

# 液状化アレー観測記録に対する等価線形法の適用性

池田 隆明<sup>1</sup>・森 伸一郎<sup>1</sup>・三輪 滋<sup>1</sup>・西川 純一<sup>2</sup>・林 宏親<sup>2</sup>・谷口 啓二郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 正会員 飛島建設株式会社 技術研究所 (〒 270-02 千葉県東葛飾郡関宿町木間が瀬 5472)

<sup>2</sup> 正会員 北海道開発局 開発土木研究所 土質基礎研究室 (〒 062 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

ウトナイ湖南側の軟弱地盤の 2 地点(火山灰地盤と砂地盤)で液状化アレー観測が行われており、自由地盤と見なせる砂地盤の観測地点を対象に、得られた記録を用いて次元等価線形法の適用性について検討した。検討は、過剰間隙水圧が大きく上昇した釧路沖地震(1993.1.15)と、ほとんど上昇していない浦河沖地震(1991.11.27)の 2 種類に対して行った。その結果、過剰間隙水圧の上昇が小さくほぼ線形的な挙動と考えられる浦河沖地震はもちろん、最大せん断ひずみが  $10^{-3}$  程度、過剰間隙水圧が 75%程度上昇した釧路沖地震においても解析結果は観測記録をうまく表現できることがわかった。そのため、この程度の地盤の非線形挙動に対しても、次元等価線形法が適用可能であることがわかった。

**Key Words :** *liquefaction, array observation, equivalent linear analysis, road embankment shear strain, excess pore water pressure*

## 1. 概要

重複反射理論に基づく次元等価線形法は、地盤材料の非線型性を等価線形的に考慮でき、モデル化が簡便なこと、計算時間が短いこと、これまで多くの適用性に関する研究の蓄積があることなどの理由から、地盤の動的解析によく用いられる。しかし、この手法の適用が有効なひずみレベルは、せん断ひずみで  $10^{-3}$  程度までであり、それを超えると適用性に問題があると考えられる。

本報告では、軟弱地盤で実施されている液状化アレー観測記録を用いて、過剰間隙水圧が上昇した地盤に対する次元等価線形法の適用性についての検討を行った。

## 2. 検討条件

### (1) 検討方法

重複反射理論による次元等価線形解析プログラム SHAKE を用い、液状化アレー観測地点のシミュレーション解析を行い、伝達関数や時刻歴応答などについて観測結果と解析結果を比較し、解析手法の適用性を検討する。解析対象とする振動数範囲は 0 ~ 10Hz とし、有効ひずみ係数は 0.4 を用いる。

### (2) 検討対象地点

北海道苫小牧市のウトナイ湖南西側の軟弱地盤で行われている液状化アレー観測地点のうち、砂地盤における未改良地盤の観測地点を検討対象とする<sup>1) 2) 3) 4)</sup>。図-1 に観測地点の位置図を、図-2 に平面図を示す。図 2 に示すとおり、検討対象地点の近傍には道路盛土が存在するとともに、盛土に沿って SCP 工法による地盤改良が行われているが、観測地点の動特性にはこれらの影響がないことが確認されている<sup>5)</sup>。

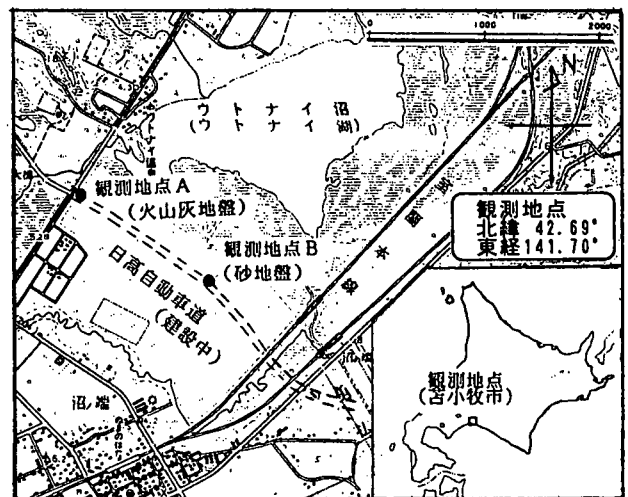


図-1 液状化アレー観測の観測地点位置図 (国土地理院5万分の1地形図を利用)

