

シングル球面すべり支承を有する橋梁の活荷重時挙動に関する検討

宇都宮大学 正会員 ○大藪 宏文 藤倉 修一
 正会員 Nguyen Minh Hai
 フェロー会員 中島 章典
 鉄建建設株式会社 非会員 前鶴 菜摘
 日鉄エンジニアリング株式会社 正会員 山崎 伸介 野呂 直以

1. はじめに

近年発生した東北地方太平洋沖地震及び熊本地震等において積層ゴム支承の破断等の損傷が確認されている。このことより、積層ゴム支承だけに頼るのではなく、別のタイプの免震支承の開発が重要となっている。そこで、米国等で採用されている球面すべり支承に注目した。球面すべり支承は振り子運動による復元機構と、摩擦力による減衰機構を有する。球面すべり支承の固有周期は上載荷重の影響を受けず、コンケイブプレート（凹型プレート）の球面半径に依存するので、長周期化が容易であり、また、支承本体の構造高が低いため、免震設計を利用した支承取替のような設置スペースの制約が大きい場合に有効である等の利点が球面滑り支承にはある^{1,2)}。

球面すべり支承についての研究は、地震時の挙動に着目したものが主に行われているが、球面すべり支承を橋梁に適用するためには、設計荷重に対して支承が適切に機能することを確認する必要がある。これまでに、常時設計荷重の中の活荷重に着目してダブル球面すべり支承の載荷実験及び解析が行われたが、支承が回転に追従できず、スライダの一部に応力集中が生じている可能性があることが指摘されている³⁾。そこで本研究ではシングル球面すべり支承によって支持された橋梁模型桁に対する静的載荷実験を行い、活荷重作用時の球面すべり支承の挙動を調査した。また、有限要素解析を行うことでスライダの応力状態を調べた。

2. 支点部のたわみ角の算出

実橋梁を想定して、活荷重作用時の桁のたわみや支点部のたわみ角を算出した。対象橋梁は支間長 34m、車道部幅員 8m、歩道部幅員 3m の非合成単純鋼桁橋とした。設計荷重は道路橋示方書⁴⁾に準じて B 活荷重とし、支点部のたわみ角に着目した影響線より、桁端部から 10~20m の区間に 43.45kN/m、その他の区間に 11.27kN/m の活荷重を載荷した。その結果、活荷重作用時の支点部のたわみ角は 0.00465rad となった。また、支間中央部のたわみが許容値の 57.8mm に達する時の支点部のたわみ角は 0.00544rad となった。

3. シングル球面すべり支承

本研究で使用したシングル球面すべり支承を図 1 に示す。シングル球面すべり支承はスライダ、コンケイブプレート及びヒンジ部を有するベースプレートの 3 つの部材から成る。スライダ（材質 SS400）は上下面に球面を有し、それぞれすべり面とヒンジ部の曲面に対応している。すべり面に接するスライダの表面には、PTFE 織物と接着性を高めた高強度繊維の二重織物

