

V.

建物の修正の現状(問題点)と解決方法

注入工法

岡野泰三 ● 井ホーム株式会社 技術統括本部
高田徹 ● 地盤設計室 ソイル

はじめに

注入工法（グラウチング）は、本来、止水や強度増加を目的とした地盤改良工法の一つであり、地盤隆起を抑えて構造物を変状させないように注入することが施工計画の要求事項である。注入によって地盤隆起を引き起こさないためには、土の構造を破壊あるいは圧縮することなく、間隙水を注入材で置換しなければならない。しかし現実的にはほぼ不可能である。これは、①一様に均質な地盤はないこと、②注入速度を降雨のように浸透注入可能な速度まで低くできないこと、③注入材の目標強度を高めようとする注入材の水セメント比や粘性・比重が高くなり浸透しにくくなる、などの課題が多いからである。

このような注入の欠点である「地盤隆起の発生」を積極的に、計画的に行うことによって、不同沈下した構造物を復元するという考え方が存在する。この注入技術は、補正注入（コンペンセーショングラウチング）、復元注入と呼ばれ、わが国よりも欧米での実績が多い。一方、わが国での実施例は比較的新しく、釧路沖地震、北海道

南西沖地震、兵庫県南部地震などで、地盤の液状化により傾いた住宅を早急に修正する方法として用いられるようになった。本稿では、注入を用いた建物の修正方法の概要を紹介するとともに、現状の課題・展望について述べる。

建物修正を目的とした注入工法の概要

工法原理

注入材を地盤へ圧入すると、地盤条件や注入条件によって注入形態が異なる（図1）。注入形態には浸透注入、割裂注入、割裂浸透注入、充填注入があり、このうち建物修正に用いられるものは割裂注入である（図2、写①）。一般の注入では、割裂注入を避けるよう計画あるいは工法変更が行われるが、建物の沈下修正においてはこれを積極的に用いる。

割裂注入は地盤条件によって必然的に起こるケース（図1）もあるが、注入材料を秒単位で固結する瞬結性材料や、極めて流動性の低い注入材料（例えば、ソイルモルタル）などを使用することで容易に発生する。また、注入速度によっても割裂注入は発生し、孔内透水試験を

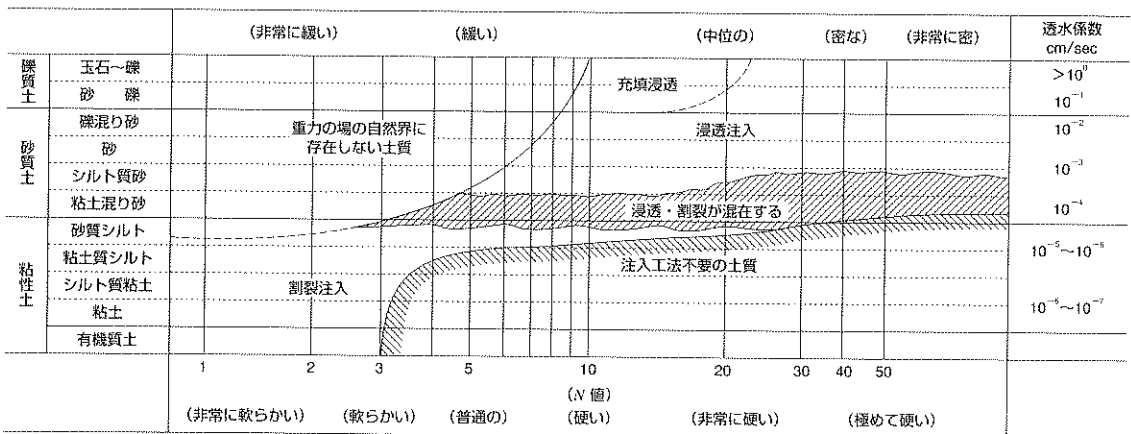


図1 土質と注入形態



●割裂注入断

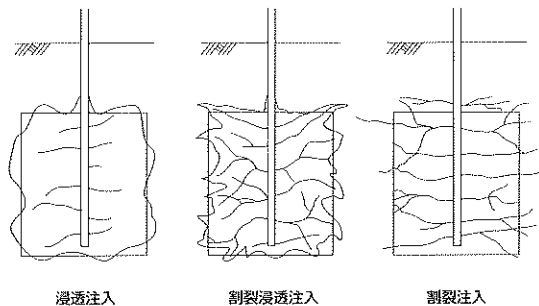


図2 注入形態

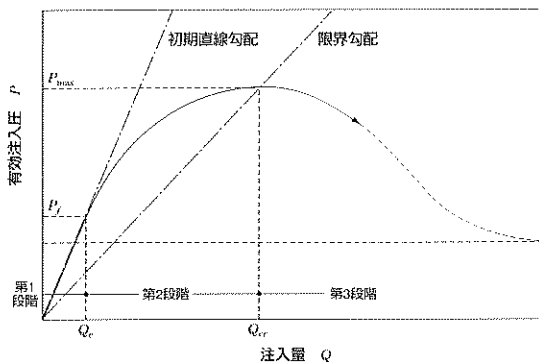


図3 注入圧と注入量の関係 (孔内透水試験)

