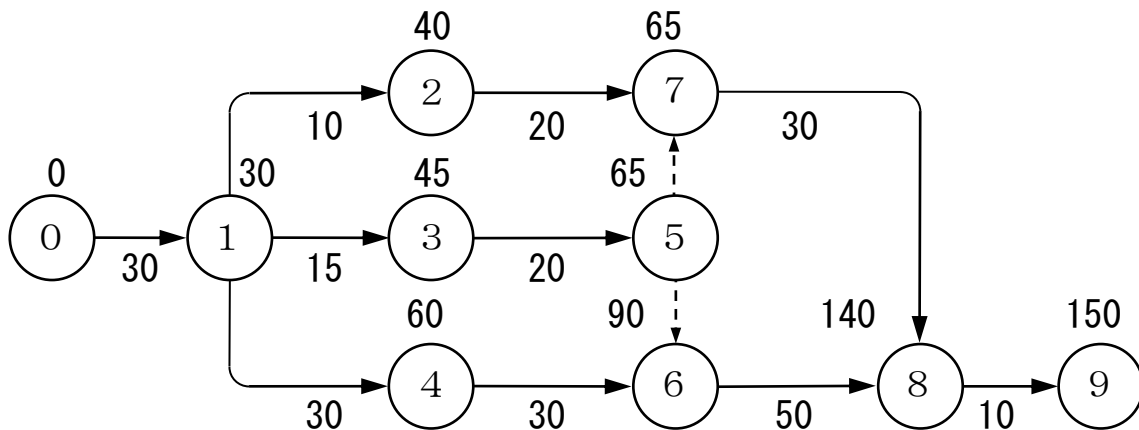


付録 1. 工程管理（ネットワーク方式）

1. 結合点時刻（イベントタイム）

（1） 最早結合点時刻

任意のイベントから出ていく矢線は、そのイベントに入ってくるアクティビティが全部完了したときでないと開始できない。イベントから矢線の開始可能な時刻を図－1によって計算すると次のようになる。



図－1

イベント

最早結合点時刻

①	0	.....	0
②	0 + 30 = 30	.....	30
③	30 + 10 = 40	.....	40
④	30 + 15 = 45	.....	45
⑤	30 + 30 = 60	.....	60
⑥	30 + 15 + 20 = 65	.....	65
⑦	30 + 15 + 20 = 65	.....	65
⑧	30 + 30 + 30 = 90	.....	90
⑨	30 + 10 + 20 = 60	.....	60
⑩	30 + 15 + 20 = 65	.....	65
⑪	90 + 50 = 140	.....	140
⑫	65 + 30 = 95	.....	95
⑬	140 + 10 = 150	.....	150

この計算は、矢線の尾(*i*)の属するイベントの最早結合点時刻にそのアクティビティの所要時間を加えて、矢線の頭(*j*)に属するイベントの最早結合点時刻とすればよいが、

イベント⑥や⑦のように2本きいているイベントについては、それらの最大値をとればよい。最早結合点時刻はネットワークの開始時点から考えて、そのイベントを始点とするアクティビティのどれかがもっとも早く開始できる時点を表すものをいう。また、各イベントに入ってくるアクティビティ群の時間の最大値をとることは、時間的にいちばん長い経路をきめることである。

(2) 最遅結合点時刻

前述の最早結合点時刻とは逆で、矢線の頭(j)の属する最遅結合点時刻からそのアクティビティの所要時間を引いて、矢線の尾(i)の属するイベントの最遅結合点時刻とすればよいが、イベント⑤のように複数の時は、その最小値をとるものである。

ネットワークの終了の時間から考えて、そのイベントを終了するアクティビティのすべてがもっともおそく完了してよい時点を表しているものであり、それまでに完了すれば、それから後のアクティビティが順調に進むことを前提として、終了の時点の間に合うぎりぎりの時点を表わしているものである。(図-2 □内数字)

これらの(結合点時刻)は、工程管理上重要な意味をもつものである。

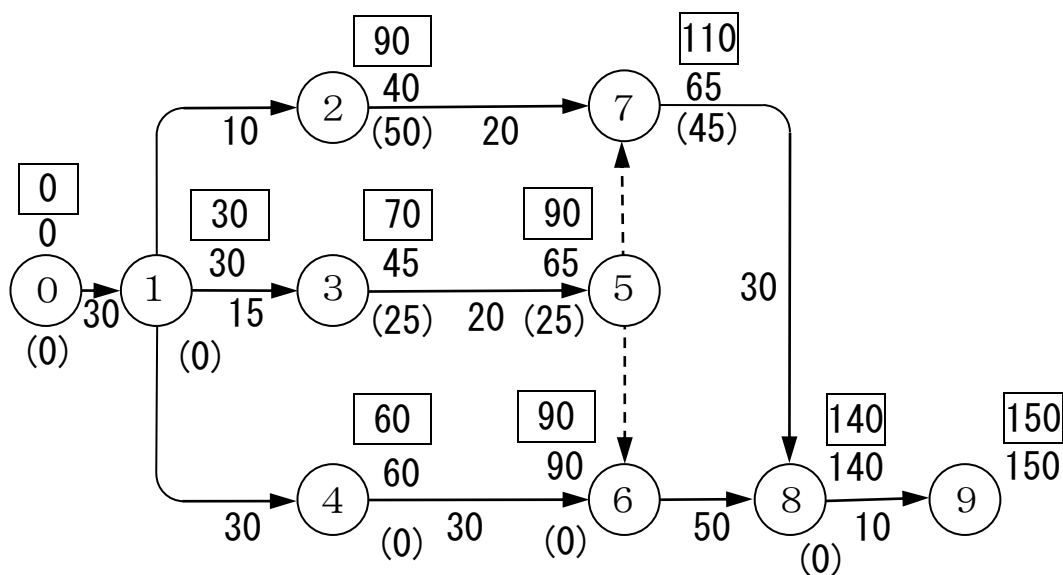


図-2

イベント

最遅結合点時刻

⑨	150	.....	150
⑧	$150 - 10 = 140$	.....	140
⑦	$140 - 30 = 110$	.....	110
⑥	$140 - 50 = 90$	.....	90
⑤	110、90	.....	90
④	$90 - 30 = 60$	.....	60
③	$90 - 20 = 70$	.....	70
②	$110 - 20 = 90$	.....	90

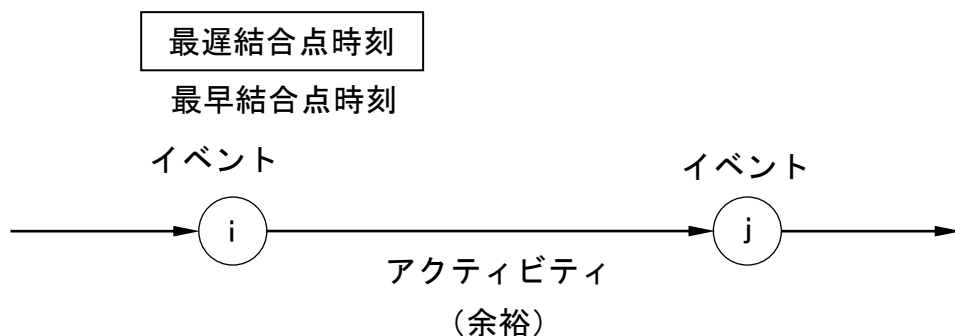
	$90 - 10 = 80$	}	.....	30
①	$70 - 15 = 35$			
	$60 - 30 = 30$			
②	$30 - 30 = 0$		.....	0

(3) 余 裕

最早結合点時刻と最遅結合点時刻が等しいものと異なったものがあることが
図－１～２の計算結果からわかる。

同一イベントから開始すべき時刻と完了すべき時刻に差のあるものは余裕があり、差のないものは余裕がないわけである。最遅結合点時刻と最早結合点時刻の差を余裕（スラック）という。図－２の（ ）内の数字が余裕である。この余裕のないイベントをクリティカルイベント（Critical event）と呼び、後述するクリティカルパス（Critical path）は必ずそこを通る。

〔まとめ〕 結合点時刻について、まとめると、



2. 作業時刻

結合点時刻では各イベントに到達する時刻は求められるが、各作業ごとの最早開始時刻、最早完了時刻、最遅開始時刻、最遅完了時刻を知ることはできない。これらの作業時刻について説明する。

(1) 最早開始時刻（E. S. T.）と最早完了時刻（E. F. T.）

アクティビティの最早開始時刻は、そのアクティビティ（ i, j ）＝ T_{ij} がもっとも早く開始できる時刻でもあるので、イベント（ i ）が属する最早開始時刻であることはいうまでもないが、最早完了時刻は、もっとも早く作業を始めた場合、その作業の完了時刻をいうものである。

アクティビティ（ i, j ）の最早開始時刻＝ t_i^E

アクティビティ（ i, j ）の最早完了時刻＝ $t_i^E + T_{ij} = t_j^E$

(2) 最遅開始時刻 (L. S. T.) と最遅完了時刻 (L. F. T.)

アクティビティを完了させるぎりぎりの限界をいっているものであり、仕事を遅くとも始めなければならない最後の時点をも最遅開始時刻といっているものであるから、

アクティビティ (i, j) の最遅開始時刻 $= t_j^L - T_{ij} = t_i^L$

アクティビティ (i, j) の最遅完了時刻 $= t_j^L$

最早開始時刻 $= t_i^E$

最早完了時刻 $= t_i^E + T_{ij}$

最遅開始時刻 $= t_j^L - T_{ij} = t_i^L$

最遅完了時刻 $= t_j^L$

T_{ij} = アクティビティ (i, j) の所要時間

以上のことを図-3で説明する。

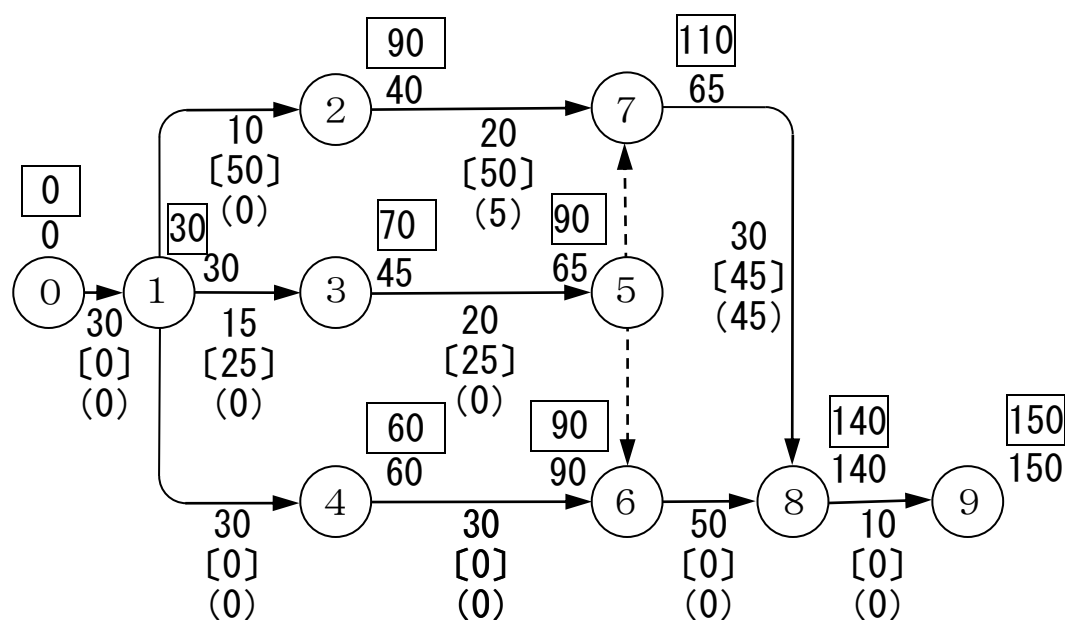
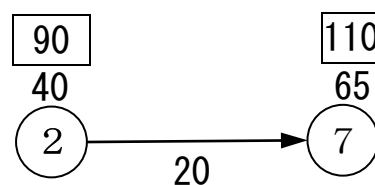


図-3

②→⑦を例にとると



最早開始時刻 $t_2^E = 40$

最早完了時刻 $t_7^E = 40 + 20 = 60$

最遅開始時刻 $t_2^L = 110 - 20 = 90$

最遅完了時刻 $t_7^L = 110$

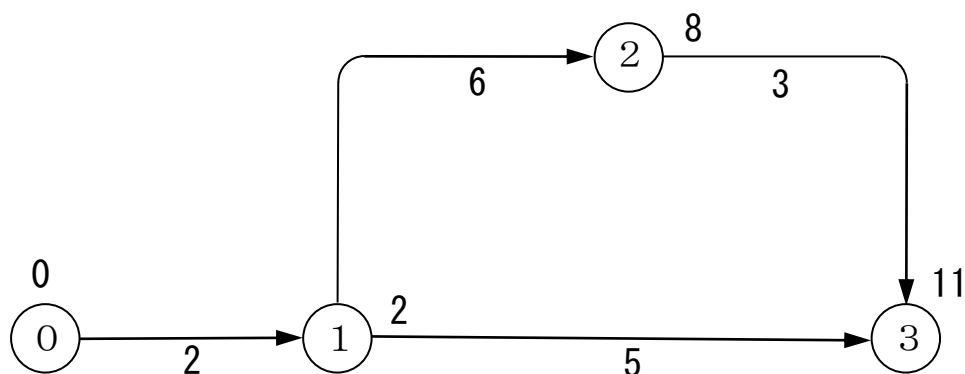
(イベント⑤のダミーによって影響され 65 になる。)

となる。

3. 余裕時間（フロート）

ネットワーク中のアクティビティの中には最早完了時刻と最遅完了時刻が等しいもの、異なるものがある。等しいものは余裕がないが、それらが異なるものは最早開始時刻で始めた場合、最早完了時刻と最遅完了時刻の差だけ遅れても全体工期に影響を及ぼさない。すなわち、**アクティビティの最遅完了時刻と最早開始時刻にそのアクティビティの所要時間を加えたものの差だけそのアクティビティは余裕時間（フロート）をもっている**。これを図で説明すると、図－4において工期完成に要する時間は11日であることがわかるが、その経路として①②→①→③、②②→①→②→③の2つが考えられる。その2つの経路を比較した場合、所要日数11日を決定している経路②に対して、①の経路は7日間で完了するので11日の経路に対して余裕があるという。

余裕時間の種類として、全余裕（トータルフロート）、自由余裕（フリーフロート）、干渉余裕（インターフェアリングフロート）、独立余裕（インディペンデントフロート）の4種があるが、このうち多く使われるものに、トータルフロート、フリーフロートがある。



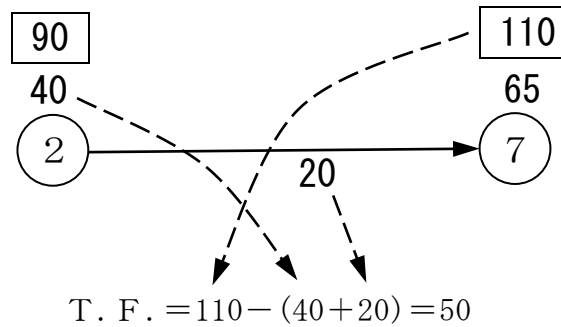
図－4

(1) トータルフロート（T. F. 全余裕時間）

任意のアクティビティ（ i, j ）をとって考えると、先行するアクティビティが一般に最早開始時刻で開始され、かつ予定どおり進んだ場合には、このアクティビティは最早開始時刻 t_i^E で開始できることがわかる。また、このアクティビティは最遅完了時刻 t_j^L までに完了しなければ、所定の工期にプロジェクトの完成にもっていけないこともわかっているから、 $[t_j^L - t_i^E]$ だけの時間がアクティビティ（ i, j ）で使用可能になる。したがって、アクティビティの所要時間 T_{ij} と $[t_j^L - t_i^E]$ との差は、そのアクティビティに関する一種の余裕時間を示すことになり、これを全余裕時間（トータルフロート）T. F. とよんでいる。（図－3において〔 〕内数字がT. F.）

$$T. F. = (t_j^L - t_i^E) - T_{ij} = t_j^L - (t_i^E + T_{ij})$$

図－３から計算例をとると、



トータルフロートの性質

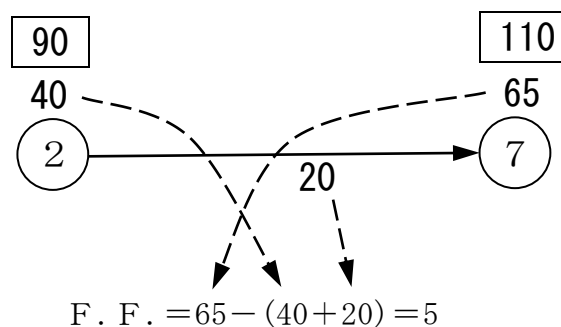
- ① $T.F. = 0$ のアクティビティをクリティカル・アクティビティという。
- ② $T.F. = 0$ ならば、他のフロートも 0 である。
- ③ $T.F.$ はそのアクティビティのみでなく前後のアクティビティに関係があり、一つの経路上では共有される。

(2) フリーフロート (F.F. 自由余裕時間)

トータルフロートのある先行アクティビティがトータルフロートの一部、もしくは全部を使うと、後続するアクティビティは一般に最早開始時刻で始めることができなくなる。そこで後続するアクティビティの最早開始時刻に影響を及ぼさない範囲内で、アクティビティ (i, j) が使うことができるフロートを自由余裕時間 (フリーフロート = $F.F.$) という。(図－３において、() 内数字が $F.F.$)

$$F.F. = (t_j^E - t_i^E) - T_{ij} = t_j^E - (t_i^E + T_{ij})$$

図－３から計算例をとると、



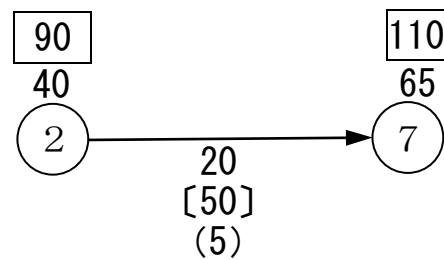
フリーフロートの性質

- ① F. F. は必ず T. F. より等しいか小さい。
 $F. F. \leq T. F.$
- ② クリティカルイベントを終点とするアクティビティの F. F. は T. F. に等しい。
- ③ フリーフロートはトータルフロートの異なる矢線が一つのイベントに入ってきた場合にあらわれ、トータルフロートの差がフリーフロートとなる。
- ④ フリーフロートはこれを使用しても、後続するアクティビティには何らの影響を及ぼすものではなく、後続するアクティビティは、最早開始時刻で開始することができる。

(3) インタフェアリングフロート (I. F. 干渉余裕時間)

前述のように、フリーフロートは後続するアクティビティの最早開始時刻に影響を与えないものであるが、これに対して全体の工期には影響を与えないが、後続のアクティビティの最早開始時刻に影響を与えるフロートをインタフェアリングフロートとよんでいる。これを図で説明する。

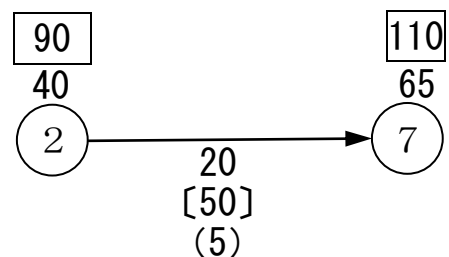
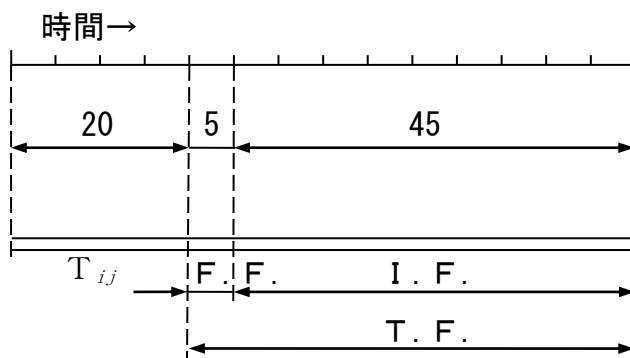
この場合、5日間所要日数が延びても、後続のアクティビティの最早開始は $40 + 25 = 65$ で影響はないが、5日以上50日以内にフロートを使用した場合、最早開始時刻に影響を与えるものである。以上のことを式で表すと、



$$\begin{aligned}
 I. F. &= t_j^L - t_j^E \\
 &= [t_j^L - (t_i^E + T_{ij})] - [t_j^E - (t_i^E + T_{ij})] \\
 &= T. F. - F. F.
 \end{aligned}$$

