

超高強度合成繊維補強コンクリートを用いた埋設型枠の開発

Development of Embedded Formwork using Ultra-High-Strength Synthetic Fiber Reinforced Concrete

須山 淳也^{*1}
Junya Suyama

石塚 健一^{*2}
Kenichi Ishizuka

平間 昭信^{*3}
Akinobu Hirama

小林 裕貴^{*4}
Yuki Kobayashi

中村 慶一^{*4}
Keichi Nakamura

内野 雅行^{*5}
Masayuki Uchino

【要旨】

コンクリート構造物の施工技術の一つとして、通常の型枠に替わり、埋設型枠工法がある。埋設型枠を用いる効果として、型枠組立、解体作業の省力化、養生期間短縮などの生産性向上に加え、表面品質向上を図ることができる。そこで筆者らは、片持ち架設工法で施工するPC箱桁橋の壁高欄の外枠へ、耐久性に優れた材料である「ESCON®」を埋設型枠として適用することを目的に施工試験を実施した。適用する橋梁の張出床版（延長7m）と壁高欄（延長6m）を想定し、幅1,990mm×高さ950mm×厚さ30mmの形状とした埋設型枠を3枚製作し、埋設型枠の固定方法や施工手順および有効性を確認した。また、埋設型枠は、現場打ちコンクリートと一体化して構造体の一部となるため、現場打ちコンクリートとの付着の確保が重要である。そこで、埋設型枠に設けた凹凸（ディンプル）によって付着を確保することとし、施工試験に先立ち付着試験を実施して、付着強度の目標値1.5N/mm²を満足するディンプル形状を選定した。

【キーワード】 高強度コンクリート 埋設型枠 付着強度 省力化

1. はじめに

近年の建設分野において、現場での技能労働者の減少、若手入職者の減少といった課題に直面しており、国土交通省ではi-Constructionによる生産性向上を推進するなどの取組みが進められている。コンクリート構造物の施工技術の一つとして、現場打ちコンクリートと一体化して構造体の一部となるプレキャスト埋設型枠を適用することにより、型枠組立、解体作業の省力化、養生期間短縮などの生産性向上に加え、表面品質向上を図ることができる。

本報告は、超高強度繊維補強コンクリート（ESCON®）を適用した埋設型枠について、片持ち架設工法で施工するPC箱桁橋の壁高欄の外枠への適用を目的とした施工試験の結果を報告する。

2. ESCON®概要

ESCON®は、表-1に示すように、低水セメント比および合成繊維添加により高強度かつひび割れが生じにくく、劣化因子の遮断性も高く耐久性に優れた材料である。さらに、ESCON®は充填性が高く、過密配筋部や複雑な形状においても充填可能であり、鋼材腐食のない長寿命のコンクリート構造物を構築することができる。

表-1 ESCON®材料特性

圧縮強度	150 N/mm ²
曲げ引張強度	20 N/mm ²
水セメント比	15%
補強繊維	PVA 繊維
透気係数	4.2 × 10 ⁻²⁰ m ²
透水係数	0 cm/s
塩化物イオンの拡散係数	0 cm ² /年

3. 埋設型枠と現場打ちコンクリートの付着の確保

埋設型枠は、現場打ちコンクリートと一体化して構造体の一部となるため、現場打ちコンクリートとの付着の確保が重要である。

付着の確保は、現場打ちコンクリートとの接合面にディンプル（凹凸）を設ける方法とした（図-1）。付着強度の目標値は、平均値1.5N/mm²以上¹⁾とし、ディンプル形状を実験要因とした付着強度試験²⁾を実施した。

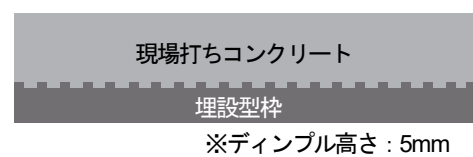


図-1 ディンプルによる付着確保

図-2に、ディンプル断面積比（埋設型枠表面積に対するディンプル断面積の比）と付着強度の関係を示す。ディンプル断面積比を50%以上とすることで、目標値である1.5N/mm²以上の付着強度が確保され、破壊形態が断面積比の小さい場合の界面破壊から現場打ちコンクリート側の母材破壊となる。

