

## 中国における橋梁回転工法の概要

山 田 守\*  
陳 徳 榮\*\*

## 1. 概 要

中国における橋梁発展の歴史をみれば、アーチ橋建設の歴史が最も古い。アーチ橋は支間が長く、造形上美観に優れ、かつ耐荷力も大きい。また鋼材の節約、維持と補修の容易さ、長い使用寿命などの長所を有している。中国におけるアーチ橋は、長大スパン橋梁の分野で最も多く採用されており、現在もその地位は不動のものとなっている。

アーチ橋の最も重要な点は、施工法の選定である。よく採用される施工法は、次のとおりである。

- 全支保工上でアーチリングを場所打ちコンクリート施工する。
- 木製または鋼製のセントルを架設し、その上にコンクリートアーチリングを打設する。
- ケーブル・クレーンを用いたケーブル・エレクション工法によりアーチリブを架設する。
- 片持ち張出し架設工法によりトラスアーチ橋を架設する。
- 半剛性鉄骨組（メラン材）、仮設荷重の架設工法によりアーチリブを施工する。

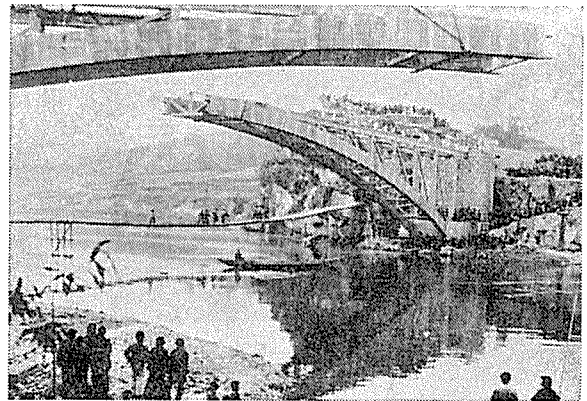
しかし、架設設備が不十分な過疎地域などの急峻な渓谷で、上記の施工法を採用すると、全支保工立上げが不可能、あるいは支保工やセントルの架設設備を多く必要とするため不経済になる。また、高度な作業能力を必要とするなど、様々な条件により困難となってくる。

したがって、山岳地帯に良く適しており、経済性も高い施工法の考案が急務であった。中国四川省交通科学研究所所長張聯燕らは、1977年3月に“アーチ橋の回転施工法”という理論（1975年）に基づく回転工法により、スパン70mのRCアーチリブのテスト橋を造った。当テスト橋の平衡回転システムの総重量は1200tであり、木材100m<sup>3</sup>、鋼材15t、テフロン板60kg、50tのジャッキ8台、ウィンチ2台などの機材と簡単な設備を使用した。幅員7mの片側のアーチリブ部材を所定の位置に回転する所要時間は4～5時間であった。

