

注入による傾斜建造物の修復技術

建山和由

TATEYAMA Kazuyoshi

正会員

京都大学助教授 大学院工学研究科 都市社会工学専攻

有馬重治

ARIMA Shigeharu

平成テクノス(株) 代表取締役社長

亀裂性の岩盤や、強度が不足している地盤を掘削する際にそれらの改良を目的として「注入工法 (Grouting)」が採用される。近年、この注入工法により、傾いた建物や構造物を修復する工法が開発された。この工法は、Jacking of Grout (JOG工法) と名づけられ、阪神・淡路大震災や台湾の集集地震で傾いたビルや建物からモニュメントやカルバートにいたるまで、100件以上の現場でこれらの修復に実績を上げてきた。本レポートでは、この新技術の原理と適用事例を紹介する。

Jackingの原理と作業手順

地盤にセメントミルク等の注入材を圧入すると、注入材は浸透可能な地盤には土粒子の構造を変えずに浸透していくが、浸透困難な地盤では構造を割り広げながら割裂状態で広がっていくため、地盤隆起を引き起こすことになる。一般の工事では、注入に伴う地盤隆起は、地表面や周辺構造物に影響を与えるため、極力抑えることが求められるが、逆に、注入による地盤隆起を精密にコントロールすることができると、傾いた建物や構造物を修復することが可能となる。今回開発された工法は、それまでに培われた注入工法のノウハウを活かし、地盤特性や基礎の構造と大きさ等に応じて適切な注入材の選択と注入スケジュールの設定を行うとともに、高精度の計測施工を行うことにより注入による地盤隆起をコントロールするものである。図-1 に作業の手順を示し、この工法の概要を説明する。

構造物基礎を貫通削孔し、内径 27.2 ~ 34 mm の外側パイプと内径 15 mm の内側パイプからなる二重管をその先端が基礎下面に位置するように挿入する。二重管を用いる

のは、ゲルタイム（固結時間）の非常に短い注入材を用いる際に、注入前にそれが固結することを防ぐため、2種の注入材は別々に圧入され、管の出口で混合されて固結する。

設置した二重管を通じて、ゲルタイムが数十秒の中結注入材を注入する。注入材は、おおむね地盤内の半球状のエリアに、浸透可能な地盤には浸透注入、浸透困難な地盤には割裂注入を繰り返しながら固結領域を拡大していく。この部分が、Jacking のための反力を受け持つことになる。

次に、ゲルタイムが数秒以内の瞬結注入材を注入する。地盤内には先の注入で反力領域となる浸透不可能な固結部ができていたため、新たに注入される注入材は浸透することができず、基礎底面と固結部の境界をクサビ効果で割裂しながら、薄膜状の層となって、基礎を持ち上げる形で広がっていく。

の操作を繰り返し実施することで、基礎を徐々に持ち上げていく。1 か所の孔を通じて注入することのできる範

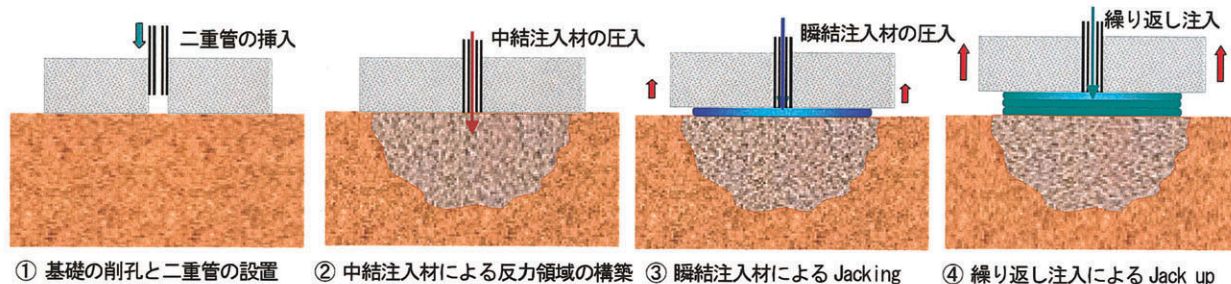


図-1 JOG工法の施工手順

囲は限られているため、通常、基礎に複数の孔を設け、基礎全体のバランスをとりながら持ち上げていく。このために、注入配管系統には分岐バルブが取り付けられており、施工条件に応じて設定された注入順序や注入時間等に関する注入スケジュールに従い、各注入孔へ間歇的に短時間注入を行い、これを設定した時間間隔で繰り返すインターバル方式により注入作業が行われる。

