

鉄筋コンクリートアーチ橋の長大化に伴う 施工計画、技術管理に関する研究

宮 崎 雄 二 郎*
佐 藤 浩 一**

1. ま え が き

長大コンクリートアーチ橋の歴史は非常に古く、1911年にはスパン 100 m の Rome 橋（イタリア）が架設されており、その後も着々とスパンの長大化が進み、1979年にはスパン 390 m の Krk 橋（ユーゴスラビア）が架設されている。このように諸外国、特にヨーロッパにおいては、長大コンクリートアーチ橋の架設が盛んであるにもかかわらず、わが国においては、その発展が非常に遅れていることに気づく（図-1 参照）。その原因として、わが国は諸外国に比較してコンクリート構造物の歴史が浅いことや、コンクリート材料中心の研究に比較して、コンクリート構造物の力学的研究がそれほど行われなかったこと、また、コンクリートアーチ橋の施工性に多少難点があったことなどがあげられよう。

鉄筋コンクリートアーチ橋（以下「RC アーチ橋」と略称する）は架橋地先の地形、地質が良ければ美観、および振動・騒音などの環境適合性にもすぐれ、維持管理が不要なこともあって、橋種としては有利なものである。しかし長大スパンになると、従来の施工法では支保工費がかさみ、経済性において必ずしも有利ではなかった。そこで筆者らは RC アーチ橋の短所である施工性の問題を解決するため、外津橋（1974 年完成、佐賀県）（図-2）の架橋計画において、支保工の不要な、PC 鋼棒を斜め吊り材とする片持梁施工法を提案し、RC アーチ橋の長大化に伴う施工計画および技術管理に関する研究を行った。

2. 長大コンクリートアーチ橋の設計・施工 （外津橋を例として）

外津橋は中央スパン 170 m を有する橋長 252 m のわが国最大の RC アーチ橋である。従来この形式の架設に採用されてきたステージング工法を本橋に採用するには本橋が海上にあり、支保工をつくるには橋面が高すぎる（海底より 50 m 高さ）ため難しい。そのため本橋の架設は PC 鋼棒によりアーチリブ、橋脚、上床版を斜めに吊り上げながら張り出していき、中央クラウン部で閉合させるという世界に例をみない工法を採用している。

2.1 設 計

一般に鉄筋コンクリートアーチ橋は、支保工（セントル等）で施工されている例が多い。本橋では PC 鋼棒によりアーチリブ、橋脚、上床版を斜めに吊り上げながら片持梁張出し架設工法をとっているため、アーチリブのみならずアーチリブ上に立つ各橋脚および上床版についても片持梁施工としての構造解析が必要である。

本橋の設計計算にあたっては、全体の完成系の構造解析のほかに、各アーチリブ施工ブロック単位、橋脚の立上がり順序、上床版の施工および全仮設材、支保工の影響など、あらかじめ施工順序を正確に決め、これにしたがって各段階ごとの構造系の変化区分に関して大型の電子計算機により構造解析を実施した。

