

(139) 鋼製橋脚のじん性に及ぼす補剛材の剛性の影響

建設省土木研究所 川島一彦

建設省土木研究所 杉田秀樹

建設省土木研究所○中島 燈

1. まえがき

本文は、鋼製橋脚の合理的な耐震設計法を開発することを目的として、鋼製橋脚のじん性に及ぼす垂直補剛材の剛性の影響について、実験的に検討した結果を報告するものである。

2. 鋼製橋脚の正負交番載荷実験

2.1 実験に用いた供試体

実験に用いた供試体は、図-1及び表-1に示す3体であり、実物の約1/3の相似形で断面が80cm×81.6cmの矩形、高さが7.1mである。3供試体の違いは垂直補剛材の剛比であり、これらの剛比はそれぞれ面板の座屈モードが補剛材を節とするパネル座屈となるために必要な最小剛比の1倍、4倍、6倍である。水平補剛材は、垂直補剛材の剛比を必要剛比とした供試体では60cmの間隔で、必要剛比の4倍及び6倍とした供試体では35cmの間隔で横リブとダイヤフラムを交互に配置した。垂直補剛材は、3供試体とも1枚のウェブもしくはフランジに3枚の縦リブを20cmの間隔で配置した。

鋼材としては、SM490Aを用いた。板厚はウェブ及びフランジでは8mm、水平補剛材では4.5mmである。垂直補剛材の断面は、剛比を必要剛比とした供試体では6×59mm、必要剛比の4倍とした供試体では6×64mm、必要剛比の6倍とした供試体では10×64mmとした。

供試体の設計は、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編に従って行った。

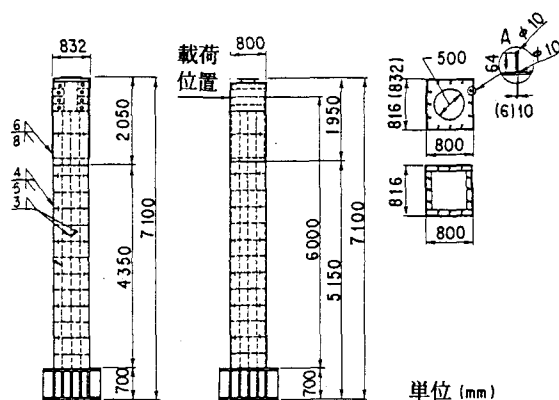
2.2 水平地震力の載荷方法

実験では、模型を床面に水平に寝かせた状態で反力壁に固定させた鋼製台座にボルトで橋脚模型を固定し、橋脚天端を動的加振機によって地震時水平力に相当する水平力を正負交番載荷した。また、橋脚天端には、上部構造の死荷重反力に相当する102tfの軸力を作用させた。

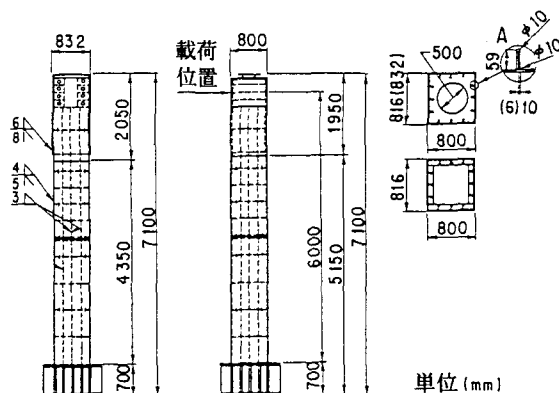
載荷方法では、橋脚基部の降伏変位に相当する変位 δ_y を基本に各10回づつ繰り返した。同一載荷変位における載荷繰り返し回数は実験結果に大きな影響を与えるが、ここでは、従来土木研究所で採用してきた実験方法に従った。

