

極細径ステンレス鉄筋で補強した高耐久性埋設型枠の実用化について

日本コンクリート技術(株) ○河野一徳
日本コンクリート技術(株) 篠田佳男
早稲田大学 清宮 理

1. はじめに

東日本大震災により被災した地域における復興工事の本格化にともない、施工現場での作業員不足が顕在化している。このことは、工事の進捗を遅延させるだけでなく、人件費の上昇にともなう施工コストの押し上げ要因となっており、被災地の早期復興を達成する上で障害となっている面は否めない。このような状況を打開する有力な方策のひとつとして、現場作業の省人化・省力化および急速施工を可能とするコンクリート工事のプレキャスト化が挙げられる。筆者らは、急速施工の実現ならびに鉄筋コンクリート構造物の耐久性向上を目的として、ステンレス鉄筋を補強材とした高耐久性埋設型枠「SDPフォーム」(NETIS 登録番号 TH-120024-A) の開発・実用化を推進してきた^{[1][2]}。SDPフォームは鉄筋コンクリート方式での設計が可能に加え、直径 4~6mm の極細径のステンレス鉄筋を使用することにより薄肉軽量化を図った高耐久性埋設型枠である。本報告では、SDPフォームの特徴ならびにその特性を活かした現場施工への適用方法について述べる。

2. SDPフォーム

2.1 ステンレス鉄筋活用のメリット

ステンレス鉄筋は 2008 年 3 月に J I S 規格化 (JIS G 4322) された。また、同年 8 月には土木学会より「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)」^[3]が刊行された。さらに、平成 24 年 3 月 (2012 年) には、社団法人日本道路協会より刊行された「道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編」^[4]において、塩害が懸念されるコンクリート橋を対象とした設計を行う際に「想定する期間において損傷を最小限とする方法」としてステンレス鉄筋の使用が選択肢のひとつとして記述されるに至っている。このような背景から、今後は道路橋の施工にもステンレス鉄筋を適用した施工事例が増えていくことが期待される。

耐食性に優れたステンレス鉄筋を使用する利点のひとつとして、コンクリート構造物の鉄筋のかぶり厚さを小さくできることが挙げられる。近年、鉄筋コンクリート構造物においては耐久性重視の観点からかぶり厚さを大きくとる傾向が見られる。このため、構造物によっては鉄筋かぶりが 70mm~100mm に達する場合もあり、概ね鉄筋コンクリート構造物は断面が厚くなり重量が増加する傾向にあると言える。とくに、鉄筋かぶりが大きい場合には、必然的にコンクリート構造物の表面に厚い無筋コンクリートの部分が存在することとなるとともに、ひび割れが発生した場合にはその幅が大きくなる。上記の点を鑑みれば、鉄筋のかぶり厚さを小さくするステンレス鉄筋の活用は、耐久性の向上のみならず、ひび割れ幅の抑制の観点からも好ましいことと考えられる。

2.2 極細径のステンレス鉄筋

上述したように、ステンレス鉄筋の活用にはコンクリート構造物の薄肉軽量化というメリットがあるものの、通常の鉄筋コンクリート構造物への普及がなかなか進まないのが現状である。その最大の理由は、広く周知されているとおり製品コストが高いことが挙げられる。そこで、筆者らは、

ステンレス鉄筋の普及拡大を一步でも前に進めることを念頭において、ステンレス鉄筋を高耐久性埋設型枠（以下、埋設型枠と略す。）の補強材として活用することを考えた。埋設型枠の補強材としては、開発当初から鋼製やビニロン製等の短繊維が用いられてきているが、鉄筋を使用したものは筆者らが知りうる限りでは存在しない。その理由は、たとえ細径の鉄筋でも、補強材として使用する場合にはコンクリートのかぶりを大きくする必要があり、埋設型枠の薄肉軽量部材としてのメリットが活かせなくなる点にあると考える。

