

注入工法による不同沈下修正事例

今井 敬介*

* IMAI Keisuke、(株)グラウト工業 神奈川県横須賀市久里浜 8-5-1

1. はじめに

小規模建築物における不同沈下の修正方法は「土台から嵩上げ」と「基礎から嵩上げ」に大きく分類される。後者の中では「耐圧版工法」「鋼管圧入工法」「ブロック圧入工法」「薬液等注入工法（以下、注入工法）」に分類される。¹⁾今回は図-1の「注入工法」について施工例を交えながら報告する。

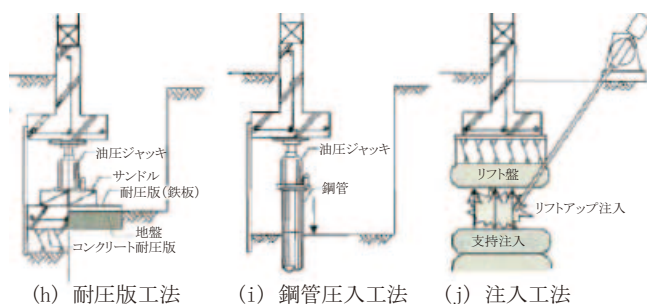


図-1 よく利用されている住宅の沈下修正工法

2. 事前の情報収集

案件について不同沈下の原因を探ることからはじめる。起因する地盤内は直接目で確認することが困難であり、事前の情報収集が大きなポイントとなる。例えば当該建物の地盤調査（SWS）や地盤補強の有無、近隣におけるボーリング調査など有益の情報となりうるので必ず確認を行うようにする。建物の計測により沈下の傾向（沈下の方向や沈下量、傾き度合）を把握し、建物の構造（木造軸組構法 or 木造枠組壁構法、布基礎 or ベタ基礎）等も確認する。地盤調査の結果と建物の沈下傾向を比較することにより概ねの沈下要因を把握することが可能となる。時間的な制約が無ければ6～12か月程度の期間を設けて沈下傾向の推移を確認することにより進行形のもののなか、沈下収束のものなのかを予測することもできる。ただし早急な修繕を求められることがあるので、施工後における再沈下事故の懸念を払拭するためには、地盤調査のデータなどにより今後の推移を予測しなくてはならないケースもある。以上の情報をもとに最適な沈下修正の方法を選択することとなる。

沈下の主な要因として、

1. 擁壁盛土などによる沈下
2. 沖積層など緩い粘性土による圧密沈下
3. 液状化現象による沈下

4. 地盤改良工事の不具合

5. 隣地での地盤に起因する工事（地下掘削や盛土）などがある。

3. 工法選定

設計（計画）であるが、

1. 立地条件
2. 建物構造（主に基礎構造）
3. 土質条件

をもとに工法の適応可否の判断を行う。稀に適応不可のケースもあり、そういった場合は他工法での検討を勧めている。これは注入工法で施工を行った場合のリスク回避の為である。

注入工法で施工が不適（要注意）となるケースとして、

1. 大谷石や間知石積による擁壁に近接した建物
2. 有機質土（腐植土）が介在する地盤
3. 対象建物に近接する別の建物がある場合
4. 沈下現象が収束していない状態（要検討）

などがある。

4. 設計

注入工法の特徴として、使用材料の算出が一番の要となっている。注入量が少なければ必要上昇量が得られず目標不達成となる。また、注入量が過剰であれば見積金額の過剰な上昇に繋がる。注入の内容としては沈下の要因となる緩い地盤を強化するための「支持注入」図-2、布基礎など接地面の少ない基礎の場合にある程度の広さを面として上昇させるための「基礎補強注入」、上昇に寄与する範囲の「リフトアップ注入」、上昇したあとの基礎回りに発

