

3. 物流倉庫における基礎工事の施工生産性向上

社名:五洋建設(株)

氏名:有澤 英樹

事例概要

項 目	内 容
1. 工事概要	
(1) 工事名称	(仮称)DCMホームマック札幌商品センター新築工事
(2) 規模(延床面積、階数)	延床面積:30,727㎡、地上2階、塔屋1階
(3) 用途	倉庫業を営む倉庫
(4) 主要構造	S造
(5) 建設地	北海道恵庭市
(6) 施工期間	2016年8月～2017年8月
(7) 工事費	—
(8) 設計者	五洋建設株式会社 一級建築士事務所
2. 改善概要	
(1) 問題点・背景 (施工上あるいは従来工法の問題・課題など改善前の状況)	・ 工事範囲の大部分を占める物流機械設置工事へ引渡さなければならないため、どうしても冬期の本格的な降雪となる12月までの着工から4ヶ月間で基礎躯体工事を完了させる必要があった。 ・ 型枠大工などの専門技能工が不足している。
(2) 改善の目的	・ 着工から4ヶ月間で杭工事から1階床スラブのコンクリートの打設を完了するための工法の選定と型枠大工などの専門技能工に頼らない工法の選定を改善の目的とした。
(3) 改善概要	・ 基礎型枠工事において、地中梁側型枠に鋼製ラス型枠、スラブ型枠にフラットデッキを採用することにより、型枠工事を他工種に分散するとともに型枠解体を削減し、工期の短縮および専門技能工不足への対応を図った。 ・ 基礎足場は、枠組足場を連結ユニット化し、クローラークレーンにて吊り上げ、転用する事で組立解体時間の短縮とコスト削減を図った。
(4) 改善による効果	
・Q(品質)	・ フラットデッキを作業床とするコンクリート打設により、コンクリートの打ち重ね時間が短縮し、コールドジョイントの防止に寄与した。
・C(コスト)	・ 型枠工事:10%、基礎足場工事:40%のコストダウン
・D(工期)	・ 型枠工事:20%、基礎足場工事:35%の工期短縮
・S(安全)	・ 基礎地中梁のコンクリート打設はフラットデッキ上からの打設により、足元の隙間による躓きや転倒、落下災害を防止し、安全な作業環境に改善された。
・E(環境)	・ 型枠材の返却車両削減及び足場材の資材搬出入半減によりCO₂:4トン削減 ・ 型枠材の使用量削減により自然保護に寄与できた。
・施工性	・ コンクリート打設の作業改善により、打設効率が20%向上した。

物流倉庫における基礎工事の施工生産性向上

五洋建設株式会社 札幌支店

有澤 英樹

1. はじめに

本物件は、北海道の恵庭市内に位置する(図-1)物流倉庫である。別途工事の物流機械設備の設置を含め工期内に竣工させるため、本格的な積雪期前に基礎躯体完了を目指し、当社の施工部門、設計部門、技術部門および協力会社が一体となり取組んだ結果、発注者の希望する工期の厳守と高品質な躯体の確保を実現した。

本稿では、全面積の9割を占める物流機械設備設置部分(図-2、図-3)を建屋竣工の3ヶ月前に引き渡すために取り組んだ種々の省力化による施工生産性向上により工期短縮を図った施工事例について報告する(写真-1)。

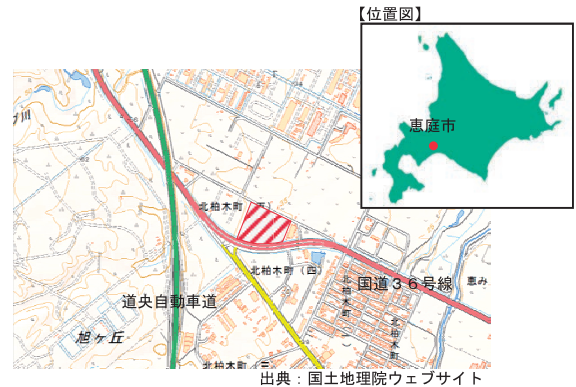


図-1. 工事場所位置

2. 工事概要

- ・工事名称 DCMホームマック札幌商品センター新築工事
- ・面積 建築面積 15,873.95 m²
延床面積 30,727.07 m²
- ・階数 地上2階、塔屋1階
- ・主要構造 鉄骨造
- ・用途 倉庫
- ・建設地 北海道恵庭市
- ・施工期間 2016年8月～2017年8月末
- ・設計者 五洋建設株式会社 本社一級建築士事務所

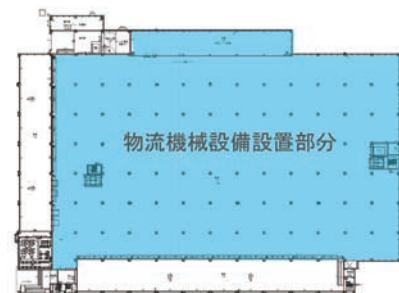


図-2. 1階平面

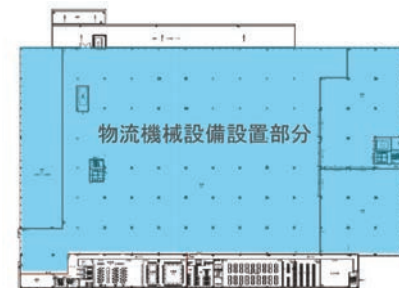


図-3. 2階平面



写真-1. 全景

3. 工事の背景と問題点

3-1. 背景

- ・コンクリートの品質確保のため、外気温が氷点下まで下がる冬期までにコンクリート工事の大部分を占める基礎躯体を完了する必要があった。
- ・昨今の道内の建設業の人手不足のため専門技能者の確保が難しい状態だった。
- ・建屋竣工の3ヶ月前に物流機械設備設置工事(別途工事)へ当該設置部分を引渡すため、工程を短縮させる必要があった(図-4)。

