床版接合技術「ESCON TPジョイント」の実構造物適用に向けた横断勾配対応に関する検討

針　貝　貴　浩*1　　久保田　崇　嗣*2
角　永　敏　章*1　　北　川　空　良*2
川　口　達　也*2

要　　旨

プレキャストPC床版取替工事の生産性向上を目的として開発した床版接合技術「ESCON TPジョイント」の実構造物適用に向け，横断勾配区間における間詰め材（VFC）の施工方法について検討した．勾配条件下ではVFCの高い流動性により勾配下流側へのオーバーフローが生じるため，伏せ型枠を用いて上方から拘束する施工方法を提案し，試験施工により有効性を確認した．また，貫入抵抗値と仕上げ作業性および表面品質の関係を整理し，伏せ型枠の脱型および仕上げ完了時期の管理指標を示した．さらに，環境温度および硬化促進剤添加量が凝結性状に及ぼす影響を明らかにし，施工条件に応じた脱型時期の予測手法について検討した．その結果，伏せ型枠の適用により4%の横断勾配条件下においても良好な表面形成が可能であり，実大施工試験において施工性および仕上げ品質を確認した．

キーワード　床版取替／機械式継手／高強度繊維補強セメント系材料／VFC

目　　次

1．はじめに
2．伏せ型枠を用いたVFCの打込み試験
3．間詰め材の温度依存性
4．実大スパン（9m）の型枠を用いた施工試験
5．まとめ

STUDY ON ACCOMMODATING CROSS SLOPES FOR THE PRACTICAL APPLICATION OF THE DECK SLAB JOINT TECHNOLOGY “ESCON TP JOINT” IN ACTUAL STRUCTURES

Takahiro　HARIGAI　　**Takashi　KUBOTA**
Toshiaki　KADONAGA　　**Sora　KITAGAWA**
Tatsuya　KAWAGUCHI

Synopsis:

A study was conducted on construction methods for the joint-filling material (VFC) used in the ESCON TP Joint, a slab connection technology developed to enhance the productivity of precast prestressed concrete (PC) deck replacement works. To enable application to actual bridge structures with transverse gradients, a cover-formwork method was proposed to prevent runoff of the highly flowable VFC and was validated through construction tests. The study also established practical criteria for finishing operations based on penetration resistance and surface quality, and examined methods for estimating formwork removal timing under varying temperatures and accelerator dosages. The results confirmed that the proposed method achieved satisfactory surface quality on gradients of up to 4%, and full-scale tests demonstrated its practical applicability and constructability.

＊1本店　土木設計部　構造設計グループ　　＊2九州支店　長江川橋作業所

1. はじめに

我が国の高速道路網は高度経済成長期に集中的に整備されており，現在では多くの橋梁が供用開始後30年以上を経過している．また，車両の大型化や交通量の増加に伴い，輪荷重を直接支持する橋梁床版には疲労作用によりひび割れや剥離・剥落などの変状が顕在化している．このため，高速道路各社を中心に，より疲労耐久性能の高いプレキャストPC床版への取替工事が進められている．

このような背景から，筆者らりはプレキャストPC床版への取替工事の生産性向上を目的として，**写真-1**に示す機械式定着工法と**写真-2**に示す高強度合成繊維補強セメント系複合材料（以下，VFCと記す）を組み合わせた床版接合工法「ESCON TPジョイント」（**図-1**）を開発した[1), 2)]．本技術は，異形鉄筋の先端に取り付けたナット状の定着金物による支圧効果とVFCによる確実な応力伝達により，従来のループ継手に比べて間詰め幅の縮減と接合構造の簡略化を実現し，施工の生産性向上を図るものである．

これまで本工法については，疲労耐久性をはじめとする力学性能に関する検討がなされ，耐用100年以上の疲労耐久性を有することが確認された．一方，施工方法に関する検討は十分に行われておらず，特に間詰め材として用いるVFCのフレッシュ性状を考慮した施工方法の確立が求められた．VFCは高い自己充填性を有し，床版接合部の鉄筋が高密度に配置された箇所においても良好な充填性を発揮する．しかしながら，横断勾配が発生する区間ではVFCの高い流動性により勾配下流側へ流動するため，所定の横断勾配を保持したまま表面形状を形成することが困難となる．このため，実構造物への適用にあたっては，VFCの流下による型枠外へのオーバーフローを防止するとともに，硬化後に床版部との段差を生じることなく，平滑な表面を形成するための施工方法の確立が必要である．

