

# 鉄骨工事における作業測定の省力化について

脇坂達也

## Study on Reducing Manpower in Work Measurement of Steel Work

Tatsuya Wakisaka

### Abstract

Work measurements were carried out for the steel work in five multistoried buildings and it was strongly required that manpower for the measurements should be reduced to as little as possible. A new method in which data would be recorded with cassette magnetic tape recorders so as to be automatically analyzed and calculated by computer was devised. Examinations proved the method to be applicable in both software and hardware.

### 概要

超高層タイプの5現場で鉄骨工事に対する作業測定が行なわれた。その結果、測定の省力化が強く要望されたので、カセット式磁気テープデータ集録装置を中心に組んだ測定システムによりデータを集録し、それを分析・集計プログラムにより電算機で一貫処理するという新しい測定方法を考案した。その可能性についてソフト、ハード両面から検討した結果、共に十分可能であることがわかった。

## 1. 序

近年、純鉄骨造による高層および超高層ビルの建設工事が年々増加の一途をたどり、今や特殊工事の域を脱した感があるが、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、工程計画プログラムに対する信頼性の高い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過去3年にわたり五つの現場(D, N, O, K, S)で測定が行なわれてきた。本報告では、その測定結果ではなく、“測定方法をもっと省力化してほしい”という現場の要望に応えるために考案された新しい測定方法に対する可能性の検討結果を報告する。

## 2. 現在の測定方法

作業測定の主目的は、今後のプロジェクトのために工程計画プログラムに対する信頼性の高いインプットデータとそのバックデータを集積することである。

測定項目は、機械系の鉄骨建方工程におけるクレーン作業、クレーン動作および荷重、人間系の建直し、

足場架けおよび本接合工程の歩掛データとこれらに対するバックデータである。信頼性の高いデータを得るための目安として、(1)式を用いて信頼度95%、精度10%に対する観測回数を求めると、OおよびK現場の玉掛・取付時間に対し、1部位あたり30~80回である。

$$N' = \left( \frac{20\sqrt{N\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}}{\Sigma X} \right)^2 \dots\dots\dots(1)$$

N'-必要な観測回数, N-実測した観測回数,

X-実測した個別時間

信頼性の高いデータを得るために、このように多数の観測が必要であることは、D現場における予備調査から予想されたので、機械系のデータは一応全数観測とした。これを現場職員が日常業務の中で消化できるようにするために、i)データ収集段階では、クレーン動作と荷重は運転記録計と電圧記録計に自動記録し、どうしても人の判断を要するクレーン作業の分析は、クレーンオペレータ(以下オペレータと略す)の押印操作により運転記録計に記録する、ii)データは集計プログラムにより電算処理する、iii)人間系のデータやバックデータは現場巡視時に収集するというように