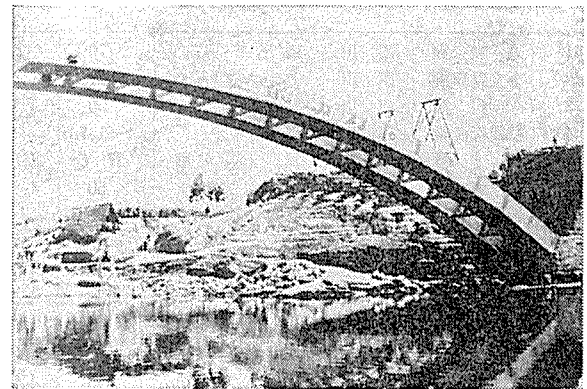
以上のように、回転工法は構造性能が良く、安全で、

工期が短く、施工機材の節約と施工設備の軽減、施工作業の容易さ、地形への適応性も高い。かつ工事中の桁下空間の支障もなく、経済性も高い等のメリットを持っている。

上記のテスト橋施工後、中国では10年間に回転工法



写真—1



写真—2



写真—3

\* (株)会津工建社技術開発室長

\*\* 赴日高級訪問学者、中国交通部公路科学研究所高級工程師

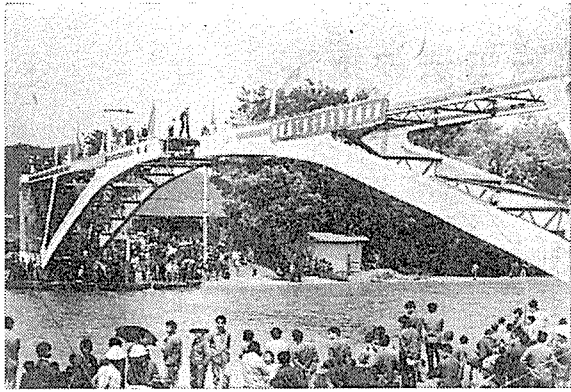


写真-4

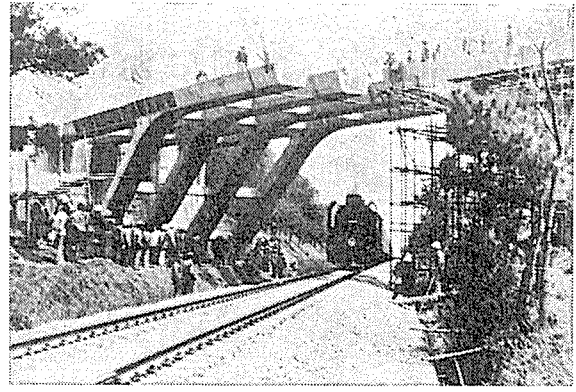


写真-6

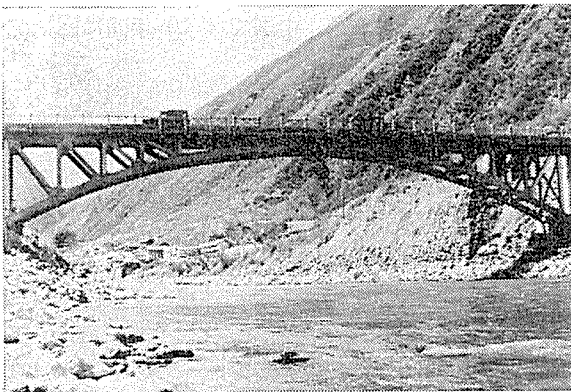


写真-5

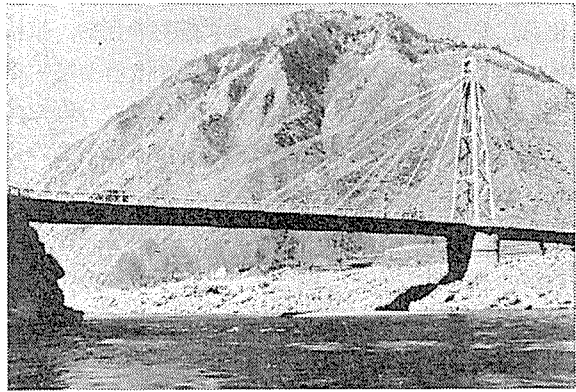


写真-7

表-1 回転工法による橋梁

番号	橋名	所在地	構造形式	径間 (m)	幅員 (m)	ライズ比	回転重量 (t)	回転方式	回転角度	竣工年
1	建設橋	四川	箱形アーチ	70	7+2×0.2	1/10	1200	バランス式回転	143°	1977
2	小金県新橋	四川	トラスアーチ	46.8	4.5+2×0.25	1/7	365	〃		1978
3	宋科橋	四川	〃	50	4.5+2×0.25	1/8	526	〃	98°~112°	1979
4	松樹坳渡槽	四川	〃	51.73	2.1	1/8	347	〃		1979
5	曾達橋	四川	斜張橋	37+68	4.5+2×0.75		1344	〃	約90°	1980
6	東科橋	四川	トラスアーチ	50	4.5+2×0.25	1/8	526	〃	87°~92°	1980
7	鯉魚塘橋	貴州	双曲アーチ	80	7+2×0.25	1/7	1630	〃	100°~180°	1981
8	水庫交通橋	四川	鋼トラスアーチ	35	2		50	〃	90°	1981
9	穿洞子橋	四川	双曲アーチ	35	4.5+2×0.25		260	〃		1981
10	漁巴渡橋	四川	〃	30	4.5+2×0.25		274	〃		1981
