

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研究

宇都宮大学 学生員 ○ 前鶴菜摘 正会員 藤倉修一
正会員 大藪宏文 Nguyen Minh Hai
フェロー会員 中島章典
新日鉄住金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

現在、我が国の免震支承は一般的に積層ゴム系支承が用いられている。しかし、近年発生した東北地方太平洋沖地震及び熊本地震において積層ゴム支承の破断等の損傷が確認され、その原因として、積層ゴムの経年劣化等によりせん断変形性能が低下していた可能性や断層破壊に伴う地盤変状が指摘されている。このことより、積層ゴム系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、アメリカで1990年代より開発されている球面すべり支承に注目した。球面すべり支承とは、凹型球面上にスライダと呼ぶ可動体を設置して滑らせる振り子型の免震装置であり、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している。さらに、固有周期はすべり面の球面半径のみで決まるため長周期化が容易なこと、限界変形量はすべり面とスライダの直径により容易に調整できることなどの利点がある¹⁾。

球面すべり支承の研究は我が国でも行われており、建築構造物への適用実績はあるが、橋梁構造物への適用はまだない。橋梁構造物に用いる支承は、常時設計荷重時(活荷重、温度変化、風荷重、死荷重)において適切に機能することが必要となる。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を行っているが、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²⁾。そこで本研究では、回転に追従できるシングル球面すべり支承を用い、活荷重時における球面すべり支承の挙動を明らかにすることを目的とし、載荷実験を行った。実験では、2基の支承で支持された梁試験体に集中荷重を載荷し、活荷重作用時におけるシングル球面すべり支承の挙動を調べた。

2. 実橋梁における支承の挙動

活荷重に対する球面すべり支承の挙動を調べるために、まず実橋梁での活荷重作用時における支承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の非合成単純プレートガーター橋とした。設計荷重は道路橋示方書³⁾に準じてB活荷重とし、支承部のたわみ角に着目した影響線より、桁端部から10mの位置の幅10mに43.45kN/m、その他の部分に11.27kN/mの活荷重を載荷した。その結果、活荷重時の支承部のたわみ角は0.00465radとなり、支間中央部がたわみの許容値57.8mmに達する時の支承部のたわみ角は0.00544radとなった。

3. 試験体

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

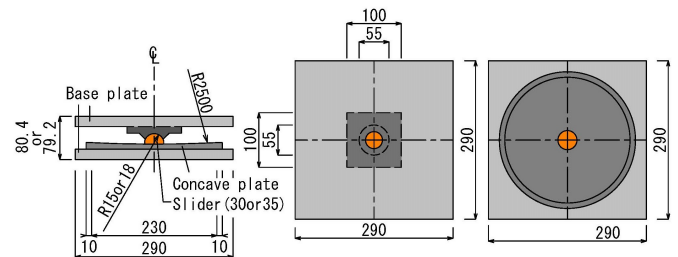


図-1 シングル球面すべり支承試験体

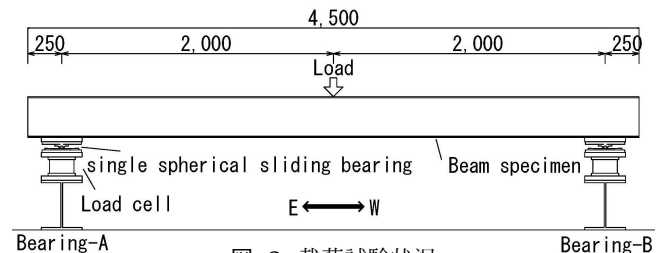


図-2 載荷試験状況

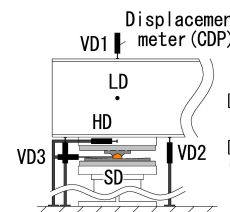


図-3 計測位置

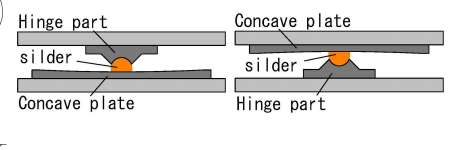


図-4 ケース1

図-5 ケース2

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、スライダ上を水平方向にずれずに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。梁試験体は2種類とし、高さ200mm、幅200mm、ウェブ厚8mm、フランジ厚12mmの断面を有する長さ4.5mのH型鋼を試験体1、高さ300mm、幅150mm、ウェブ厚6.5mm、フランジ厚9mmの断面を有する同じ長さのH型鋼を試験体2とした。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となった。