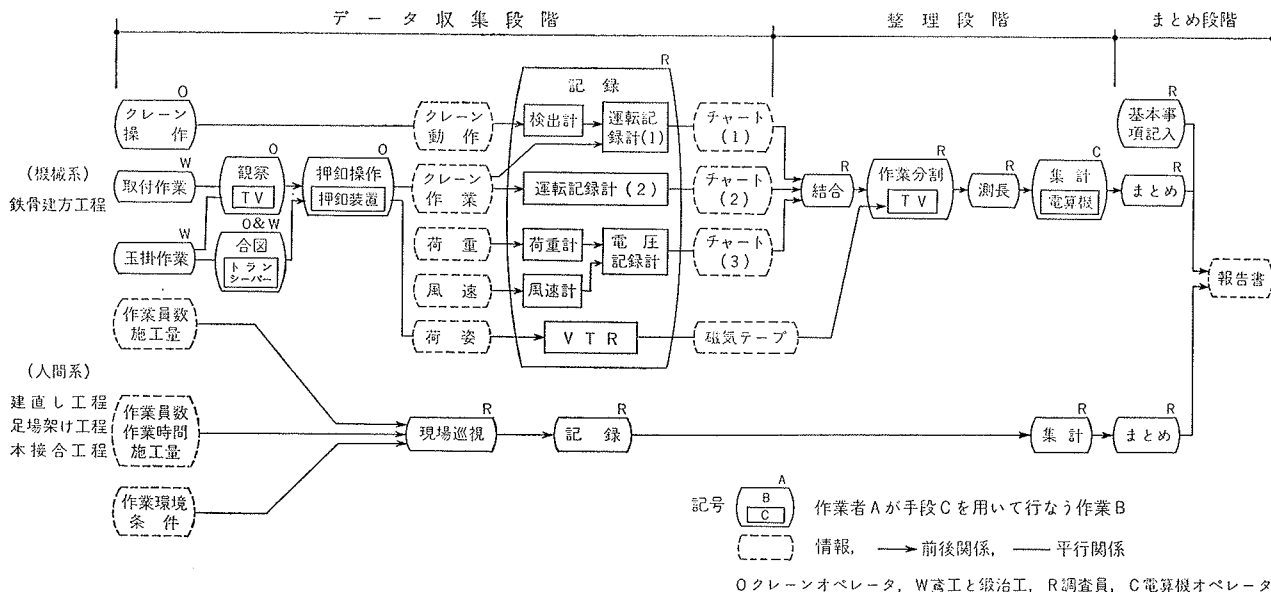


図-1 現在の測定システム (O現場採用)

測定方法はかなり機械化、省力化された。

O現場で採用された測定システムを図-1に、クレーン動作とクレーン作業の内訳を以下に示す。

(1) クレーン動作 i) ロードワイヤ巻上, ii) ロードワイヤ巻下, iii) ブーム起こし, iv) ブーム伏せ, v) 旋回, vi) メインスイッチ (計6動作)。

(2) クレーン作業 i) 柱, ii) 大梁, iii) 小梁, iv) 耐震壁, v) 階段 (以上実建方), vi) 鉄骨荷卸, vii) 鉄骨関連揚重, viii) 鉄骨非関連揚重, ix) 揚重設備盛替, x) 作業中断 (計10作業)。

なお、オペレータの押し釦操作とは、上記のクレーン作業に対応する作業釦を作業変化時に押し、各サイクルごとにサイクル釦を1回押すことである。

実際に測定してみて、やはり、現場職員が日常業務の中で処理するには負担が大き過ぎるということがわかった。最大の問題は、機械系データの整理段階における作業分割 (作業釦の押間違え箇所を訂正し、作業変化点を明示し、実建方と鉄骨荷揚を玉掛、巻上、取付、巻下の四つの単位作業に分割する作業)と測長(分割された各作業の長さを測り、サイクル数を数え、データ用紙に記入する作業)である。D現場のデータ整理に対するタイムスタディの結果、建方期間のデータに対して平均約100分、非建方期間に対して約40分要している。

### 3. 新しい測定方法

現在の測定項目を現場職員が測定するという前提を崩さずに、この問題を解決するには、全数観測をワークサンプリングに切り替えるか、測定方法を一層機械

化、自動化するかである。第1の方向はすぐ実施に移せるが、完全な省力化は不可能であり、測定者による平凡なミスも避けられないので、第2の方向でその可能性を追求することにした。

新たに考案された測定方法の特長は、カセット式磁気テープデータ集録装置を中心に組まれたシステムであり、磁気テープコンバータによりオープンリールに変換されたデータを分析および集計プログラムにより電算機で一貫処理し、データ整理段階をほぼ完全に省力化することである。しかし、オペレータによる押間違えは避けられないであろうし、これは自動分析に重大な影響を及ぼすので、データ集録装置の表示ランプなどから押し釦操作を管理する必要が生じるであろう。以上の他は、現在の方法とほとんど同じである。

### 4. 新しい測定方法の可能性

新しい測定方法の可能性をソフト、ハード両面から検討すると以下のとおりである。

#### 4.1. オペレータによる押し釦操作の可能性

4.1.1. クレーン操作と押し釦操作 オペレータがクレーン操作の合間に無理なく作業釦とサイクル釦を押すことができるかという問題を、調査に参加した、O、KおよびS現場の3人のオペレータ (F, I, Y) に会って検討した。1日平均の押し釦回数は建方時で約70回、非建方時で約30回であったが、i) 押し釦操作はクレーン操作の合間に無理なくできる (全員), ii) 当初懸念された安全と能率の低下や疲労の増加は全くない (全員), iii) むしろクレーン操作の能率が上がった (Y), などという意見を聞いて、オペレータに無理なく、積

極的に測定に参加してもらえという確信を得た。

4.1.2. 作業鉤操作 オペレータが作業変化時に正しく作業鉤を押すことができるかという問題を、O現場の2機のタワークレーンによる第6, 11節の建方に対するデータから検討した。

