

# 既存地下躯体を利用した山留めの事例

元井 康雄 富安 祐貴

辻 雄太

(東京本店建築事業部)

## Case of Earth Retaining using Existing Underground Structures

Yasuo Motoi

Yuki Tomiyasu

Yuta Tsuji

### Abstract

The amount of earth retaining construction and structural demolition can be reduced by using existing underground structures. Additionally, it can reduce the environmental impacts of demolition, such as vibration, noise, waste generation, and greenhouse gases. In the construction of a new training facility of the Obayashi Corporation "Port Plus<sup>®</sup>", the existing underground structure was effectively used as an earth retainer. This study provides an overview of earth retaining by combining existing underground structures with newly constructed soldier beams with horizontal boards and describes measures against floating during underground construction, such as deep well pumping tests.

### 概 要

既存地下躯体の利用により、新設山留めや既存地下躯体解体の施工数量が削減されるほか、解体に伴う振動・騒音、廃棄物および温室効果ガスの発生といった、環境負荷も低減できる。大林組の自社研修施設「Port Plus<sup>®</sup>」新設工事では、既存地下躯体を山留めとして有効利用した。本報では、本事例における既存地下躯体と新設の親杭横矢板壁を複合した山留めの概要および地下工事期間中の浮力対策について述べる。既存地下躯体の内部に新設地下躯体を納める平面配置とし、箱状に存置した既存地下外壁および耐圧版を山留めの一部とした。また、浮力対策のディープウェルを早期に施工して本稼働前に揚水試験を実施し、経済的な地下水処理を実現した。

## 1. はじめに

市街地での建替え工事などにおいて、既存地下躯体の一部を山留めとして有効利用する事例<sup>1)~4)</sup>が近年増えている。既存地下躯体解体や新設山留めの施工数量が削減されるほか、解体に伴う振動・騒音、廃棄物および温室効果ガスの発生といった、環境負荷も低減できる。

このような背景のもと、日本建設業連合会「既存地下工作物の取扱いに関するガイドライン」<sup>5)</sup>では、既存地下躯体または既存山留め壁を仮設利用した後の存置の条件として、「地盤の健全性・安全性の維持に必要であること」または「撤去すると周辺地盤に悪影響があること」を判断基準として既往事例とともに示しており、既存地下躯体利用の一助となっている。また、日本建築学会「山留め設計指針」<sup>6)</sup>では、既存地下躯体の山留めとしての利用例を、既存基礎スラブの存置の程度で分類し、計画上の留意点、調査項目、山留め計算におけるモデル化の例などを示している。

本報では、比較的小規模な地下工事において、既存地下躯体を山留めとして有効利用した事例を紹介する。特に計画時に工夫を要した、既存地下躯体と新設の親杭横矢板壁を複合した山留めの概要および地下工事期間中の浮力対策について述べる。

## 2. 建物および地盤概要

### 2.1 地下工事概要

本事例は、大林組の自社研修施設「Port Plus<sup>®</sup>」新設工事に、既存地下躯体を利用した山留めを適用したものである。既存建物も大林組施工で、約50年前に施工された当時の設計図書が残されており、地下工事計画時の詳細検討に活用することができた。

Fig. 1に、地下工事概要および地盤概要を示す。新設地下平面は約27m×19mの長方形である。1FL-2.75mを境界として、上部は既存地下躯体を全て解体してその外側まで新設地下躯体を配置、下部は既存地下躯体の外壁および耐圧版を箱状に存置させ、この内部に新設地下躯体を納める配置である。既存地下躯体は最大1FL-6.45mの深さまで解体している。ここで、1FL=T.P.+3.227mである。

### 2.2 地盤概要

敷地は東京湾に近い横浜市東部の低地に位置している。地盤調査は敷地の四隅でそれぞれ実施した。Fig. 1に代表的な土質柱状図を示すが、敷地内はおおむね平坦な地層構成となっており4調査点ともに同様な結果である。地表面より1FL-2.2m付近までは人工物主体の埋土、その下

部に1FL-7.1m付近まで細砂が堆積しているが、これは既存建物の施工時に埋め戻された砂と考えられる。1FL-7.1m~-18.9m程度には自然地盤である砂礫層と礫混り細砂層、その下部には沖積シルト層が厚く堆積する。埋土層で無水掘りにより確認した水位は1FL-1.6m~-1.8mであったが、試掘の結果溜り水と判断し、遮水性を有しない親杭横矢板壁の採用に至った。砂礫層で実施した現場透水試験における平衡水位は1FL-4.3mであった。

