

(34) 常時微動による液状化判定

(株) システム アド・テクノロジー 西永 雅行
 (財) 鉄道総合技術研究所 中村 豊
 (財) 鉄道総合技術研究所 富田 健司

1. はじめに

地盤の液状化は、地震時の災害を考える上で極めて重要である。液状化発生危険度の判定手法については既に種々の研究者・機関により提案されているが、煩雑な手順を要するものが多く、現地で迅速に判定できるものはない。そこで、中村・滝沢¹⁾は表層地盤の地震時せん断歪 γ に着目して、簡便な常時微動測定に基づく新しい判定指標Kを提案している。

ここでは、新しい観点から、液状化被害地域とその周辺の常時微動特性の相違を検討した結果、液状化地域とくに地盤が流動破壊した地域での常時微動特性に顕著な特徴が見いだされたので報告する。

2. 常時微動とQTスペクトル

中村²⁾は、地表面での常時微動の水平成分と上下成分のスペクトル比が表層地盤の伝達関数に近似していることを見だし、これを利用して表層地盤の地震動応答特性を的確に推定する方法を提案した。ここではこのスペクトル比をQTスペクトル(Quasi-Transfer Spectra)と呼ぶ。

これまでの常時微動研究の状況をみると、常時微動は様々な種類の波動が混在した状態であると考えのがもっとも妥当である。

しかし、波動種別がレイリー波であっても、SH波であっても、水平動/上下動振幅比は当該地盤の固有振動数付近で卓越する。

このため、一般に常時微動のQTスペクトルは当該表層地盤の固有振動数で安定したピークを持つ²⁾。

図1は、これまでに測定した2万点以上の地点のQTスペクトルの形状を3タイプに分類して模式的に描いたものである。図2はそれぞれに対応する典型的な実測QTスペクトルである。

図1 aに示すように、多くの場所で測定されるQTスペクトルは、低い振動数領域では約1の値から始まり、表層地盤の固有振動数付近で表層地盤と基礎地盤のインピーダンス比に相当する大きな値となって、その後再び約1の値に漸近するという形状を示す。表層地盤が岩盤のように堅固な場合にはQTスペクトルはほぼ1の値を変動する平坦な特性を示す(図1 b参照)。

通常、QTスペクトル値(QTS)は1を下回らない。しかし、場所によっては、ピーク振動数の後のQTSは、図1 cに示すように、一旦1を大きく下回り、さらに高い振動数では1に近づいていく。このQTスペクトルの形状は、レイリー波による地表面応答の水平/上下動振幅比の周波数応答⁵⁾に類似している。

図2 cに示した実測例は、サンフランシスコのマリーナ地区で測定され

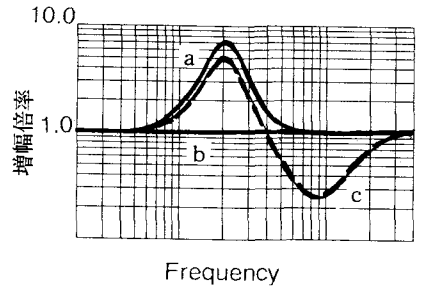


図1 QTスペクトルの3パターン

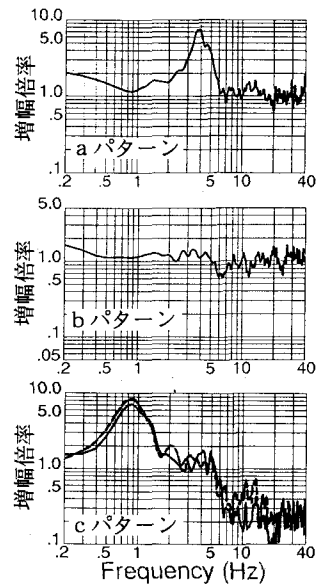


図2 QTスペクトルの実例

たもので、測点付近はロムプリエタ地震で液状化した。図3は、この常時微動の水平動と上下動の位相差である。これによると、海岸線に直交する水平方向Nと上下方向振動Vの位相差は、ほぼ全帯域で $\pm 90^\circ$ となっており、ここで測定された常時微動は海の方から伝播してきたレイリー波が主体であろうと推測される。こうした例はいくつも認められるが、QTスペクトルが図1cのような形状を示すのは、周辺地盤の常時微動を構成する波動の中でレイリー波が卓越していることを示しているものと推測される。

