

## 関西地方の鉄道における「斜架拱」の分布と その技法に関する研究

JR西日本 吹田保線区

正○河村 清春

" 大阪構造物検査センター 正 小野田 澄, 木村 哲雄

" 鉄道本部施設部工事課 正 菊池 保孝

A Study of Engineering Technology and Distribution of Oblique Arch Bridges  
in Railways of Kansai District

K.KAWAMURA, S.ONODA  
T.KIMURA , Y.KIKUCHI

### abstract

Arch bridges built with bricks in Meiji or Taisho Era were mainly constructed to pass an aqueduct or a road under railway track. We investigated the present state of these old arch bridges in Kansai district and discovered that some of them are spiral brickworks. We recognized, however, this unique structure only in oblique arch bridges. Meanwhile through literature survey on arch bridges constructed in those days, we identified this structure as "Syakakyo" as oblique arch bridges were called in Japanese, which was an engineering technology for construction of an arch bridge as skew to the track direction. In this study, we make clear the designing and working of "Syakakyo", and reveal the relation between theory and practice of this technology.

【明治・大正／アーチ橋／レンガ／鉄道】

### 1. 緒言

アーチ橋は、鉄道路盤の下部に農道や用水路を通すために構築された土木構造物で、関西地方では「マンボ」「マンプウ」「マンボウ」といった方言で沿線の人々からも親しまれる存在となっている。そのほとんどは、明治・大正期に建設されたレンガ構造のもので、地味な存在ながら人々の生活環境に溶け込んでいるという点では最も身近な土木構造物であると言える。しかし、これらの沿革や現状について土木史的観点に基づき系統的な調査が行われた事例は皆無に等しく、その実態についてはほとんど等閑視されたままであった。こうした現状を踏まえ、筆者らが保守管理する関西地方のレンガ製アーチ橋について現地調査を行ったところ、そのうちいくつかのアーチ橋に図-1に示すようなアーチ部分のレンガを渦巻状に積む奇妙な構造が見られることに気がついた。この奇妙な構造が見られるアーチ橋は、そのいずれもが線路方向に対して斜交しており、渦巻状に積まれたレンガとの間には何等かの因果関係があると推察された。そこで、当時の文献を調査したところ、このレンガ積みが斜めのアーチ橋を架けるための“斜架拱”と呼ばれる特殊な技法であり<sup>1)</sup>、これらの渦巻積みレンガが精緻な設計理論に裏付けられた存在であることが明かとなつた<sup>2)</sup>。

本論文では、関西地方の鉄道における斜架拱の分布とその現状を紹介するとともに、他の分野、他の地域における斜架拱について言及し、さらに当時の文献に基づき斜架拱の設計、施工法について考察を加えるものである。

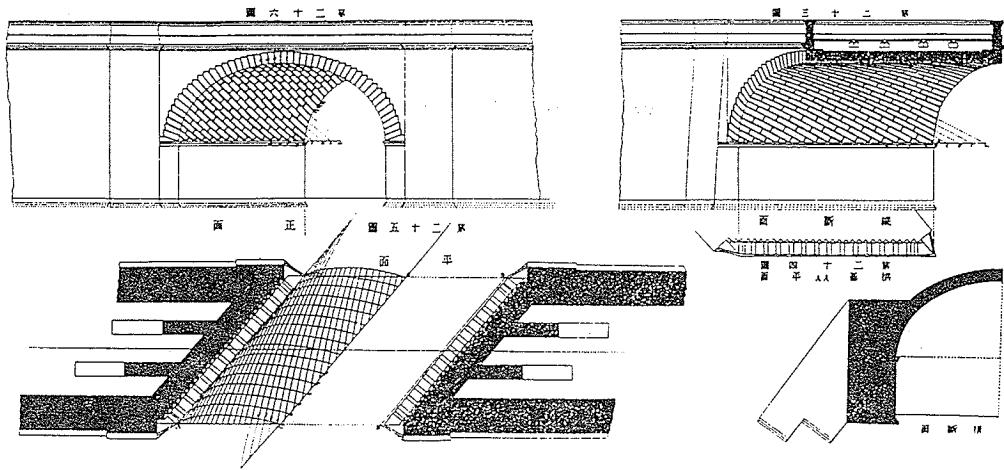


図-1 斜架拱の例 文獻2)

## 2. 斜架拱の分布とその特徴

### 2.1 関西地方の鉄道用アーチ橋における斜架拱

現在、筆者等が保守管理を行っている関西地方の各線区には、図-2に示すように約220箇所に及ぶレンガ製アーチ橋が現存しており、明治・大正期に建設された各線区に普遍的に分布している<sup>3)</sup>。とりわけ平坦地に盛土を構築して建設され、かつ沿線人口が稠密な東海道本線沿線にその半数以上が集中している点が注目される。このうち斜架拱によるものは表-1に示す15箇所で（他に廃線跡に現存するものが1箇所ある）、全体の約1割弱を占めている<sup>4)</sup>。以下、各線区ごとにその特徴を概説する。

#### (1) 東海道本線

##### a) 市三宅田川拱渠

湖東線として開業した1889（明治22）年に建設されたアーチ橋で、線路に対して左78度の斜角を有している。アーチ部のレンガは坑門に対して角度を持つため、端面に弱い“鋸刃状”的段差模様がついている。この区間は開業後に複線化工事が行われたため、上り線側の約3分の1程度の箇所に施工継目があり、このことから下り線側が建設時の構造、上り線側が複



