

【システム解説】

FCC工法によるPC橋梁の設計支援システム

Supporting Program System for Design of Prestressed Concrete Bridges by Free Cantilever Erection Method with Cables

森 本 洋 三*
Yozo MORIMOTO

野 田 行 衛**
Yukie NODA

新 井 伸 博***
Nobuhiro ARAI

大 澤 浩 二***
Koji OSAWA

橋 吉 宏****
Yoshihiro TACHIBANA

西 澤 今 朝 雄*****
Kesao NISHIZAWA

1. まえがき

FCC工法とは、Free Cantilever Erection with Cablesの略称で、ケーブルシステムによる片特架設工法のことである。本工法は、橋梁を橋脚の両側から3～5mのブロックで順次張出し施工して、最終構造系を完成させる工法である。その設計においては、施工順序を考慮して設計検討を行うために、その途上で発生する構造系の種類、検討のケース、検討断面の数が他工法による橋梁設計の場合より多くなるため、設計そのものが複雑でかつ、労力を必要とする。また、施工面では、コンクリートのクリープ・乾燥収縮が終了した後、構造物が所定の高さになるように、各施工段階で上げ越しを考慮しておかなければならない。特に、PC構造物の場合には、全たわみ量に占めるコンクリートのクリープ・乾燥収縮及びプレストレスの影響の割合が大きく、これらをどこまで正確に把握できるかで、構造物の品質が左右されることになる。

FCC工法によるPC橋梁としては、番の州高架橋・球磨川第3橋梁・川口橋・祖山橋・名立川橋がすでに施工中又は完了しており、さらに登俣第2橋・中島橋が設計施工段階を向えている。

このような物件数の増加とともに、迅速かつ正確な対応、及び設計施工の思想統一が望まれるところである。

本システムは、設計から施工管理データ作成までを、大型電算機により一貫処理することで、架設ステップの忠実なトレースを可能にし、設計業務の省力化及び施工における品質管理の向上を目的とするものである。

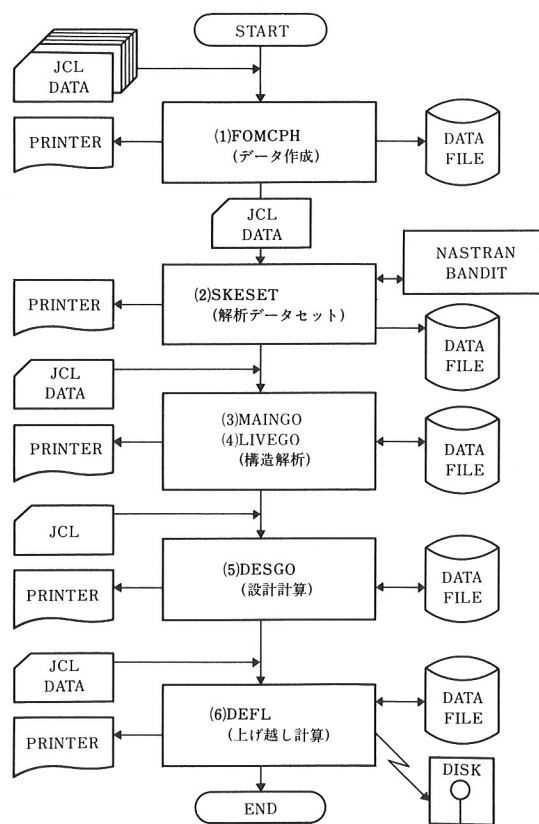


図-1 システム概略フロー図

2. システムの概要及び機能

本システムは、図-1に示すようなプログラムより構成されており、プログラム間でのデータの引き渡しは、すべてデータファイルを通じて行われる。

適用可能な形式は、1～2室箱形状の主桁断面を有する。以下の3形式である。

* 川田建設㈱工事本部技術部技術開発課課長 ** 川田建設㈱工事本部技術部技術開発課係長 *** 川田建設㈱工事本部技術部技術二課
**** 川田工業㈱技術本部中央研究室 ***** ㈱システムエンジニアリング技術部技術課