11	核桃坪橋	四川	トラスアーチ	40	4.5+2×0.25	1/10	292	〃	124°	1982
12	洪溪橋	湖南	ラーメンアーチ	40	4.5+2×0.25	1/9	322	〃	119°~135°	1983
13	安定橋	四川	トラスアーチ	45	4.5+2×0.25		460	〃	130°	1983
14	統腊橋	四川	ラーメンアーチ	30	4.5+2×0.25	1/6	192	〃		1983
15	鎮江美橋	四川	トラスアーチ	35	4.5		382	〃	80°~90°	1984
16	楊村流槽橋	江西	ラーメンアーチ	67	4.5	1/10	440	〃	100°	1984
17	前進橋	山東	〃	40	32+2×4	1/8	836	〃	90°, 180°	1985
18	鉄路立交橋	江西	方杖ラーメン	30	9+2×1.3		1100	〃	46°	1985
19	石背橋	湖南	箱形アーチ	90		1/9	1666	〃	93°~105°	1986
20	幸福橋	四川	トラスアーチ	24	4.5+2×0.25	1/7		〃		1986
21	友誼橋	四川	〃	29	4.5+2×0.25	1/7		〃		1986
22	團結橋	四川	〃	44	4.5+2×2	1/8		〃		1986
23	龍門橋	四川	箱形アーチ	122	7+2×2	1/4	424	対称同期回転	{ 29° 23°~103°	1966
24	游豊橋	湖南	双曲アーチ	60	4.5+2×0.25	1/7		〃	110°~133°	1987
25	涑江橋	廣西	箱形アーチ	65	7+2×1	1/8	1800	バランス式回転	101°~127°	1987
26	古攪橋	廣東	ラーメンアーチ	60	4.5+2×0.25	1/10	640	〃	110°~111.5°	1987
27	團結渠渡槽	四川	トラスアーチ	100	2.32	1/6	320	鉛直回転	22°~30°	1986
28	涪陵烏江橋	四川	箱形アーチ	200	9+2×1.5	1/4	750	対称同期回転		1988
29	仙人橋	湖南	ラーメンアーチ	80	7+2×0.25	1/6	1570	バランス式回転		
30	三道沟橋	湖北	〃	35	9+2×1.5		850	〃	80°	

