

鉄骨実建方時間の推定方法について

向 笠 慎 二
(本社建築本部工務部)
脇 坂 達 也

Methods of Estimating Real Erection Time in Steel Work

Shinji Mukasa
Tatsuya Wakisaka

Abstract

Work measurements were carried out for steel work in five multistoried structural steel buildings and results of measurements from individual projects were compiled into a data book. In this paper, the authors report on the time required for actual erection which is the main part of steel work, and especially, on a convenient method of estimation derived from multivariate statistical analysis.

概 要

高層S造タイプの5現場で鉄骨工事に対する作業測定が行なわれ、各現場の測定結果が集大成された。本報告では、鉄骨工事の根幹をなす実建方に要する時間について、多変量解析を用いて導いた簡便な推定方法を中心に報告する。

1. はじめに

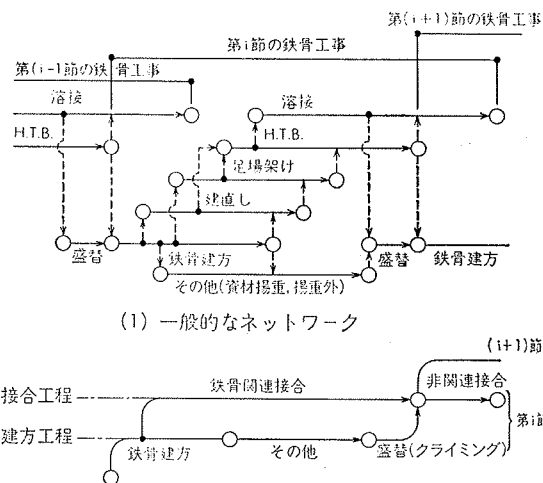
近年、S造による高層ビルの建設工事は年々増加の一途をたどり、今や特殊工事の域を脱し、全く一般化した。この種の工事において鉄骨工事が工程計画上の要であることに変わりはない。当社では、鉄骨建方工期検討プログラムに対する正確なインプットデータを得るために、鉄骨工事作業測定指針に基づいて表—1に示すような5現場で昭和46年から約1年半にわたり測定が行なわれた。これに関連して、先に所報 No. 7で“作業測定の省力化”について報告したが、本報告では、その後集大成された測定結果の内、鉄骨工事の根幹をなす実建方に要する時間について、多変量解析を用いて導いた柱と梁のサイクルタイムに対する推定方法を中心に報告する。

鉄骨実建方とは、図—1に示す鉄骨工事に対するネットワークの鉄骨建方作業の主部をなすもので、一般に図—2に示すように建方工程時間の30%以上を占める。

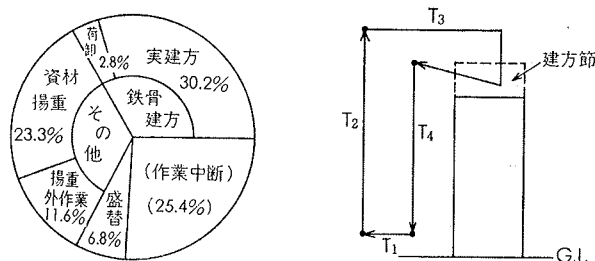
実建方時間はサイクルタイムとサイクル数の積の和として求められ、サイクルタイムは図—3に示す4つの単位作業時間からなり、(1)式から求められる。

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = T_{13} + T_{24} \quad \dots\dots(1)$$

T—実建方の1サイクルタイム (min)



図—1 鉄骨工事 (1 節分) のネットワーク



図—2 建方工程作業 図—3 サイクルタイムの構成 (占有率はH現場の第3～11節の平均)

- T₁—玉掛時間 (min)
- T₂—巻上時間 (min)
- T₃—取付時間 (min)
- T₄—巻下時間 (min)
- T₁₃—玉掛・取付時間 (T₁+T₃) (min)
- T₂₄—巻上・巻下時間 (T₂+T₄) (min)

2. 測定方法

実建方時間データはオペレーショングラフを中心に組んだ測定システムにより集録され、集計プログラムにより電算処理された。なお測定方法の詳細については、参考文献(1)を参照されたい。測定が行なわれた5現場における建方条件は表-1に示す通りである。

