

# 有効応力解析を用いた 2011年東北地震津波による女川町の 地盤応答特性の推定

奥村 与志弘<sup>1</sup>・家根 拓矢<sup>2</sup>・加藤亮輔<sup>3</sup>・清野 純史<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 関西大学准教授 社会安全学部 (〒569-1098 大阪府高槻市白梅町7-1)

E-mail: okumura@kansai-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 JFEエンジニアリング株式会社 (〒100-0005 東京都千代田区丸の内1丁目8番1号)

E-mail: yane-takuya@jfe-eng.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社 日建設シビル (〒541-0054 大阪市中央区南本町3-6-14)

E-mail: ryousuke.katou@nikken.jp

<sup>3</sup>正会員 京都大学大学院教授 工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: kiyono.junji.5x@kyoto-u.ac.jp

震災後、実験や数値解析を用いて地震や津波による建物の応答を分析し、被災メカニズムは明らかにされつつある。しかし、津波来襲時の地盤応答に関しては十分な検討が実施されていない。本研究では、2011年東北津波による女川町の地盤応答特性を明らかにすることを目的とし、ボーリングデータが存在する18地点の地盤を対象に有効応力解析を実施した。注目する現象を、地震動が作用するフェーズ、圧密が進行するフェーズ、津波が作用するフェーズの3つのフェーズに分けて捉え、後続する現象は先行する現象の解析結果を引き継いで解析した。その結果、津波来襲時に、女川町における地表面付近の地盤の有効応力は、初期有効応力から平均4.1倍大きくなっていったことが分かり、津波による転倒モーメントが最も大きくなるタイミングと重なっていることが分かった。

**Key Words:** *Tsunami, Liquefaction analysis, 2011 Tohoku tsunami, Onagawa town*

## 1. はじめに

2011年東北津波は、杭基礎RC建物の流出という、津波災害では過去に例のない建物被害をもたらした。震災後、多くの研究者が実験や数値解析を用いて地震や津波による建物の応答を分析し、被災メカニズムは明らかにされつつある。しかし、津波来襲時の地盤応答に関しては十分な検討が実施されておらず、地震や津波による地盤応答の観点からも被災メカニズムの考察を行う必要がある。加えて、2011年東北津波で転倒した建物は8棟<sup>1)</sup>確認されているが、そのうちの6棟が宮城県女川町のRC構造物<sup>2)</sup>で、残り2棟が岩手県陸前高田市の建物<sup>3)</sup>であることが確認されている。この2地域では周辺の住民によって液状化が目撃されており<sup>4)</sup>、加えて、女川町は埋立地であったことから液状化が起きた可能性は大きい。このような情報をふまえると、液状化を含む地盤変状が大きく影響して、建物が転倒した可能性は十分に考えられる。

このようなことから、女川町を対象として、どのようなタイミングで地盤が硬化、あるいは軟化するのかを地

盤応答の変化から把握し、かつ、これを面的に捉えることは、建物の転倒メカニズムを解明するうえで十分に有意義であると考えられる。そこで本研究では、2011年東北津波で転倒・流出した杭基礎を有するRC構造物が複数存在する、宮城県女川町に注目して、建物の転倒・流出に影響を与えようと考えられる、津波来襲時における地盤応答の時空間特性を明らかにすることを目的とする。

## 2. 研究手法

本研究では、図-1に示す女川町のボーリングデータが存在する18地点に注目した。女川町の図-1に示す地域は、埋め立て地であることから、地表面付近は盛り土で覆われており、地震動や津波の影響を受けやすい特徴を持っていることが分かる。そこで、本研究では、18地点を対象に、地震動と津波を外力とした有効応力解析を実施した。実際の地盤は不飽和であった可能性があるため、飽和地盤を仮定した検討(ケース A)に加え、不飽