### 3. 既存地下躯体を利用した山留め

#### 3.1 山留め計画

Fig. 2に山留め平面を、Fig. 3に山留め断面および施工計画の例を示す。山留めの主な仕様は、Fig. 1に示したとおりである。

1FL-2.75mより上部は、道路側の一面を除き既存地下躯体を全て解体し、隣地境界近傍まで新設地下外壁を配置する設計である。新設地下外壁と隣地境界との間に山留め壁を設置するクリアランスがないため、山留め壁として仮設利用したH形鋼を存置させ、新設地下外壁に内蔵させる配置とした。また、既存耐圧版を存置するものの、その上端レベルが1FL-6.45mと既存地下外壁だけでは自立掘削が困難な深さのため、既存地下1階床の解体前に、1FL-1.0mのレベルに鋼製支保工を架設した。鋼製支保工の平面配置は、解体重機の施工性を考慮し、一般的な井桁状配置ではなく、隅部に火打ちを配置して短辺の山留め壁を抑える配置とした。火打ちが及ばない長辺中央部に対しては、腹起しにプレストレスを導入することで、腹起しの曲げ耐力に期待して山留め壁の変位を抑制する方法を採った (Photo 1参照)。

1FL-2.75mより下部は既存地下躯体の外殻を存置し、山留めとして有効利用した。具体的には、地下外壁と耐圧版を箱状に存置し、その内部に新設の地下躯体を配置した。Fig. 1に示したように床付け地盤が地下水の豊富な砂礫層であるため、仮に既存地下躯体を全て撤去する計画とした場合、地下水対策として、遮水壁を砂礫層直下のシルト層(粘性土層)まで根入れさせるか、揚水により地下水位を床付け深さまで低下させる必要がある。既存地下躯体を存置して山留めとして有効利用することで、これらの対策が省略もしくは軽減され、工期・工費の削減に加え、解体工事や地下水位低下に伴う周辺環境への負荷の低減にもつながった。Photo 1は、鋼製支保工の架設状況である。重機支持のため、既存地上躯体の解体ガラを再利用し、既存地下躯体内部に充填させている。

#### 3.2 山留め解析

山留め壁の挙動予測解析は、実務設計で一般に用いられる梁・ばねモデルにより実施した。ただし、Photo 2に示すように、新設の親杭横矢板壁の根入れ部と既存地下外壁との隙間に厚さ0.3m前後の原地盤が挟まれる位置関係にあり、地盤反力の評価に適切に反映させる必要が

あった。具体的な解析上の工夫として、掘削側の地盤ばねの一部を、既存地下の床および外壁の剛性を考慮した、原地盤との合成ばねに置き換えている。この合成ばねは、別途フレーム解析により事前に算出した。Fig. 4に親杭横矢板壁部分の山留め解析結果の一例を示す。山留めの設計に用いた外力(主働側圧)および地盤定数は、地盤調査結果を基に日本建築学会「山留め設計指針」<sup>6)</sup>を参考に設定した。また、既存地下外壁部の健全性は、主働側圧を外力とした片持ち梁として、別途検討している。なお、既存地下躯体を含む山留め部材の許容応力度は、仮設利用であることを考慮し、上記指針<sup>6)</sup>に準拠し短期許容応力度と長期許容応力度の平均値とした。

