

鋼管矢板基礎における支保工のトラス化とその効果

鹿島建設(株) 正会員 ○合樂 将三 国土交通省東北地方整備局 正会員 手間本 康一
 鹿島建設(株) 正会員 小林 裕 鹿島建設(株) 正会員 高野 恵佑
 鹿島建設(株) 藤尾 浩一 鹿島建設(株) 正会員 桑島 尚彦
 鹿島建設(株) 正会員 高柳 達徳 鹿島建設(株) 正会員 向市 清司

1. 工事概要

(1) 全体工事概要

三陸沿岸道路は仙台市から八戸市を結ぶ延長 359km の自動車専用道路であり、「復興道路」として東日本大震災からの復興に向けたリーディングプロジェクトとして位置づけられている。

(仮称) 気仙沼湾横断橋（以下、「横断橋」）は、三陸沿岸道路の一部として東日本大震災後、気仙沼道路（(仮称) 気仙沼 IC～(仮称) 唐桑南 IC）として新たに事業化された。

横断橋は、二級河川大川や朝日ふ頭、気仙沼湾等を横架する全長 1,344m の橋梁であり、橋梁形式は、陸上部が「鋼 3 径間及び鋼 7 径間連続箱桁橋」、気仙沼湾上を含む海上部が「鋼 3 径間連続斜張橋」となっている（図-1, 2）。

特徴的なものは気仙沼湾上の斜張橋で、2つの主塔の高さは 115m、中央支間長 360m を有する橋長 680m で東北最大となる。下部工は箱桁部も含めて、橋台 2 基、橋脚 12 基からなり、地上高さは 30m 規模で、そのうち海上施工は、小々汐地区下部工工事で施工する P12 橋脚である。

本稿ではこの大規模鋼管矢板基礎において、井筒内支保工をトラス化（高剛性化）することで得た生産性向上効果について述べる。



図-1 完成パース

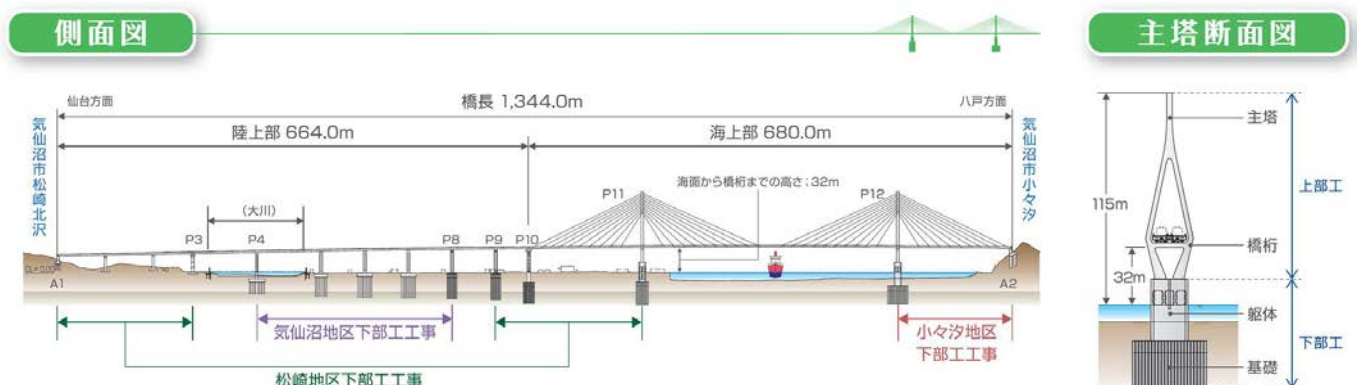


図-2 橋梁全体図

表-1 P12 橋脚緒元

項目	数量
鋼管矢板	外周部 n=76本、φ1,500、t=17・18mm L=47.0m(下杭30.0/29.0m、上杭17.0/18.0m)
	隔壁部 n=15本、φ1,500、t=17mm L=45.5m(下杭30.0/29.0m、上杭15.5/16.5m)
掘削	19,700m³
コンクリート	中詰 1,560m³ 根固め 820m³ 鋼管補強 1,040m³
	底盤 1,970m³ 頂版 6,060m³ 橋脚 5,760m³ 【合計】 17,210m³
鉄筋	頂版 730t 橋脚 1,400t 【合計】 2,130t