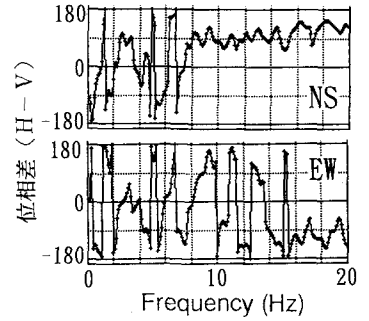


図3 HとVの位相差スペクトル

レイリー波などの表面波の震動エネルギーは地表面付近に集中しており、地表面付近の地盤歪も当然大きくなる。したがって、レイリー波が生じやすい場所は地盤災害も生じやすいと推測される。そこで、常時微動のQTSが1を下回るかどうかに着目して、液状化地域と非液状化地域の常時微動特性を検討する。

3. 液状化地域と非液状化地域の常時微動特性

常時微動の測定は(財)鉄道総研が開発したPICを用いて行った。これは3成分2組の震動を同時に測定することができる。地盤震動を測定する場合、10Hzのハイカットフィルターを介して1/100秒サンプリングで約41秒間(4096データ/成分)を1回の測定で記録する。この測定を3回繰り返し、それぞれの測定毎に比較的静かな部分10秒間(1024データ/成分)を周波数分析(FFT分析)して、3回の分析結果を平均する。FFT分析の際、ハンギングウィンドウを5回かけて平滑化した。

ここでは、1964年6月の新潟地震による液状化地域を対象にして行った測定結果を中心に述べる。これらの地域では、浜田ら³²⁾によって地震前後の航空写真から地盤流動変位が測定されており、地盤変位の程度が定量的に把握できる。

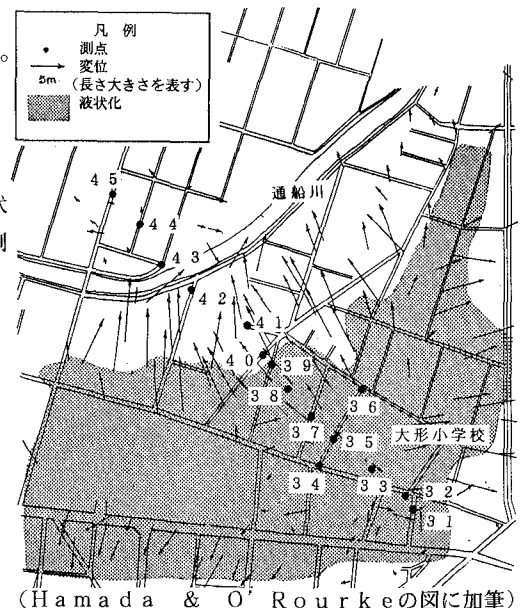
(1) 大形小学校周辺の測定結果と被害状況の対比

通船川南側の大形本町大形小学校付近から通船川北側の松崎町までをやや稠密に測定した。図4に、常時微動測点の位置と、浜田らによる地盤流動変位の状況を示す。この常時微動測定は1990年10月に実施された。

常時微動測点周辺での液状化被害状況は、資料³³⁾によれば次の通りである。

大形小学校付近のNo. 31~No. 37の7測点は、激しく液状化しているが流動変位は少ない。次にNo. 38~No. 42の5測点は、液状化し大きな流動変位が生じている。No. 43~No. 45の3測点周辺は、液状化は認められず流動変位も小さい。流動変位は大形小学校を中心にして周辺に押し広がるような形で展開している。

図5は、大形小学校周辺で測定された常時微動のQTスペクトルである。この図では、QTS<1の部分黒く塗りつぶしている。これを見ると、黒く塗りつぶされた部分が大きいところは大きな流動変位が生じたところに対応している。また、液状化せず変位がほとんど発生しなかった通船川北側では塗りつぶし部分はほとんどない。つまり、液状化地域では、非液状化地域にくらべて、



(Hamada & O'Rourkeの図に加筆)

