

京都大学 工学部 正員 春 名 攻
鴻池組技術研究所 正員 ○折 田 利 昭

1. はじめに

近年の土木工事は一般に大型化の傾向が強く、工事の内容も複雑かつ高度な技術が必要とされるようになってきている。また施工の環境も一段と厳しくなつてきて、工事現場の周辺の状況からも十分な施工スペースがとれなくなるような事態となる場合もでてきた。そして都市土木工事の中でも多くの部分を占める大型R C構造物工事では多種多量の鉄筋を用いるが、これら鉄筋の置場を現場近くに確保することが必要である。このようなときは場所的な制約を強くうける場合が多く、限定されたスペースの中での適正な鉄筋管理をしなければならない。また、現状ではこれら鉄筋の施工に関する正確な数量の算出やそれにもとづく適正な発注量の算定、さらに正確な在庫数量の把握などの一連の作業は多くの労力を要しているため、効率的な方法を開発することによって作業の軽減をはかつていくことも重要である。

このような観点から本論では、鉄筋管理のシステム化の問題の中でもとくに計画問題という観点から、上述の一連の作業の軽減化・合理化を目指して開発した2, 3のシステムに関してのべることにする。

2. 鉄筋管理問題におけるシステム化の方針

鉄筋に関する計画・管理のための作業を示すと以下のようである。

- (1) 鉄筋の種類、寸法、量などを設計図より拾い出す。
- (2) (1)で拾い出された鉄筋を施工ブロック・部位(柱, スラブなど)ごとに分類して集計する。
- (3) 鉄筋量に関しての定尺換算を行なう。
- (4) 資金面および置場スペースなどを考慮して、発注間隔および発注量に関しての発注計画を作成する。
- (5) 鉄筋置場における在庫数量を、発注量、納入量、搬出量に着目して管理を行なう。

ここで(1)の作業は、設計図からすべての鉄筋を誤りなく拾い出さなければならないので非常に手間を要する作業である。いま、このプロセスを合理化することは重要なことであるが、これを施工段階での問題として系統的にとらえることは難しいと考えられ、現実的には設計段階のアウトプット内容・形態の問題としてとらえる方が合理的であると考え、ここでは現状の方法を前提としてシステムの開発をすすめることにする。さて(2)~(5)に示した一連の作業において、鉄筋は材質別、径別、長さ別に取扱わなければならない。このため工事現場においては各作業ともかなりの手間を要するものとなつていて、本研究では(2)~(5)についてシステムアプローチを行なうこととした。各作業を通じての鉄筋に関する基本的情報としては、施工の作業をあらわす施工ブロックや部位およびそれに対応する(1)のプロセスで拾い出される鉄筋量の情報(鉄筋符号、材質、径、設計長、設計数量)が用いられる。したがって上記の情報をコンピュータ処理における初期データとすると一連の作業をコンピュータで処理しやすくなるものと考えた。

つぎに(2)の作業において分類・集計は簡単な処理作業であり、用途にみあつた分類・集計のプログラムさえ開発しておけば、作業の軽減化・合理化をはかることができるものと考えた。

また(3)の作業において定尺換算の際の評価尺度であるロス(直接コストに響くが、このロスを最少にするための計算の手間は非常に大きい)を最少とするような定尺換算のためのプログラムを開発しておけば、作業の軽減化およびコストの減少をかなりの程度達成することができるものと考えた。

さらに(4)の作業において発注計画の中では置場の制約から一度に工事に関する全鉄筋を発注することは不可能でありまたムダでもある。つまり工程計画と密接な関係をもつて経済的かつ実行可能な発注計画を作成しなければならないのである。要求される鉄筋量に関する情報は工程計画と施工対象となつていて施工ブロック・部位の情報を媒体として、簡単に結びつけられる。このような形で工程計画と結びつけた発注計画

作成のためのプログラムを開発しておけば、作業の合理化・軽減化が行なえるとともに工程計画の変更に対しても迅速に対処することができるものと考えた。

最後に(5)の作業において現場における管理情報としての現在の在庫量、発注量がタイムラグなしに把握できることは重要なことである。したがって鉄筋需要の発生場所である現場において入力され、出力されることが必要である。このため、この作業のオンライン処理あるいは現場設置コンピュータによる処理が、作業の軽減化・合理化に直接つながると考えた。

このような鉄筋管理のプロセスにおけるシステムのフローを示すと図-1のようになる。本論では作業の合理化が急務とされている(2),(3),(4)のシステム化をまずとり上げることとし、(5)のシステム化については次の機会にゆずることとする。

