

高耐久性埋設型枠の高機能化に関する一考察

日本コンクリート技術㈱ 正会員 ○河野一徳 正会員 篠田佳男
 五洋建設㈱ 正会員 宇野州彦 正会員 池野勝哉
 宇都宮大学 正会員 藤倉修一 東洋大学 正会員 横関康祐

1. はじめに

型枠脱型を不要としてコンクリート工事の省人化を図り、構造物の美観および耐久性を向上させる高耐久性埋設型枠は、施工合理化のみならず、熟練工不足解消の観点からも開発、実用化が推進されてきた。また、高耐久性埋設型枠のさらなる耐久性向上にあたっては、基材モルタルにポリマーを含浸させるなどの方法が取られてきた。さらに、近年は UFC（超高強度繊維補強コンクリート）を使用して高強度化および高耐久性を図った高耐久性埋設型枠が使用される事例も多い。しかしながら、上述した特殊材料の使用による埋設型枠の高耐久化は、材料費の増加にともなう製品のコストアップ要因となる。また、UFC 使用の場合は専用の製造設備を必要とすることが、コスト増と相まって普及拡大の制約要因となっている面がある。

特殊な材料を使用しないセメント系モルタルを基材とする高耐久性埋設型枠においても、材料や構造、使用方法の工夫により、コストアップを抑えながら高耐久化などの機能向上を図ることは可能である。例えば、基材モルタルの普通ポルトランドセメントを高炉セメント B 種に替えることや細骨材の砂を副産物のスラグなどに置き換えることで耐久性を大幅に向上させることが可能である。また、補強材をビニロンファイバーなどの短繊維からステンレス鉄筋に替えることにより、型枠材としての強度や使用性を向上させることが可能となり、施工の面でも型枠を地上で函体状に組み立てて設置する方法（以下、ユニット型枠方式という）が機能向上の例として挙げられる。鉄骨コンクリート複合構造橋脚の施工に多く採用されている方式で、筆者も大断面高橋脚の冬期における急速施工²⁾や水力発電用ダムの選択取水設備のリニューアル工事³⁾等に適用した。

本報では、耐久性、構造、施工の3つの側面から、高耐久性埋設型枠の高機能化について考察する。

2. 耐久性の高機能化（副産物の有効利用）

カーボンニュートラルの観点から、副産物の有効利用に対する期待や要望が高まっている。横関ら⁴⁾は、基材モルタルの細骨材を石炭ガス複合発電（IGCC）の副産物として排出される IGCC スラグに置き換えた高耐久性埋設型枠について、力学的性状と耐久性の評価を行った。ここで、基材モルタルのセメント種類は高炉セメント B 種とし、水セメント比は 28%とした。耐久性評価においては、電気泳動試験結果に基づき、普通コンクリート（普通ポルトランドセメント使用：W/C=50%）と埋設型枠のそれぞれの見掛けの拡散係数を算出して比較した。その結果、見掛けの拡散係数は、前者に比べて後者が約 1/25 倍の値を示すことが確認された。

