が用いられている。また、その他の砂礫層や砂質土層、粘性土層は土木研究所が提案している標準的なもの¹⁵⁾の剛性低下曲線が用いられている。図 2.2.10 に、本検討で適用した剛性低下曲線を示す。

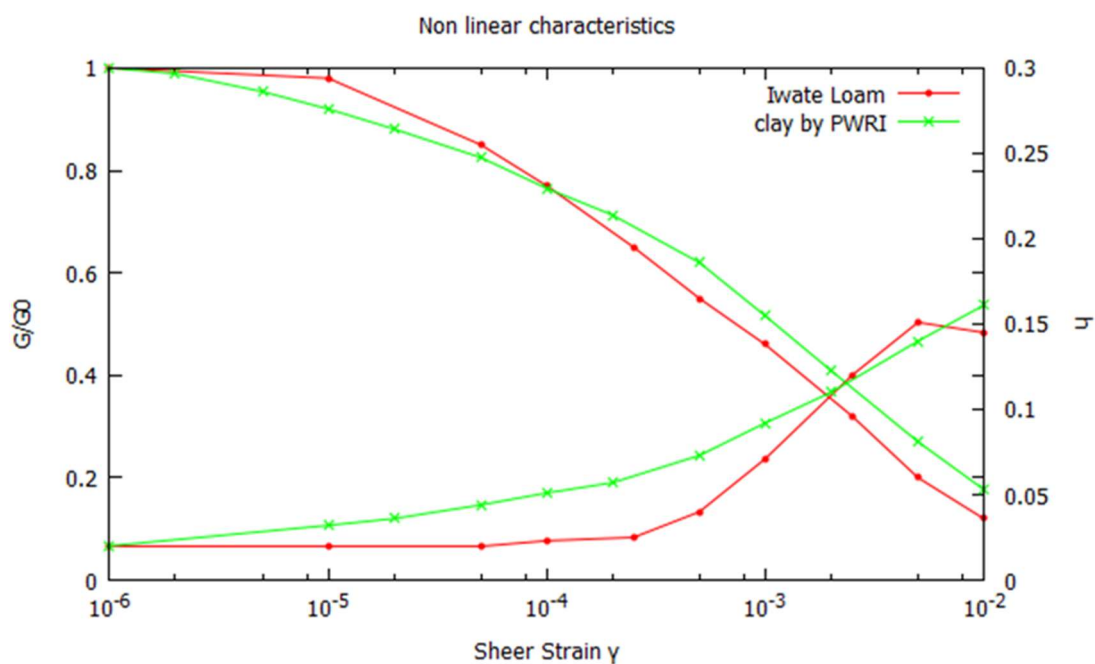


図 2.2.10 非線形特性 (先行研究¹⁴⁾ より引用)

第3章 解析

3.1. 用いる解法

本検討は、FEMによる等価線形解析¹⁶⁾で行う。周波数領域の解法を用いた場合には、応力-ひずみ関係は線形である必要があったのだが、地盤材料は非線形の性質を示すため、これを線形解析に適用できるように改良されたのが等価線形化法である。等価線形化法は材料特性の入力データを G/G_0 - γ 関係と h - γ 関係をそのまま入力すればよく、解析者の技術負担が小さいため扱いやすい解法となっている。

また、本研究で用いる解析ソフトウェアはアーク情報システム社の TDAPⅢである。図 3.1.1 に TDAPⅢのプロジェクト管理画面を示す。解析の流れとしては、①構造入力で解析モデルのサイズ、物性値などを入力し、②複素応答解析で実際に地震動の入力や振幅レベルの変更などを行い解析する。

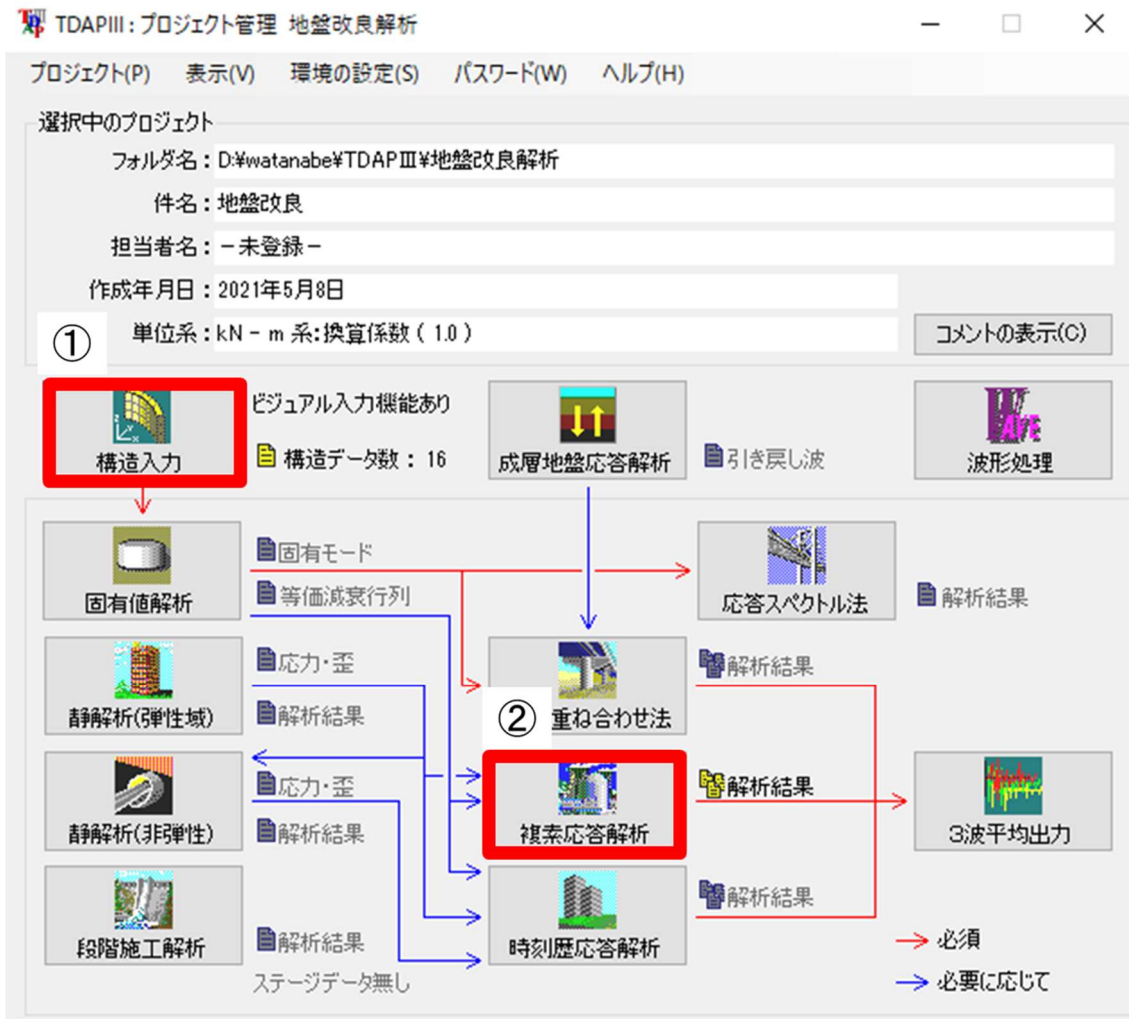


図 3.1.1 TDAPⅢプロジェクト管理画面

3.2. 解析モデル

本検討で用いる解析モデルを図 3.2.1 に示す。メッシュサイズは縦が 0.5m，横が 1.0m となっている。解析モデル全体のサイズは幅が 50m であり，深さ方向はそれぞれの解析地点の基盤面までをモデル化する。また，図 3.2.2 に地盤改良を施す位置を示す。改良体はモデル中央の地表面に設置し，改良体は住宅の大きさを考え幅が 10m，深さが 1m とする。

2 章で定めた基盤面位置は表 3.2.1 であるのだが，モデル化をする際にモデル全体の幅に対し深さ方向の長さが小さくなると解析を行う際に不都合が生じるため，今回解析に用いる基盤面位置は表 3.2.2 に変更を行う。

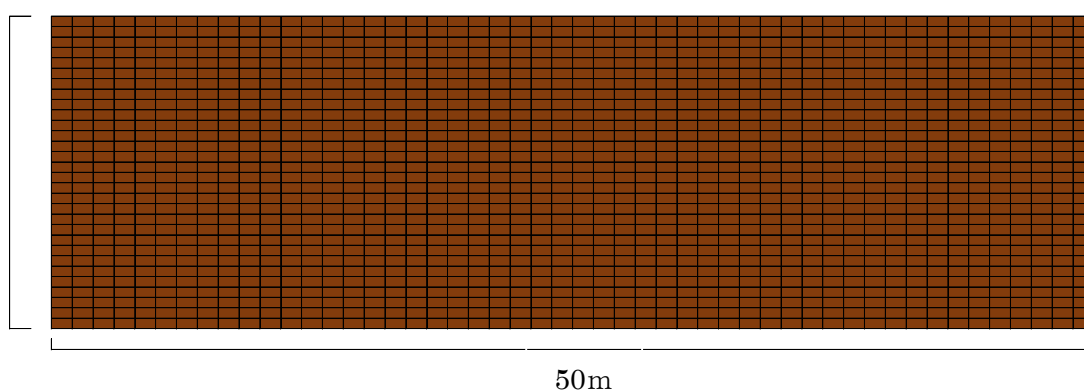


図 3.2.1 解析モデル

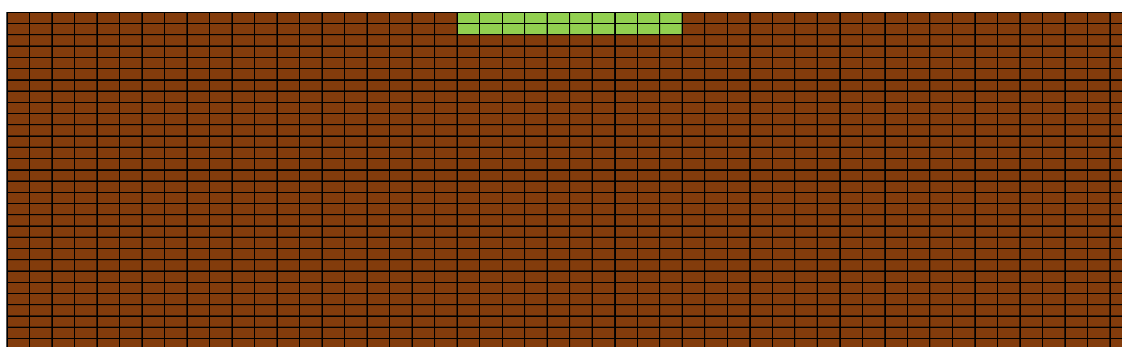


図 3.2.2 改良体位置

表 3.2.1 変更前基盤面位置

解析地点	K-NET三沢	八戸工業大学	階上町役場	上北変電所	南八戸変電所	JMAH八戸
基盤面位置	8m	15m	18m	24m	17.5m	11.5m

表 3.2.2 変更前基盤面位置

解析地点	K-NET三沢	八戸工業大学	階上町役場	上北変電所	南八戸変電所	JMAH八戸
基盤面位置	15m	15m	18m	24m	17.5m	15m

3.3. 解析条件

有限の領域で FEM 解析を行う場合は、適切は境界条件を設定しなければならない。本検討で用いた境界条件を図 3.3.1 に示す。解析モデル周辺は実際には底面に基盤面が存在し、側方には無限の範囲で地盤が続いている。その本来の状況を疑似的に再現するためには伝達境界や粘性境界が必要となる。本検討では底面に鉛直・水平粘性境界を設け、側方にはエネルギー伝達境界を設けて解析を行った。

側方:エネルギー伝達境界
底面:鉛直・水平粘性

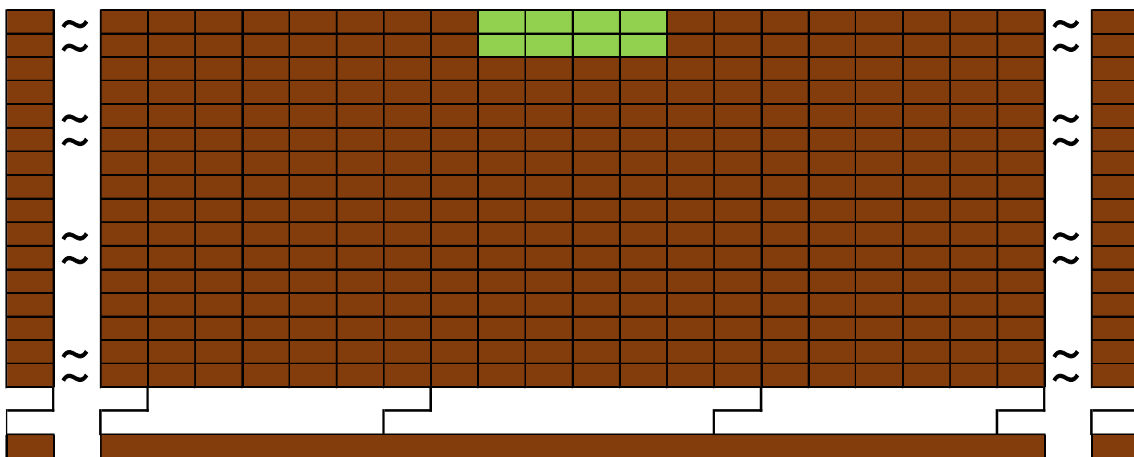


図 3.3.1 境界条件

第4章 結果と考察

4.1. 検討項目

軟弱地盤を改良した際には表層地盤が硬くなり，改良地盤直下の地盤において剛性低下が生じ，せん断ひずみが増大すると予想される。また，地盤を改良したことにより，地表面での加速度が変化することも考えられる。そこで，本章では，せん断ひずみ・水平動加速度・上下動加速度が入力振幅によってどのように変化するかをまとめ，考察を行う。