4. 実験方法

載荷実験状況を図-2に示す。梁試験体を2基の球面すべり支承で支持し、支間中央に集中荷重を載荷した。梁試験体の東側を支点A、西側を支点Bとする。載荷は20、50、100kNの繰り返し漸増載荷とし、載荷開始から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、活荷重作用時のたわみ角(0.00465rad)及び許容たわみ時のたわみ角(0.00544rad)が生じる荷重をおおむね想定している。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ときの荷重である。梁試験体のセッティング後の1サイクルの載荷を1回目載荷とし、その後そのままの状態でもう1サイクル載荷した場合を2回目載荷とした。

計測位置を図-3に示す。高感度変位計(CDP)を用いて、支承部の中心から東西に200mmの位置の鉛直変位(VD2,

Key Words: 免震構造, 球面すべり支承, 活荷重, 載荷試験

〒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

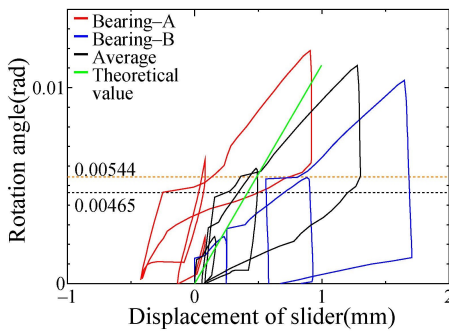


図-6 たわみ角-スライダー変位関係
試験体 1 ケース 1 (1 回目载荷)

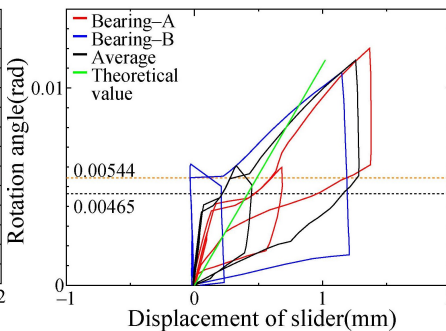


図-7 たわみ角-スライダー変位関係
試験体 1 ケース 1 (2 回目载荷)

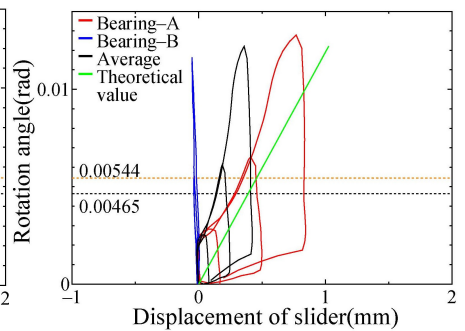


図-8 たわみ角-スライダー変位関係
試験体 1 ケース 2 (2 回目载荷)

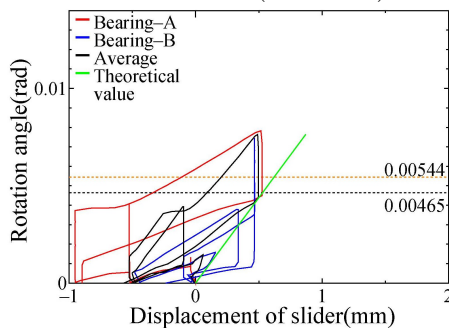


図-9 たわみ角-スライダー変位関係
試験体 2 ケース 1 (1 回目载荷)

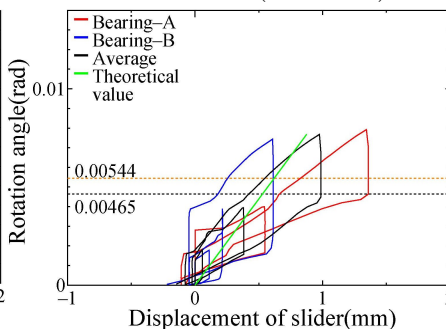


図-10 たわみ角-スライダー変位関係
試験体 2 ケース 1 (2 回目载荷)