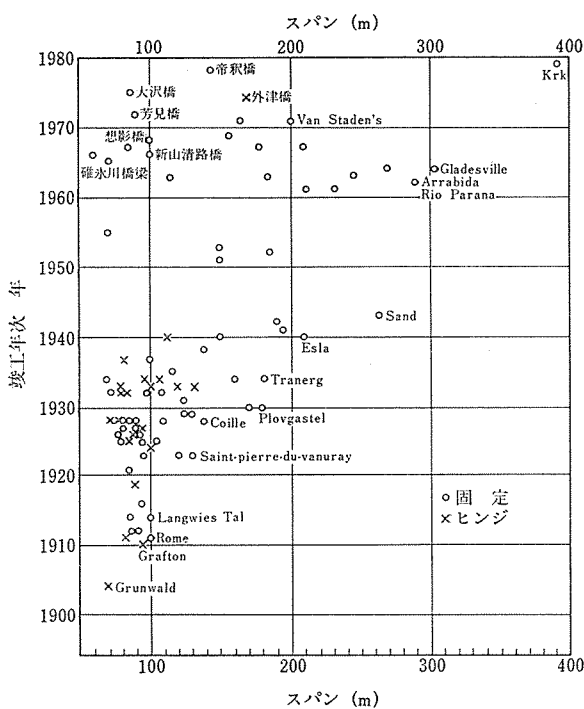
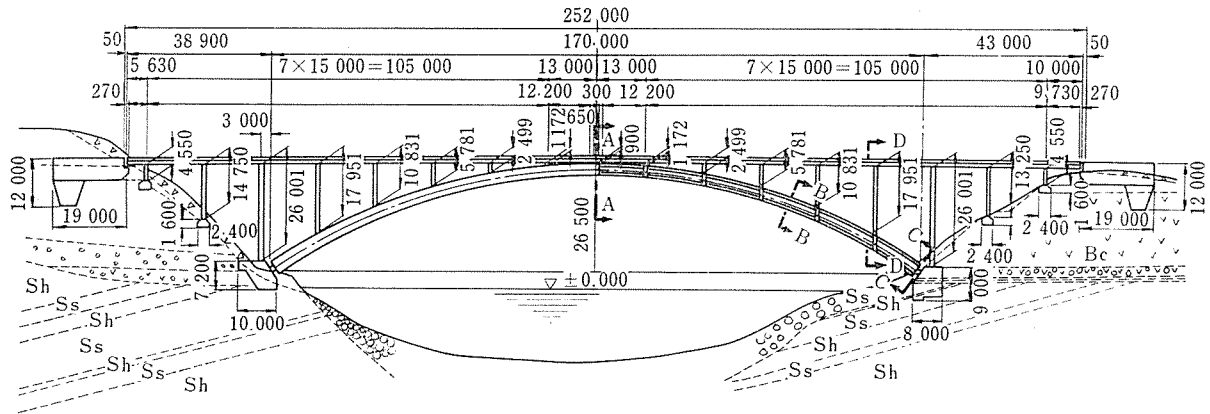


図-1 鉄筋コンクリートアーチ橋における
スパン-竣工年次グラフ

* 富山県道路部道路課長

** 住友建設（株）土木部長

側 面 図



平 面 図

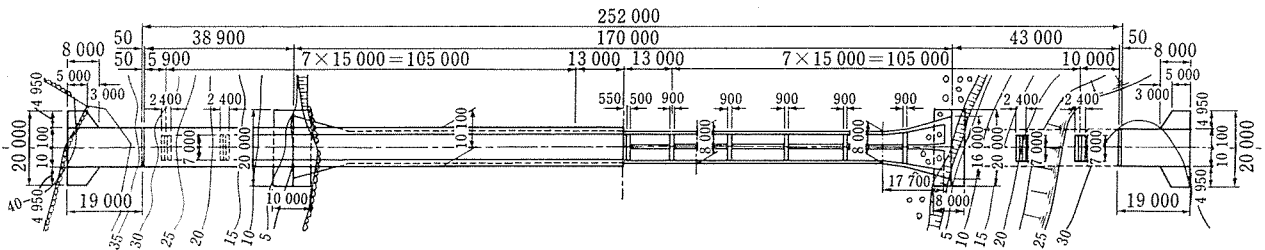


図-2

【構造設計概要】

(1) アーチリブ

アーチリブは2ヒンジ構造であり、断面は2室箱桁である。アーチスパン 170m、ライズ 26.5m、桁高はスプリンキング部で 3.0m、クラウン部 2.4m、アーチリブ幅は 8.0m であるが、面外地震時・風圧などによる橋軸直角方向の安定性をあげるため、両端スプリンキング部を橋軸直角方向へ 16m 幅に拡幅している。

(2) 橋 脚

アーチリブ上の橋脚は1～5層のラーメン構造とし、その高さは 17.951～0.635m に変化している。また、架設時の揚げ越し、温度変化、クリープ乾燥収縮によって橋脚が前後に傾きを生じ、大きな曲げモーメントを生じることになるので上・下端には鋼製支承がはめ込まれ、ロッキングピアーを構成している。

