

# 耐震補強工事における3Dプリンターの活用と仮設工法の最適化について

百成 泰大<sup>1</sup>・中村 圭弘<sup>1</sup>・青山 築<sup>1</sup>・井上 良介<sup>1</sup>・北川 琉太<sup>1</sup>

<sup>1</sup>金沢河川国道事務所 道路管理第二課 (〒920-8648 石川県金沢市西念4丁目23番5号 )

一般国道8号浅野川橋（下り）のP5橋脚耐震補強工事では、高速道路および市道に近接した河川堤防内という厳しい条件下で施工を行った。3Dプリンター製埋設型枠（3DCP型枠）の活用により、型枠工の施工日数を約47%削減し、非出水期内の施工完了を達成した。また、仮設工法をオープン掘削から鋼矢板仮締切工法へ変更し、空頭制限下では上部障害クリア工法を採用した。本稿では、新技術の適用効果と施工計画の工夫について報告する。

キーワード 上部障害クリア工法<sup>®</sup>、3Dプリンター、埋設型枠、橋脚耐震補強

## 1. はじめに

一般国道8号 金沢市磯部町から諸江町に架かる浅野川橋（下り）では、既設橋梁の耐震性能を向上させ、将来発生し得る大規模地震動に対する構造安定性を確保することを目的として、計画的に耐震補強工事を実施している。本橋の位置を図-1に示す。

今回施工したP5橋脚の主な補強内容は、柱補強工、基礎補強工およびフーチング補強工等から構成され、柱補強工としてRC巻立て補強、基礎補強工として増杭・高耐力マイクロパイル工法、フーチング補強工としてRC増厚補強を採用した。

対象橋脚は図-1に示すとおり二級河川浅野川の堤防内に位置しており、非出水期という限られた施工可能期間

内に工事を完了させるため、本工事では、工程短縮を重要課題の一つと位置付けた。その対策として、フーチングのRC増厚補強に3Dプリンター製の埋設型枠（以降、「3DCP型枠」と称す）を適用し、型枠作業の省力化と施工効率の向上を図った。また、施工箇所の近傍には高速道路（NEXCO中日本管理）および市道が存在し、橋脚桁下の河川堤防という高さ制限のある空間条件下にあるため、通常の橋脚耐震補強工事と比較して、施工方法の選定において多くの制約を受けた。具体的には、周辺道路交通への影響、既設構造物への荷重影響、堤防開削時の安全性の確保など、複数の条件を同時に満足させる必要があった。そのため、既設構造物への影響や交通規制を回避するべく、当初計画のオープン掘削方式を見直し、仮設工法の最適化を図った。

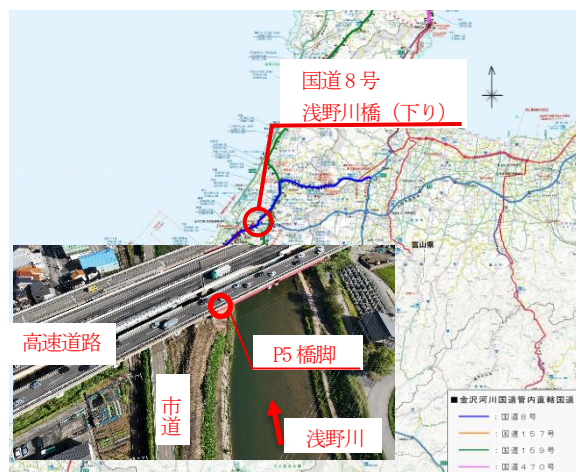


図-1 橋梁位置図・現地状況



写真-1 3Dプリンターで作成した型枠

## 2. 仮設計画上の課題

### (1) 非出水期施工期間の課題

本工事は堤防開削を伴うことから、河川管理上の制約により施工期間が非出水期である11月～5月（浅野川の場合）に限定された。したがって、工事をこの期間内に完了させる必要がある。特に、掘削・仮設・補強・復旧の各段階において、冬季積雪、降雨や地下水の影響などによる不確定要素が存在するため、工程管理上の余裕は限られていた。

このような制約のもとでは、単に施工を成立させるだけでなく、各作業の効率化を図り、工期短縮を実現することが重要であった。よって、仮設計画の段階から、従来工法にとらわれない施工方法の合理化を検討する必要があった。

