

[1214] 最近の建築現場における鉄筋コンクリート工事の施工精度に関する調査

伊藤正義*1・井野 智*2・杉野目章*3・植松武是*4

1. はじめに

限界状態設計法では、材料の品質、荷重、施工精度などの不確実性を考慮するために、いくつかの安全係数を導入する部分安全係数とよばれる照査方法を用いる¹⁾。鉄筋コンクリート（以下、RCと略記）部材、とくに床スラブでは、断面寸法や鉄筋位置のばらつきの度合いが大きく、断面耐力に係わる安全係数（部材係数）を適正に定めるためには、技術水準の進歩に応じ時代を遡ってなされた調査に基づく信頼性の高い統計データによるものでなければならない。

今回、上述の目的にそって筆者らがこれまでに積み重ねてきた既往データ²⁾を見直すために、鉄骨鉄筋コンクリート（以下、SRCと略記）およびRC建物の新築工事現場において、型枠、配筋、コンクリート打ち、左官仕上からなるRC工事の施工精度として、床スラブのほかに、梁材、柱材、および耐力壁の断面寸法と配筋状況等の実測調査を行ったので、その概要を報告する。

2. 調査概要

SRC7階建てのA建物、SRC14階建てのB建物、RC5階建てのCおよびD建物の新築工事現場で、コンクリート工事の施工精度を実測調査した。ある階の床・梁とその上または下階の柱・壁を1セットとし、A建物の2、7階床、B建物の14階床、C建物の1、2、4階床、D建物の1、2階床を中心にできるだけ多くの部材について実測調査を行った。調査建物の用途、所在地、構造、延べ面積、工期、および調査実施日は表1に掲げる通りである。

調査対象は、構造部材である柱、耐力壁、大梁、小梁、および床スラブである。各部材の断面寸法と配筋状況等の実測項目は次の通りである。

(1) 柱：四周の寸法、帯筋の間隔とコンクリートの被り厚（以下、被り厚という）

(2) 耐力壁：壁厚、縦筋と横筋の間隔、外側鉄筋の被り厚

(3) 大梁・小梁：梁幅、スラブ下面から梁下端までの距離（以下、梁せいという）、あばら筋の間隔、あばら筋の梁側面および梁下面における被り厚

(4) 床スラブ：短辺および長辺の有効スパン、コンクリート打設前日におけるスラブ短辺方向の端部上端鉄筋の間隔と有効せい、同じく中央下端鉄筋の間隔、コンクリート打設直前のスラブ

表1 調査建物の概要

建物名[用途]	A[研究棟]	B[集合住宅]	C[集合住宅]	D[戸建住宅]
所在地	札幌市	札幌市	札幌市	札幌市
構造	SRC7,B1	SRC14,B1	RC5	RC5
延べ面積	6,641m ²	5,604m ²	3,319m ²	706m ²
工期	'93.3~'94.3	'92.8~'94.6	'93.8~'94.5	'93.10~'94.5
調査階：月日 (特記外'93)	2F: 8.23~26 7F: 10.22~26	14F: 9.22~24	1F: 9.22 2F: 10.22~26 4F: 11.23~25	1F: 11.29~12.1 2F: 12.11~13 '94.1.17

*1 北海道工業大学教授 工学部経営工学科（正会員）

*2 北海道大学教授 工学部情報図形科学講座、工博（正会員）

*3 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科、工博（正会員）

*4 北海道大学大学院、工修（正会員）

短辺方向の端部上端鉄筋の有効せい、開口部におけるスラブ厚と上端、下端鉄筋の被り厚、二方向柱間2分割格子点におけるスラブ上面から基準点までの高さ測定は全てコンベックスを用い最小単位mmで直読した。

3. 実測結果

[実測値-設計値] または [設計値-実測値] を施工誤差とし、実測項目ごとにSRC建物とRC建物について、それぞれの平均値および標準偏差を求め、これらを工事種別ごとに分類し、型枠工事関係を表2に、鉄筋工事関係を表3、表4に、コンクリート打設作業に係わる項目を表5に掲げた。