(2) 当工事の概要

小々汐地区下部工工事は、横断橋のうち P12 橋脚と A2 橋台を構築するものである。P12 橋脚は横断橋で唯一、海上に設置する橋脚であるが、この鋼管矢板基礎は、国内最大級（平面形状 30m×40m、鋼管矢板 φ1,500、掘削深 HWL-28m）の規模として計画されている（表-1、図-3）。

キーワード：鋼管矢板基礎、仮締切支保工、トラス型支保工、生産性向上、品質向上

連絡先：〒988-0815 宮城県気仙沼市小々汐 9-1 鹿島・東亜特定建設工事共同企業体 TEL0226-25-5661

2. 躯体構築における問題点と対策

(1) 施工上の問題点

P12 橋脚は厳しい腐食環境に曝される海上構造物であり、メンテナンスフリーを求められた。そのため高い耐久性確保が重要課題であった。コンクリートの配合、施工方法（打設・養生・エポキシ樹脂塗装鉄筋など）の工夫から温度ひび割れ対策や塩害対策を実施する一方、高密度配筋の躯体内を貫通する支保工材の処理方法についても考える必要があった。更に、全体事業工程を確保するため工程短縮も求められた。

(2) 原設計の支保工

切梁・腹起しともに部材仕様は H300～H500、切梁の配置間隔は約 4.3m、深度方向には 8 段配置で座屈防止用の中間杭が配置された計画となっている（図-4）。この構造では、中間杭・切梁の構造物内部への残置が避けられず、これらの腐食が橋脚の劣化に対して大きなリスクになる可能性がある。また、井筒内掘削・躯体構築時の資材投入などで、切梁の支障による作業効率悪化とそれによる工程遅延が予想された。

(3) 支保工のトラス化

原設計の課題を解決するため、支保工構造をトラス型に変更し、それに伴う仮締切りの施工手順も変更した。トラス化の目的は、腹起しの剛性を高めることである。今回は検討の結果トラス型に変更したが、高剛性のプレートガーダーを横向きに使った方が合理的な場合も考えられる。

図-5 にトラス型支保工構造図を、図-6 に変更後の施工ステップ図を示す。

まず、支保工内部に橋脚の断面とその施工に用いる足場が入るサイズ（26m×16m）の開口を設けることにした。これを確保するため、H300～450 の鋼材を平面的にトラス配置し、4 段の支保工構造とした。さらに、中間杭を廃すために、1-2 段目、3-4 段目を柱及び筋違で連結し、立体的なトラス構造とした。これにより、それぞれの立体トラス支保工を大型起重機船で一括架設することも可能となる。

この特徴を最大限活用し、施工ステップを見直した。掘削・排水と支保工架設を繰り返す既存の施工ステップではなく、水中で一気に掘削を完了し、底盤水中コンクリート打設後、トラス型支保工を水中に架設する施工ステップをとることで、残留応力抑制と大幅な工程短縮が見込めた。

