

## レデーミクストコンクリートの輸送時間管理に関する研究

鳥田 専 右

## § 1. 序—問題の提起

現在わが国の都市付近の建設工事に使用されているコンクリートは、その大部分がレデーミクストコンクリートであると言って過言でない。

レデーミクストコンクリートは、いろんな特質を持っているが、問題のひとつに、輸送時間に対する制約がある。

JISA 5308 (レデーミクストコンクリート)によると、

『…荷卸は、とくに購入者の許可がなければ、セメントと骨材に水を加えてから、またはセメントと骨材が接しよくしてから、1.5時間以内に完了しなければならない。暑い季節や、コンクリートが早く凝結しやすい場合は、購入者は1.5時間より少ない時間を指定することができる』

となっている。JISA 5308は ASTMの Ready-Mixed Concrete の直積的なものであるから、購入者の意志が支配的であるような表現になっているが、JASS 5(日本建築学会標準仕様書鉄筋コンクリート工事) 12.8(1)によると、

『コンクリートの練りませから打込みまでの時間は、JISA 5308(レデーミクストコンクリート)2.3.6に規定する時間の範囲内でワーカビリチーの変化などを考慮して定め、その時間内に打込みが終るようにする』となっている。

また、JASS 5.13.(水密コンクリート)5では『レデーミクストコンクリートを使用する場合、コンクリートの練りませ開始から打込みまでの時間は、できるだけ60分を越えないようにする』

とあり、JASS 8(防水工事)の中でも防水コンクリートの練りませ時間について、同様趣旨の規定がうたわれている。

これらの規定があるのは、長い時間練り混ぜたコンクリートについて、種々の欠陥が認められているからであ

ると考えられる。

筆者らの実験においても、練りませ時間は、ワーカビリチ、早期きれつ、鉄筋との付着性、またコールドジョイントの生成などの点で、コンクリートに有害な影響を与えることが認められている。

一方、このような問題についての対策として、いま現実に考えられることは、レデーミクストコンクリートを受け入れる際に、できればその全部について検査をすることであろう。しかし、

- (1) ワーカビリチに関する事項以外は、受け入れ時に検査する方法がない。
- (2) またワーカビリチについては、もともとコンクリートのその点でのバラツキが大きく、練りませ時間による効果としてこれを区別することがむずかしい。
- (3) さらに、実際問題として、全数検査を行なうことは非常に手数がかかって、常時これを期待することはできない。

などの理由から、コンクリートそのものについての検査によって、長い時間練りませたものを排除することはむずかしい。

それでは、運搬車毎に付いている送り状の打刻によって直接時間をチェックする方法はどうかというと、これにも不合理な点がある。

すなわち、練りませ開始から打ちこみまでの時間は、あとで示すように、運搬車の走行時間のほかに、現場での待ち時間と処理時間が加わる。

そして、待ち時間は平均してかなり大きく、またその変動も大きい。到着後止むを得ず待たされた上で、規定時間を超過したものを廃棄するということは、いかにも現実的でない。

また走行時間そのものについても、出発到着の両地点が定めれば自然にきまってくるものであって、生産者の責任に帰することは当を得ていない。この点では、JASS 5の40年度の改訂に当たって、施工者側でコンクリート工

場の選定などを考慮するという条文が加えられたことは意義がある。

以上考慮したところから見て、ここでわれわれの前にある問題は次のように要約されよう。

- (1) 輸送時間の実態はどのようであるか。それはいくつかの部分に分けられ、それぞれをある確率過程として把握することが望ましいと考えられるが、それはどんな形になっているのであろうか。
- (2) この問題に関連したさまざまな素因の間にどのような量的な関係があるか。言いかえれば、輸送時間について、われわれがこれをコントロールしようとするとき、自主的に動かさうどんな作用因子があるか。
- (3) 輸送時間にひとつの規定値が設けられるとき、個々の輸送車について、その結果からその可否を決めることは、先に述べたように不合理であるとするなら、あらかじめ不合格なものが出ないように計画しなければならない。輸送時間がある確率過

程として把握されたとするなら、規定値に対する許容不良率をきめて計画を行なうことになろうが、具体的にはどんな手続きになるのか。

そこで本報告は、このような問題に関して、実態の調査から始めて、観測値の解析、過程の数式化などを経て、輸送時間の管理の現実的なひとつの方法を提案したものである。

## § 2. 調査の方法

調査は、1964年10月から1965年1月までの間に、東京都内のレーダーミクストコンクリートを使用している建築工事現場18カ所を対象とした。(表-1 参照)

これらの工事において、その日に使用されたほぼ全運搬車(約 930 台)について、次の事項を調査した。

- (1) 発車時刻：レーダーミクストコンクリート工場で各運搬車の送り状に記入される工場出発時刻。これ

No.	現場名	レーダーミクスト コンクリート工場名	時	距 離 (km)	車 数 ( <sup>(1)</sup> 台)	コン クリ ト 量 (M <sup>3</sup> )	受 入 設 備		
							個 所 数	ホ ッ ク (M <sup>3</sup> )	エ レ ベ ー タ ー (M <sup>3</sup> )
1	イトーキ東京支社	小野田 晴 海	夜 朝	3.5	47	140	1	—	0.6
2	堤 地 所	住 友 池 袋	昼 夜	2.5	41	130	1	—	0.6
3	日 本 道 路	東 京 砂 町	昼	7	40	120	2	—	0.4
4	青戸朝日生命	江端 コンクリート	昼	2.5	27	80	1	—	0.4
5	第一銀行東大久保寮	東 京 砂 町	昼	14	52	155	1	3.0	0.6
6	アミノ酸	〃 〃	昼 夜	5	49	150	1	2.5	0.6
7	福島ビル	アサノ 深 川	夜	3	51	153	1	2.5	0.6
8	錦糸町ボーリング	上 陽 崎 玉	昼	6	52	155	1	—	0.6
9	吉祥寺住友信託	東 京 久 留 米	夜	12	38	114	2	—	0.4
10	三光ビル	〃 〃	昼 夜	7.6	59	180	1	3.0	0.6
11	茨沢倉庫	〃 砂 町	昼	6.5	93	280	2	3.0	0.6
12	〃	アサノ 深 川	昼	1.7	67	200	2	3.0	0.6
13	唐ガ崎電々公社	三 菱 大 和	昼	8	67	200	2	流しこみ	
14	〃	〃 〃	昼	8	71	220	2	〃	
15	日 本 道 路	東 京 砂 町	昼	7	40	120	2	—	0.4 (2)
16	日本女子大	日 立 戸 田 橋	昼 夜	12	42	125	1	—	0.4×2
17	N E T	小野田 晴 海	昼	7	33	100	1	2.5	0.6
18	後藤ビル	アサノ 田 端	昼	9	60	180	1	3.0	0.6

注) 1: 調査項目ごとに必ずしも等しくなく、最大値をとる。  
2: 1つの受入れ口にエレベーター2基を並べたもの。

表-1 調査現場の概要

は、工場で、コンクリートがチャージされる前後で、練りませ開始から見ると、1~2分の誤差はあるものと考えられるが、それを無視した。

- (2) 到着時刻：運搬車が、現場の待機場所へ到着した時刻
- (3) 荷卸開始時刻：
- (4) 荷卸終了時刻：

これらの時刻から、次の時間を計算した。

- (1) 発車間隔：
- (2) 到着間隔：
- (3) 走行時間：発車時刻から到着時刻まで
- (4) 待ち時間：到着時刻から荷卸開始まで。従って待機場所から受け口までの進入時間も含む。
- (5) 処理時間：運搬車1台毎のコンクリートの処理(場内小運搬および打ち込み)を、他の運搬車のものと分離して把握することが、実際上むずかしいので、ここではその車の荷卸開始から、次に待機している車の荷卸開始までの時間を、処理時間と見なした。すなわち前後の車を受け入れ場所で交換するには、通常2,3分を要しており、この間に前の車のコンクリートはほぼ打ち込みが完了しているからである。

引き続き待機している車がない場合は、この運搬車の入れ換えに要する時間の、その現場の平均値を、荷卸開始から完了までの時間に加えたものによった。

この入れ換え時間は、後続待機車がある車についての、その荷卸完了時刻から後続待機車の荷卸開始時刻までの時間である。

次にこの報告で使用する記号をまとめて示しておく。

- $m_a$  : 1現場での到着間隔の平均 (分)
- $m_r$  : " 走行時間の平均 (")
- $\sigma_r$  : " " 標準偏差 (")
- $m_w$  : " 待ち時間の平均 (")
- $m_s$  : " 処理時間の平均 (")
- $\sigma_s$  : " " 標準偏差 (")
- $m_d$  : " 施工者側手待ち時間の平均 (")
- $a(t)$  : 到着間隔の確率密度関数
- $E(a)=1/\lambda$  : " 期待値 (分)
- $r(t)$  : 走行時間の確率密度関数
- $E(a)=1/\nu$  : " 期待値 (分)
- $w(t)$  : 待ち時間の確率密度関数
- $E(w)=W$  : " 期待値 (分)
- $s(t)$  : 処理時間の確率密度関数
- $E(s)=1/\mu$  : " 期待値 (分)