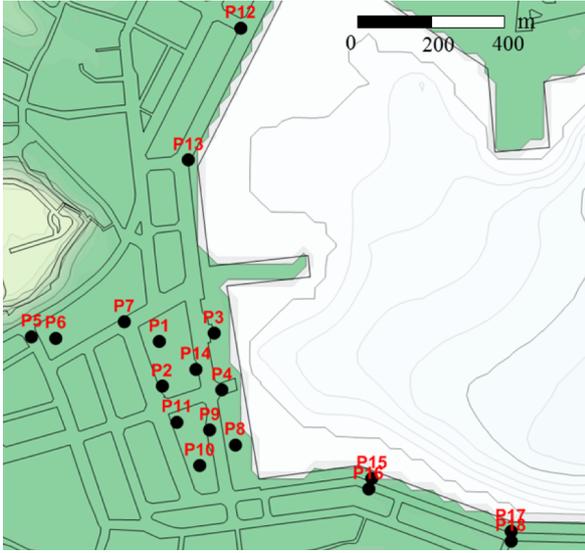


図-1 ボーリングデータが存在する18地点

和地盤を仮定した検討(ケース B)も実施した。また、津波は地震動が作用してから一定時間後に来襲するため、地盤応答は両者の複合作用に伴うものと考えられる。そこで、注目する現象を、地震動が作用するフェーズ(ケース C-I)、圧密が進行するフェーズ(ケース C-II)、津波が作用するフェーズ(ケース C-III)の3つのフェーズに分けて捉え、後続する現象は先行する現象の解析結果を引き継いで解析した。

### 3. 解析手法

地盤情報が得られている地点の浸水深の時刻歴変化を算出するために、二次元津波氾濫解析を用いた。本研究では、対象建物を含む対象地域、付近の海域での広域津波計算に平面二次元津波計算手法を用いている。ここでは、平面二次元解析について概要を述べる。

#### (1) 平面二次元解析

対象建物を含む対象地域、付近の海域での広域波計算には、平面二次元津波計算手法を用いる。平面二次元解析では、長波理論を用いることで計算コストを抑えながらも海域での津波伝播を十分に再現できるため、氾濫遡上や最大水位を再現することができる。そのため、波源を含む広域の津波氾濫解析に適している。しかし、長波理論を用い、鉛直方向の流速を一定とするため、鉛直方向の水の流れを考慮できず、構造物周辺での津波氾濫流の高精度な再現ができないという特徴がある。ここに、平面二次元津波解析の支配方程式として、連続式と運動量式を以下に示す。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

ここに、 $\eta$ 、 $v$ 、 $u$ 、 $M$ 、 $N$ 、 $h$ 、 $D$ 、 $n$ 、 $g$ はそれぞれ、水位変動 (m)、 $x$ 方向および $y$ 方向の流速 (m/s)、 $x$ 方向および $y$ 方向の流量フラックス (m<sup>2</sup>/s)、静水深 (m)、全水深 (m)、Manningの粗度係数、重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)を表す。

#### (2) 一次元有効応力解析

これにより得られた浸水深変化による水圧変動を外力として、一次元有効応力解析を行い、女川町の地盤応答特性を分析した。有効応力解析では、LIQCA2D16<sup>9)</sup>を用いた。LIQCA2D16で用いられている基礎方程式である運動方程式と連続式を以下に示す。

$$\rho \ddot{u}_{ij}^s = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial \sigma_j} + \rho b_i \quad (4)$$

$$\frac{k}{\gamma_w} \left( -\rho^f \dot{\epsilon}_{ij}^s - \frac{\partial^2 p}{\partial x_i^2} \right) + \dot{\epsilon}_{ii}^s + \frac{n}{Kf} \dot{p} = 0 \quad (5)$$

ここに、ドット表記は物質時間微分を表し、 $\rho$ は混合体の密度、 $u_{ij}^s$ は固相の変位ベクトル、 $b_i$ は物体力である。また $K$ は透水係数、 $\gamma_w$ は間隙水の単位体積重量、 $\rho^f$ は液相の密度、 $\dot{\epsilon}_{ii}^s$ は固相の体積ひずみテンソル、 $n$ は間隙率である。