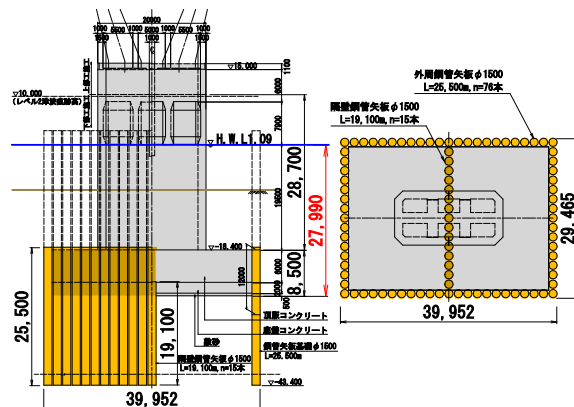


図-3 P12 橋脚一般図

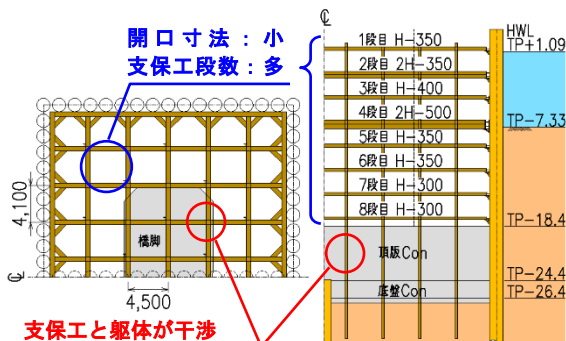


図-4 原設計の支保工構造

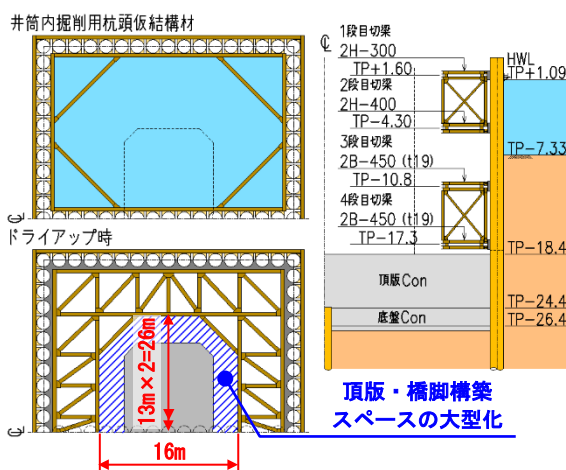


図-5 トラス型支保工構造図

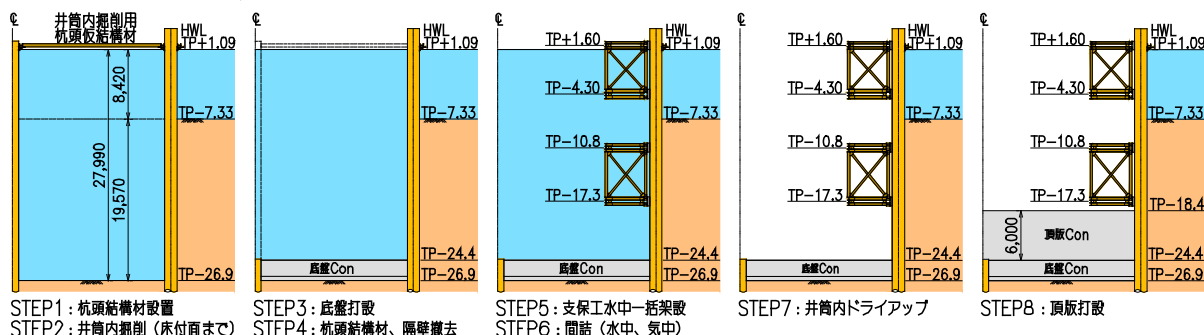


図-6 施工ステップ図（変更後）

(4) トラス型支保工のメリット

トラス型支保工への変更によるメリットを表-2 に示す。

まず、品質面では躯体に干渉する中間杭・切梁をなくし、長期耐久性を向上できることが大きなメリットである。

工程面については、トラス型支保工架設を掘削完了後の水中一括架設とすることで掘削作業効率の改善、現地作業量が減ることによる支保工架設の工程短縮、開口を大きくすることでの躯体構築時の作業効率の改善が可能となった。また安全面においても、海上のクレーン台船の揺動に対し、支保工と吊荷の接触を無くすることができるなどのメリットがある。

デメリットとして、鋼材重量の増加や部材の製作費、大型起重機船の使用等による工事費の増加があるが、本工事では品質・工程に寄与する面が大きいことで採用に至った。

表-2 トラス型支保工のメリット

品質	◇ 中間杭を省略することが可能となり、頂版と中間杭の干渉が無くなる
	◇ 井筒中央の橋脚立上げ部に大開口を設けることが可能となり橋脚と切梁の干渉が無くなる
	◇ 隔壁鋼管矢板の切断は掘削後となるため、隔壁鋼管矢板頭部を傷める恐れが無くなる
工程	◇ 陸上で組立てた支保工を一括架設することにより、現地での作業工程を短縮することができる
	◇ 支保工架設前に無支保で井筒内(水中)掘削する施工ステップにすることで、掘削作業効率を改善できる
	◇ 井筒中央に大開口を設け、中間杭を無くすることが可能となり、頂版・橋脚躯体施工の作業効率を改善できる
安全	◇ 支保工を一括架設(2分割)することで、高所作業・上下作業・狭所作業の頻度を減らすことが可能になる
	◇ 水中掘削時は、大開口を設けた頭部結構にすることで掘削機と切梁支保工の接触による支保工損傷リスクが無くなる
	◇ 躯体構築時の揚重作業において、切梁と吊荷の支障や、縦吊りなどによる災害発生リスクが低減される

