

事例紹介

住宅不同沈下修正用膨張鋼管

仲子 武文* 吉田 剛之** 松原 茂雄*** 西畑 三鶴**** 藤野 一***** 田代 郁夫*****

Expansive Steel Tube for Correction of Unequal Subsidence of Houses

Takefumi Nakako, Takeyuki Yoshida, Shigeo Matsubara, Mitsuru Nishihata, Hajime Fujino, Ikuo Tashiro

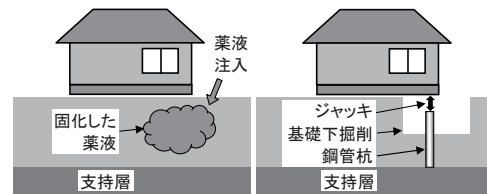
1. 緒言

近年、造成地や地盤の軟弱な地域に建設される戸建住宅において、建物に傾斜を生じる不同沈下が問題となっている。また2011年3月に発生した東日本大震災において、広い地域で液状化現象などによる建物の傾斜が発生した。そのため、不同沈下が生じた住宅を修正する技術の必要性が増している。

このような背景のもと、著者らは日新製鋼グループが2003年に開発・発売した鋼管膨張型ロックボルト¹⁾の均一で強力なジャッキアップ力に着目し、2006年より日新製鋼株式会社、日新鋼管株式会社及び住友林業株式会社により共同開発を行い、環境に優しく安全かつ安価な不同沈下修正工法を開発した^{2)~4)}。

2. 従来の住宅不同沈下修正工法について

従来、戸建住宅の不同沈下を修正するために用いられてきた工法には、図1に示すように、地盤に薬液を注入する修正工法、基礎下に鋼管杭を設置して油圧ジャッキによってリフトアップするアンダーピニング工法などがある。図1(a)に示す薬液を注入する工法は、住宅の沈下した部分の地盤中にセメントミルクなどの薬液を加圧注入し、その圧力により住宅をリフトアップするものである。この工法は、薬液注入が影響を及ぼす範囲を制御することが難しく、近隣の地盤へ影響を及ぼさないように配慮する必要があるため、適用対象の選定には慎



(a) 薬液注入による修正工法 (b) アンダーピニング工法
図1 従来の不同沈下修正工法

Fig.1 Existing methods for correction of unequal subsidence of houses.

重な判断が求められるなどの課題がある。図1(b)に示すアンダーピニング工法は、地盤の支持層まで到達させた鋼管の上端と住宅基礎の間に油圧ジャッキを設置してリフトアップを行うものである。このような工法は、支持層が存在しない場合には適用できない。また、支持層が存在する場合でも住宅の基礎下部の掘削作業が必要のためコストが高く、さらに基礎下でのジャッキによるリフトアップ作業となることから安全管理上の課題もある。

以上のように、従来の不同沈下修正工法は施工性やコストの面で多くの課題を有している。

3. 開発した修正工法の概要

3.1 不同沈下修正に用いる膨張鋼管

本報で紹介する不同沈下修正工法は、図2に示すよ

* 技術研究所 加工第一研究チーム 主任研究員
** 技術研究所 加工第一研究チーム
*** 技術研究所 研究企画チーム 主任部員 (現 技術研究所 F-Tech. Plaza チームリーダー)
**** 日新鋼管株式会社 営業部 専門課長
***** 住友林業株式会社 技術部 チームマネージャー
***** 住友林業株式会社 技術部 マネージャー

うに高圧水によって膨張する鋼管を住宅の基礎下に設置してリフトアップを行うものである。本工法の特徴である膨張鋼管は図3に示すNATM (The New Austrian Tunneling Method)⁵⁾ 工法による、トンネル掘削における支保工用の鋼管膨張型ロックボルトを応用したものである。トンネル用のロックボルトは、両端が封止された凹形断面に折畳まれた鋼管を高圧水により膨張させることにより外径を拡張させて削孔に固定するものである。土中における耐食性を確保する目的で、優れた耐食性を有する溶融 Zn-6%Al-3%Mg 合金めっき鋼板（以下、ZAM と記す）を素材とした鋼管を適用している⁶⁾。

