

II-52 道路橋ケーソン基礎一貫設計システムの開発

(株)白石 技術本部 技術部 ○藤井 直
 技術本部 開発技術部 池田 貴之
 技術本部 技術部 Erlyn.F.Chandra

1. 開発経緯

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震では、道路橋等に多大な被害を与えたが、基礎構造物については、橋梁全体の被害に直接結びつくような被害は見られなかった。しかし、基礎についても下部構造躯体に比較して損傷の発見が困難であることや、その補修も大規模とならざるを得ないことから地震時保有水平耐力法が導入された。ケーソン基礎は、他の柱状体基礎との設計法の統一が計られ、従来基礎本体を剛体モデルとして設計していたものを弾性体モデルもしくは弾塑性体モデルに変わり、地盤の抵抗要素も3要素から6要素に改められるなど根本的に変更となった。従来、ニューマチックケーソン基礎の設計は、内容が複雑で多大なマンパワーを要する仕事であったため、昭和50年に大型コンピュータを使用した自動設計・製図システムが開発された。後にこれを拡張したパソコン版の対話式设计・積算システムが開発され設計の合理化・省力化が進んでいる。しかし、道路橋示方書が大幅に改訂され、従来のシステムでは対応する事が不可能となった。新設計法は基礎本体を弾性体もしくは弾塑性体、地盤抵抗は非線形性を考慮したモデルとなり、手計算における設計計算は不可能となったため、パソコン版での「道路橋ケーソン基礎一貫設計システム」の開発を行なった。ここでは、設計モデルの変更点の概要とシステムの内容・開発の成果および今後の課題について報告する。

2. 設計モデルの変更点

今回の改訂により、橋脚だけでなく基礎にも地震時保有水平耐力法による耐震設計が導入され、設計手法が大きく変更となった。その主要な変更点を表-1に示す。

・基礎の剛性

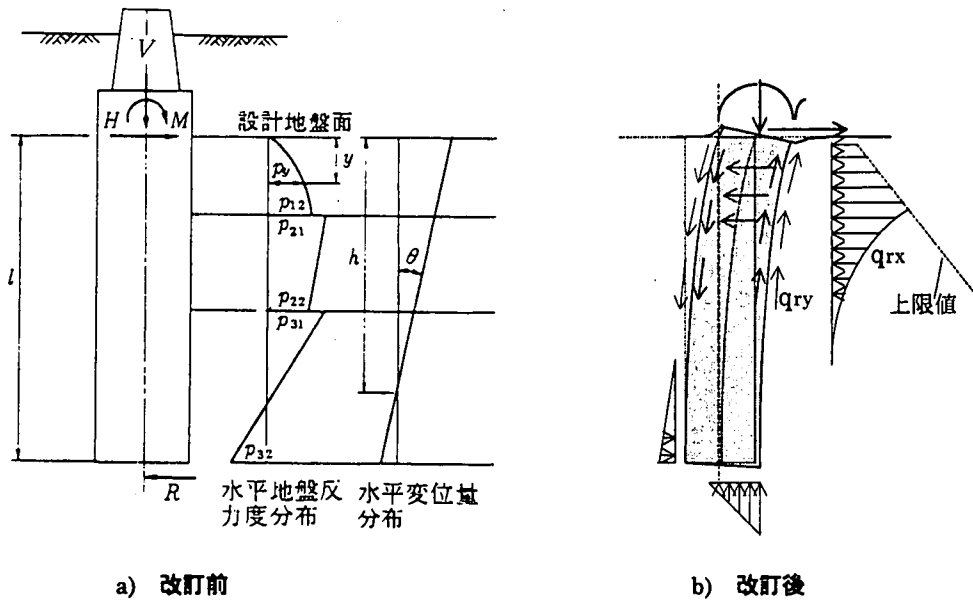
従来はケーソン基礎本体を剛体として扱ってきたが、地震時保有水平耐力法の導入により、躯体の非線形性を取り入れる必要があること。根入れが深いものも施工可能となり、剛体の仮定では実状に合わなくなっている。また、地中連続壁基礎や鋼管矢板基礎では、基礎本体は弾性体として扱っており柱状体基礎として設計の基本を統一することとなった。基礎の剛性の比較を図-1に示す。