3. 載荷に伴う損傷状況

3体の供試体はともに1 δ_y 載荷時には、アンカーフレームと最下端のダイヤフラムに囲まれたウェブ及びフランジに降伏を示す細い水平線



(a)垂直補剛材の剛比を必要剛比の4倍及び6倍とした供試体



(b)垂直補剛材の剛比を必要剛比とした供試体

図-1 実験に用いた供試体の概要図

表-1 実験に用いた供試体の諸元

供 試 体		剛比を必要剛比とした供試体	剛比を必要剛比の4倍とした供試体	剛比を必要剛比の6倍とした供試体
断面 $b \times (b+2t)$ (mm)		800×816		
補剛板の板厚 t (mm)		8		
載荷高さ (m)		6		
垂直補剛材	断面 (mm)	6×59	6×64	10×64
	パネル数 n	4		
水平補剛材	板厚 (mm)	4.5		
	間隔 (mm)	600	350	
剛比 γ (必要剛比 $\gamma_{1...n}$)		11.03 (>10.38)	14.08 (>3.45)	23.46 (>3.94)
断面積 A (必要断面積 $A_{1...n}$)		3.54 (>1.60)	3.84 (>1.60)	6.40 (>1.60)
$\gamma_1 / \gamma_{1...n}$		1.06	4.08	5.95

(降伏線)が入っただけで特に目立った変形は生じなかった。これ以後の載荷に伴う損傷状況と変形性能は、以下の通りである。

図-2は、垂直補剛材の剛比を必要剛比とした場合の3 δ 載荷後の変形状況を示したものである。面外変形は、基部から約60cmの高さ、すなわち最下端の水平補剛材の位置までの範囲で生じており、他の供試体よりも高い範囲まで変形が及んでいる。変形量は、他の供試体に比べて大きい。変形モードは、垂直補剛材を節とする横方向の変形はあまり見られず、パネル全体が変形するモードに近い。

図-3は、垂直補剛材の剛比を必要剛比の4倍とした供試体の3 δ 載荷後の損傷状況を示したものである。特徴的な点は、フランジ面のある点が外側に変形すると、その上の部分では内側に変形するというように2本の垂直補剛材ではさまれた範囲では凹凸が上下方向に交互に生じる点である。これは、明らかに座屈モードに準じた面外変形が生じていることを示している。また、垂直補剛材位置を節として水平方向にも凹凸の変形が概ね交互に生じている。

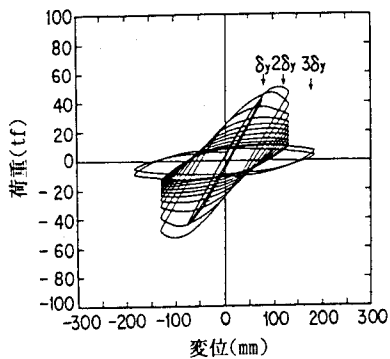
図-4は、垂直補剛材の剛比を必要剛比の6倍とした供試体の3 δ 載荷後の損傷状況を示したものである。面外変形量は3体の供試体の中で最も少ない。変形モードは、垂直補剛材間では上下方向に凹凸が交互する変形が見られるが、垂直補剛材の剛比を必要剛比とした供試体と同様に、垂直補剛材を節とする横方向の変形はあまり見られない。これは、剛比を必要剛比とした供試体とは逆に垂直補剛材の剛性が高いため、パネルが外側に変形した部分では垂直補剛材とパネルの溶接部が破断したため、垂直補剛材を節とする横方向の凹凸が交互に生じにくくなったためである。

4. 鋼製橋脚の耐力及び変形特性

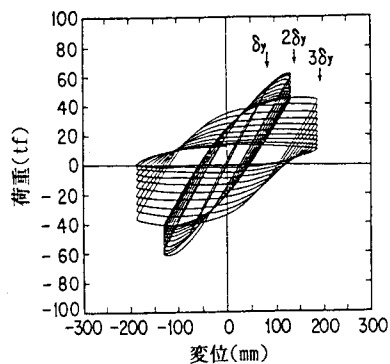
図-5は、各供試体の履歴曲線を示したものである。これらによると、垂直補剛材の剛比を必要剛比とした供試体では、2 δ 載荷に入った最初の載荷時に最大耐力(51.8tf)に達している。その後9回の繰り返し載荷に伴い、耐力は最大耐力の24%にまで低下した。