3. 鉄筋の分類・集計作業のシステム化

このシステムのアウトプットは一連の作業の前提となるものである。鉄筋の拾い出しによって鉄筋量の情報を表として作成し、さらに施工ブロック・部位に分類した表を作成し集計しているのが現状である。いま、拾い出しによってえられる形式をそのまま本システムでも用いるのが、データ化の過程でより合理的であること、そして分類に関する情報すなわち施工ブロック・部位の情報を追加すればよいことなどを考慮している。さて一本の鉄筋について、部位は一意的にきまり施工ブロックは高々2ブロックにしかなかったことから、インプット形式を2つの施工ブロックとそれに対応する設計数量が入るようにしている。アウトプットにおいては施工ブロック・部位・径別の鉄筋量を出力して次の定尺換算へのインプットとして用いられるようにすることとした。これによつて、2回にわたつての表作成に起因しておこりうる転記ミスの削減という波及効果もえられると考えた。

4. 定尺換算作業のシステム化

定尺換算における評価尺度としてとりあげるロス量とは、定尺長の鉄筋(以下定尺鉄筋とよぶ)から設計図に示めされる鉄筋(以下加工鉄筋とよぶ)を切断する際に発生する残余の鉄筋量である。すなわち、これらは直接コストに結びついているのでロス量を少なくすることは重要であり、設計数量が多ければ多い程鉄筋担当者の頭を悩ませることになる。この定尺換算におけるロスを最小とする問題はORにおける典型的な組合せ問題となり、筆者らは最適化手法を用いてロス量の最小化をめざすプログラムを開発している。これは最適解を求めることを目的とするプログラム(定尺換算プログラムⅠ)¹⁾と後述する実際の面の問題の解決を目的とするプログラム(定尺換算プログラムⅡ)で構成している。

(1) プログラムの概要

① 定尺換算プログラムⅠ

定式化に対し各定尺鉄筋長を l_i (m)、各定尺鉄筋価格を C_i (円)、各設計長を a_j (m)、各設計数量を d_j (本)と表わす。また定尺鉄筋長 l_i から設計長 a_j の鉄筋を切断する本数を jP_{ki}^l (本)(k_i は定尺鉄筋長 l_i の k_i 番目の切断パターンを示めす)とすると切断パターン P_{ki}^l は(i)式のように表わされる。さてこの P_{ki}^l を用いる定尺鉄筋長 l_i の本数を x_{ki}^l (本)とすると、定尺換算は設計数量をみたしかつ最小費用を与える定尺鉄筋の本数と切断パターンを求める問題であり、(ii)のようにな

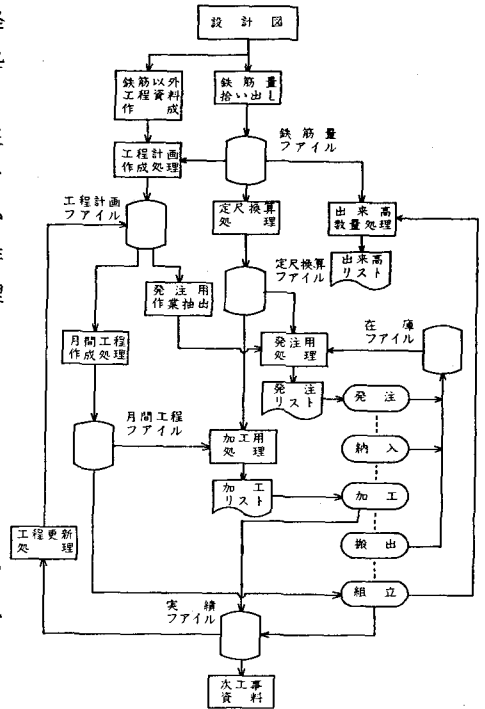


図-1 鉄筋管理システムフロー

$$P_{ki}^l = (iP_{ki}^l, 2P_{ki}^l, \dots, jP_{ki}^l, \dots, nP_{ki}^l)^t \quad (i)$$

t : 転置行列を表わす

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m C_i \left(\sum_{k_i=1}^{K_i} x_{ki}^l \right) \quad (ii)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^m \sum_{k_i=1}^{K_i} P_{ki}^l x_{ki}^l \geq d$$

x_{ki}^l : 非負の整数

$$d = (d_1, d_2, \dots, d_n)^t$$

$$\left[\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \\ k_i = 1, 2, \dots, K_i \end{array} \right]$$

る。さて(Ⅲ)は整数計画問題であるが、切断パターンが非常に多くこのままでは最適解を求めることは困難なため整数制約条件を除去し、LPとして最適解を求めそれを近似解として考える。しかしそれでも一般のLPでは行列の列数は膨大なものとなりやはり実際的な計算が困難である。ここでは任意に一組の実行可能解さええられれば補助的なモデルによつて一段階ごとに、非基底変数の中から解の改善に寄与しえる変数一つずつ選出していくという列生成法を導入した。この補助的なモデルは基底形式に変換した場合の目的関数の係数 $\bar{C}_i$ の最小値をとる変数を選び出すこととなり、(Ⅲ)のように定式化される。この(Ⅲ)は一次元のナツプザツク問題となつており、動的計画法を用いて解くことができる。