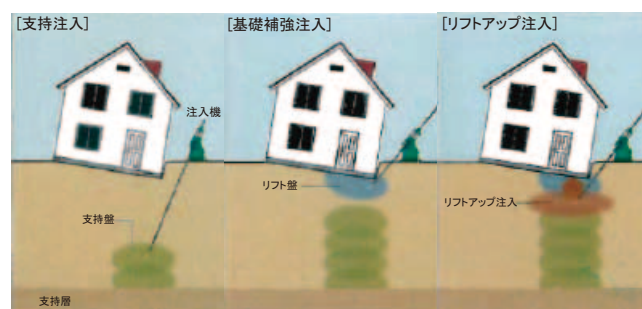


図-2 支持注入 基礎補強注入 リフトアップ注入

生する隙間を埋める「充填注入」がある。粘性土と砂質土による土質の違いにより改良率も異なる。この数値は過去400件以上の沈下修復工事の実績からも考慮している。

5. 工法の特徴

注入工法は建物下掘削の必要が無いことから他工法と比較して工期は短く、日々上昇を繰り返すため対象物に対しては比較的優しい工法である。深度が深い位置からの注入は土被り厚が大きく広範囲に影響（隆起量小）が及び、深度が浅い位置からの注入は土被り厚が少く狭い範囲での影響（隆起量大）となりやすい。図-3 ただし、注入管の先端が地表面より1m未満の浅深度においては土被り量が少ないことから土被り圧が大幅に減少して地表面への改良材逸出が多くなり、隆起上昇には殆ど寄与しない。

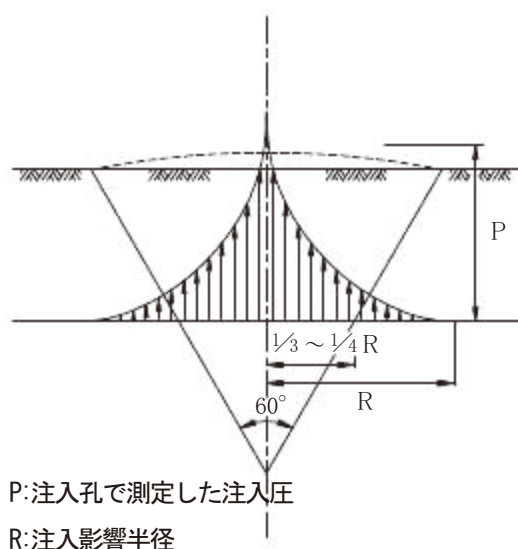


図-3 注入圧と隆起²⁾

深度と注入位置により建物への影響を最小限に抑えつつ上昇を行うことは現場管理をシビアにする必要がある。管理を怠ると様々な弊害がおきる。注入管中心付近は隆起量も多くなるが、多少離れた場所でも隆起が発生する。注入深度と隆起範囲を常に意識して施工を行うようにすることが沈下修正工事での事故を未然に防ぐ手段でもある。

6. 施工

注入工法の施工設備は一般的な薬液注入プラントとほぼ同一のものを使用する。敷地に余裕のある場合は定置プラント写真-1、また、定置プラントが利用できないケースでは車上プラント写真-2を使用する。（現地まで車両の搬入が出来ない場合は約150m程度の距離までホース延長により対応が可能）施工機械は近年開発された超小型ボーリングマシン（2ショット）写真-3により狭隘地での施工が可能になった。また、狭隘地などでさらに機動性に富む単管ロッド（1.5ショット）写真-4も併用し施工を行うことも多い。



写真-1 定置プラント



写真-2 車上プラント



写真-3 施工状況（超小型ボーリングマシン）



写真-4 施工状況（単管ロッド）

使用材料はゲルタイム（液状物質が流動性を失うまでの時間）の調整可能な懸濁型薬液（セメント+特殊硬化剤）で、初期立ち上がり強度、ホモゲル強度、長期安定性に優れた材料を使用する。材料の選定を誤ると計画した注入量で上昇しないといった事象や予期しない範囲の隆起による事故も起こるため注意を要する。注入材を地盤に圧入（写真-3、4）すると地盤内の空隙や軟弱層に押し入る形（割裂注入）となり、体積増加して地盤内において横方向と上方向に圧力（土圧）が発生して地盤の隆起を促す。擁壁盛土などが原因の場合は盛土材の転圧不足によるケースや土丹塊などによるスレーキング等があり空隙は比較的大きめとなっているケースがある。そのような場合は初期注入で空隙を充填することから注入量は多目となる。上昇傾向が確認されるとリバウンド（再沈下）は少なくなりリフトアップが可能となる。軟弱な粘性土が原因の場合は少ない注入量で上昇傾向を示すが実際にはリバウンドにより施工日数と実注入量が必要となるケースが大半である。地下水位もポイントとなり水位が高い場合は注入初期から上昇傾向が確認され、時間の経過とともにリバウンド沈下の傾向を示す。日々の施工中に上昇と沈下を繰り返し、水平の確認を行いつつ上下推移量が落ち着く状態まで施工を行う。液状化が原因の場合は注入初期から反応は早く、比較的広範囲に影響を及ぼすことから隣接する敷地への影響に注意を要する。