3. 測定結果

3.1. 実建方時間データの分布性状

実建方時間の分布性状を知るために、代表として柱1筋分の実建方時間データを各現場から1標本ずつ任意に選び、それらのヒストグラムを作成した(図-4)。同図から次に示すような傾向が認められる。

(1) 分布形について T₁~T₄ のいずれも右へ裾を引いたゆがんだ分布をしているので、正規分布というより、むしろ待ち行列の理論でサービス時間分布として用いられるアーラン分布に近い。T₁~T₄ の和である T₁₃ と T₂₄ は、 χ^2 検定の結果からもわかる通り、ほぼ正規分布をしている。

建方条件	現場	D	N	K	S	H
場所		大阪市	大阪市	東京都	東京都	大阪市
構造		SRC	S,第2筋SRC	S,柱のみSRC	S	S,第1筋SRC
基準階床面積(m ²)		1547	1017	2494	2652	1328
階層		B3,F12,PH1	B2,F12,PH3	B4,F20,PH2	B4,F25	B3,F32
測定期間		S.46.5~6	S.47.2~4	S.47.2~5	S.47.7~11	S.46.8~47.4
測定筋		3~5	2~8	4~7	5~10	1~13
1チーム作業員数	秀 鉄骨工	6 2	6 3	4~5 2	5~8 2~3	6 5
建方機械		OT-6030	OT-4035	1T-6032(2機)	OT-10030(2機)	1T-5035(2機)
柱	部材長(m)	max min mean 11.6 10.5 10.9	9.7 7.0 7.8	10.8 10.0 10.6	11.5 10.1 11.3	10.8 9.6 10.3
	系 数(1)	max min mean 2.5 2.0 2.2	5.5 3.7 4.4	4.2 3.7 4	10.2 5.8 7.9	6.9 1.7 4.3
	柱 形 状	対称プラケット付き	プラケットなし	プラケットなし	対称プラケット付き	プラケットなし, 対称プラケット付き, 非対称プラケット付き
	接 合 方 式	メタルタッチ溶接, H.T.B.	メタルタッチ溶接, H.T.B.	メタルタッチ溶接, H.T.B.	メタルタッチ溶接, H.T.B.	メタルタッチ溶接
梁	仮ボルト数	12-16φ	16-22φ	全数-22φ	30以上-22φ	32-22φ
	建起し方法	合吊り	合吊り	合吊り	合吊り	片吊り, 吊床下ベニヤ板
大	建方許容誤差(柱のたおれ)(mm)	±6	±7	±15	外柱 ±20 内柱 ±15	±25
	部材長(m)	max min mean 12.0 6.3 8.3	15.0 7.5	8.1	20.0 10.6	11.6 5.8 9.0
梁	系 数(1)	max min mean 1.0	3.5 1.1 2.1	1.8 1.2 1.5	4.8 4.4 4.7	1.9 0.8 1.1
	接 合 方 式	榫掛式溶接, H.T.B.	当込式溶接, H.T.B.	榫掛, 当込式溶接, H.T.B.	榫掛式溶接, H.T.B.	当込式溶接, H.T.B.
小	仮ボルト数	4-16φ	6-8-22φ	7φ以上-22φ	7φ以上-22φ	6-22φ
	玉掛方式	ワイヤ掛付	レンフロークランプ	シャックル	シャックル	レンフロークランプスリング
大	部材長(m)	max min mean 15.0 4.0 8.3	8.1	8.1	11.6 29.3 7.8	
	系 数(1)	max min mean 2.6 0.5 1.3	0.5	2.4 2.1 2.3	0.9 0.5 0.5	
梁	接 合 方 式	当込式, H.T.B.	当込式, H.T.B.	当込式, H.T.B.	榫掛, 当込式, H.T.B.	当込式, H.T.B.
	仮ボルト数	6-19φ	7φ以上-19φ	7φ以上-22φ	7φ以上-22φ	4-20φ
	玉掛方式	レンフロークランプ	シャックル	シャックル	レンフロークランプ	

