

VI-51 シビックデザインへの構造最適化手法の導入について --- 高速道路橋脚の場合 ---

ハザマ 正会員 須田 清隆
○ ハザマ 正会員 内田 雅博
ハザマ 正会員 下川 弘

1. まえがき

近年、豊かでうるおいのある国民生活の実現を目指して社会資本の整備が積極的に行われている。従来の社会資本整備の考え方は社会資本の量的拡大のみに着目し、構造物を経済的に造ることに主眼がおかれていた。しかし、最近では国民生活の多様化を反映して量的拡大に加えて質の充実も求められるようになってきた。そのため、質の高い社会資本を整備するために従来の設計手法に加えてシビックデザイン手法による景観設計が必要となってきた。

シビックデザインとは、公共的な土木施設の計画・設計に当たって地域の特性や風土を考慮し、その地域にふさわしい施設となるように美的・創造的な表現を中心として行われる設計行為である。土木技術者の中にはシビックデザイン手法を取り込んで土木構造物を設計することができる技術者も存在するが、通常はシビックデザイナーが構造物の形態を決定し、それを受けて土木技術者が構造物の設計を行うという分業体制が取られていることが多い。そのため、シビックデザイン手法によって決定された形態が構造物の設計段階で修正されるケースも少なくない。シビックデザイナーに構造的な情報を事前に与えてデザイン段階においても構造的な条件を考慮した設計を行うことができれば、このような状況を回避することができる。

著者らは、土木構造物の構造形態決定過程に均質化法を用いた最適化手法が応用できることを既に示している。ここでは、均質化法を応用して土木構造物の最適構造形態を決定する方法を高速道路橋脚の景観検討に適用した例を以下に述べる。

2. 均質化法による材料最適配置手法について

均質化法 (Homogenization method) の特徴は、設計領域が図-1のように全体が小さい穴が無数に空いている多孔質体による周期性を持った構造をしていると仮定することによって、マクロ的な材料定数 (応力-ひずみマトリックス) を計算できることにある。この均質化法概念を用いて、構造全体の平均コンプライアンス $\int_{\Omega} f \cdot u \cdot d\Omega$ を目的関数、使用する材料の量を制約条件として材料の最適配置を考える。設計領域は有限要素分割し、その各要素を構成する最小構造体の穴の大きさを示す a および b と、強さの方向を示す主軸の回転角 θ を設計変数として図-2のように定義する。

最適化式は、次式のように表される。

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{i=1}^N \int_{\Omega} \rho f_i u_i d\Omega + \sum_{i=1}^N \int_{\Gamma} t_i u_i d\Gamma \\ \text{s.t.} \quad & \int_{\Omega} \rho d\Omega \leq \Omega_0 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 N は空間の次元数、 ρ は密度、 f は Ω に働く物体力、 t は境界 Γ 上の分布、 Ω_0 は使用できる材料の上限値を示す。式 (1) を、ラグランジュの未定乗数を定義し、最適化規準法により繰り返し収束計算を実施して解くことによって最適解を得ることができる。最終的に求めた各要素ごとの穴の大きさ ($a \times b$) を $0 \sim 1$ に正規化して構造体として必要な材料の密度として表示する。

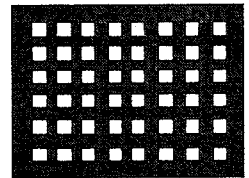


図-1 均質化法要素概念図

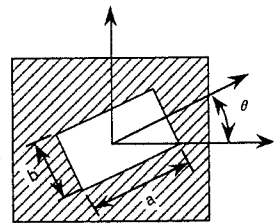


図-2 最小構造体外略図

3. 高速道路橋脚の構造形態の検討

上部工反力として 50 t/m を受けるものとして、高速道路橋脚の構造形態を橋脚の高さおよび幅の異なる右の3ケースについて検討した。載荷条件として図 - 3 に示すように、上部工反力、自重および水平方向地震力を考慮した。それぞれの結果を図 - 4 に示す。

4. 標準設計との比較

均質化法による最適構造形態解析結果を参照にして、橋脚の高さ 15 m、幅 15 m のケースにおける橋脚の形態を図 - 5 のように決定した。高さ 15 m、幅 15 m の場合標準設計では橋脚の形態は図 - 6 のようになる。2種類の橋脚について水平方向地震力を受けた場合の応力状態を比較してみた。（表 - 1）図 - 5 の橋脚は、水平方向の剛性が大きいので標準設計の橋脚に比べて変位が小さい。応力レベルは標準設計に比べて図 - 5 の橋脚のほうが全般に大きくなっているが、RC材料を仮定しても問題のないレベルである。ただし、せん断補強については別途検討する必要がある。

