

# 平鋼を下弦材に用いた組立て梁の動的繰返し曲げ載荷実験

## Dynamic Cyclic Bending Tests of the Built-up Beam Composed of Small Section Members and Flat Bar as a Lower Chord

江頭 寛 HIROSHI EGASHIRA

小坂 英之 HIDEYUKI KOSAKA

構造設計ディビジョン 小林 知己 TOMOMI KOBAYASHI

土居 和雅 KAZUMASA DOI

建築生産計画部 梅木 俊毅 TOSHITAKE UMEKI

平鋼を下弦材に用いた組立て梁で支持される物流倉庫の床構造の研究開発を行っている。本小梁は小断面の形鋼で構成され、軽量化と原価低減を図った構造となっている。本小梁の上弦材と下弦材を接合する4種類の継手部の疲労性状を検証するために、大型トラックの走行を模擬した100万回を超える動的繰返し加力による曲げ載荷実験を行った。その結果、継手部の疲労破壊は確認されず、当該部の健全性を確認した。既往の疲労評価式によると、疲労した継手の累積損傷度は0.3~0.6相当であると推測された。また、疲労後の静的曲げ載荷実験の最大荷重は、下弦材降伏時の耐力計算値の約1.1倍となり、疲労の影響は確認されなかった。

キーワード：組立て梁、平鋼、継手部、疲労、累積損傷度

The slab supported by the built-up beam with lower chord of flat bar is under development. This beam composed of small section members aims at a light and economical structure. Dynamic cyclic tests, and static bending tests were successively conducted to verify the fatigue properties for 4 types of end joints of an upper and a lower chord. The followings were obtained; 1) All types of joints were safety for one-million-cycle loading simulating truck wheel running, 2) After cyclic test, the static strength was about 1.1 times of the calculated strength at lower chord yielding.

**Key Words:** Built-up Beam, Flat Steel Bar, Joint, Fatigue, Accumulated Damage Ratio

### 1. はじめに

大規模物流倉庫の床スラブは、大スパンで積載荷重が大きいので、床を支持する小梁には、十分な剛性と耐力が求められる。本研究が対象とする小梁（以下、本小梁）は、平鋼を下弦材に用いた組立て梁であり、従来のH形鋼による単一梁と同等の剛性と耐力を有し、使用する鋼材量が少ないという利点がある。一方で、組立て梁は、部材同士を接合する継手方法が構造性能に与える影響は大きく、物流倉庫のように、静的な積載荷重のみならず、大型車両等の動的荷重が建物の供用期間にわたって作用する床に適用する場合は、継手部の疲労性状を把握し、構造安全性を検証する必要があると思われる。

本研究では、本小梁の概要と、継手部の疲労性状の確認のために行った動的繰返し曲げ載荷実験、および疲労後の静的曲げ載荷実験の結果について報告する。

### 2. 構造概要

図-1に構造概要図を、図-2に本小梁で支持される床スラブのイメージ図を示す。図-1に示すように、本小梁は下弦材に平鋼を、上弦材と束材に小断面の形鋼を用いた組立て梁であり、従来のH形鋼による単一梁と比べて、使用する鋼材量が半分程度となり、大幅な原価低減が可能である。下弦材の平鋼は、引張材としての必要な断面積を確保しやすい一方で、折り曲げ加工や、上弦材および束材との接合も比較的容易であるため、部材製作の簡素化が図れるという利点がある。本小梁は、床の積載荷重を上弦材の曲げと下弦材の引張力で負担させ、下弦材の引張力を上弦材の圧縮力と釣合わせる応力状態となっている。このとき、上弦材と下弦材の継手部には、他の継手部と比べて大きな応力が生じるため、当該継手部の強度を十分に確保する必要がある。

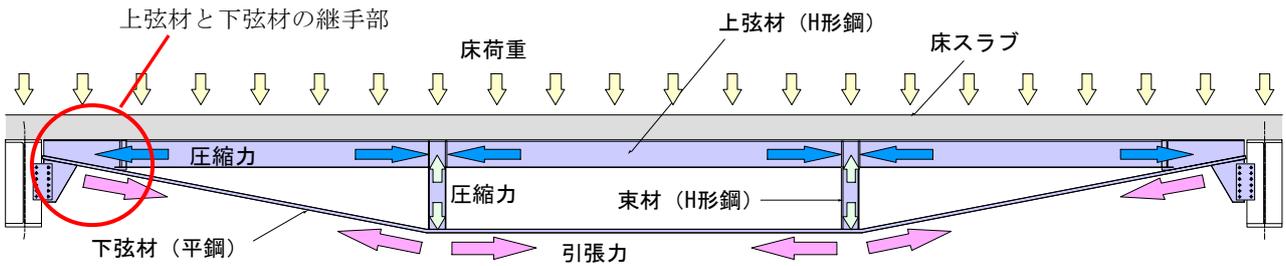


図-1 構造概要図



図-2 イメージパース

表-1 材料試験結果

部材		降伏点 N/mm <sup>2</sup>	引張強度 N/mm <sup>2</sup>	試験体および使用部位	
H-125×125×6.5×9 (SS400)	フランジ	315	424	ESB1,	上弦材
	ウェブ	345	438	ESB2	
H-100×50×5×7 (SS400)	フランジ	-	-	ESB1,	束材
	ウェブ	352	444	ESB2	
FB-16×80 (SM490)		397	522	ESB1	下弦材
FB-16×125 (SS400)		326	461	ESB2	
PL-9 (SM490)		423	549	ESB1	1A端ウェブ
PL-16 (SS400)		326	461	ESB1	1B端斜めスチフナ
H-300×150×6.5×9 (SS400)	フランジ	367	452	NB1	-
	ウェブ	339	444		

