

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

日本コンクリート技術(株) ○河野一徳
会津土建(株) 菅家洋一
(株)渡辺組 渡辺 弘
日本コンクリート技術(株) 篠田佳男

1. はじめに

高耐久性埋設型枠（以下、埋設型枠と略）は、コンクリート施工における型枠脱型作業を不要とし、省力化による急速施工を可能とした工場製品である。とくに、東日本大震災を対象とした復興工事のように、急速施工や省人化、さらには高耐久化による構造物のメンテナンスフリー化が強く求められているような場合においては、大きな威力を発揮する建設資材となるものと考えられる。

しかしながら、従来の埋設型枠は補強材としてビニロンファイバーなどの短繊維を用いていることから、隣接した型枠同士の構造的な一体性を確保することが困難である。また、それらの埋設型枠は、耐震補強工事等への適用において捨て型枠の取扱いとなり、構造部材に適用することは認められ難いという課題があった。これらのことをふまえて、筆者らは埋設型枠の補強材にステンレス鉄筋を使用することを考案し開発を行うこととした。そして、在来の埋設型枠とほぼ同じ厚さ（50mm）を有する小型のパネル状の供試体に対する曲げ試験を実施し、ステンレス鉄筋で補強した埋設型枠（以下、S U S埋設型枠と略）は従来の鉄筋コンクリート方式での設計が可能であること¹⁾、ならびに十分な耐荷力と変形性能を有すること¹⁾を確認した。ただし、ハンドリングなど現場での施工性を考慮した場合は、埋設型枠は薄肉軽量部材とした方が取扱いが容易となる。すなわち、人力での持ち運びや設置を可能とし、孔あけや切断加工を容易に行うことができれば、供用中の構造物を対象とした場合で、とくに作業スペースや施工可能な時間帯に制約があるような場合に対する適用性が高くなる。

本報告は、直径が 4mm の極細径のステンレス鉄筋を使用した S U S埋設型枠に対する構造性能の確認実験の結果を示したものである。また、あわせて、薄肉軽量化を図った S U S埋設型枠の実施工への適用事例についても紹介する。

2. ステンレス鉄筋

2. 1 優れた防食性能について

ステンレス鉄筋は 2008 年に J I S規格化（JIS G 4322）されたことに加え、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）」（以下、設計施工指針案と略）²⁾が刊行されたことで認知度が高まり、新設構造物への適用事例も徐々に増えているものと推察される。

ステンレス鋼はクロムを重量比で 10.5%以上含有した合金鋼であり、鋼材表面にクロムの薄い酸化被膜（不動態被膜）が形成されて



写真-1 JIS 規格および設計施工指針

いることから優れた耐食性が期待できる。このため、塩分濃度が高い高腐食性環境下においても、鉄筋のかぶり厚さを最小限とすることができる。すなわち、ステンレス鉄筋を細径のものとした場合は、SUS埋設型枠の厚さを極限にまで薄くすることができる。この考え方にもとづき、筆者らは、現状でもっとも細い径のステンレス鉄筋であるD4（公称直径3.91mm，材質SUS304-SD）を使用して、厚さを15mm程度まで小さくすることを可能とした薄肉軽量の埋設型枠を開発した。

ステンレス鉄筋の高い防食性能は、表-1の腐食限界発生塩化物イオン濃度とひび割れ幅の限界値の関係²⁾に示したとおりである。SUS304-SDの腐食限界発生塩化物イオン濃度の推奨値は15kg/m³であり、普通鉄筋の1.2kg/m³を大きく上回る数値を示している。したがって、厳しい腐食性環境下にある飛沫帯（コンクリート表面の塩化物イオン濃度が15.0kg/m³）においても、ステンレス鉄筋に腐食が生じる可能性は低い。すなわち、ステンレス鉄筋を用いた場合は、鉄筋コンクリート部材の鉄筋のかぶりを普通鉄筋の場合と比較して大幅に小さくすることができるため、部材の薄肉軽量化が実現できることとなる。

表-1 ステンレス鉄筋の腐食発生限界イオン濃度の推奨値およびひび割れ幅の限界値

鋼種	腐食限界塩化物イオン濃度の推奨値	ひび割れ幅の限界値
SUS304-SD	15.0 kg/m ³	0.5mm
SUS316-SD	24.0 kg/m ³	0.5mm
SUS410-SD	9.0 kg/m ³	0.005c(mm) あるいは 0.5mmの いずれか小さい方の値
普通鉄筋	1.2 kg/m ³	0.0035c(mm), c : かぶり ※特に厳しい腐食環境下の場合