図-2 関西地方のJR線におけるレンガ製アーチ橋と斜架拱の分布

表-1 関西地方のJR線における斜架拱の諸元

線名	名称	区間	軒程	建設	開業	斜角	正径間	斜径間	A-チ端部	特徴
東海道本線	市三宅田川拱渠	野洲～守山	484K854M	官設鉄道	1889	左78°	2.41	2.46	鋸刃状	
	兵田川拱渠	石山～膳所	500K357M	官設鉄道	1889	左80°	2.41	2.81	ツライチ	
	橋津川拱渠	石山～膳所	500K523M	官設鉄道	1889	左57°	1.80	2.15	—	
	馬場丁川拱渠	西大路～向日町	517K795M	官設鉄道	1876	左72°	1.50	1.61	ツライチ	
	円妙寺架道橋	神足～山崎	525K938M	官設鉄道	1876	右68°	1.22	1.32	ツライチ	
	奥田端拱渠	山崎～高根	532K282M	官設鉄道	1876	左68°	2.45	2.63	ツライチ	
	門ノ前架道橋	揖津富田～茨木	540K370M	官設鉄道	1876	左70°	2.97	3.20	ツライチ	起拱石あり
	安井拱渠	西宮～芦屋	573K246M	官設鉄道	1874	左83°	1.53	1.54	ツライチ	
	東皿池拱渠	西宮～芦屋	574K226M	官設鉄道	1874	左75°	1.60	1.65	—	改装工事実施済
	木仙上谷拱渠	住吉～六甲道	581K886M	官設鉄道	1874	左68°	1.52	1.62	—	
関西本線	島谷川拱渠	中在家～柘植	87K424M	関西鉄道	1890	左70°	4.24	4.94	ツライチ	
	第248号拱渠	月ヶ瀬口～大河原	106K943M	関西鉄道	1897	左48°	3.66	4.80	鋸刃状	
	第272号拱渠	加茂～木津	121K041M	関西鉄道	1898	左46°	1.67	2.45	ツライチ	中間部は通常の長手積み
	桜井線	第130号拱渠	金橋～高田	27K934M	大阪鉄道	1893	左60°	1.54	1.64	ツライチ
	山陰本線	第91号拱渠	千代川～八木	29K248M	京都鉄道	1899	右45°	1.83	2.59	ツライチ
旧・東海道本線	(東川拱渠)	(大津)～(大谷)	—	官設鉄道	1880	左75°	2.74	3.61	—	

※斜角の方向は起点から終点方へ向かった場合の左右を表す。

※斜角、正径間、斜径間は一部に実測値と異なるものがある。

線化時の構造と推定される。単線時の構造と複線化時の構造の継目は、レンガ同士が連続的に組合されている。なお、下り線側のレンガの小口面には製造者の責任印と思われる刻印が見られるが、詳細は不明である。

#### b)兵田川拱渠

正径間2.41mと市三宅田川拱渠とほぼ同一規模の拱渠であるが、A-チ端面のレンガは坑門と同一面（いわゆる“ツライチ”）に仕上げられており、このためA-チ端部は異形レンガとなつている。また、上り線と下り線の施工継目は明瞭ではない。

#### c)橋津川拱渠

兵田川拱渠と隣接するA-チ橋で、下り線側の約3分の1箇所に施工継目があることから、下り線側を線増したと推定される。下り線側にはさらに鉄筋コンクリート製の函渠が継ぎ足され、その外側には道路の下部を横断する斜架拱が存在している。この斜架拱がかつて鉄道用として構築されたものか、道路のために新たに構築されたものかは定かではないが、仕上げ等に差異が見られる点などから考えて、施工時期も異なつていると推定される。

#### d)馬場丁川拱渠

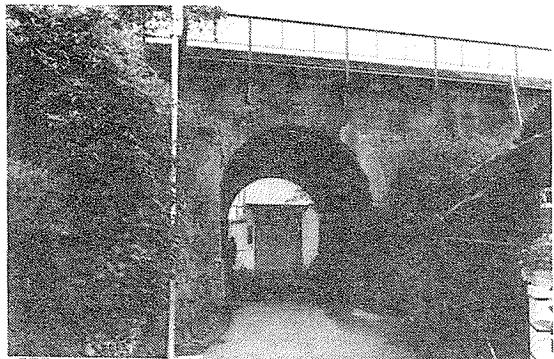
1876（明治9）年、大阪～京都間鉄道の開業時に建設されたと推定されるA-チ橋で、この区間は単線開業ながら将来を見越して複線規格により建設されたため、施工継目は見られない。複々線化工事にあたっては線路の左右を鉄筋コンクリート製の函渠により継ぎ足したため坑門の形態は明かではないが、A-チの端面は坑門と“ツライチ”的仕上げとなつてある。

#### e)円妙寺架道橋

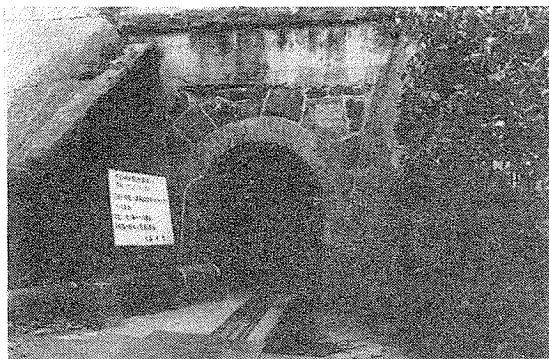
今回調査した中では最も断面の小さい斜架拱で、正径間はわずか1.22mしかないものの、水路兼人道用として坑内が通行できるようになっている。半径が小さいため施工にあたっては相当苦心したらしく、仕上げに凹凸があり起拱角にもばらつきが見られる。



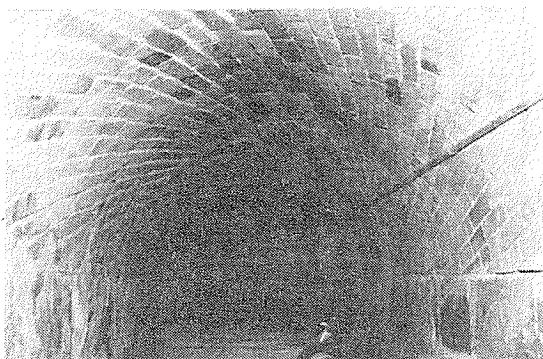
写-1 市三宅田川拱渠（東海道本線）



写-2 門ノ前架道橋（東海道本線）



写-3 円妙寺架道橋（東海道本線）



写-4 円妙寺架道橋坑内

#### f) 奥田端拱渠

正径間2.45mのごく一般的形態の斜架拱で、上り線側は複々線化工事に際してボックスラーメンの函渠を継ぎ足したため、坑門の構造は明かではないが、下り線側は原型を保っている。アーチ端部の仕上げは“ツライチ”である。

#### g) 門ノ前架道橋

今回調査を行った関西地区の斜架拱のうち唯一、起拱石を有する斜架拱である。この起拱石は起拱角に合わせて上面が整形されており、“鋸刃状”的模様が装飾的効果を發揮している。このアーチ橋は“架道橋”という名称が与えられている通り、開業当初より道路用として用いられていたと推定され、こうした点からこのような装飾を施したものと考えられる。複々線化工事に際しても線増部分は桁を架けて対処したため、両側の坑門とも原型を良好に保っている。