砂の構成式には、繰り返し弾塑性モデルを、シルト・粘土には、修正 R-O モデルを用いた。また地盤パラメータについては、室内試験などで求めることが出来なかったために、要素シミュレーションにより試行錯誤することにより求めた。

### 4. 平面二次元解析

#### (1) 解析条件

非線形長波理論を、staggered格子を用いた leapfrog スキームによる有限差分法で解く津波解析手法を用いる。空

間格子間隔は、1350m>450m>150m>50m>10m>2mの6段階で領域を接続する。計算潮位は、TP±0.0mとして、堤防は計算格子境界に設定し、破堤は考えない。

地形(図-2)、粗度、堤防の各データは中央防災会議のものを使用する。ただし、10m、2m格子の標高データは国土地理院の基盤地図情報<sup>6)</sup>(解像度0.2秒、約5m)を補間して作成し、10m、2m格子の地形、粗度、堤防の各データも50m格子のデータをもとに標高データに合致するように作成する。

建物は、衛星画像から残存が確認できたもの全てと流出したRC造およびS造の建物のうち上部工の形状を確認することができた6棟を地形モデルとして、その他の建物は粗度として表現した<sup>7)</sup>。本震による地殻変動量は、高川モデルver.1.2<sup>8)</sup>の断層モデルにMansinha and Smylie<sup>9)</sup>の方法を用いて定めた。この時、女川観測点における地殻変動量は実際の観測結果<sup>10)</sup>とよく一致している。これにより初期波源を生じさせた。これらのデータを用いて、地震発生から2時間分の計算を行った。

## (2) 解析結果

平面2次元津波氾濫計算による最大浸水高の分布を図-3に示す。本研究においては、初期水位をTP=0.27mとしており、潮位の影響も含めて地殻変動量の変化で評価している。また地盤情報が得られている17(地点1を除く)地点についての浸水深時刻歴変化を図-4に示す。図-4より、浸水高の最大値は場所によって大きく異なることはなく、各地点ともほぼ同一の値を示していたことが分かる。相田(1981)<sup>11)</sup>の方法を用いて求めたK値、 $\kappa$ 値はそれぞれ1.00、1.26である。これは、痕跡高を用いた津波解析の妥当性の基準( $0.95 < K < 1.05$ ,  $\kappa < 1.45$ )<sup>12)</sup>を満たし、妥当であるといえる。この時の標本数は12である。これより、各地点とも、地盤かかる水圧の最大値は、ほぼ同一であることが分かる。しかし、各地点によって、津波による水位上昇速度は異なってくると考えられる。このような水位上昇速度の違いは、地盤に影響を与えると考えられる。

## 5. 一次元有効応力解析

本研究では得られた18地点のボーリングデータをもとに要素シミュレーションを行い試行錯誤によって、各地点の地盤パラメータを設定した。層の種類ごとに決定したパラメータ表-1に、N1=5, N1=10, N1=20のときの地盤パラメータを表-2に示す。

