

地震時を想定した複合荷重作用下の鋼製支承の終局耐荷性能および破壊過程に関する解析的検討

九州大学 学生会員 ○Ulziinaran Ochirbaatar

九州大学大学院 正 会 員 玉井 宏樹

九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. はじめに

平成 28 年 (2016 年) 熊本地震では多くの橋梁が被害を受けた。これらの被害を踏まえて、新たな耐震設計や耐震補強のあり方を考えることは重要であり、著者らは、上・下部工の荷重伝達の重要な役割を担う鋼製支承が多く損傷したことに着目し、鋼製支承の終局耐荷性能および破壊過程に関して研究をしてきた¹⁾。鋼製支承の終局状態については、兵庫県南部地震以降に実験的な研究²⁾など実施されているが、地震時に想定される複合荷重下の支承構成要素間の荷重伝達を明らかにした上で破壊過程を論じるものは多くない。そこで、本研究では、有限要素法 (FEM) による詳細モデルを作成し、地震時に想定される複合荷重をいくつか設定し、固定式のピン支承と BPB 支承の静的プッシュオーバー解析を実施することで、それらの終局耐荷性能や破壊過程について検討した。

2. 解析手法及び解析モデル

2.1 概要

本研究では、非線形有限要素解析汎用ソフトウェア MSC.MARC2019 を用いた。解析対象は、日本道路協会標準設計における支承設計反力が 1500kN のピン支承と BPB 支承とした。それぞれの解析モデル図を図 1 に示す。解析モデルは CAD 図面からすべてのパーツを 3 次元ソリッド要素で忠実にモデル化し、パーツ間は接触・摩擦モデルを導入した。摩擦モデルにはせん断摩擦を採用し、摩擦係数を 0.25 とした。また、BPB 支承に一部ゴム材料 (弾性体) があるが、それ以外の鋼製要素は、すべて材料定数には材種ごとに規格値を採用し、降伏条件は von Mises に従う等方硬化則の弾塑性体とした。なお、非線形計算にはニュートンラプソン法、アップデートラグランジュ法を用いた大変形解析とした。

2.2 解析ケース

地震時に想定される複合荷重状態として、死荷重 (ピン支承 1200kN, BPB 支承 975kN)、死荷重+水

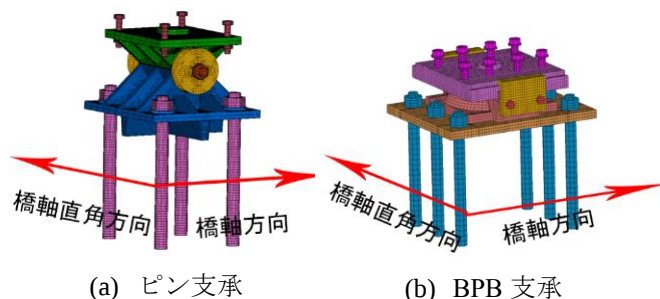


図 1 解析モデル

平載荷、上揚力 (ピン支承 243kN, BPB 支承 293kN)、上揚力+水平載荷、回転のケースを設定した。水平載荷はその載荷方向の影響を確かめるため、図 2 に示すように、橋軸方向、30°、45°、60°、橋軸直角方向に強制変位を与えるケースを設定した。

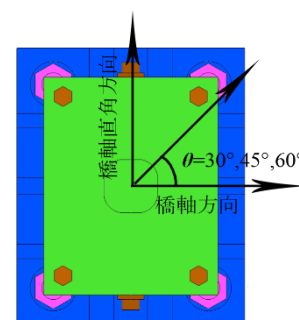


図 2 水平載荷方向 (ピン支承)

2.3 妥当性確認

モデルの妥当性を確認するため、死荷重+水平載荷 (橋軸方向) のケースで既往の研究²⁾で得られている実験結果との比較を実施した。紙面の関係上、ここではピン支承の荷重 - 変位関係のみを図 3 に記す。この図より、初期の勾配は若干異なるものの、セットボルト破断前においてはピン支承の耐荷挙動を概ね再現できているといえる。

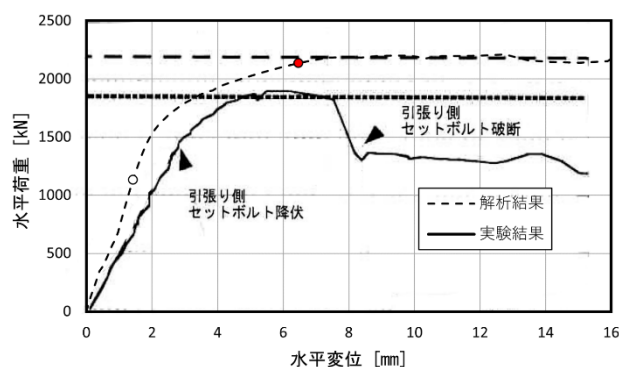


図 3 実験結果との比較 (ピン支承)

