

2021年福島県沖地震におけるLNGタンク基礎版下の地盤沈下について

清水建設株式会社 正会員 ○橋本 三智雄
 清水建設株式会社 正会員 若林 雅樹
 石油資源開発株式会社 非会員 宮野 隆典

1. はじめに

本文は、2021年2月13日に発生した福島県沖地震¹⁾において石油資源開発(株)の相馬LNG基地内で生じた液状化に伴う地盤沈下によりPCLNG地上タンク(以下、LNGタンク)下に発生した空洞の調査結果を報告するものである。福島県沖地震はマグニチュード7.3、最大震度6強の地震であり、相馬LNG基地内地震計においても震度6弱が観測され、相馬LNG基地内では液状化被害が確認された。写真-1~3にLNGタンク周辺地盤の液状化被害状況を示す。No.1LNGタンク(2018年竣工)、No.2LNGタンク(2020年竣工、福島ガス発電(株)資産を石油資源開発(株)で管理運用)とも杭基礎形式であるため、液状化に伴う地盤沈下が発生するとタンク基礎版下面に空隙が生じるが、空隙調査の結果、設計段階で想定した許容沈下量以下であることが確認された。

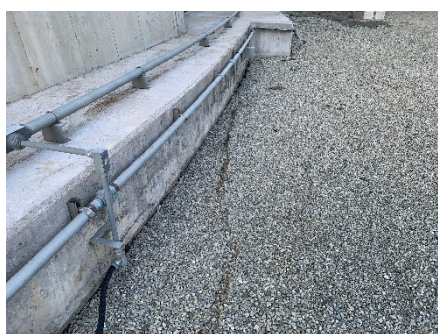


写真-1 ひび割れ状況(2/14撮影) 写真-2 ひび割れ状況(2/15撮影) 写真-3 地盤陥没状況(2/16撮影)

2. LNGタンク、ブリージングタンク基礎の設計

LNGタンクの設計では地震時の液状化をある程度まで許容し、その影響を杭で抵抗する合理的な設計とした。レベル2地震動に対する液状化の程度は土質定数の低減係数2/3を目標とし、No.1LNGタンクの地盤はこれを満たしていたが、No.2LNGタンクにはサンドコンパクション工法による地盤改良(改良率6%)を行った。レベル2地震動に対しNo.1LNGタンクで最大75mm、No.2LNGタンクで最大200mmの地盤沈下が予測されたため、突出杭としてレベル2耐震性能評価を満足できる最大沈下量(許容沈下量)を算出した。その結果、許容沈下量はNo.1LNGタンクで473mm、No.1ブリージングタンクで3413mm、No.2LNGタンクで471mm、No.2ブリージングタンクで2776mmとなった。なお、設備運用中に数度の地震により地盤沈下による空隙が累積し、許容沈下量を超える可能性もあることから、発生した空隙にグラウトを注入することにより杭の突出長を低減できるように、LNGタンク基礎版下地盤内にグラウト注入管を予め設置した。

3. LNGタンク、ブリージングタンク基礎版下の空隙調査

LNGタンク基礎版脇で確認された地盤の陥没(写真-3)は、LNG基礎版下において液状化による地盤沈下が発生し、その空隙に雨水などと共に土砂が流入したことによるものと推定された。そこでLNGタンク周辺で地盤が陥没している箇所を対象に空隙調査を行った。調査位置は設計時の予測沈下量および陥没深さが大きい地点近傍とし、基礎版脇を掘削し目視および基礎版端部の沈下量の計測を実施した。図-1にNo.1LNGタンク周り、No.2LNGタンク周りのボーリング調査結果に基づく設計時の予測沈下量算出位置(図中○印)、地震直後の陥没調査にて陥没深さが比較的大きかった位置(図中●印)、空隙調査位置(図中★印)を示す。また、表-1に予測沈下量と陥没深さ、実測沈下量の関係、写真-4に基礎版下の空隙状況を示す。

