

最適設計プログラム (OPDESプラス) の紹介

玉田 和也¹⁾

最適構造解析プログラムOPDES (OPTimum DESign program) は、鋼道路橋を対象とした立体骨組構造物の最適設計のために開発されたプログラムである。このプログラムをより使いやすく改良し、さらに機能の追加を行って、構造形式の比較検討などにおける概略設計業務に使用することを目的としてプログラムの開発を行った。ここでは、本プログラムの機能と計算例を報告する。

キーワード：最適構造設計，立体骨組解析

まえがき

公共事業のコスト縮減をめざして、新形式の合理化橋梁の提案を行う機会が増してきた。桁橋での検討ではほとんどの場合、市販のプログラムで対応可能である。また、トラス橋やアーチ橋、斜張橋についても平面解析の概略設計であれば市販のプログラムで対応できる。一方、橋軸直角方向の風荷重や地震荷重に対して合理的な断面設計を行うためには、立体骨組モデルでの検討が必要になる。このような場合に、検討作業が効率的に処理できるツールが必要となってくる。

最適構造解析プログラムOPDES (OPTimum DESign program)^{1), 2), 3)} は、立体骨組構造物の最適設計プログラムであり、与えられた荷重に対し道路橋示方書の諸条件 (制約条件) を満足しつつ、構造物の換算鋼重が最小となるような最適断面寸法 (板厚、腹板高、フランジ幅、ケーブルプレストレス) を求めるプログラムである。高次不静定の構造物の場合、設計者の経験だけで最適な剛比やケーブルの最適プレストレスを求めることは非常に困難であるが、本プログラムでは、最適

化の収束計算の過程で部材剛性の調整が自動的に行われるので、最適剛比に近い断面を得ることができる。したがって、過去に設計例の無い新しい構造形式の橋梁を設計するには強力な設計ツールとなる。

以上のような最適設計プログラムに対し、実務で使用するために必要な機能の追加を行ったものが「OPDESプラス」である。

1. プログラムの概要

OPDES プラスは大きく分けると下記のモジュール群から構成されている。システム構成図を図-1に示す。

- ① 最適設計プログラム
- ② 影響線荷重プログラム
- ③ インプットジェネレータ
- ④ 出力コンバータ
- ⑤ 工数計算プログラム
- ⑥ グラフィックスプログラム

