

## 第7章 まとめ

スタッドの横打ち施工適用の拡大を目的として、横向きに溶接された偏肉スタッドの特性と、偏肉部分への溶接補修の適用可能性について検討した。さらに、打ち直し補修を行った場合の母材の材料特性についても確認を行った。

本研究の成果をまとめると下記となる。

### 1. 横打ちされたスタッドの特性

- (1) 横打ち打接したスタッドにおいて、フラッシュが全周を包囲していない場合でも、下側のフラッシュの幅、高さの形状は健全なフラッシュの形状と大きく変わらず、道路橋示方書の余盛りの大きさの規定を満足するものであった。
- (2) 偏肉スタッドのフラッシュの未溶着領域を偏肉角度と表し、スタッド径（ $\phi 16$ ,  $\phi 19$ ,  $\phi 22$ ）毎に偏肉角度を計測した。スタッド径が大きくなるほど偏肉角度も大きくなり、一番大きな偏肉角度は $\phi 16$ では $130^\circ$ 、 $\phi 19$ では $140^\circ$ 、 $\phi 22$ では $180^\circ$ であった。
- (3) 偏肉スタッドの断面マクロの観察では、ほとんどの試験体でスタッドの断面積分は溶着していることが確認できた。偏肉がある場合にも、溶接で余盛りを追加することによる溶接補修の適用可能性があることがわかった。
- (4) 偏肉確度が大きくなるとスタッド軸部にも未溶着欠陥が確認でき、偏肉角度がそれぞれ $\phi 16$ で $90^\circ$ 以上、 $\phi 19$ で $90^\circ$ 以上、 $\phi 22$ では $30^\circ$ 以上で軸部の欠陥が確認された。 $\phi 16$ ,  $\phi 19$ で偏肉確度が大きい場合、及び $\phi 22$ では偏肉がある場合には溶接補修が不可能な未溶着が発生しやすいことがわかった。
- (5) 横打ち打接したスタッドの硬さ試験を行った。すべての試験体においてフラッシュ直下部のHAZにおいて最高硬さとなり、スタッド径が細かい方が高い値であった。最高硬さは $400\text{Hv}$ を越えるものがあり、スタッド打接により著しい材料硬化を生じることがわかった。
- (6) 横打ち打接したスタッドに引張試験を行った。すべての試験体において引張強度は基準値以上であり、ほとんどが軸部で破断した。一部は根元で破断したが、その場合は軸部に未溶着部が確認され、その断面欠損によるものと考えられる。

### 2. 溶接補修結果

偏肉スタッドに溶接補修を行い、溶け込み性状および溶接部の特性について確認を行った。補修溶接は、実施工での補修が屋外で行われることを想定し、被覆アーク溶接で行った。

- (1) 補修溶接部の断面マクロの観察により、その溶け込み量は $1\sim 2\text{mm}$ 程度であった。偏肉部分のアンダーカットや未溶着部分が $1\sim 2\text{mm}$ 程度であれば、補修溶接を行うことができるが、それより大きい場合は欠陥として空隙が残ることとなる。
- (2) 溶接補修したスタッドの内部欠陥を断面マクロにより確認した。スタッ

ド径がφ16の場合には、溶接補修後の欠陥は発生せず、φ19では横向き溶接では偏肉確度90°以上で欠陥が確認された。φ22では偏肉確度が小さいものでも欠陥が確認された。これは、横向き打接の断面マクロにおいてφ16、φ19の場合に偏肉確度が90°程度までは軸部に未溶着部分がなく、φ22の場合には偏肉確度が小さくても軸部に未溶着欠陥が発生するという結果に符号するものである。

- (3) 溶接補修部に磁粉探傷試験を行ったが、外観には割れなどの表面欠陥は確認されなかった。
- (4) 溶接補修したスタッドに硬さ試験を実施した。溶接補修部直下のHAZで最高硬さが発生しており、その値は溶接補修を行わない場合と同程度であり、補修による材料硬化の影響はなかった。
- (5) 溶接補修したスタッドに引張試験を行った。すべての試験体で基準値を満足しており、ほとんどが軸部で破断した。一部は根元で破断したが、その場合は軸部に未溶着部が確認され、その断面欠損によるものと考えられる。引張強度は、溶接補修を行わない場合と差異はなかった。
- (6) 以上の溶接補修の溶け込み性状と機械的性能の確認結果では、φ16、φ19の場合は偏肉確度が90°程度までは未溶着などの欠陥が発生せず、溶接補修を行うことにより、スタッド軸部に欠陥を残すことなく余盛りを補うことができ、その場合の機械的性能も補修前に比べて劣るものではないものであった。これはスタッド径、偏肉確度をパラメーターとした溶接補修の適用可能性を示すものである。また、本研究では被覆アーク溶接により溶接補修を行ったが、より溶け込みの深いガスシールドアーク溶接を適用した場合は、適用範囲が広がる可能性がある。