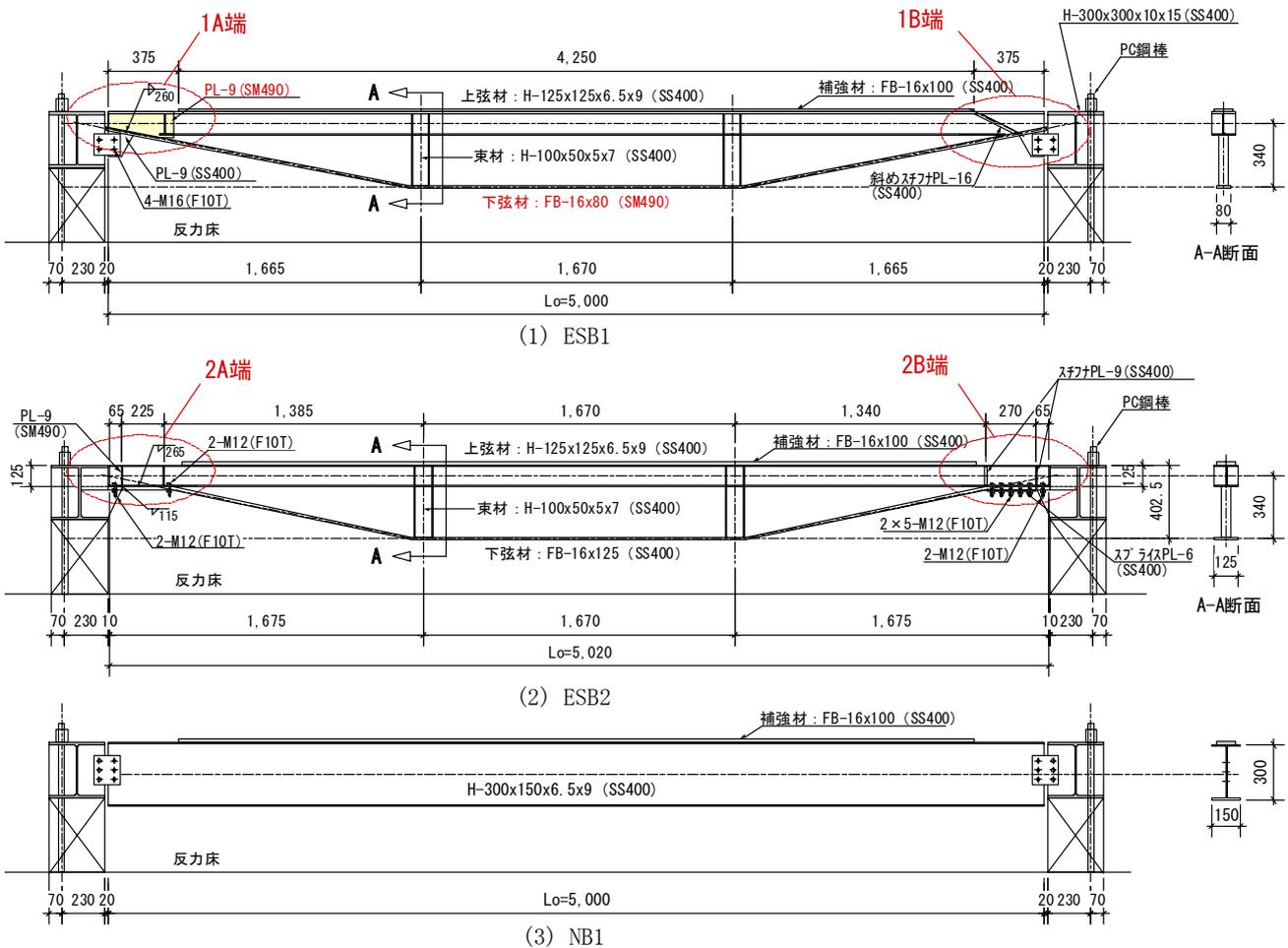


図-3 試験体図

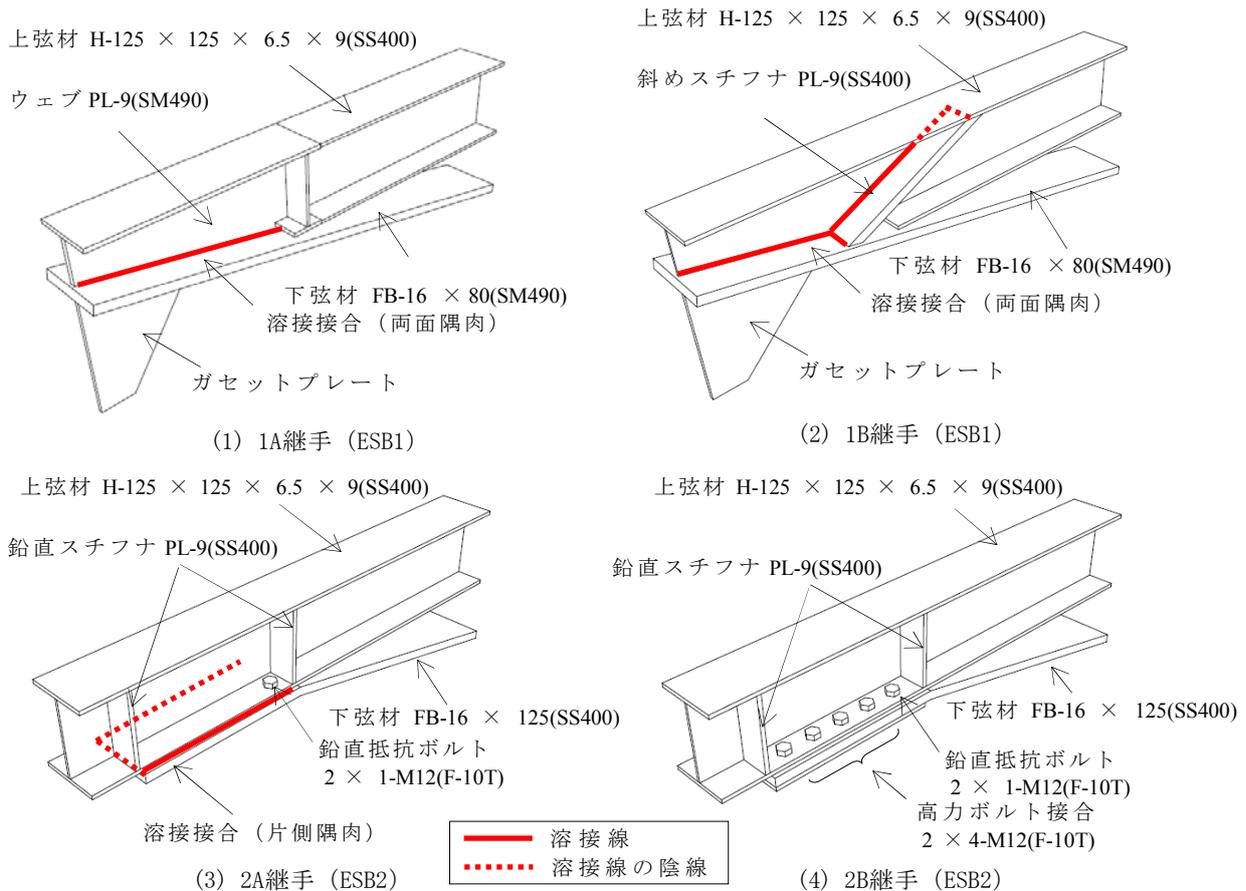


図-4 上弦材と下弦材の継手方法

### 3. 動的繰返し曲げ載荷実験

#### (1) 試験体

図-3に試験体図を、図-4に上弦材と下弦材の継手方法を示す。試験体は実スケールの1/2を想定した内法スパン5mのESB1, ESB2, NB1の3体である。ここで、NB1(H-300 × 150 × 6.5 × 9)は、H形鋼の単一梁を模擬した比較用試験体である。これらの試験体は床スラブを省略したため、合成梁になっていない。ESB1, ESB2の試験パラメータは、上弦材と下弦材の継手方法、および下弦材の断面積と強度種別(以下、SS400の鋼材を普通鋼、SM490の鋼材を高強度鋼と呼ぶ。)である。ESB1の上弦材と下弦材の継手部は、高強度鋼の下弦材を、斜めに隅切りした上弦材のウェブに溶接接合した継手方法となっている。同試験体の1A端の継手部(以下、1A継手)は、普通鋼の上弦材の端部に高強度鋼のウェブを接続したタイプ、1B端の継手部(以下、1B継手)は、普通鋼の上弦材のフランジ内に斜めスチフナを溶接接合し、下弦材との継手部を補強したタイプとなっている。ESB2は、へ字に折り曲げた普通鋼の下弦材の端部を溶接接合し、下弦材との継手部を補強したタイプとなってい

る。ESB2は、へ字に折り曲げた普通鋼の下弦材の端部を上弦材の下面に接合した継手方法となっている。同試験体の2A端の継手部(以下、2A継手)は、溶接接合と剥離防止のための鉛直抵抗ボルトを併用したタイプ、2B端の継手部(以下、2B継手)は、高力ボルトで摩擦接合したタイプであり、内側から1番目のボルトは、2A継手と同様に剥離防止のための鉛直抵抗ボルトとして配置している。

試験体は直交する大梁への支持方法が異なっており、ESB1とNB1はガセットプレートを用いた従来型支持方式、ESB2は大梁に設けた支承板に小梁端部を直載せする支持方式となっている。表-1に材料試験結果を示す。

#### (2) 加力および計測方法

写真-1に加力状況を、図-5に加力方法と計測配置図を示す。加力は500kNアクチュエータを用い、同図(1)に示す大型トラックの対面走行による輪荷重を模擬した4点加力とした。動的繰返し荷重の目標回数は100万回と設定した。これは、想定した物流倉庫に対し、1000m<sup>2</sup>当り7台/日のトラックが建物内に配備されるという仮定のもとに試算した値で、建物の任意の床が供用期間中

