

砂地盤の液状化現象 と地層構成

塩井幸武¹, 五瀬伸吾², 松尾隆志², 橋詰豊³

¹正会員 工博 八戸工業大学教授 構造工学研究所(〒031 青森県八戸市大字妙字大開 88)

²正会員 工修 建設技術研究所 道路交通本部(〒103 東京都中央区日本橋本町 4-9-11)

³学生員 八戸工業大学 土木工学科(〒031 青森県八戸市大字妙字大開 88)

砂地盤の液状化現象の発生原因は液状化層の下の歪追従性の高い、厚い粘土層やシルト層の存在にあるとして三陸はるか沖地震における液状化発生、非発生地盤での応答計算をした。

激しい液状化の被害を受けた八戸港の第2工業港はシルト層を含む約400mの厚い堆積層の上であり、噴砂が散見された程度の第1工業港は岩盤上の約50mの砂層の上にある。両者の基岩に八戸工大の下の古生層での地震波と神戸海洋気象台の記録を入力し、重複反射理論で応答計算を行った。その結果、第2工業港での歪は1.2%,4.2%で、第1工業港では共に0.1%となり、中間層における波動の増幅が液状化現象に大きく影響していることが判明した。

Key Words : liquefaction, sand boil, stratum, multi-reflection theory, response analysis

1. 概要

大地震の度に沖積層の砂地盤で液状化現象がみられる。液状化現象は地震振動による砂地盤のせん断変形で過剰間隙水圧が生じて砂粒子間の有効応力が減少するために発生すると考えられる。このせん断変形も一種の仕事量と考えると、これに対応するエネルギーの出所を明らかにする必要がある。

一般に波動は堅い媒体から柔らかい媒体には移りやすいが、柔らかい方から堅い方へは移りにくく、反射して柔らかい媒体の中に蓄積されることになる。そのために堅い地殻からの地震波動は比較的柔らかい地表面付近の地層に蓄積されやすい。大きな地震で大量の波動エネルギーを吸収した柔らかい地層はそれ自体の固有周期で振動することになる。その上の地層が堅固であれば2次の振動モードで、弱ければ1次のモードで揺れることになる。また、その地層が

厚いほど大きなエネルギーを蓄えることができる。この蓄積されたエネルギーが上層の飽和された砂層にせん断変形を与え、それによって液状化現象が発生することになる(図-1)¹⁾。

