

論文

[2032] 鉄筋コンクリート損傷床スラブの施工精度

正会員 井野 智 (北海道大学工学教室)

正会員 杉野目 章 (室蘭工業大学理科教室)

正会員 伊藤 正義 (北海道工業大学経営工学科)

正会員○布川 信一 (清水建設)

1. はじめに

本研究は、床スラブ（単に「スラブ」ともいう）のひび割れやたわみを生じさせる不確定要素の一つである施工精度の実態を明らかにすることを目的として、既往の調査結果を整理分析したものである。標題に掲げる「損傷スラブ」とは、鉄筋コンクリートの床に過大なひび割れや沈下たわみ、あるいは有感振動が発生して使用性を損なうに至った床スラブのことである。健全な床スラブを対象とした「非損傷スラブの施工精度」については、昨年の本年次大会で報告した[1]。

今回は、既存の鉄筋コンクリート建物における損傷スラブの厚さ、鉄筋位置、鉄筋間隔、床仕上げ下地モルタルの厚さ等の施工精度、および沈下たわみ量に関する過去23年間に及ぶ筆者らの調査結果を取り上げ、非損傷スラブに関するデータとの違い、施工精度のたわみに及ぼす影響などを明らかにしたものである。

2. 調査概要

本報告では、ある建物にあって構造条件がほぼ同じ状態にあると考えられる床スラブの大部分、または一部に大たわみ障害等が発生している物件についての調査結果を対象としており、比較的損傷の程度が軽微なものであっても、調査データは全て損傷スラブとして処理した。調査建物数は41件、床構造別分類では平板26件、ドロップハンチ付きの変厚板10件、小梁付き床スラブ12件、格子床1件からなる計49件である。

各調査物件は、床スラブの障害発生が使用者側からの苦情によって明かとなったものであるが、比較検討用として掲げた非損傷スラブの資料は主に新築工事現場における調査結果であり、竣工後何らかの方法でその健全性を確認したものである。床スラブの大たわみ障害は、過大なひび割れや不快な有感振動を伴うのが通例であり、各障害の一般的状況については既にいくつかの事例報告を行っており[2]~[4]、ここでは障害の程度を表す指標値として沈下たわみのみを取り上げ考察する。

以下、主たる調査内容を項目別に示す。

2.1 鉄筋間隔

既存建物において、主に床スラブの短辺方向柱間帯の端部上ば鉄筋3本以上を研り出し、鉄筋間隔を実測し設計値と比べた。鉄筋間隔の誤差は〔設計値－実測値〕で表し、実測鉄筋間隔が設計値より広いような危険側の誤差はマイナスとなるようにした。

2.2 鉄筋有効せい

鉄筋間隔実測箇所において、床スラブの端部上ば鉄筋の種類とかぶり厚を調べ、同位置をドリル穿孔して実測したスラブ厚から各鉄筋の有効せいを求め設計値と比較した。設計値は、短辺方向上ば鉄筋のかぶり厚を直仕上げの場合が3cm、それ以外は全て2cmとした。上ば鉄筋有効せいの誤差は〔実測値－設計値〕で表し、鉄筋の屈曲、スパーサーの破損・脱離等による有効せ

いの減少分がマイナスとなるようにした。

2.3 スラブ厚

前節の測定箇所以外にも、スラブ中央近傍をドリルで穿孔し、仕上げ下地モルタルがある場合にはモルタル部分を研り、スラブ厚を実測した。すなわち、全体を通して測定点は原則として、スラブ一枚につき中央近辺1箇所、短辺方向柱間帯の端部近辺2箇所の計3箇所とした。スラブ厚の誤差は〔実測値－設計値〕で表す。

2.4 モルタル厚

床スラブのスラブ厚を測定することができた建物の内、スラブの仕上げ下地がモルタルである21件について、床をドリルで穿孔した後モルタル部分を研り、スラブと床仕上げ下地モルタルの厚さを実測した。モルタル厚の誤差は〔実測値－設計値〕で表す。

2.5 沈下たわみ

大ばりとはスラブのみからなる床組では、4隅の柱間に水系を張り、柱脚位置を基準とする計測スパン中央近傍の最大不陸値をmm単位のスケールで測り、対角2方向の不陸の平均を床面の沈下たわみとした。小ばりが配置されている床組では、柱脚位置を基準とするレベルによる不陸実測を行い、小ばりと大ばりで囲まれたスラブの中央近傍の最大不陸値を採った。沈下たわみは、柱脚位置を基準として下向きをマイナスで表す。