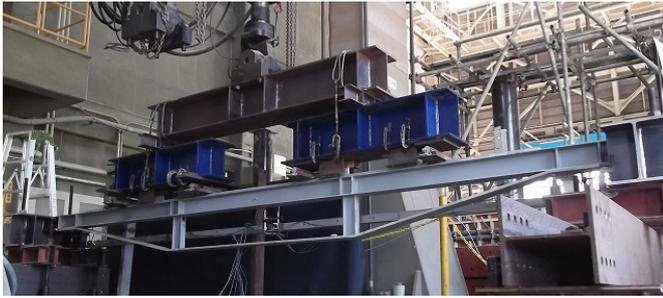
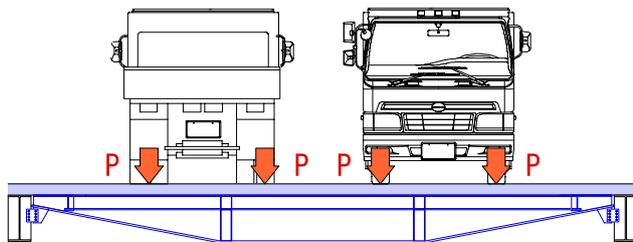
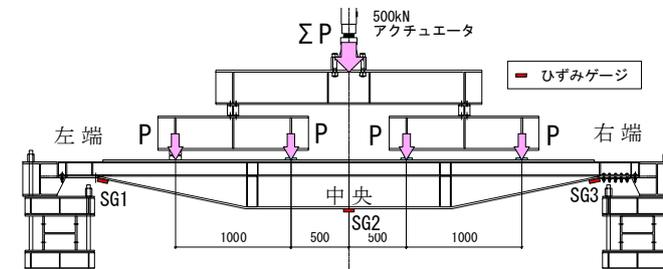


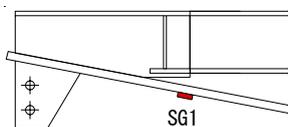
写真-1 加力状況



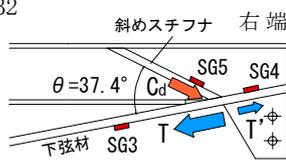
(1) 対面走行するトラックの輪荷重



(2) ESB2



(3) ESB1の1A端



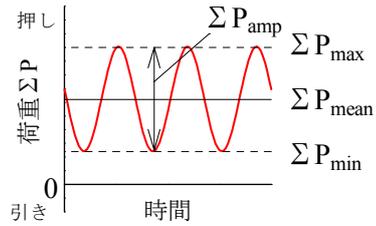
(4) ESB1の1B端

図-5 加力方法と計測配置図

に経験すると予想されるトラックの走行回数である。

図-6に加力波形の概略図を、表-2に加力ケースを示す。加力方法は、アクチュエータの押し側での片振り繰り返し加力とした。加力ケースはケース1、ケース2の2種類とし、これらの加力波形は1.5HzのSin波とした。ケース1の片振幅1/2  $\Sigma P_{amp}$ は、対面走行する車両総重量17tのトラックの輪荷重に、ケース2は対面走行する車両総重量25tのトラックの輪荷重にそれぞれ対応しており、実大スケールの小梁の下弦材に生じる引張応力度に一致させた荷重に、トラック走行時の衝撃に対する割増係数として1.2を乗じた荷重とした。これにより得られた各ケースの荷重を表-2に示した。ケース1,2の荷重振幅 $\Sigma P_{amp}$ はそれぞれ75kN,110kNとなっている。なお、ケース1,2の動的繰り返し加力数の比は7:3程度と仮定した。

加力は、床の固定荷重を想定した平均荷重 $\Sigma P_{mean}$ まで静的に加力した後、動的な加力を行った。動的加力は、



$\Sigma P = 4 \times P$  : アクチュエータの荷重  
 $P$  : トラックの輪荷重  
 $P_{max}$  : 最大荷重,  $P_{min}$  : 最小荷重  
 $P_{mean}$  : 平均荷重,  $P_{amp}$  : 荷重振幅

図-6 加力波形の概要図

表-2 加力ケース

加力ケース	繰返し回数	加力振動数	最大荷重	最小荷重	平均荷重	荷重振幅
		Hz	$\Sigma P_{max}$ kN	$\Sigma P_{min}$ kN	$\Sigma P_{mean}$ kN	$\Sigma P_{amp}$ kN
ケース1	70万回	1.5	100	25.0	62.5	75.0
ケース2	30万回以上		120	10.0	65.0	110

表-3 下弦材応力の降伏点に対する応力比

加力ケース	試験体	下弦材(下フランジ)の降伏点*に対する応力比			
		$\sigma_{max}/\sigma_y$	$\sigma_{min}/\sigma_y$	$\sigma_{mean}/\sigma_y$	$\sigma_{amp}/\sigma_y$
ケース1	ESB1	0.37	0.09	0.23	0.28
	ESB2	0.31	0.08	0.19	0.23
	NB1**	(0.39)	(0.10)	(0.24)	(0.29)
ケース2	ESB1	0.45	0.04	0.24	0.41
	ESB2	0.37	0.03	0.20	0.34
	NB1**	(0.47)	(0.04)	(0.25)	(0.43)

\*材料試験値, \*\*NB1は梁中央の下フランジの値

ケース1の70万回加力が終了した後にケース2を行う手順とし、両者合わせて100万回以上の加力を行うこととした。ケース2に関しては、30万回に達した後も可能な限り加力を続けることとした。表-3に各荷重時における下弦材応力の降伏点に対する応力比を示す。ここで、下弦材の降伏点は表-1に示す材料試験を用いた。最大荷重 $\Sigma P_{max}$ 時のESB1とESB2の応力比は、ケース1でそれぞれ0.37と0.31、ケース2で0.45と0.37となっている。NB1に関しては、梁中央の下フランジに生じる最大引張応力の比で表した。NB1の応力比はケース1で0.39、ケース2で0.47となっている。応力比はいずれも降伏点の2/3 (≒0.67)以下であり、本実験は下弦材の長期許容応力度範囲内での加力となっている。