そこで本稿では，床版接合部上面に伏せ型枠を設置し，打込み時にVFCを上方から拘束することで，勾配下流側へのオーバーフローを抑制するとともに，所定の横断勾配を有する仕上げ面を形成する施工方法について検討した．また，伏せ型枠撤去後の適切な仕上げ時期を把握するため，VFCの貫入抵抗値と仕上げの作業性ならびに表面性状との関係を整理した．さらに，環境温度および硬化促進剤添加率をパラメータとして貫入抵抗値を測定し，これらがVFCの硬化特性に及ぼす影響を評価した．

2. 伏せ型枠を用いたVFCの打込み試験

2.1 試験概要

床版取替工事における横断勾配区間では，VFCの高い流動性により，通常の打込み方法では勾配に沿った断面の形成が困難である．そこで本検討では，施工時にVFCのオーバーフローを抑制するため，伏せ型枠を用いた施工方法について検討した．

2.2 試験方法

図-2に伏せ型枠を用いたVFCの打込み試験の手順を示す．本試験は，「シリーズ1：間詰め材の硬化前に伏せ型枠を撤去し仕上げを行う場合」と，「シリーズ2：間詰め材が硬化するまで伏せ型枠を残置する場合」の2ケースについて検討した．

シリーズ1では，VFC打込み後の貫入抵抗値が0.5N/mm^2，1.0N/mm^{2}および1.5N/mm^{2}に達した時点で伏せ型枠を撤去し，金鏝による表面仕上げを実施したあと，隙間テープを挟んで型枠を設置し養生を行った．これにより，仕上げ時の凝結状態の違いが作業性および表面品質に及ぼす影響を評価した．