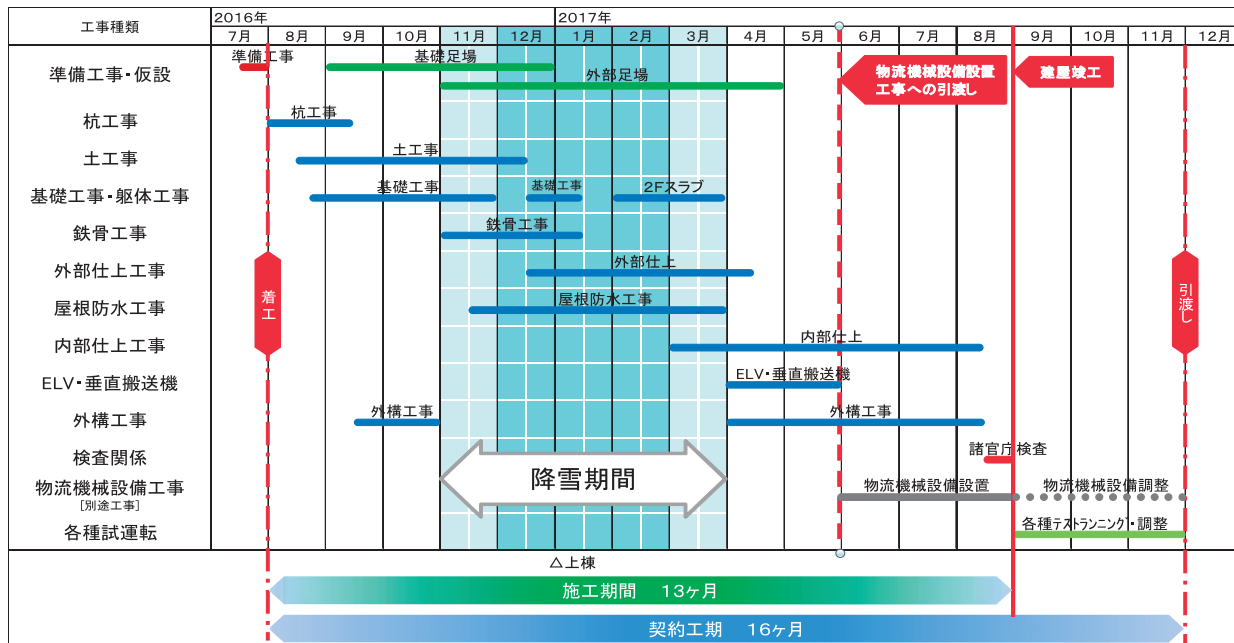


図-4. 全体工程表

3-2. 問題点

- ・限られた現場管理要員で工程管理と品質管理をしなければならない。
- ・壺掘りでは、掘削や鉄筋型枠組立用足場が複雑になるため、作業効率が低下する。
- ・基礎躯体工事が積雪や気温の低下により、作業効率の悪化やコンクリートの品質低下が懸念された。
- ・必要な型枠の専門技能工が不足しているため、型枠工事の工程が滞ることが懸念された。
- ・基礎工事で足場上からのコンクリート打設について、作業員の安全確保や作業性の低下に不安がある。

4. 省力化による問題点解決への取り組み

4-1. スマートデバイスの活用による現場管理業務の効率化

限られた現場管理要員で工程管理や品質管理を効果的に進めるため、スマートデバイス(iPad)を施工管理に活用した。

現場にてスマートデバイスで撮影した写真や動画を現場事務所や設計の担当者とリアルタイムで確認することで、迅速な対応ができた。また、現場で使う施工図も専用ソフトでスマートデバイスに収納し、必要に応じて現場での打合せや確認作業に使用した。

スマートデバイスの活用により、最新の情報をリアルタイムで確認することができ、現場管理業務の効率向上と品質管理の精度向上を同時に実現した(写真-2)。



写真-2. スマートデバイス使用状況

4-2. 埋戻しの工夫による省力化

基礎躯体工事での施工性向上と埋戻し土量の削減を目的として、根切底のフラット化およびピット内の埋戻しの土量の削減を行い、工期短縮を実現した。

- ・土間スラブ：構造スラブへ設計変更し、埋戻し土量を削減(図-5-1)
- ・フーチング：掘削底がピット底より深い所は鋼製ラス型枠を捨て型枠として先行埋め戻し(図-5-2)
- ・地中梁：梁成の小さい地中梁は設計者と検討を行い、掘削底を統一(図-5-3)

これらによりピット内作業の施工性が向上(写真-3, 写真-4)するとともに、後述する棚足場ユニットが転用できる範囲が広がった。

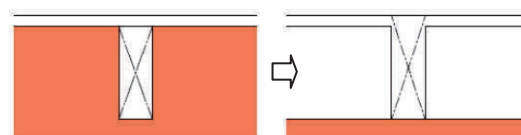


図-5-1. 土間スラブ⇒構造スラブ



図-5-2. フーチング型枠埋め殺し

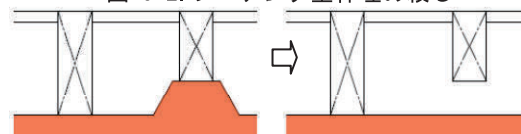


図-5-3. 掘削底の統一



写真-3. 掘削床付け状況

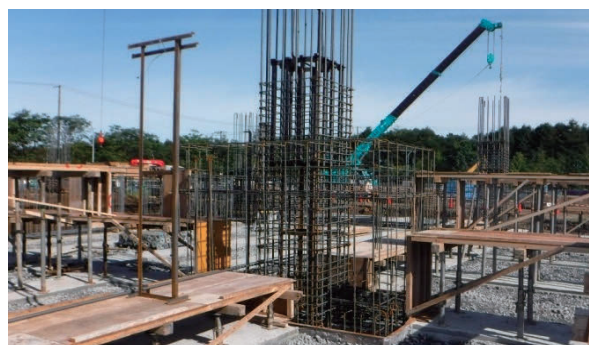


写真-4. 基礎施工状況

4-3. 鋼製ラス型枠の導入による省力化

基礎部分の効率的な施工を目的として、基礎（フーチング）、地中梁側面及び外周部について、3種類の型枠を使用し、工期短縮を実現した。

- ・基礎型枠：埋め殺し型枠として、リブラスを工場にてアングルフレームで補強しユニット化した鋼製ラス型枠(写真-5)
- ・地中梁型枠：リブラスに補強とデッキ受けアングルを取付けた鋼製ラス型枠(写真-6)
- ・外周部型枠：在来型枠を工場でユニット化する先行先組工法(写真-7)



写真-5. 基礎鋼製ラス型枠施工状況

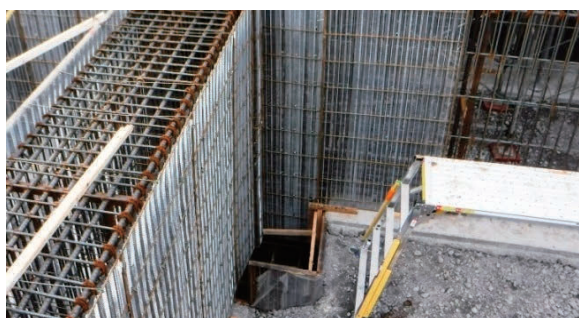


写真-6. 地中梁鋼製ラス型枠施工状況



写真-7. 外周ユニット型枠および基礎鋼製ラス型枠

4-4. 棚足場のユニット化による省力化

本物件は、ピットの平面形状および寸法が均一なため、施工計画段階より棚足場のユニット化(写真-8、図-6)を検討し、揚重機で転用することで架け出しにかかる日数の短縮を図った。

棚足場のユニット化に伴い、前述4-3にて述べたように根切り底をフラットにし、設置地盤の高低差をなくし高さも揃えたことにより、棚足場ユニットは揚重機を使用して工区から工区への効率的な転用が可能となった。

また、移設のタイミングも地中梁のコンクリート打設前に行い、フラットデッキをコンクリート打設足場とすることにより、棚足場の組み換え等の手間を削減し、工期短縮を実現し、安全性を確保できた(図-7)。