図4 常時微動測点分布

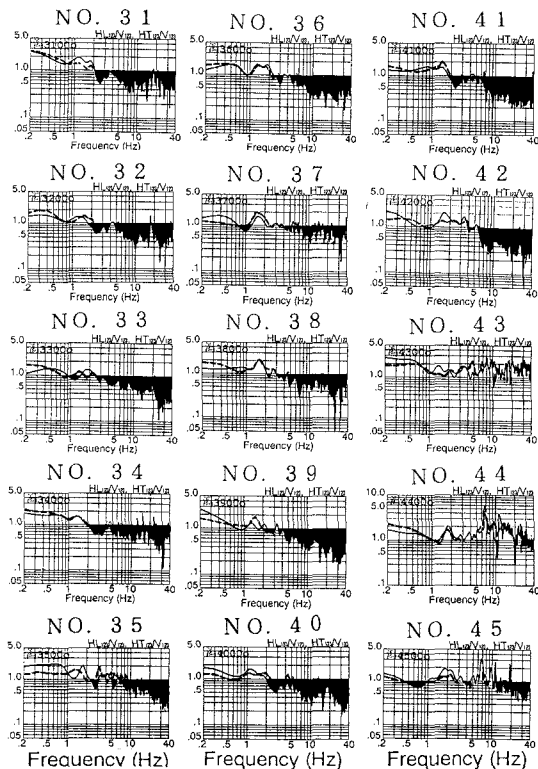


図5 測定されたQTスペクトル

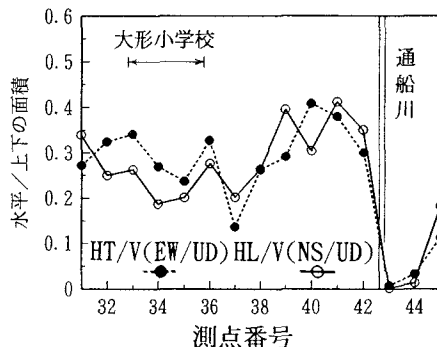


図6 QT < 1の面積の変化

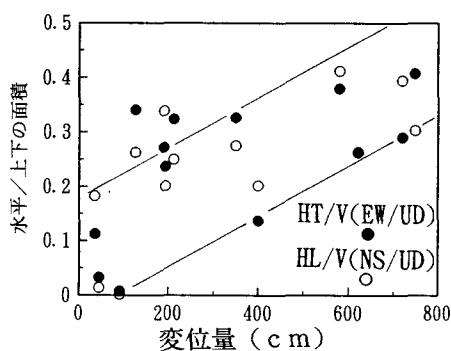


図7 QT < 1の面積と地盤流動変位

比較的高い振動数域で上下動が水平動より大きくなっていることがわかる。

そこで、この塗りつぶした部分の面積を求め、測点に対応させてみたのが図6である。この面積には物理的な意味はないが、No. 34、No. 35で小さく、No. 39～No. 42で大きくなり、通船川北側測点で劇的に小さくなっている様子は、地盤流動変位状況によく対応している。

図7は、この塗りつぶし部分の面積と測点近傍の流動変位を対比したものである。ばらつきは大きいものの、両者の対応関係は良好である。

(2) 新潟市街地域での測定結果と被害状況・地形地質との対比

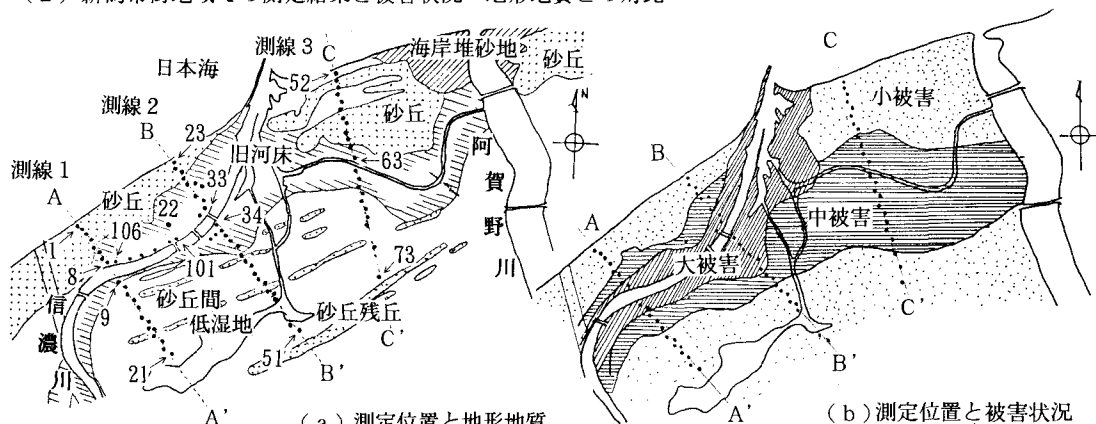


図8 常時微動測点位置と地形地質 (a) および被害状況 (b)