この結果から、埋設型枠と現場打ちコンクリートの付着を確保するために、ディンプル断面積比を50%以上とすることとした。

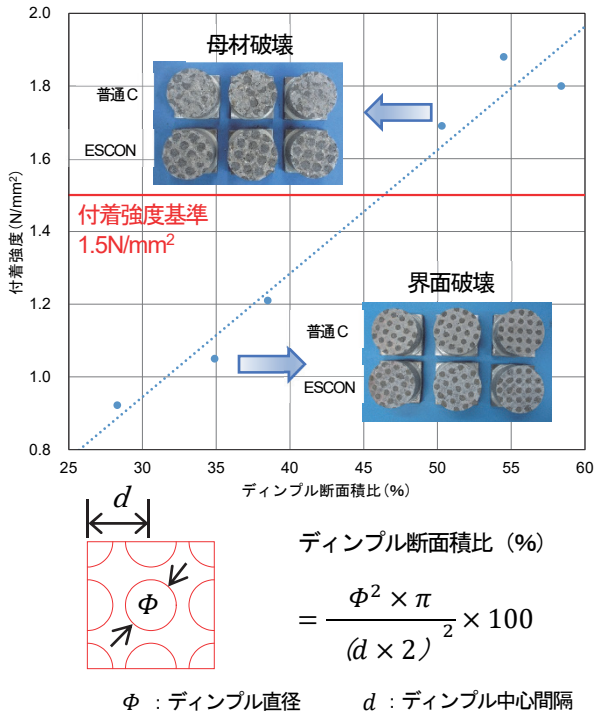


図-2 ディンプル断面積比と付着力の関係

4. 施工試験

4.1 目的

片持ち架設工法で施工するPC箱桁橋は、図-3左列に示すとおり一般に移動作業車を用いてブロック施工を行い、橋体完成後に、壁高欄の施工を行う。壁高欄の施工は、外枠を設置するため、地覆作業車を用いて張出床版の外側に腕木足場を設置する必要がある（写真-1）。また、壁高欄のコンクリート打設終了後は腕木足場上での外枠の脱型、脱型後の躯体表面仕上げ、腕木足場の解体を行うため、上部作業で壁高欄の外枠に関する作業時間は大きく、作業効率の向上が求められている。



