

# アンダーピニング工法による建物傾斜の修復

## Repair of Inclined Building by Underpinning Method

杉山 永久\*1

片岡 隆広\*2

Norihisa Sugiyama

Takahiro Kataoka

### 要旨

本報告は、福島県営住宅大坪団地の災害復旧工事に関するものである。同団地では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の後、一部の建物において既製杭の杭頭損傷による建物傾斜が確認された。検討の結果、建物をジャッキアップすることで傾斜を修復するアンダーピニング工法を採用することとした。本報告では、アンダーピニング工法の施工計画および施工管理に関して、留意事項と具体的な対策内容を中心に報告する。

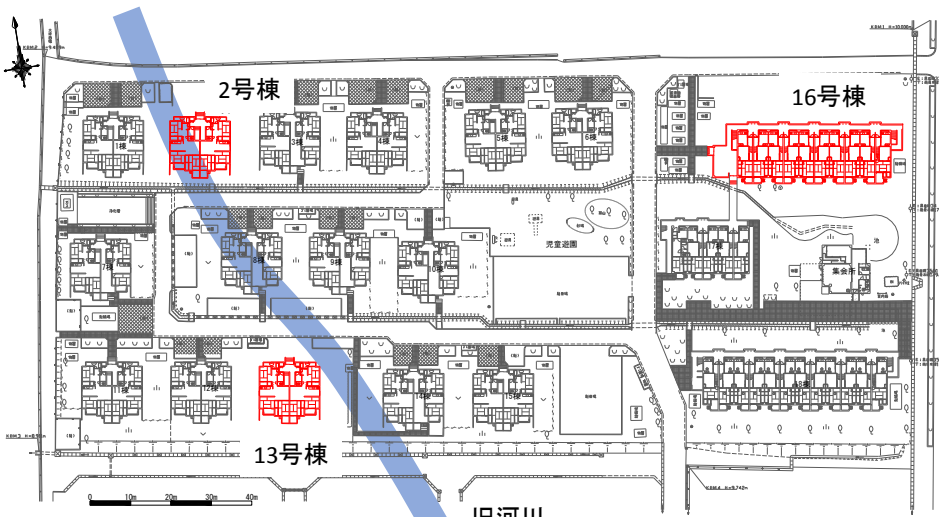
キーワード：アンダーピニング工法 建物傾斜 鋼管圧入 ジャッキアップ 杭支持力の確認

## 1. はじめに

福島県営住宅大坪団地は、18棟の住宅棟と1棟の集会所で構成されている。このうち、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下、震災）の後、建物の被災調査を行った結果、2号棟・13号棟・16号棟の3棟で建物の傾斜が確認された。建屋自体は概ね健全であったが、基礎の一部を試掘した結果、杭頭部に著しい損傷が確認され、これが建物傾斜の原因であると判断した。そこで、健全な建屋を既存のままとし、建物の傾斜のみをアンダーピニング工法によって修復することとした。

### 既存建物の概要

所在地	福島県会津若松市
構造・規模	RC造 杭基礎 地上4階(バッテリー型) 建築面積188.98㎡, 延床面積645.20㎡
・2号棟および13号棟	RC造 杭基礎 地上4階(メゾネット型) 建築面積583.45㎡, 延床面積1887.16㎡
・16号棟	
発注者	福島県会津若松建設事務所
設計者	㈱綜企画設計
施工者	㈱鴻池組
工期	2012年7月～2013年6月
工事内容	・アンダーピニング工法による建物のジャッキアップ ・上記工事に伴う配線・配管の盛り替え等