図 4.1.1 に着目点を示す。せん断ひずみは上記の理由から改良体の中央直下に着目する。改良による変化を知るために，まず未改良地盤に対して改良体を想定した時と同じ場所のひずみを求め，それと改良した場合との違いを検討する。

水平動加速度は改良体上面の中央部の値の変化を比較する。改良体は水平動を受けると，ロッキング振動する。それにとまって生じる上下動について，改良体の端部を取り上げて検討する。

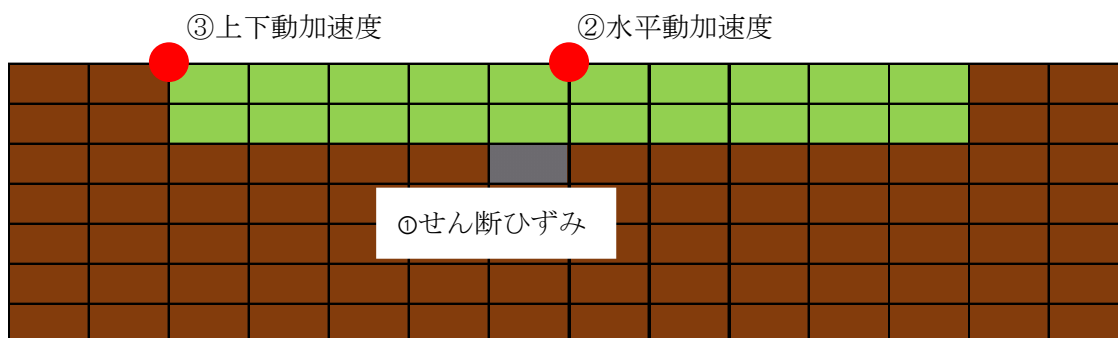


図 4.1.1 解析着目点

4.2. 未改良地盤最大せん断ひずみ

図 4.2.1～4.2.6 に、未改良地盤における最大せん断ひずみの計算結果を解析地点ごとに示す。最大せん断ひずみは絶対値が最大である数値を用いている。図の横軸は入力振幅 (cm/s)，縦軸は最大せん断ひずみを対数表示で表している。

等価線形解析は入力振幅が 0.01cm/s から 50.0cm/s の範囲で行ったが、入力振幅が 50.0cm/s 時にはいずれの解析ケースでも物性値が収束せず、解析不可能であった。また、12.5cm/s 時でも物性値が収束しなかった解析ケースが存在した。そのため、各図では値が収束した入力振幅までの結果としている。全てのケースで 8.0cm/s までは安定して結果が得られているので、以下 4.3 節以降では、0.01cm/s から 50.0cm/s まで計算を行ったうちの 8.0cm/s までを考察対象とした。

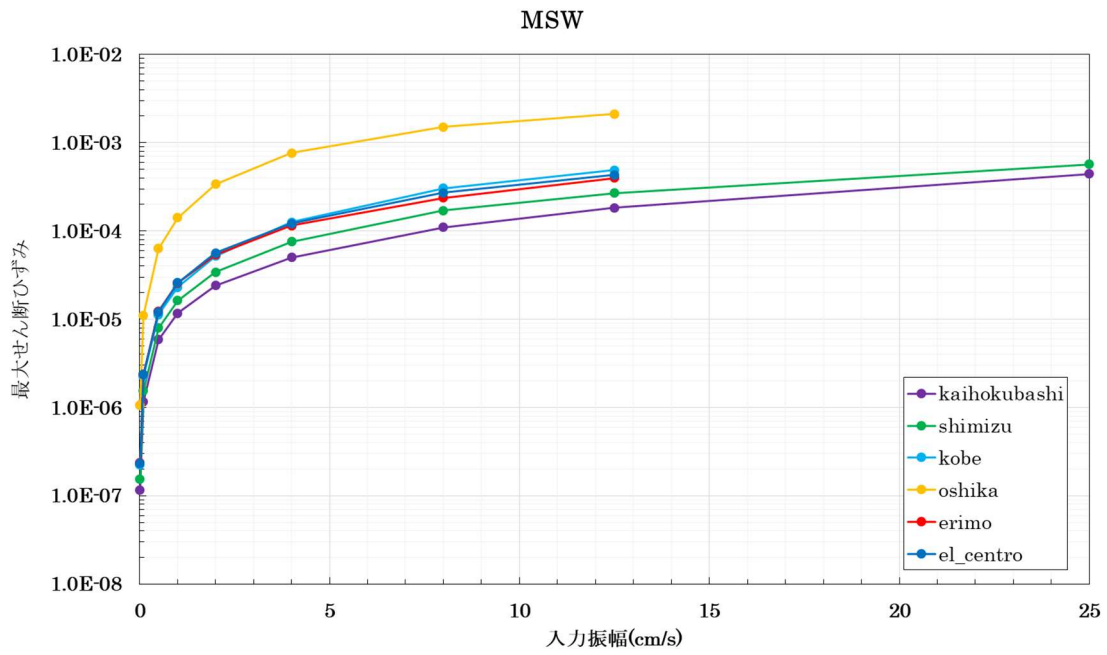


図 4.2.1 未改良地盤最大せん断ひずみ(K-NET 三沢)

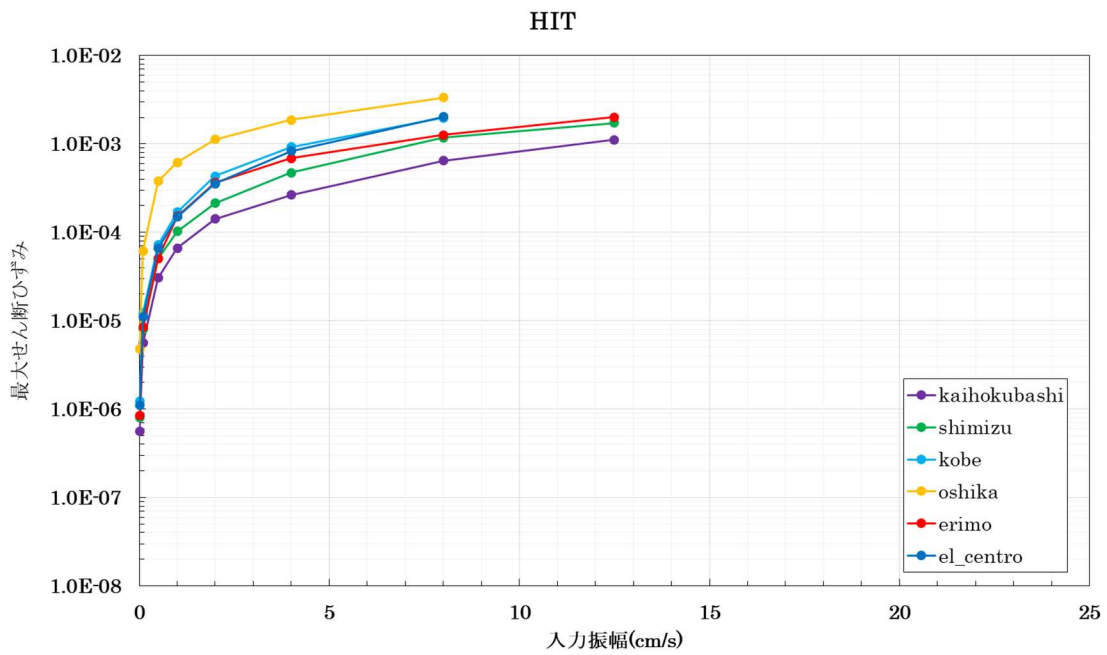


図 4.2.2 未改良地盤最大せん断ひずみ(八戸工業大学)

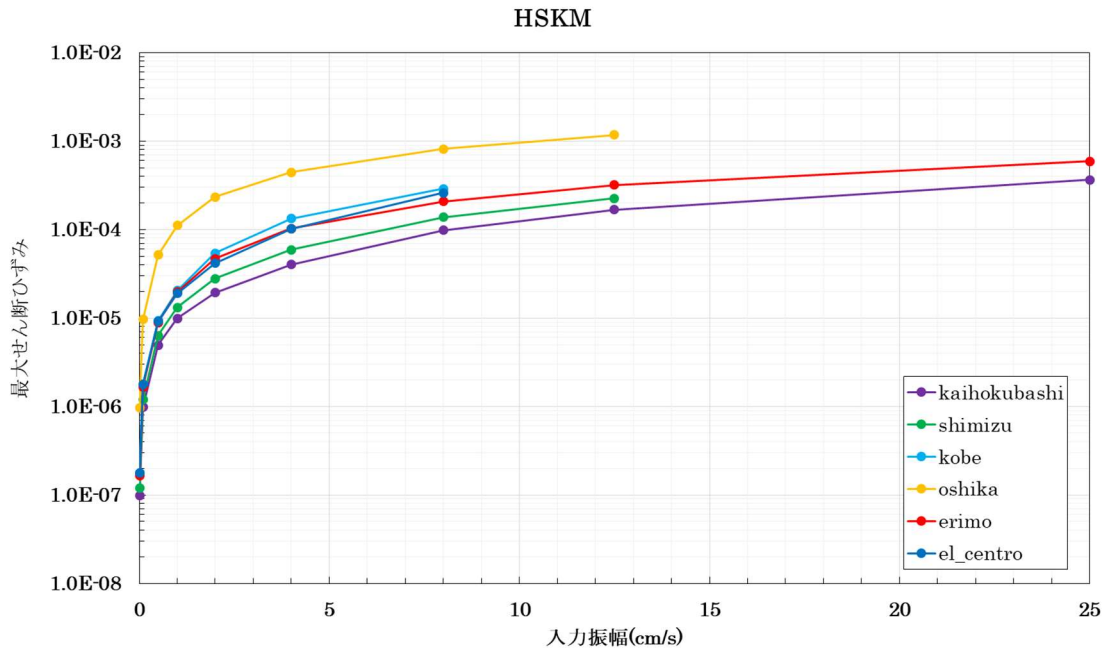


図 4.2.3 未改良地盤最大せん断ひずみ(階上町役場)

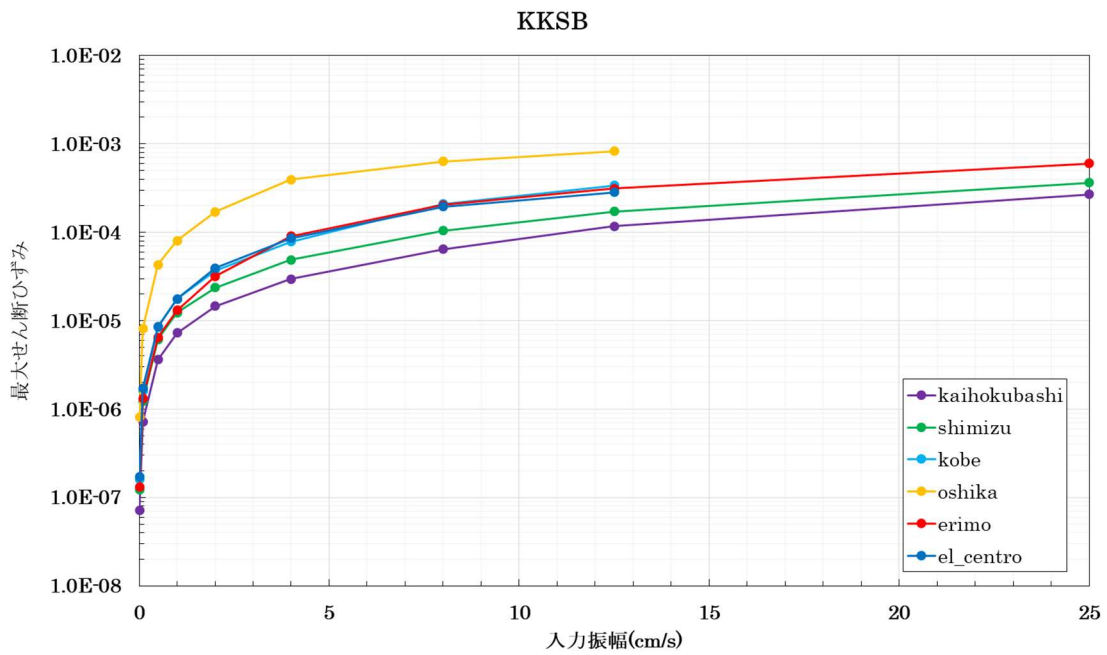


図 4.2.4 未改良地盤最大せん断ひずみ(上北変電所)

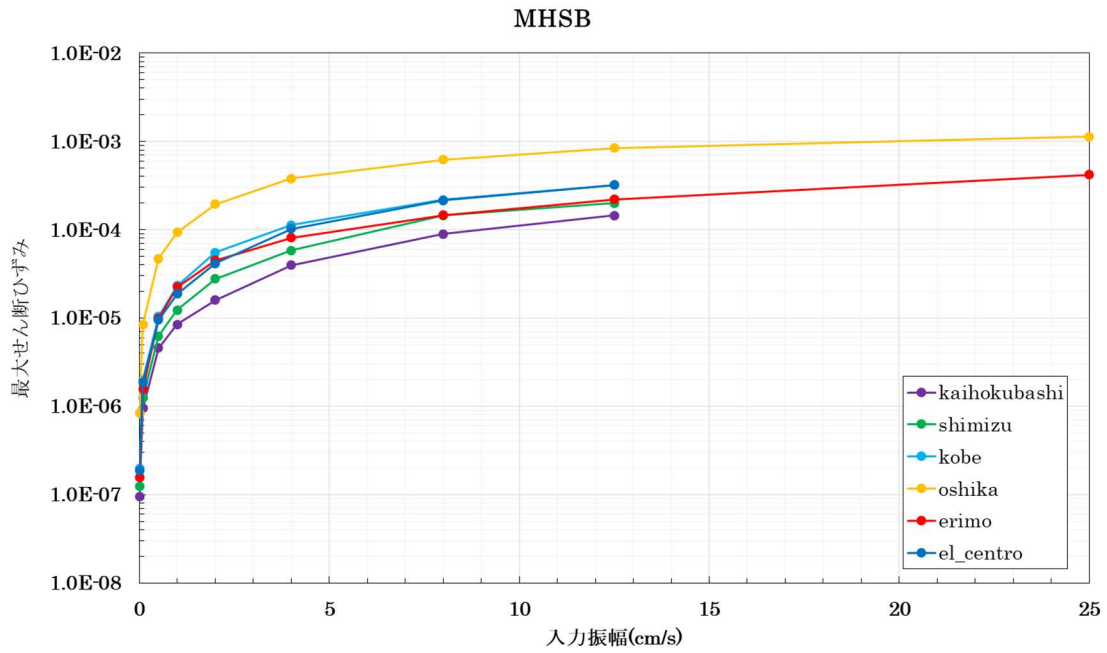


図 4.2.5 未改良地盤最大せん断ひずみ(南八戸変電所)

