

PCタンク自動設計・製図・積算システム

三井建設㈱	土木技術部	正会員	長屋洋司
"	"	"	加藤正利
"	"	"	○伊藤久光

1. まえがき

近年、水道施設の拡充に伴って、水道用配水池や調圧水槽の建設需要が増大しており、PCタンク（プレストレストコンクリートタンク）は、その貯水機能を認められて、多くの水道事業体に採用され、全国各地で建設されている。また、LPG、LNG、石油、石炭など、エネルギー貯槽にもPCタンクは多いに注目を集めている。

このような状況の中で、PCタンクの設計業務も増加の一途をたどっており、当社の場合、営業設計などを含めると年間100件近い設計業務があり、かねてから自動設計による省力化が望まれていた。

2. PCタンクの一貫自動設計化

1) 土木構造物の一貫自動設計

コンピューターによる一貫自動設計は、手計算による設計に比べて、迅速かつ正確であり、設計作業省力化の推進、生産性の高揚ばかりでなく、経済的、合理的な設計を可能にする場合がある。近年、これらの理由により土木構造物の設計にも一貫自動設計の思想が多く取り入れられている。

一方、自動設計の開発には多大の労力と時間が必要とされるので、自動設計の開発に当っては、対象構造物の自動設計化の適否を適確に判断する必要がある。

自動設計化の適否の判断には次のような事を考慮した。

- 利用頻度が大きい事。— 設計件数が多い事。
- 設計法がオーソライズされている事。
- 汎用性拡張機能が膨大にたらない事。

— 設計範囲が明確であり同一型態をなすものである事。

- 長期に渡って利用価値が持続する事。
- 変更に対しては若干の修正で済む事。
- 繰返しやトラサル計算が多く含まれている事。

また、自動設計化に際しては、次の点に留意した。

- 汎用性がある事。
- メンテナンスが容易である事。
- 利用形態が簡潔である事。
- データーチェック、結果チェック等のチェック機構を有する事。

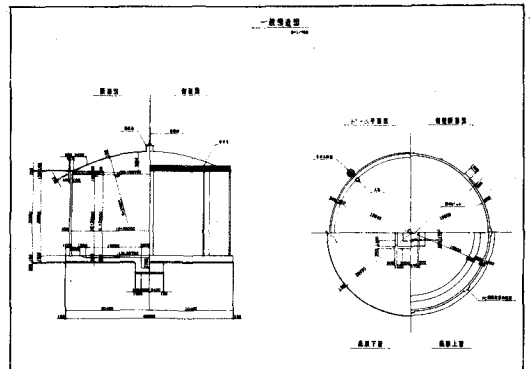


図-1 一般構造図（狹山市22,000tPCタンク、本システムにより設計）

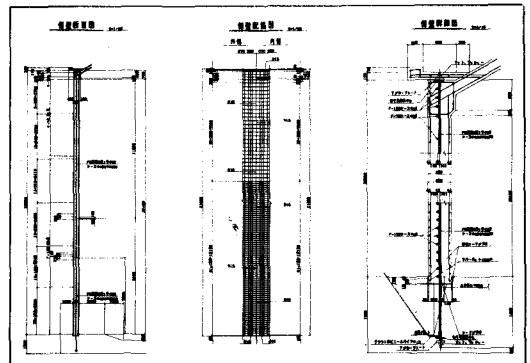


図-2 側壁詳細図

2) PCタンクの設計における電算機利用状況

PCタンクの設計では、円筒シェルとしての構造解析とプレストレストコンクリートとしての断面設計が必要となる。一般に設計計算における電算機利用状況は、構造解析に円筒シェル解析プログラムやFEM解析プログラム等の個々の解析プログラムを利用する程度で、設計計算の大部分は手計算によっている。このような従来の設計手法によると、構造計算から積算、図面作成までの一連の設計作業に要する労力および時間は、設計熟練者でも、10日×2人以上となる。

