道路盛土直下への空気注入による液状化対策効果の実験的検討

西日本高速道路株式会社四国支社　正会員　○冨田雄一
正会員　紙田直充
愛媛大学大学院　正会員　岡村未対

１．はじめに

空気注入工法は，既設構造物直下の安価な液状化対策工法として実用化が期待されている[1)]．本研究では，既設道路盛土直下の液状化対策工法としての空気注入工法の効果を一連の遠心模型実験および ALID による残留変形解析によって検討した．

２．実験と解析概要

実験に用いた模型地盤を図１に示す．実験は４ケース行った。ケース１は空気注入を行わない無対策の地盤，ケース２は天端直下地盤を空気注入により不飽和化した地盤，ケース３はのり面直下地盤を空気注入により不飽和化した地盤，ケース４は盛土直下地盤を空気注入により不飽和化した地盤の実験である．

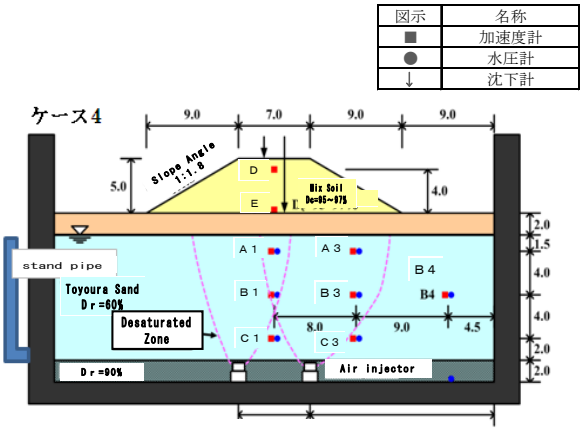

図１　模型地盤の概要図

模型の基礎地盤は豊浦砂を用いて，層厚 2cm の支持層（Ｄr=90％）を突き固めて作成し，その上にＤr=60％の液状化層を空中落下法で作成した．なお地盤内に加速度計および水圧計を図１に示す位置に設置した．その後，模型を真空槽に移動し，メトローズ 2％溶液(50cst)を用いて飽和した．飽和後の各実験ケースの飽和度[2)]は 99.8～99.7％であった．

盛土材料は混合砂(豊浦砂：カオリン粘土＝３：１(乾燥重量比))を用いた．盛土は専用の型枠に，締固め度Ｄc=95～97％となるよう突き固めて作成した．その後，盛土を基礎地盤の上に設置し型枠を除去し，底面及び天端に沈下計を設置した．

模型を動的遠心模型実験装置に設置し，空気注入により不飽和化する実験ケースでは流量計および圧力計を設置した．必要な機器を設置後，遠心加速度 40g 場において設定地下水位(GL.-2cm)まで排水し，ケース２～4 では土槽底面上に設置した空気注入口から空気を注入し，地盤の一部を不飽和化した．空気の注入圧力は注入口での静水圧と豊浦砂の空気侵入圧（3kPa）[3)] の和の圧力まで上昇させ，空気が入り始めたことを確認した後，さらに段階的に 5kPa 圧力を上昇させ，約 12 分間，空気を注入した．空気注入後にも段階的に圧力を下降させた.空気注入前後の地下水位差から求めた地盤中の残留空気体積と，目視観察による不飽和化領域の体積から飽和度を求めたところ，不飽和化された領域の飽和度は約 85%であった．空気注入後に水位が安定したことを確認し，原型スケールに換算して 75，225，275gal の３回の加振を行った．

遠心模型実験を対象とし，有限要素法に基づく静的解析法「ALID」を用いて液状化沈下解析を行い実験と解析結果の比較を行った．飽和域の液状化安全率については盛土や表層・液状化層等の上載圧に応じたＦＬ値を求め，不飽和域については液状化による液状化強度の増加を Okamura らによる空気の圧縮性による液状化強度の増加率の算出手法[1)]により算出して求めた．

３．実験と解析結果

実験結果は 40g 場における原型スケールに換算して述べる．

盛土、液状化、不飽和（香川県高松市朝日町４－１－３・TEL087-823-2140・FAX087-826-3057）

図２は加振終了時の過剰間隙水圧（275gal 加振時）と有効上載圧の比較である．ここでの有効上載圧は，各センサー直上の土層厚から単純に求めたものである．各測定地点のうち不飽和域の過剰間隙水圧は，深度に関係なく抑制されている．また飽和領域のうち不飽和領域の近傍にあるケース３の A1，ケース４の C1，C3 についても過剰間隙水圧が抑制されていることがわかる．

