

# 数値解析法を用いた熊本地震における地盤の地震時挙動に関する解析的研究

長岡技術科学大学 学生会員 根本 峻  
長岡技術科学大学 生会員 池田 隆明

## 1. はじめに

2016年に発生した熊本地震では数多くの被害が報告された<sup>1)</sup>。熊本市東区の木山川と秋津川との合流点付近に位置する秋田配水場では周辺地盤が沈下し、それに伴いポンプ建屋が傾斜する被害が発生した。ポンプ建屋はピロティ形式で四隅の支柱は杭で支持され、支柱の内側に鋼製ケーシングパイプで保護された揚水管が配置されている。杭の支持層よりも取水層の方が深いため、取水層以深の沈下量に対し、杭の支持層以深の沈下量の方が大きいことがポンプ建屋の被害原因と考えられている<sup>2)</sup>。

本報告では、ポンプ建屋の被害原因の解明を目的に、地盤の地震時挙動を地震応答解析から明らかにした。

## 2. 検討対象地点

ポンプ建屋はおよそ1°から2°の範囲で傾き、それらに明確な方位性が見られなかったが、鋼製ケーシングパイプから最も遠い建屋支柱側に向かって傾いていた。このケーシングパイプは170mから200mの深さにある取水層に到達し、支持杭のような役割をしている。4隅の基礎はおよそ深さ20mの支持層にPC杭で支えられている。ポンプ建屋が傾いたのは、地盤の沈下とともにポンプ建屋の支柱が基礎とともに沈下したが、鋼製ケーシングパイプは沈下せずに、また鋼製ケーシングパイプがポンプ建屋の中央ではなく、大きく偏心した形で取り付けられていたためではないかと考えられている<sup>2)</sup>。

## 3. 地盤のモデル化

表-1に検討対象地点の地盤調査結果に基づき設定した地震応答解析に用いる地盤モデルを示す。設定するパラメータは層厚、密度、せん断波速度である。

層厚はボーリング柱状図より設定した。ボーリング柱状図では50cm以下の薄層がいくつか存在するが、地震応答解析結果への影響が少ないと考え、本検

表-1 秋田配水場の地盤モデル

層 NO.	土質名称	震度 (G.L-m)		層 分 割 数	密度 $\rho$ ( $t/m^3$ )	せん断波速度 $V_s$ (m/s)
		0	7			
1	火山灰質粘土	0	7	7	1.6	40
2	火山灰質粘土	7	14	7	1.6	60
3	火山灰質粘土	14	17	3	1.6	212
4	火山灰質粘土	17	24	7	1.6	337
5	軽石凝灰岩	24	27	3	1.6	268
6	火山灰質粘土	27	36	9	1.6	135
7	凝灰質シルト	36	42	6	1.7	300
8	基盤	42	-	-	1.7	300

討ではモデル化の対象外とした。密度( $\rho$ )は吉見・他が熊本県益城町で実施した地盤調査結果<sup>4)</sup>に基づき設定した。

当該地点ではPS検層が行われていないため、せん断波速度( $V_s$ )はN値との関係式である道路橋示方書<sup>3)</sup>に示された関係式(式(1)、式(2))を使用した。関係式の妥当性は、吉見・他が益城町で実施したPS検層の結果と比較し評価した。その結果、N値が低い粘性土に式(2)の関係式を適用すると $V_s$ を大きめに評価したため、N値が7以下の粘性土については地盤調査結果に基づき式(3)を構築し適用した。図-1に益城町で行われた地盤調査結果のN値と $V_s$ との関係を示す。ただ、参考としたN値がかなり少ないため、今後も検討が必要である。

$$V_s=80N^{1/3} \text{ (凝灰質砂質土 } 1 \leq N \leq 50) \quad (1)$$

$$V_s=100N^{1/3} \text{ (凝灰質粘性土 } 8 \leq N \leq 50) \quad (2)$$

$$V_s=50N^{1/3} \text{ (凝灰質粘性土 } 1 \leq N \leq 7) \quad (3)$$

地震応答解析コードにはDYNEQ<sup>5)</sup>を用い、地盤の非線形性は等価線形的に評価した。動的変形特性は吉見・他の研究成果を使用した。凝灰質土の動的変形特性は粘性土、砂質土、礫質土によらず差異が小さいことから、土質にかかわらず同じ動的変形とした。