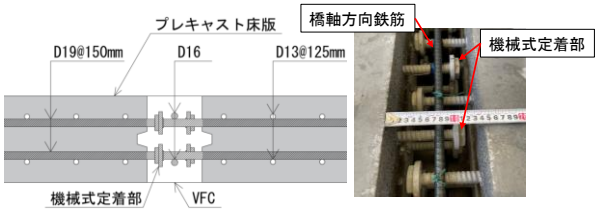
シリーズ2では，伏せ型枠の種類として化粧板に加え，



写真－1　機械式定着工法



写真－2　VFC



図－1　床版接合工法の構造概要図

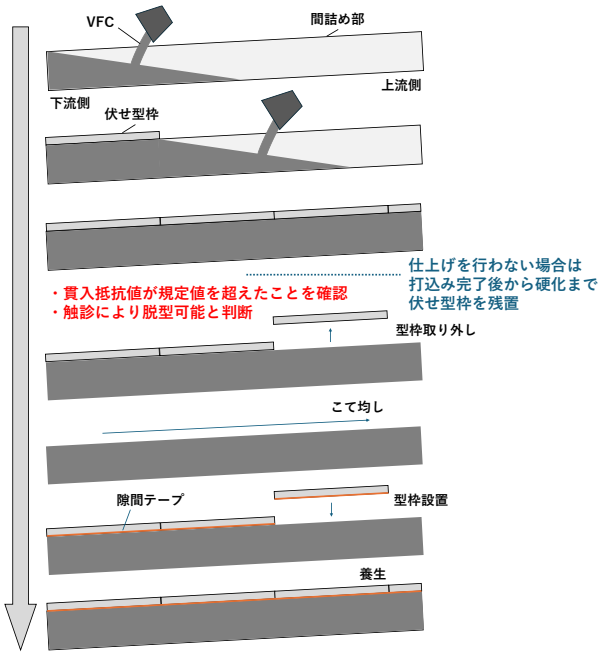


図-2　VFC打込み試験の手順

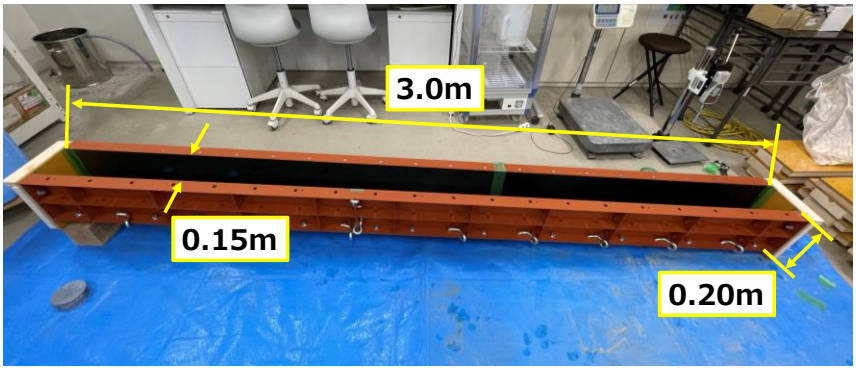


写真-3　型枠（長さ3.0m×幅0.15m×高さ0.20m）



写真-4　VFCの打込み状況

表-1　VFC打込み試験の評価

No.	伏せ型枠撤去時の貫入抵抗値	伏せ型枠の種類	勾配	評価	
				仕上げ作業性 1)	表面性状 2)
1-1	0.5N/mm^2 以上	化粧板	4%	○	○
1-2	1.0N/mm^2 以上	化粧板	4%	△	○
1-3	1.5N/mm^2 以上	化粧板	4%	×	△
2-1	硬化まで伏せ型枠残置	化粧板	4%	－	×
2-2	硬化まで伏せ型枠残置	透水シート設置型枠	4%	－	△
2-3	硬化まで伏せ型枠残置	透水シート設置型枠	2%	－	×

1)　仕上げ作業者の主観に基づいて，「○：良好」，「△：可」，「×：不可」の3段階で評価

2)　「○：表面が滑らかでダレや段差が生じていない」，「△：表面の荒れや段差等の変状はあるが軽微な補修で対応可能」，「×：補修不可または相当な補修が必要」

接地面に透水シートを貼り付けた型枠を使用し，型枠の種類が表面品質に及ぼす影響を評価した．また，勾配条件による影響を確認するため，透水シート設置型枠については勾配2%および4%の条件で試験を実施した．

本試験に用いた型枠は，**写真-3**に示す長さ3.0m，幅0.15m，高さ0.20mの鋼製型枠とした．VFCの練混ぜには公称容量260Lのモルタルミキサーを使用し，1バッチあたりの練混ぜ量は150Lとした．**写真-4**に示す通り，打込みはバケツを用いて行い，打込み時の混入した空気を除去するため軽便バイブレータを用いて締固めを実施した．

VFCの配合は，著者ら[1)]の既往の検討より，接合部の疲労耐久性を確保するために必要な強度100N/mm^{2}を満足し，かつ接合部の充填に必要なフレッシュ性状を満足する配合とした．フレッシュ性状はJIS R 5201に準拠し，落下振動を加えないフロー試験（0打）において320±30mmを満足することを確認した．なお，本試験はすべて20℃の室内で実施した．

2.3 試験結果

表-1に打込み試験の評価を，**写真-5～写真-7**に「シリーズ1：間詰め材の硬化前に伏せ型枠を撤去し仕上げを行う場合」における仕上げ時期ごとの表面性状を示す．伏せ型枠を用いてVFCのオーバーフローを抑制しながら打込みを行うことで，勾配4%の条件においても間詰め部へ良好に充填できることを確認した．

仕上げ作業性に関しては，貫入抵抗値0.5N/mm^{2}では表面に適度な水分が残存しており，良好な作業性が得られた．これに対して，貫入抵抗値1.0N/mm^{2}では表面の水分の減少に伴って作業性が徐々に低下し，貫入抵抗値1.5N/mm^{2}で作業性が著しく低下した．また，表面性状についても，貫入抵抗値1.5N/mm^{2}で仕上げた試験体では表面の荒れが一部に残存し，滑らかな仕上げ面を形成することが困難であった．

