

L2 地震動タイプに応じた支持杭の損傷過程の違いが及ぼす球形ガスホルダーの沈下挙動への影響

(一社)GEOASIA 研究会 ○ 正会員 高稲敏浩
名古屋大学 正会員 野田利弘, 中井健太郎
東京ガス(株) 正会員 小林実央, 小口憲武
(公財)地震予知総合研究振興会 正会員 浅岡顕, 大保直人

1. はじめに

沖積低地エリアに設置された球形ガスホルダーの基礎地盤に対して、加速度応答スペクトルがほぼ等しい直下型と海溝型の 2 種類のタイプの L2 地震動を入力し、ガスホルダーの耐震性、特に沈下について検討を行った。検討には、水～土連成有限変形解析¹⁾²⁾を用いた。

2. 解析条件³⁾

図 1 は解析に用いた 2 種類の地震動の時刻歴波形およびスペクトルを示す。直下型の「兵庫県南部地震東神戸大橋における NS 方向地震記録」および海溝型の「1993 年北海道南西沖地震における室蘭港 NS 方向地震記録⁴⁾」を、JGA 指針⁵⁾の地震動設定方法に従い、図 2 の工学的基盤加速度スペクトルで振幅調整したものである(以降、LNG 指針波、および室蘭港 FIT 波と呼ぶ)。

図 3 は検討対象地盤を示す。深さ 2~8m に N 値 10 以下の緩い砂層、その下 15m にわたって N 値がほぼゼロの軟弱な粘性土層が存在する地盤である。図 4 は解析に用いた有限要素メッシュである。地盤の各材料定数および状態量は対象地点から採取した不攪乱資料の各種力学試験を SYS Cam-clay モデルで再現することで決定した。ガスホルダーは、等価な剛性を使用し相系線形弾性体でモデル化した。また、PC 杭については、「杭なし」では、杭が地震中に全損傷し、支持機能を喪失することを想定した杭をモデル化しない場合、また「杭あり」では、杭をバイリニア型の弾性体とし、破壊 M-N 線図に基づき、杭の損傷を考慮するようにモデル化した場合の 2 ケースについて、上記 2 種類の地震動を用いて検討を行った。

3. 解析結果

図 5 は「杭なし」、「杭あり」各ケースのガスホルダーのフーチング上の沈下量、および層別の沈下量の時間歴を示す。直下型の LNG 指針波では、「杭なし」、「杭あり」ともにほぼ同様な沈下挙動を示しているが、一方、海溝型の室蘭港 FIT 波では、「杭なし」、「杭あり」の沈下挙動は大きく異なり、地震終了時に約 0.3m