3. 調査結果

これまでに筆者らが実施した損傷スラブについての施工誤差に関する全調査データの項目別度数分布を表1に掲げる。モルタル厚以外は、構造上安全側の誤差がプラス、危険側はマイナスとなるようにした。

以下、調査項目別に損傷スラブの施工誤差に関する統計解析の結果を要約し、非損傷スラブに関するデータとの比較・検討を行なう。

4. 調査結果の分析

4.1 鉄筋間隔について

損傷スラブの端部上ば鉄筋間隔の

表1 損傷床スラブの施工誤差の度数分布

代表値 間隔	端部上端鉄筋		スラブ 厚	モルタル 厚	たわみ 沈下量
	間隔	有効丈			
-15	1				1
-14	2	1			15
-13	0	3			28
-12	1	11			55
-11	3	12			78
-10	8	16	2		89
-9	8	33	2		105
-8	8	61	9		130
-7	11	53	14		177
-6	18	71	32	2	232
-5	17	75	44	8	223
-4	21	84	70	8	234
-3	55	92	58	11	249
-2	61	52	115	17	245
-1	78	41	96	31	120
0	97	28	87	29	60
1	76	14	67	30	8
2	45	1	81	33	4
3	29	2	51	29	
4	21		38	27	
5	7		38	26	
6	8		24	34	
7	5		9	8	
8	5		8	3	
9	2		2	5	
10	0		3	2	
11	1		4	2	
12			1	1	
13				2	
計	588	650	855	308	2053
間隔	15	5	5	5	5
平均値	-12.7	-24.4	-1.8	10.5	-26.8
標準偏差	53.9	15.1	18.2	17.7	16.3

間隔、平均値、および標準偏差の単位：mm

誤差の頻度分布と、同分布が正規分布するもの仮定して導かれる正規分布曲線を図1に示した。もう一方の曲線は非損傷スラブの鉄筋間隔の誤差に関する統計データを同様に正規分布曲線で表したものである。

非損傷スラブに見られるように、鉄筋間隔にばらつきがあるとしても、標本数が十分に大きくなると平均値 \bar{x} はほぼ0となるはずである。損傷スラブの鉄筋間隔が $\bar{x} = -13.0\text{mm}$ となっているのは、鉄筋の間引きが行われた形跡の見られたいくつかの調査物件の影響と考えられ、鉄筋間隔のばらつきを示す標準偏差 σ は、非損傷例に比べ損傷スラブの値が大きく上回っている。

4.2 鉄筋有効せいについて

図2に、損傷スラブの端部上ば鉄筋有効せいの誤差の頻度分布を掲げ、非損傷スラブに関する統計解析結果と比較した。これによれば、非損傷スラブの場合が $\bar{x} = -12.6\text{mm}$ 、 $\sigma = 16.0\text{mm}$ であるのに対して、損傷スラブは $\bar{x} = -24.4\text{mm}$ 、 $\sigma = 15.1\text{mm}$ となっている。非損傷、損傷を問わず、実測したほとんどの鉄筋有効せいがマイナスの誤差を有しており、損傷スラブでは平均誤差が非損傷例の約2倍、最大誤差は -65mm にも達している。また、損傷例につき標準偏差が非損傷例よりやや小さいのは、上ば鉄筋の沈降が大きなものほど、ばらつきを生ずる変動領域が狭まることによる。

4.3 スラブ厚について

コンクリート打設所要量は鉄筋の体積分を考慮せず算出されることが多く、その分スラブは厚目に施工される傾向がある。

図3は、損傷スラブの厚さに関する施工誤差の頻度分布を掲げ、非損傷スラブに関する統計解析結果と比較したものである。これによれば、非損傷スラブの場合が $\bar{x} = 4.6\text{mm}$ 、 $\sigma = 10.0\text{mm}$ 、損傷スラブでは $\bar{x} = -1.7\text{mm}$ 、 $\sigma = 18.3\text{mm}$ となっている。スラブ厚が設計値を下回る確率は、非損傷スラブが33.1%であるのに対して、損傷スラブは56.8%であり、損傷スラブの標準偏差は、非損傷スラブの値を大幅に上回っている。