影響線荷重の処理について、最適解を求めるルーチンの中で毎回影響線荷重を行うことも可能であるが、その場合は収束計算に悪影響を及ぼすこ

1) 橋梁設計部大阪設計一課係長

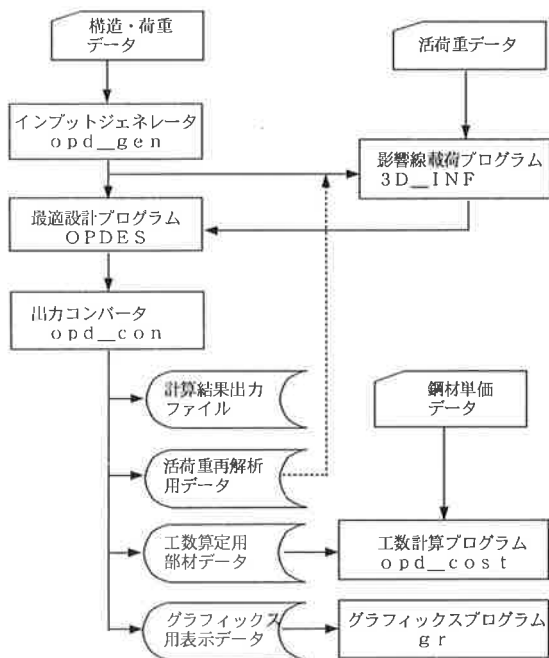


図-1 OPDES プラスのシステム構成図

と、最適解の差はわずかであることから、次に示す簡易的な方法で影響線載荷処理を最適設計に組込むこととした。

まず初期入力データによる構造モデルを用いて影響線解析を行って活荷重断面力を算出し、その断面力を最適設計プログラムに持ち込んで最適化を行う。最適化の各段階で、部材の鋼重や剛度が変化するに従い、荷重の分担率が変わってくる。床版や舗装などの固定荷重に対しては、各段階で断面力を再計算し、鋼重はその都度変化させるが、活荷重による断面力だけは変化しないものとした。そのため、最適解に収束した時点での最適断面を活荷重再解析用データとして出力し、再度影響線

解析を行えるようにし、その時の活荷重断面力を使って最適化計算を再度やり直すことを可能にした。この方法は原始的ではあるが、初期値がある程度適正であれば2～3回の繰り返しの十分な精度を確保することができる。

2. プログラムの特徴

(1) 最適設計プログラム

文献1), 2) および3) に詳しい内容が示されているので、ここでは項目別に簡単に特徴を述べる。

①目的関数

材質別の材料単価比を考慮した全設計部材の換算体積を最小とする。

②設計変数

7種類の部材断面形状(箱, I, H, T, L, +, ケーブル)の板厚, 板幅(ケーブルは断面積)とケーブルプレストレスを設計変数として最適な値を算出する(表-1参照)。

③制約条件

道路橋示方書⁹⁾に基づく応力, 変位の照査, 細長比や幅厚比の規定を制約条件として組込んでいる。また, その他の制約条件として任意点の変位の上限值, 部材の板厚や板幅の上下限值を設定できる。

制約条件に対し余裕をもって断面を決めたいときには, 制約条件に対する安全率 ν を入力できる。 $\nu=1.05$ とした場合には, 許容応力度に対し5%の応力余裕を保持した最適断面を求める。

④最適化計算法

最適構造設計は非線形最適化問題である。その解法としては逐次線形計画(SLP, Sequential

表-1 断面の形状と設計変数

箱断面	I断面	H断面	T断面	L断面	+断面	ケーブル断面

Linear Programming)を用いる。この解法は、目的関数と制約条件式を設計変数について Taylor 展開し、線形化された最適化問題をシンプレックス法で解いて徐々に最適解に収束させるものである。

(2) 影響線載荷プログラム

影響線載荷による活荷重断面力の計算は、既に開発済みの3次元影響線載荷プログラム⁵⁾「3D-INF」に「OPDESプラス」用の活荷重による断面力を出力する機能を追加した。3D-INFでは活荷重のみを取り扱うこととし、床版などの後死荷重や鋼重については最適設計プログラム側で載荷する。なお、鋼重は最適化の過程で自動的に更新されるため、仮定鋼重と実鋼重の差はほとんどないと考えてよい。

(3) インプットジェネレータ

構造データ、設計データおよび荷重データを読み込み、各種プログラム用の入力データを生成する。板厚・板幅の上下限值制御や幅厚比、細長比について簡単なチェックを行い、矛盾する入力データに対してエラー表示する機能も持たせた。作成するファイルはマスターファイル、OPDES入力ファイル、3D-INF入力ファイル、3D-frame入力ファイルおよびグラフィックス骨組ファイルの5種類である。

(4) 出力コンバータ

OPDESの計算結果を変換して次のファイルを作成する。

①計算結果出力ファイル

OPDESの計算結果を視覚的に分かりやすく編集したものである。

②工数算定用部材データ

鋼重および材片数の集計用の材料データである。

③グラフィックス用表示データ

グラフィックスに表示する変位、断面力用のファイルである。骨組ファイルとあわせて使用する。

④活荷重再解析用データ

最適化後の断面剛性を用いて再度活荷重断面力を求めるための影響線載荷プログラム用の入力データである。

⑤立体解析用入力データ

最適化後の断面剛性を用いて各種検討や詳細

設計および非線形解析を行うための立体解析用の入力データである。

(5) 工数計算プログラム

収束後の板厚、板幅と断面種類および部材長から大型材片数と加工重量、T継手溶接延長などを計算し、文献6)、7)に従って材料費と製作費を算出する。ただし、ダイヤフラムや横構、補剛材関係の小型材片や継手の連結板およびHTBもしくは板継溶接延長は計上できない。そのため、このプログラムの計算結果は概略の材料費、製作費を算出する上での基礎データという位置付けとなる。