行えばわかる (図3)。割裂注入を効果的に発生させて地盤変位に寄与させることが、建物修正効果につながるといっても過言ではない。

工事内容

建物修正を目的とした注入工法は、材料や用途によっていくつかあり、なかでもコンパクショングラウチングを用いる沈下修正方法がメジャーであるが、建物荷重・建築面積の大きな建築物 (ビル, 集合住宅など) で用いられるケースが多い。一方、戸建住宅などの小規模建築物においては、薬液注入を用いるケースが増えている。この棲み分けは、施工性、経済性の問題もあるが、ソイルモルタルによるジャッキアップでは、昂上力が薬液注入に比べて十分強いため、小規模建築物では、微妙な変位制御が困難であるからと推測する。ここでは、戸建住

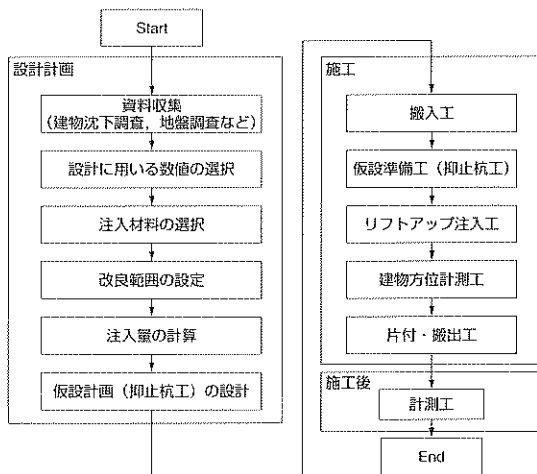


図4 沈下修正注入の設計・施工フロー

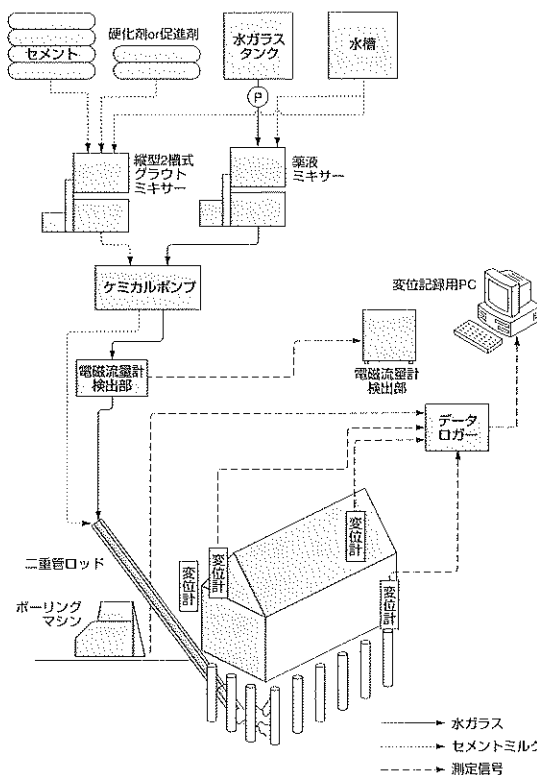


図5 沈下修正注入の施工システム

宅向けに開発された薬液注入による修正方法について述べる。

注入計画

図4に設計・施工フロー、図5に施工システム図を示す。まず最初に、地盤調査・敷地調査により建物の沈下の現況と要因について把握する。設計時に重要なことは、「なぜ不同沈下したのか」の要因を把握することにある。これは注入位置や注入深度を計画するうえで必要なほか、注入材の重量や注入時の地盤の緩みによって再沈下

する可能性を診るためにも必要である。場合によっては、リフトアップ注入前に行う「支持注入」と呼ばれる地盤改良を目的とした注入を多くすることもある。

注入量の算定は積算上必要になるが、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。よって注入量の計画は目安でしかなく、施工注入量と設計注入量を近似させることが課題でもある。現状の技術レベルでは、一般注入工事でよく利用される注入率と過去の施工実績を加味して決定している（表1）。