- 2～6 径間の連続ラーメン橋
 - 2～6 径間の有ヒンジ連続ラーメン橋
 - 2～6 径間の連続桁橋
- また、架設時に仮設部材が設置できる。

(1) FOMCPH(入力データ総括プログラム)

最小限の入力データより、構造解析・設計々算・上げ越し計算の各プログラムを実行するために必要なデータを作成する。

a) 主桁断面形状の計算

標準断面形状、及び桁高・上下床版厚・ウェブ厚の橋軸方向変化データを入力することで、設計断面での主桁断面形状を計算するとともに、主桁型枠面積及びコンクリート体積を計算する。

b) クリープ係数及び乾燥収縮度の計算

工事工程を入力することで、各施工ブロックのクリープ係数及び乾燥収縮度を計算する。

ただし、ステップ数 ≤ 200

c) PC鋼材応力度の計算

種類の異なるPC鋼材毎に、マサツ及びセットロスまで考慮した応力度を計算するとともに、各架設ステップで緊張するPC鋼材を抽出する。

ただし、種類の異なるPC鋼材本数 ≤ 500

d) SKESSET*入力データの作成 * (2)参照

各架設ステップの構造解析データ(スケルトン・荷重等)を作成する。また、スケルトン作成要領は以下のとおりである。

- 軸線は、ハンチの影響・変断面の影響を無視した直線とする。ただし、縦断勾配は考慮する。また、橋脚の高さは、橋脚下端から柱頭部断面図心までとする。

- 設計断面には、必ず節点を設ける。

ただし、上部工節点数 ≤ 200

全節点数 ≤ 300

- 柱頭部上に剛域を考慮できる。

e) 設計々算諸条件のセット

コンクリート・PC鋼材・鉄筋の許容値等をセットする。

(2) SKESSET(構造解析実行データ作成プログラム)

架設系構造解析の実行データを作成する。この際に、NASTRANのBANDITにより、節点番号のリナンバリングを行い、演算時間の短縮を図っている。

(3) MAINGO(架設系構造解析プログラム)

架設途上での構造系の変化を考慮した、変形法による平面骨組解析である。図-2に示すように、a)～e)の解析を架設ステップ毎に行い、変位・断面力・反力を増分量の形で求めている。したがって、着目ステップで実際に作用している断面力を求めるには、着目ステップま

での断面力を単純に集計する必要がある。

a) 死荷重系解析

自重・橋面・トラベラー・吊支保工・作業荷重等の固定荷重に対する解析である。図-2に示すように、複数のスケルトンが関連している。

b) プレストレス系(その1)

着目ステップ施工直後での、PC鋼材の追加及び張力変化に伴うプレストレス2次力の解析である。

まず、載荷々重(死荷重系で求めた断面力)による鋼材応力度のロス量を求め、着目ステップで施工直後の鋼材応力度を計算する。次に、着目ステップで緊張した鋼材については、直後の鋼材応力度で、また以前のステップで緊張した鋼材については、載荷々重によるロス量で、着目ステップ施工直後のプレストレス増分荷重を計算し解析を行う。ここで、不静定構造の場合には、2次力が発生するので、これを考慮して修正計算を行う。

さらに、この段階で計算されている結果より、(着目ステップ+1)施工直前までに生じる鋼材応力度のロス量(レラクゼーション、クリープ・乾燥収縮によるロス量)、及び増分荷重を求め、解析を行う。ただし、この時計算したロス量には、(着目ステップ+1)施工直前まで生じるはずのプレストレス2次力の変化量、クリープ2次力が考慮されていない。これに対する修正計算は、プレストレス系(その2)で行う。

c) クリープ系解析

構造系及びコンクリート材令の変化に伴うクリープ2次力の解析である。

従来、この2次力は、構造完成以降に発生するものと仮定し、平均クリープ係数を用いて、式(1)に示すDischingerの簡略式より求めていた。¹⁾

$$M_{\phi} = (M_0 - M_1) (1 - e^{-\phi}) \quad (1)$$

ここに、 M_{ϕ} ; クリープ2次力

M_0 ; 最終構造系を一度に施工すると仮定した場合の死荷重及びプレストレスの断面力
 M_1 ; 最終構造系になる前の構造における死荷重及びプレストレスの断面力