新潟市街地域の液状化地域と非液状化地域において、常時微動を測定した。測定位置を周辺の地形地質および被害状況とともに図8に示す。測定日時は1992年2月である。

図9 a b cは、3測線のそれぞれについて、 $QTS < 1$ の部分の面積を前節と同様にして求め、測点に対応させて示したものである。この図で気づくことは、被害の大きいところや川の周辺で $QTS < 1$ の面積が大きくなっていること、南北方向の $QTS < 1$ の面積の方が東西方向のそれよりも大きいこと、などである。南北方向の $QTS < 1$ の面積が大きいことは南北方向に大きく地盤が流動していることと関係がありそうである。

4. まとめ

液状化地域と非液状化地域との常時微動特性の相違について検討した。この結果、液状化地域の QT スペクトルはピーク振動数より高い振動数帯域で QTS が1を下回る形状を示すことが確認された。この $QTS < 1$ となる部分の大小は、地盤の流動変位の大小と対応しており、また、流動変位が大きな方向と $QTS < 1$ となる部分がより大きな方向とはほぼ一致する可能性が大きいこともわかった。このような QT スペクトルの特性を利用すれば、地盤流動の危険性が、原位置で常時微動を測定するだけで定性的ではあるが、簡単にしかも的確に判断できる。液状化危険性を表層地盤に生じる地震時せん断歪に着目して判断する K 値と併用すれば、液状化と流動危険度を的確に判定できるものと期待される。

今後、 $QTS < 1$ のメカニズムを解明するとともに、流動化の危険性を入力地震動の大きさと関連づけて判定できるよう研究を進める。

参考文献

- 1) 中村 豊・滝沢太郎：常時微動を用いた地盤の液状化予測、第45回土木学会年次学術講演概要集1-519、pp.1068-1069、1990年。
- 2) 中村 豊：常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定、鉄道総研報告、第2巻第4号、pp.18-27、1988年。
- 3) Hamada. M., O'Rourke. T. D.: Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes (Volume 1 Japanese Case Studies), Technical Report NCEER-92-0001, University of New York, pp.3-79, 1992.
- 4) 神山 真：地震時における地盤内の応力、ひずみの評価、土木学会論文報告集第250号、pp.9-23、1976年。
- 5) 時松孝次・宮寺泰生：短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係、日本建築学会構造系論文集第439号、pp.81-87、1992年。

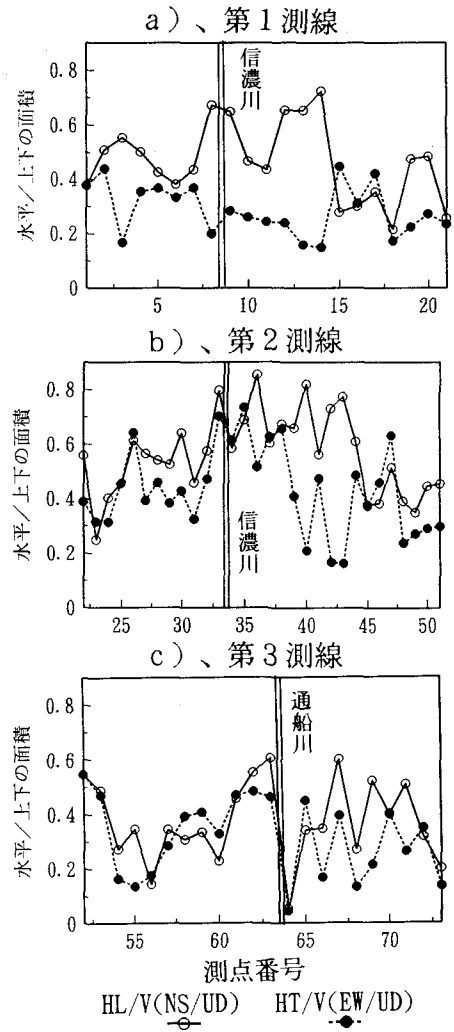


図9 各測線の $QT < 1$ の面積の変化