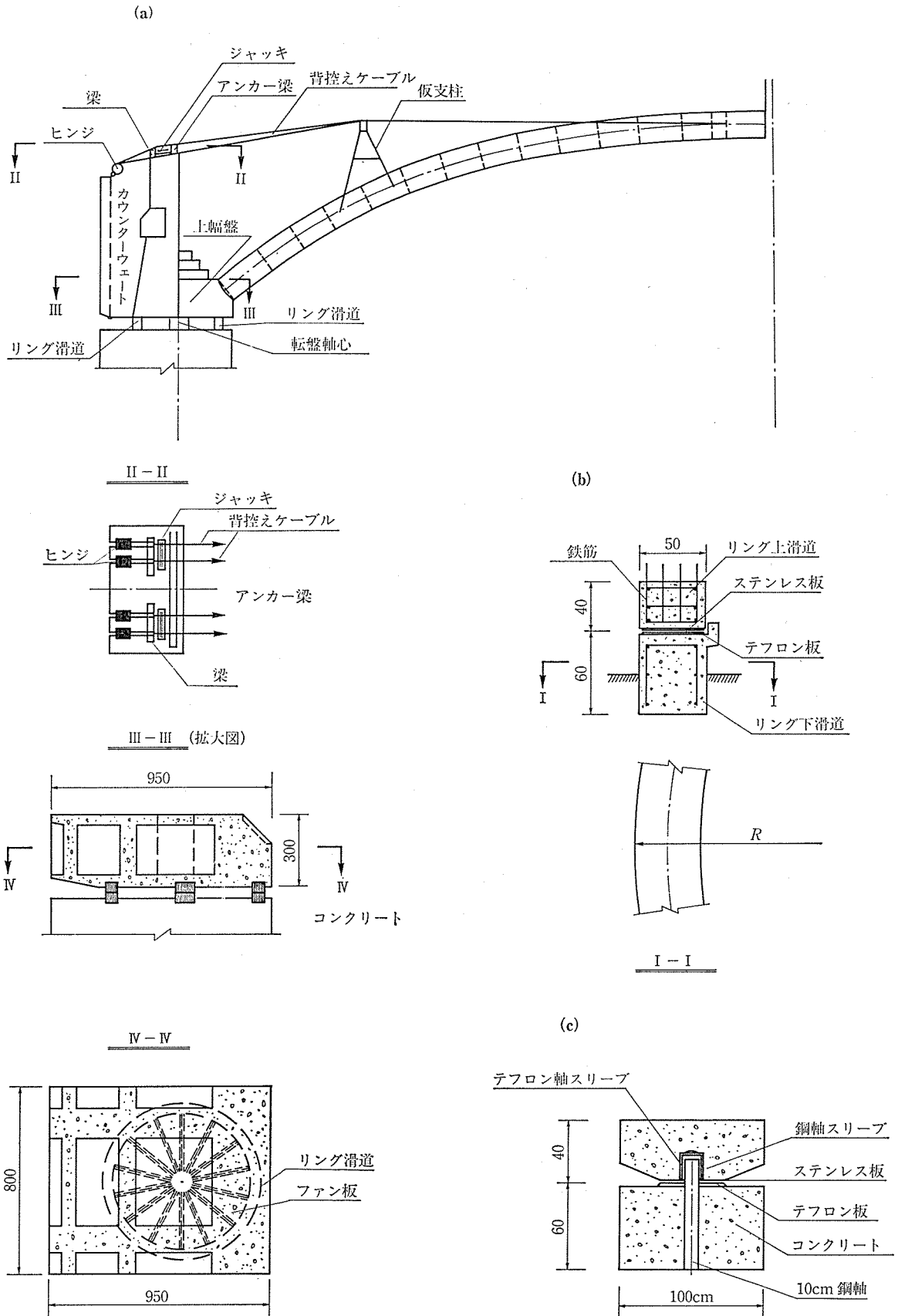


図-1

による橋梁の完成は 30 余を数えた。代表的なものには次のような橋種がある。

箱形アーチ橋（写真—1）、リブアーチ橋（写真—2）、双曲アーチ橋（写真—3）、ラーメンアーチ橋（写真—4）、トラスアーチ橋（写真—5）、方杖ラーメン橋（写真—6）および斜張橋（写真—7）等があり、最大スパンは四川省涪陵江島大橋の 200 m である。

回転工法は中国で急速に発展している。現在、回転工法は山岳地帯にかかる橋だけでなく、建築への適用も可能となった。交通部、鉄道部、林業部、水利電力部、四川省、貫州省、廣東省などの各地、各分野で多く採用されている。当工法の一部の実績 および 主要技術諸元は表—1 に示すとおりである（国外では回転工法によって約 10 橋を完成している）。

## 2. 回転工法の主な設備

回転工法の原理は、摩擦係数の小さいテフロン板などの材料および合理的な回転盤構造により、巨大な橋梁構造物を回転させるものである。

回転工法の主な設備は回転盤システム、カウンターウェイト、背控えケーブルおよびアンカー、アーチにある仮支柱等がある。図—1 は、回転工法により架設したスパン 70 m の RC リブアーチ橋の施工構造図である。

### 2.1 回転盤システム

回転盤システムは回転工法の重要な構造であり、リング下滑道、リング上滑道、転盤軸、上転盤などから構成されている。リング滑道の内・外直径はリング滑道の支持圧力と回転の安定性により選定される。スパン 70 m ~80 m の場合に、リング滑道の幅は一般に 40 cm~50 cm、上滑道の高さは 40 cm、下滑道の高さは 60 cm（下端 30 cm を橋台に埋める）の RC 構造である。上滑道の下表面にステンレス板を貼り付け、上・下滑道の間にテフロン板を挿入する（図—1 (b)）。テフロン板の支持圧力を  $100 \text{ kg/cm}^2$  以下に制限する。テフロン板とステンレス板の静的摩擦係数は約 0.0291~0.051、動的摩擦係数は 0.028~0.0398 であり、圧力が大きいほど摩擦係数が小さくなる。

転盤軸は回転の軸心で、同時に上転盤の中心部である。それは直径 1 m の RC 構造で、中心に直径 10 cm の鋼軸の上端にテフロン軸スリーブと鋼軸スリーブを有し、鋼軸スリーブにコンクリートを打設して上転盤と連結される。転盤軸の上・下構造の間にそれぞれステンレス板を貼付し、テフロン板を挿入する。図—1 (c) に転盤軸の詳細構造を示す。

### 2.2 カウンターウェイト

回転系の重心と転盤軸の軸心と同じ鉛直線にするた

め、バランスを保つカウンターウェイトを設置する（平衡壁）。

### 2.3 背控えケーブルおよび仮支柱

架設中のスプリングングに仮ヒンジ支承を設置し、アーチ部材の頂端部に横桁を設け、背控えケーブルと横桁を緊結する。ケーブルはアーチにある仮支柱を経て上転盤の底部に定着する。梁とアンカー梁の間にジャッキを設置、背控えケーブルの張力を調整しアーチ部材を支保工から分離させる。仮支柱の位置と高さおよび背控えケーブルの張力を調整することにより、アーチ部材は回転中、終始圧縮されることができるので、受力性が高い。