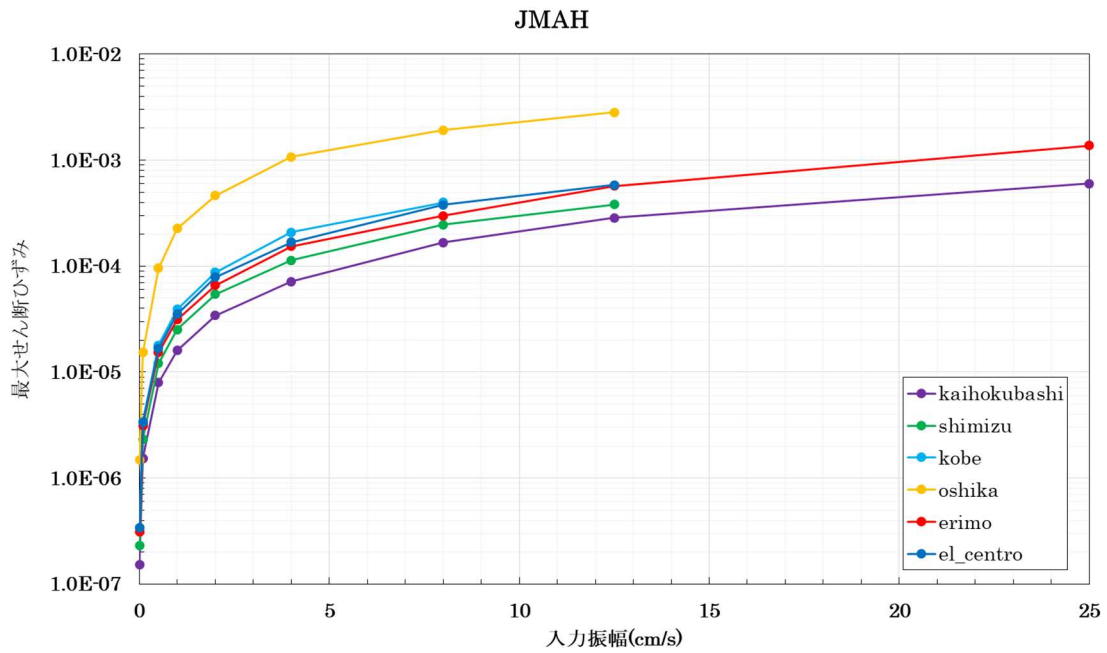


図 4.2.6 未改良地盤最大せん断ひずみ(JMA 八戸)

4.3. 改良地盤最大せん断ひずみ

図 4.3.1～4.3.6 に，改良地盤における最大せん断ひずみの計算結果を解析地点ごとに示す。最大せん断ひずみは絶対値が最大である数値を用いている。図の横軸は入力振幅 (cm/s)，縦軸は最大せん断ひずみを対数表示で表している。未改良地盤での計算結果と同様に，地震動 oshika でのせん断ひずみが他の入力地震動よりも大きい値とはなるが，傾向は未改良地盤と同じ結果となった。

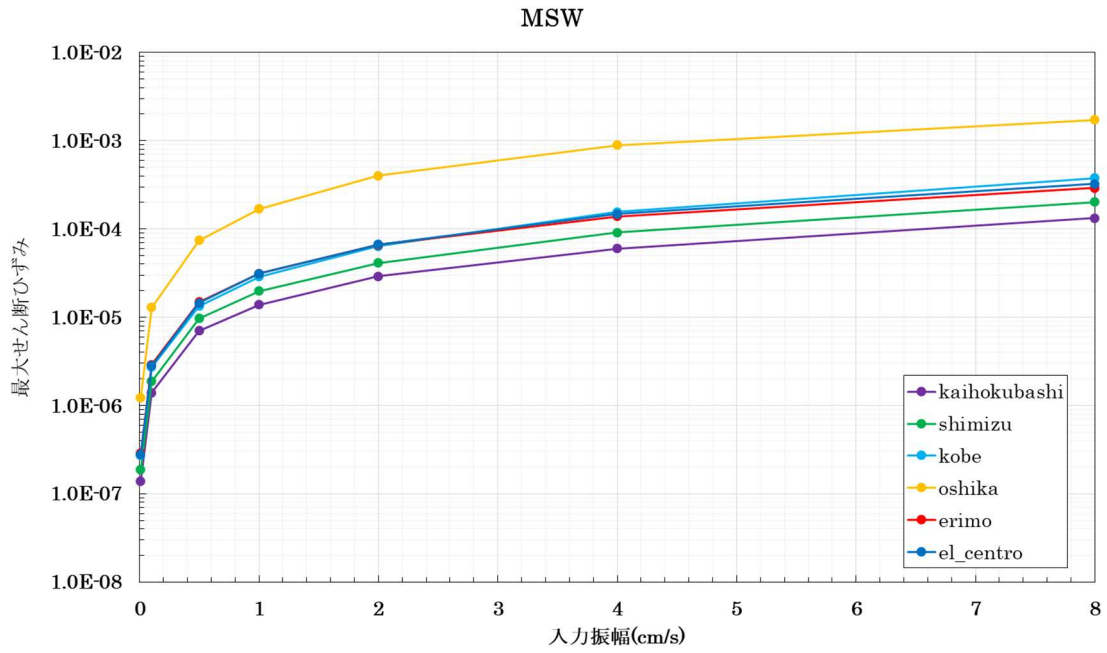


図 4.3.1 改良地盤最大せん断ひずみ(K-NET 三沢)

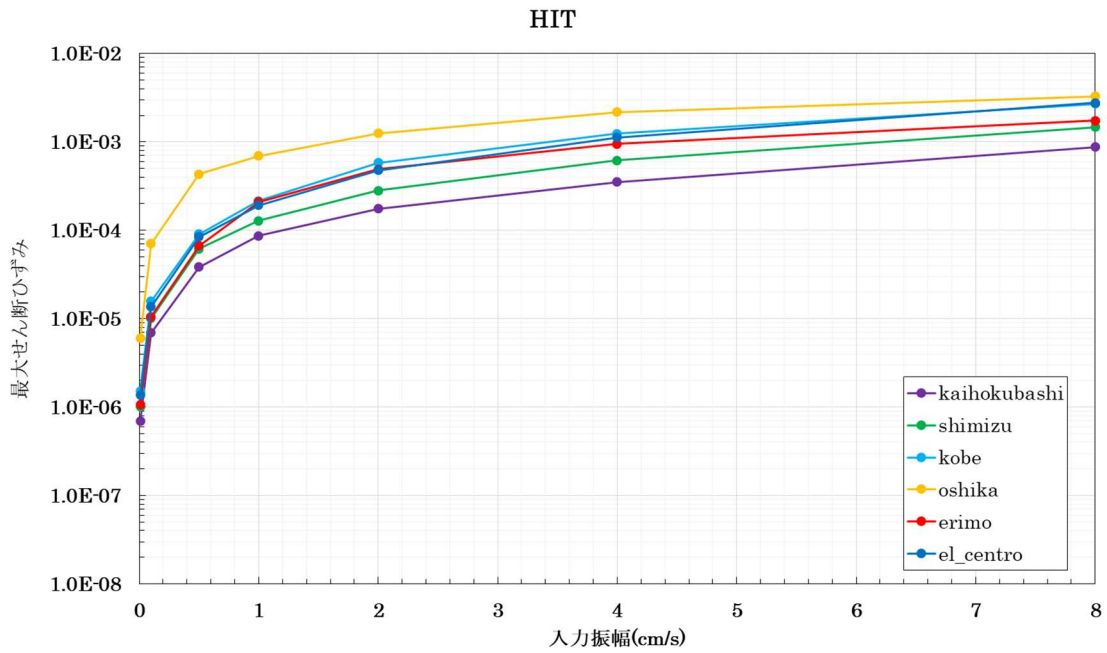


図 4.3.2 改良地盤最大せん断ひずみ(八戸工業大学)

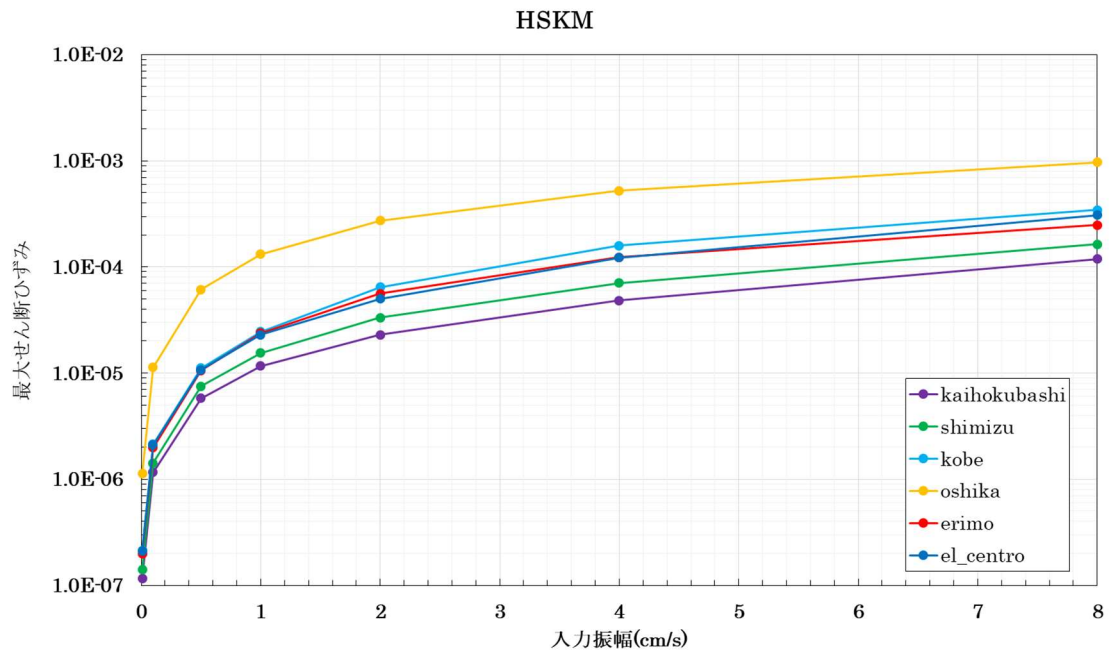


図 4.3.3 改良地盤最大せん断ひずみ(階上町役場)

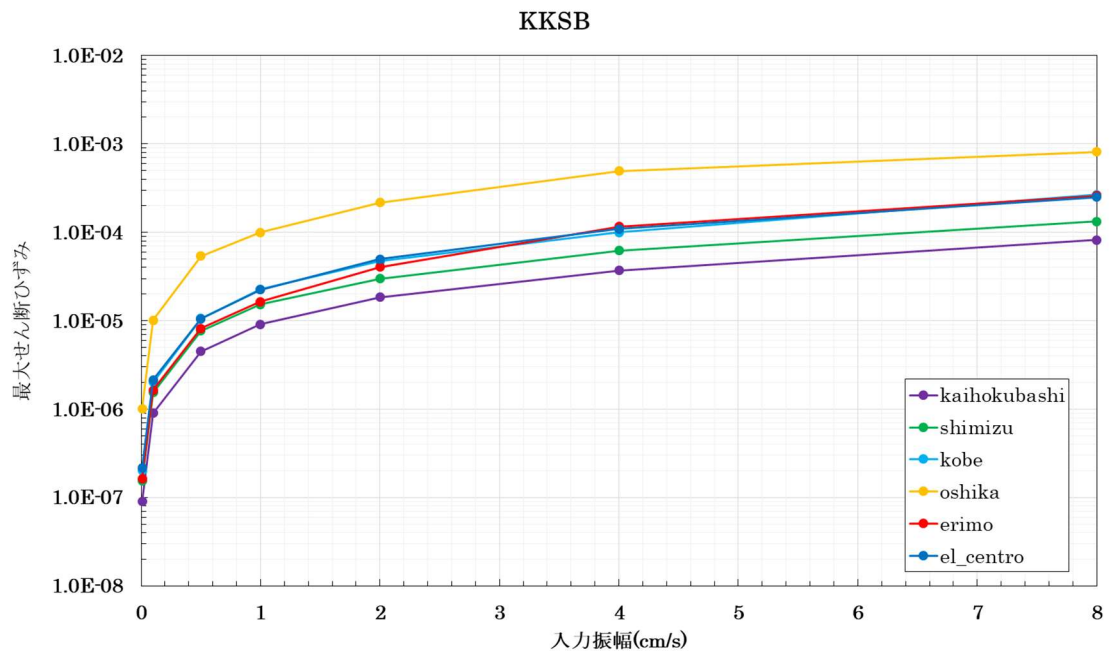


図 4.3.4 改良地盤最大せん断ひずみ(上北変電所)

