

液状化アレー観測地点における近接道路盛土の影響

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

¹正会員 北海道開発局 開発土木研究所 (〒062 札幌市豊平区平岸一条三丁目)

²正会員 飛鳥建設(株) 技術研究所 (〒270-02 千葉県東葛飾郡関宿町木間が瀬 5472)

1990 年より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を実施している。観測地点は盛土に接近しているため、観測記録に盛土の影響が含まれていることが考えられた。そこで、地震動が大きい地震と小さい地震の 2 つの地震動記録を用い、一次元等価線形解析と二次元等価線形有限要素解析を行い、伝達特性や時刻歴応答を比較し、観測地点の動特性におよぼす盛土の影響を検討した。その結果、一次元解析結果と二次元解析結果には差異が見られず、観測地点の動特性には盛土の影響がほとんどないと考えられた。

Key Words: liquefaction, array observation, equivalent linear analysis, road embankment

1. はじめに

北海道開発局では、一般国道の自動車専用道路である高規格幹線道路として日高自動車道を建設している。そのうち苫小牧市の植苗高架橋～ウトナイ高架橋における地盤は、N 値が 10 以下の緩い二次堆積火山灰や砂地盤で構成される軟弱地盤である。

開発土木研究所では地震時の地盤の挙動を調査する目的で、この区間における火山灰地盤と砂地盤の 2 地点で、強震計および間隙水圧計を設置して 1990 年より液状化アレー観測を実施している^{1),2)}。これまでに幾つかの記録を得た^{3),4)}が、観測記録に盛土の影響が含まれる可能性が考えられた。そこで、液状化アレー観測地点のうち砂地盤の地震計設置位置を対象に、一次元等価線形重複反射解析(以下、一次元解析と称す)と二次元等価線形有限要素解析(以下、二次元解析と称す)を行い、地盤の伝達特性や時刻歴応答等を比較し、観測地点の動特性におよぼす盛土の影響を検討した。

2. 液状化アレー観測の概要

図-1 に液状化アレー観測地点の位置図を、図-2 に検討対象とする砂地盤の地震計設置位置の平面図を示す。前述のように地震計設置位置に近接して道路盛土がある。盛土の断面諸元は、高さ 7.35m、天

端幅 25m、のり面勾配 1:1.8 である。法尻の外側には SCP 工法による地盤改良が施されている。図-3 に盛土の断面図を示す。

強震計は未改良地盤の G.L.-2m, G.L.-17m, G.L.-35m に埋設されている³⁾。G.L.-35m の強震計は当該地点周辺に広く分布し、またそれより上部の表層に比べ S 波速度の大きな砂礫層内(工学的基盤相当)に設置されている。

間隙水圧計は改良地盤と未改良地盤の G.L.-10.5m と G.L.-14.5m の液状化対象層(砂層)内に埋設されている。

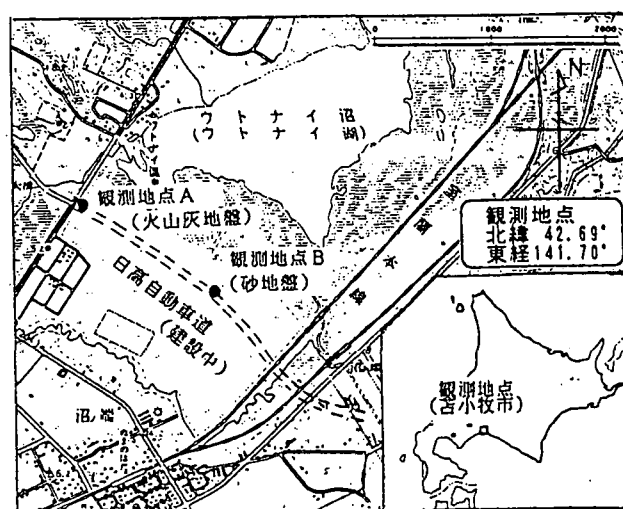


図-1 液状化アレー観測の観測地点位置図
(国土地理院 5 万分の 1 地形図を利用)

