

## 鋼・コンクリート合成床版「パイプスラブ」における鋼部材継手の疲労試験について

中本 啓介<sup>※1</sup>, 橋 肇<sup>※2</sup>

当社で所有するパイプスラブでは、製作施工性により鋼板パネルを構成する底鋼板と鋼板リブの接合部にすみ肉溶接サイズを4mmとする断続すみ肉溶接を採用している。この溶接継手は道路橋示方書では規定されていない。溶接部の仕様および疲労耐久性については、既報の輪荷重走行試験等の各種試験により確認を行っている。本検証では、さらなる性能保証と疲労設計への反映を目的とした要素レベルの疲労試験を行った。検証する応力方向は、橋軸方向・橋軸直角方向の2方向とし、溶接部の強度等級を「鋼道路橋の疲労設計指針」に準じた強度等級と比較した結果、設計で想定する強度等級を上回る結果を確認した。

キーワード：強度等級，断続すみ肉溶接，疲労試験

### まえがき

近年、鋼道路橋において設計・施工の合理化，省力化を目指した少数主桁橋の建設が増大している。少数主桁橋では、床版の長支間化および疲労耐久性の向上が不可欠であり、これらに対応できる新形式の床版として、鋼・コンクリート合成床版(以下、合成床版)が注目され施工実績も増えてきている<sup>1)</sup>。当社においても、駒井鉄工(株)、片山ストラテック(株)、および(株)栗本鐵工所の3社共同体制により、鋼管を用いた合成床版(以下、パイプスラブ)の開発を行い実施工への対応を行っている。本報では、パイプスラブの疲労設計のために実施した底鋼板と鋼板リブの溶接継手部の疲労試験について示す。

### 1. 検討対象

パイプスラブの構造概要を図-1に示す。床版下面全体に敷設する底鋼板の上面に橋軸直角方向にリブを断続溶接し、このリブと直角方向(橋軸方向)に構造用鋼管を配置している。リブには鋼管を貫通させるため長孔を設け、長孔と鋼管の間に充填されたコンクリートがずれ止めの役割(鋼管ジベル)を果たしている。鋼管を貫通配置させることによりずれ止め効果が向上している<sup>2) 3)</sup>。

パイプスラブにおける底鋼板とリブの橋軸直角方向の断続溶接は、底鋼板厚6mm，すみ肉溶接サイズ

4mmを採用しており道路橋示方書<sup>4)</sup>(以下、道示)に規定されない構造となっている。本試験では、リブと底鋼板に疲労設計指針<sup>5)</sup>を適用した疲労設計の検討，ならびに溶接継手の疲労耐久性に問題ないことを確認するため要素レベルの疲労試験を行った。

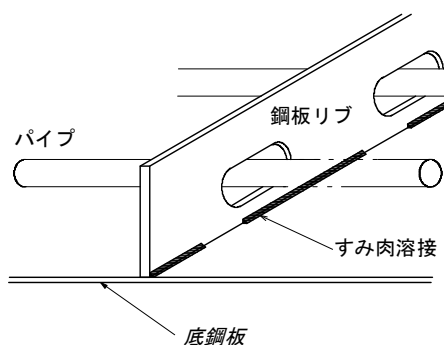
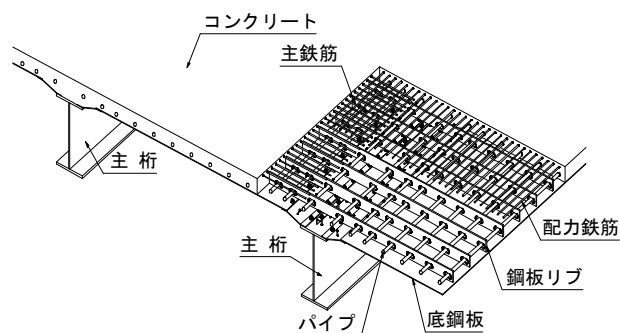


図-1 パイプスラブの構造概要

※1 橋梁事業部富津工場橋梁技術部技術課係長 修士(工学)

※2 橋梁事業部富津工場橋梁技術部技術課長

検討対象とした底鋼板とリブの断続すみ肉溶接部分の強度等級を検証する応力の方向は、橋軸および橋軸直角方向の2方向とした。これは、文献6)より二軸荷重が疲労亀裂の進展特性に及ぼす影響は、ほとんど現れないという評価があり、この方針を適用している。

本検討対象における溶接継手構造の種類と強度等級は、疲労設計指針を参考に設定した。橋軸方向は荷重非伝達型十字溶接継手となり、断続溶接を考慮すると、溶接の始末端を含むすみ肉溶接継手と考えられ、強度等級はE等級となる。橋軸直角方向は縦方向溶接継手となり断続するすみ肉溶接で強度等級はE等級となる。

試験は応力範囲を変化させた試験体について複数体行い、それぞれS-N関係を求めた。

## 2. 試験内容

### 1) 試験体

試験体概要図を図-2に示す。試験体は、底鋼板とリブの断続すみ肉溶接部をモデル化した2種類の合計6体用意した。応力の作用方向がリブに対して平行である試験体を Type-A とし直角方向である試験体を Type-B とした。鋼材は実構造に対応させSM400A材を使用し、溶接サイズは4mmとした。