当該地点では地震動が観測されていない。そのため本検討では、KiK-net 益城 (KMMH16) における本

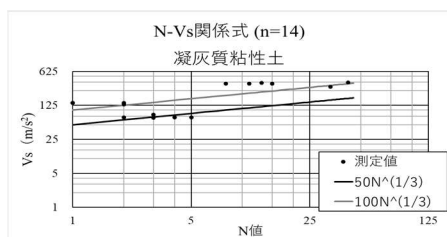


図-1 益城町で実施された地盤調査結果の N 値と Vs との関係

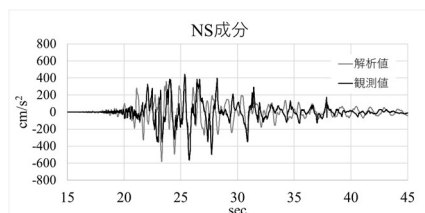


図-2 地表面における観測加速度波形と解析加速度波形の比較

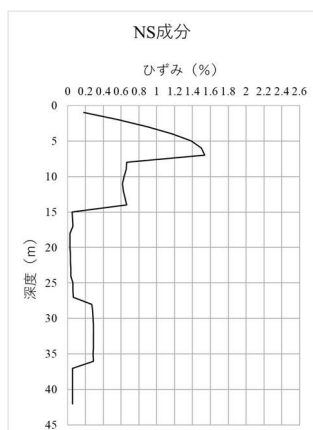


図-3 最大せん断ひずみの深度分布

震時の地中観測記録を入力地震動とし、N 値が 50 を超える G.L.-42m 地点に入力した。

## 4. 解析結果

### 4.1 地表面加速度

図-2 に地表面における加速度波形を示す。図中には熊本地震で観測された地表面加速度波形のうち、検討対象地点に最も近い嘉島町上島の震度計の記録を比較して示す。解析結果は観測記録に比べ主要動の初期部分に大きな加速度が見られる。一方、加速度波形の継続時間や最大値はほぼ同じである。そのため、地震応答解析は入力地震動に益城町の記録を使用しているが、秋田配水場の実挙動に近い結果が評価できていると考えられる。

### 4.2 せん断ひずみ分布

図-3 に最大せん断ひずみの深度分布を示す。G.L.-15m 以浅に 1%を超えるような大きなせん断ひずみ

が発生している。この範囲の N 値は低く、強い地震動によって大きなせん断ひずみが発生したと考えられる。ただし、この層はポンプ建屋基礎の支持層よりも浅いため、地表面の沈下には関係した可能性はあるが、ポンプ建屋の傾斜被害についての関連性は低いと考えられる。

G.L.-28m から G.L.-36m の火山灰質粘性土層にも 0.3%程度のせん断ひずみが発生している。またそれ以外の層にも 0.05%程度と小さいもののせん断ひずみが発生している。そのため、ポンプ建屋の傾斜を引き起こしたと考えられる杭の支持層と取水層との間の圧縮(沈下)は特定の層で集中して発生したのではなく、小さな圧縮ひずみが全体にわたって発生した可能性も否定できない。

## 5. まとめ

解析結果より、地盤に生じたせん断ひずみは 1%を超えたため<sup>6)</sup>、今後非線形解析手法を用いて解析精度の向上を図り、秋田配水場のポンプ建屋の被害原因についてさらに解明していく予定である。

## 謝辞

秋田配水場の地盤調査結果は熊本市上下水道局に提供いただきました。

## 参考文献

- 1) 土木学会：地震被害調査シリーズ No. 1, 2016 年熊本地震被害調査報告書, 土木学会, 2017.
- 2) Kazuo KONAGAI, Masataka SHIGA, Takashi KIYOTA, Takaaki IKEDA: Ground deformation built up along seismic fault activated in the 2016 Kumamoto earthquake, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A1 (Structural Engineering & Earthquake Engineering (SE/EE)), Vol. 73, No. 4, I\_208-I\_215, 2017.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2017.
- 4) 吉見雅行, 後藤浩之, 秦吉弥, 吉田望: 益城町市街地の 2016 年熊本地震被害集中域における非線形地盤応答特性, 平成 28 年度京都大学防災研究所研究発表講演会梗概集, A05, 2017.
- 5) 吉田望: DYNEQ A computer program for dynamic response analysis of level ground by equivalent linear method, 東北学院大学工学部, [https://www.kiso.co.jp/yoshida/Japanese\\_02.html](https://www.kiso.co.jp/yoshida/Japanese_02.html)
- 6) 西本聡, 池田隆明: 異なるレベルの入力地震動を用いた地盤の地震応答解析による等価線形解析法の適用性に関する検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 68, No. 4 (地震工学論文集第 31-b 巻), I\_383-I\_394, 2012.