(5) トラス型支保工の施工

トラス型支保工は、1-2 段目・3-4 段目を一体化した構造であり、それぞれ重量が 420t・550t となった。水中一括架設には 1,600t 吊全旋回式起重機船を採用した。

設置水深は 4 段目の支保工で約 19m と深く、その状況下で正確な高さ・位置に仮固定をする必要があり、これには PC 鋼棒による吊り下げ方式を考案した。

また、水中架設後、井筒内の水位を保持したまま間詰コンクリートを打設する必要がある、この施工方法も課題の一つであった。

(6) トラス型支保工の仮受け

3-4 段目トラス型支保工は、大水深への設置となるため、通常の支保工設置で用いるブラケット方式では、設置精度確保、溶接作業の品質確保が困難であることに加え、水中溶接作業に時間を要する。このため、3-4 段目トラス支保工の仮受けは、鋼管矢板頭部に設置した横桁から 20 本の PC 鋼棒で支保工を吊り下げる構造とした。図-7 に PC 鋼棒による吊り下げ構造を示す。

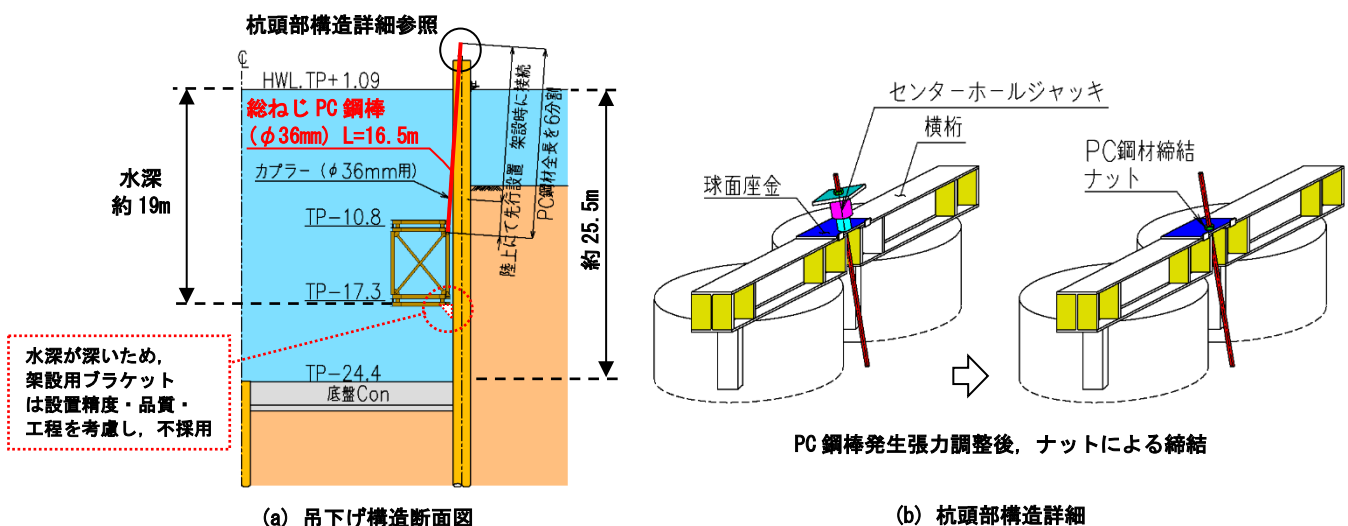


図-7 3-4 段目トラス型支保工の仮受け方法

PC 鋼棒は全長 16.5m を 6 分割し、そのうち 1 本 (3.0m) を予め支保工地組時に設置しておき、残り 5 本の PC 鋼棒は支保工を起重機船で吊り降ろしながら順次カプラーにより接続した。支保工を設置位置まで吊下げた後にセンターホールジャッキを各 PC 鋼棒に設置し、支保工全重量 10% の荷重を放荷する毎に、各 PC 鋼棒に発生している張力の確認・ジャッキによる調整を行いながら、支保工全重量を PC 鋼棒に預ける。最後に、PC 鋼棒を鋼管矢板頭部の横桁にナットで固定した。