#### h) 安井拱渠

1874(明治7)年、大阪～神戸間鉄道建設時のアーチ橋と考えられ、おそらく現存する最古の鉄道構造物のひとつではないかと推定される。線路に対する斜角は約83度あり、このため起拱角も5～10度程度と緩やかである。上り線側は、線増工事に際してコンクリート構造の函渠を継足している。

#### i) 東皿池拱渠

斜架拱により建設されていた拱渠であったが、1988(昭和63)年度に改修工事を実施したため、レンガ表面が化粧材料により覆い尽くされてしまい、今回の調査でその構造を観察することはできなかった。

#### j) 木仙上谷拱渠

住吉～東灘間は既に高架化されているが、このアーチ橋のみ高架橋の下に存置されている。両坑門とも後にコンクリートで継足しを行ったため、構造の詳細は不明である。また、上り線側の一部のレンガは明らか

に材質が異なっており、後に継足しを行ったものと推定される。なお、中央部分を占める建設当初のものと思われるレンガの長手面には、写-6、写-7に示す2種類の刻印が見られる。

## (2) 関西本線

### a) 烏谷川拱渠

1890（明治23）年に関西鉄道が建設した斜架拱で、正径間は今回調査した関西地区の斜架拱のうち最も大きく、4.24mに達する。側壁および坑門下部は成層切石積みでできており、起拱線の石材のみが突出してアクセントを付けている。また、坑門のパラペットがフランス積みレンガで構成されているのも特徴的である。線路右側の坑門は補強のためにコンクリートが継ぎ足されており、その構造は明かではない。

### b) 第248号拱渠

関西地方では烏谷川拱渠に次ぐ正径間（3.66m）を誇る斜架拱で、先の烏谷川拱渠のアーチ端面は“ツライチ”仕上げであったが、この拱渠は“鋸刃状”的仕上げとなっている。

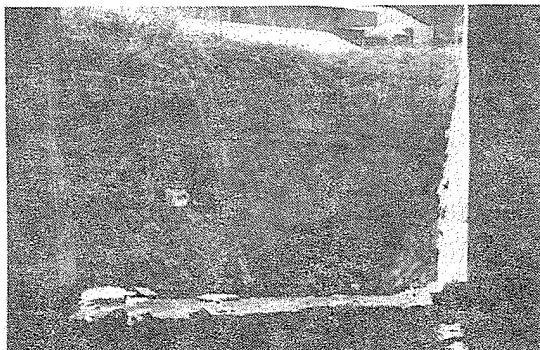
### c) 第272号拱渠

加茂駅構内の西端に位置するアーチ橋で、施工継目が2箇所にあることから3回に分割して施工されたものと考えられる。施工継目は直線で区切られており、相互のレンガに連続性はない。このうち、渦巻積みで施工されているのは中央と線路右側の部分のみで、線路左側の部分は通常の長手積みである。また、中央部と線路右側の部分についても渦巻積みとなっているのは坑口付近のみに限られ、中央部分は長手積みとなっている。この部分は写-9のように無理にレンガを捻って積んでいるため、仕上げはあまり良好ではない。

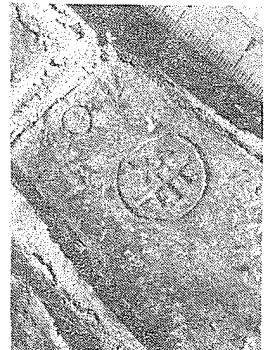
## (3) 桜井線

### a) 第130号拱渠

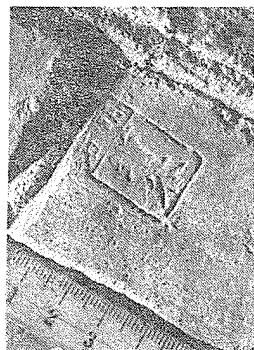
桜井線唯一のアーチ橋で、1893（明治26）年に大阪鉄道により建設された。アーチ端面の仕上げは“ツラ



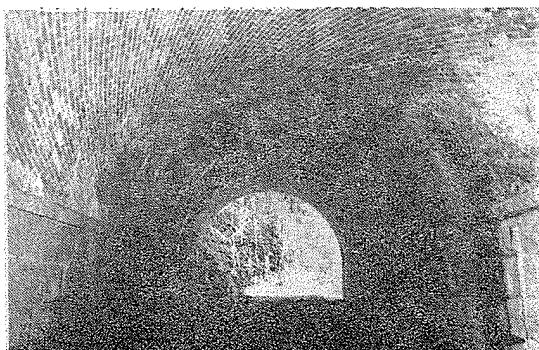
写-5 木仙上谷拱渠（東海道本線）



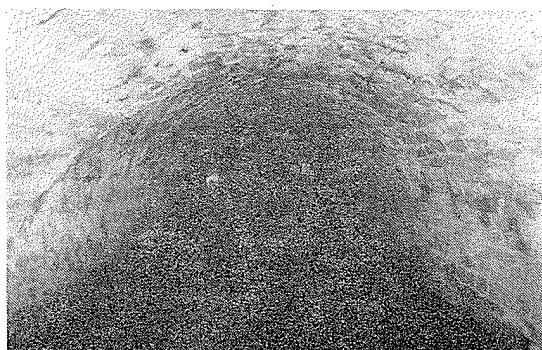
写-6 刻印(その1)



写-7 刻印(その2)



写-8 烏谷川拱渠（関西本線）坑内



写-9 第272号拱渠（関西本線）坑内

イチ”で、バラベットの蛇腹に独特の装飾を観察できる。

(4) 山陰本線

a) 第91号拱渠

1899（明治32）年に建設されたと推定される京都鉄道唯一の斜架拱で、斜角45度は今回調査した関西地方の斜架拱の中で最も急角度である。アーチ端面の仕上げは“ツライチ”となっている。

(5) 旧・東海道本線

a) 東川拱渠

1921（大正10）年の大津～京都間線路変更工事完成まで、東海道本線として使用されていた区間に現存する斜架拱で、現在では上部に国道1号線が走っている。この斜架拱も何回かに分割されて施工された形跡が見られるが、詳細は不明である。なお、文献によれば<sup>5)</sup>、山科付近にも一里町拱渠と称する斜めアーチが存在したようであるが、今回の調査ではその有無を確認することができなかつた。

