

# プレキャスト合成床版のスタッド支圧継手接合の開発

## Development of New Stud Joint for Precast Composite Slab

藤井 堅\*、松本 繁\*\*、深沢 恵志\*\*

Katashi FUJII, Shigeru MATSUMOTO and Keiji FUKAZAWA

\* 工博 広島大学助教授 工学部第四類（建設系）（〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1）

\*\* 三井造船株式会社 鉄構建設事業本部 技術部 （〒104-8439 東京都中央区築地 5-6-4）

Precast composite slabs have a lot of merits such as high rigidity, high quality and shortening site terms. However, the joints of each precast slab along a bridge axis have a weak point in transmitting tensile stresses to the neighbor slab smoothly and surely. This paper presents the new type of a joint which is consist of studs and connection plates and can be easily constructed at the site and also can get over the weak point. From tensile tests and fatigue tests it is shown that this joint would be used in practice with sufficient strength.

Keywords : precast, composite slabs, joint, studs

### 1. まえがき

近年、車両の大型化、交通量の増大により、鉄筋コンクリート床版の損傷の事例が指摘されている。そこで道路橋床版として、剛性が高く、現場施工も速いプレキャスト合成床版が、新設の道路橋床版ばかりでなく、既設橋の床版打ち替えにも注目されている。その意味から、プレキャスト床版間の橋軸直角方向に沿う継手部は、十分な強度を有することはもちろん、施工の容易な接合方法とすることが重要となる。

この観点から、合成床版の継手部に頭付きスタッドと連結板を用いた新形式の継手構造（スタッド支圧継手接合）を考案した。この継手構造は、構造が単純で経済的であり、施工性が良いため現場での省力化施工、工期短縮が期待できる。

本研究では、その実用化に向けて、継手構造の強度及び破壊性状を実験によって確認、検討した。

### 2. スタッド支圧継手接合

#### (1) 継手の構造

従来、頭付きスタッドは、Robinson 床版などでずれ止めとして使用されている。本研究では、頭付きスタッドを用いた支圧継手として、図-1に示すように、鋼・コンクリート合成床版の橋軸直角方向に沿う継手部の底部鋼板上に孔明きの床版間連結用プレート（連結板）を設置し、その孔から頭付きスタッドを底部鋼板に直接溶植する構造を考案した。このとき、連結板の孔も溶融金属で同時に埋まることになる。その後で、継手部にコンクリートを中埋めし、プレキャスト床版相互間の一体化を図るものである。これにより合成床版の鋼板の引張応

力は、図-2に示すように、せん断接合としてスタッドに伝わり、スタッドと連結板間は支圧力によって伝達されることになる。

本継手は、連結板設置とスタッド溶植の作業が主体なので、非常に施工が容易な構造である。また、連結作業自体を床版上から行うことができるので作業足場が不要であり、作業効率や作業の安全性に優れている。またスタッド自体が安価なことによる経済性の向上も期待できる。経済性と急速施工の両要素を満たすことから、新設橋梁の合成床版ばかりでなく、既設橋の床版打ち替えに合成床版を使用したときの継手構造としても採用が可能と考えられる。