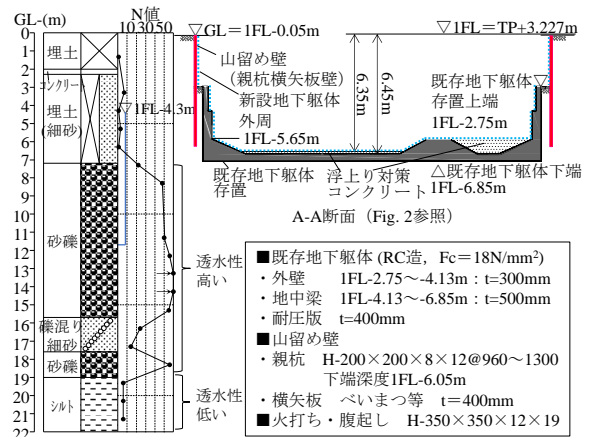


Fig. 1 地下工事概要および地盤概要

Outline of Underground Construction and Soil Profile

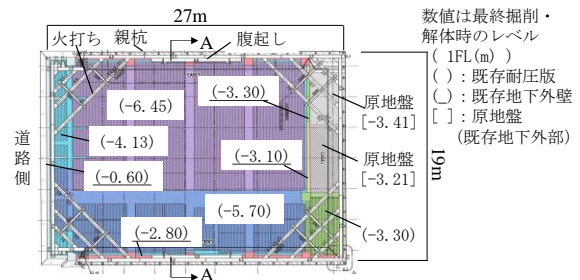


Fig. 2 山留め平面  
Plan of Earth Retaining

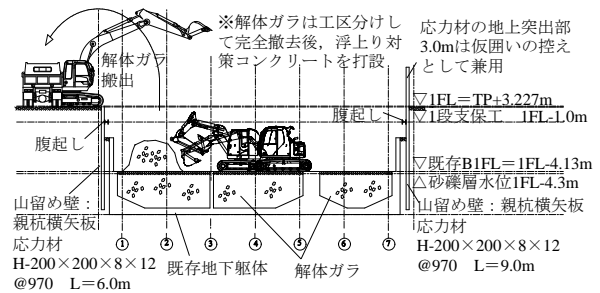


Fig. 3 山留め断面および施工計画の例  
Section of Earth Retaining and  
an Example of Construction Plan



Photo 1 鋼製支保工の架設状況  
Installation of Steel Support Works

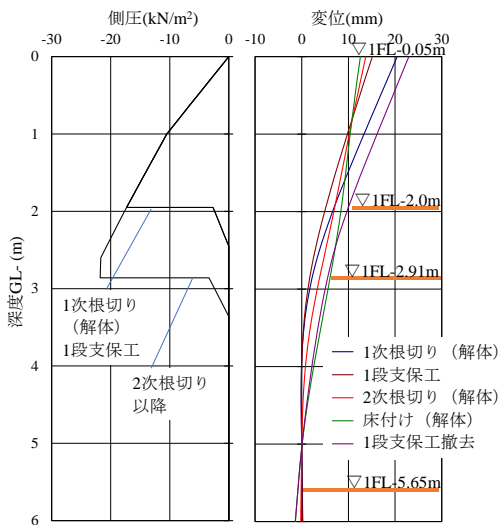


Fig. 4 山留め解析結果の例  
Example of Earth Retaining Analysis Result

### 3.3 山留め計測結果

Fig. 5に、山留め計測位置の平面配置を示す。親杭頭部の水平変位、火打ちの軸力および前面歩道のレベルを測定した。また、道路側の約6mの区間のみ、既存地下外壁存置部の柱間スパンが大きくなるため、1FL-3.55mに2段目腹起し(H-350×350×12×19)を設置しているが、この水平変位も計測した。

親杭頭部変位は、床付け（既存地下躯体の最終解体）時の予測値13mmに対し実測値が12～16mm、1段支保工撤去時の予測値23mmに対し実測値が25～27mmと、2割程度大きく発生したが、山留め各部材には十分に余力があり問題なく地下工事を完了した。なお、2段目腹起しの水平変位は発生しなかった。また、歩道レベルは-1～+2mm（マイナスが沈下）程度で、周辺地盤への有意な影響は発生していなかったといえる。火打ちには、架設時に部材間をなじませる目的で1本あたり100kN程度の小さな緊張力を導入したが、設置期間中を通じて±20kN程度と、大きな軸力の変動は認められなかった。



Photo 2 親杭・既存地下外壁間の地盤  
The Soil between Soldier Beams and Existing Underground Exterior Walls