写真-8. 棚足場設置状況

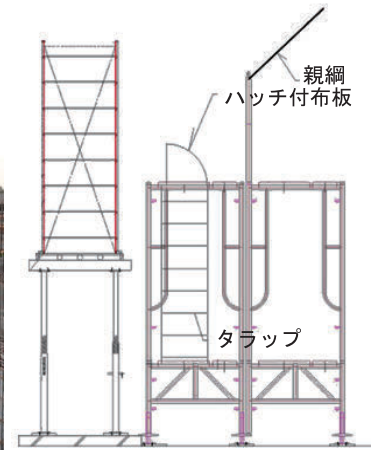


図-6. 基礎棚足場計画

4-5. 施工手順変更による省力化

本物件は、設計段階より工期の短縮のため1階床スラブ型枠にはフラットデッキを採用したが、地中梁の側型枠を鋼製ラス型枠としたことにより、そのままではフラットデッキを載せることができないため、鋼製ラス型枠を縦・横補強筋(8mm)、外枠鋼線フレーム(8mm)にて補強し、剛性を高めたうえで、デッキ受け金物を上部に取付け、フラットデッキを鋼製ラス型枠に載せる計画とした(図-7、写真-9)。

また、フラットデッキを地中梁のコンクリート打設用の作業床(写真-10)とすることで、地中梁のコンクリート打設時の作業性向上および足場の架け出しの省略により工期短縮を実現した。打設後のフラットデッキの下を示す(写真-11)。

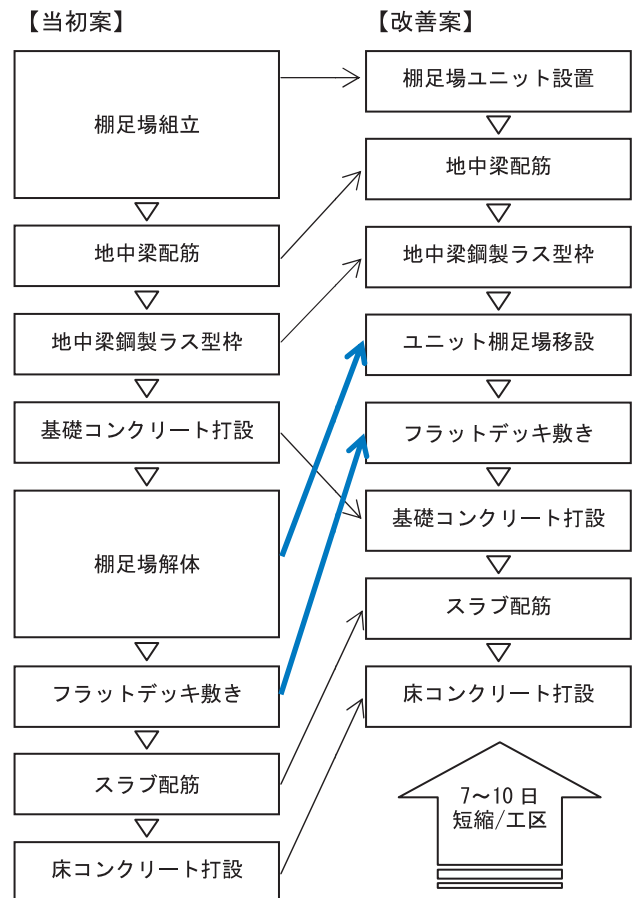


図-7. 施工手順の変更

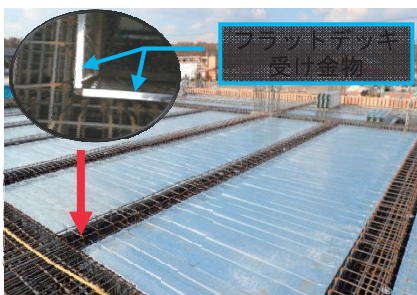


写真-9. フラットデッキ敷設工事

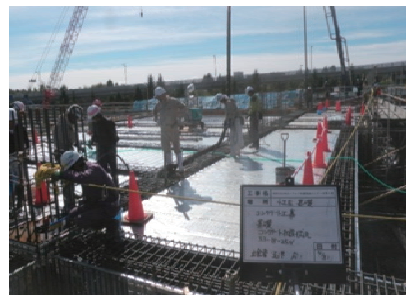


写真-10. 地中梁コンクリート打設状況



写真-11. フラットデッキ下打設後

5. 省力化施工の効果

①品質

- ・フラットデッキの先行敷設を行い、作業床として兼用することで、コンクリート打設作業の効率が向上して打ち重ね時間が短縮し、コールドジョイントの防止に寄与した。

②コスト

- ・鋼製ラス型枠を使用し、型枠工事のコストを 10%圧縮した。
- ・埋戻し土量を 4 万 m³削減し、埋戻しのコストを 60%圧縮した。
- ・ユニット化した棚足場の転用により、基礎足場工事のコストを 40%圧縮した。

③工期

- ・13工区に分割施工(図-8)、1工区当たり7日～10日程度の工期を短縮した。

(型枠工事)：加工手間の削減、現場取付け分業化や解体の削減により、基礎型枠工事の工期短縮

(仮設工事)：棚足場の架け払しの削減により、基礎足場工事の工期短縮

(土工事)：埋戻しの削減により、基礎埋戻し工事の工期短縮

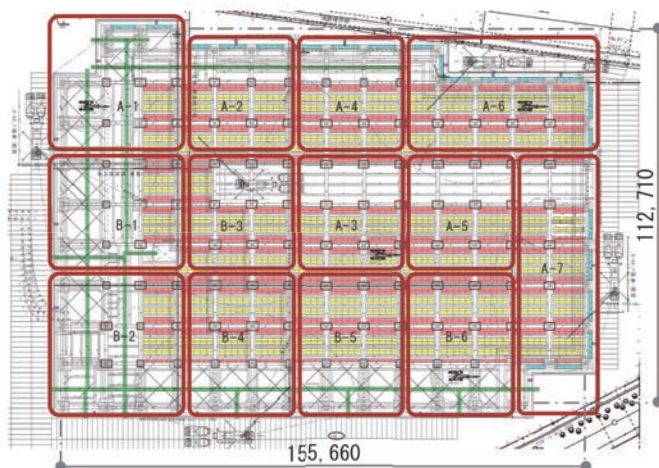


図-8. 工区分け

④安全性

- ・地中梁のコンクリート打設の工程を変更し、フラットデッキ敷設後にデッキ上よりコンクリート打設を行うことで、作業の安全性を確保した。

⑤環境

- ・鋼製ラス型枠を使用し、木材を使う型枠材の使用数量削減により、森林伐採などの環境破壊や廃材の焼却処分時に発生するCO₂を削減することができた。
- ・埋戻し土量を削減することで、重機作業の軽減や車両等の運搬回数の減少により、排気ガスの排出や化石燃料の消費によるCO₂の発生を4 t削減できた。