3) PCタンクの一貫自動設計化の適否

前述したように、PCタンクの設計業務の増大に伴い、設計作業の大幅な省力化、設計業務の要請に迅速に対応できる体制造り等、その開発価値は十分あった。一方、設計法は「水道用プレストレストコンクリートタンク標準仕様書（日本水道協会）」および「水道施設耐震工法指針・解説（同）」に則って行なわれ、その設計計算書の形態はほぼ完成されている。また、設計計算プログラムに必要とされる主な汎用性は下記のように、比較的自動化しやすい構造物である。

- タンク形状寸法……容量，タンク径，水深，壁厚
- 使用PC鋼材……フープ方向PC鋼線種類，鉛直方向PC鋼棒種類

以上のように、PCタンクの設計は自動設計化する条件を十分そなえていると言える。

3. システム概要

1) 目的と構成

本システムは、図-5に示すように4つのサブシステムで構成されており、三井タイプPCタンク（側壁下端ヒンジ支承構造）の一貫自動設計（構造計算，数量計算，積算，自動製図）を目的としている。

2) 特徴

① 設計実績に基づいたシステムである。

すなわち、フープ方向PC鋼線の配置計算および鉛直方向PC鋼棒の配置計算は、数多くの設計実績から得られた諸数値（最大ピッチ，最小ピッチ，変化点ピッチ）を基に行われる。また、インプットデータ作成に際しては、過去の実績を基に作成された設計技術資料が用意されているので、設計者はこれを参考する事によって、タンクディメンション等の適切な設計条件をインプットデータとして与える事が出来る。

② 積算システムをも加えたシステムである。

これにより、建設コストをも評価要因に加える事を可能にした自動設計システムである。

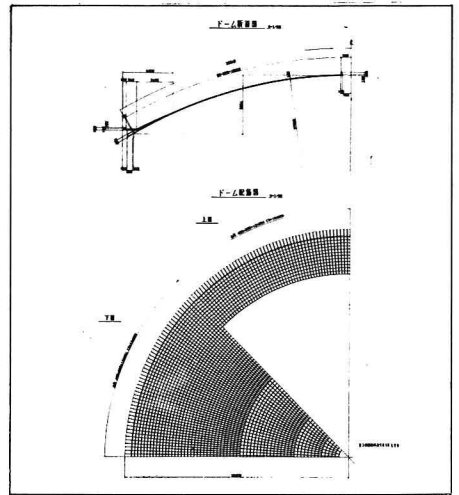


図-3 ドーム配筋図

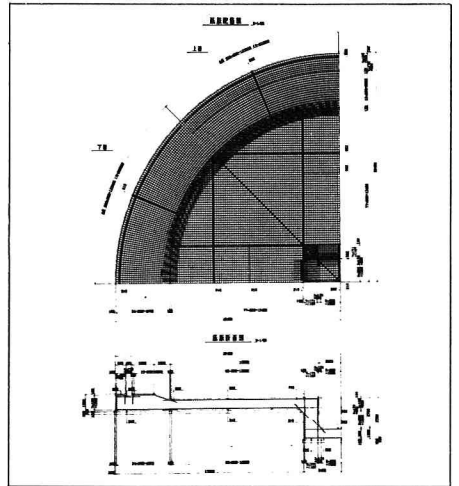


図-4 底板配筋図

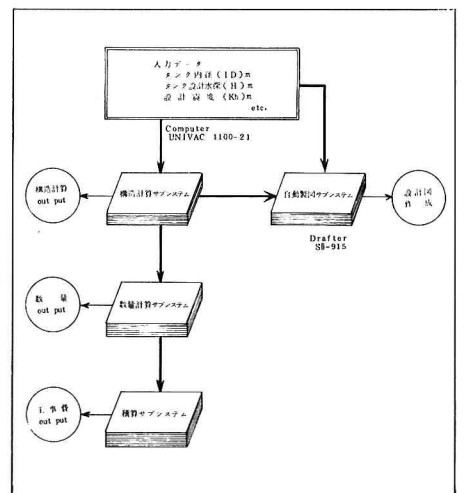


図-5 PCタンク自動設計システム

③ 利用形態に重点をおいたシステムである。

- 各サブシステムを独立させ、サブシステム間のデータの受け渡しをデータファイルによって行う。これによって、
- 各サブシステムの単独使用あるいは一連の設計作業を任意に行う事が出来る。
 - 従来の設計過程（構造計算、製図、数量計算、積算）に則っているので、設計作業がスムーズに行われる。
 - 必要に応じ設計過程をファイルから取り出す事が出来る。
 - サブシステムからサブシステムに移る際に計算結果のチェックを行う事により、適切な設計管理が可能となる。
 - ファイルの保存によって、設計データの蓄積が可能となる。