3. 小型パネルを用いた性能確認試験

3.1 試験目的および概要

上述したように、今回の検討事項は極細径のステンレス鉄筋（D4）で補強した薄肉軽量の埋設型枠（以下、SUS埋設型枠と略）が、D10を補強筋とした一般的な埋設型枠と同様、鉄筋コンクリート部材としての挙動を示すことと、十分な耐力や変形性能を有することを確認することである。

3.2 小型パネルの曲げ試験

(1) 試験体

曲げ試験に用いた小型パネル試験体の形状寸法および配筋を図-1に示す。試験体は、幅20cm，長さ40cm，厚さ20mmとし、断面内に極細径のステンレス鉄筋を縦と横に2本ずつ配置した。また、埋設型枠の基材モルタルは、水セメント比を30%とした。表-2に基材モルタルの配合を、表-3にステンレス鉄筋D4の機械的

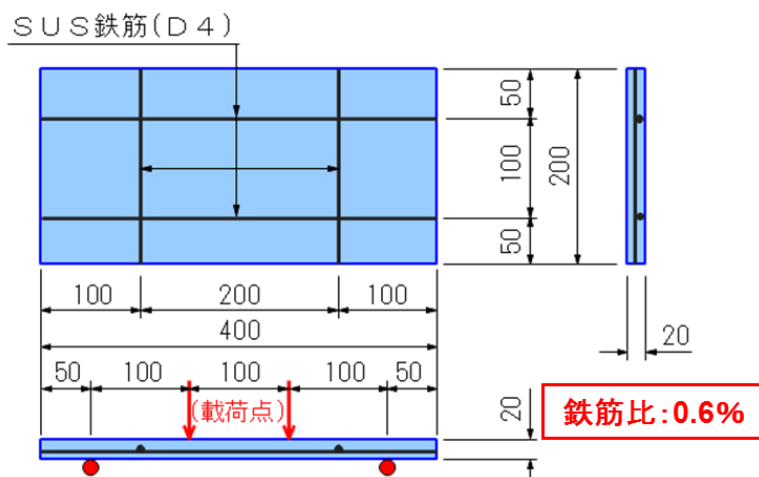


図-1 小型パネル供試体の形状寸法

性質及び規格値をそれぞれ示す。

表-2 基材モルタルの配合表

配合条件		単体量 (kg/m ³)				
フロー値 (mm)	水セメント比 (%)	水	セメント	細骨材	混和剤 (スーパ-200)	マイクロファイバー
250±20	30	216	721	1443	13.699	0.400

表-3 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) 試験方法および結果

曲げ試験は、写真-2 に示すようにせん断スパンと等モーメント区間がそれぞれ 100mm となる 3 等分点載荷方式で行った。ここで、計測は載荷荷重とスパン中央部のたわみ変形量とした。図-2 に曲げ応力とたわみ変形量の関係を示す。パネル供試体は大変形時 (写真-3 参照) においても曲げ応力が上昇を続けるじん性に富んだ挙動を示すことがわかる。ここで、曲げ応力のピーク値は 17.2N/mm² となった。写真-4 に曲げひび割れの分散状況を示す。ひび割れは、等モーメント区間 (10cm) に 3 本発生している。このことから、ステンレス鉄筋 D4 は異形鉄筋としての機能 (コンクリートとの付着性能) を有していることがわかる。

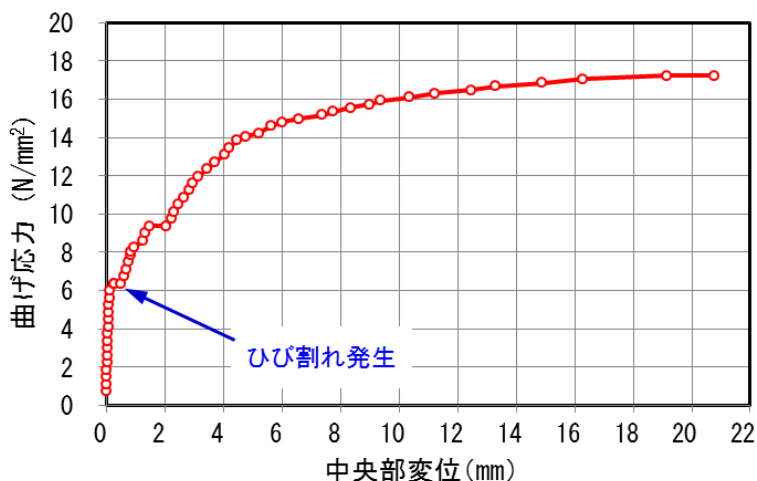


図-2 曲げ応力とスパン中央部変位の関係



写真-2 曲げ試験の載荷状況 (開始時)