注入材は、①恒久性があること、②割裂注入をより積極的にを行うため初期強度発現が高いこと、③収縮性の低い材料であること、を考慮して選定する。

施工

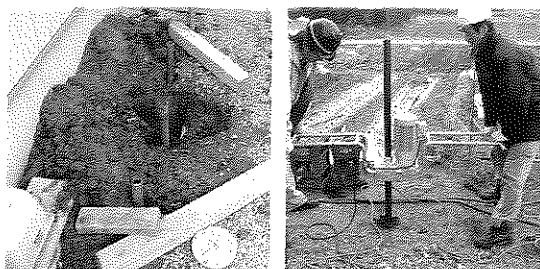
1) 準備工－抑止杭の打設－

注入材料が水平方向に逸出して、周辺地盤や周辺構造物に影響を与えることを抑制するために、抑止杭を打設する。建物周辺の土地に余裕がありシートパイルを打設した事例もあるが、建物脇にφ50程度のパイプを@300～600ピッチに打設して抑止する技術（写②）も整備されつつある。パイプはシートパイルよりも現実性には欠けるものの、密に打設することで土の水平方向の変形を抑えることが可能である。

2) 注入

注入は、建物変位を監視しながら行われる。通常は、レベルやレーザー水準器を用いた目視確認が主体であるが、PCや監視カメラを用いた建物変位監視システムも利用されている。注入は、支持注入→地盤補強注入（必要な場合）→リフトアップ注入の順で行われる（図6、写③④）。また、リフトアップ完了後、建物脇に地割れが発生するので、ここから雨水が浸入して地盤が緩まないうち注入して完了とする。

注入量と建物の隆起量の関係は、地盤条件、注入深さ、注入ポイント、注入順序などで複雑に変化する。通常は、注入ポイントの直上部が最も隆起しやすいが、これは理想的な話である。実際には「平面的」にリフトアップしており、建物の各ポイントも同時に変位が反応するため、地層の傾斜などによっては、直上部よりも若干ずれてリフトアップされるケースもある。現状の技術では、リフトアップ注入の初期段階で、注入ポイント・深度を探るための試験注入を実施して決定する。また、傾斜した建物の大半は、各部材間の変形角が均一ではなく、「ねじれ」で傾斜していることから、リフトアップ注入の初期段階でこの「基礎のねじれ」を元に戻し、それからリフ



◎抑止パイプ打設状況

表1 注入率算定図

土質	N値	間隙率 ρ (%)	溶液型		懸濁型		
			充填率 α (%)	注入率 λ (%)	充填率 α (%)	注入率 λ (%)	
粘性土	ゆるい	0～4	70	55	38.5	50	35
	中位	4～8	60	50	30	45	27
	締った	8～15	50	30	15	25	12.5
砂質土	ゆるい	0～10	50	80	40	70	35
	中位	10～3	40	80	32	70	28
	締った	30以上	30	70	21	60	18
砂礫土	ゆるい	10～30	50	80	40	70	35
	中位	30～50	35	80	28	70	24.5
	締った	50以上	25	80	20	70	17.5

トアップさせる。

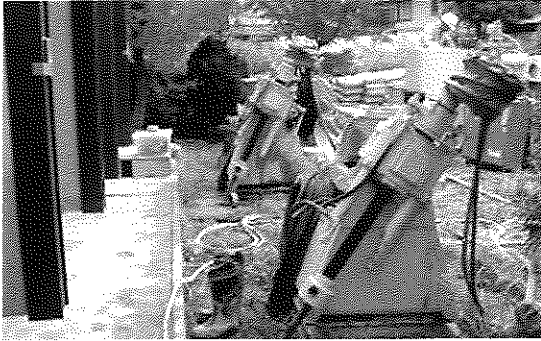
施工後のケア

注入工法は、鋼管圧入工法に比べ、沈下修正後の再沈下に対して十分留意する必要がある。現状では、半年～1年周期でレベル測定を実施し経過を見て判断するが、地質によっては再沈下するケースが極めて稀にある。これらは沈下要因（圧密度）の把握に問題があり、圧密未了な地盤で施工したケースで見受けられる。今の技術では、このような沈下要因のケースに対しては適用しないか、あるいは圧密沈下の終息を確認して施工するよう努めている。