ϕ ; 最終構造系が完成した後の各部材におけるクリープ係数の平均値

しかし、この方法によると、構造完成以前の影響を無視していること、非対称な施工順序をうまく考慮できないこと等の問題がある。特に、施工時のたわみ管理、及び設計断面力中で2次力の占める比率の大きい部材の設計に対して問題となる。

そこで、本プログラムでは、Dischingerの簡略式の基となっている基本式(2)に変形法を適用して、2次力を各架設ステップ毎に解析している。^{2)～6)}

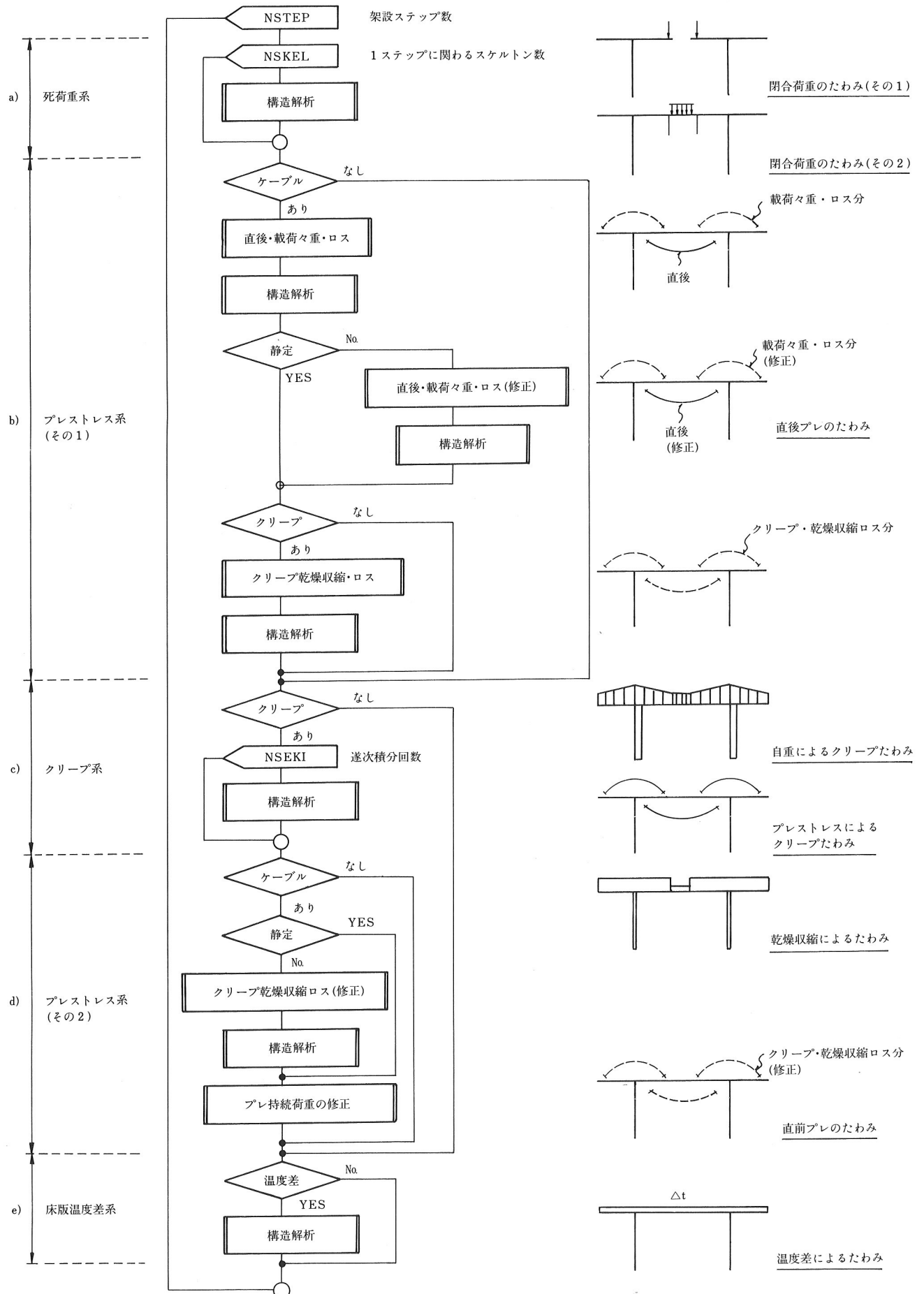


図-2 架設系構造解析フロー図

$$\epsilon_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{E_b} + \frac{1}{E_b} \int_0^t \psi(t) \sigma_b(t) \alpha \psi(t) J + \epsilon_s(t) \quad (2)$$

ここに、 $\epsilon_b(t)$: 時刻 t におけるコンクリートひずみ
 $\sigma_b(t)$: " コンクリート応力
 $\psi(t)$: " クリープ係数
 $\epsilon_s(t)$: " 乾燥収縮度
 E_b : コンクリートの弾性係数

また、死荷重・乾燥収縮の持続荷重は、着目ステップ施工直後までの断面力の集計値とするが、プレストレスの持続荷重は、着目ステップ施工直後までの断面力の集計値と、プレストレス系(その1)の後半で解析した(着目ステップ+1)施工直前までの断面力の集計値との平均値とする。

