I-12　骨組構造の相似則とその応用

熊本大学工学部　正員　○三池亮次
大林組　正員　島村直幸
熊本大学工学部　正員　高浜邦治

1．はじめに，安全な構造物を設計するのに，過去の実績との比較設計を行なうことは，構造工学の発達した現代においても，構造計画の段階で盛に用いられているし，また，古来，西欧における石造寺院，アーチ橋，わが国における木橋，木造建築など，複雑にして壮大な構造物が力学の助けをかりないで，直観的に，おそらくは実績との比較設計の手法を用いて建造された事実にわれわれは注目すべきである。構造設計とは，地形，地質など地盤の条件と，外荷重その他の外的諸条件に適合した構造物の材質と形状を，過去に構築した外的諸条件の類似の構造物を基準とし，あるいはこれを予備設計として，さらに厳密な計算を行なって決定することであるが，この比較設計の段階に相似則を応用し，より的確な設計と，構造物の性状を把握することを目的として，さきに，骨組構造解析の変形を支配する相似則の誘導を行ない，その応用例として，さきにトラスにおける二次応力と細長比，断面係数との関係を論じたが，ここではアーチダムおよびトラス橋の比較設計への応用の問題について検討する。

2．アーチダムの比較設計への応用．　与へられた谷形にアーチダムを計画する場合，類似の谷形状と地質条件を有する渓谷に既設のアーチダムの変位と応力の実績値より，計画アーチダムのそれを推定する場合に例をとって，比較設計法を検討しよう。

(a) アーチダムにおける変形の相似則．アーチダムの応力解析に用いられる厳密荷重分割計算法は，アーチダムのアーチ要素と片持ばり要素に分割して行なう一種の骨組構造の解法であり，形状に関する無次元積として，アーチ要素のライズ f とスパン l の比 f/l，細長比に相当するものとして，アーチ剛性を表わす厚さとスパンの比 T/l，片持ばり要素については，基底厚と高さの比 T_b/H_0 などが考えられる。等厚円弧アーチの場合の無次元積は，中心角 ϕ，厚さ半径比 T/r，などである。アーチダムの材料に関する無次元積として，ポアソン比 ν，弾性固定アーチの場合は堤体コンクリートと基礎岩盤の弾性係数の比 E_c/E_r で，これらの形状および材料無次元積の等しい2組のダム，p，m のおのおのが，満水状態にある場合の変位 δ_w および応力 σ_w に関する相似則は水の単位体積重量を w とすれば

$$\left(\frac{E_c\,\delta_w}{w\,H_0^2}\right)_p=\left(\frac{E_c\,\delta_w}{w\,H_0^2}\right)_m\equiv f_{\delta w}\ ,\qquad \left(\frac{\sigma_w}{w H_0}\right)_p=\left(\frac{\sigma_w}{w H_0}\right)_m\equiv f_{\sigma w}\qquad (1)$$

である。上式の $f_{\delta w}$，$f_{\sigma w}$ は，言わば，アーチダムの変位および応力のフレキシビリティを与える係数で，アーチダムの形状および材料に関する無次元積の関数となる。その主要パラメーターとして，中央部アーチ要素のアーチクラウンの厚さと曲率半径の比（アーチ剛性）T_0/r_0と，クラウンの基底厚と高さの比（片持ばり剛性）T_b/H_0 が考えられる。(1)式において　$w=1\ \mathrm{ton/m^3}$，$E_c=200{,}000\sim300{,}000\ \mathrm{kg/cm^2}$　を与えれば，

$$\delta_w=f'_{w\delta}\cdot H_0^2\ (mm)\ ,\quad f'_{w\delta}=(0.0003\sim0.0005)f_{w\delta}\qquad (2)$$

$$\sigma_w=f'_{w\sigma}\cdot H_0\ (\mathrm{kg/cm^2})\ ,\quad f'_{w\sigma}=0.1f_{w\sigma}\qquad (3)$$

を得る。ここに，H_0の単位はmであり，$f'_{w\delta}$，$f'_{w\sigma}$ は，たわみおよび応力係数である。薄肉ドーム式アーチダムである綾北ダムなど7ダムと重力式アーチダムである鳴子ダムの最大変位 δ_{max}，最大応力 σ_{max} の模型実験または荷重分割法による設計推定値とダム高 H_0の関係を図1，2に示す。図－1において，たわみ係数の大きい一ッ瀬，矢木沢ダムは，アーチ剛性の小さいアーチダムであり，黒四ダムは，アーチ剛性および片持ばり剛性が大きく，室牧ダムは良好な谷形に恵まれてアーチ剛性が大きく，したがって，たわみ係数の比較的小さい例である。また，図－2において，黒四，一ッ瀬，矢木沢，坂本ダムの最大応力が，高さ H_0の相違にもかかわらず，約80

kg/cm² であるが，これは許容応力を 80 kg/cm² として，コンクリート量を節減するよう，ダムの厚さ，形状を選定したことによるのであろう。あるいは許容応力を与えて，最適ダム形状が既設の何れの形式に属すべきかの判断に，図－2が使用され，その場合の最大変位は図－1によって推定できるであろう。図－1，2に堤体平均温度上昇 $\Delta\theta$ と温度こう配 α を生ずる場合の変位，応力 δ_θ，δ_α，σ_θ，σ_α の概算平均推定値（クラウン片持ばり法による）を図示している。

