

ゼロクロス周期を用いた液状化判定法の適用結果

東洋大学 工学部 正 鈴木崇伸

東京ガス(株) 正 清水善久, 小金丸健一, 中山涉

1. はじめに

液状化した地盤で観測された地震動は、加速度が小さく、また長周期成分を多く含む点が特徴的である。これらの特徴を適当な物理量で定式化し、観測データに当てはめて、判別する方法がいくつか提案されている。本研究は地震発生直後に、多点の強震記録から、液状化の発生地区を推定して防災対策に活用する方策を検討している。地震計に演算機能を組み込んだ新SIセンサーに簡易な液状化の検知ロジックを実装して、センサーから直接に液状化の有無の情報を発信する新しい方式を取り入れている。簡易な検知指標として、ゼロクロス周期の最大値と最大変位、さらに最大加速度とSI値の条件を組み合わせる判定を行っている。液状化の影響を受けた記録を含む多くの加速度記録に適用したところ、特に大振幅の表面波や断層変位の影響を含む記録では誤った判定結果となることがあるものの、実用上十分な精度で液状化の検知ができることが示された。この検知ロジックを実際に新SIセンサーに組み込んで実用化をしている。

2. 検知方法

地震記録を取り込むと同時に液状化を検知するためには、計算が簡単で安定した値が得られる指標が必要である。既往の研究では、ある程度の計算量を要するスペクトル解析により、周期の伸びを検知しているが、本研究では波形のリアルタイム処理に重きをおき、最大ゼロクロス周期 (T_z) を用いている。また振幅の指標として Towhata et. al. によって提案されている SI 値と最大加速度から推定した変位 (D_{max}) を採用している。多くの地震記録について T_z と D_{max} を計算したところ、 $T_z > 2\text{sec}$, $D_{max} > 10\text{cm}$ が液状化の発生を判別する閾値となることが明らかになり、すでに報告している。補足的な条件として $SI > 20\text{kine}$, $PGA > 100\text{Gal}$ の条件もあげている。図-1 に応力とひずみの関係で見た判定条件の概念図を示している。SI 値、最大加速度は地震動が一定レベルを超えており、液状化するに足るレベルに達しているかどうかの条件である。 D_{max} は地盤ひずみがある程度大きくなり、液状化が進行したことを確認する指標である。また T_z は地盤剛性が十分低下して液状化が進行したことを確認する指標である。

新SIセンサーのCPUに実装するにあたり、ピックの方向の影響と、4つの条件の同時性の検討を行った。水平2方向の取り方によって判定結果が異なることが、いくつかの波形でみられた。そこで加速度波形を 1/8 刻みで8方向に投影して、8とおりの波形で

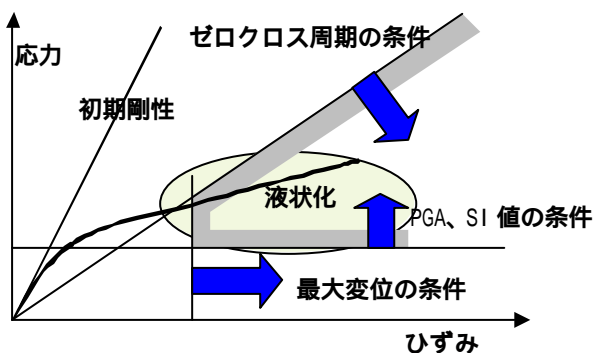


図-1 判定条件の物理的な意味の概念

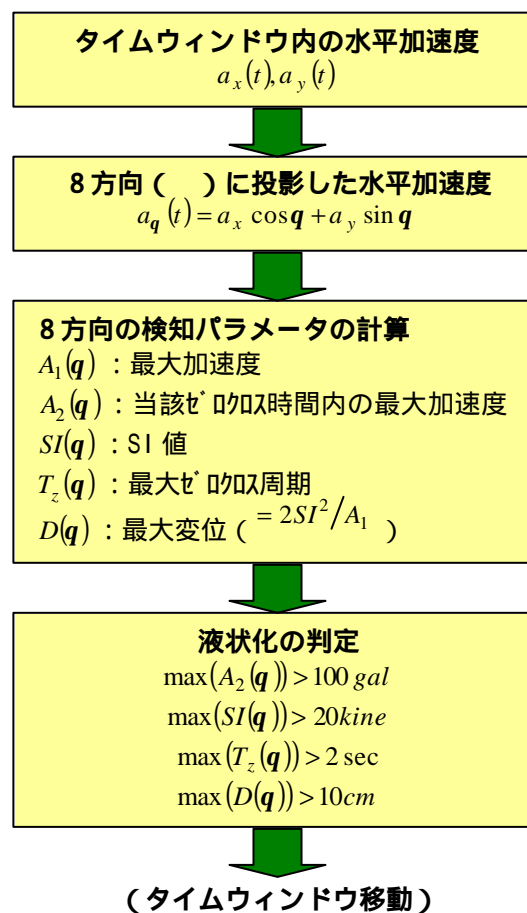


図-2 リアルタイム検知ロジックのフロー

キーワード：液状化検知、強震記録、リアルタイム地震防災、ゼロクロス周期、SI 値

連絡先：350-8585 川越市鯨井 2100 東洋大学工学部

T_z , D_{max} の計算を行い、いずれか1方向でも条件を満足する場液状化と判定することとした。次に加速度が最大となっており、程度時間が経過してから到達する表面波の影響をなくするために、ゼロクロス周期 T_z が条件をみだす1波では100Gal 以上になる条件を設定した。以上述べた計算フローを図-2 に示す。