繰返し荷重にあたり試験体に所定の応力が発生していることを確認するため、鋼材にひずみゲージを貼付け、ひずみを測定し、応力範囲の設定を行った。

### 2) 試験方法

試験装置は1500kN用の油圧サーボ式試験装置を使用した。荷重方法は強度等級を考慮し、繰返し荷重数が数十万回から数百万回程度になるように図-3に示すように鋼材の作用応力が許容応力度(140N/mm<sup>2</sup>)を上限值とする片振りの一定振幅荷重で行った。各試験体の応力範囲( $\Delta\sigma$ )を表-1に、試験状況を写真-1にそれぞれ示す。

荷重速度は荷重載荷時の試験体の共振、安定性を考慮し4~8Hzとした。

き裂発生の有無は、目視と約50万回毎の浸透探傷試験および静的荷重による変位、荷重、ひずみの計測により確認した。

破断による試験終了条件は、き裂進展に伴う試験体(試験装置の変位含む)の変位増加量が1mmに到達することを条件とした。

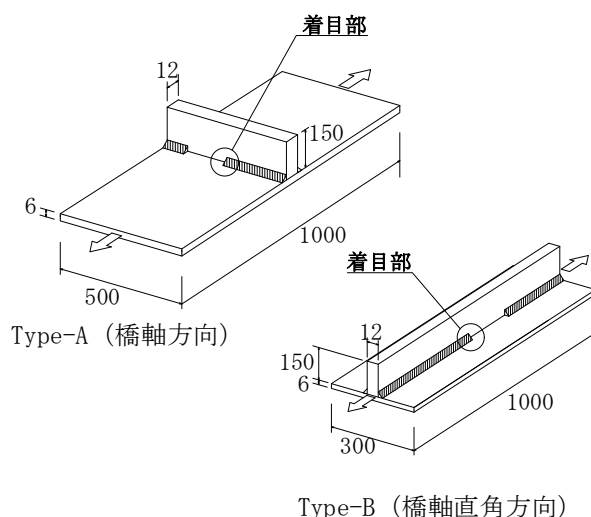


図-2 試験体概要図

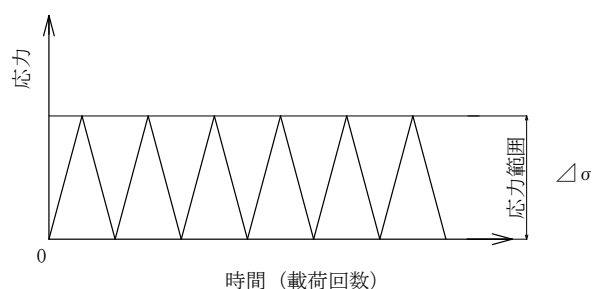


図-3 荷重要領

表-1 各試験体の応力範囲

試験体種類	応力振幅 N/mm <sup>2</sup>	下限荷重 kN	上限荷重 kN	溶接脚長 (平均) mm
橋軸方向	Type-A1	100	120	5.6
	Type-A2	115	75	5.1
	Type-A3	130	30	5.2
橋軸 直角方向	Type-B1	100	182.4	5.2
	Type-B2	115	114.0	5.3
	Type-B3	130	45.6	5.2



設置状況 (Type-B)      浸透探傷 (Type-A)  
写真-1 試験状況

表-2 試験結果（载荷回数）

試験体種類	応力振幅 N/mm <sup>2</sup>	繰返し回数 (万回)	破断箇所	等級
橋軸方向	Type-A1	100	着目範囲外	C
	Type-A2	115	未破壊	B
	Type-A3	130	千鳥溶接部	C
橋軸 直角方向	Type-B1	100	未破壊	C
	Type-B2	115	千鳥溶接部	C
	Type-B3	130	千鳥溶接部	C

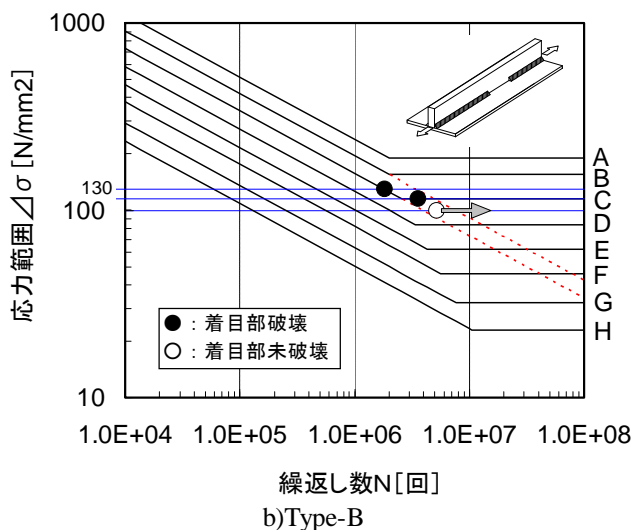
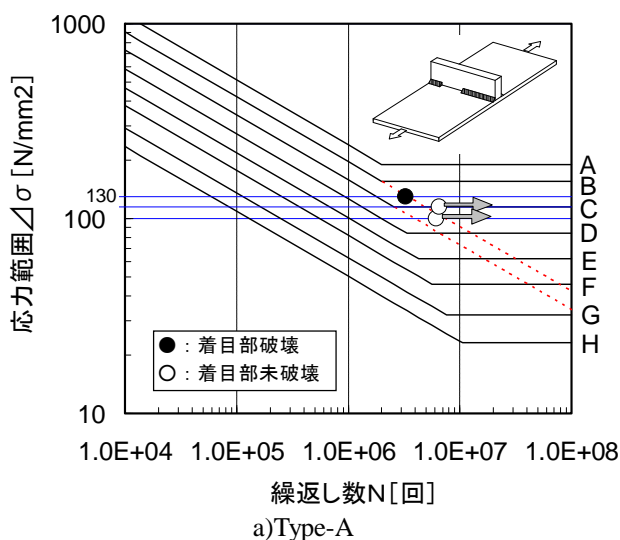