これらフロート関係を図解すると、次のようになる。すなわち I. F.、F. F. が T. F. と別途にあるわけではなく、T. F. の一部であることは前述の説明からも理解できる。

図-2で説明すると、



$$T.F. = 110 - (40 + 20) = 50 \quad F.F. = 65 - (40 + 20) = 5$$

∴ $L.F. = 50 - 5 = 45$ となる。

このことはフロート消化が5日までは後続するアクティビティの最早開始には影響をあたえないが、 $5 < F \leq 50$ の状態となると後続アクティビティ⑦→⑧の最早開始をおくらすことになる。しかし完成工期は、150 は守れるという状態となることを意味している。

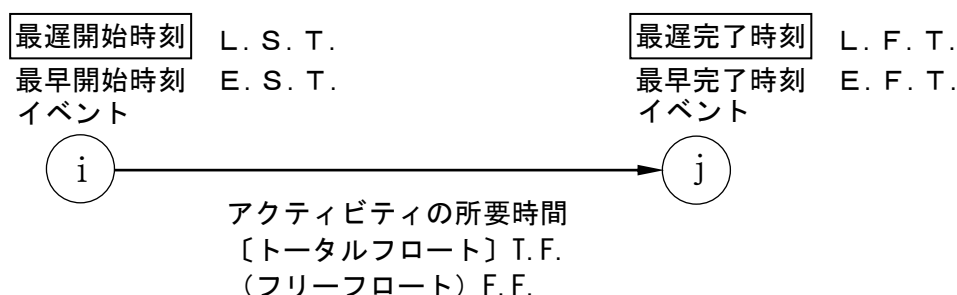
以上フロート関係を説明したが、いいかえると、I.F. は使わずにとっておけば、後続する他の工程でその分を使用できるフロートで、F.F. はその作業についてだけしか使えないフロートで、ため込みのきかないものである。

余裕時間（フロート）をまとめると、次のとおりである。

余裕時間

トータルフロート	$T.F. = t_j^L - (t_i^E + T_{ij})$
フリーフロート	$F.F. = t_j^E - (t_i^E + T_{ij})$
インターフェアリングフロート	$I.F. = t_j^L - t_j^E = T.F. - F.F.$

〔まとめ〕 作業時刻と余裕時間をまとめると、



図上計算による計算例

作図されたネットワークの図上での計算する方法の例を示す。計算の方法として、次の5つの順序をたどっていく。

- イ. E. F. T. (E. S. T.) を前進計算により求める。この場合、「合流点」に特に気をつける。「合流点」では最大値を採用する。
- ロ. L. S. T. (L. F. T.) を後進計算により求める。この場合「分岐点」に特に気をつける。「分岐点」では最小値を採用する。
- ハ. T. F. を計算する。
- ニ. F. F. を計算する。
- ホ. クリティカルパス ($T.F. = 0$) を太線で描き強調しておく。

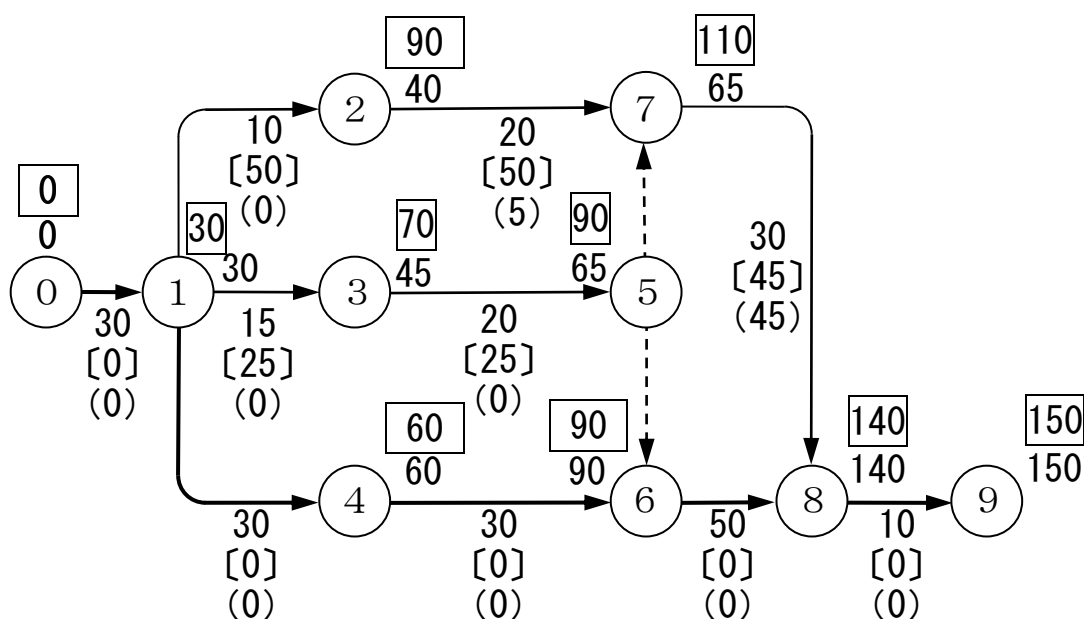
4. クリティカルパス（最重点管理経路又は最長経路）

C. P.

いままでのような手順からネットワークが作成され、各アクティビティのフロートが計算され、その結果、トータルフロート0のアクティビティが発見される。これは一連の経路を形成するものである。この経路をクリティカルパスとよんでいる。（図－5の太線）この経路は工程管理上非常に重要なことで、この経路の発見がネットワークのもつ一大メリットといっても過言ではない。すなわち重点管理の考え方である。

クリティカルパスの性質

- 1) クリティカルパス上のアクティビティのフロート（T. F.、F. F.、I. F.）は0である。
- 2) クリティカルパスは開始点から終了点までのすべての経路の中でもっとも時間が長い経路である。いいかえると、この経路によって工程は支配されている。
- 3) 工程短縮の手段は、この経路に着目しなければならない。
- 4) クリティカルパスは、必ずしも1本ではない。
- 5) クリティカルパス以外のアクティビティでも、フロートが消化してしまうとクリティカルパスになってしまう。
- 6) クリティカルパスでなくともフロートの非常に小さいものは、クリティカルパスとして重点管理する必要がある。

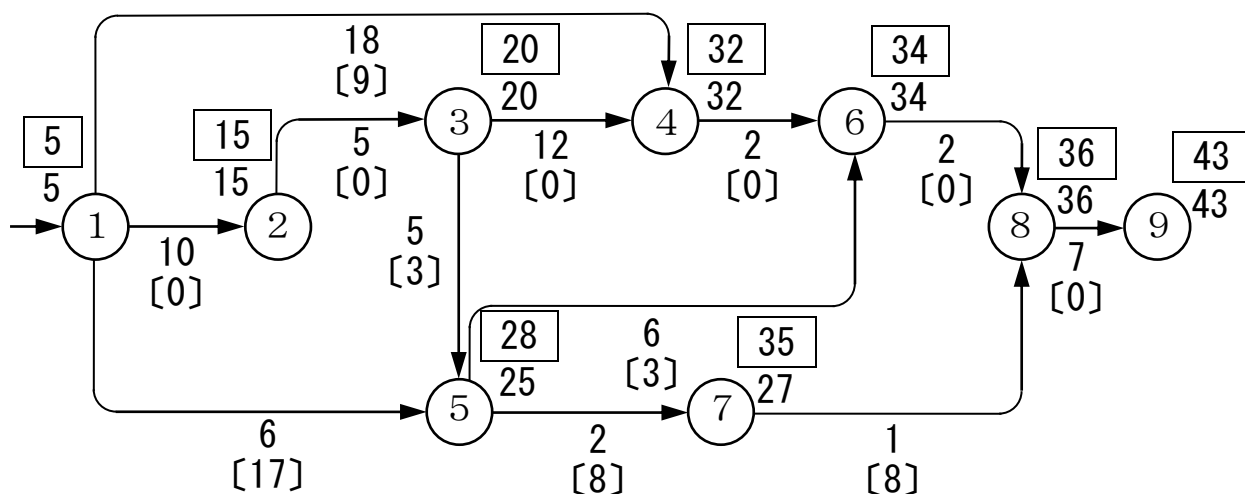


図－5

5. 日程短縮

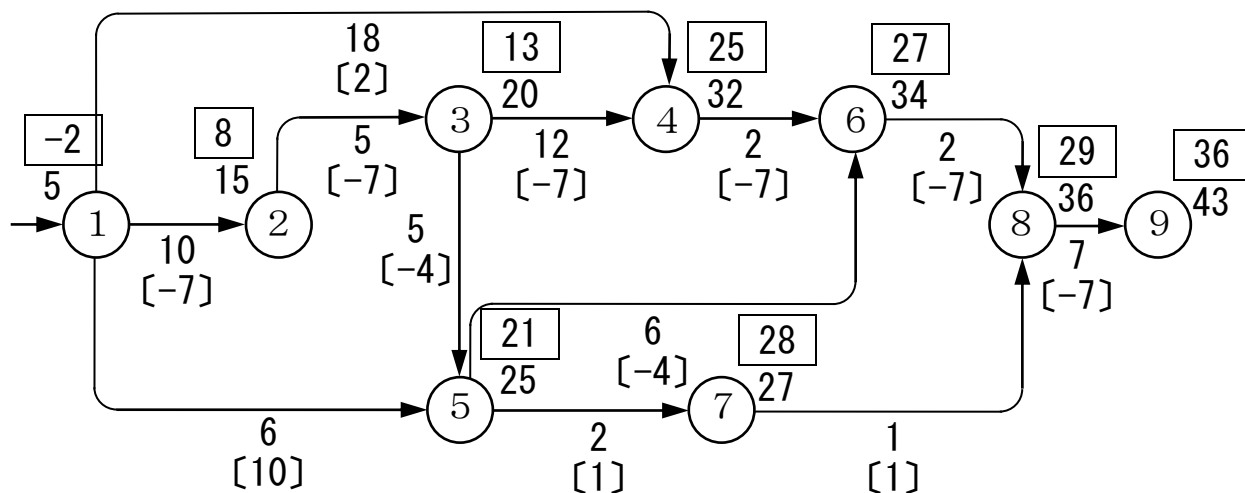
基本ルールに従って完成されたネットワークに時間見積りをして、フロート、クリ

ティカルパスが計算されるわけであるが、これまでの段階は通常完成工期を意識せず、その組織の最適な方法を選び計画されたものであるから、当然、完成工期を越えてしまう場合がある。この場合、いずれかのアクティビティに短縮の手段を講じて工期を守るよう修正する必要がある。これは実務的に非常に重要なことであり、この状態に合理的に対策を講じられるところがネットワークの特徴といえる。つぎに、図をおってその手法の説明をする。



図－ 6

図－ 6 において、最終イベントに 43 日で到着できることが判明したわけであるが、もしここで工期（契約工期など）が 43 日で丁度間に合う状態とすれば、最遅完了時刻（□内数字）は 43 日でセットされ、フロート、クリティカルパスが計算されるわけである。しかし、もしここで工期が 36 日として工事を契約しているとすれば、工期オーバーの状態となり、結局 7 日間短縮せざるを得なくなる。この場合、□内にその制約日数を入れてトータルフロートの計算をすると、図－ 7 のようにマイナスの経路が発生する。



図－ 7

これはエンドイベントで、 $36 - 43 = -7$ だけずれを生じたからにはほかならない。

しかし、フロートにマイナスを生じたままでネットワークが完成したとはいえないので、何らかの手段を講じてアクティビティの所要日数を短縮する必要がある。そこで、短縮するさいの最初的手段として、マイナスの経路の発生しているアクティビティを取り出して考えてみる。(図-8)

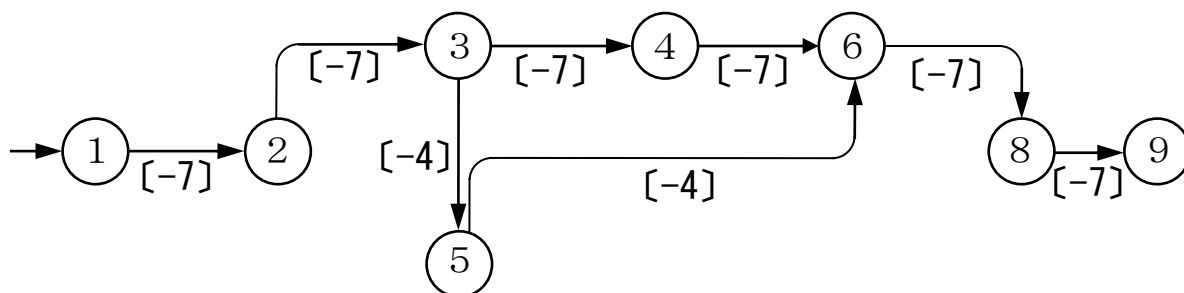


図-8

この場合、 -7 のトータルフロートは①→②→③→④→⑥→⑧→⑨の経路に発生しており、また -4 のフロートは③→⑤→⑥に発生している。

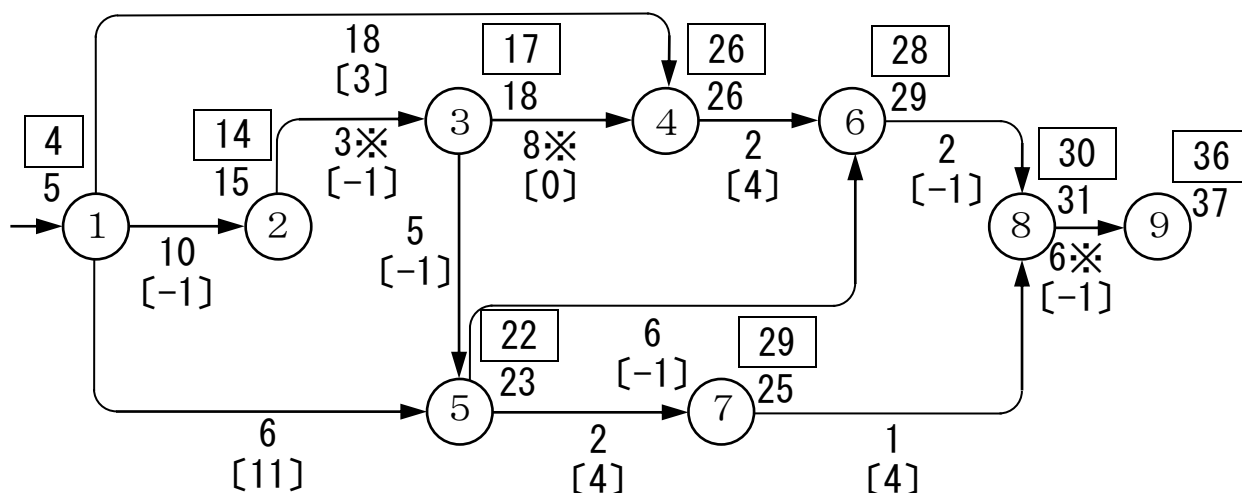


図-9

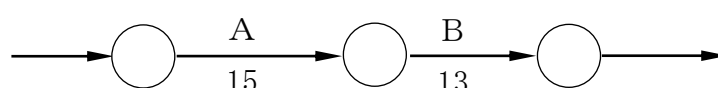
この負を消去するのに、いまアクティビティ②→③で2日、③→④で4日、⑧→⑨で1日短縮すると図-9のようになり、依然としてマイナスの消去が終っていない。これはどのような意味であるかといえ、 -7 の経路に対しては短縮の手段が講じられたものであるが、③→⑤→⑥のような -4 の経路に対して考慮が払われていないこ

とになっているものである。すなわち、負の経路の消去は、共通部分（たとえば①→②→③、⑥→⑧→⑨）をまずその対象アクティビティとすれば、この経路の短縮は－4、－7の2つの経路に影響を及ぼすので合理的な手段であるといえる。つまり、①→②→③、⑥→⑧→⑨でおのおの2日間ずつ短縮すれば－4になり、残りの－7のうち－3は③→④→⑥で短縮するのが効果的であるともいえる。

つぎに、いままではその短縮するアクティビティを単純に考えてきたが、当然負の経路上でも、経済性を考慮に入れたもの、資機材の搬入の難易、対外的折衝上とか、いろいろの性質をもっているので一概にいけないが、ここでは経済面を考慮に入れたC. P. M. 手法で短縮の考え方について述べたい。

〔日程短縮例〕

図－10において、A、Bとも3日間短縮可能なアクティビティ（クラッシュポイント）である場合、4日間短縮したいとき1日短



図－10

縮するのに必要な費用は、Aは60,000円、Bは40,000円とすればつぎのような表になり、これらのうち最も安い方法をとるのが効果的であろう。

表－1

アクティビティ	短縮可能日数(crash)	1日短縮に要する費用	組 合 せ		
A	3日	60,000円/日	1日	2日	3日
B	3日	40,000円/日	3日	2日	1日
4日短縮するのに要する費用			◎180,000円	200,000円	220,000円

表－1の結果は、Aを1日、Bを3日短縮する場合が最も費用が経済的となる。

6. フォローアップ

ネットワークの作成について、初めに矢線図を描き、時間見積りをしクリティカルパス、フロートを計算し、オリジナルプランが描かれ、つぎに、もし契約工期など諸制限の範囲をオーバーしている場合は、短縮して管理に移れる最終的なプランが完成するわけであるが、現在のわれわれの現場などを含めたあらゆる業務において、計画どおり寸分くるわず進行、完成することは考えられず、またこのような状態であってこそ弾力性のある管理手段が要求されるのである。

管理は計画の実行とその修正であるから、計画のあらゆる仮定条件の変化を大局的見地からコントロールし、最終的目的について弾力的・合理的に管理することになるのである。ネットワークは手法的にもこの要求に対して十分こたえられるものであり、重点管理の必要性に数値的に導いてくれるものである。それがフォローアップである。

(1) 目 的

完成したネットワークは工事推進に伴い、いろいろ変化するものであり、管理の重点性も変わり、全体工事の総合最適化を考慮に入れた弾力的管理を目的とする。

(2) 内 容

- 1) 計画との調整
- 2) アクティビティ、ダミー、デュレーションの変動、新アクティビティ発生、整理などによる現状把握とその対策。
- 3) クリティカルパス、フロートの変化による弾力的管理運営。
- 4) 工事進捗の把握。
- 5) プロジェクト完成への影響性。
- 6) 打つべき手段の有効性についての判断資料。
- 7) 当初計画の見積値の修正。
- 8) 設計変更への対処。

(3) 手法説明

図-11 のようにクリティカルパス、フロートが計算され、工期 23 日で完成されることでセットされた当初計画で現場が始まり、管理の段階になってきた場合、そのプランを 10 日目でフォローアップしてみたら、つぎのように変化した。(図-11 の×印)

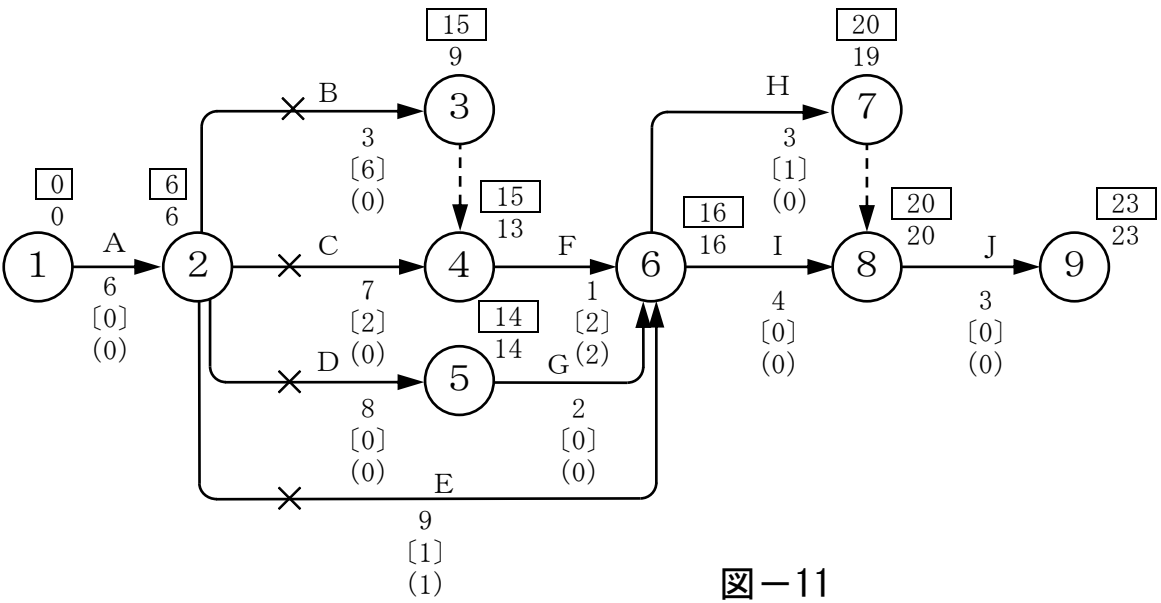


図-11

表-2

アクティビティ	当初見積日数	残所要日数
B	3	2
C	7	6
D	8	7
E	9	3
I	4	2

そこでこの条件の変化を考慮に入れて、新しいネットワークを作成してみる。(ただし、ここで新しいイベントをわかりやすくするために、a、b、c…を使用してみる。)