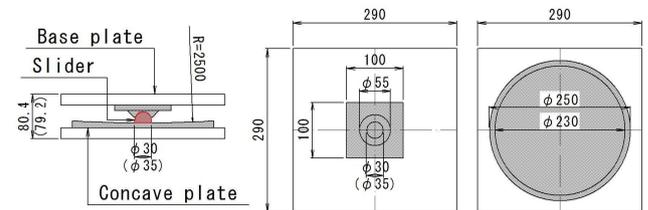


図1 シングル球面すべり支承

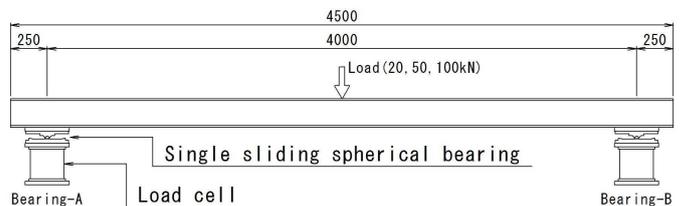


図2 載荷試験全体図

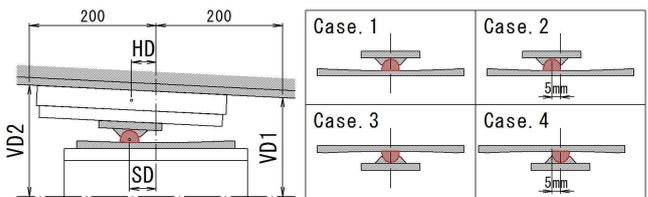


図3 計測位置

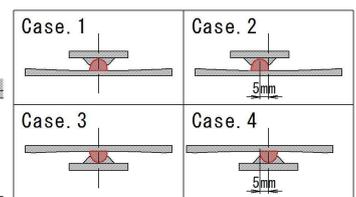


図4 実験ケース

から成るすべり材を貼付した。コンケイブプレート（材質 SUS304）は球面半径 2500mm で凹型に加工し、このすべり面をスライダは摺動する。ベースプレート（材質 SS400）のヒンジ部は、スライダを中心として回転するヒンジ構造となっており、ベースプレートまたはコンケイブプレートの回転に追従できる。

梁試験体として試験体 1（H 形鋼、高さ 200mm、幅 200mm、ウェブ厚 8mm、フランジ厚 12mm、長さ 4.5m）と試験体 2（H 形鋼、高さ 300mm、幅 150mm、ウェブ厚 6.5mm、フランジ厚 9mm、長さ 4.5m）を用いた。

スライダの直径は活荷重載荷時に面圧が 30MPa 程度になるように決め、試験体 1 及び 2 で、それぞれ 30mm、35mm とした。

4. 実験方法

載荷実験状況を図 2 に示す。2 基のシングル球面すべり支承で支持された梁試験体の支間中央に集中荷重を載荷した。載荷荷重は 20、50、100kN までの繰返し漸増載荷とし、載荷開始から 100kN の除荷が完了するまでを 1 サイクルとした。20kN は初期載荷、50kN はたわみ角 0.00465~0.00544rad を想定した荷重である。また、100kN は支間中央の H 型鋼下フランジがおおよそ降伏する直前の荷重である。梁試験体のセッティング後の 1 サイクル載荷を 1 回目載荷とし、その後そのままの状

キーワード 免震構造、球面すべり支承、活荷重、載荷試験

連絡先 〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 Tel. 028-689-6227

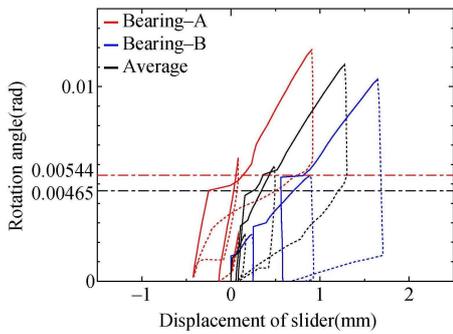


図5 たわみ角—スライダ変位関係
試験体1 ケース1(1回目载荷)

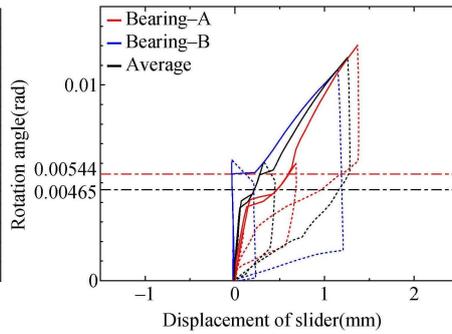


図6 たわみ角—スライダ変位関係
試験体1 ケース1(2回目载荷)

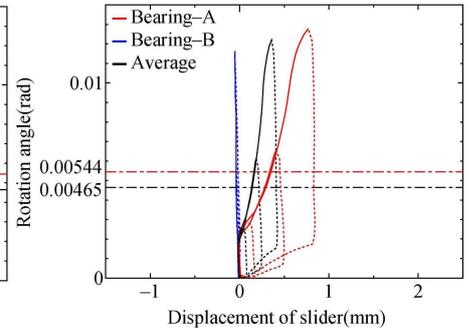


図7 たわみ角—スライダ変位関係
試験体1 ケース3(2回目载荷)

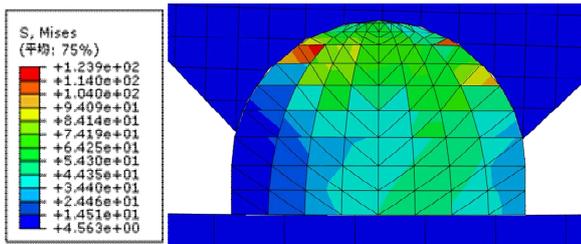


図8 FEM解析によるスライダの応力状態

態でイニシャルをとり、さらに1サイクルの载荷を行ったものを2回目载荷とした。

図3に示すように、高感度変位計を用いて荷重载荷時の初期位置に対するスライダの水平変位SDと上プレートの水平変位HDを計測した。また、支点部のたわみ角を算出するため、支承の中心からスパン方向に±200mmの位置において鉛直変位VD1, VD2を計測した。