スラブの有効スパンと鉄筋間隔は[設計値-実測値]を、他の項目については[実測値-設計値]を施工誤差とした。

レベルを用いて計測した、大梁で囲まれた領域の中央点と4隅の柱脚における直仕上げのスラブ上面との不陸差を「均しの誤差」と定義し、下向き誤差をプラス、上向きの誤差をマイナスで表すものとする、今回の実測ではデータ数n=60、平均値 \bar{x} =0.2mm、標準偏差s=5.0mmであった。

表2~5によれば、4~2面を型枠で囲んで成形される柱、梁、および壁と比較して、スラブの施工精度にはかなり大きなばらつきが見られる。例えば、横架材の材せいであるRCの梁せいとスラブ厚の標準偏差は、

表2 型枠精度に依存する部材断面寸法の誤差 (単位mm)

	SRC			RC		
	データ数	平均値	標準偏差	データ数	平均値	標準偏差
	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s
柱幅	332	0.6	3.4	84	0.3	2.2
梁幅*1	87	0.8	3.6	79	-3.0	7.4
梁せい*2	34	0.1	1.9	58	0.3	5.5
壁厚	102	0.05	4.7	102	0.6	2.8
スラブスパン	—	—	—	90	3.3	6.3

*1: 大梁・小梁、*2: スラブ下面から梁下端まで

表3 鉄筋に対するコンクリート被り厚の誤差 (単位mm)

	SRC			RC		
	データ数	平均値	標準偏差	データ数	平均値	標準偏差
	n	x	s	n	x	s
柱帯筋	200	2.9	13.0	213	3.0	21.7
大梁 肋筋	側面	289	6.0	349	-1.1	16.6
	下面	72	23.4	51	25.8	29.4
小梁 肋筋	側面	79	-13.2	18	-1.9	9.9
	下面	15	18.0	79	13.2	22.6
壁	352	1.1	10.9	497	24.2	19.3
スラブ	上端*1	28	0.5	25	5.0	7.1
	下端*1	38	2.1	130	-8.8	10.3

*1: 開口部における実測値、他は仮枠または墨出し位置からの実測値

表4 帯筋、肋筋、壁・スラブ鉄筋間隔の誤差 (単位mm)

	SRC			RC		
	データ数	平均値	標準偏差	データ数	平均値	標準偏差
	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s
柱帯筋	403	0.8	12.7	—	—	—
梁肋筋	248	4.7	30.8	352	7.3	37.8
壁	縦筋	232	13.1	434	4.8	43.1
	横筋	49	5.2	—	—	—
スラブ	上端	694	11.9	754	-4.7	30.8
	下端	354	8.6	352	-6.9	25.3

表5 床スラブの厚さと有効せいの誤差 (単位mm)

	SRC			RC		
	データ数	平均値	標準偏差	データ数	平均値	標準偏差
	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s
スラブ厚	93	2.1	8.3	116	1.8	9.0
有効せい	上端*1	685	-9.3	786	-4.5	9.6
	上端*2	163	-11.9	248	-6.8	10.5
	上端*3	28	-1.3	115	-9.0	15.9
	下端*3	38	-3.2	25	11.8	8.5

*1: コンクリート打設前日、*2: コンクリート打設直前、*3: 開口部

それぞれ5.5、9.0mmである。前者の設計値が350~750mmに対し、後者の設計値は150~200mmであり、部材断面設計値を基準とする誤差率を尺度とすると、他の構造部材に比べスラブの施工精度が著しく劣っていることがわかる。

表3に掲げる鉄筋被り厚の誤差は、設計被り厚がスラブ30mm、他の部材は40mmに対するもので、現場によってはコンクリートの被り厚が0に近い鉄筋が相当数見受けられた。柱、梁に比べてスラブの標準偏差sはやや小さ目であるが、曲げ部材の断面耐力に係わる主筋の有効せい設計値dを基準とした変動係数(=s/d)は、d値の小さいスラブが逆に大きくなり、スラブが鉄筋挿入位置のばらつきの影響が大きいことが分かる。

