

## 明治期の橋梁の煉瓦橋脚

信州大学工学部社会開発工学科小西純一

建設から80年以上、なかには120年近い経年の鉄道構造物がいまも使用されている例は少なくない。当時の橋梁下部工やトンネルは、ほとんど例外なく煉瓦あるいは切石で築造されている。手厚い検査・保守体制に守られて、風雪に耐え、大地震にもめげずに今日に至った、幸運な構造物である。ここでは、古い橋梁下部工について構造分類を行い、地震被災事例を紹介し、従来から行われてきた補強方法を紹介する。

### 1. 明治期鉄道橋の下部工

#### 1.1 基礎工

明治期鉄道橋で使用された基礎工を分類すれば次の通りである。

##### ①直接基礎

- a 天然岩層
- b コンクリート
- c 捨木、枠組 軟弱な地盤で、丸太などを敷き並べたり、格子状に組む。
- d 板張り、プランキング 軟弱な地盤で、胴木などの上に板張りをする。
- e 箱枠 松材で作った四角い枠を据えてその内側を掘削しながら枠を沈めてゆく。

##### ②杭基礎

- f 杭打ち 松杭
- g 鉄管柱 鋳鉄管、錬鉄管、スクリュー付き

##### ③井筒基礎

- h 煉瓦井筒 断面形は円形、円形2本、楕円形の3種類がある。

所定の深さまで沈下させたら、橋脚と桁の重量と活荷重を考慮した載荷試験を行って支持力を確認する。

#### 1.2 橋脚

- 材質 煉瓦 形態がいろいろある  
 石 形態がいろいろある  
 鉄 鉄管柱、トレスル  
 木 スパンの短い溝渠など。

煉瓦造・石造橋脚・橋台の断面・形態

図1に示すような様々な形がある。

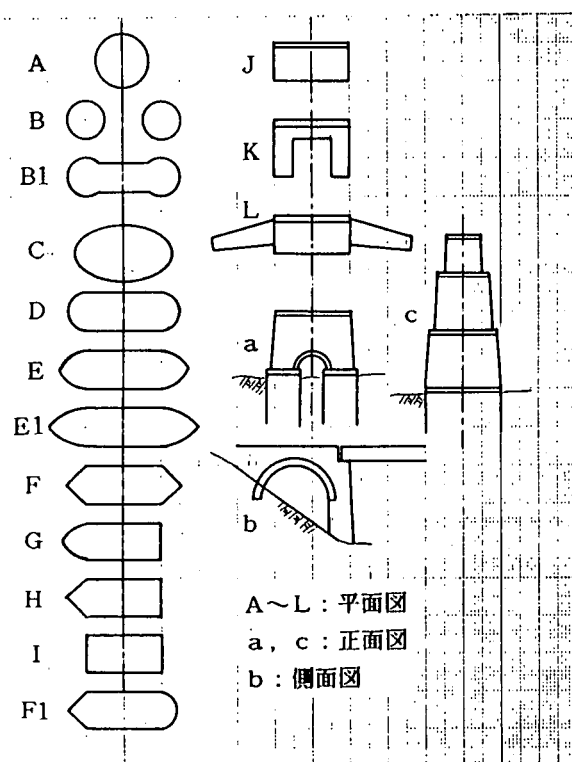


図1 橋脚・橋台の断面、形態（著者）

### 2. 過去の大地震による橋脚の破損事例

日本の鉄道が経験した最初の大地震は濃尾地震（1891年）であり、愛知、岐阜両県下で大きな被害を受けた。開通して日が浅い東海道線の橋梁もことごとく被災している。関東地震（1924年）では東京、神奈川を中心に、甚大な被害を受けた。これ以後、耐震