建方平面図

表-1 測定現場における鉄骨建方条件

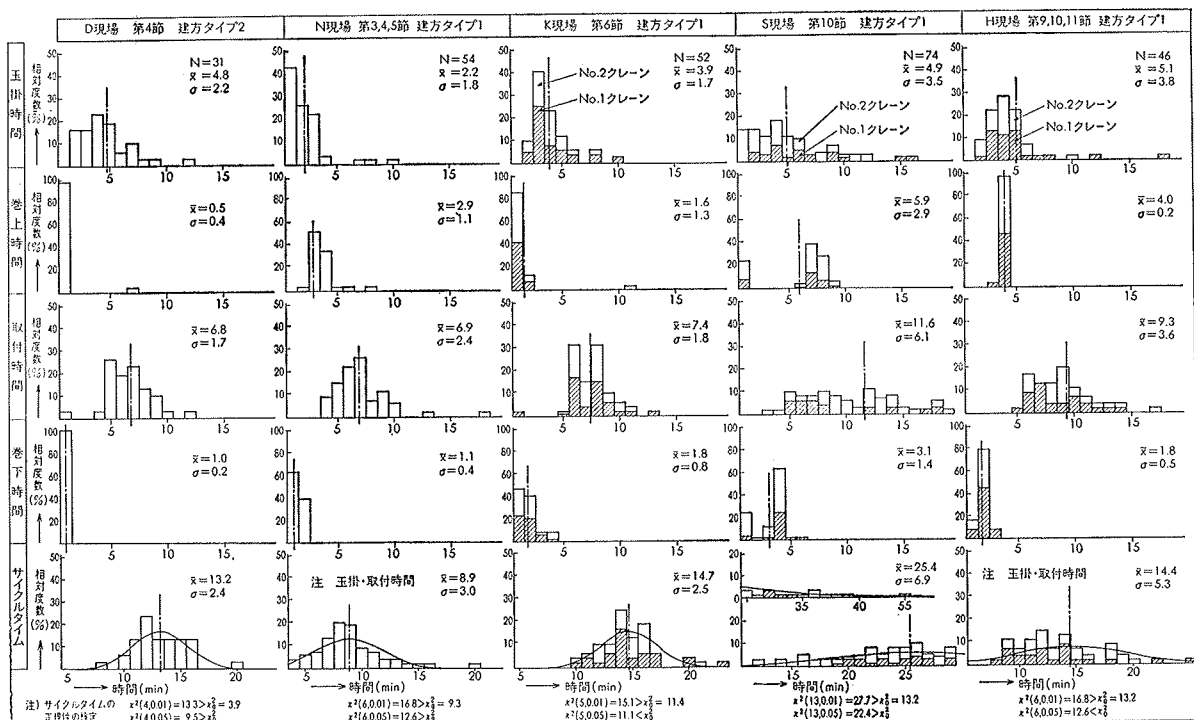


図-4 実建方時間データのヒストグラム

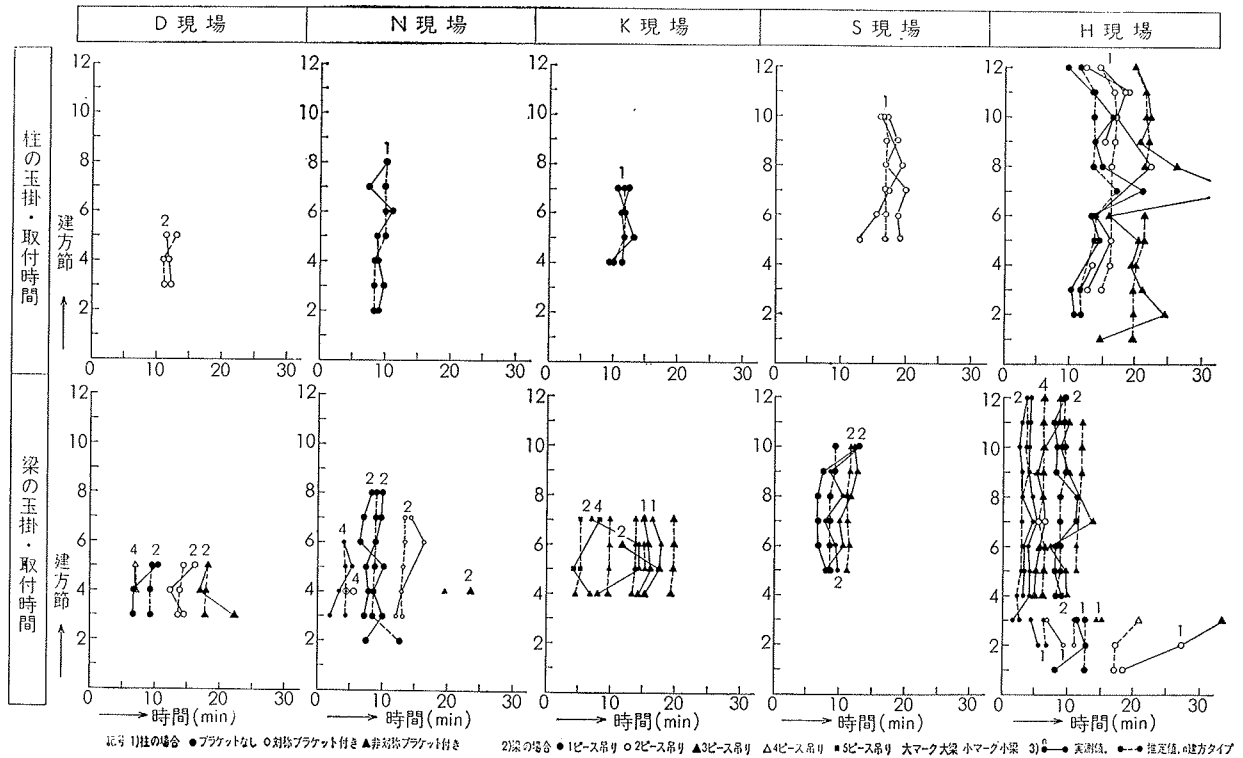


図-5 玉掛・取付時間の実測値と推定値

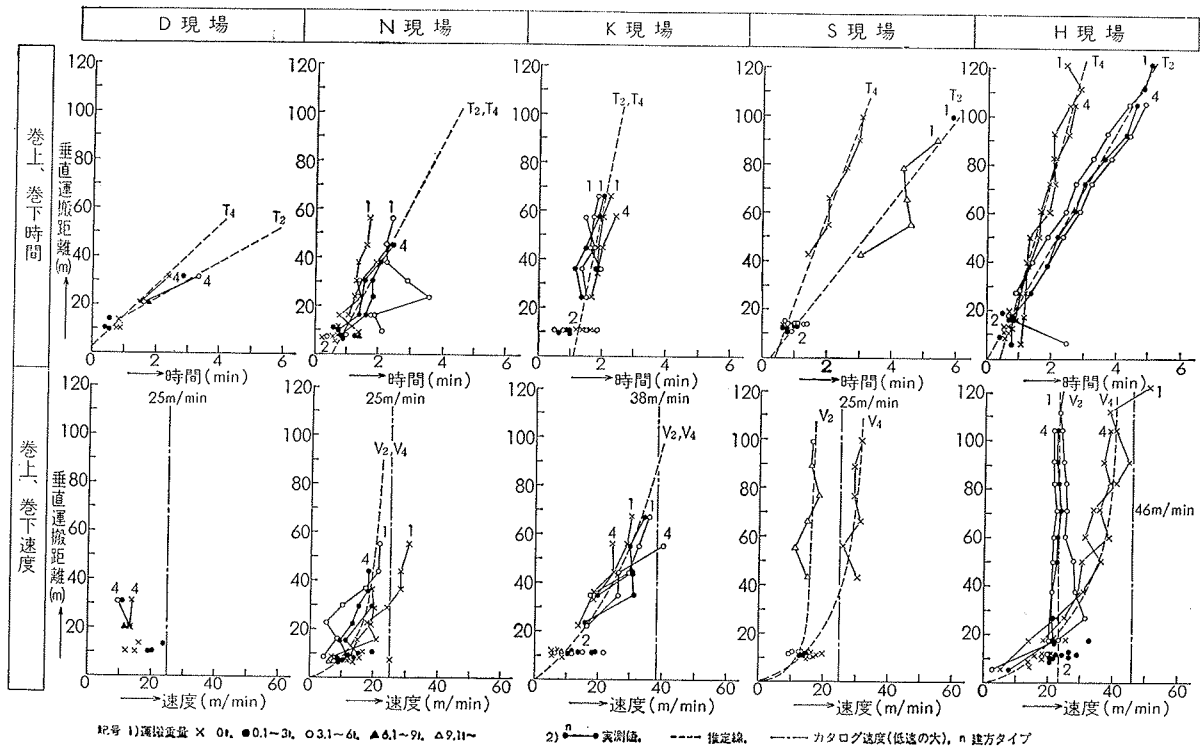


図-6 巻上、巻下時間および速度の実測値と推定値

(2) 平均値について 一般に、 $T_3 \gg T_1$, $T_2 \geq T_4$ なる関係が認められる。 T_1 と T_3 に関しては現場間でかなり差が認められる。2台のタワークレーンが同時に使用されたK, S, Hの3現場において T_{13} と T_{14}

関してクレーンによる差を検定した結果、任意に選んだ24標本の内92%または82%が確率5%で不有意と認められたので、現場内でクレーンによる差はほとんどないと考えてよからう。

(3) ばらつきについて 人が主となる作業の T_1 と T_3 の標準偏差(σ)はクレーンが主となる作業の T_2 と T_4 の σ より大きい。この傾向は変動係数(cv)についても成立し、 T_{13} のcv 0.29(柱全体の平均値、 $N=38$)は T_{24} の0.23より2、3割大きい。現場間で T_{13} のcvを見ると、K現場の0.24が最小、S現場の0.39が最大である。