4.4 モルタル厚について

図4に、床仕上げ下地モルタルの塗り

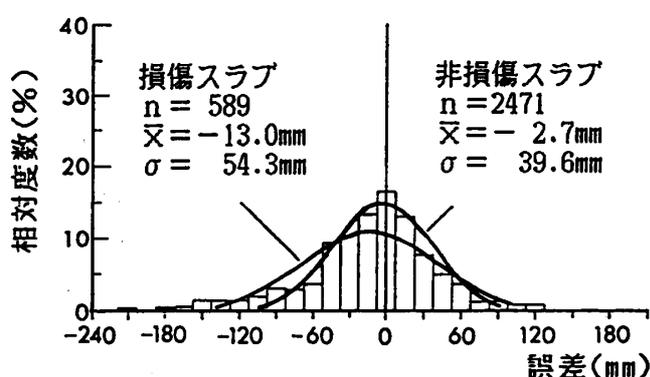


図1 鉄筋間隔の誤差

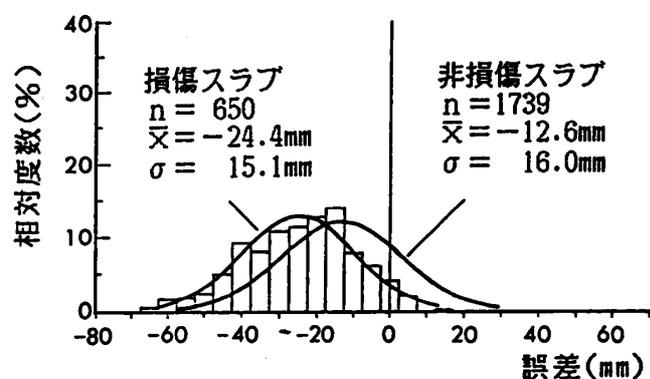


図2 端部上ば鉄筋有効せいの誤差

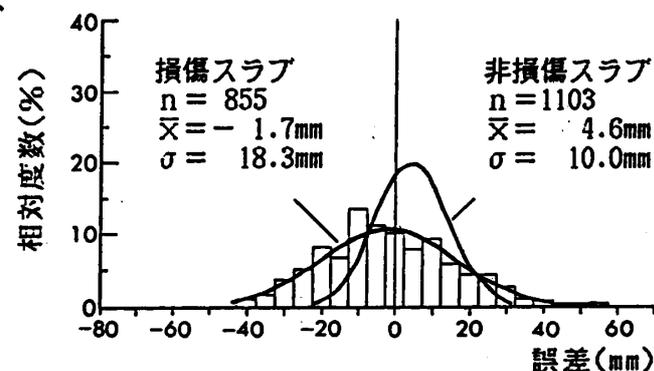


図3 スラブ厚の誤差

厚誤差の頻度分布を示した。これによれば、非損傷スラブでは $\bar{x} = 8.1\text{mm}$ 、 $\sigma = 11.7\text{mm}$ 、損傷スラブでは $\bar{x} = 10.5\text{mm}$ 、 $\sigma = 17.7\text{mm}$ となっており、両者ともにモルタルは10mm程度厚目に塗られていること、損傷スラブにおけるモルタル厚のばらつきの大きいことなどがわかる。

非損傷スラブに比べ損傷スラブに塗られたモルタル厚誤差の標準偏差が大きいのは、モルタルが中央部で厚めに、端部で薄目に打設された結果であり、損傷スラブでは型わく支柱が撤去され仕上げ工事が始まるまでの間に、たわみがかかり進行していたことを裏付けているように思われる。

日本建築学会の鉄筋コンクリート構造規準（以下、学会RC規準という）のスラブ厚規定が最も緩和された昭和33年には「全厚8cm以上且つ短辺有効スパンの1/50以上」となったが、当該規定に拠った床スラブに大たわみ等の障害が多発したため、昭和37年にはスラブ厚規定を強化する方向での改訂がなされ、「全厚8cm以上且つ短辺有効スパンの1/40以上」となった。この改訂を契機として、施工管理のあり方にも何らかの変化があったのではないかとの推測にたって、損傷スラブのモルタル厚の誤差の頻度分布を、昭和33～37年建設分と昭和38年以降の建設分に分けて比較検討したところ、前者が $\bar{x} = 6.4\text{mm}$ 、後者が $\bar{x} = 17.2\text{mm}$ となった。この格段の相違は、38年以降次第に施工管理が厳しくなり、少なくともスラブ上面だけは平滑に仕上げようとした努力の顕われであるように思われる。