・地盤抵抗

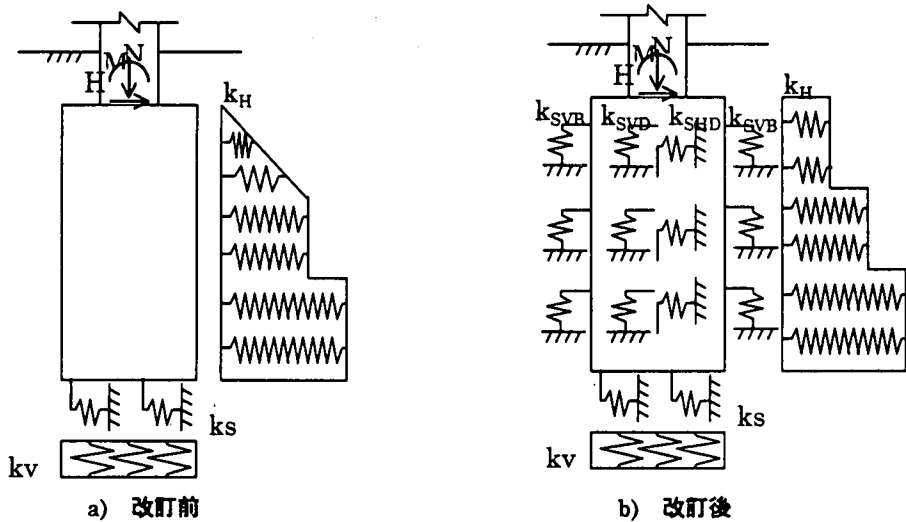
基礎周面の地盤抵抗に関する変更点は、水平地盤反力を前面、側面と単独の抵抗要素とした。これは、従来前面の水平地盤反力を20%割増していたが、基礎本体の断面形状の違いによる側面の影響を考慮できない点を改善している。また、基礎周面の鉛直地盤反力は水平荷重に対する抵抗要素としてのみ考慮することとした。これは、従来は計算の簡便性を配慮して無視していたが、根入れ比が比較的小さいケーソンではその影響が大きく現れることに配慮したためである。地盤抵抗の扱いは、弾塑性体となった。基礎周面地盤の一部で塑性化が生じて、許容変位内であれば基礎全体の変形や残留変位の増大につながらないためである。地盤抵抗の比較図を図-2に示す。

表-1 主要な変更点

	改訂前	改訂後
基礎本体の剛性	剛体（許容応力度法）	・原則として弾性体 ・本体の降伏を許容する場合は曲げ剛性の低下を考慮
地盤抵抗の基本	基本は弾性計算（許容応力度法）	1) 周面の地盤抵抗は弾塑性 2) 底面の地盤抵抗 ・常時・地震時（震度法）・暴風時においては地盤は弾性 ・地震時保有水平耐力法においては地盤は弾塑性
地盤反力係数の算出に用いる換算載荷幅	1) 載荷幅は基礎前面のみに定義 2) 載荷幅 $B_H = \sqrt{A_H}$ A_H : 載荷面積	1) 載荷幅は基礎前面と側面で定義 2) 基本的にはケーソンの幅で、円弧部については低減した有効幅



図一 基礎の剛性比較



図二 基礎の地盤抵抗比較

3. システム概要

本システムで対象とするケーソンは、ニューマチックケーソン工法およびオープンケーソン工法であり、それぞれ平面形状は、円形、小判形および矩形である（表-2 適用範囲）。また、ニューマチックケーソンの施工方法は、止水壁方式およびピア方式を対象とし、ケーソンの設計計算を一連で行うシステムとなっている。本システムの動作環境を表-3に示す。データ入力方法は、簡単に入力・修正が行える対話式であり、プログラム適用外の値が入力されないよう入力部にチェック機能を有している。また、出力した結果は、そのまま設計計算書として提出することが可能であり、実務と密着したシステムとなっている。システム構成は、図-3に示すように7つの

項目すべてにおいて入力および計算結果のデータをリンクさせている。これにより、データを共有化し、入力の省力化を実現している。

表-2 適用範囲

◇ 対象とする施工方法	◇ ケーソン長
・ニューマチックケーソン工法	特に制限無し
・止水壁方式	（一般 10～50m）
・ピアケーソン方式	◇ 対応周面地盤
・オープンケーソン工法	・最大 10 層
◇ 適用可能な平面形状	◇ 隔壁枚数
・円形 → 直径 4.0～20.0m	・円形 → 無し or 十字
・小判形 → 長辺 4.0～30.0m 短辺 4.0～15.0m	・小判形 → 長辺 0～5 枚 （長辺のみ）
・矩形 → 長辺 4.0～40.0m 短辺 4.0～40.0m	・矩形 → 長辺 0～5 枚 短辺 0～5 枚

表-3 プログラム動作環境

・本体	NEC PC-9800 シリーズ
・ディスプレイ	NEC 標準ディスプレイ (640×400)
・メモリ容量	500KB 以上
・プリンター	NEC PC-PR201 シリーズまたは CANON LASER SHOT N201 モード
・OS	NEC MS-DOS 3.3D/5.0/5.0A/6.2 WINDOWS 3.1 DOS モード WINDOWS 95 DOS 再起動モード
・その他	ハードディスク 必須 演算プロセッサ 必須