「新しい耐震設計の考え方と文化遺産、景観」シンポジウム 明治期の橋梁の煉瓦橋脚 小西純一  
表2.1 過去の大地震による橋脚の破損事例

線名	橋梁名	開通	上部工	橋台・橋脚・基礎	地震・年	被災状況	橋下 被災
東海道	木曾川	1887	Tt9@200ft	7-チ 煉瓦・彫井筒2本	濃尾1891	切断、ずれ	1, 2, 3)
東海道	長良川	1887	Tt5@200ft Tt4@100ft	鑄鉄柱5本 鑄鉄柱4本	濃尾1891	切断、転倒、傾斜 切断、傾斜、移動	落下 1, 2, 3)
東海道	揖斐川	1887	Tt5@200ft	7-チ 煉瓦・彫井筒2本	濃尾1891	切断、ずれ	1, 2, 3)
東海道	東京高架		煉瓦アーチ	松杭	関東1923	焼損	4)
東海道	六郷川	1910	Gd4*24@40ft Tt2*5@110ft	切石・直接 7-チ 煉瓦・彫井筒3本	関東1923	切断、傾斜、移動 切断、傾斜、移動	4) 4)
東海道	馬入川	1887	Gd2*28@70ft	煉瓦・彫井筒・	関東1923	切断・転倒、傾斜	落下4)
東海道	靱相沢川	1914	Gd2*2@70ft	切石・直接	関東1923	切断・転倒、傾斜	落下4)
熱海	白糸川	1922	Gd2*2@40ft 欄Td3@150ft	コンクリート・直接 コンクリート・直接	関東1923	切断転倒、泥流により流失4) 切断転倒、泥流により流失4)	
熱海	玉川	1922	Gd2*(1@40ft+8@60ft)	切石・直接	関東1923	切断・転倒、傾斜	落下4)
熱海	酒匂川	1920	Gd2*10@60ft 欄Tt8@150ft	欄RC石張・直接 左右独立円形RC石張 ・RC円形井筒2本	関東1923	被害なし 被害なし 移動・落下4)	4) 4)
東北	荒川	1885/ 1895	Gd2*48@50ft 欄Tt4@100ft	煉瓦・直接 7-チ 煉瓦・彫井筒2本	関東1923	沈下・傾斜 沈下、亀裂、切断	4)
常磐	隅田川	1896	Gd2*19@60ft 欄Tt2*200ft	欄煉瓦・杭打板張 7-チ 煉瓦・彫井筒2本	関東1923	被害なし 斜亀裂・切断	4) 横移動4)
京浜電気	多摩川		Gd24@40ft 欄Tt6*100ft	煉瓦・ 7-チ 煉瓦・彫井筒2本	関東1923	切断	4)
東武	荒川放水路		Gd2*(1@30+6@60) 欄Tt3*200ft	コンクリート・杭打 コンクリート・コンクリート井筒	関東1923	沈下 沈下	4) 横移動4)
根室	利別川	1904	Gd2@60ft +Tt1@200ft	鉛：煉瓦・杭打 欄：煉瓦・井筒	十勝沖1946	被害なし 僅かに傾斜	5) 横移動5)
東海道	天竜川	1889 1914	Tt19@200ft Tt19@200ft	煉瓦・楕円井筒 煉瓦・楕円井筒	東南海1944	(大被害) (大被害)	6) 6)
北陸	九頭竜川	1897	Gd12@70ft	欄：煉瓦・彫井筒 鉛：煉瓦・杭打	福井1948	切断・転倒、傾斜 転倒、傾斜	落下5) 5)

注：桁種別略号：Tt：下路トラス，Td：上路トラス，Gd：上路プレートガーダー  
次の2\*は2連並列の意，5@は連数5の意，70ftなどは径間であるが，実寸と異なる通称の場合もある。

文献

- 1) Milne, Burton & Ogawa: The Great Earthquake of Japan, 1891
- 2) 「日本国有鉄道百年史」第2巻, 1970, p. 229-231.
- 3) 震災予防調査会報告, 第1号 (「日本国有鉄道百年史」第2巻, 1970, p. 229-231. に引用)
- 4) 鉄道省大臣官房研究所編「大正十二年鉄道震害調査書」
- 5) 高坂紫朗「鉄道防災改良施工法」, 三報社, 1955
- 6) 「岐阜工事局五十年史」, 1970

設計への本格的な取組みが始まった。東南海地震（1944年）については、大きな被害が出たにも関わらず、戦時ゆえにその実態を伝える記録が少なく、被害の全貌は依然未解明といわれている。その後も十勝沖地震（1946年）、福井地震（1948年）と続く。これらの地震によって被害を受けた鉄道橋の下部工について、文献1)～6)に記述のあるものを抜粋したのが表2.1である。大正時代のコンクリート構造も含めてある。

地震によって橋梁がどのような被害を受けるかは、橋脚・橋台の形状、寸法、構造、材質、基礎の形式のみならず、地盤特性や地震の特性に左右される。ここでは結果として生じた被害を通覧してみよう。

