

大阪大学工学部 正員 前田幸雄
 川崎製鉄株式会社 正員 O村田勝弘
 大阪大学工学部 学生員 宮村隆夫

I. 序論

最近の橋梁構造物は、高張力鋼の開発、普及、技術上、学問上の進歩に伴い、長大化し、また薄肉軽量化される傾向にある。一般に、橋梁構造物を軽量化することは、工費を大いに削減するという点では、極めて望ましいことと言える。しかし、高張力鋼の疲労強度自体、引張強度の示すほど高いものでないことや、軽量化すれば当然活荷重/死荷重の比が大きくなることを考えると、構造物の繰返し荷重に対する強さ、即ち疲労強度が今後問題となってくるであろう。プレートガーダーにおいても支間は長大化しており、大きな曲げに抵抗する必要性が生じているが、曲げ材としてのプレートガーダーを経済的に設計するために、ウェブ厚と従来と殆んどかえすに、桁高を大きくしようとする傾向にある。即ち *slenderness ratio* (ウェブ高/ウェブ厚) の大きなプレートガーダーが用いられる傾向にある。

ウェブの *slenderness ratio* (b/t) が大きくなると、ウェブの座屈応力は小さくなるが、プレートガーダーの場合は、周辺がフランジと補剛材で拘束されており、たとえウェブが局部座屈をおこしても、応力の再配分が生じ、フランジが降伏しない限りには、プレートガーダーは大きい後座屈耐荷力を有するといえる。こうした静的耐荷力に関する研究の成果が、 b/t の大きなプレートガーダーの実用化をもたらしたといえるわけであるが、プレートガーダーが繰返し荷重を受ける場合には、ウェブの繰返し側方変形による二次的な曲げ応力のために、疲れキレツが重要な条件になってくる。

特に、高張力鋼を用いたプレートガーダー、あるいはハイブリッドガーダーの場合には高い曲げ応力の作用が考えられるため、普通のプレートガーダーの場合よりその危険性が高いと考えられる。

Toprac¹⁾ は、純曲げを受けるプレートガーダーの疲れキレツを、圧縮フランジとウェブとの溶接の熱影響部に生じるキレツ (BM-TYPE 1)、垂直補剛材下端付近のウェブに生じる疲れキレツ (BM-TYPE 2)、及び引張フランジに生じる疲れキレツ (BM-TYPE 3) の3種に分類している。(図-1 参照) ここで、BM-TYPE 1 は、先に述べたウェブの側方変形に起因する疲れキレツで、プレートガーダーに特有のものであり、他は桁高の小さな、いわゆる *stocky beam* においてもみられる致命的な疲れキレツと考え

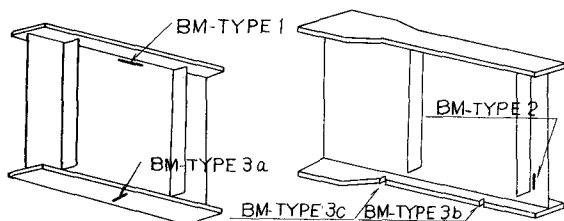


図-1: Topracによる疲れキレツの分類 (純曲げ領域)

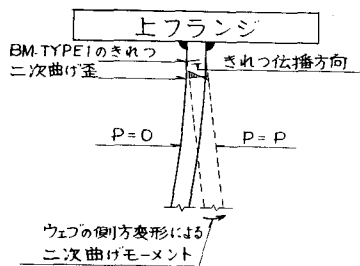


図-2: ウェブの二次曲げ歪とBM-TYPE 1きれつ

られる。従って、プレートガーダーの疲労強度の増大をはかるためには、どうしてもBM-TYPE1の発生阻止、そのためのウェブの側方変形の拘束が必要となってくるのである。(図-2参照)