しかしながら、同様の比較検討を前節までの各調査項目について行ったところ、建設年度の違いによる有意の差はほとんど認められず、損傷スラブに関する限り、モルタルによる均し作業を除いては、施工管理上の改善の跡は全く見られない。

4.5 沈下たわみについて

図5、6は、上述の学会RC規準改訂年を区切りとして、それぞれスラブ厚規定が最も緩和された時代とそれ以降に分けて表した、損傷床スラブの沈下たわみ量の頻度分布である。

沈下たわみの平均値と標準偏差は、昭和33～37年建設分が $\bar{x} = -30.7$

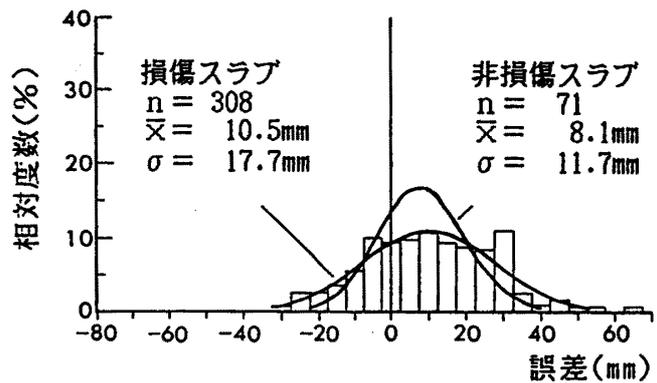


図4 床仕上げモルタル厚の誤差

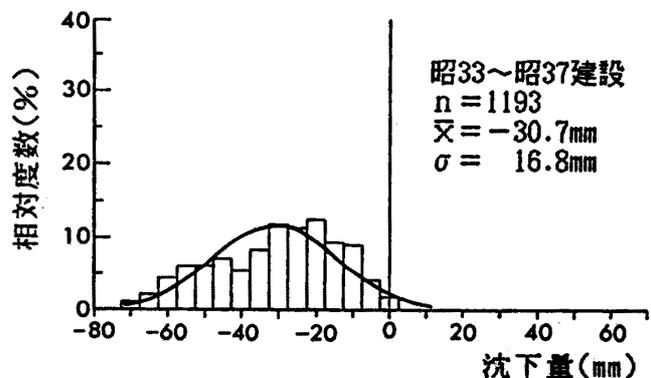


図5 沈下たわみ量（昭33～37年建設分）

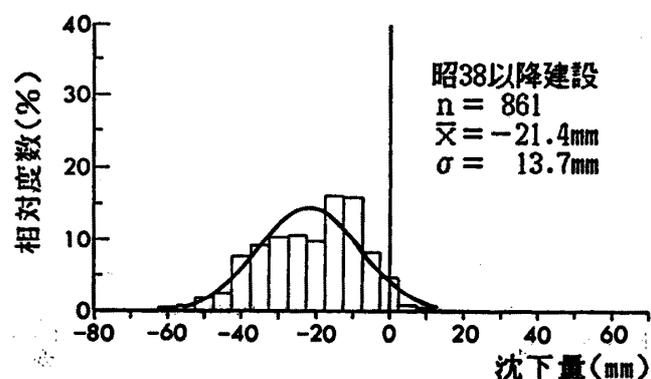


図6 沈下たわみ量（昭38年以降建設）

mm、 $\sigma = 16.8$ mm、昭和38年以降の建設分はの $\bar{x} = -21.4$ mm、 $\sigma = 13.7$ mmである。全般的にスラブ面積が大きく、〔スラブ厚/短辺スパン〕比の小さな床スラブが多数設計施工された前者のたわみは特に過大であり、床スラブの大たわみ等の障害の程度、あるいはその発生頻度が建設当時の学会RC規準とは不可分であることが知られる。

図7、8は、それぞれ丸鋼鉄筋使用のスラブと異形鉄筋使用のスラブに分けて、損傷スラブ沈下たわみの頻度分布を表したものである。沈下たわみの平均値と標準偏差は、丸鋼鉄筋使用の場合で $\bar{x} = -28.5$ mm、 $\sigma = 17.1$ mm、異形鉄筋使用の場合で $\bar{x} = -22.3$ mm、 $\sigma = 12.8$ mmであり、両者の間に明瞭な差異が認められる。北海道で異形鉄筋がスラブ鉄筋の主流となり始めたのは、昭和40年代後半になってからのことであるが、本調査における49件のなかで、床スラブに異形鉄筋を使用した事例は昭和30年代前半2件、40年代1件、50年代2件に過ぎず、しかもこれらのデータは前掲の図5、6の双方に分かれて集計されていることから、建設年度別の沈下たわみ量の差異は、必ずしも異形鉄筋の使用頻度の増加によるものではないように思われる。

