

## 既設鋼製線支承を用いた鋼構造物の耐震評価法

構造物技術研究部 鋼・複合構造研究室

室長 杉本 一朗

### 1. はじめに

鋼鉄道橋では、鋳鉄製や鋳鋼製の小判型線支承（以下、線支承という）が多数用いられてきているが、過去の大地震において支承の損傷事例が報告されており<sup>1)</sup>、先の東北地方太平洋沖地震においてもピン支承の損傷事例が報告されている。このように、既設の鋼鉄道橋の耐震性を向上するためには、支承部の挙動を明らかにし支承部の耐力を適切に評価することが重要となっている。ここでは、実物の線支承を用いた載荷試験と非線形 FEM 解析から、非線形復元力モデルを提案し<sup>2)</sup>、提案したモデルを用いて支承部の非線形復元力モデルを取り入れた橋梁全体の時刻歴応答解析を行い、橋梁全体系を考慮した耐震補強の考え方について検討を行ったのでその内容を紹介する。

### 2. 鋳鉄製線支承の載荷試験

#### 2.1 試験の概要

はじめに線支承の載荷試験について示す。線支承は営業線で用いられていた鋳鉄製の支承で、載荷は、図 1 のような試験装置にて行った。載荷は、上部工反力として鉛直荷重を載荷させた状態で水平荷重を加えていった。水平荷重は、線路方向と線路直角方向に別々に作用させ、線路方向の場合、線支承のソールプレート（図 2）の耐力に着目し、線路直角方向の場合、サイドブロック（図 3）に着目した。

