

施工荷重の実態と床スラブたわみ挙動

高橋久雄 小柳光生

Measurements of Construction Loads for Floor-Slab Deflection Behaviors

Hisao Takahashi Mitsuo Koyanagi

Abstract

The loads on shores during construction of three buildings were measured with the purpose of eventually preventing cracks or deflection and to obtain data for proper shoring plans. The maximum construction loads were about 2.1 times the dead weight of the slab not including the formwork load. To prevent excessive deflection, it is desirable for the slab fiber stress under maximum construction load to be less than about 24~25 kg/cm².

概要

スラブの有害なひびわれ、たわみを防ぎ、適正な支保工存置計画の資料とする目的で、スラブサポートに作用する施工荷重の実態調査を三つの建築現場で行なった。その結果、施工荷重の動きから、最大施工荷重の大きさは、大よそ型わく重量を除いたスラブ自重の2.1倍程度を見込めばよいことが分かった。過大なたわみ防止上、最大施工荷重時のスラブ縁応力は24~25 kg/cm²以下にすることが望ましい。

1. はじめに

施工時の床スラブには型わくの自重やコンクリート打込み時の荷重などの施工荷重が作用するが、この荷重の大きさによってはひびわれやたわみなどの問題を生じることが指摘されている。建築工事標準仕様書(JASS5)では、施工中有害なひびわれ、たわみ防止の意味から、スラブ支保工(サポート)除去時期は、Z種の場合コンクリート強度が設計基準強度の85%以上としている。

一方、施工荷重の挙動については昭和40年前後に調査研究が行なわれ、測定データも数例見られるものの施工荷重の挙動を充分把握するには至っていない¹⁾²⁾。また、近年の打込み方法、鋼製支保工使用、高層建物などの条件下での測定データは乏しいと言える³⁾。

今回、スラブの有害なひびわれ、たわみ防止を計るとともに適正なサポート存置期間計画の資料を得る目的で2~3の建築現場でスラブサポートに作用する施工荷重の実態調査を行なったのでその結果を報告する。

2. A建物調査

2.1. 建物概要とスラブ構造計画

A建物はRC造6階建共同住宅で、はり伏せおよびサポート配置を図-1に示す。スラブ厚は13 cm, 配筋は短辺方向端部上端, 中央部下端ともD 10, D 13-@200で, 設計荷重はL.L=180 kg/m², D.L=312 kg/m²(0.13×2,400)である。コンクリートはFc=210 kg/m², スランプ18 cmの普通コンクリートを使用し, 各階の立上がりコンクリート打込み計画は15日ピッチとなっている。

2.2. 調査計画

サポート荷重の測定方法は反力計(プルーベングリング: 2 ton 用)を用い, 型わくとサポートの間に取りつけて荷重を測定する。測定部位は図-1中のスラブS₁, S₂および小ばりB₁の3部位とし, その測定箇所は同図の8点である。なおS₂スラブは内壁を有するため測定から除外した。

たわみの測定は, 直下階サポート除去直後のスラブ瞬時たわみを調べるため図-2に示すような専用測定尺を製作した。このたわみ測定尺の精度は1/100 mmである。施工期間中の長期たわみについても別途調査したがたわみの動きは余り見られなかったので今回の報告では

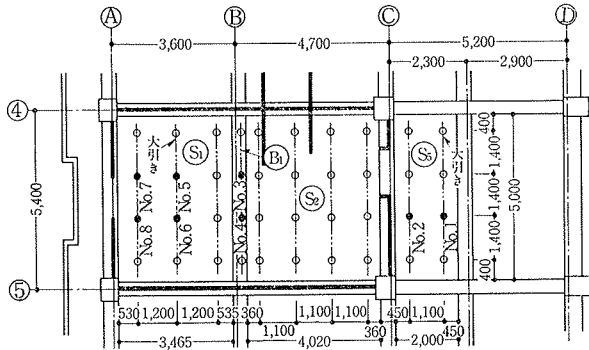


図-1 サポート計画と測点位置

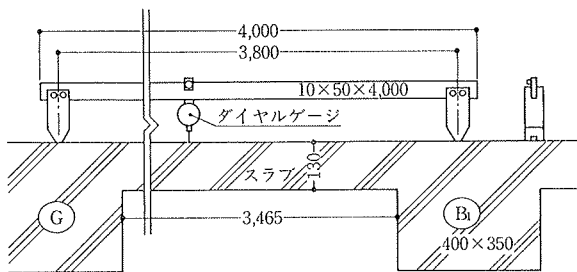


図-2 たわみ測定尺の形状

触れない。

2.3. サポート荷重の算定法

反力計から得られたサポート荷重を使って単位面積当りの荷重として換算する。なおサポート1本の支持面積の算出はスラブ内法寸法内についてサポート間隔の1/2で分割した範囲と仮定する。