## 2.1 桁が落下した橋梁

(a) 東海道線長良川橋梁はトラス9連を連ねる橋梁で、橋脚と杭基礎が一体となった鋳鉄柱2～5本で下部工を構成していた。濃尾地震によりコンクリートで中詰めされた橋脚はことごとく切断され、200ft トラス3連が墜落した。しかし桁の損傷は軽微で、修理の上再使用された。復旧は、楕円煉瓦井筒と煉瓦橋脚・橋台とした。この下部工は現在も上り線として使用されている。本橋のほかにも鋳鉄柱を下部工とする橋があったが、いずれも切断され、煉瓦造に改築された。これ以後官設鉄道においては鉄管柱は原則として使用しなかったようである。

(b) 東海道本線馬入川橋梁は関東地震により壊滅的被害を受けた。上下線各28連のプレートガーダーを連ねる単線並列の橋で、両橋台はいずれも前進し、橋脚54基中48基は切断、そのうち44基は倒壊し、桁は56連中47連が川中に墜落した。

(c) 東海道本線（当時）第五相沢川橋梁は上下線各2連のプレートガーダーから成る複線橋で、東京方橋台（U形）は一部、沼津方橋台（U形）は大部分崩壊し、橋脚は切断して、沼津方の桁2連が墜落した。

(d) 熱海線（当時）玉川橋梁は複線式のコンクリート製長方形橋台・橋脚とフーチング基礎の、プレートガーダー9連2列の橋梁である。関東地震により両橋台が傾斜し、各橋脚は1条または2条の水平切断を生じ、切断上部は下部に対して回転し、プレートガーダー上下両線総計18連のうち下り線7連、上り線1連が墜落した。

(e) 熱海線（当時）酒匂川橋梁では橋台、橋脚にはほとんど被害がなかったが、150ft トラス1連が桁座より川下に脱出して頭部を川上に向けて横転墜落し、他のトラス桁も移動した。トラスを支える橋脚は左右独立の円形断面のものである。左右一体のマッシュアップで断面の大きい構造であったら墜落を免れたかもしれない。

(f) 北陸本線九頭竜川橋梁は70ftプレートガーダー12連の単線橋梁である。福井地震により、橋脚あるいは井筒が切断し、傾斜あるいは倒壊し、桁はすべて落下した。現地の震度は烈震であった。

玉川橋梁と本橋は単線のプレートガーダーを連ねる構成で、橋脚はトラス桁を支えるものに比べると細い。切断した躯体の安定性はトラス桁を支える橋脚に比べると小さく、桁との連成運動ともあいまってほとんどの橋脚が倒壊する事態に至ったものと思われる。

(g) 熱海線（当時）白糸川橋梁は複線上路トラス3連を主径間とする橋梁で、無筋コンクリートの高い橋脚に支持されていた。橋脚が倒壊して桁が墜落したところに、土石流が押し寄せて橋脚や桁を一気に海まで押し流した。復旧に当たっては上下部工とも全部

作り直した。

## 2.2 桁が落下しなかった橋梁

### (h) 東海道線木曾川橋梁

### (i) 東海道線揖斐川橋梁

濃尾地震で被災したトラス橋で、下部工は円形井筒2本でアーチ式の小判形橋脚を支えるものである。井筒が多少移動して橋脚との接合部付近で切断したが、大きく傾斜したり、倒壊したものはなく、桁の落下もなかった。桁を木製の枠で仮に支えておき、橋台・橋脚の全部あるいは一部を取り壊して原形通りに復旧した。

プレートガーダーの天白川橋梁、扇川橋梁でも橋脚・橋台と基礎のつなぎ目付近で切断したので同様にして原形通りに復旧した。

(j) 東海道本線六郷川橋梁は汽車線、電車線各複線の橋梁で、プレートガーダー4線各24径間、複線形ポニートラス2列5径間からなる。プレートガーダー部は複線形橋脚、フーチング基礎を用い、トラス部は3あるいは4本の井筒基礎に4線一体の橋脚としている。関東地震により、両橋台とも縦に亀裂を生じて前進した。プレートガーダー部の橋脚は、数センチ程度の沈下あるいは上昇を示した。トラス部橋脚のうち1基は縦に亀裂3条を生じ、橋脚のうち1基は平水位付近で切断し、6基は地盤付近で切断して、沈下移動を生じた。しかし桁の墜落は免れた。

(k) 東北本線荒川橋梁は複線ポニーワーレントラス4連を主径間とする橋梁で、トラス部は円形井筒2本で支えられたアーチ形橋脚、プレートガーダー部はフーチング基礎と矩形断面橋脚である。後者はことごとく沈下と傾斜を生じたが桁の墜落は起こらなかった。前者はアーチ付近で目地切れ切断を生じた。