筆者らはこれまで、スラブの施工不良が大たわみ障害をもたらした多くの事例を報告してきた^{3)~5)}。スラブの施工精度はコンクリート打設時の作業状態から考えても完全を期することは難しく、現状の技術水準における施工精度のばらつきを把握して、これを規準策定や設計に反映させる必要がある。

今回調査したSRCとRC建物ではスラブの施工精度に若干の差異が認められるが、これは主としてスラブ鉄筋用スペーサーの違いに起因するものであり、本報告ではSRCとRCとを特に区別せず、スラブの施工誤差に関する既往データ²⁾

との比較、または累積が可能となる度数分布表を表6に掲げる。スラブの端部上端鉄筋と中央部下端鉄筋の有効せいはコンクリート打設直前または開口部における実測結果である。

表6 床スラブの施工誤差の度数分布

代表値 間隔	型わく 寸法	端部上端鉄筋		中央下端鉄筋		スラブ 厚	床中央 の均し
		間隔	有効丈	間隔	有効丈		
-14			1				
-13			0				
-12			0				
-11			0				
-10		1	2				
-9		0	1				
-8		1	2	1			
-7		2	13	1			
-6		6	15	2			
-5		11	20	10		1	
-4		35	52	14	3	1	1
-3		56	56	29	2	7	2
-2		108	129	40	6	12	7
-1		271	110	124	11	46	11
0	71	455	63	270	10	50	18
1	18	255	51	119	8	48	10
2	1	71	25	36	10	22	5
3		47	11	19	7	5	5
4		47	1	19	3	11	1
5		39	2	9	3	6	
6		22		7			
7		10		4			
8		3		0			
9		3		0			
10		3		0			
11		2		0			
12				1			
13				0			
14				1			
計	90	1448	554	706	63	209	60
間隔	15	15	5	15	5	5	3
平均値	3.3	3.2	-8.4	0.9	2.8	1.9	0.2
標準偏差	6.3	33.9	11.6	30.7	11.3	9.0	5.0

注：間隔、平均値および標準偏差の単位はmm

4. 調査結果の分析

4.1 断面寸法について

図1は、C建物を参考例として、設計寸法に対する誤差の割合、即ち「誤差率」を横軸にとつて、柱・梁の断面寸法、壁厚、およびスラブ厚の分布状況を累積相対度数で表したものである。90%の信頼区間をとると、柱・梁の断面寸法および壁厚の誤差率が-3~+2%であるのに対して、スラブ厚の誤差率は、-10~+10%の範囲にほぼ一様に分布しており、スラブ厚の誤差のばらつき

の割合が他の構造部材に比べ著しく大きいことがわかる。

構造部材寸法の誤差については、現場間に大きな差異はなく、型枠工事に係わる施工精度は概ねC建物の場合と同程度とみなすことができる。

4.2 鉄筋被り厚について

表3によれば、各構造部材の鉄筋被り厚誤差の標準偏差は、いずれもRCがSRCを大きく上回っている。これは鉄骨に溶接したカンザシや鉄骨によって鉄筋移動の範囲が限られるため、ばらつきが抑えられたものと考えられる。平均値と標準偏差との関係から、概略次の事柄が明かとなる。

柱帯筋、梁の縦あばら筋、およびスラブ下端筋の被り厚は過薄な箇所が多く、特にSRCの小梁の縦あばら筋では全体の約82%がJASS5の最小被り厚30mmを下回っている。これに対して梁下端の横あばら筋、壁筋、およびスラブ上端筋の被り厚には過厚な箇所が多い。この原因として、あばら筋については梁の下端鉄筋の直交梁への納まり、壁筋についてはコンクリート打設時における型枠内中心部への移動、スラブ上端鉄筋についてはスペーサーの設置不良、設備の配管・配線、あるいはコンクリート打設作業などが挙げられる。