旧河川  
1971年時点は河川が存在した。  
2号棟および13号棟は河川を埋め立て、  
造成された地盤上に建設されている。

図1 敷地概要



写真1 2号棟全景

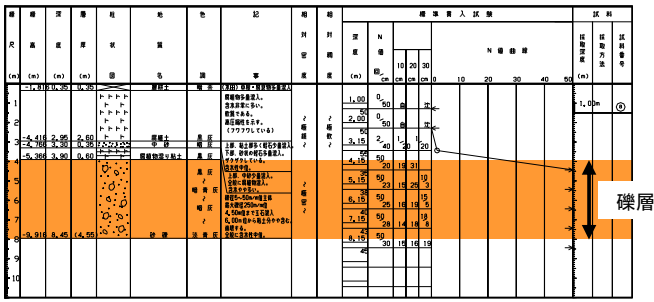


写真2 16号棟全景

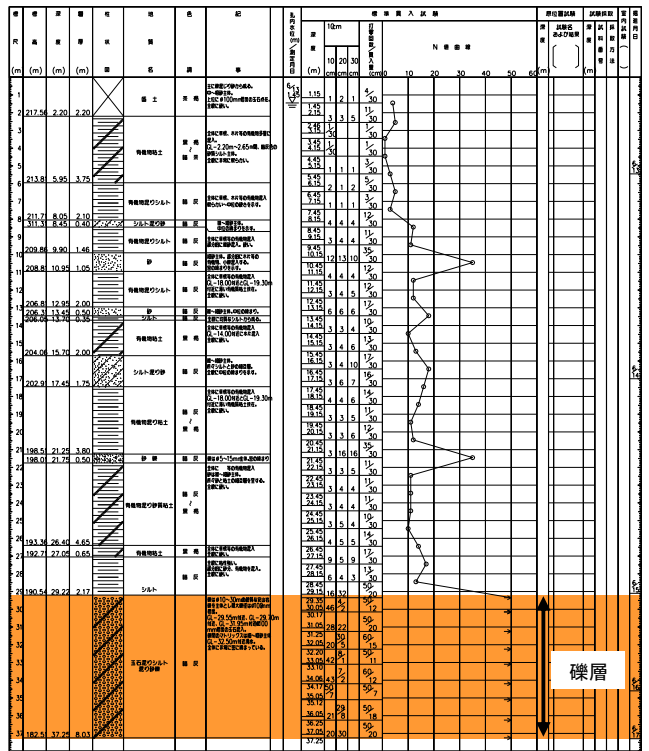
\*1 東京本店 建築部

\*2 設計本部 建築設計第2部

2号棟



16号棟



13号棟

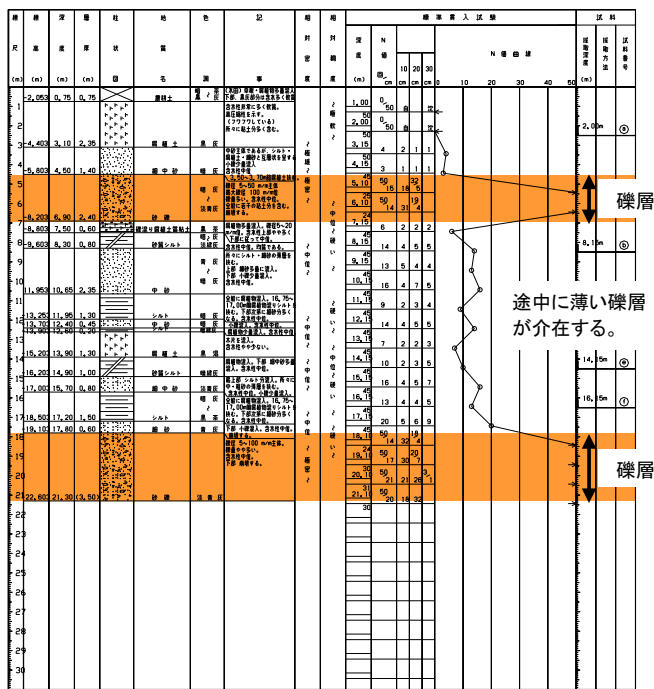
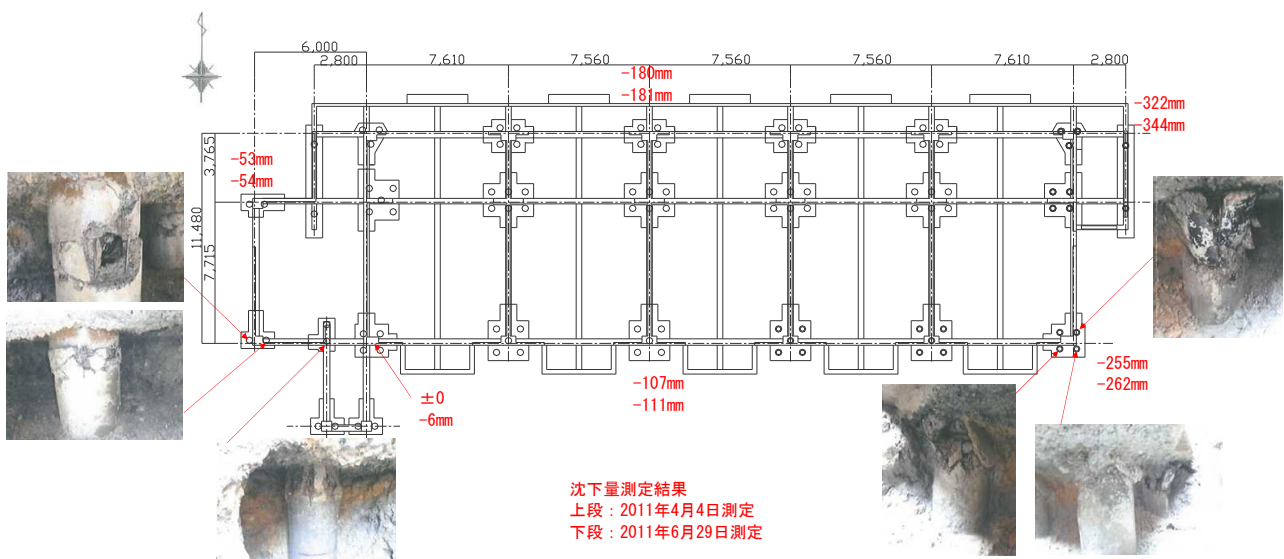


図2 土質柱状図



沈下量測定結果  
 上段：2011年4月4日測定  
 下段：2011年6月29日測定

図3 杭損傷状況および建物沈下状況 (16号棟)

## 2. 地盤状況および被災状況

当該敷地は、1983年に団地が建設される以前は田畑であった。また、図1に示すように、1971年地勢図によると、河川が敷地（2号棟・13号棟付近）を横断しており、氾濫する河川の治水工事（護岸・造成）を繰り返していた地歴が確認された。そのため、図2の土質柱状図からもわかるように、表層地盤は、砂層・礫層とシルト層が交互に層を成し、狭い範囲で急変する複雑な地層を呈している。

震災後、建物の傾斜が確認された3棟は、いずれも打撃工法による既製杭（杭径350mm）によって支持されたRC造4階建ての建物であった。杭損傷状況および建物沈下状況を図3に示す。杭頭部の損傷状況から判断すると、建物傾斜の原因は杭の沈降ではなく、杭頭部の損傷によるものであると推察した。また、杭以外の躯体損傷は軽微であり、建物の形状を維持したまま全体的に傾斜した様子が確認された。沈下量の最大値は16号棟で300mm、2・13号棟で100mm程度であった。

## 3. アンダーピニング工法の概要

アンダーピニング工法の概要を図4に示す。アンダーピニング工法は、建物をジャッキアップし、建物の傾斜を修復する工法である。工事開始時は、建物自重を反力として、短い鋼管杭の圧入と継ぎ足しを繰り返す。次段階として、鋼管杭の先端が支持層に到達すると、鋼管杭を反力として、建物をジャッキアップできるようになる。建物をジャッキアップできる状態になった後は、ジャッキのストロークと荷重を監視しながら、建物の傾斜を修復する。最後に杭頭を鉄筋コンクリートで補強し、周囲を流動化処理土で埋め戻すものである。