これに対して垂直補剛材の剛比を必要剛比の4倍とした供試体では、最大耐力は61tfとなっている。その後の繰り返し載荷により、前述したようなパネル面板の面外変形の進行に伴い、耐力は10回目の載荷時には最大耐力の70%程度に低下した。

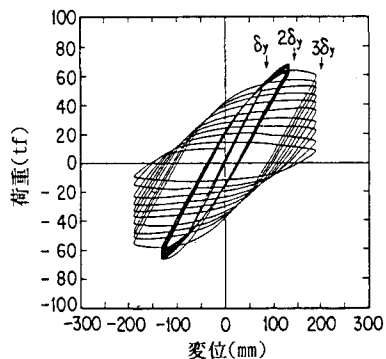
また、垂直補剛材の剛比を必要剛比の6倍とした供試体の最大荷重は67.3tfであり、剛比を必要剛比とした供試体より30%程度大きい値である。2 δ 載荷時での耐力の低下率は、3供試体の中で最も低く10%程度である。しかし、3 δ 載荷になると繰り返しによる耐力低下は大きくなり、剛比を必要剛比の4倍とした供試



(a) 垂直補剛材の剛比を必要剛比とした供試体



(b) 垂直補剛材の剛比を必要剛比の4倍とした供試体



(c) 垂直補剛材の剛比を必要剛比の6倍とした供試体

図-5 供試体の履歴曲線

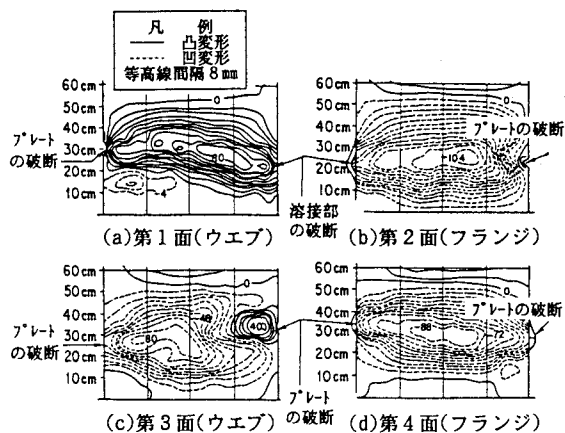


図-2 垂直補剛材の剛比を必要剛比とした供試体の損傷

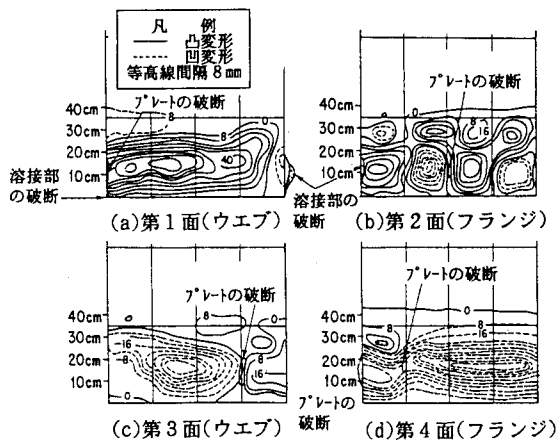


図-3 垂直補剛材の剛比を必要剛比の4倍とした供試体の損傷

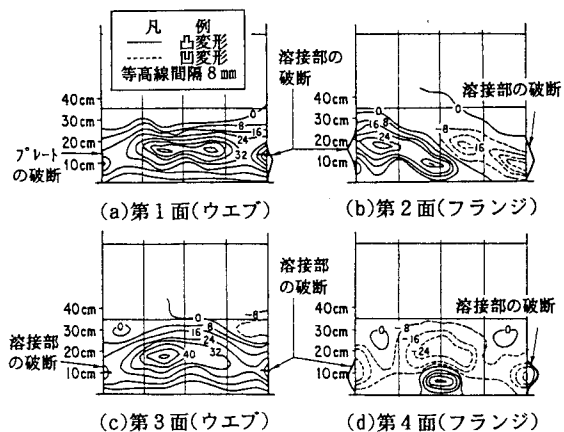


図-4 垂直補剛材の剛比を必要剛比の6倍とした供試体の損傷

体よりも大きい低下率となっている。これは、垂直補剛材の剛性を高めることにより、パネル面板の面外変形を抑えることができ、これにより繰り返し载荷に伴う耐力の低下を抑止することができるが、これも2 δ 、载荷までであり、3 δ 、载荷になると垂直補剛材の剛性が高い分だけ応力はウェブとフランジの溶接部に集中し、ここに大きな破断が生じるためと考えられる。