(3) 上 床 版

上床版は片持梁架設工法に有利に自重を軽減するため桁高 60cm、9 径間連続 PC ホロースラブ形式を採用した。

(4) 橋 台

本橋の橋台は、アーチ本体の片持架設時に橋体全体が転倒しようとする力をアンカーするために設置するもので、アーチ閉合後はこのように大きな構造は必要ないも

のである。

(5) アーチアバット

アーチリブスプリンキング部にかかる完成後の最大軸力は約 6700t、架設時約 5000t である。この軸力は片側 4 個の大型ピン・シュールによりアーチアバットに作用させる。

外形寸法はおよそ幅 20.0m、高さ 9.0m、長さ 8.0m である。

2.2 施 工

地震国であるわが国において、コンクリート構造物は重量が大なるため、架設時における地震の影響により構造物の部材寸法が決定される可能性も生じてくる。外津橋のような架設法をとる場合は特に、すべての施工状態での安全性を確認しておかねばならない。

以下施工順序を示す。

① 側径間部の施工

- 1) 橋台、アーチアバット、橋脚、コンクリート打設。
- 2) 鋼棒 76 本を上床版上面に配置。
- 3) アーチリブシュール (1655t シュール) 4 基設置。

② アーチリブ支保工区間の施工

- 1) P₁～P₂ 間斜め吊り PC 鋼棒 T₁ (36 本) にて鋼パネルガーダー支保工を吊り下げる。

③ アーチリブ架設作業車施工区間の施工

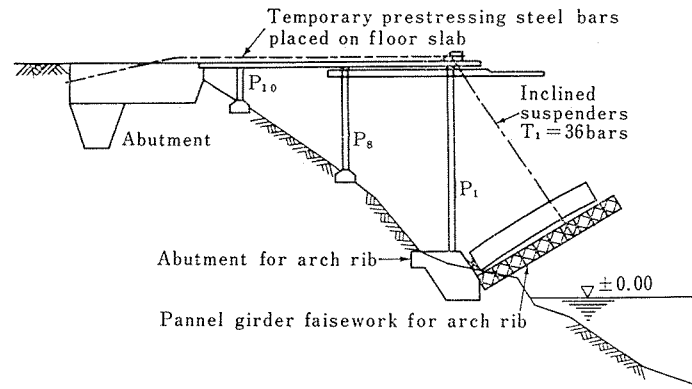


図-3

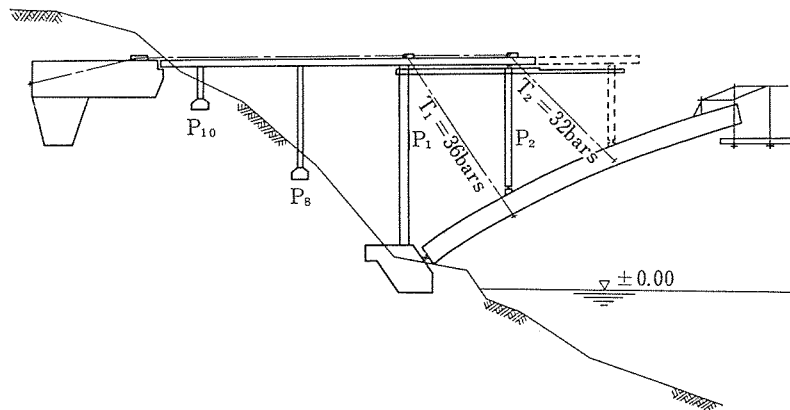


図-4

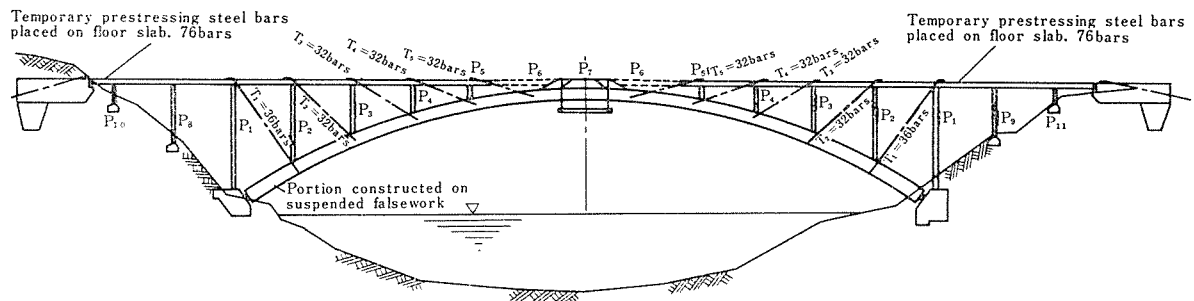


図-5

- 1) $P_2 \sim P_3$ 間をアーチリブを片持梁としてワーゲン施工。
 - 2) アーチリブ前進と同時に P_2 橋脚施工。
 - 3) 上床版移動支保工を前進させ、 $P_1 \sim P_2$ 間の上床版施工。
 - 4) 斜め吊り PC 鋼棒 T_2 32 本を配置し、上床版 out 鋼棒 $T_1 \sim T_2$ 間も同時に配置。
 - 5) 上記工程の繰返し作業により、アーチリブはアーチクラウン部を除き完成する (図-3)。
- ④ 中央クラウン部の施工、および仮設材仮鋼棒の撤去 (図-4)