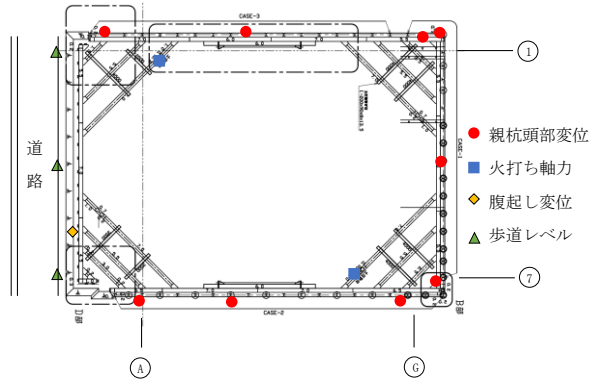


Fig. 5 山留め計測位置  
Plan of Measurement Points of Earth Retaining



Photo 3 既存地下躯体の最終解体状況  
Final Demolition of Existing Underground Structures

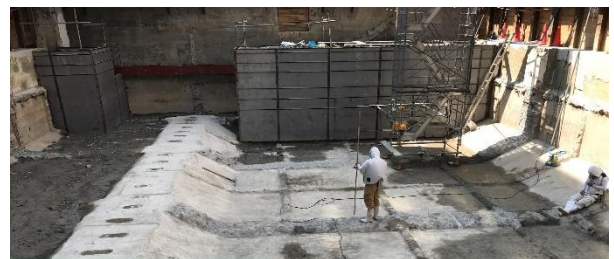


Photo 4 解体工事完了後のレベル確認状況  
Level Measurement after Demolition Work

Photo 3は、既存地下躯体の最終解体状況である。解体重機の上空を妨げる切梁が無く、施工性が良好であったことがわかる。Photo 4は、解体工事完了後のレベル確認状況である。

## 4. 地下工事期間中の浮力対策

### 4.1 浮力に対する検討

既存地下躯体を箱状に残し、内部を解体する施工手順のため、躯体直下の地下水による揚圧力が存置した躯体の重量を上回ると、浮力による浮上りが生じる。この対策として、①躯体周囲の地下水位を低下させる方法、②躯体内部に仮設のウェイトを配置する方法、③薬液注入などにより躯体周囲への地下水の流入を遮断する方法、などがある。本事例では、①と②を併用した対策工とし、ディープウェルを用いた揚水と、仮設ウェイトとしてのコンクリートの増打ちを実施した。

Fig. 6に、浮上りの検討条件を示す。砂礫層の平衡水位1FL-4.3mに対しての、建物重量の不足を補うため、新設建物と干渉しない範囲にコンクリートを増打ちした。この条件のもとに、浮上りに対する安全率を1.0として検討すると、砂礫層の水位を1FL-5.1mまで低下させる必要がある結果となった。また本事例では、Fig. 6中に示すように、4~5通りを境に建物重量の分布が大きく異なるため、鉛直方向の重量バランスの検討に加え、揚圧力と建物重量によるモーメントを比較することにより、全体が剛体回転しないことも確認した。なお、上記の検討において、既存地下外壁と地盤との摩擦および耐圧版直下の鉛直方向の地盤反力は、安全側の余力として扱い、検討上は無視した。

### 4.2 揚圧力に対する既存耐圧版の健全性の検討

既存地中梁の解体に伴い、存置した既存耐圧版においては、揚圧力に対する健全性の検討が必要になる。最も不利な条件をFig. 7に示すが、L=8.375mのスパン長に、厚さ400mmの耐圧版が存置される形状である。設計図書に示されていた配筋に従った曲げ、せん断、付着に対する応力検討の結果、既存耐圧版の健全性を保持するために必要な砂礫層の低下後水位は、1FL-4.9mとなった。

この結果と、4.1節に示した結果から、砂礫層の水位を1FL-5.1mまで低下させる計画とした。

### 4.3 揚水設備および揚水試験

砂礫層の地下水揚水設備として、ディープウェル工法を採用した。井戸鋼管の直径は、敷地の制約上150mmの小口径とし、スクリーン設置深度は、砂礫層が分布する1FL-7.1m~-18.9mの区間とした。地盤調査報告書に示される砂礫層の現場透水試験結果によると、透水係数の値は $1.83 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ であり、この条件による事前検討では、ディープウェル2本で必要な水位低下が得られる結果となった。しかしながら、透水係数の推定誤差、地下水位の自然変動、水位低下不足の場合のディープウェル増設工事による他工事への影響を考慮し、1本余裕を持たせた3本のディープウェルを施工することとした。

既存地下解体工事着手前に、Fig. 8に示す配置で3本のディープウェル (DW1~DW3) を施工後、すみやかに揚

水試験を実施した。なお、Fig. 8中の観測井 (OB1) は、4.4節に示す群井揚水試験の直前に追加施工したものである。揚水試験は、下記2種類を行うことで予測精度を確保した。