スラブ配筋にバーサポートとスペーサーのいずれを用いるかで被り厚の精度が異なる。スペーサーを使用した現場(C、D)のスラブ上端および下端鉄筋の被り厚誤差の分布状況を、バーサポート使用のA建物と比較し図2に示す。バーサポート使用のA建物の平均誤差が上端、下端ともに 0 ± 2.5 mmの範囲に納まっているが、スペーサーを用いたC、D建物では誤差のばらつきがやや大きく、鉄筋の沈下により上端筋ではプラス誤差、下端筋ではマイナス誤差がより多くなっていることがわかる。

4.3 鉄筋間隔について

他の調査項目と比較し施工誤差のばらつきが大きい。設計値が $\textcircled{1}100 \sim 200$ mmの柱・梁のせん断補強筋、壁あるいはスラブ補強筋の間隔誤差の平均値と標準偏差は、表4に掲げる通りである。RC建物のスラブ鉄筋間隔が上、下端ともに平均値で5mm内外のマイナス誤差が見られ、梁のあばら筋、壁の縦筋、スラブ上端筋の標準偏差が30mmを越えており、これらは間隔に乱れが

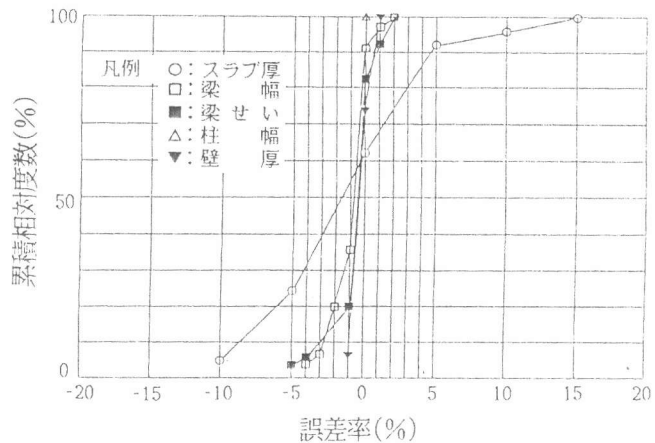
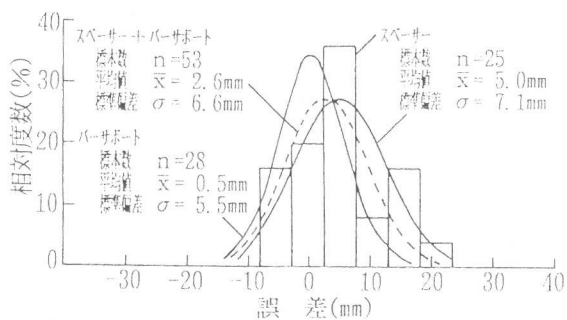
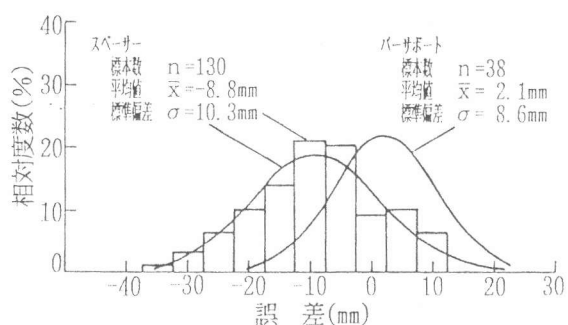