一方、重量物のリフトアップを目的とする本用途においては、一方向にのみ大きな寸法の拡大が要求されることから、膨張鋼管の断面は図4に示すように高さ約20mmの扁平形状とした。従来の修正工法は、不同沈下を生じた建物を対象に施工するもの（以下、後施工工法

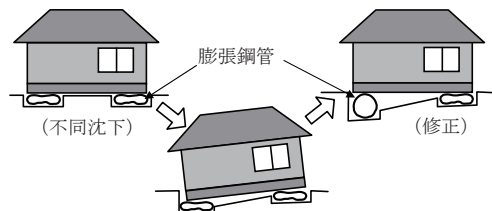


図2 開発法による不同沈下修正の概要

Fig.2 Schematic illustration of unequal subsidence correction process by the developed method.



図3 トンネル掘削用の鋼管膨張型ロックボルト

Fig.3 Expansive steel tube rock bolt for construction of tunnel.



図4 膨張型鋼管の外観と断面形状

Fig.4 Appearance and cross section of the expansive steel tube.

と記す)であり、本開発工法も同様な方法で適用することが可能である。しかしながら、本膨張鋼管により安価なリフトアップ手段の提供が可能になれば、トータルコストの観点から将来の不同沈下発生の可能性に備えて、予め新築住宅の基礎下に膨張鋼管を設置しておくこと（以下、先施工工法と記す）も選択肢の一つとなる。その場合は不同沈下が発生するまでの数年～十数年程度の期間にわたって機能を維持する必要がある、膨張鋼管にはトンネル用のロックボルトと同様に優れた耐食性が要求される。

3.2 膨張鋼管の特性

3.2.1 リフトアップ能力

図5に、断面を扁平形状に加工した膨張鋼管（以後、膨張鋼管と記す）のリフトアップ能力を示す。油圧シリンダーにより上方より一定の荷重を作用させた状態で、膨張鋼管に高圧水を注入してリフトアップ量を測定した。膨張鋼管1mあたりの荷重 $P=266\text{kN}$ の条件において、初期高さ20mmに対するリフトアップ量は、水圧20MPaでは約25mm、同40MPaでは約30mmであった。この結果より、住宅の重量を150トン程度と仮定すると、本膨張鋼管は延べ長さ6m程度で住宅一棟を完全に地切りする能力を有していることがわかる。

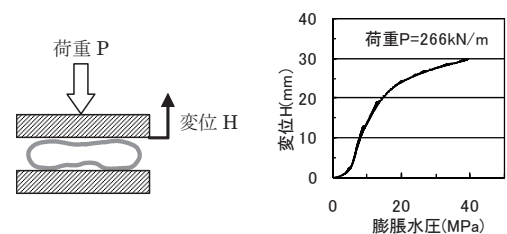


図5 膨張鋼管のリフトアップ能力

Fig.5 Lifting ability of the expansive steel tube.

3.2.2 基礎スラブに与える影響

本工法は、“点”で基礎スラブを支持するアンダーピニング工法などとは異なり、有限長の膨張鋼管により“線”で基礎スラブを支えることから、基礎スラブにクラックなどの損傷を与える恐れは比較的少ないと考えられる。しかしながら、基礎スラブをリフトアップする際には、膨張鋼管の配置によっては基礎スラブに損傷を与える懸念があるため、リフトアップ条件が基礎スラブに与える影響について調査した。ここでは、小規模住宅の多くが採用している、基礎スラブプレートの厚さ方向中央に単層の鉄筋を配した“シングル配筋基礎”について、载荷及びリフトアップ実験により基礎スラブに生じるひずみを調査した。図6に実験の状況を、図7に実験に



図6 モデル基礎スラブによる実験風景
Fig.6 View of the lift up experiment using a model base plate.