梁の実建方時間データの分布性状についても検討したが、柱の場合とほぼ同じ傾向が認められた。

3.2. 実建方時間データの平均値

実建方時間データは、その基本的な要因と考えられる部位、現場、建方節、建方タイプ、吊ピース数別に層別し、平均値、標準偏差および母平均に対する信頼度95%の信頼区間を計算した。その内 T_{13} 、 T_2 、 T_4 、 V_2 (巻上速度)、 V_4 (巻下速度)の平均値(以下実測値と称す)を図-5、6に示す。これらに対する検討は分析の項で行なうことにする。

4. 測定結果の分析

4.1. 分析方法

T_{13} に関しては、要因に定質的なものが多いので数量化理論を用い、 T_{24} に関しては、要因が定量的であるので回帰分析を用いて分析を行なった。数量化理論の基本的な特徴は、要因か範疇(カテゴリー)的に表現されているものに対して目的に応じ数量を与えることにあり、回帰分析の場合は、外的基準と要因の因果関係を数式モデルとして求めて外的基準を予測することに基本的な特徴がある。

4.2. 要因決定

T_{13} 、 T_2 、 T_4 の分析に用いた要因は表-2に示す通りである。 T_{13} の要因に関しては、まず正確に把握できる要因を特性要因図上で選び、これらと T_{13} の間の関係をグラフや数量化理論により検討し、更に実用上の簡便さを考慮して最終的に表-2に示す7要因に決

要因	外的基準	部位	形状	重量	建方タイプ	吊ピース数	建方節	現場	垂直距離	分析手法
T_{13}	柱		③	③			③	⑤		数量化理論
T_{24}	梁	②			②	③	③	⑤		回帰分析

記号：①-⑤は要因、nはカテゴリーの数、○-層別の層

表-2 多変量解析の要因

定した。

4.3. 分析結果と推定方法

4.3.1. 玉掛・取付時間について 柱の T_{13} に関しては形状、重量、建方節、現場の4要因により分析した。その結果、分析と予測の信頼程度を示す重相関係数は0.85であり、経験的な合格ライン(0.85)に達している。各要因の T_{13} に対する寄与の程度を示す偏相関係数は表-3に示す通りであり、形状が一番影響力の大きい要因で、これに続く他の要因の影響力はほぼ同程度である。カテゴリー数量については、推定図表の図-7からもわかるように、形状に関してはブラケットなし、対称ブラケット付き、非対称ブラケット付きの順、重量に関しては大きさの順、建方節に関しては低、中、高層部の順、現場に関してはN、K、D、H、Sの順で増加している。