### 3. 打ち直し補修結果

スタッド補修として打ち直しを行った場合の材料への影響について確認した。

- (1) 硬さ試験の結果は、打ち直した方が最高硬さは低くなり、打ち直しによる材料硬化は見られなかった。
- (2) スタッド溶接は瞬間ではあるが大電流による溶接であり、急速冷却されるスタッド打接部のじん性の低下が懸念されるため、シャルピー試験を行ったが、打ち直したことによるじん性の低下は見られなかった。
- (3) 母材がSM490YBではシャルピー衝撃試験値は規格値を満足していたが、母材がSM570材では、打ち直さない場合にも規格値を下回っており、スタッド打接はじん性低下に影響があることがわかった。ただし、スタッド溶接では衝撃試験のノッチ採取位置が規定されていないため、Vノッチを全面HAZ部とする厳しい条件としたことが原因のひとつと考えられ、詳細は別途検討する必要がある。

最後に、本研究では、溶接性状や材料特性の観点から、スタッドの補修溶接の適用可能性について検討を行ったが、スタッド継ぎ手には、せん断抵抗や疲労抵抗性能が要求されるものであり、スタッドに溶接を施した場合の力学的な挙動に

については、今後実験を行って明らかにする必要があると考える。

謝辞：本研究は鋼橋技術研究会施工部会（部会長：森猛法政大学教授）の活動の一環として行ったものである。有益な助言をいただいた部会員の皆様に感謝致します。

資料.

## 施工部会 第4期 部会活動記録(その1) 10.9-H12.10)

回数	年・月・日	場 所	会合区別	出席者数	テーマ・内容 等
1	H10・9・4	法政大学	幹事会	6	部会の進め方の原案作成
2	H10・9・29	法政大学	部会	32	部会の進め方およびテーマ討議
3	H11・1・12	横河工事	部会	27	同上
4	H11・2・25	サクラダ	ワーキング C	5	ワーキングの進め方とテーマ討議
5	H11・2・26	東京大学	ワーキング A	12	同上
6	H11・4・14	NKK	ワーキング D	5	ワーキング活動の進め方及び調査
7	H11・4・21	東京大学	ワーキング A	10	複合構造に関する文献調査
8	H11・4・28	日立造船	ワーキング B	6	拡大孔の文献調査, 利点及び問題点
9	H11・4・28	日立造船	部会	26	各ワーキングの経過報告
10	H11・5・26	酒井鉄工所	ワーキング C	5	製作に関する合理化構造の洗い出し
11	H11・6・21	宮地鐵工所	ワーキング A	8	複合構造に関する文献調査, 整理
12	H11・7・12	NKK	ワーキング D	6	ジンクペイントに関する調査
13	H11・8・30	東京大学	ワーキング A	11	複合構造に関する文献調査, 整理
14	H11・10・1	サクラダ	部会	23	各ワーキングの経過報告
15	H11・10・25	東京大学	ワーキング A	9	複合構造に関する文献調査, 整理
16	H11・10・28	川崎重工業	ワーキング C	5	合理化に向けた F.P 部に関する調査
17	H11・11・12	日立造船	ワーキング B	7	拡大孔の実験法に関する検討
18	H11・12・10	NKK	ワーキング D	4	塗装に関するテーマの検討
19	H11・12・22	佐藤鉄工	ワーキング A	6	複合構造に関する文献調査, 整理
20	H11・12・22	佐藤鉄工	部会	19	各ワーキングの経過報告
21	H12・1・14	東京鉄骨橋梁	幹事会	4	ホームページ原稿の書き方, 作業分担
22	H12・3・16	住友金属	ワーキング A	7	複合床版の製作工場の見学
23	H12・3・23	サクラダ	ワーキング C	5	横桁取合い部の応力調査
24	H12・4・6	国土開発センター	ワーキング D	5	塗装に関する調査
25	H12・4・10	横河工事	ワーキング A	11	複合構造に関するテーマの抽出
26	H12・6・2	釜山市	部会	15	各ワーキングの経過報告, 廣安大橋見学
27	H12・6・20	日立造船	ワーキング B	5	拡大孔の実験要領
28	H12・8・4	横河工事	ワーキング A	12	複合構造に関するテーマの抽出
29	H12・10・2	東京鉄骨橋梁	ワーキング D	4	今後の進め方
30	H12・10・13	法政大学	部会	19	各ワーキングの経過報告