d) プレストレス系(その2)

不静定構造の場合には、プレストレス系(その1)の後半で解析した(着目ステップ+1)施工直前までに生じるプレストレス2次力の変化量、及びクリープ系で解析したクリープ2次力を考慮して、プレストレス系(その1)の後半の修正計算を行う。

さらに、静定・不静定に関わらず、クリープ系で修正したプレストレスの接続荷重を再度修正する。

e) 床版温度差系

床版温度差に対する解析であり、たわみ管理時に温度補正として参考にできる。

(4) LIVEGO(活荷重処理プログラム)

変形法による平面骨組解析である。活荷重に対する解析は、影響線処理をすることで演算時間の短縮を図っている。また、支点沈下に対する解析は、各支点の沈下量データだけで、最大・最小の影響を与える組合せを抽出する。

(5) DESGO(主方向の設計々算プログラム)

図-3に示すフロー図により、上部工主方向の架設系(張出し架設時)・完成系の設計々算を行う。

a) 架設系の曲げ、せん断照査

図-4に示す3種類のパターンで、合成応力度・曲げ引張鉄筋の計算を行う。また、張出し完了時については斜引張応力度・せん断鋼棒ピッチの計算を行う。

b) 完成系の設計荷重時曲げ照査

完成系の合成応力度は、以下に示す最大56ケース(出力は最大40ケース)の荷重組合せを考慮することが可能であるが、任意に省略することもできる。

- 供用開始時(橋面施工直後) : 全死荷重時(1), 活荷重時(4), 温度時(15)
- 設計荷重時(クリープ終了時) : 全死荷重時(2), 活荷重時(4), 温度時(20), 地震時(2), 地震+温度時(8)