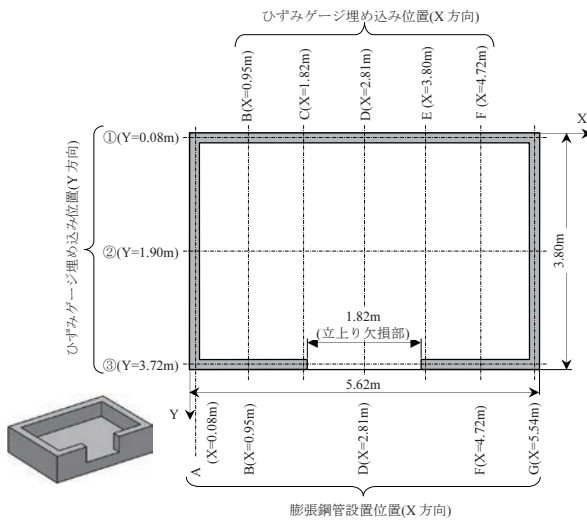


図7 リフトアップ実験に使用した基礎スラブ
Fig.7 The model base plate used in the lift up experiment.

使用した基礎スラブを示す。基礎スラブの長辺方向を X 方向，短辺方向を Y 方向と定義する。平面寸法 $X=5.62\text{m}$ ， $Y=3.80\text{m}$ の基礎スラブに合計 320kN （平均荷重 $15\text{kN}/\text{m}^2$ ）の荷重を載せて，基礎スラブ下に配した膨張鋼管により地切りした。基礎スラブは厚さ 180mm のスラブプレートの周囲に，スラブプレート上面からの高さ 350mm ，厚さ 160mm の立ち上がり（一方の長辺部中央部に幅 1.82m の開口部あり）を有するもので，載荷位置は X 方向 A,C,E,G と Y 方向①,③の交点とした。リフトアップによる支点間距離が基礎スラブに与える影響を調査するために，長さ 4m の膨張鋼管を A,B,D,F,G の位置の基礎下に配した 5 本配置と，A,D,G に配した 3 本配置，および A,G のみの 2 本配置について試験した。基礎スラブの変形量は，スラブプレート上下面の表層より約 10mm の位置に埋め込んだひずみゲージにより計測した。ひずみゲージの埋め込み位置は，X 方向位置 B,C,D,E,F と Y 方向位置①,②,③の交点とした。ひずみは，リフトアップ開始時からの変化量を測定した。

リフトアップ実験の結果の例として，図8に3本配置の実験における，基礎スラブ上のC③点の上面及び下面の X 方向ひずみと，垂直方向の変位量の推移を示

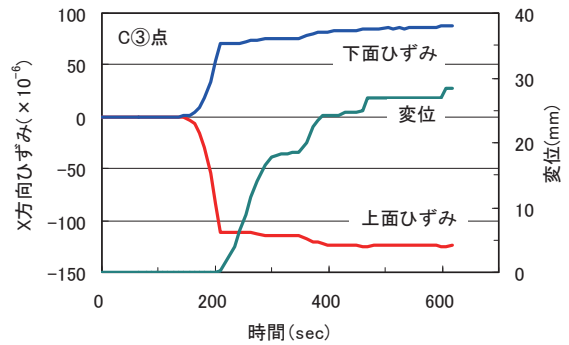


図8 リフトアップ実験での C③点における基礎スラブの垂直変位と X 方向ひずみの推移

Fig.8 Change of the vertical displacement and X-directional strain at point C③ of the base plate in the lift up experiment.

す。図の横軸は膨張鋼管への注水開始からの経過時間を示す。鋼管の膨張に伴って，まず基礎スラブの変形が起こり，ひずみ量がほぼ一定値に到達した後に変位が増加している。3本配置の場合，C③点は膨張鋼管の間に位置すること，および剛性の低いスラブの立ち上がり欠損部の境界であることから，X 方向の曲げモーメントにより基礎スラブが下側に凸にたわみ，その後剛体的にスラブがリフトアップされていることがわかる。