図1 部材断面寸法誤差率の累積相対度数分布



(a) 上端鉄筋の被り厚



(b) 下端鉄筋の被り厚

図2 床スラブ補強筋の被り厚の誤差分布

生じやすい部位の鉄筋であることが知られる。

4.4 スラブ厚および有効せいについて

断面耐力に係わる安全係数を適正に定めるには、施工誤差が生じやすく、断面耐力に密接な係わりをもつスラブ厚と端部上端鉄筋有効せいについて、通常どのような精度で施工されているかを把握しておくことが肝要である。今回の調査結果を既往のデータと比較し、それぞれ図3、図4に掲げた。両図に掲げた既往のデータは、1966年から1986年にかけて建設された建物における調査結果である。スラブ厚誤差の平均値と標準偏差はともに今回の調査結果とほぼ同じであり、時代による改善の形跡はみられない。

一方、端部上端鉄筋の有効せいについては、既往データの平均誤差 -12.6mm 、標準偏差 16.0mm に対して、今回の調査ではそれぞれ -8.4mm 、 11.6mm であった。これは、コンクリート打設作業時の歩み板の設置や輸送管の衝撃防止などの現場管理の向上と、スラブ補強筋を所定の高さに保持するためのスペーサーの質的、量的改善によるものと考えられる。質的改善としてバーサポートの普及があり、量的改善として挿入するスペーサー数の増大が挙げられる。表7に、単位面積当りの床スラブ鉄筋用スペーサーの挿入数と有効数とを掲げた。1975年調査時のデータと比較すると、ほぼ倍増していることがわかる。

スラブ補強筋の被り厚と有効せいに関する本節の分析には、全て開口部またはコンクリート打ち込み直前の実測データを用いた。ちなみに、表5によれば、コンクリート打ち込みの前日と直前では平均で約 2.5mm のマイナス側に誤差の増大がみられことから、時間と場所を選び当該データの収集を行うことが大切である。

4.5 スラブ上面の均しについて

図5は、今回計測した直仕上げの床スラブ上面の均しの誤差と先にスペーサーの挿入状況を示した建設年1975~1977年当時の調査結果とを比較したものである²⁾。既往のデータが均し誤差0の点で絶壁形になるのに対し、レーザービームを用いた最近の左官工事では平均値0のほぼ正規分布を示す。

4.6 調査結果と部材係数の関係

表2、表3に見られるように、部材断面寸法の誤差は鉄筋被り厚の誤差と比べてもかなり小さいことから、断面2次モーメントなどの全せいに係る施工誤差を無視し、その部材係数 $\gamma_b = 1$ とする。

表7 床スラブ鉄筋用スペーサーの挿入状況 (1㎡当り)

現場	材* 質	上端筋用		下端筋用	
		挿入数	有効数	挿入数	有効数
B	S	1.02	1.00	1.28	1.18
C	P	0.82	0.77	0.79	0.68
D	P	1.49	1.37	1.37	1.28
平均値	-	1.11	1.05	1.15	1.05
既往調査**	-	0.49	0.46	-	-