## 4. 設計上の配慮

アンダーピニング工法は、設計段階から配慮が必要であることを、本工事を通じて明確に把握することができた。以下に設計段階に配慮すべき内容を示す。

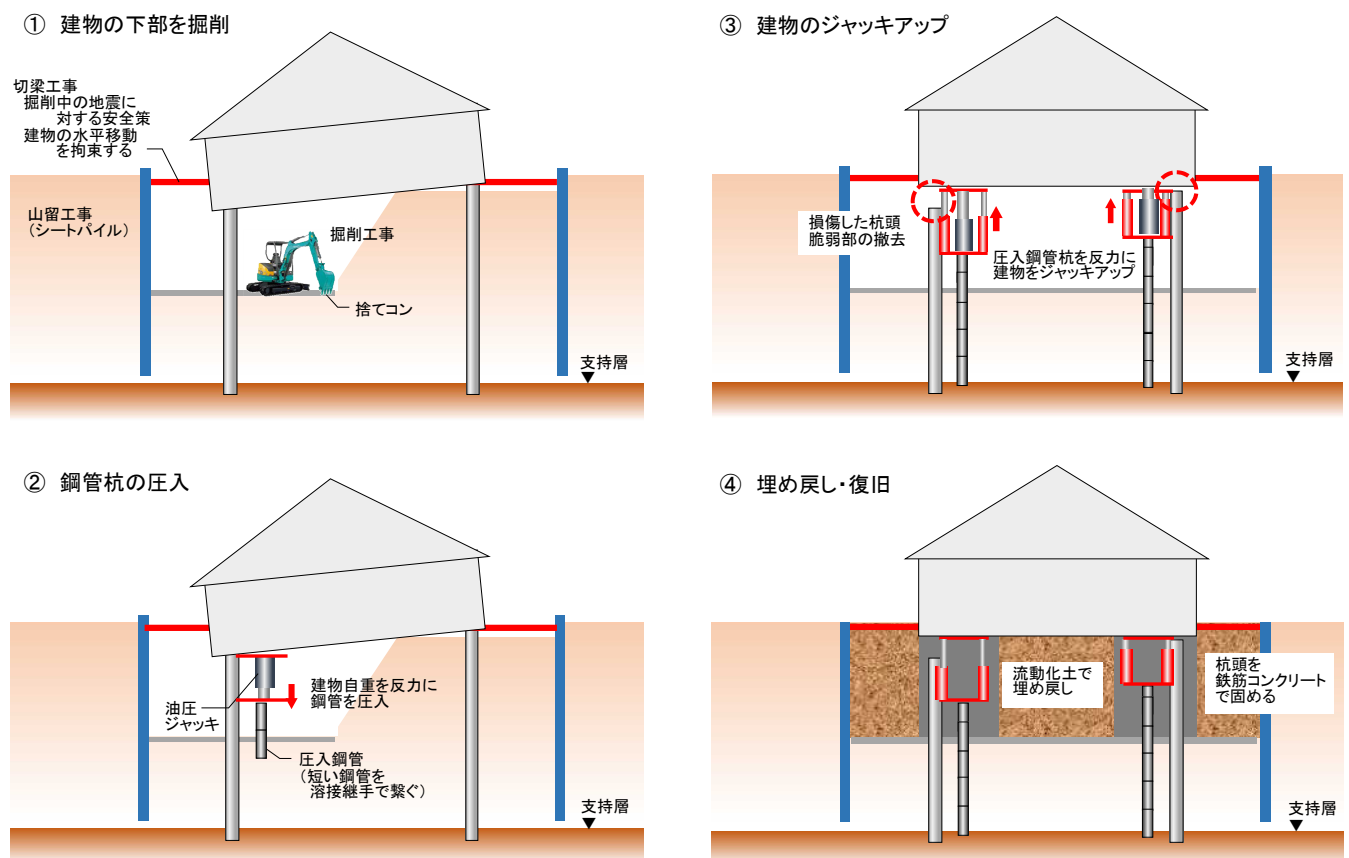


図4 アンダーピニング工法概要

#### 4.1 敷地状況

- ① 山留壁と建物の間隙は、掘削重機（バックホー）の積み下ろしや掘削土の搬出に利用されるため、山留壁を建物に近接させて構築することは困難である。
- ② 施工中の安全性を確保するために、掘削工事は建物外周から均等に行い、建物の片側からの偏った掘削は望ましくない。このため、山留壁と建物の間隙は1箇所だけではなく、建物四周に確保されていることが望ましい。

#### 4.2 地盤調査と鋼管杭の設計

- ① 礫層が介在する場合、使用する鋼管を極力統一することが望ましい。薄くとも礫層が介在すると、その層より下層に鋼管を圧入できないケースがある。逆に、礫層が薄い場合や緩い場合にはその礫層を貫通してしまうケースもある。そこで、どの場所でも極力同じ鋼管を使用し、場所によって本数を増減させて設計する配慮が必要である。