写真-8に10cm×10cm×40cmの型枠に打込んだVFCの貫入抵抗値が0.2N/mm^{2}に達した時点で，4.5%の勾配を与えた際の様子を示す．目視観察の結果，VFCはダレを生じることなく脱型後も表面形状を保持できる性状であり，表面のブリーディングも収束する傾向が確認された．一般にコンクリートの仕上げは，ブリーディングが収まった段階で開始するのが推奨されている[3)]．また，佐藤ら[4)]の検討では，高強度繊維補強コンクリートを間詰め材に用いた場合における仕上げの目安として，貫入抵抗値0.25～1.00N/mm^{2}が適するとしている．これらを踏まえると，本試験で用いたVFCについては，貫入抵抗値0.2N/mm^{2}を脱型の目安，0.5N/mm^{2}を仕上げ完了の目安，1.0N/mm^{2}を仕上げ作業の限界値とするのが適当と判断された．

写真-9～写真-11に「シリーズ2：間詰め材が硬化するまで伏せ型枠を残置する場合」の表面性状を示す．化粧板を用いた場合には表面に多数の気泡が残存したが，透

水シートを設置した型枠を使用することで表面気泡が大幅に低減された．**写真-10**ではVFC表面に長手方向へ2本の線状痕が確認された．これは透水シートのしわに起因するものであり，透水シートの設置方法を改善することで解消可能と考えられる．一方，勾配4%の場合と比較して勾配2%の場合には，表面の気泡が増加する傾向が確認された．また，**写真-12**に示すように，型枠を残置する施工方法では，伏せ型枠の接地面に貼ったノロ止めテープの厚さに起因して，表面に1～2mm程度の段差が生じることが確認された．

3. 間詰め材の温度依存性

3.1 試験概要

VFCは一般的なコンクリートに比較して単位結合材量が多く，水結合材比が小さいことから，環境温度の変化に伴いフレッシュ性状が大きく変動することが懸念される．そこで本試験では，前章**表-1**の結果を踏まえ，伏せ型枠脱型の目安を貫入抵抗値0.2N/mm^{2}と設定し，環境温度とVFCの凝結性状の関係を整理することで，施工時の気温条件に応じた伏せ型枠の脱型時期の目安を示すことを目的とした．また，実施工における作業性向上を考慮し，硬化促進剤による仕上げ時期の調整方法についても検討した．

3.2 試験方法

VFCの配合は，2章と同様に接合部の疲労耐久性を確保するために必要な強度100N/mm^{2}を満足し，かつ接合部の充填に必要なフレッシュ性状を満足する配合とした．硬化促進剤は，単位結合材量に対して0%（無添加），0.3%および0.5%の3水準とした．

練混ぜは20℃環境下で実施し，練上り後に15℃，20℃，25℃，30℃および35℃の環境下でそれぞれ保管した後，一定時間間隔で貫入抵抗値を測定した．試料の保管には，15℃，25℃，30℃および35℃については恒温槽を用い，20℃については試験室内に静置した．

貫入抵抗値の測定はJIS A 1147:2019「コンクリートの凝結時間試験方法」に準拠して実施し，練混ぜ後のVFCを専用の容器に入れ，上から貫入針を一定の速度範囲で貫入させたときの抵抗値から算出した（**写真-13**）．

3.3 試験結果

図-3に各ケースの貫入抵抗値の推移を示す．VFCは貫入抵抗値0.1N/mm^{2}付近を変曲点として，それ以降は急速に増加する傾向を示した．前章で得られた結果を踏まえて，貫入抵抗値0.2N/mm^{2}を伏せ型枠脱型の目安，0.5N/mm^{2}を仕上げ完了の目安，1.0N/mm^{2}を表面品質を確保できる仕上げ作業の限界値として整理すると，各基準値に達するまでの時間は，硬化促進剤添加量の増加や環境温度の上昇によって早まる傾向が認められた．



写真-5 仕上げ後の表面 貫入抵抗値0.5N/mm^2 (No.1-1)



写真-6 仕上げ後の表面 貫入抵抗値1.0N/mm^2 (No.1-2)



写真-7 仕上げ後の表面 貫入抵抗値1.5N/mm^2 (No.1-3)



写真-8 貫入抵抗値0.2N/mm^{2}に達したVFCの状態（勾配4.5%）



写真-9 脱型後の表面 化粧板（勾配4%） (No.2-1)



写真-10 脱型後の表面透水シート設置型枠（勾配4%） (No.2-2)



写真-11 脱型後の表面 透水シート設置型枠（勾配2%） (No.2-3)