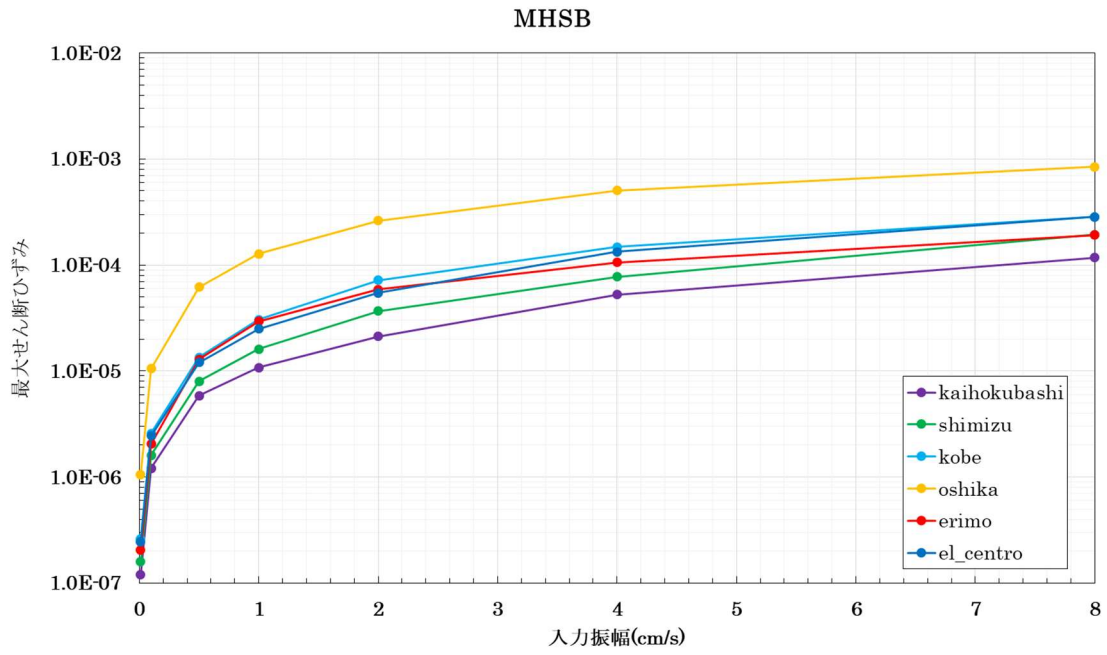


図 4.3.5 改良地盤最大せん断ひずみ(南八戸変電所)

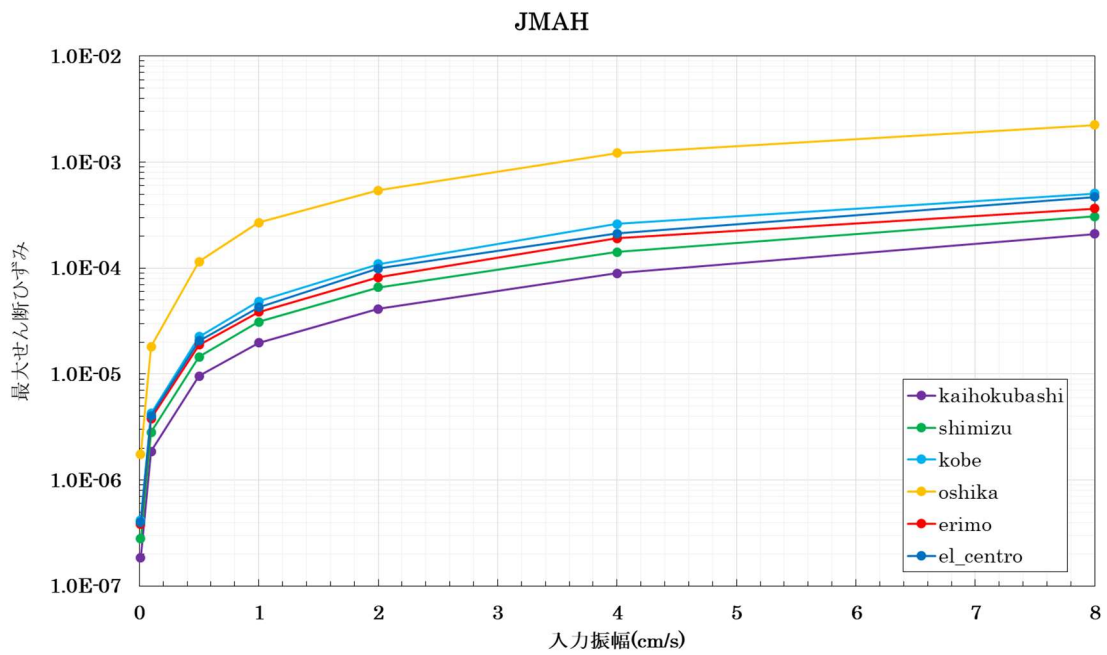


図 4.3.6 改良地盤最大せん断ひずみ(JMA 八戸)

4.4. 最大せん断ひずみ変化率

図 4.4.1～4.4.6 に、地盤を改良した際の最大せん断ひずみ変化率を解析地点ごとに示す。図の横軸は入力振幅(cm/s)、縦軸は最大せん断ひずみ変化率を表している。地盤を改良した際に改良地盤直下に生じるせん断ひずみは未改良地盤における値の 1.2 倍～1.3 倍となる結果が多く見られた。

MSW, HSKM, KKSB, MHSB では入力振幅レベルが増加するにつれて変化率が一定値に近づいている。しかし、HIT や JMAH では地震動 oshika による応答が大きく変化しており、一定値に収束しない結果となった。

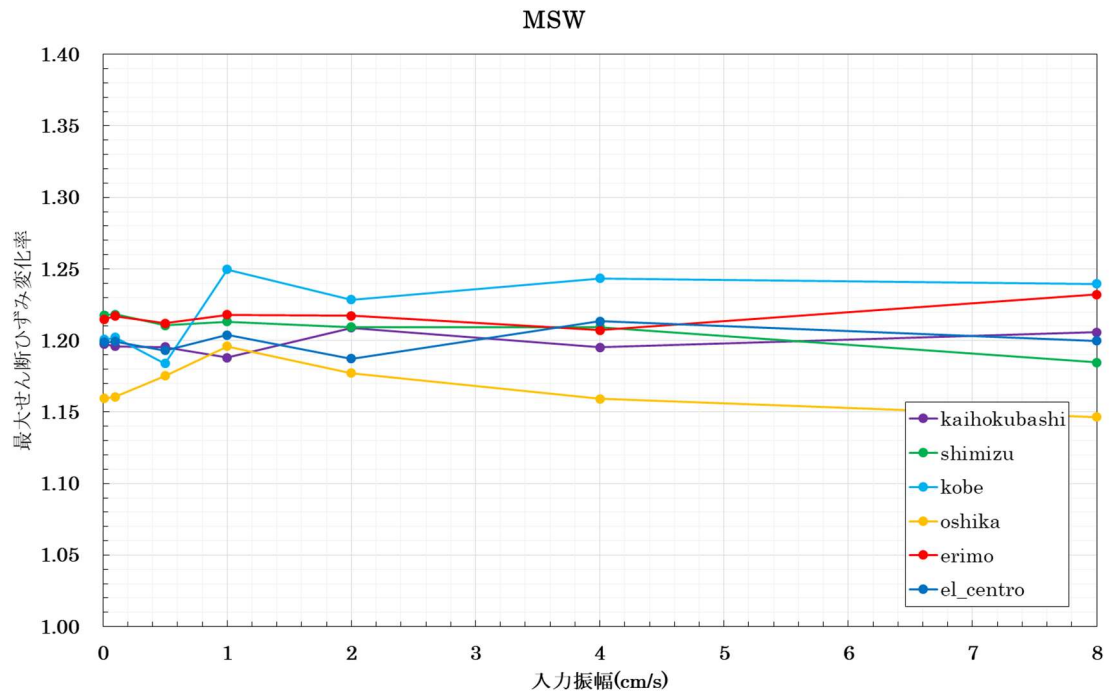


図 4.4.1 最大せん断ひずみ変化率(K-NET 三沢)

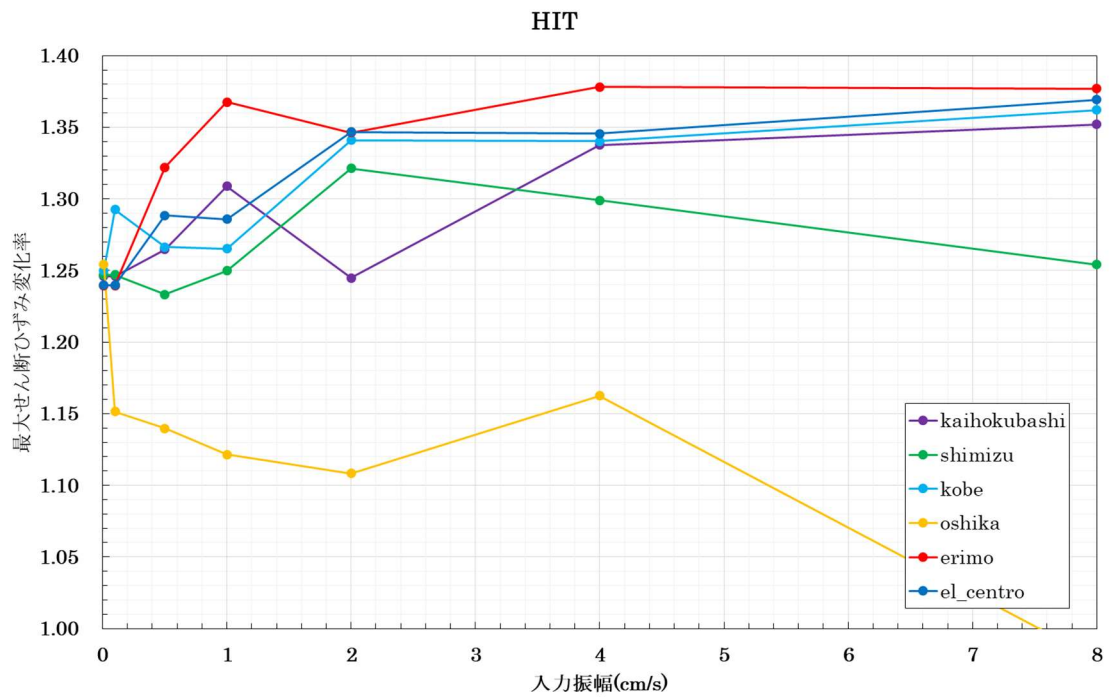


図 4.4.2 最大せん断ひずみ変化率(八戸工業大学)

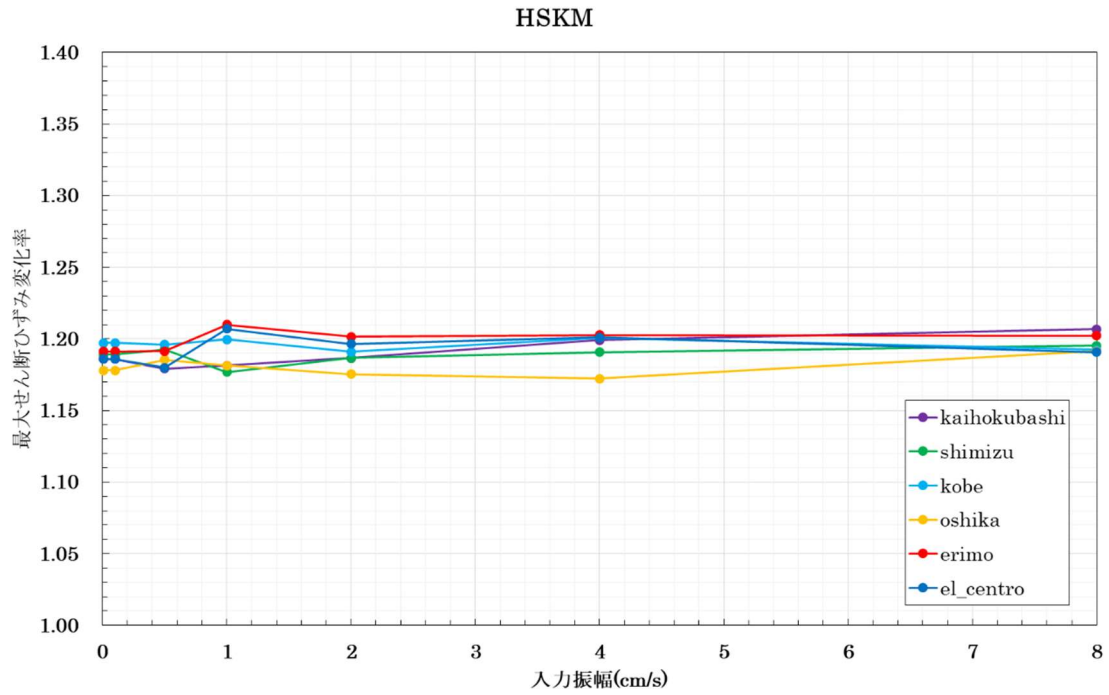


図 4.4.3 最大せん断ひずみ変化率(階上町役場)

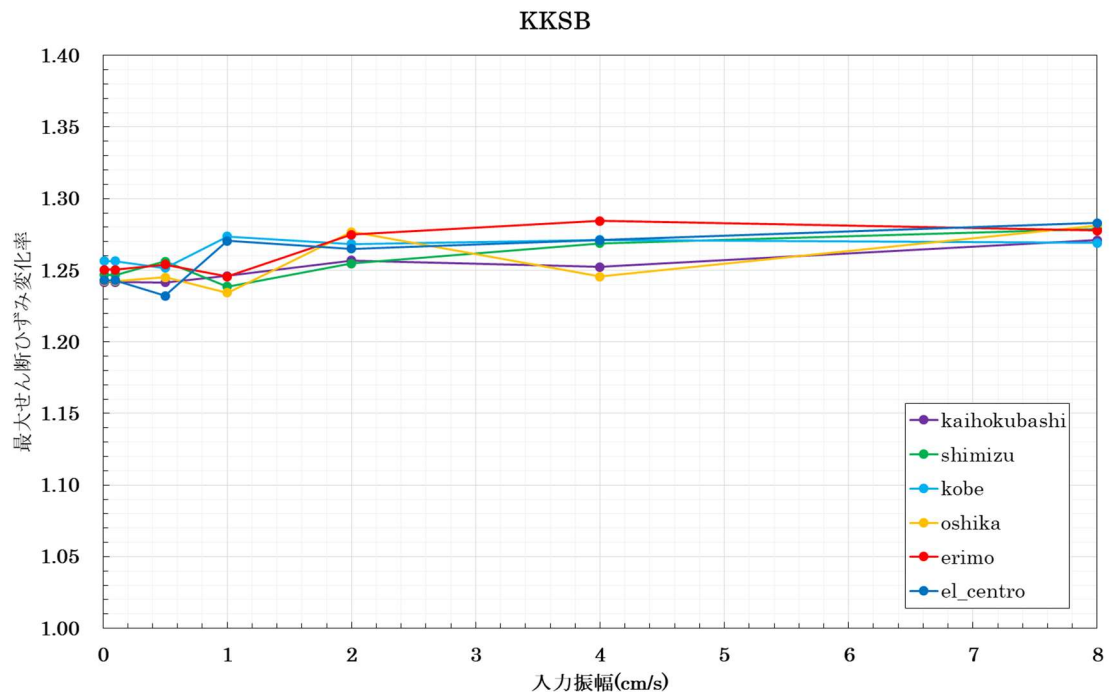


図 4.4.4 最大せん断ひずみ変化率(上北変電所)