図9に，スラブプレート上における，リフトアップ時の X 方向ひずみの分布を示す。2本配置の場合，基礎

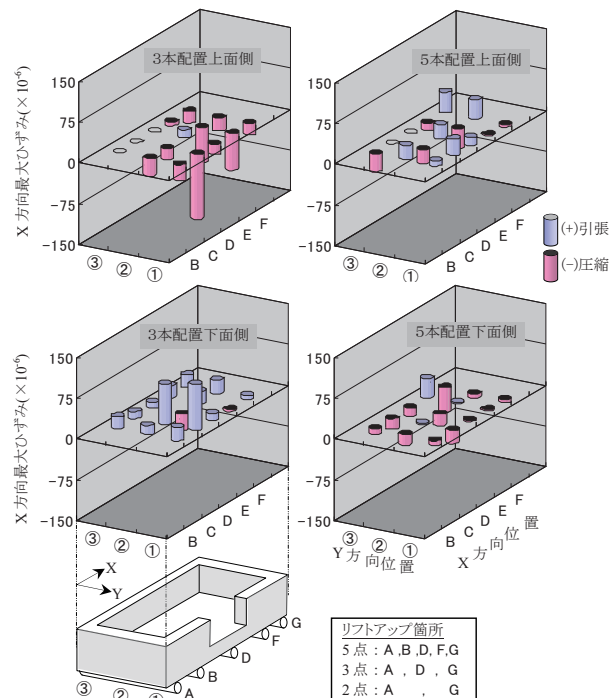


図9 リフトアップ実験での基礎スラブの最大ひずみ
Fig.9 The maximum strain of base plate in the lift up experiment.

スラブの立ち上がり欠損部分（C③点）付近よりクラックを生じたことから、3本配置および5本配置の結果を示す。左側に3本配置、右側に5本配置の結果を示す。左側が3本配置、右側が5本配置の場合であり、それぞれ上側の図がスラブ上面、下側がスラブ下面のひずみ分布を示す。3本配置の場合は、上面側に圧縮、下面側に引張りが生じており、スラブ長手方向が下側に凸に撓むような曲げ変形が生じている。それに対して、5本配置の場合はひずみが分散されており、またひずみの大きさも3本配置の場合の半分以下であり、不均一な変形は認められない。このように基礎スラブの破損を回避するためには、膨張鋼管を多数配置するほど効果的であるが、実際の施工では、住宅の重量や柱の位置、沈下状況などを考慮して、膨張鋼管の配置を決定する。

4. 適用例

本工法を用いて、図10に示す最大83mmの不同沈下を生じた、比較的規模の大きい戸建住宅（建築面積154㎡、延べ床面積225㎡）の修正を行った。建築済みの住宅であることから、後施工工法を適用した。まず、住宅



図10 開発工法を適用して不同沈下修正を行った戸建住宅
Fig.10 The house corrected by the developed method with expansive steel tubes.

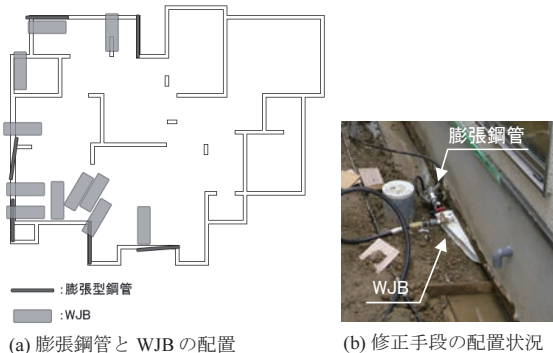


図11 膨張鋼管およびWJBの配置
Fig.11 Placement of the expansive tubes and water jack bags.

