

骨組構造物の会話型自動設計システムにおける配筋設計プログラム

全日本コンサルタント(株) 正員 菅 眞哉
正員 ○後久義昭
正員 藤村 守

1. まえがき

電子計算機による構造物の自動設計は、現代の土木構造物の設計にとって、それ無しでは考えられないほどに一般化している。しかし、建設コンサルタントにおいても構造解析をはじめとして設計の各段階においてかなり電子計算機が利用されてきているものの、計画から設計計算・検証・製図・積算に至る一貫した完全自動設計システムの開発には、まだ多くの問題点が残されている。設計は一般に、手順がパターン化され計算機を利用して決められたアルゴリズムに従って逐次的に解くことができる論理的な部分と、設計者の経験・勘・創造性を必要とする非論理的な部分が絡み合っている。自動設計システムは、計算機と人間、両者の担う領域をどのようにバランスさせるか、また両者の間の情報交換をいかにスマートに行い得るかがシステム設計の重要ポイントとなる。小論は骨組構造物設計業務の迅速化と省力化を目的として開発した会話型自動設計システム Z F R A N (Zennippon Consultant F R A M E A N A L Y S I S) の概要を紹介し、そのうち特に配筋設計プログラムのアルゴリズムについて解説するものである。

2. ZFRANシステムの概要

(1) ZFRANシステムの特長

本システムは、静的な荷重を受ける骨組構造物に関して、荷重計算から構造計算、荷重ケースの組合せと抽出、応力図の作成、配筋設計（最適の鉄筋配置と径の決定）、断面設計（応力度計算、破壊安全度計算）までの一貫処理を行う自動設計システムであり、次のような特長がある。

① ユーザにとって使いやすい。 ZFRANシステムのユーザは、設計担当者自身でありコンピュータの知識はほとんど無いことを前提としている。インプットはデマンド端末機より会話形式で行うので、担当者はデータの種類やフォーマットに余分な注意を払う必要がない。また、ランストリームの作成やファイル管理もプログラムが受けもっている。

② 実行の中断、再開が容易である。 本システムは最終プログラムまでの一貫処理を行うことができるが、途中で設計者の判断や検討が必要になった時、随時、中間結果をカタログして処理をいったん中断し、再び続行したり後戻りすることが容易である。

③ デマンド、バッチ両方の形態で利用できる。 デマンドでインプットされたデータは、問題向言語 POL の形式でエルトシンボリックに変換して処理するので、ユーザはこの POL を直接記述することにより、バッチ処理で使用することもできる。

④ 稼働状況の管理を行っている。 工事番号、担当者別に稼働状況を管理し、随時、設計者に使用実績を知らせる。

⑤ 配筋設計のアルゴリズムは単純明快であり、簡単なパラメータを与えるだけで処理可能である。

(2) ハードウェアの構成

図-1 に ZFRAN システムが利用しているハードウェアの構成を示す。当社に設置した M-345 カラーキャラクター・ディスプレイと、近鉄本社計算センターの UNIVAC-

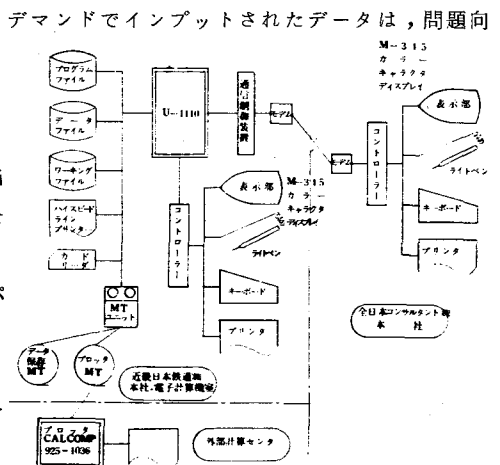


図-1 ZFRAN システム・ハードウェア構成

1110を2400bpsの通信回線で結びTSSベースで運用する。

(3) ソフトウェアの構成

ZFRANシステムは図-2に示す6つのサブシステムから構成されている。

① INPUT サブシステム 基本データのインプットを会話形式で行い、論理チェックの後、問題向言語POLの形式でエルトシンボリック・データを作成する。はじめにコントロール・データをインプットし、以後はプログラムがそのデータに基づいて必要なデータを逐次ユーザに要求する。これにより、データ漏れ、フォーマット・ミスは皆無となる。