測定項目は、アクチュエータの荷重、各部の変形、および下弦材のひずみとし、アクチュエータ先端のロードセルにより荷重 $\Sigma P$ を、試験体中央と両端部に設置した変位計により鉛直方向の変形を、下弦材の中央部および両端部に貼り付けたストレインゲージによりひずみを計測した。計測は自動収録装置を使用し、3時間毎に10秒間収録するインターバル計測を行った。

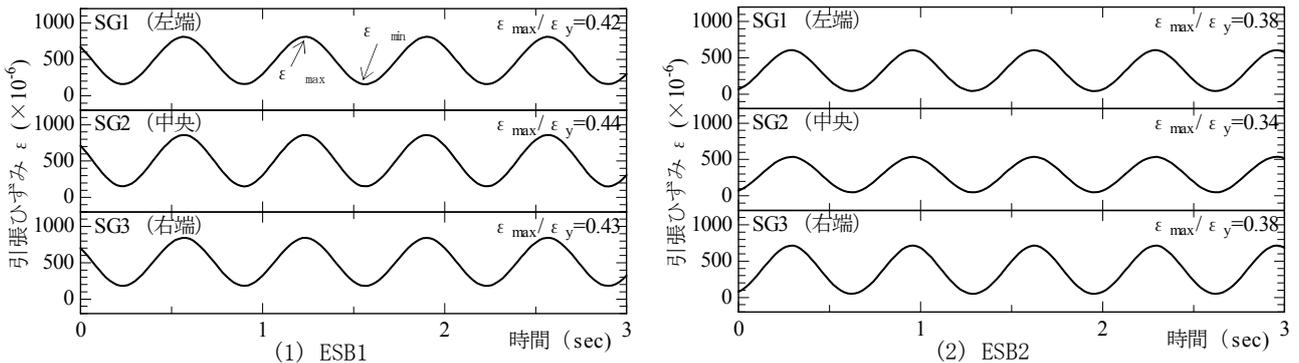


図-7 下弦材の引張力の収録波形 (ケース 2)

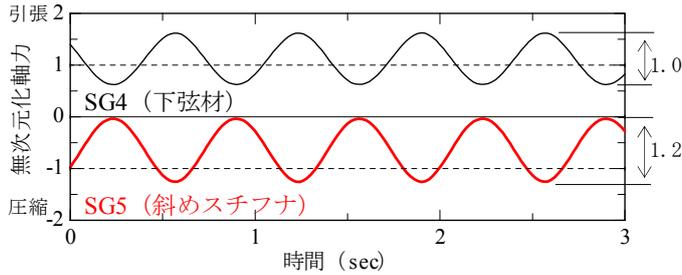


図-8 1B継手の下弦材と斜めスチフナの軸力波形 (ケース 2)

表-4 繰返し加力数の結果

試験体	記号	ケース1	ケース2 (打切り回数)	総繰返し回数 (ケース1, 2合計)	破壊
ESB1	1A	700,000	1,214,885	1,914,885	なし
	1B	700,000	889,438	1,589,438	なし
ESB2	2A	700,000	485,810	1,185,810	なし
	2B	700,000	1,252,129	1,952,129	なし
NB1	-	700,000	1,000,017	1,700,017	なし

表-5 荷重と下弦材の引張応力の結果

加力ケース	試験体	継手	アクチュエータの荷重				下弦材(下フランジ)の降伏点*に対する応力比			
			最大値	最小値	平均値	振幅値	最大値	最小値	平均値	振幅値
			$\Sigma P_{max}$	$\Sigma P_{min}$	$\Sigma P_{mean}$	$\Sigma P_{amp}$	$\sigma_{max}/\sigma_y$	$\sigma_{min}/\sigma_y$	$\sigma_{mean}/\sigma_y$	$\sigma_{amp}/\sigma_y$
			kN	kN	kN	kN				
ケース1	ESB1	1A	102	25.3	63.6	76.6	0.36	0.13	0.24	0.23
		1B	102	25.3	63.6	76.6	0.36	0.13	0.24	0.23
	ESB2	2A	103	32.4	67.9	71.1	0.33	0.10	0.21	0.22
		2B	100	28.0	64.2	72.4	0.33	0.10	0.21	0.23
	NB1**	-	99.4	32.1	65.7	67.3	(0.38)	(0.16)	(0.27)	(0.22)
ケース2	ESB1	1A	116	10.7	63.1	105	0.41	0.08	0.25	0.34
		1B	114	11.0	62.5	103	0.41	0.07	0.24	0.34
	ESB2	2A	119	8.68	64.0	111	0.38	0.03	0.20	0.35
		2B	117	10.1	63.5	107	0.41	0.05	0.23	0.36
	NB1**	-	119	12.6	65.8	106	(0.42)	(0.06)	(0.24)	(0.36)

\*材料試験値, \*\*NB1は梁中央の下フランジの値

(3) 実験結果と考察

a) 下弦材のひずみと繰返し加力数

図-7に、ケース 2 における ESB1 と ESB2 の下弦材のひずみの収録波形を示す。同図 (1) に示す ESB1 の下弦材の最大ひずみ  $\epsilon_{max}$  の降伏点ひずみ  $\epsilon_y$  に対するひずみ比  $\epsilon_{max}/\epsilon_y$  は、0.42~0.44 となり、左端、中央、右端ともにほぼ同値を示した。一方、同図 (2) に示す

ESB2 のひずみ比は、左端と右端が 0.38、中央が 0.34 となり、両端のほうが中央よりも 1 割程度大きな値になった。これは、ESB2 の下弦材両端部への字に曲がった部分が、引張力を受けて直線状に伸びようとする際の、曲げひずみの影響によるものと考えられる。