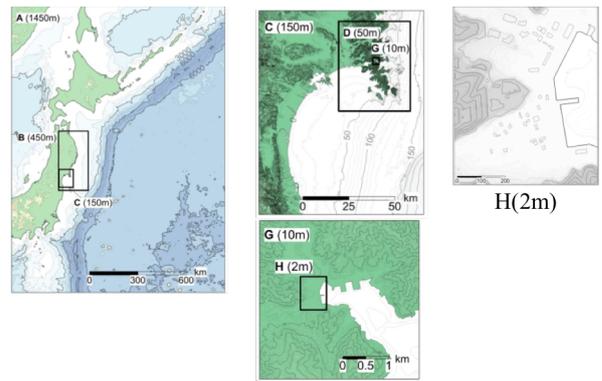


図-2 津波氾濫解析計算領域(標高・海拔)<sup>6)</sup>

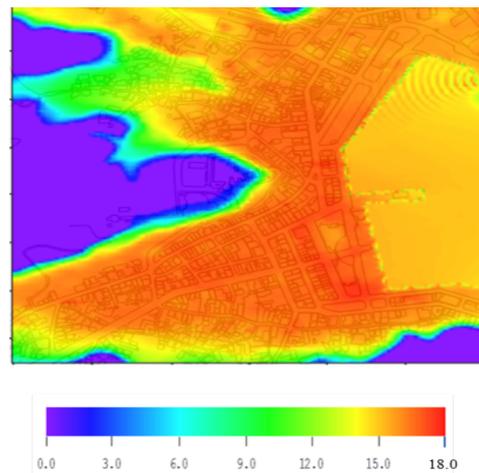


図-3 女川町の最大浸水高の分布

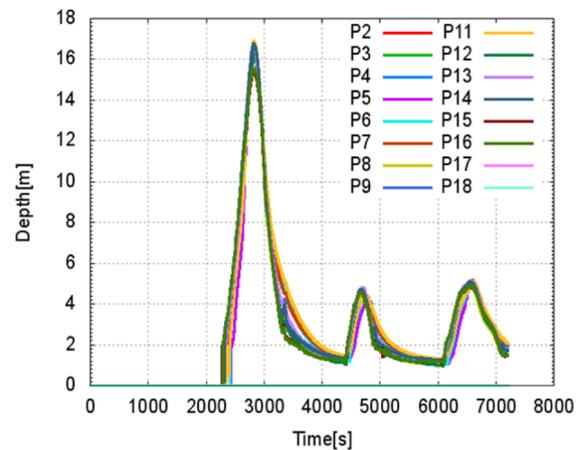


図-4 浸水深時刻歴変化(2D)

表-1 層ごとの地盤パラメータ

	砂層	シルト層	粘土層
密度( $t/m^3$ )	1.85	1.70	1.50
透水係数(m/s)	$3.0 \times 10^5$	$1.0 \times 10^7$	$3.8 \times 10^{10}$
異方性消失のパラメータ	2000	2000	2000
水の体積弾性係数 $K_v$ (kPa)	5880	5880	5880

表-2 推定した地盤パラメータ  
材料パラメータ(砂質土) NI=5 NI=10 NI=20

材料パラメータ(砂質土)	NI=5	NI=10	NI=20
圧縮指数 $\lambda$	0.01	0.01	0.01
膨張指数 $\kappa$	0.001	0.001	0.001
初期せん断係数比 $G_0/\sigma_{m0}$	702	1114	1768.0
変相応力比 $M_m^*$	0.909	0.909	0.909
破壊応力比 $M_0^*$	1.37	1.37	1.37
硬化関数中のパラメータ $B_0^*$	3600	5700	12000
硬化関数中のパラメータ $B_1^*$	48	76	160
硬化関数中のパラメータ $C_f$	0	0	0
擬似過圧密比 $OCR^*$	1.0	1.0	1.0
ダイレイタンス係数 $D_0^*,n$	1.7,2.0	0.8,2.0	0.5,2.0
塑性基準ひずみ $\gamma_{ref}^{P*}$	0.002	0.002	0.002
弾性基準ひずみ $\gamma_{ref}^{E*}$	0.005	0.005	0.005

(1) 解析条件

(a) 飽和を仮定した次元有効応力解析(以下、ケース A とする.)

全 18 地点において地下水面が地表面である、つまり、地盤が深さ方向に対して、すべて飽和状態であると仮定した場合の地盤応答を検討する。

本研究で用いる有効応力解析は、固相と液相のみを考慮する、つまり、気相が存在しない飽和状態の地盤に対しての解析を行うことが出来る。飽和地盤に対しては、外力を加えたとしても、全応力の増加に伴い、地盤の間隙水圧が増加するだけで、有効応力には変化がないものとして考えられるため、解析を行っても地盤応答を見ることができない。しかし、完全に飽和した状態の地盤は、現実的ではなく、気泡などが混入している可能性が非常に高い。加えて、対象地域は海岸線付近の埋め立て地であることから、潮の満ち引きなどが要因で、完全な飽和地盤とは考えにくい。固相と液相のみを考慮する現在の解析では、この気泡を考慮することができない。よって、本研究では、以下の Okusa の公式<sup>13)</sup>を用いて水の体積弾性係数を変えることによって、模擬的に不飽和を表現した。

$$m_w = m_{w0} S_r + \frac{1 - S_r}{P_{mg}} = \frac{1}{K^f}$$

ここで、 $m_w$ は気泡の存在を加味した見かけの圧縮率、 $m_{w0}$ は飽和度 100%時の水の圧縮率、 $S_r$ は飽和度、 $P_{mg}$ は絶対圧力で表した間隙水圧、 $K^f$ は水の体積弾性係数である。