- ② 杭が高止まりした場合、設計軸荷重の3倍の荷重を杭に載荷する必要が生じる。この時、1柱1杭で設計されていると、その荷重を杭に載荷することが困難になる。特に建物の隅角部は建物自重が少なく、反力の確保が困難である。したがって、1柱を複数の杭で支持する設計にしておくことが望ましい。

### 5. 施工計画および施工管理

#### 5.1 山留計画

本工事は山留工事では、地下水位が高いことから、シートパイル工法を採用することとした。山留壁と建物の離隔は、原則として、バックホーを建物下部に搬入できる間隔を建物四周に確保する計画とした。また、施工中の地震に対する安全性を確保するために、建物と山留壁との間に切梁を設け、建物の水平移動を拘束する計画とした。なお、この切梁の端部はジャッキアップに追従可能な納まりとして計画した。

#### 5.2 掘削計画

工区分割と掘削順序を図5に示す。建物下部を安全に掘削するため、工区を細分化し、対角の工区を掘削していき、隣接する工区を極力連続して掘削しない計画とした。また、建物四隅・外周部からバランス良く徐々に掘削する計画とし、片側からの偏った掘削を行わないよう計画した。さらに、極力掘削しない範囲（図中、非掘削部）を残し、施工中の安全性が確保できる計画とした。