図-3 に検討対象地点の地盤柱状図と計器配置図を示す。強震計は当該地点における工学的基盤と見なせる G.L.-35m と、地表付近の G.L.-2m, そしてその中間部の G.L.-17m に設置されている。間隙水圧計は、液状化対象層の砂層内の 2 深度 (G.L.-10.5m, G.L.-14.5m) に埋設されている<sup>3), 4)</sup>。

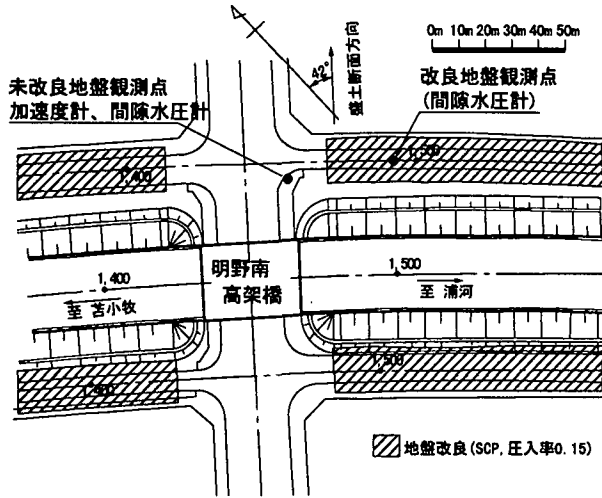


図-2 検討対象とする液状化アレ－観測地点の平面図

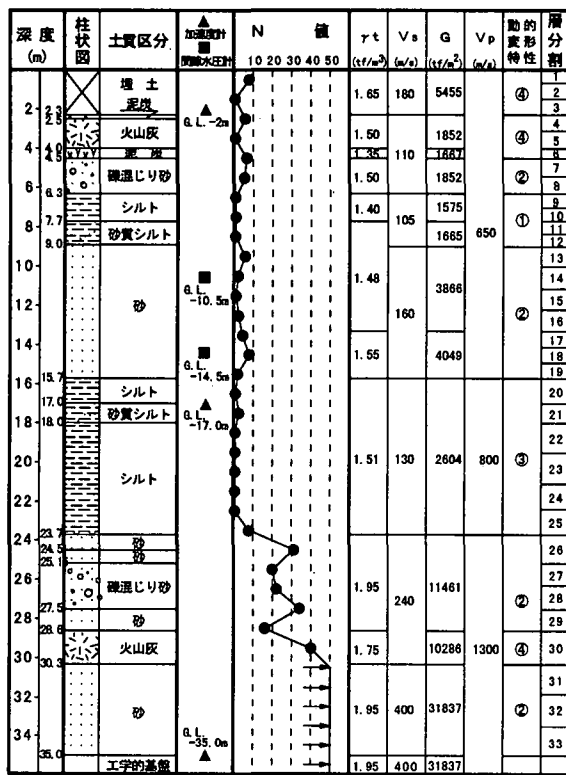


図-3 地盤柱状図と計器配置図および解析モデル

### (3) 検討対象地震動

過剰間隙水圧が大きく上昇した 1993 年 1 月 15 日の釧路沖地震 (M7.8) とあまり上昇していない 1991 年 11 月 27 日の浦河沖地震 (M6.4) での記録を対象とする。工学的基盤相当と考えられる G.L.-35m での観測記録に対し、設置方位補正、時間間隔の調整、

盛土断面方向への方位変換を行い、入力地震動とする。最大値は釧路沖地震が  $57.8\text{cm/s}^2$ 、浦河沖地震が  $7.9\text{cm/s}^2$  である。

図-4 に釧路沖地震での G.L.-14.5m における過剰間隙水圧の時刻歴を示す。過剰間隙水圧の上昇量は、釧路沖地震では 75% であるのに対し、浦河沖地震では 5% である<sup>3)</sup>。