### § 3. 調査の結果—各時間の分布性状

各現場ごと、なるべく全部の車について調査した。異なった工場から部分的に入ってくる車のある場合もあったが、もちろん走行時間の資料からは除外した。また事故によって、時間が乱された場合には、その事故によって影響された時間を修正して資料とした。

#### 3.1 発車時間と到着時間

運搬車の発車は、一応計画に基づいて、ある予定間隔によって行なわれるのであるが、もちろん等間隔にはならない。

その分布を見ると、短いものが多く、長くなるに従って急激に頻度が少なくなっている。従ってまた、到着間隔も同様の傾向をもっている。

ヒストグラムを図-1 (No. 1~18) に示すが、これを見ると、発車間隔よりも到着間隔の方が、ややなだらかな形をしている。

これは、その間に走行時間という一つの確率過程が入ることに原因があると思われる。

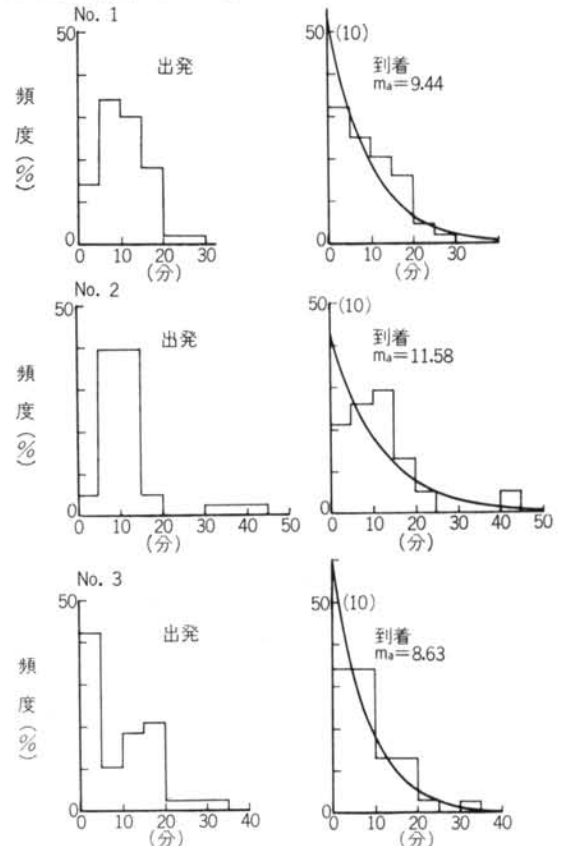
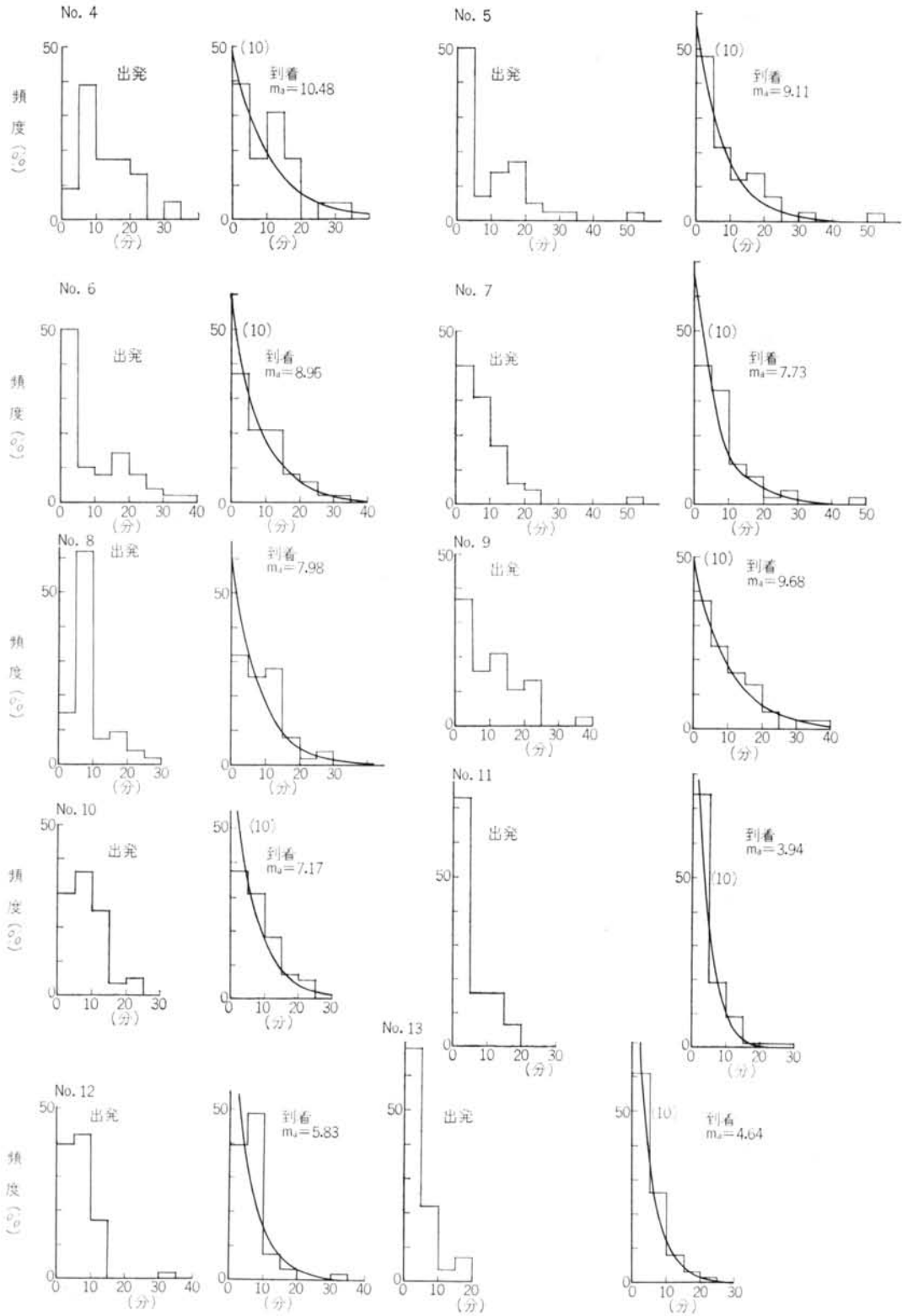


図-1 出発・到着間隔分布(No. 1~3)



図一1 出発・到着間隔分布(No. 4~13)

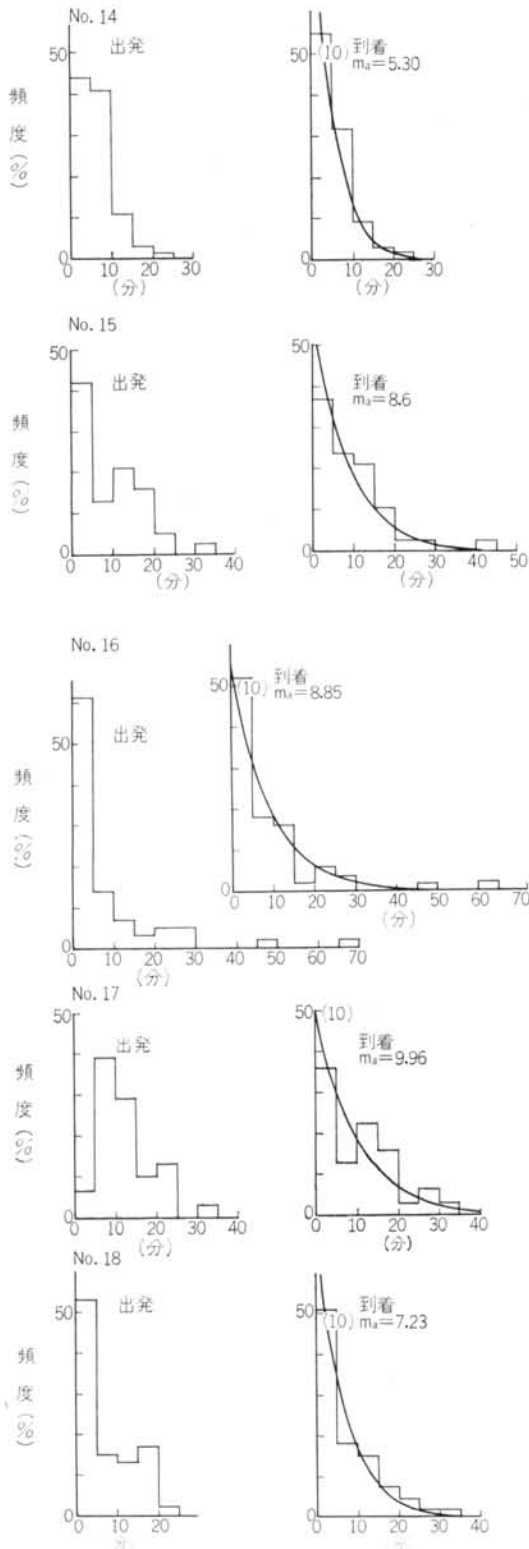


図-1 出発・到着間隔分布 (No. 14~18)