(1) 誤率 押鉤回数から求めた計数的誤率(間違えた押鉤回数/全押鉤回数)は14%, 測定時間から求めた計量的誤率(押鉤を間違えた時間/全測定時間)は6%であり, クレーン間, 節間で顕著な差は認められない。計量的誤率が計数的誤率に比べて低いのは, 合図の不備による押間違えは巻上直後ほとんど訂正され, 時間的な誤りが短縮されたためと考えられる。

(2) 正誤関係 実建方ではほとんど誤りが無い。誤りやすい作業は鉄骨荷卸, 鉄骨関連揚重および揚重設備盛替で, これだけで誤りの75%を占めている。誤りやすい作業は鉄骨関連揚重と作業中断で誤りの62%を占めている。個々の関係で目立つのは, 揚重設備盛替(正)→鉄骨関連揚重(誤)と鉄骨関連揚重, 揚重設備盛替(正)→作業中断(誤)で, 誤りの35%を占めている。これらの傾向にはクレーン間, 節間で顕著な差は認められない。これらの正誤関係が発生する理由は各々十分推定できるので, 対策はとれるが, 要は, 事前に作業と資材を徹底的に分類してオペレータに覚えてもらい, 合図マンに資材を正しく連絡してもらうことにつける。

(3) 押鉤時期 正しい押鉤時期は後続作業の玉掛開始点であるが, 実際の押鉤時期は図-2に示すとおりである。平均値は1.1分の遅れ, 標準偏差は2.4分でクレーン間, 節間で顕著な差は認められない。この程度のずれとばらつきはほとんど問題とならない。

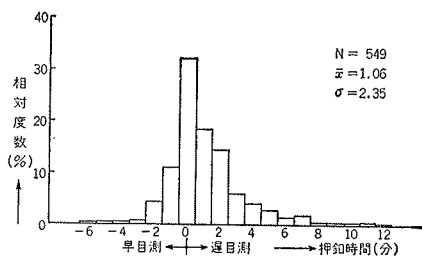


図-2 押鉤時期 (作業鉤)

4.1.3. サイクル鉤操作 オペレータが所定の時期に正しくサイクル鉤を押すことができるかという問題を4.1.2.と同じデータを用いて検討した。

(1) 押鉤時期 押鉤の時期を巻上終了点から玉掛払い開始点までと決めた。これは実建方と鉄骨荷揚の1サイクルを四つの単位作業に分割する時に重要な手懸りとなる。実建方では所定の時期に75%, その前後

に残りが半分ずつ押されている。鉄骨荷揚では所定の時期に40%, その前に60%押されているが, クレーン間でこの比率が60:40, 0:100と差がある。鉄骨荷揚で所定の時期に押される率が低いのは, この間に静止状態が無く, 押しにくいためと考えられるので, 押鉤時期を玉掛払い終了点まで延長すべきであろう。

(2) 押鉤回数 押し忘れが全押鉤回数の7%, 押し過ぎが3%, 合計10%の誤りが発生している。この傾向にはクレーン間, 節間で顕著な差は認められない。面接調査の結果では, 仕事が錯綜する時に押し忘れが起きやすいようである。

4.2. 自動分析の可能性

集録されたデータに対して, マクロな分析とミクロな分析が行なわれる。マクロ分析とは各クレーン作業のクレーン占有時間とサイクル数を計算すること, ミクロ分析とは実建方と鉄骨荷揚を四つの単位作業に分割し, 所要時間を計算することを言う。これらの分析に対する自動化の可能性を図-3に示すような手順で検討した。

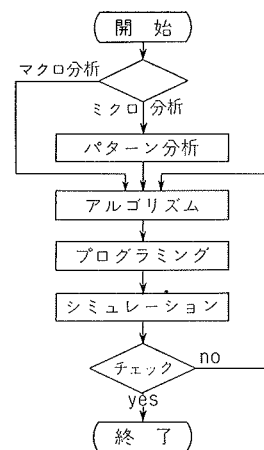


図-3 検討手順

4.2.1. パターン分析 ミクロ分析を行なうために, クレーン動作と荷重のパターンを分析する必要がある。そのため, O現場の2機のクレーンによる第6, 11節, K現場の2機のクレーンによる第5, 6節およびS現場のNo.2クレーンによる第8節の建方のデータから, 各部位の建方と鉄骨荷揚に対しランダムに20サイクルずつサンプリングし, 各分割点における規則性と巻上および巻下時間の長さを調べた。その結果を表-1に, 建方計画平面図を図-4に, 代表的なパターンの実例を図-5に示す。