⑥施工性

- ・作業手順を改善したことで、通常 600 m³/日のコンクリート打設を 800 m³/日の打設が可能となり、打設効率が 20%向上した。

6. まとめ

今回取り上げた、基礎工事の施工生産性向上の取り組みについては、現場で一つ一つ課題をあげ、施工部門、設計部門、技術部門および協力会社が連携し、様々な視点から対策に取り組み、ブラッシュアップさせることで作業の省力化を図ることができた。結果、当初の目標であった2017年6月の物流機械設備工事への当該部分の引渡しを1ヶ月近く早い2017年5月に引渡すことができ、契約工期を厳守し高品質な建物を発注者に引渡すことができた。

また、工期短縮に取り組む過程で、「経済性の向上」「安全性の向上」「環境保護」等の余剰効果が生まれたことも大きなメリットでもあった。

営業・設計・施工が一体となりプロジェクトに取り組んだ結果、2017年9月7日に無事竣工式を迎え施主からも高い評価をいただくことができた。

4. 大規模免震建物における基礎構造の合理化

社名：鹿島建設(株)

氏名：石嶋 樹一郎

事例概要

項 目	内 容
1. 工事概要	
(1) 工事名称	新小牧市民病院建設工事
(2) 規模(延床面積、階数)	延床面積：39,426㎡、地上9階、塔屋1階(新病院棟)
(3) 用途	病院
(4) 主要構造	S造、一部RC造(免震構造)
(5) 建設地	愛知県小牧市
(6) 施工期間	2016年9月～2020年7月
(7) 工事費	20,047(百万円)
(8) 設計者	株式会社梓設計
2. 改善概要	
(1) 問題点・背景 (施工上あるいは従来工法の 問題・課題など改善前の状況)	・ ECI方式による出件であったが、発注者からコスト低減を求められていた。また工期も厳しく、施工合理化が求められていた。 ・ 基本設計で基礎形式は現場造成杭となっていたが、コストも高く、また地業工事から基礎躯体工事の工期が厳しくなることが予想されていた。
(2) 改善の目的	・ 地業工事から基礎躯体工事のコストを低減し、工期リスクを排除する。
(3) 改善概要	・ 新病院棟の基礎形式を現場造成杭から地盤改良(パワーブレンダー工法)に変更した。 ・ パワーブレンダー工法の適用に向け、支持層到達の担保や改良施工時の山留壁の健全性確保のための検討をし、設計変更の合意形成を行った。
(4) 改善による効果	・ Q(品質) ・ 全面地盤改良への変更により、地盤の液状化を抑制できる基礎形式となった。 ・ C(コスト) ・ 地業工事のコストを約40%低減することができた。 ・ D(工期) ・ 前後工程とのラップが可能な工法に変更することにより、当初厳しいとされていた基礎躯体工事の早期着手を実現した。 ・ S(安全) ・ 杭打機のような大型重機を使用しない工法に変更したことで、危険作業が低減した。 ・ E(環境) ・ 騒音・振動の少ない工法に変更したことで、地業工事中の隣接既存病院からの苦情ゼロを達成した。 ・ その他の効果 —

大規模免震建物における基礎構造の合理化

ー設計変更提案から現場施工での課題克服までー



図-1 完成予想パース

鹿島建設株式会社 中部支店

石嶋 樹一郎

要 約

ECI方式（早期施工者選定方式）のメリットを活用した杭基礎からパワーブレンダー工法（地盤改良）への設計変更経緯と、建築工事での施工実績が少ないパワーブレンダー工法の施工計画、それに地盤改良工事中の山留変位管理について報告する。

目 次

- I はじめに
- II 工事概要
- III ECI協議での設計変更
- IV パワーブレンダー工法の施工計画
- V 地盤改良中の山留変位管理
- VI 山留変位と地盤改良の関係性確立（解析）
- VII まとめ
- VIII おわりに

I はじめに

当工事はECI方式（早期施工者選定方式）で2015年7月に出件した、520床の市民病院建設工事である（図-1）。同年10月、技術提案・VE提案付きの総合評価により施工候補者に選定された。選定後、数々のVE提案等について協議（ECI協議）を進め、2016年8月、実施設計完了時の金額で合意、契約に至った。

今回報告する地盤改良（パワーブレンダー工法）は、ECI協議の中で施工者から変更提案したものである。実施設計着手前だからこそできる変更提案であり、大幅なコスト低減を達成するだけでなく、現場の労務削減にも貢献した。また、パワーブレンダー工法による全面地盤改良への変更は大規模免震建物における品質の向上（建屋下部地盤の液状化抑制）にも貢献するものであった。

施工計画においては、より正確な支持層深さの特定と、周辺山留に悪影響を与えない施工手順の検討が必要であった。要所で技術研究所・支店建築部の協力を仰ぎつつ、これらの課題にこたえる施工計画を立案した。

現場施工では山留変位の監視、計算値を超える大きな変位への対応が重要であった。計画通りに施工を進める中で変位が計算値以上のところが発生したが、そのような場所では施工手順の変更など、臨機応変な対応が要求された。山留変位と地盤改良の相関については、現場で測定したデータを元に技術研究所にて解析が行われた。

これら地盤改良にまつわる各フェーズでの詳細について報告する。

II 工事概要 (図-2)

工 事 名：新小牧市民病院建設工事
所 在 地：愛知県小牧市常普請1丁目20番地
発 注 者：小牧市病院事業
設計監理：(株) 梓設計
施 工：鹿島建設 (株)
工 期：2016年9月～2020年7月 (47ヵ月)
新築工期：2016年12月～2019年1月 (26ヵ月)
用 途：病院 (520床)
敷地面積：31,695.39m²
建築面積：6,107.75m² (附属・既存含計13,535.61m²)
延床面積：39,425.99m² (同上57,135.55m²)
最高高さ：40.75m
階 数：地上9階・塔屋1階
構 造：S造一部RC造 (免震構造)
工事内容：新病院棟ほか新築工事
先行解体工事 (看護師宿舎・医師住宅・公園)
新築工事後解体工事 (診療棟・東棟・南棟)

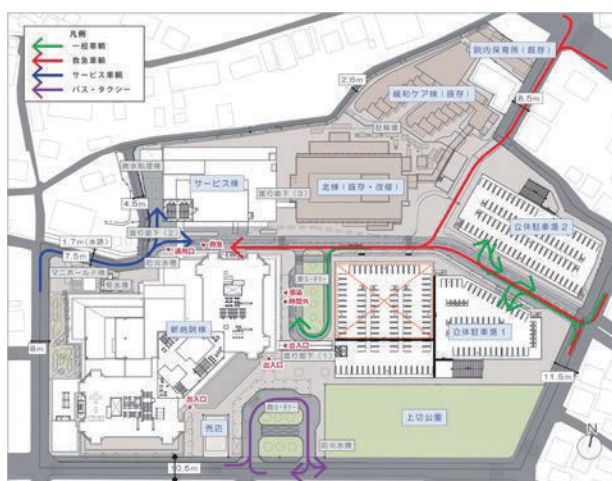


図-2 配置図 (工事完了時)

