

金属支承の終局水平挙動に関する実験的研究

宇佐美哲¹・阿部雅人²・藤野陽三³・森重行雄⁴・鵜野禎史⁵・柳野和也⁶

¹学生員 工修 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

²正会員 Ph.D. 東京大学助教授 同上

³フェロー Ph.D. 東京大学教授 同上

⁴正会員 日本支承協会 (〒104-0031 東京都中央区京橋 1-1-1)

⁵正会員 日本支承協会 同上

⁶学生員 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

橋梁システムの地震時挙動の予測のためには、各部材の特性を正確に表現したモデルが必要である。しかし、橋梁の重要な構造要素である支承部、特に金属支承については実験例も少なく、地震時挙動が十分に明らかにされていないのが現状である。そこで本研究では、支承本体の耐力と変形性能さらに終局挙動を明らかにする目的で、実大のピン支承とBP-B支承、一本ローラー支承を用いて水平方向載荷実験を行った。載荷実験にあたっては、地震力が主桁に作用することが、挙動が支承部に与える影響を考慮した載荷法を考案した。

Key Words: metal bearing, loading experiment, seismic capacity, pin-type bearing, pot bearing, roller-type bearing

1. はじめに

新設橋、既設橋を問わず、橋梁の耐震性能を評価するためには橋梁の各部材の特性を十分に把握していなければならない。しかし、金属支承については実験例も少なく、地震時終局挙動が十分に明らかにされていないのが現状である。本研究では、実験および解析例のほとんどみられないピン支承、BP-B支承、一本ローラー支承について水平方向載荷実験を行い、支承本体の耐力と変形性能さらに水平力作用時の挙動を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

本研究では支承本体の耐力を明らかにすることが主たる目的であるので、セットボルトに破断が生じないように補強して実験を行った。鉛直2000tf、水平600tfの二軸試験機を使用し、試体は死荷重反力120tf用の実大の支承を用いた。例として図-1に、BP-B支承の取り付け状況を示す。実験では上部構造を模した上部構造模型を支承に取り付けて、死荷重120tfを想定した鉛直荷重を作用させ、水平方向は橋軸方向と橋軸直角方向の2方向に対して行

った。供試体の部材間の摩擦および弾性域の剛性を明らかにするために弾性域内において繰り返し載荷を行う。なお、橋軸直角方向載荷実験においては、実橋において橋軸直角方向に水平力が作用した場合、図-2に示すように主桁の転倒モーメントが発生する。そのことを考慮し、水平方向荷重の増加に伴い鉛直荷重を変動させる実験も行った。表-1に載荷方法を、図3,4,5に使用した供試体をそれぞれ示す。

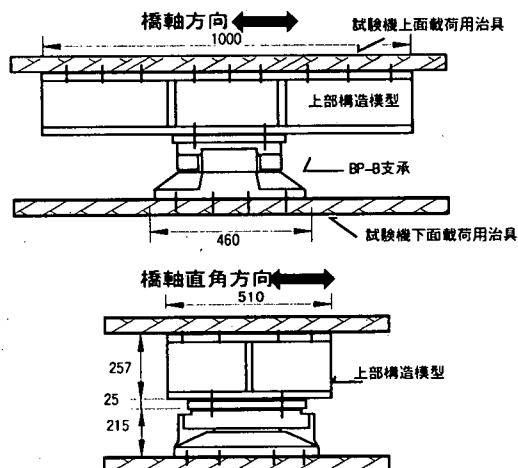


図-1 BP-B 支承二軸載荷実験図

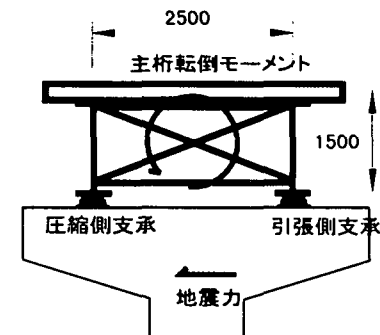


図-2 主桁転倒モーメントによる
支承部の影響

表-1 荷重方法

		鉛直方向	水平方向
橋軸方向荷重		120tf一定	弾性域内繰返し 荷重+破壊まで 一方向荷重
水平方向 荷重	圧縮側支承	120tf一定 $R_d = \frac{V}{2} + \frac{h \cdot R_h}{b}$	弾性域内繰返し 荷重+破壊まで 一方向荷重
	引張側支承	$R_d = \frac{V}{2} - \frac{h \cdot R_h}{b}$	