待ちせ理論によると、次の3条件を満足する到着はポアソン到着(単位時間内の到着単位数の分布が、ポアソン分布をなし、従って到着間隔は指数分布をする)となることが証明される。

- a. 定常性：同一時間間隔内に、ある単位数の到着のある確率はどこでも等しい。
- b. 残留効果のないこと：上の確率は、それまでに到着した単位数の数や時刻には関係がない。
- c. 稀少性：2以上の単位が同時に到着することはない。

この場合、上記3条件の内 a と c は満足されると考えられるが、b は満足されない。すなわちあとで述べるように、配車に人為的調節が行なわれるからである。にもかかわらず、到着間隔の分布は何れもかなり指数分布に近いものになっている。

いま、 $a(t) = \lambda e^{-\lambda t}$  .....(1)と表わす。

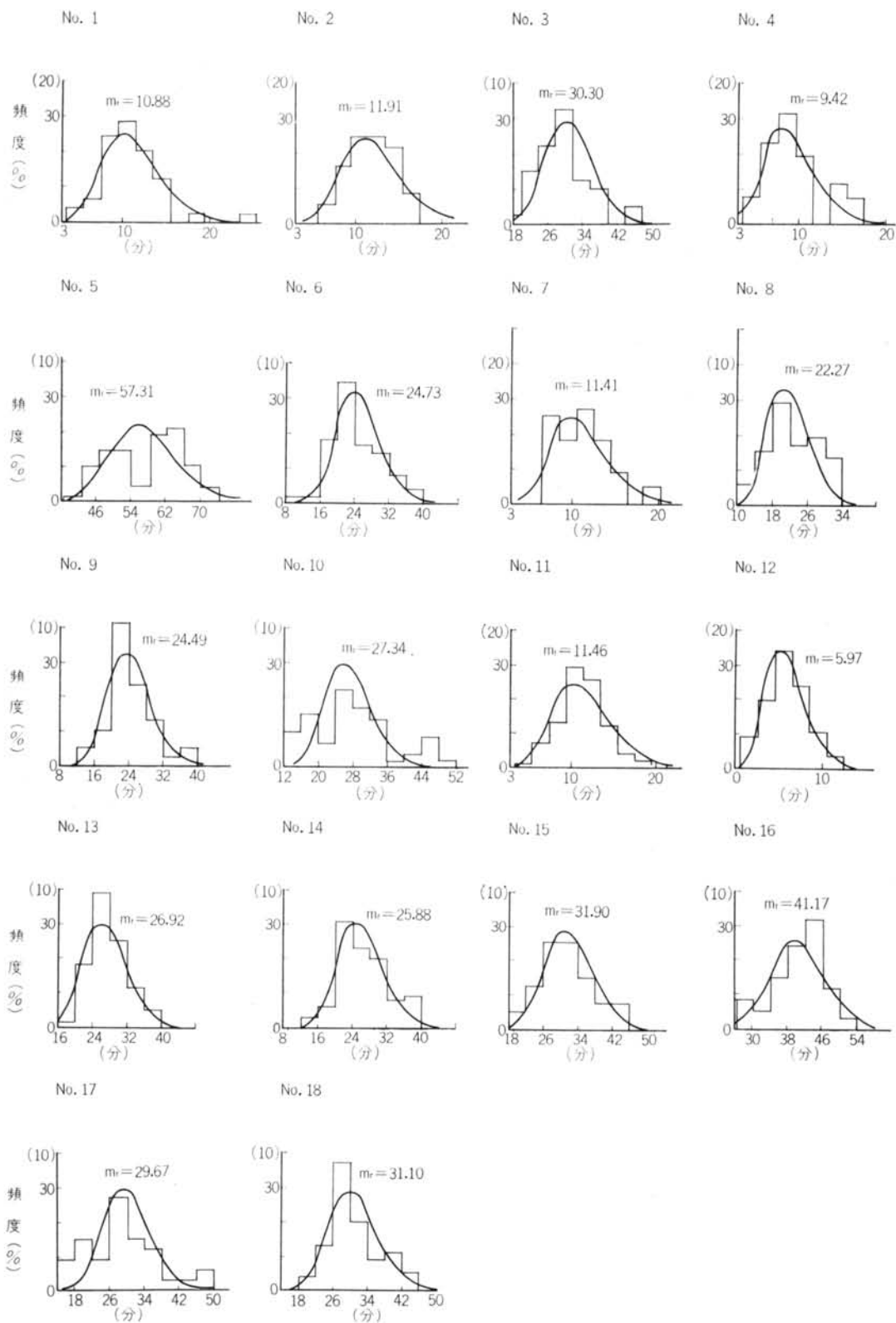
但しここに  $\lambda$  : 単位時間内の平均到着数、すなわち到着密度  
 $t$  : 時間(分)

これに対して、観測された到着間隔の分布が適合するか否かについて  $\chi^2$  検定を行なった結果を表-2 に示す。大部分がポアソン到着となっていることが分かる。

No.	試料数	自由度	$\chi^2$	比較した $\chi^2$	
				値	確率
1	47	4	1.618	1.649	0.8
2	38	3	12.14*	11.341	0.01
3	38	4	2.955	3.357	0.5
4	25	2	0.172	0.211	0.9
5	44	4	7.297	7.779	0.1
6	47	4	8.798	9.488	0.05
7	52	4	2.614	3.665	0.3
8	50	5	6.533	7.289	0.2
9	38	4	0.273	0.297	0.99
10	56	4	3.697	4.878	0.3
11	91	6	12.443	12.592	0.05
12	66	5	33.55*	15.086	0.01
13	64	4	15.60*	13.277	0.01
14	69	5	12.284*	11.070	0.05
15	38	3	5.868	6.251	0.1
16	56	4	4.208	4.878	0.3
17	31	3	1.308	1.424	0.7
18	67	6	7.242	8.558	0.2

\* 印は比較した  $\chi^2$  の数値より大きいもの

表-2 到着間隔適合度検定



図一2 走行時間分布 (No. 1~18)

### 3.2 走行時間

走行時間は、各運搬車の運転と交通事情によって影響される。中には違ったコースを通るものもあるが、しかしなるべく早く到着しようとする原則は共通しているから、そのために顕著な差は生じないであろう。調査の結果をヒストグラムで表わすと、図-2 のようになる。

これは、ある一点から他の一点にもを運ぶというサービスに要する時間であるから、これを待合せ理論で一般のサービス時間の分布に適用される Erlang 分布で表現できるかどうか検討して見る。

Erlang 分布は次式で表わされる。

$$r(t) = \frac{(\nu k)^k t^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\nu k t} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに  $k$  は phase で正の整数。  
しかる時はこの分布の平均値は、

$$E(r) = \frac{1}{\nu} \quad \dots\dots\dots(3)$$

となり、分散は

$$V(r) = \frac{1}{k\nu^2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。

(2)式は  $\nu$  と  $k$  によって決まるが、もし  $k$  が普遍的な法則で決まれば、 $\nu$  すなわち平均走行時間( $1/\nu$ )のみによって決まる。

このため、各現場ごとの平均値 ( $m_r$ ) と標準偏差 ( $\sigma_r$ ) の関係を調べた。これを図-3 に示す。

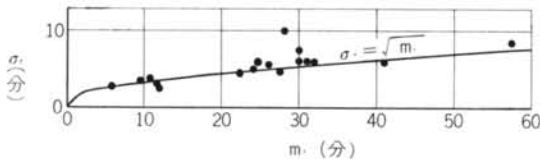


図-3 走行時間の平均値と標準偏差

図-3 から、

$$\sigma_r = \sqrt{m_r}$$

と考えると、(3)式および(4)式から

$$k = 1/\nu \quad \dots\dots\dots(5)$$

となる。但し  $k$  は正の整数であるから、結局平均値にもっとも近い整数をとればよい。

$k$  をこのように定めた時の(2)式に対する、観測値の適合度の検定を行なった結果が表-3 である。また 図-2 に示されている曲線は(2)式によるものである。

18例中16例が適合すると見られ、走行時間の分布は、phase  $k$  を平均値にもっとも近い整数とした Erlang 分布で表わせると考えてよい。

No.	試料数	自由度	$\chi^2$	比較した $\chi^2$	
				値	確率
1	49	3	0.857	1.005	0.8
2	37	3	0.999	1.005	0.8
3	40	4	1.529	1.649	0.8
4	26	3	0.558	0.584	0.9
5	48	4	11.005*	9.488	0.05
6	49	4	3.26	3.357	0.5
7	44	3	3.677	4.642	0.2
8	52	4	1.287	1.649	0.8
9	39	3	2.219	2.366	0.5
10	59	4	50.424*	13.277	0.01
11	93	5	7.378	9.236	0.1
12	67	4	3.627	4.878	0.3
13	61	5	1.762	2.343	0.8
14	65	6	8.047	10.645	0.1
15	40	3	0.099	0.115	0.99
16	59	5	7.208	7.289	0.2
17	33	3	3.823	4.642	0.2
18	54	5	2.033	2.343	0.8