実験ケースを図4に示す。すべり面が下に位置し、スライダが中心にある場合をケース1、スライダを5mmずらした場合をケース2とした。また、ケース1, 2において、スライダとすべり面の上下を逆にした場合をそれぞれケース3, 4とした。

5. 実験結果

試験体1, ケース1のたわみ角—スライダ変位関係を図5~7に示す。横軸はスライダ変位、縦軸は支点部のたわみ角であり、スライダ変位は支間中央より外側への変位を正としている。スライダは载荷と除荷の開始時には動かず、ある角度から動きはじめる傾向が見られた。図5の1回目载荷終了時にはスライダは元の位置に戻らず残留変位を生じた。その状態でイニシャルをとり、2回目载荷を行ったところ、図6に示すように载荷終了時にはスライダに残留変位はなく、元の位置に戻る原点指向型の履歴を示した。これはセッティング時に生じたわずかなずれが1回目の载荷サイクルにより解消され、2回目载荷の開始位置にスライダが戻ったためであると考えられる。

図7はケース3の結果である。支点Aのスライダのみが変位を生じており、原点指向の履歴となっているが、支点Bのスライダは動かなかった。図6と図7からスライダ変位の平均の最大値を比較すると、ケース1では1.28mm、ケース3では0.36mmと、ケース3の方が変位が小さい。黒線で示した平均の履歴曲線については、ケース1とケース3で载荷開始時と除荷開始時のスライダが動かない状態に差があるものの、

いずれも台形状の履歴である。これらの結果は、試験体2でも同様の傾向であった。

6. 解析的検討

構造の対称性を利用して、橋梁模型桁の1/2をモデル化した。梁試験体と支承に平面要素を用い、それぞれの要素に鋼材の完全弾塑性材料モデルを適用した。スライダとすべり面の接触面は摩擦接触とし、摩擦係数は球面すべり支承の摩擦係数 μ の依存式⁵⁾を参考に式(1)から算出した。

$$\mu = \mu_0 \times \gamma \quad (1)$$

$$\gamma = 1.746 \times \sigma^{0.141} + 0.02 \quad (2)$$

ここで、 μ_0 は基準の動摩擦係数(=0.047)、 γ は面圧補正係数であり、 σ はスライダの面圧(MPa)である。

図8にシングル球面すべり支承の活荷重時のミーゼス応力コンター図を示す。最大応力は124N/mm²であり降伏応力の300N/mm²には達していなかった。また、他のケース及び試験体2についても、スライダは降伏せず機能していることを確認した。

7. まとめ

本研究ではシングル球面すべり支承で支持された橋梁模型桁に対して载荷試験を行い、以下の結果を得た。

1. 1回目载荷後にはスライダは残留変位を生じるが、スライダがある位置に収まることによって2回目载荷では原点指向型の履歴となる。
2. 試験体1及び2において、すべり面が上に位置する場合には片側の支点において水平変位を生じず、平均の最大変位はすべり面が下に位置する場合より小さい。
3. 活荷重時において、スライダの一部に応力集中が生じるが、スライダは降伏応力に達することなく回転機能を発揮している。

参考文献

- 1) 中村秀司, 西本晃治, 富本淳: 球面すべり支承 NS-SSBの開発, 新日鉄住金エンジニアリング技報, Vol. 6, pp. 28-35, 2015.
- 2) 川島一彦: 耐震工学, 鹿島出版会, 2019. 1.
- 3) 藤倉修一, Nguyen Minh Hai, 竹内小織, 中島章典: ダブル球面すべり支承で支持された橋梁桁の活荷重用時挙動に関する基礎的研究, 構造工学論文集 Vol. 65A, pp. 178-187, 2019. 3.
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説, 2017. 11.
- 5) 西本晃治, 中村秀司, 長谷川久巳, 脇田直弥: 球面すべり支承 (SSB)の実大試験体による面圧・速度依存性確認実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 445-446, 2016. 8.