各 PC 鋼棒にかかっている張力は、ジャッキの油圧を計測することで集中管理した。設計計算で得た荷重と合致するようにジャッキを調整することで、水中でのトラス型支保工の位置・高さを制御することができた。

1-2 段目トラス型支保工は、5m 程度の潜水で溶接作業が可能であったので、22 基のブラケットを鋼管矢板に水中溶接して仮受けする構造とした。

(7) 水中間詰めコンクリート

水中での一括架設後、ドライアップ前に鋼管矢板が受けている土圧水圧を支保工に伝達するため、水中で間詰めコンクリートを施工した。

しかしながら最大水深 19m で鋼材が入り組んだ支保工内部での潜水作業は相当の危険が予想され、また、コンクリートを確実に充填するなどの品質確保においても難しい作業であった。このため、水中作業を極力減らし、かつ確実に施工できる方法として、プレキャストブロックとモルタル充填袋によるハーフプレキャスト方式を採用した。

図-8 に水中間詰めコンの施工方法を示す。まず、先行してプレキャストブロック (写真-1) を製作した。この腹起し側にアングル材で「爪 (つめ)」をつけておき、水中で降下後、腹起しに引掛ける構造とした。更に、この爪の内側に斜めプレートを生込むことで、据付け後に腹起し材とプレキャストブロックに隙間ができないように工夫した (図-9)。これにより、鋼管矢板の馴染み変形を無くせるので、計算結果により近い状態を確保でき、残留応力増大を防止できる。

鋼管側には布製型枠生地で作成したモルタル充填袋を取付け、水中でモルタルを充填した (写真-2)。

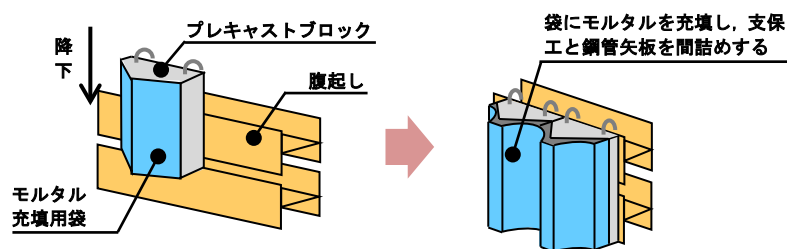


図-8 水中間詰めコンクリートの施工

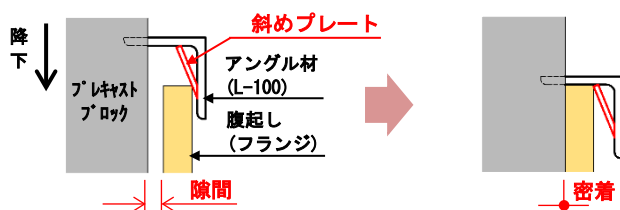


図-9 「爪」の断面詳細図



写真-1 プレキャスト水中間詰めブロック



写真-2 水中間詰めコンの設置



写真-3 井筒内掘削状況

3. トラス型支保工による生産性向上効果

(1) 井筒内掘削

井筒内掘削は、海底面から床付面まで約 20m、土量 19,700m³ の

施工量であった。当初設計では 0.8m^3 級クラムシェルバケット+120t 吊クレーン台船で計画されていたが、施工ステップを見直し、支保工が無い状態での作業となったので、 10m^3 クラムシェルバケット+210t 吊起重機船に変更した（写真-3）。この「機械の大型化」により、作業効率は大幅に改善し、当初設計に比べ日当たり掘削量として 1.9 倍の改善を達成した（表-3）。

表-3 井筒内掘削実績

	使用機械	日当たり掘削量※ (m^3)	改善比率 実績/当初
当初設計	クレーン付台船100t吊×2 (クラムシェルバケット 0.8m^3 ×2) 土運船 650m^3 積×2	238	1.92
実績	旋回式起重機船210t吊×1 (クラムシェルバケット 10m^3 ×1) クレーン付台船120t吊×1 (クラムシェルバケット 3m^3 ×1) 土運船 500m^3 積×1、 210t吊起重機船デッキ上×1	458	