今回の実験は、 $b/t = 250 \sim 300$ と非常に小さいウェブをもつ実物大プレートガーダー試験体の疲労試験を行ない、繰返し荷重によるウェブの挙動と、その疲労破壊に対する影響を調べ、さらに aspect ratio (a/b)、 b/t 、水平補剛材の有無が、ウェブの側方変形に及ぼす影響を調べることと目的としている。ここで、実物大試験体を用いたのは、疲労試験において特に顕著な寸法効果を除くためである。(表-1、表-2、表-3参照)

II. 試験体及び載荷荷重

(1). 試験体

垂直補剛材は、溶接による引張フランジの疲れ強度の低下をさけるため、引張フランジの上2cmの所で打ち切っている。荷重点とテストパネルの間にせまいパネルを設けた目的は、集中荷重点付近の局部的な応力の影響を減じるためである。

(2). 載荷荷重

試験体は、両端単純支持とし、支点より2.15mの位置に2点載荷とした。従って、テストパネルは一定の曲げモーメントを受けることになる。(図-3参照)

静的載荷試験は繰返し数 0.1^5 、 30^5 、 70^5 、 100^5 、 150^5 、 200^5 において、動的載荷を止めて行った。動的載荷は、繰返し荷重を 28.5 cycle/min で載荷し、約2時間(約35000回)毎にキレツの発生を調べた。(表-4参照)

III. 試験結果とそれ検討

今回の実験では、Topracの分類におけるBM-TYPE2、BM-TYPE3、及びGurney²⁾の分類におけるBS-TYPE2~BS-TYPE5は生じなかった。F-6桁のCrack Iは、Toprac、Gurneyの分類に入らない疲れキレツである。BM-TYPE1のキレツ発生による桁の剛性の低下は、フランジ垂と桁のタワミのいずれにも現われなかった。(図-4、図-5、図-6参照)

(1). ウェブの側方変形

ウェブの荷重による側方変形は、その形と大きさにおいて、初期タワミの影響を大きく受けることがわかった。ウェブが荷重を受けると、一般に初期タワミの凹凸が上方に移動し、さらに、中立軸より上の圧縮部材では、変形は荷重と共に増大し、下側の引張部分では減少した。又、初期タワミが、

材 質	上下フランジ	ウェブ	補剛材
材 厚 (mm)	River Ten 50A	River Ten 50M	River Ten 41A
板 厚 (mm)	11.0	32	6.0
静的降伏点 (kg/cm^2)	4100	4900	2600
静的引張強さ (kg/cm^2)	5300	5700	4100
伸 び (%)	28.0	36.0	29.0

表1: 鋼材の機械的性質

板厚	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Nb
上下フランジ	0.11	0.38	0.91	0.015	0.017	0.25	0.43	0.16	0.009
ウェブ	0.07	0.14	0.37	0.081	0.026	0.43	0.35	0.28	0.028
補剛材	0.10	0.04	0.59	0.016	0.022	0.28	0.22	0.18	—
	0.13	0.03	0.76	0.009	0.011	0.34	0.35	0.15	—

表2: テストパネルの諸寸法

	F-5桁	F-6桁	F-7桁	F-8桁	F-9桁	F-10桁
上下フランジ厚mm	11	11	11	11	11	11
上下フランジ幅mm	220	220	220	220	220	220
ウェブ高mm	800	800	960	960	960	960
ウェブ厚mm	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Slender ratio (b/t)	250	250	300	300	300	300
垂直補剛材間隔mm	800	800	720	720	960	960
aspect ratio (%)	1	1	0.75	0.75	1	1
水平補剛材数	1	0	1	0	1	0

表3: テストパネルの諸元

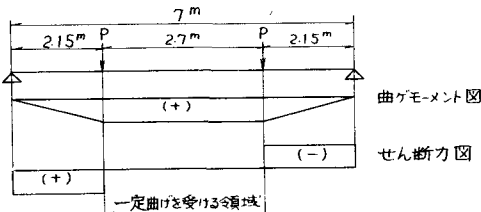


図-3: 載荷点と曲げモーメント及せん断力図

	載荷荷重 (t)		下フランジ応力 (kg/cm^2)		応力振幅
	P_{max}	P_{min}	f_{max}	f_{min}	$f_{max} - f_{min}$
F-5桁	21	8	2001	762	1239
F-6桁	20	8	1895	758	1137
F-7桁	22	6	1694	462	1232
F-8桁	20	6	1534	460	1074
F-9桁	21	6	1616	462	1154
F-10桁	20	6	1534	460	1074

