

臨海部埋立地における適用可能な液状化対策技術の検討（その1）

港湾空港技術研究所

正会員 ○寺田竜士、小濱英司、菅野高弘

八千代エンジニアリング株式会社

正会員 国生隼人、渡辺健二、小山萌弥

1. はじめに

民間事業者等が所有する臨海部埋立地における液状化対策の現状として、診断対策に多額の費用と時間がかかる、対策に伴う生産レベルの低下・経済活動の低下、既設構造物（地中・地上）等により施工が困難、公共施設と異なり対策が事業者・所有者等に委ねられている、等の事由により、一部の重要施設を除いて対策が進んでいないということが挙げられる。そこで、既存施設に適用可能な地盤調査技術、液状化診断技術、液状化対策技術を開発し、効率的な対策や復旧活動支援を可能とすることで、事業者・所有者に対して液状化対策・耐震化を促すことを目的とした取り組みを開始した。その中で、液状化対策技術の開発として、主として地盤の締固めやセメント・薬液による固化といった対策方法に着目し、各種土質室内試験の結果を基に、様々な対策強度や対策範囲における地震応答解析や、大規模実証実験を実施し、それらの結果の評価をとおして適用可能な対策技術の検討に取り組んでいる。

今回、施設を供用しながら施工可能で、石油コンビナート施設等においても特に適用性が高いと考えられる薬液注入工法に着目し、対策コストの削減等をめざし、様々な対策強度（薬液濃度）における改良体の室内土質試験を行い、液状化特性に与える影響を確認した結果（本稿参照）と、その結果に基づき、石油コンビナート施設を対象に、様々な対策強度や対策範囲における地震作用による施設変形量について、FLIPを用いてパラメトリックスタディを行った結果（その2参照）を報告する。

2. 薬液注入工法の特徴

薬液注入工法は、当初は仮設時の止水等の目的でよく使用されていたが、十分な耐久性を有する薬液の開発により、恒久的な液状化対策としても利用されるようになった。工法概要は、ボーリングマシン等で改良対象箇所まで削孔を行い、そこに薬液の注入管を挿入後、土中の間隙に薬液を浸透注入し、間隙水をゲル状の薬液で置き換えるというものである。従って、ボーリングマシン等の比較的小さな機械のみでも施工可能であり、かつ斜め方向や、最近では曲がり削孔等も可能なことより、様々な施工制約をうける石油コンビナート施設の液状化対策工法として、適用性が高いと考えられる。一方で、薬液注入工法は、大型機械を使用して広範囲を一気に改良できるような工法と比較して工費が高価である傾向がある。ただし、工費のうち薬液の材料費が占める割合が高いことから、薬液濃度の低減ができれば、大幅なコスト削減も期待できると考えられる。

3. 改良体の室内土質試験結果

本検討では、液状化対策として実施される薬液注入工法のうち、代表的な工法として以下の2工法を対象とした。

- ・工法 A：浸透固化処理工法（標準薬液濃度 8～10%）
- ・工法 B：バルーングラウト工法（標準薬液濃度 4～10%）

表-1 に試験ケースの条件と、室内土質試験により求めた一軸圧縮強度、液状化強度（JGS0541-2009）の結果を示す。

なお母材として、宇部硅砂 6 号（ $F_c=0\%$ ）を用い、改良なしのケースとして、相対密度 $Dr=50\%$ に調整したものを使用した。

表-1 各ケースの液状化強度

ケース名		工法種別	薬液濃度 (%)	一軸圧縮強度 q_u (kN/m^2)	液状化強度 $R_{L20,5\%}$
薬液注入改良体	Case-1	A	2	36	0.243
	Case-2	B	3	53	0.285
	Case-3	A	3	67	0.347
	Case-4	B	4	102	0.382
	Case-5	A	4	82	0.460
	Case-6	B	5	154	0.503
	Case-7	B	6	207	0.692
Case-0		改良なし(宇部硅砂6号)			0.253

キーワード 液状化対策、埋立地、薬液注入工法、液状化強度、FLIP

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 (国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所

地震防災研究領域 耐震構造研究グループ TEL : 046-844-5058

試験結果より、液状化の基準として一般的な両振幅軸ひずみ5%となる繰返し回数で整理した液状化抵抗曲線(図-1上)では、Case-1~2といった薬液濃度が低いケースでは改良なしの場合とあまり変化はないが、それ以外のケースでは濃度に応じて液状化抵抗は増加した。一方、両振幅軸ひずみ10%となる回数で整理した場合(図-1下)はCase1でも改良なしの場合より液状化抵抗が顕著に増加している。これは液状化注入工法による改良体は間隙水圧や変形は大きくなるものの、粒子同士がバラバラにならず、流動化(大ひずみ)は生じにくいことによると考えられる。また、液状化強度と一軸圧縮強度の関係を整理したものを図-2に示す。ここで参考に各工法の技術マニュアル^{2,3)}に示される標準的な一軸圧縮強度と液状化強度の関係も示すが、浸透固化処理工法の試験結果は、マニュアルと概ね一致している。一方、バルーングラウト工法の試験結果では、強度が比較的大きいケースでマニュアルよりも液状化強度が低くなる傾向であった。