表一2は、各供試体の耐力と耐震性能を示したものである。また、図一6は、必要剛比に対する垂直補剛材の剛比とじん性率、最大耐力及び最大耐力後の耐力低下勾配との関係を示したものである。ここで、最大耐力後の耐力低下勾配とは、履歴曲線における最大耐力点と3 δ 、载荷の1回目の最大耐力点とを結んだ直線の勾配を示す。これによると、垂直補剛材の剛比を大きくするとじん性率及び最大耐力は直線的に大きくなり、また、最大耐力後の耐力低下勾配は、ほぼ直線的に小さくなっている。したがって、必要剛比に対する垂直補剛材の剛比とじん性率、最大耐力及び耐力低下勾配の間には相関性があることがわかる。

5. まとめ

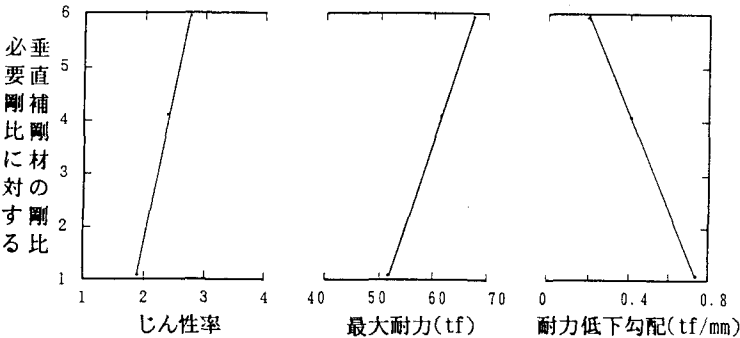
鋼製橋脚模型の動的载荷実験を行い、垂直補剛板の剛性が鋼製橋脚のじん性に及ぼす影響を検討した。これによると、垂直補剛材の剛比とじん性率、最大耐力及び最大耐力後の耐力低下勾配には、明確な相関関係があることがわかった。

[参考文献]

1)Kazuhiko KAWASHIMA、Gregory A. MACRAE and Kinji HASEGAWA :The Strength and Ductility of Steel Bridge Piers Based on Loading Tests、土木研究所彙報、Vol.29、1992.3
 2)川島一彦、Gregory A. MACRAE、運上茂樹、飯田寛之：鋼製橋脚のじん性に及ぼす垂直補剛材の板厚の影響、土木技術資料、Vol.34、No.6、1992.6

表一2 供試体の耐力及び変形性能

供 試 体	剛比を必要剛比とした供試体	剛比を必要剛比の4倍とした供試体	剛比を必要剛比の6倍とした供試体
降伏荷重 P_y (tf)	43.8	45.6	48.8
最大耐力 P_{max} (tf)	51.8	61.2	67.3
P_y/P_{max}	1.18	1.34	1.38
降伏変位 δ_y (mm)	75.1	66.0	65.0
終局変位 δ_u (mm)	143.0	155.3	176.3
じん性率	1.90	2.35	2.71



図一6 垂直補剛材の剛比と各要因との関係