

第 I 部門 軸方向および直角方向変位を載荷する鋼製ベローズの静的繰返し実験

大阪市立大学工学部 学生員 ○平原 慎也 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀
 摂南大学工学部 正会員 頭井 洋 関東学院大学工学部 正会員 田中 賢太郎
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口 隆司

1. 研究背景および目的

兵庫県南部地震以降、多くの高架橋が免震化されてきた。上部構造の免震化により、下部構造へ伝達されている地震時慣性力が低減できる一方で、上部構造の応答変位は大きくなるため、隣接する桁間や桁と橋台の間で衝突が生じやすくなっている。そこで、桁端部での部材干渉を防止し、かつ耐震性を向上できる対策の一つとしてエネルギー吸収型桁連結装置である鋼製ベローズを設置する方法が提案されている。鋼製ベローズは、図-1のように曲げ加工した平鋼板を2枚1組としたもので、桁端部に高力ボルト接合で取り付ける。これが表-1に示す要求性能を満足できれば、桁の衝突防止や落橋防止の効果も期待できる。さらに、反力分散型ゴム支承と組み合わせることで、高減衰ゴムを用いる免震支承と同等の耐震性能をより経済的に発現することができる¹⁾。



図-1 鋼製ベローズ

表-1 要求性能

常時	桁の温度収縮、L1地震動などの小さい変位に対しては損傷しない
大地震時	L2地震動などの大きい変位に対しては塑性変形しそのエネルギーを吸収する

そこで、本研究では支間長 30m で両端を橋台に挟まれた 4 本主桁 3 径間連続免震高架橋(橋脚高さは 10m、震度換算強度は 0.6)を想定し、それに適用可能な鋼製ベローズを対象として、静的くり返し実験を実施している。その結果をもとに FEM 解析で実験を再現できるような鋼製ベローズの材料定数を求めることを目的としている。

2. 鋼製ベローズの静的載荷実験

2.1 実験供試体

実験供試体の寸法を図-2に示す。この実験供試体は想定した高架橋用に設計された鋼製ベローズの1/2の縮尺模型であり、高さは100mm、板厚は9mmである。鋼材はSM400(降伏点 $\sigma_y = 288 \text{ N/mm}^2$,引張強度 $\sigma_m = 437 \text{ N/mm}^2$)を使用した。

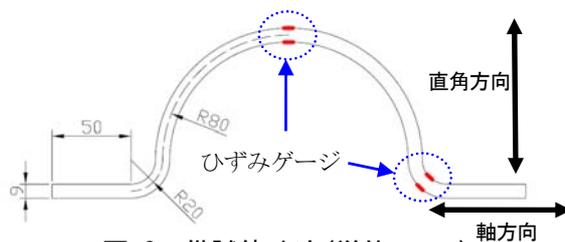
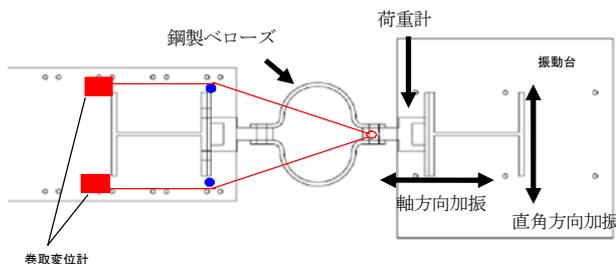


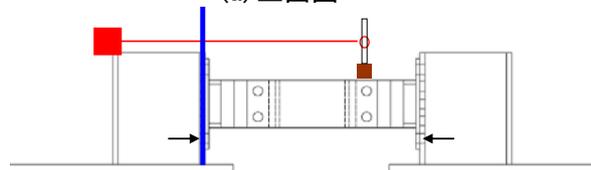
図-2 供試体寸法(単位: mm)

2.2 実験方法および計測項目

鋼製ベローズを振動台と試験床のそれぞれに固定されたH型治具間に固定し、軸方向、直角方向のそれぞれに強制変位を載荷し、静的載荷実験を行う。載荷変位は軸方向、直角方向ともに $\pm 10\text{mm}, \pm 30\text{mm}, \pm 50\text{mm}$ を各3サイクルである。



(a) 上面図



(b) 側面図

図-3 実験概要

変位は巻取変位計、荷重は治具に貼付したひずみゲージで計測した。さらに、図-2の丸で囲んだ部分にひずみゲージを貼付した。

2.3 供試体の FEM 解析

鋼製ペローズは製作時に塑性変形しており、その材料定数は材料試験の結果とは異なる。そこで、鋼製ペローズの荷重-変位関係を検討するために実験供試体の FEM 解析を行った。解析モデルは三角形板要素で構成し、片端を固定しもう片方の端部に強制変位を与えた。解析モデルは図-4 に示すように高さ方向に 1/50 部分のみを取り出しモデル化している。材料定数には実験供試体の製作に用いた平鋼板の材料試験結果を参考に、表-2 に示す降伏点と 2 次勾配を設定した計 3 ケースの解析を行った。与えた変位は軸方向、直角方向ともに±50mm で、軸方向には、圧縮方向から与えた。解析には弾塑性有限変位解析プログラム EPASS/USSP を用いた。

