

# 建築工事における運搬の定量的研究

岡村 武史

## 概要

運搬管理は、それぞれの分野で研究がすすみ、基礎的な管理方法が確立にされている。一方、建築工事においても、労務者の不足も一因となって、一品製作からプレハブ化へと変化するにつれ、運搬作業が大きくクローズアップされ、再検討の必要が生じている。建築工事における運搬作業は数多くの要因によって決められ、かつ、その要因は経時的に変化していくので、生産工場における運搬と非常にことなる。本研究は、現場搬入より所定の位置に到着するまでに資材が受ける要因について個別的分析してのち、全過程における運搬の能率を把握するために行なった研究の一部である。

### 1. まえがき

建設資材は、完成時の性能がよいことはもちろん、その運搬性能も優れていることを要求されるのはプレハブ部材にかぎらない。まず、資材そのものの運搬性能についてのべ、つぎに運搬機器の性能におよぼす建築現場の条件の一つをあげ、その変化について検討した。運搬距離の問題は、その階での資材の出発点の位置と建物平面形の関係をとらあげた。最後に一系統の運搬作業の実測例をあげ、その作業におよぼす要因の関係式を提案した。

### 2. 資材の流れに影響する要因

資材が現場に入着し、それが目的場所に到着するまでに多くの要因によってその運搬状態が規定されるが、その主な要因を特性要因図で表わすと図-1のようになる。

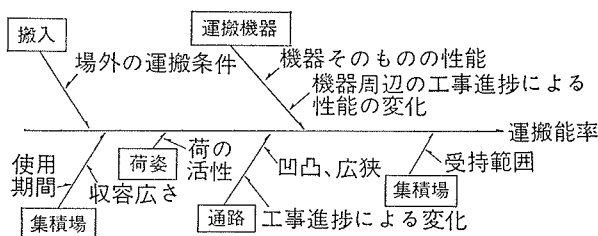


図-1 現場内運搬の特性要因図

これらの要因のほとんどが工事進捗にともない、その質が変化していく。たとえば、設置された運搬機器により初期に運搬できる資材の量を運搬可能量とすれば、工程の進むにつれて、間仕切工事の進捗、仮設穴ふさぎ、仮設機器の撤去等により運搬量の低下をきたし、可能量は減少してくる。また、後にのべるように、床仕上工事の関係で機器の性能がしり上りになるもの

もある。このように、生産工場において運搬可能量が定常状態であるのとなり、たえず変化する。つぎに、特性としての運搬能率についてであるが、これは近代的 I E の定義にいわれるごとく、部分能率の総能率への統合化または、総能率の部分能率への分析を行なって出てくるものであり、OR 等の手法をつかって研究を進めている。

### 3. 運搬上からみた資材の把握

#### 3.1. 分類

運搬手段と資材の荷姿の関係で組合せに適、不適があり、また現場入着後の資材の仮置きにも多くの条件によって制約されるので、建築資材の現状の荷姿を把握し、パレットシステム化、コンテナ化の資料のため分類を行なった。条件は荷役研究所編「運搬ハンドブック」を参考にした。内訳は、工事別・形態・性質・取扱い等をあげ、分類方法はとりあえず punchcard system によって、検索を自由にした。

#### 3.2. 資材の働き

建設資材で同じ使用目的でも種々の条件によって、運搬中の荷姿とその資材が目的地に着いてからの働らきには差がでてくる。これを単位体積および単位重量を基準にとり数値で表わしておけば、資材決定時の総合判断の一助となる。仮設面材を例にあげるとつぎのようになる。

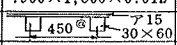
運搬資材(面材)	仕様	働き $m^2/m^3$	働き $m^2/kg$ ( $1m^3$ の重量)
木製普通パネル	.600×1,800×0.075	13.3	0.107
型枠用ベニヤ	.900×1,800×0.012	89.0	0.111
補助板による面材	 450 $\phi$ 30×60 ア15	13.3	0.100
メタルホーム	.300×1,800×0.055	18.2	0.031

表-1 仮設面材の働き

この数値から運搬性能をみれば、運搬過程で容積制

限をうけた場合、型枠用ベニヤが特に性能がよく、重量制限をうけた場合は、普通パネル。ベニヤおよび補助板による面材は、その性能においてあまり差がなくメタルホームは低い。