\* 印は比較した  $\chi^2$  の数値より大きいもの

表-3 走行時間適合度検定

道路交通事情は、1日の内の時刻によってかなり違うことがある。この場合全体が大きい波を持つ。上記の適合の悪かった No. 5 および No. 10 は、この傾向の著しかったものである。このような場合、1日の内の時刻による大きい変動が分かれば、それによって区分すれば適合度はもっとよくなる。

次に工場から現場までの路上距離と、平均走行時間を各現場ごとにプロットすると図-4 のようになる。

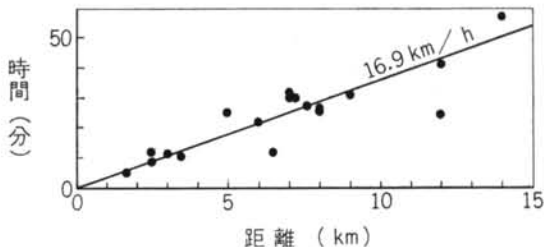


図-4 走行距離と時間

1, 2 の例を除いて、全体がほぼ同一平均時速をもってることが注目される。全平均時速は16.9 km/h となるが、これは昭和39年日本建築学会材料施工部会第一分科会と、建築業協会とが協同で行なったアンケートによる結果15.9 km/h と近似している。

このアンケートによっても、地域差はかなりあるが、あらかじめその地域での平均時速が分かっている場合は、それによって計算した平均走行時間は、一応一般性のあるものと考えられる。

### 3.3 処理時間

コンクリートの打込みもひとつのサービスと考えればこれを前記走行時間同様、Erlang 分布で近似できる確率過程と予想することは、一応当を得ていることであろう。そのため、図-5 に示すように、その平均値 ( $m_s$ ) と標準偏差 ( $\sigma_s$ ) の関係を見た。またそのヒストグラムを図-6 に示す。

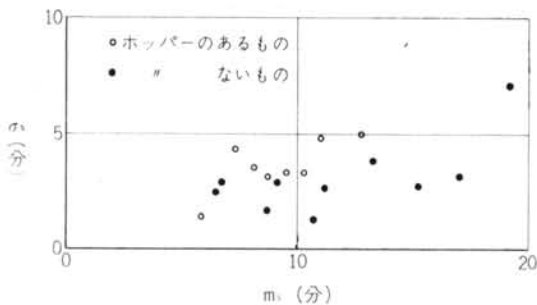


図-5 処理時間平均値 ( $m_s$ ) と標準偏差 ( $\sigma_s$ )

処理時間の調査方法は、2項に示した通りであるが、この場合受けホッパーを有するものには、問題がある。すなわち、ホッパーに前車のコンクリートが、まだ残っているときでも、後車は排出し始めることが多い。従って、このような場合、排出開始の時刻を目安とした処理時間と、実際の処理時間との隔たりは大きくなるものと考えられる。またそれ自身の変動も大きくなる可能性があることは、図-5 にも現われている。

また図-5 から見ても、変動とそれぞれの平均値との相関関係はあまりない。よって、標準偏差の値は平均値にかかわらず一定のものと仮定して、棄却検定を行なうと、No. 9 が棄却され、また上記の考えから、ホッパーを有するものを除外し、結局残った9例について検討を行なった。

標準偏差は等しくあるべきものとして、9例の平均値を求めると、2.56となる。

$$\text{いま } s(t) = \frac{(\mu k)^k t^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\mu k t} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{とすると } E(s) = 1/\mu \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{また } V(s) = 1/k\mu^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{いま } V(s) = \sigma_s^2 = 6.55$$

$$\text{とすると } k = m_s/6.55$$

となり、各  $m_s$  ごとに  $k$  (但し正の整数) を定めることができる。

しかしながら、これによってこの9例について確率密度関数をきめて、その適合度の検定を行なうと、表-4のごとく、その内の3例が適合せず、全体として適合がよいとは言えない。

すなわち、処理時間については、個々について適当に  $k$  を選べば、それに合う Erlang 分布を見出すことは可能ではあろうが、走行時間のように、一般的形を決めることができない。

No.	試料数	自由度	$\chi^2$	比較した $\chi^2$	
				値	確率
1	41	3	2.044	2.366	0.5
2	38	4	6.914	7.779	0.1
3	38	4	6.481	7.779	0.1
4	27	3	16.48*	11.341	0.01
8	51	4	23.07*	13.277	0.01
13	67	3	2.81	3.665	0.3
14	71	3	1.124	1.424	0.7
15	40	3	1.944	2.366	0.5
16	42	4	15.34*	13.277	0.01

\* 印は比較した  $\chi^2$  の数値より大きいもの

表-4 処理時間適合度検定

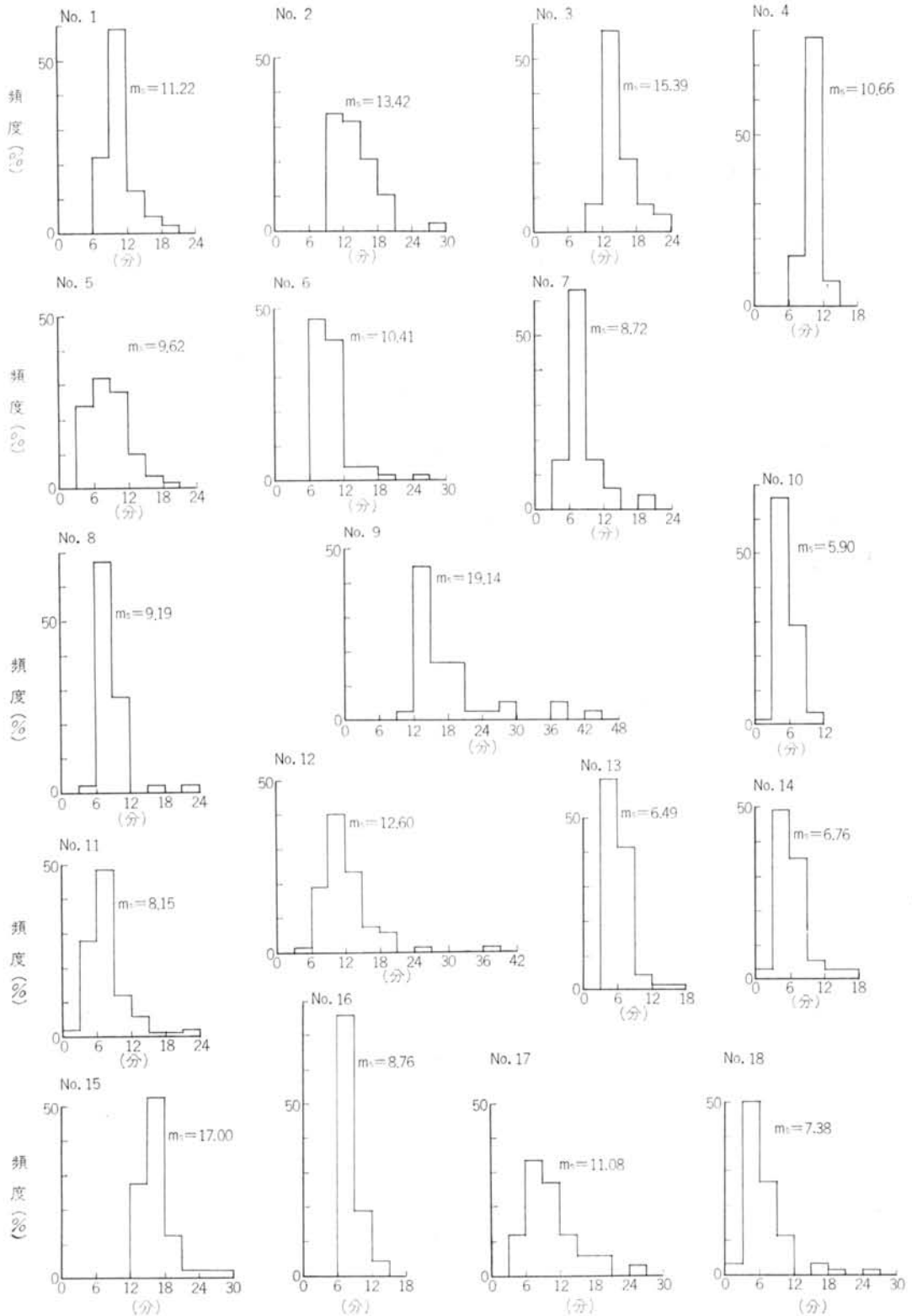
これは、連続してコンクリートを打込んでいる過程において、一台ごとの処理時間が正確につかみ難いことにもよる。受けホッパーを持たない場合においても、途中にフロアホッパーがあることが多く、車ごとのコンクリートを区分しにくく、前述したような方法で測定した時間が必ずしも個々の処理時間に一致しない。

### 3.4 待ち時間

待合せ理論で一般に待ち時間は、到着間隔 (または単位時間内の到着単位) の分布と、サービス時間の分布からきまる。しかし本報で扱う問題においては、次の理由で、待ち時間を解析的に求めることがむずかしい。