の沈下を生じた部分の基礎スラブの下側に、膨張鋼管を挿入するための隙間を設けた。鋼管の膨張量を有効にリフトアップに利用するため、膨張鋼管と地盤ならびに基礎スラブプレートの間には、隙間を生じないように配慮した。

本修正作業においては、最大沈下量が83mmと膨張鋼管の有するリフトアップ量を大きく上回っていることから、膨張鋼管による地切りで生じた20mm程度の隙間を利用して、ウオータージャッキバッグ（幅300mm程度の消防ホース様の両端が閉じられた袋体であり、水道水を注入して膨張させる。以後WJBと記す。）を二次リフトアップ手段として使用した。最終的には、リフトアップによって生じた隙間に無収縮性配合のモルタルを充填し固定した。膨張鋼管およびWJBの配置を図11に示す。これらの配置は建物の沈下状況や建物周囲の状況を勘案し決定した。沈下修正前後の沈下量分布を図12に示す。本物件は建物の正面向かって左側が最大83mm沈下し傾斜していたが、修正後の最大沈下量は20mm以内に収まり、建物としても全体的にはほぼ水平な状態となった。

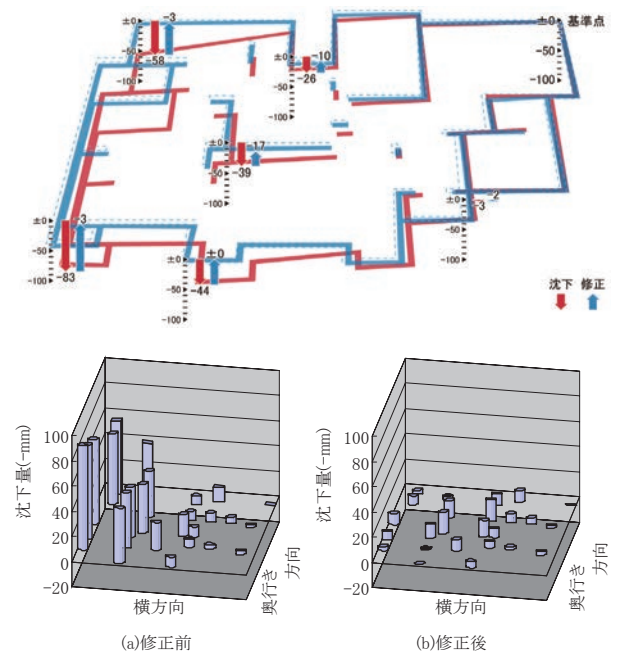


図12 開発工法による戸建住宅の不同沈下修正結果
Fig.12 Correction result of unequal subsidence by the developed method with expansive tubes.

5. 結言

ZAM製鋼管を素材とした鋼管膨張型ロックボルトの技術を応用した、戸建住宅の不同沈下修正用膨張鋼管を開発した。本開発品は簡易な基礎スラブの地切り手段と

して有効であり，WJBなどの二次修正手段と組合せることで，安全で安価な不同沈下修正工法に適用できることを確認した。

本膨張鋼管は日新製鋼株式会社の高耐食性合金めっき鋼板 ZAM を素材として日新鋼管株式会社によって製造・販売され，住友林業株式会社より本膨張鋼管を利用した不同沈下修正工法として提供される。発売以来 2012 年 2 月までに，先施工工法，後施工工法それぞれ 2 件，合計 4 件に適用された。

本開発品および本工法の施工コストならびに施工性が評価され，今後広く普及することを期待する。

参考文献

- 1) 仲子武文，吉田剛之，松原茂雄，橘高敏晴：日新製鋼技報 No.85 (2004)，49-56.
- 2) 田代郁夫，藤野一，仲子武文，松原茂雄，西畑三鶴：日本建築学会大会学術講演梗概集 (2010.9)，715-716.
- 3) 藤野一，田代郁夫，仲子武文，松原茂雄，西畑三鶴：日本建築学会大会学術講演梗概集 (2010.9)，717-718.
- 4) 田代郁夫，藤野一，仲子武文，松原茂雄，西畑三鶴：日本建築学会大会学術講演梗概集 (2011.8)，591-592.
- 5) 谷本親伯：土木特殊工法シリーズ 4NATM_1，森北出版株式会社，東京，(1986)，1.
- 6) 橘高敏晴，西畑三鶴，関茂和，海瀬忍，田名瀬寛之，仲子武文，松原茂雄：材料と環境，56-10 (2007.10)，464-471.