建方パターンを左右する要因に関して上記3現場を比較すると, 次に示すような差が認められる。

(1) 建方機械 O現場では200W, 遅巻, 1機当りの基準階床面積664m<sup>2</sup>, K現場では200W, 早巻, 1240m<sup>2</sup>, S現場では300W, 遅巻, 1310m<sup>2</sup>である。

(2) 鉄骨部材 SビルのスパンがOおよびKビルの約2倍であるため, 前者の柱と大梁の寸法, 重量が後者の約2倍で, 各々約10tと5tである。Kビルは純ラーメン構造であるが, Oビルでは鉄板耐震壁, SビルではK型ブレースが使用されている。

(3) 柱以外の部位の建方タイプと吊ピース数 O

建方部材	柱	大梁	小梁	耐震壁	階段	荷揚	全部材
資料数	100	100	100	42	57	72	471
荷重	100	98.8 <sup>*1</sup>	96.3 <sup>*1</sup>	62.7 <sup>*1</sup>	92.8 <sup>*1</sup>	90.2 <sup>*1</sup>	95.1 <sup>*1</sup>
分割点							
①							
巻上	100	160	100	100	100	100	100
巻下	0	0	0	0	0	0	0
旋回	2	1	7	7.1	1.8	0	3.0
ブーム起し	1	1	3	0	0	1.4	1.3
ブーム伏せ	3	4	6	2.6 <sup>*2</sup>	0	4.2	3.6 <sup>*2</sup>
荷重	100	100	100	100	100	100	100
②							
巻上	100	100	100	100	100	100	100
巻下	0	0	0	0	0	0	0
旋回	81	77	84	83.2	96.5	44.4	77.3
ブーム起し	79	47	24	40.5	63.2	94.5	57.5
ブーム伏せ	4	5	17	7.7 <sup>*2</sup>	1.8	0	6.4 <sup>*2</sup>
荷重	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>
③							
巻上	0	0	0	0	0	0	0
巻下	100	100	100	100	100	100	100
旋回	91	82	87	97.5	94.6	70.8	86.1
ブーム起し	12	8	43	4.8	3.5	2.8	14.7
ブーム伏せ	73	46	34	30.7 <sup>*2</sup>	54.3	79.1	54.1 <sup>*2</sup>
玉掛払い後の巻上	87	100	100	95.2	100	100	97.0
荷重	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>	0 <sup>*1</sup>
④							
巻上	0	0	0	0	0	0	0
巻下	100	100	100	100	100	100	100
旋回	3	13	14	35.6	1.8	0	9.8
ブーム起し	2	1	3	0	1.8	1.4	1.7
ブーム伏せ	1	2	1	10.2 <sup>*2</sup>	0	4.1	2.4 <sup>*2</sup>
巻上時間比	74.7	60.1	84.0	85.5	73.3	74.8	75.2
巻下時間比	85.7	87.0	101.5	114.5	94.1	75.0	93.0
備考	<sup>*1</sup> N=80	<sup>*1</sup> N=77	<sup>*1</sup> N=54	<sup>*1</sup> N=8 <sup>*2</sup> N=39	<sup>*1</sup> N=42	<sup>*1</sup> N=71	<sup>*1</sup> N=332 <sup>*2</sup> N=468

