

1964 年新潟地震における川岸町の液状化に関する考察

東北学院大学工学部 学生会員 ○茂泉 亨
東北学院大学工学部 学生会員 福井 洋樹
東北学院大学工学部 正会員 吉田 望

1 はじめに

1964 年に発生した新潟地震の際に新潟市川岸町にあった県営アパート 2 号棟で地震記録が得られている。この記録は、液状化サイトで初めて得られた記録であった。新潟地震は液状化により多大な構造物被害を生じた初めての地震であることから、ここで記録が得られたことは画期的なことといえ、液状化研究に用いられてきた。たとえば、基礎構造設計指針¹⁾では、この地震記録の最大値を丸めた 200cm/s^2 を液状化検討用の地表加速度としており、1995 年兵庫県南部地震でより大きい記録が得られるまで用いられてきた。

図 4 に波形を示す。この波形の特徴は 7 秒付近から急に波形が長周期になっていることである。現在では地盤に非線形化が発生すると記録が長周期化することが知られているが、この記録ではそれが明瞭に現れていることから、長周期化した時刻、約 7 秒が液状化が発生した時刻であるとされてきた²⁾。

これに対して、Kudo ら³⁾はこの波形を再検討した。そこでは地震工学的な観点に加え、スペクトルの時間変化や半地下部と屋上の記録の比較などを行い、7 秒からの長周期化するような波形は液状化でなくても説明できること、12 秒付近を境として建物のロッキング性状が異なっていることを指摘した。さらに、著者の一人と工藤はこの記録の液状化解析を行い、12 秒付近が液状化が発生した時刻であることを指摘した⁴⁾。その手法は、観測波を地表の記録と考え、重複反射理論を用いて、基盤の入射波を求め、これを入力として有効応力地震応答解析を行うというものであった。液状化のような強非線形サイトでは重複反射理論が適用できないことはよく知られているが、液状化する前であれば重複反射理論の適用範囲であることから、全応力解析と有効応力解析の差が現れるところが液状化という発想であった。

この検討では重複反射理論を用いた解析コードとして SHAKE⁵⁾を用いた。しかし、SHAKE は非線形性が大きくなると、加速度を過大に評価する、高振動数成分の応答を過小評価するなどの欠点があり⁶⁾、特に後者が地表の波形から基盤入射波を求める逆増幅解析に問題が起きることが知られている⁷⁾⁶⁾。そこで、ここでは同じ計算を著者の一人が提案する、上記二つの SHAKE の欠点を改良した解析コード DYNEQ⁶⁾を用いて行ってみる。

2 検討方法と解析条件

先の述べたように、半地下（以下、地表として扱う）の観測波から、重複反射理論を用いて基盤における入射波を求める。ここで、解析プログラム DYNEQ⁶⁾を用いるのが今回の試みである。次に、求めた入射波を入力とし、有効応力地震応答解析プログラム YUSAYUSA⁸⁾を用いて解析を行なう。

地盤モデルおよび弾性定数は、文献9)に示されるものを用いる。柱状図は後に図 2 に最大応答値とともに示すが、GL-70m までの地盤がモデル化されており、すべて砂地盤である。文献 9)には内部摩擦角が示されているが、ここでは、液状化前の強度をより精度よく設定したいと考え、動的変形特性を文献10)に基づいて決めることにし、その際必要な D_{50} は文献11)に示される概略値を用いる。また、YUSAYUSA では双曲線モデルを用いていることから、得られた動的変形特性の $G/G_0=0.5$ に対するひずみを読み取り、これに弾性定数を乗じたものをせん断強度とした。図 1 に設定した動的変形と双曲線モデルを比較して示すが、両者はひずみの大きい領域までよく一致している。

3 計算結果と考察

波形の特徴が現れている NS 方向の地震波を入力し、入射波を求める。図-2 に解析で得られた最大値を示す。また、得られた基盤入射波を図 3 に示す。

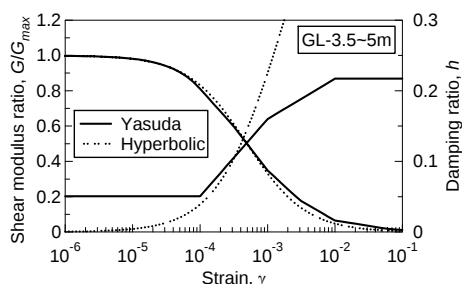


図1 応力-ひずみ関係のモデル化

次に、YUSAYUSA による全応力解析および有効応力解析の結果による最大加速度を図2に示す。最大応答で見ると、深部はほとんど同じであるが、液状化した層のひずみが大きく異なっている。

図4には観測値、全応力解析と有効応力解析による地表の加速度時刻歴を比較しているが、観測値と全応力解析の結果はほぼ一致しており、手法の妥当性がわかる。また、波形がずれ始めるのは約11秒以降である。さらに、図5には過剰間隙水圧時刻歴を示すが、液状化が発生したのは約11秒で