(6) グラフィックスプログラム

3次元骨組解析用の描画プログラムであり、骨組データによって入力データを表示し、部材結合、部材座標系、支承条件および荷重載荷状態等の確認を行う。また、表示データを読み込んで変位、断面力図の描画を行う。描画した画面はDXFファイル形式で出力が可能であり、検討成果品としてそのまま使用することができる。その他、各種ある自社開発プログラムの結果も描画できるようにしており、平面骨組解析結果の描画も可能である。

3. 計算例（上路アーチ橋）と運用について

OPDESプラスを用いて図-2に示す上路アーチの計算を行った。プログラムの性能確認用であるため、180 節点、420 部材で構成する簡素なモデルとした（図-3）。基本ケースでは、各断面の形状寸法は固定とし、板厚を設計変数（38 個）として計算を行った。また、荷重は死荷重+活荷重、風、地震および温度荷重を載荷した。最適化の収束判定は繰返しの中で設計変数および目的関数の変化が0.1%以下とした。

基本ケースの目的関数（換算体積）は初期値 207.1 m³であり、18 回の繰返しの後、145.6 m³に収束した。その経過を図-4に、設計変数（板厚）の収束状況を図-5に示す。これによると最初の数回で目的関数はほぼ最適解に到達しているが、道路橋示方書の諸条件を満足しつつ目的関数を収束させるための設計変数の収束に時間がかかっていることがわかる。

計算上の注意として、各設計変数の初期値に大

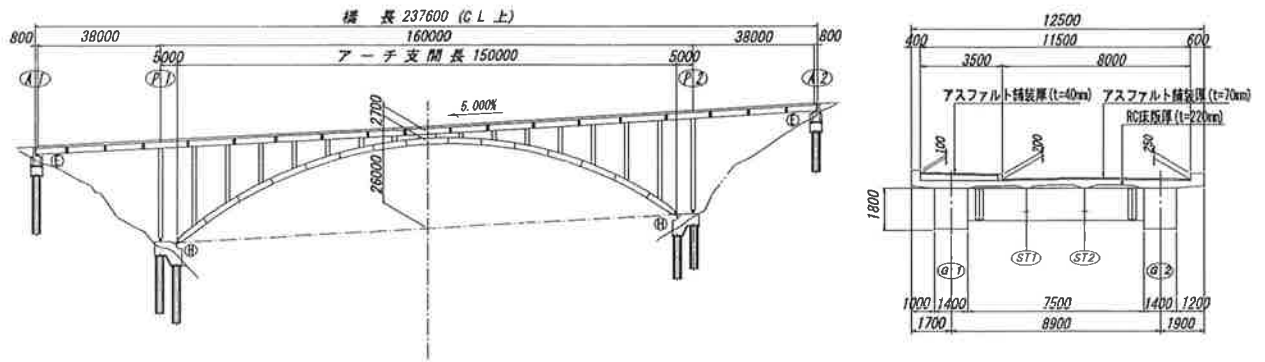
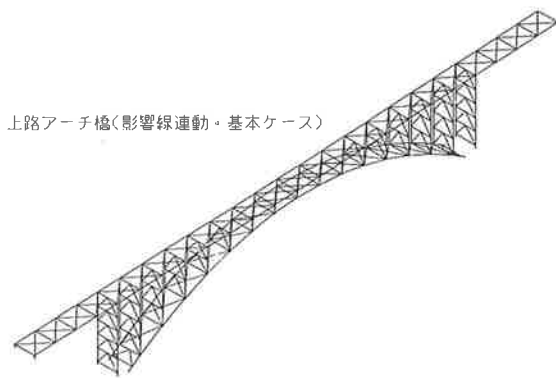