N階スラブに応力を生ぜしめる荷重: W_N (kg/m²) は下式の(1), (2)で表わされる。

i) スラブ下にサポートが無い場合,

$$W_N = P_N/A + t \cdot \rho \quad \dots\dots\dots(1)$$

ii) スラブ下にサポートが有る場合

$$W_N = P_N/A + t \cdot \rho - P_{N-1}/A \quad \dots\dots\dots(2)$$

P_N, P_{N-1} : N, (N-1)階スラブ上のサポート荷重 (kg)

A: サポートの支持面積(m²), t: スラブ厚(m), ρ : 単位容量(kg/m³)

図-3に W_N の考え方を示す。上段に (N-1) 階, N階スラブ上のサポート荷重 (以後 (N-1) 階, N階サポート荷重と呼ぶ) モデル図を示し, 下段にこのN階サポート荷重を自重 ($t \cdot \rho$) だけ移動した図を示す。N階スラブに応力として作用する荷重: W_N は, この図中のハッチ部となる。

2.4. コンクリート打込み直後の荷重

S_1 スラブコンクリート打込み直後, 直下階のそれぞれのサポートに作用する荷重の動きを図-4に示す。

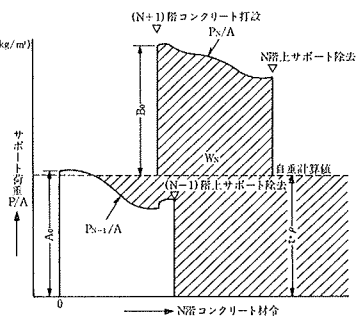
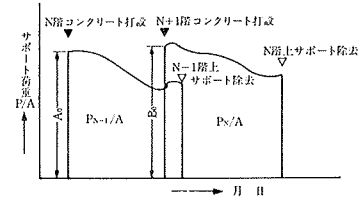


図-3 サポート荷重モデル図

単位容量 2.4 t/m³ と考えた計算自重 312 kg/m² に対してそれぞれのサポートの受ける荷重にバラツキがあることが分かる。一方, 各階の平均サポート荷重として整理したのが, 表-1である。この表から, 各階スラブの平均荷重は計算自重とほぼ一致しており, 今回の測定法, 測点数から, 施工荷重を大よそ把握できることが確認された。

一方, はり荷重は計算値よりもやや大きかった。これはスラブ側の生コン荷重を若干負担するためとおもわれる。

2.5. 施工荷重の動き

S_1, S_5 スラブの 1 ~ 5階サポート荷重測定結果を図-5に

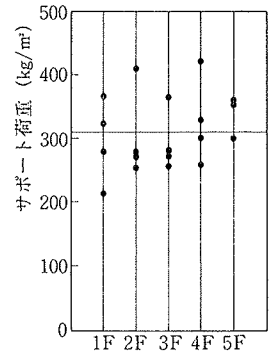


図-4 コンクリート打込直後のそれぞれのサポート荷重

階数	打設前後	(kg/m ²)		(kg/m ²)		(kg/本)			
		荷重(実測)	荷重(計算)	荷重(実測)	荷重(計算)	荷重(実測)	荷重(計算)		
2 F	前	41		57		28			
	後	296	312	0.96	311	312	1.00	651	470
3 F	前	40		66		90			
	後	305	312	0.98	283	312	0.91	549	470
4 F	前	38		62		34			
	後	295	312	0.95	376	312	1.21	453	470
5 F	前								
	後	330	312	1.06	217	312	0.70	596	470
6 F	前	46		85		103			
	後	347	312	1.11	385	312	1.23	673	470