本システムを用いた設計フローチャートを図-4 に示す。これにより基礎設計の安定計算から沈下・部材計算等まで一貫して設計することができ、合理的かつ迅速な設計を行うことが可能である。システムの特長について以下に述べる。

① 安定計算

安定計算で対象とする荷重の組合せは、常時、地震時、暴風時、温度時、任意荷重時、および液状化・流動化荷重に対応し、最大5 ケースまで同時に計算可能となる。計算内容については、地盤抵抗要素6種類とし、地盤の非線形性(弾塑性体)を考慮した弾塑性床上の有限長弾性体の梁として計算を行う。計算結果は、その形状寸法で安定するか否かが一覧表として表示されるため、設計者の判断が容易である。

② 地震時保有水平耐力法安定計算

地震時保有水平耐力法安定計算では①の安定計算機能に加え基礎本体の剛性低下を考慮した有限長弾塑性体の梁として安定計算および変形性能照査を行うことが可能である。また基礎本体をトリリニア形の弾塑性モデルとして考えるため、ひび割れ時、降伏時および終局時の曲モーメントMと曲率 ϕ で表せられるM- ϕ 関係の計算を行う。

変形性能照査では、入力で指定されたステップごとに設計水平震度を変化させ、降伏時及び終局時の各状態を自動追跡する。これにより、応答変位及び応答塑性率を算出することが可能である。また、M- ϕ 関係、および水平震度と上部工慣性力作用位置における水平変位関係の計算結果は、すべて実際の数値に対応した図形として表示される。

③ 部材計算

常時・地震時(震度法)での各部材の応力度照査を行い、また、地震時保有水平耐力法では、耐力照査を行う。さらに、施工時の部材の照査も行う。部材によっては、面内外の

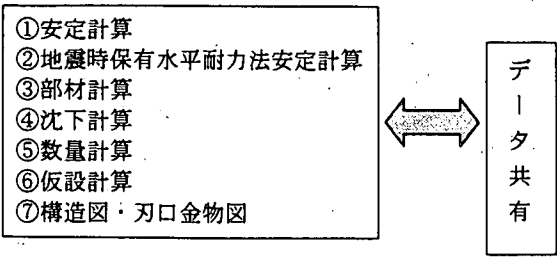


図-3 システム構成

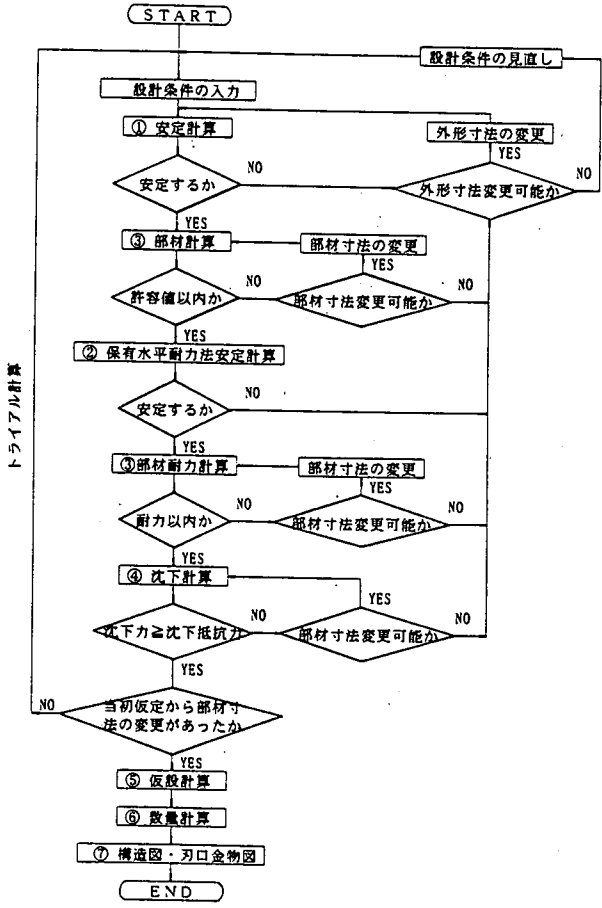


図-4 設計フローチャート

骨組み解析を用いた設計計算を行うことが可能となっている。部材の配筋入力には、デフォルト値および入力チェックの機能を有することにより、入力ミスを最小限にする配慮をした。

④ 沈下計算

あらゆる施工条件に対応し、ケーソン沈下の可否についての沈下計算を行う。また、周面摩擦力の算定法では、土質及び深度により連続変化および段階変化の入力選択や任意荷重の入力が可能である。ケーソン沈下リフト入力については、自動設定または設計者が直接入力する場合の選択機能を有している。