#### 5.3 掘削深度の設定

掘削深度の設定に関して、以下の点に配慮した。

- ① 鋼管圧入の作業効率

基礎下部の作業では重機の使用に制限があり、鋼管杭

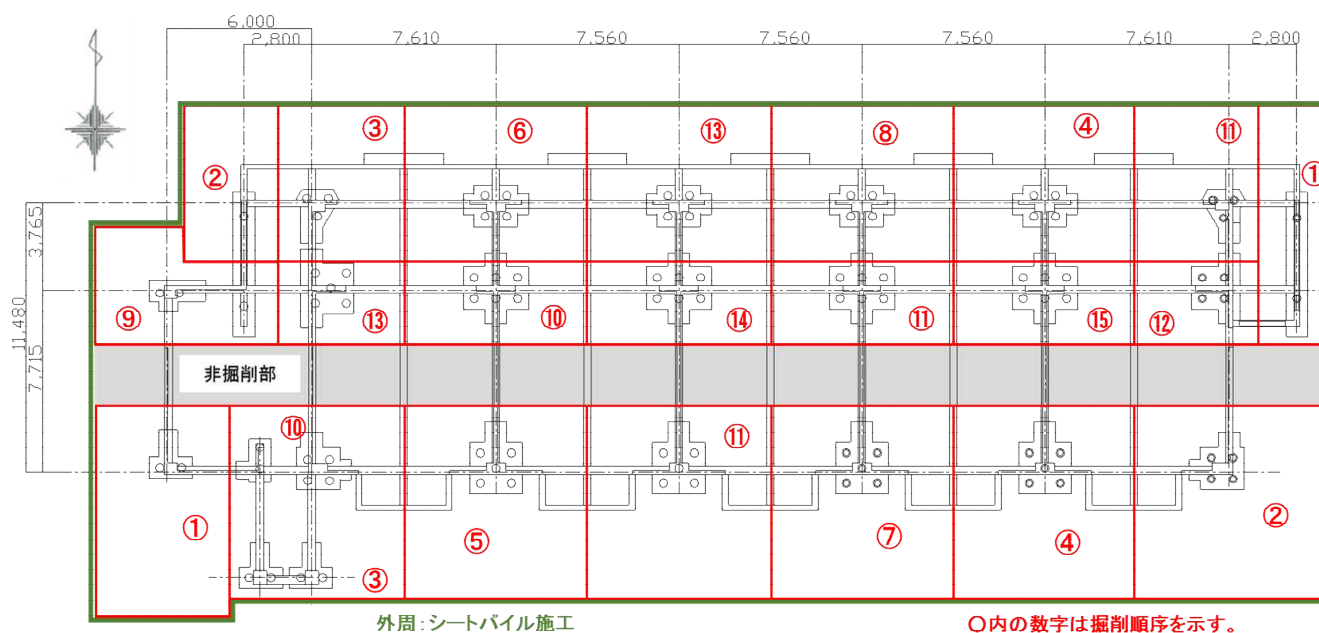


図5 工区分割と掘削順序（16号棟）

の圧入時に継ぎ足す鋼管やジャッキを杭頭に載せる作業は人力で行う計画としていた。そのため、掘削深度を深く設定した場合、これらの作業が高所作業となり作業効率が低下する。

② 鋼管圧入の安全性

上記作業が高所作業となるため、作業的な安全性が低下する。また、ジャッキの加力点から地面までの鋼管露出部（座屈長さ）が長くなるため、構造的な安全性の低下も懸念される。

③ 埋め戻しに関するコストと工期

掘削深度が深いほど、埋め戻し量が増加し、コストの増加と工期の延伸が懸念される。また、埋め戻しに必要な掘削土を一時的にストックするヤードも必要となる。

以上のことから、掘削工事の作業性を確保すると同時に、掘削深度を極力浅くする計画が有効であると判断し、建物下部を小型のバックホーが走行できる高さ（深さ）を掘削深度とし、基礎底から 1600mm を根切り底とした（写真 3）。



写真 3 掘削状況

5.4 圧入鋼管杭の支持力確認

新設する杭は、震災で損傷した既存杭には全く期待せず、圧入鋼管杭で負担する設計であった。このため圧入鋼管杭に要求される支持力は、ジャッキアップ時の短期的な支持力に加え長期的な支持力の確保が必要であった。

一方、「2. 地盤状況および被災状況」に記述した通り、表層地盤は礫層とシルト層が交互に層を成し、狭い範囲で急変する複雑な地層を形成していた。そのため、設計段階で設定していた支持層に到達することなく、途中で介在する礫層によって圧入鋼管杭が高止まりすることが懸念された。そこで、高止まりした場合の圧入鋼管杭の支持力を以下の手順により確認することとした（図 6、写真 4）。

① 設計軸荷重の 3 倍以上、かつ基礎の浮上りがスパン長の 1/3000 以下の範囲内で油圧ジャッキの最大荷重ま

で載荷（最大で 1800kN）。

② 最大圧入荷重の載荷後、「最大圧入荷重⇔0 荷重」を 3 回以上繰り返し載荷。また、最大圧入荷重時に一定時間（15 秒以上）保持し、杭の貫入量差が 3mm 以下であることを確認。

③ 比較的大型の玉石に起因する杭の高止まりについては、繰り返し載荷における 0 荷重時のリバウンド量の極端な増加や圧入時の軸芯ズレの状況で判断。

上記方法で支持力を確認した上で、杭曲げ等の検討を行い、必要に応じて杭を追加した。また、上記支持力確認において、所定の支持力を確保できないと判断した場合も必要に応じて杭を追加した。