さて、この手法を実際面からみると次の3点が問題として残つている

- ④加工鉄筋の種類が多ければ行列が大きくなり処理時間が長くなる
 - ⑤初期実行可能解が最適解からはなれていれば処理時間が長くなる
 - ⑥発注する際に在庫鉄筋の残余があれば、それを優先的に利用することが品質管理上からも重要であるが、対処することが難しい
- これらの問題に対し次のようなプログラムによつて解消をはかる。

$$\left. \begin{aligned} &\text{Minimize } (\bar{C}_i = C_i - C_B B^{-1} P_{k_i}) \\ &= \text{Maximize } (C_B B^{-1} P_{k_i}) \\ &\text{Subject to } \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot j P_{k_i} \leq \ell_i \\ &\quad j P_{k_i}^L: \text{非負の整数} \\ &\quad \left[\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \\ k = 1, 2, \dots, K_i \end{array} \right] \end{aligned} \right\} \text{(Ⅲ)}$$

② 定尺換算プログラムⅡ

定尺換算計算において初期の実行可能解としてまず考えられるのは、長さの同じ加工鉄筋を定尺鉄筋から複数本とるような切断パターンである。もし長さの異なる加工鉄筋を組合せることによつてロスが小さくなるのならばその切断パターンを実行可能解とすればよい。さて長さの異なる加工鉄筋を組合せる場合には2種類だけ組合せるという方法が標準的であることから、ここでは組合せ種類の制限を2種類としている。

以下にこのプログラムの手順をしめすこととする。

- (a)加工鉄筋の長さが定尺長であれば、最適解の一部と考えて定尺換算の対象からは除外しておく。さらにそれが在庫鉄筋の定尺長に該当するときは発注対象から除外しておく。
- (b)組合せ取りおよび複数本取りして、在庫鉄筋の定尺長に近いものから在庫鉄筋を順次割当てて、定尺換算および発注対象から除外しておく。
- (c)加工鉄筋の組合せにおいて組合せの効果は各々の加工鉄筋をそれぞれ定尺鉄筋から複数本取りした場合のロスを組合すことによつて少なくしていけることである。このロスの減少が最大となるような組合せを順次とりだして実行可能解の基底とする。
- (d)組合せの効果がない加工鉄筋については、複数本取りして求めた最小のロスのパターンを基底とする。

(2) インプット情報

ここでのインプット情報とは、3で作成した鉄筋の情報と現場における鉄筋利用という側面から設定する項目および在庫鉄筋に関係する項目である。すなわち

- ①現場における利用という側面から設定する項目…定尺長の最大および最小、定尺長のピッチ、複数本取りの場合の最大許容本数、組合せ取りの場合の最大許容組合せ種類数

- ②在庫鉄筋に関係する項目…在庫鉄筋の定尺長とその本数

(3) アウトプット情報

利用という側面から加工用リストと発注用リストをアウトプット情報として提供する。

- ①加工用リスト：鉄筋符号、設計長、設計数量、それに対応する定尺長、数量を表示し、組合せ取りの場合にはまとめて組合せ取りであることを示めす。さらに設計重量、定尺換算重量、ロス重量、ロス率（ロス重量／設計重量）などを表示する。（図-2）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																				

[4] 本プログラムの適用例

5. 発注計画の作成作業のシステム化

(1) プログラムの概要

ア カ	チ シ	ハチノウヨウ (T)	カ シ	ハチノウヨウ (T)	ハチノウヨウ (T)	ア カ	チ シ	ハチノウヨウ (T)	ア カ	チ シ	ハチノウヨウ (T)
9	16	226.8									2613.0
10	15	285.6		226.8				226.8			2327.4
11	4				-114.2			112.9			
11	15	211.1		285.6	-112.9			285.6			2116.3
11	30				-115.4			170.2			
					-103.1						
12	15	261.8		211.1				278.2			1854.5
12	18				-67.1			211.1			
1	9				-140.9			70.2			
1	16	197.0		261.8				332.0			1657.5
1	17				-70.2			261.8			
1	23				-117.6			144.2			
								113.3			
2	11				-30.9			73.3			
					-39.7						

図-3 在庫状態リスト

(C)在庫量を納入量および搬出量から算出する。

(2) インプット情報

[illegible]

図-4 在庫管理用リスト

(3) アウトプット情報

上述した利用という側面から代替案の評価用の在庫状態リストと在庫管理用リストをアウトプットする。

(a)在庫状態リスト：発注日および在庫量の変化する日毎に発注量、在庫量、残発注量を表示する。(図-3)

(b)在庫管理用リスト：在庫量の内訳すなわち径・長さ別本数、重量を表示する。(図-4)

6. おわりに

本論では計画作成と管理への情報に対してシステム化をはかり、適用例を通して有効であることがわかった。今後さらに現場における運用面を考慮し、より充実したシステムにしていくつもりである。

参考文献 1) 吉川, 魯名, 梶谷, “大型のRC構造物工事における鉄筋の購入・加工計画問題へのシステム・アプローチ” 土木学会第33回学術講演会論議概集 第四部門, 1978