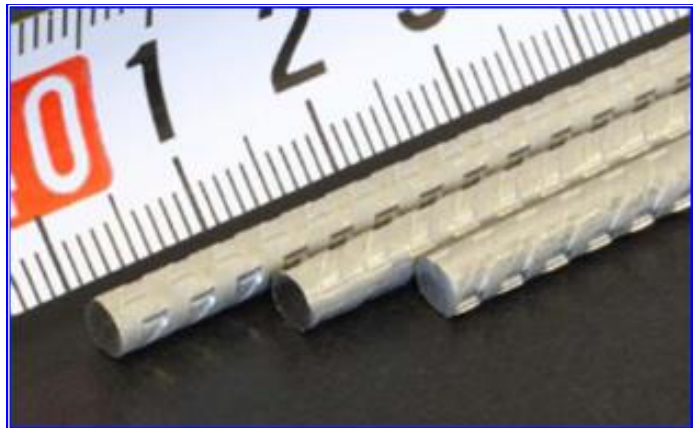


写真-1 ステンレス鉄筋 (D4) の外観

筆者らが考案したステンレス鉄筋を補強材とした埋設型枠においては、とくに鉄筋を細径化することが部材の薄肉軽量化において有利となる。現状の J I S 規格において規定されているステンレス鉄筋の最小径は直径 6mm (D6) である。しかしながら、最近新たに直径 4mm (D4) の極細径ステンレス鉄筋（異形棒鋼）が製品化され、埋設型枠の薄肉軽量化をさらに推し進めることが可能となった。図-1 にステンレス鉄筋 (D4) の外観、表-1 にステンレス鉄筋 (D4) の機械的性質及び規格値をそれぞれ示す。SDPフォームは水セメント比 30% の高強度モルタルを基材とし、補強材として極細径のステンレス鉄筋を使用して薄肉軽量化を図った高耐久性埋設型枠である。

表-1 ステンレス鉄筋 (D4) の機械的性質及び規格値

	鉄筋の種類	鉄筋径	耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
規格	SUS304-SD	D4	390 以上	560 以上	16 以上
成績			563	803	41
公称直径 : 3.91mm		公称断面積 : 0.1199cm ²		公称単位重量 : 0.0951kg/m	

2.3 SDPフォームの特徴

SDPフォームは従来の短繊維の代わりにステンレス鉄筋を補強材として用いた埋設型枠である。その大きな特徴は、薄肉軽量化が可能であることその他に、鉄筋を補強材としていることで鉄筋コンクリート方式の設計が可能であること、さらには従来の短繊維で補強した埋設型枠には見られないじん性に富んだ挙動を示す事等が挙げられる。筆者らは、ステンレス鉄筋 D4 を補強材とし、幅 10cm、長さ 40cm で板厚を 20mm とした小型パネルに対する曲げ実験^[2]を実施して上記の利点を確認した。写真-2 に曲げ試験の実施状況を示す。従来の短繊維で補強し



写真-2 小型パネルの曲げ試験実施状況
(大変形が生じても破壊に至らず)

た埋設型枠の場合は、ひび割れ発生後に耐力が低下して終局破壊に至るのが一般的である。それに対し、SDPフォームの場合はひび割れ発生後も耐力が漸増し続けるじん性に富んだ挙動を示す。また、写真-3に示すように曲げひび割れを分散させることでひび割れ幅が過大になることも防止できる。



写真-3 曲げひび割れの分散状況

また、SDPフォームの耐久性や構造性能などの品質面以外にも従来の埋設型枠にはなかった利点を有している。第1の点は、薄肉軽量部材であることからハンドリング性がよく、現場合わせで必要となる切断や孔あけ加工が容易となる点である。第2の点は、鉄筋を補強材としていて、鉄筋を利用してアンカーを埋め込む方法により、貫通孔を開けることなく支保工を組み立てることが可能となることである。従来の埋設型枠を薄肉軽量化していく上での課題は、セパレーターなどの支保工を内部で固定するためのインサートを埋め込むことが困難となることであった。このため、薄肉の埋設型枠の場合は貫通孔を開けて従来工法と同じように外部からセパレーターを固定する必要があった。このような貫通孔を設けることは、長期的には耐久性上の弱点を作ることにつながると思われる。鉄筋を利用したアンカーを用いて内部支保工を取るもののメリットをもう1点挙げると、それは埋設型枠のはく落を防止できることが挙げられる。SDPフォームはコンクリートの打込み面側に目粗し処理を施して後打ちコンクリートとの一体化を図ることとしているが、内部セパレーターを介して後打ちコンクリートとの一体化をより強固にすることが可能となる。

3. SDPフォームの実用化

3.1 耐震補強工事への適用

道路橋や鉄道橋の橋脚の耐震補強工事において従来用いられてきた方法は、RC巻立て工法、鋼板巻立て工法、炭素繊維やアラミド繊維を巻き立てる工法が主流で、埋設型枠を用いる方法はコストと手間がかかるため殆ど用いられていないのが現状である。筆者らは、SDPフォームが薄肉軽量部材であることに着目して、その耐震補強工事への適用方法を考案した。図-1にSDPフォームを使用した耐震補強工法の施工手順を示す。ここで補強方法としては、対象橋脚にPC鋼より線を用いた