(1) 到着の様様は 3.1 に示したように、見掛け上ポアソン分布に従っている。しかし図-7 に、時間経過に従った待ち時間の推移の例を示すが、これで分かるように、待ち時間が次第に増加して行くと、ある点で人為的調整が行なわれる。すなわち、到着間隔 (直接的には発車間隔) を十分長くすることによって、待ち時間の増加を防止している。この調整は、待ち車のためのスペー





図一六 処理時間分布(No. 1~18) (……を越え……以下)

ス、工場側の車の余裕、現場での処理の緩急、その他係員の注意力など、種々の要因によると思われ、必ずしも待ち行列の長さや時間のみにはよらない。何れにしろ、到着は全くランダムなものとは言えない。

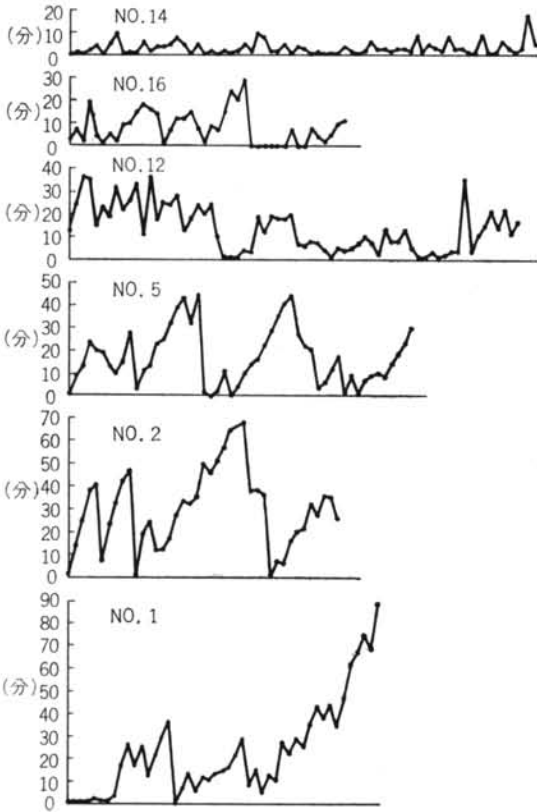


図-7 待ち時間の推移

(2) 待ち時間の定常解の求まるのは、一般にトラフィック密度が1より小さい場合である。すなわち、処理時間の平均値の、到着間隔の平均値に対する比（以下これを配車密度と言う）が1より大きければ、理論上、待ち時間の長さは無限に大きくなる。ここで扱う問題については、前述のように、時どきその中断が行なわれ、また食事休みなどがあり、その間に到着する車の数はたかだか数十台に過ぎず、待ち時間はそんなに大きくならないが、それでも図-10で分かるように、配車密度が1以上の場合が多い。

(3) 最後に決定的な問題として、3.3で述べたように、処理（サービス）時間の分布が単純な形で求まらない。

そこで、ここでは各工事ごとに実測された値の分布から直接、これに最も近似のよい分布の一般的形を見出すこととした。

図-8は、待ち時間のヒストグラムを示したものである。この横軸はその平均待ち時間の長さに逆比例して伸縮させてある。また図-9は、各現場ごとにその平均値を単位として表わした区間ごとの、18現場についての平均値をプロットしたものである。

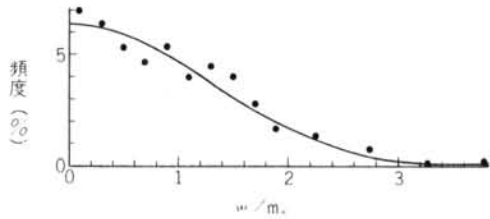


図-9 待ち時間分布

これらの傾向から、観測された待ち時間の分布は、平均値を単位として計った時間の2乗の指数関数で現わし得ることを仮定し、

$$w(t) = ae^{-b\left(\frac{t}{W}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

とおいて、 $a$  および  $b$  を求めることとした。

ところが、この場合次の関係がある。

$$\int_0^{\infty} w(t) dt = 1 \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{平均値} : \int_0^{\infty} t \cdot w(t) dt = W \quad \dots\dots\dots(11)$$

いま  $b\left(\frac{t}{W}\right)^2 = x^2$

とおくと

$$t = \frac{W}{\sqrt{b}} x$$

$$dt = \frac{W}{\sqrt{b}} dx$$

従って(10)式は

$$\int_0^{\infty} w(t) dt = \frac{Wa}{\sqrt{b}} \int_0^{\infty} e^{-x^2} dx = \frac{aW\sqrt{\pi}}{2\sqrt{b}} = 1 \quad \dots\dots(12)$$

また(11)式は

$$\int_0^{\infty} tw(t) dt = \frac{aW^2}{b} \int_0^{\infty} xe^{-x^2} dx = \frac{aW^2}{2b} = W \quad \dots\dots(13)$$

(12)および(13)式から容易に

$$a = 2/W\pi$$

$$b = 1/\pi$$

となり、従って(9)式は

$$w(t) = \frac{2}{\pi W} e^{-\frac{1}{\pi}\left(\frac{t}{W}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(14)$$

となり、平均待ち時間  $W$  のみによってきまる。

次に、調査した18例について、その(14)式に対する適合度を検定し、これによって(14)式の信頼性を確かめることとする。

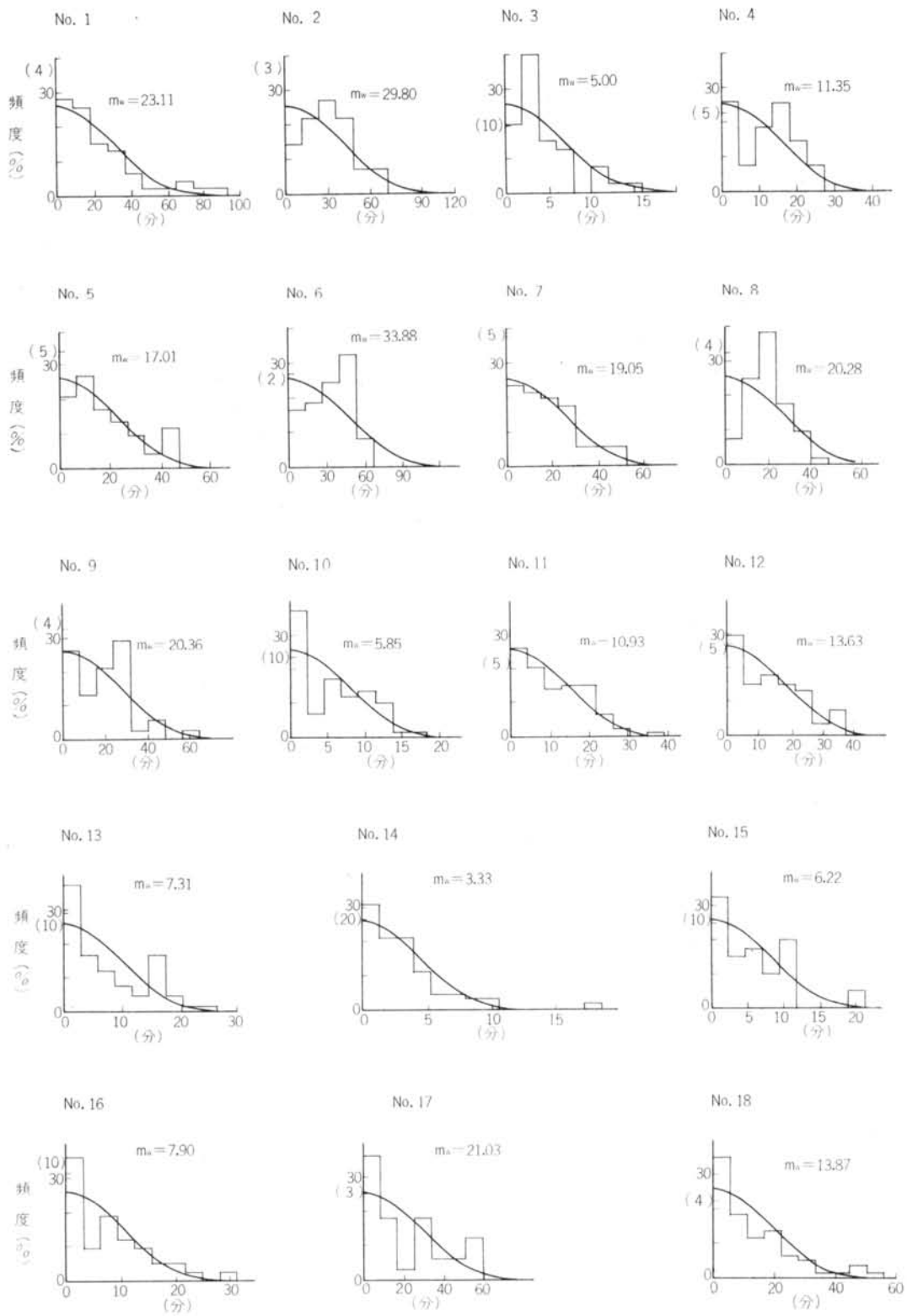


図-8 待ち時間分布 (No. 1~18) (W:12.5 mm)