ここで、() 内の数字はケース数を示す。

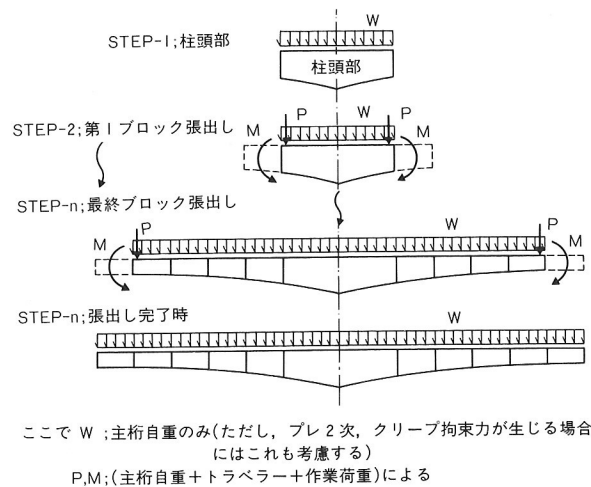


図-4 架設系の検討

PC鋼材応力度は、構造解析と平行して行っているロス計算結果より、次数別に張出し完了時・径間閉合時・構造完成時・供用開始時・設計荷重時の5段階で計算する。

曲げ引張鉄筋は、許容応力度の割増しを考慮して計算する。この際に、引張域にある余裕PC鋼材を鉄筋に換算することも可能である。

c) 完成系の終局荷重時曲げ照査

以下の要領で、軸力を考慮した曲げ破壊安全度を計算する。この際に、a) 及びb) で計算した曲げ引張鉄筋が、床板厚中心に配置されているものとして考えている。

- 正曲げに抵抗するPC鋼材; 下床版・ウェブ配置
- 負曲げに抵抗するPC鋼材; 上床版・ウェブ配置

d) 完成系の設計荷重時せん断照査

供用開始時・設計荷重時について、各ステップ毎のせん断力の集計を行い、斜引張応力度・せん断鋼棒ピッチの計算を図-5に示す3断面で行う。この際に、温度の組合せの考慮、及び任意の許容応力度の割増しが可能である。また、実配置せん断鋼棒ピッチを入力することにより、実配置ピッチに対する斜引張応力度を計算する。