写真-12 脱型後の段差

図-4に注水から貫入抵抗値0.2N/mm²に達するまでの時間と保管温度の関係を示す．保管温度20℃の測定結果にはばらつきが認められた．これは，20℃以外の測定は恒温槽を用いて行ったのに対して，20℃は実験室で実施したため，試験環境の違いが測定結果のばらつきに影響した可能性がある．一方，20℃のデータを除くと，各測定値は一定の相関関係が認められた．このことから，施工時の気温条件から貫入抵抗値0.2N/mm²に到達するまでの時間を推定することで，伏せ型枠の適切な脱型時期を予測できる可能性が示された．

図-5に硬化促進剤添加率ごとのVFC圧縮強度の測定結果を示す．圧縮強度試験は，φ50mm×100mmの円柱供試体を用いてJIS A 1108に準拠して実施した．その結果，硬化促進剤添加率と圧縮強度の関係は材齢によって異なる傾向を示したものの，いずれの配合においても材齢28日における目標強度100N/mm²以上を満足した．

4. 実大スパン（9m）の型枠を用いた施工試験

4.1 試験概要

3章で実施した試験の結果を踏まえて，床版取替工事を想定した実大規模での施工試験を実施した．本試験では，VFCの打込み，伏せ型枠の設置および脱型，ならびに表面仕上げに関する施工性について検証した．

4.2 試験方法

試験に用いる型枠は，実施工におけるプレキャストPC床版同士の接合部を模擬し，長さ9.00m，幅0.15m，高さ0.20mとした（**写真-14**）．試験の手順は，勾配4%を付与した型枠に対して，伏せ型枠を順次設置しながらVFCの打込みを行い，VFC硬化前に伏せ型枠を脱型した後，表面仕上げを行う方法とした（**図-2**）．

伏せ型枠の１枚当たりの平面寸法は，長さ0.90m，幅0.26mとした．VFCの１バッチ当たりの練り量は150Lとし，打込みには２バッチ分を容器内で混合した試料を用いた．伏せ型枠の脱型は，VFCの貫入抵抗値が0.2N/mm²程度に達した時点で実施し，脱型後は直ちに金鏝による表面仕上げを行った．また，仕上げ後は一定時間経過後に表面状態を観察し，流動やダレの発生状況を確認した．

VFCの配合は，2章と同様に接合部の疲労耐久性を確保するために必要な強度100N/mm²を満足し，かつ接合部の充填に必要なフレッシュ性状を満足する配合とした．フレッシュ性状は，JIS R 5201に準拠した落下振動を加えないフロー試験（0打）により確認し，練上り直後のフロー値が320±30mmを満足することを確認した．また，本試験では実施工時の伏せ型枠脱型時期の目標を注水から4～5時間と設定した．計画段階では，試験時の気温を20℃程度と想定し，**図-4**の結果を参考に硬化促進剤を単位結合材量に対して0.3%添加することとした．VFCのフレッシュ性状は，320±30mmを目標性状としてモルタルフロー