図-12でわかるように工期が25日必要となり、23日に対して2日オーバーしている状態になる。すなわち、-2のT.F.が発生していることがわかる。そこでこの負のT.F.を消去するために、④～5のアクティビティDを7日必要なものを5日間に短縮するようにすれば、ネットワークは図-13のようになり、当初プランに対してももちろんフロートも変り、クリティカルパスは移動し、また新たなものも発生するが、契約工期23日で完成可能の状態になる。

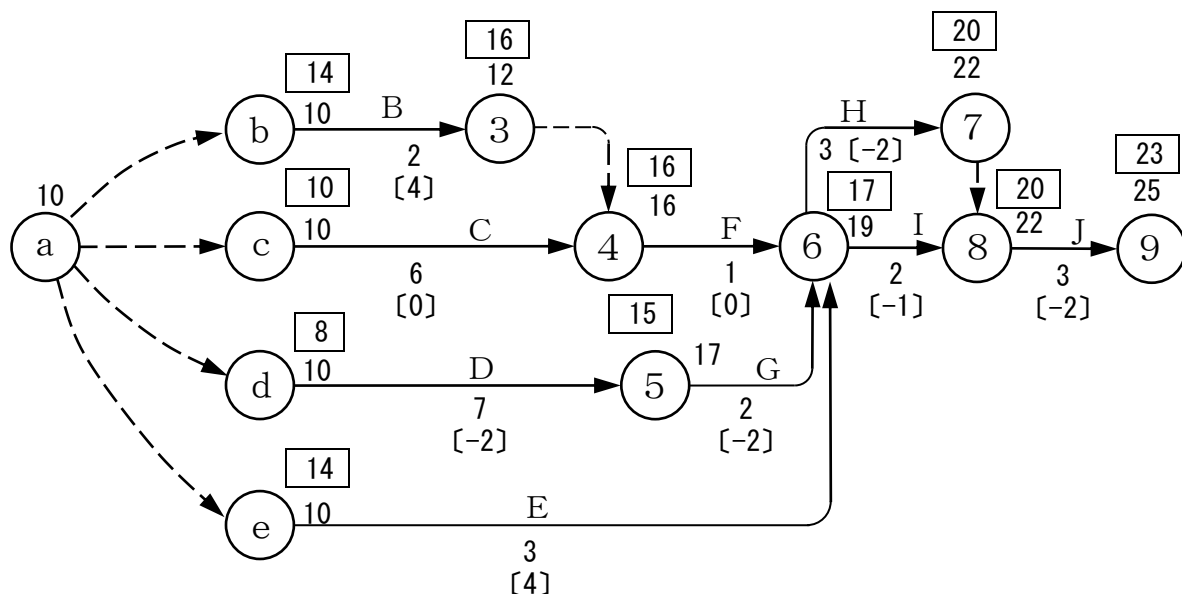
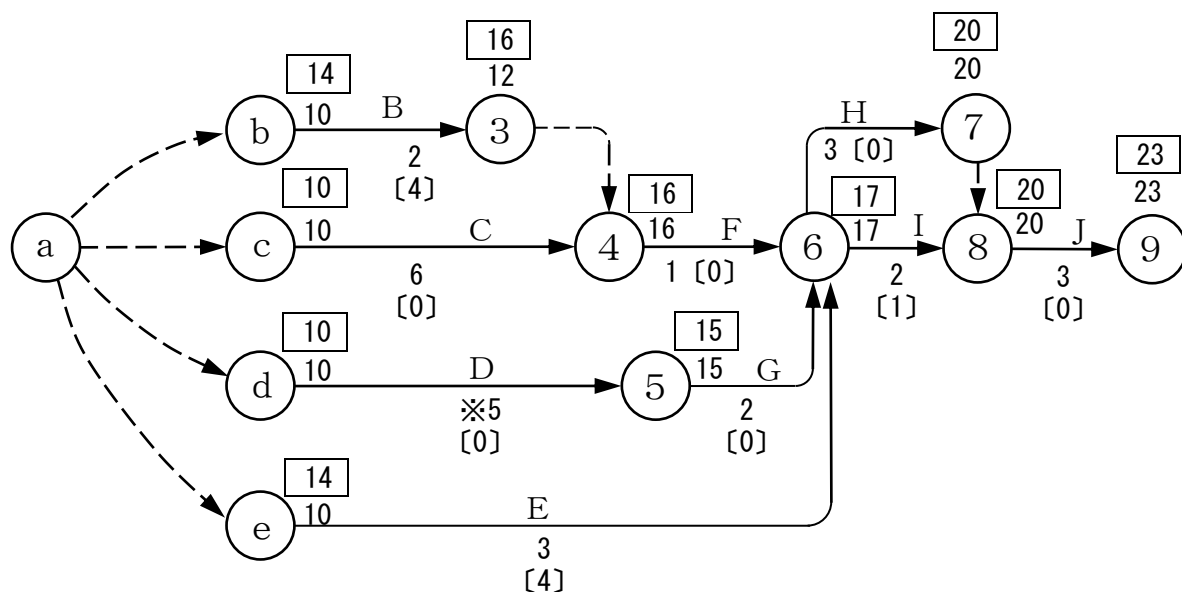


図-12



(※印が短縮分 7日→5日)

図-13

7. 配員計画

いままでのネットワーク手法は、初期に設定した矢線図と作業の所要日数が工期に適切かどうかなどを検討した。しかし実際の工事施工に当っては時間のほかに諸資源、すなわち人、物、金などの利用が必要である。したがってこの資源についての計画の合理性を検討する必要がでてくる。ネットワークはこの要素の合理的な配分にも十分に応えられるものであるといえる。

いうまでもなく建設工事では建設機械、労務者、資材についての利用計画のじょうずへたが、そのコストに敏感にひびいてくる。配員計画では、日程計画の実行可能性を検討するとともに、工事のコストダウンが図れるように、資源の最も合理的な使用計画を作成するとよい。

実際のやりかたとしては、作業を進めるために必要な人、物などの資源を各作業について考え、日々の累計を算出するもので、この場合、大きなピークを生じたときには（例えば、労務者が、ある日に特に多人数必要となるような）、ネットワーク上のフロートを使用して、人員・機械・資材の量を平均化してやるものである。

しかしながら、これがクラッシュ（ある最小限度以上は少なくできないようなことの意）した場合は、全体工期に重大な影響を及ぼす場合もあることになる。しかしこのような考え方を機械、仮設資材などに応用すれば、それらの有効利用に役立ち、在庫数量をつかんだり、機械の運用、稼働率の向上にも効果をあらわすものである。

など、いままでのネットワーク手法の説明においては、時間を中心にしたので手計算でも十分補えるものであったが、配員計画管理は、実際面においては比較的単純な工事のほかは、より効果の期待を高める必要のあるような複合のプロジェクト（仕事）においては、電子計算機の力を借りてやるのが本質といえる。

（1）山積みの方法

山積み計算は配員計画の基礎となるもので、日程計算できめられた作業日程どおりに工事を進めていくものと仮定した場合の計算である。

山積みのだしかたには、最早時刻の場合と、最遅時刻の場合の2つのケースについて行うことができる。その手順は次のとおりである。

山積みの手順

- 1) 完成されたネットワークのアクティビティに、各種職別の所要人員、機械、資材の量を1日当りで記入する。すなわち日程計算を行い、何月何日にどういう職種の人員が何人必要なのかを表わす。
- 2) 日程計算の結果を最早時刻（または最遅時刻）に合わせて、暦日目盛（タイムスケール）で表示する。
- 3) 各作業の開始、終了の時点に縦線を入れる。
- 4) 縦線間の作業で使用する資源について集計する。
- 5) 山積み図を描く。

この手順に従って、図-14 のネットワークを例にして、山積み表を作成してみる。

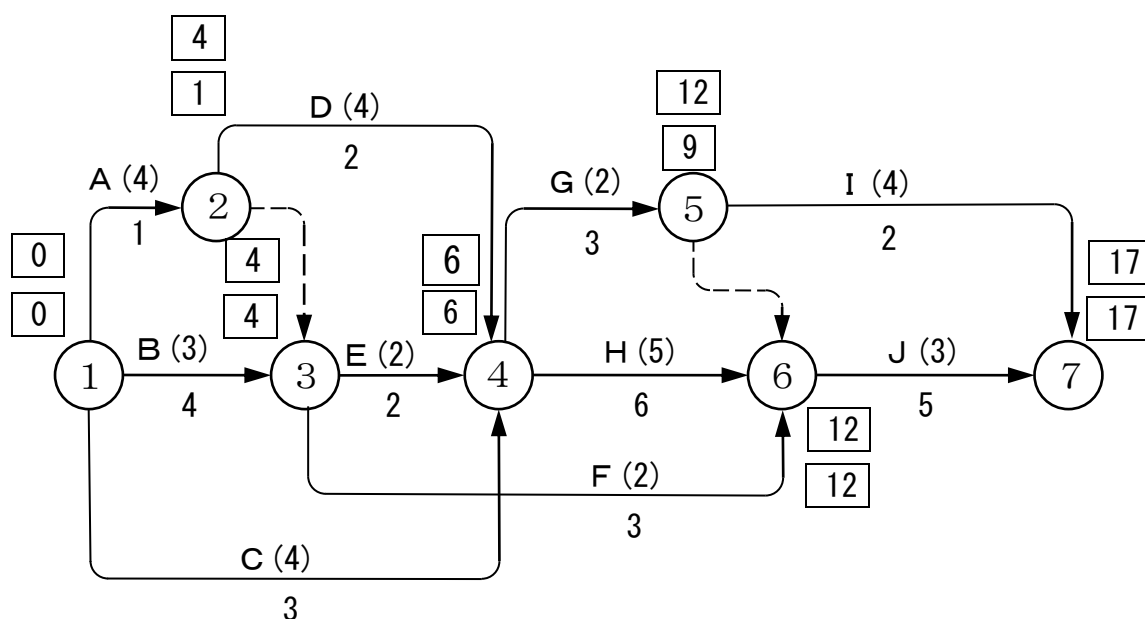


図-14

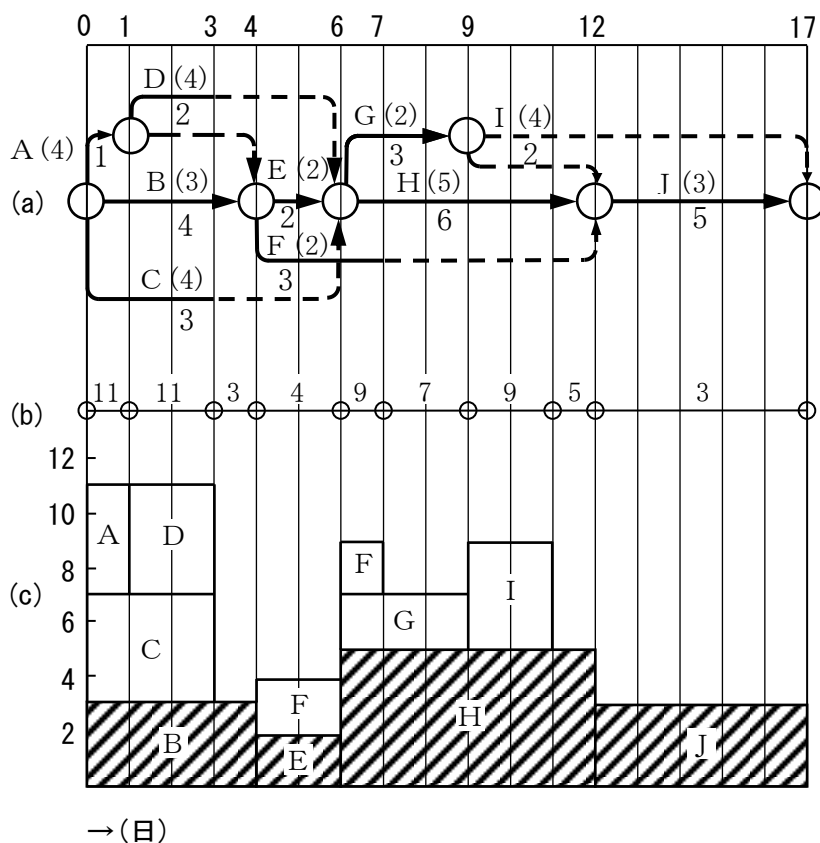
ここでは簡単に表わすために労務者数のみについて考えることにする。すなわちパートマン（PERT/MAN）スケジューリングといわれるものである。

図-14 の矢線上における（ ）内が、その作業に必要な1日当たりの労務者数を示すものである。

これを日程計算し最早時刻で暦日目盛(タイムスケール)表示したものが図-15(a)で表される。そして縦線間の人員数を集計したのが(b)でその山積み図が(c)である。たとえばB作業は4日間で3人、D作業は2日間で4人を描いたので、作業が重なっているときは、そのまま積み重ねる。

同じように最遅時刻の場合が図-16である。

この両方の山積み図は、日程計算によって作業日程が求められても、労務者の使用人員数が日によって多い少ないがあり凹凸しており、バランスがとれていないから不経済な工程であることを示している。



(注)
斜線部はクリティカルパス上の作業の山積み

図-15 最早時刻で作業をした場合

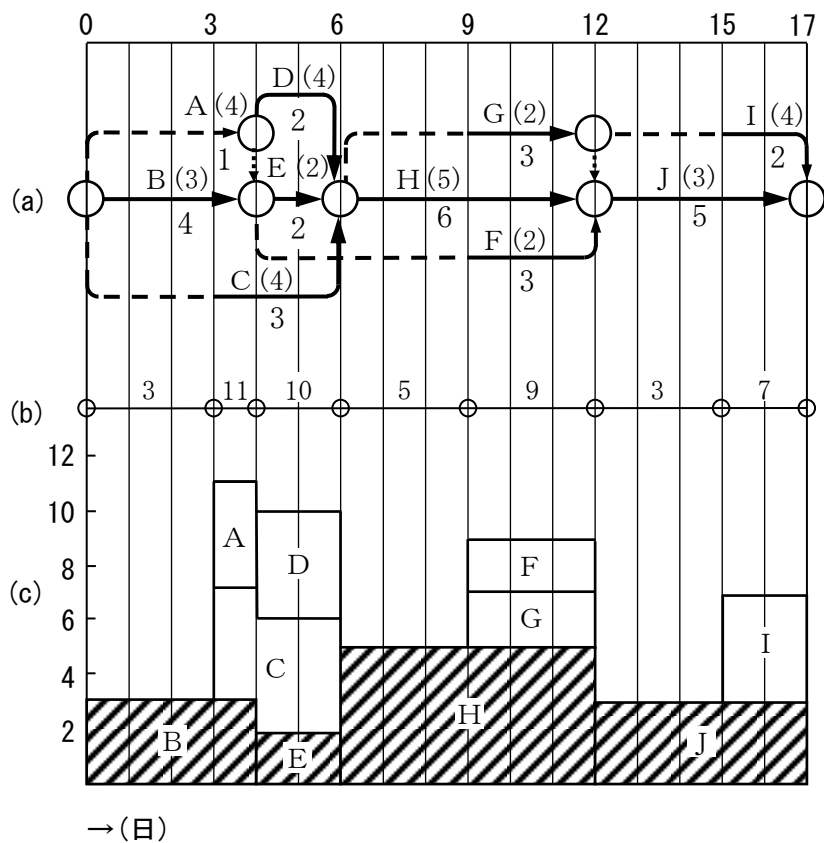


図-16 最遅時刻で作業をした場合

（２）山崩しの方法

前項のように、山積み計算してみると、大抵の場合凹凸がひどくあり、きわめて効率の悪い計画であることがわかる。そこでこの凹凸を崩して平均化させるのが山崩し計算の目的である。山崩し計算は、日程計算でわかっている作業の余裕日数を利用して、いくつかの作業の開始を遅らせることによって、平均化をはかる。すなわち、最早開始プランと最遅開始プランの間に、可能な範囲内において余裕を動かしてやればよい。ただし、作業の順序関係、人員の制限条件は満足してやらなければならない。

手順としては次のようになる。

山崩しの手順

- 1) 最早時刻による山積み計算をする
- 2) 制限数を超えるところで（この場合は労務者 7 人）、余裕日数の範囲内で作業の開始を遅らせる。作業の優先度には全余裕日数（T. F.）をとりその小さいものほど優先度は大とする
- 3) 工期全体にわたって 2) をくりかえす

要するに数量の手持ち制限以内で、作業の余裕日数に合わせて作業を進め、トータルフロートの小さい順に作業を始め、トータルフロートの同じ場合は作業時間の短い方から開始する。そしてクリティカルパスは最優先とし、重点的管理（クリティカル）作業に人員割当が不可能な場合は、すでに作業中の仕事でも余裕のある作業から、このクリティカルな作業にまわして作業を中断させる。

このような方法から、前例の山崩し計算は図-17 のようになる。この場合の手持ち労務者数は 7 人とする。

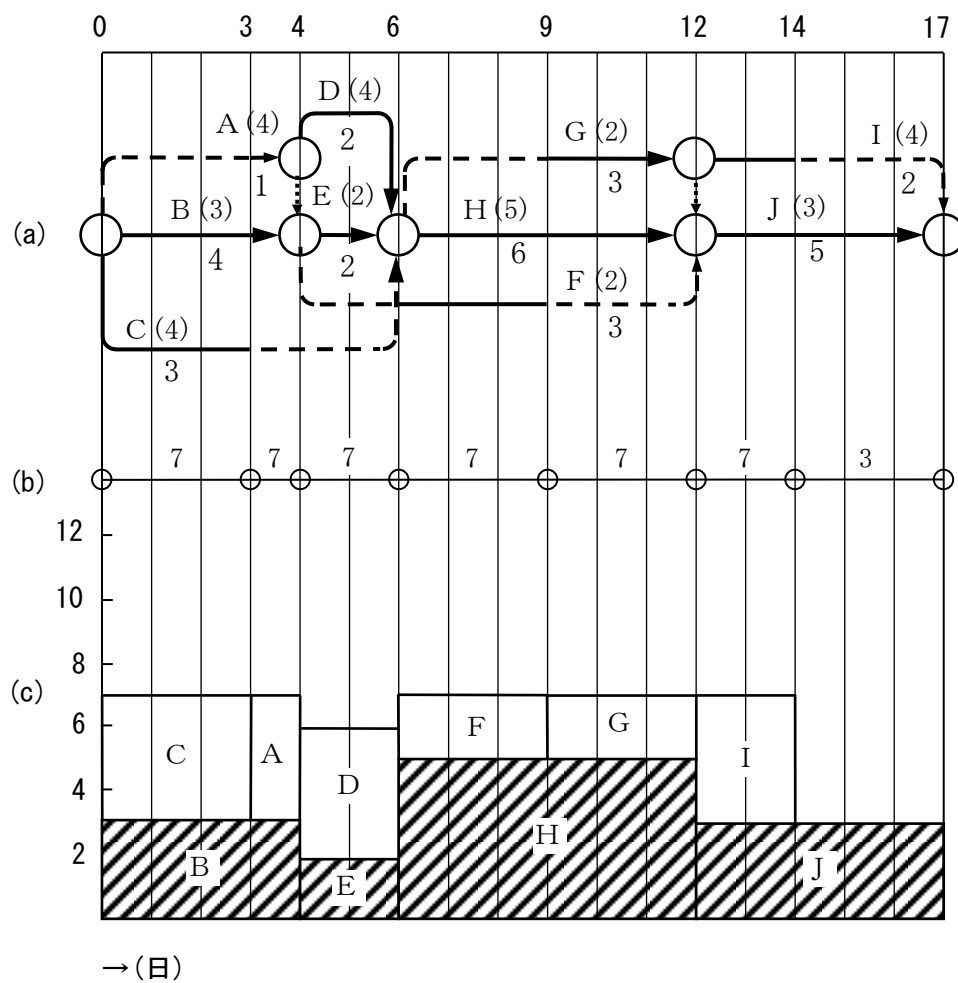


図-17

付録 2. 品質管理

品質管理

1. 品質管理の要点

土木工事の品質管理とは「目的とする機能を得るために、設計、仕様の規格を満足する構造物を最も経済的につくるための、工事のすべての段階における管理体系」といえる。土木工事では、一般に、工事に使用する材料の形状寸法、品質や目的物の品質、規格が仕様書に明示されており、工事施工者は、示された品質、規格を十分満足し、かつ経済的に生産するため自主的に管理を行う必要がある。