ここで、飽和度を 98%と仮定すると、Okusa の式より、水の体積弾性係数は 5880.0 となる。本研究では、飽和している地盤に対してのみ、この体積弾性係数を用いる。

(b) 不飽和を考慮した次元有効応力解析(以下、ケース B とする.)

本項では、不飽和を考慮した次元解析において、新しく必要になる解析条件を加える。全 18 地点の中で、不飽和地盤である地点は、ボーリングデータにより、地点 1, 地点 2, 地点 5, 地点 6, 地点 7, 地点 9, 地点 10, 地点 11 の 8 地点である。各地点の地下水位の情報はボーリングデータに記されたものを用いている。しかし、地点 5, 地点 6, 地点 7 の 3 地点では地下水位についての情報は得られなかったため、一律に GL-2.0m に地下水位はあると仮定した。また、不飽和地盤の飽和度についても、正確な値が入手できなかったために、各地点とも一律に飽和度は 60%であると仮定した。しかし、本研究で対象としている 18 地点は埋立地であり、海岸に近い地点であるために飽和度は非常に高いのではないかと考えられる。この点を留意すると、飽和度は 60%を超える可能性が考えられる。これについては、更なる検討が必要であると考えられる。

(2) 解析結果

本研究では、地盤の応答を見るために、相対有効応力減少比 (以降、ESDR) に着目する。ESDR は以下の式で表される。

$$ESDR = \frac{\sigma_{m0} - \sigma_m}{\sigma_{m0}} \quad (6)$$

ここに $\sigma_m$ は現在の平均有効応力で、 $\sigma_{m0}$ は初期平均有効応力である。ESDR が 1 に近づくほど有効応力は小さくなり、小さくなるほど有効応力は大きくなる。

(a) ケース A

図-5 に各地点の深さ方向の ESDR の分布を示す。

(b) ケース B

図-6 に各地点の深さ方向の ESDR の分布を示す。

(3) 考察

ケース A では、女川町の 18 地点それぞれで来襲した津波周期が異なっており、その違いにより地表面付近の ESDR の最小値に大きな影響を与えることが分かった。ここでの津波周期とは、津波来襲時から最大浸水深にな

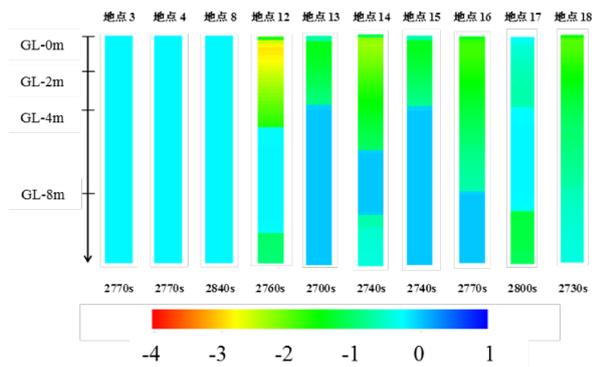
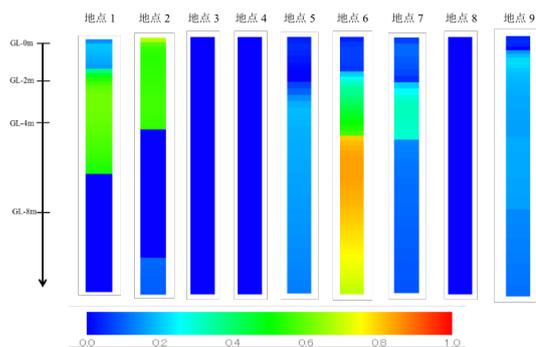