筆者らの既往の調査によれば、建物使用者からの苦情の対象となるスラブ障害例における沈下たわみの下限値はスパンの $1/200 \sim 1/300$ であるが、スパンの大小に拘らず絶対たわみが20mmを越えるものにあっては何らかの障害が見られることが多いようである[2]。図9はこれまで当方で実測した2000枚以上の床スラブの沈下たわみの頻度分布である。平均沈下たわみ量は約27mmで、上記の20mmを越える場合が、全体の約67%を占めることが判る。

5. 沈下たわみと施工精度

昨年筆者らは、床スラブに使用障害をもたらす各要因の影響の理論的検討を行い、多岐にわたる要因のうち、RC規準改訂、実積載荷重、および施工誤差の影響が大きく、なかでも、スラブ厚と上ば鉄筋有効せいの施工誤差の影響が特に著しいことを指摘した[5]。

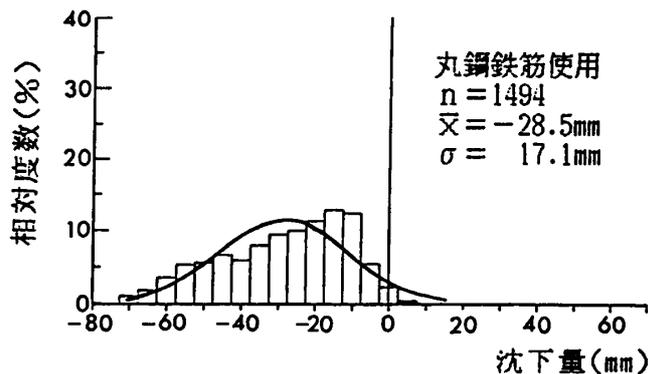


図7 沈下たわみ量 (丸鋼鉄筋使用床スラブ)

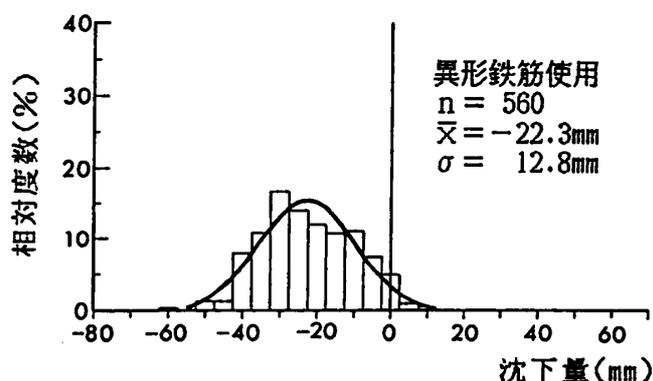


図8 沈下たわみ量 (異形鉄筋使用床スラブ)

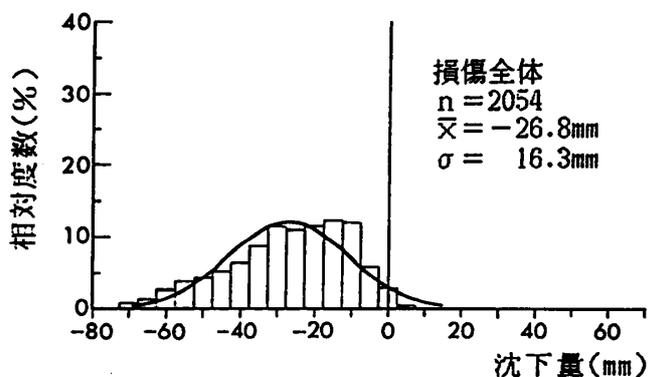


図9 調査した全床スラブの沈下たわみ量

上に述べた施工誤差の影響は、その変動範囲を非損傷スラブに関する統計データに基づいて設定したものであるが、ここでは、たわみに及ぼす影響要因をスラブ厚と端部上ば鉄筋有効せいの施工誤差に限定し、変動範囲を損傷スラブに関するデータに基づいて検討してみた。検討モデルの境界条件と諸元、および計算結果は、図10、11に掲げるとおりである。