III ECI協議での設計変更

1. ECI方式とは

当工事は2015年7月、ECI方式により出件した。ECI方式 (Early Contractor Involvement) とは早期施工者選定方式とも呼ばれ、プロジェクトの早期、多くは基本設計完了時に施工者 (厳密には施工候補者) を選定し、施工者のノウハウを実施設計に取り込むことで、コスト・工程・品質等における発注者の要求を満足するというものである。当工事では予算内にコストを収めることが最大の要求であった。ECI方式での施工候補者選定は多くの場合総合評価で行われる。当工事でもVE提案付きの総合評価で施工候補者は選定された。

2. 施工候補者選定時の基礎形式のVE

2015年10月に当社が施工候補者に選定されたときのVE提案では、基本設計で新病院棟は現場造成杭となっていた基礎形式について、①杭長の変更 (短縮) と、②柱状地盤改良への変更 (図-3) を提案していた。①は設計者による構造検討の結果不採用とされ、②については液状化の抑制という条件付きで設計の了解が出たが、液状化に対応しようとする全面改良となってしまう、コストアップとなることから、不採用となった。しかし、基礎方式のVEはコスト低減効果も大きく、引き続き検討することとなった。

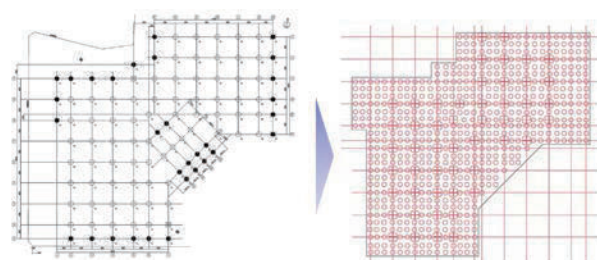


図-3 柱状改良への変更

3. ECI協議における全面地盤改良への変更

発注者・設計者とのECI協議を進める中、2016年1月、設計者との協議において柱状改良以外の全面地盤改良工法への変更の可能性が示唆されたことから、妥当な工法、施工手順及びコストの検討をすすめ、パワーブレンダー工法であれば対応可能と判断した。当工法は施工可能深さが13mと想定支持層 (GL-約14m) よりも短いものであったが、施工地盤を先行掘削で基礎底 (GL-4.5m程度) まで下げれば支持層まで改良することができ、重機の本体がバックホウと同じであるため、掘削底への昇降も簡易なスロープ程度で問題なく、コストも現場造成杭のおよそ60%程度で施工できるということであった。施工地盤を下げて余堀を減らすことができることがコスト的にも有利に働き、施工セット数を調整すれば工期への影響がないことも確認された。全面地盤改良は液状化抑制の役割も果たすことから、今回の変更は品質的にもメリットのあるものであった (図-4)。杭打機のような大型重機を使用しないため危険作業も少なく、騒音・振動も比較的少ない工法であることも魅力であった。

設計者からも概略で変更の承認を得て、以降詳細検討を進めた。同年3月、主に品質・コストのメリットを説明し、発注者の了解も得られたことから、実施設計に盛り込まれることとなった。

詳細検討においては、品質管理の肝となる支持層到達の確認方法と、山留 (SMW) の健全性を保つための施工手順が主に検討された。支持層深さをより厳密に特定するため、追加地盤調査を29箇所実施することを設計図に盛

り込んだ。施工グリッドを工夫することにより、山留の補強を最低限にする計画とした。これらの詳細は次章以降に述べる。

なお、本工事では既存建物の解体工程に沿って、ボーリングにより調査を採用した。

品質・コスト・工期・施工手順を絡めた今回の大幅な基礎形式の変更はECI方式ならではの。

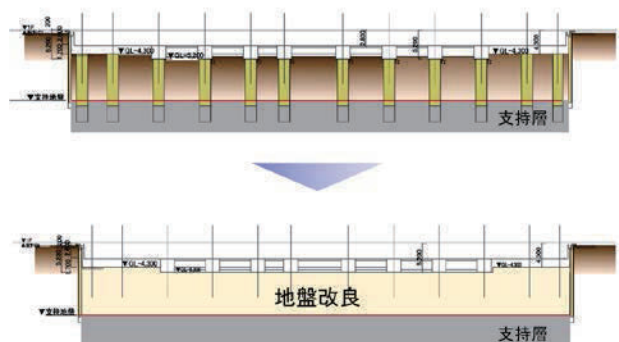


図-4 全面地盤改良への変更提案

IV パワーブレンダー工法の施工計画

1. パワーブレンダー工法とは

パワーブレンダー工法とは、トレンチャーと呼ばれるチェーンソーのような攪拌翼を地中で回転させながら、セメントミルクと土を混合する地盤改良工法である。

エア混合のセメントミルクをトレンチャーの先端から吹き出し、地盤に所定量の固化材を混合させる工法であり、改良深度は 13m までと中層混合処理工法との位置付けとなる。

特徴として、①本体機がバックホウベースであるため杭打機に比べて、施工地盤の自由度が高いこと、②他工法が先端だけの回転により攪拌する工法が多いのに対して、改良深度全域に縦攪拌するため土質に影響されない均一な改良体を造成出来ることが挙げられる。

2. 支持層深さの設定

今回パワーブレンダー工法採用に当たって、最初に課題となったのが支持層深さの設定と、支持層到達の確認方法であった。

まず支持層深さを厳密に特定するために、当初5箇所であったボーリングデータに対して、29箇所の追加ボーリング調査（図-5）を実施した。追加ボーリング結果を元に3Dで支持層図を作成し、0.2m単位の水平面で切ることコンター平面図（図-6）を作成した。コンター平面図は視覚的にも支持層の分布が判断し易く、設計者の承認もすんなり得ることが出来た。

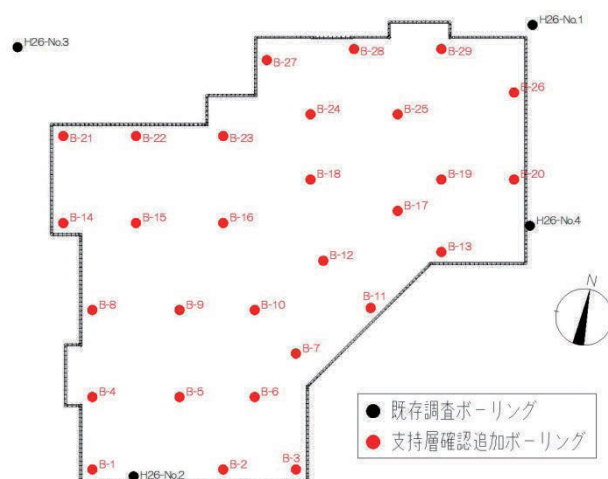


図-5 追加ボーリング位置

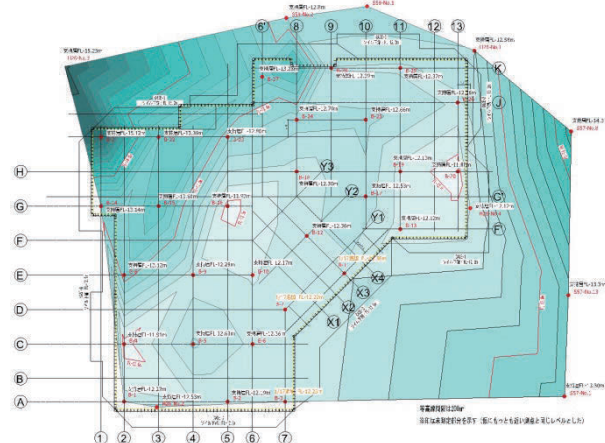


図-6 コンター平面図

また1回の地盤改良で効率良く施工出来る範囲を考慮し、5m×5m以下の正方形をベースとしたグリッド割図を作成した。コンター平面図とグリッド割図を重ね合わせる（図-7）ことで、施工グリッド毎に改良深さを0.2m単位で細かく設定した。各施工グリッド内で最も深い箇所を該当グリッドの改良深さとし、0.2m単位で深い側に設定することとした（図-8）。