## 2.2 他の構造物、他の地域における斜架拱

(1) 鉄道トンネルにおける事例

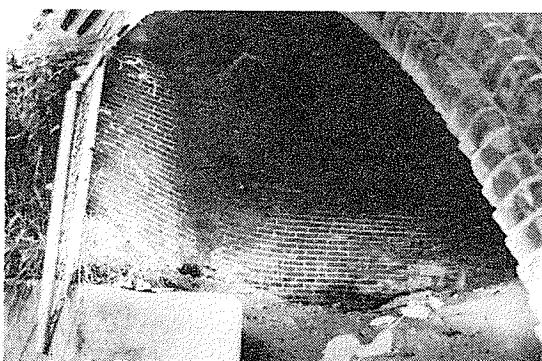
これまで紹介した事例はいずれも盛土路盤の下部に構築されたアーチ橋のみであったが、アーチ橋と同様に開削工法により施工を行った関西地方の河底トンネルにもこの技法を見ることができる。

a) 東海道本線（野洲～草津間）狼川トンネル

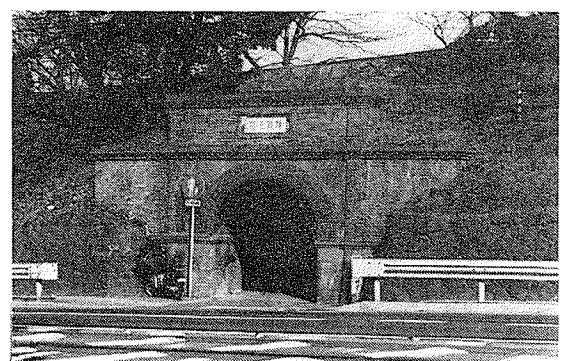
東海道本線野洲～草津間には1956（昭和31）年の電化工事に伴い廃止となった狼川トンネル（下り線）が廃坑のまま現存するが、トンネルの上部を天井川が斜めに横断しているため、斜架拱を用いて構築された。この斜架拱は関西本線第272号拱渠と同様完全なものではなく、坑門付近のレンガのみ渦巻状に積まれており、中央部分は普通の長手積みによりできているが、おそらく、軸力の伝達が必要な坑門付近にのみ斜架拱を適用したものと考えられる。また、アーチ端部の仕上げは“鋸刃状”で、坑門天端には要石がある。竣工は1897（明治30）年で、東海道本線複線化時に建設されたものであるが、この際に撮影された記録写真を観察すると1888（明治21）年に竣工した上り線のトンネル（現存せず）もアーチ端部に“鋸刃状”的段差模様がついており、やはり斜架拱により建設されていたものと考えられる。

b) 東海道本線（篠原～野洲間）屋ノ棟川トンネル

狼川トンネルと同様、1889（明治22）年に下り線、1897（明治30）年に上り線が建設されたトンネルで、1956（昭和31）年の電化時に撤去されたため現存しない。複線化当時における写真によれば、狼川トンネルと同様にアーチ端部に“鋸刃状”的段差模様があり、また上部を天井川が斜めに横断していることから、やはり斜架拱により建設されていたものと推定される。なお、関西一円にはこのような天井川のトンネルがいくつか存在するが、河川が斜めに横断していたのはこの2例のみである。



写-10 狼川トンネル（東海道本線）坑口付近



写-11 琵琶湖疏水アーチ橋（京都市東山区）

## (2)鉄道以外の事例

### a)琵琶湖疏水インクラインアーチ橋

鉄道以外の施設で斜架拱を用いた事例としては、京都市東山区にある蹴上のアーチ橋を挙げることができる。このアーチ橋は1888（明治21）年に琵琶湖疏水の付帯施設であるインクラインの下に設けられたもので、インクライン自体も鉄軌道を用いた施設であるという点では鉄道と一脈通じるものがある。この斜架拱は、側壁や坑門に独特の装飾が見られ、意匠的にも見所が多い。

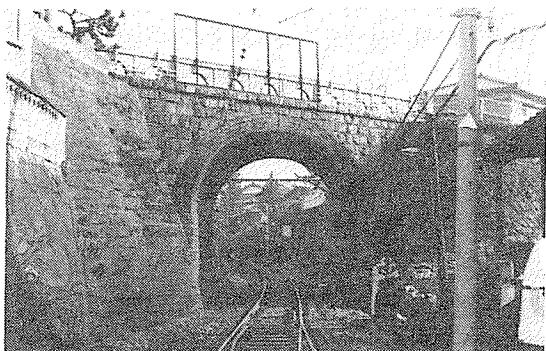
### (3)他の地域における事例

#### a)碓井線旧線（横川～輕井沢間）碓井第12橋梁、第15橋梁

1893（明治26）年に開業した碓井線（現・信越本線の一部）の旧線は他に類例を見ない大スパンのレンガ製アーチ橋により構築されたが、このうち第12橋梁と第15橋梁は斜架拱で施工された。この斜架拱はアーチのライズが3.0mに及ぶ欠円アーチで、図面等によれば東海道本線門ノ前架道橋と同様、起拱角に合わせて起拱石の上面を整形していたようである。斜径間は8.45mにおよび、斜架拱としてはおそらく最大スパンのもので、また欠円アーチによる斜架拱としても貴重な存在と考えられるが、アプト式の旧線が廃止された1963（昭和38）年頃撤去され、現存しない。

#### b)京福電気鉄道三国芦原線（三国～三国港間）眼鏡橋

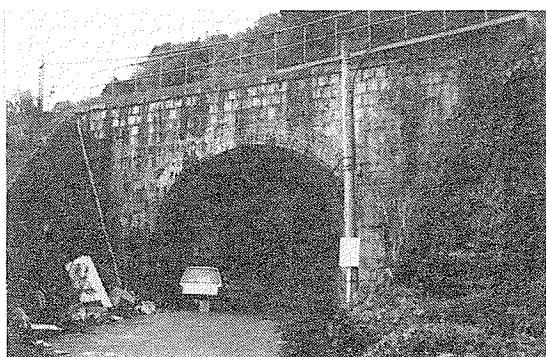
京福電鉄三国芦原線の前身である鉄道院三国線開業直後に建設された跨線道路橋に見られるもので、橋の欄干にこの跨線橋の名称である「眼鏡橋」と「大正二年」の銘がある。これまで紹介してきた斜架拱はいずれも盛土または天井川の下部を横断するアーチ橋であったが、この眼鏡橋は線路の上部を跨ぐ跨線道路橋である点で特筆される。形態的にはアーチ端部を“鋸刃状”の段差仕上げとしていること、坑門が石積みであることなどが特徴である。