## 3. 回転工法の施工要領

(1) アーチ部材を二つのブロックに分け（長さは約スパンの半分である）、兩岸の地形を利用して簡単な支保工を設置し、その上にアーチ部材をそれぞれ製作する（場所打ちまたはプレキャスト）。

(2) 回転盤システム、背控えケーブルおよび定着システムなどを設置する。

(3) カウンターウェイト（平衡壁）を施工する。

(4) ジャッキで背控えケーブルを緊張すると、アーチ部材が支保工から離れる。

(5) ウィンチで牽引し回転装置によりアーチ部材を所定の橋軸の位置に回転して閉合する。

(6) クラウン部とスプリングング部の連結鉄筋を溶接し、コンクリートの継手部を打設する。同時に回転盤の内・外にコンクリートを充填して回転盤を固定する。充填のコンクリートが設計強度に達してから、徐々にケーブルを緩めてアーチ構造の働きを作用させる。

(7) 後の作業は通常のアーチ橋の施工と同様である。

## 4. 回転工法の発展

### 4.1 回転盤の改良

初めは平面リング滑道支持システムを採用し、テフロン板とステンレス板を使用した。鋼材の加工を減じ、高価なテフロン板を節約するため、その後、大部分の回転盤はコンクリートまたは鋼の丸いヒンジ式転軸支持システムを採用している。

ほかに、ワイヤケーブルを背控えケーブルとして使用すると、ケーブルの架設サグと伸び量が大きく、温度の変化によって張力も大きく変化し、アーチ部材の断面力および高さの調整に影響するため、鋼棒または鋼より線を採用する。

### 4.2 構造物の形状構成について

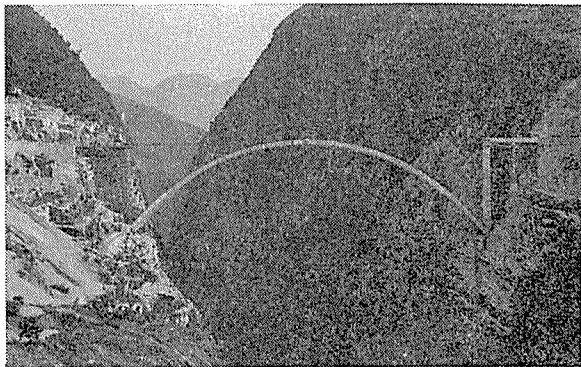
回転重量の軽減を図るために、箱形アーチ橋の場合、

回転架設前に薄肉の箱形アーチ部材を製作し、回転閉合後、箱の断面寸法を大きくして箱形断面アーチリングを逐次完成する。例えば、3室箱形断面の施工では、まず二つの外箱を回転閉合したあと中箱を製作してアーチリングの断面を完成する。

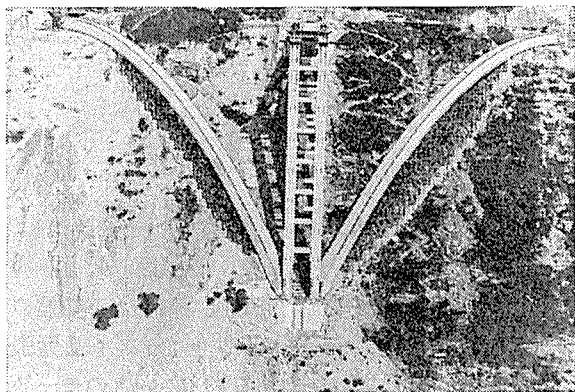
### 4.3 径間の発展

上記で紹介した回転工法の施工はカウンターウェイト（平衡重量）を採用したものである。スパンが小さい場合には、カウンターウェイトにより施工することができる。カウンターウェイトにより回転架設した橋梁の中で、曾建斜張橋のスパンは105m、このほかは全部100m以下である。