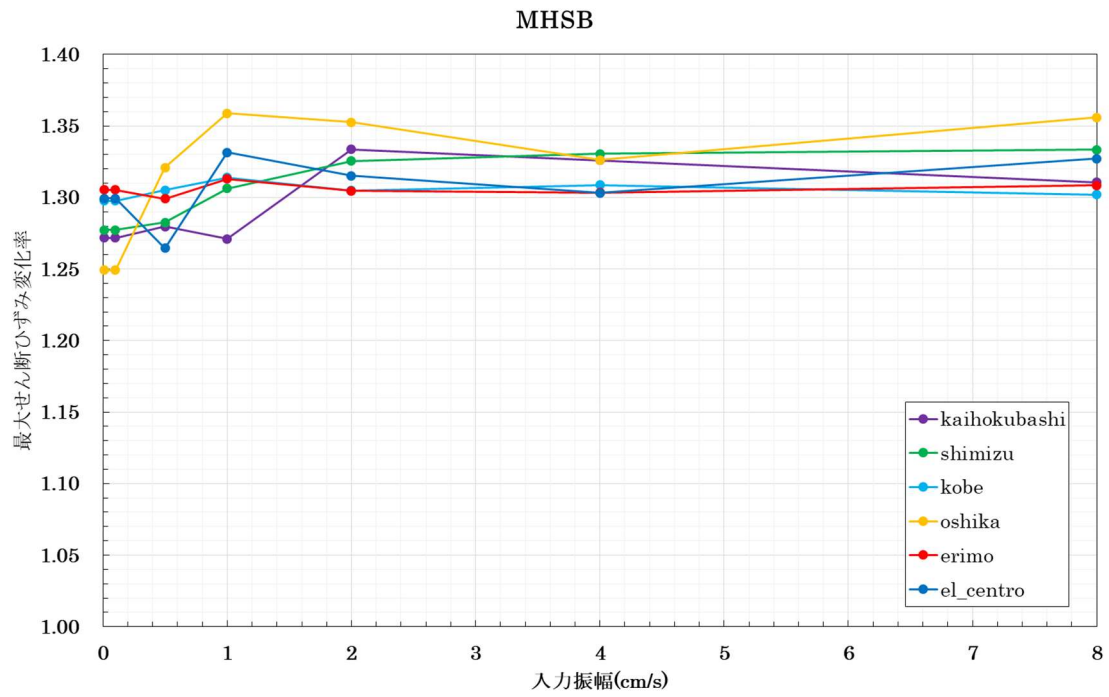


図 4.4.5 最大せん断ひずみ変化率(南八戸変電所)

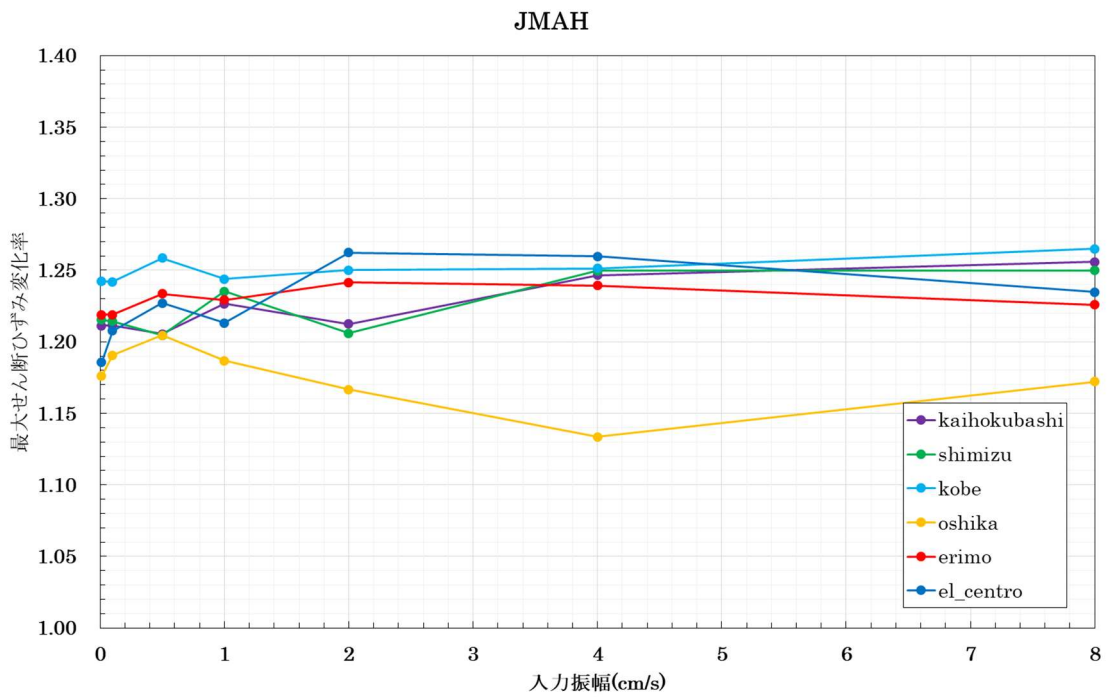


図 4.4.6 最大せん断ひずみ変化率(JMA 八戸)

4.5. 水平動最大加速度変化率

図 4.5.1～4.5.6 に，地盤を改良した際の水平動最大加速度の変化率を解析地点ごとに示す。図の横軸は未改良地盤における水平動最大加速度(gal)，縦軸は改良地盤における水平動最大加速度(gal)をそれぞれ対数グラフで表している。また，グラフ上に傾きが 1 の直線を表示しており，この直線に近いほど変化率が少ないデータということになる。その結果，いずれの解析地点においても直線上にプロットされているデータが多く，地盤を改良しても水平動最大加速度に変化が生じないことが判った。

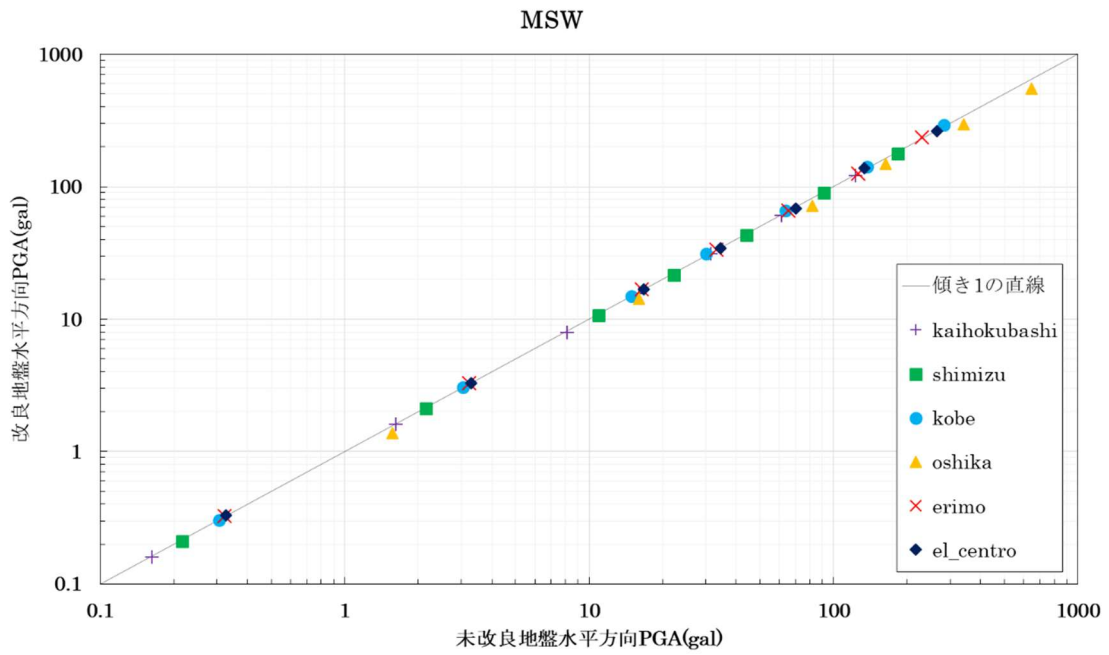


図 4.5.1 水平動最大加速度変化率(K-NET 三沢)

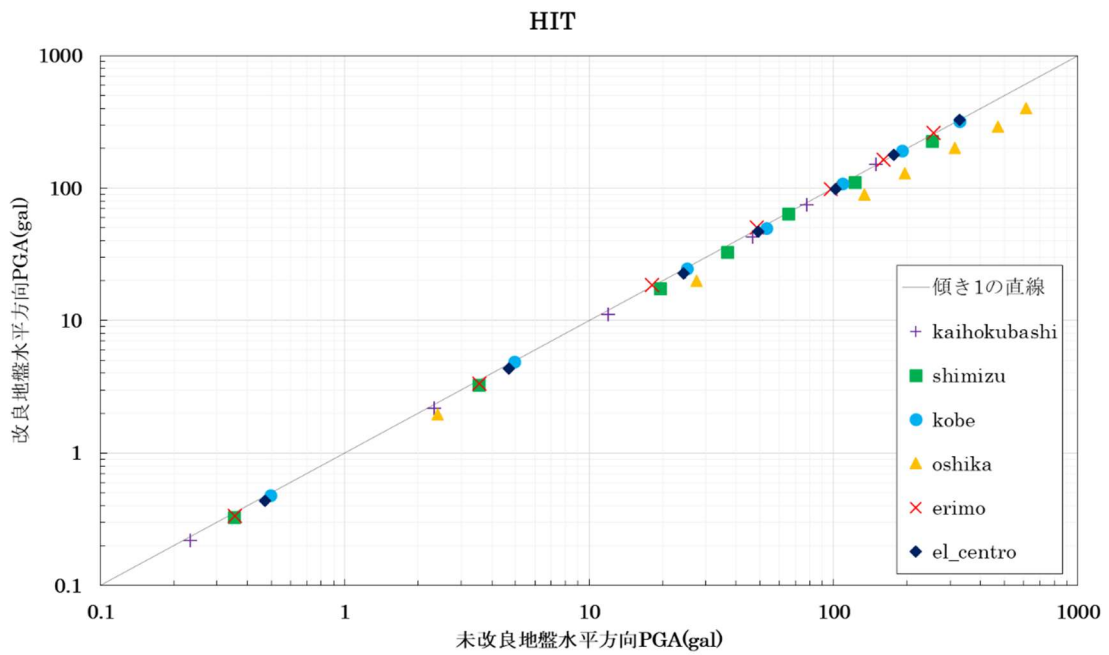


図 4.5.2 水平動最大加速度変化率(八戸工業大学)

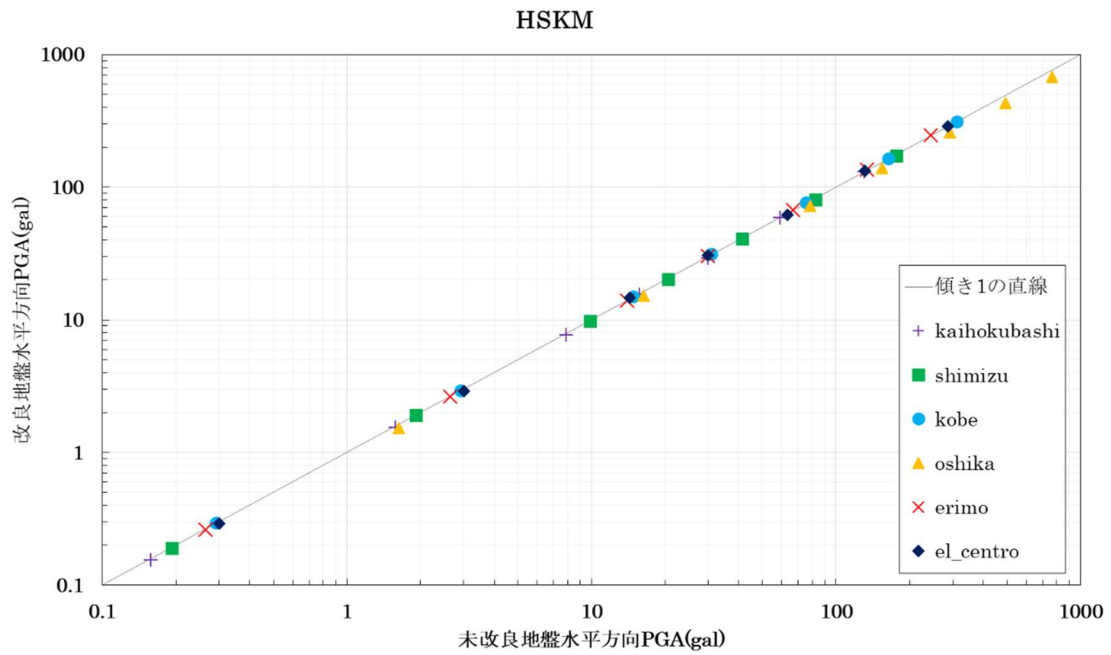


図 4.5.3 水平動最大加速度変化率(階上町役場)