(b) トラス橋モデルの応力に及ぼす死荷重，活荷重の影響

静的骨組構造解析において，二つの骨組システム p，m の形状，材料，荷重に関する無次元積が等しいとき，次式で示される応力 σ の相似則

$$\left(\frac{\sigma A_0}{P_0}\right)_p = \left(\frac{\sigma A_0}{P_0}\right)_m$$

が成立する。ここに A_0，P_0 は基準部材の断面積と荷重である。ρ_0，l_0 を基準単位体積重量および長さとし，死荷重 P_D と活荷重 P_L からなる荷重 P を基準死荷重 $P_0=\rho_0 A_0 l_0$ で除した荷重比 P^* は

$$P^* = \frac{1}{P_0}\left\{P_D + P_L\right\} = P_D^* + \frac{P_L}{\rho_0 A_0 l_0} \qquad (5)$$

であり，(5)式より，形状および材料が相似である構造に対し，死荷重が支配的で，死荷重比 P_D^* が一定の場合は

$$\frac{\sigma A_0}{P_0} = \frac{\sigma A_0}{\rho_0 A_0 l_0} = \frac{\sigma}{\rho_0 l_0} \qquad \therefore \quad \sigma \propto \rho_0 l \qquad (6)$$

したがって，$\sigma \propto \rho_0 l$ の関係が成立する。活荷重が支配的の場合は，活荷重を一定とし $A_0 \propto l^2$ として，次式

$$\frac{\sigma}{\rho_0 l_0} \propto \frac{P_L}{\rho A_0 l_0} = \frac{P_L}{\rho_0 l_0^3} \qquad \therefore \quad \sigma \propto \frac{1}{l^2} P_L \qquad (7)$$

を得る。

死荷重として，床組，床版を省略し，鋼重のみを考え，上弦材，下弦材の荷重比を 1：2 にとり，活荷重としては，線荷重と，分布荷重を載荷したトラス橋モデルについて考え，スパン l をパラメーターとして，死荷重による部材応力と，活荷重による部材応力の関係を，図－3 に示す。幅員は，スパン l の如何にかかわらず一定とし，活荷重が線荷重の場合には，活荷重比

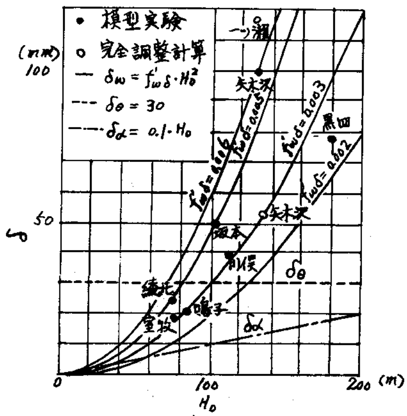
$$P_{Ls}^* = \frac{P_{Ls}}{\rho_0 A_0 l_0} \propto \frac{P_{Ls}}{\rho_0 l^3} \qquad (8)$$

であり，分布荷重の場合には，$P_{Ls} \propto l$ であり，(8)式より P_{Ls}^* は l^2 に逆比例するものとして計算した。

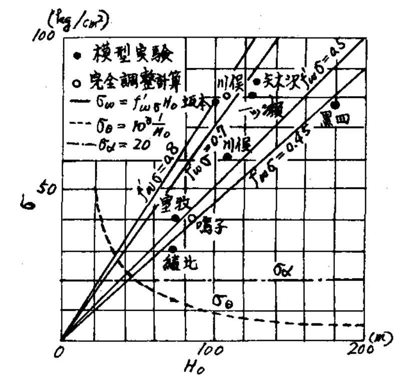
参考文献：1) 福井武弘，三池亮次，右田："立体骨組構造物の力学的相似条件" 土木学会 昭.47

2) 三池・田中："無次元解析法によるアーチダムのたわみの応力特性" 昭.43

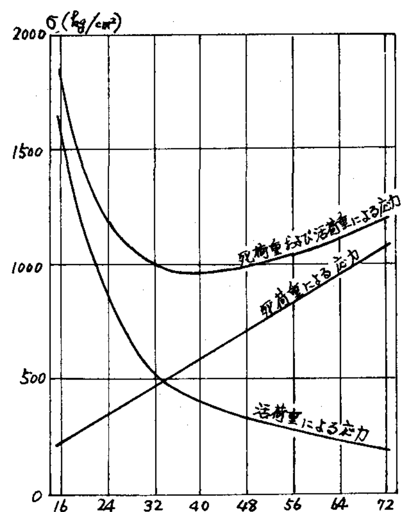
3) 三池・秋吉・松本："骨組構造解析における相似則とその応用" 土木学会 昭.47



図－1 アーチダムの高さ H_0 とクラウンの半径方向最大変位 δ との関係



図－2 アーチダムの高さ H_0 とクラウン外弧面水平方向最大応力との関係



図－3 トラス橋モデルの死荷重と活荷重による応力とスパンの関係