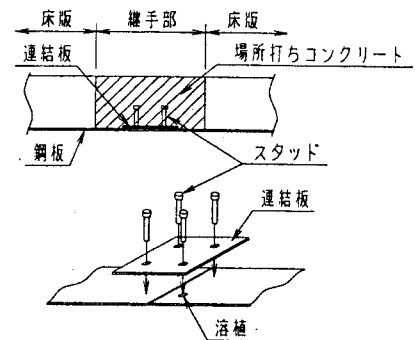


図-1 継手構造略図

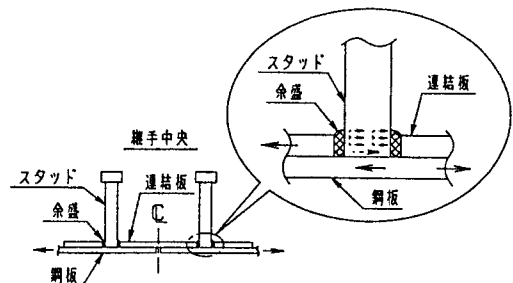


図-2 応力の伝達メカニズム

## (2)スタッドの溶植

本継手で予想される問題点は、施工時のスタッド溶植の信頼性である。連結板の孔から底部鋼板に溶植するため、スタッド径と連結版の孔径、連結板の厚さが溶植性能に大きな影響を及ぼすと考えられる。通常の道路橋床版に使われるプレキャスト合成床版の底部鋼板厚は、 $t=6\text{mm}$ 程度であり、スタッドとしては $13\phi$ 程度が適当である。そこで、スタッドの溶植状態を確認するために、実験供試体のスタッド溶植部と同様の試験片（図-3に試験片図、表-1に試験片表を示す。）を用意し、断面観察を行った。試験片はアークスタッド溶接機（MRN-2000）、及びスタッドガン（GS-201）を使用して表-2の下でスタッドの溶植を行った。

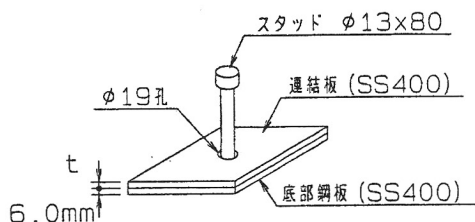


図-3 試験片図

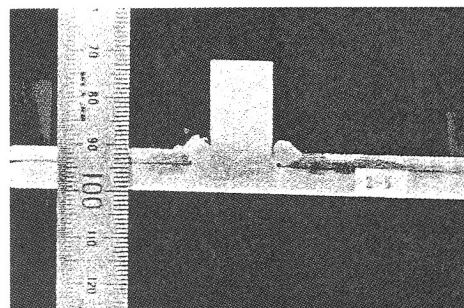
表-1 試験片表

試験片番号	連結板厚(mm)	底部鋼板厚(mm)
(a)	3.2	6.0
(b)	4.5	6.0
(c)	6.0	6.0

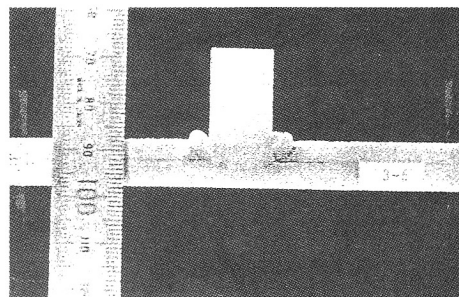
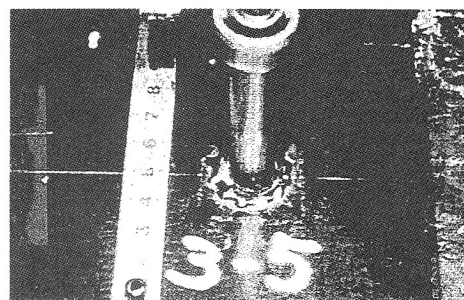
表-2 溶植条件

溶接電流 A	900
アークタイム S	1.5
突き出し長さ mm	10.0
アークリフト mm	3.0
溶接姿勢	下向き

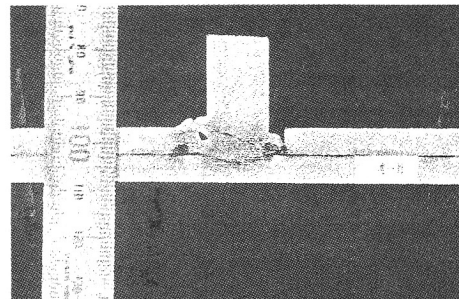
写真-1の試験片近接撮影及び、溶植部断面の状態を観察すると、連結板厚が薄い場合（ $t=3.2\text{mm}$ 、 $t=4.5\text{mm}$ ）では若干のブローホールが認められるものの、溶接状態は良好と考えられる。一方、 $t=6.0\text{mm}$ の場合にはスタッドの押し込み不足という状態であり、連結板厚が $4.5\text{mm}$ 以下ではほぼ良好な溶接性が得られると考えてよい。以上から連結板の板厚は、 $t=4.5\text{mm}$ 程度が望ましいと考えられる。