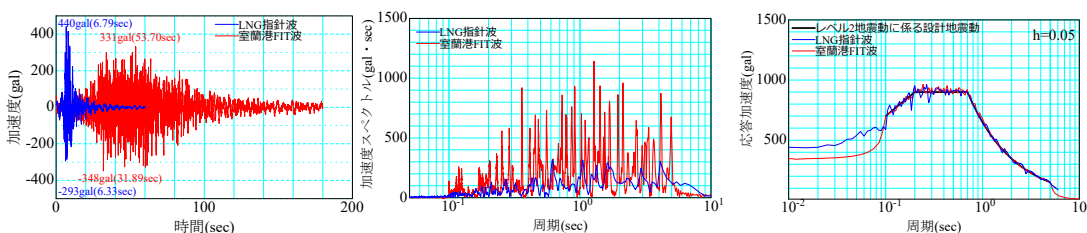


図 1 地震動

図 2 加速度応答スペクトル

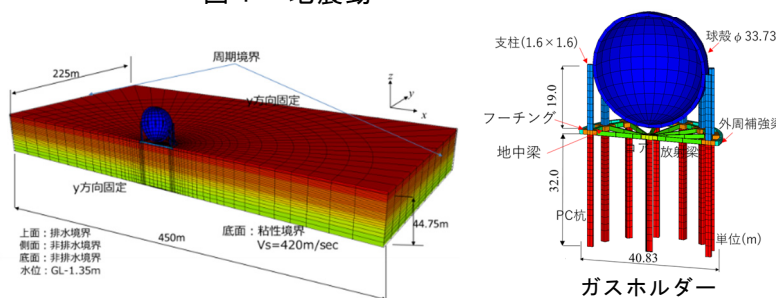


図 4 3次元 FE メッシュ

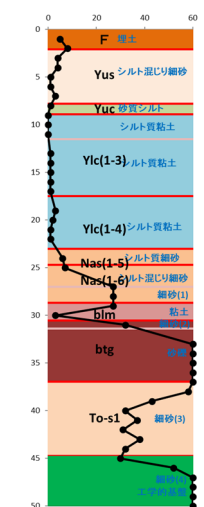


図 3 柱状図

有限要素法, 3次元, 動的, 液状化, 杭, 地震波

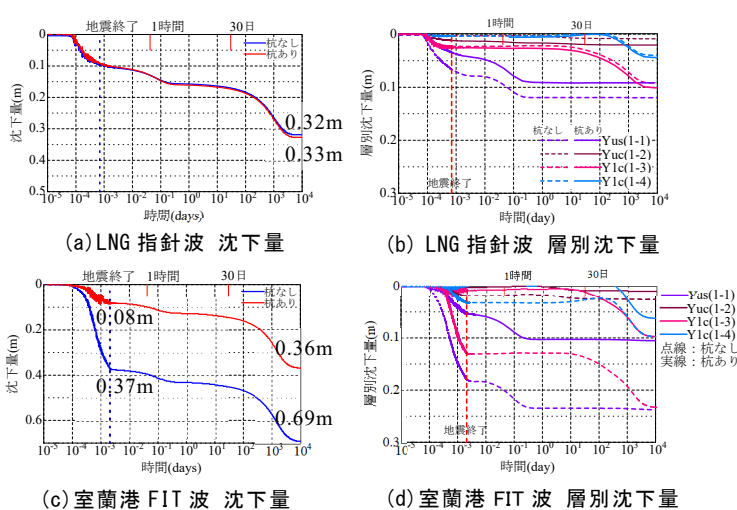


図5 地震中～地震後の沈下量・層別沈下量の比較

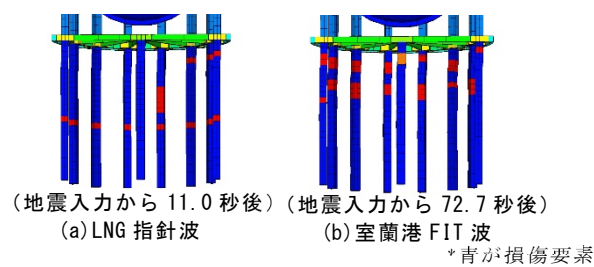


図6 杭損傷の最終状況

の沈下量の差となっている。
 層別沈下(図5(d))において、「杭あり」では、地震中の細砂層(Yus)、および粘性土層(Ylc)の沈下が抑制されていることが確認できる。図6に杭の最終の損傷状況を示す。地震中にはほぼ全域で損傷したが、その進展については、LNG

指針波では地震入力後7.0秒～11.0秒のわずか約4秒間で損傷したのに対し、室蘭港FIT波では12.0秒～72.7秒の約60秒間で徐々に損傷した。こうした杭の損傷の進展の違いが、沈下挙動の差を生じさせた要因であることが、地震終了後の圧密終了時のせん断ひずみ分布(図7)、および地震中に生じた最大の平均有効応力減少比分布(図8)からも確認できる。すなわち、LNG指針波では、「杭なし」、「杭あり」ともほぼ同様なせん断ひずみ分布を示しているが、室蘭港FIT波では、「杭なし」ではガスホルダー基礎下のYus層と、Ylc層でせん断ひずみが多い、一方、「杭あり」では、Ylc層でのせん断ひずみは小さく、Yus～Ylc層にかけて杭周辺でせん断ひずみが大きくなっており、ホルダー荷重が杭に伝達されていると判断できる。また、図8では、室蘭港FIT波では、LNG指針波に比べるとYus層以深での平均有効応力の低下が大きく、すなわち剛性低下が大きく、さらに、「杭あり」の場合杭周辺の剛性低下が抑えられていることが確認できる。