④ チェック機構を整備したシステムである。

インプットデータチェック機構、計算結果チェック機構および計算途中チェック機構を随所に配備する事によって、インプットデータの人為的ミス等を最小限に防止し、また、必要に応じた人間の判断を計算途中に反映できるように考慮されている。

4. サブシステム

1) 構造計算サブシステム

本サブシステムは、1つの主プログラムと6つのサブルーチン副プログラムで構成されており、図-6のフローに従ってPCタンクの構造計算を行う。また、計算結果は構造計算書の空欄をうめる形で出力される。

① サブルーチンDANMEN

空水時および満水時に側壁に生じる応力として、側壁を20等分した各高さのフープ方向軸力 $N\phi$ と鉛直方向曲げモーメント M_x およびそれらの最大値が算出される。

② サブルーチンKOUSEN

（水圧+余裕圧）に相当するプレストレスを与えるために、フープ方向のPC鋼材の配置計算が図-7のように行われる。この際、PC鋼材の最適緊張力 P_i は、プレストレッシング中、プレストレッシング直後および使用状態の各状態で、PC鋼材の応力度が許容応力度を満足するように、配置計算と応力度チェックの繰り返し計算によって求められる。

③ サブルーチンKOUBOU

鉛直方向のPC鋼棒のピッチとコンクリートの鉛直方向応力度が求められる。鋼棒の配置計算は、通常よく使用されるSBPR 95/110の $\phi 32$, $\phi 26$, $\phi 23$, $\phi 17$ の各鋼棒径について、鉛直方向曲げ応力による引張応力がコンクリートに生じないように行われ、それらの計算結果は各鋼棒径について出力される。したがって、設計者は当該設計に最も適した鋼棒径とピッチを選択することが出来る。

④ サブルーチンDOME

自重および載荷重により生じるドーム応力度が膜理論を用いて求められる。

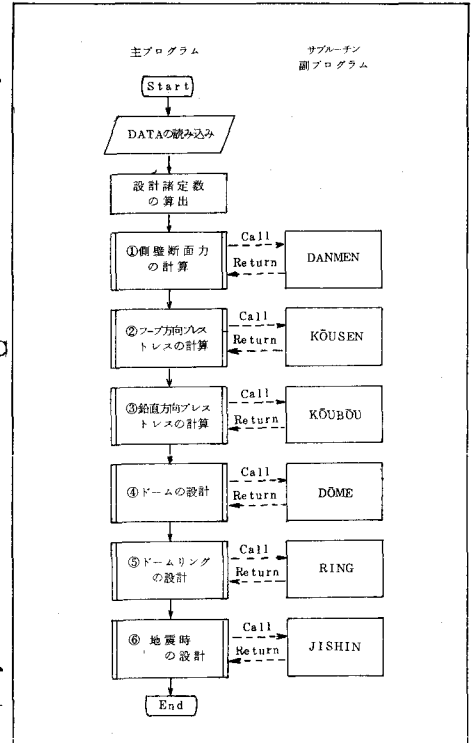


図-6 構造計算サブシステム

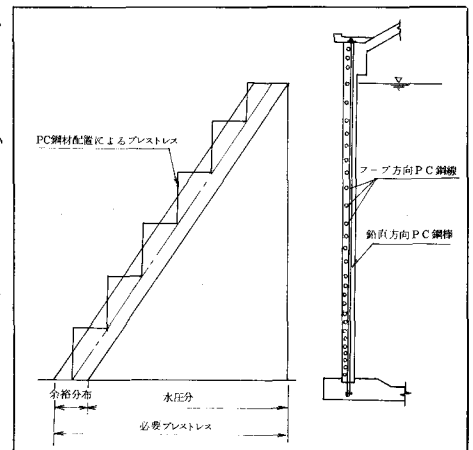


図-7 PC鋼材の配置

⑤ サブルーチンRING

ドームリングには、ドーム水平反力によるフープ方向引張力が作用する。これに対して、ドームリング、コンクリートに引張応力度が生じないようにPC鋼材が配置される。計算結果として、必要鋼線本数、コンクリート応力度などが出力される。