表-1 コンクリート打込み直後のサポート荷重

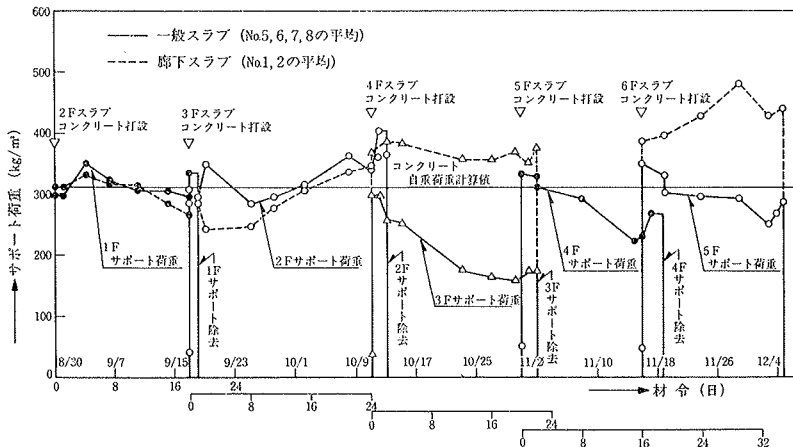


図-5 各階スラブサポート平均荷重の動き

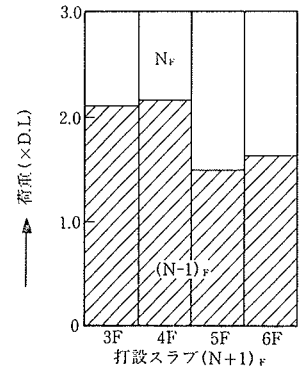


図-7 (N+1)階スラブ打込直後のN, (N-1)階スラブの荷重分担

示す。この結果から打込み後2~3日までに荷重は最大となり、その後徐々にではあるが減少する傾向が見られる。また、(N+1)階スラブ打込み時の荷重は、(N-1)階サポートにはせいぜい50 kg/m²以下しか伝達されず、このことはN階スラブが殆ど支持していることを示している。

スラブに応力を生じさせる施工荷重: W_N を2,3サポート荷重の算定法から計算し、その結果を図-6に示した。この結果から、スラブに作用する最大施工荷重: W_N は2階スラブで最大値を示し、その荷重は自重も含めて710 kg/m²であり、これはスラブ自重の2.28倍に相当する、また2階~5階の平均最大荷重はスラブ自重の2.01倍であった。なお、今回のコンクリート工事では2階分のサポートでスラブ打込荷重を支持しており、(N+1)階スラブ打込みの時、スラブ自重3層分をN, (N-1)

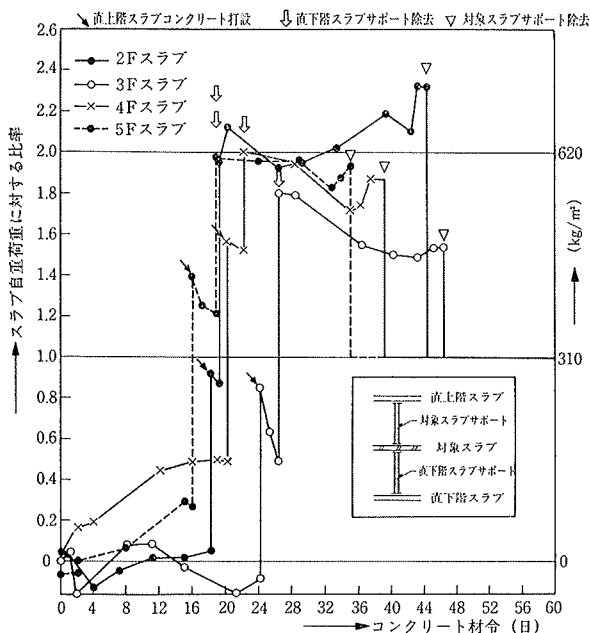


図-6 施工荷重 W_N の動き

階スラブの2層で負担することになるがその分担率を測定結果から推定すると図-7となる。

2.6. たわみ測定結果

直下階サポート除去直後新たに、自重荷重に近い荷重がスラブに作用する。この時のスラブの瞬時たわみを3階~6階の計4枚について測定しその結果を図-8に示すが、その中央たわみは0.2~0.5 mmの範囲内であった。サポート除去直後のスラブ増加荷重をサポート荷重測定結果から推定し、その推定荷重を使ってRC規準(1975年)付図-10.1に準じて完全固定支持条件におけるたわみ計算を行ない、測定たわみと比較したところ、測定値は計算値の1.5~2.0倍を示した。これは実際のスラブ支持が完全固定でないためと思われる。