品質管理を行うための必要条件としては、

- 1) 規格を満足していること。
- 2) 工程が安定していること。

の2つの条件がそれぞれ独立して、同時に満足していることが必要である。

規格に対する判定方法としては、ヒストグラムを用いる方法が最も一般的であり、全体の分布の形や規格に対する分布の状況がよくわかるが、工程の時間的順序の情報が得られない。この情報を得るためには**工程能力図**を用いるのがよい。

工程の安定に対する判定方法としては**管理図**が用いられるが、一般には計量型の $\bar{x}-R$ 管理図、 $\bar{x}-Rs$ 管理図がよく用いられる。管理図などの結果から以上が認められた場合には、すみやかに原因を追求し処置をとることが必要である。

2. 品質管理の方法

2. 1 品質管理の方法

十分ユトリをもって規格を満足するような構造物を経済的に施工するためには、次の2つの条件を、それぞれ独立して同時に満足することが必要である。

品質管理が完全にされている条件

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1) 構造物がある許容範囲で規格を満足していること。2) 工程（たとえば、原材料、設備、作業方法など、品質管理における測定値でできた源）が安定していること。 |
|---|

つまり、いくら1)の規格条件を満足していても工程が不安定であると、施工中構造物がいつ不満足な内容になっているかわからないという不安が残るし、また工程が安定していても規格外れでは満足とはいえない。

品質管理を進めるには、まず「最初のデータによって製品が十分ユトリをもって規格を満足していることを、ヒストグラムでたしかめた後、そのデータを用いて管理図を描き最近のデータが安定しているかを確認、安定しているならば近い将来の工程を管理し、管理限界線外に出るものがあれば工程に異常ありとし、その原因を追求して、再びこのようなことのないよう修正処置し、管理限界線内にあればこの状態を維持すること」である。

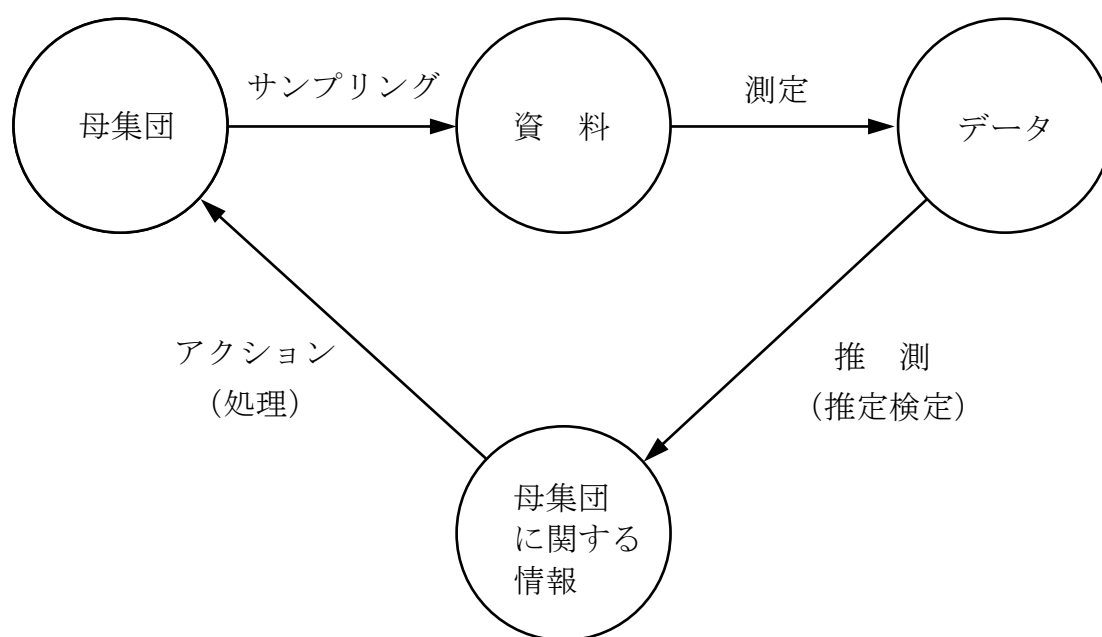
2. 2 品質管理の手順

品質管理の手順は一般に次表のように行う。

この手順は具体的に品質管理を進めるとき実行していく順序であるが、**手順5**から**手順7**までについては、統計的手法（ヒストグラムならびに管理図）が用いられる。

手順	方 法
手順1	品質管理計画表を作成する。
手順2	試験（測定）種目について品質標準を決める。 この品質標準は実際に実現できる品質標準であるべきで、品質の平均とバラツキの幅で示す性質のものである。また設計、仕様書に定められ規格に合っていることが必要である。すなわち品質目標ではなく、品質標準とは管理の対象となるものでなければならない。
手順3	その品質標準を守るための作業標準（作業の方法）を決める 品質標準が決まれば、これを実現するために、どのような作業方法および順序で行うべきかを作業ごとに決定する。作業標準は不良原因の発見や処置を行うとき、修正処置の行動に役立つようにできるだけ詳細にきめる。
手順4	施工を作業標準にしたがって実施させ、データをとる。 作業標準によって作業を束縛するものでなく、作業標準は守るべきものである。
手順5	まず各データが十分ユトリをもって品質規格を満足しているかどうかをヒストグラムにより確かめたのち、同じデータにより管理図をつくり工程が安定しているかを確かめる。 安定しているならば次にその管理限界線を延長して、その予備データを得たのとはほぼ同程度の期間に対する管理限界線として採用し作業を続ける。
手順6	作業を行ってゆくうちに管理限界線外に点が出たならば、工程に異常が生じたものとして、その原因を追求し再発しないように処置をとり、管理限界線内に点があり、その点にクセ（特別な傾向）がなければ工程に異常ないものとしてその状態を維持する。
手順7	予備データをとった期間とはほぼ同程度の期間経過するとか、点が20点に達するとか、また1カ月経過したときには、最近のデータによって手順5をくり返す。

3. 測定値と規格値



図－１

3. 1 サンプルング

ある製品の品質を管理しようとするとき、その製品が数多くある場合、または数えられる種類が多い場合があり、その全部を調べて品質を管理することは不可能であるまた仮に可能でも非常に不経済である。そこで一般には調べようとする対象の集団からその一部を取り出して、その一部のデータによって対象とした集団の性質を統計的手法により推測する方法がとられている。

ここで調べようとする集団のことを母集団という。JIS Z8101 では、「**母集団**とは試料やデータより処置をとろうとする集団である。」また「母集団からある目的を抜きとったものを**試料**（または**サンプル**）とよぶ。」と定義されている。

母集団からその一部を試料として抽出することを**サンプルング**といい、これらのサンプルをある特性について測定した値を**データ**という。データをとるのは、サンプルングした試料に基づいて、そのもとの母集団の姿を正しく把握し、処置をとるためである。したがって、母集団を正しく代表するような試料をとることが重要である。

3. 2 統計量の計算

試料から得られたデータは統計量として計算される。品質管理に用いられる統計量は次のようなものがある。

(1) 分布の位置の表わし方

分布の位置を表すのに広く用いられるのは（算術）平均値である。このほかにメジアン（中央値）やモード（最多値）などが用いられる。

1) 平均値 ($\bar{x}$: エックスバー)

データの値の和をデータの数 N で割って求める。各々のデータの値を x_1 、 x_2 、 x_3 、 $\dots$ 、 x_n とすれば、次式で表わされる。

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} \\ &= \frac{\sum x_i}{N}\end{aligned}$$

〔例 1〕 2, 4, 6, 8, 10 というデータがあった場合は、

$$\bar{x} = \frac{2 + 4 + 6 + 8 + 10}{5} = 6$$

〔例 2〕 次のようなくり返しの多いデータの場合には度数表を書いて計算すると簡単である。

(2, 2, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 5, 5)

データ	2	3	4	5
度数	2	3	3	2

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{1}{10}(2 \times 2 + 3 \times 3 + 4 \times 3 + 5 \times 2) \\ &= 3.5\end{aligned}$$

一般式で示すと、データ x_1 、 x_2 、 $x_3 \dots x_n$ の度数がそれぞれ f_1 、 f_2 、 $f_3 \dots f_n$ 、 N をデータ数とすると、

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{1}{N}(x_1 f_1 + x_2 f_2 + \dots + x_n f_n) \\ &= \frac{1}{N} \sum x_i f_i \\ f_1, f_2, f_3, \dots, f_n &= N \quad \text{である。}\end{aligned}$$

2) メジアン (中央値)

メジアンとはデータを小さい方から大きい順に並べたとき、その順番が真中にあたる値である。ヒストグラムでいえばほぼ半分に分ける値である。

〔例 1〕 データが奇数であれば中央番目がその値とある。

2, 4, 6, 8, 10 とすると、メジアンは 6 である。

〔例 2〕 データが偶数のときは中央の 2 つのデータを加えて 2 で割った値である。

2, 4, 6, 8 とすると、メジアンは $4 + 6 = 10$ 、 $10 \div 2 = 5$ である。

メジアンは簡単に求められるので統計でよく使われる。

3) モード (最多値)

モードはくり返しが多いデータを度数表で表したときの最多度数である。ヒストグラムの度数頻度が最も多いところである。通常モードは 1 であるが、モードを 2 つ以上もつ分布がある。

(2) 分布のバラツキの表わし方

データのバラツキを数量的に表わす量もいろいろあるが、よく用いられるものとして

- 1) 残差平方和 (偏差平方和)
- 2) 分散・不偏分散
- 3) 標準偏差・不偏分散の平方根範囲

などである。

1) 残差平方和 S

偏差の2乗の和で、データの平均値 $\bar{x}$ と、各データの差を2乗したものの合計で表わされる。

$$\begin{aligned} S &= (x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_n - \bar{x})^2 \\ &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\ &= \sum x_i^2 - N\bar{x}^2 \end{aligned}$$

〔例1〕2、4、6、8のデータより残差

平方和を求める。

まず平均値を求め次のような表にして計算を進める。

$$\bar{x} = 5$$

$$S = \sum (x_i - \bar{x})^2 = 20$$

x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
2	-3	9
4	-1	1
6	1	1
8	3	9
計		20

〔例2〕2、4、6、8のデータから残差平方和を求める。

$$\bar{x} = 5 \quad N = 4$$

$$S = \sum x_i^2 - N\bar{x}^2$$

$$= 120 - 4 \times 5^2$$

$$= 20$$

x_i	x_i^2
2	4
4	16
6	36
8	64
計	120

〔例3〕桁数の多いデータをそのまま、計算に使うことは間違いを起こしやすいので次のようにして計算を簡単にし、残差平方和を求める。

ある一定の適当な数をマイナスしてデータを取り扱い易くする。

いま4を引いて計算してみる。

$$S = \sum (x_i - a)^2 - \{ \sum (x_i - a) \}^2 / N$$

$$= 24 - (4)^2 / 4$$

$$= 20$$

x_i	$x_i - a$	$(x_i - a)^2$
2	-2	4
4	0	0
6	2	4
8	4	16
計	4	24

どのような方法で計算しても同じ値になる。

くり返しの多いデータの残差平方和

いまここに 100 個のデータがある。度数表を作ると次のとおりである。ここで f は度数。 x と f をかけて xf とし、 xf に x をかけて x^2f として表を作る。表ができたらこれを用いて残差平方和を計算する。

データ	個数 N	x	f	xf	x^2f	F
0	12	0	12	0	0	12
1	35	1	35	35	35	47
2	24	2	24	48	96	71
3	17	3	17	51	153	88
4	10	4	10	40	160	98
5	2	5	2	10	50	100
計	100	計	100	184	494	

$$\text{平均値は } \bar{x} = \Sigma xf / N$$

$$= 184 / 100$$

$$= 1.84$$

$$\text{残差平方和は } S = \Sigma x^2f - N\bar{x}^2$$

$$= \Sigma x^2f - (\Sigma xf)^2 / N$$

$$= 494 - (184)^2 / 100$$

$$= 155.44 \text{ となる。}$$

この表に累積度数 F をだしておくことが多い。累積度数とはデータを小さいもの順に並べときの度数の累計である。例えばデータ値 2 はデータを含めてそれより小さいものは 71 の頻度であらわれており、データ 4 は、データ値を含めてそれ以下のものは 98 ということがわかる。すなわちデータ値 4 以下が 98% であるともいえる。横軸に特性値をとり、縦軸に累積度数 F をとると累積度数曲線となり、データのうつりかわりが一目でわかる。また、メジアンなど求めるとき役立つ。

組分けしたデータより残差平方和を求める

データの数が多かったり、くり返し度数が少なく桁数の多いデータが数多くある場合は、ある幅をもって組分けを行い、その幅の中心を x として代表させ、その幅に入る度数を x に対する度数として計算を進める方法である。この方法は多少誤差が入るが簡便な方法として一般に用いられている。

クラス	代表値	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	度数
28.5~30.5	29.5				/	/	2
30.5~32.5	31.5				/	/	2
32.5~34.5	33.5		///	////	///	/	14
34.5~36.5	35.5	///	/	////	/	/	10
36.5~38.5	37.5	////	/	/	/	////	11
38.5~40.5	39.5	/		/	//	/	5
40.5~42.5	41.5	/					1

上記データはある測定値から度数分布表を作ったものである。これをもとに平均値、残差平方和を求めるには次のような表を作り、計算する。

x (代表値)	f (度数)	xf	x^2f	F (累積度数)
29.5	2	59.0	1,740.5	2
31.5	2	63.0	1,984.5	4
33.5	14	469.0	15,711.5	18
35.5	10	355.0	12,602.5	28
37.5	11	412.5	15,468.25	39
39.5	5	197.5	7,801.75	44
41.5	1	41.5	1,722.25	45
計	45	1,597.5	57,031.25	

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \Sigma xf / N \\ &= 1,597.5 / 45 \\ &= 35.5 \\ S &= \Sigma x^2f - (\Sigma xf)^2 / N \\ &= 57,031.25 - (1,597.5)^2 / 45 \\ &= 320\end{aligned}$$

2) 分散、不偏分散

残差平方和をデータの数で割ったものを分散といい試料分散 s^2 は次式で求める。

$$s^2 = \frac{S}{N} = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$$

不偏分散 V は、残差平方和 S を $(N - 1)$ で割って求められる。

$$V = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

この値は、試料が属しているもとの母集団の分散 σ^2 (σ は母集団標準偏差) のかたよりのない推定に用いられることから、不偏分散とよばれ、また分母の $(N - 1)$ を自由度とよんでいる。

【例】残差平方和 $S = 360$ 、 $N = 45$ として分散 s^2 と不偏分散 V を求める。

$$s^2 = 360 / 45 = 8.0$$

$$V = 360 / (45 - 1) = 8.18$$

3) 標準偏差、不偏分散の平方根

分散、不偏分散ともデータが2乗された形になっているので、偏差と比較するには都合が悪い。分散 s^2 の平方根を標準偏差(試料) s といい、不偏分散の平方根は、不偏分散 V の平方根として求められる。

4) 変動係数 C_v

N個のデータ変動係数 C_v は、試料の標準偏差 s と平均値 $\bar{x}$ との比をとり、一般にパーセントで表わされる。

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (\%)$$

この値は、バラツキを相対的に表わすのに便利である。

5) 範囲（レンジ） R

範囲は、一連のデータの最大値と最小値の差である。これはバラツキを表わす最も簡単なものであるが、試料の数が多いと範囲は大きくなり、また一つだけとびはなれた値があるとそれに左右される。

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

計算が簡単なので管理図に用いられる。一般には一群のデータの数が 10 以下のときに用いられる。データの数 n を明記する。

【例】 2、4、6、8、10 のとき範囲 R は次のとおりとなる。

$$n = 5$$

$$R = 10 - 2 = 8$$

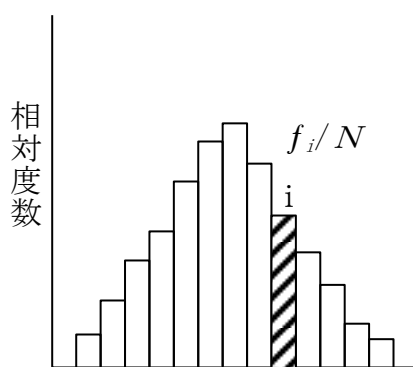
以上、残差平方和、分散、標準偏差、範囲など、バラツキを表わす量について述べたが、これらの値は小さいほど、データの平均値のまわりへまとまりがよく分布しており、大きいほどバラツキが大きいことを示している。

表－1 母数と統計量

	母数	統計量
平均値	μ	$\bar{x} = \Sigma x_i / N$
分散	σ^2	$s^2 = S / N = \Sigma (x_i - \bar{x})^2 / N$
標準偏差	σ	s
不偏分散の平方根		$\sqrt{V} = \sqrt{\Sigma (x_i - \bar{x})^2 / (N - 1)}$
変動係数	σ / μ	$s / \bar{x}$
範囲		$R = x_{\max} - x_{\min}$

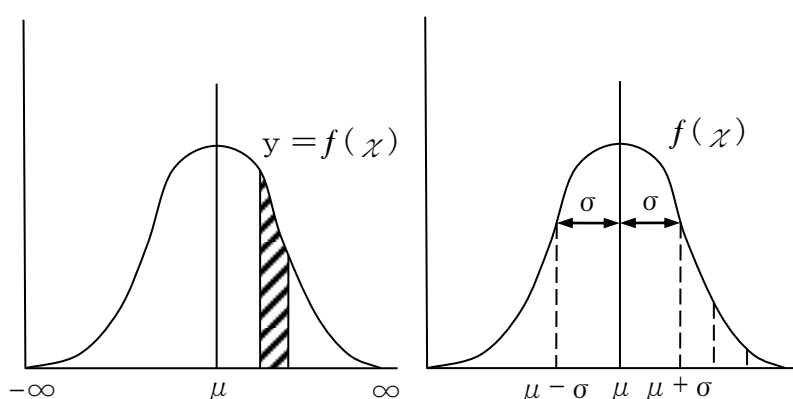
3. 3 正規分布

安定した工程で生産されている場合の計量的データ（寸法や強度、重量など。）を組分けし、その組に属する数を全体の数に対する相対度数で表わし、これをヒストグラムとして図示する。ここで試料の数を多くし、それにしたがって組分けの幅を小さくしていくと、ヒストグラムは図－3に示すようにある値を中心としてほぼ左右対称となり、なめらかな曲線となることが多い。このような曲線を正規分布曲線という。計量値の分布のなかでもっとも代表的なもので、ガウスの分布曲線ともいわれる。



図－2

ヒストグラムと度数分布曲線



図－3 正規分布曲線

ヒストグラムにおいて、データが i 番目の組にはいる度数を f_i とし、全体のデータの数 N とすれば、相対度数は f_i/N となり、図の斜線部分となる。相対度数を全部の組について合計すれば 1 となる。これと同じように、度数分布曲線と横軸とにはさまれた部分の面積を 1 になるように決めておけば、データ x が第 i 番目の組に相当する区間のどこかにはいる割合は、この区間に対する部分の面積で表わされ、この値が、 x がこの区間に含まれる確率である。

度数分布曲線の代表的な分布である正規分布は、図－3に示すように、平均値 μ の左右に対称にスソをひいた分布で、平均値と標準偏差が与えられれば完全に決まる分布であり、一般に平均値 μ 、標準値 σ の正規分布は

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

$$\pi = 3.1416$$

$$e = \text{自然対数の底で } 2.7183$$

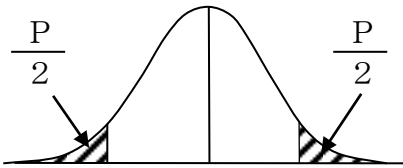
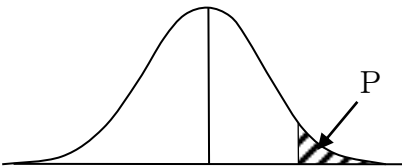
正規分布では、 μ を中心に $\pm \sigma$ の中にはいる割合は全体の 68.3%、 $\pm 2 \sigma$ の中には 95.4%、 $\pm 3 \sigma$ の中には 99.7%がはいる性質がある。