以上のように対象とする土質により上昇傾向に違いがあるが、対象建物の変位（変形）にも注意する。

一般的に施工初期は積極的に上昇を行うため比較的上昇速度が速く、施工中期はレベル微調整の上昇となるため上昇速度は遅くなる。施工終期は充填注入や極微調整など殆ど上昇を伴わない注入となる。日々の上昇量とリバウンドの傾向を確認し、最終レベルの調整が終了してから施工管理者との立会検査の後、引渡しとなる。

一例の工事例を以下に示す。

建物は築10年の木造2階木造軸組構法ベタ基礎によるもの、敷地は丘陵中に位置する切土と盛土に跨る宅地造成地盤である。盛土側にはH=3m H=6mのRCL擁壁（図-4）があり、地盤改良はなぜか表層改良のみ施工が行われていた。地盤調査データからも表層改良のみでは改良深度としては不足しており、下位層での盛土で圧密沈下が起きたものと推測された。

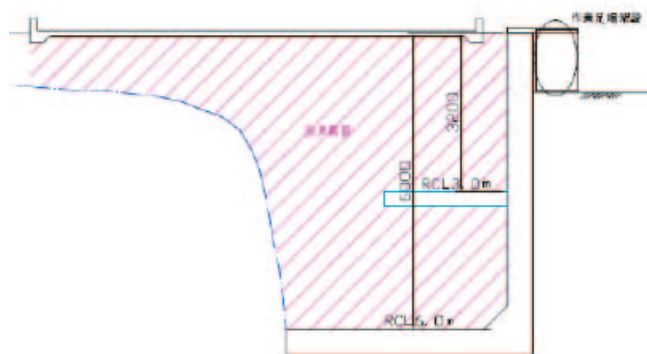


図-4 施工断面図

沈下要因：RCL擁壁の盛土沈下

最大沈下量：-85mm → 最大沈下量-4mm（図-6）

計画注入量：22,900L → 実施注入量20,800L

施工日数：5日間

付帯工事：設備配管（下水）切り回し工 仮設足場
計測直線間3m以上において2/1000mm以下で終了。

日々の上昇量推移（図-5）からはリバウンドは殆ど起きていないと見られる。沈下量の一番大きな場所では30mm/日程度の速度で上昇しており、後半で建物の歪を取り除く微調整を行いながら作業を完了させた。付帯工事として建物と擁壁のクリアランスが狭くU字溝があったため一時撤去を行い、作業床として擁壁外側に仮設足場を行った。写真-3 このように擁壁に近接して作業をする場合、擁壁に土圧が掛かることになるので擁壁の変位を観察し、異常があるようであれば即注入を停止しなければならない。場合により擁壁には抑え鋼材などで擁壁を拘束する方法をとる場合もある。施主、施工管理者、施工者立会のもと最終レベルをチェックして竣工とした。