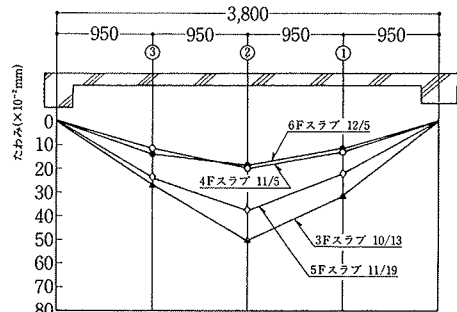


図-8 サポート除去直後のスラブたわみ

3. B, C 建物調査

A建物の他に調査したB, C建物についてその結果を示す。B建物はRC造3階建, C建物はSRC造10階建でそれぞれのスラブ形状を図-9に示すが、B建物は2階スラブサポート12箇所のうち4点についてサポート荷重を測定し、C建物は3~7階をC-1スラブ, 9階はC-2スラブを選定し、サポート8箇所のうち5点について荷重を計測した。これらのサポート荷重測定結果を各階毎に平均値として整理して図-10に示す。なおこの結

果はそれぞれの建物間で比較するためスラブ厚 10 cm 当りに換算して示す。

その結果、B 建物 2 階サポート荷重の動きから見ると 1 階サポート除去直後にサポート荷重が約半分近く減少し、その後も荷重増加は余り見られない。(N-1) 階サポート除去直後に N 階サポート荷重が減少する現象は A、C 建物にも見られるが、スパンの長い B 建物に比べてその傾向は少なかった。C 建物 C-1 スラブコンクリート打込み後のサポート荷重は計算自重 240 kg/m² より、小さかった。これは架設材を通して S 造りが幾分負荷しているためと思われるが、一方 C-2 スラブの荷重は逆にかなり大きくなった。このようにスラブ位置でサポート荷重が異なる理由は不明でまだ検討の余地があるが、単なるバラツキとも思われる。

この結果を、スラブに働く最大施工荷重: W_N として整理すると、C-1 スラブでは 3 階スラブが最高値を示し、自重荷重の 1.96 倍、3 階～7 階平均で 1.62 倍となり一方 C-2 スラブ (9 階スラブ) では 2.17 倍であった。

なお、打込中の作業荷重の動きについても B 建物調査時に測定した。打込みはポンプ使用で、その作業荷重は、完全に打上がった状態で最大荷重を示し、予想された衝撃荷重は見られなかった。クレーンを使用したバケット打込みの場合、衝撃荷重を無視できないことが指摘されている³⁴⁾がポンプ打込みの場合は余り問題にならないと思われる。

B 建物スラブについて施工期間中の長期的なたわみ挙動をレベル測定した。その結果、打込後 2 日を基準とした時の材齢 169 日時点のたわみ進行は柱付近位置を原点とする時、スラブ中央で 4.5 mm、梁中央で 2.5, 4.5 mm を示し、たわみ量そのものは小さいがそのたわみ傾向は明らかに見られた。一方、C 建物の場合は施工期間中たわみ傾向は見られなかった。

4. 施工荷重と建物スラブたわみ障害

長期荷重下での RC スラブのたわみによる事故が最近多く報告されているが、この原因の一つとして施工時の施工荷重の大きさやサポート早期除去などがあげられている。たわみ障害スラブは、曲げひびわれを伴うことが多く、この曲げひびわれ発生はスラブ縁応力の大ききで決定されるのでこのことに着目し、最大施工荷重時におけるスラブ縁応力の大きき許容限界値について検討する。

施工荷重最大値を示す時期は主に支保工除去直後であるため、この時のコンクリート曲げ強度: f_b が施工荷重時縁応力: σ_x を上回り、曲げひびわれが生じにくいことが望ましい。つまり $f_b > \sigma_x$ を満足するかどうか確認する必要がある一方、支保工除去は JASS 5, Z 種の場合コ