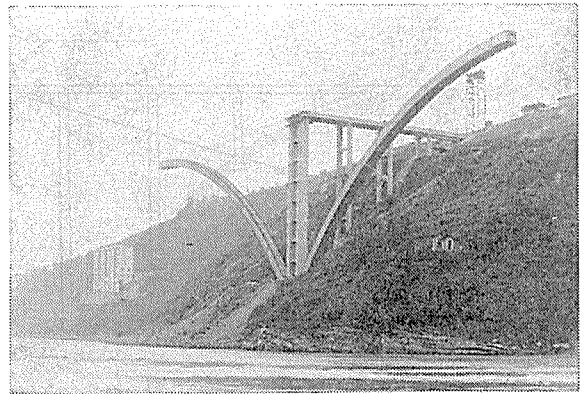
平衡回転システムにより架橋する場合、スパンが大きくなると、平衡用の石材が大量に必要となる。例えば貴州省鯉魚塘橋はスパン80mのRC双曲アーチ橋での回転重量は約1630t、平衡重量は1400tぐらいに達した。スパンが長いほど、平衡重量が重くなり不経済となる。当研究所ではこれに改良を加えて、アーチ橋のノンバラスト回転施工の研究をしている。1986年に、RC箱形アーチのテスト橋を完成した。テスト橋のスパンは122m、ライズ比は1/4、橋梁の高さは102mである（写真—8）。その後、1988年には中国で最大スパン200mのアーチ橋——四川涪陵烏江大橋を完成している（写真—9～12）。