図-5 飽和地盤における ESDR の分布図



(a) 地点 1~9

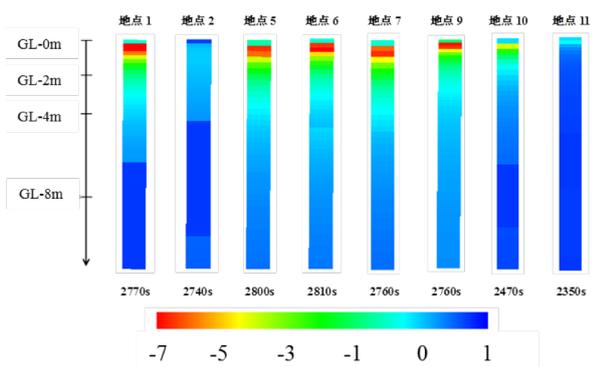
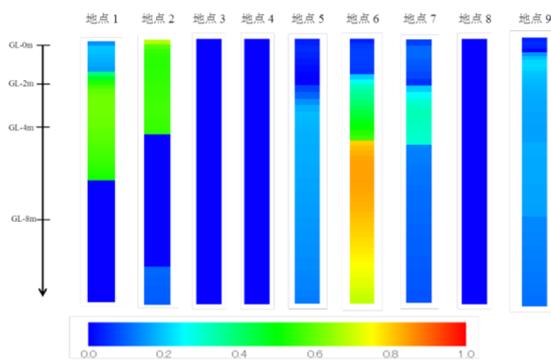


図-6 不飽和地盤における ESDR の分布図



(b) 地点 10~18

図-8 深さ方向の ESDR の分布

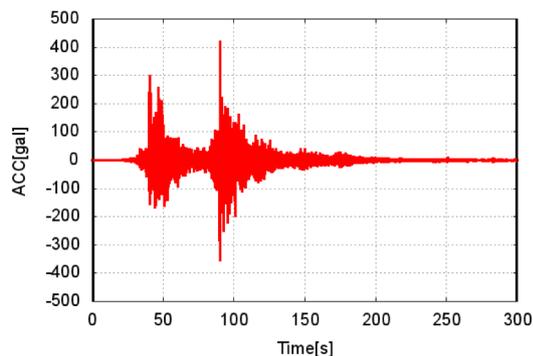


図-7 東北地方太平洋沖地震の加速度波形

るまでを 1/4 周期と考えたものである。また、ケース B では、不飽和地盤は、飽和地盤と仮定した場合よりも、地表面付近、特に GL-1.0m で ESDR が小さくなった。これにより、不飽和状態の地盤に対して、気相を考慮しない飽和解析を行うと有効応力の増加について、過小評価してしまう可能性が示唆された。

## 6. 地震動を考慮した一次元有効応力解析

### (1) 解析条件

用いた地震動の加速度波形は、東北地方太平洋沖地震の際に、女川原発の地下部分に設置された地震計によって、2011年3月11日14時46分に観測された300秒間の加速度波形(図-7)を入力した。計算時間間隔は0.001秒、計算ステップは300000として解析を行った。解析 Code は LIQCA2D16 を用いている。地盤モデルについては4章で用いたものと異なっており、地盤の深さを基盤面まで考慮したものをしている。そこで、地震動をモデル下端から水平方向の加速度波形を入力している。300秒後からは、圧密解析を2100秒(35分間)行い、その後、ケース A, B と同様の解析を行って結果を考察した。