まず、段階揚水試験により各ディープウェルの揚水能力を把握した。この試験は、ディープウェルの揚水流量を一定時間 (本試験では90分間) ごとに段階的に変化させ、揚水井内の水位との関係から限界揚水流量を推定する試験である。Fig. 9に、DW2の試験結果を例として示す。DW2およびDW3では、170L/minが限界揚水流量として得られた。一方で、DW1の限界揚水流量は70L/minと小さく、井戸洗浄による改善を試みたものの変化はなかったため、これらの能力差を揚水計画に反映させる必要があった。

次に、DW2を揚水井とした連続揚水試験を実施した。この試験は、ディープウェルを一定流量で長時間 (本試験では8時間) 連続して稼働し、このときの観測井の水位低下量から、透水係数を推定する試験である。揚水流量は段階揚水試験結果を参考に150L/minに設定した。連続揚水試験の結果、透水係数の推定値は $9.0 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ と、当初計画での想定約5倍となった。

Fig. 10は、この結果を不圧帯水層におけるティーム (Thiem) の井戸理論式<sup>6)</sup>に適用し、DW2連続揚水試験時の平面的な地下水位低下分布を再現した結果である。揚水井DW2から約27m離れたDW1の位置においては推定誤差があるものの、約19m離れたDW3の位置における水位低下量は0.34mと、実測値と合致した。

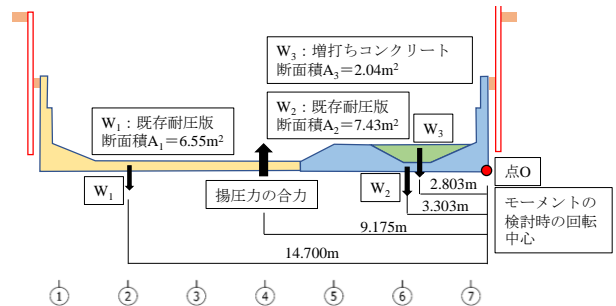


Fig. 6 浮上りの検討条件  
Conditions for Considering Floating

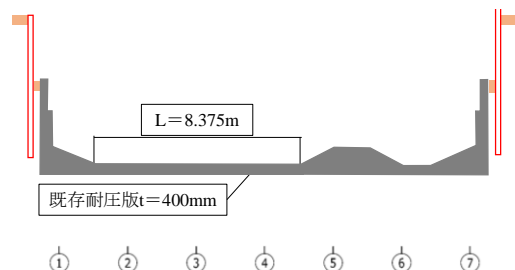


Fig. 7 既存耐圧版の健全性の検討条件  
Conditions for Considering Stresses  
on the Existing Base Slab

#### 4.4 地下水水位低下分布の予測

連続揚水試験による透水係数の推定値が、当初計画時の約5倍となったため、施工済みのディープウェル3本では、揚水能力が不足する懸念が生じた。そこで、Fig. 8に示す観測井(OB1)を追加施工のうえ、DW1~DW3の3本を同時に稼働させる群井揚水試験を実施した。Fig. 11に、その結果を踏まえた水位低下予測分布を示す。群井揚水試験時においては、ディープウェルどうしの干渉のため、DW1、DW2、DW3の限界揚水流量はそれぞれ45L/min、