No.	試料数	自由度	$\chi^2$	比較した $\chi^2$	
				値	確率
1	47	4	0.725	1.064	0.9
2	41	4	5.963	5.985	0.2
3	40	4	2.236	3.357	0.5
4	27	2	1.008	1.386	0.5
5	52	4	0.950	1.064	0.9
6	49	3	3.472	3.665	0.3
7	51	4	0.664	0.711	0.95
8	52	3	16.219*	11.341	0.01
9	38	3	2.018	2.366	0.5
10	59	5	7.745	9.236	0.1
11	93	5	5.148	6.064	0.3
12	68	5	3.777	4.351	0.5
13	67	3	4.936	6.251	0.1
14	71	4	2.622	3.357	0.5
15	40	3	1.934	2.366	0.5
16	42	3	0.444	0.584	0.9
17	33	3	3.472	3.665	0.3
18	60	4	4.612	4.878	0.3

\* 印は比較した  $\chi^2$  の数値より大きいもの

表-5 待ち時間適合度検定

$\chi^2$  検定の結果のみを表-5 に示す。

ここでその適合性に問題があるのは、18例中わずかに1例だけである。

従って、待ち時間は、これを時間経過に従って見ると、必ずしもランダムな配列にはなっていないが、大きさ別の分布は、一定の形になるものと見なせる。

#### § 4. 配車密度と待ち時間

前項において、待ち時間の分布が、その期待値  $W$  によって定まることを述べたが、ここでは、 $W$  が何によって支配されるかを見る。

一般に、待ちの長さの平均処理時間に対する比、すなわち  $W\mu$  はトラフィック密度(ここで言う配車密度)  $\lambda/\mu$  によって支配される。

すなわち定常状態を考えると、 $\lambda/\mu (= \rho < 1)$  が1に近づくと  $W\mu$  は無限に大きくなる。

ここでは、 $\lambda/\mu$  は1より大きい場合が多く、また定常状態が問題となるほど到着単位の数多くはないが、実測された  $m_s/m_a$  と、 $m_w/m_s$  の関係を示すと図-10のようになる。ここに明らかに、配車密度の増加により待ち時

間の増加する傾向が認められるが、なお説明を加えると次のように言える。

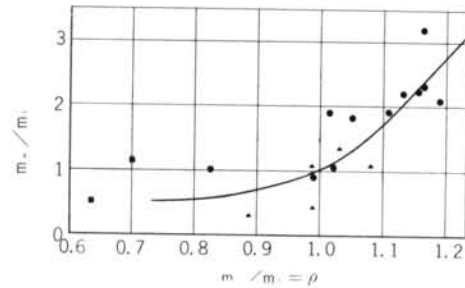


図-10 配車密度と待ち長さ

- (1) 配車密度が1の時、すなわち到着間隔と処理時間が全体としてバランスしている時に、平均待ち時間は、平均処理時間に等しくなる。
- (2) 配車密度が1を越えると、待ち時間は急激に増大し始める(配車密度が0.1増すと待ち時間の方は約2倍になる)。
- (3) 図上▲印で表わしてあるものは同じ規模の受け口が2個所あるもので、 $m_a$  をその現場への平均到着間隔の2倍として計算した点である。一般にチャンネル数が複数の時、このような扱いをするのは正しくないが、この場合は、その結果の配車密度が1に近いまたはそれ以上で、ほとんど常に待ち行列が存在している状態なので、大きい誤りはないと見られる。

なお、図中■印は、やはり受け口2個所のもので、上述のような扱いをしたものであるが、現場の進入経過が一方交通となっており、一方が他の入場もしくは退場を制約する条件にあった。従って2個所の受け口は全く独立とは言えず、 $m_a$  を2倍したのは正確ではない。この倍率が1~2の間にあると見れば、■印点は、全体の傾向に一致する方向に移動するはずである。

こうして実態としては、配車密度は1.2程度になることもあり、その際平均待ち時間は平均処理時間の3倍にもなるが、管理に注意すれば、配車密度を1.1以下、平均待ち時間を平均処理時間の1.5倍程度にすることは、むずかしくないと考えられる。

#### § 5. 現場側手待ち時間

現場側に手待ちが生ずることは、工事の能率や、コンクリートの打継ぎなどの点で好ましくない。

これの一台あたりの平均値( $m_a$ )の、平均処理時間に

対する比を、その現場の配車密度との関係で見ると、図-11のようになる。

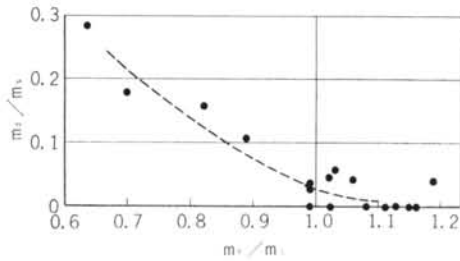


図-11 配車密度と受入れ側待ち長さ

配車密度が1以下のものの例が少ないが、その減少とともに手待ち時間が長くなることは明らかである。しかし配車密度が1以上であれば、手待ち時間は十分短く、あまり差がない。

このことから、配車密度はなるべく1に近いことが必要であるとともに十分な条件と言える。

## §6. 全時間

ここで全時間とは、工場での練りませ開始から、現場での打込み完了までの時間を言う。JISA 5308では時間の終りを、荷卸完了の時刻としているが、これは生産者への要求として、このような形で表現されたので、本質的には、打込み完了時までとすべきであろう。

さて、この全時間は、運搬車の走行時間、待ち時間および処理時間からなるが、これらの時間は、それぞれ独立な確率過程であることを見て来た。従って、全時間は、この3つの部分のたたみこみ(convolution)によって求められる。

しかし、ここでは次の理由で、処理時間を単位分布と見なして、他の2つについてたたみこみを行なった。

- (1) 処理時間の分布の普遍的な形が確定していない。  
ここで調査した個々の例について、それに近似する分布形を事後にきめてあてはめることはできようが、それでは本報告の目的である事前の計画のための資料とはならない。
- (2) 処理時間は、他の2つのものに比べて、多くの場合その数値も小さく、バラツキも小さく(標準偏差として2~3分)、これを単位分布とすることから生ずる誤差は、実用上支障のあるほど大きくはないであろう。

従って、先ず走行時間と待ち時間のたたみこみを行な

い、全時間は、それに処理時間としての一定時間を上乗せすることとする。

さて、走行時間と待ち時間のたたみこみであるが、これを解析的に行なうことは、現在の段階としてむずかしいので、数値計算を次のような順序で行なった。

- (1) 走行時間の方は $1/\nu=5, 10, 20, 30, 40, 50$ および60分の7種。また待ち時間の方は $W=5, 10, 20, 30$ および40分の5種を選び、 $7 \times 5=35$ の組合せについて行なう。
- (2) 分布を十分小さな区分に分け( $\Delta t$ として1~4分)各点の確率密度および確率素分を計算する。
- (3) たたみこむ両者の、それぞれある時間での確率素分を掛け合せ、両者の時間の合計の生ずる確率を求める。
- (4) 走行時間と待ち時間の合計が等しくなるものについて、その確率をすべて集計する。

この計算は電子計算機(IBM1620-II型)によって行なった。走行時間、待ち時間およびたたみこみによって得たものの分布曲線を図-12、図-13および図-14に示す。

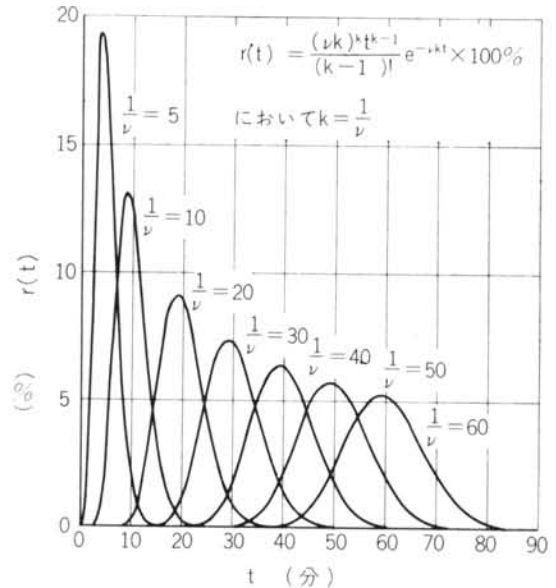


図-12 走行時間分布曲線

たたみこみによる曲線が求まると、それぞれがある限界値を越える確率を求めることができる。全時間について言えば、処理時間を一定分布としたのであるから、例えば処理時間が10分の場合に、全時間が60分または90分を越える確率は、走行時間と待ち時間をたたみこんだものの、50分または80分を越える確率として求めればよい。