3. 解析結果及び考察

紙面の関係上,ここでは,水平載荷方向の影響についてのみ結果を記す。

3.1 ピン支承について

図 4(a)に水平載荷方向の影響について記す。どの方向に対しても設計荷重を上回る十分な耐荷力を有していたが,設計荷重に満たない荷重状態で一部の接触面において塑性化が生じた。また,図 5(a)より,橋軸方向と角度 30° の場合は上沓の回転によりセットボルトが引張破断し脱落に至ること,図 5(b)より角度 45° と橋軸直角方向の場合はピンくびれ部が上下沓の凸部と接触することで,最終的にはくびれ部が引張破断することが推察された。図の記載はないが,死荷重+水平載荷よりも上揚力+水平載荷のほうが明らかに耐荷力が低下することがわかった。これは,上沓の浮き上がりに伴い,上沓とピンの接触面積が減少することによるものであると推察される。

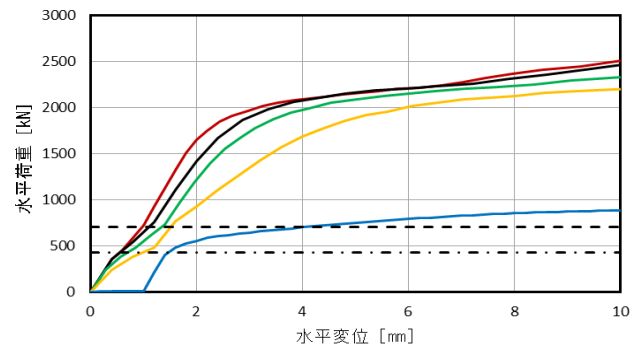
3.2 BPB 支承について

図 4(b)に水平載荷方向の影響について記す。この図より,ピン支承と同様に,橋軸方向と角度 30° , 角度 45° と橋軸直角方向のケースはそれぞれ類似の耐荷性能を示した。ピン支承で著しい耐荷力の低下が見られた橋軸直角方向においても BPB 支承の場合は耐荷力を有していることもわかった。また,図 6 より,上沓と下沓の接触部での損傷やセットボルトの破断が生じることが推察された。図の記載はないが,死荷重+水平載荷も上揚力+水平載荷も耐荷力に大きな違いは見られなかった。

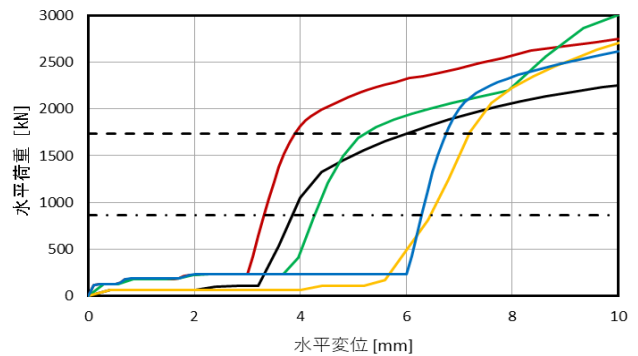
4. 結論

本研究で得られた成果を以下に記す。

- 1) 鋼製支承 (ピン支承, BPB 支承) の FEM 解析詳細モデルを用いて,既往の実験結果を再現できることを確認した。
- 2) 水平載荷方向の違いによる支承の耐荷性能や破壊挙動を明らかとした。両支承ともに水平載荷方向 (0 度:橋軸, 90 度:橋軸直角方向) が 45° を境に,荷重の伝達経路が変わり,最終的な破壊挙動が変わることが確認できた。
- 3) 上揚力の影響によりピン支承の耐荷力は大きく低下するが, BPB 支承の場合は上揚力にもかなり抵抗できることを確認した。



(a) ピン支承



(b) BPB 支承



図 4 水平載荷方向の影響

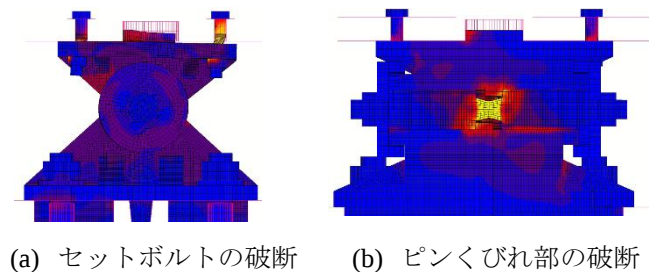


図 5 終局状態での応力状態 (ピン支承)

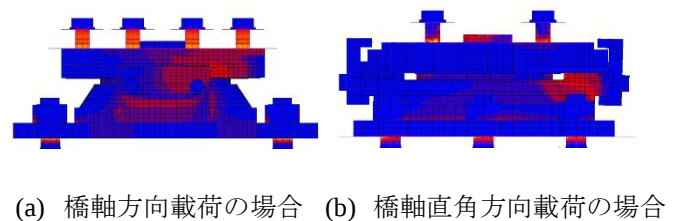


図 6 終局状態での応力状態 (BPB 支承)

以上を踏まえ,今後,動的耐荷性能について明らかにする予定である。

参考文献

- 1) H.A. Gibe, H.Tamai, Y.Sonoda: Numerical Study on Failure Process and Ultimate State of Steel Bearing Under Combined Load, *Heliyon*, Vol.6, Issue 4, e03764, 2020
- 2) 阿部雅人ら: 金属支承の水平終局挙動, 土木学会論文集 No.773/I-69, 63-78, 2004.10