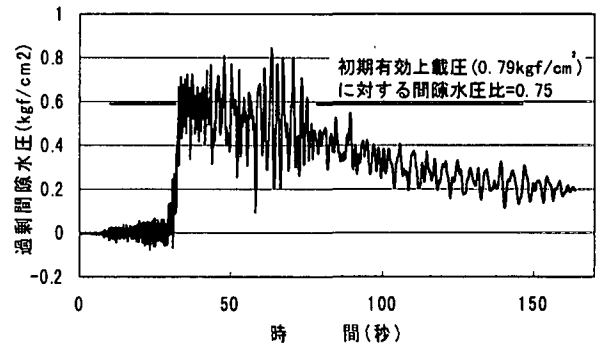


図-4 釧路沖地震の際に観測された過剰間隙水圧時刻歴 (未改良地盤, G.L.-10.5m)

### (4) 解析モデル

解析モデルの構築に必要なパラメータは原則として地盤調査結果や施工管理結果に基づいて設定したが、測定値の無いものについては既往の経験式による推定値や工学的判断に基づいて設定した。図-3 に設定した一次元解析モデルを、図-5 に動的変形特性を示す。なお、減衰の下限値は 3% とした。

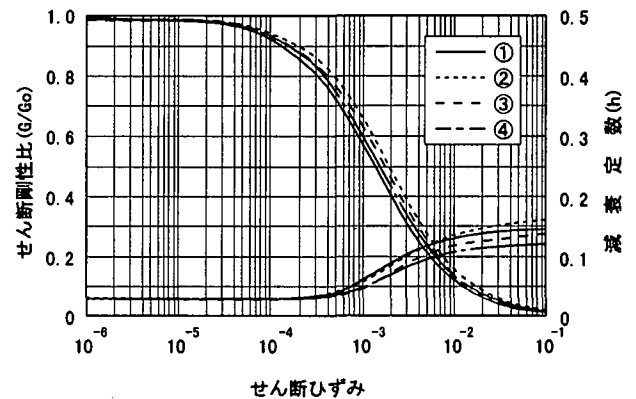


図-5 等価線形解析に用いる動的変形特性

## 3. 等価線形法の適用性の検討

### (1) 伝達関数の比較

図-8 に釧路沖地震での G.L.-35m に対する G.L.-2m の伝達関数を、観測結果と解析結果とを併せて示す。双方ともに 1 次～3 次の卓越したピークが見られる。2, 3 次のピークにおいても増幅率にわずかな差異が見られるが、卓越振動数は観測結果と解析結果はほぼ等しい。特に 1 次のピークについては増幅

率もほとんど一致している。

図-8に浦河沖地震での G.L.-35m に対する G.L.-2m の伝達関数を示す。1 次のピークにおいて、解析結果の方が大きく増幅し、かつ卓越振動数がやや低い、という差異が見られるものの、全体的には2つの伝達関数はほぼ等しいと考えられる。

また、地震動レベルの異なるこれら2つの比較では、地震動レベルの大きい釧路沖地震の方が一致度が高い。

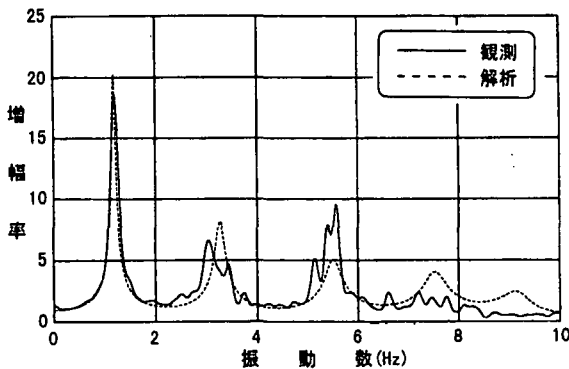


図-6 観測記録と一次元等価線形解析の伝達関数の比較 (釧路沖地震)