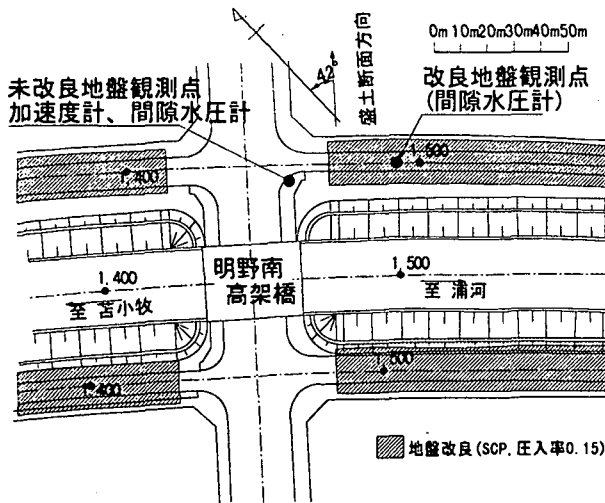


図-2 砂地盤の液状化アレ観測地点の平面図

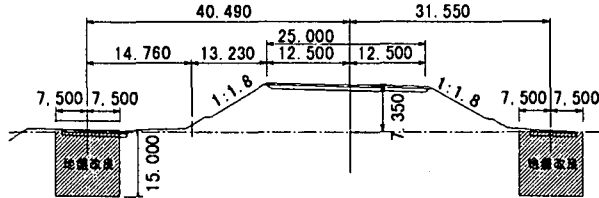
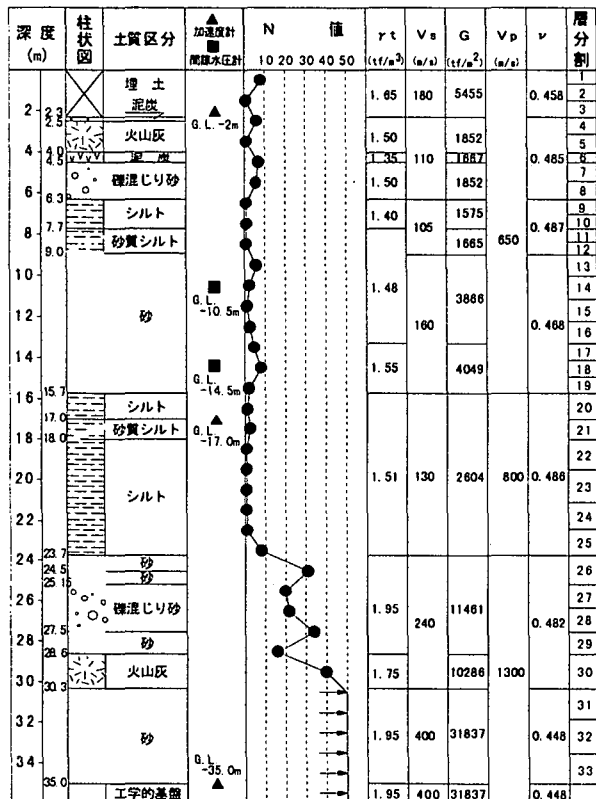


図-3 検討対象地点の盛土の断面図

3. 解析条件

図-4 に検討対象地点の砂地盤のボーリング柱状図と一次元解析モデルを示す。物性値は原則として地盤調査結果によっているが、一部推定値も含まれている。強震計の設置位置は未改良地盤なので、地



γ_t : 単位体積重量, V_s : せん断波速度, G : せん断弾性, V_p : 圧縮波速度, ν : ポアソン比

図-4 ボーリング柱状図と一次元解析モデルの諸元

盤改良は考慮していない。なお、地盤の動的変形特性における減衰の下限値は3%とした。

図-5 に二次元解析モデルを示す。地震計設置位置は高架橋部分に相当するため、本検討では高架橋部も盛土が継続すると仮定してモデル化した。盛土の物性は施工時の密度管理試験結果に基づいて設定した。検討対象地点周辺に限れば地盤は水平成層と考えられることから、対称境界を用いて半断面を解析対象とし、初期地盤物性は同一深度では等しくした。境界条件は、解析モデルの右側(モデル中央部)が対称境界(水平ローラー)、左側はエネルギー伝達境界とした。下方は固定境界とした。