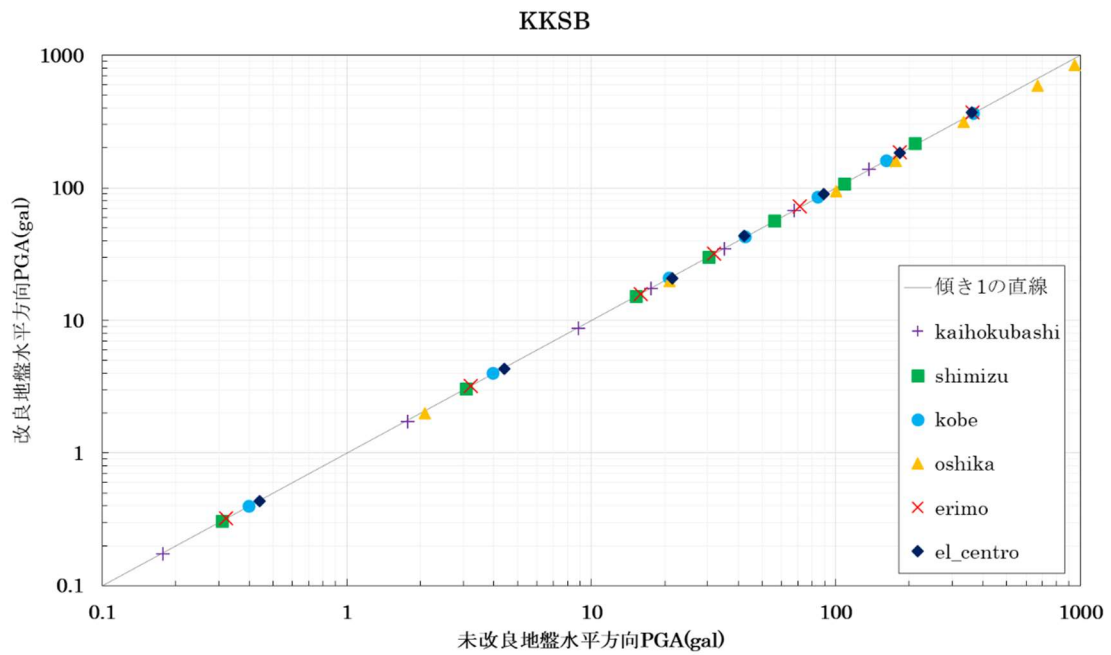


図 4.5.4 水平動最大加速度変化率(上北変電所)

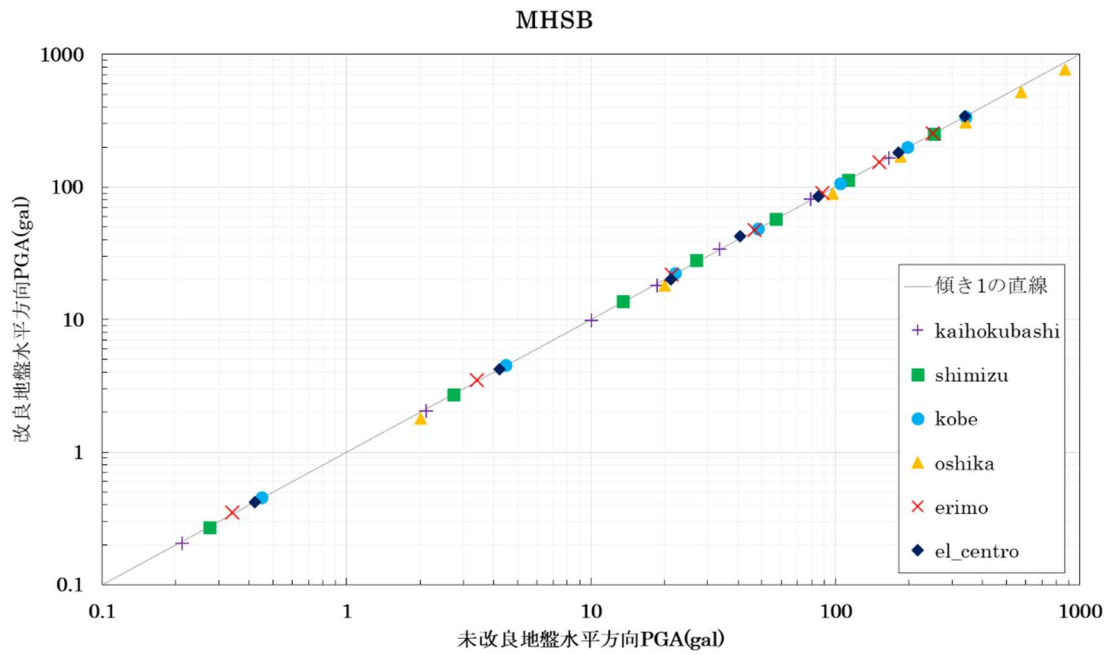


図 4.5.5 水平動最大加速度変化率(南八戸変電所)

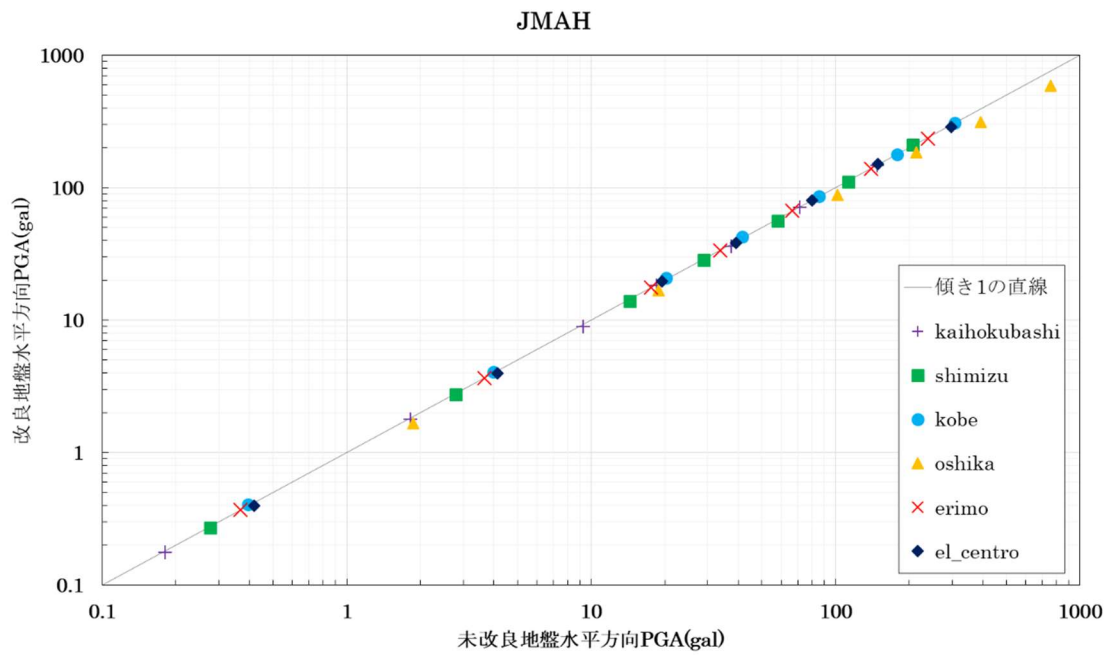


図 4.5.6 水平動最大加速度変化率(JMA 八戸)

4.6. 上下動最大加速度

図 4.6.1～4.6.6 に、改良体の端部における上下動最大加速度を解析地点ごとに示す。図の横軸は入力振幅(cm/s)、縦軸は改良体の端部における上下動最大加速度(gal)を対数グラフで表している。上下動最大加速度においては最大せん断ひずみと同様の傾向が見られ、地震動 oshika が他の入力地震動に対して非常に大きい加速度が生じる結果となった。

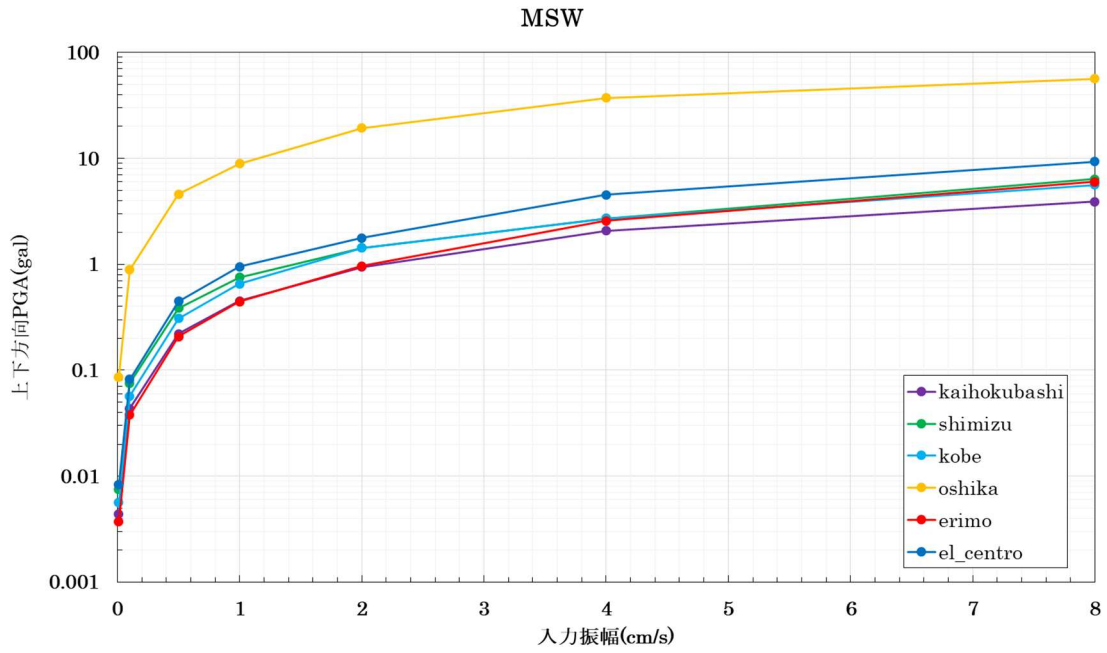


図 4.6.1 上下動最大加速度(K-NET 三沢)

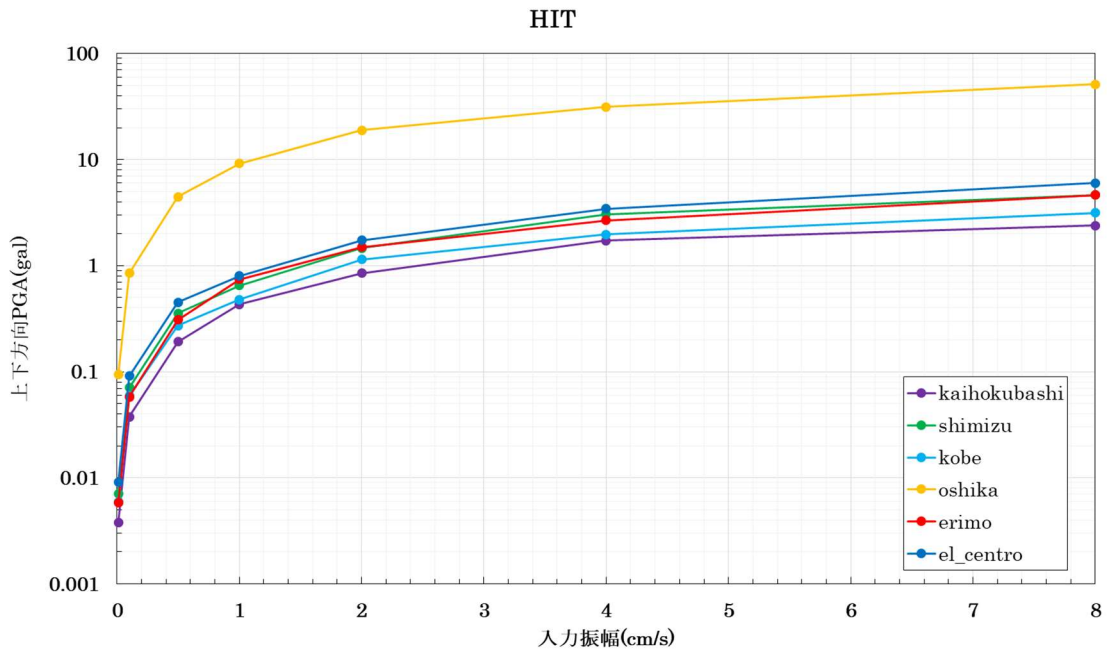


図 4.6.2 上下動最大加速度(八戸工業大学)

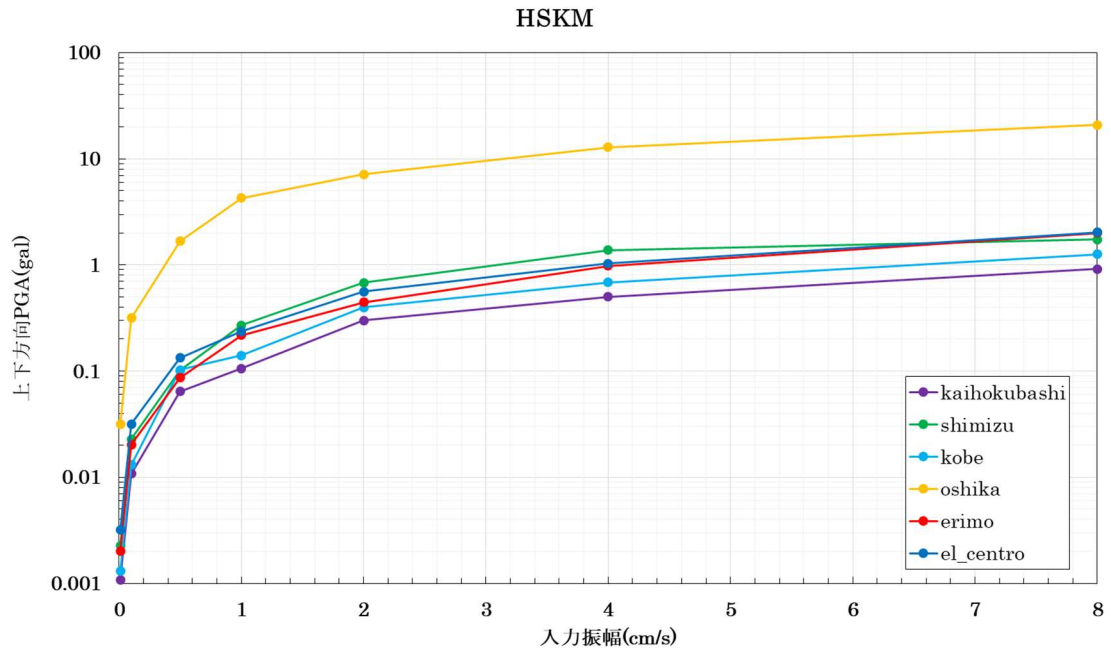


図 4.6.3 上下動最大加速度(階上町役場)