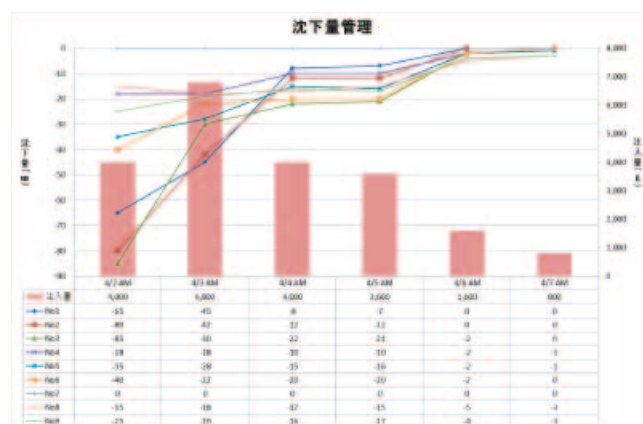


図-5 上昇量推移管理表

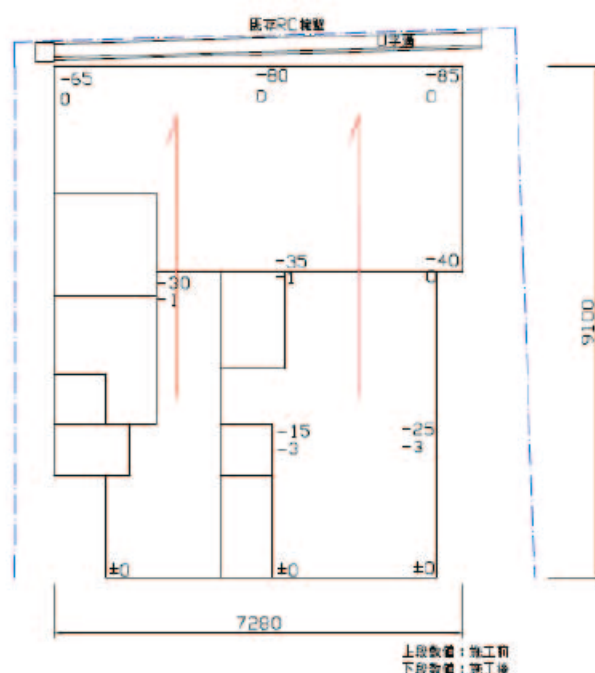


図-6 床レベル計測比較

7. 沈下修正後におけるレベルの挙動

沈下修正工事を行う上で、懸念事項として重要なことは再沈下に対する挙動である。施工が完了したのち、再沈下を起こすことは土質によるケースが大半であることから、施工前の計画段階において地盤調査結果から施工可否の判断をしている。震災後、液状化現象による不同沈下を対象とした案件を追跡調査⁶⁾したものの一部を公開する。（表-1）

工事場所			件数
千葉県	浦安市	東野	11
		入船	8
		舞浜	5
		美浜	1
		弁天	1
茨城県	船橋市	日の出	1
	神栖市	知手中央	2
		大野原	1
	潮来市	日の出	1
合 計			31

表-1 追跡確認件数

施工中における上昇傾向にも地域により違いがあり非常に興味深いデータもあったが本文では割愛させて頂く。数ミリ程度の数値変位（図-5）が見受けられたが、計測時の測定誤差も少なからずあると思われる。明らかに継続性が見受けられるような再沈下の兆候は無かった。変位量は数ミリ程度で変位角は1/1000以下となっており、ほぼ施工後と変わらない状態であった。この数値の変位については震災直後から復旧を行った事例もあることから余震（気象庁HPより、茨城県沖・千葉県沖を震源としたマグニチュード5以上の地震回数8回）等及び施工直後の即時沈下の影響も考慮されるが、数値で見るとは有機質土のように継続性を持って沈下が進行するような挙動（施工直後からcm単位での沈下が観測される）など無いことから概ね変位は終息しているものと見てよいといえる。これらのことから液状化現象による砂質系地盤においても注入工法による沈下修正工事は有用な工法の一つであると再確認できるものであった。

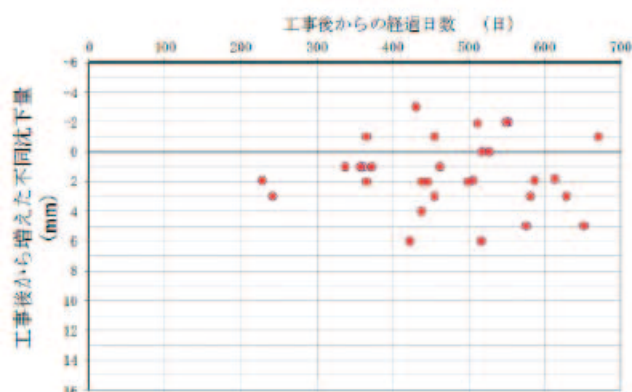


図-7 施工後の沈下量計測

8. おわりに

小規模建築物の沈下修正工法の中で「注入工法」は他工法と比較して短期間で終了することから工期や金銭面で施主様の負担が少ない等といったメリットが大きい。しかし基礎の形状や立地条件、隣接地盤への影響など検討すべき項目も多くあることから注入工法の採用にはより慎重な事前の協議が必須であると考えられる。東日本大震災以降に注入工法を採用する業者が急増したが、建物を異常変形させてしまうケースや隣家を持ち上げてしまうなど事後相談を受けることが多くなり看過できない状況になりつつある。上記より注入工法自体の危険性ばかりがクローズアップしてしまうことに危惧をする。沈下修正工事における施工事故が発生しない為に、事前の状況判断により沈下の原因を把握し、各々の案件にマッチングする沈下修正の方法を検討（選択）すべきであると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，2008.
- 2) H・カンブフォール：地盤注入（基本理論と施工技術），鹿島研究所出版会
- 3) 高田，岡野，平崎：注入による戸建て住宅の不同沈下修正工事例，Vol.36，No5，pp.82～84，基礎工，2008.5.
- 4) 高田，今井：擁壁の変状により不同沈下した戸建て住宅の復旧例，Vol.37，No6，pp.76～79，基礎工，2009.6.
- 5) 今井：注入工法による実施例，Vol.40，No10，pp.97～99，基礎工，2012.10.
- 6) 高田，岡野，真島，今井：液状化で被災した小規模建築物の沈下修正注入後のレベル経過測量結果，日本建築学会大会学術講演集，2013.8.