

京橋メンテック(株)	正会員	○山田 不二彦	京阪電気鉄道(株)		大塚祐一郎
レールテック(株)	正会員	松本 健太郎	大鉄工業(株)	正会員	山口 善彰
大鉄工業(株)	正会員	鳥山 正吾	京橋メンテック(株)	正会員	並木 宏徳

1. はじめに

社会資本の老朽化が進みメンテナンスの重要性が増しているが、鉄道橋においては明治以来の長い保守の歴史を経てメンテナンス技術の完成度は高いと言われている。ところが鋼橋の沓については様々な形式が試みられて来たが、耐久性が高くメンテナンスの容易で経済的という理想的な沓は未だ実現していないようである。

道路橋ではゴム沓が要求性能をほぼ満足する形式として用いられているが、鉄道橋、特に鋼橋では死荷重に対し活荷重の割合が大きく、ゴム沓では要求される諸条件を満たすのが難しいため供用が限定されている。

ゴム支承板支承（以下 B P B 沓と呼ぶ）は、活荷重載荷時の鉛直変位が小さく、桁たわみ角や端横桁の変位などに起因する回転変位に追従して均一な支圧面を形成する優秀な沓形式であるが、温度変化に追従するために滑り機構が必要であり、また構造が複雑で経済性に劣ると考えられて来た。

薄型 B P B 沓は、上沓および下沓が従来のような鑄鉄(鋼)製では無く、鋼板を組み合わせた構造であるので設計の自由度が高く、ステンレス製の円形の支圧板と下沓上面に配置した薄いステンレス板との滑り相対変位で橋桁の気温変化に対応する伸縮量に対応するという構造のため経済性も優れた形式である。

実際の橋梁に初めて用いられたのは 2000 年で、供用後約 12 年を経て最も劣化し易いと考えられるステンレス滑り板を取り出して検査した結果を報告する。

2. 桁端の列車通過時水平変位計測結果

滑り板を取り出す前に、桁端の桁行方向の水平変位を図 1 に示すように桁端の上下二点で計測した。図 2 は 7 両編成の電車通過時に観測された水平変位で、桁中央方向変位を正としている。電車の軸重が作用すると、上方に設置されたセンサー 1 は桁中央方向に、下方に設置されたセンサー 3 は桁端方向に変位し、列車通過後は両方共ほぼ原点に戻っている。桁高 $h = 1,356 \text{ mm}$ 、桁下端からの鉛直距離はセンサー 1 が 750 mm 、センサー 3 は 38 mm である。水平変位は桁端たわみ角 $i \times$ 桁中立軸からの距離であるので、中立軸の位置と桁下端および桁上端の水平変位を最大水平変位の時について計算すると表 1 の通りとなる。中立軸の位置は桁高の $1/2$ である 678 mm より小さい。これは対象橋梁が下路桁で床組の主桁作用により中立軸が桁中心より下に移動したこと、および下部工変位があったため沓が桁端方向へ移動し計測された水平変位が正方向に偏移した影響と推定される。桁上下端水平変位の差の $1/2$ である δ_h と桁中央の鉛直たわみ δ_{VER} との間には、 $\delta_{\text{VER}} = 2/L/3h$ の関係があり¹⁾、 $L = 13.42 \text{ m}$ 、 $h = 1.356 \text{ m}$ を適用し計算した結果 $\delta_{\text{VER}} = 2.39 \text{ mm}$ であった。60t 電車荷重通過時の活荷重によるたわみは設計計算書によると 4.53 mm であり、本計測結果から約 31.8t の電車が通過したと推定される。



図 1. 桁端の水平変位の計測状況

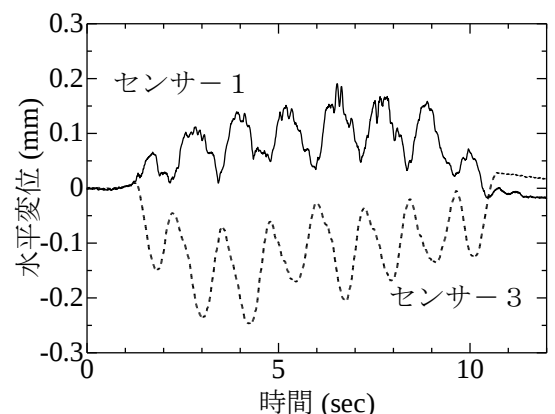


図 2. 桁端の列車通過時水平変位

表1. 桁端水平変位と計算された桁中央の鉛直たわみ

単位 mm

センサー 1 Ch1	センサー 3 Ch3	中立軸 h	桁上端 δ_{TOP}	桁下端 δ_{BOT}	水平変位 $2\delta_h$	鉛直たわみ δ_{VER}
0.191	-0.204	420.2	0.514	-0.224	0.738	2.390

