

## 4. 4 設計計算書の分析

### (1)設計計算書の構成

増田淳事務所の立場は、発注者から設計業務を請け負っているが、実務的には発注者の立場で橋梁工事全体を統括する発注者の代理に近い。このため、計画が確定したあとに詳細設計を行なうのではなく、計画段階から関与しており、設計計算書の構成も予備設計、比較設計などの計算書の作成にも関与している。特に十三大橋の場合は、予備設計計算書や、比較設計計算書とともに予算に関わる書類も含まれる。尾張大橋では、予算設計計算書が増田淳によって作成されている。構造計算の部分は、全般的には英文の記述が多い。

設計の範囲は、上部工、下部工、親柱、照明などの意匠設計および、架設設計まで行なわれている。設計計算書の種類としては必ずしも用語は統一されていないが、以下の通りである。

- ・ 予算設計々算書
- ・ 比較設計予算書
- ・ 設計々算書（上部工、下部工）
- ・ 応力計算書
- ・ 材料調書
- ・ 鋼材材料表
- ・ 下部工数量計算書

### (2)設計準拠基準

7 橋の設計時期は、それぞれ重複はあるが、昭和 2（1927）年 8 月（42B）から昭和 7（1932）年 11 月（伊勢大橋変更設計）の約 5 ヶ年間である。最初の橋梁の 42B が設計される直前の大正 15（1926）年には「内務省道路構造ニ関スル細則」が発行されて規定が改定されていることから、いずれもこの細則を準拠基準としている。

7 橋の設計荷重には、基準に規定される主桁設計活荷重としての 1 等橋から三等橋ごとのスパンで低減する分布荷重である「群衆荷重」、床組に対する自動車、道路ローラの荷重のほか、軌道の車両荷重（十三大橋）が採用されている。

### (3)鉄筋コンクリート構造の採用

増田事務所が設計した橋梁は、比較的規模が大きいものが多く、常願寺川水路橋の木床版を除いて鉄筋コンクリート床版が採用された。この鉄筋コンクリート床版は、木床版で被害の多かった関東大震災以後、積極的に採用されるようになった昭和初期の先端的な工法である。

7 橋の設計が行なわれていた時期の昭和 3（1928）年に発行された鷹部屋福平の「架構新論」の序には以下の記述がある。

「・・・特に震災後の我邦は強剛なる材料と構法とを選ぶ必要を痛切に体験したる結果として鉄筋混凝土構造は最適の材料であり且つ構法であることに到達したかの感がある。」

大正 15 年の細則には鉄筋コンクリート床版設計で有効幅の規定がある。鉄筋コンクリ

ート床版の厚は、いずれも 150mm（美々津）～155mm（尾張）程度で、鉄筋径は 12mm φ、かぶりが 20mm（十三）～25mm（尾張）がとられた。十三大橋では、異型鉄筋が採用されている。増田事務所が設計した床版の設計計算は、鉄筋コンクリート床版の比較的初期の事例である。

#### (4)構造解析

鉄筋コンクリートの採用とともに、剛結合された鉄筋コンクリート構造のラーメンが採用されるようになったことは、昭和初期における橋梁構造における不静構造の増加をもたらした。このため構造解析において不静定構造が高級理論として構造解析で着目されるようになった。昭和 2（1928）年に発行された鷹部屋福平の「架構新論」もそのような要請に応えるものであった。

19 世紀から 20 世紀初頭までに確立された静定、不静定構造解析の理論をもとに、設計実務としては、手計算で構造解析を行うための効率化の工夫が行われてきた。図式解法もその一例で、鉄道橋で最大断面力を生じる連行荷重の載荷位置の決定や、各種トラスの図式解法もこの一例である。

増田淳事務所はアーチ構造を多く手がけており、設計計算の構造解析では不静定の解析に膨大な時間がかかるために、この設計作業の効率を図ることが設計実務上非常に重要であった。7 橋の設計計算では、計算途中がすべて含まれてはいないが、影響線を求めるまでの部分に多くを費やしている。

7 橋が設計された、昭和初期には、不静定構造の解析には、カスティリアノの最小仕事の定理により、支点反力を不静定力として選定して影響線を求める方法が鷹部屋福平の「架構新論」によって設計実務で使われるようになった。

増田淳のアーチの構造解析は、仮想仕事 (principle of virtual work) の定理よるもので、当時すでにアーチ構造の解析で使われている。これは、部材に力が作用し変位が生じるときの仕事 (力×変位) のつり合い条件に基づいて組み立てられる。すなわち、「外力が作用してつり合っている部材に対して、微小変位を与えたとき、その変位によって生ずる外力の仕事と内力の仕事の和は 0 になる」ということに基づく (この場合の微小変位をもって、仮想変位 (virtual displacement) の方法と呼ばれる)。

方程式は、微小変位に外力を乗じたものの総和 = 0 とおいて組み立てることの繰り返しで解析を行っている。十三、美々津、常願寺川、荒川のアーチの場合、ブレース材は軸力部材であり、その微小変形は次式で与えられる。

$$\delta_i = \sum \int_0^L \frac{N_0 N_i}{EA} dx$$

$\delta_i$  : 微小変位     $N_0$  : 外力による応力     $N_i$  : 単位力による応力

この外力としては、不静定力の他、単位荷重 (P=1) を載荷した式を加えて解くことで、影響線を求めている。したがって、アーチを構成する各部材ごとに、単位荷重 (P=1) を移動させて各載荷ケースごとに、連立方程式を解く繰り返して計算を行っている。繰り返

し数は、部算数×単位荷重の載荷ケース（上弦材の格点数）となり、設計計算においては、このような膨大な設計計算の負荷を軽減することは実務上極めて重要であった。計算のメッシュを粗くし（格点を減らし）、補完をしたり、図式解法が多用されたのは、実務的に設計計算の負荷を減らし効率を上げる工夫の一例である。さらに、構造解析の負荷の大きさが、構造計画にも影響を与えた可能性もありうると思われる。

深い谷川の荒川上流部に架かるバランスドアーチの荒川橋では、兩岸の勾配が非対称の地形条件ではあるが、左岸、右岸側の径間長は同じスパンにとり、左岸側には単スパンの桁橋を別途配置する構成としている。これによってアーチ本体のスパン割を対称形にとり構造解析の計算負荷を低減したとの判断の可能性もありうる。増田は、土木学会誌の施工報告論文で、左岸のみに桁橋が配置されたスパン構成について、景観の面から残念であった趣旨のことを述べている（「埼玉県荒川橋の設計及び架設工事」土木学会誌第17巻5号、昭和6年5月）。

一方、尾張、伊勢大橋に用いられたランガートラスは、アーチリブは軸力のみで、曲げはすべて補剛トラスで負担する構造で、やはり昭和初期では事例は多くはない。この2橋は、後述するように構造が類似しており、設計時期も近かったことから、個々に独立した2橋の設計をすべて行なったのではなくシリーズとして設計され共有できる部分を利用して設計作業の軽減が図られている。詳細設計の構造解析では、影響線を求めて載荷しているが、「予算設計」と称される基本設計では、死荷重概算断面力に対する比で活荷重断面力を算出している。また、41D、42Dで採用されたトラスの構造解析では、図式解法によっている。

#### 参考文献(昭和初期発行の橋梁関係書)

- 中村謙一 近世橋梁学 上巻 大正15(1926)年発行
- 中村謙一 近世橋梁学 中巻 大正15(1926)年発行
- 鷹部屋福平 架構新論 昭和2(1928)年発行