図-1 SDPフォームを用いた橋脚の耐震補強工法の施工手順

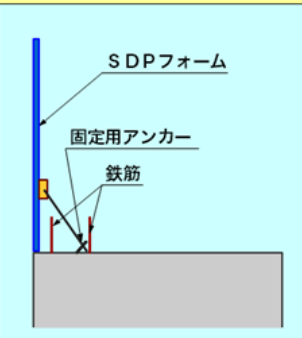
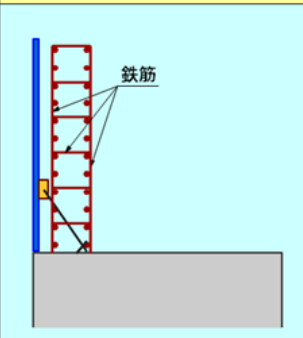
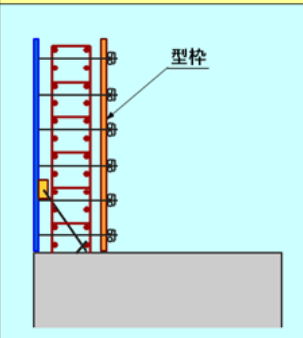
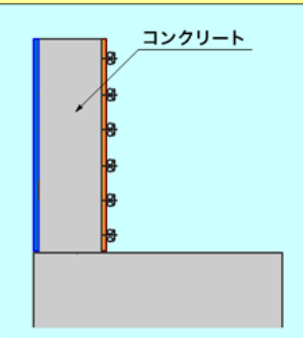
①表面処理、アンカー設置	②PC鋼より線の巻き付け	③SDPフォームの組立	④空隙部充填、完成
<p>コンクリート表面を目粗し処理した後、躯体にSDPフォーム固定用のアンカーを設置</p>	<p>補強区間に補強材のPC鋼より線を下から順番に巻き付けて固定</p>	<p>SDPフォームをアンカーに固定して組立。目地部はエポキシ樹脂等で接着して固定</p>	<p>SDPフォームと躯体の間の空隙に無収縮モルタルを充填して耐震補強工事を完了</p>

直接巻き付けることとした。本工法の利点としては、SDPフォームを使用して増し厚を薄く抑えることで基礎への重量の負担増を抑制できること、とくに河川横断橋脚の耐震補強の場合に問題となる河積阻害率の増加を抑制できること等が挙げられる。

3.2 壁高欄の施工への適用

道路橋やダム の堤体上に壁高欄を施工する際、外部に足場を設ける必要がなくなれば、施工性ならびに安全性が向上する。このような工事において、図-2 に示すように、SDPフォームを型枠材として使用すれば、支保工の組立などの一連の作業をすべて内部から実施することが可能となる。

図-2 SDPフォームを用いた壁高欄の施工手順

①SDPフォームの建込み	②鉄筋の組立	③型枠の組立	④コンクリートの打込み、完成
 <p>壁体の外側に相当する部位のSDPフォームを建て込み、躯体に設置したアンカーに固定</p>	 <p>躯体部分の鉄筋の組立</p>	 <p>SDPフォームをガイドとして内側の型枠（合板、メタルフォーム等）を組立。</p>	 <p>型枠内部にコンクリートを打込んだ後、養生後に型枠を脱型して躯体工事を完了</p>

4. 高耐久性埋設型枠の普及拡大に向けて

コンクリート工事のプレキャスト化は、型枠の脱型作業が不要で、急速施工ならびに現場施工の省人化・省力化を実現できる有効な手段であることを実務者の多くが認識している。しかしながら、一般社団法人セメント協会の調査によれば、日本国内におけるプレキャスト化率（セメント全消費量に占めるプレキャストコンクリート製品の割合）は13%程度で推移しており、20%から国によっては50%近くまで達する欧州に比べるとかなり小さいと言える。SDPフォームの利用を推進することでステンレス鉄筋の普及促進も期待される。上記の点を鑑み、施工性向上及びメンテフリー化による構造物の耐久性向上を本復興工事中においても達成すべく普及拡大に尽力していく所存である。

謝辞 本実用化開発にあたっては、愛知製鋼(株)より試料（極細径のステンレス鉄筋）の提供を受けた。ここに深く謝意を表する。

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, pp.915-916, 2011年9月
- 2) 河野一徳, 菅家洋一, 渡辺弘, 篠田佳男: 極細径ステンレス鉄筋を使用した高耐久性埋設型枠の開発・実用化, 第2回コンクリート技術大会(仙台)講演集, 2012年11月
- 3) 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), 2008年9月
- 4) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, III コンクリート橋編, p.177, 2012年3月