### (2) 高速道路および市道近接に伴う課題

図-2に改善前の仮設計画を示す。この計画では、現況堤防裏に仮堤防盛土の設置を行い、橋脚周辺をオープン掘削し、堤防開削する計画であった。しかしながら、この方法では、掘削影響範囲を避けての仮堤防盛土設置により、

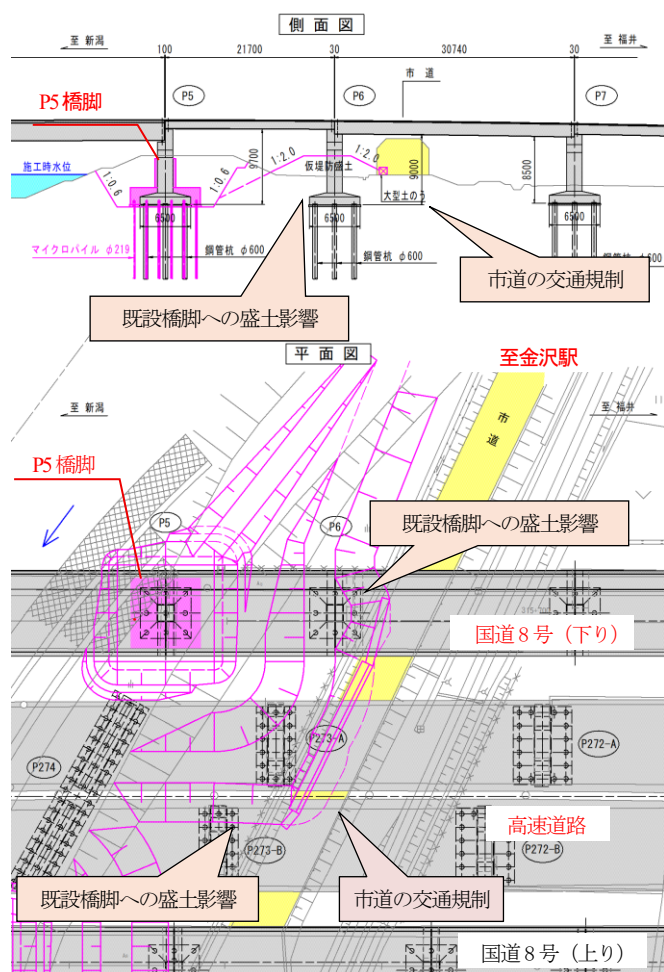


図-2 改善前の仮設計画

近接する高速道路等の既設橋脚フーチングに対する上載荷重の増加や、柱部への側圧の作用によって、構造安定性に支障を来す可能性があった。

また、仮堤防盛土が河川と並行する市道に一部がはみ出す計画であったため、市道の長期交通規制が必要となり、地域交通への支障が避けられない状況であった。特に、当該市道は国道を立体交差で横断し、金沢駅方面に向かう主要な路線であり、交通渋滞の発生、迂回交通の増加、沿道環境への影響も懸念された。

したがって、この計画のままでは、既設構造物の安全性のみならず、周辺社会への影響の観点においても、課題が大きいと判断した。

### (3) 堤防開削時におけるのり面安定性の課題

写真-2は、過年度に実施された浅野川橋の橋脚耐震補強工事におけるオープン掘削時の状況である。当該例では、堤防開削中に湧水の影響を受け、のり面が安定せず最終的に仮設鋼矢板締切工法へ変更した経緯がある。この経験から、今回対象とする橋脚においても、堤防開削を伴うオープン掘削を採用した場合、同様に湧水や地下水位変動の影響によってのり面崩壊が生じる可能性が高いと判断した。

堤防は、河川の安全管理上重要な施設であり、掘削中にわずかな変状が生じただけでも、周辺地盤や既設構造物に波及的な影響を及ぼすおそれがある。そのため、のり面の安定性を確実に確保できない工法の採用は困難であり、施工中の安全性・止水性・管理性に優れた仮設方法が必要であった。