図-8に、ケース 2 における 1B 継手の下弦材と斜めスチフナの軸力波形を示す。同図の縦軸は、図 -5(4) に示すひずみゲージ SG4、SG5 のひずみ値から求めた当該部の下弦材および斜めスチフナの軸力を、前者の軸力振幅で基準化した無次元化軸力で表している。下弦材と斜め

スチフナの軸力振幅の比は 1 : 1.2 程度となっている。ここで、図 -5(4) に示す下弦材の引張力を T、斜めスチフナの圧縮力を  $C_d$ 、継手内の下弦材の引張力を  $T'$  で表すと、斜めスチフナと下弦材の交点における力の釣合いは式 (1) で表される。

$$T = C_d \cdot \cos \theta + T' \tag{1}$$

ここで、 $T' : C_d \cong 1 : 1.2$ 、 $\theta = 37.4^\circ$  であることから、 $T' : C_d \cdot \cos \theta \cong 1 : 0.95$  と計算される。これは、斜めスチフナが下弦材から伝わる引張力 T の約半分を圧縮力  $C_d \cdot \cos \theta$  として負担していることを示しており、斜めスチフナが継手部の補強材として有効に機能していることを表している。

表-4に繰返し加力数の結果を示す。すべての継手部は、疲労破壊を生じることなく目標値の 100 万回を超える総繰返し加力数に達した。ケース 2 の加力数は、結果

的にすべての継手で30万回以上となり、各々の継手に対する加力は、同表に示す回数まで延長したところで打ち切った。よって、総繰返し加力数は目標回数の1.2～2.0倍程度となった。

総繰返し加力数は、多い順に、2B継手(約195万回)、1A継手(約191万回)、NB1(約170万回)、1B継手(約159万回)、2A継手(約119万回)である。なお、同一試験体であるのに関わらず、各継手部の疲労回数が異なるのは、加力中に両試験体の製作上の不具合が確認され、当該部分の手直しを行った後に再加力を行ったためである。

表-5に荷重と下弦材の引張応力の結果を示す。下弦材の引張応力は、下弦材の降伏点に対する応力比で示した。同表の値は、インターバル計測で得られた複数の計測波形から得られた値の平均値である。アクチュエータの荷重および下弦材の応力比は、ケース1、ケース2ともに表-2、表-3に示した値とおおむね対応している。

**b) 鋼構造設計規準による累積損傷度の検討**

鋼構造設計規準の疲労評価式<sup>1)</sup>に基づき、累積損傷度の検討を実施した。表-6に各継手に対応する基準疲労強さ<sup>1)</sup>と打ち切り限界<sup>1)</sup>の仮定値を示す。各継手部の基準疲労強さと打ち切り限界は検証されていないため、鋼構造設計規準に示された継手の形式のうち、継手部の応力の種類や形状が最も近いと思われる継手の形式を選択し、その基準疲労強さと打ち切り限界を各継手部に対応させた。

鋼構造設計規準によると、垂直応力度およびせん断応力度で繰返した場合の許容疲労強さは、それぞれ式(2)、式(3)で表される。ただし、繰返し応力範囲が表-6に示す打ち切り限界以下の場合、疲労を考慮する必要がないと記されている。一方、累積損傷度<sup>1)</sup>Dは式(4)で表される。同規準によると応力分布のうち任意の応力振幅を $\Delta\sigma_i$ 、その繰返し回数を $n_i$ とし、 $\Delta\sigma_i$ のみが作用したときの破断繰返し回数を $N_i$ とする。 $\Delta\sigma_i$ が $n_i$ 回作用したときの疲労損傷度を $n_i/N_i$ としたときに、各損傷度の合計Dを累積損傷度とすると定義されている。なお、同規準では、D=1のとき疲労破壊が生じ、D<1であれば疲労破壊は生じないと記されている。

$$\Delta\sigma_a = \frac{126}{\sqrt[3]{N}} \cdot \Delta\sigma_F \tag{2}$$

$$\Delta\tau_a = \frac{18}{\sqrt[5]{N}} \cdot \Delta\tau_F \tag{3}$$

$$D = \sum_{i=1}^k \left( \frac{n_i}{N_i} \right) \tag{4}$$

ここで、

- N : 総繰返し回数,
- $\Delta\sigma_a$  : 垂直応力範囲の許容疲労強さ,
- $\Delta\sigma_F$  : 垂直応力範囲の基準疲労強さ,
- $\Delta\tau_a$  : せん断応力範囲の許容疲労強さ,
- $\Delta\tau_F$  : せん断応力範囲の基準疲労強さ,
- D : 累積損傷度,
- $n_i$  : 応力範囲をkグループに分けたi番目の応力範囲の繰返し回数,
- $N_i$  : 応力範囲をkグループに分けたi番目の応力範囲 $\Delta\sigma_a$ あるいは $\Delta\tau_a$ による破断繰返し回数

表-7に各継手の応力算定用の有効断面を、図-9に各継手の溶接長さを示す。各継手の累積損傷度を求めるために必要な $N_i$ は、以下の手順で求めた。下弦材のひずみの測定値の振幅(図-7の $\epsilon_{max}$ と $\epsilon_{min}$ の差)から求めた、図-9に示す引張力の振幅値 $\Delta T$ を、表-7に示す継手の有効断面で除して応力振幅を計算する。ただし、2A,2B継手に関しては、図-9(3)に示す $\Delta T$ の水平成分 $\Delta T_h$ を対象にして計算する。これらを式(2)および式(3)の $\Delta\sigma_a$ 、 $\Delta\tau_a$ にそれぞれ代入して各加力ケースの $N_i$ を逆算する。ここで、継手の有効断面の算定時に必要な溶接長さは、図-9に示す溶接線(赤線)の実長とした。なお、2A,2B継手の鉛直抵抗ボルトは、同図(3)に示す $\Delta T$ の鉛直成分 $\Delta T_v$ を負担する。鉛直抵抗ボルトの疲労の検討に関しては、本報では対象外としている。