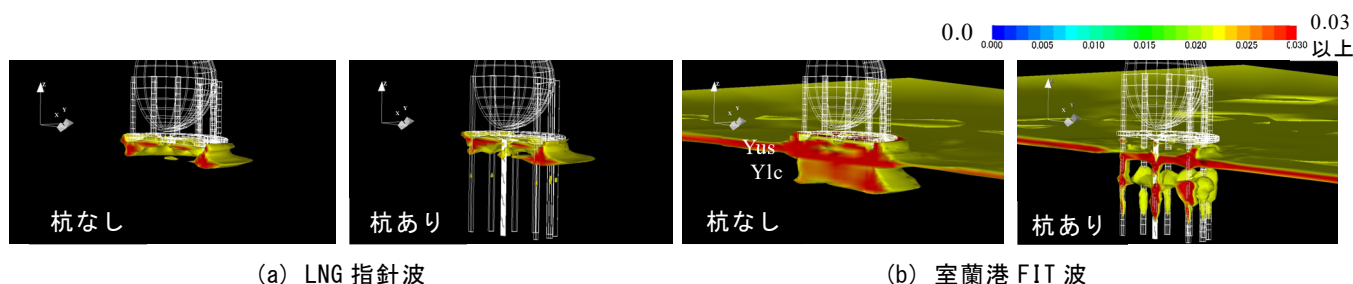


図7 地震後圧密終了時のせん断ひずみ分布(0.022以上を表示)

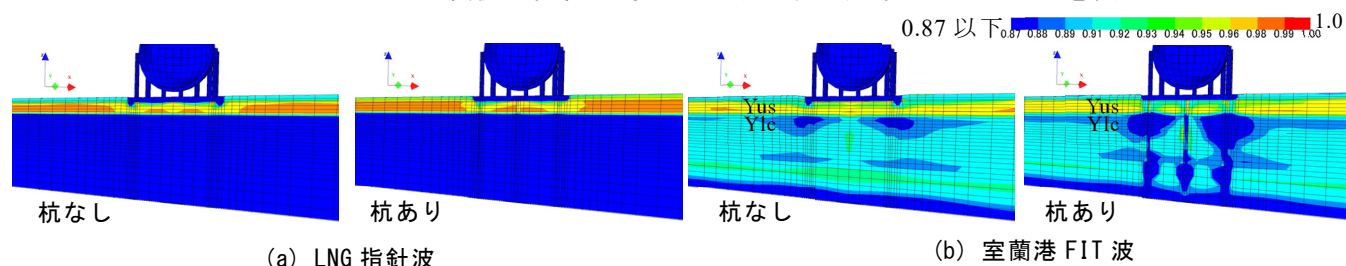


図8 最大平均有効応力減少比分布(地震中)

4. おわりに

基礎杭が地震中に損傷が徐々に進行することで、杭の存在がYlc層(粘性土層)の剛性低下を抑制することで、たとえ地震中に杭が損傷しても沈下が抑えられることを示した。

参考文献: 1) Noda et al.: Soil-water coupled finite deformation analysis..., S&F, 48(6), pp.771-790, 2008. 2) Asaoka et al.: An elasto-plastic description of two distinct..., S&F, 42(5), pp.47-57, 2002. 3) 小林ら: 最大級の地震による激甚シナリオを..., 土木学会論文集 A2, Vol. 74, No. 2, pp.I_693-I_703, 2018. 4) 国土交通省 港湾地域強震観測 5)(一社)日本ガス協会: 製造設備等耐震設計指針, 2012.