写真-2 過年度堤防開削時ののり面崩壊状況

### 3. 対応策

#### (1) 仮設鋼矢板締切による近接対応および掘削安定化

図-3に改善後の平面図、図-4に改善前後の側面図の仮設計画概要の比較を示す。改善前のオープン掘削方式を改め、鋼矢板による仮締切工法を採用した。これにより、掘削の影響範囲を縮小することで、近接する高速道路等の既設橋脚に対する増加荷重の影響を回避または低減し、さらに市道に盛土がはみ出ることがなく、市道交通への影響を回避することが可能となった。

また、鋼矢板締切は、止水性および土留め機能を同時に確保できることから、湧水対策に有効である。特に、本工事のように堤防内での施工となる場合には、掘削部の安定性確保と周辺への影響の抑制を両立させる必要があることから、本工法の採用は妥当であった。なお、桁下での鋼矢板施工を可能とするため、鋼矢板天端高は施工時水位に合わせて設定した。

#### (2) 空頭制限下における鋼矢板施工

既設桁下での鋼矢板の打ち込みや引き抜き作業を行うため、空頭制限（高さ制限）を受ける環境下での施工となる。通常用いられるクローラークレーンやパイプロハンマーを併用した一般的な工法では施工に必要な空頭高さを確保できないため、施工が不可能であった。そこで本仮設では、この課題を克服するために「上部障害クリア工法<sup>®</sup>」を採用した。専用の超低空頭型圧入機を使用し、あらかじめ短く分割した鋼矢板を搬入したうえで、それらを現場溶接により継ぎ足しながら順次圧入する。本工事における既設桁下と鋼矢板天端までの離隔は最小で約4.4mであり、約3mに分割した鋼矢板を継ぎ足しながら施工を行った。これにより、限られた施工空間であっても施工が可能となった。施工状況を写真-3に示す。