3. 施工時の技術管理

斜め材利用の片持施工により長大 RC アーチ橋の施工時の技術管理の重点は次の 4 項目につきる。

- 1) 斜め吊り鋼棒の張力管理
- 2) 斜め吊り鋼棒のアンカーの地盤反力管理
- 3) 揚げ越し管理
- 4) コンクリートの応力管理

3.1 斜め鋼棒の張力管理

外津橋の施工において、斜め鋼棒はアーチリブ、上床版、橋脚、下部工など、本橋の構成の要素と同等もしくは同等以上の重要性をもっている。また、設計計算の段

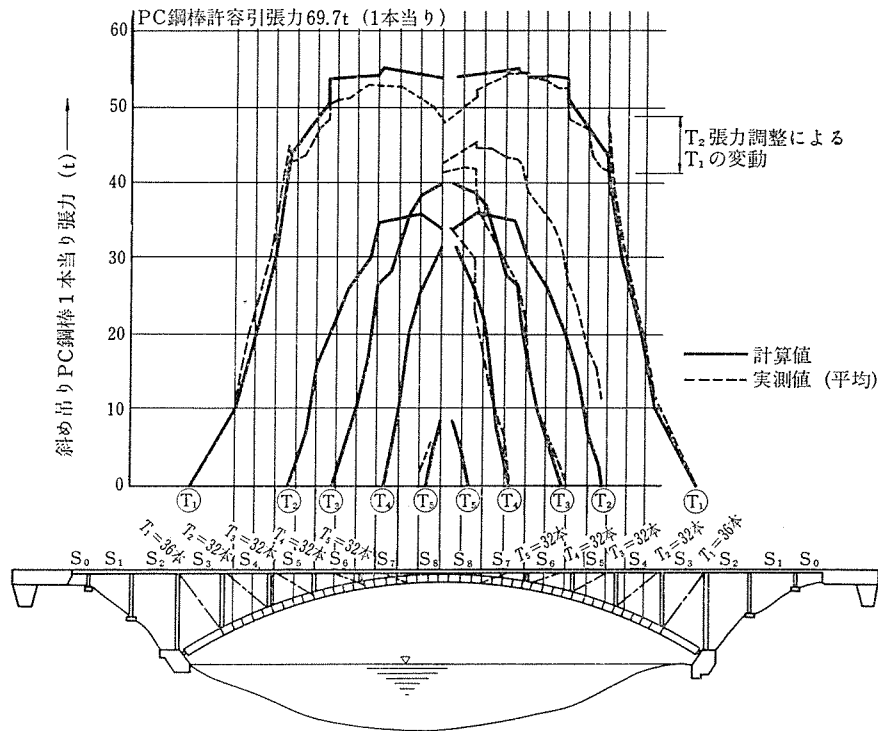


図-6 斜め吊り鋼棒張力管理図

階で、この斜め鋼棒の張力は構造系の一要素として曲げ剛性なしの部材の張力として計算されている。このため、斜め鋼棒の張力管理は極めて重要である。したがって、斜め鋼棒に作用する張力は許容値以下であるとともに、計算値との照合を実施するため、張力を常時測定することにした。図-6 の設計計算値との対称グラフを見ればわかるとおり、ほぼ満足すべき結果が得られたものと考えられる。ただ設計段階では T_1 斜め鋼棒に1本当り最大 56 ton、 T_2 斜め鋼棒に最大 36 ton の張力が入るとしている。56 ton という数字は PC 鋼棒1本当りの応力から見ると、十分に許容応力内であるが、あくまで戸外にさらす状態、本橋の命綱ともいえる斜め材ということで、最大張力を現場では 50 ton 以上には絶対にしないと決めた。また、 T_2 斜め鋼棒1本当り 36 ton は安全すぎるぐらいの値であるため、初期張力を導入しても最大 50 ton 以下であればよいということで、初期張力を導入し、 T_1 斜め鋼棒の張力減少にもっていくことにした。

