

注入工法による設計施工技術と沈下修正

建築研究所 正 ○田村昌仁 (株)設計室ソイル 正 高田 徹
(株)設計室ソイル 若命善雄 三井ホーム(株) 岡野泰三
住友林業(株) 佐藤 隆 ミサワホーム(株) 松下克也

1.はじめに

注入工法は、岩盤注入を除くと、掘削工事における止水や強度増加を目的として利用されている薬液注入工法が主であるが、建設工事全体の低コスト化・超寿命化への指向や既存構造物の耐震補強などを目的とした技術開発が進められ、材料・工法・用途も拡大している。最近では、超微粒子セメント注入材などを用いた既存構造物の液状化対策、耐久性向上のための新材料、構造物の沈下修正のための開発なども各方面でなされている。このため、これまでの仮設目的ではない、本設構造物の安全性や機能を確保するための新たな設計・施工管理・品質確認が必要と考えられるが、未だに明らかでない部分が多いことから、従来からの仮設工事に対する設計法をそのまま踏襲し、十分な検討がなされていない部分も少なくない。本稿では、従来型の注入工事における設計施工技術と今後必要と考えられる設計及び管理技術などを述べるとともに、注入による沈下修正の現状や設計施工技術の合理化を目的とした各種実験結果などを紹介する。

2.注入工法の設計施工の現状と沈下修正

注入工法は、掘削工事における仮設を主目的としているため、施工時の安全性の確保が主目的であり、構造物の完成後は注入効果を期待せずともよく、本設構造物のための構造計算にもほとんど関与しない。このため、注入地盤の強度に関しても設計基準強度や許容応力度といった設計目標を掲げることもなく、詳細な確認を要しない状況でもある。建築工事を例にとると、山留め工事が仮設工事の典型であるが、山留めに係わる法令上の取扱いは、工事が安全でかつ周辺に悪影響を及ぼさないことのみが基本的に要求され、使用材料の特性や構造計算上の取扱いに関する規定は特になく、このため、設計者の判断で学術団体等の指針類に沿って設計施工がなされている。このように仮設工事の設計は施工が遅滞なく確実になされることが本来の要求性能であり、施工上の支障がない限り、目的に合致した設計施工がなされたと判断できるが、本設工事の場合は、耐久性の評価や地盤支持力や沈下など構造物の供用期間などを考慮した構造計算上の検討も重要となるので、注入地盤の設計上の取扱い方法を明確にしておくことが必要である。表 1 には、注入工法を仮設利用する場合と本設利用との違いをまとめたものである。

構造物に対する沈下修正の代表は、鋼管圧入工法によるアンダーピニングであるが、うち止め管理、継ぎ手構造、地下水位の高い場合に不適など、信頼性を追求すると技術的な課題もある。このため、簡便迅速な注入工法による沈下修正が利用されることも少なくないが、確実性に乏しく合理的な注入による沈下修正工法の開発が求められている。建物直下に限定した注入ができれば効果的であるが、周辺への影響や地盤環境に関する検討も重要である。設計に関しても、通常の注入のように土質に応じて注入率(例えば 30%)を定めることが多いが、地盤や沈下状況に応じた注入方法、注入順序、注入率などの設定方法の確立が今後必要である。

表 1 注入工法の目的と設計施工の考え方（日本グラウト協会¹⁾をもとに作成）

対 象	仮設（主に掘削時の補助工事）	本設構造物（液状化対策、沈下修正など）
注 入 目 的	掘削段階の止水・強度増加	支持地盤，許容支持力，沈下修正，沈下抑止補強
注 入 方 式	二重管ストレナ方式 / ダブルバッカ方式	左記とほぼ同じ【改良効果を高めるため、ダブルバッカ方式或いは新規注入方式で行われる場合が多い】
注 入 率	【砂質土】間隙率×充填率【粘性土】経験値、主に30～40%程度	改良強度と注入範囲における改良率の概念から解析および設計し、目的に応じた注入範囲、注入率が設定される。
注 入 範 囲	掘削時の外力（土圧＋水圧）に対して、改良土の粘着力で安全率が確保できる改良厚みを計算するなど	
効 果 確 認	各種試験があるが施工が支障なく進むことによる効果確認が多い。	CPT/SPT/サンプリングによる一軸圧縮強度試験等。
注 入 材 料	一次仮設 / 本格仮設注入材料（水ガラス系）	本設用注入材料（主に、セメント系、粘土系、特殊シリカ系）
改 良 強 度	【砂質土】改良粘着力C'＝40～100kN/m ² （原地盤N値による） 【粘性土】原地盤の粘着力＋10kN/m ² 、ただし最大40kN/m ² 透水性…1×10 ⁻⁷ cm/s	注入材・対象地盤によって目標強度は異なる。劣化・耐久性などに配慮した目標強度，設計基準強度，長期・短期の許容応力度の設定を要する。
耐 久 性	仮設期間内（1年以内～数年）止水・強度が保証されること	構造物の耐用年数にわたり地盤改良効果が保証されること
環 境	敷地境界外への逸走防止（主に観測孔を設置する）、敷地地盤の再利用に対する注入地盤の評価方法	
そ の 他	沈下修正として採用する場合は、注入範囲や注入順序などの検討のほか、注入後の地盤の支持性能，沈下抑制効果の耐用性や耐久性の評価，乱れによる二次的な沈下などを加味した検討も重要。注入材によっては、長期間に及ぶ溶出等，地盤環境上の配慮を要する可能性もある。	