写真-3 上部障害クリア工法による施工状況

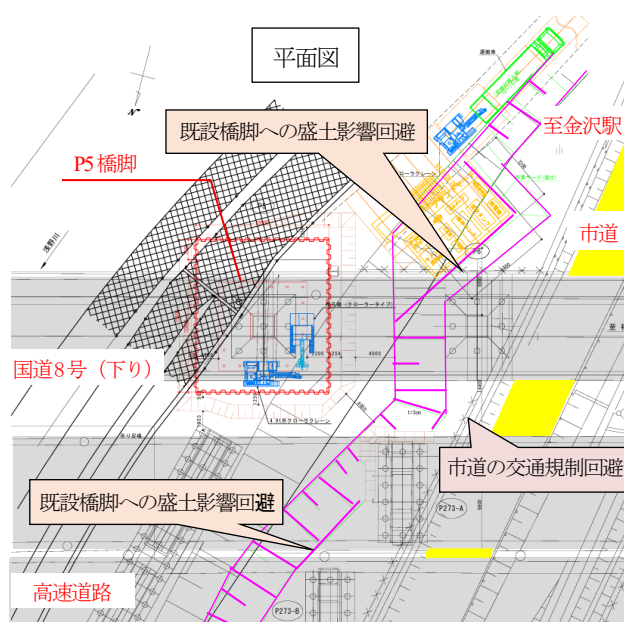


図-3 改善後の仮設計画

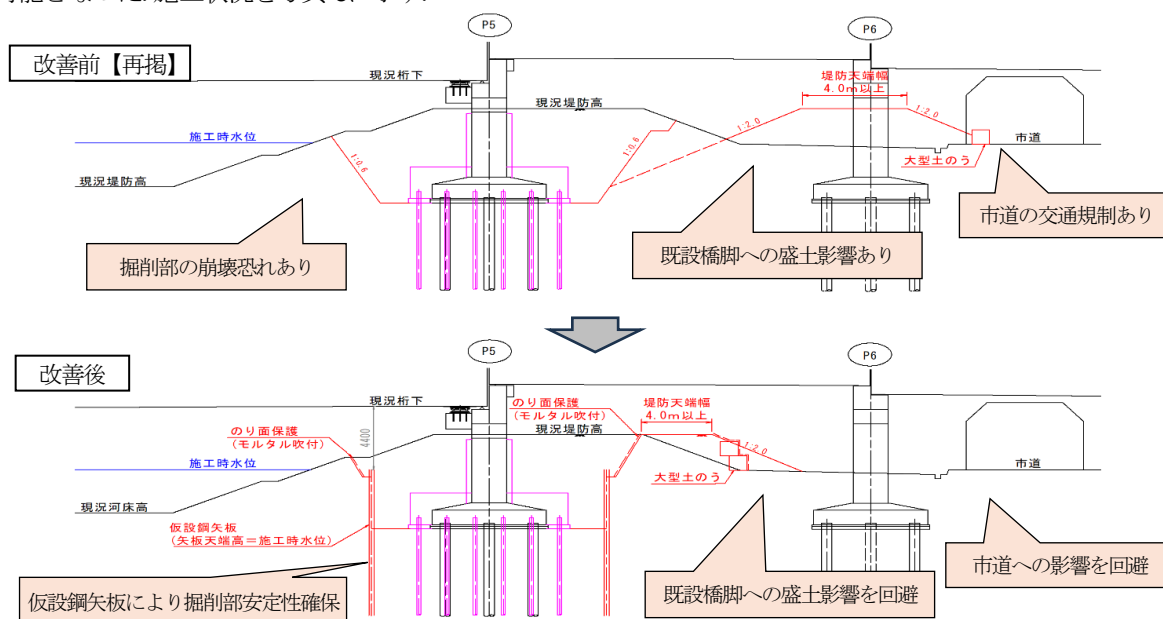


図-4 仮設計画概要

### (3) 3DCP型枠の採用による工期短縮

非出水期内で確実に施工を終えるために、工期短縮を目的として、フーチングのRC増厚補強において、3DCP型枠を採用した。これにより、従来必要であった現場での型枠加工・脱型作業および足場の設置・撤去を省略または削減することができ、工期短縮に大きく寄与した。

写真-4に工場でモルタル製埋設型枠を製作している状況を示す。3Dプリンターにより造形後、養生および検査を経て現場へ運搬する。写真-5は現場における設置状況を示す。

本工事のフーチングのRC増厚補強における3DCP型枠の施工日数削減効果を表-1に、工事費の比較結果を表-2に示す。従来工法と比較して、現場施工日数を7日（約47%）短縮することができた。これは、従来工法において必要であった型枠の現場加工・組立・脱型といった一連の作業工程が、3DCP型枠の採用により大幅に簡略化されたことによるものである。非出水期という限られた施工可能期間内に工事を完了させなければならない本工事においては、この約47%の施工日数削減効果は、工程管理上極めて有効であったといえる。



写真4 3Dプリンターによる工場製作状況

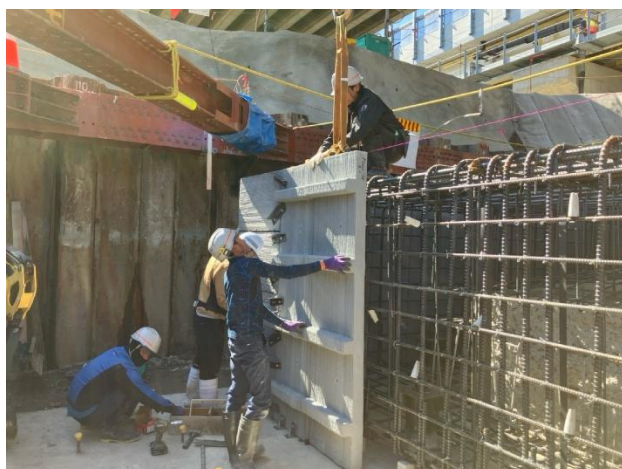


写真-5 3DCP型枠の設置状況

一方、工事費については2,870千円（約45%）の増加となった。これは、3DCP型枠の工場製作費および運搬費が従来の型枠材料費を上回ったことによるものである。しかしながら、3DCP型枠は、従来工法に比べ直接的な工事費は増加したものの、品質向上の効果や非出水期内での施工完了、交通影響の低減、現場作業の省力化による効果を総合的に考えた場合に合理的な選択であったと考える。

また、工場製作による均質な品質確保が期待でき、現場作業の省力化にも有効であった。さらに、工場製作のため複雑な形状にも対応しやすく、現場条件に応じた柔軟な適用が可能である。熟練技能者の確保が困難な状況においても一定の品質を維持しやすい点も、大きな利点として挙げられる。