次に、見掛けの拡散係数を用いて塩化物イオン浸透解析を実施し、鉄筋コンクリート構造物の寿命予測を

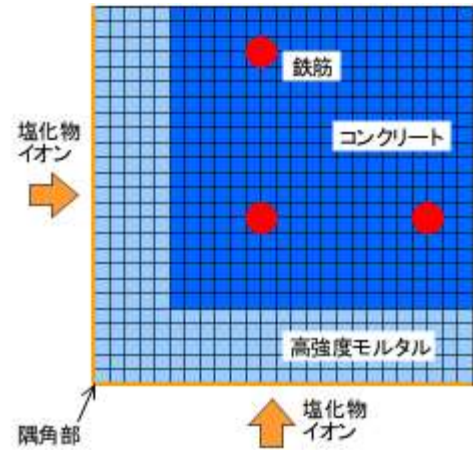


図-1 塩化物イオン浸透解析の解析モデル

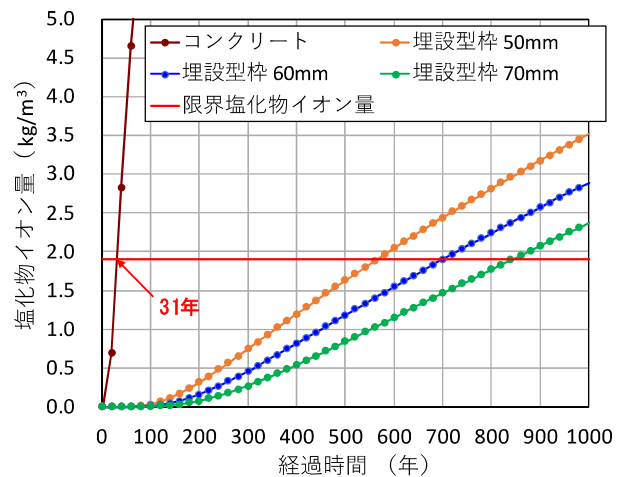


図-2 塩化物イオン濃度の経時変化（鉄筋かぶり位置）

行った。塩化物イオン浸透解析においては、環境条件を飛沫帯とし、図-1に示すように2方向から塩分が浸透する厳しい条件となる隅角部付近を2次元要素でモデル化した。ここで、鉄筋のかぶりは構造物の表面から100mmとした。また、埋設型枠の厚さは50mm、60mm、70mmの3種類とした。図-2に解析結果を示す。鉄筋かぶり位置における塩化物イオン量は、普通コンクリートの場合は31年で限界値（赤で示したライン）に達する。これに対し、埋設型枠を使用する場合は、厚さが大きくなるほど寿命が長くなり、厚さ50mmの場合でも鉄筋かぶり位置の塩化物イオン量が限界値に達するのに500年以上を要する。このことは、高濃度の塩害環境下に構築する構造物においても、表面に高耐久性埋設型枠を配置することが耐久性向上に大きく寄与することを示唆している。

キーワード 高耐久性埋設型枠、耐久性向上、耐塩害性、ステンレス鉄筋、IGCCスラグ、壁高欄

連絡先 〒130-0026 東京都墨田区両国 4-38-1 TS ビル 5F 日本コンクリート技術株式会社 TEL:03-5669-6651 FAX:03-3632-2970

3. 構造の高機能化（ステンレス鉄筋の使用）

ステンレス鉄筋は2008年にJIS規格化され、同年に土木学会から設計施工指針(案)³⁾が出された建設資材である。ステンレス鉄筋は耐食性に優れており、SUS304の腐食発生限界塩化物イオン濃度は 15.0kg/m^3 と飛沫帯の塩化物イオン濃度 13.0kg/m^3 を上回る。筆者らはこのことに着目し、基材モルタルの補強材を短繊維からステンレス鉄筋に替えた高耐久性埋設型枠を開発・実用化した⁷⁾。写真-1にステンレス鉄筋を補強材とした高耐久性埋設型枠（以下、SUS埋設型枠という）の配筋例を示す。SUS埋設型枠は、山型に加工した突出部を設けたトラス鋼材を配置していることを特長とする。トラス鋼材は既存の埋設型枠の埋込みインサートに替わるもので、埋設型枠や内部支保工の組立における自由度を高めて作業性を向上させる。また、トラス鋼材は、埋設型枠と後打ちコンクリートを確実に一体化する。

SUS埋設型枠は、鉄筋を補強材とすることにより、通常の短繊維補強の高耐久性埋設型枠に比べて高いじん性や耐荷性能を有する⁶⁾。長さ1136mm、幅300mm、厚さ45mmのパネルに対する曲げ試験結果として、図-3に荷重と中央部変位の関係を示す。短繊維補強の場合はひび割れ発生後に耐荷力が大きく低下するのに対し、SUS鉄筋補強の場合はひび割れ発生にともなう荷重の増減を繰り返しながら徐々に荷重が増加する挙動を示す。また、SUS埋設型枠は鉄筋補強とすることで、曲げ強度を鉄筋配置量の増減により調整できる利点がある。