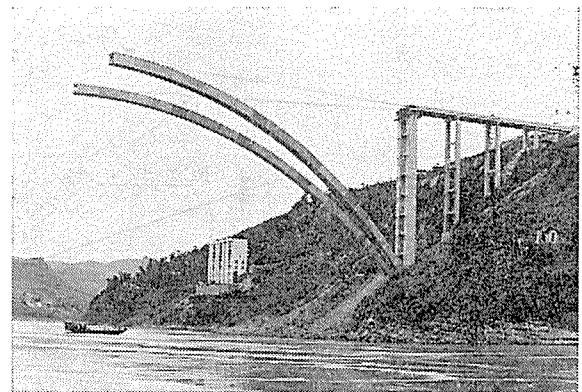
写真—8



写真—9



写真—10



写真—11

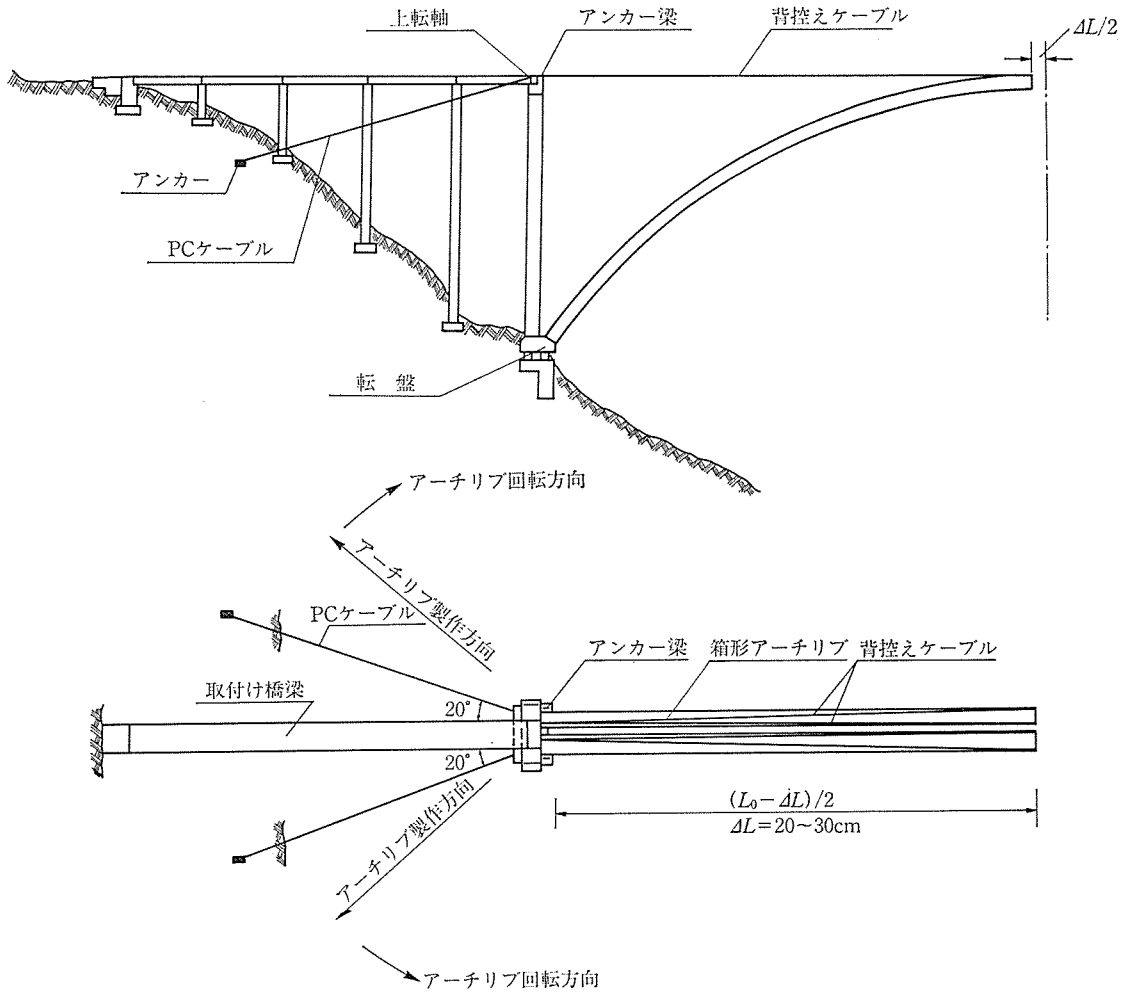


写真—12

表—2 涪陵烏江大橋技術諸元

構造形式	主 橋：RC 固定アーチ橋 取付け橋梁：PC 連続スラブ橋
支 間	200 m
ラ イ ズ 比	1/4
橋 長	359.4 m
幅 員	12 m (アーチリング幅 9 m)
アーチリング断面形式	3室箱形断面 (桁高 3 m)
橋 高	86 m
基 礎	直接基礎
施 工 法	自動制御対称同期回転工法
回 転 重 量	4×620 t

涪陵烏江大橋は、自動制御対称同期回転工法により架設されたものである。当橋の技術諸元は表—2に示すとおりである。



図—2

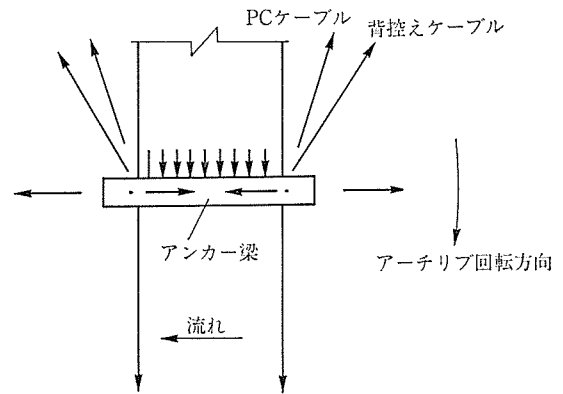
涪陵烏江大橋の施工順序は、回転系の重量を軽減するために、回転前に両岸で二つの外箱の薄肉箱形アーチ部材をそれぞれ製作する。二つの外箱アーチ部材を回転して閉合した後、アーチ部材の腹板、上・下床版を厚くし、中箱の上・下床版を造り、アーチリングの3室一体断面を構成するものである。

二つのアーチ部材の同期回転施工技術の鍵は架設中の対称同期の制御である。このため、光波測量器で回転角度を測定し、コンピューターによって設計値と比較し管理している。2台の連動式の変速ウィンチでアーチ部材の回転速度を自動的に制御する。二つのアーチ部材の回転角度の違いは、設計許容値が $2^\circ$ で、実測値が $0.07^\circ$ 以下というすばらしい効果が認められた。

図—2 は、二つのアーチ部材の対称同期回転の施工概要図である。

主な設備は、定着システム、転動システムおよび位置コントロールである。

定着システムは、取付け橋梁、橋脚（台）躯体、アンカー梁および PC ケーブルなどから構成されている（図



図—3

—3)。

転動システムは、上転盤、下転盤、アーチ部材およびアンカーケーブルなどからなっている（図—4、図—5）。

コントロールシステムは、上転盤の軸心と下転盤の軸心の偏心値  $e$  を利用する。アンカーケーブルを緊張してアーチ部材が支保工から離れると、外向きのモーメントが生じる。このためアーチ部材の頂端につなぐ控元素