表-8に各継手の累積損傷度の検討結果を、図-10、図-11に、表-6に示す仮定した基準疲労強さを用いて計算される1A,1B,2A継手および2B継手の疲労曲線と実験値の対応をそれぞれ示す。図-10のケース1は、打ち切り限界以下の加力、同図のケース2は打ち切り限界以上の加力となっている。一方、図-11はケース1、ケース2ともに打ち切り限界以下の加力となっている。表-8に示したように、ESB1,ESB2の各継手部の累積損傷度は、0.30～0.63となった。一方、NB1に関しては、引張応力が最大となる梁中央の下フランジ部分を対象にしたところ、当該部の累積損傷度は0.33となった。ESB1,ESB2の各継手部は、NB1と同様に、疲労破壊に対して十分な余裕を有していることが推測される。

表-6 各継手の基準疲労強さと打切り限界の仮定値

試験体	記号	継手部の応力の種類	継手の形式*	基準疲労強さ* ( $N/mm^2$ )	打切り限界* ( $N/mm^2$ )
ESB1	1A	せん断応力	隅肉溶接継手	$\Delta\tau_F=80$	$\Delta\tau_{CL}=66$
	1B	せん断応力			
ESB2	2A	せん断応力	高力ボルト摩擦接合	$\Delta\sigma_F=140$	$\Delta\sigma_{CL}=135$
	2B	垂直応力			
ESB1 ESB2 NB1	母材	垂直応力	圧延材, 引抜き材	$\Delta\sigma_F=160$	$\Delta\sigma_{CL}=160$

\*鋼構造設計標準より出典

表-7 各継手の応力算定用有効断面

試験体	継手記号	継手の仕様	継手の有効断面	備考
ESB1	1A	隅肉溶接 (両面)	溶接のど断面 $2 \cdot a \times L_e$	$S$ : サイズ $a$ : 有効のど厚 ( $=0.7S$ ) $L_e = L_w - 2 \cdot S$
	1B	隅肉溶接 (両面)	溶接のど断面 $2 \cdot a \times (L_{e1} + L_{e2})$	$L_{e1} = L_{w1} - 2 \cdot S$ $L_{e2} = L_{w2} - 2 \cdot S$
ESB2	2A	隅肉溶接 (両面)	溶接のど断面 $a \times 2 \cdot L_{ex}$	$L_{ex} = L_{wx} - 2 \cdot S$ 直行方向の隅肉溶接は無視
	2B	高力ボルト接合 (一面摩擦)	下弦材の部材断面	ボルト孔による断面欠損は無視する

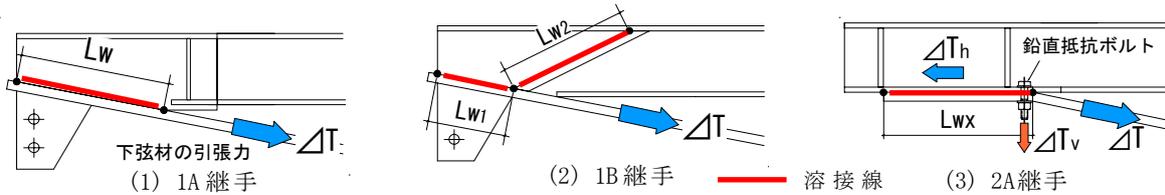


図-9 各継手の溶接長さ

表-8 各継手の累積損傷度の検討結果

試験体	継手記号	継手の応力の種類	基準強度 $\Delta\tau_F$ ( $\Delta\sigma_F$ ) $N/mm^2$	打切り限界 $\Delta\tau_{CL}$ ( $\Delta\sigma_{CL}$ ) $N/mm^2$	ケース1		ケース2			累積損傷度D $\Sigma(n_i/N_i)$	
					繰返し回数	継手部応力振幅 $\tau_a(\sigma_a)$ $N/mm^2$	損傷度 $n_1/N_1$	繰返し回数	継手部応力振幅 $\tau_a(\sigma_a)$ $N/mm^2$		損傷度 $n_2/N_2$
ESB1	1A	せん断	80	66	700,000	47	0.03	1,214,885	68	0.28	0.31
	1B				700,000	41	0.01	889,438	73	0.29	0.30
ESB2	2A	垂直	(140)	(135)	700,000	59	0.08	485,810	93	0.54	0.63
	2B				700,000	(84)	0.07	1,252,129	(133)	0.54	0.61
NB1	梁中央 下フランジ	垂直	(160)	(160)	700,000	(81)	0.04	1,000,017	(133)	0.29	0.33