3. 検知計算結果

図-3 はリアルタイム検知法で計算した(T_z, D_{max})のプロット図である。液状化の痕跡の有無の判断は、これまでに発表されている液状化検知に関する、宮島他、高田・尾崎、清野他、Kostadinov and Yamazaki の研究における判定結果を用いており、いずれかの研究で液状化と判定されている記録は液状化としている。ただし日本海中部地震の津軽大橋を液状化記録として追加している。同図中の判例の「液状化」は液状化の影響のある記録を液状化と判定した結果を表している。「誤判断」は液状化の影響のあった記録をなしと判定するまたは液状化の影響のないデータをありと判定した記録を表している。「同時性なし」はタイムウィンドウ内の最大値の条件は上回るものの、ゼロクロス時間内での最大加速度が100Gal を下回る記録を表している。「液状化なし」は液状化の影響のない記録をなしと判定した記録を表している。

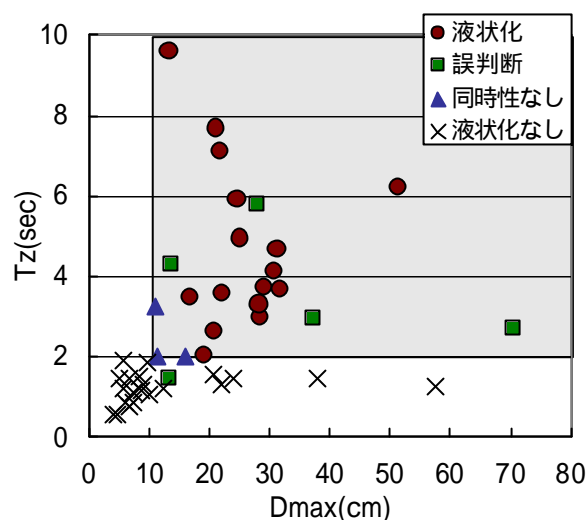


図-3 リアルタイム検知法による計算結果

誤判断となった5つの記録であった。JR 鷹取は最大値は閾値を上回るものの、同時性の条件から液状化なしとなっている。研究者によって液状化の有無の判断が分かっている秋田港と函館港は、液状化なしの判定結果となっている。液状化の影響のない波形では、Michoacan 地震の SC&T が液状化の判定結果となっているが、前述のように大振幅の表面波の影響である。さらに台湾集集地震の石岡の記録も断層運動の影響を受けた長周期の波形であるために誤判断となっている。なお、十勝沖地震の八戸港、伊豆大島近海地震の三島、日本海中部地震の青森港は判定閾値に近い記録であるが、最大値は閾値を越すものの、同時性の条件から液状化なしの判定になり、同時性の条件が有効に作用している。

次に2000年10月の鳥取県西部地震の判定結果を表-1 に示す。米子市と境港市の4観測点に注目したが、境港市の2つは液状化あり、米子市内の2つは液状化なしの判定結果となった。米子市では臨海部で液状化が起こっているが観測点は海岸から遠く、液状化の影響は受けていないと考えられる。一方、境港市の港湾局が設置している観測点は脇の道路で噴砂の跡を観測している。気象庁の観測点は境水道からやや内陸に位置するが、聞き込みの結果では噴砂、噴水はなかった模様である。

表-1 鳥取県西部地震の検知結果

観測機関	観測地点	液状化判定結果	実際の状況
気象庁	米子市	なし	痕跡なし
Knet	米子市	なし	痕跡なし
気象庁	境港市	あり	痕跡不明瞭
港湾局	境港市	あり	近くで噴砂あり

4. おわりに

本研究では地震時の加速度波形の特徴からリアルタイムに、かつ簡易に液状化を判定する方法について検討を行った。ゼロクロス周期、最大変位、最大加速度、SI 値の4条件からアルゴリズムを組み、多くの地震記録に適用した結果、満足できる精度で液状化が検知できた。なお、大振幅の表面波が卓越する場合や、断層運動の影響で長周期の波形となっている場合には誤判断となることも確認された。今後検知ロジックの高精度化を目指す予定である。参考文献

- 1) 宮島昌克, 野津智, 北浦勝, 山本真樹: 強震記録を用いた液状化検知法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 No. 647, -51, pp. 405-414, 2000,
- 2) 清野純史, 土岐憲三, 森下昌浩: 地表面観測波形を用いた液状化発生の判別法, 地域安全学会論文集 No. 1, pp. 35-42, 1999,
- 3) 高田至郎, 尾崎竜三: 地表面強震記録にもとづくリアルタイム液状化判別手法, 土木学会論文集 No. 640, -50, pp. 99-108, 2000,
- 4) Kostadinov, M.V., Yamazaki, F.: Detection of soil liquefaction from strong motion records, Earthquake Engng Struct. Dyn., 30, pp.173-193, 2001