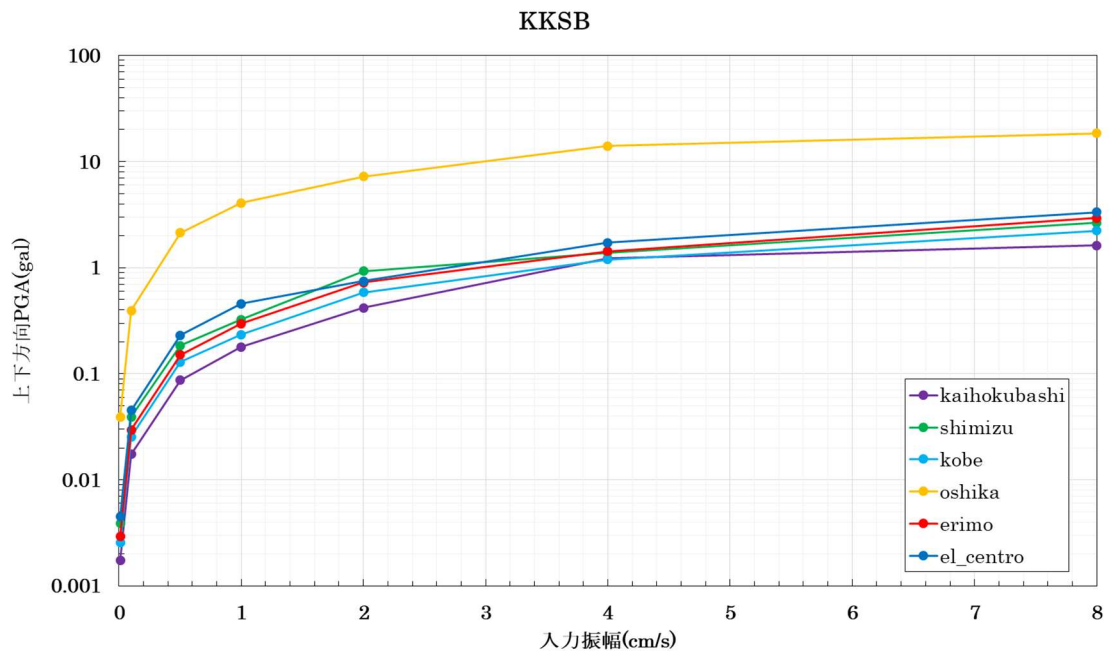


図 4.6.4 上下動最大加速度(上北変電所)

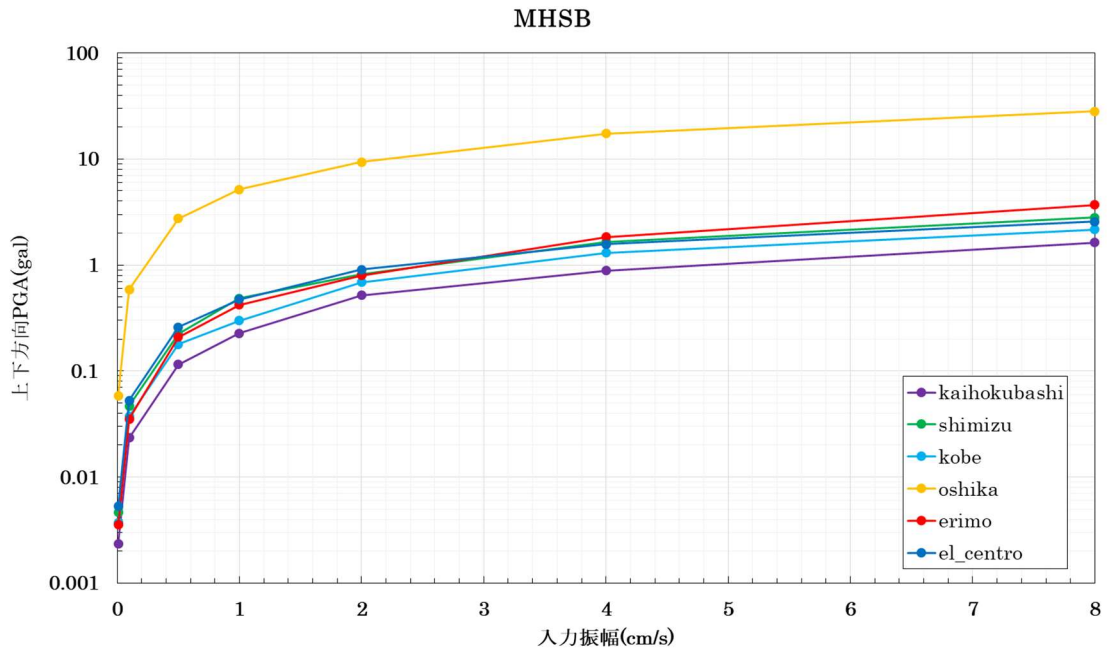


図 4.6.5 上下動最大加速度(南八戸変電所)

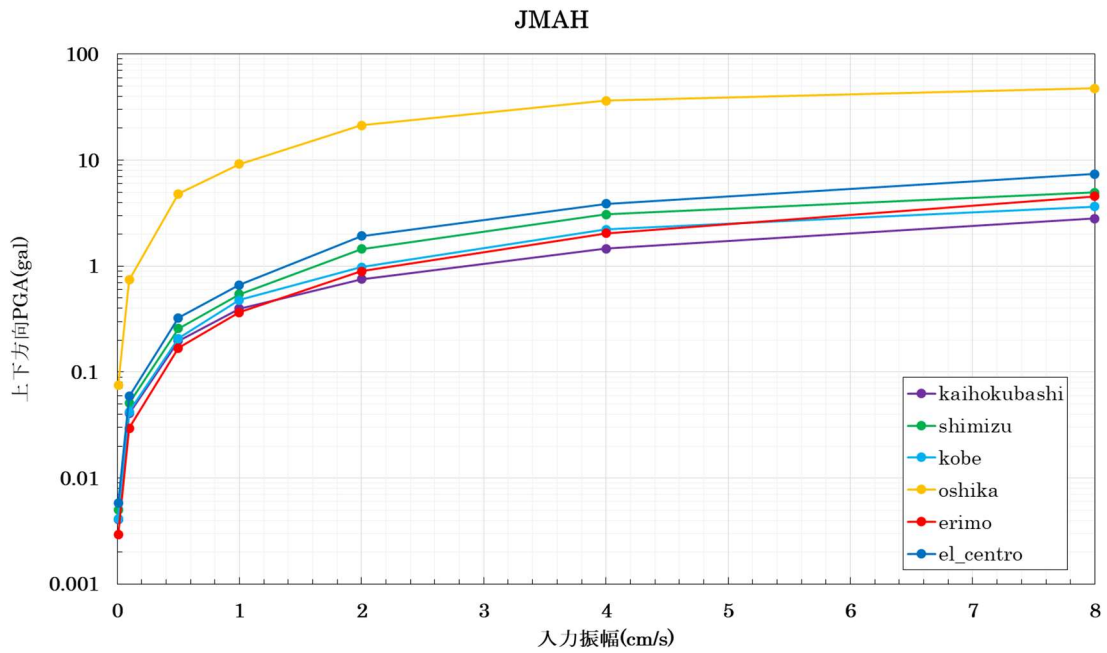


図 4.6.6 上下動最大加速度(JMA 八戸)

4.7. 上下動/水平動 最大加速度比

図 4.7.1～4.7.6 に、水平動最大加速度に対する上下動最大加速度の比を解析地点ごとに示す。図の横軸は入力振幅(cm/s)、縦軸は上下動/水平動の比を%で示している。おおよそ水平動に対して 1%～2%の上下動が生じており、振幅レベルによらず一定となるケースが大半を占めていた。しかし、多くの解析地点においても地震動 oshika の解析結果は大きく傾向が異なり、非常に大きなロッキングが発生する結果となった。地震動 oshika の観測波形は加速度が大きい割に速度が小さいため、他の入力地震動とは異なる応答を示したと考えられる。

このようなロッキング振動を静的に考えれば、建物の応答は水平動のみの場合に比べ大きくなる。一方で、建物は固有周期を有するためその振動が改良体の振動に影響を及ぼす可能性も考えられる（構造物と基礎との動的相互作用）。そこで、より現実的に検討するには住宅の振動応答を考慮した解析が必要となってくる。

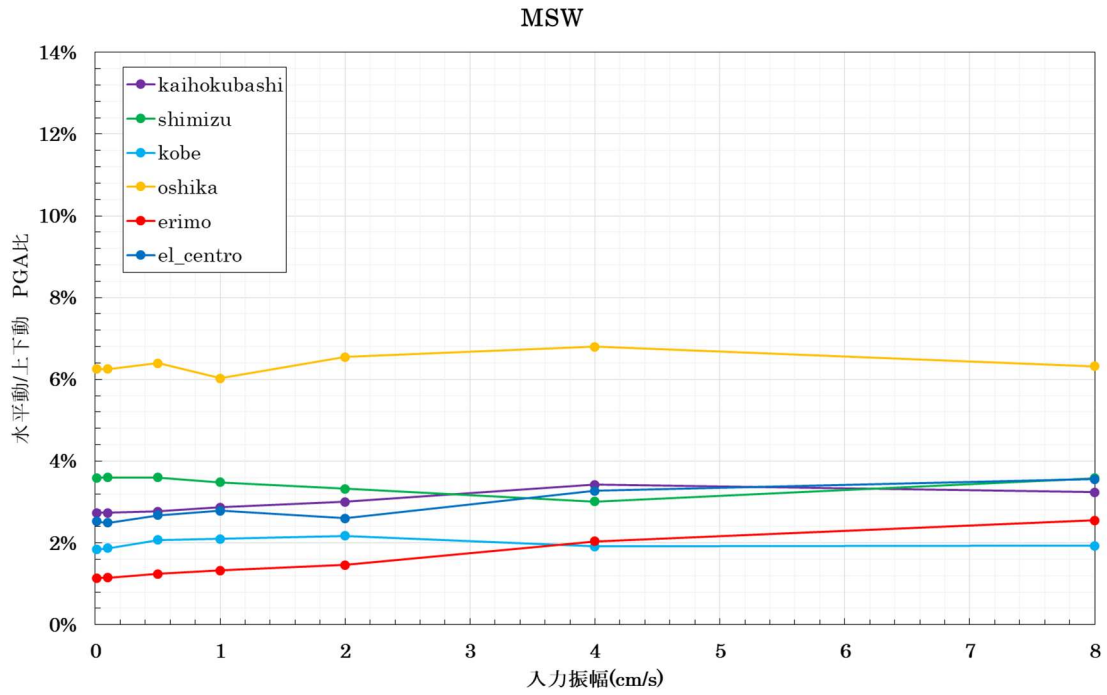


図 4.7.1 上下動/水平動 最大加速度比(K-NET 三沢)

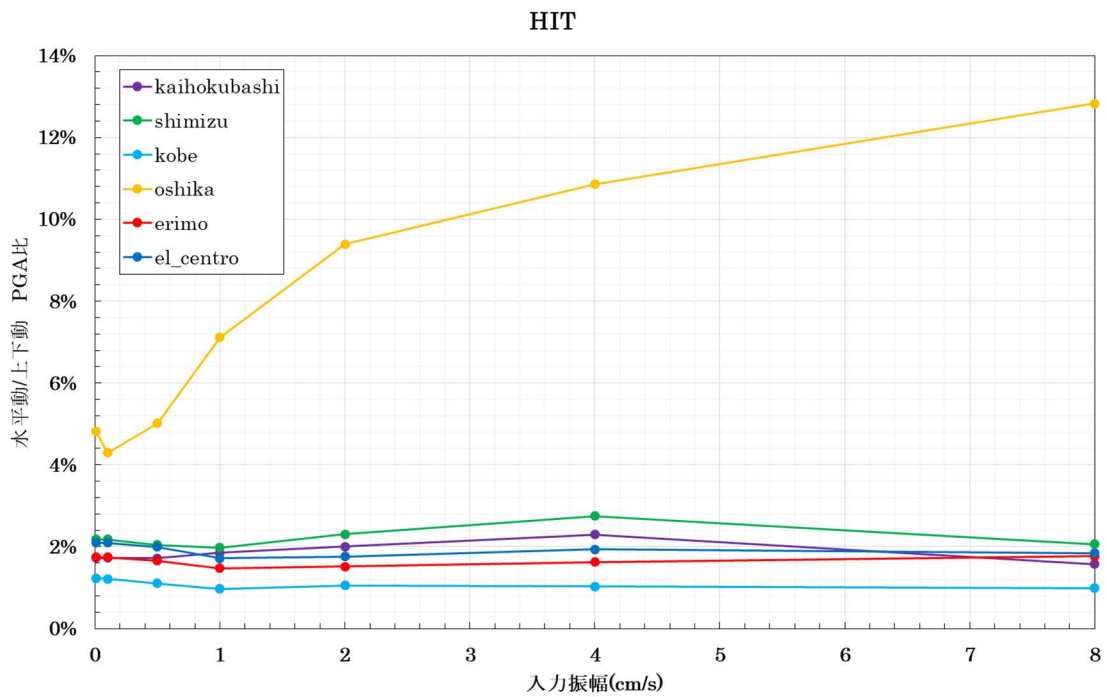


図 4.7.2 上下動/水平動 最大加速度比(八戸工業大学)