② GENERATE サブシステム ①の基本データを加工(部材性能データの作成、荷重計算、着目点距離の算出他)して、以下のサブシステムで処理可能なデータやファイルを作成するほか、ランストリームの組立てを行う。

③ ANALYSIS サブシステム ユニパックの標準パッケージFRAMEを内蔵して応力計算(変位法)を行う。弾性支承上の部材の解析、部材内の極大・極小モーメントの計算・せん断補正・常時換算・応力合成の機能を追加している。さらに基本ケース・コンポジション・セレクションの各リストのプリントを行う。

④ STRESS DIAGRAM サブシステム 部材力(モーメント・せん断力・軸力)を基本ケース・コンポジション・セレクションについてXYプロッターで作図する。構造物全体で部材長がアンバランスな時は、縮小係数を与えて適宜寸法を変更できる。

⑤ REINFORCING サブシステム 地下構造物について配筋設計を行う。(後述)

⑥ SECTION DESIGN サブシステム 会話形式で一般ラーメンの断面計算を行う。はじめに全着目点について曲げ、せん断それぞれの理論的必要鉄筋断面積(リクエスト)を算出する。次に、設計者はこのリストをもとに鉄筋配置、径の選択を手作業で行い、決定した鉄筋径・本数を会話型で再度インプットし、即時、曲げ応力度・せん断応力度(腹鉄筋の計算)・破壊安全度の計算をコンピュータで行い、検証する。必要に応じてこの作業を繰り返し、最終的に成果品に見合う応力度表・破壊安全度表を得る。

3. 配筋設計プログラム (REINFORCING サブシステム)

(1) 概要

このサブシステムは、地下構造物に関して、既に与えられている構造物の幾何学的構成データとANALYSISサブシステムで得たモーメントの分布状況から、鉄筋の配筋計画(鉄筋の流れ)を行い、次に部材のすべての断面算定点についてモーメントと軸力から必要鉄筋量を求め、最終的に両者を満足する実在の鉄筋径を選定し応力度を算出するものである。取扱う鉄筋は主鉄筋・圧縮鉄筋・ハンチ筋とし、4種類(①③②④)の鉄筋を単位幅当りに交互に2組設置するものとする。但し、①と③、②と④はそれぞれ折り曲げ位置が異なるのみで同一径とする。配筋タイプは大きく2種類(O, Tタイプ)を用意し、それぞれに部材内モーメントの分布パターンに応じた基本配筋パターンを内蔵している。解析手順を図-3に示す。

(2) 入力

構造データ(幾何学的構成・断面形状)と部材力データ(モーメント・せん断力・軸力)はANALYSISサブシステムから受けつぎ、ここでは許容応力度・鉄筋かぶり・接統鉄筋・並行鉄筋径の許容ランク差・配筋タイプ(O, T)・部材間の鉄筋流れ等を会話形式でインプットする。鉄筋のラップ位置は特に指定しなければプログラムで一定の規則に従い決定する。図-4にインプット例を示す。

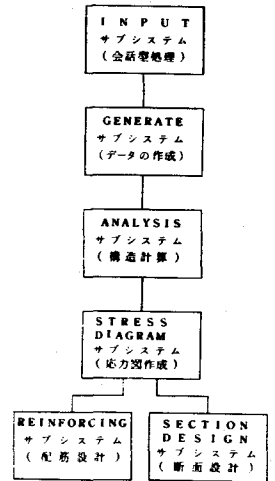


図-2 ZFRANシステム・ソフトウェア構成

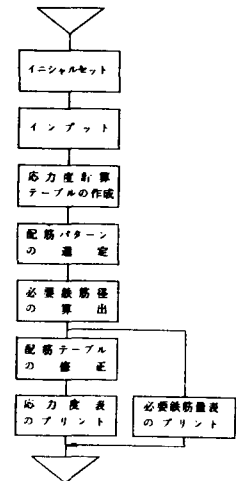


図-3 配筋設計解析手順

(3) 応力度計算テーブルの作成

応力度計算に必要な諸値を収めるテーブルでコントロールテーブルとメインテーブルで構成されている。コントロールテーブルは全部材について配筋決定のための着目点位置・ハンチの有無・応力度計算の対象となる鉄筋が軸方向筋かハンチ筋かを区別するデータ等を収めるもので、配筋設計の一連の処理はこのテーブルの指示に従って行われる。メイン