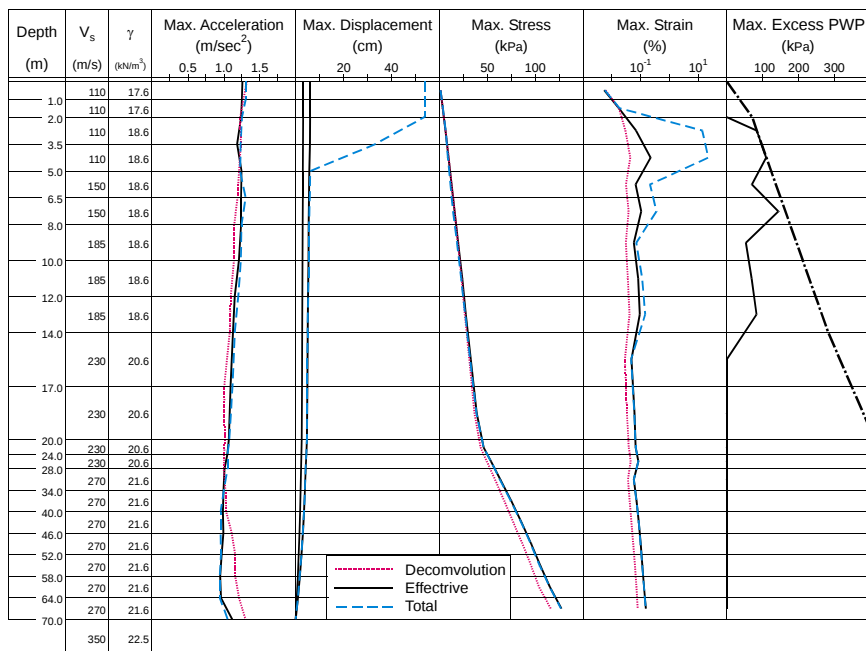


図2 最大応答値の比較

ある。

4 まとめ

1964年新潟地震の際、川岸町で得られた記録を地盤工学的観点から再検討した結果、手法の妥当性が確認され、また、液状化が発生したのは地震後約11秒であることがわかった。

参考文献

- 1) 日本建築学会 (1988): 建築基礎構造設計指針
- 2) 時松孝次 (1989): 1964年新潟地震による川岸町アパートの被害と強震記録, 地盤と土構造物の地震時の挙動に関するシンポジウム発表論文集, pp. 44-49
- 3) Kudo, K., Uetake, T. and Kanno, T.: Re-evaluation of nonlinear site response during the 1964 Niigata earthquake, using the strong motion records at Kawagishi-cho, Niigata City, Proc. 12WCEE, Auckland, New Zealand, Paper No. 0969, 2000
- 4) 吉田望, 工藤一嘉 (2000): 1964年新潟地震における川岸町の液状化に関する地盤工学的再検討, 日本建築学会学術講演概要集 (東北) 構造 II, pp. 293-294
- 5) Schnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B. (1972): SHAKE A Computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. EERC72-12, University of California, Berkeley
- 6) Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I. and Miura, K. (2002): Equivalent linear method considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 3, pp. 205-222
- 7) Ueshima, T. (2000): Application of equivalent linear analysis method taking account of frequency dependent characteristics of ground strain to seismic data from Lotung, Taiwan, CD-ROM Proceedings of EM2000, 14th Engineering Mechanics Conference, ASCE, The University of Texas at Austin, Texas
- 8) 吉田望, 東畑郁生 (1991): YUSAYUSA-2・SIMMDL-2 理論と使用法, 佐藤工業・東京大学, 1995年改訂
- 9) 石原研而 他 (1989): 地盤および土構造物の有効応力解析, 地盤と土構造物の地震時の挙動に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 50-136
- 10) 安田進, 山口勇 (1985): 種々の不攪乱土における動的変形特性, 第20回土質工学会研究発表会講演集, pp. 539-542
- 11) 土質工学会, 液状化対策の調査・設計から施工まで, 1993

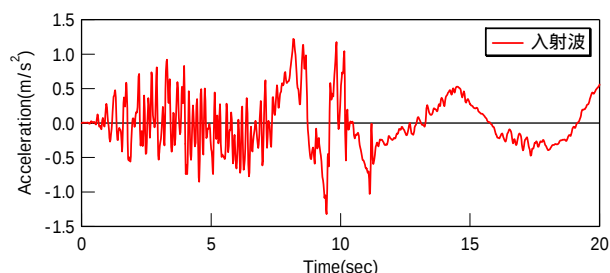


図3 基盤入射波

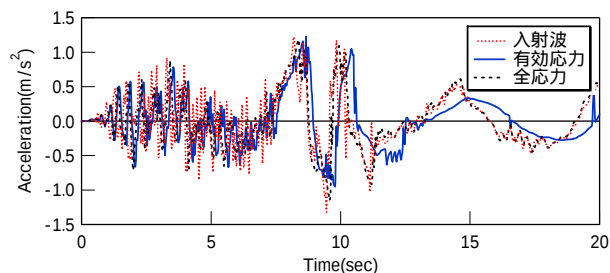


図4 地表加速度の比較 (全応力, 有効応力)

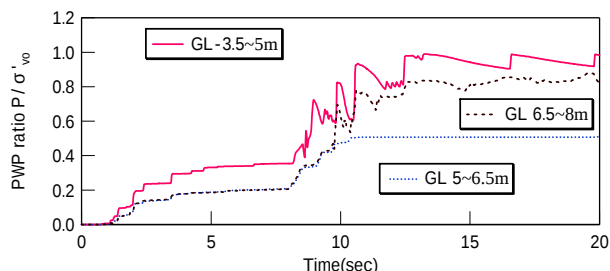


図5 過剰間隙水圧比時刻歴