超多点注入工法による建築基礎の液状化対策

株式会社大木工務店　　藤原　辰成　　戸田　武司
日本基礎技術株式会社　○正会員　岡田　和成　　小幡　洋靖

１．はじめに

旧神戸生糸検査所の新館（**写真-1**）は昭和７年に完成し，阪神・淡路大震災を乗り越えて神戸の歴史を今に伝える歴史的建造物である．平成 21 年に神戸市が本施設を取得し，歴史的意匠を継承しつつ改修を行うことが決定した．現行制度（平成 12 年建築基準法及び同施行令改正）で求められている耐震性能を満足していないため，耐震改修に加えて地盤の液状化対策が計画された．既設構造物直下の施工であることから，基礎などの構造物に影響を与えることなく地盤改良を行える超多点注入工法を採用した．本稿では，施工概要と現場土を用いた室内配合試験および事後調査結果について報告する．

写真-1　旧神戸生糸検査所（新館）

２．施工概要

施設の概要は，地上 4 階・地下 1 階，建築面積 4338m^2，延床面積 11623m^2 である．詳細な地盤調査の結果，地震時に液状化を起こす恐れがあることが判明したため，液状化対策を行うこととなった．なお低層部の範囲は建物倒壊リスクが少ないため対象範囲外とした．**図-1** に改良断面図を示す．主な工事数量は，改良土量 29,641m^3（注入量 7,858m^3），削孔本数 510 本である．従来の薬液注入工法の特性として地盤隆起が生じる懸念があることから，既存建物および周辺環境に対する影響に配慮し，自動追尾型光波測距儀による動態観測を行い，さらに変位に応じて自動的にポンプを制御可能なＤＣＩシステム[1)]を用いて情報化施工を行った．**表-1** に注入時の変位管理基準を，**図-2** に計測機器設置平面図を示す．

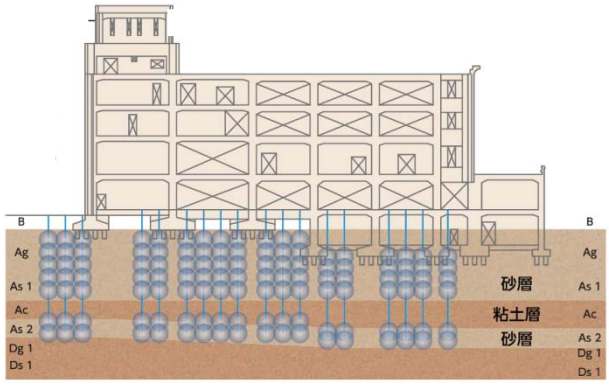

図-1　改良断面図

表-1　注入時の変位管理基準

計測対象	管理値		
	１次管理値	２次管理値	許容量
絶対変位量	15mm	20mm	30mm
相対変位角	1.0×10^{-3}rad	1.6×10^{-3}rad	2.0×10^{-3}rad
吐出量	80% 4.0L/分	50% 2.5L/分	一時停止

３．室内配合試験

改良対象地盤は分級された礫質砂（上層）および粘性土質砂（下層）であり，土粒子密度は 2.622 および 2.661，細粒分含有率は 6.4%および 32.25%である．液状化判定結果により，大地震時（350gal）における最大せん断応力比は 0.36 であった．地震動特性による補正係数 Cw=1 とすると，液状化安全率 FL が 1 以上となる液状化強度比 $RL_{20,DA5\%}$＝0.36 となる．室内配合強度は，超多点注入工法技術マニュアル[2)]に従い一軸圧縮強度の安全率 2 を考慮して $RL_{20,DA5\%}$＝0.57 とした．したがって，液状化強度比の安全率は 0.57／0.36＝1.58 となる．力学試験は，繰返し非排水三軸試験（JGS 0541），および一軸圧縮試験を実施した．薬液は，近接する構造物の重要性に鑑み，(a) 恒久性を

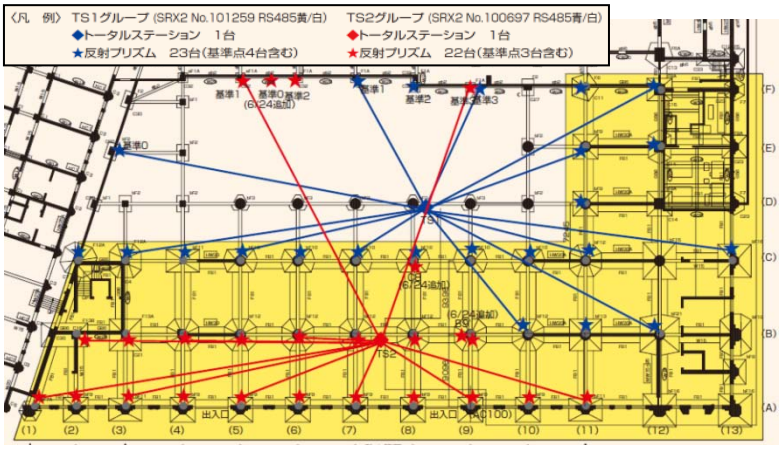

図-2　計測機器設置平面図

キーワード　既設構造物直下，耐震補強，薬液注入工法，超多点注入工法，繰返し三軸試験，液状化
連絡先　〒150-0031　東京都渋谷区桜丘町 15 番 17 号　日本基礎技術株式会社 技術本部 技術部　ＴＥＬ03-3476-5701