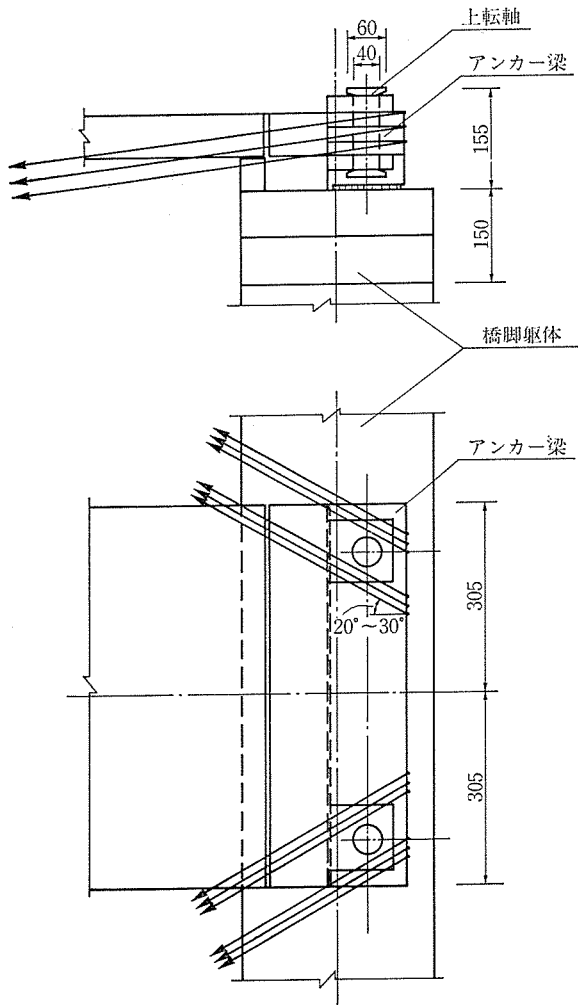


図-4 上転盤構造 (単位: cm)

により回転速度と位置を制御している (図-6)。

### 5. むすび

現在、中国における回転工法は、水平回転と垂直回転の併用並びに回転構造物の軽量化の方向に進んでいる。したがって、大スパンの橋梁と大型構造物を架設することができるので、今後も非常に期待できる施工法といえる。

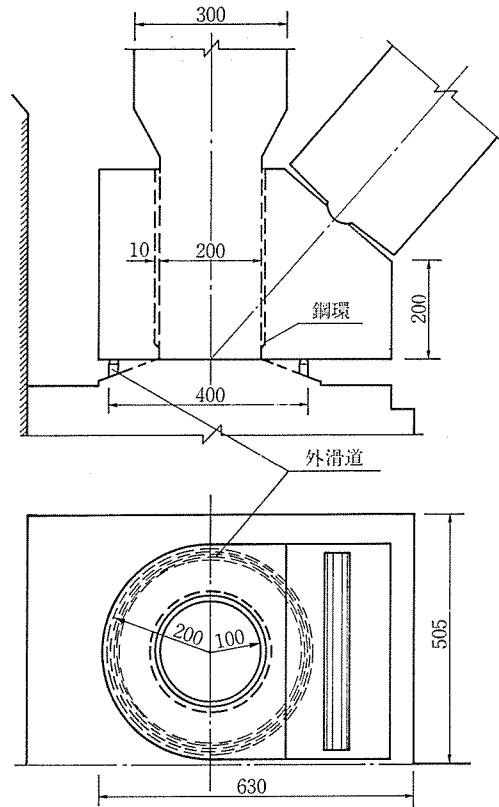


図-5 下転盤構造 (単位: cm)

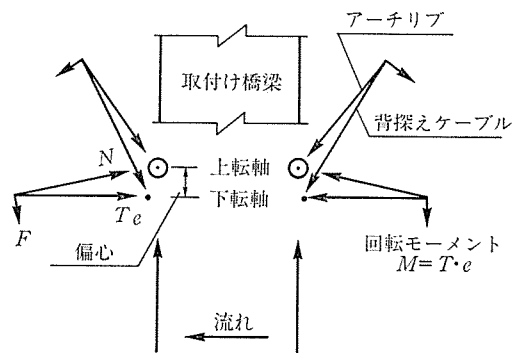


図-6

### 参考文献

- 1) 張 联燕:「中国の橋梁工事における回転工法の実用と発展」(中国語), 国際公路運輸技術交流会論文集, 1989.5

【1989年5月2日受付】