キーワード PCLNG地上タンク、福島県沖地震、レベル2地震、液状化、突出杭

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 清水建設株式会社 TEL03-3561-3896

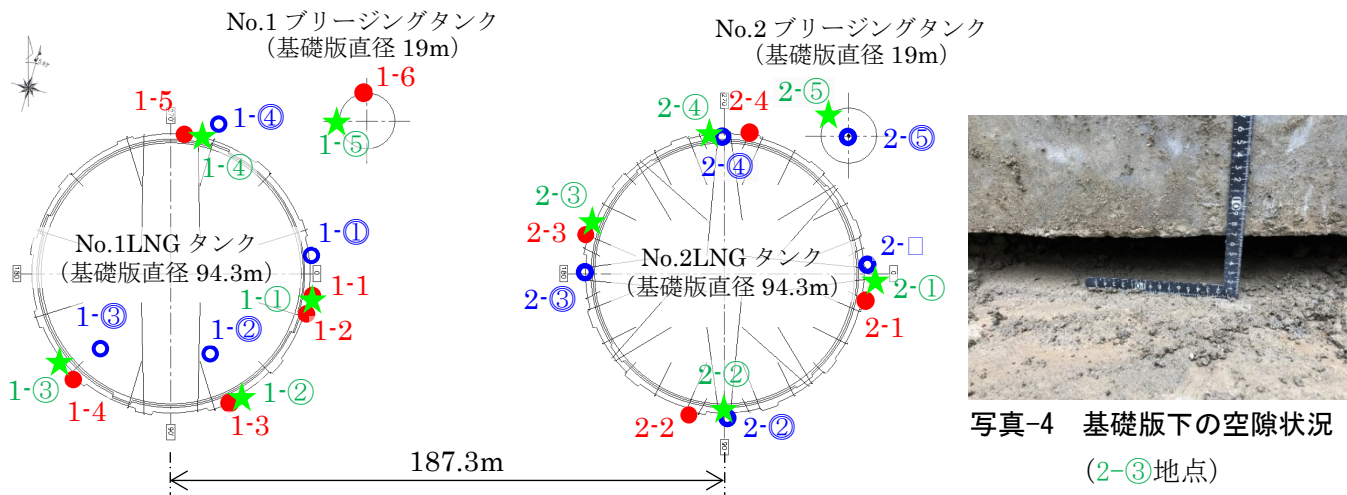


図-1 LNG タンクおよび調査位置図

表-1 予測沈下量と陥没深さ、実測沈下量一覧表

沈下量予測位置	凡例	No. 1LNG タンク周り					No. 2LNG タンク周り					
		1-①	1-②	1-③	1-④	—	2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	
予測沈下量(mm)	○	67	75	35	7	—	200	169	78	95	157	
陥没計測位置	●	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	2-1	2-2	2-3	2-4	—
陥没深さ(mm)	●	240	180	150	200	130	230	200	370	220	430	—
空隙調査位置	★	1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	—
実測沈下量(mm)	★	50	15	25	20	90	20	65	65	55	35	—

4. 復旧対策

空隙調査の結果、各 LNG タンク、各ブリージングタンク共に、実測沈下量は許容沈下量に対して小さく、再度同程度の地盤沈下が生じても許容沈下量に対し裕度があり、現時点では突出杭として十分な耐震性能を保有しており、基礎版下のグラウト注入は不要と判断した。また、基礎版下に表層の碎石が流入していることが確認されたことから、基礎版脇の地盤に陥没が生じたメカニズムは、図-2 に示す通り地盤沈下に伴い基礎版下に周辺土砂が流入することにより発生したことが確認された。陥没処置として、基礎版下の空隙が大きかった箇所（1-6 周辺）は、基礎版下及び外周部に土嚢袋を設置し、その表層を碎石にて埋め戻し、空隙が小さかった箇所（1-6 以外）は陥没部を碎石にて埋め戻すこととした。また、今後同程度の大規模地震が発生した場合を想定し、基礎版脇に沈下板を各タンクに 1ヶ所ずつ設置した。これにより地震発生時の沈下量が計測でき、杭の許容突出長の半分を警戒値として計測管理を実施することとした。

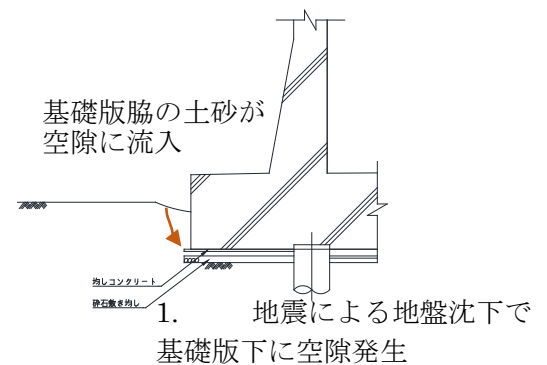


図-2 基礎版脇の地盤陥没メカニズム

5. 結果と考察

図-3 に予測沈下量と実測沈下量を示す。予測沈下量、実測沈下量ともに No. 1 LNG タンクに比べ No. 2 LNG タンクのほうが大きい。これは埋立て時期、埋立て土の性状によるためと考えられる。また、ほとんどの位置で予測沈下量に対し実測沈下量は小さく、レベル 2 地震動に対し安全サイドで設計できていたと考えられる。

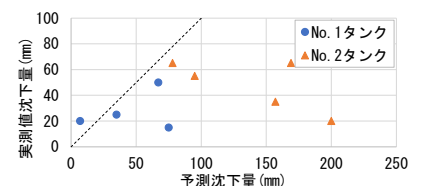


図-3 予測沈下量と実測沈下量

参考文献

- 1) 気象庁：令和3年2月13日23時08分頃の福島県沖の地震について－「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について（第89報）－