表-1 従来工法と3DCP型枠の現場施工日数

| 作業       | 従来工法 | 3DCP型枠 |
|----------|------|--------|
| 足場組立     | 1日   | 0日     |
| 型枠組立     | 6日   | 3日     |
| 支保工      | 1日   | 1日     |
| コンクリート打設 | 1日   | 1日     |
| コンクリート養生 | 3日   | 3日     |
| 脱型       | 2日   | 0日     |
| 足場解体     | 1日   | 0日     |
| 計        | 15日  | 8日     |

3DCP型枠の場合、従来工法に比べ、7日（47%）短縮可能

表-2 従来工法と3DCP型枠の工事費-内訳

| 項目       | 従来工法              |       | 3DCP型枠            |       |
|----------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| 【材料・資材】  | 数量                | 金額    | 数量                | 金額    |
| コンクリート   | 130m <sup>3</sup> | 2,890 | 130m <sup>3</sup> | 2,890 |
| 足場工      | 100m <sup>2</sup> | 557   | -                 | 0     |
| 水替工      | 15日               | 428   | 8日                | 228   |
| 3D製型枠    | -                 | 0     | 1式                | 5,000 |
| 小計（千円）   |                   | 3,875 |                   | 8,118 |
| 【労務費・機材】 | 数量                | 金額    | 数量                | 金額    |
| 型枠工      | 14人               | 421   | 4人                | 120   |
| 普通作業員    | 4人                | 101   | 8人                | 202   |
| 土木一般世話役  | 7人                | 225   | 4人                | 129   |
| 特殊作業員    | -                 | 0     | 4人                | 101   |
| 特殊運転手    | -                 | 0     | 3人                | 89    |
| 10t吊クレーン | -                 | 0     | 3人                | 113   |
| 4t吊クレーン  | 2日                | 67    | 3日                | 101   |
| 小計（千円）   |                   | 814   |                   | 855   |
| 【間接工事費】  | 数量                | 金額    | 数量                | 金額    |
| 共通仮設費    | 1式                | 385   | 1式                | 51    |
| 現場管理費    | 1式                | 1,246 | 1式                | 166   |
| 小計（千円）   |                   | 1,631 |                   | 217   |
| 合計（千円）   |                   | 6,320 |                   | 9,190 |

3DCP型枠の場合、従来工法に比べ、2,870千円（+45%）増加

#### 4. 施工結果と評価

本工事では、新技術の適用及び仮設計画の見直しを行った結果、以下のとおり良好な成果を得た。

- 仮締切工法への変更効果

当初のオープン掘削方式から鋼矢板仮締切工法へ変更したことで、懸念された高速道路および市道への影響を軽減し、交通規制を最小限に抑えることができた。

- 桁下での確実な施工

上部障害クリア工法による鋼矢板の打ち込み・引き抜きは、円滑に完了した。掘削時においても、湧水や地盤変状などの異常は発生せず、仮締切内の作業空間を安定的に確保できた。

- 3DCP型枠による工期短縮

フーチングのRC増厚補強に採用した3DCP型枠は、計画どおり機能し、精度および品質の均一性も良好であった。これにより、型枠工事の手間が削減され、補強工全体の工程短縮に貢献した。

以上のとおり、周辺環境への影響を抑制しつつ、安全性、工程遵守および品質確保を同時に満足することができた。

#### 5. まとめ

本工事は、非出水期という限定された施工期間に加え、高速道路および市道が近接し、かつ河川堤防内に位置する既設橋脚という複合的な制約条件下での耐震補強工事であった。「鋼矢板仮締切工法による仮設の最適化」「上部障害クリア工法の適用」「3Dプリンター製型枠の活用」を組み合わせることで、周辺交通および既設構造物への影響を最小限に抑え、施工完了を実現した。

今後、同様の厳しい条件下での橋脚耐震補強工事においても、本工事で得られた知見は有効な対応策として参考となるものと考ええる。

**謝辞：**本報文を作成するにあたり、情報提供や助言を賜りました関係各位に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 株式会社技研製作所：上部障害クリア工法  
技術資料, 2022