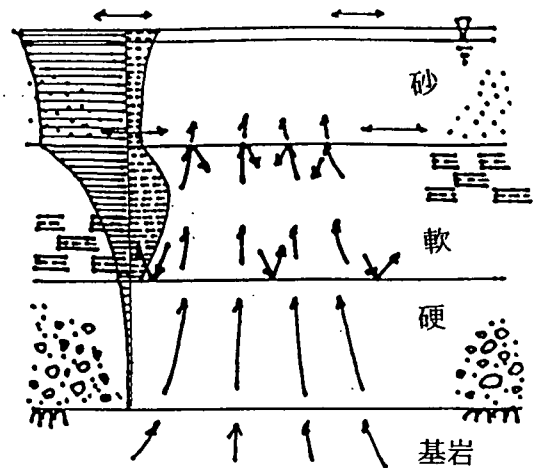


図-1 液状化発生メカニズム

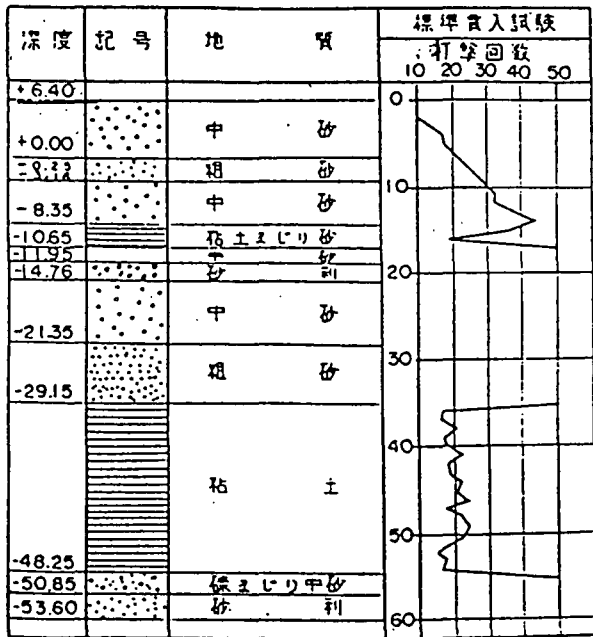


図-2 福井盆地の地盤柱状図の一例

このような観点から過去の地震で液状化現象の生じた地盤を調べ直してみた。その結果、ほとんどが例外なく、粘土層やシルト層のような変形に対して歪み追従性の高く、柔らかい地層が下部に厚く分布していることがわかった。福井盆地の地盤柱状図の一例を図-2に示す。