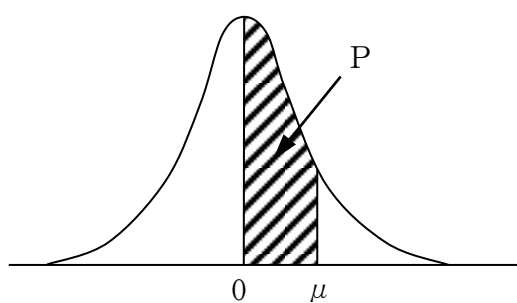
いま、平均値の 0、標準偏差が 1 となるように基準化した量 $\mu = \frac{x - \mu}{\sigma}$ 変換すると

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\mu^2}$$

この μ の分布は、平均値 $\mu = 0$ 、標準偏差 $\sigma = 1$ の分布で表わされる基本となる正規分布で、基準正規分布とよばれる。

表－2 μ と確率 P との関係

μ		
0.0	1.0000	0.5000
0.1	0.9203	0.4602
0.2	0.8415	0.4207
0.3	0.7642	0.3821
0.4	0.6892	0.3446
0.5	0.6171	0.3085
0.6	0.5485	0.2743
0.7	0.4839	0.2420
0.8	0.4237	0.2119
0.9	0.3681	0.1841
1.0	0.3173	0.1587
1.2	0.2301	0.1151
1.4	0.1615	0.0808
1.6	0.1096	0.0548
1.8	0.0719	0.0359
2.0	0.0455	0.0228
2.2	0.0278	0.0139
2.4	0.0164	0.0082
2.6	0.0093	0.0047
3.0	0.0027	0.0014



図－4

μ	P (片側)
0.0	0.0000
0.5	0.1915
1.0	0.3413
1.5	0.4332
2.0	0.4773
2.5	0.4938
3.0	0.4987

平均値 $\bar{x}$ の分布

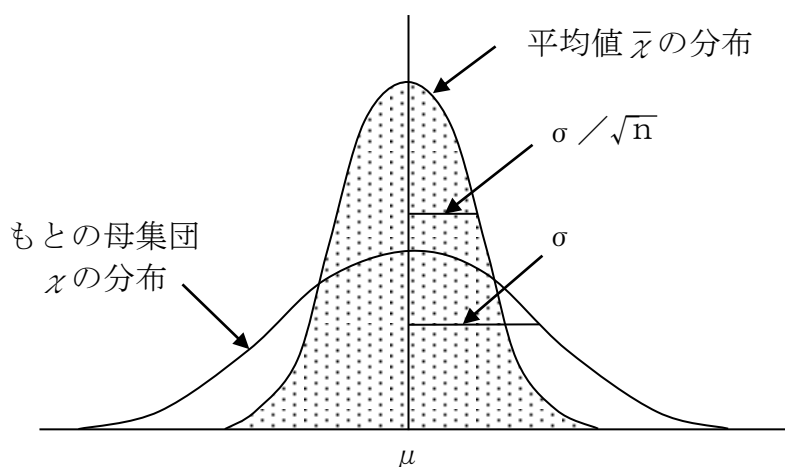
平均値 μ 、標準偏差 σ の分布をする母集団から n 個のデータを取り、その平均値を x_1 、更にまた、 n 個のデータを取り $\bar{x}^2$ をつくる操作を継続していつて作った平均値 $\bar{x}$ の分布をみると、この $\bar{x}$ の分布は平均値 μ 、標準偏差 σ / n の正規分布に従うという性質がある。また、もとの母集団に関係なく n が大きくなれば正規分布になるという性質もある。

このような性質を中心極限定理という。

たとえば、もとの母集団の標準偏差 $\sigma = 2$ とするとデータ数 $n = 3$ の平均値の分布は次のようになる。

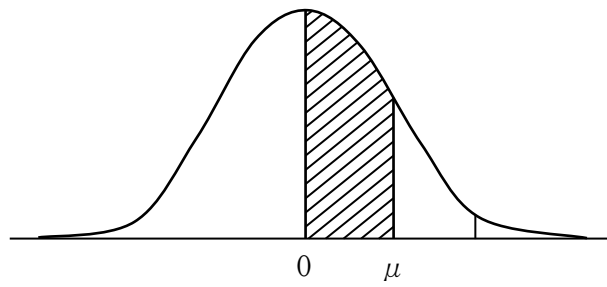
$$\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15$$

したがって、もとの母集団の標準偏差より平均値の標準偏差の方が $\frac{1}{\sqrt{n}}$ だけ小さくなる。



図－5

表一 3



	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3079	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4773	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4983	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

4. 規格に対する判定

4. 1 ヒストグラムによる判定

品質特性が規格を満足しているかどうかは、ヒストグラムによって調べる。

ヒストグラムとは、横軸にデータの値をとり、データ全体の範囲をいくつかの区間に分け、各区間にはいるデータの数を数えて、これを縦軸にとって作られた図のことで、柱状になっていることから柱状図ともいわれている。

規格は、一般に規格値として示される。

規格値とは、品質特性について、製品の許容できる限界値を設定するため、規格中に与えられている限界の値で、上限または下限を定めた片側規格値と、上下限両方を定めた両側規格値がある。

規格値の例

検査対象		規格値
工 種	項 目	(mm)
石積工	厚さ t	−50
ブロック積工	のり長 ℓ $t < 3\text{ m}$	−50
石張工	のり長 ℓ $t \geq 3\text{ m}$	−100
ブロック張工	基準高	±50
	延長 L	−200
コンクリート	基準高	±30
基礎工	幅 W	−30
	高さ h	−30
	延長 L	−200

ヒストグラムは、個々のデータについての様子や、その時間的順序の変化はわからないが、次のような判断に役立つ。

ヒストグラムによる判断

- 1) 全体の分布の形を調べる。
- 2) どんな値のまわりに分布しているか。
- 3) 分布の広がり具合はどうか。
- 4) 規格に対しどうなっているか。
- 5) とび離れたデータの有無。

など現状把握や改善に役立ついろいろな情報を得ることができる。一般には工程の安定の判定に使われる管理図と併用されて用いられる。

ヒストグラムを作るには、一般に次の示す手順による。

- (手順 1) 最近のデータをできるだけ多く集める。
 (手順 2) データの中から最大値、最小値、を求める。
 (手順 3) 全体の範囲 $R = x_{\max} - x_{\min}$ を求める。
 (手順 4) クラス分けするときのクラスの幅を決める。
 建設工事の場合は、データの数が少ない場合が多いのでクラスの数は 5 ～ 10 でよい。

$$R \div (\text{クラスの数}) = C$$

C を測定単位の整数倍にしてこれをクラスの幅 C とする。

- (手順 5) $x_{\max}$, $x_{\min}$ を含むようにクラスの幅 C で区切りクラスを設ける。このとき測定単位の 1 桁下の 5 単位で区切る。データを分けるとき、はっきりどのクラスに属するか決めるためである。

- (手順 6) データを分ける。出数分布表を作る。

このとき “~~///~~” を用い、“正” は用いない。

単純作業なので間違いやすいから 2 度やる必要がある。

- (手順 7) 横軸に品質特性値、縦軸に度数をとってヒストグラムを作る。

- (手順 8) 規格値をこれに記入する。

データ 表－ 1

No.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	36	34	34	35	38
2	39	33	36	37	34
3	35	34	35	34	38
4	38	33	33	39	35
5	38	39	37	31	30
6	41	37	36	34	38
7	37	33	36	29	40
8	37	35	33	33	37
9	36	34	33	40	31

データ 表－ 2

データの数	クラスの数
50 以下	7 ～ 8
100 内外	10
500 程度	10 ～ 15
1, 000 以上	20

〔例題〕 データ表－ 1 のようなデータが得られた。このデータの規則性を調べるためヒストグラムで調べる。なお規格値は 30 とする。

- (手順 1) 上記のデータ（データ表－ 1）を得た。

- (手順 2) 最大値、最小値を求める。この場合次のように例ごとに最大値、最小値を求め、さらに全体の最大値、最小値を求める。

各列の 最大、最小	列				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	④1	39	37	40	40
	35	33	33	②9	30

$$x_{\max} = 41$$

$$x_{\min} = 29$$

- (手順 3) 全体の範囲を求める。

$$\begin{aligned} R &= x_{\max} - x_{\min} \\ &= 41 - 29 = 12 \end{aligned}$$

- (手順 4) クラスの幅 C を求める。この場合データ数が 45 個であるので、クラスの数を 8 とし、 $R \div 8 = 12 \div 8 = 1.5$

測定単位の整数倍とし、 $C = 2.0$ とする。

- (手順 5) 最大値、最小値を含むようにクラスの幅 C で区切り全データを割りふる。この場合、どのデータもどこかのクラスに割りふられるよう測定単位の 1 桁下の 5 単位で区切る。

(手順6) データを割りふる。各列の割りふりも、各列の情報を与えてくれるので列ごとに割りふる。これで度数分布表ができる。

クラス	代表値	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	合計
28.5～30.5	29.5				/	/	2
30.5～32.5	31.5				/	/	2
32.5～34.5	33.5		////	////	///	/	14
34.5～36.5	35.5	///	/	////	/	/	10
36.5～38.5	37.5	////	/	/	/	////	11
38.5～40.5	39.5	/	/		//	/	5
40.5～42.5	41.5	/					1
							45

(手順7) 横軸に品質特性、縦軸に度数をとってヒストグラムをかく。横軸に適当に特性値を目盛ることになるがクラスの幅が5mm、10mmなどになるようにとらずに、計算値の単位にしたがって、たとえば10 kg/cm²を10mmになるようにとる。

このようにとると多くのヒストグラムを比較したり、規格と比較したりするときに便利である。また、最大、最小の境界値との間は少なくともクラスの幅くらいはあけておく。左縦軸に度数を目盛る。ヒストグラムは目でみて、その形からいろいろ判断するので、一応グラフとしてバランスをとるようにする。縦横の比が1：1か1：0.6になるようにかく。なお、ヒストグラムの左肩にデータの総数を、たとえばN=45と記入する。

(手順8) 規格値があればこれに記入する。例では下限規格値30なので、横軸特性値30のところに線を引く。(図-6)

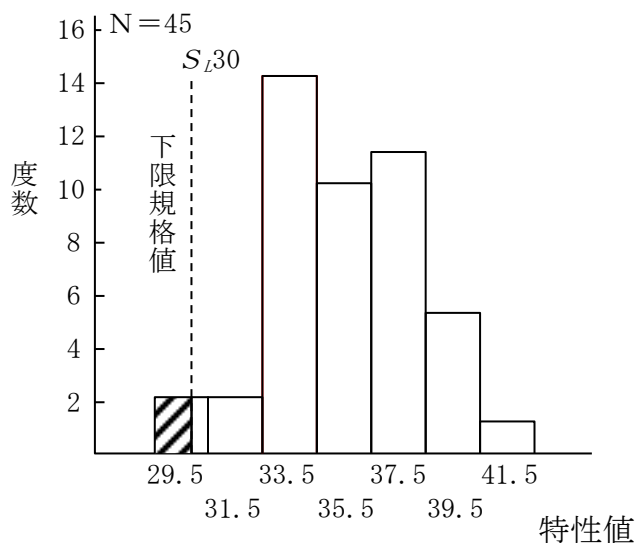
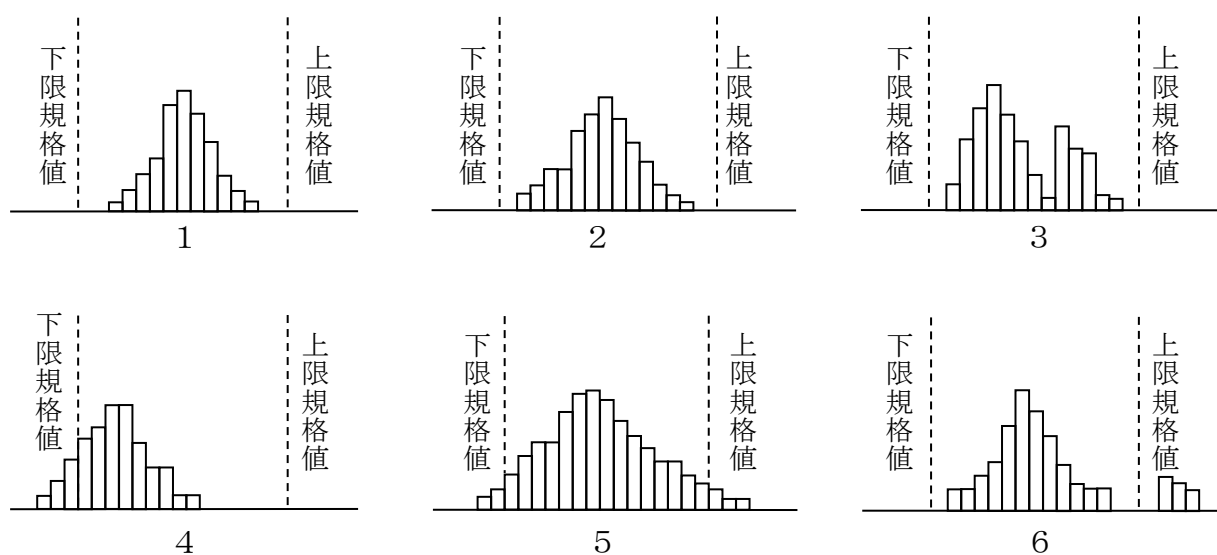


図-6

次にいろいろな形の手ストグラムについて検討してみる。



図－7

- 1 規格値に対するユトリもあり、また平均値が規格の中央にあり良。
- 2 規格値すれすれのものもあり、将来少しの変動でも規格を割るものがある可能性がある。バラツキに注意を要する。
- 3 山が2つあり工程に異常がある。このようなときは他の母集団のものが入っていることも考えられ、データ全体をもう一度調べる必要がある。
- 4 下規格値を割るものがあり、平均値を大きい方にずらす処置が必要である。
- 5 下規格値も上規格値も割っており、何らかの処置が必要である。すなわち現状の技術レベル、または作業標準等に問題はないか検討を要する。
- 6 大部分が規格の幅いっぱいバラツキ、右の方に離れ小島がある。検討を要する。

ヒストグラムの見方の留意点

- 1) 規格値は満足であるかどうか。
- 2) 分布の位置は適当か。
- 3) 分布の幅はどうか。
- 4) 離れ島のように飛びはなれたデータはないか。
- 5) 分布の右か左かが絶壁型となっていないか。
- 6) 分布の山が2つ以上ないか。

ヒストグラムは以上の点に着目して品質の全体の規則性をつかみ、そこに問題があればそれにみあう手段を考え手法を改善する。ヒストグラムを作ることによって新しい問題点や改善の方法を見だし、不良原因の追求、さらに進んで作業標準等の改善ができ、技術の向上とむすびつくことになる。なお、ヒストグラムによる判定の際、規格値に対するユトリの計算を行って確認しておくとうい。

5. 規格値に対するユトリの計算

5. 1 ヒストグラムによる判定

平均値 $\bar{x}$ が規格を満足していることを確かめたのち、分布がユトリをもって規格を満足しているかどうかをチェックする必要がある。このチェックのために、平均値 $\bar{x}$ の他に $\sqrt{V}$ を度数分布表より求める。

1) 両側規格値の場合

規格値が下限規格値と上限規格値の両方がある場合は、それぞれの規格を十分ユトリをもって満足していなければならない。

次の式を満足している必要がある。

$$\frac{|S_u(\text{および})S_L - \bar{x}|}{\sqrt{V}} \geq 3 \quad (\text{できれば} 4)$$

S_u : 上限規格値 S_L : 下限規格値

2) 片側規格値の場合

$$\frac{|S_u(\text{または})S_L - \bar{x}|}{\sqrt{V}} \geq 3 \quad (\text{できれば} 4)$$

S_u : 上限規格値 S_L : 下限規格値

上式は上・下限規格値から平均値 $\bar{x}$ を引いた絶対値を $\sqrt{V}$ で割ったものが 3 ～ 4 倍あればユトリがあるということである。

〔例〕 下限規格値 12 kg $V=2.0$ $\bar{x}=20$ とすれば

$$\frac{|12 - 20|}{2.0} = 4$$

したがって、規格値を十分ユトリをもって満足している。

3) 規格値を割ることをある程度許す場合

もし、片側規格で 20 回に 1 回というように、ある程度規格を割ってもよいような場合には 3 ～ 4 倍という数字の代わりに表－4 の数字 h を用いる。この h は許容限界係数といわれるものである。表中の $P=1/20$ とは 20 回に 1 回の割合を意味しており、 N はサンプリングしたときのデータ数である。なお、この数字 h を用いた結論は危険率 5 % である。

表－4 許容限界係数 h

(片側危険率 5 %)

P N	3	5	10	15	20	25	30	40	50	60	100	∞
1/4	4.42	2.00	1.43	1.25	1.15	1.09	1.05	0.99	0.95	0.93	0.85	0.67
1/5	5.25	2.43	1.67	1.46	1.36	1.29	1.24	1.18	1.14	1.11	1.03	0.84
1/10	7.53	3.37	2.32	2.04	1.91	1.82	1.77	1.69	1.64	1.60	1.50	1.28
1/20	9.46	4.17	2.87	2.54	2.38	2.21	2.12	2.06	2.02	1.90	1.65	1.64
1/50	11.67	5.10	3.50	3.11	2.91	2.79	2.71	2.60	2.53	2.48	2.34	2.05
1/100	13.16	5.73	3.93	3.49	3.27	3.14	3.05	2.93	2.85	2.80	2.65	2.33

〔例〕たとえば、下限規格値を 1 / 20 の確立ではずれてもよいという場合には N = 25 であれば次の式を満足していればよい。

$$\frac{|S_L - \bar{x}|}{\sqrt{V}} \geq h = 2.28 \quad \cdots \cdots \cdots (\text{表 - 4 を参照})$$

上限規格値、下限規格値を 1 / 50 の確立ではずれてもよい場合には、片側では 1 / 100 の確率になるので N = 25 の場合

$$\frac{|S_L - \bar{x}|}{\sqrt{V}} \geq h = 3.14 \quad \cdots \cdots \cdots (\text{表 - 4 を参照})$$

を満足していることが必要である。

これらの係数はヒストグラムによる判定の場合のみに適用されるもので、管理限界等の計算には用いてはならない。

規格の管理はあくまでヒストグラムで行い、ユトリの計算は以上の式のいずれかを用い、十分ユトリをもって満足しているかどうかを確認する。

5. 2 工程能力図による判定

ヒストグラムは、規格に対する位置とバラツキの関係はわかるが、工程の時間的順序の情報につかめない。この時間的順序による情報を得る最も簡単なものとして、データを測定した順序に 1 点ずつ打点しこれに規格値を入れた工程能力図がある。

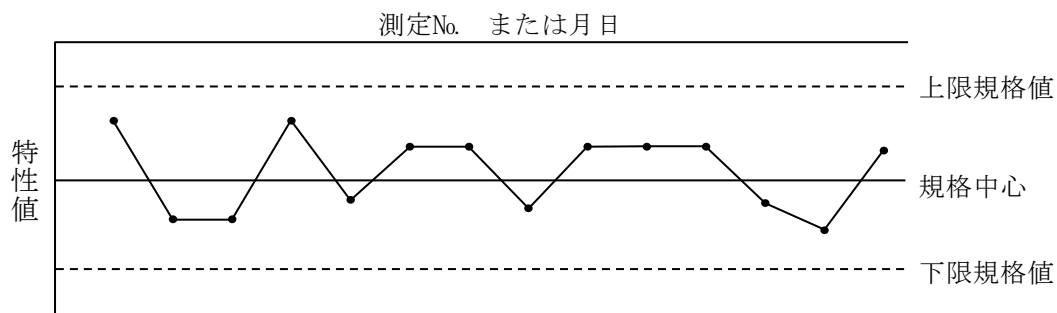


図-8 工程能力図の例

工程能力図の作り方は調べる対称の集団を区間割りして（工区等など。）合理的な群とし、各群の中で時間順序に従ってデータを記入する。

工程能力図はグラフ用紙に、横軸にサンプル番号を、縦軸に特性値を目盛り、上・下限規格値を示す線を引く。各データはそのまま打点し各点を実践で結ぶ。

工程能力図の見方としては基本的には次の 2 点を調べる。

工程能力図の基本的見方

- 1) 規格はずれの率を調べる。
- 2) 点の並び方を調べる。

以上の点に注意して工程能力図を活用する。

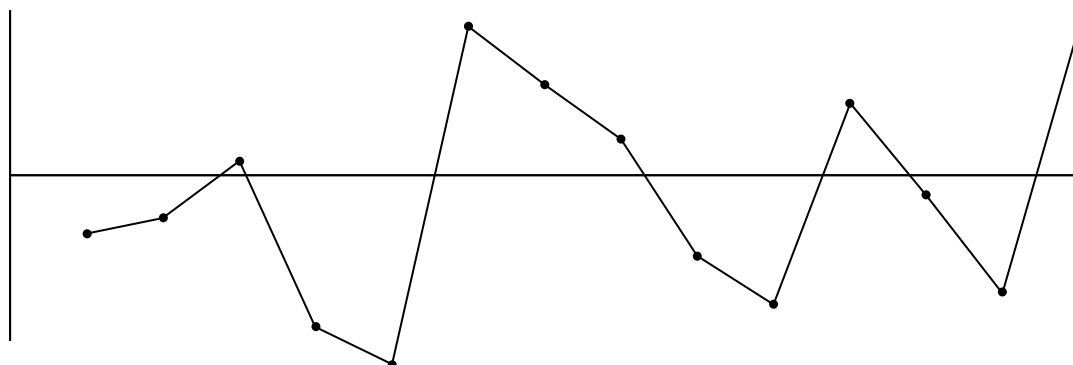
次の点の並び方の例について検討してみる。

1) 安定している状態

バラツキの程度が少なく、平均値は規格値のほぼ中央にあつて規格はずれもない状態のとき。(図-8)