写真-3 曲げ試験の載荷状況 (終了時)



写真-4 曲げひび割れの分散状況

3. 3 まとめ

小型パネルの曲げ試験結果より、ひび割れの分散性から判断して、D4も異形鉄筋としての構造性能を有することが確認された。また、ステンレス鉄筋で補強した埋設型枠は、D4鉄筋を用いた薄肉軽量部材の場合でもじん性に富んだ挙動を示すことも確認された。

4. SUS埋設型枠の実用化

4. 1 施工性確認試験の実施.

SUS埋設型枠の実用化に先立って、温度ひび割れ抑制対策技術の検証に用いた模型供試体の製作にSUS埋設型枠を適用し、施工性の確認を行った。供試体は、写真-5に示すように、幅1.5m、高さ1.2m、長さ8.0mのフーチングに幅0.5m、高さ1.35m、長さ8.0mの壁体を打ち継いで構築した壁状マスコンクリート構造物である。本供試体は、壁体部の下部30cmの部位に水和熱抑制型超遅延剤を添加したコンクリートを打ち込んだ層（凝結遅延層）を設けることにより、その凝結遅延層が温度応力を低減させる効果を有することを確認するものである。ここで、SUS埋設型枠は水和熱抑制型超遅延剤を添加したコンクリート部分の保護を目的として、高さ0.35m、幅1.6m、厚さ15mmのものを製作して用いた。写真-6にSUS埋設型枠の製作状況（型枠上にSUS鉄筋を配置した状態）を示す。写真-7はSUS埋設型枠を組み立てた状況で、背面に合板型枠を密着させた状態となっている。さらに、写真-8にSUS埋設型枠に孔あけ加工を行っている状況を示す。このようにSUS埋設型枠は薄肉軽量のため、現地での組立や孔あけ・切断加工を容易に行えることを確認した。

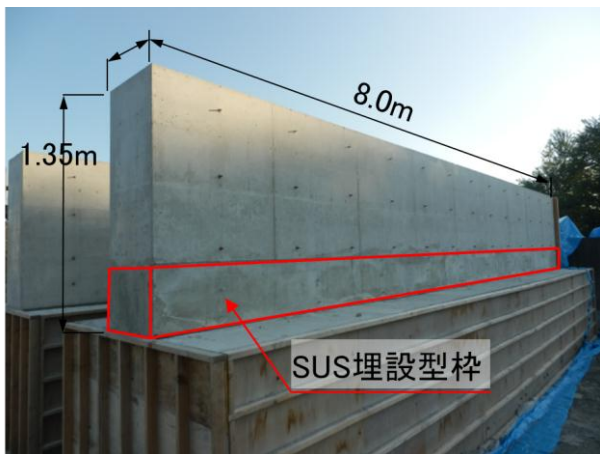


写真-5 壁状供試体の外観



写真-6 SUS埋設型枠の製作状況



写真-7 SUS埋設型枠の組立状況



写真-8 SUS埋設型枠の孔あけ加工状況

4. 2 函渠工施工への適用

D4鉄筋を補強材としたSUS埋設型枠は、施工性確認試験を経て、湯川地区函渠工事（国土交通省東北地方整備局郡山国道事務所発注）における11号函渠の施工に適用した。図-3に函渠工の断面図を示す。函渠工は外観寸法が幅4.0m×高さ4.2m、内空寸法が幅3.0m×高さ3.3mで、底板、側壁、頂版の厚さがそれぞれ0.5m、0.5m、0.4mであり、ブロック長は14.2mであった。本工事も前記の壁状構造物を対象とした試験施工と同様に、側壁部にひび割れ抑制対策工法を適用したものである。SUS埋設型枠は、函渠工の内面側（供用時に通路となり露出）にのみ設置した。ここで、外面側は完成後に土で埋め戻されて供用中に露出することはないため、木製型枠を使用した。写真-9にSUS埋設型枠の組立状況を示す。また、写真-10にコンクリートの打込み状況、写真-11に完成した函渠工の外観、写真-12に同じく函渠工の内面の状況をそれぞれ示す。