その他、運搬上からみた資材を把握するため、場外から現場に搬入された時点で、運んできた資材の荷姿と運搬車の関係および仮置きの所要空間について検討した。(省略)

#### 4. 手押車に対する路面抵抗

一般に運搬機器の性能は、建築現場の中におかれたその条件によって表示通りその性能を発揮できないことが多い。仮設穴の大きさとワイヤー釣りの関係もその一例である。ここではハンドリフトトラックと路面抵抗について調査したものを紹介する。

##### 4.1. 基本事項

ハンドトラックの始動抵抗係数 ( $\mu$ ) は JISB 8920 でつぎのように定められているので、ハンドパレットトラックについてもこれに準ずることとした。

$$\mu = \frac{F}{W_1 + W_2} \quad \begin{array}{l} F: \text{始動力 (kg)} \\ W_1: \text{最大荷重 (kg)} \\ W_2: \text{ハンドトラックの自重 (kg)} \end{array}$$

使用車輪	始動抵抗係数
1種(コログリ軸受)	0.04以下
2種(スベリ軸受)	0.08以下

表-2 始動抵抗係数

ただし、試験は水平においた平らな厚さ12mm以上の鋼板上で行なうことになっている。

なお、手押体位による最大押力は、保持高さ120cmにて最大押力72kg、普通の手押車の押手位置85cmにて50kgが限度といわれている。

##### 4.2. 某ハンドパレットトラックの調査結果

木どてでならした程度のコンクリート床面で、当ハンドパレットトラックにセメント袋を5袋および10袋を積載し、プルビングリングを通じて引張り、始動抵抗および走行抵抗を測定した。その結果はつぎのようである。

積載荷重	始動抵抗	走行抵抗
500kg	平均水平押力=18.5kg $\mu=0.028$	平均水平押力=10.3kg $\mu'=0.016$
250kg	平均水平押力=16.0kg $\mu=0.004$	平均水平押力=8.0kg $\mu'=0.020$

表-3 始動抵抗および走行抵抗

一方、当ハンドパレットトラックの表示性能によると許容積載重量は3000kgで、JIS規定により試験し

た始動時の水平押力は、積載1000kgの場合は8.0kg積載2000kgの場合は、14.0kgとなっている。このように床面の状態により性能が変化し、とくに一人の水平押力で20.0kgが持続作業の行なえる標準なので、実際の積載重量は大巾に低下してくる。その他建築施工中の路面の障害として、エレベーターのケージと踊場間の隙間への落ち込み、沓摺などの養生材の乗り越しなどがあり、パレットの関係でハンドパレットトラックの車輪径は普通100mm程度なので、10mmの乗り越しは、始動で積載荷重200kgが限度となった。

#### 5. 水平運搬距離

一般階における延水平運搬距離は、揚重機の位置により変化するが、揚重機を外周においた場合、矩形平面の一般床について、その短辺、長辺の変化と延水平運搬距離の関係をこの項で検討する。

##### 5.1. 仮定

- 資材の需要量が全床に等分布している。(天井材、床材など)。
- 運搬の系路は直交方向に進む。すなわち、最短距離の斜めに進まない。この仮定は、中柱や間仕切を考慮すると実状に近い。
- 建家平面形を一辺aの正方形によって分割し、その「ます」中央に資材を置くものとする。
- 揚重機は外周におく。ただし、計算は1/2a内部に入った点をその位置とする。
- 図-2は、上記仮定を図式化したもので、X方向、Y方向の直線は「ます」の中央を結んだ線で、左下隅をX座標、Y座標の原点0とする。