追加ボーリングを実施したとはいえ、限られたデータから改良深さを決める上で、深めに改良深さを設定することにより支持層到達を想定する考え方で、設計者の承認を得ることが出来た。

施工グリッド毎に細かく改良深さを設定することは、無駄な改良範囲を限りなくゼロに近づけることにも繋がり、コストダウンにも貢献した。

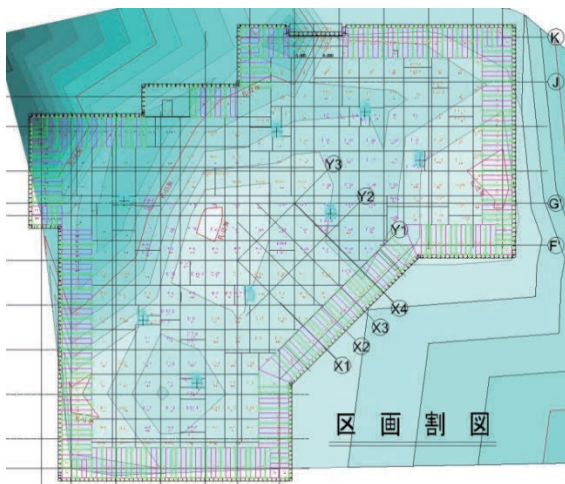


図-7 施工グリッド割

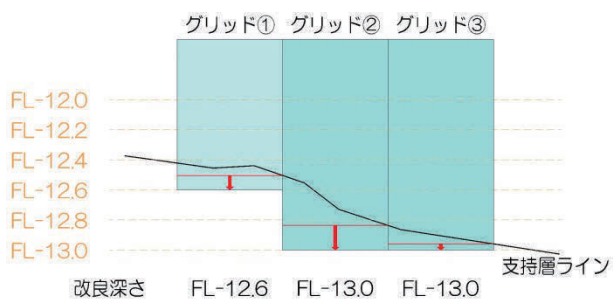


図-8 改良深さ設定概略

3. 支持層到達の確認方法

パワーブレンダー工法では、柱状改良のように掘削時の抵抗値を計ることが出来ないため、改良深さで支持層到達を担保することとなる。品質担保の上で掘削深さの管理が何よりも重要であった。

確実な改良深さの担保のためにまず、各グリッドの施工前に、「0セット」を行った。「0セット」とはパワーブレンダーのトレンチャー先端を施工基面高（計画掘削高）に合わせることを言い、現場基準レベルよりオートレベルを用いてトレンチャー先端高さを調整、確認した。（写真-1）その時点で計測モニター（写真-2）の「深度」を0mに設定し「0セット」完了となる。そこからの施工深度を確認することにより支持層到達が確認出来る。

その後トレンチャーを回転させながら所定の深度まで地中に貫入していき、計測モニター「深度」にて支持層到達を確認する。支持層深さ確認後、トレンチャーを水平に横行させ、所定のスラリー投入量及び攪拌回数を満たした時点で1グリッド施工完了となる。支持層深さの確認については計測モニター確認と併せてトレンチャー本体にもマーキングを行い、そのマーキング位置が事前に準備した丁張高さに達したことを目視で確認することによりダブルチェック出来る体制とした（写真-3）。これにより計測器の故障等による品質事故を予防した。



写真-1 「0セット」状況



写真-2 計測モニター画面



写真-3 マーキングによる改良深度確認

4. ディープウェルの計画

今回、新病院棟には計8台のDWを設置した。計算上は6台で賄えるということであったが、パワーブレンダー接近時にDWを停止する必要もあったため、2台余分に設置することとした。パワーブレンダーの施工地盤が掘削底で

あるFL-5m前後に対し、周辺地下水位はFL-2m程度であり、施工期間中は掘削底を完全にドライな状態に保つことが求められた。また既存建物が近接していることによりSMWが不連続となるので、周囲の閉塞が完全には行えないことも水没が懸念される要因であった。

しかし、実際に施工を開始してみると、SMW下からの地下水の廻り込みも少なく、また改良後の地盤によって地下水の浸透を抑制出来たこともあり、想定された程の地下水位の上昇はなかった。最終的には2台のDWで賄える程度であり、揚水量も100m³/日程度であった。

またDW周辺のパワーブレンダーの施工方法についても十分な検討が必要である。今回提示したDW周辺3m×3mは地盤改良範囲から除外する案は、設計者の承認が得られず、DW周辺1.8m×1.8mまで改良が求められた。

結果、DWフィルター材（豆砂利）部分にセメントミルクが浸透し、閉塞してしまうDWも発生したが、水位を維持するための揚水量が想定より大幅に少なかったため、追加DW設置等の対応は不要であった。

5. 山留周辺での施工手順

今回パワーブレンダー工法を採用するに当たって、最大の課題となったのが、山留（SMW）周辺作業時における山留の健全性確保であった。

今回支持層の最大深度がFL-15.2mであったのに対し、SMWは支持層まで到達させるが、山留の芯材打込み深度はFL-9.7～10.7mであった。山留芯材底より深い位置まで地盤を攪拌するため、山留崩壊という大規模災害が懸念された。山留芯材長を延長することは大幅なコストアップと全体工期圧迫の観点から、技術研究所にて事前に山留変位値を予測するとともに、山留周辺での施工方法を工夫することで問題解決に取り組んだ。

まず山留周辺では中央部と同様の正方形グリッドではなく、山留面に直交する方向に1m×6mの短冊状グリッド（図-9）を採用した。山留周辺部では1グリッドの幅を1mとし、中央部グリッドよりも細分化することで攪拌により受動土圧が期待出来なくなる範囲を最小限に留めた。また隣接するグリッドを同一日に施工は行わず、2グリッド飛ばして間を空けながらの施工とし、翌日、翌々日に飛ばした間のグリッドを施工することでも受動土圧の減少する範囲を限定した。