このとき、注入材のゲルタイムに対して、複数の注入孔を一巡して、再び同じ注入孔に戻ってくるまでの時間であるサイクルタイムを変更するだけで、目的の注入形態を選択することができる。例えば、中結による反力領域の構築では、サイクルタイムがゲルタイムより小さい場合、後続の注入材は未だ固結していない所に注入されるため、地盤隆起は起きにくい反面、所定の領域から溢出する度合いは高まる。一方、サイクルタイムがゲルタイムより大きい場合は、先に注入された注入材が固結し始めている所に後続の圧入が繰り返し行われるため、所定の領域から溢出する度合いを下げることができるが、地盤隆起は起こりやすくなる。これらの相関関係を踏まえたうえで、注入管ごとに1/10秒単位で各注入孔への注入時間を調整し、それらの合計としてサイクルタイムを設定する。また、注入に際しては、基礎底面で圧力が均等に発生するように中結注入材を適宜注入し、各注入エリア間のクリアランスを埋めていく。

注入作業では、変位センサー、傾斜センサーにより構造物の挙動を精密に計測し、これにより得られるデータに基づき複数の注入管への注入制御を実施し得るよう、自動切り替えバルブと集中制御用コンピューターシステムを組み合わせた注入制御システムが構築されている。

工法の特徴と適用範囲

これまで傾いた構造物を修復するには、構造物の周辺地盤と基礎下部を掘削し、基礎下部に反力工を構築して、これに反力をとってジャッキアップの後、注入材充填を行うという作業工程が採られることが多かった。この場合、多くの作業工程を伴うことになるため、工期が長くなり、コストも大きくならざるを得ない。これに対し、注入による方法では、基礎等に注入管を設置して注入材を圧入するだけで構造物の外周や下部の地盤を掘削する必要がないため、隣接構造物へもほとんど影響を及ぼさず対象の構造物だけを修復することができる。また、基礎等に局所的に荷重を加えることがないため、安全に作業を行うことができ、振動や騒音も発生することなく、さらに通常1～2週間程度の短期で作業を終えることができる等、多くのメリットを有している。

この工法は、直接基礎で支えられている構造物で基礎が十分な剛性と強度を持っている場合に適している。逆に、構

造物が杭基礎、特に先端支持形式の杭で支えられている場合には、杭基礎先端に注入を行うことが現実的でないため適さない。また、構造物の柱や壁などの主要部材に座屈などの支障をきたしている場合、あるいは基礎の強度や剛性が十分確保できない場合には、この工法を用いても安全に修復することができない場合もある。

適用地盤としては、支持地盤が砂や砂礫等の圧縮性の小さい土質で構成されている場合は、ほとんど問題はないが、圧密未了の粘土地盤等圧縮性の高い地盤では、施工後、時間遅れを伴って沈下を生じ、最終精度が落ちることもあるため、慎重な検討を要する場合が多い。

施工事例の紹介

BOXカルバートの修復

写真-1は、施工対象のBOXカルバートである。このカルバートは建設後、支持地盤の沈下により傾いたと推測される。修復が検討された段階では、BOX上部の盛土の荷重も終わっており、沈下も収束していたが、最大で116 mmの沈下が計測された。カルバートはRC構造のBOXを5基繋げた構造でそのいずれもが傾いていた。カルバートを支える基礎はベタ基礎で、支持地盤はシルト質粘土と砂質シルトの互層であった。

今回の施工では、図-2に示すように5基のカルバート基礎部の45点において注入を行い、1基ずつ順番にJacking作業を進め、23日で5基のカルバートすべてを設計時の姿勢にまで修復することができた（写真-2）。