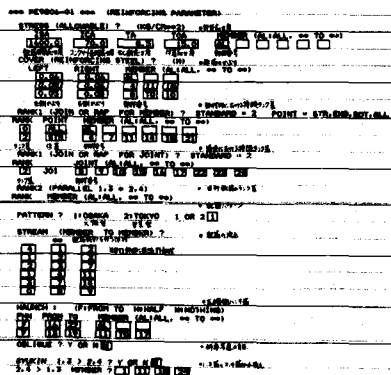


図-4 入力データ例 (M-345画面のハード・コピー)

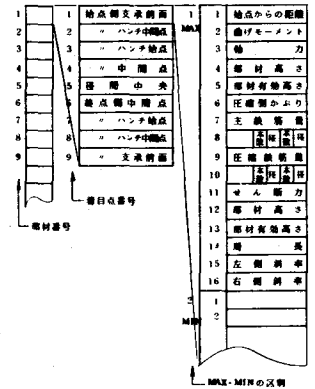


図-5 応力度計算テーブル

テーブルは応力度計算に必要なあらゆるデータ（始点からの距離・曲げモーメント・軸力・部材高さ・同有効高さ・鉄筋のかぶり・主鉄筋量・圧縮鉄筋量・鉄筋本数・鉄筋径・せん断力など（図-5参照））を格納し、鉄筋量に関するデータを除いてインプット・セクションで作成される。

(4) 配筋パターンの選定

部材内の鉄筋の流れについては、部材両端の支承前面と径間中央の3点のモーメントの正負の組合せに対応した8つの配筋パターンを基本配筋タイプ（O，T）別にあらかじめ設定（プログラムに内蔵）しておき、適宜選択する。図-7に基本8パターンのモーメントを、図-8にO型，図-9にT型の基本配筋パターン例を示す。O型は始点・終点のいずれかの支承付近で最大1ヶ所のベンド位置をもつ配筋タイプであり，T型は直筋とベンド筋の2種類の組合せにより両端の支承付近で最大2ヶ所のベンド位置をもつタイプである。部材間の接続については，設計者が与えた部材番号の組合せと幾何学的構成データから認識し決定する。これらの鉄筋流れに関するデータは，各着目点における部材軸の始点・終点方向の接続位置（左・右）・鉄筋径差のランク数などの数値情報として配筋テーブル（図-10参照）に格納する。

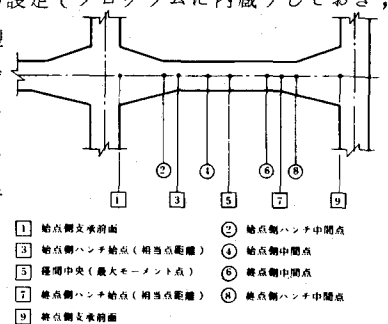


図-6 着目点

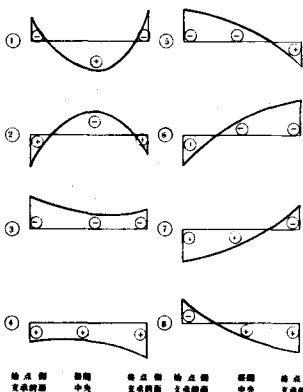


図-7 基本8パターンのモーメント

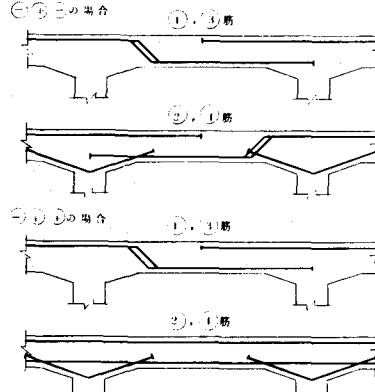


図-8 O型基本配筋パターン例

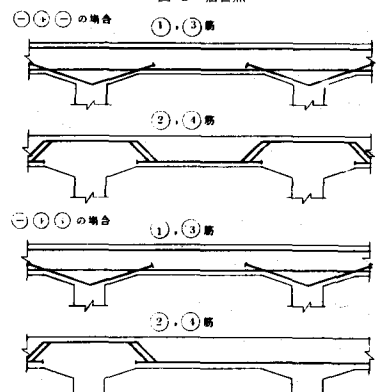


図-9 T型基本配筋パターン例

(5) 最小必要鉄筋径の算出

断面算定を行う全着目点（図-6参照）について，部材力と断面諸元から許容応力度を満足する必要鉄筋断面積を求め，次に実際に使用する7種類の鉄筋径（ $D\phi 13 \sim D\phi 32$ ）の中から必要鉄筋断面積を満足する最小鉄筋径の組合せを許容ランク差内で選定する。必要鉄筋断面積の計算は引張応力と圧縮応力が同時に許容値に達する条件で行い，鉄筋径の選択では，圧縮応力度は許容応力度以下，引張応力度は許容応力度