本橋の施工を終わりこのことを顧みると、上述の目的は十分達成され、 T_1 斜め鋼棒の張力減少を図る意味で、 T_2 斜め鋼棒に張力導入することは成功だったと考えられる。

3.2 斜め鋼棒のアンカーの地盤反力管理

橋台には最大 4400 ton の水平力が図-7 のように作用する。設計計算において、橋台前端、および橋台突起

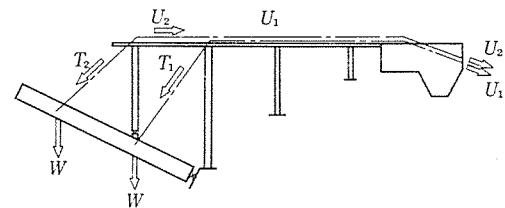


図-7

部前端にそれぞれ、常時で 93.5 ton/m² (地震時 105.9 ton/m²)、68.9 ton/m² (83.4 ton/m²) の地盤反力が生ずる。施工時、地盤反力を測定し、設計計算値との整合性を管理しつつ施工した (図-8)。

アンカー設計時の仮定として、橋台自体を完全に剛であるとし、地盤面との摩擦は一切ないとして計算している。そのため、地盤反力自体は考えられる最大の値が出ている。実測値から見ると橋梁中心線と端部とで値が異なってくるが、これはやはり中央部に大きく出ている可能性が大きいと考えられる。地盤反力の大きさが設計計算値より小さく出ているのはアンカー下面と岩盤との間に摩擦力、密着力が作用しているものと考えられる。

特に突起部前面の地盤反力の測定値を設計計算値と比較すると、相当小さく出ている。これも上記の理由によるものと考えられる。しかし、実測値が本橋ではこのように出たといっても、設計計算自体はやはり当初本橋で行った条件などで行うべきである。