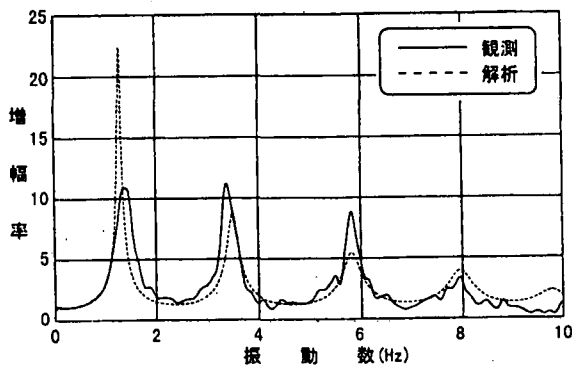


図-7 観測記録と一次元等価線形解析の伝達関数の比較 (浦河沖地震)

## (2) 加速度時刻歴の比較

図-8に釧路沖地震での G.L.-2m での加速度時刻歴を、観測結果と解析結果とを併せて示す。33秒付近の波形の振幅に差異が見られるため、最大値は解析の方が25%程度大きい。全体的な波形は振幅・位相ともに良く一致している。図-9には図-8の主要動部にあたる30～45秒までを拡大したものを示す。主要動部においても2つの波形は振幅・位相とも良く一致している。

図-10に浦河沖地震での加速度時刻歴の比較を示す。釧路沖地震の場合と同様に一次元解析の方が最大値は10%程度大きいものの、全体的な波形は良く一致している。

## (3) 最大値の深度分布の比較

図-11に一次元解析による釧路沖地震での加速度、速度、変位、せん断ひずみ、せん断応力の最大値の深度分布を示す。加速度、速度、変位の最大値分布には、観測結果を●印で示している。速度、変位は、加速度を積分して算出した。一次元解析による加速度、速度、変位の最大値は概ね観測結果と整合している。

図-12に浦河沖地震での深度分布を示す。釧路沖地震と同様に一次元解析結果は観測記録と整合している。地盤に生ずる最大せん断ひずみは釧路沖地震で  $1.2 \times 10^3$  程度、浦河沖地震では  $1.2 \times 10^4$  程度である。解析結果が観測結果と整合していることから、この程度のひずみの範囲では、等価線形解析で現象を充分表現可能である。また、釧路沖地震での過剰間隙水圧の上昇量は75%であることから、この程度の間隙水圧の上昇に対しても等価線形解析手法は有効であると考えられる。

## 4. 結論

砂地盤での液状化アレー観測地点に対して、一次元等価線形重複反射理論解析を行い、得られた結果を観測結果と比較して、等価線形法の適用性を検討した。その結果、地盤には最大  $10^3$  程度のせん断ひずみと、75%程度の過剰間隙水圧が発生したが、伝達関数、加速度時刻歴については観測と解析は良く一致した。また、加速度・速度・変位の最大値分布も解析と良く整合した。以上のことから、地盤に生じるせん断ひずみが  $10^3$  程度の場合、等価線形法が有効であることがわかった。

謝辞：観測に際して北海道開発局室蘭開発建設部苫小牧道路事務所に多大なる協力をいただきました。また、地震動データの解析については飛鳥建設(株)技術研究所の関宝琪氏に協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 林 宏親: 自動化された液状化観測システムの設置—高規格幹線道路日高自動車道(北海道)—, 土と基礎, Vol.39, No.1, pp.117～118, 1991
- 2) 小田島大, 能登繁幸, 林 宏親: 火山灰地盤における間隙水圧計測システム, 土木学会第47回年次学術講演会概要集第III部門, pp.806～807, 1992
- 3) 西川純一, 小田島大, 森伸一郎, 三輪滋: 1993年釧路沖地震における液状化アレー観測, 土と基礎, Vol.42, No.3, pp.57～62, 1994
- 4) 西川純一, 小田島大, 森伸一郎, 三輪滋, 関宝琪: 苫小牧市の砂地盤における液状化アレー観測, 第9回日本地震工学シンポジウム, pp.655-660, 1994.12
- 5) 谷口啓二郎, 西川純一, 林 宏親: 液状化アレー観測地点における近接道路盛土の影響, 第24回地震工学研究発表会(投稿中), 1997