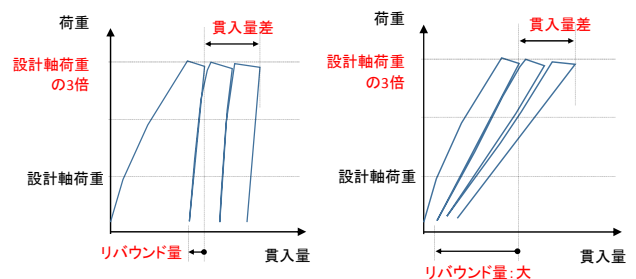


図 6 荷重-貫入量関係のイメージ



写真 4 鋼管圧入状況

5.5 ジャッキアップ

圧入鋼管杭の支持力確認後、杭頂部にジャッキを設置し、受け持つ重量分の荷重を載荷した（写真 5）。16 号棟の場合、沈下量が少ない長辺方向を先にジャッキアップし、次に短辺方向をジャッキアップすることとした（図 7）。この時、計測器により、複数のジャッキのストロークおよび荷重状態を同時にモニタリングしながら、建物のジャッキアップを実施した（写真 6, 7）。最後に、1 階住戸内のレベルと建物四隅の建入れ確認を行い完了とした。

### 5.6 流動化処理土の充填（埋め戻し工事）

ジャッキアップ完了後、杭頭を鉄筋コンクリートで補強し、最後に流動化処理土によって埋め戻し工事を行った（写真8）。流動化処理土の充填性の確認は目視とセンサーにより行い、流動化処理土がセンサーの高さまで達し監視盤のランプが点灯することにより管理した（図8、写真9）。

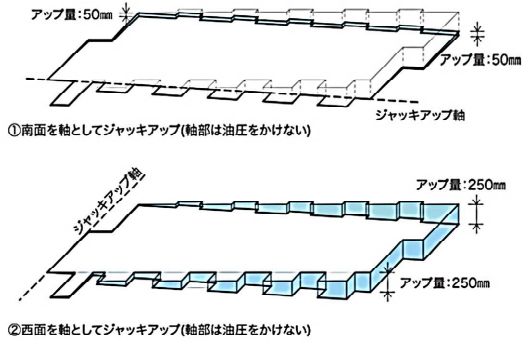


図7 ジャッキアップ手順（16号棟）



写真5 ジャッキ設置状況



写真6 変位測定



写真7 ジャッキアップ監視状況



写真8 流動化処理土充填状況

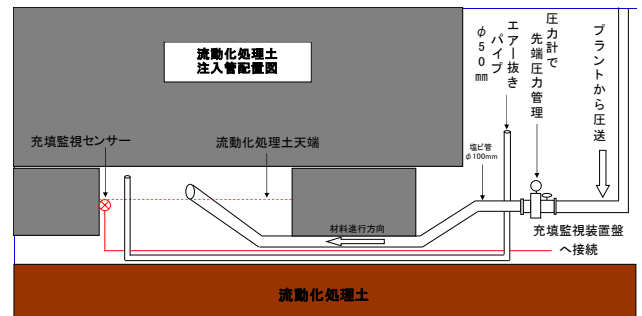


図8 流動化処理土の充填性監視方法



写真9 流動化土の充填性確認

## 6. まとめ

福島県営住宅大坪団地の災害復旧工事において、アンダーピニング工法による建物傾斜の修復を実施した。本工事を通じて、工法適用上の留意点を設計・施工の両面から把握することができた。

震災後、復旧・復興工事が各所で同時期に実施され、被災地では資材不足や作業員の不足が深刻化し、現在でも、同様の状況が続いている。このような情勢の中、限られた資機材・人員で住宅を再建できる本工法は、被災地の早期復旧・復興に貢献できる有効な技術であると考えられる。