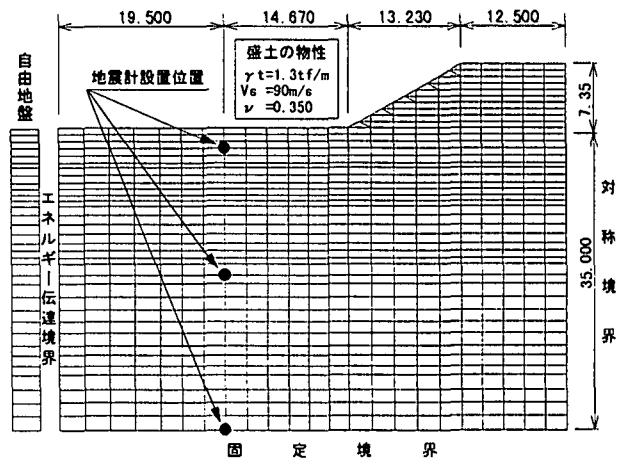


図-5 二次元解析モデル

一次元解析、二次元解析ともに検討対象とする振動数範囲は0~10Hz、有効ひずみ係数は0.4とした。2つの解析手法では、自由地盤モデルの伝達関数は対象振動数範囲でほぼ一致する。

検討には、得られた観測記録の中で最も地震動が大きい釧路沖地震(1993.1.15, $M=7.8$)と、それに比べて小さい浦河沖地震(1991.11.27, $M=6.4$)での地震動を用いた。いずれについても、埋設地震計の設置方位誤差の補正、時間間隔の調整、盛土横断面方向への方位変換を施した。入力地震動には、工学的基盤相当と考えられる G.L.-35m の記録を用いた。入力地震動の最大値は、釧路沖地震が 57.8cm/s^2 、浦河沖地震が 7.9cm/s^2 である。

4. 地震計設置位置におよぼす盛土の影響

(1) 伝達関数の比較

図-6 に釧路沖地震での G.L.-35m に対する G.L.-2m の伝達関数を、一次元解析と二次元解析とを併せて示す。二次元解析は地震計設置位置での伝達関数である。釧路沖地震および浦河沖地震ともに、一次元解析と二次元解析の伝達関数には1次~3次の卓越したピークが見られる。また、一次元解析に比べ二次元解析の方が、1次の卓越振動数が低く、1

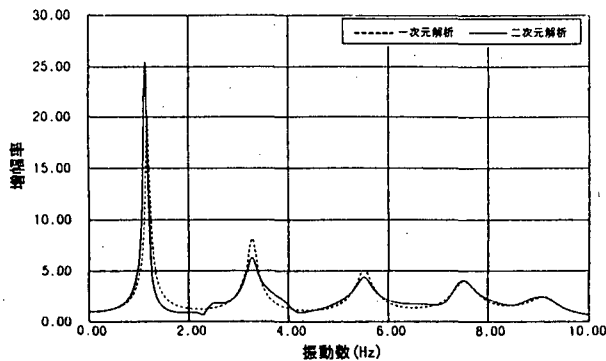


図-6 一次元解析と二次元解析の伝達関数の比較
(釧路沖地震)

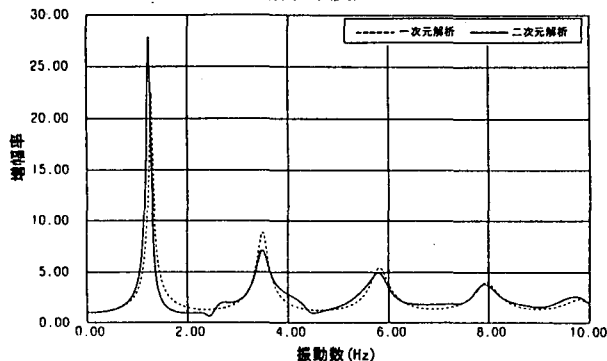


図-7 一次元解析と二次元解析の伝達関数の比較
(浦河沖地震)

