

事前常時微動測定の結果からみた東北地方太平洋沖地震の液状化被害

○齋田 淳¹⁾・中村 豊²⁾・佐藤 勉³⁾

- 1) 正会員 株式会社システムアンドデータリサーチ, 国立市富士見台3-25-3, jun@sdr.co.jp
 2) 正会員 株式会社システムアンドデータリサーチ/東京工業大学, 国立市富士見台3-25-3, yutaka@sdr.co.jp
 3) 正会員 株式会社システムアンドデータリサーチ, 国立市富士見台3-25-3, tsato@sdr.co.jp

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では東日本を中心に広範囲にわたって多くの被害が発生した。震源から離れた首都圏近辺においても、液状化をはじめとした被害が多くみられた。

地震対策の基本はあらかじめ構造物や地盤などの弱点を抽出しておき、その上で必要な対策を施しておくことである。このためには的確にかつ悉皆的に健全度を把握する方法が重要となる。

ここでは、常時微動測定の結果を使った地盤の壊れやすさ指標について説明するとともに、1990年に実施した常時微動測定の結果と今回の地震による被害を比較することで、本指標の的確性を検討する。

2. 地盤の壊れやすさ指標 Kg 値

K値群は、H/V法などで推測される固有振動数Fと増幅倍率Aと構造物の諸元を使い、地震時に地盤や構造物の着目する部位に生じる歪 γ を大まかに推定することを目的とした指標である。その共通した歪 γ の推定式は以下の通り。

$$\gamma = K \times a$$

ここでKはK値、aは地震動基盤加速度を表す。

地盤の場合のK値、Kg値¹⁾は、

$$\begin{aligned} \gamma &= eAd / h = eAa / \omega^2 / h \\ &= eAa / (2\pi F)^2 (4F / Vs) \\ &= eAa / (2\pi F)^2 (4FA / Vb) \\ &= eA^2 / F / (\pi^2 Vb) a = A^2 / Fe / (\pi^2 Vb) a \end{aligned}$$

ここで、eは入力効率、Vb、Vsはそれぞれ表層地盤と基盤のせん断波速度を表す。故に、

$$\gamma_e = \beta \times Kg \times a$$

となる。ここで、 $Kg = A^2 / F$ 、 $\beta = e / (\pi^2 Vb)$ である。ここで、日本では概ねVb=600m/sとおくことができる。入力効率を0.6と仮定すると β は約 10^{-6} (μ : マイクロストレーン) となり、 $\gamma_{0.6} = Kg \times a$ となる。入力効率は振動波形によって変動することが考えられる。パルスの振動では大きな入力加速度が必要となるため値を小さくする必要があるが、今回の地震はこれとは逆に非常に長い継続時間であったので $e=1.0$ とすると β は約1.7となる。すなわち $\gamma_{1.0} = 1.7 \times Kg \times a$ となる。以下、Kg値を用いて液状化判定を試みる。

3. 測定結果と液状化被害

ここでの検討に用いる常時微動測定の結果は1990年に計測されたものである。3成分常時微動計測器PIC(Portable Intelligent Collector)を用いて、各測点で40.96秒(4096サンプル)の測定を繰り返し、各測定の中から人工ノイズが少ないと思われる10.24秒を取り出してフーリエ変換した。その後水平2成分と上下成分のスペクトル比を測定ごとに算定し、さらにその平均をとったものをH/Vスペクトルとしている²⁾。このスペクトル比からピーク周波数(固有振動数F)とその時のピーク値(増幅倍率A)を読みとった。ここまでは1990年に行われている³⁾。

ここでは、この結果を基にKg値を算出し、今回の地震の際に近隣の地表面で観測された加速度を用いて推定した発生歪を実際の液状化発生状況と対比させ、液状化判定の妥当性を検証する。

3.1 舞浜地区

この地域の埋立地の四隅に測点MH01からMH04の4測点を設定して常時微動を計測した(図1)。

このときに求められた固有振動数と増幅倍率を用いてKg値を算出した。図2に示すとおりMH1~MH04に対してKg値は9.8~34.9となっている。K-NET浦安の記録によると5HzPGA(5Hzのローパスフィルタをかけた合成加速度)は164Galで、増幅倍率は約4倍と見積もられるので基盤加速度は約41Galとなる。ただし、今回の地震はかなり継続時間が長かったことを考慮して、定義の際に説明したように入力効率 $e=1.0$ として以後の検討を進める。入力効率を1.0として、表



図1 舞浜地区の測点と液状化被害

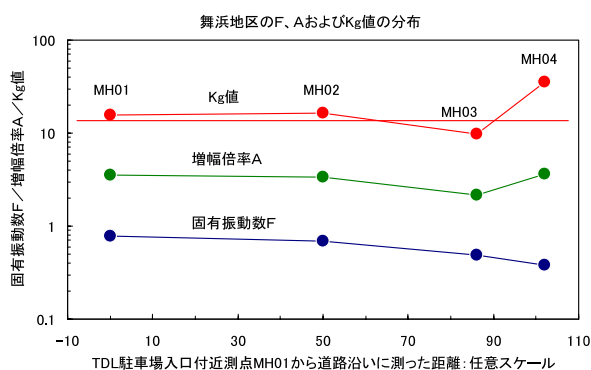


図2 舞浜地区の固有振動数 F、増幅倍率 A、Kg 値

層地盤に生じるせん断歪を大まかに推定したところ、MH01～MH04に対して、 1050μ 、 1100μ 、 700μ 、および 2300μ となった。 1000μ 以上の歪で地盤が液状化するとすれば、MH01とMH02は液状化が予想され、MH03は液状化していない可能性が高く、MH04はもっとも激しく液状化すると考えられる。この結果を図1右上に示した東京電機大学安田教授の調査結果⁴⁾と比較したところ、Kg値による判定結果は妥当であると考えられる。