⑤ 数量計算

掘削土量、またケーソンリフトごとのコンクリート体積、型枠工、足場工（建設省法と道路公団法）および支保工の数量計算を行う。

⑥ 仮設計算

ケーソン施工時に必要仮設工（鋼矢板およびコンクリート止水壁）の設計計算を行う。

⑦ 作図機能

構造図、刃口金物図および沈下関係図のCADデータを作成し、プリンタやプロッタに図面出力することが可能である。また、DXFファイル作成が可能であり、他の汎用CADソフトへのデータ変換が可能である。

4. 開発の成果と今後の課題

今回の開発により新示方書に対応した設計計算法による多くのトライアル計算が可能となり、構造的な最適性の追及が可能となった。これにより成果品の品質が向上し、また設計の迅速化が計られた。本システムはそれぞれの計算システムのデータを共有化し7つの項目すべてにリンクさせており、今後の拡張・メンテナンスが容易に行えるよう配慮している。今後の課題としては図-4に示したように本システムではトライアル箇所が多く残っている。そこで更なる設計の迅速化および最適設計の実現へ向けて、最適形状を自動選択する「ケーソン基礎自動設計プログラム」を開発中である。今後は以前開発した、積算システム（第17回土木情報システムシンポジウムで発表）を組込み経済面も考慮した最適設計システムへの拡張および製図システム（配筋図）の追加を行い、より最適かつ迅速な設計が行えるシステムへ拡張していくことを考えている。

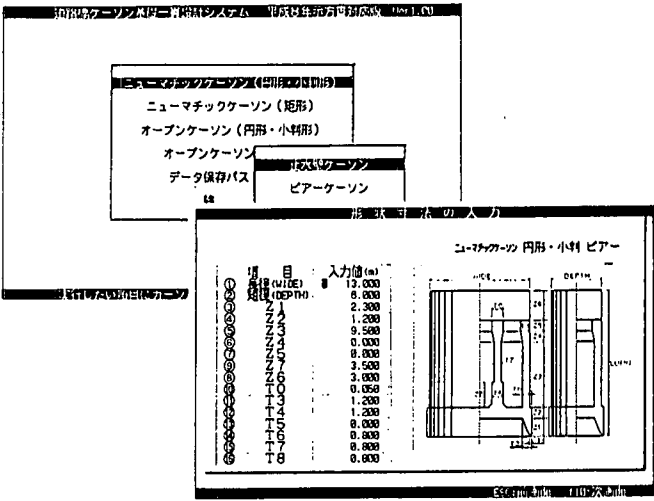


図-5 システム画面例

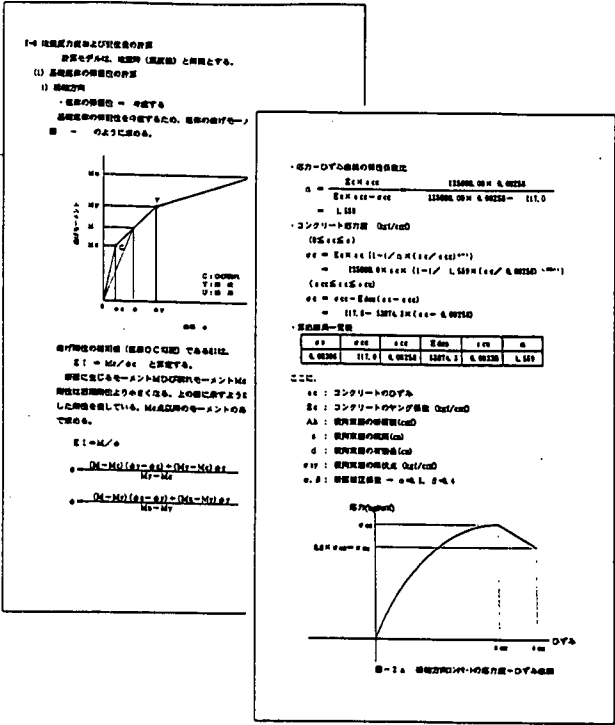


図-6 出力例

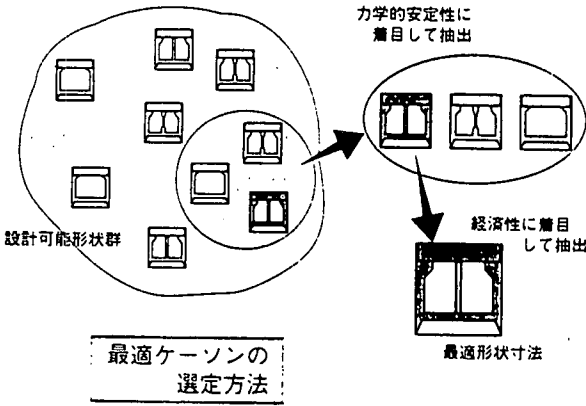


図-7 ケーソン基礎の最適設計の実現