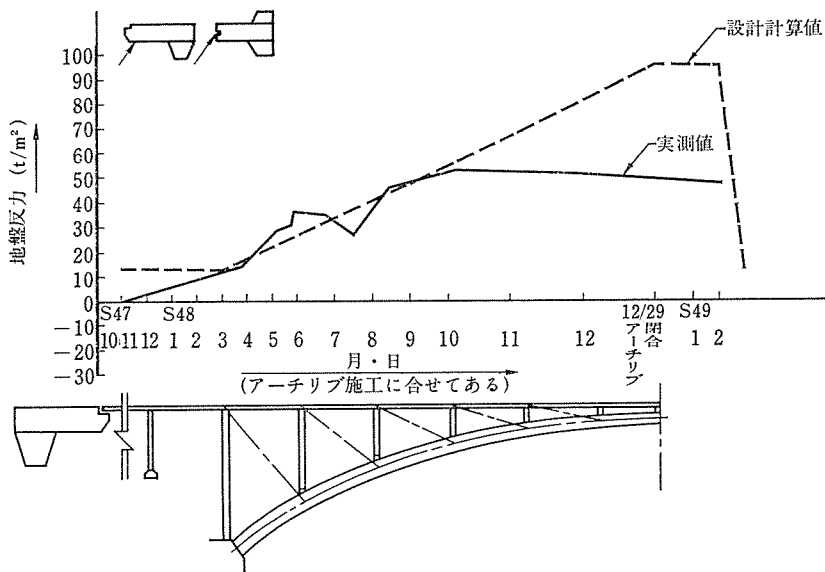


図-8 橋台地盤反力測定図

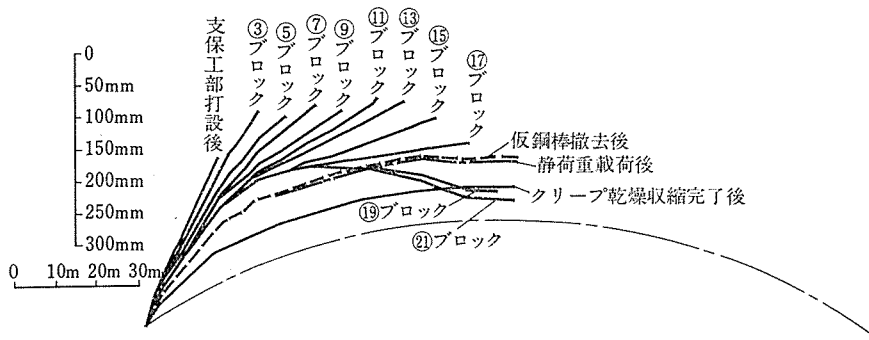
3.3 揚げ越し管理

(アーチリブ、上床版の変位量管理)

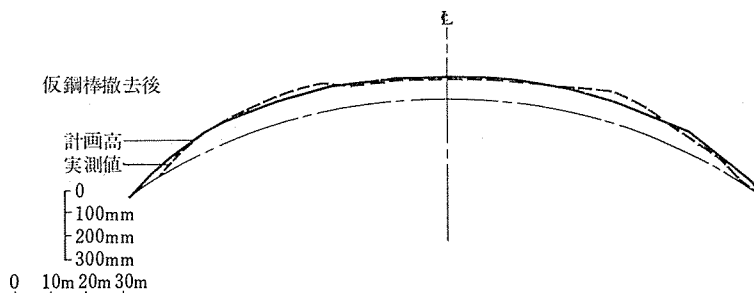
設計計算で揚げ越し値を算出し、その値を施工に適用しているが、そのとき、各施工段階の変位量が設計計算で求めた変位量に一致するかどうかチェックし、また、万一一致しない場合はその原因を究明し、次の施工段階に即座に反映していかなければならない。

変位の生ずる原因としては、

- 1) アーチリブブロックコンクリートの打設
- 2) アーチリブ out PC 鋼棒の緊張
- 3) アーチリブ架設作業車の移動据付け
- 4) 橋脚コンクリートの打設
- 5) 上床版移動支保工の移動据付け
- 6) 上床版コンクリートの打設
- 7) 上床版埋込み PC 鋼棒の緊張
- 8) 上床版 out PC 鋼棒の緊張