ここで R_d ; 支承の反力, R_h ; 水平力, V ; 上部構造の
死荷重, h ; 支承から上部構造の重心位置までの距離,
 b ; 支点間距離

3. 実験結果と考察

本研究では、支承の耐力の算出法は支承標準設計
計算例¹⁾を参考に実験状況に合わせて適宜変更して
行った。算定法の詳細は文献²⁾を参照されたい。
大まかな流れとしては、はじめに標準反力による各
部位の応力計算を行い、その結果をもとに式(1)に
より支承各部位における降伏耐力および最大耐力を
予測する。

$$\text{計算降伏耐力} = \frac{\text{降伏応力度}}{\text{設計計算応力度}} \cdot \text{設計水平力} \quad (1a)$$

$$\text{計算最大耐力} = \frac{\text{最大応力度}}{\text{設計計算応力度}} \cdot \text{設計水平力} \quad (1b)$$

ここで降伏応力度、最大応力度とは、単軸引張材料
試験から得られた値である。さらに、実験で得られ
た支承の摩擦をこの計算耐力を加えた。

(1)ピン支承

橋軸方向荷重実験 図-6 に、実験で得られた荷重-
変位曲線を示す。計算に基づく耐力評価からは、上
沓の支承本体の曲げ変形によるピンの抜けだしが予
想されたが、実験では水平方向荷重が200tfに達し

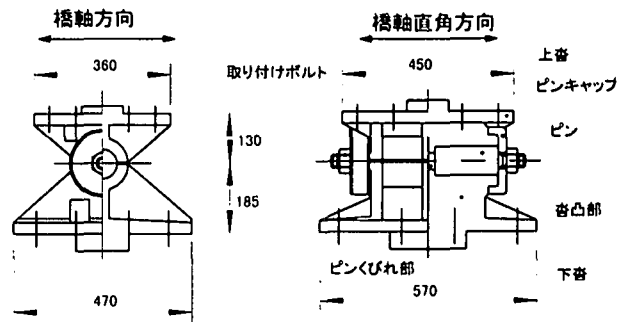


図-3 ピン支承

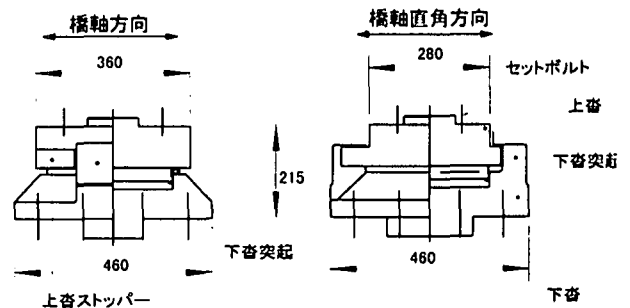


図-4 BP-B 支承

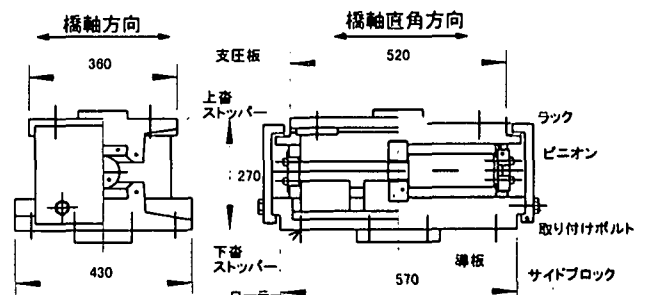


図-5 一本ローラー支承

ても供試体の外見上の変化はみられなかった。供試
体に取り付けたひずみゲージからも上沓本体が降伏
していないのを確認している。図-6 において、水
平力100tfを越えてから傾きがやや小さくなってい
るが、鉛直方向の変位のデータなどから、この現象
はピンが上下沓の沓受け部を乗り越える現象に起因
するものであると判断できる。なお、橋軸方向にお
ける上沓の回転摩擦は、橋軸直角方向荷重実験で得
られた摩擦係数(0.21)から導いている。

橋軸直角方向荷重実験 図-7 に鉛直荷重120tf一定
の場合の荷重-変位曲線を示す。支承の弾性域内
における繰返し荷重では、水平力25tf程度の摩擦
力(摩擦係数0.21)が生じているのが分かる。その後
一方向荷重を行ったが、水平荷重76tfでピンくび
れ部が降伏し、最大荷重点117tfを示してから荷重
は低下に転じ、115tfでピンくびれ部が破断した。
破断面から、破壊は脆性破壊が支配的であると判断
できた。ピンくびれ部の引張耐力の計算値(約50tf)