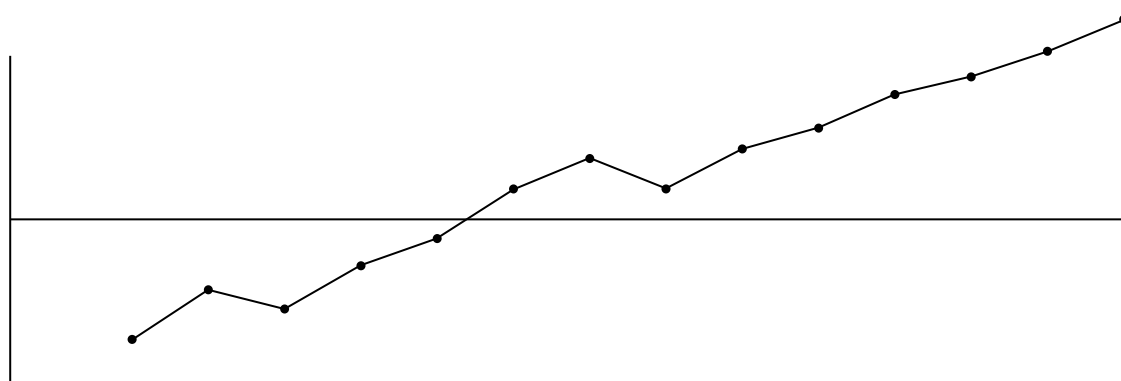
2) 突然高くなったり低くなったりする状態

機械の調整をしたとか、材料が変わったとき。



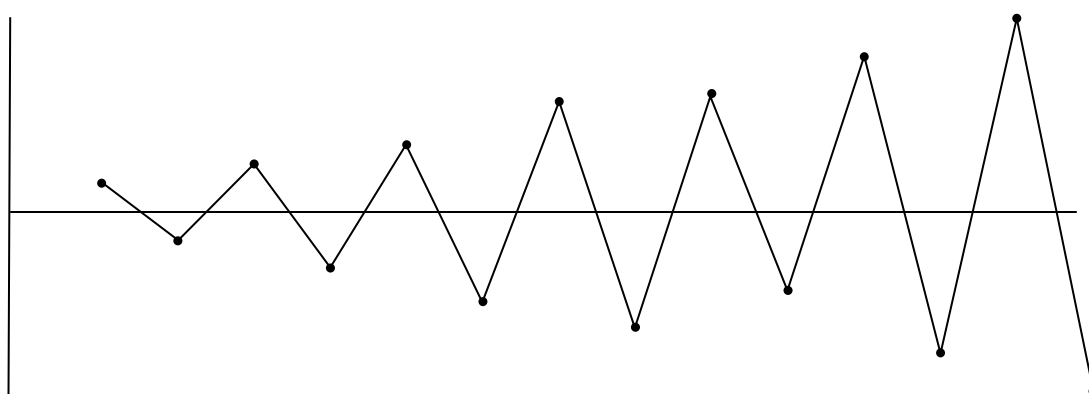
3) 次第に上昇するような状態

機械の精度が悪くなったときなど。



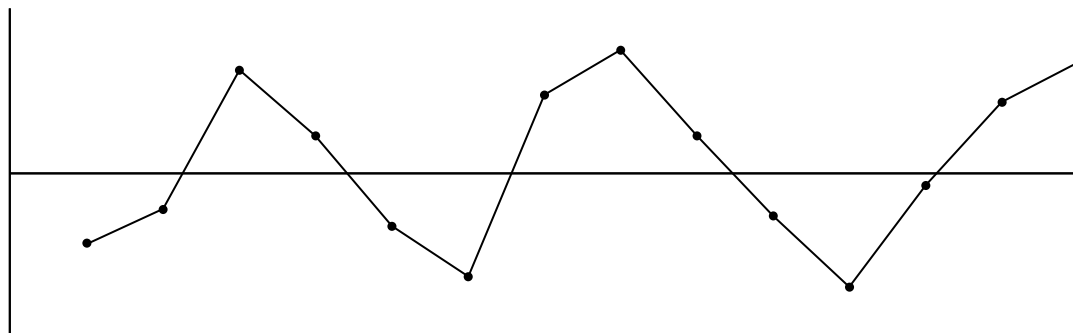
4) バラツキが次第に増大する状態

作業標準に慣れ、粗略に作業するときとか、計器の精度が悪くなったときなど。



5) 周期的に変化する状態

気温等の影響をうけるとき。



このように、工程能力図では、点の並び方、中心のずれを調べることによって、特性値の時間的变化、傾向きをつかむことができる。

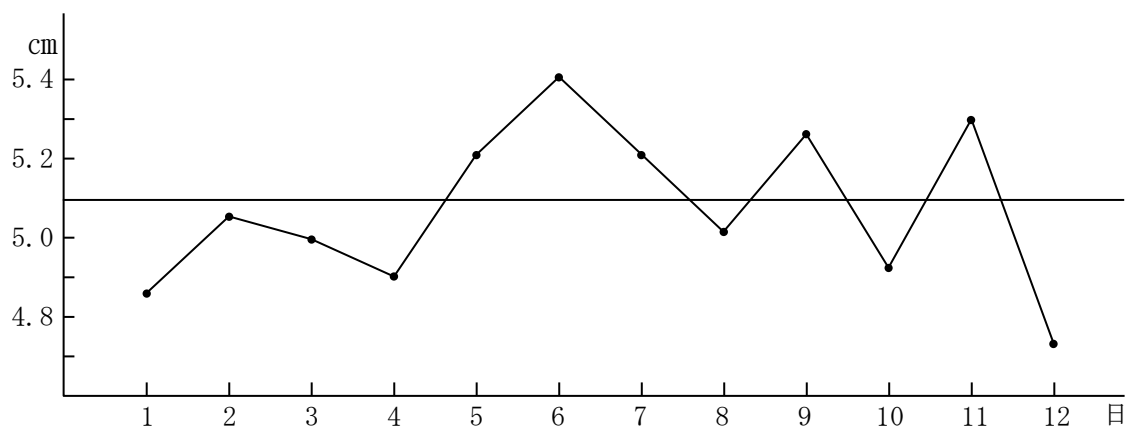
6. 管理図による工程の管理

工程が安定しているかどうかを判定する方法として管理図が用いられる。

管理図は形の上からいえば、品質を表わす推移グラフの一種であるが、図上に管理限界線が引かれているのが普通のグラフと違っている。この管理限界線は品質のバラツキが通常おこり得る程度のものか（偶然原因によるものか。）それ以上の見のがせないバラツキ（異常原因による。）であるかを判断する基準となる線である。このように管理図は偶然原因によるバラツキを基準にして、異常原因を検出するのが目的である。

管理図の管理限界は、データをもとにして計算されるが、計算方法はきわめて簡単である。

管理図では、点が限界線の内側にはいって、点の並び方にクセがなければ工程は正常な状態、つまり安定状態であると考え、また点が限界線の外側に出たり、中心からかたよって片方の側にばかりあったりなど、点の並び方にクセがみられるときは異常な状態、つまり安定状態でないと判断する。



図－9 普通のグラフ

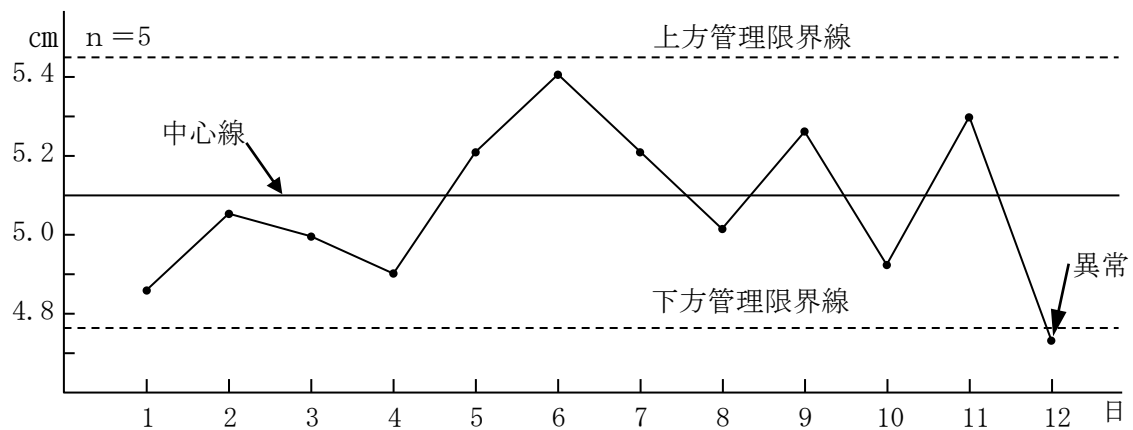


図-10 管理図

6. 1 管理図の種類

建設工事で取り扱っているデータには連続的な値と離散的な値とがある。

連続的な値とは、たとえば、厚さとか強度とか重量などのようなものをいう。これに対して**離散的な値**とは鉄筋 100 本中不良品が 5 本あるとか、現場での 1 ヶ月の事故が 1 回、2 回というように測定されるもので、5.5 本とか 1.8 回とかの値をとり得ないもとをいう。

一般に前者を計量値といい後者を計数値という。

管理図を用いる場合、計量値が計数値かによって用いる管理図が異なってくる。

計量値の管理図	i) $\bar{x}-R$ 管理図 (平均と範囲を用いる。)
	ii) $x-Rs$ 管理図 (個々の測定値と逐次範囲を用いる。)
	iii) $\tilde{x}$ 管理図 (メジアンを用いる。)
計数値の管理図	i) P 管理図 (不良率を用いる。)
	ii) P_N 管理図 (不良個数を用いる。)
	iii) c 管理図 (一定単位中の欠点数を用いる。)
	iv) u 管理図 (欠点数を用いる。)

以上いろいろの管理図があるが、このうち $\bar{x}-R$ 管理図と $x-Rs$ 管理図に Rm を加えた $x-Rs-Rm$ 管理図が多く用いられている。

6. 2 管理図の作り方

6. 2. 1 $\bar{x}$ - R 管理図

この管理図は代表的なもので、重さ、長さ、時間などの計量値に用いられている。

$\bar{x}$ は群の平均値、 R は群の範囲である。したがって $\bar{x}$ 管理図は平均値の変動を管理し、 R 管理図では群のバラツキを管理するのに用いる。すなわちこの2つの $\bar{x}$ と R 管理図に対して群の平均値の変動とバラツキの変化とを同時にみてゆくことによって工程安定状態をつかまえてゆく管理図である。

R 管理図では群の大きさ n が 10 より大きくなると性能が悪くなるので、一般に n が 10 以下の場合に用いる。

(1) $\bar{x}$ - R 管理図の作り方

(手順1) 予備データの準備

群分けをする。1組に含ませるデータの数通常4～5個がよい。比較的最近のデータを集め、合理的な群(1組)に分ける。

具体的には時間を追って生産している場合は時間ごと、午前、午後、交替ごと、日、週など、道路工事、河川工事の場合起点からの距離、測点No.ごとなど、その特性が大体似ている範囲を群とする。

(手順2) 平均値 $\bar{x}$ の計算

群ごとの平均値 $\bar{x}$ を計算する。一般に平均値の桁数はデータの桁数より1桁下までに丸める。

(手順3) 範囲 R の計算

群ごとに最大値と最小値の差を計算する。

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

(手順4) 総平均 $\bar{\bar{x}}$ の平均

群ごとの平均値 $\bar{x}$ を更に群数(組数)で割って全体の総平均を計算する。

$$\bar{\bar{x}} = (\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \cdots + \bar{x}_n) / K \quad K \cdots \cdots \text{組数}$$

(手順5) 範囲の平均 $\bar{R}$ (アールバー) の計算

群ごとの R を更に群数(組数)で割って $\bar{R}$ を計算する。

(手順6) 管理線の計算

1) $\bar{x}$ 管理図

$$\text{中心線} \quad C L = \bar{\bar{x}}$$

$$\text{上方管理限界線} \quad U C L = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{下方管理限界線} \quad L C L = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

A は群試数の大きさ n によって決まる定数で表-5に示す。

2) R 管理図

$$\text{中心線} \quad C L = \bar{R}$$

$$\text{上方管理限界線} \quad U C L = D_4 \bar{R}$$

$$\text{下方管理限界線} \quad L C L = D_3 \bar{R}$$

D_4 、 D_3 は群試料の大きさ n によって決まる定数で表-5に示す。

D_3 は $n \leq 6$ では考えない。

表－5 品質管理係数の一部

n	A_2	D_3	D_4	E_2
2	1.880	—	3.267	2.660
3	1.023	—	2.575	1.772
4	0.729	—	2.282	1.457
5	0.577	—	2.115	1.290
6	0.483	—	2.004	1.184
7	0.419	0.076	1.924	1.109
8	0.373	0.136	1.864	1.054
9	0.337	0.184	1.816	1.010

(手順7) 管理図の記入

- 1) $\bar{x}$ 管理図を上部に R 管理図を下部に配置し群番号をそろえて対照できるようにする。品質特性、測定単位、工事名、管理図番号などの必要関係事項を記入する。
- 2) $\bar{x}$ 管理図、 R 管理図の左側にそれぞれ $\bar{x}$ 、 R を記入する。
- 3) $\bar{x}$ 管理図の左上に試料の大きさ n を記入する。
- 4) 管理線の記入の仕方は次のようにするとはっきりする。

予備データの時

中心線は実線 —————

限界線は破線 - - - - -

予備データの最後の組番号まで引く。管理線の延長は予備データによる管理線と区別するため中心線は実線で書くが限界線は、1点鎖線 - · - · - · - · - · - で書く。

- 5) 点の記入は、はっきり大きめにする。
- 6) 打点した点は番組号順に細い実線で結ぶ。
- 7) 予備データの最後の組のあとに締切線を引いて、どこまでが予備データであるかを明確にする。

(手順8) 安定状態の判定

打点した $\bar{x}$ 、 R がそれぞれ管理限界内でクセがなければ、安定状態であると判定し、もし限界外に打点されれば、その点について原因を調査し原因を除去し再発を防ぐ。安定状態であれば**手順10**にうつる。

(手順9) 管理線の再計算

手順8で処置ができれば、その点を除いて管理線の再計算を行い管理線の中心線、管理限界線を引き直す。

限界線に打点された点でも原因がわからない、わかっても処置ができなければその点は除かないで再計算に用いる。

(手順10) 規格に対する検討

以上の手順で管理線の計算に用いた個々のデータ全部を使ってヒストグラ

ムをつくり規格と比較検討をする。

(手順 11) 管理限界線の決定

品質特性が十分なユトリをもって規格を満足し、しかも安定状態にあることがわかったら管理限界線を延長して、工程に対して当分の間の管理限界とし、この状態を維持するように管理する。

さて以上の手順で $\bar{x}-R$ 管理図は作れるが、建設現場のように予備データをとることが困難な場合は本工事データを用い、次のような方式で管理する。

最初の 5 組で次の 5 組を管理し、それまでの 10 組のデータで次の 10 組を管理し、それまでの 20 組のデータで 20～30 組を管理し、その後は最近の 20～30 組のデータにより次の 20～30 組を管理する。

このような方式 20～30 組をとるまでに工事が終わってしまうような組合せでも適用できる。これを 5－5－10－20 方式という。

(2) $\bar{x}-R$ 管理図の事例

次のデータを用い $\bar{x}-R$ 管理図を作る。

月 日	測定値				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
6 / 6 午前	36	34	36		
	39	35	36		
6 / 7 午前	35	38	37		
	33	35	35		
6 / 8 午前	37	33	35		

(手順 1) 予備データを組分けする。

(手順 2) $\bar{x}$ の計算

6 / 6 日 午前 $(36+34+36) / 3 = 35.3$

午後 $(39+35+36) / 3 = 36.7$

6 / 7 日 午前 $(35+38+37) / 3 = 36.7$

午後 $(33+35+35) / 3 = 34.3$

6 / 8 日 午前 $(37+33+35) / 3 = 35.0$

(手順 3) R の計算

6 / 6 日 午前 $36-34=2$

午後 $39-35=4$

6 / 7 日 午前 $38-35=3$

午後 $35-33=2$

6 / 8 日 午前 $37-33=4$

(手順 4) $\bar{\bar{x}}$ の計算

$(35.3+36.7+36.7+34.3+35.0) / 5 = 35.6$

(手順5) $\bar{R}$ の計算

$$(2 + 4 + 3 + 2 + 4) / 5 = 3.0$$

(手順6) 管理線の計算

1) $\bar{x}$ 管理図

中心線 $CL = \bar{\bar{x}} = 35.6$

上方管理限界線 $UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 35.6 + 1.023 \times 3.0 = 38.7$

下方管理限界線 $LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 35.6 - 1.023 \times 3.0 = 32.5$

A_2 は表-5より求める。

2) R 管理図

中心線 $CL = \bar{R} = 3.0$

上方管理限界線 $UCL = D_4 \bar{R} = 2.575 \times 3.0 = 7.7$

下方管理限界線 $LCL =$ 考えない。

(手順7) 用紙を準備し記入

(手順8) 安定状態の判定

すべての点が管理限界線内で安定状態といえる。

(手順9) 規格に対する検討

(手順10) 管理限界線の決定

5組の全データを用い規格の検討をするが、前に述べたヒストグラムによる判定および規格値に対するユトリの計算を行い満足な状態であれば次の5点の管理線としてこのまま用いる。

以後5-5-10-20方式を用いる。

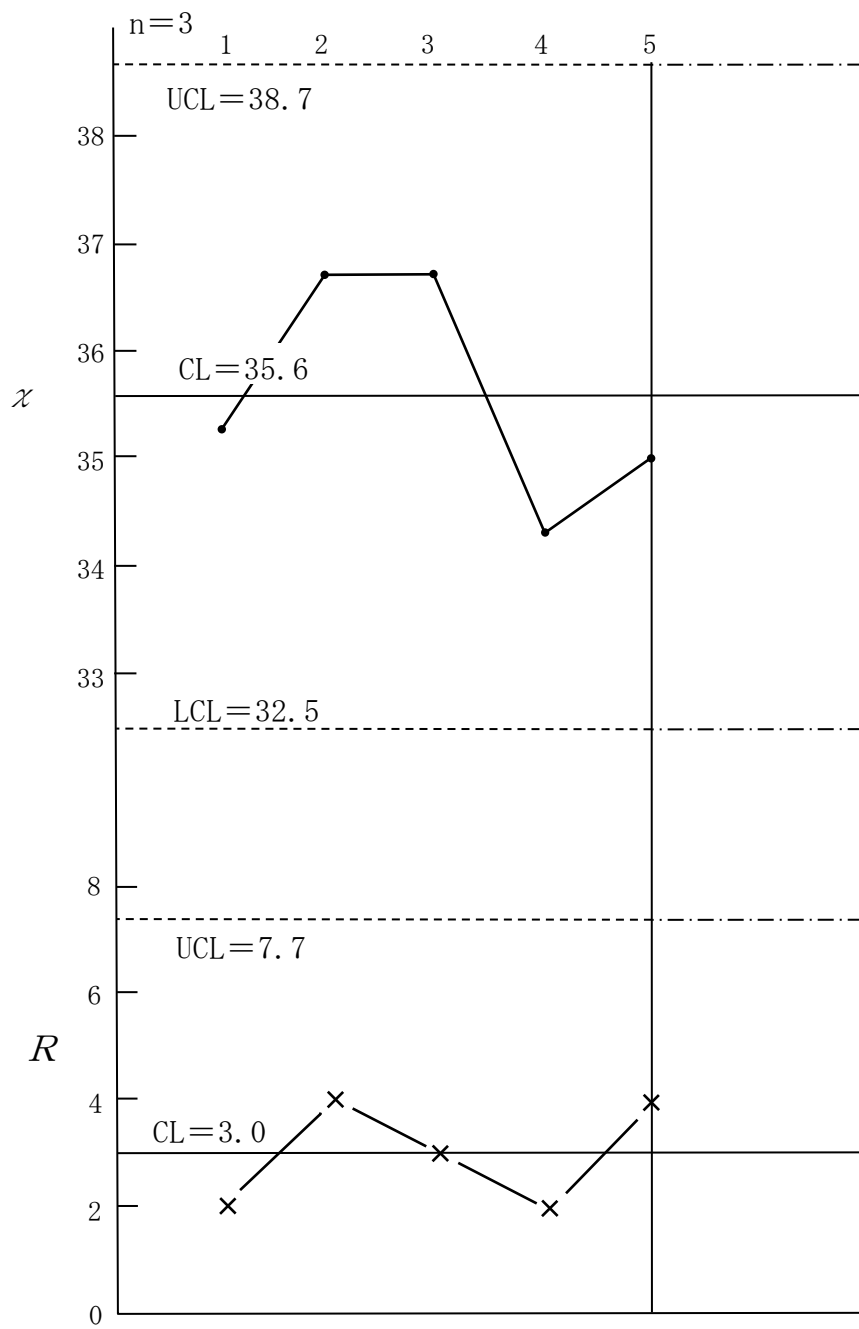


図-11 最初の5組の $\bar{x}-R$ 管理図

6. 2. 2 $\bar{x}-R_s-R_m$ 管理図

個々のデータをそのまま時間的順序に並べて管理していくもので1点管理図ともいう。データが一つあれば直ちに打点できるので工程の状態を早く判定できる。したがって早く処置がとれる特徴がある。また1個のデータをとるのに時間がかかる場合、または試験に多額の費用がかかる場合などのとき便利である。ここで R_s とは相隣る値の差の絶対値で、 $\bar{x}-R_s$ 管理図として用いるのが普通である。