既存の橋脚の替わりに今回新たに検討した橋脚を高速道路橋脚として採用した場合どのように見えるかをシミュレートしたのが図 - 7 である。

5. あとがき

本報に示す方法によって、構造的な条件を考慮しながらシビックデザインを行うことが可能となる。今回の適用例では、土地利用上の制約、施工条件その他の条件は考慮されていないため実際の設計に用いるためには更に詳しい検討が必要である。今後は、実施工に沿った検討を行いその適用性を高めていきたい。

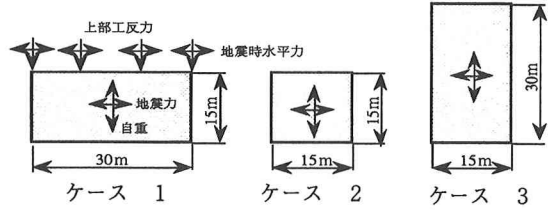


図 - 3 橋脚検討ケース

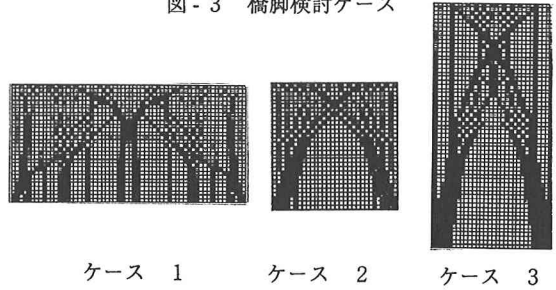


図 - 4 構造最適化解析結果

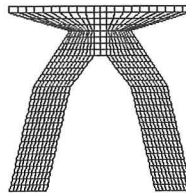


図 - 5 橋脚形態図
（最適設計）

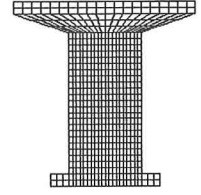
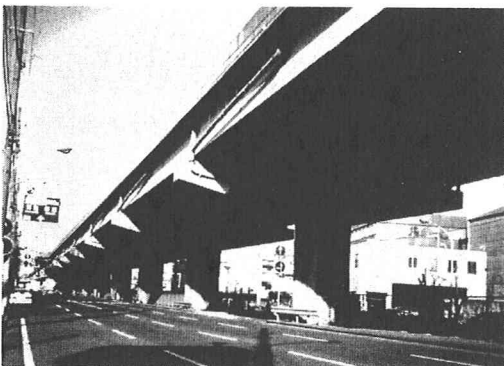


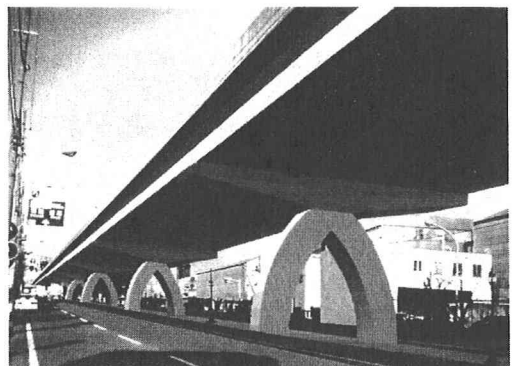
図 - 6 橋脚形態図
（標準設計）

表 - 1 構造解析結果一覧表

	変 位		応 力 度					地耐力
	水平方向	鉛直方向	水平引張	水平圧縮	鉛直引張	鉛直圧縮	せん断	
最適設計	1.4 mm	2.9 mm	18.9 kg/cm ²	10.6 kg/cm ²	5.9 kg/cm ²	34.4 kg/cm ²	8.3 kg/cm ²	11.1 kg/cm ²
標準設計	2.7 mm	3.3 mm	3.4 kg/cm ²	4.6 kg/cm ²	10.1 kg/cm ²	28.9 kg/cm ²	5.9 kg/cm ²	11.3 kg/cm ²



現況写真



シミュレーション結果

図 - 7 景観シミュレーション結果