(a) ( $t=3.2$ )



(b) ( $t=6.0$ )



(c) ( $t=6.0$ )

写真-1

### 3. 継手実験

#### (1) 試験内容と供試体

実験はプレキャスト合成床版の継手部鋼板のみに着目して静的引張試験、疲労試験を行った。静的引張試験と疲労試験については、溶接状況から、3種類のタイプに分けて供試体を製作した。表-3に供試体の種類、図-4に供試体の構造を示す。

表-3 静的引張試験、疲労試験の供試体

Type	連結板厚(mm)			
	4.5		6.0	
A	▲	▲	△	▲
B	△	▲	△	▲
C	△	▲	△	▲

△：静的引張試験

▲：疲労試験

Type A：ノーマル  
Type B：不陸あり  
Type C：スタッドのずれ

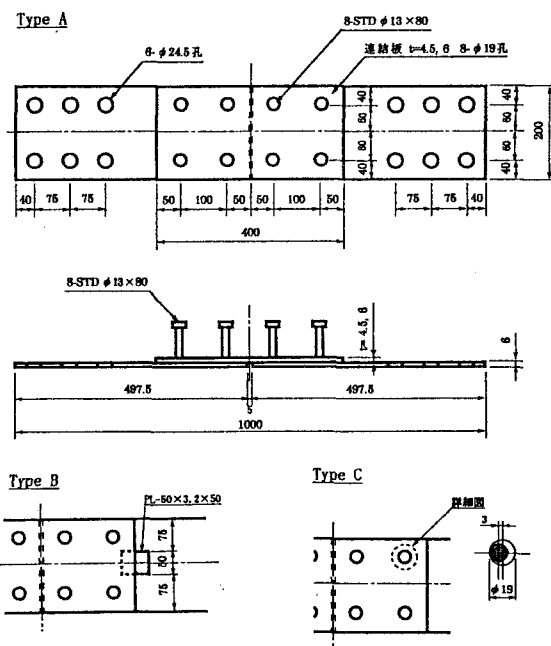


図-4 静的引張試験、疲労試験用供試体図

#### (2) 静的引張試験

本試験は、継手部鋼板のみに着目した場合の継手部の静的強度、及び破壊形式を連結板の板厚の違いによる比較及びスタッドの溶植状況も含めて確認することを主目的としている。

供試体は、計5体について行い、多主桁橋(桁間隔2.5m, 床版厚20cm, 底部鋼板厚6.0mm)を想定した連続版の配筋方向の設計曲げモーメントに対して設計した。その時の曲げモーメントは、 $M=2.40\text{tf}\cdot\text{m}$ で、鋼板下面の応力度は $\sigma=248\text{kgf}/\text{cm}^2$ となり、対応する設計引張荷重は、