また試験誤差も同時に知りたいときは R_m を用いて $\bar{x}-R_s-R_m$ 管理図とする。

(1) $\bar{x}-R_s-R_m$ 管理図の作り方

$\bar{x}-R_s-R_m$ 管理図の作り方の手順は、ほぼ $\bar{x}-R$ 管理図と同様である。

(手順1) 予備データの準備

5個以上のデータを準備するとよい。ただしコンクリートの強度のように同一バッチから同時に2～3個の供試体をとるような場合には、その平均値をデータ1個とする。

(手順2) 平均値 $\bar{x}$ の計算

x_1 …………第1番目のデータ
 x_2 …………第2番目のデータ
 x_k …………第k番目のデータ
 k …………測定値の和

(手順3) 移動範囲 R_s の計算

相隣る2つのデータの差の絶対値、移動範囲 R_s を計算する。

(手順4) 試験誤差 R_m の計算

同一バッチのデータの最大値と最小値の差を求める。

(手順5) $\bar{R}_s$ 、 $\bar{R}_m$ の計算

$$\bar{R}_s = \frac{\sum R_s}{k-1} \quad \bar{R}_m = \frac{\sum R_m}{k}$$

(手順6) 管理線の計算

$\bar{x}$ 管理図

$$\text{中心線} \quad C L = \bar{\bar{x}}$$

$$\text{上方管理限界線} \quad U C L = \bar{\bar{x}} + E_2 \bar{R}_s$$

$$\text{下方管理限界線} \quad L C L = \bar{\bar{x}} - E_2 \bar{R}_s$$

(注意) E_2 は $n=2$ に対応したものとする。

R_s 管理図

$$\text{中心線} \quad C L = \bar{R}_s$$

$$\text{上方管理限界線} \quad U C L = D_4 \bar{R}_s$$

$$\text{下方管理限界線} \quad L C L = \text{考えない}$$

R_m 管理図

$$\text{中心線} \quad C L = \bar{R}_m$$

$$\text{上方管理限界線} \quad U C L = D_4 \bar{R}_m$$

$$\text{下方管理限界線} \quad L C L = D_3 \bar{R}_m$$

(注意) D_3 、 D_4 は n に対応したものとする。

(手順 7) 管理図の記入

$\bar{x}-R$ 管理図の要領と同じ。

(手順 8) 安定状態の判定

(手順 9) 管理線の再計算

(手順 10) 管理限界線の決定

以上前述した $\bar{x}-R$ 管理図のときに準じて行う。建設工事の場合のように予備データをとることが困難な場合には本工事のデータを用いる。

最初の 5 個のデータを用い次の 3 個を管理し、それまでの 8 個で次の 5 個を管理し、いままでの 13 個のデータ全部を用いて次の 7 個の管理をし、管理状態を示せばいままでに得た 20 個のデータを全部用いて次の 10 個に対して管理をする。30 個のデータが得られたら、そのうち最近の 20 個を用いて次の 10 個の管理をする。ここで管理するということは管理限界線の引き直しを意味する。

すなわち $\bar{x}-R_s-R_m$ 管理図を用いるときは 5-3-5-7 方式を使う。

(2) $\bar{x}-R_s-R_m$ 管理図の事例

次のデータを用いて $\bar{x}-R_s-R_m$ 管理図を作る。

月 日	測定値				$\bar{x}$
	a	b	c	d	
6 / 6	187	192	187		187.7
7	215	209	215		213.0
8	221	221	215		219.0
9	187	187	198		190.7
10	209	204	204		205.7

(手順 1) 現場から 1 バッチ 3 個 (供試体) のデータを得た。代表値として $\bar{x}$ を求める。

(手順 2) $\bar{\bar{x}}$ の計算

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum \bar{x}}{k} = \frac{188.7 + 213.0 + 219.0 + 190.7 + 205.7}{5} = 203.4$$

(手順 3) R_s の計算

6 / 6 日と 6 / 7 日の $\bar{x}$ の差及び 6 / 7 日と 6 / 8 日の差と次々に差をとる。

$$6 / 6 \text{ 日と } 6 / 7 \text{ 日} \quad | 188.7 - 213.0 | = 24.3$$

$$6 / 7 \text{ 日と } 6 / 8 \text{ 日} \quad | 213.0 - 219.0 | = 6.0$$

$$6 / 7 \text{ 日と } 6 / 9 \text{ 日} \quad | 219.0 - 190.7 | = 28.3$$

$$6 / 9 \text{ 日と } 6 / 10 \text{ 日} \quad | 190.7 - 205.7 | = 15.0$$

(手順4) R_m の計算

a、b、c の範囲を求める。

$$6/6 \text{ 日} \quad 192 - 187 = 5$$

$$6/7 \text{ 日} \quad 215 - 209 = 6$$

$$6/8 \text{ 日} \quad 221 - 215 = 6$$

$$6/9 \text{ 日} \quad 198 - 187 = 11$$

$$6/10 \text{ 日} \quad 209 - 204 = 5$$

(手順5) $\bar{R}_s$ と $\bar{R}_m$ の計算

$$\bar{R}_s = \frac{\sum R_s}{k-1} = \frac{24.3+6.0+28.3+15.0}{4} = 18.4$$

$$\bar{R}_m = \frac{\sum R_m}{k} = \frac{5+6+6+11+5}{5} = 6.6$$

(手順6) 管理線の計算

$\bar{x}$ 管理図

$$\text{中心線} \quad C L = \bar{\bar{x}} = 203.4$$

$$\text{上方管理限界線} \quad U C L = \bar{\bar{x}} + 2.660 \bar{R}_s = 203.4 + 2.660 \times 18.4 = 252.3$$

$$\text{下方管理限界線} \quad L C L = \bar{\bar{x}} - 2.660 \bar{R}_s = 203.4 - 2.660 \times 18.4 = 154.5$$

R_s 管理図

$$\text{中心線} \quad C L = \bar{\bar{R}}_s = 18.4$$

$$\text{上方管理限界線} \quad U C L = D_4 \bar{\bar{R}}_s = 3.27 \times 18.4 = 60.2$$

$$\text{下方管理限界線} \quad L C L = \text{考えない}$$

ここで D_3 、 D_4 は品質管理計数で試料の大きさ n による定数で表-5による。

(手順7) 打点

(手順8) 安定状態の判定

すべての点が管理限界線の中に入ってクセがないので安定状態である。

(手順9) 管理線の再計算

安定状態なので次の手順に進む。

(手順10) 規格に対する検討

規格に対する検討を前述したヒストグラムによる判定、規格値に対するユトリの計算法を用いて検討する。なお工程能力図による規格チェックを同時に進めておくと便利である。

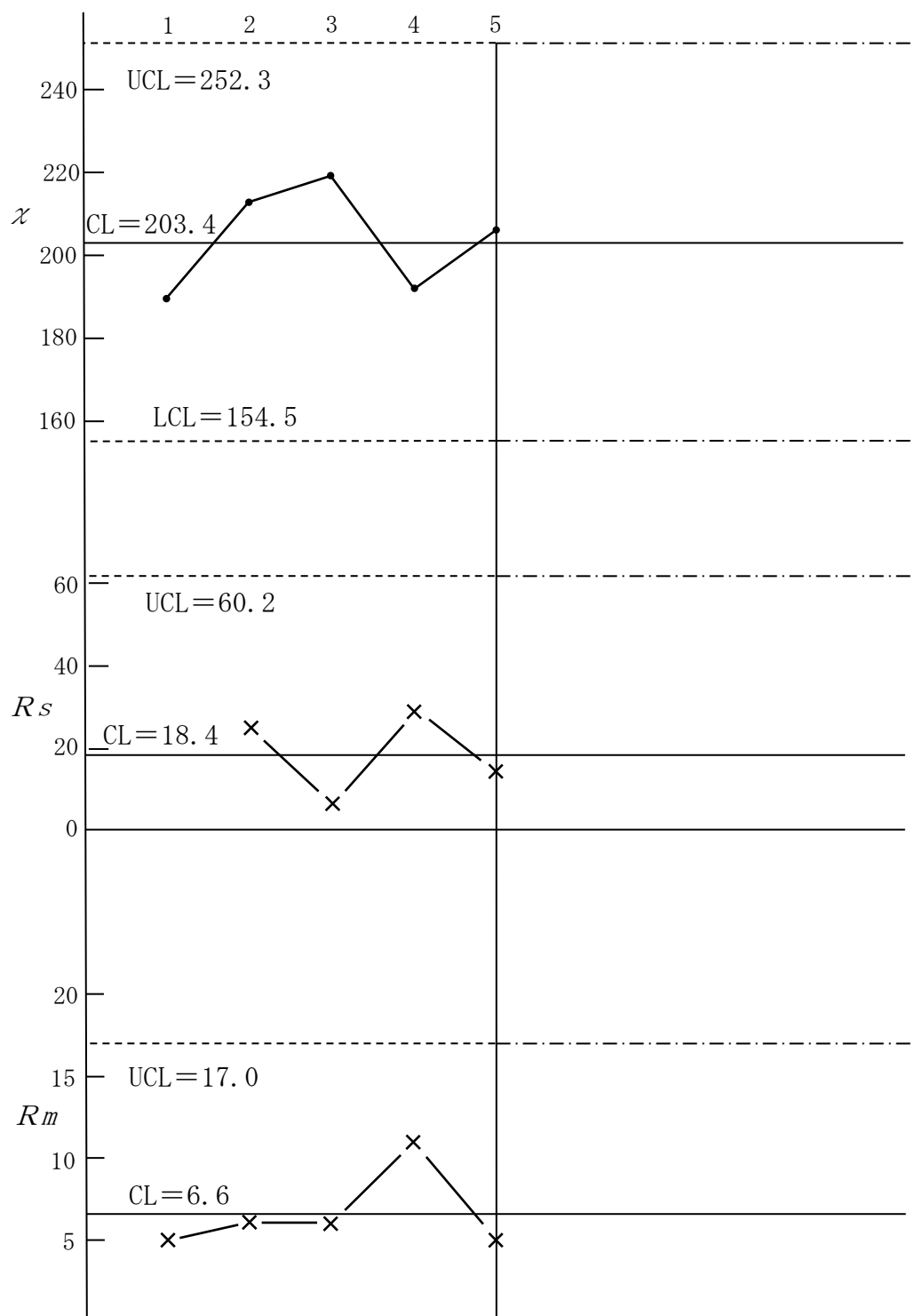


図-12 最初の5組の $X-R_s-R_m$ 管理図

6. 3 管理図の事例

表－6 $\bar{x}-R$ 管理データシート

名 称		密粒度アスファルトコンクリート					工事名		道路舗装工事			
品質特性		混合物温度		事務所名					期間	自	年 月 日	
										至	年 月 日	
測定単位		℃		日標準量		146t/日			請負者			
規格 限界	上限値	180		試 料	大 き さ	1 回 1 測定			現場代理人			
	下限値	140			間 隔	1 日 6 回 (1 時間ごと)			測定者			
設計基準値		指定 160		作業機械名		40t/h 全自動プラント			測定者			
月 日	組の 番号	測定値					計	平均	範囲	$\overline{\overline{\chi}} \pm A_2 \overline{R} = 157 \pm 10 = 167 \sim 147$ $\overline{D_4 R} = 2.57 \times 9.6 \div 24.7$		
		χ_1	χ_2	χ_3	χ_4	χ_5	$\Sigma \chi$	値 χ	R			
6. 8	1	154	156	156			466	155	2	$\overline{\overline{\chi}} \pm A_2 \overline{R} = 159 \pm 10 = 169 \sim 149$ $\overline{D_4 R} = 2.57 \times 9.4 \div 24.2$		
9	2	156	148	160			464	155	12			
9	3	160	156	168			484	161	12		$\overline{\chi}$	R
10	4	150	164	158			472	157	14	平 均	$\overline{\overline{\chi}} = 157$	R = 9. 6
10	5	162	160	154			476	159	8	累 計	787	48
	小計							787	48	小 計	787	48
11	6	158	152	162			472	472	157	$\overline{\overline{\chi}} \pm A_2 \overline{R} = 159 \pm 9 = 168 \sim 150$ $\overline{D_4 R} = 2.57 \times 9.3 \div 23.9$		
11	7	158	164	166			488	163	8			
13	8	146	160	162			468	156	16			
14	9	156	158	160			474	158	4	平 均	$\overline{\overline{\chi}} = 159$	$\overline{R} = 9. 4$
14	10	164	166	172			502	167	8	累 計	1, 588	94
	小計							801	46	小 計	801	46
15	11	158	164	160			482	161	6	$\overline{\overline{\chi}} \pm A_2 \overline{R} = 159 \pm 9 = 168 \sim 150$ $\overline{D_4 R} = 2.57 \times 9.3 \div 23.9$		
15	12	162	166	154			482	161	12			
18	13	148	160	158			466	155	12			
18	14	158	168	164			490	163	10			
19	15	164	152	158			474	158	12			
19	16	162	148	156			466	155	14			
20	17	158	170	162			490	163	12			
20	18	156	162	160			478	159	6			
21	19	166	164	162			492	164	4	平 均	$\overline{\overline{\chi}} = 159$	$\overline{R} = 9. 3$
21	20	158	162	160			480	160	4	累 計	3, 187	186
	小計							1599	92	小 計	1, 599	92
記 事									n	d ₂	A ₂	D ₄
									2	1. 13	1. 88	3. 27
									3	1. 69	1. 02	2. 57
									4	2. 33	0. 58	2. 11
									5	2. 33	0. 58	2. 11

- (注) 1. 規格限界、設計基準値は設計図書、仕様書に定められた値を記入する。
2. 管理限界線の引き直しは5－5－10－20方式による。

$\bar{x}-R$ では、アスファルト舗装工事の混合物温度を1時間ごとに測定し群の大きさを3個として管理したものである。

$\bar{x}-Rs-Rm$ 管理図は、コンクリートの圧縮強度を1日1回同一バッチから3個の試料をとり3個の平均値を一つの $\bar{x}$ として管理したものである。なお試験誤差の管理も併せて行ったものである。

設計基準値	160	工事名	道路舗装工事		事務所名	
名 称	密粒度アスコン	日標準量	146t/日		期間	自 年 月 日
品質・特性	混合物温度	規格	上限値	180		至 年 月 日
測定単位	℃	限界	下限値	140	請負者	
測定方法	自己装置	試料	大きさ	1回1測定	現場代理人	
作業機械名	40t/h 全自動プラント		間 隔	1日6回	測定者	

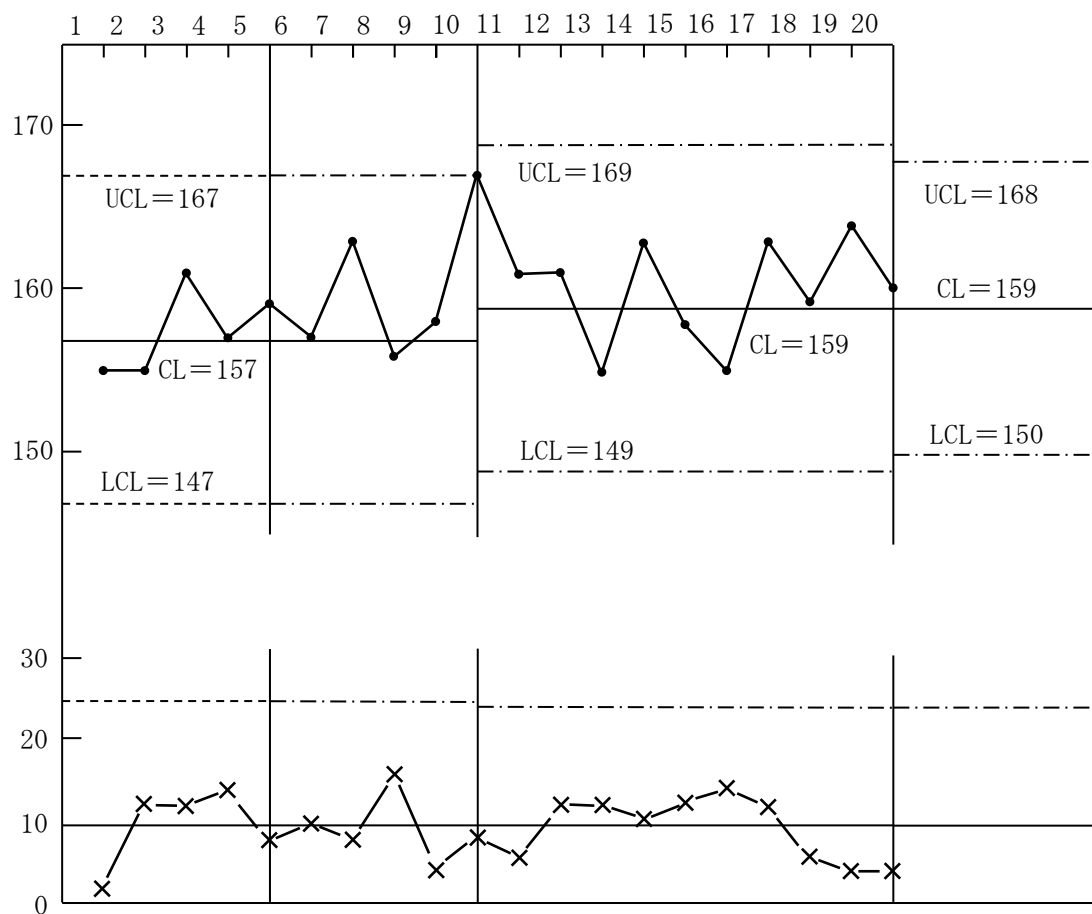


図-13 $\bar{x}-R$ 管理図

表－7 $\chi-Rs-Rm$ 管理データシート

名 称		コンクリート				工事名		道路舗装工事		期間	自	年 月 日	
品質・特性		圧縮強度 σ 28				事務所名		出張所			至	年 月 日	
測定単位		kg/cm ²				目標準量		21 m ² /日		請負者			
規格 限界	上限値					試 料	大 小 さ	1 回 3 試料		現場代理人			
	下限値						間 隔	1 日 1 回		測定者			
設計基準		180				作業機械		10 切可傾式ミキサー		測定者			
月 日	試験 番号	測定値				計 Σ	代表値 χ	移動 範囲 Rs	測定値 内の範 囲 Rm	χ ± E ₂ Rs = 203.4 ± 48.9 = 154.5 - 252.3 D ₄ Rs = 3.27 × 18.4 = 60.2 D ₄ Rm = 2.57 × 6.6 = 17.0			
		a	b	c	d								
4. 12	1	187	192	187		566	188.7		5				
13	2	215	209	215		639	213.0	24.3	6				
14	3	221	221	215		657	219.0	6.0	6				
15	4	187	187	198		572	190.7	28.3	11	平均	χ = 203.4	Rs = 18.4	Rm = 6.6
16	5	209	204	204		617	205.7	15.0	5	累計	1,017.1	73.6	33
	小計						1,017.1	73.6	33	小計	1,017.1	73.6	33
19	6	181	192	187		560	186.7	19.0	11	χ ± E ₂ Rs = 201.8 ± 59.3 = 142.5 - 261.1 D ₄ Rs = 72.9 D ₄ Rm = 25.2			
20	7	226	226	209		661	220.3	33.6	17				
22	8	181	192	198		571	190.3	30.0	17	平均	χ = 201.8	Rs = 22.3	Rm = 9.8
	小計						597.3	82.6	45	累計	1614.4	156.2	78
23	9	221	215	215		651	217.0	26.7	6	小計	597.3	82.6	45
24	10	192	187	181		560	186.7	30.3	11	χ ± E ₂ Rs = 200.8 ± 55.6 = 145.2 ~ 256.4 D ₄ Rs = 68.3 D ₄ Rm = 24.4			
26	11	204	209	209		622	207.3	20.6	5				
27	12	187	204	192		583	194.3	13.0	17				
28	13	187	192	193		572	190.7	3.6	6	平均	χ = 200.8	Rs = 20.9	Rm = 9.5
	小計						996.0	94.2	45	累計	2610.4	250.4	123
29	14	226	232	215		673	224.3	33.6	17	小計	996.0	94.2	45
30	15	198	198	187		583	194.3	30.0	11	χ ± E ₂ Rs = 203.1 ± 60.9 = 142.2 ~ 264.0 D ₄ Rs = 74.9 D ₄ Rm = 26.7			
5. 3	16	215	221	221		657	219.0	24.7	6				
4	17	187	192	204		583	194.3	24.7	17				
5	18	204	215	215		534	211.3	17.0	11	平均	χ = 203.1	Rs = 22.9	Rm = 10.4
6	19	181	192	192		565	188.3	23.0	11	累計	4062.6	435.8	207
7	20	226	221	215		662	220.7	32.4	11	小計	1452.2	185.4	84
	小計						1,452.2	185.4	84	n	d ₂	D ₄	E ₂
記 事										2	1.13	3.27	2.66
										3	1.69	2.57	1.77
										4	2.06	2.28	1.46
										5	2.33	2.11	1.29