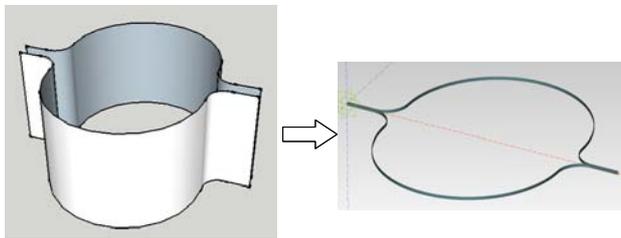


図-4 解析モデル

表-2 材料定数

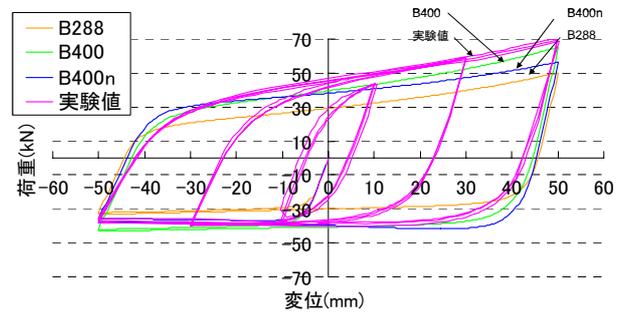
解析ケース	B288	B400	B400n
材料	SM400		
ヤング係数 E_1 (N/mm ²)	1.99×10^5		
降伏点 σ_v (N/mm ²)	288	400	400
2次勾配 E_2	$E_1/100$	$E_1/100$	0
ポアソン比 ν	0.3		

3. 実験結果と解析結果の比較

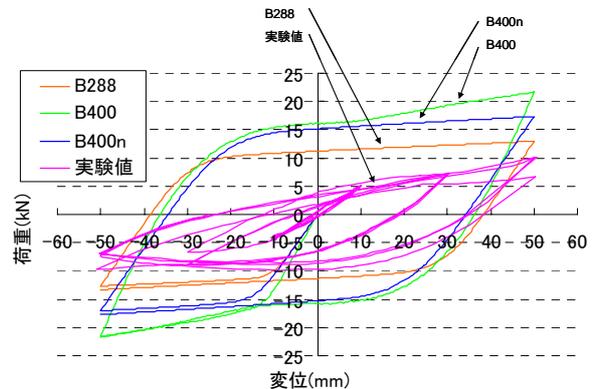
図-5 に実験および解析より得られた荷重-変位履歴曲線を示す。引張を正、圧縮を負とした。図-5(a) より、軸方向においては、材料試験結果の降伏点を用いた解析モデル B288 および 2 次勾配を 0 とした B400n では引張荷重が低く実験結果を適切に再現できていない。一方、高い降伏点および 2 次勾配を考慮した B400 では実験結果を精度よく再現できている。図-5(b) の直角方向では、解析結果と実験結果に大きな差が認められる。ただし、載荷実験において、H 型治具のねじれ変形が認められたことから、荷重の算定を見直す必要がある。解析結果によると、荷重-変位曲線は原点を基準に点対称の安定したループを描いていることがわかる。

つぎに、表-3 にはエネルギー吸収量を示す。エネ

ルギー吸収量は荷重-変位曲線が 1 周したときの面積で表している。同表より、B400 が実験に近い値を示しており、塑性変形による降伏点の上昇および 2 次勾配が解析結果に大きく影響することがわかる。



(a) 軸方向



(b) 直角方向

図-5 実験結果と解析結果の比較

表-3 エネルギー吸収量

実験・解析ケース	エネルギー吸収量(kN・mm)
実験	7.19×10^3
B288	5.48×10^3
B400	7.15×10^3
B400n	7.03×10^3

4. まとめおよび今後の課題

本研究では、鋼製ペローズの挙動を検討するために静的繰返し載荷実験を行った。その結果得られた主な結果は次のとおりである。1) 材料試験で得られた降伏点を用いて FEM 解析を行っても実現象を再現できない。2) 精度良い荷重-変位関係の算定には、降伏点の上昇、2 次勾配を適切に設定する必要がある。今後の課題としては、直角方向繰返し載荷実験の結果の再検討、およびそれらの結果を踏まえた動的繰返し載荷実験の実施が挙げられる。

参考文献

- 1) 田中 賢太郎・頭井 洋・北田 俊行：エネルギー吸収型桁連結装置の都市高架橋への適用，鋼構造論文集，第 10 巻，第 40 号，日本鋼構造協会，pp.53-63，2003.12