$P=2.98\text{tf}$ である。静的引張試験の荷重要領を図-5に示す。

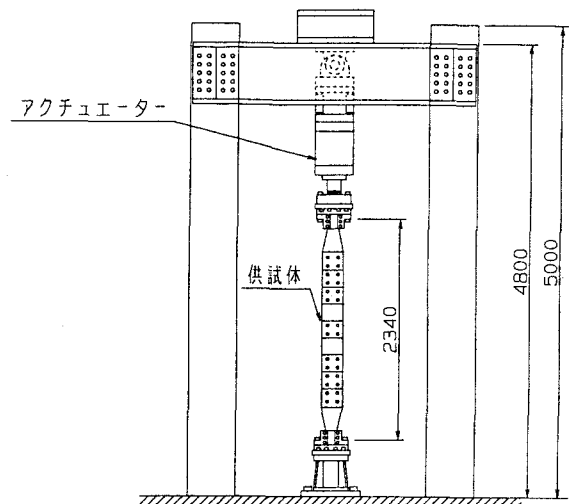


図-5 静的引張試験荷重要領

#### (3) 疲労試験

本試験は、繰り返し荷重を受けることによる継手部の疲労に対する強度及び破壊形式を確認することを目的としている。

疲労試験は計7体について行い、繰り返し周波数を3ヘルツ(Hz)で供試体に引張力を荷重させた。約5万回おきに静荷重を行い、ひずみを測定した。またひずみの履歴、目視、および磁粉探傷により亀裂の発生を観察した。

荷重は、J-45-A1に対してはスタッドのせん断疲労強度、S等級の打ち切り限界(67MPa)以下の応力振幅(55.3MPa)を作用させることにした。荷重荷重は0.5~6.5tf, スタッド1本に作用するせん断応力( $V/A_{\text{STD}}$ : Vは荷重荷重,  $A_{\text{STD}}$ はスタッドの全断面積)は、9.2~119.7MPaとした。荷重装置は静的引張試験と同様である。

### 4. 実験結果と考察

#### (1) 静的引張試験結果

静的引張試験から得られた各供試体の最大荷重を表-4に示す。J-60-Aの破壊状況を写真-2に示す。Type Bは、他の供試体に比べ明らかに強度が低いことがわかる。これは、不陸の存在によって熔融金属が連結板の孔を十分に埋めていないため、強度に大きな影響を与えたと考えられる。それ以外の供試体は、設計荷重(2.98tf)に対して8~9倍以上の十分な耐力を有しており、静的引張荷重に対して十分な強度を有しているといえる。Type AとC、連結板厚による有意差は見られない。

破壊状態は、J-60-A, J-60-Cでは図-6のようにス

タッドと連結板との溶接部がはがれた。これは、支圧力によるスタッドの変形と曲げによる影響でこのような破壊状態になったと思われる。スタッドと底部鋼板との溶植は良好であるため、せん断破壊は起こらず、曲げの影響によるスタッドと連結板の孔の埋め戻し部で引張力が発生したことにより、連結板がはがれたと思われる。J-45-B, J-60-B は、スタッドの溶植部でのせん断破壊であるが、不陸に起因するスタッドの溶接不良が原因と考えられる。J-45-C はスタッドの位置をずらして溶植したが、せん断破壊を起こしたにもかかわらず、強度はそれほど落ちていない。同じように製作した J-60-C も十分な強度があることから、スタッドの溶接位置のずれは強度にそれほど影響を与えないと考えられる。

表-4 静的引張試験結果

Type	供試体番号	設計荷重 P(tf)	最大荷重 $P_f$ (tf)	$P_f/P$
A	J-60-A	2.98	27.1	9.09
B	J-45-B	2.98	19.3	6.48
B	J-60-B	2.98	14.2	4.77
C	J-45-C	2.98	25.0	8.39
C	J-60-C	2.98	27.0	9.06

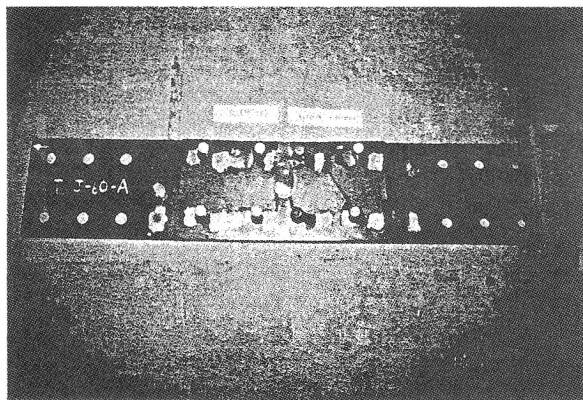


写真-2 破壊の状況 (J-60-A)