写真-13　貫入抵抗値測定の様子

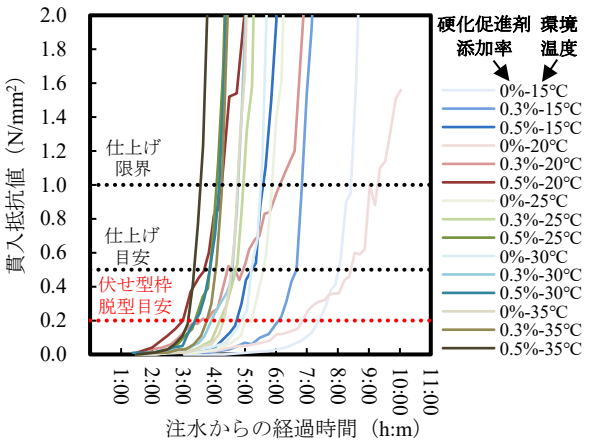


図-3　各ケースの貫入抵抗値の推移

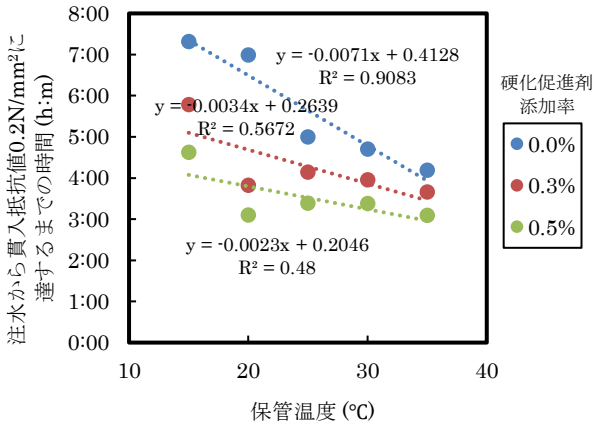


図-4　注水から貫入抵抗値0.2N/mm²に達するまでの時間と保管温度の関係

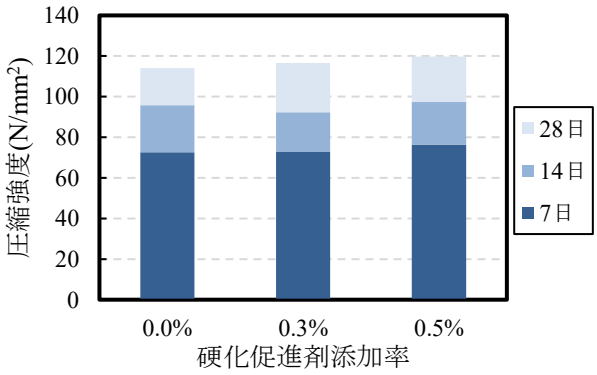


図-5　VFCの圧縮強度

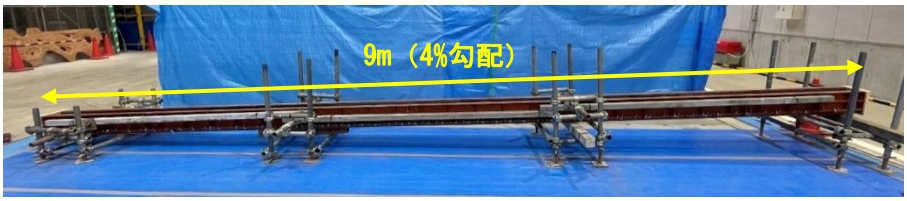


写真-14　型枠（長さ9.00m×幅0.15m×高さ0.20m）



写真-15　VFC打込み時の様子

試験（0打）により確認した．

4.3 試験結果

写真-15 に VFC 打込み時の様子を示す．練上り直後のモルタルフロー試験結果は，1 バッチ目が 345mm，2 バッチ目が 338mm，1・2 バッチ混合が 336mm であり，いずれも練上り直後の目標性状 320±30mm を満足した．VFC の打込みはバケツを用いて行い，打込み量に応じて勾配下流側から伏せ型枠を設置することで，VFC のオーバーフローを防止した．その結果，打込み後から脱型までの間，伏せ型枠周辺からの VFC の漏出は認められず，過度なノロ漏れも生じなかった．

図-6 に貫入抵抗試験結果を示す．貫入抵抗値の測定は JIS A 1147:2019「コンクリートの凝結時間試験方法」に準拠して実施した．本試験は気温 21～22℃の室内環境下で実施した．貫入抵抗値には，打込みと同様の試料を用い，伏せ型枠脱型の目安である 0.2N/mm^2 を超えるまで継続して測定した．図中には，比較のため同一配合で実施した 20℃保管時の過去の測定結果も併記した．両者を比較すると，本試験の貫入抵抗値の方が，20℃保管時の結果に比べて，貫入抵抗値の増加開始時期が遅れる傾向を示した．この要因として，本試験で用いた材料が長期間完全に密封されていない状態で保管していたため，材料の風化により初期の水和反応性が低下した可能性が考えられるが，現時点では詳細な原因の特定には至っていない．

伏せ型枠の脱型は，貫入抵抗値が 0.18N/mm^2 の時点で実施した．脱型前には伏せ型枠の一部を取り外し，複数人での目視による流動性やブリーディングの収束状態の確認，また触診による硬さの確認を行い，伏せ型枠を脱型可能な状態であることを定性的に確認した．