特に出隅コーナー部分は2方向に山留が存在し、どちらの面においても受動土圧の減少が懸念されるため、更に細かくグリッド検討を行った。

また各山留芯材頂部を鋼材でつなぐ頭繋ぎ補強（写真-4）を行うことで、山留芯材単体ではなく面として土圧を受け持つ構造とし、山留芯材単体での部分崩壊抑止を図った。

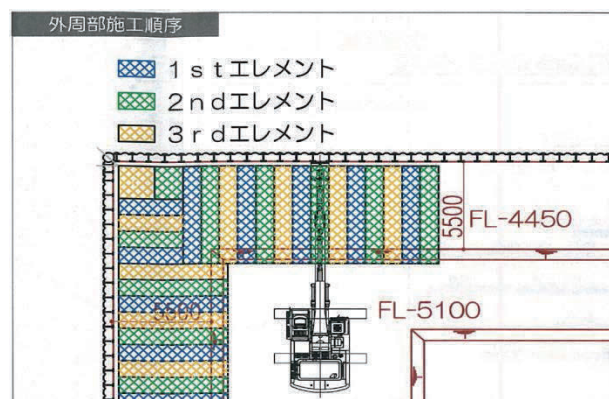


図-9 短冊状グリッド割



写真-4 頭繋ぎ補強状況

V 地盤改良中の山留変位管理

1. 山留変位計測について

前の章で述べたように、周囲の山留の変位に十分留意した施工計画としていたが、実際に山留がどのような挙動を示すかは不明であり、そのため常に山留の動き（変位）を監視しながら地盤改良の工事を始めた。

山留の変位については以下のような計測を行った。

(1) 定点モニター計測

山留各面1箇所（計6箇所）に変位計を設置し、先行掘削開始前からの山留の変位（FL±0m、-2m、-4m、-6m、-8m、-10m）を測定、記録した。測定結果はリアルタイムで事務所に設置した専用PC及びiPadにて数値を確認することが出来、1時間毎に自動記録される（図-10）。

また山留の変位が設定した管理値を超えた瞬間に、所員の携帯電話にアラートが飛ぶよう設定し、有事の際、対応に遅れが出ないよう考慮した。今回は1次管理値を予測山留変位値の80%、2次管理値を予測山留変位値とした。

(2) ピアノ線による山留天端変位計測

現地でタイムリーな変位確認をするために、山留芯材背面にピアノ線を張り山留芯材との距離を測定する

ことで各芯材頂部の変位を測定、記録した。測定は1回/日以上とし、計測の際には山留背面の地盤クラックについても注視した。

(3) 光波による山留変位計測

山留に隣接する短冊状グリッドの地盤改良施工中は光波により常に変位を確認しながら作業を進めた。山留芯材の上下2箇所（FL-1, 450、FL-3, 450）にターゲットを貼り、施工箇所近傍の山留について上下2箇所を計測した。施工中に3mmを超える変化が見られた場合、直ちに鹿島社員に連絡を入れることとした。

(4) その他の計測

山留変位計測の他に、敷地周辺道路において定期的に地盤レベルの計測を行うことより、周辺地盤への影響が出ていないことを確認しながら作業を進めた。

また各DW内（計8箇所）の地下水位、及び山留（SMW）外側の地下水位（南北2箇所）を計測することで、地盤改良工事に対して地下水が与える影響を把握すると共に、DWによる現場外の水位低下にも配慮しながら作業を進めた。

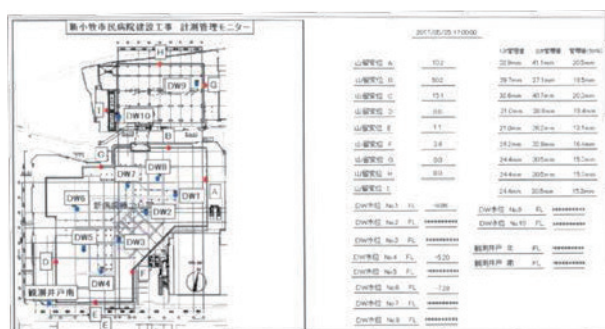


図-10 山留計測モニター画面

2. 山留変位結果

続いて実際の山留変位結果について報告する。

山留のうち北面を除く各面については、地盤改良後最終変位（最大）8～22mm程度であり、想定範囲内で地盤改良工事を終えることが出来た。一方、北面の一部において最終的に51mmの変位が発生した。本節ではこの北面部分について報告する。

北面での最大変位発生経過は以下の通りである。

- (1) 掘削完了時の山留変位は22mmであった。他の場所よりはやや大きな変位であったが、まだ問題のない値であった。
- (2) 2017年5月15日、通常通りの手順で外周部短冊状グリッドの施工を開始し、午前の作業を完了。午後より該当エリアの短冊状グリッド（No. 184、181、178、175）の施工を開始する。
- (3) 地盤改良工事に先立ち、攪拌効率を上げるための先行掘削を行った。先行掘削とはバックホウにより

施工範囲の土を空掘りしてほぐしておく作業である。

4グリッド先行掘削完了時点で最大13mmの山留変位が観測されたが、初めに施工予定のNo. 184直近の山留変位が4mmであったことから地盤改良工事を継続して行った。結果、No. 184の施工完了時点において直近の山留変位は6mm、最大山留変位は15mmであった。

(4) 次に鹿島社員立会いの下でNo. 181の地盤改良工事に着手した。しかし、トレンチャー貫入開始と同時に山留が動き出したため、すぐに作業を中断した。

(5) 続いて一番変位が大きな箇所に近いNo. 178の施工を避けNo. 175に着手することとした。通常、短冊状グリッドの山留に近い側へトレンチャーを貫入するのだが、今回は山留から遠い側からトレンチャーを貫入した。その後、変位に大きな動きがないまま所定の支持層まで到達したのだが、山留側へ向かってトレンチャーを横行させようとした際、再び山留が動き出したため、そこまでで施工を完了させ作業を中止した（写真-5）。その日、1日の最大山留変位量は約20mm、掘削前からの変位量は予測山留変位値を超える42mmに達していた。



写真-5 5月15日 施工状況

3. 山留変位の原因と更なる変位抑制対策

今回北面において、他の場所と比較して大きな変位が発生した要因について考察する。

1つ目の要因として該当場所の地盤が他の場所より軟弱であったと考えられる。追加ボーリング調査結果による柱状図を確認すると、他の場所では砂礫、玉石混じりの土質が含まれることに対し、該当場所ではシルト質の土質割合が高いことが読み取れる（図-11）。