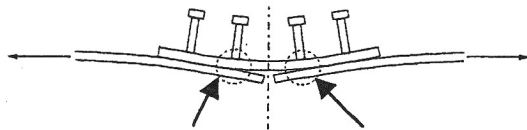


図-6 スタッドと連結板のはがれ

(2) 疲労試験結果

表-5 に各供試体の疲労試験結果を示す。

表-5 疲労試験結果

Type	供試体番号	連結板厚 (mm)	スタッド断面の応力振幅 (MPa)	载荷回数 (万回)
A	J-45-A1	4.5	55.3	280 (270)*
A	J-45-A2	4.5	110.5	26.0
A	J-60-A	6.0		36.4
B	J-45-B	4.5		11.8
B	J-60-B	6.0		0.55
C	J-45-C	4.5		16.8
C	J-60-C	6.0		26.0

\*270 万回までは 55.3MPa, それ以後は 110.5MPa で载荷

各供試体の疲労試験結果を日本鋼構造協会 (JSSC) 「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」に示されているスタッドのせん断疲労強度 S 等級と比較したものを図-7 に示す。このグラフは、全作用力をスタッド本数で割ってスタッド 1 本当たりのせん断応力を示している。図-7 から Type A の供試体は S 等級とほぼ同程度の強度を有しているといえる。Type C は A よりもわずかに強度が落ちる。これは A に比べて微小なブローホールの発生が多いためと考えられる。Type B は不陸の影響による溶接不良のため明らかに強度が落ちているのがわかる。

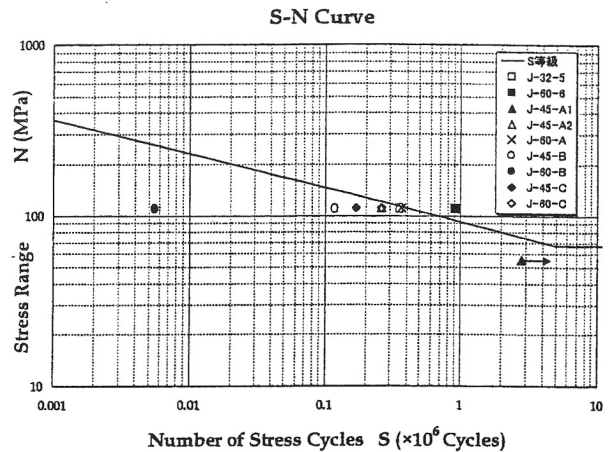


図-7 S-N 曲線 (S 等級)

図-8 に亀裂発生位置を示す。亀裂は連結板中央側スタッド付近から発生しており、引張力が働く中央側の溶植部に亀裂がみられる。

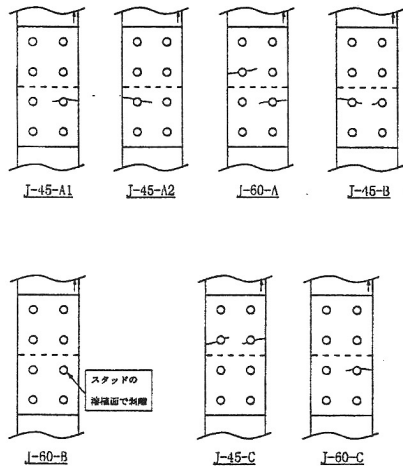


図-8 亀裂発生位置

(3) 亀裂破面観察

a) 概要と結果

疲労試験を行った実験供試体について亀裂の起点、進展状況を確認するため疲労亀裂発生面の破面観察を行った。表-6 に破面観察を行った供試体を示す。

表-6 破面観察供試体

供試体名	亀裂発生箇所	試料 No.
J-45-A1	1箇所	1
J-45-A2	1箇所	2
J-60-A	3箇所	3-1, 2, 3
J-45-B	2箇所	4-1, 2