表4: 載荷量と応力

Figure 1 is a schematic diagram of a test specimen, which is a horizontal beam. The beam is divided into several sections by vertical lines. The sections are labeled with Roman numerals: I, II, III, IV, V, and VI. The beam is supported by two vertical supports. The load application points are marked with 'P' and 'Q'. The cracks are labeled 'Crack I', 'Crack II', 'Crack III', 'Crack IV', and 'Crack V'. The dimensions of the beam are given in inches: 160, 36, 24, 20, 395, 10, 15, 175, 15, 15, 10, 30, 15, 210, 150, 30, 40, 20, 10, 175, 55, 15, 20, 425. The load application points are marked with 'P' and 'Q' and the dimensions are given in inches: 80, 95, 85, 100, 110.

Figure 1: Diagram of the test specimen. The top part shows a plan view of the specimen with dimensions in mm. The bottom part shows a side view. The plan view labels "Crack II", "Crack III", and "Crack I" from left to right. Dimensions include 340, 25, 105, 155, 35, 70, 55, 10, 370, 10, 95, 20, 420, 20, 15, 15, 10. The side view shows a cross-section with dimensions 185, 210, 170, and a vertical load P. The bottom dimension is 支間長 7.000.

[illegible]

Figure 1 is a line graph showing the dependence of strain (Strain $\times 10^{-6}$) on the number of stress cycles (Stress cycle) for four specimens: U-1, U-2, L-3, and L-4. The y-axis represents strain, ranging from 600 to 800. The x-axis represents the number of stress cycles on a logarithmic scale, ranging from 10^3 to 10^7 . The graph shows that strain generally decreases as the number of stress cycles increases. Specimens U-1 and U-2 maintain higher strain levels (around 700-750) compared to specimens L-3 and L-4 (around 600-650). Vertical dashed lines labeled I, II, III, IV, V, and VI indicate specific stress cycle counts for each specimen.

図-6: F9 桁のフランジ歪の変化

今回の実験で純曲げ領域に生じたキレツは、全て BM-TYPE / であった。b/t の大きいとが、その原因ではないかと思われたので、Toprac の実験結果と合わせて、b/t と疲れキレツの関係を調べた。(図-9 参照)

F-5桁とF-6桁 ($b/t = 250$), あるいはF-7桁とF-8桁とF-9桁とF-10桁 ($b/t = 300$) について
 シェアの側方変形を比較してみる時、 a/b を小さくすること、水平補剛梁を取りつけることが、BM-

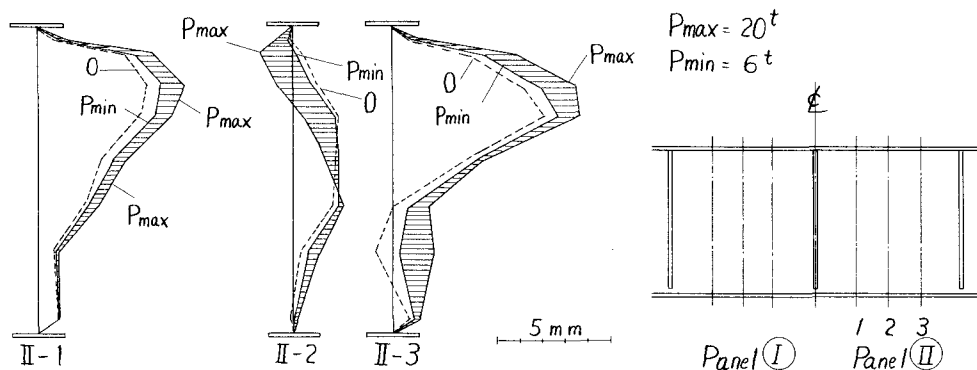


図-7: F-10 桁のウェブの側方変形(繰返数0)