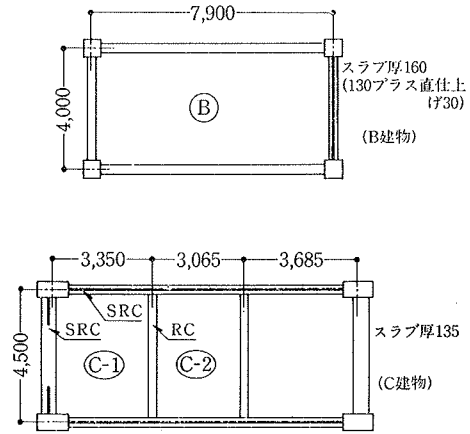


図-9 BおよびC建物のスラブ形状

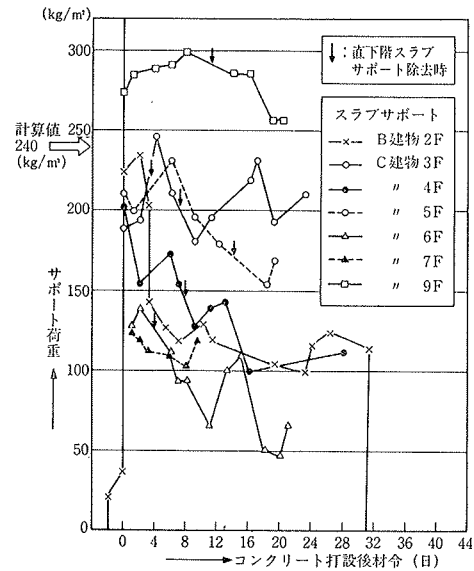


図-10 BおよびC建物のサポート荷重の動き

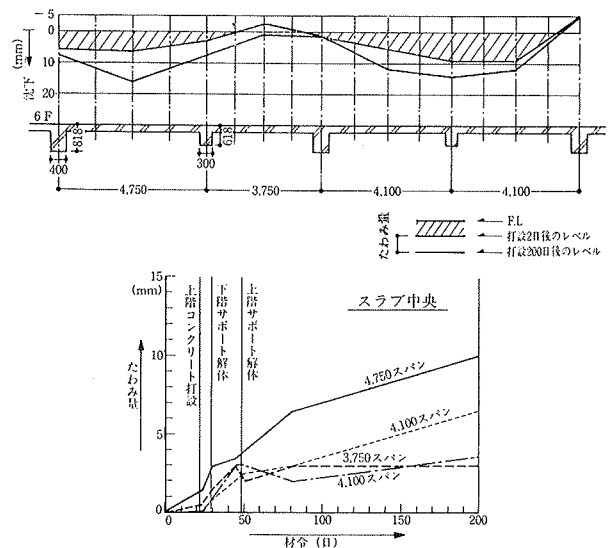


図-11 D 建物の施工期間におけるスラブたわみ

ンクリート強度 $0.85 \cdot F_c$ (F_c : 設計基準強度) 発現後となっているため、この時の曲げ強度 f_b は、

$$f_b = 1.8\sqrt{0.85 F_c} \text{--- (kg/cm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

で表わされると仮定する。例えば $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ の時は(3)式から $f_b = 24 \text{ kg/cm}^2$ となる。

次に、施工荷重時縁応力 σ_x の算定式を以下に示す。

最大施工荷重 W_N は今回のサポート荷重調査から、スラブ自重の2.1倍と仮定する。

$$W_N = 2.1 \cdot \rho \cdot t \text{--- (kg/m}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ρ : 単位容量 ($2,400 \text{ kg/m}^3$), t : スラブ厚(m)

最大曲げ応力: M_{x1} 計算は, R_c 規準9条を適用し,

$$M_{x1} = -\frac{1}{12} \cdot \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} \cdot W_N \cdot l_x^2 \text{--- (kg} \cdot \text{m/m)} \quad \dots\dots\dots(5)$$

l_x : 短辺内法寸法(m), l_y : 長辺内法寸法(m)

とする。スラブ最大縁応力 σ_x は、鉄筋を無視して、

$$\sigma_x = \frac{M_{x1}}{Z} = \frac{6 \cdot M_{x1}}{t^2} \text{--- (kg/cm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots(6)$$

t : スラブ厚 (この場合単位は cm)