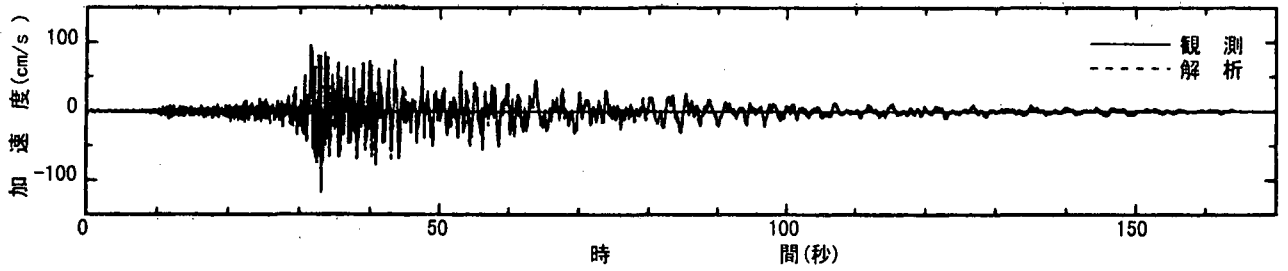


図-8 観測記録と一次元解析の加速度時刻歴の比較 (G. L. -2m: 解析対象全時間: 釧路沖地震)

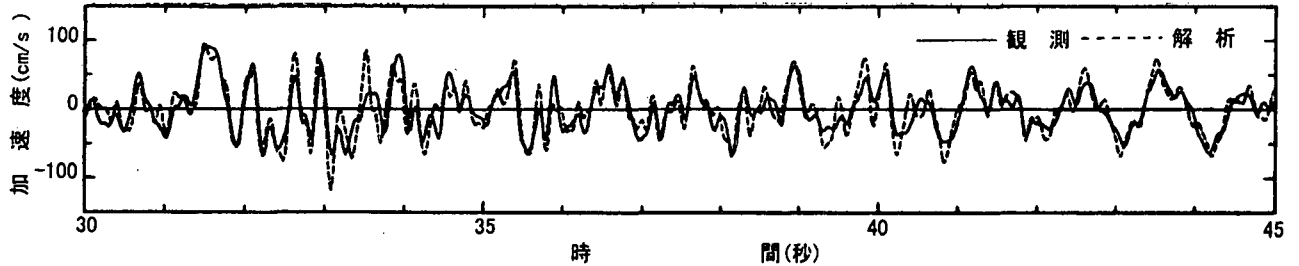


図-9 観測記録と一次元解析の加速度時刻歴の比較 (G. L. -2m: 30秒~45秒: 釧路沖地震)

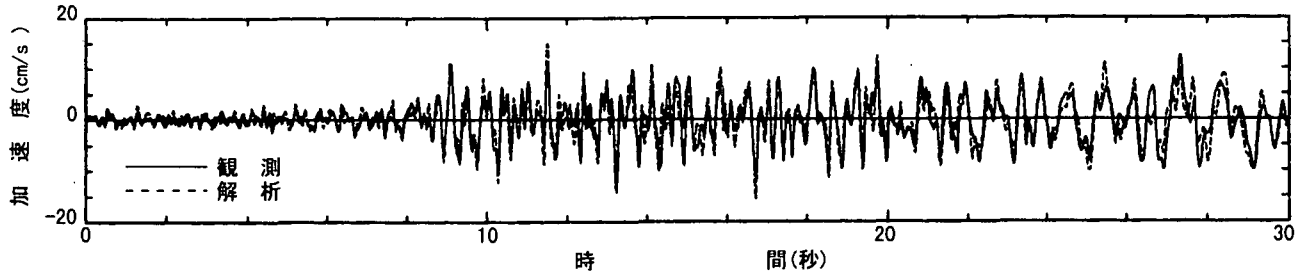


図-10 観測記録と一次元解析の加速度時刻歴の比較 (G. L. -2m: 0秒~30秒: 浦河沖地震)