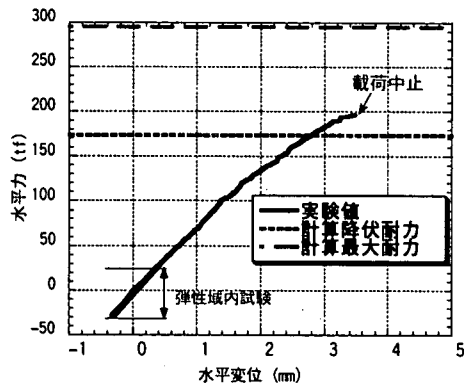


図-6 ピン支承橋軸直角方向載荷実験結果

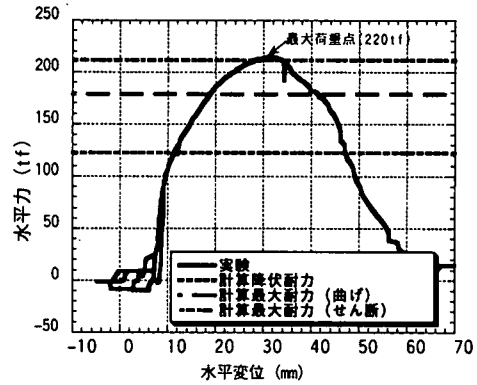


図-8 BP-B 支承橋軸直角方向載荷実験結果

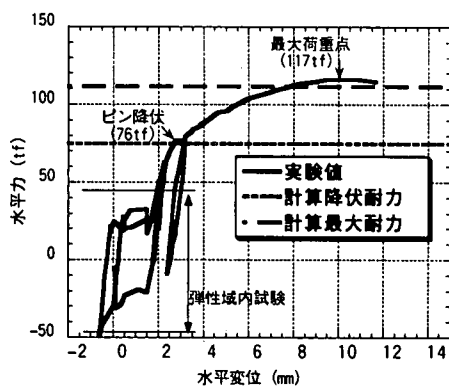


図-7 ピン支承橋軸直角方向載荷実験結果 (鉛直力 120tf 一定)

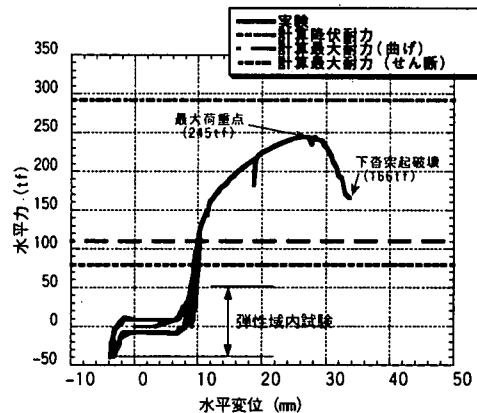


図-9 BP-B 支承橋軸直角方向載荷実験結果 (鉛直力 120tf 一定)

に実験で得られたこの摩擦力を上乗せした耐力は、降伏耐力・破断耐力共に実験値とほぼ等しい。圧縮側、引張側支承の実験に関しても、鉛直力 120tf 一定の場合と同様の破壊モードを示した。圧縮側支承の最大耐力は 123tf、引張側支承では 97tf であった。摩擦を考慮した計算最大耐力値との誤差は、圧縮側で 1%、引張側で 8% となっている。つまり、支承の耐力を精度良く予測するためには、支承の摩擦を考慮することが必要である。

(2) BP-B 支承

橋軸方向載荷実験 水平方向載荷は変位制御で行った。図-8 に計算耐力値と実験で得られた荷重-変位曲線を示す。支承の弾性域内における繰り返し載荷では、水平力 10tf 程度の摩擦力(摩擦係数 0.08)が生じている。これは、可動 BP-B 支承の設計摩擦係数 0.01 とほぼ等しい値である。その後上沓ストッパーが破壊するまで載荷したが、最大荷重点 220tf を示してから反力は低下に転じ、上沓ストッパーは塑性変形を起こしながら破壊した。計算耐力では、上沓ストッパーの曲げ破壊耐力がせん断破壊

耐力に比べて小さかったが、上沓ストッパーはせん断強度に近い値で破壊した。その理由として、上沓ストッパーが変形するに従い荷重作用点位置が上沓ストッパーの付け根部に移動することにより、曲げモーメントが減少したためにせん断破壊モードが発現したものと考えられる。

橋軸直角方向載荷実験 図-9 に鉛直方向荷重 120tf 一定の場合の荷重-変位曲線を示す。水平方向荷重 245tf で最大荷重点を示してから反力は低下に転じ 166tf で下沓突起部が破断した。なお、圧縮側支承の実験では下沓突起が破壊には至らずに水平力 240tf で載荷を中止している。引張側支承の実験では、水平力 220tf で下沓突起が破壊している。いずれの載荷法の実験でも計算最大耐力(この場合は下沓突起の曲げ破壊の強度)を大きく上回る耐力を有していることが分かった。その原因としては、橋軸方向載荷実験の場合と同様に、下沓突起の変形に伴い曲げモーメントが減少したことが考えられる。