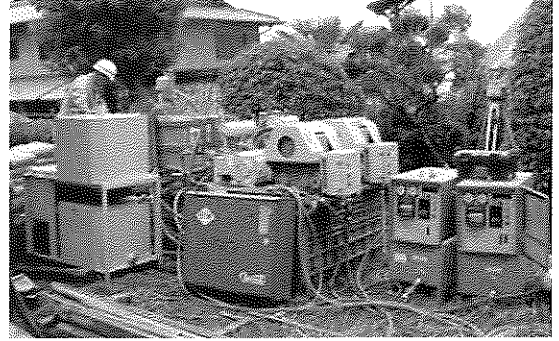
おわりに～現状の問題点と展望～

図7に、注入による沈下修正法の特徴を、沈下修正の代表でもある鋼管圧入工法の場合と比較したものを示す。注入工法の最大の利点は、基礎下の掘削手間がないため、居住者の居住環境を変えずに施工できる点にある。さらに、掘削手間がない分、工期が短縮でき施工環境にも優れている。

しかし、現状の技術では開発途上な部分も少なくない。この中で最も重要な課題は、設計の充実を図ることにある。これは目安である注入量の設定にあるが、積算に直接反映されるため、より論理的、合理的な手法を検討したいからである。現状では、土質に応じて注入率（表1）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



③注入状況（ボーリングマシン）



④注入状況（注入プラント）

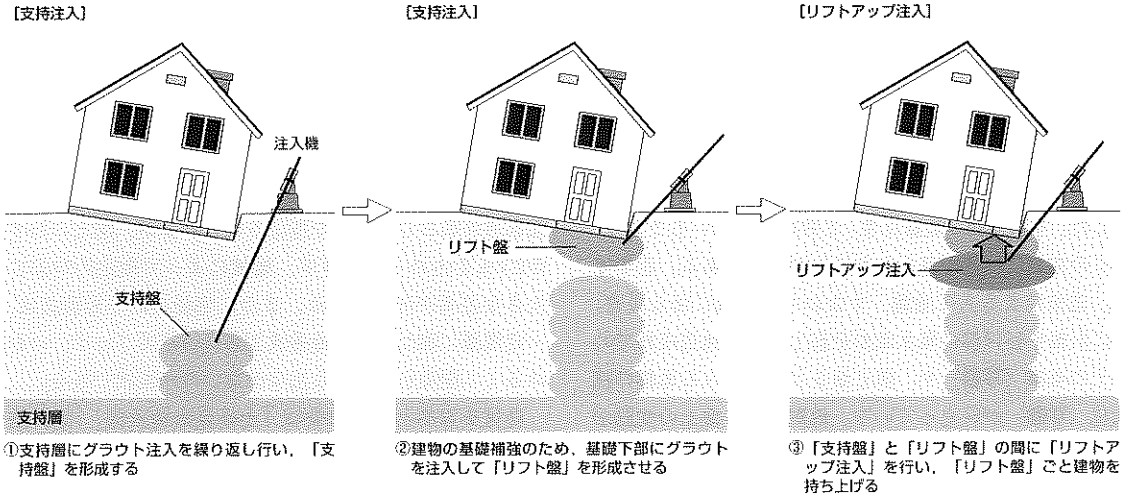


図6 リフトアップ注入工法

	鋼管杭によるジャッキアップ工法（一般的な方法）	注入によるリフトアップ工法
工法の概要		
修復手順	<ol style="list-style-type: none"> 建物外部から各鋼管杭の位置まで、人が作業するスペースのトンネルを、人力で掘削する 所定の位置にジャッキで鋼管杭を挿入する。75cm～100cmの長さの鋼管を溶接で継いで支持地盤まで到達させる 鋼管設置後、ジャッキを用いて建物の傾斜を修正する 修正後、掘削した土を用いてトンネルを埋め戻す 修正した基礎下にモルタルを注入する 撤去したテラスなどの修復を行う 	<ol style="list-style-type: none"> 建物外部より小型ボーリングマシンで基礎下に削孔（φ40）する。 支持注入により、支持地盤を強化する リフト盤注入により、基礎下の地盤を強化する リフトアップ注入により、建物の傾斜を修正する <p>・小口径鋼管杭による地盤改良と併用することで地盤改良効果・リフトアップ効果がさらに期待できる</p> <p>・テラスなどの修復は必要ない</p>
工期	30～40日間	8～10日間

図7 鋼管工法と注入工法による沈下修正法の比較

である。（おかの たいぞう、たかた とおる）

【参考文献】

- 最新地盤注入工法技術総覧編集委員会：最新地盤注入工法技術便覧
- 柴崎，下田，野上：薬液注入工法の設計と施工，山海堂

- 田村，高田，若命，岡野，佐藤，松下：注入工法による設計施工技術と沈下修正，土木学会

- 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関する原位置試験，地盤工学会