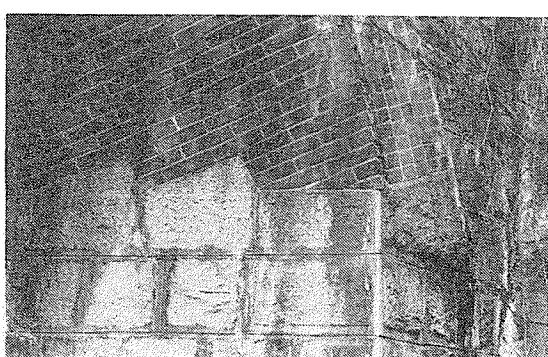
写-12 眼鏡橋（福井県三国町）



写-13 眼鏡橋坑口付近



写-14 けやきさか拱渠（日田彦山線）



写-15 けやきさか拱渠坑口付近

### c)日田彦山線（採銅所～香春間）けやきさか拱渠

日田彦山線の前身である小倉鉄道が1915（大正4）年に建設したと推定されるアーチ橋で、採銅所～香春間に現存する。東海道本線門ノ前架道橋と同様に斜架角に合わせた起拱石を用いており、径間は6.4mに及んでいる。アーチ端部の仕上げに特徴があり、内側の1層目のみを“鋸刃状”の仕上げとし、2層目から4層目は“ツライチ”で仕上げている。

## 3. 斜架拱の理論と設計・施工

### 3.1 斜架拱の特徴とその理論的根拠

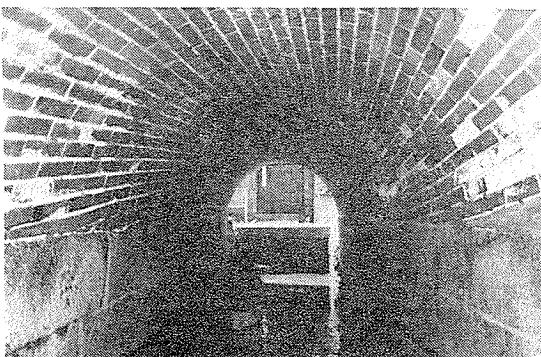
これまで紹介した斜架拱の調査結果から、その特徴を整理すると下記のように要約される。

- 1)アーチ部のレンガを渦巻き状に積んだ構造は、線路に対して斜交するアーチ橋のみに限って見られる。
- 2)アーチのレンガは基本的には長手積みで、線路の斜交方向とレンガの捻れ方向には規則性がある（左交差に対して左巻、右交差に対して右巻）。
- 3)レンガの起拱角は、線路との斜交角が鋭角に近いほど急角度である（写-16、写-17）。
- 4)アーチ端部の仕上げには、レンガを坑門の面に揃えて仕上げた“ツライチ”タイプ（写-18）と、レンガの端面を整形せずそのまま用いた“鋸刃状”タイプ（写-19）の2種類が見られる。

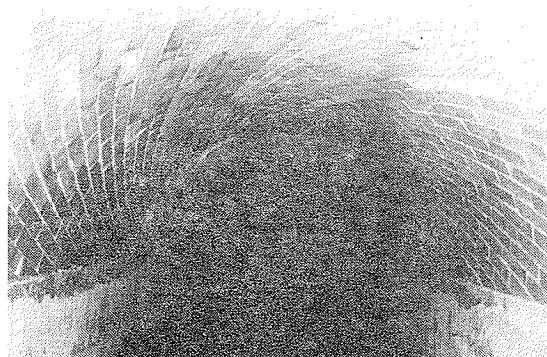
また、今回の調査対象線区のうち、一般的アーチ橋と同一構造の斜めアーチ橋が15箇所ほど存在しているが、斜架拱との相違点を比較すると下記のように整理される。

- 1)斜架拱によるアーチ橋は坑門の上面が水平であるが、一般的構造による場合は盛土の法勾配と一致させるため、坑門の上面が斜めに切欠かれている（写-20、写-21）。
- 2)斜架拱で構築されたアーチ橋は坑門の面と線路方向が一致するが、一般的構造による場合は坑門の面と線路方向は一致せず、アーチ橋の軸線と直交している（図-3）。

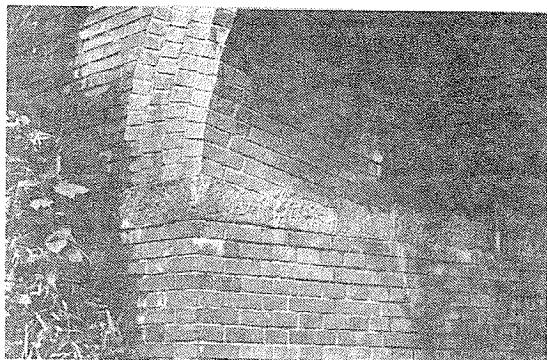
さて、ここで斜架拱の理論的根拠についてこれまでの実態調査結果に基づき考察を加えるならば、アーチ構造の基本である部材の迫持効果に着目する必要がある。図-4は、斜めのアーチ橋を斜架拱によって構築した場合と、一般的構造により構築した場合を模式的に示したものであるが、前者の場合は迫持効果によつて生じる軸力が各部材に均等に伝達されるのに対し、後者の場合は坑口付近の部材では迫持効果が発揮できないため、軸力が伝達されない脆弱な構造となることが理解できる。すなわち、斜架拱は斜めにアーチ橋を架けた際に、上載荷重によって発生する軸力がアーチ全体に伝わるよう工夫された技法であると考えられる。従つて、アーチの中心軸に対して坑門が直角に位置するような場合は、たとえ線路に対してアーチ橋が斜めに位置していても斜架拱により構築する必要性はなく、実態調査の結果とも合致する。このことはレンガの捻れ方向と線路の斜交方向との関係、斜交角と起拱角の関係等からも証明され、斜架拱の技法が力学的根拠に基づく合理的施工法であることを示している。