キーワード：注入，沈下修正，設計，施工管理

連絡先：〒305-0802 茨城県つくば市立原1（独）建築研究所 国際地震工学センター内 TEL 0298-64-6663

3. 沈下修正注入に関する課題と原位置試験結果

沈下修正工事の注入完了基準は、「構造物を水平（許容変位量）に修正するまで」であり、設計注入量を注入して完了とする一般の注入工事とは考え方が異なる。

沈下修正工事における最大の課題は、対象地盤外への注入材の流出抑制である。構造物が不同沈下する地盤は軟弱な粘性土地盤が大半で、そこへ瞬結タイプの懸濁材料を注入するため、注入形態は必然的に割裂注入となる。割裂時の注入圧は浸透時に比して低く注入材が対象地盤外へ流出しやすく、沈下修正完了までに要する注入量が予め算出した設計注入量を上回る傾向にある。対象地盤外への注入材の流出を抑制できれば、設計注入量を精度よく算出できる、隣地の地盤環境を阻害しない、注入量に対する変位修正効果の高い沈下修正工事が可能となる等、多くの課題解決に繋がる。また、注入効果（いわゆる沈下修正後の地盤の支持性能、沈下抑制効果）の評価方法の確立も主要な課題である。現状では圧密沈下が終息段階にある構造物に対して沈下修正注入を採用しているが、沈下進行段階における注入効果が評価できれば沈下修正法の設計手法に反映できると考える。

上記の課題に対し、筆者らは、各種原位置試験を行い検討している²⁾³⁾。ここでは、傾斜させて設置した 10m³ 水槽（上載荷重 12 kN/m²）を注入によって変位修正した実験について紹介する（写真 1）。図 1 に注入圧、修正変位（相対変位量）の経時的变化を示す（試験方法の詳細は文献 3 参照）。55 分経過時、注入材が表層へ流出したため断続注入や注入中断を施しながら注入した。注入速度は一律 20L/min としたが、注入初期では変位の変動が見られず、断続注入や中断再開後に急激な変位上昇が見られた。この結果より修正変位量は積算注入量に比例しないことが分かる。断続注入や注入中断が変位上昇に寄与するのは、材料強度が高まることで、新たに脆弱な部分へ割裂脈が発生し建物（水槽）直下へ注入されるからと推測する。また注入圧と相対変位量の関係（図 2）においても、修正変位が高まるにつれ微視的ではあるが 0.05MPa 程度の圧力上昇が見られている。今後、注入圧力の変動を把握することで割裂状況を読み取り修正変位の管理に繋がる可能性もあり、さらなる検討を進めていきたいと考える。



写真 1 10m³水槽を用いた沈下修正注入試験状況

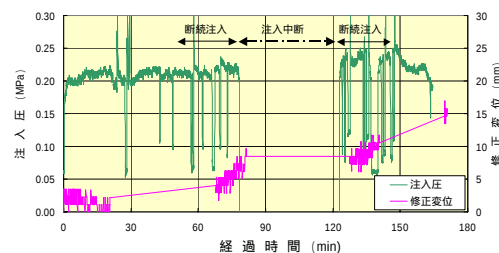


図 1 注入圧・修正変位の経時的变化

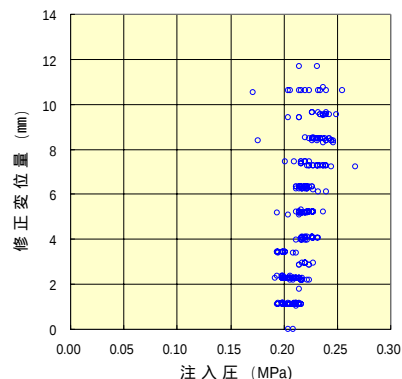


図 2 注入圧と修正変位の関係

4. 沈下修正工事の施工管理

沈下修正工法の品質管理に関しては、通常はレベル（最近ではオートレベル）を用いた目視等による確認が主であるが、水盛管などを用いて修正前後の沈下量の contours（コンター）を表示する手法も海外で既に提案されている。日本でも新潟地震（1964）で傾いた建築物の沈下修正工法（鋼管圧入工法による嵩上げ）に際して、地すべり計や地震計を用いて鉛直・水平方向の変位等を自動計測した事例がある。沈下修正に際しては、建物全体を広範囲にわたって同時に持ち上げる工夫が必要であり、また、沈下修正後の再沈下などに対する備えも必要のため、施工時や施工後の建物四隅等の沈下状況を計測表示しながら修正することが管理上特に重要である（図 3）。

【参考文献】

- (1) (社)日本グラウト協会:薬液注入工 設計資料, H16.4
- (2) 高田・若命・田村:粘性土地盤を対象としたグラウチングの割裂現象に伴う原位置試験, 第 40 回地盤工学研究発表会講義集, 2005.7
- (3) 平崎・高田・藤田・田村:注入による小規模建物の修復技術(その1:原位置試験), 日本建築学会大会学術講義集, 2005.9

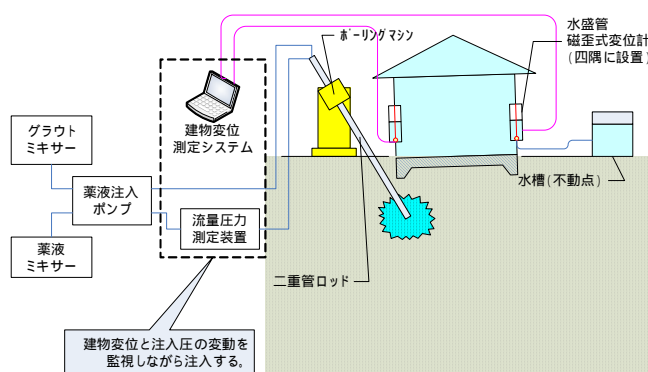


図 3 沈下修正の施工管理システム