写真-16 に仕上げ後の表面性状を，**写真-17** に硬化後の表面性状を示す．本試験では，貫入抵抗値 0.18N/mm^2 で脱型した後，1 回の金鏝仕上げにより，下流側のダレや上流側の目減りを生じることなく，勾配に沿った滑らかな表面を形成することができた．また，硬化後の表面においても，ひび割れなどの変状は認められず，良好な仕上げ面が得られた．

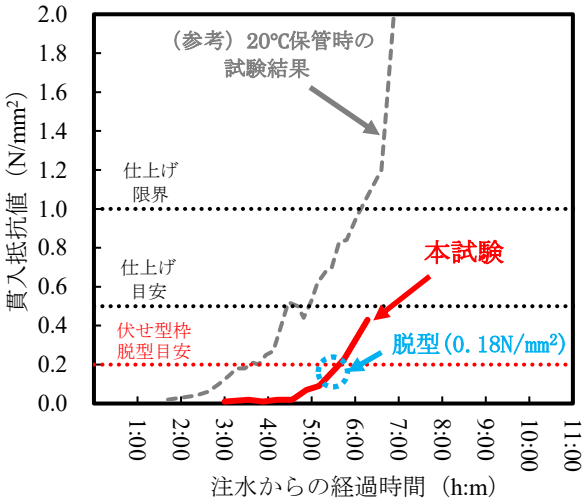


図-6　貫入抵抗値の測定結果

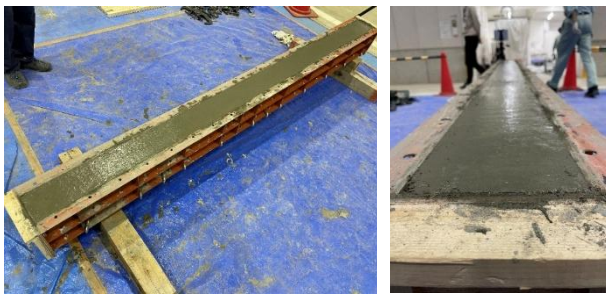


写真-16　仕上げ後の表面状態



写真-17　硬化後の表面状態

5. まとめ

本稿では，床版接合部において機械式定着工法とVFCを組み合わせた接合工法「ESCON TPジョイント」の適用にあたり，勾配区間においてVFCの勾配下流側へのオーバーフローを防止するための施工方法について検討を行った．その結果，以下の知見を得た．

1) 伏せ型枠によりVFCを上方から拘束することによって，オーバーフローを防止し4%の横断勾配に沿った表面の形成が可能であった．
2) 伏せ型枠をVFCの硬化まで残置させる場合，伏せ型枠の接地面に透水シートを設置することにより，表面の気泡を大幅に低減することが確認された．
3) 貫入抵抗値と仕上げ性状との関係を整理した結果，貫入抵抗値0.2N/mm²を脱型の目安，0.5N/mm²を仕上げ完了の目安，貫入抵抗値1.0N/mm²を仕上げ作業で表面品質を確保できる限界状態とすることが，表面品質の確保において適当と考えられる．
4) 環境温度および硬化促進剤添加率がVFCの凝結進行に影響を及ぼすことを確認した．また，施工時の気温条件から貫入抵抗値0.2N/mm²に到達するまでの時間を推定することで，伏せ型枠の適切な脱型時期を予測できる可能性が示された．
5) 実大スパン（9m）の施工試験では，貫入抵抗値0.2N/mm²程度で伏せ型枠を脱型し金鏝仕上げを行うことで，ダレや目減りを生じることなく良好な表面性状を確保でき，実構造物への適用性を確認した．

参考文献

1) 針貝貴浩，野澤忠明，勝見哲史，須山淳也：床版取替時の品質と生産性の向上に向けた新たな接合工法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.47，No.2，pp.475-480，2025
2) 須山淳也，針貝貴浩，野澤忠明，勝見哲史：道路橋プレキャストPC床版取替時の品質と生産性の向上に向けた新たな接合工法の開発，令和7年度土木学会全国大会，第80回年次学術講演会，VI-397，2025
3) 土木学会：「2023年制定コンクリート標準示方書［施工編］」，pp.124-125，2023
4) 佐藤徹也，中川健司，臺哲義，中村誠孝：超低収縮高強度繊維補強コンクリートを用いた床版接合工法の適用 ―名神長良川橋床版取替工事―，コンクリート工学，Vol.63，No.11，pp.930-936，2025.11