部位	柱				梁				
	形状	重量	建方節	現場	部位	建方タイプ	吊ピース数	建方節	現場
偏相関係数	0.69	0.31	0.34	0.36	0.68	0.45	0.75	0.12	0.18

表-3 偏相関係数

梁の T_{13} に関しては部位、建方タイプ、吊ピース数、建方節、現場の5要因により分析した。重相関係数は0.85で合格、偏相関係数は表-3に示す通りであり、部位、建方タイプ、吊ピース数の3要因が支配的である。カテゴリー数量については、図-7に見る通り、

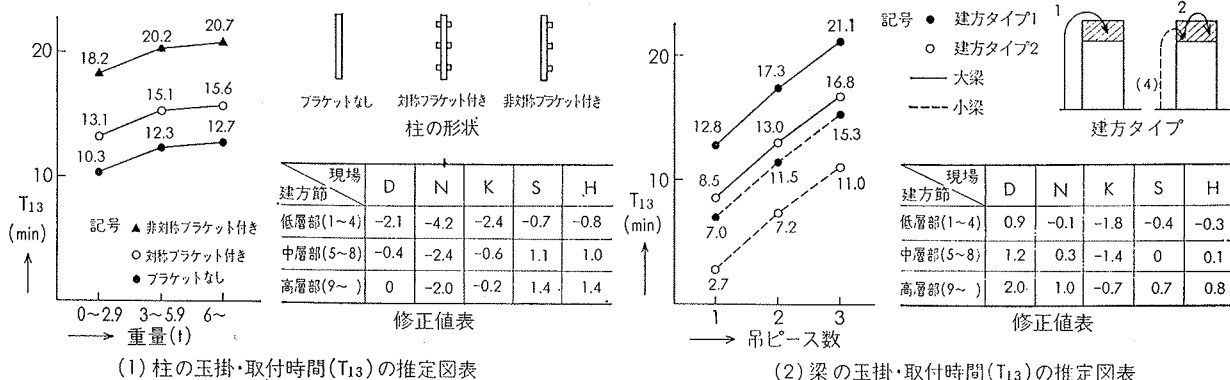


図-7 玉掛・取付時間の推定図表

部位に関しては小梁、大梁の順、建方タイプに関してはタイプ2、1の順、吊ピース数に関しては1、2、3ピース吊りの順、建方筋に関しては柱と同じ、現場に関してはK、S、H、N、Dの順で増加している。

次に分析結果を用いて T_{13} を推定する方法を示す。 T_{13} の推定値は原則として二つの段階を踏んで計算することにするが、粗い推定にはステップ2だけで実用上十分であろう。ステップ1では、図-7に示すごとく、柱の場合は形状、重量の2要因、梁の場合は梁種、建方タイプ、吊ピース数の3要因に対するカテゴリを決定し、その組合せに対応する T_{13} を図からもとめる。ステップ2では、建方筋、現場の2要因に対するカテゴリを決め、それに対応する修正値を表から求め、ステップ2で求めた値に加える。なお現場に関しては、5現場の建方条件(表-1)と比較して類似現場の一つを選ぶ。

このようにして求めた推定値は図-5に点線で示してある。また実測値との関係は図-8に示す通りである。

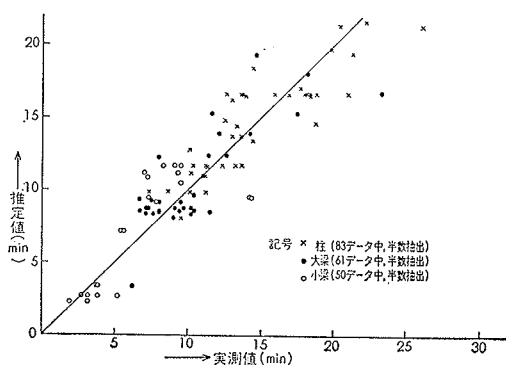


図-8 実測値と推定値の関係

4.3.2. 巻上、巻下時間について T_2 または T_4 と垂直運搬距離との間には図-6に示すごとく高い直線的相関がある。因に相関係数の全体平均は0.92である。回帰直線式を(2)式で表すと、各係数の値、 V_0 のカタログ速度(V_c)との比率は表-4に示す通りである。

$$T_2, T_4 = \frac{H}{V_0} + t_0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