以上の考え方にしたがって液状化現象のメカニズムを三陸はるか沖地震(1996)における八戸港の事例で検証することとする。

2. 八戸港における液状化現象

1996年12月28日に発生した三陸はるか沖地震は八戸沖200kmを震源とするマグニチュード7.5

の大地震で、八戸市内では震度VI、最大加速度675galであった。

八戸港における液状化現象は図-3にみるとおり、第2工業港の方で顕著であったが、第1

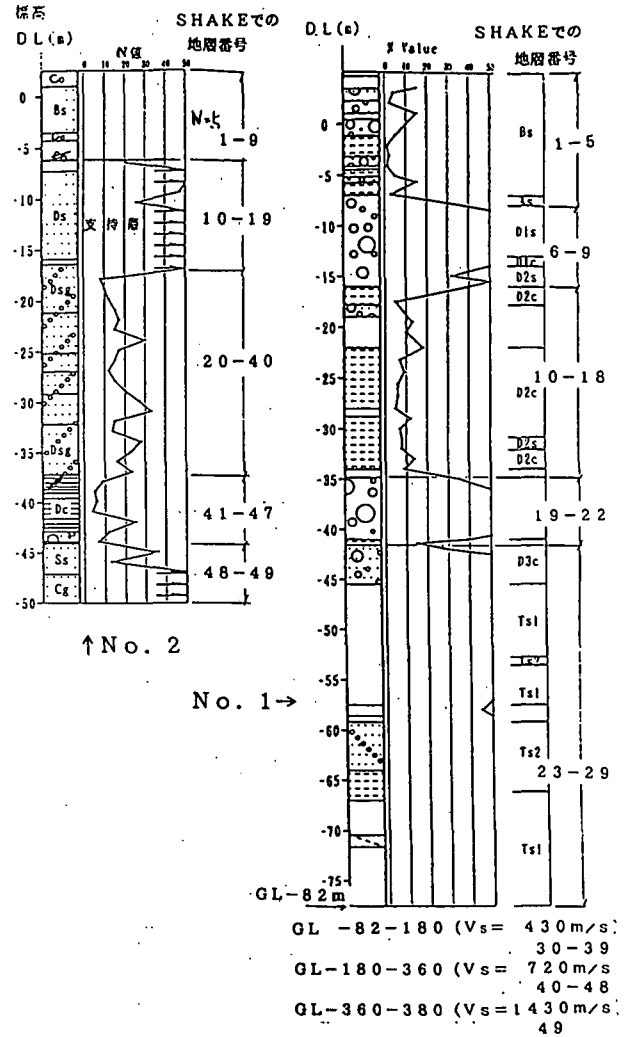


図-4 ①地点、②地点の地層柱状図

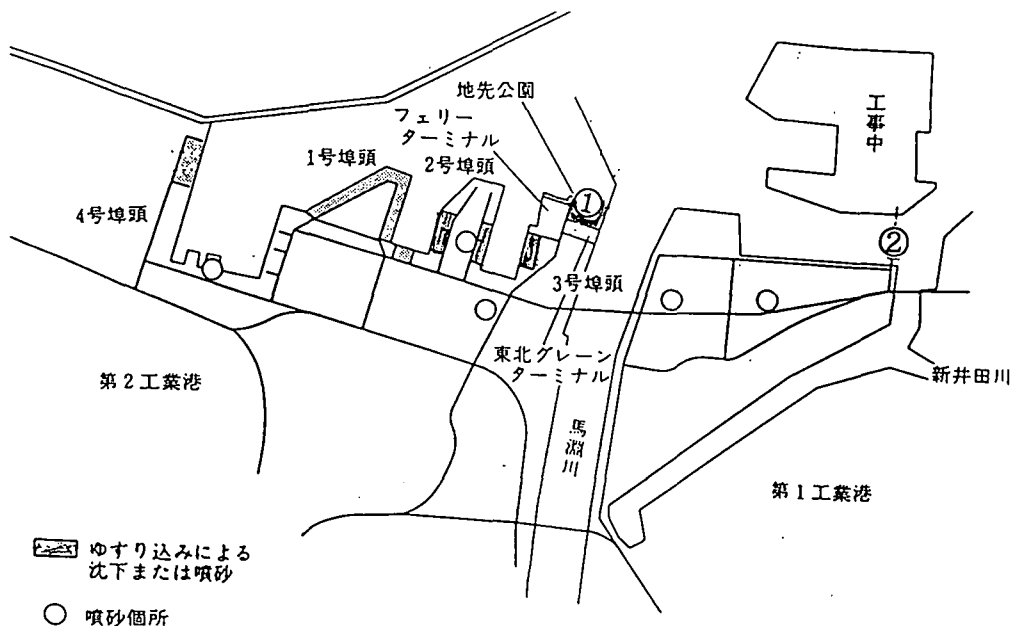


図-3 八戸港における液状化の影響箇所

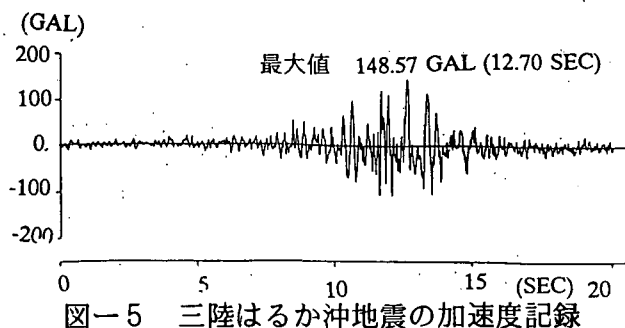


図-5 三陸はるか沖地震の加速度記録

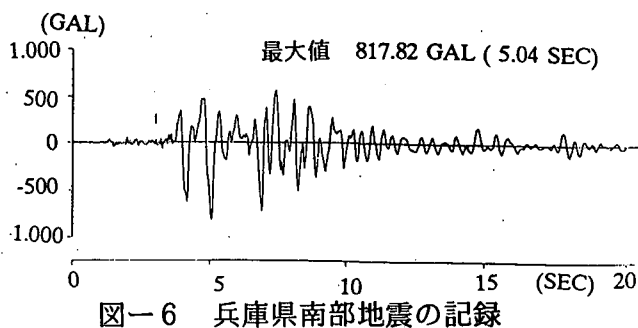


図-6 兵庫県南部地震の記録

工業港の方では数カ所に小さな噴砂がみられた程度であった。①地点は液状化現象の激しかった埋立て地盤で、基岩は物理探査で約-400mと推定されている。図-4のNo.1は同地点の表層地盤の地層構成で沖積の堆積層である。②地点はポートアイランドへの取付部で液状化現象のほとんどみられなかった砂地盤で、基岩は約-50mにある。地層構成は図-4のNo.2に示す²⁾。

3. 八戸港の地盤における応答計算

八戸港の①、②地点の地盤における地震波応答計算を行った。入力波は三陸はるか沖地震の八戸工業大学の地下-20mの基岩（古生層）中の記録（図-5）と、兵庫県南部地震にお

ける神戸海洋気象台の記録（図-6）である。応答計算は地震波を基岩に入力し、重複反射理論に基づく1次元計算（SHAKE）である。各地層は図-4の右側に示すように番号を付して区分し、各層のせん断波速度は現地の実測記録と道路橋示方書による方法で推定した。