次～3 次のピーク増幅率大きい、という差異が見られるものの、その量は小さく、大局的には2つの伝達関数に差は見られない。

図-7 に浦河沖地震での伝達関数を示す。釧路沖地震での検討と同様に、一次元解析と二次元解析の伝達関数に差は見られない。

(2) 地表加速度波形

図-8 に釧路沖地震での G.L.-2m での加速度時刻歴を、一次元解析と二次元解析とを併せて示す。二次元解析結果は、地震計設置位置に相当する地点での加速度時刻歴である。最大値は一次元解析の方が10%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 に浦河沖地震での主要動部(0～30 秒)の加速度時刻歴を一次元解析と二次元解析とを併せて示す。釧路沖地震での検討と同様に、2つの解析手法に差は見られない。

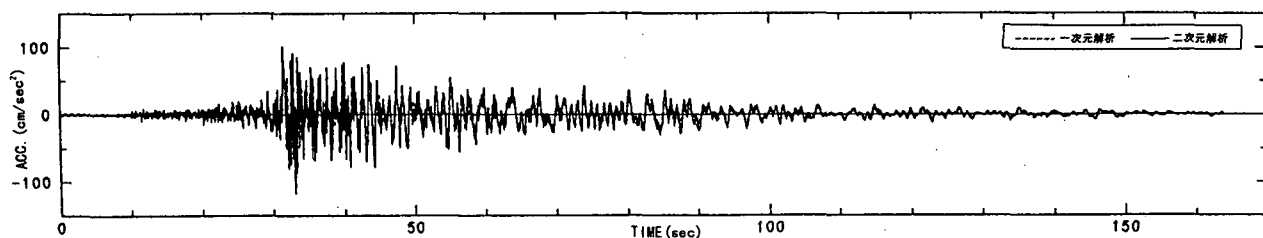


図-8 一次元解析と二次元解析の加速度時刻歴の比較 (G. L. -2m: 全時間: 釧路沖地震)

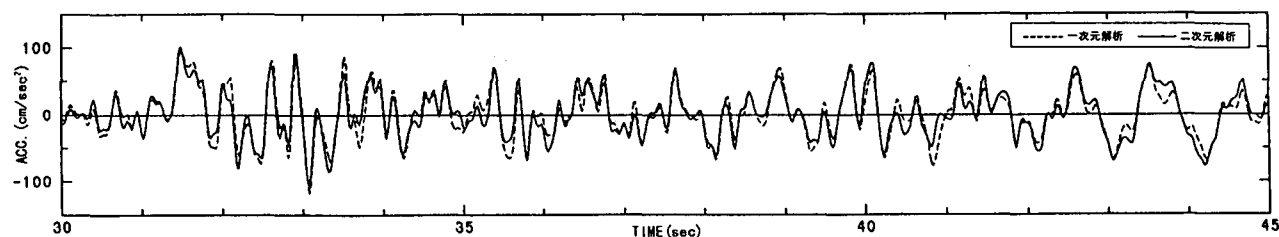


図-9 一次元解析と二次元解析の加速度時刻歴の比較 (G. L. -2m: 30 秒～45 秒: 釧路沖地震)

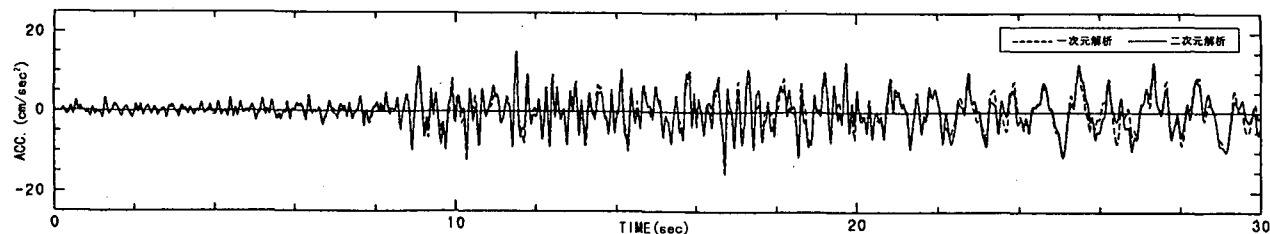


図-10 一次元解析と二次元解析の加速度時刻歴の比較 (G. L. -2m: 0 秒～30 秒: 浦河沖地震)