有する溶液型薬液であること，(b)金属イオン封鎖材によりコンクリート表面の遮蔽効果を有すること，の条件を満足する，活性シリカコロイドを主材とする恒久グラウト「パーマロックＡＳＦ-Ⅱα」を用いた．

室内配合試験の結果，シリカ濃度 5%以上において $RL_{20,DA5\%}$ ≧0.57 を満足することから，本施工における薬液シリカ濃度は5%と設定した．一軸圧縮強度と液状化強度比 $RL_{20,DA5\%}$の関係を**図-3** に示す．上層の qu- $RL_{20,DA5\%}$関係は下層の試験結果と比較して，液状化強度に対する一軸圧縮強度が低い結果となっており，粒度の悪い礫質砂においては一軸条件の力学試験は馴染まないことをうかがわせる．

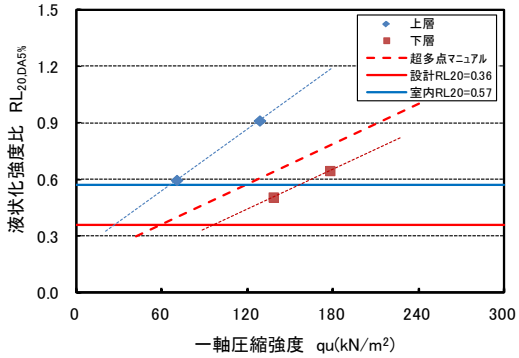

図-3　一軸圧縮強度と液状化強度比の関係

4．事後調査結果

(1)試験施工

適切な改良率の設定を目的として，改良対象範囲内において，試験施工と位置付けた 4 孔×2 箇所を先行して施工した．改良率は，70%および 90%の 2 ケースとした．注入に先立ち限界注入速度試験を実施した結果，注入速度 8L/分の範囲では浸透領域内であると推測され，土質のバラツキを考慮して最大注入速度 6.4L/分と設定した．

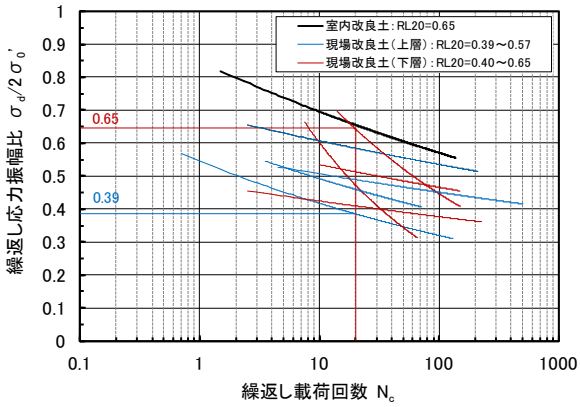

図-4　5%せん断ひずみ両振幅における繰返し回数と応力振幅比の関係

試験施工後に不撹乱試料を採取し繰返し非排水三軸試験を実施した結果，液状化強度比は70%改良域において 0.54～0.61，90%改良域において 0.7～1.04 であり，70%改良で設計強度を満足する結果が得られた．したがって，本施工における改良率は 70%と設定した．

(2)本施工

注入の進捗に伴い絶対変位で最大 5.7mm，相対変位で最大 2.18mm の隆起が確認されたが，一次管理値内であり構造物への影響は無かった．

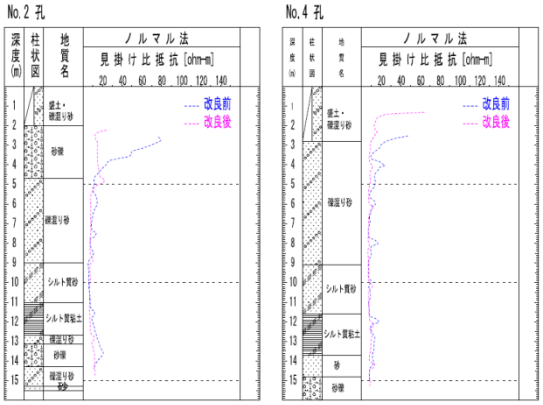

図-5　電気比抵抗の深度分布

本施工後も養生期間を経て，不撹乱試料を採取し繰返し非排水三軸試験を実施した．**図-4** に 5%せん断ひずみ両振幅（DA=5%）における繰返し回数と応力振幅比の関係を示す．現場採取土の液状化強度比は，上層 0.39～0.57，下層 0.40～0.65 を発揮し，目標値 0.36 を十分に満足した．

また，改良効果の連続性の確認を目的として，注入前後にボーリング孔を利用した電気比抵抗測定（ノルマル法）を 2 箇所で実施した．測定結果を**図-5** に示す．注入後は，注入前と比較して低下かつ平滑化されており，改良効果が連続的に発揮されていることを示す結果が得られた．

5．まとめ

・現場改良土の液状化強度比は 0.39 以上を発揮し，液状化に対して十分な改良効果が得られた．

・比抵抗測定結果から改良効果は連続的に発揮されていると判断でき，改良対象土量に対する改良率 70%の設定は，マスとして改良する場合においては妥当な数値であった．

・繰返し非排水三軸試験で配合設計をする場合の安全率を 1.58 としたが，礫質砂に対しては妥当な数値であった．

参考文献

１）日本基礎技術㈱：構造物直下の変位抑制型薬液注入工法（ＤＣＩ多点注入工法）カタログ，2012.3

２）液状化防止注入協会：超多点注入工法技術マニュアル，2012.2