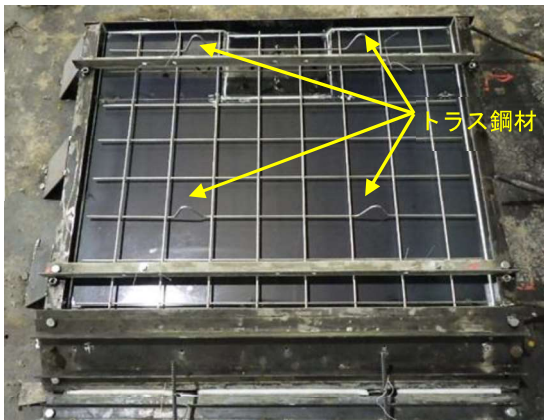


写真-1 SUS埋設型枠の配筋例

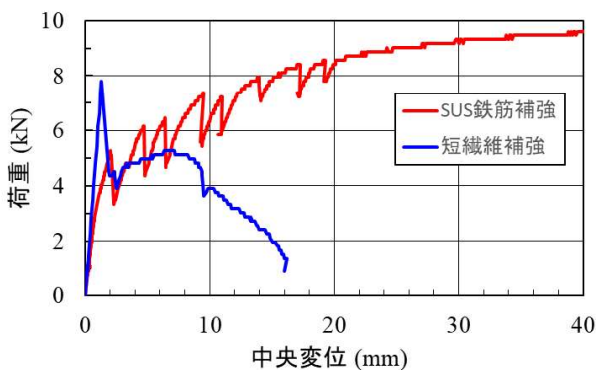


図-3 荷重-中央たわみ変位関係⁶⁾

4. 施工の高機能化（壁高欄のユニット化施工）

道路橋の壁高欄の道路側は、凍結防止剤の散布に

起因する高濃度の塩害環境下にある。このことから、高耐久性埋設型枠を壁高欄の施工に適用することは、耐久性向上の観点からも有益である。著者らは鉄骨コンクリート複合構造橋脚の場合と同じ考え方により、壁高欄を埋設型枠でユニット化し施工する方法を考案し、構造の妥当性を確認した⁷⁾。図-4に壁高欄のユニット化施工のイメージを示す。壁高欄は床版との接合部分で分割し、埋設型枠内に配置した主鉄筋を床版に埋め込んだ定着鉄筋と重ね継手方式で接合する。壁高欄部分の高耐久性埋設型枠は、工場で内部に鉄筋と支保工を組み込んだ形でユニット化する。そして、型枠ユニットを現場に運搬・設置し、型枠内部にコンクリートを打ち込む作業の繰り返しにより合理化施工を実現する。

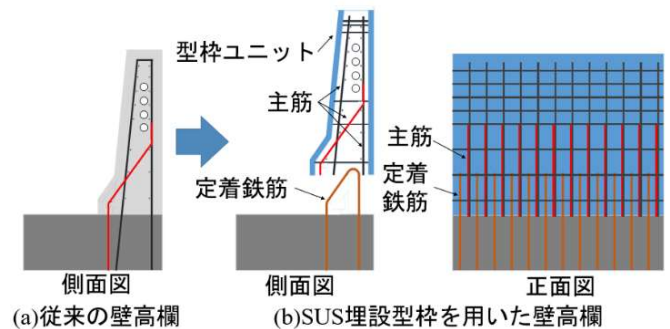


図-4 壁高欄のユニット化施工のイメージ⁷⁾

5. まとめ

セメント系モルタルを基材とした高耐久性埋設型枠においても、材料面や構造面の工夫により、コスト上昇を抑えながら、耐久性のさらなる向上などの高機能化を実現することが可能である。また、高耐久性埋設型枠の使用は、副産物の有効利用により環境負荷の低減にも貢献できる。以上の考え方に基づき、高耐久性埋設型枠の機能向上と普及拡大に努めていく所存である。

参考文献

- 1) 河野一徳, 篠田佳男, 安同祥, 清宮理: ステンレス鉄筋を補強材としたPCa埋設型枠の開発, 土木学会第66回年次学術講演会, V-458, pp915-916, 2011.9
- 2) 河野一徳, 高橋日出男, 村永庄一: 鉄骨コンクリート複合構造橋脚構築工法による世増ダム新水吉橋の急速施工, コンクリート工学, Vol.39, No.11, pp24-29, 2001.11
- 3) 河野一徳, 上原史博, 藤井準, 宗末良雄: プレキャスト埋設型枠を用いたダム選択取水設備のリニューアル施工, 土木施工, 43巻8号, pp25-32, 2002.8
- 4) 横関康祐, 中澤優, 本田俊介, 篠田佳男: 石炭ガス化溶融スラグを用いた高強度モルタルの力学性能および耐久性, セメント・コンクリート論文集, Vol.76, pp.436-442, 2022
- 5) 土木学会: ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針(案), コンクリートライブラリー130, 2008.8
- 6) 宇野州彦, 池野勝哉, 出町元大, 青田洗希, Thay Visal, 藤倉修一, 篠田佳男: 短繊維およびステンレス鉄筋を補強材とした埋設型枠の曲げ載荷実験, 土木学会第77回年次学術講演会, V-254, 2022.9
- 7) 山本章生, 藤倉修一, タイウィサル, 尾崎光城, 和栗辰樹, 篠田佳男, 河野一徳, 新田裕之: SUS埋設型枠を有するハーフプレキャスト工法による壁高欄の実験的研究, 土木学会第51回関東支部技術研究発表会, V-30, 2024.3