現場	D		N		K		S		H		平均	
	巻上	巻下	巻上	巻下	巻上	巻下	巻上	巻下	巻上	巻下	巻上	巻下
V_0 (m/min)	7.6	12.5	21.5	29.5	72.5	16.7	36.5	23.6	48.8			
t_0 (min)	-0.97	-0.13	0.53	0.45	1.14	0.24	0.43	0.02	0.44	0.26	0.44	
V_c (m/min)	25		25		38	25		46				
V_0/V_c	0.30	0.50	0.86	1.18	1.91	0.67	1.46	0.51	1.06	0.68	1.25	

表-4 巻上、巻下時間回帰直線式の係数

H—垂直運搬距離(m)

V_0 —巻上または巻下定格速度(m/min)

t_0 —図-6における時間軸の切片

表の値はかなりばらついているが、ごく粗く T_{24} を推定するには(3)式によることができる。

$$T_{24} = \left(\frac{H}{0.7V_c} + 0.3 \right) + \left(\frac{H}{1.2V_c} + 0.4 \right) = 2.3 \frac{H}{V_c} + 0.7 \quad \dots\dots\dots(3)$$

V_c —低速の大に対するカタログ速度(m/min)

V_2 または V_4 は図-6に示すごとく一般に t_0 が正であるから、Hの増加と共に増加して V_0 に漸近する曲線で表わされる。

なお、 T_2, T_4, V_2, V_4 の回帰直線および曲線は図-6に点線で示してある。同図によれば、建方タイプと運搬重量の大小は T_{24} にほとんど影響を与えていないことがわかる。

4.3.3. サイクルタイムについて Tの推定値は前述の T_{13} と T_{24} に対する推定値の和である。次にその信頼性について検討する。

(1) 実測値の信頼性 推定値の信頼性を検証する前に、実測値の信頼性をチェックしておく必要がある。そこで実測値の母平均に対する95%信頼区間の精度を求めると、表-5に示す通りである。同表によれば精度は現場間、部位間でほとんど差がなく、全体平均で±15.2%と多小高めであるが、サイクルタイムが長いことを考えれば、この実測値の信頼性は十分評価できるであろう。

部位-現場	D	N	K	S	H	平均
柱	±8.5	±13.5	±5.6	±7.6	±19.4	±15.6
大梁	±10.2	±11.7	±12.8	±14.5	±16.5	±14.9
小梁		±21.5	±15.7	±11.1	±14.1	±15.3
平均	±14.6	±16.4	±12.9	±11.0	±16.7	±15.2

表-5 実測値の精度((95%信頼限界-実測値)/実測値(%))

(2) 推定値の信頼性 推定値の信頼性は、推定値と実測値の差の実測値に対する比率と先に求めた実測値の精度との比較により判定することにする。推定値の精度は表-6に示す通りであり、実測値の精度と比較すると、前者の方が柱では小さく、梁では逆に大きい。全体平均は15.1%でほとんど等しく、また推定値の60%が実測値の信頼度95%の信頼区間に入ることからも、サイクルタイムの推定値については推定方法の信

部位-現場	D	N	K	S	H	平均
柱	10.5	14.3	3.5	7.6	10.3	9.8
大梁	14.3	18.5	20.7	17.6	13.6	15.9
小梁		14.3	24.2	14.6	19.9	18.6
平均	13.5	15.8	19.3	13.5	14.5	15.1

表-6 推定値の精度(|実測値-推定値|/実測値(%))

