

神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎
神戸大学大学院 学生員 ○尾崎 竜三

1. はじめに

地震時、地盤の液状化が発生した場合には液状化が発生しなかった場合に比べて数 10 倍もの被害があると言われており、液状化の発生を早期に把握し、震後の緊急対応に役立てることは非常に有益であると言える。そこで本研究では地震時に地表面で得られる加速度記録より液状化発生の有無を判別する手法を提案することを目的とする。液状化発生地点および非発生地点近傍で得られた観測波形をもとに、1995 年兵庫県南部地震時にポートアイランドで顕著だった波の長周期化などの非線形特性および当該地点の地盤特性を考慮して検討を行った。

2. 手法の概要

以下のような手順で観測波形を処理する。

- ①ローパスフィルタ（数種類の振動数フィルタを用いる）を用いて観測波形より短周期（高振動数）成分を除去する（図-1）。
- ②①で得られた波形について Arias Intensity¹⁾（式(1)）を算定する。
- ③観測波形より得られる Arias Intensity との比を考える。

$$I_h = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_0} a^2(t) dt \quad (1)$$

ここで、 $a(t)$ は時刻 t での加速度である。

Arias Intensity は、水平 2 成分の和としても算定できるが、今回の検討では式(1)のように 1 成分のみで考えることにする。

液状化が発生し、長周期化した地点での観測波形は、当然長周期（低振動数）が卓越するためにより低い振動数でフィルタをかけてもフィルタ波には変化が少ない。つまりフィルタ波から得られる Arias Intensity（加速度パワー）はあまり変化せず、液状化が発生していない箇所での観測波形は高振動数フィルタを通したフィルタ波から得られる Arias Intensity にも変化が見られると考えて、液状化の発生について検討していく。

また今回の検討では遮断振動数は、20, 15, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2.5, 2, 1.67, 1.42, 1.25, 1.11, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.25, 0.2, 0.167, 0.125, 0.1Hz であり、用いた波形は、兵庫県南部地震時の観測記録で主要動を含む 25 秒間の部分である。

3. 適用例

1995 年兵庫県南部地震時の観測波についてフィルタ波の Arias Intensity と観測波の Arias Intensity の比をとったものと遮断振動数との関係を示す。ここで示した Arias Intensity の比は波形の最終時刻のものである。液状化が発生したと考えられるポートアイランド、六甲アイランド、東神戸大橋、また液状化発生の可能性がある神戸港第 8 突堤、神戸港工事事務所、尼崎港、尼崎第 3 発電所、さらに液状化の発生はないと考えられる神戸大学、総合技術研究所、葺合供給所、新神戸変電所について加速度の大きくなると考えられる断層直交方向に近い成分をそれぞれ図-3 から図-5 に示す。これらの図より 1Hz の振動数フィルタを通した際の Intensity 比が 0.6 程度に液状化、非液状化の境界が引けるのではないかと考えられる。そこで以下より 1Hz フィルタ波の Arias Intensity 比と観測地点の地盤特性に検討する。

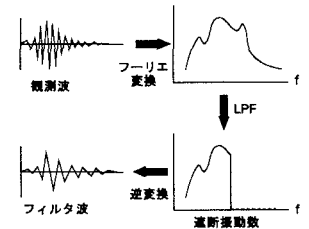


図-1 フィルタ波の算定

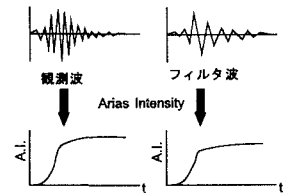


図-2 Arias Intensity の算出

4. 地盤特性との関係

3.で検討した波形の観測地点で当該地点の地盤情報（ボーリングデータ）が入手可能であった地点について Intensity 比と N 値 (10m までの平均値), P_L 値²⁾, さらに最大加速度値との関係をそれぞれ図-6

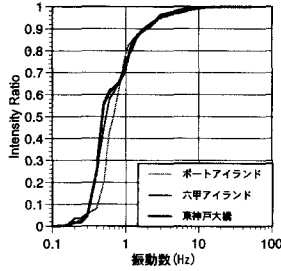


図-3 遮断振動数と Intensity 比の関係(1)