写真-1 一般工法による壁高欄施工状況

そこで、橋体完成前に壁高欄の外枠（埋設型枠）を設置することができれば、図-3左列に示す点線部の作業が省略可能であり、作業時間の短縮を図ることができると考えた。

以上より、埋設型枠を片持ち架設工法で施工するPC箱桁橋の壁高欄の外枠への適用の確認を目的として、施工試験を実施した。

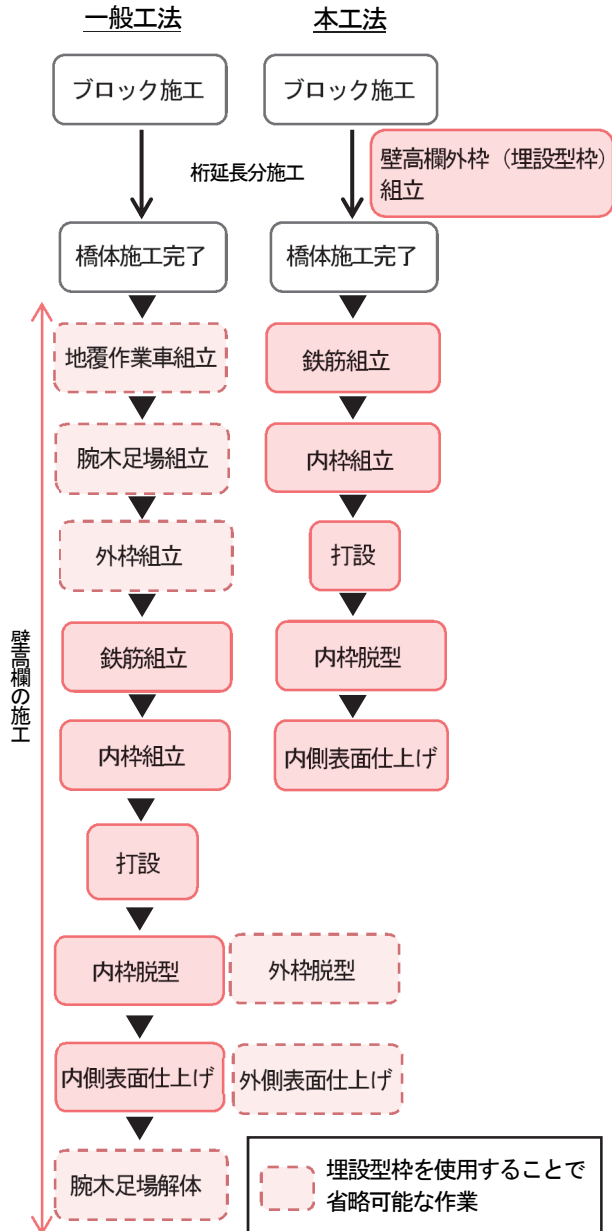


図-3 一般工法と本工法の作業比較

4.2 埋設型枠の試験施工供試体概要

検討した埋設型枠の寸法は、壁高欄のVカットや施工性から、幅1,990mm×高さ950mmとし、超高強度の材料を使用することから、厚さ30mmの薄肉部材とした（写真-2）。

埋設型枠には、ひび割れ防止の金網鉄筋や揚重用およ

びセパレータ取付用のインサートを設置した。なお、金網鉄筋は鋼材腐食対策として、エポキシ樹脂塗装したものを使用した。また、インサートについても腐食しないセラミック製またはステンレス製を用いた（写真-3）。

適用する橋梁を想定し、張出床版（延長7m）と壁高欄（延長6m）とし、埋設型枠は、3枚設置することとした（図-4）。埋設型枠間は10mmの隙間をあけ、高発泡ポリエチレン素材のバックアップ材を使用した。

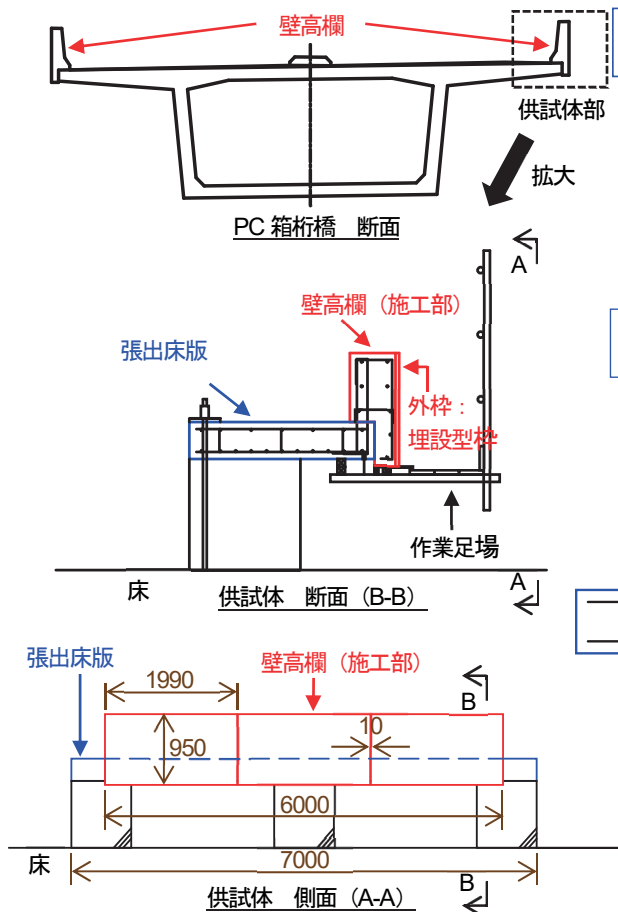
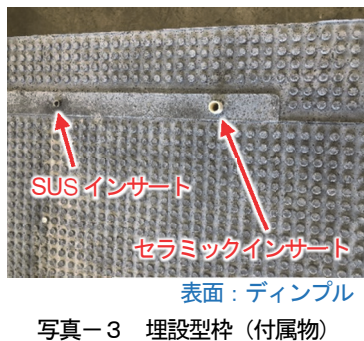
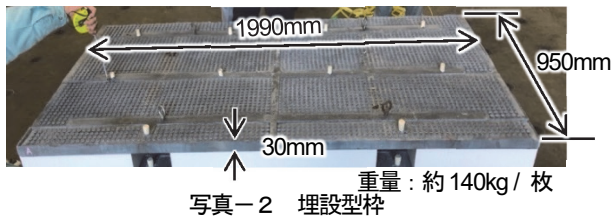