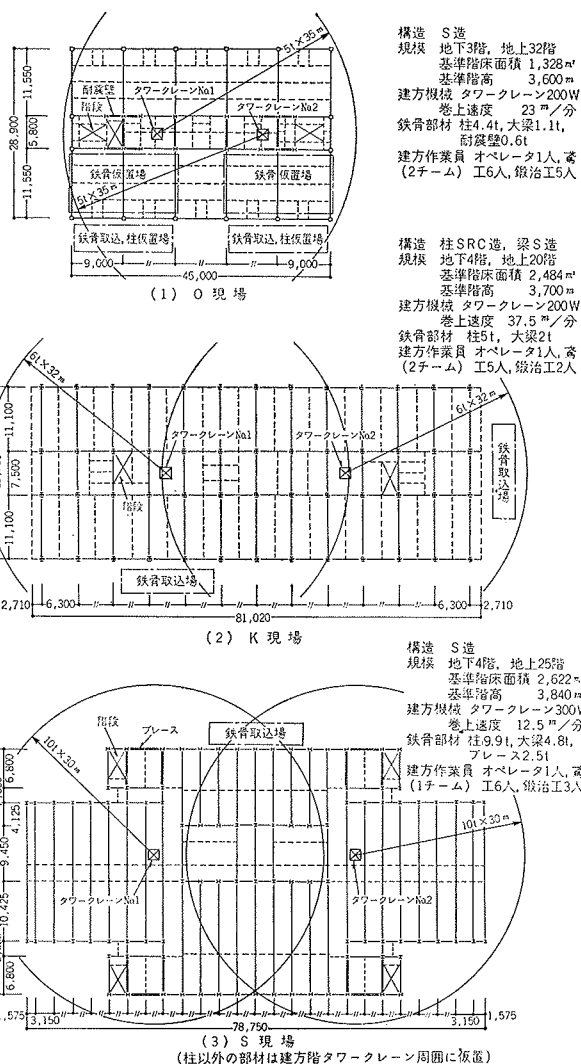
注：巻上(下)時間比=巻上(下)測定時間(σ-2σ)/巻上(下)推定時間

表一 パターン分析表 (各事象の生起率-%)

現場では建方タイプ3 (建方階からの間接建方), 1ピース吊り, K現場では建方タイプ1 (GLからの直接建方), 3ピース吊り, S現場では建方タイプ3, 小梁は3ピース吊り, 他は1ピース吊りである。

表一と図一5から各部位の建方と鉄骨荷揚のパターンを比較すると, i) 柱建方の荷重パターンには玉掛の建起し時に全荷重の約半分の段がつく, ii) nピース吊りの梁建方の荷重パターンには玉掛および取付時にnヶの段がつく, iii) 部材の取込場または仮置場とクレーンの位置関係で旋回とブーム起伏の発生状況が異なる, iv) 各単位作業の長さが部位, 建方タイプおよび吊りピース数により異なるなどの点を除けば, ほとんど同じ傾向を示している。そこで, 各分割点における全体的な傾向を示せば, 次のようになる。

- (1) 分割点① (玉掛と巻上の境界で連続巻上の開始点)
  - i) 荷重は95%以上最大荷重に達している。
  - ii) 旋回とブーム起伏はほとんど生じていない。
- (2) 分割点② (巻上と取付の境界で連続巻上の終了点)
  - i) 荷重は必ず最大荷重に達している。
  - ii) 旋回は約75%生じている。
  - iii) ブーム起しは約60%生じ, 伏せはほとんど生じていない。
- (3) 分割点③ (取付と巻下の境界で連続巻下の開始点)
  - i) 荷重は必ず0である。
  - ii) 旋回が約85%生じている。
  - iii) ブーム伏せは約55%生じ, 起しはほと



図一4 建方計画平面図

んど生じていない。iv) 玉掛払いと分割点③の間に巻上が95%生じている。

(4) 分割点④ (巻下と玉掛の境界で連続巻下の終了点)
 

- i) 荷重は必ず0である。
- ii) 旋回とブーム起伏はほとんど生じていない。

(5) 巻上時間 公称クレーン速度から計算した巻上推定時間の60%を巻上時間の基準値にとれば, 巻上時間の95%以上が基準値以上である。

(6) 巻下時間 巻下推定時間の75%を基準値にとれば巻下時間の95%は基準値以上である。

4.2.2 分析のアルゴリズム パターン分析の結果, 各分割点に高い規則性があることがわかった。自動分析には90%以上の確率で生じる事象のみ用いるとすれば, 各分割点の判定条件は次に示すようになる。

- (1) 分割点①, ②
  - i) 連続巻上の開始点と終了点である。
  - ii) 分割点②の荷重はそのサイクルの最大荷重である。
  - iii) 巻上時間は巻上推定時間の60%以上であ