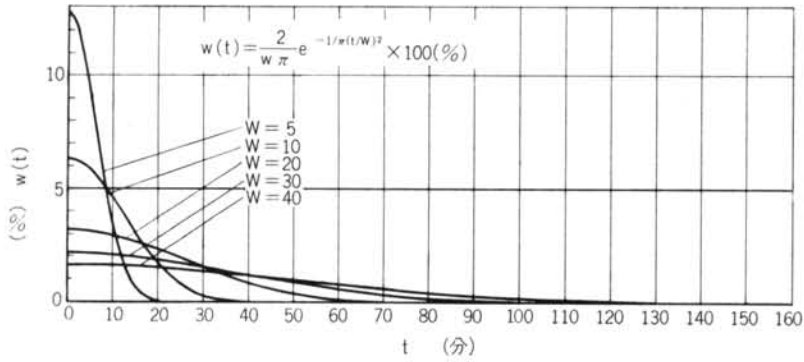


図-13 待ち時間分布曲線

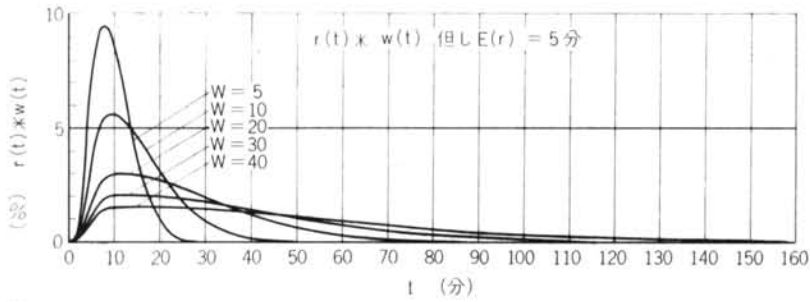


図-14-a

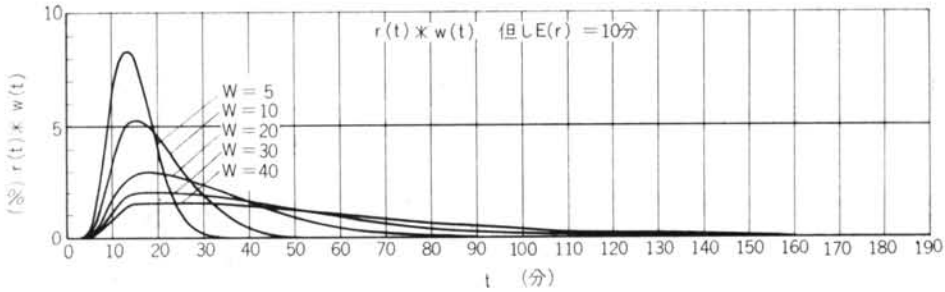


図-14-b

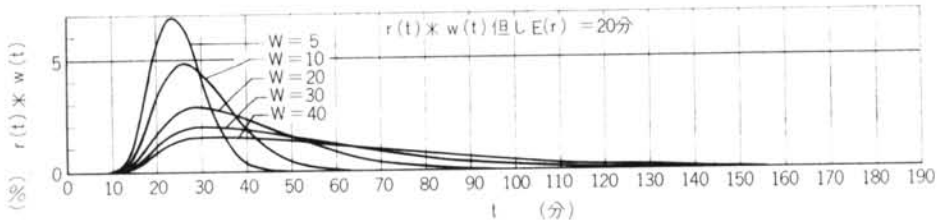


図-14-c

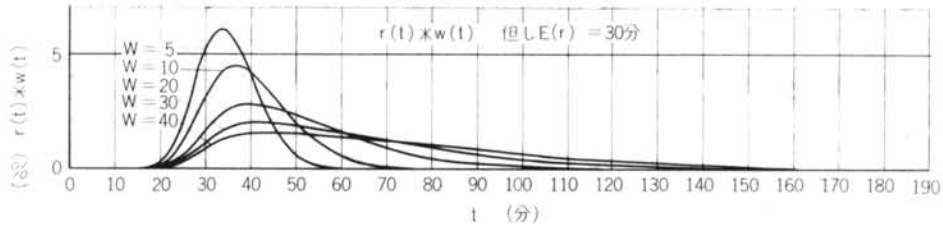


図-14-d

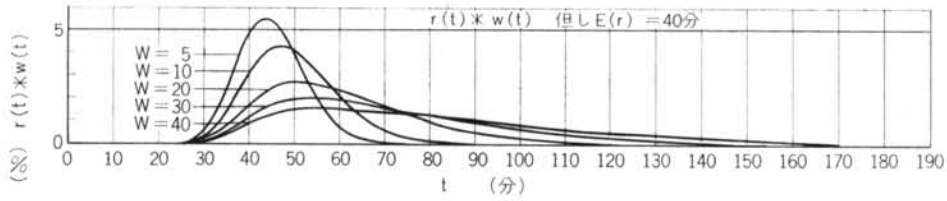


図-14-e

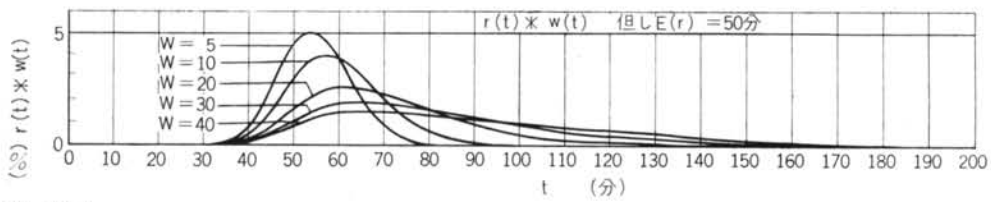


図-14-f

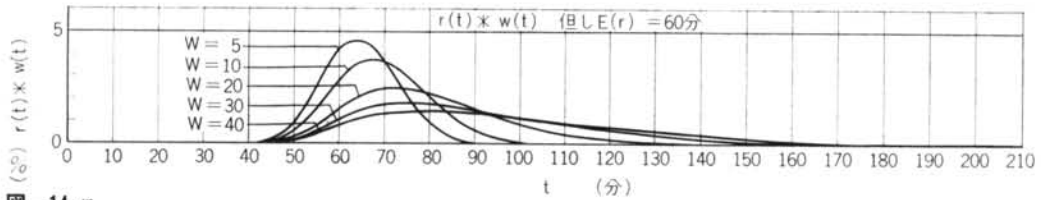


図-14-g

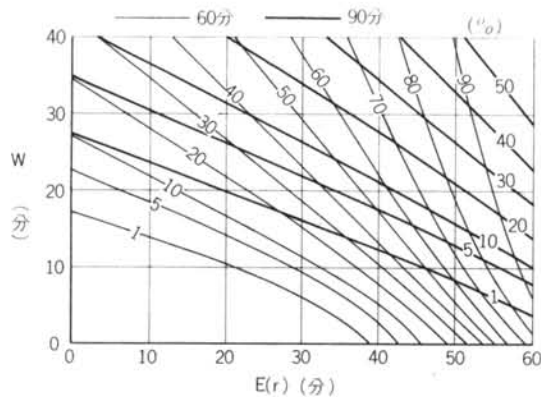


図-15-a 全時間が規格値を越える確率(処理時間5分)

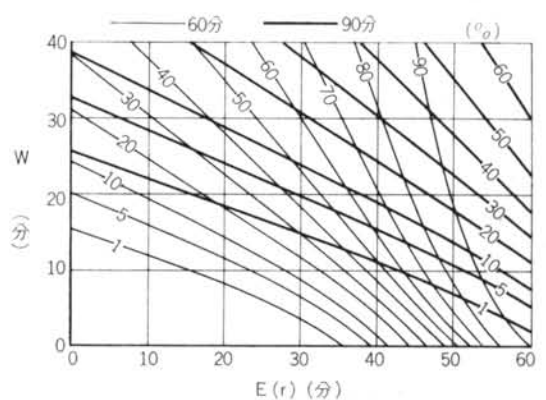


図-15-b 全時間が規格値を越える確率(処理時間10分)

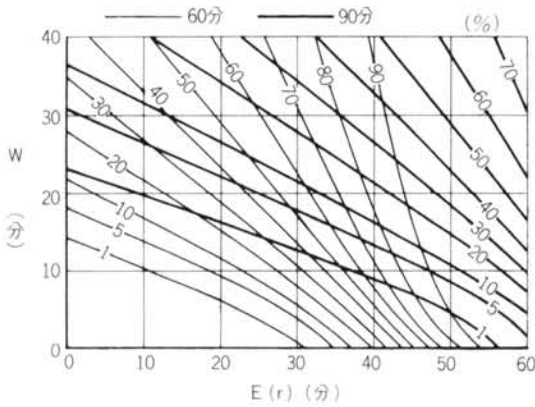


図-15-c 全時間が規格値を越える確率(処理時間15分)

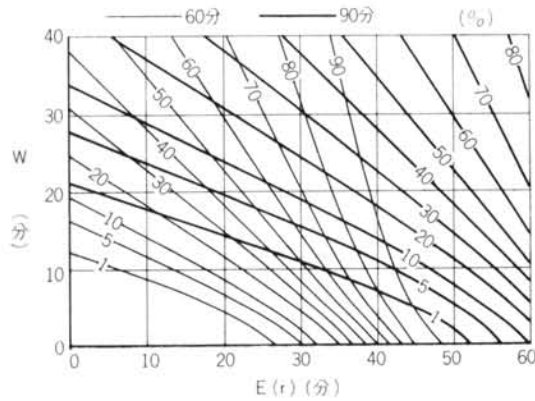


図-15-d 全時間が規格値を越える確率(処理時間20分)