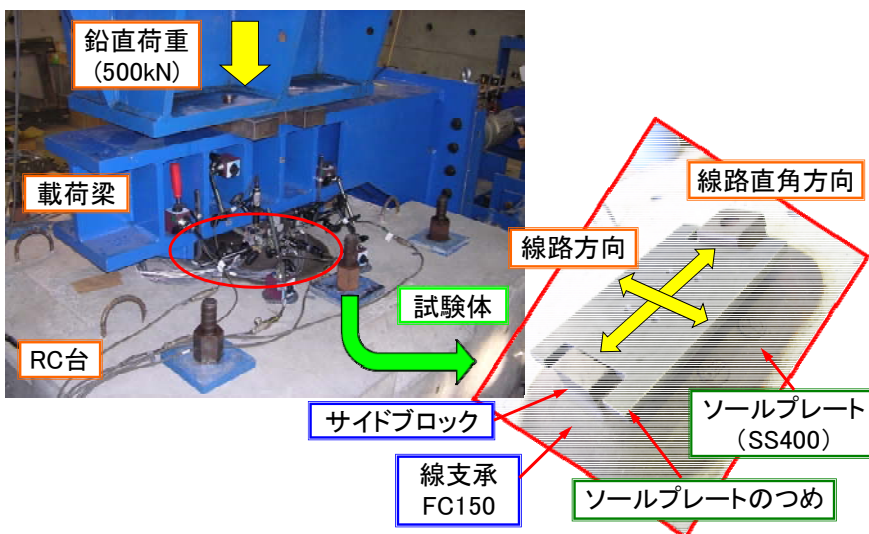


図 1 載荷試験概要

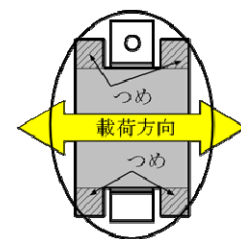


図 2 ソールプレート

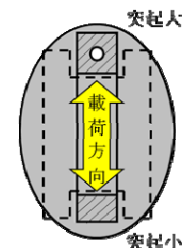


図 3 サイドブロック

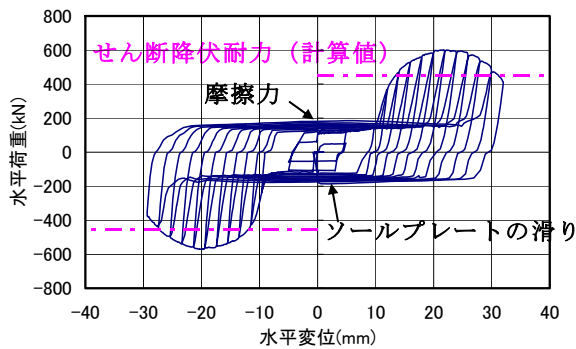


図4 ソールプレートの荷重－変位関係

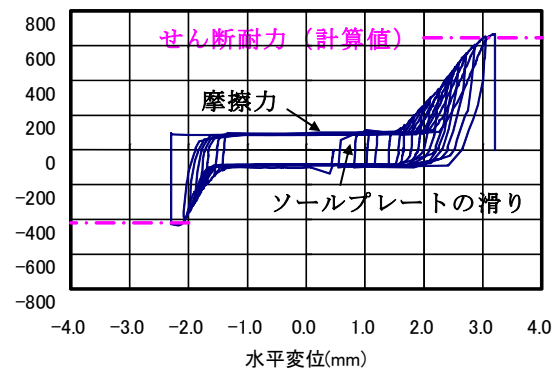


図6 サイドブロックの荷重－変位関係

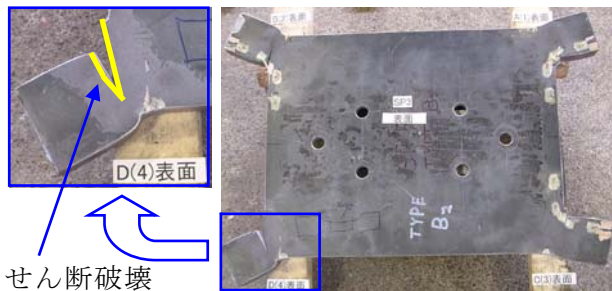


図5 ソールプレートの破壊状態

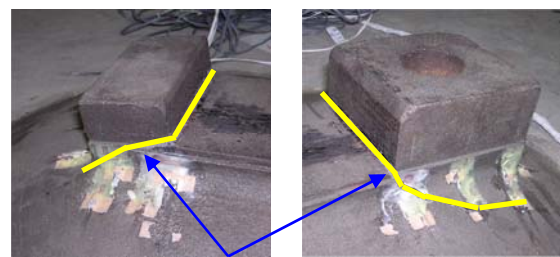


図7 サイドブロックの破壊状態

## 2.2 荷重試験結果

### (1) 線路方向 (ソールプレート)

図4に水平方向に交番荷重したときの荷重－変位関係を示す。支承部の摩擦力に相当する荷重に達するとソールプレートが滑り出し、変位が増加する。その後、ソールプレートのせん断降伏耐力まで概ね線形で荷重と変位が増加し、最大荷重に達した後に荷重が緩やかに低下する。破壊形態は、図5に示すようにソールプレートの張り出している部分（つめ）がせん断破壊した。

### (2) 線路直角方向 (サイドブロック)

図6にサイドブロックに着目した荷重試験結果の荷重－変位関係を示す。最初、変位が増加するところはソールプレートと同様であるが、その後、ほぼ線形に荷重と変位が増加し、線支承のせん断耐力と評価する荷重（最大荷重）に達すると急激に荷重が低下する脆性的な破壊形態を示した。破壊形態は図7に示すように、支承部の突起（サイドブロック）が脆性的に破断した。