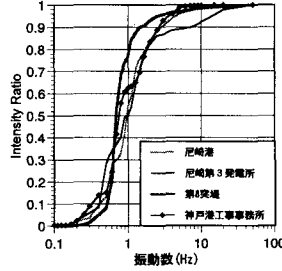


図-4 遮断振動数と Intensity 比の関係(2)

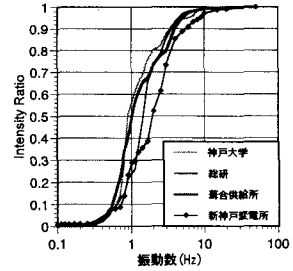


図-5 遮断振動数と Intensity 比の関係(3)

から図-8 に示す。 P_L 値は観測地点での地表面最大加速度値を用いて算出した。最大加速度値は Arias Intensity の比をとった際に加速度振幅に関する情報が消えてしまうために考慮することとした。これらの図は観測地点の状況から液状化発生、発生の可能性あり、非発生の3つの領域に分割される。データはまだ少数であるが、今後蓄積することによって、さらに詳細な境界線が得られ、地震後観測地点での情報がこれらの領域のどこに位置するかによって液状化の発生について判断できるものと考えられる。

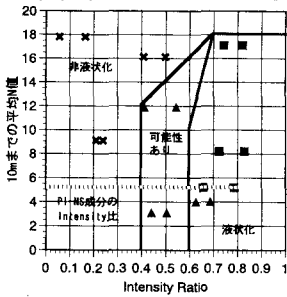


図-6 Intensity 比と平均 N 値の関係

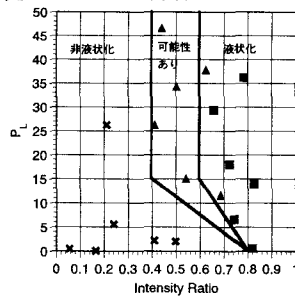


図-7 Intensity 比と P_L 値の関係

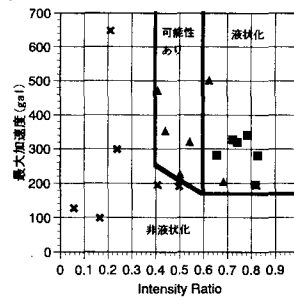


図-8 Intensity 比と最大加速度値の関係

5. 時刻歴での検討

実地震時を想定して記録が得られるごとにフィルタ波を算出し、Arias Intensity を求め、4.で得られた地盤特性との関係を用いて時間を追って検討を行う。 P_L 値、最大加速度値については地震発生後に明らかになるために N 値との関係を用いる。図-9 にポートアイランド NS 成分 (GL) より得られた Intensity 比を加速度時刻歴と対応させて示す。また図-6 には N 値に対応した Intensity 比の動きについて併せて示している (N=5.2 上に示した点線である)。図-6 および図-9 よりポートアイランド NS 成分によれば 4.61 秒で液状化の可能性ありの領域に入り、6.45 秒で液状化発生領域に入ることが知られる。実際 1995 年兵庫県南部地震時ポートアイランドにおいてはこの時間周辺で液状化が発生したものと考えられる。

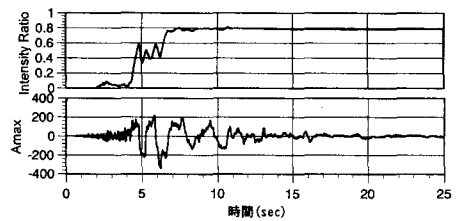


図-9 Intensity 比の時刻歴 (PortIsland, NS)

6. まとめ

本文では、地震時に観測される地表面加速度記録より算出される Arias Intensity を用いて当該地点での液状化の発生状況を把握する手法を提案した。またデータ数が少ないながらも地盤情報との関係を考慮して液状化の発生について領域分けを行うことができた。さらに時間を追って考えることにより液状化の発生をある程度リアルタイムに考慮できたと考えられる。今後はデータを収集し、地盤情報との関係について詳しく検討し、液状化の領域を詳細なものにすることを課題とする。

参考文献：1) Kayen R. E. and Mitchell J. K. :Assessment of liquefaction potential during earthquakes by arias intensity, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE, pp.1162-1174, 1997.12.
2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp.83-97, 1996.12.