応答計算から各地層の最大絶対加速度、最大絶対速度、最大絶対変位、最大せん断応力、最大せん断ひずみ、せん断波速度、減衰定数を算出したが、そのうち、最大せん断歪の深度別分布を図-7、図-8に示す。

の最大せん断歪が大きくなる。-10m付近の砂礫層が変形を抑制しても上下の粘性土層でひず

①地点では地表に近くなるほど、各地層

FAR-OFF-SANRIKU, 1994 MAIN E-W
ボーリングNo. 1

FAR-OFF-SANRIKU, 1994 MAIN E-W
ボーリングNo. 2

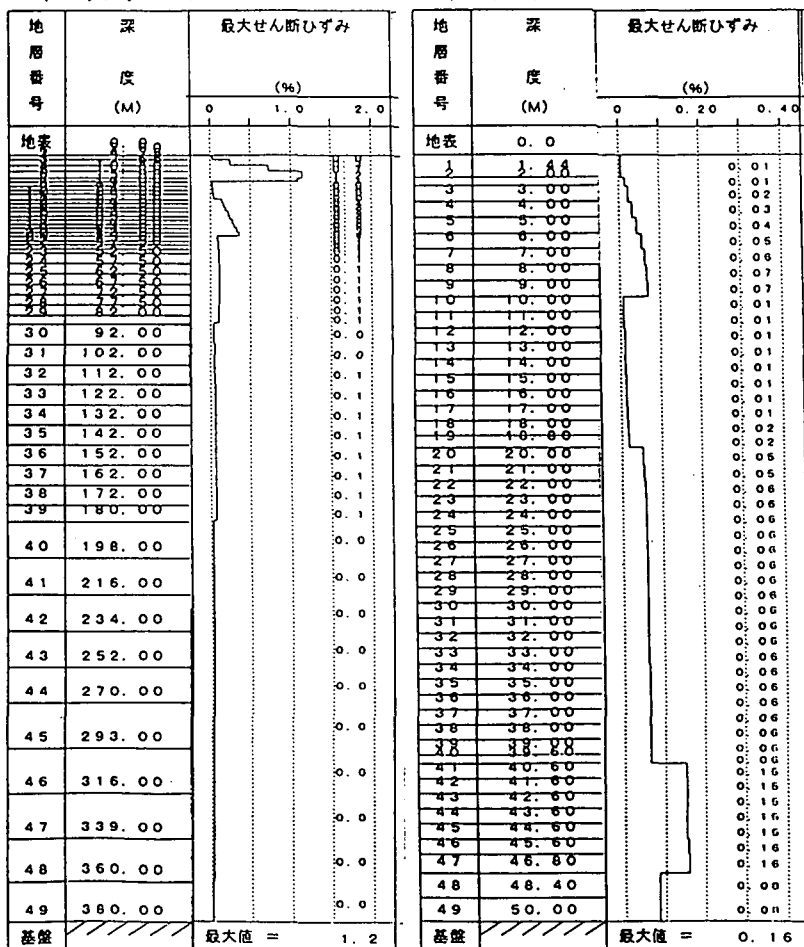


図-7 八戸工業大学における岩盤中(-20m)の三陸はるか沖地震の記録による地盤ひずみの最大応答値の深度分布

KOBE N-S 9000 180.0 94001 Kobe
ボーリングNo. 1 Ocean Kis

KOBE N-S 9000 180.0 94001 Kobe
ボーリングNo. 2 Ocean Kis

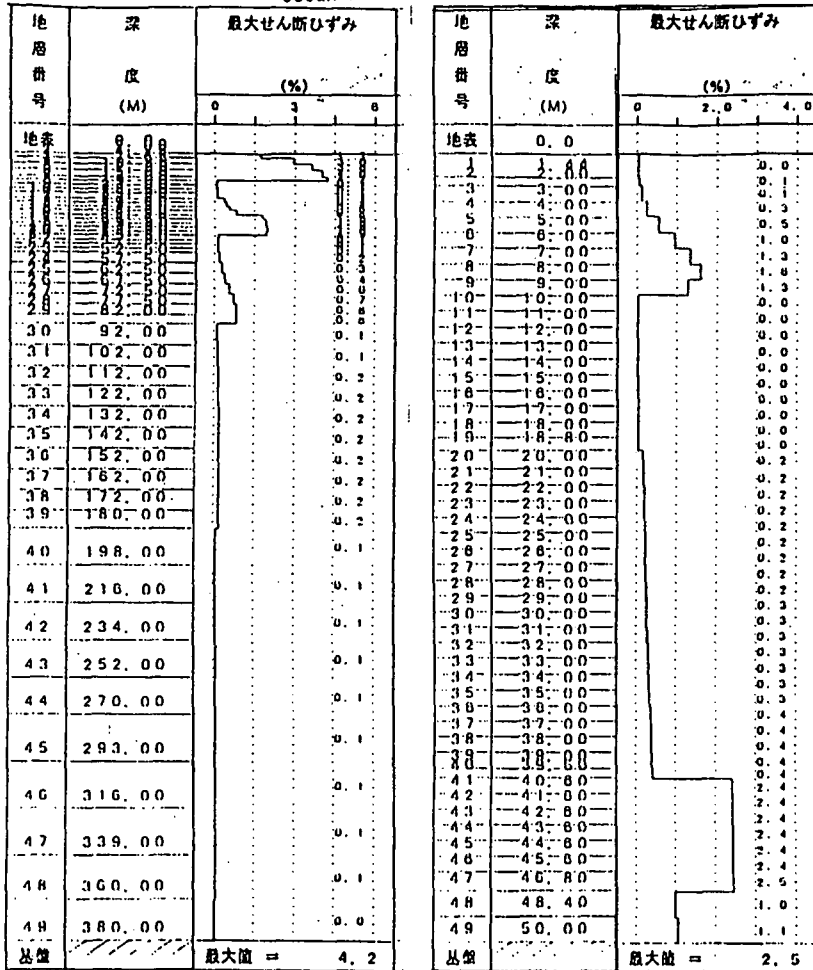


図-8 神戸海洋気象台における兵庫県南部地震の記録による地盤ひずみの最大応答値の深度分布

みを拡大していることがわかる。三陸はるか沖地震波では最大1.2%、地表面で0.25%となり³⁾、兵庫県南部地震波では最大4.2%、地表面で1.5%である。明らかに液状化する水準である。兵庫県南部地震波は818galのままで入力したが、-82mまでは増幅が微少で-16m~-34m間で約2%まで増幅している。三陸はるか沖地震波では0.35%になっている。