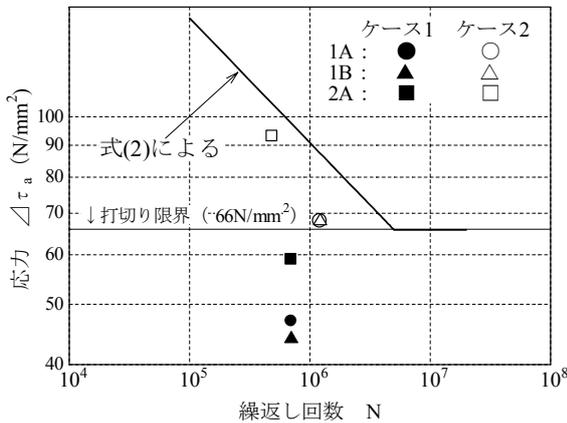


図-10 1A, 1B, 2A継手の疲労曲線と実験値

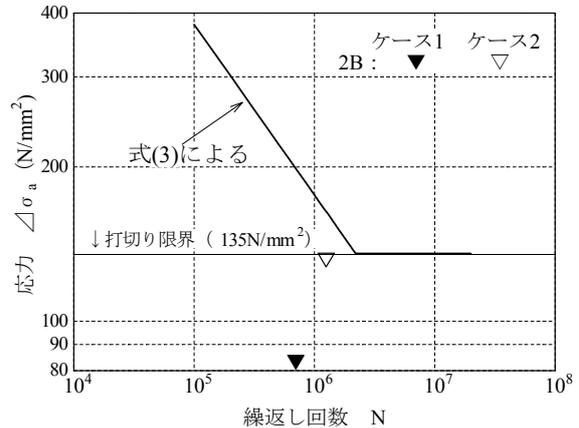


図-11 2B継手の疲労曲線と実験値

#### 4. 疲労後の静的曲げ載荷実験

##### (1) 実験概要

本章では、疲労後の ESB2 と NB1 の耐力検証のために行った静的曲げ載荷実験の結果について報告する。加力方法は、図-5に示す加力図と同一とし、鉛直下向きに一方方向に漸増載荷する加力とした。

##### (2) 実験結果

図-12に ESB2 と NB1 の荷重 - 変形関係を、写真-2に ESB2 の最大荷重時の変形状態をそれぞれ示す。同図の縦軸はアクチュエータの荷重  $\Sigma P$  を、横軸は梁中央部のたわみ  $\delta$  を内法スパン  $L_0$  で除したたわみスパン比  $\delta/L_0$  で表している。ESB2 と NB1 は同等な剛性を有し、たわみスパン比が 0.5 を超える辺りで、ともに剛性低下を生じ

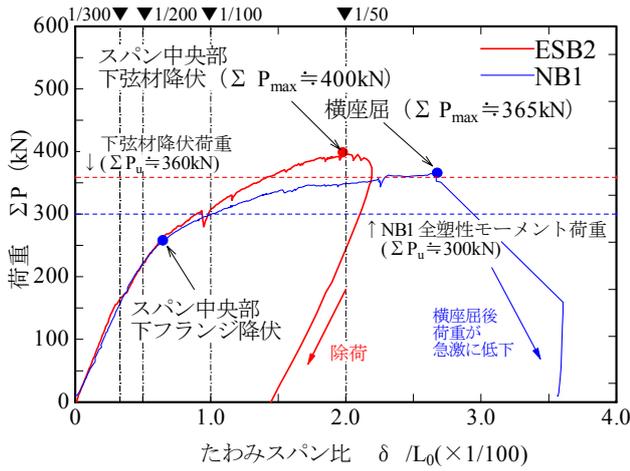


図-12 荷重 - 変形関係

ている。ESB2は $\delta/L_0 \approx 2.0 \times 10^{-2}$ でスパン中央部の下弦材が降伏すると同時に最大荷重 $\Sigma P_{max} \approx 400\text{kN}$ に達した。写真-2に示したように、この時点で上弦材は下向きに湾曲し、曲げ降伏していたと考えられるが、横座屈は確認されず、安定した変形状態を保った。この後、荷重が増加しないことを確認したため、除荷を行った。

NB1は $\delta/L_0 \approx 0.65 \times 10^{-2}$ で梁中央の下フランジが降伏した。その後の荷重の増加はESB2よりも緩やかで、変形が伸びる傾向にあったが、 $\delta/L_0 \approx 2.7 \times 10^{-2}$ で横座屈が生じ、荷重が急激に低下した。横座屈発生時の最大荷重は $\Sigma P_{max} \approx 365\text{kN}$ であった。ESB2とNB1の最大荷重を比較すると、ESB2はNB1の約1.1倍の最大荷重となった。同図には、ESB2の下弦材降伏時の荷重と、NB1が全塑性モーメントに達した時の荷重の計算値を併記した。ESB2とNB1の最大荷重は、耐力計算値のそれぞれ1.1倍、1.2倍程度となり、疲労の影響による耐力の低下は確認されなかった。

## 5. まとめ

平鋼を下弦材に使用した組立て梁の動的繰返し曲げ載荷実験と疲労後の静的曲げ載荷実験を行い、以下の知見を得た。

- ①NB1を含むすべての継手部は、疲労破壊を生じることなく目標値の100万回を超える総繰返し加力数に達し、当該部の健全性を確認した。
- ②鋼構造設計規準の疲労評価式による各継手部の累積損傷度は、0.30～0.63と試算された。各継手部は疲労破壊に対して十分な余裕を有していると推測される。
- ③疲労後の静的曲げ載荷実験によるESB2の最大荷重は、NB1の約1.1倍になった。ESB2は下弦材の降伏と同時に最大荷重に達した。NB1は横座屈を生じ



写真-2 ESB2の最大荷重時の変形状態

荷重が急激に低下した。

- ④疲労後のESB2の最大荷重は、下弦材降伏時の耐力計算値の1.1倍程度となり、疲労の影響は確認されなかった。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - , pp.16-19, pp.61-67, 2005