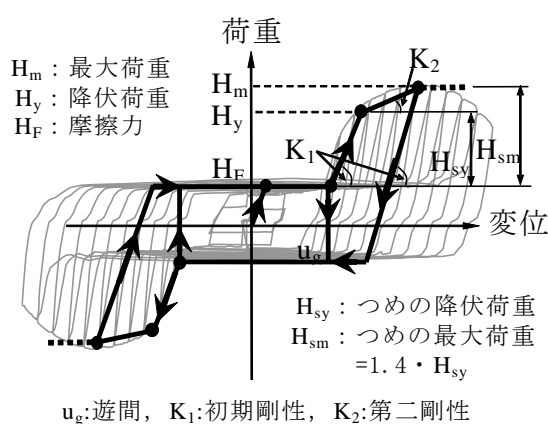


図8 ソールプレートの復元力モデル

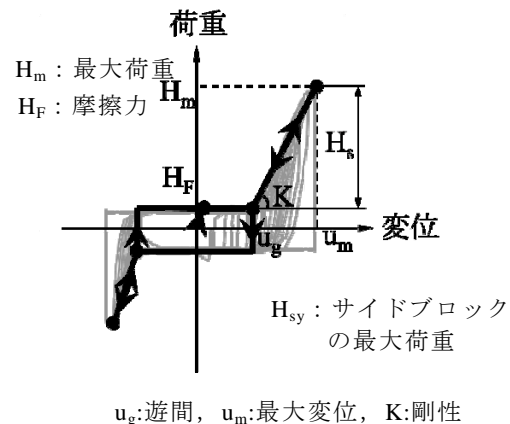


図9 サイドブロックの復元力モデル

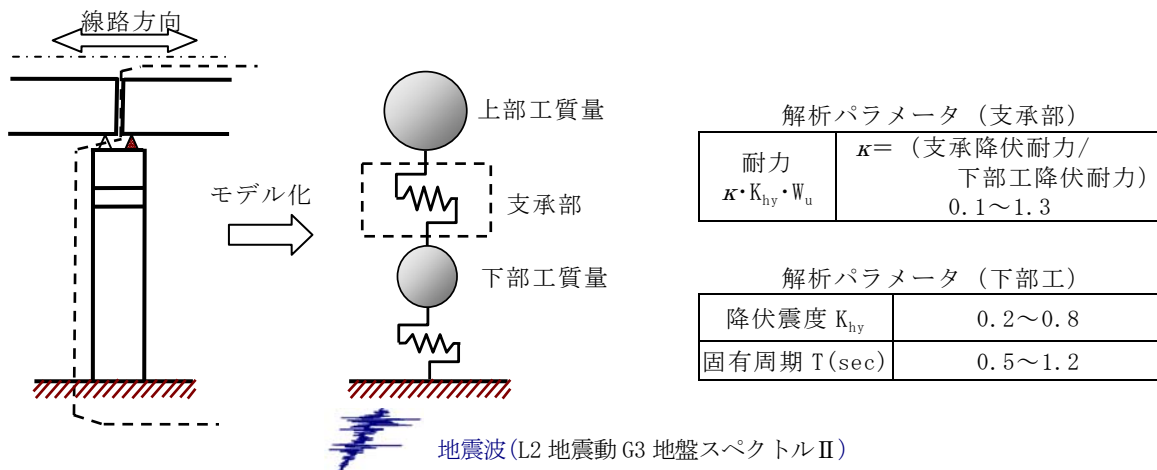


図 10 2 質点ばねマスモデルの概要と解析条件

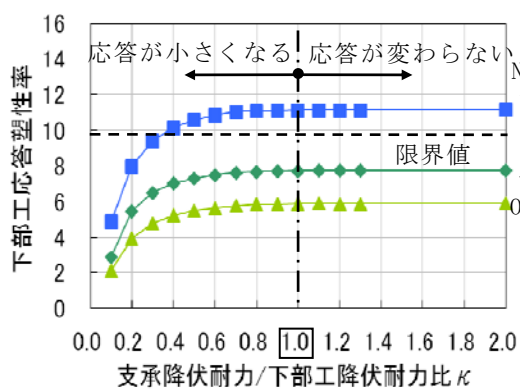


図 11 下部工の応答塑性率 (T=0.9 sec)

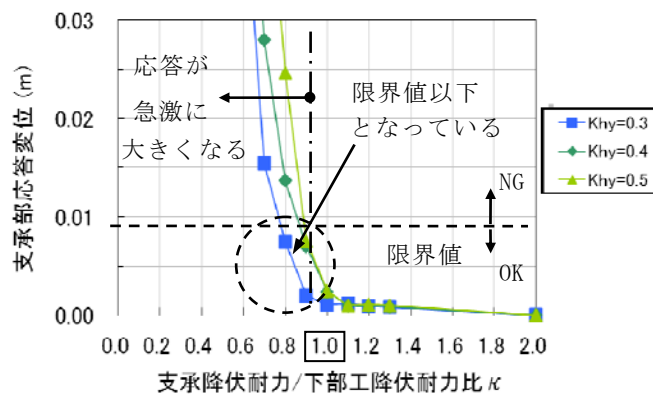


図 12 支承部の応答変位 (T=0.9 sec)

### 3. 線支承の復元力モデル

線支承の復元力モデルはソールプレート（線路方向）とサイドブロック（線路直角方向）に分けてモデル化した。ソールプレートのモデル化を図 8 に、サイドブロックのモデル化を図 9 に示す<sup>2),3)</sup>。各点の算定方法は、載荷試験結果および FEM 解析結果をもとに定めた<sup>2)</sup>。

### 4. 支承部の耐震補強の考え方

上記の支承部の復元力モデルを基に、構造物の応答への影響を調べるために、構造全体をモデル化し時刻歴応答解析を行った。図 10 に解析モデルとパラメータを示す。解析モデルは、桁と橋脚を質点で表した 2 質点ばねマスモデルとした。パラメータは、下部工の降伏震度、固有周期、および支承降伏耐力と下部工降伏耐力の比（以下、耐力比）とした。