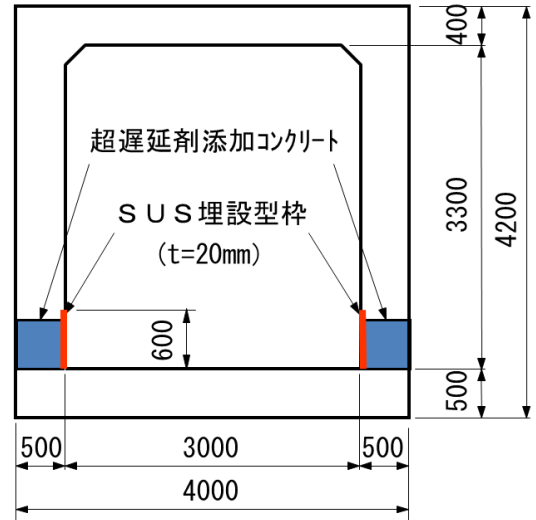


図-3 函渠工の断面図



写真-9 SUS埋設型枠の組立状況



写真-10 函渠工の施工状況



写真-11 函渠工の外観



写真-12 函渠工の内面

5. SUS埋設型枠の今後の展開について

5.1 SUS埋設型枠の特徴

埋設型枠の補強材料に鉄筋を使用すれば、埋設型枠を鉄筋コンクリート方式で設計することが可能となるなど脱型作業が不要となる点も含めて、理想的な型枠材として使用できる。しかしながら、そのことを妨げていたのは、鉄筋の腐食を防止するためには鉄筋かぶり厚さを大きくする必要があり、必然的に型枠材が厚い重量物となってしまうことにあった。したがって、耐食性の高いステンレス鉄筋を補強材として使用し、かつ鉄筋径を細くすることにより部材の薄肉軽量化を図ることで鉄筋を埋設型枠の補強材として使用することが可能となった。

今回は極細径のステンレス鉄筋（D4）で補強を行った小型パネル試験体が、昨年度に実施したD10を補強鉄筋とした小型パネル試験の場合と同様に、鉄筋コンクリートとしての挙動を示すことを確認した。このことは、D4以上の太さを有するステンレス鉄筋は、すべてSUS埋設型枠の補強材として使用できることを示している。また、極細径鉄筋のD4が使用可能なことが確認されたことにより、SUS埋設型枠は在来の埋設型枠（厚さ50mm）と同じような使用方法だけでなく、厚さを15～20mmの薄肉にして軽量化を図ることにより耐震補強などの補修・補強工事用としても使用が可能となった。また、埋設型枠自体が高い耐久性を有することから、構造物のメンテナンスフリー化にも貢献できる。今後は、上記のようなメリットを活かす形で、用途について幅広く検討を進め、通常の埋設型枠の概念を超えた埋設型枠として普及拡大を図っていく所存である。

5.2 SUS埋設型枠の今後の展開について

SUS埋設型枠に対する今後の展開としては、以下の2つのタイプの埋設型枠を用途に応じて使い分けていくことを考えている。

- ① 従来の埋設型枠と同様の使用方法で、主として新設構造物の施工に適用。鉄筋コンクリート方式で設計できるメリットを活かして、既設構造物の耐震補強工事への適用も図る。
- ② 補強材としてD4（あるいはD5）のような極細径の鉄筋を使用することで、徹底的な薄肉軽量化を図り、加工性やハンドリング性を向上させる。このことにより、作業スペースや作業時間帯に制約がある供用中の既設構造物を対象とした補修・補強工事

さらに、今後はSUS埋設型枠をP C a製品メーカーやユーザーの協力を得て、設計から製造そして施工までの一貫したシステムを構築していきたいと考えている。

謝辞 本実用化開発は、財団法人建設業振興基金による「建設企業の連携によるフロンティア事業」の助成金により実施したものである。実験の計画ならびに実施にあたっては、早稲田大学大学院創造理工学部社会環境工学科の清宮理教授より懇切丁寧なるご指導をいただいた。また、試験体に使用した極細径のステンレス鉄筋については、愛知製鋼(株)より試料の提供を受けた。ここに深く謝意を表す。

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P C a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) 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