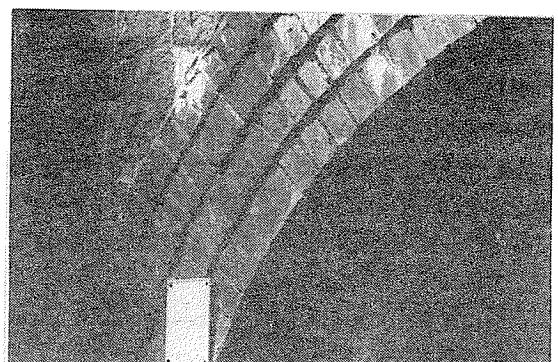
写-16 起拱角が緩い例（安井拱渠）



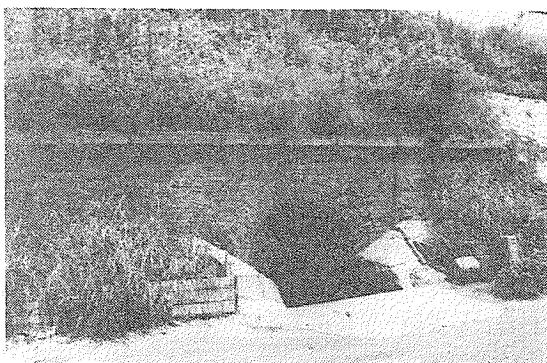
写-17 起拱角がやや急な例（木仙上谷拱渠）



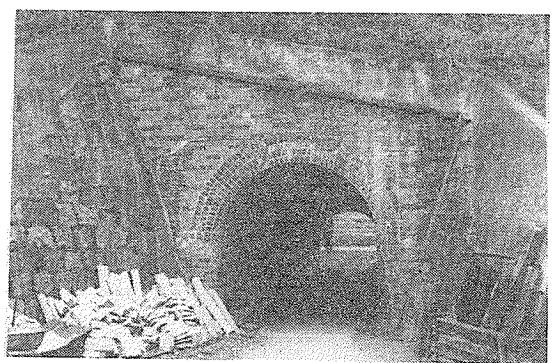
写-18 「ツライチ」タイプの例（門ノ前架道橋）



写-19 「鋸刃状」タイプの例（市三宅田川拱渠）



写-20 斜架拱の坑門（安井拱渠）



写-21 一般的な斜めアーチ橋の坑門  
(山陽本線上郡～三石間梨ヶ原拱渠)

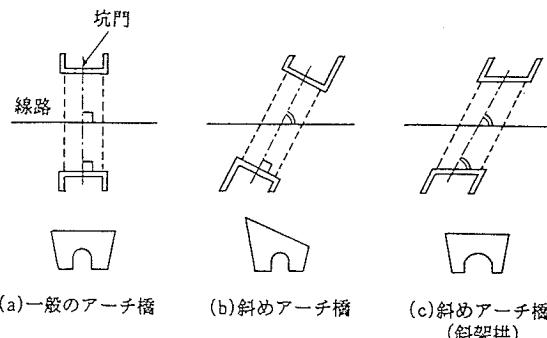
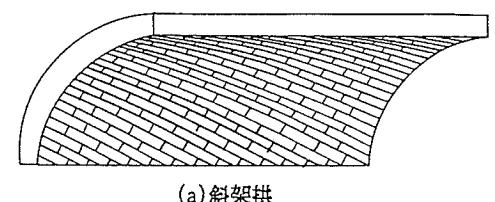


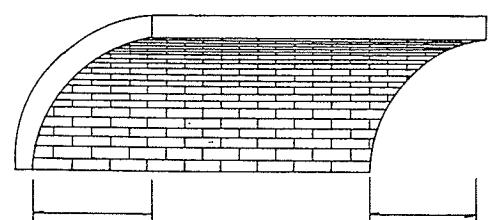
図-3 線路とアーチ橋の位置関係  
および坑門の形態（模式図）

### 3.2 斜架拱の設計

斜架拱の技法を単独で扱った文献として、1899（明治32）年に出版された毛利重輔著、伊藤鏗太郎補訳『斜架拱』<sup>6)</sup>を挙げることができる（図-5）。その緒言によれば『「ジョージ、ワットソン、バック」氏ノ著ハセル「ヲブリイク、ブリッヂ」ヲ基トシ「ニッコルソン」氏「ハート」氏等ノ述ブルトコロノモノヲ参考トシテ訳述セシモノナレド……』とあり、この本が外国文献を翻案したものであることは明かである。全体は『幾何画法ヲ用ヒテ原理ヲ論ス』『寸法及ヒ角度ヲ定ムル公式ヲ論ス』『拱石ノ形状ヲ作ル方法ヲ論ス』『



(a) 斜架拱



迫持効果が発揮されない部分  
迫持効果が発揮されない部分

図-4 迫持効果の比較（模式図）

『公式ノ応用』『架構方法』『製図法』の5章から構成されており、さらに付録として図解法による斜架構の設計法について解説を加えている。

図-6は、『斜架拱』に掲載された斜架拱の平面展開図を示したもので、既知数として、アーチ橋の半径( $BO = r$ )、拱厚( $AA' = CC' = e$ )、斜架角( $\angle AEC = \theta$ )とすれば、各設計要素との幾何学的関係は次式にて示される(原著では『有要ナル公式』として27種類の公式を掲げているが、煩雑なため本論文ではその代表的なもののみを紹介するにとどめる)。

$$\text{正径間 } (AC) = 2 r \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{斜径間 (AE)} = b = 2 r \cdot \cosec \theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{斜歪の長さ (CE)} = 2 r \cdot \cot \theta \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{内弧における半円の長さ (CD)} = \pi r \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{内弧における起拱角 } (\tan \angle CDE) = 2 \cot \theta / \pi = \tan \beta \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{軸線の長さ (EN)} = \pi^2 r / 2 \cot \theta \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{外弧における半円の長さ } (C'D') = \pi (r + e) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{外弧における起拱角 } (\tan \angle M'dN') = (r + e) \tan \beta / r \quad \dots\dots\dots(8)$$

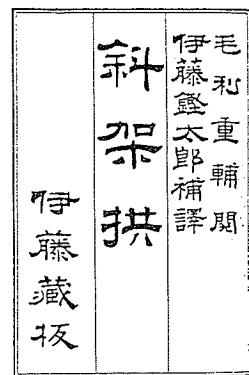
$$\text{内外弧の軸線長の差 (dP)} = e \cdot \cot \theta \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{軸線に直角な螺旋の長さ (ED)} = \pi r \cdot \sec \beta \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{拱基の長さ (E F)} = b \cdot \cosec \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