### (2) 解析結果

地震発生開始から100秒後の全地点の深さ方向に対する相対有効応力減少比の分布を図-8に示す。

### (3) 考察

ケース C-I では、地震動により地盤は液状化には至らないが、地点によっては有効応力が初期の4割程度までに小さくなる事が確認された。

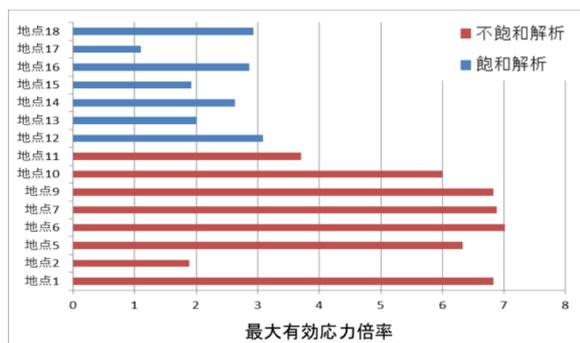


図-9 15 地点の最大有効応力倍率

表-3 最大浸水深と地下 1m の最大有効応力倍率の関係

地点	Time(s)	最大浸水深 になる時間(s)	最大有効応力倍率
地点1	2770s	2830s	6.83
地点2	2740s	2830s	1.89
地点5	2800s	2829s	6.33
地点6	2810s	2819s	7.01
地点7	2760s	2825s	6.88
地点9	2780s	2833s	6.83
地点10	2550s	2824s	6.00
地点11	2350s	2821s	3.70
地点12	2760s	2835s	3.08
地点13	2700s	2822s	2.01
地点14	2740s	2821s	2.63
地点15	2740s	2812s	1.92
地点16	2770s	2804s	2.86
地点17	2800s	2812s	1.10
地点18	2730s	2815s	2.93

また、津波来襲時に、女川町における地表面付近の地盤の有効応力は、初期有効応力から平均 4.1 倍大きくなっていった。地点によっては、最大有効応力が初期有効応力の 7 倍に達する地点もあった。(図-9)

次に、視点を変えて、津波の浸水深が最大になるタイミングと地盤の ESDR が最も小さくなるタイミングについて注目した(表-3)。表-3を見ると、各地点で ESDR が最も小さくなる(最大有効応力倍率が最も大きくなる)タイミングは、津波が最大浸水深になるタイミングより早いことが分かる。これは、津波による転倒モーメントが最大になるタイミングと一致している<sup>14)</sup>。

ケース C-I~III を考慮すると、女川町の 3 地点を除く、15 地点の地表面は、地震動によって有効応力は減少するが、津波の来襲により有効応力が初期有効応力より増加することが分かった。加えて、15 地点では、津波が建物に与える影響が最も大きくなるタイミングと、地表面付近の有効応力が最も増加するタイミングが一致しており、杭の健全性に大きな影響を与える地盤状態である可能性であったことが分かった。

## 7. 結論

本研究では、津波氾濫解析、飽和地盤に対する有効応力解析、不飽和地盤に対する有効応力解析、地震動を考慮した有効応力解析を行うことで、宮城県女川町における 2011 年東北津波による地盤応答特性を分析した。

次に、飽和地盤に対する有効応力解析では、面的、かつ深さ方向にも均質な地盤に対して、津波の周期が短くなるほど地表面の最大硬化倍率が大きくなることが明らかになった。加えて、この条件下では、津波による地盤応答は地表面から順に硬化倍率が大きくなることが分かった。更に、女川町の地盤が飽和していると仮定したとき、地表面より、GL-1.0m、GL-2.0m の地盤のほうが地盤は硬化しやすく、最大有効応力は、初期有効応力から 2~3 倍近い値となることが確認された。

次に、不飽和地盤を対象とした有効応力解析の結果を見ると、地表面付近には、飽和状態と仮定した場合の解析結果よりも、地盤の有効応力が大きくなるといった傾向が見られた。このことから、不飽和状態である地盤を飽和地盤と仮定して地盤応答を検討することは、有効応力の増加を過小評価しているということが考えられる。また、不飽和地盤の飽和度と相対有効応力減少比に着目すると、水が浸み込んでくる直前、または直後で地盤の有効応力が増加することが分かった。

次に、地震動を考慮した有効応力解析では、地震動によって、女川町の 18 地点では、液状化しないという結論が得られた。また、地震動の影響によって、地表面付近では、硬化現象を引き起こしにくくなるといった傾向が見られた。これは、地震動によって軟化したあと、津波来襲までに過剰間隙水圧が抜けきらないところで、津波が来襲したためだと考えられる。