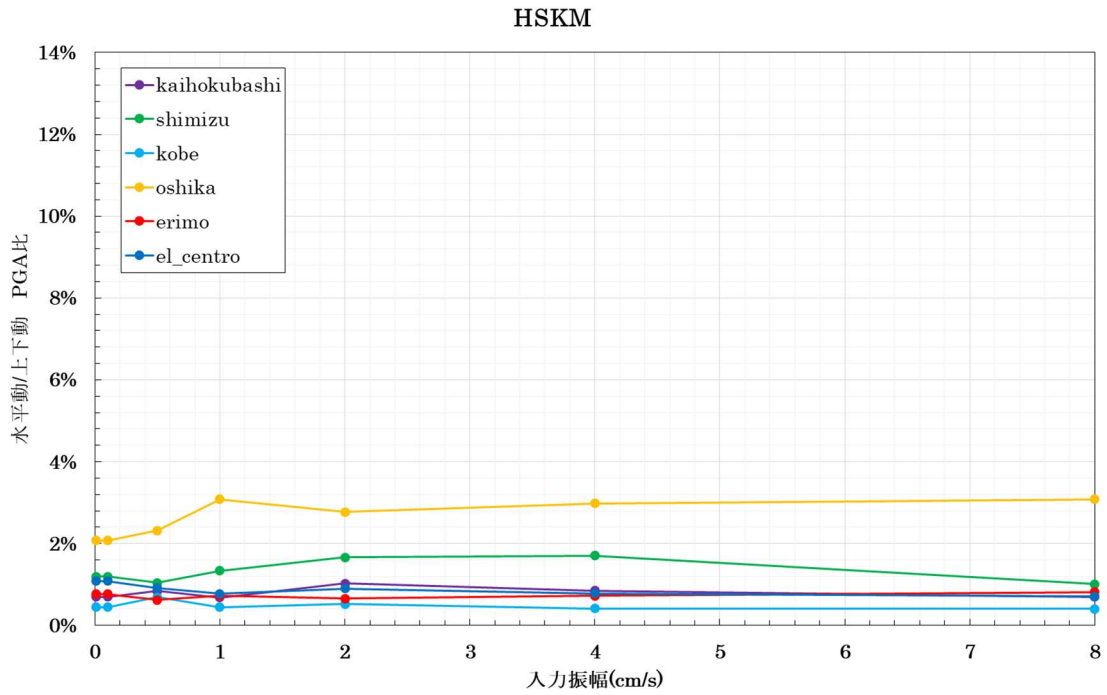


図 4.7.3 上下動/水平動 最大加速度比(階上町役場)

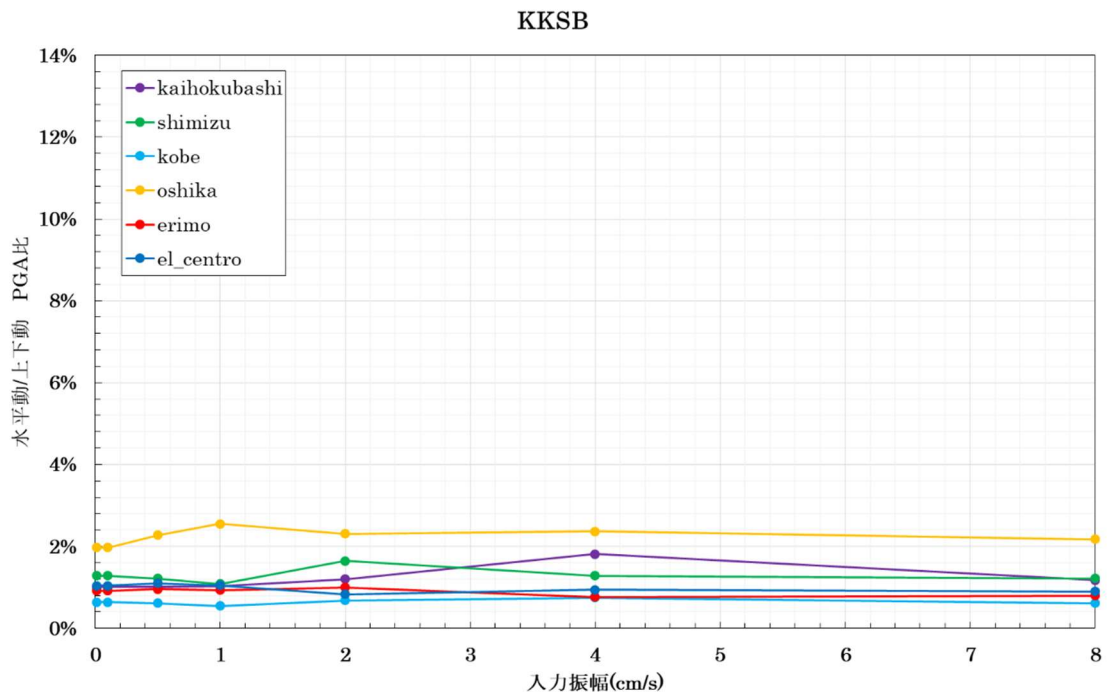


図 4.7.4 上下動/水平動 最大加速度比(上北変電所)

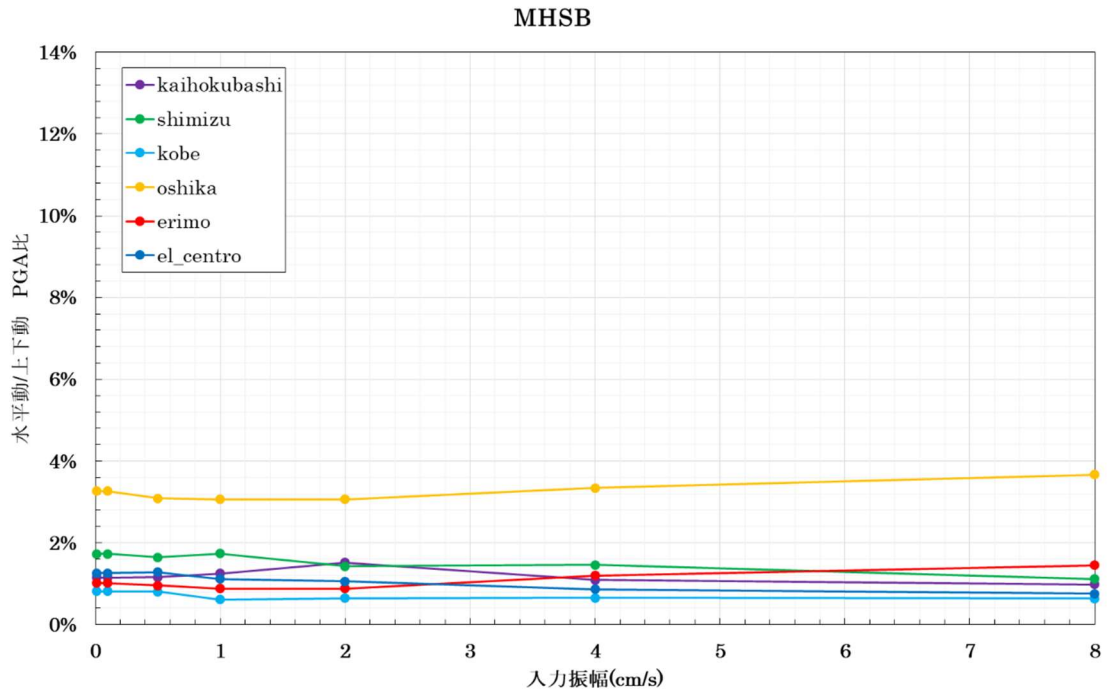


図 4.7.5 上下動/水平動 最大加速度比(南八戸変電所)

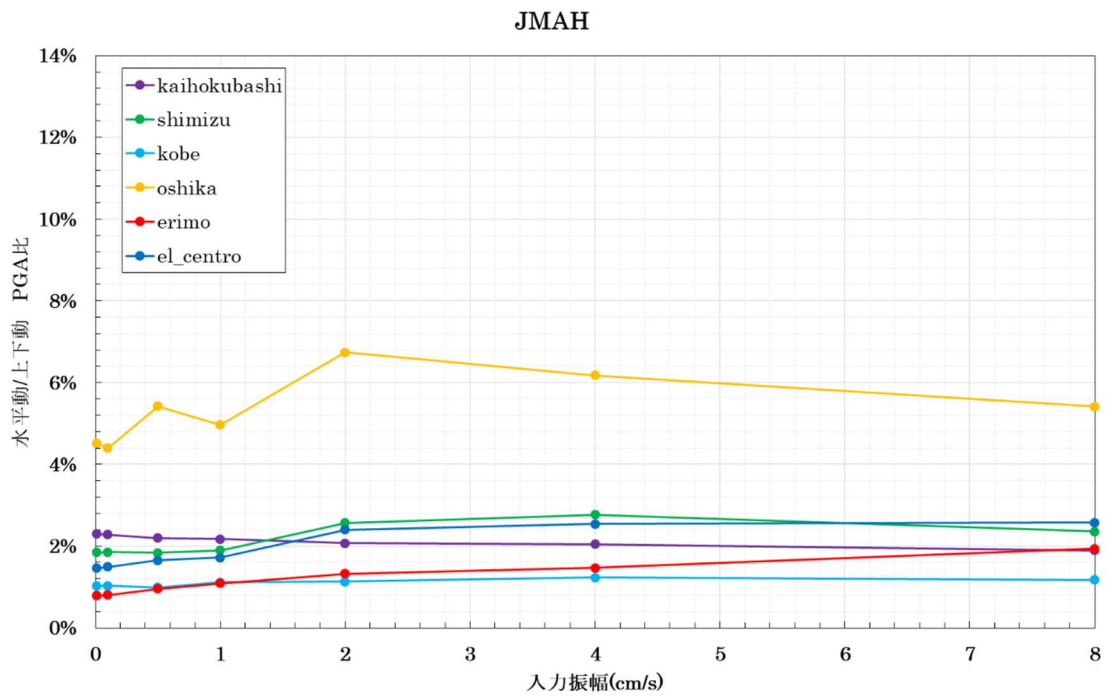


図 4.7.6 上下動/水平動 最大加速度比(JMA 八戸)

第5章 まとめ

本研究では、軟弱地盤を改良した際にせん断ひずみ、地表の水平動加速度と上下動加速度がどのように変化するかを検討した。

計算の結果、改良体直下のせん断ひずみに関しては、改良することで 1.2~1.3 倍程度大きくなった。地盤改良することによる地盤の剛性は低下するがそれほど大きな変化ではないことが判った。これにともない、水平動加速度に関しては改良前と改良後でほぼ同様の値を示しており、剛性低下による影響はあまり見られなかった。

しかしながら、改良体の端部に上下動加速度が生じることが判った。解析地点、入力振幅によらず水平動加速度 1~2%程度の上下動加速度が生じており、比較的大きな回転動が発生する結果となった。

今回検討したモデルは住宅を考慮しない改良体のみでの解析であるため、より現実的に検討するには、今後は住宅の振動応答を考慮した解析が必要となってくる。

参考文献・引用元

- 1) 若松加寿江・松岡昌志, 2020, 地形・地盤分類 250m メッシュマップの更新, 日本地震工学会誌, No.40, pp.24-27,
- 2) 稲葉令子, 2020, 青森県南地域における表層地盤増幅の振幅依存性に関する数値解析的研究, 弘前大学大学院理工学研究科修士学位論文, 第 1467 号
- 3) 稲葉令子, 2020, 青森県南地域における表層地盤増幅の振幅依存性に関する数値解析的研究, 弘前大学大学院理工学研究科修士学位論文, 第 1467 号, 10-16 頁
- 4) 公益社団法人日本道路協会 HP : <https://www.road.or.jp/dl/tech.html>
- 5) 平成 29 年道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編
- 6) 一般財団法人日本建築センターHP : <https://www.bcj.or.jp/download/wave/>
- 7) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 HP : <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 8) ViewWave : https://iisee.kenken.go.jp/staff/kashima/viewwave_j.html
- 9) 稲葉令子, 2020, 青森県南地域における表層地盤増幅の振幅依存性に関する数値解析的研究, 弘前大学大学院理工学研究科修士学位論文, 第 1467 号, 17-24 頁
- 10) 滝田貢・飛田潤・毛呂眞・伊藤敬一, 1996, 八戸工業大学地盤の地震応答特性, 日本建築学会, 構造工学論文集, Vol.42B
- 11) 北東北国立 3 大学岩手・宮城内陸地震被害調査研究グループ, 2009, 北東北国立 3 大学連携推進研究プロジェクト, 岩手・宮城内陸地震被害調査研究報告書
- 12) 藤野隆司・大上健一, 1998, 三陸はるか沖地震波による 2 変電所の地盤増幅率について, 三陸はるか沖地震シンポジウム論文集
- 13) 片岡俊一, 2020, 気象庁八戸市湊町観測点の地下構造推定, 土木学会東北支部令和元年度技術研究発表会梗概集
- 14) 稲葉令子, 2020, 青森県南地域における表層地盤増幅の振幅依存性に関する数値解析的研究, 弘前大学大学院理工学研究科修士学位論文, 第 1467 号, 26 頁
- 15) 建設省土木研究所, 1982, 地盤地震時応答特性の数値解析法-SHAKE:DESRA-, 土研資料第 1778 号
- 16) 吉田望, 2010, 地盤の地震応答解析, 鹿島出版会, 187-188 頁

謝辞

本研究を進めるにあたり，大学院生活を送る中で指導教員である片岡俊一教授は研究方針を提示してくださり，2年間丁寧なご指導をいただきました。心より深く感謝申し上げます。

また，副指導教員である増山篤教授，上原子晶久准教授には中間報告の際に別の視点からの御助言，疑問のご提示などをしていただき研究の糧となりました。

最後に，私の学生生活に関わっていただいた全ての方々に厚くお礼申し上げます。

ありがとうございました。