(6) 流れを考慮した鉄筋径の算出

OSAKA GATA SUBWAY
B.M.D LOAD CASE : 1
 FRAME SCALE : 1/151
 B.M.D SCALE : 1 T.M = 0.42MM

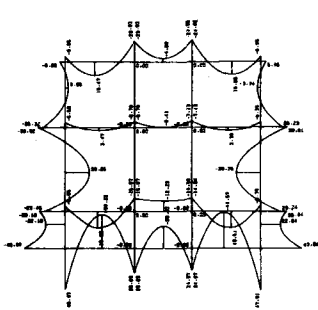


図-11 曲げモーメント図

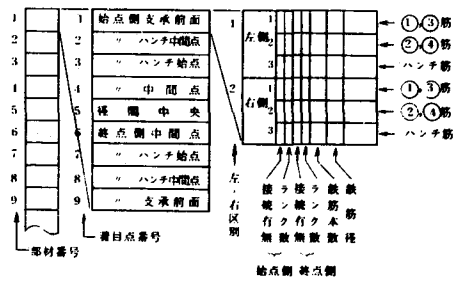


図-10 配筋テーブル

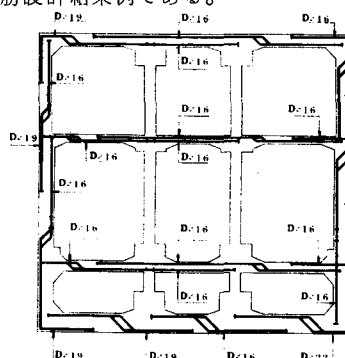


図-12 O型自動配筋例(1) (3筋)

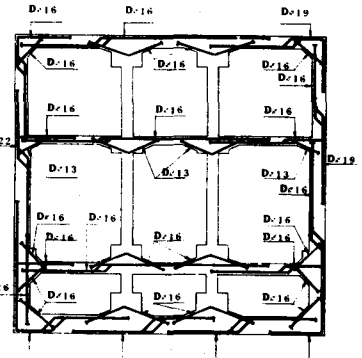


图-13 O型自動配筋例(②④筋)

(7) 応力度計算と出力

引張応力度，圧縮応力度，せん断応力度，付着応力度の計算を行う。軸方向力の働く長方形断面では中立軸の位置を求めるのに3次方程式を解く必要があるがニュートン法により解を求めている。主なアウトプットは，配筋リスト（図-14参照），曲げモーメント応力度表（図-15参照），せん断力応力度表，最小鉄筋径の組合せ表，必要鉄筋断面積と鉄筋径の組合せ表（断面不足の時）などである。

4. あとがき

当システムの利用により、設計業務はより正確かつ迅速となり設計工期が短縮された。さらに、入力とその修正の容易性・処理の中断と中間結果の保存・再開の容易性などにより、トライアル・比較設計が著しく容易になり、設計の質が向上した。また、当システムは機器構成が比較的簡易で運用コストが低いことが特徴の一つであるが、このハードウェアレベルでの利用技術は究極に近い。すなわち、キャラクターを媒体とするマン・マシーン・システムの限界を求めたものといえる。当然、図形を入力出のデータとして取扱えるグラフィック・ディスプレイを使用すれば、人間の負担していた設計作業のさらに多くを機械側に移行できよう。しかし、現段階ではコスト対効果の面からまだまだ問題が多く、一層の低価格化を期待するものである。

[illegible]

図-14 配筋リスト

[illegible]

図-15 曲げ応力度表

参考文献

後久・藤村、「骨組構造物の自動設計システムZFRAN」ユニバ
ック研究会SYSTEMS 1979 TECHNICAL REPORT
後久・藤村、「骨組構造物の自動設計システムZFRANにおける
配筋設計プログラム」近畿日本鉄道技術研究所技報1978-12