部会活動記録(その2) (H12.11-H13.10)

31	H12・11・2	片山ストラテック	ワーキング C	4	合理化の手法の整理, 溶接施工試験
32	H12・11～	法政大学	ワーキング B		滑り耐力試験の実施
33	H12・11・15	都立大学	ワーキング A	8	複合構造に関するテーマの抽出
34	H12・12・25	NKK	ワーキング D	4	施工面から塗装の問題点の抽出
35	H13・1・11	宮地鐵工所	ワーキング A	10	複合構造に関するテーマの決定
36	H13・1・12	東京鉄骨橋梁	ワーキング B	7	滑り試験結果の報告、今後の課題
37	H13・1・12	東京鉄骨橋梁	部会	25	各ワーキングの経過報告
38	H13・2・28	法政大学	ワーキング B	3	来年度の実験方法の確認
39	H13・4・6	松尾橋梁	ワーキング A	10	実験計画の討議、Q&Aの進捗状況
40	H13・4・13	NKK	ワーキング D	4	テーマの検討
41	H13・4・20	日本製鋼所	部会	24	各ワーキングの経過報告, 白鳥大橋見学
42	H13・4・20	日本製鋼所	ワーキング C	6	合理化の検討
43	H13・6・22	日立造船	ワーキング B	5	複合構造に関するテーマの抽出
44	H13・6・25	宮地鐵工所	ワーキング A	5	スタッド溶植の溶接、Q&A中間報告
45	H13・6・28	川崎重工業	ワーキング C	4	合理化の手法の検討
46	H13・7・5	NKK	ワーキング D	5	アンケートの調査項目の検討
47	H13・7・19	川田工業	部会	17	各ワーキングの経過報告
48	H13・9・4	NKK	ワーキング D	5	アンケート調査のまとめ
49	H13・9・12	法政大学	ワーキング B	9	2期試験の実施
49	H13・9・25	高田機工	ワーキング B	4	合理化の手法の検討
50	H13・10・10	宮地鐵工所	ワーキング A	4	スタッド溶植の試験結果のまとめ
51	H13・11・7	NKK	ワーキング D	5	アンケート調査のまとめ
52	H13・11・14	法政大学	ワーキング B	3	2期試験結果のまとめ
53	H13・11・16	三井造船	部会	19	各ワーキングの経過報告
54	H14・1・18	川崎重工業	ワーキング C	3	合理化手法の整理
54	H14・1・25	片山ストラテック	ワーキング C	5	合理化手法の整理
56	H14・2・1	住重	ワーキング A	10	報告書の内容確認
57	H14・2・25	NKK 鶴見	部会	20	各ワーキングの経過報告
58	H14・4・20	川崎重工業	ワーキング C	5	合理化手法の整理
59	H14・4・10	横河工事	ワーキング A	8	報告書の修正意見、Q&A中間報告
60	H14・4・25	新日鐵九州	部会	19	各ワーキングの経過報告

部会活動記録(その3) (H14.26-H14.8)

61	H14・4・26	新日鐵九州	ワーキング B	7	報告書のまとめ方の検討
62	H14・4・26	新日鐵九州	ワーキング C	6	合理化手法の整理
63	H14・5・17	栗本鉄工堺	ワーキング B	7	報告書のまとめ・修正
64	H14・6・12	建設技研	ワーキング A	3	Q&A報告書まとめ
65	H14・7・3	松尾橋梁	ワーキング A	5	Q&A報告書まとめ
66	H14・7・22	住重東予	部会	19	各ワーキングの成果報告
67	H14・8・6	法政大学	ワーキング B	2	報告書の最終まとめ
68	H14・8・30	川崎重工業	ワーキング C	6	報告書の最終まとめ