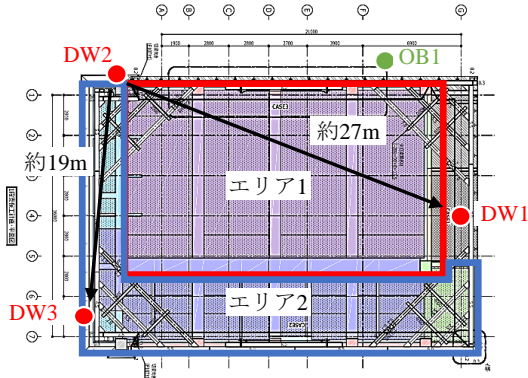


Fig. 8 ディープウェルおよび観測井配置  
Plan of Deep Wells and an Observation Well

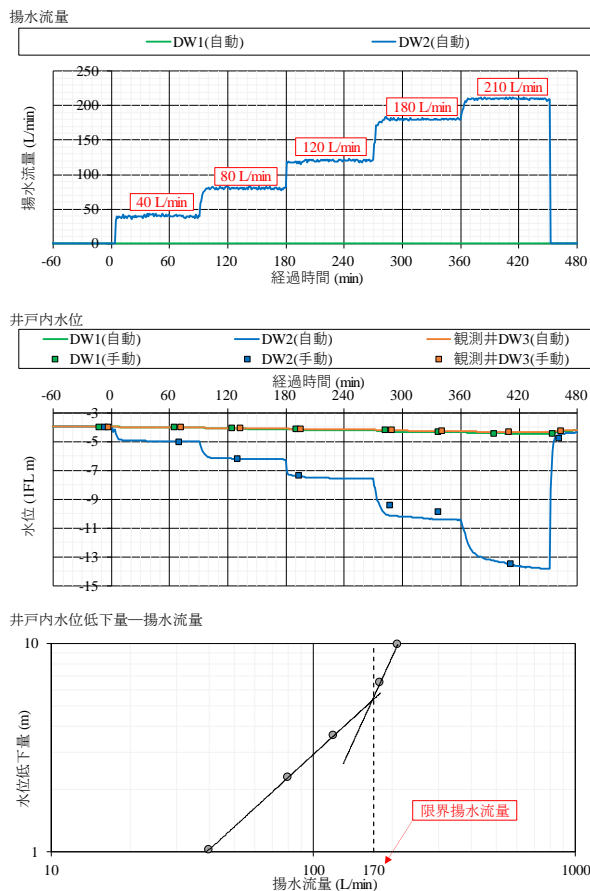


Fig. 9 段階揚水試験結果 (DW2)  
The Result of Staged Pumping Test(DW2)

170L/min、160L/minとなったが、ディープウェルを追加せずに必要な水位低下が得られることを確認できた。

#### 4.5 揚水計画および実施結果

Table 1(a)に、地下工事期間中における観測井OB1の管理水位を示す。新設工事の進捗に応じて、浮力に対する抵抗となる躯体重量が増加するため、施工段階に応じた管理水位を設定した。各ディープウェルの揚水流量は、Table 1(b)に示すように、揚水試験結果を参考に設定し、

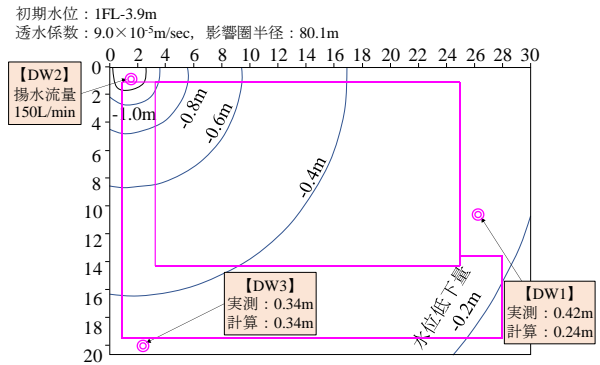


Fig. 10 連続揚水試験結果に基づく水位低下分布  
Distribution of Lowering of Water Levels Based on the Continuous Pumping Test Result

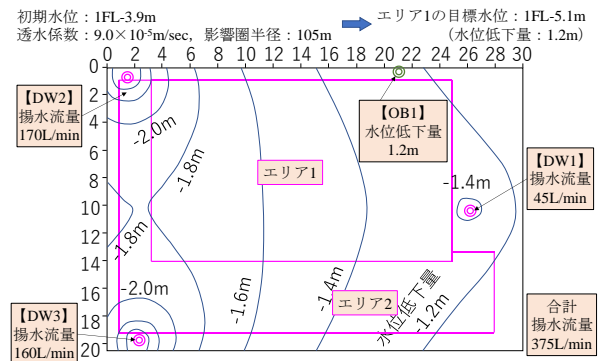


Fig. 11 3本のディープウェルによる水位低下予測  
Prediction of Lowering of Water Levels using Three Deep Wells

Table 1 管理水位および設定揚水流量

Control Values of Water Level and Set Values of Pumped Storage Flow Rate  
(a)観測井OB1の管理水位 (1FL(m))

| 2次根切り～耐圧版打設前 | 耐圧版打設後 | マットスラブ打設後 |
|--------------|--------|-----------|
| -5.1         | -4.4   | -3.5      |

(b)設定揚水流量 (L/min)

| DW1                | DW2                 | DW3                 |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| $45 \times \alpha$ | $170 \times \alpha$ | $160 \times \alpha$ |