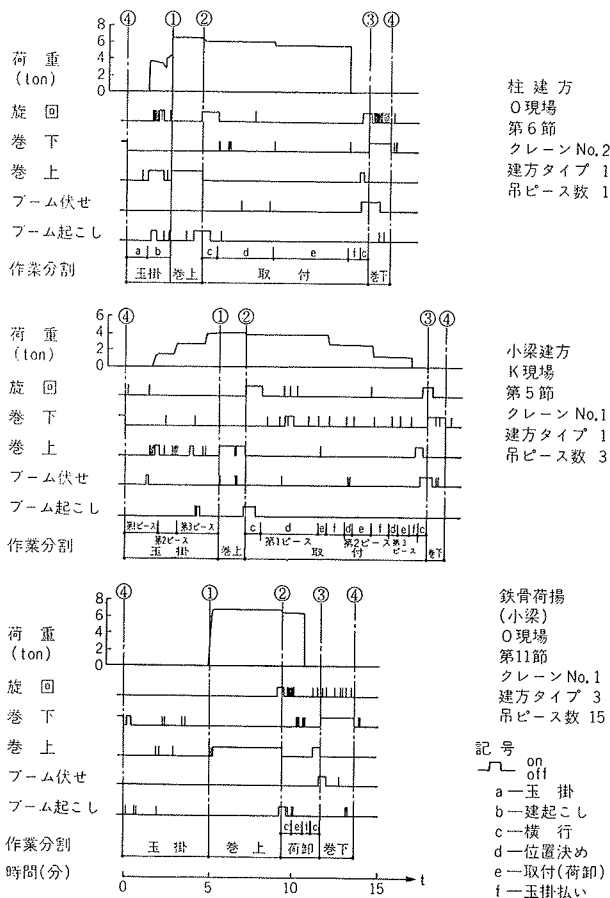


図-5 代表的なパターン例

る。iv) サイクル押釦パルスの前にある。

(2) 分割点③, ④ i) 連続巻下の開始点と終了点である。ii) 荷重は0である。iii) 分割点③は玉掛払いと巻上の後にある。iv) 巻下時間が巻下推定時間の75%以上である。v) サイクル押釦のパルスの後にある。

自動分析では、これらの条件が全て成立したサイクルのみ採用することにし、荷重が検出されにくい部位に対しては、荷重条件を外すことにした。

この分析アルゴリズムにおいてサイクル釦の押間違えがどのような結果をもたらすか、ケーススタディにより検討した。例えば、3サイクル連続作業で、第1, 3サイクルで釦を正しく押し、第2サイクルで押し間違えた場合、押釦の時期と回数の組合せで一応9種類のケースが考えられる。この内の4ケースでは第2サイクルが、他の4ケースでは第2, 3サイクルが捨てられるだけなので、全数観測の場合はほとんど影響ないが、残りの1ケース、即ちサイクル釦を押し忘れた場合、第2, 3サイクルが一緒に1サイクルとして取られるので、問題である。この場合、取付時間の中に第2サイクルの取付および巻下時間と第3サイクルの

玉掛、巻上および取付時間がしわ寄せされるので、正しい取付時間より大分大きくなる。そこで、 $3\sigma$ の異常値検定によりこのような異常値がどの程度棄却されるか、O現場の第2横割ブロック(第4~6節)のデータに基づいて検討すると多少部位により異なるが、平均棄却率は約60%である。前記したようにサイクル釦の押忘れが約7%であるから、全体で3%程度間違った取付時間が拾われる可能性がある。

4.2.3. シミュレーション O現場で集録されたデータの一部をディジグラマー(図面上の任意点の基準点に対するx, y座標を紙テープにさん孔する装置)により数値化し、分析プログラムにより自動分析のシミュレーションを行なった。その結果マクロ分析、ミクロ分析共にうまく実行された。

### 4.3. 測定機器の可能性

測定機器の中心課題はカセット式磁気テープデータ集録装置の可能性である。関連業者と交渉した結果、i) 工事機械全般の作業測定に使える、ii) 2台のリフトまたは2台のクレーンの稼働状況が同時に集録できる、iii) 1日分のデータが1本のカセットテープに納まる、iv) 軽便で保守管理が容易である、v) データをIBMタイプのオープンリールに変換できるなどというこちらの要求を満す装置が適当なQ, C, D条件で手に入ることがわかった。

## 5. まとめ

(1) オペレータはクレーン操作の合間に無理なく、ほぼ正確に押釦操作できる。正確さを増すためには、オペレータと合図マンの事前教育、押釦操作の管理、押釦装置の改善などが必要である。

(2) クレーン作業、クレーン動作および荷重データをカセット式磁気テープに集録する装置は、適当なQ, C, D条件で入手可能である。

(3) 集録されたデータは分析・集計プログラムにより電算機で一貫処理できる。

以上、鉄骨工事に対する新しい測定方法の可能性をソフト、ハード両面から検討した結果、共に十分可能であり、この方法によれば、測定的大幅な省力化が期待される。これは他の工事機械の作業測定にも応用可能であり、現に、S現場が現在実施中のリフトの揚重調査に近く導入される予定である。

なお、この研究は、超高層施工分科会の場を借りて、本社工務部梅本職員、機械計算部河盛、泉職員、機械部玉記職員はじめ多くの方々の協力の下に行なわれた。