⑥ サブルーチンJISHIN

地震時荷重および地震時側壁応力の算出と地震時安定計算が行われる。これらの耐震計算は「水道施設耐震工法指針・解説」に則って行われる。

2) 数量計算サブシステム

PCタンク数量の内、図-8に示す数量計算が行われる。計算結果は、計算式内の数値および計算値が数量計算書の書式に合わせて出力され、さらに数量総括表も出力される。

3) 積算サブシステム

数量計算プログラムから送られてくる工事数量を用いて、諸経費から機械損料まで含めた本工事費が算出される。このとき使われる工事単価を地域別、年度別にデーター管理することによって各支店での活用が可能となる。

4) 自動製図サブシステム

構造計算プログラムから送られてくる計算結果と、若干の追加データによって表-1(図-1~図-4)に示す各図が自動製図機によって描かれる。本サブシステムでは、図-9に示すように、各作図作業が独立したサブルーチン副プログラムとして取り扱われているので、任意の図面を単独に描かすことも可能である。

5. あとがき

本システムは、当社におけるPCタンクの設計・施工技術のマニュアル化および設計業務の省力化の一環として開発されたもので、1,000基余りの設計実績と150基近い施工実績に基づいており、現在、その機能は十二分に発揮されている。今後、本システムの有効利用として、計画段階における計画指標となるようなタンク容量別(タンク径、高さ別)の標準設計例集の作成にも活用して行きたいと考えている。

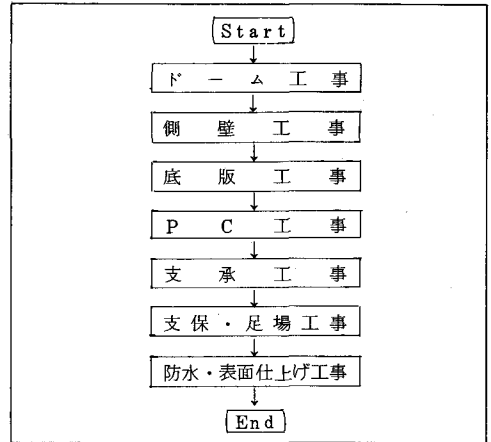


図-8 数量計算サブシステム

表-1 自動製図サブシステム

副プログラム名		内 容
GENERA	GPLAN	一般平面図
	GSEC	一般断面図
WALL	WPLAN	側壁配筋図
	WSEC	側壁断面図
	WDETAL	側壁詳細図
DOMED	DPLAN	ドーム配筋図
	DSEC	ドーム断面図
SLAB	SPLAN	底板配筋図
	SSEC	底板断面図

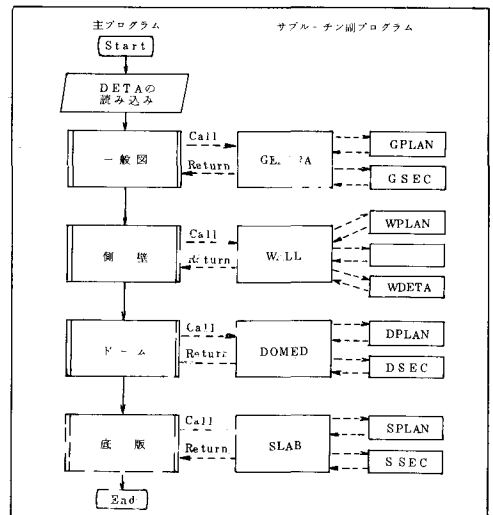


図-9 自動製図サブシステム