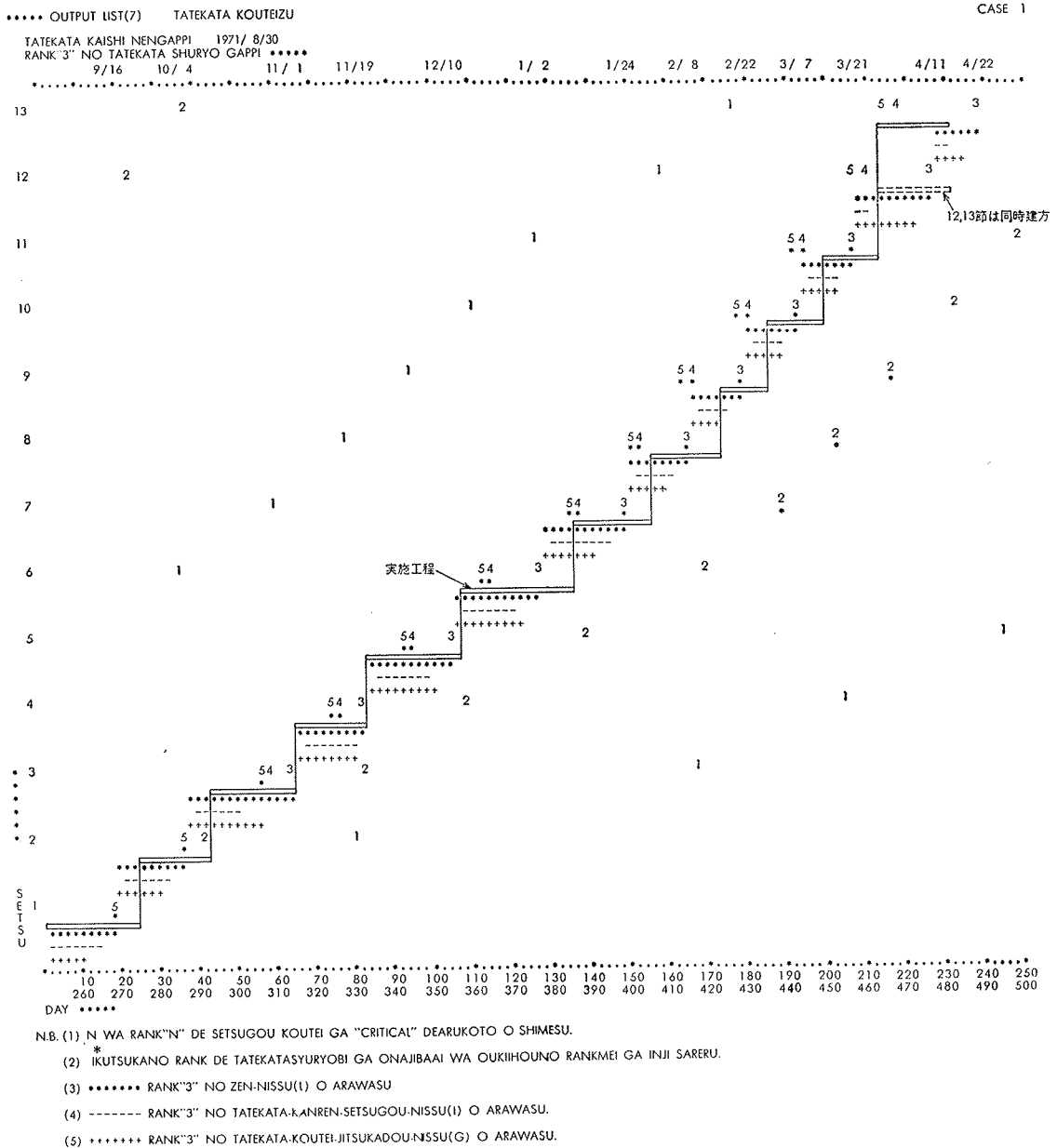


図-9 建方工程図アウトプット例 (H現場)

頼性は十分実用に供しうるものとする。

以上の検討は詳しい推定方法に対するものであったが、粗い推定方法による推定値についても推定値の精度は全体平均で16.2%、また推定値の54%が先の信頼区間に入る。

5. むすび

以上、実建方時間の推定方法についてその概略を示したが、このようにして求めた実建方時間に建方工程他作業の時間と作業中断時間を加えて、一節分の建方工程時間を計算する。この計算で電算機で行い、建方工期をアウトプットした例を図-9に示す。同図には、

実施工程を併記したが、両者はかなりよく一致している。これも建方工程を示す+++++の約30%を占める実建方時間の推定精度が高いことに大いに預かっているものとする。

なお、個々の現場の測定結果の集大成は施工計画分科会が中心となって行なった。この作業に協力して下さった現場の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 脇坂：鉄骨工事に関する作業測定の省力化について、大林組技研所報 No. 7 (1973年)