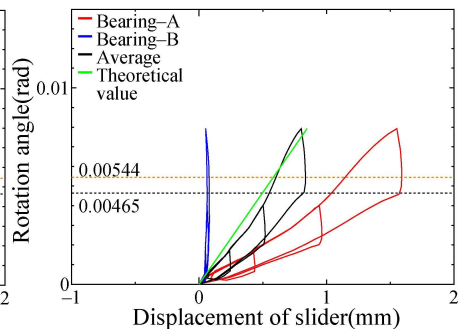


図-11 たわみ角-スライダー変位関係
試験体 2 ケース 2 (2 回目载荷)

VD3) からのたわみ角を算出し、下プレートに対する上プレートの水平変位 (HD) を上プレート変位とした。さらに、下プレートに対するスライダーの水平変位 (SD) をスライダー変位とし、CDP の先端に十分な剛性を有する細長い鋼管を取り付け計測した。

実験ケースを図-4、5 に示す。すべり面が下に位置する場合をケース 1、上に位置する場合をケース 2 とした。

5. 実験結果

たわみ角-スライダー変位関係を図-6～図-11 に示す。横軸はスライダー変位、縦軸は支承部のたわみ角であり、スライダーの変位は支間中央より外側に変位した場合を正としている。なお図中には前述した、活荷重作用時及びたわみの許容値に達するときのたわみ角も示した。緑線で示した理論値は、試験体を単純支持の梁と理想化して、桁がたわむことによる可動支点の水平変位である。また、ケース 2 では、計測した上プレートの水平変位とたわみ角から、スライダーがコンクリートプレート上を滑った変位を求めた。

(1) 1 回目载荷と 2 回目载荷の比較

図-6 は、すべり面が下に位置するケース 1 の結果である。1 回目载荷終了後にスライダーは元の位置に戻らず、残留変位を生じている。これは、セッティング時に生じたわずかなずれが载荷サイクルにより解消され、スライダーがある位置に収まったためであると考えられる。図-7 は 2 回目载荷の結果であるが、载荷終了後は、スライダーに残留変位はなく、元の位置に戻る原点指向型の履歴を示す。図-9 と図-10 から、試験体 2 についても、試験体 1 と同じ傾向であった。理論値と比較すると、理論値は線形であるが、実験値は载荷及び除荷開始時においてスライダーは変位を生じず、あるたわみ角になった時にスライダーは動き出している。図-7 では、スライダーが動き出したたわみ角は支点により異なるが、両支点のスライダーの最大変位の平均値は 1.3mm、理論値は 1.0mm であり、近い値となっている。図-10 の試験体 2 においても、両支点のスライダーの最大変位の平均値は 1.0mm、理論値は 0.9mm で近い値となる。

(2) ケース 1 とケース 2 の比較

図-8 は試験体 1 においてすべり面が上に位置するケース 2 の結果である。ケース 1 と同様にスライダーは原点指向の履歴となっているが、スライダーの挙動は異なっており、支点 B のスライダーは動いていないのに対して、支点 A のみが変位を生じている。さらに、平均スライダー変位の最大値を比較すると、図-7 と図-8 から、ケース 1 は 1.3mm であるのに対して、ケース 2 では 0.4mm と、ケース 2 の方がスライダー変位が小さい。黒線で示した平均の履歴ループについては、ケース 1 とケース 2 の履歴曲線を比較すると、载荷開始時と除荷開始時のスライダー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。図-11 の試験体 2 ケース 2 については、試験体 1 ケース 2 同様に、支点 B のスライダーは動かないものの、平均の履歴曲線は、比較的図-10 に示す試験体 2 ケース 1 に近い結果であった。ケース 2 の片側のスライダーが動かない状態に関しては、今後解析等を用いて調べる必要がある。

6. まとめ

本研究では、2 基のシングル球面すべり支承で支持された梁試験体に対して载荷試験を行い、以下の結果を得た。

- 1 回目载荷の载荷サイクルにより残留変位が生じ、スライダーがある位置に収まることで 2 回目载荷では原点指向の履歴を示す。たわみ角-スライダー変位関係は台形状の履歴を描く。
- すべり面の位置により支承の挙動が異なり、すべり面が上に位置すると、片側の支点のスライダーは動かず、もう一方の支点のスライダーのみが動いた。

参考文献

- 1) 中村ら：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) 竹内ら：ダブル球面すべり支承を有する橋梁の活荷重作用時の挙動に関する研究，土木学会第 73 回年次学術講演会，pp.837-838，2018.8。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説，pp.16-pp.99，2012.3。