* S:鋼線、P:Pラスチック、** 1975年9現場の平均値⁵⁾

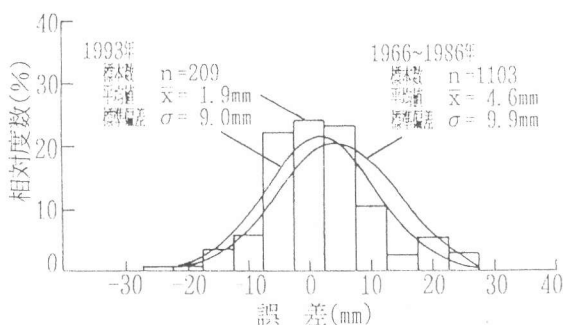


図3 スラブ厚の誤差分布

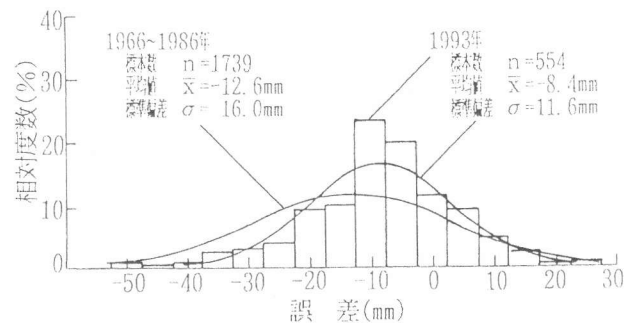


図4 床スラブ端部上端鉄筋有効せいの誤差分布

また、曲げ耐力などの有効せいに係る部材係数が、鉄筋が適正位置に挿入されている場合の設計耐力と、本調査データにおける被り厚が過厚となる上側5%点相当の耐力(特性値¹⁾)との比で与えられるものとする、ちなみにRC建物における柱、大梁、小梁のせい、およびスラブ厚設計値をそれぞれ600、600、500、150mmと仮定すると、柱1.08、正曲げ領域の大梁1.11、小梁1.07、スラブ0.99、負曲げ領域のスラブ1.12となる。なお、梁部材の上面からの被り厚が実測されていないため、ここでは負曲げ領域に関する検討はできない。

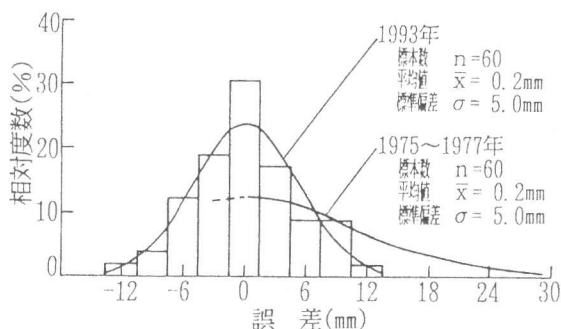


図5 床スラブ上面の均しの誤差分布

5. まとめ

本報告は、最近のSRCまたはRC建物新築工事現場での構造部材の施工精度に関する調査結果を整理・分析し、既往データとの比較等を行ったもので、その要約を以下に列挙する。

- (1) RC構造部材寸法の最大または最小誤差率は、型枠の精度に依存する柱、梁、壁がわずかに±数%であるのに対し、スラブ厚では±10%となる。
- (2) 柱四周、梁側面、スラブ下面における鉄筋の被り厚は過薄な箇所が多く、比較的高精度の部材でも補強筋の被りがJASS5の最小値以下となる割合が約20%であった。
- (3) 梁下端、壁、スラブ上面における鉄筋の被り厚は過厚になる箇所が多い。
- (4) バーサポート使用または挿入スペーサーの増大によりスラブ補強筋位置の保持は従前より改善されたが、依然として端部上端鉄筋で10mm内外の沈下は免れない。
- (5) 部材寸法と鉄筋位置のばらつきに係る部材係数は、それぞれ1.0、1.1程度となる。
- (6) スラブ直仕上げ面の誤差は、1975年当時は下向きの誤差が大半を占めたが、レーザービームが使用されるようになってからは誤差は、平均値が0、標準偏差は5mm程度となった。

謝 辞

本調査の実施に当たり、ゼネコン4社ならびに現場関係の多くの方々のご理解とご協力を得ました。また、現場実測とデータ整理には北海学園大学工学部建築学科4年の齊藤輝治、檜山昌弘、真鍋房裕、菅原 史、中南滋樹、和田 暢君らに長期間におよぶ献身的な協力を頂きました。

ここに記し、深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 大塚浩司、庄谷征美、外門正直、原 忠勝：鉄筋コンクリート工学/限界状態設計法へのアプローチ、技法堂出版、pp.45-47、1989
- 2) 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、日本コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12-2、pp.615-620、1990
- 3) 土橋由造、井野 智：大撓みをもつ鉄筋コンクリート障害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、第272号、pp.41-51、1978.10
- 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、日本建築学会構造系論文報告集、第376号、pp.92-102、1987.6
- 5) 井野 智、伊藤正義、杉野目章、布川信一：鉄筋コンクリート損傷床スラブの施工精度、日本コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13-2、pp.209-214、1991