TYPE 1 の発生に関係の深い上フランジ付近のウェブの側方変形拘束に、非常に効果のあることがわかる。表-5 は a/b 、水平補剛材の有無と BM-TYPE 1 発生との関係を調べたものであるが、 a/b を小さくすること、水平補剛材を取りつけることが、BM-TYPE 1 の発生阻止、あるいは発生遅延に効果のあることがわかる。F-9 桁において、BM-TYPE 1 が多数発生しているが、これは補剛材の剛性が小さかったためと思われる。

Ⅳ. 考 察

我々は今回の実験により、繰返し荷重を受ける薄いうエブの挙動と、その疲労破壊に対する影響を知ると共に、 b/t 、 a/b 、水平補剛材の有無と疲れキレツの関係について、次の結論を得た。

- (1). ウェブの側方変形に起因する BM-TYPE 1 の発生は、 b/t がある値以上のプレートガーダーに限られる。その下限値については、実験データの不足から明らかでない。
- (2). a/b を小さく、する事と、水平補剛材を取り付ける事により、BM-TYPE 1 の発生阻止が可能である。

さて、BM-TYPE 1 の発生阻止の可能性が明らかになったわけであるが、この事は今後、プレートガーダーの疲労強度、あるいは疲労破壊に対する安全性を考慮していく上に、極めて重要な意味を持つと思われる。 b/t の大きなプレートガーダーに特有な疲れキレツは、BM-TYPE 1 のみであり、他は stocky beam の場合同様、致命的な破壊といえる。

参考文献

- 1). A.A. Toprac: "Fatigue Strength of Full-Size Hybrid Girders.", Proceedings of the 1963 AISC National Engineering Conference
- 2). T.R. Gurney: "Investigation into the Fatigue Strength of Welded Beams" (Part III: High Tensile Steel Beams with Stiffeners Welded to the Web), British Welding Journal, Sept. 1962
- 3). 渡田凱夫、小林建三 "プレートガーダーの疲労強度に関する研究" 土木学会第24回年次学術講演会講演集 I-57, 1969

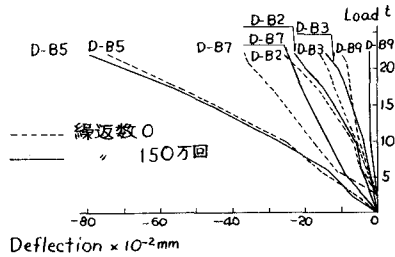


図-8: F-7 桁のウェブの歪み変化

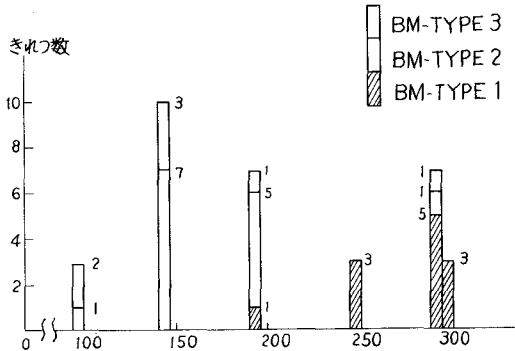


図-9: b/t と疲労キレツの関係

	$b/t = 250$				$b/t = 300$			
	F-3桁	F-4桁	F-5桁	F-6桁	F-7桁	F-8桁	F-9桁	F-10桁
a/b	0.5	0.5	1.0	1.0	0.75	0.75	1.0	1.0
水平補剛材	有	有	有	無	有	無	有	無
BM-TYPE 1 発生数	0	0	0	3(2)	0	2(0)	5(4)	3(3)
BM-TYPE 1 の発生時繰返し回数	—	—	—	405万	—	566万	546万	127万

() 内は、テストパネル内に生じたもの

表-5: 各桁と BM-1 型キレツ発生との関係