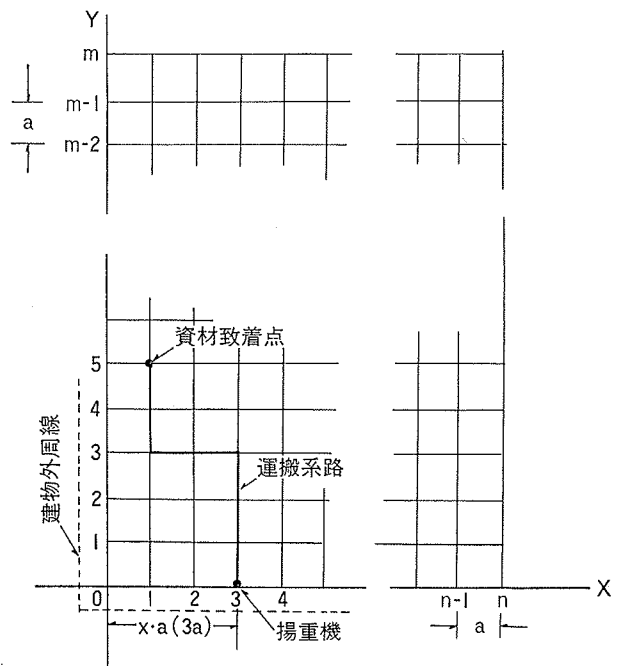


図-2 建家平面形の分割 (図中の系路は例)

○ $m > n$  とする。

下記計算は、揚重機から資材到着点までの片道について行なう。

5.2. 延水平運搬距離

揚重機が  $(x \cdot a, 0)$  にあるとする。

X方向の延水平運搬距離  $L_X$

$$L_X = \left\{ \underbrace{a+2a+3a+\dots+x \cdot a}_{\leftarrow} + \underbrace{a+2a+3a+\dots+(n-x)a}_{\rightarrow} \right\} (m+1)$$

$$= \frac{a}{2} (2x^2 + 2nx + n^2 + n) (m+1) \dots\dots\dots(1)$$

Y方向の延水平運搬距離  $L_Y$

$$L_Y = (a+2a+3a+\dots+ma) (n+1)$$

$$= \frac{1}{2} am(m+1)(n+1) \dots\dots\dots(2)$$

延水平運搬距離  $L_{XY}$

$$L_{XY} = L_X + L_Y$$

$$= \frac{a(m+1)}{2} \{2x^2 - 2nx + n^2 + n + m(n+1)\} \dots\dots(3)$$

揚重機の最適位置は  $\frac{dL_{XY}}{dx} = 0$  とおいて  $x = \frac{1}{2}n$  をえて、一辺の中央が最適位置である。

よって、短辺  $n$  に揚重機を置いた場合の  $nL_{XY}$  は(3)式に  $x = \frac{1}{2}n$  を代入して

$$nL_{XY} = \frac{a(m+1)}{2} \left\{ \frac{n^2}{2} + n + m(n+1) \right\} \dots\dots\dots(4)$$

同様に長辺  $m$  に揚重機を置いた場合の  $mL_{XY}$  は

$$mL_{XY} = \frac{a(n+1)}{2} \left\{ \frac{m^2}{2} + m + n(m+1) \right\} \dots\dots(5)$$

両者の比をもとめると

$$\frac{nL_{XY}}{mL_{XY}} = \frac{(nk+1) \{n+2k(n+1)+1\} + 2}{(n+1) \{nk^2+2k(n+1)+2\}} \dots\dots(6)$$

ただし  $k = \frac{m}{n}$

(6)式を变形して  $n \rightarrow \infty$  とおくと

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{nL_{XY}}{mL_{XY}} = \frac{2k+1}{k+1} \dots\dots\dots(7)$$

$n, k$  に数値を代入し  $\frac{nL_{XY}}{mL_{XY}}$  を算出すると、表-4をえる。

$n \setminus k$	2	3	4	5
4	1.23158	1.37647	1.47547	1.54737
6	1.23810	1.38484	1.48423	1.55599
8	1.24127	1.38889	1.48845	1.56012
20	1.24670	1.39580	1.49563	1.56715
$\infty$	1.25000	1.40000	1.50000	1.57143