ところで、佐藤(2016)の研究では、女川町の転倒した RC 構造物に対して、建物にかかる転倒モーメントは最大浸水深になるタイミングの直前であり、その時に杭が深さ 2m 付近で破断したことにより、建物は転倒したと提言している。本研究では、地表面付近の最大硬化倍率を示すタイミングは、最大浸水深になる時間よりも早いことが分かった。かつ、飽和地盤また不飽和地盤でも地表面から深さ 1~2m 付近が最も初期有効応力と比べて硬化していることが明らかになった。このような条件は、建物の抵抗モーメントの主たる構成要素である杭基礎の健全性に大きな影響を与えていた可能性がある。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費（基盤研究（A）17H01287）による支援を受けた。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所 一般社団法人建築性能基準推進協会：津波避難ビル等の構造上の要件の解説，2012.
- 2) 東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター：女川町における津波被害調査（速報），2011.
- 3) 田村修次：東日本大震災の津波による建築被害，京都大学防災研究所年報 第55号A 2012.
- 4) 國生剛治：陸前高田での津波による松原消失と液状化の関連について，〈[http://www.civil.chuo-u.ac.jp/lab/doshitu/eq\\_reports/2011/rikuzuntakada\\_tsunami\\_matabara.pdf](http://www.civil.chuo-u.ac.jp/lab/doshitu/eq_reports/2011/rikuzuntakada_tsunami_matabara.pdf)〉，(2017/02/03 アクセス)。
- 5) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ：LIQCA2D16・LIQCA3D16(2016年公開版)資料，2016.
- 6) 国土交通省国土地理院：基盤地図情報，〈<http://www.gsi.go.jp/kiban/>〉，(2017/02/03 アクセス)
- 7) Okumura Y, Yane T, Kiyono J: Tsunami Response Analysis of Pile-supported RC Building in Onagawa Town due to the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Coastal Structures & Solutions to Coastal Disasters Joint Conference, Boston, MA, ASCE, pp.227-234, 2015.
- 8) 今村文彦・越村俊一：東北地方太平洋沖地震を対象とした津波シミュレーションの実施 東北大モデル (version1.2)，2012.
- 9) Mansinha, L.・D.E. Smylie: The displacement fields of inclined faults, BSSA, 61, 1433-1440, 1971.
- 10) 国土地理院：GPS 連続観測から得られた電子基準点の地殻変動 〈<http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>〉，(2016/02/10 アクセス)。
- 11) 相田勇：南海道沖の津波の数値実験，地震研究所彙報，Vol.56, pp.713-730, 1981.
- 12) 土木学会原子力土木委員会 津波評価部会：原子力発電所の津波評価技術 本編，pp.1-26, 2002.
- 13) Okusa, S.: Wave-induced stresses in unsaturated submarine sediments, Geotechnique, Vol.32, No.3, pp.235-247, 1985.
- 14) 佐藤祐子：三次元津波氾濫解析を用いた杭基礎建物の津波応答解析と転倒メカニズムの検討，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 修士論文，P102, 2016.

## LIQUEFACTION ANALYSIS OF GROUND IN ONAGAWA TOWN DURING THE 2011 TOHOKU EARTHQUAKE AND TSUNAMI

Yoshihiro OKUMURA, Takuya YANE, Ryosuke KATO and Junji KIYONO

Pile-supported Reinforced Concrete buildings in Onagawa town were uplifted and overturned due to the Great East Japan Earthquake and Tsunami. It is important to find out the seismic and tsunami response characteristics of ground in order to understand the mechanism that caused such damage. In the present paper, the change in effective stress induced by ground motion and tsunami inundation have been numerically studied. We focused on 18 locations of Onagawa town, where borehole data has been obtained. (1) Ground-shaking phase, (2) consolidation phase and (3) tsunami-inundating phase has been analysed. The following conclusions have been obtained. (1) Near the ground surface, the effective stress increased to a level of 4.1 times larger than the initial stress on average. (2) Such condition caused at the time when the overturning moment acting to the buildings became the maximum value.