ここでは、代表して J-45-A1 および J-45-A2 について述べる。亀裂近傍を図-9 のように切り出し、それらを液体窒素で冷却し、亀裂を解放後、SEM (走査型電子顕微鏡) により観察を行った。写真-3 に J-45-A1、写真-4 に J-45-A2 の破面状況を示す。

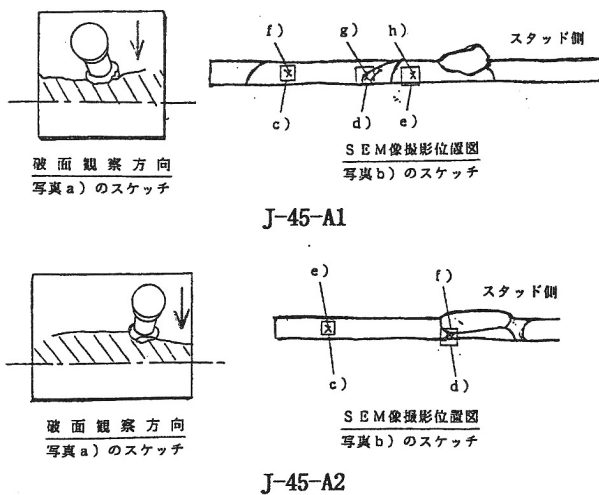
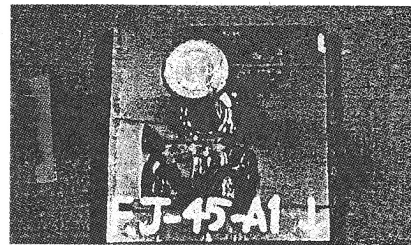
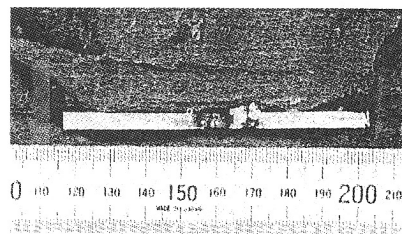


図-9 破面観察方向と SEM 像撮影位置図



a) 切り出し部外観



b) 写真 a) の破面外観



図-9 d) 亀裂進展域 (応力振幅境界部)

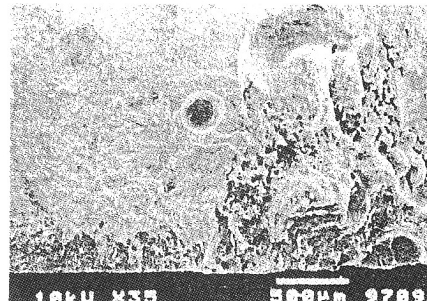


図-9 e) 起点域

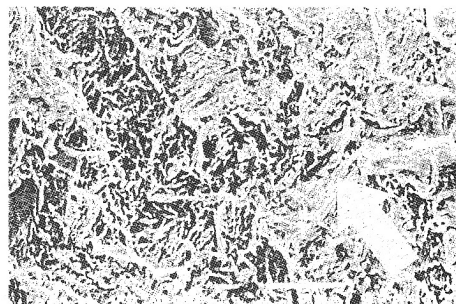
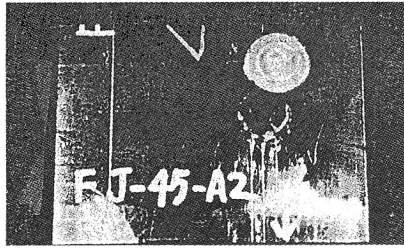
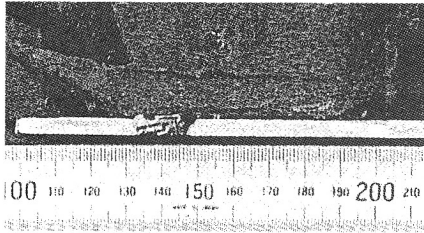