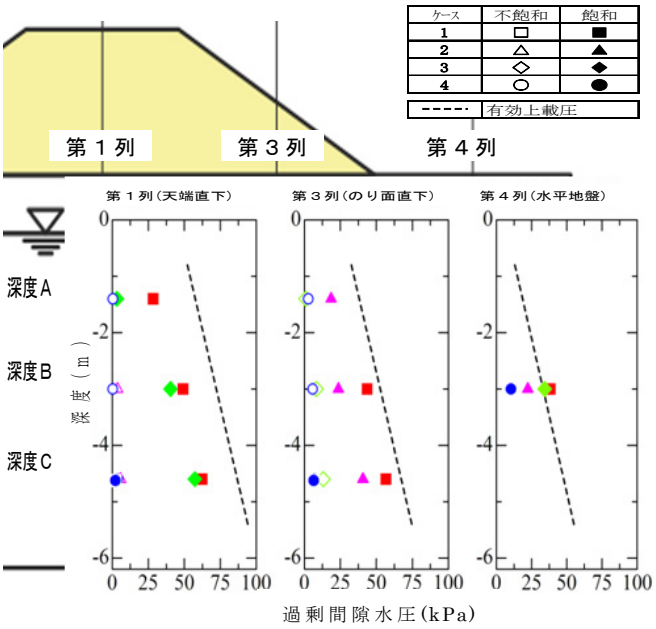

図２　過剰間隙水圧と有効上載圧の比較

写真１は実験後の写真である．全域飽和のケース１では液状化層が中心部から外側へ移動し盛土が沈下し水平地盤部に変形が確認できた．不飽和領域のあるケース２では，不飽和部の明らかな変形はなく，飽和領域では水平地盤部に変形が確認され，盛土のり面の中心付近でクラックも確認された．不飽和領域のあるケース３では，右側のり面のみ不飽和とした．左側水平地盤部などに変形が確認され，左側盛土のり面の中心付近でクラックも確認された．不飽和領域のあるケース４では，全域において明らかな変形は確認できなかった．ケース４は変形抑制効果も高いことが確認でき，空気注入点の間に部分的に飽和域があるが今回の実験条件による不飽和域間の飽和域はほとんど影響しないことが確認できた．これは近傍の不飽和化領域での過剰間隙水圧が小さいため，飽和領域からの間隙水のマイグレーションが生じたためであると考えられる．

図３はケース１，４の解析による変形図とＦＬコンター図である．実験と解析の整合がとれるように解析実施時には動的せん断強度比を 3.38 倍に補正した．ケース４の変形抑制効果は高く，盛土天端沈下量は実験値 0.008m 沈下し，解析では沈下しなかった．また不飽和域間の飽和域はほとんど影響しないことが確認できた．

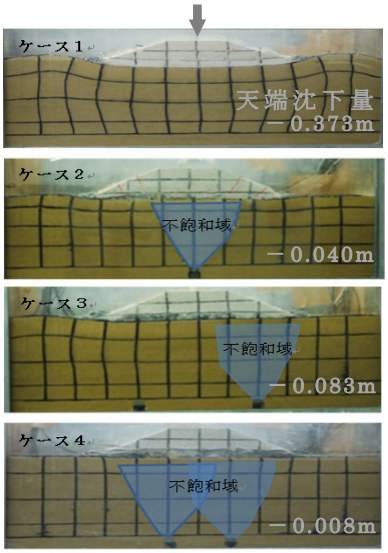

写真１　実験後

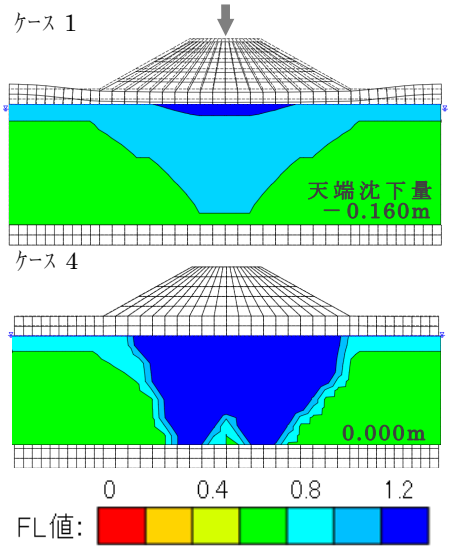

図３　変形図＆ＦＬコンター図

４．まとめ

空気注入によって不飽和化された領域では，顕著な間隙水圧抑制効果が確認されると共に，不飽和化領域近傍の飽和領域においても水圧低減効果が見られた．また実験と解析の比較を行い，今回の実験条件においては概ね同傾向の結果であった．これらのことから今回の実験条件では，道路盛土直下への空気注入による液状化対策効果が確認された．今後も検討精度の向上に向けた検討を重ねたい．

参考文献

１）岡村未対：空気注入による液状化対策の実用化に向けて，基礎工，PP66～69，2008.1

２）岡村未対，来山博昭：遠心加速度を利用した飽和地盤の作成法と飽和度計測法に関する研究，土木学会論文集，64（3），2008

３）相原聡，岡村未対，友金嘉生：基礎地盤の不飽和化による盛土の液状化対策効果の検討，地盤工学会四国技術研究発表会，2009.11