表-4  $nL_{XY}/mL_{XY}$  の値

表-5は、 $k$  の変化にともなう延水平運搬距離の比を表わしたものであるが、これによると、平面形の短

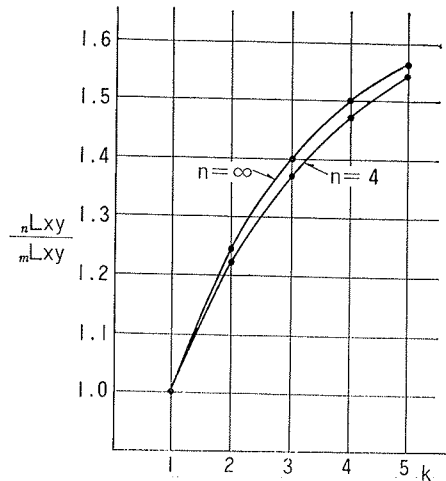


表-5  $nL_{XY}/mL_{XY}$  と  $k$  の関係

辺と長辺の比が 1 : 4 の場合でも、その延運搬距離は 1.5 倍程度である。よって、辺の比が 1 : 4 以内の矩形床面では、距離よりもむしろ途中の条件の方が大きく運搬能率に影響することが分かる。

6. 建築現場における運搬作業の実測例

この項は、搬入階の水平運搬にフォークリフト、上下運搬に人貸エレベーター、目的階における水平運搬にバッテリートラック（電動のハンドパレットトラック）をおいた系路について作業測定をした報告である。

6.1. 当運搬の条件

- 測定現場 N事務所ビル新築工事現場
- 運搬物 ロックウール吸音板。図-3は1個の荷姿である。

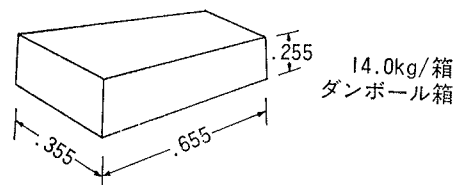


図-3 1個の荷姿

- 運搬中の荷姿 パレットは、木製平パレットF型(1,100角)

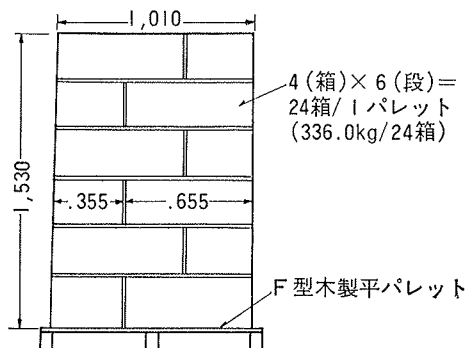


図-4 パレット上の荷姿

- 運搬物の流れおよび作業内訳

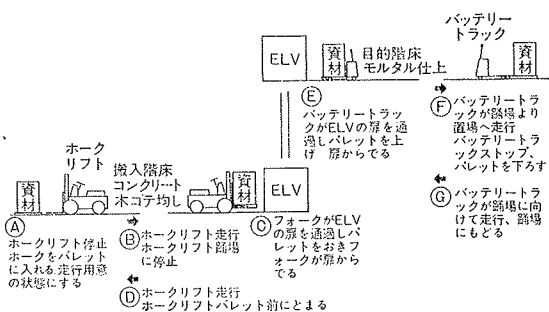


図-5 運搬物の流れおよび作業内訳

- 作業者 各運搬機器に運転手1名づつ計3名
- 運搬機器の性能

	フォークリフト	人貨エレベーター	バッテリートラック
積載能力	積載能力 1,000kg 全装備重量 2,100kg	積載能力 1,500kg(23名)	積載能力 2,000kg 自重(バッテリー共) 450kg
積上速度		50/60 m/min (50/60 00)	
走行速度	空荷の場合 前進 133 240 後進 110 200 m/min		積載時 83m/min 積載なし 113m/min

表-6 運搬機器の性能

### 6.2. 測定結果

作業者は、この状態での当作業に要する習熟期間は過ぎていたので、定常状態で作業しているとみなしてデータを整理した。

作業区分	A	B	C	D	E	F	G
平均所要時間	0.530	0.900	1.640	0.956	0.510	1.030	1.370
$\sigma_c$	0.164	0.334	0.478	0.495	0.158	0.353	0.800

表-7 各作業の所要時間

フォークリフトの載荷状態と空荷状態における走行時間の差はないと判断した(有意水準5%におけるF検定, t検定による)。一般に建築工事中の搬入階では、直線距離が長くなく、直角に走行する箇所も多いので、一定の低速で運転するものと思われる。当現場でも、曲り角の走行速度を全行程の走行速度として運転していた。