3. 滑り板の摩耗状況

滑り板の写真を図3に示す。円形の支圧板と接触している部分に茶色に汚染されている領域があり、電車のブレーキ錆等が隙間から侵入したようで接触面は全面的な面接触では無かったようである。表面の汚れを清掃した後も固着した黒色の錆状の汚れが残る領域があるが、表面は滑らかで摩耗や腐食はほとんど無い。

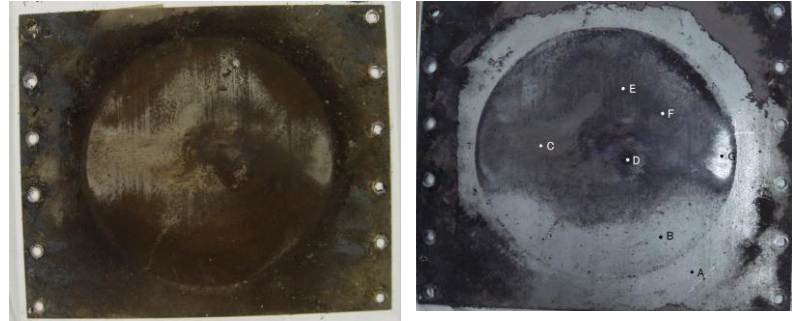


図3. 滑り板の取り出し時および表面清掃後写真

滑り板は全体として中央が凸状に変形しており、これは下沓が下部突起の溶接によりひずんだまま供用したため、そのために支圧板との接触が局部的になってしまったと考えられる。なお、現在の仕様では溶接組立後に機械加工して平面に仕上げている。不良な接触状況にも拘わらず、溶接やせ馬部以外では減厚は殆どなかった。

4. ステンレス滑り板の耐久性に関する考察

薄型B P B沓の滑り板に用いている SUS304 は大気中で殆ど腐食減厚しないが、ピンディスク型摩擦摩耗試験結果では比摩耗量 $K=62 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ 程度であったという報告²⁾がある。接触面圧 P は沓設計計算書より、摺動速度 V は図2より8秒間で延べ約3.5mm滑るとして速度を計算し、摺動時間 T は1列車当たり8secで、一日200列車が12年間として、ホルムの法則に従って滑り板の摩耗量を推定すると以下の通りである。

$$\text{摩耗量 } W(\text{mm}) = K P V T = 62 \times 10^{-14} (\text{m}^2/\text{N}) \times 20.9 (\text{N/mm}^2) \times 0.44 (\text{mm/sec}) \times 7 \times 10^6 (\text{sec}) = 33 \text{mm}$$

滑り板の滑り条件が通常のピンディスク型摩擦摩耗試験と大きく異なる点は、接触面圧が高く、滑り速度が小さく、時間が長いという点であろうが、観察された摩耗量が計算値に比して極端に小さいのはそれだけが理由では無いと考えられる。本橋で用いたBPB沓では上沓の孔径200mm、支圧板の直径198mmで製作されており、両側に1mmの隙間がある。桁端水平変位は本橋で0.5mm程度であり、この隙間の間で変位することが可能であり、支圧ゴムとピストンリングが変形して桁たわみに起因する微小振動を吸収しているのではないかと推定される。

滑り板が微小振動を受けない場合でも、気温変化に対応する桁の伸縮による滑りには対応している筈である。桁の温度変化が毎日20℃あるとして摩耗量を上と同様にホルムの法則に従って計算する。接触面圧 P は死荷重時の値とし、摺動速度 V は20℃に対応する桁伸縮量3.22mmが一日に動くとし、摺動時間 T は12年間とすると、

$$W(\text{mm}) = 62 \times 10^{-14} (\text{m}^2/\text{N}) \times 3.42 (\text{N/mm}^2) \times 3.73 \times 2 \times 10^{-5} (\text{mm/sec}) \times 3.78 \times 10^8 (\text{sec}) = 6.0 \times 10^{-8} (\text{mm})$$

と非常に小さくステンレス滑り板がホルムの法則に従った摩耗を生じてても殆ど減厚はない。上記のような摺動形態が成立し、良好な耐久性を保持する限界条件を確認することが今後の課題であると考えている。

5. まとめ

薄型B P B沓供用後12年を経て、健全度を調査するために、桁端の橋軸方向水平変位を計測して沓が固着せず正常に桁変形に追従していることを確認した。更に最も劣化すると考えられたステンレス・ステンレスの滑り系を構成している滑り板を取り出して摩耗状態を調べた結果、接触面の平面度の不良に拘わらず接触面の摩耗は殆ど無いことが明らかとなり、高い耐久性を有することが明らかとなった。

参考文献：1) 並木宏徳等，土木学会66回年次学術講演会，I-538,pp1075-1076,2011

2) (有) エス・アイ・テクノ シリコロイ技術研究所，<http://www.silicolloy.co.jp/silicolloysitemap.html>