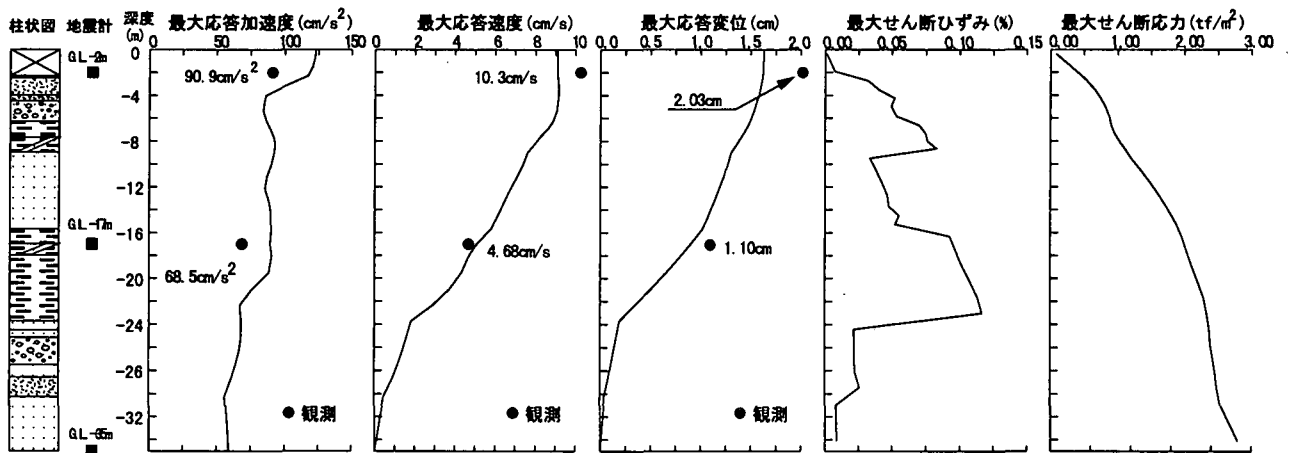


図-11 一次元等価線形解析による最大応答値の深度分布と観測結果との比較 (釧路沖地震)

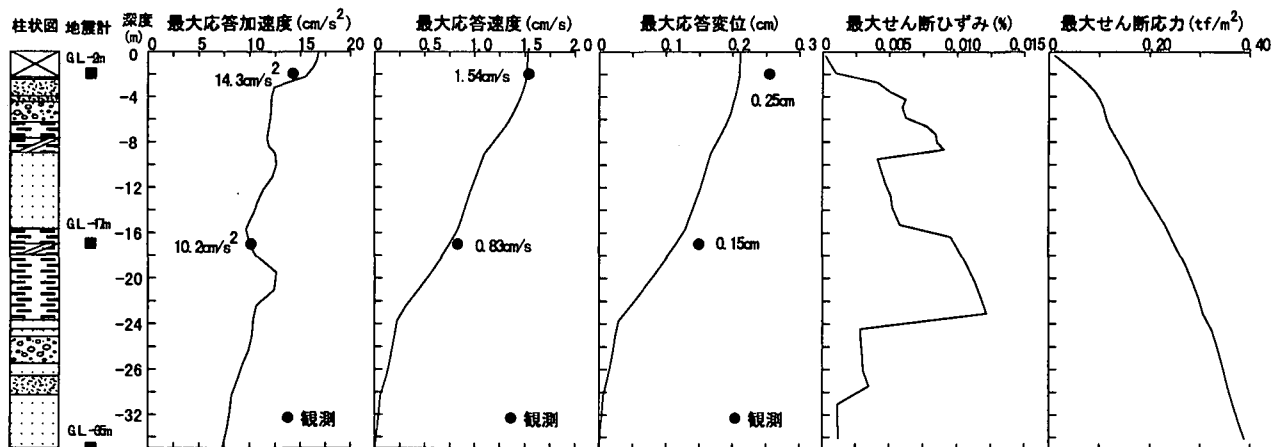


図-12 一次元等価線形解析による最大応答値の深度分布と観測結果との比較 (浦河沖地震)