※1方8h当りの掘削量



写真-4 トラス型支保工の一括架設

(2) 支保工架設

トラス型支保工の部材は工場製作し、これを千葉県袖ケ浦の岸壁で 1-2 段目 (420t)、3-4 段目支保工 (550t) として組み立てた。これを $7,000\text{t}$ 積台船で気仙沼まで海上運搬し、 $1,600\text{t}$ 吊全旋回式起重機船で一括架設した（写真-4）。架設作業自体は、それぞれ 1 日で完了している。また、架設前に実施した仮受用 PC 鋼棒やブラケットの取付けといった準備作業を含めても、およそ 1 か月で作業を完了できた。また、間詰コンクリートのプレキャストブロック設置から水中でのモルタル充填は、1.5 か月で作業を完了した。

当初工程では、切梁支保工を設置しながらの掘削で 7 か月程度の工期を見込んでいたが、実績では 4 か月程度で完了し、概ね 3 か月程度の工期短縮を実現できた。

(3) 躯体構築

写真-5 にドライアップ完了後の井筒内部から見たトラス開口状況を示す。躯体+足場の開口が確保され、躯体を貫通する支保工（切梁・中間杭）が無い長期耐久性に対するリスクの一つを排除できた。

また、トラス化により大開口を得たことで揚重作業の制約が緩和され、鉄筋や足場のブロック化、型枠の大型鋼製パネル化などが可能となった（写真-6, 7）。



写真-5 井筒内ドライアップ完了



写真-6 鉄筋のブロック施工

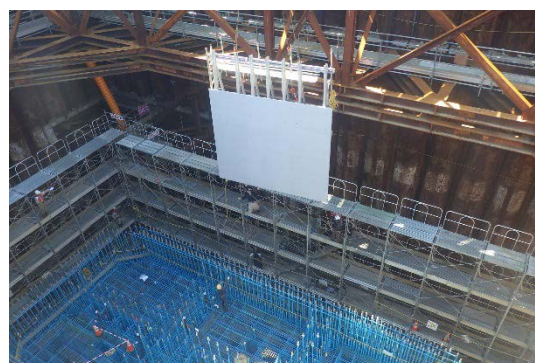


写真-7 大型型枠吊り込み

4. おわりに

支保工を切梁方式からトラス構造に変更することで、品質・工程ともに大きな改善効果を得た。

鋼管矢板基礎は河川や海上で使用されることが多く、供用後の構造物は厳しい環境下に曝されることが多い。切梁支保工のトラス化により仮設鋼材の残置を無くしたことは、こうした環境下における構造物の長期耐久性を確保する上で、一つの好事例である。

また生産性・効率化という観点において、海上工事の場合、陸上に比べ不利な要素は少なからずあるが、大型施工機械の導入の容易さという点では有利である。今回トラス型支保工を導入したことで掘削・支保工架設・躯体構築の各段階においてこの優位性を大いに活用し、生産性向上を果たすことにより、海洋構造物の生産性向上に向けた取組みの一つの方向性を示すことができた。

一方で課題として、施工コストの増加と設計に時間を要することが挙げられる。コストについては一般的なリース材を多用できるような構造（トラス型の平面形状に拘ることなく支保工の剛性が高い構造）にする、運搬費を抑えられる計画とすることなどが考えられる。

また設計に関しては、鋼管矢板基礎の鋼管が仮締切り兼本設の杭として使用されるものであり、支保工及び施工ステップの変更が本設杭の設計に影響を及ぼすため十分な検討時間が必要となったため、発注段階からトラス型支保工の導入について検討されていることが望ましい。

あとがき

本橋梁は、気仙沼湾のシンボルとなりうる地元市民期待の魅力ある気仙沼を導く事業であるとともに、工事はまだ序盤で完成までには、更に数年を要し、遅延回避のためにも海域利用者や関係者との事前調整が必須である。

今後も、委員会や連絡会、調整会議を通じて、引き続き関係者との情報共有を密に行い、安全で円滑に工事を進捗出来るよう取り組む所存である。

最後に本工事に携わって頂いた関係各位のご尽力とご協力に深く感謝し、紙面を借りてお礼を申し上げます。