※ただし、下限値を45(L/min)とする

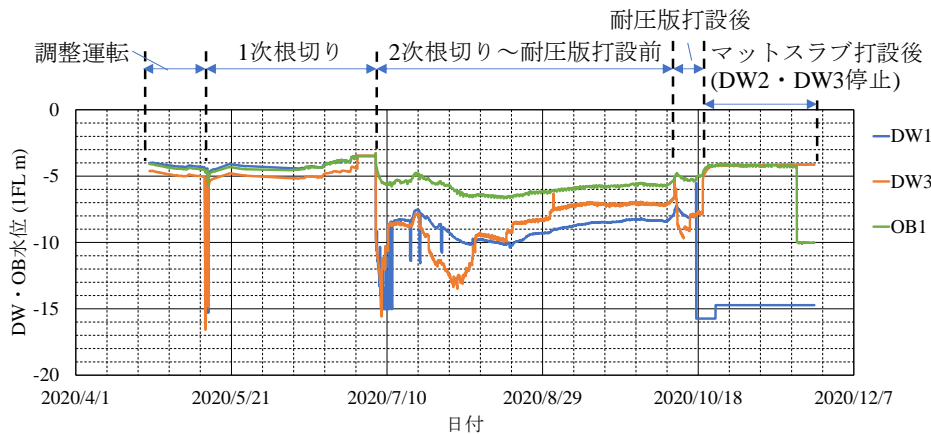


Fig. 12 地下水位の実測結果  
Measurement Results of Water Level

施工段階ごとに一定の比率 $\alpha$ を保ちながら、流量を変更させる計画とした。なお、Fig. 8に示すエリア2においては、エリア1と比較して存置する基礎の重量が大きい為、必要な水位低下量も小さいが、エリア1を管理水位まで低下させると、ディープウェルの配置上、必然的にエリア2も同様な水位低下となる結果となった。そのため、エリア1とエリア2の区別はつけずに揚水管理を行うこととした。

Fig. 12に、地下水位の実測結果を経時グラフで示す。揚水流量は、一定値を維持させるため、電磁バルブにより制御した。施工段階に応じて、観測井OB1で水位低下状況を確認しながら揚水流量の設定を変更し、管理水位を満足させながら施工を進めることができた。

## 5. まとめ

既存地下躯体を山留めとして有効利用した事例を紹介し、既存地下躯体と新設の親杭横矢板壁を複合した山留めの概要および地下工事期間中の浮力対策について述べた。本事例の特徴を以下にまとめる。

- 1) 新設地下躯体の平面配置を工夫し、箱状に存置した既存地下外壁および耐圧版を山留めとして有効利用した。既存地下躯体の解体数量が削減され、新設山留め壁は遮水性を要しない廉価な親杭横矢板壁とすることができ、根入れ長さも低減できた。さらに、地下水位を床付け深さまで低下させる必要がなくなり、揚水流量の削減にもつながった。
- 2) 既存地下躯体を存置させない浅い部分には親杭横矢板壁を採用し、下部に存置する既存地下躯体を考慮した山留め解析により、安全性を検証した。山留め壁の最大変位は予測値の2割程度大きく発

生したが、山留め各部材には十分に余力があり問題なく地下工事を完了した。

- 3) 箱状に存置した既存地下躯体の浮上り防止のため、揚水により砂礫層の地下水位を低下させた。ディープウェルを早期に施工して揚水試験を実施し、揚水計画に反映させた。施工段階ごとに電磁バルブにより揚水流量を制御し、合理的な地下水処理を実施した。

なお、上記の計画や対策は、事前に現場スタッフおよび支援部門間で山留めや地下水に対するリスクを共有することで実現した。山留め解析モデルの妥当性の検討、準備工事段階での試掘、早期の揚水試験などを実施することで、山留めの仕様や地下水処理コストの合理化につなげることができた。

## 参考文献

- 1) 湯浅肇：直接基礎の既存地下躯体を再利用した事例、基礎工，Vol. 33, No. 4, pp. 65-68, 2005.4
- 2) 森田他：既存地下外壁と新設山留め壁が混在する地下工事の報告（その1）（その2），日本建築学会大会学術講演概要集，pp. 527-530, 2010
- 3) 元井他：既存地下躯体を利用した山留め施工事例（その1）（その2），日本建築学会大会学術講演概要集，pp. 669-672, 2013
- 4) 永松他：既存地下解体時の既存地下外壁の山留め利用，日本建築学会大会学術講演概要集，pp. 701-702, 2019
- 5) 日本建設業連合会：既存地下工作物の取扱いに関するガイドライン，2020.2
- 6) 日本建築学会：山留め設計指針，2017