### 6.3. 当運搬の各要因の関係

当運搬系路で各運搬機器が作業するとき、エレベーターの走行距離、資材置場の位置、資材個数、各運搬機器の性能等の相互関係をこの実測よりもとめた。

#### 6.3.1. 基本事項

$V_F$ : フォークリフトの走行速度 (m/min)

$V_B$ : バッテリーパレットトラックの走行速度 (m/min)

H: エレベーターの通過距離 (m)

$V_E$ : エレベーターの運転速度 (m/min)

実測の結果、エレベーターの初速、減速時間が3秒(0.05分)、その距離は0.5m、扉の開閉時間は3秒(0.05分)であった。よってHm

のエレベーターの運転時間は $\left(\frac{H-1.0}{V_E}+0.2\right)$

分となる。

$L_1$ : 出発階における資材置場とエレベーターの距離 (m)

$L_2$ : 目的階における資材置場とエレベーターの距離 (m)

$T_l$ : エレベーターへの積込時間(min) 表-7のC項

$T_U$ : エレベーターからの荷却時間(min) 表-7のE項

$F T_l$ : フォークリフトの積込時間 (min)

$B T_U$ : バッテリーパレットトラックからの荷却時間 (min)

図-6は各時間の関係を図示したものである。

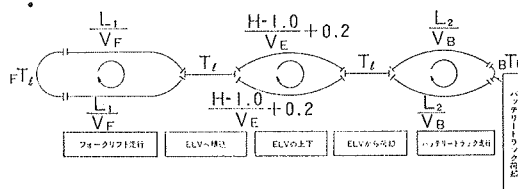


図-6 各作業時間の関係図

#### 6.3.2. エレベーターと資材集積場の距離 運搬機器に待ちがないとして、

フォークリフトが踊場を出発して置場で荷を積み込み踊場にもどる時間は、エレベーターが踊場を出発して目的階で荷却しを行ない出発階の踊場にもどる時間に等しい。バッテリーパレットトラックについても同じことが成り立ち、つぎの式をえる。

$$2 \frac{L_1}{V_F} + F T_l = T_U + 2 \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) \dots\dots\dots(8)$$

$$2 \frac{L_2}{V_B} + B T_U = T_l + 2 \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) \dots\dots\dots(9)$$

$$L_1 = \frac{V_F}{2} \left\{ T_U + 2 \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) - F T_l \right\} \dots\dots\dots(10)$$

$$L_2 = \frac{V_B}{2} \left\{ T_l + 2 \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) - B T_U \right\} \dots\dots\dots(11)$$

この場合の  $L_1, L_2$  の分散  $V_{L1}, V_{L2}$  は

$$V_{L1} = \frac{1}{4} \left\{ \left[ T_U - F T_l + 2 \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) \right]^2 V_{VF} + V_F^2 (V_{TU} + V_{FTl}) \right\} \dots\dots\dots(12)$$

$$V_{L2} = \frac{1}{4} \left\{ \left[ T_l - B T_U + 2 \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) \right]^2 V_{VB} + V_B^2 \cdot V_{Tl} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

#### 6.3.3. パレットnヶを運ぶに要する時間 ( $n T_P$ )

○第1回目にパレットを運ぶ時間

$$F T_l + \frac{L_1}{V_F} + T_l + \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) + T_U$$

○第2回目に " " " "