図-4 試験結果（S-N 関係）

### 3. 試験結果

#### 1) 繰返し载荷回数による等級

試験結果の一覧を表-2 に、各試験体の破断終了までの繰返し回数をそれぞれ図-4 に示す。いずれの試験体も想定する等級以上の回数を実施している。同図には疲労設計指針<sup>6)</sup>の継手等級も併せて示している。繰返し载荷回数により継手等級分類を適用する



a)Type-A3 (319 万回载荷)



b)Type-B2 (300 万回载荷)



c)Type-B2 (357 万回载荷)

写真-2 き裂発生状況

と、Type-A および Type-B 試験体共に、C 等級程度の結果が得られ、想定していた E 等級より 2 ランク上回る疲労耐久性を有していることを確認した。

#### 2) き裂発生状況

き裂進展により破断終了した試験体は Type-A1, A3, B2, B3 の 4 体であった。

破断終了した試験体のき裂発生状況の一例を写真-2 に示す。

Type-A1 ( $\Delta\sigma = 100\text{N/mm}^2$ ) は 617 万回載荷で着目部外である部材端部の完全溶接とけ込溶接部が破断したため途中終了となった。このとき着目部である千鳥溶接部にき裂の発生が確認できなかったことより、高い強度等級を有していることがわかる。

Type-A3 ( $\Delta\sigma = 130\text{N/mm}^2$ ) は 280 万回載荷時に着目部である千鳥溶接部分にき裂発生を確認した。その後、き裂は溶接方向に進行し 326 万回載荷時に試験体は破断した。

Type-B2 ( $\Delta\sigma = 115\text{N/mm}^2$ ) は 300 万回載荷時に着目部である千鳥溶接部の止端に微細なき裂の発生を確認した。その後、溶接方向と直角なき裂が進行した。そして、310 万回で試験体の裏面側にき裂は貫通し、357 万回で破断した。破断時には試験体のリブ側へのき裂の進行も見られた。

Type-B3 ( $\Delta\sigma = 130\text{N/mm}^2$ ) についても Type-B2 と同様なき裂発生状況により破断終了した。

応力範囲の小さい試験体 (A2, B1) については工程等の都合により C 等級程度の載荷回数を終わった段階で終了した。このとき着目部の千鳥溶接止端部は健全な状態であった。

#### 4. まとめ

パイプスラブにおける底鋼板とリブの溶接部に着目した疲労試験を行い強度等級について確認した。繰返し載荷回数より強度等級を推定した結果、橋軸方向、橋軸直角方向ともに試験条件とした応力範囲では C 等級の結果が得られ高い疲労耐久性を有していることが確認できた。

実際の合成床版の設計では、着目部の強度等級 E 等級とし、合成後の活荷重によって底鋼板に作用する応力範囲は  $50\text{N/mm}^2$  程度となるように設計している。疲労試験結果による等級は応力範囲を  $100\sim 130\text{N/mm}^2$  とした結果であることを考慮すれば、十分に安全側の強度等級の設定が行われていると考える。

#### あとがき

本稿の執筆にあたり共同開発会社の関係者各位には便宜を図って頂きました。

試験実施にあたっては長岡技術科学大学実務訓練生の佐藤悠樹君に多大な作業を行っていただきました。ここに記して謝辞といたします。

#### 参考文献

- 1) 例えば、佐藤政勝・関口幹夫・辻本和敬：鋼・コンクリート合成床版およびプレキャスト床版の開発と最近の動向，第 2 回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.43-48，2000.10.
- 2) 例えば、中本啓介・辻野竜介・橋肇・篠田隆広・細見雅生：鋼・コンクリート合成床版「パイプスラブの開発」，駒井技報，Vol.21，pp.78-83，2003.3.
- 3) 中本啓介，田中正明，大久保宣人：鋼管ジベルを用いた鋼・コンクリート合成床版の輪荷重走行試験，第四回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp197-202，2004.10.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ 鋼橋編，2002.3.
- 5) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，2002.3.
- 6) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993.4.