これらの計算を現場において隨時行うことは、当時の技術者の数学的知識や

難な作業であったと考えられ、このため『斜架拱』では付録として図-7に示す「バアロー」氏のノモグラ



圖一五 『舞架棋』

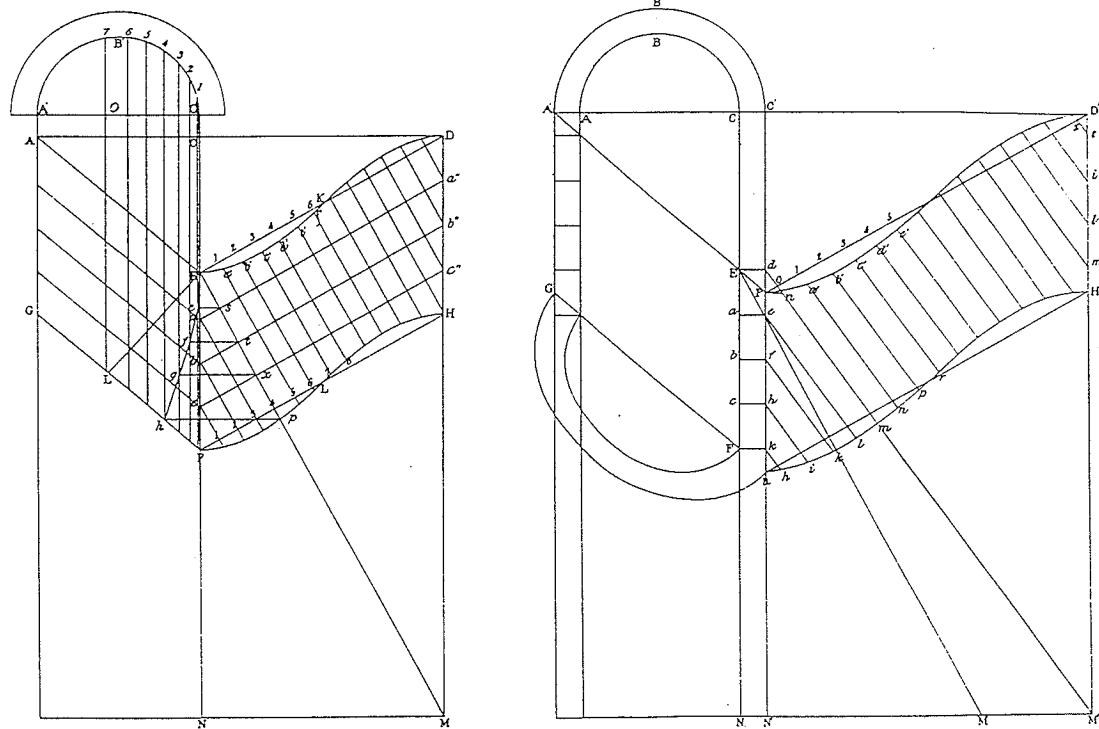


図-6 鈴木世の展開 文献2)

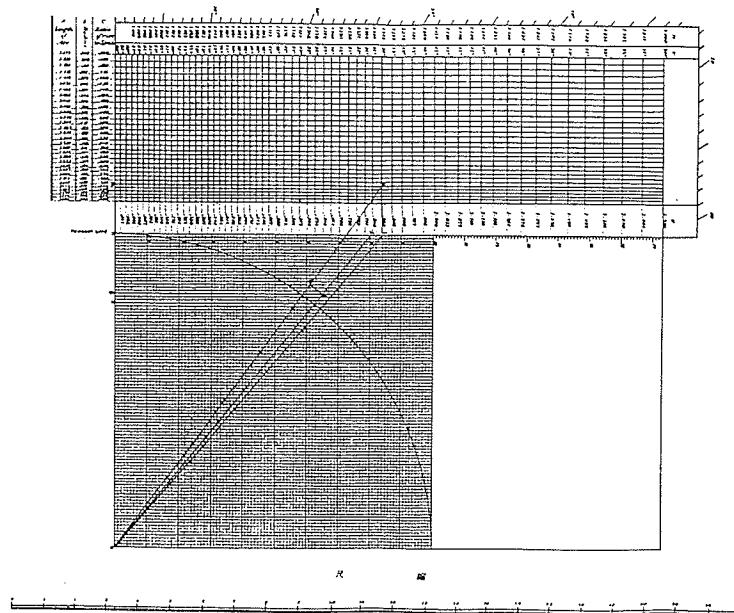


図-7 「バアロー」氏のノモグラム<sup>文獻2)</sup>

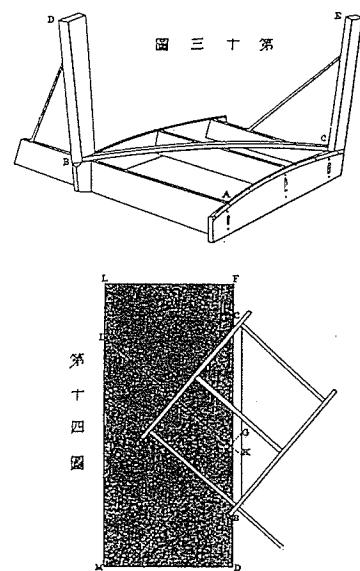


図-8 石材を切るための定規(上)と  
その使用法(下)<sup>(文獻2)</sup>

ムに基づく解法について例題付きで解説を加えている。

なお、この他に、松永工・飯田耕一郎共著の『アーチ設計法』では、斜架拱の設計手法として、螺旋式(Helicoidal Method)、対数曲線式(Logarithmic Method)、カウスホーム式(Cow's Horn Method)の3種類を掲げており、また『工学会誌』にも斜架拱の設計手法が紹介されるなど<sup>7)</sup>、その幾何学的設計理論にはいくつかの方法が存在したようである。

### 3.3 斜架拱の施工

『斜架拱』ではその施工方法について通常のアーチ橋と同様、木製セントルを設置して、石材またはレンガを疊築すると解説しているが、そのためには前述の設計手法に基づき予めセントルに接合線の位置を明示する必要があるとしている。また、拱石を切出す際に使用する定規を示しているが(図-8)、これまで筆者等が調査したアーチ橋はすべてアーチ部分がレンガにより構成されており、実際にこのような道具がわが国での工事現場で使用されていたか否かは明かではない。