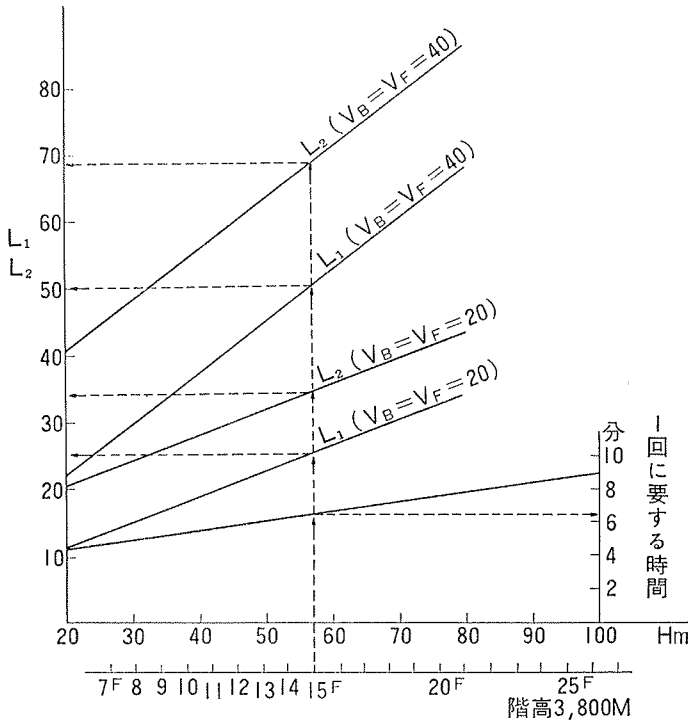


図-8 H と L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> の関係

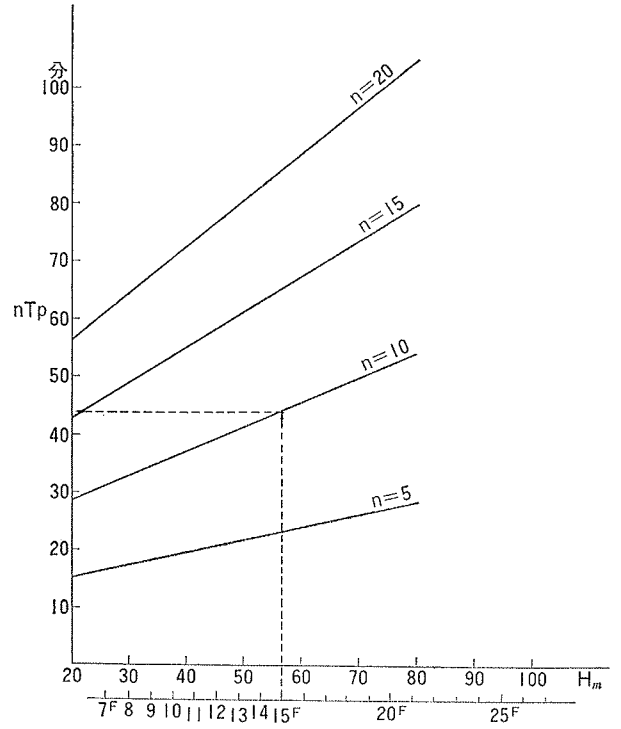


図-9 H, n, nTp の関係

$$T_l + \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) + \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) + T_U$$

○第 n 回目にパレットを運ぶ時間

$$T_l + 2 \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) + T_U + \frac{L_2}{V_B} + {}_B T_U$$

ゆえに

$$nT_P = n(T_l + T_U) + (2n-1) \left( \frac{H-1.0}{V_E} + 0.2 \right) + {}_F T_l + {}_B T_U + \frac{L_1}{V_F} + \frac{L_2}{V_B} \quad \dots\dots\dots(14)$$

この場合の nTp の分散 V<sub>nTp</sub> は第一項による影響にくらべて他項は小さいので省略して

$$V_{nTp} = n^2(V_{T_l} + V_{T_U}) \quad \dots\dots\dots(15)$$

6.3.4. 算定図表

○H と L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> の関係

フォークリフトおよびバッテリートラックの走行速度は、実測によると、当相場では両者共、20m/min となったが、現場の条件によって変わってくるので、当図表では V<sub>B</sub>=V<sub>F</sub>=20, V<sub>B</sub>=V<sub>F</sub>=40 の場合を示した。

他の時間は、実測値を使用してつぎの数値をいれて

いる。

$${}_F T_l = 0.53, T_U = 0.51, T_l = 1.04, {}_B T_U = 0.15, V_E = 52$$

○H, n, nTp の関係

代入した各時間は前記に準じている。

7. 結び

冒頭にのべたように、一資材の始点から終点までの流れは種々の要因によって影響をうける。そして、その要因も工事の進捗するにつれて刻々と変化していく。床面仕上工事と機器性能の関係もその一例である。荷姿については、パレット、コンテナシステムによることが望ましいが、これと併行して従来の建築現場で使用されている運搬機器の再検討が必要であり、また、他産業の機器をそのまま現場にもちこむ場合も慎重な検討が必要である。なお他の問題として、エネルギー消費よりみた人力の運搬能力の問題や、工程進行による周囲の変化にともなうその運搬の習熟時間の問題があり、実測データより研究を進めている。