で表わされたとする。

f_b よりも σ_x が大きくなるような規模の大きいスラブ設計の場合は設計変更が望ましいが、施工サイドとしての対応策は、(1) ひびわれ幅を小さくするための補強筋を追加する。(2) コンクリート強度を大きくする。(3) 支保工存置期間を JASS 5 の規定値よりも長くとするなどの処理があげられよう。

なお参考として、スラブスパンの異なるD建物について施工期間中のスラブたわみレベル測定を行なったので報告する。このスラブの状況を図-11に示すが長辺スパンは7.55m(内法7.10m)でスラブ厚は13.5cmであるが直仕上げのため1.5cmを付加している。上記した計算式(3)~(5)にもとずき施工荷重時応力を求めると、はり心スパン4.75, 4.10, 3.75mのスラブそれぞれの縁応力は28.5, 22.0, 18.5 kg/cm^2 が得られた、このそれぞれのスラブについて材齢2日を基準とした時の中央たわみを同図に示すが、スパン4.75mスラブは材齢200日で約10mmのたわみを生じており、その後もたわみ進行することを考えるとこの縁応力28.5 kg/cm^2 のスラブは他のスラブに比べてかなり大きいたわみであると判断される。なお $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ である。

また、筆者がこれまでに調査した障害建物などについて長期たわみと計算式(3)~(5)を用いた施工時のスラブ縁応力計算値との関係として整理し、図-12に示す。これらの建物はすべて $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ である。この図-12のうち、黒点ははりたわみも含めたスラブ中央たわみ(柱付近からのレベル差)を示し、白点はそのはりたわみを除いたスラブだけのたわみを示しており、それぞれの最少2乗法による平均直線式を破線および実線で表わす。この図から、 $\sigma_x = 30 \text{ kg/cm}^2$ 近辺では30~50mmの

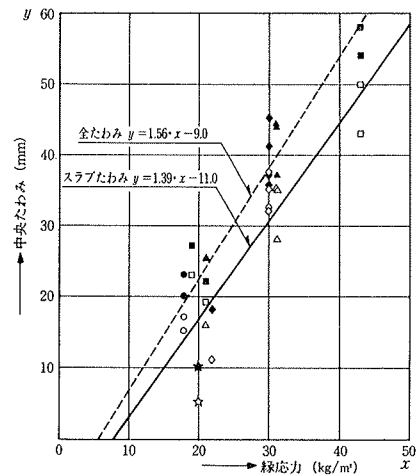


図-12 障害建物スラブたわみと施工荷重時縁応力

たわみを生じており、たわみ障害の危険性がかなり高いことが分かる。この調査対象建物の中には配筋精度(特に上端筋の下がり)など施工にも問題を含んでいることも多く、良好な施工条件に比べてやや増幅されていると思われる。またスラブ面の仕上げ均しの誤差等も含んでおり、真のたわみとは言えない。しかし縁応力許容限度を(3)式以下とすること、つまり $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ の場合 24 kg/cm^2 と考えることはこの図からもほぼ妥当であると考えられる。

5. まとめ

3現場について反力計によるサポート荷重測定を行ない、施工荷重の挙動を調べた。その結果、(N+1)階スラブ打込時の(N-1)階サポートへの伝達荷重は自重の10~15%以下であり、殆んどN階スラブが打込時の荷重を受けもつことが分かった。また、スラブに作用する最大施工荷重の大きさは大よそ自重荷重を含めてスラブ自重(型わく荷重を除く)の2.1倍程度を見込めば良いと思われる。過大なたわみ防止上、最大施工荷重時のスラブ縁応力は $1.8\sqrt{0.85 F_c} \text{ kg/cm}^2$ 以下にすることが望ましい。

参考文献

- 1) 近藤基樹: 多層建築物のコンクリート工事における型わく支柱による作業荷重の伝播と支柱の存置期間について, 日本建築学会論文報告集, (昭和40.7)
- 2) 品川多美二: 支柱を取外す時期, 建築技術, (昭和40.7)
- 3) 宗村美貞, 鈴木敏夫: 型わく支柱に加わる荷重, 建築技術, (昭和53.11)
- 4) M. Y. Lasisi and S. F. Ng: Construction Loads Imposed on High-rise floor slabs, Concrete International, (Feb. 1979)