事前予測でもこの箇所の予測変位は大きなものであったが、予測以上の変位が生じてしまった。

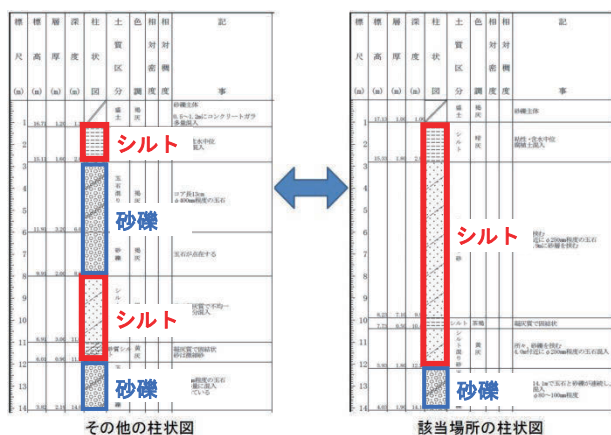


図-11 柱状図比較

2つ目の要因として地盤が軟弱であるにも関わらず、先行掘削を他の場所と同様に行ったことが考えられる。

以下、現場にて実施した山留変位の更なる抑制対策を示す。

【対策1】中央工区の先行施工

中央工区の地盤改良を短冊状グリッドに先行して実施した。これにより短冊状グリッド施工時には背面側（山留と反対側）の地盤がより強固な状態で施工することが出来た。

【対策2】1日1グリッドの施工

該当場所の外周短冊状グリッドの施工については、1日1グリッドずつの施工とし、山留変位抑制に努めた。若干の工程ロスが発生したが、安全最優先で施工を行った。

【対策3】フレコンバッグによる変位抑制補助

該当場所の外周短冊状グリッドの施工においては、当日施工するグリッドの両サイドにフレコンバッグ土嚢2段積み（写真-6）を行い、山留変位を抑制した。

毎日、施工前にフレコンバッグ土嚢を盛り替えながら作業を進めた。



写真-6 フレコンバッグ土嚢2段積み

【対策4】先行掘削範囲の変更

改善前の先行掘削は、短冊状グリッドの全長6mに渡って深さ約3mまで実施していた。改善後は重機手前側（山留から遠い側）2mの範囲とし、深さも1mまでとした。今回先行掘削時、すでに変位が発生していたことから本対策を実施することとした。

【対策5】改良順序の変更

改善前は施工効率を重視し、片側から順番に2グリッド飛ばしながらの施工であった。改善後は当日施工予定のグリッドを1つ置きに施工し、後から間のグリッドを施工した（図-12）。実際、朝一番に施工したグリッドは午後には人が乗れるくらいまで固化していたことを考えると、少なからず効果はあったと考えられる。

④ 改良順序の変更

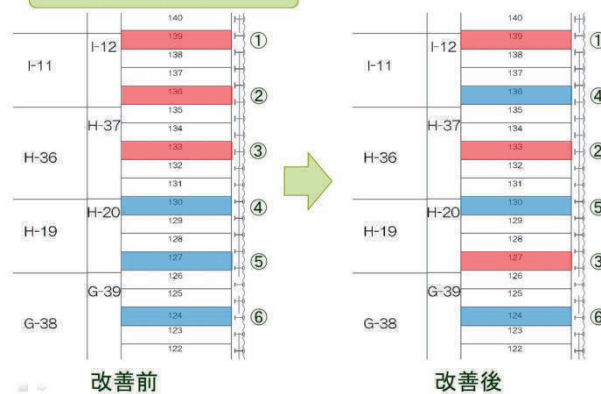


図-12 改良順序の変更略図

前述5つの対策実施後、1日の変位量は概ね20～2mm（最大で4mm）の範囲に収まり、対策の効果はあったと考える。

VI 山留変位と地盤改良の関係性確立（解析）

地盤改良工事完了後、本工事で得られた膨大なデータ（柱状図、地盤改良施工記録、山留変位、地下水位、DW揚水量等）を元に、技研において事前予測の妥当性の確認および山留の挙動解析を行った。

掘削時の実際の山留変位と予測値が概ね一致していること（表-1）から事前予測時の与条件（地盤改良施工部を比重1.8の泥水として扱うこと）の妥当性が確認された。また、山留の挙動は地盤の違いによる影響が大きいことが数値とともに確認された。

本工事のデータや事前予測における計算方法は、今後工事の山留挙動解析や予測にとって大いに参考になると思われる。

表-1 山留変位まとめ

側点	地盤モデル (対応ボーリング)	山留め変位の実測値 mm			山留変位の計算値mm	
		①掘削完了 地盤改良前	②先行掘削地 盤改良着手後	③地盤改良 完了	①掘削完了 地盤改良前	②③地盤改 良後
1	緩い (砂礫なし)	21.3	50.6	51.0	21.6	42.5
2	中間 (砂礫あり)	10.3	19.1	21.8	6.2	10.0
3	硬質 (砂礫あり)	4.4	5.9	8.6	7.3	8.2
4	硬質 (砂礫あり)	4.7	12.4	12.8	5.8	6.4
5	硬質 (砂礫あり)	4.1	10.1	9.6	4.9	5.5
6	中間 (砂礫あり)	8.2	14.9	15.7	10.0	24.1

Ⅶ まとめ

これまでに述べた内容の要点は、「ECI方式のメリット」、「パワーブレンダー工法のノウハウ」、「山留と地盤改良の相関解析」の3点で整理される。

1. ECI方式のメリット

ECI方式では、施工者のノウハウを設計に取り込むことで発注者の要求を満たすものであるが、それは裏を返せば施工しやすい、品質を確保しやすい設計に変更できるということであり、施工者にもメリットがある発注方式だと言える。

今回の変更はコスト・品質における発注者の要望を満たただけでなく、建設業のテーマの一つである現場労務の削減にも貢献した。現場作業員の数が、現場造成杭の作業員を12人/本と想定すると総人工で1,200人以上の人工が必要となるのに対し、パワーブレンダーの実績総人工は862人であり、およそ3割の削減となっている。

2. パワーブレンダー工法のノウハウ

パワーブレンダー工法は、建築工事ではあまり馴染みのない工法ではあるが、コスト・工期双方で十分にメリットのある工法であった。

- ・支持層深さの特定
- ・改良深さの管理
- ・地下水位の管理
- ・山留変位への対応

これらの管理を適切に行えば、品質・安全を確保した施工が出来る。特に支持層深さを決める際に作成した3D支持層図、コンター平面図は、設計者との合意形成、改良深さの決定において非常に有効であった。

また、短冊状グリッドの施工による山留変位の管理も有効であった。一部の例外はあったが、土質と併せて検討を行えば、山留変位を抑制出来ることもわかった。これにより過剰な山留計画を避けることが出来る。

3. 山留と地盤改良の相関解析

掘削後に根切り側を全面的に地盤改良する場合は、地盤改良時の緩みによって掘削時と同程度の変位が生じる可能性があり、特に地盤が軟弱な場合はその影響を考慮する必要がある。

今後、同種の山留を計画する際には、今回の事例のように地盤改良の施工手順に配慮すると共に、計画段階において改良時の山留壁の変位増加を予測しておく必要がある。

今回の解析結果が今後の同種案件の施工計画において参考になることを期待する。

Ⅷ おわりに

本報文では基礎形式の変更を軸に、設計者との変更協議と合意形成・施工計画・現場施工のそれぞれのフェーズでの課題から解決までを紹介した。今回の経験が今後、同種案件の参考になれば幸いである。

最後に、当プロジェクト及び本報文の作成に多大なる協力を頂いた技術研究所・支店建築部ほかすべての関係者に感謝申し上げます。