写真-1 施工前のカルバート



写真-2 施工後のカルバート

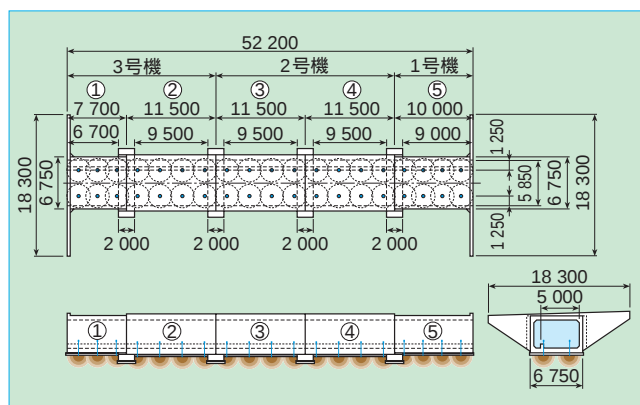


図-2 カルバートの姿勢修復作業の見取り図



写真-3 傾いたマンション



写真-4 修復されたマンション



写真-5 地震で傾いた時計塔



写真-6 修復された時計塔

傾いたマンションの修復

1995（平成7）年に起こった阪神・淡路大震災では、多くの建物が被害を受けた。写真-3 もその一例で、海岸部にあったこのマンションは、地盤の液状化と激震により大きく傾いてしまった。建物は、RC 構造で、一部布基礎を含むベタ基礎により砂質地盤の上に支持されていた。建物の総重量は約 1 100 t、平面積は約 113.40 m²で、最大 410 mm の沈下が計測された。地震後の調査で、建物自体の剛性と強度は確保されていることがわかり、また、2 階より上では地震後も住居として使われていること等を考慮し、振動、騒音が少なく、かつ安全に施工することのできる注入工法による修復が適用された。

修復工事では、1 階の居室内より基礎を貫通して削孔と注入管の設置が 19 か所で行われ、レーザーレベルを用いて建物の 4 隅と中央でその挙動を精密に計測しながら、注入制御が行われた。この結果、19 日間で写真-4 に示すように元の状態に復元することができた。

傾いた時計塔の修復

写真-5 は、神戸のポートアイランドの市民広場に立っている時計塔である。ポートアイランドは埋立てにより造成された人工島で、阪神・淡路大震災では島内の至る所で液状化現象が発生した。この時計塔もこのときの液状化で傾斜した。幸い、時計塔の外壁には亀裂は見られず、構造体に損傷はなかったが、傾斜したため、鐘が鳴ると時計塔が南北に揺れるという支障をきたしていた。時計塔は RC 構造で高さ

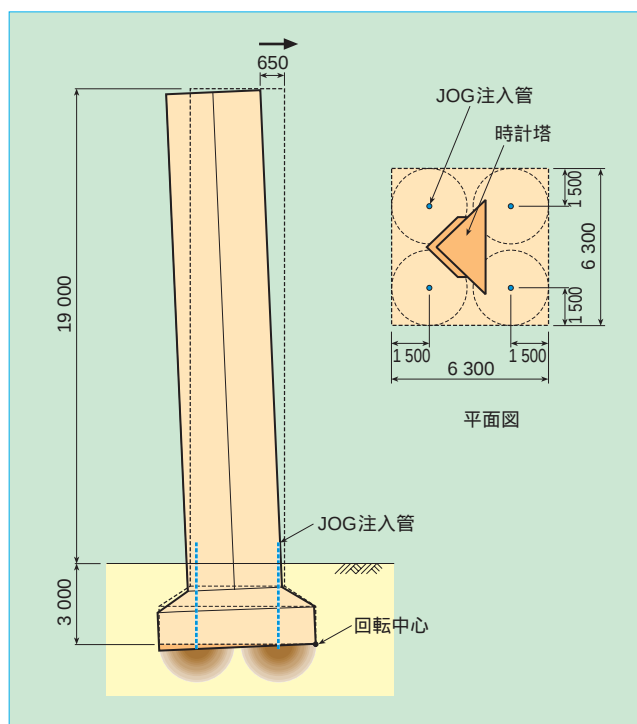


図-3 時計塔の傾斜状況と施工概要

20 m、重量 250 t で、平面積 42.25 m²の単独フーチングで砂質地盤に支持されていた。今回の地震では、最大 112 mm の沈下が観測されており、塔は約 2 度傾いて、塔の頂部は最大で 650 mm 移動した。

工事では、図-3 に示すようにフーチング基礎の 4 隅に注入管を設置し、計測管理に基づく注入制御により 6 日間で写真-6 に示すように元の姿勢に修復することができた。

今後の展開

この工法は、これまで主に地震等で傾いた構造物の修復作業に適用されてきたが、将来沈下や傾斜が予想される構造物では、構造物の構築時にあらかじめ注入管を設置しておくことにより、随時、姿勢やレベルの修復作業を行うことができる等、さまざまな用途に適用される可能性を有している。この技術は、昨年「民間技術による人工衛星」で注目を集めた東大阪で開発された技術である。民間による技術開発の活性化が励起されることを期待して、今回紹介した次第である。