4. FLIP 解析に用いる改良地盤の液状化パラメータの検討

液状化特性試験の結果を用いて、FLIP に用いる改良地盤の液状化パラメータを要素シミュレーションにより設定した。フィッティングの目標値は両振幅軸ひずみ DA=5%の液状化抵抗曲線だけでなく、大ひずみ時の挙動も再現できるよう DA=10%の試験結果も対象とした。代表として Case-0,1,7 の要素シミュレーション結果を図-3に示す。改良体の場合、DA=5%と DA=10%の液状化抵抗曲線が大きく乖離するため、両試験結果を精度よく表現するパラメータを設定することは困難であった。本検討では、両試験結果の概ね中間をとるようなパラメータを設定し、FLIP 解析を実施することとした(その2参照)。しかしながら、液状化特性を精度よく表現することは地震時の施設挙動の予測において重要であることから、大ひずみが生じにくいといった改良地盤の特性を表現できるパラメータの設定は今後の課題である。

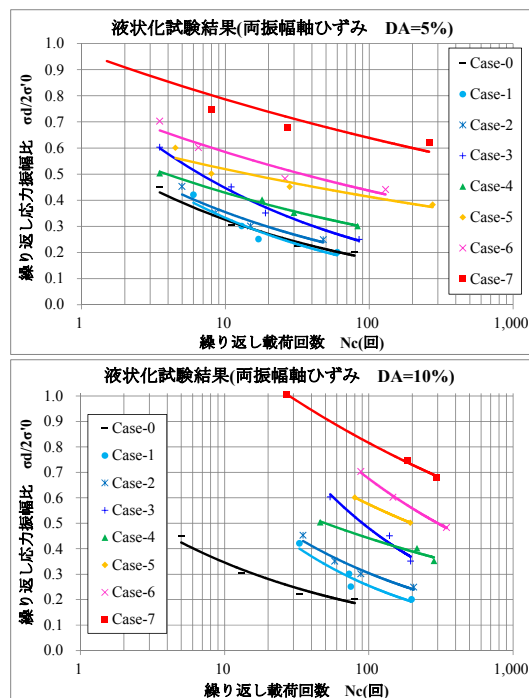


図-1 液状化抵抗曲線(上DA=5%, 下DA=10%)

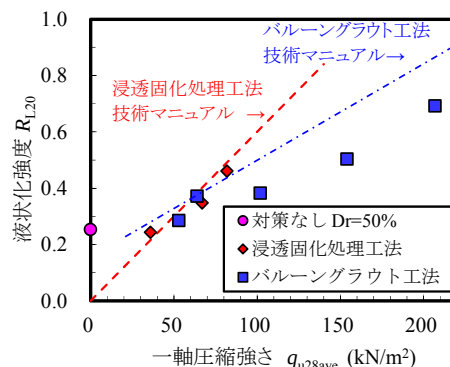


図-2 液状化強度と q_u の関係

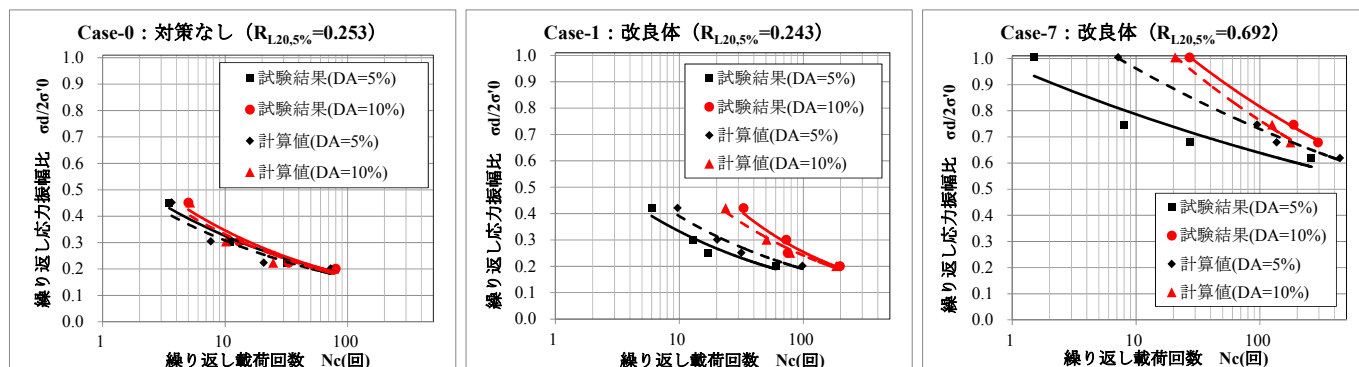


図-3 要素シミュレーション結果例(左Case-0, 中央Case-1, 右Case-7)

謝辞：本検討にあたり、室内土質試験を実施した応用地質(株)、三上武子氏、改良体の供試体を作製いただいた浸透固化処理工法研究会、バルーングラウト工法研究会に感謝の意を表します。

参考文献：2)浸透固化処理工法技術マニュアル(2010年版)：財団法人 沿岸技術研究センター、平成22年6月。

3)バルーングラウト工法—技術マニュアル—：バルーングラウト工法研究会、平成23年2月。