### 3.4 斜架拱の実際

図-9は、今回調査した関西地区の斜架拱における斜架角と起拱角(内弧)の関係をプロットしたもので、式(5)に基づく理論値と比較すると、一致するケースと一致しないケースがある

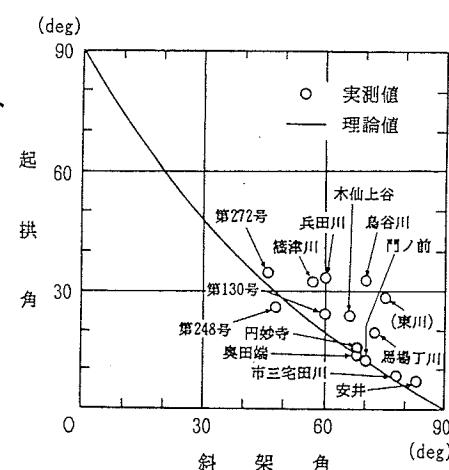


図-9 斜架角と起拱角の関係

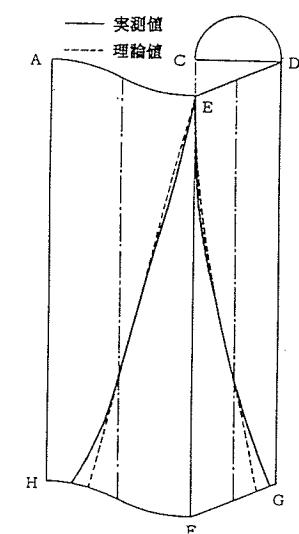


図-10 接合線の理論値と実測値の比較  
(東海道本線奥田端拱渠の例)

ことが判った。また、図-10は、東海道本線奥田端拱渠におけるレンガの接合線の実測値と理論値を比較したもので、坑奥に達するに従つて両者の間に若干のずれが生じていることが判つた。このことは、前述のように斜架拱の設計手法にいくつかの種類があつたことや、施工時の誤差等に起因するものと考えられるが、この点については今後さらに検討を加える必要があろう。

#### 4. 考察

今回の報告では、斜架拱が斜めのアーチ橋を構築するために工夫された優れた土木技術であることを、現地調査および文献調査に基づき明らかにした。こうした斜架拱が、わが国で2番目の鉄道として開業した大阪～神戸間の鉄道に存在していたという事実は、この技法が鉄道建設のごく初期段階で導入されていたことを示すものであり、この区間がイギリス人技師の指導により建設されたこと、毛利・伊藤著の『斜架拱』が外国文献を翻案したものであること等を勘案すると、その源流はヨーロッパあるいはその植民地あたりの土木技術に遡ることができるものと判断される。図-11は文献6より引用したものであるが<sup>5)</sup>明らかに斜架拱により構築されていることがわかり、わが国に鉄道が導入される以前に、既に彼の地においてこの技術が確立されていたことを示している。また、斜架拱が明治期に建設された関西地方の各線区はもとより、他の地域、鉄道以外の構造物にも散見できるということは、この技法が限られた技術者の特殊な施工法ではなく、ごく普遍的な施工方法として位置付けられていたことを示しているものと考えられる。しかし、こうしたレンガによる構造物は明治末期に登場したコンクリート構造の台頭とともに衰退の一途をたどり、斜架拱の技術も大正初期を最後として継承されることなく消滅してしまったものと推察される。

本論文では幻の土木技術とも言うべき斜架拱について、筆者等がこれまで得た知見に基づき概観したが、今後は斜架拱の具体的施工法、他の地域や海外における事例調査、各設計手法とその理論的根拠等についてさらに考察を加えて行きたいと考える。

なお、今回の研究にあたつては、京都大学工学部土木系図書室、福井県三国町教育委員会、(財)交通文化振興財団、JR東日本図書室、JR九州門司構造物検査センターの関係各位に種々御協力を賜つた。また、他の分野、他の地域における斜架拱の事例については、信州大学工学部小西純一助教授、東京大学生産技術研究所水野信太郎氏、国立科学博物館清水慶一氏より有益なる御教示を賜つた。ここに厚く御礼申上げ結びとする。

(写真はすべて筆者、1989～1990年にかけて撮影)

#### [本文注]

- 1) 「斜架拱」という用語が斜めに架けられたアーチ橋そのものを指すものか、斜めのアーチ橋を架けるための施工法を示すものかは厳密に定義されておらず、文献等においても混用されているようである。本論文においても特に厳密な定義は行わず、両者の語義を総称した広義の用語として用いることとする。
- 2) 管見によれば、アーチ橋は側壁および坑門がイギリス積みレンガ、アーチ部分が長手積みでできており、側壁と坑門にはしばしばレンガの代わりに石材が用いられている。斜架拱も基本的にはこの法則に従っているが、アーチのレンガのみが渦巻き状に積んである。
- 3) ここでは組織上、筆者等が保守管理を行っている線区(JR西日本本社直轄管内)を調査範囲とした。
- 4) この他、斜架拱の可能性がある拱渠が2～3箇所存在するが、現場の立地条件が悪く、確認できなか

つた。

- 5) 文献1。
- 6) 文献2。
- 7) 例えば、文献3。
- 8) 原図は、Victoria & Albert Museum "Early Rail way Prints" HMSO(1974)

#### [参考文献]

- 1) 「鉄道線路各種建造物明細録第一編」鉄道庁(1892)
- 2) 毛利重輔、伊藤謹太郎「斜架拱」丸善(1899)
- 3) Shibata,K. "A Note on Skew Arches" 工学会誌, No.229(1901)
- 4) 松永工、飯田耕一郎「アーチ設計法」博文館(1907)
- 5) 苗建彦「英雄時代」の技師たち－第3回－”鉄道土木, Vol.26, No.10(1984)

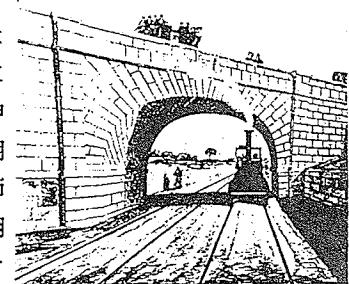


図-11 Rainhillの斜架拱  
(Liverpool & Manchester Railway, GREAT BRITAIN)