3.2 大森・大井埠頭地区

大森駅西側の公園から大井コンテナ埠頭の南に隣接する埠頭までEW測線を設定し、大井埠頭の埋立地のほぼ中心にNS測線を設定した。このときの計測結果から求めたKg値の分布を図3に示す。この図から、岸壁付近と運動公園付近でKg値が15を上回ることがわかる。

東京工業大学時松教授の調査結果⁵⁾によると、大井埠頭の岸壁付近で液状化現象の発生が確認されている。また大井埠頭中央海浜公園では、液状化により野球場のD面が使用できなくなり、なぎさの森のしおじ磯の一部も地面に亀裂が入るという被害に見舞われている。なお、これらの地点以外では液状化現象の発生は確認されていない。

これらに対応するKg値は、岸壁付近(23以上)と運動公園周辺(15以上)でやや大きくなる以外は、概ね10程

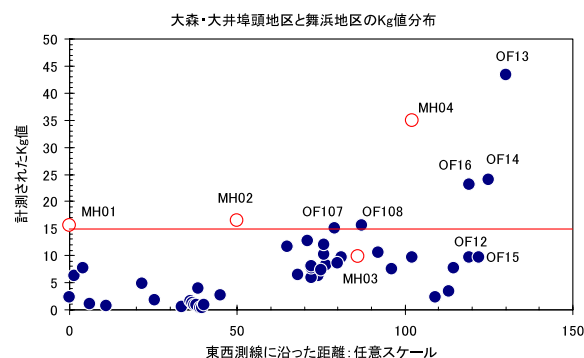


図4 大井埠頭周辺の Kg 値分布

度以下の小さな値であり、入力効率1.0を仮定しても、基盤加速度が60Gal程度以上でないとい液状化しないと推測される。今回の地震のような異常に長い継続時間とはならない普通の地震動では100Gal未満では液状化しないと考えられる。この地域でもKg値による液状化判定は概ね妥当な結果を与えている。

4. おわりに

すでに提案している常時微動測定結果に基づく液状化判定を、1990年代に実施した常時微動計測の結果に適用して、今回の地震による関東地域における液状化被害と比較した。この結果として、Kg値が15程度より大きい箇所に変状が生じたことが確認された。この高いKg値は、東北地方太平洋沖地震の長い継続時間を考慮して $e=1.0$ とすると、入力地震動によって表層地盤に概ね 1000μ 以上のせん断歪が生じると見積もられる。

このように、今回の地震でも事前の常時微動測定結果に基づいて想定地震動で液状化が発生するかどうかを的確に判断できることが確認された。ここで検証した手法は常時微動を測定するだけの簡易な手法であり、数多くの地点を調査することが可能である。本手法で抽出した危険地域において、従来手法で詳細な調査を行って合理的な対策工事を実施することが可能となる。また対策工事前後で計測することにより、その効果を確認することもできる。本手法が液状化対策に資することができれば幸いである。

謝辞 本稿でK-NET浦安の強震波形を利用させていただきました。記して謝意を表します。

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, 土木学会第45回年次学術講演会, I-519, pp. 1068-1069, 1990
- 2) 中村豊: 常時微動に基づく表層地盤の地震動特性の推定, 鉄道総研報告, Vol. 2, No. 4, pp. 18-27, 1988
- 3) 中村豊ほか: 常時微動による東京湾大井埠頭周辺地盤の地震動特性の推定, 第8回日本地震工学シンポジウム, pp. 679-684, 1990
- 4) 東京電機大学地盤工学研究室ウェブサイト, <http://yasuda.g.dendai.ac.jp/>
- 5) 時松他: 2011年東北地方太平洋沖地震における地盤被害, 地震工学研究レポート, No. 118, pp. 21-47, 2011

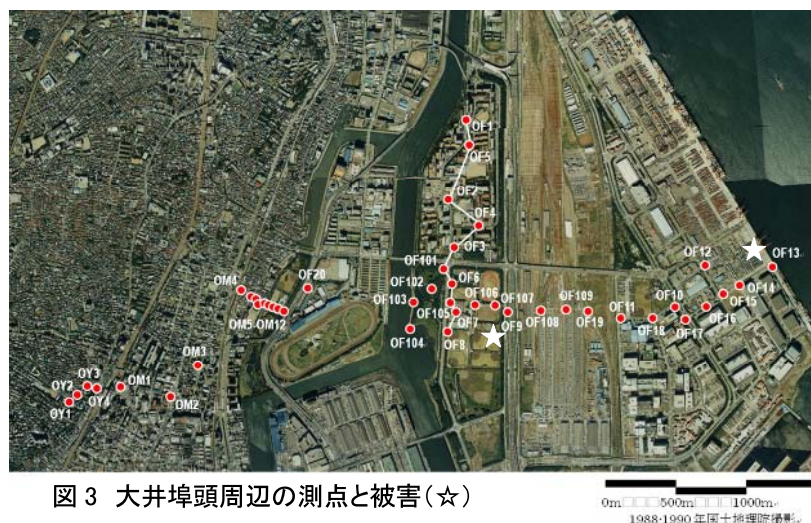


図3 大井埠頭周辺の測点と被害(☆)