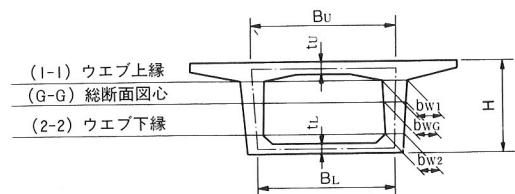


図-5 斜引張応力の検討断面

e) 完成系の終局荷重時せん断照査

最大せん断応力度・スターラップ・せん断軸方向鉄筋(ねじり鉄筋)の計算を行う。この際に、以下に示す2種類の有効高さが扱える。

- 曲モーメントに対する軸方向鋼材を、せん断力に対する軸方向鋼材の一部に用いず、せん断軸方向鉄筋を配置する場合

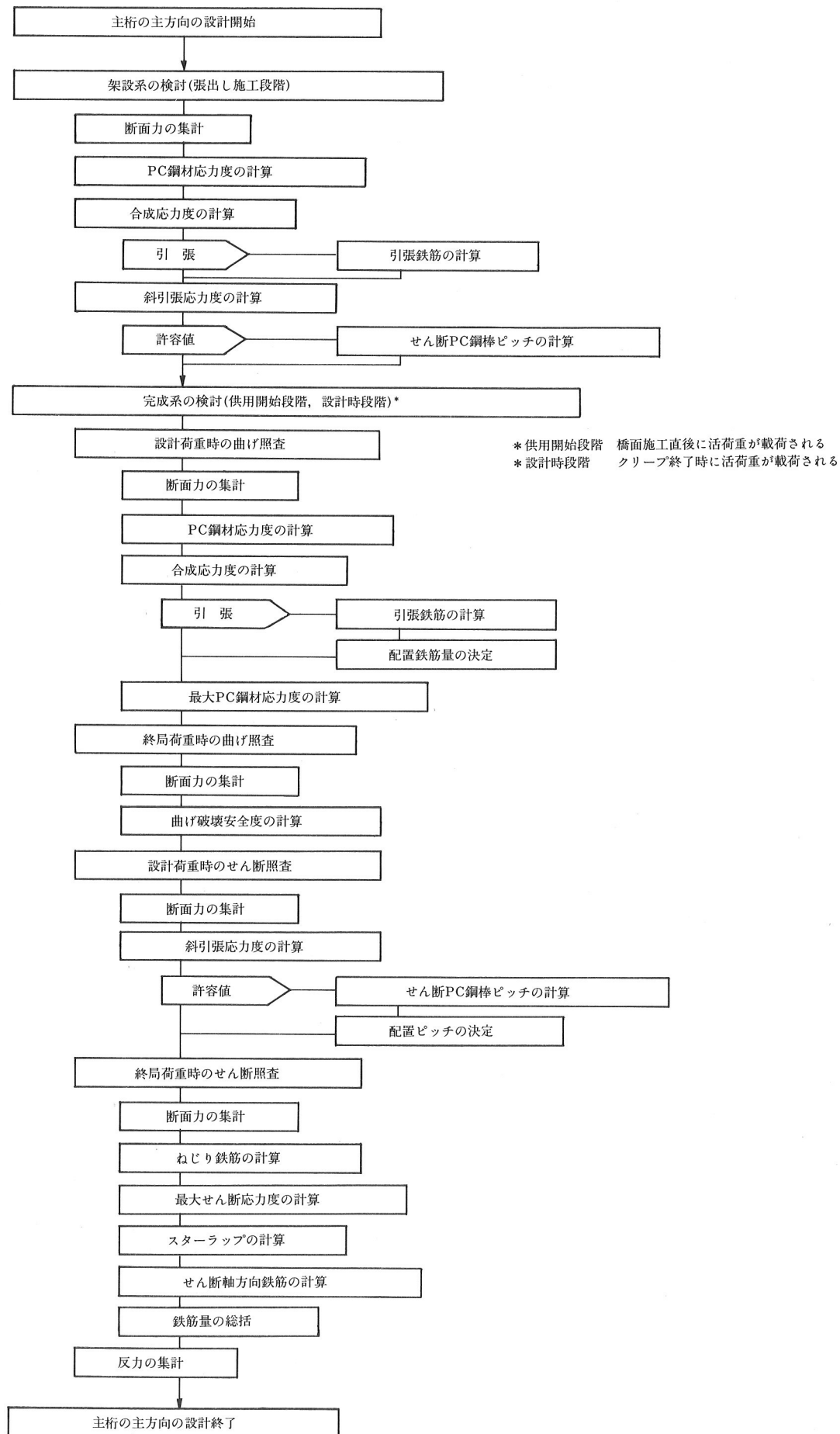


図-3 主方向の設計計算フロー図

● 曲げモーメントに対する軸方向鋼材が応力的に余裕があり、せん断力に対する軸方向鋼材の一部として用い、不足する分をせん断軸方向鉄筋で補う場合
また、d)と同様に、実配置せん断鋼棒ピッチを入力することにより、実配置ピッチに対するスターラップ・せん断軸方向鉄筋を計算する。さらに、d) 及び e) では、ねじりモーメントを入力することにより、ねじりに対する検討を行うことが可能である。

(6) DEFL(上げ越し計算プログラム)

架設系構造解析の結果により、架設ステップ毎の上げ越し量を計算する。さらに、パソコンヘデータを転送することにより、管理データを保存し、画面上で実測値との比較や補正が可能である。

3. あとがき

FCC工法によるPC橋梁の設計支援システムの概要を報告したが、今後の課題として、以下の項目が残されている。

- ① 設計々算結果の図化
- ② 横方向の設計々算のプログラム化
- ③ たわみ管理・緊張管理の思想統一及びプログラム化

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，IIIコンクリート橋編，昭和53年1月。
- 2) 土研橋梁研究室：コンクリート斜張橋のクリープ・乾燥収縮解析用プログラム，土木研究所資料，第1,339号，昭和53年2月。
- 3) 星埜・佐伯：コンクリート斜張橋のクリープ解析土木学会論文報告集，第295号，1980。
- 4) F・レオンハルト：レオンハルトのコンクリート講座⑤プレストレストコンクリート (P.247)，鹿島出版会，1983。
- 5) 北島：鋼・コンクリート合成構造の汎用クリープ・乾燥収縮解析，川田技報，Vol.3，1983。
- 6) H・リュツシュ，D・ユンクビルト著，百島祐信訳：コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮，鹿島出版会，1977。