図-2 上路アーチ橋モデル



上路アーチ橋(影響線運動・基本ケース)

図-3 解析モデル図

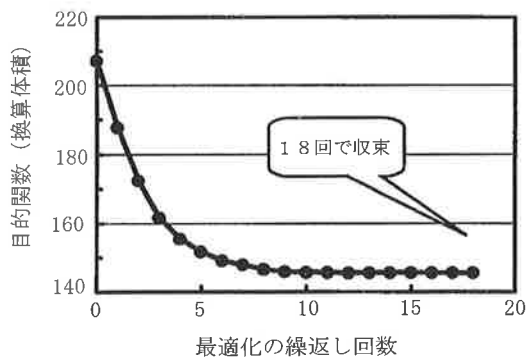


図-4 目的関数の収束状況

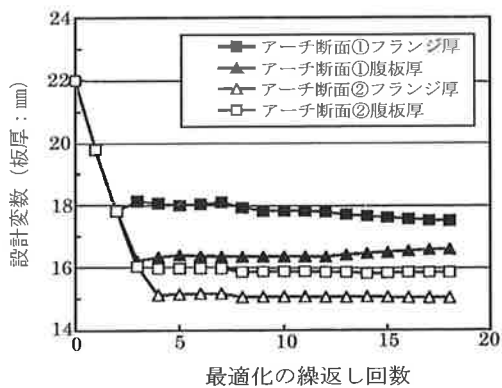


図-5 設計変数の収束状況

きい目の値を用いて、細長比の規定などを満足するように変数間でバランスのとれた初期値を使用すると解の収束性がよくなる。

活荷重の収束について、活荷重を初期断面で計算した基本ケースと最適化後の断面で再計算させて収束させた収束ケースとの目的関数の相違はわずか 0.1 %であった。そのため、今回のモデルでは適正な剛比を有する初期値を与えていたとも考えることができる。

比較検討のバリエーションとして、アーチリブおよび補剛桁の腹板高を設計変数に加えたケース、補剛桁の支承条件を固定-弾性固定から弾性固定-弾性固定に変えるケースなど解析モデルが同一の場合は、効率的な比較検討が短時間で行うことができた。

一方、アーチ支柱の対傾構形式の比較検討(トラス形式とラーメン形式)などではモデルが異なるため、部材数や材片数までを含めた検討が必要となる。この場合は工数算定プログラムの結果を利用することになるが、先に述べたように連結構造や補剛構造などの影響が比較的大きいため、計算結果をベースに慎重に検討結果を出す必要がある。

あとがき

本プログラムは詳細設計用ではないものの、概略設計や構造の比較検討などでは効率的な業務処理を可能にするものである。これにより積算基準に適合した製作工数も含めた概略検討業務の精度の向上と設計工数の削減に結びつくことを期待することができる。

本プログラムの開発にあたり長岡技術科学大学林名誉教授には懇切な御指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 林 正：最適構造設計プログラムOPDES説明書 骨組構造編，1997.7.
- 2) 平山 博：橋梁構造物の最適構造設計の実用化に関する研究，長岡技術科学大学学位申請論文，1993.1.
- 3) 林 正・平山 博：立体骨組構造物の大規模設計問題における実用的最適化計算法，土木学会論文集，No437/I-17，1991.10.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I II，1996.12.
- 5) 玉田和也：立体影響線載荷プログラムの検証，駒井技報，Vol.14，pp.74-77，1995.4.
- 6) 建設省：鋼道路橋数量集計マニュアル（案），1996.5.
- 7) 建設省：鋼橋積算基準，1998.3.