②地点では40m付近で三陸はるか沖地震波では0.16%、兵庫県南部地震波では2.5%のひずみになっているが、地表面では共にほぼ0%に下がっている。-10m付近の砂礫層の効果もあり、三陸はるか沖地震波では表層の下端で0.07%が最大のひずみであった。現実に液状化現象はみられなかった。近くにエネルギーを蓄え、振動を励起する地層がなかったことも理由になろう。

4. まとめ

以上の応答計算の結果、次のことが明らかになった。

(1) 基岩に入力した地震波動は粘性土などの軟(柔)らかい地層で大きく増幅し、そのひずみレベルは数%に及ぶものもある。

(2) 地表面近くの軟らかい地層の増幅は顕著で、その上の砂層を液状化せしめるのに十分なひずみレベルとなる。逆をいうと、基岩の上に砂層だけが堆積している場合は液状化現象が生じない可能性を示している。

(3) 地表面近くに堅固な砂礫層のような堅固な地層が存在すると地表付近のひずみの増幅はかなり抑制される。

今後は過去に大規模な液状化現象のみられた地域の地層を調べ、本論文で提唱している仮説の検証事例を重ねる必要がある。

参考文献

- 1) 塩井幸武、光家康夫、山本洋司、軟弱地盤上の砂層の流動化に関する模型実験、土木技術資料 21-10, pp.15-20, 1979
- 2) 塩井幸武、三陸はるか沖地震における液状化現象、第31回地盤工学研究発表会 517, pp.1033-1034, 1996
- 3) 塩井幸武、五瀬伸吾、松尾隆志、砂地盤の液状化現象に関する一考察、第32回地盤工学研究発表会