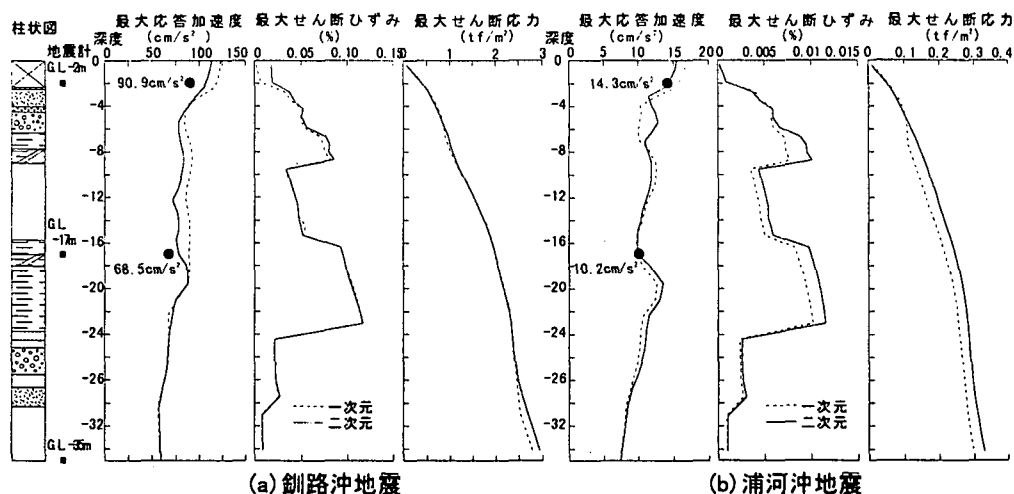


図-11 一次元解析と二次元解析の最大加速度，最大せん断ひずみ，最大せん断応力の深度分布

(3) 最大応答値の深度分布

一次元解析と二次元解析による最大応答加速度，最大せん断ひずみ，および最大せん断応力の深度分布を図-11(a),(b)に示す。それぞれの深度分布は，地震動によらず一次元解析と二次元解析とは良く一致している。特に G.L.-6.3m～G.L.-9.0m と G.L.-15.7m～G.L.-23.7m のシルト層でせん断ひずみが大きくなるといった地盤の非線形性の現れ方についても良く一致している。また，図中には観測された最大加速度を●印で記入しているが，2つの解析結果は観測記録と整合する。

伝達関数，加速度時刻歴，最大値分布ともに一次元解析結果は観測結果とほぼ一致していること⁹⁾，これらについて一次元解析結果と二次元解析結果に差が見られないことから，二次元解析結果についても観測結果と一致することがわかった。また，地盤に生ずる最大せん断ひずみは，釧路沖地震での 1.2×10^{-3} 程度であり，このせん断ひずみの範囲内では，一次元および二次元の等価線形法は有効な解析方法であることがわかった。

5. 結論と今後の課題

(1) 結論

砂地盤での液状化アレー観測地点に対して，盛土を考慮しない一次元等価線形解析と盛土を考慮した二次元等価線形有限要素解析を行い，得られた結果を比較して液状化アレー観測地点の動特性におよぼす盛土の影響を検討した。

その結果，伝達関数，加速度時刻歴，加速度とせん断ひずみおよびせん断応力の最大値分布には，解析方法による明瞭な差異は見られなかった。したがって，液状化アレー観測地点の動特性におよぼす盛土の影響はほとんどないと考えられる。

また，せん断ひずみが 10^{-3} 程度であれば，一次元および二次元の等価線形法は有効な解析方法であることがわかった。

(2) 今後の課題

1996年9月に盛土部分に，新たに強震計を埋設し，1997年2月20日に地震動記録が得られた⁹⁾。今後，盛土の地震時挙動についても併せて分析していく予定である。

謝辞：地震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。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,Ser.No.434,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.
- 5) 池田 隆明,森 伸一郎,三輪 滋,西川 純一,林 宏親,谷口 啓二郎:液状化アレー観測記録に対する等価線形法の適用性,第24回地震工学研究発表会(投稿中),1997.
- 6) 林 宏親,西川 純一,谷口 啓二郎:地盤および道路盛土におけるアレー観測,第24回地震工学研究発表会(投稿中),1997.