(a) 揚げ越し値図



(b) 仮鋼棒張力解放による変位量実測値

図-9

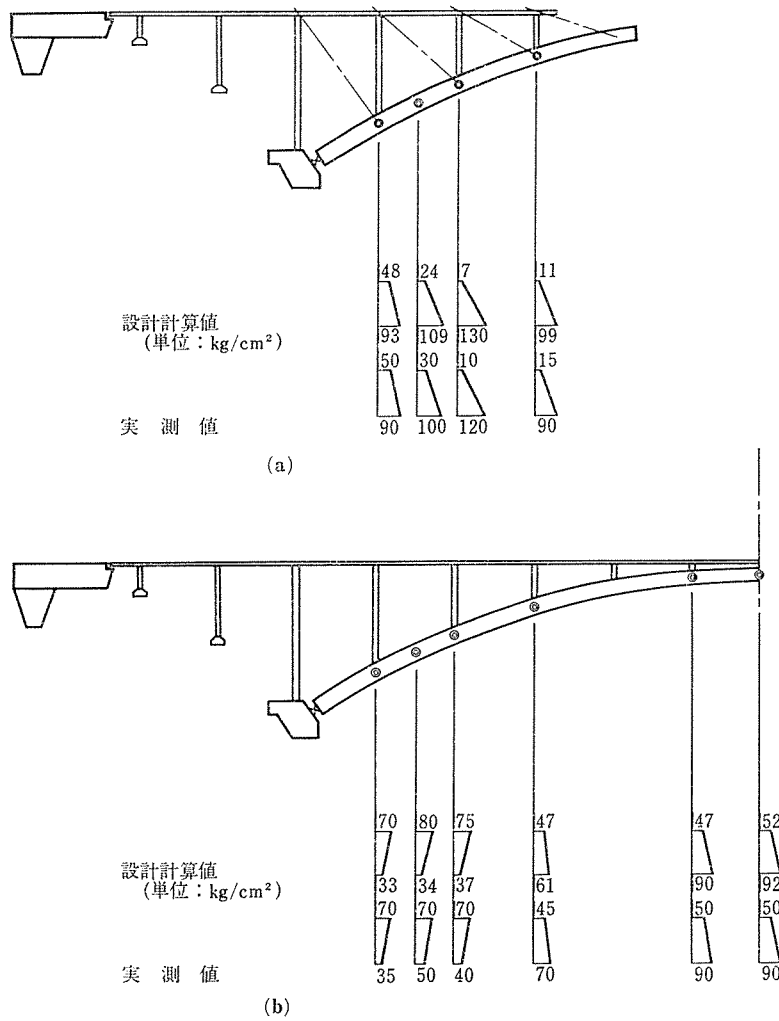


図-10

- 9) 斜め吊り PC 鋼棒セット時の張力導入
- 10) アーチリブ閉合後仮 PC 鋼棒の張力解放および撤去
- 11) 静荷重（地覆，高欄，舗装など）の施工
- 12) クリープ乾燥収縮

外津橋は斜め鋼棒を使用し、アーチリブ、橋脚、上床版を同時に施工するという点で、当初アーチリブの変位量が計算値と一致するかどうか、若干の疑問が残っていたが、本橋施工の経験によれば十分一致することが確認された（図-9）。

3.4 コンクリートの応力管理

設計計算の妥当性について検討するため、本橋の施工に入る前アクリル樹脂による模型実験を行った。

また、コンクリートの応力管理については実際の施工に伴い、コンクリートの応力度が設計計算値と一致する

かどうかを管理した。応力度の測定結果と設計計算値との比較を 図-10 に示す。この図から実測値と計算値との差は 10 kg/cm² の範囲でほぼ一致している。

4. あとがき

以上のことから長大 RC アーチ橋の架設に、特殊架設作業車による斜め鋼棒併用片持梁施工法を利用することにより、経済的にも技術的にも十分有利であることを確認し、この一連の研究によってこの方面の技術進歩にいささかなりとも貢献し得たものと確信する。また、筆者が計画から設計、施工管理、技術管理まで参画した外津橋の架橋実績、および研究成果を基にして、今後、さらにスパンの長大化が行われることを期待する。

【昭和 56 年 12 月 7 日受付】