長期たわみ予測値は、有限差法を用い曲げひび割れによる剛性低下とコンクリートの時間依存性、および定着筋の抜け出しを考慮した弾性解析の繰り返し計算から求めたもので[6]、図10、11ともに、床スラブの長期たわみ性状に対する施工誤差の影響が顕著に現れている。

6. まとめ

以上、これまでに筆者らが行ってきた鉄筋コンクリート建物の損傷スラブに関する調査結果を整理分析し、施工精度の実態とそのたわみに及ぼす影響について以下の知見を得た。

- (1) 損傷スラブと非損傷スラブの施工精度には、大きな差異がある。
- (2) 床スラブの損傷の程度が大きいほど施工精度が劣る傾向がある。
- (3) 施工誤差、特に端部上ば鉄筋の沈下とスラブ厚の不足はスラブ損傷の支配的要因となる。
- (4) RC規準のスラブ厚規定および異形鉄筋使用の有無は、スラブの長期たわみ性状に影響を及ぼす。

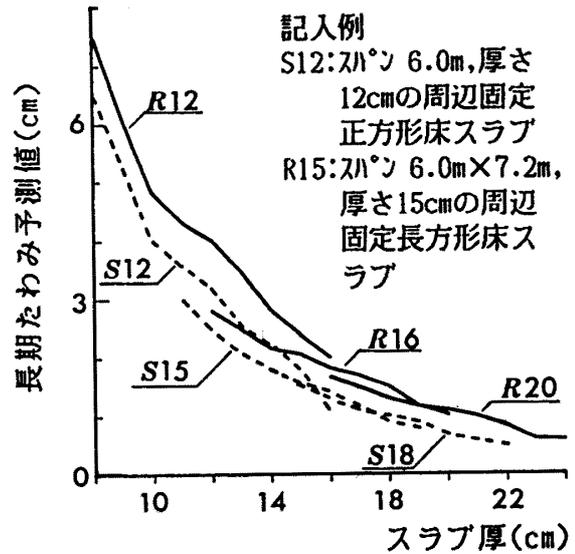


図10 スラブ厚変動の影響

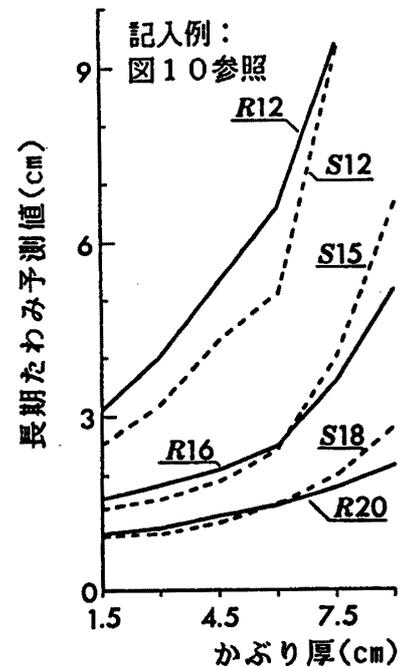


図11 端部上ば鉄筋有効せい変動の影響

参考文献

- 1) 井野智・伊藤正義・杉野目章・布川信一：非損傷鉄筋コンクリート床スラブの施工精度、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.2、pp.615-620、1990.6
- 2) 土橋由造・井野智：大撓み障害をもつ鉄筋コンクリート床スラブの実態調査とその対策、日本建築学会論文報告集、No.272、pp.41-51、1978.10
- 3) 井野智：鉄筋コンクリート床スラブの振動性状について、日本建築学会論文報告集、No.273、pp.13-23、1978.11
- 4) 杉野目章・井野智・土橋由造：あるRC造事務所建築の全使用期間にわたる床たわみ障害に関する長期挙動性状調査、日本建築学会論文報告集、No.376、pp.92-102、1987.6
- 5) 布川信一・井野智・伊藤正義・杉野目章・吉野修司：鉄筋コンクリート床スラブのたわみの変動要因と影響量(その1 規準・コンクリート強度・積載荷重・温湿度)、日本建築学会年次大会要旨集、C-pp.231-232、1990.10、同上(その2 施工精度・施工荷重)
- 6) 杉野目章・井野智・伊藤正義・吉野修司：鉄筋コンクリートの床スラブの長期たわみ解析とその適合性について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.11、No.2、pp.417-422、1989.6