設計基準値	180	工事名	道路舗装工事	事務所名	
名 称	コンクリート	目標準量	21 m ³	期間	自 年 月 日
品質・特性	圧縮強度	規格	上限値		至 年 月 日
測定単位	kg/cm ³	限界	下限値	請負者	
測定方法	径 15cm 供試体	試料	大きさ	1 回 3 試料	現場代理人
作業機械名	10 切可搬式ミキサー		間 隔	1 日 1 回	測定者

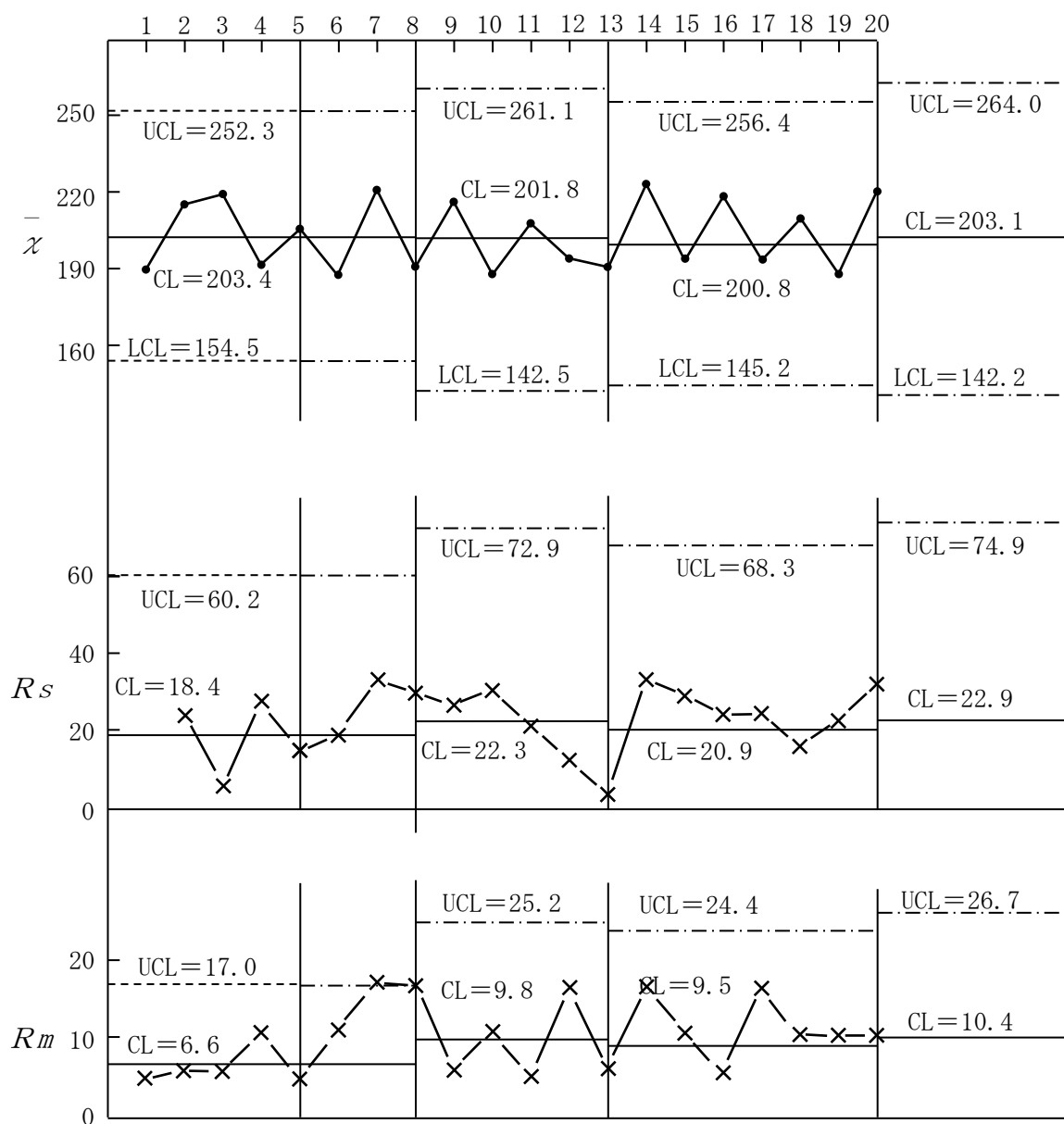


図-14 $\bar{x} - R_s - R_m$ 管理図

6. 4 管理図の見方

管理図には、管理線として中心線が引かれている。中心線は中心的傾向、たとえば平均値を示す線であり、管理限界線は偶然原因による変動か異常原因による変動かをはっきり職別するための基準である。この3本の管理線によって現在の工程の状況を判断するのである。

管理図における点は、ある一つの群の性質、分布の姿を表わしている。たとえば $\bar{x}$ -R 管理図における $\bar{x}$ 管理図の点は、その群の平均的傾向を、すなわちその分布の位置を表わし、R 管理図の点はその群のバラツキを表わしている。

管理図には、このようなバラツキをもった点が次々と時間的順序に打点され、その工程の異常か否かを統計的に判断し、工程に対して処置をとるものである。

したがって管理図を見る場合に、その点あるいはいくつかの連続した点を示す意味を十分検討して判定しなければならない。

(1) 工程が安定している状態

次のような条件を満足しているときは安定状態といえる。

安定状態の条件

- 1) 点が管理限界線内の中にはいつている。
- 2) 点の並び方にクセがない。

また次のような状態のときは、工程が安定状態であるとみて、そのまま管理線を延長し次の工程の管理に用いてよい。

工程が安定している状態

- 1) 点が連続 25 点以上管理限界内にあるとき。
- 2) 連続 35 点中限界外に出るものが 1 点以内のとき。
- 3) 連続 100 点中限界外に出るものあ 2 点以内のときで、点の並び方にクセがない場合。

(2) 工程が安定していない状態

- 1) 点が管理限界外（または線上）にあるとき。
- 2) 点が管理限界内にあるが、その並び方にクセがあるとき。

(3) 点の並び方のクセ

i) 連（れん）点が中心線の片側に連続してあらわれる場合。

- 5 点以上並んだ時（5 の連）要注意。
- 6 点以上並んだ時（6 の連）原因調査。
- 7 点以上並んだ時（7 の連）処置をとる。

連続 11 点中 10 点、14 点中 12 点、17 点中 14 点並んだ時も異常と判断する。

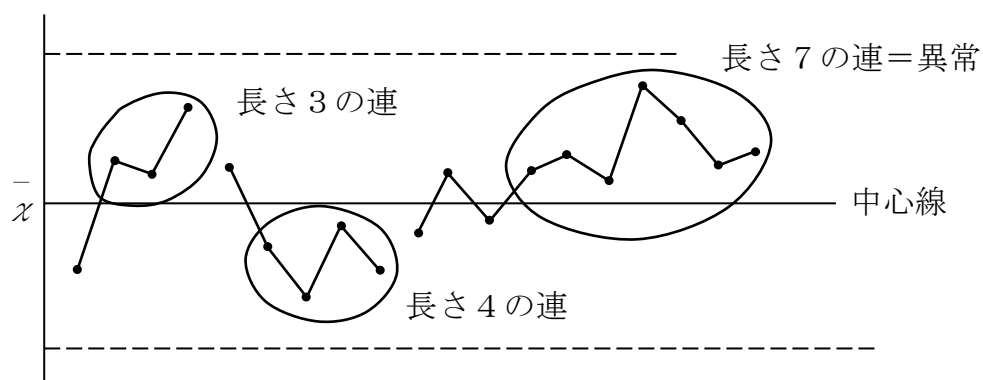


図-15 連

- ii) 点が上昇または下降の状態を示す場合
 連続して7点以上が図-16を示すとき。

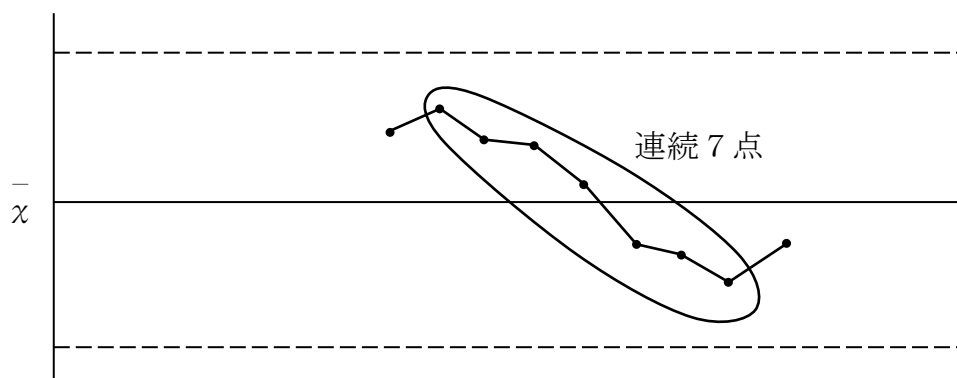


図-16 上昇または下降

- iii) 周期的な変動を示す場合 周期性には、明確な判定基準はないが、周期性あれば、点が管理限界の外に出たり、局部的に連の傾向として異常である場合が多い。

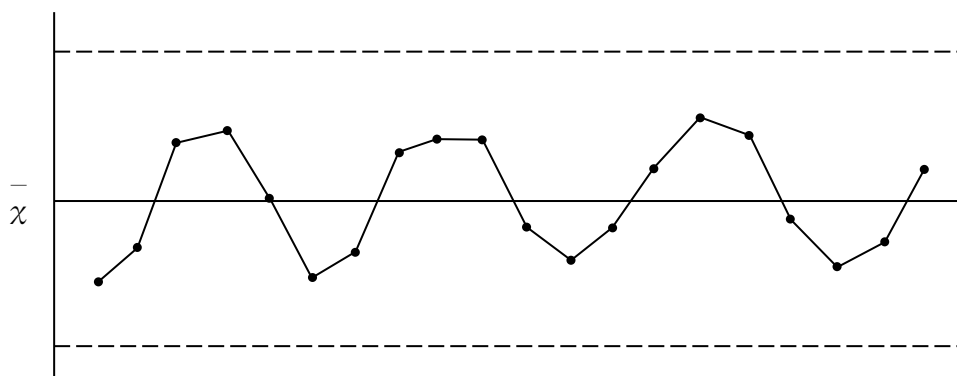


図-17 周期性

(注) 管理図の管理限界として、JIS では 3 シグマ法が採用されている。

この方法は、アメリカのベル研究所のシューハートの創案によるもので、現在ほとんどの国で規格として使われており、日本でも JIS Z 9021「管理図法」として規定されている。

管理限界を $\bar{\chi} = \pm 3\sqrt{V}/\sqrt{n}$ で与えている。

χ の管理限界

$$\bar{\chi} = \pm 3\sqrt{V}/\sqrt{n} = \bar{\chi} \pm 3 \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$A_2 = 3/\sqrt{n} \cdot d_2 \text{ とする}$$

$$\boxed{\bar{\chi} \pm A_2 \bar{R}}$$

R の管理限界

$$\bar{R} \pm 3D(R) = \bar{R} \pm 3 \frac{d_3}{d_2} \bar{R}$$

$$= (1 \pm 3 \frac{d_3}{d_2}) \bar{R}$$

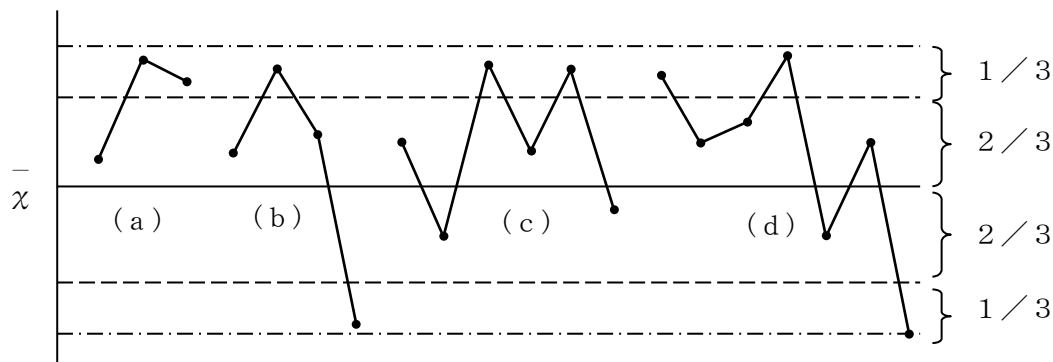
$$1 + 3 \frac{d_3}{d_2} = D_4, \quad 1 - 3 \frac{d_3}{d_2} = D_3 \quad \text{とすれば}$$

それぞれ $\boxed{D_4 \bar{R}} \quad \boxed{D_3 \bar{R}}$ となる。

品質管理は基本的には、統計的手法に基づいているが、実際の施工に当たってはこのような統計数理を必ずしも熟知する必要はない。品質管理の方法についてその原理的な考え方を理解し、その活用を誤らないように注意することが大切であり、JIS の方法は計算も簡便化してあり、誰にでも使えるようにできている。

n	d_2	d_3	A_2	D_4	D_3
2	1.128	0.853	1.880	3.267	—
3	1.693	0.888	1.023	2.575	—
4	2.059	0.880	0.729	2.282	—
5	2.326	0.864	0.577	2.115	—
6	2.534	0.848	0.483	2.004	—
7	2.704	0.833	0.419	1.924	0.076
8	2.847	0.820	0.373	1.864	0.136
9	2.970	0.808	0.337	1.816	0.184
10	3.078	0.797	0.308	1.777	0.223
∞			$\frac{3}{\sqrt{nd_2}}$	$1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$	$1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$

- iv) 点が管理限界線に接近してあらわれる場合 連続3点中2点、連続7点中3点、連続10点中5点が2シグマをとび出していれば異常と判断する。



図－18 管理限界線への接近

- v) 点が中心線へ接近してあらわれる場合 $\bar{x}$ 管理図の点の大部分が中心線に接近して（管理限界の1/2の幅のなかに）あらわれる場合は工程に異常ありと判断する。

6. 5 原因の追求と処置

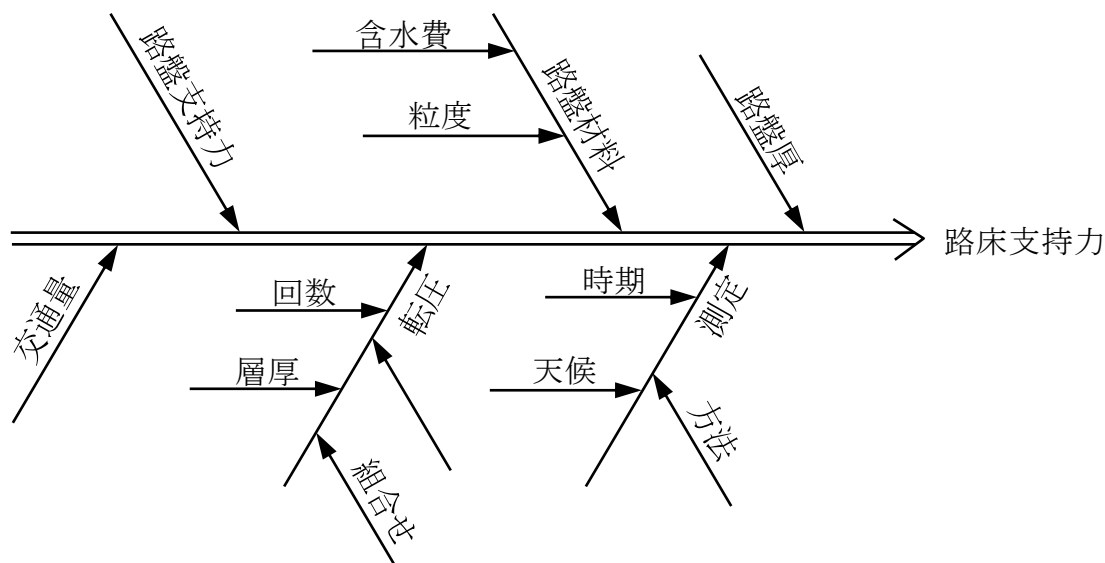
管理図に異常が認められたら次のような手順でその原因を追求し処置する。

(1) 原因の追求

(手順1) データのとり方、測定 of 仕方、計算方法、打点の仕方等に間違いはなかったかどうかを調べる。

(手順2) 技術的検討

技術的検討を行うには特性要因図を作り、順次異常原因についての技術的検討をする。



図－19 特性要因図の例

ここで特性要因図とは図－19 に示すように特性とそれに影響をおよぼす原因との相互関係を図示したもので、この図によりその工程の総体的な因果関係を整理することができ、重点的に工程の改善を進めて行くのに役立つし、管理する場合にも役立つものである。

特性要因図を使って技術的知識や過去からの経験から、工程に異常をもたらす原因について最もおこりやすいものから調べる。材料に異常はないが、作業が正しく行われていたかどうかを調べる。

以上のようにしてもその原因がわからないときは次のようにしてさらに原因の追求をする。

(手順3) 層別する。

層別とは、たとえばA、Bプラントを使用してコンクリートの打設を行った場合A、B別に分けることを層別するといい、このように別々にすると一方は安定しているが他方が異常を示す等原因の追求が容易になる。この方法には管理図の打点を条色別に色別してみるとか、別々に管理図をかくてみるとよい。

(手順4) 管理図の比較

最終製品の管理図と材料、施工条件などの因子の管理図とを比較し原因追求に利用する。

(手順5) 以上の手順をふんでも原因がわからないときは統計的に検討する。

平均値の差の検定、分散分析法などが効果的である。

(2) 処 置

原因がわかったら、その原因を取り除くだけでなく、将来再発しないように処置をとる。

たとえば、材料に原因があればそれを取りかえるだけでなく、今後もこのような材料が工程に入らないようにする。もし材料を試験しないで使用していたとすれば、材料試験の項目を作業標準に追加するなどの処置をとる。

処置にはいろいろの段階があり工程に異常原因をもたらす原因が作業標準を守らないことであつたら今後確実に守るようにしたり、作業標準が不備のためであつたら原因を確かめて作業標準を改めたり、根本的に改善する必要があるかなどいろいろの段階があるが、どの程度の処置を行ったらよいか技術的、経済的に考慮し決定しなければならない。