図-9 g) 写真 d) の高倍率

写真-3 (J-45-A1)



a) 切り出し部外観



b) 写真 a) の破面外観

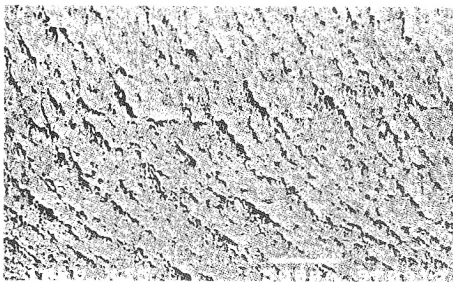


図-9 c) 亀裂進展域



図-9 d) 起点域

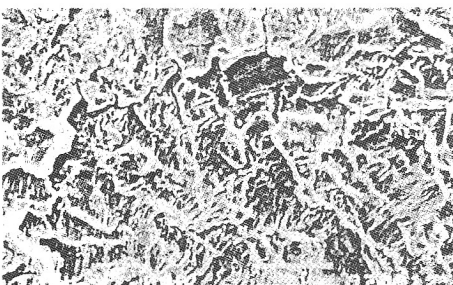


図-9 e) 写真 c) の高倍率

写真-4 破面状況 (J-45-A2)

#### b) 考察

スタッド溶植部根元の写真-3 e), 写真-4 d)には丸い孔状のものが見られる。これは、スタッド溶植時のスラグの巻き込み、もしくはブローホールであると思

われる。これらの発生は疲労に対する弱点となるため、発生しないような溶接方法の改良が必要である。

写真-3 d)には、振幅を 55.3MPa から 110.5MPa に変化させた境界域のビーチマークが明確に現れている。d)の高倍率写真 g)のストライエーションから亀裂は写真に示す矢印方向に進展している。

写真-4の c), e)は、溶接部から離れた点での写真、つまり疲労亀裂がかなり進行した時点での破面の状態を表している。この破面の状況からは、塑性変形を伴った疲労が見られ、進展速度が速くなっていることがわかる。

全ての破面状況から、亀裂はスタッド溶植部根元から斜め上方向に連結板表面へ向かって進展しているのが分かる。スタッド溶植部根元から発生した亀裂が徐々に斜め上に進展していき、亀裂の進展による連結板断面の減少とともに速度を上げ、塑性変形を伴いながら進行し、最終的に連結板表面、および端部にまで亀裂が到達することが読みとれた。

#### 5. あとがき

プレキャスト合成床版の橋軸直角方向に沿う継手部の施工性の向上と省力化を目的として、スタッド支圧継手接合を提案し、その実用性を検討するために静的引張試験、疲労試験を行った。その結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 実験結果から、スタッドの溶植が通常のペースで行われれば、静的引張強度については十分な強度を有しているといえる。
- (2) 疲労強度については、試験結果からは、ほぼS等級と同程度の強度を有すると判断できる。
- (3) 疲労亀裂はスタッド溶植部付け根から発生し、全て連結板を進展して破断した。
- (4) 破面観察から疲労特有のストライエーションが認められた。

なお、継手部にはコンクリートがあるので、本実験程危険な状態とはならず、疲労強度はさらに大きいものと推測される。

本実験で用いた溶接条件で十分な強度を期待できるが、今後は連結板の板厚、孔径、スタッド径等の溶接条件の最適化をはかり、より施工し易いものに改良していく必要がある。同時に、不陸の影響が大であるため、現地での合成床版の設置誤差にも適応できる施工方法も考えていく必要がある。

#### [参考文献]

- 1) 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 日本鋼構造協会 pp.1-38, 1993
- 2) 黒田・藤井・江川・松本: プレキャスト合成床版のスタッド支圧継手接合の開発, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 5, 1997. 11