解析結果の例を図 11 と図 12 に示す。支承部と下部工の耐力比が 1.0 より小さい場合は、支承部の応答変位は急激に大きくなり、下部工の応答塑性率は小さくなることがわかる。これは、支承部が塑性化すると支承の応答が支配的になるためと考えられる。耐力比が 1.0 よりも大きい場合は、下部工の応答塑性率および支承部の応答はほとんど変わらない。このことより、支承部の耐震補強は、支承部の降伏耐力が、下部工の降伏耐力を超えるような補強を行っても効果が変わらないことが明らかになった。また、支承部の降伏耐力が、下部工の降伏耐力の 0.8~0.9 倍程度

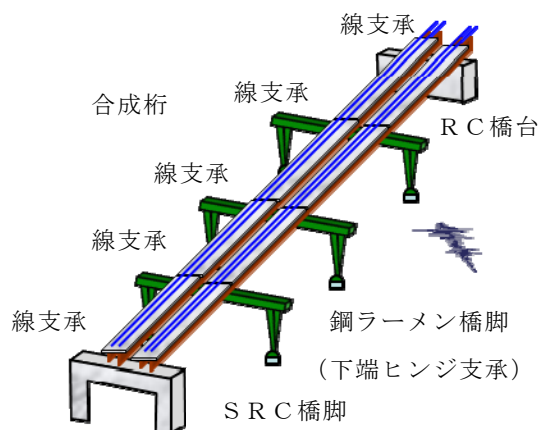


図 13 解析対象構造

表 1 線路方向の解析結果 (損傷レベル)

	桁支承		鋼ラーメン橋脚	
	端部	中間部	柱	ピボット支承
補強前	4	2	2	2
補強後	2	2	2	1

表 2 線路直角方向の解析結果 (損傷レベル)

	桁支承		鋼ラーメン橋脚		
	端部	中間部	柱	隅角部	ピボット支承
補強前	2	4	4	4	4
補強後	2	2	3	2	1

の場合でも、大掛かりな補強が不要となるケースがあることが明らかになった。

## 5. 耐震補強効果の検討例

鋼橋脚の上に鋼桁が架けられている構造を対象として、ここで提案した支承部の非線形モデルを取り入れた時刻歴応答解析を行い耐震性について検討を行った。解析対象構造を図 13 に示す。地震動は、耐震設計標準<sup>4)</sup>の L2 地震動を用い、線路方向または線路直角方向にそれぞれ入力した。解析結果を表 1 および表 2 に示す。ここで示す損傷レベルは、鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震標準)にて定めているもので損傷レベル 1 から 4 に区分されており、損傷レベル 3 以下に収まるようにすることが重要である。線路方向では、補強前は橋梁の端部の桁支承が損傷レベル 4 であったが、線支承に移動制限装置を設置することにより、全体として損傷レベル 3 以下に収まる結果となった。線路直角方向では、補強前は橋梁の中間部の線支承、橋脚柱、隅角部、ピボット支承が損傷レベル 4 であったが、線支承の移動制限装置、橋脚柱のリブ補強、隅角部の当て板補強、ピボット支承の逸脱防止装置等を設置することにより、全体として損傷レベル 3 以下に収まる結果となった。

## 6. おわりに

過去の線支承の損傷を考慮して、橋梁全体の中での支承部の耐震補強の考え方について示した。支承部の補強を行う際は、支承部の耐力・変形性能を精度よく評価し、下部工との耐力のバランスを考慮した上で必要に応じて補強していくことが重要である。引き続き、鋼鉄道橋全体の耐震性向上を図っていく予定である。

### 【参考文献】

- 1)安原真人, 市川篤司, 村田清満, 杉本一朗, 川井治: 鋼鉄道橋支承部の損傷と復旧, 橋梁と基礎, pp.65-68, 1996.8
- 2)中原正人, 池田学, 豊岡亮洋, 永井紘作: 鋳鉄製支承の地震時耐荷力特性と復元力モデル, 鉄道総研報告, 第 22 巻第 3 号, 2008.3
- 3)安原真人, 藤橋秀雄, 市川篤司, 水谷太作: 既設鋼鉄道橋の鋼製支承の水平耐力評価法に関する実験および解析的研究, 構造工学論文集, Vol.49A, pp.633-644, 2003.3
- 4)国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 1999.10