(l) 常磐線隅田川橋梁は複線プラットトラス2連を主径間とする橋梁で、荒川橋梁と同様トラス部は円形井筒2本で支えられたアーチ形橋脚、プレートガーダー部は杭打ち板張りフーチング基礎と砲弾形断面橋脚である。トラスを支える2本の橋脚のみに被害が出たが、他には被害がない。荒川のアーチ形橋脚と同様、アーチ付近で目地切れ・切断が起こった。

(h)～(l)のトラスを支える、あるいは2～4線のプレートガーダーを支える橋脚は形状的にどっしりしていて、水平目地切れによる切断が生じても、大きなずれや傾斜、転倒を生じるまでに至らなかった。上部工が鉄桁で比較的軽量であることも幸いしているだろう。これらの橋脚は2本の円形井筒にアーチを架けて立ちあげた構造になっており、井筒と橋脚の接続部付近あるいはアーチ付近あるいは井筒が地盤面から出たところなどに目地切れを生じている。煉瓦積あるいは石積の目地が潜在的な水平の弱面を形成していて、構造的に弱い部分で目地切れ破壊により地震のエネルギーを逃す作用をしたようにも考えられる。

(m) 東京市街高架線有楽町新橋間のアーチ橋は火災のため煉瓦石の表面剥落したほか、直接地震による被害としては、橋台の中央部に縦亀裂1条を生じたもの3箇所、橋台の前方に僅かに傾斜したと認められるもの4、5箇所、及び、袖石垣の沈下したものが数箇所あったのみであった。

一方、各所に点在する煉瓦アーチ単連の小橋梁や架道橋の類は崩壊したものが多。

これは構造物と接している裏込土や路盤からの動土圧の影響のためかと考えられる。

## 2.3 まとめ

以上見てきたように、地震荷重に対して設計されていないと思われる煉瓦造あるいは無筋コンクリートの橋梁下部工は、ほとんど無傷ではあり得ず、修理あるいは改築を必要とした。しかし、マッシブな形状のものは破損しながらも桁を落とすことなく支え、使命の一端を果たした。一方、スレンダーな形状の橋脚は切断倒壊したものが多かった。

煉瓦構造が今日の鉄筋コンクリート構造に比べれば、一般に「弱い」構造であることに異論はなく、経年による劣化の問題もある。しかし、大地震の洗礼を受けたとき、少なくとも基礎工のしっかりしたずんぐりした煉瓦構造物は、意外にしぶといパフォーマンスを示すかもしれない。現代の高度化したスマートで大型の構造物が意外にもろい一面を見せてくれたので、そのようなことが頭の中をよぎるのである。

## 3. 無筋橋脚の耐震補強

### 3.1 煉瓦造橋脚の補強方法（文献7による）

必ずしも耐震を目的としたものではないがb), c) を中心に実施されてきた。

- a) 帯鋼板巻き工法 ひび割れを生じた部分を中心に帯鋼板で橋脚を巻いて補強する方法
- b) コンクリート打ち換え工法 劣化した部分を撤去して代わりにコンクリートで置き換える方法。かさ上げや、桁座面積拡大にも応用している。
- c) コンクリート巻き立て工法 在来の橋脚の周囲を鉄筋コンクリートで巻き立て補強を行う工法
- d) 帯鋼板接着工法 帯鋼板を縦に橋脚に接着して補強する工法

### 3.2 外観を保存しながら補強をするための工法

土木遺産としての橋脚を外観を変えずに補強するためには、3.1 で挙げたいずれの方法も適用できない。薬液注入による強化とか、躯体の内側に何等かの芯を入れるようなことを考えなければならない。後者は、活線では実施しようがないと思われる。

謝辞 鉄道総合技術研究所橋梁研究室市川篤司氏には、資料の閲覧などに多大の便宜を図って頂いた。感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Milne, Burton & Ogawa: The Great Earthquake of Japan, 1891
- 2) 「日本国有鉄道百年史」第2巻, 1970, p. 229-231.
- 3) 震災予防調査会報告, 第1号
- 4) 鉄道省大臣官房研究所編「大正十二年鉄道震害調査書」
- 5) 高坂紫明「鉄道防災改良施工法」
- 6) 岐阜工事事局五十年史
- 7) 鉄道総合技術研究所編「レンガ・石積み、無筋コンクリート構造物の補修、補強の手引き」1987