図-4 施工試験供試体

4.3 作業手順

施工試験の作業手順を図-5に示す。

(1) 揚重方法

埋設型枠の揚重は、埋設型枠のインサートにアイボルトを設置し揚重する方法と、石材用クランプを使用する方法とし、施工性を確認した（図-5①）。

(2) 固定方法

次に、埋設型枠は、インサートに壁つなぎを設置した固定治具と、張出床版にアンカーで固定した単管やアンクル材をトラス状にした固定治具を接合し固定した。

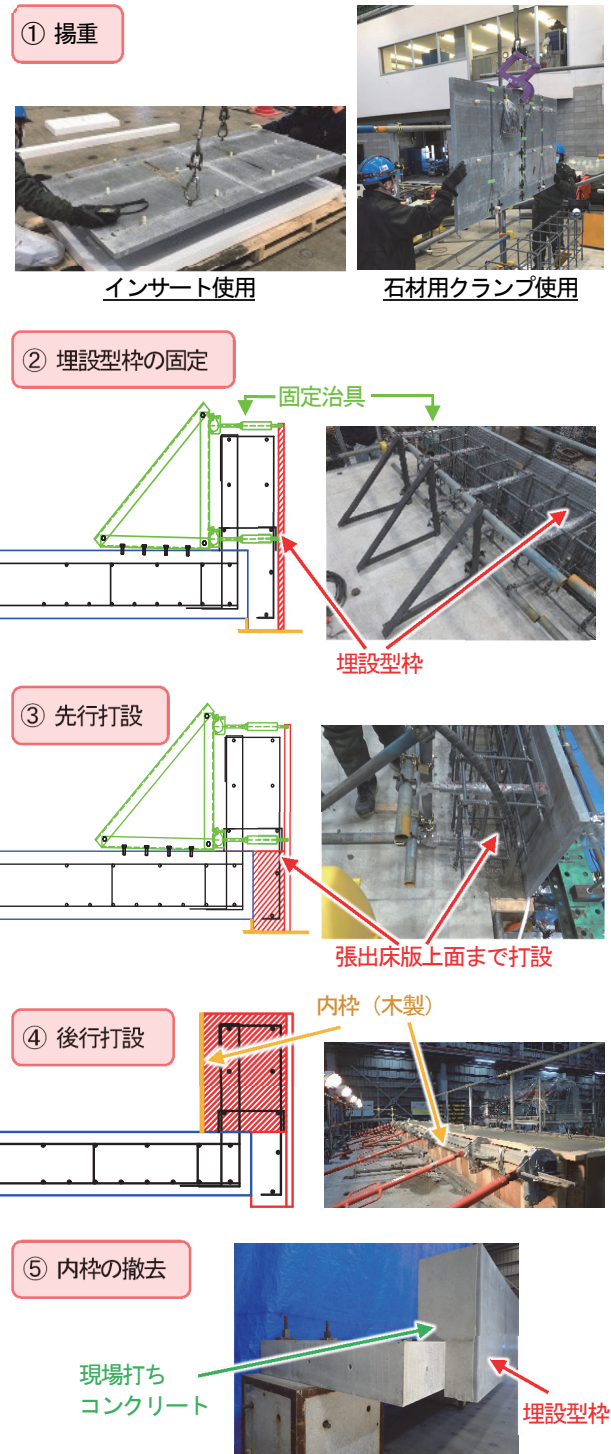


図-5 施工試験における作業手順

固定支持間隔を2点/枚(支持点間隔1,500mm)とした場合と4点/枚(支持点間隔500mm)にした場合変え、打設時による影響を確認した。(図-5②)。

(3) 打設方法

コンクリート打設は、「先行打設」と「後行打設」の2回に分け、「先行打設」では張出床版の上面までの打設を行い、コンクリート硬化後に固定治具を外して、埋設型枠が自立できるか確認した(図-5③)。「後行打設」では通常の木製型枠を内枠に使用し、壁高欄の上面まで打設を行った(図-5④)。養生完了後は、内枠の木製型枠のみ脱型をして施工完了である(図-5⑤)。

4.4 試験結果

(1) 揚重方法

埋設型枠を設置する際に、壁高欄の下面型枠と埋設型枠が垂直となった方が、設置位置への微調整および埋設型枠の下端部の固定が簡単にできたことから、石材クランプを使用した揚重方法が適切であった。

(2) 固定方法

埋設型枠の固定治具は、単管、アングル材ともに作業性は変わらないが、固定支持点を2点/枚(支持点間隔1,500mm)とした場合に、「先行打設」時に埋設型枠にひび割れ発生を確認した。固定支持点を4点/枚(支持点間隔500mm)にした場合は、ひび割れが確認されなかった。このことから、本埋設型枠寸法の場合の固定方法は、固定支持点を4点/枚にすることが適切と判断した。

しかし、固定治具は「先行打設」時のセパレータの機能として必要であるため、埋設型枠寸法によって固定治具の間隔を事前検討しなければならない。

(3) 打設方法

埋設型枠は、「先行打設」により、固定治具がなくても自立できることが確認できた。よって、壁高欄の外枠(埋設型枠)をブロック施工中に設置することが可能である。

しかし、図-7に示すように、バックアップ材や埋設型枠下端からコンクリート打設による生コンクリートやノ

ロ漏れが発生したため、埋設型枠間や、埋設型枠と下面型枠の接合方法を検討する必要がある。



図-7 打設終了後の埋設型枠間

5. まとめ

- 1) 埋設型枠にディンプルを設け、ディンプル断面積比を50%以上とすることにより、現場打ちコンクリートと ESCON®による埋設型枠の所要の付着強度1.5N/mm²以上を確保することができる。
- 2) PC箱桁橋の壁高欄の外枠に、埋設型枠を適用できることを確認できた。このことから、片持ち架設工法の場合は、壁高欄に ESCON®埋設型枠を適用することにより、従来の施工方法と比較し、壁高欄に要する作業時間を、40%~50%程度短縮することが期待できる。

【参考文献】

- 1) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)，pp.13-14，2016。
- 2) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：NEXCO 試験方法 第4編 構造関係試験方法，pp.26-28，2017。

Summary Embedded formwork can be used for concrete structures instead of conventional formwork. Using embedded formwork may contribute to improved surface quality, in addition to improved productivity, including labor savings for formwork assembly and dismantling, and shorter curing periods. The authors performed construction tests for the purpose of applying ESCON®, a durable construction material, as part of an embedded formwork on the outer frame of the barrier walls of a PC box girder bridge built using the cantilever erection method.

Assuming overhanging deck slabs (extension 7 m) and barrier walls (extension 6 m) on the bridge on which work was to be done, three embedded formworks of 1,990 mm width, 950 mm height, and 30 mm thickness were manufactured. The validity of the embedded formwork fixing method and construction procedures was confirmed. Since the embedded formwork is integrated with the cast-in-place concrete and becomes part of the structure, it is important to ensure adhesion with the cast-in-place concrete. We attempted to ensure adhesion by forming unevenness (dimples) on the embedded formwork. We performed adhesion tests in advance of the construction test to select a dimple shape that would provide the targeted adhesion strength of 1.5 N/mm².

Key Words : Reinforced concrete, Embedded formwork, Adhesive strength, Labor savings