こうして、平均走行時間60分以下、平均待ち時間40分以下の組合せについて、処理時間が5分、10分、15分、および20分の場合の、全時間が60分および90分を越える確率を図上で求められるようにしたものが、図-15である。例えば図-15-bによると、処理時間10分の場合、平均走行時間が35分、平均待ち時間が15分であるとすると、全時間が60分を越える確率は45%、90分を越える確率は約3%と求められる。

この図を見て分かるように、一般に全時間が規格値を越える確率は、走行時間よりも、待ち時間の増減の影響を敏感に受ける。このことから、配車管理の重要性が強調される。

調査した18例について、その $m_r$ 、 $m_w$ および $m_s$ (これが、5、10、15、20分でないものは内挿法による)から図上で計算された、60分および90分を越える確率と、観測されたそれらの割合を対比して、図-16に示す。

各現場の車数は30~100台程度で、パラツキは大きくなりやすいにもかかわらず、両者は比較的良好一致して

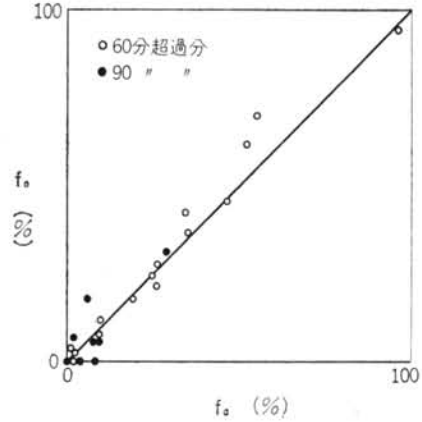


図-16 全時間の計算値( $f_c$ )と実測値( $f_o$ )

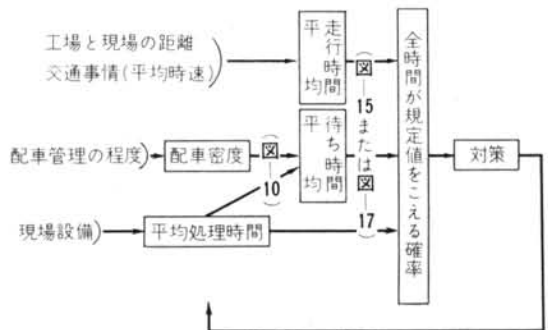
おり、図-15が計算図として実用的であることを示している。

またこれから、処理時間を単位分布としたことによる誤差が予想通りあまり大きくなかったと言えよう。

## §7. 輸送計画

これまで述べて来たところから、輸送時間の問題に対処する方針としては、次のようになる。

- (1) あらかじめ、全時間の規定値およびそれを越える確率の許容値(不良率)をきめておく。
  - (2) 指定された工場により、予想平均走行時間を仮定する。
  - (3) 打込み設備から、一車当りの平均処理時間を予定し、また可能な配車管理から、配車密度、従って平均待ち時間を予定する。
  - (4) 以上によって見積られた各部分の平均時間から計算図表によって、全時間がその規定値を越える確率をチェックする。
  - (5) その結果によって対策を考える。
- これを図によって示すと次のようになる。





全時間が規定値をこえる確率は、実用上は必ずしもその値を知る必要はなく、単に許容値をこえるかどうかを知ればよいので、そのためには、図-17の方が便利である。

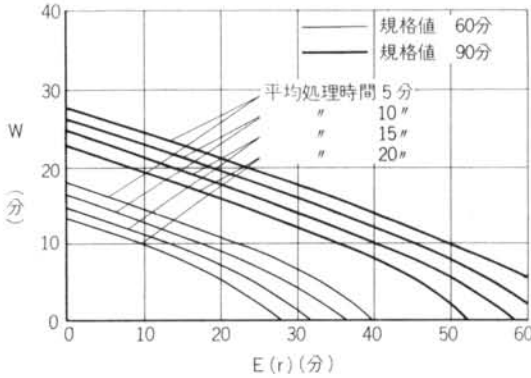


図-17-a 全時間の限界超過確率1%の場合

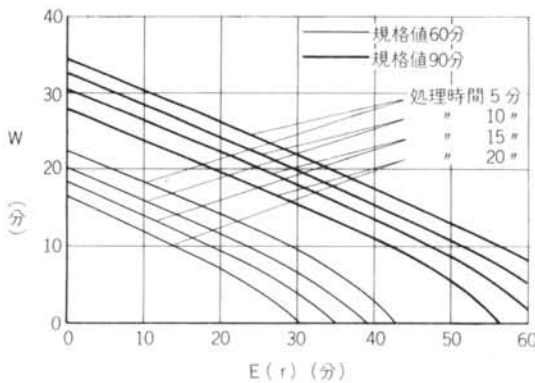


図-17-b 全時間が規格値を越える確率5%の場合

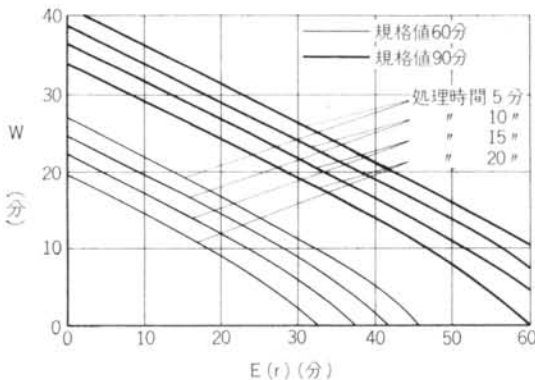


図-17-c 全時間が規格値を越える確率10%の場合

図-17 は、異なる処理時間のものを、同じ不良率(1, 5, 10%)ごとに集めたものである。

こうすれば、処理時間が、5から20分のものすべ

てについて、各不良率ごとそれぞれの図上において、それを超過するかどうかを検討することができる。

次に例題を示す。

<条件>

- (1) 工場練りませから打込みまでの全時間が90分をこえるものが5%以上あってはならない。ただし一部防水コンクリートにおいては、その全時間が60分をこえるものが5%以上ないようにする。
- (2) 工場から現場までの走行時間は平均25分である。
- (3) 現場での1運搬車のコンクリートの処理時間は、平均10分である。

<手順>

- (1) まず平均の待ち時間を見積る。現場側の手待ち時間ができるだけないように、また現場工場の連絡をよくして、配車密度を1.05程度に押えうものとする。しかる時は、図-10から、

$$W\mu = 1.5$$

従って

$$W = 1.5 \times 1/\mu = 1.5 \times 10 = 15(\text{分})$$

となる。

- (2) 図-17-b から、規定値90分に対しては十分安全であることが分かる。しかし規定値60分に対しては危険となり、対策が必要である。

<対策>

- (1) 処理時間および配車管理はそのままとし、平均走行時間が12分以下であるような工場をえらぶ。
- (2) 処理能力を増大し、平均処理時間が6分以下となるようにし、配車管理の程度はそのままとして、従って平均待ち時間を10以下にする。
- (3) 受入れ個所数を増すか、運搬車の発車間隔をのばして配車密度を0.9以下にすることによって、平均待ち時間を9分以下となるようにする。発車間隔をのばす場合は、現場側の手待ち時間が大きくならないように、配車管理に意を用いなければならない。

§ 8. 要約と結論

以上本報告を要約すると次のようになる。

- (1) レデーミクストコンクリートの、練りませ開始から打込みまでの全時間は、走行時間、待ち時間および処理時間に分かれるが、それぞれは独立の確率過程である。
- (2) 走行時間および待ち時間の確率密度関数は、その

期待値を仮定すると、一義的に決定することができる。

- (3) 全時間は、これら各成分のたたみこみによって求められるが、ここでは処理時間を単位分布と仮定し、走行時間と待ち時間のたたみこみを数値計算によって求めた。
- (4) 全時間の、90分および60分とに対する不良率をチェックする図を与えた。
- (5) これにより、個々の事例について検討し、またその対策を計画するための指針を得ることができる。

なお、本報告は、大都市内の調査に基づいている。都市以外、あるいは高速道路を利用した場合などについての検討が望まれる。

#### 謝辞

現場の実態調査は、現北陸支店近藤博通氏を中心としたチームによって行なわれた。分布やたたみこみの数値計算については、そのプログラミングを含めて計算課の奥山吉松氏にお願いした。数学上の取扱いについて有益な示唆を戴いた清水達雄氏とともに、これら各位に深く感謝する。

#### <参考文献>

- 1) 森村英典, 大前義次: 待ち行列の理論と実際: 日科技連
- 2) 宮脇一男, 長岡崇雄, 毛利悦造: 待合せ理論とその応用: 日刊工業新聞
- 3) 幸田太一: 続レデーミクストコンクリートの現況: 建築技術 1965. 3
- 4) 烏田専右, 近藤博通: レデーミクストコンクリートの運搬時間に関する調査: 日本建築学会関東支部研究発表会梗概集(第2部) 1965. 6