(3) 一本ローラー支承

橋軸方向載荷 図 10 から分かるように、ローラー

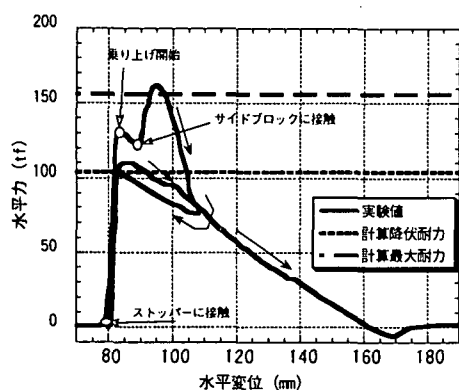


図-10 一本ローラー支承橋軸方向
載荷実験結果

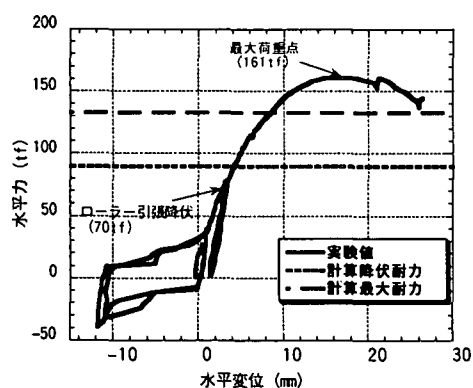


図-11 一本ローラー支承橋軸直角方向
載荷実験結果 (鉛直力 120tf 一定)

が上下沓のストッパーと接触してからは水平力が増加し、水平力 132tf に達した時、ローラーがストッパー部を乗り越え始めた。その現象と同時に水平力は減少し、水平力 122tf で上沓の両端部がサイドブロックに接触すると同時に、水平力は再び増大し始めた。その後、サイドブロックは上沓の抜け出しに伴い、外側に開くようにして変形した。最大荷重点 162tf に達してからは水平力は減少に転じた。図-10 から分かるように、計算最大耐力は 156tf であり、実験値と良い一致を示している。しかし、実験ではローラーがストッパーを乗り越え、当初に予想されたストッパーの破壊とは破壊モードが異なる結果となった。これは、上下沓のストッパーが曲げ変形することにより、ローラーが乗り上がりやすくなったためと考えられる。

橋軸直角方向載荷 ローラーくびれ部が水平力 70tf 付近で降伏後、図 11 では、荷重変位曲線と供に、計算耐力を示している。摩擦係数は弾性域内試験で得られた値 (0.17) を使用している。ローラーが降伏後、ローラー側面が支承のラック(歯車)に、さらに上沓がサイドブロックに接触した状態となっ

た。そのためにこれらの部位の水平耐力も評価する必要がある。そこで、ローラーの引張破断強度(104tf)に、橋軸直角方向の摩擦力(20tf)+ラックのせん断破壊強度(7.8tf)+サイドブロックの復元力(1.5tf)の 3 つの要素を加えて 133tf を計算耐力として評価している。しかし、実験では計算最大耐力を大きく上回る強度を示している。圧縮側支承の実験においては、最大耐力が 198tf に達している。同様の破壊モードを示すピン支承の橋軸直角方向載荷実験と比較すれば、差は大きすぎるといえる。これは、載荷中にローラーが支圧版に引っかかりながら変位するなど、ピン支承に比べて摩擦接触のメカニズムが複雑なことに起因するものと考えられる。

4. 結論

本研究では、各種金属支承の水平載荷時の終局水平挙動を実験的に検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1). ピン支承は橋軸方向載荷においては水平力 200tf までの、橋軸直角方向は破壊時までの耐力と変形性能をそれぞれ実験から得ることができた。橋軸直角方向に関して、耐力の違いは沓とピンとの摩擦を考慮することで予測することができることが分かった。
- 2). 橋軸方向実験における計算耐力照査では、曲げ強度よりもせん断強度の方が良い一致を示している。橋軸直角方向は、荷重作用点の移動に伴うモーメントの変化のために、下沓突起の最大耐力は計算値を大きく上回る。
- 3). 一本ローラー支承に関しては、橋軸方向実験では当初の予測とは破壊モードは異なったが、兵庫県南部地震のローラー支承の損傷状況とは整合している。橋軸直角方向実験では、摩擦力など、ローラーくびれ部以外の、特に摩擦が支承全体の耐力に大きく影響しているものと思われる。

謝辞：本研究を行うにあたって日本鑄造株式会社の石井伸氏には多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋支承標準設計, 1979
- 2) 宇佐美：金属支承の終局水平挙動に関する実験的研究, 東京大学修士論文, 1999