鉄筋コンクリート造建築物における 部材測定面毎のかぶり厚さ平均値の分布に関する分析 DISTRIBUTION OF AVERAGE THICKNESS OF COVER CONCRETE ON EACH MEASURING FACE OF ANY MEMBER IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

西村 進^{*1}, 榊田佳寛^{*2}, 松崎育弘^{*3}, 園部泰寿^{*4}
Susumu NISHIMURA, Yoshihiro MASUDA, Yasuhiro MATSUZAKI
and Yasuhisa SONOBE

When the average thickness of additional cover concrete in design phase and that in construction phase are separately analyzed for each type of member such as column, beam, etc., it showed an almost normal distribution, respectively. Furthermore, concerning the relationship between distribution of the average cover concrete thickness on each measuring face of any member and the deviation within a member, a tendency was found that the deviation within a member increases along with an increase in the average value while the former remains small as far as the latter is small.

Keywords : *Thickness of cover concrete, average value of measuring face, Distribution, Fluctuation, Deviation within a member,*

かぶり厚さ, 測定面の平均値, 分布, ばらつき, 部材内偏差

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物において、鉄筋のかぶり厚さがどの程度確保されているかは、構造体の耐久性に関わる重要な要素である。しかしながら、実際の建築工事では施工の良否ばかりではなく鉄筋の加工・組立て等施工上の誤差が原因でかぶり厚さがばらつくため、設計かぶり厚さ-10mmの最小かぶり厚さを満足することは容易なことではない。このような状況にも拘わらず、実際の建築物におけるかぶり厚さの実態に関する調査や研究報告^{1), 2)}は少なく、かぶり厚さの分布やばらつきに関する十分な知見が得られていない。

既報^{3), 4), 5)}では、竣工後の建物18棟について、柱の帯筋(以下、柱という)、耐力壁の横筋(以下、壁という)、大梁あばら筋の側面(以下、梁側面という)、大梁あばら筋の下面(以下、梁下面という)およびスラブの下端主筋(以下、スラブ下面という)を対象とした非破壊試験によるかぶり厚さ調査結果をもとに、かぶり厚さの分布やばらつきに関する分析結果を報告した。既報¹⁾では、鉄筋1本毎のかぶり厚さについて部材種別毎、建物毎の分布と標準偏差を、また一部材の一測定面でのかぶり厚さのばらつき(以下、部材内偏差という)や複数の部材間でのかぶり厚さのばらつき(以下、部材間偏差という)等について報告を行った。既報²⁾および既報³⁾では、かぶり厚さの分布に及ぼす割増し^{注1)}や打増し^{注1)}の影響と施工方法の影響について報告した。これらの分析結果から、部材内偏差は全体的に小さいものの部材間偏差が比較的大きく、これによって鉄筋1本毎

のかぶり厚さの標準偏差が大きくなる傾向があることが分かっている。このことは、かぶり厚さの小さい箇所は建物全体に分散しているのではなく、ある部材のかぶり厚さが全体的に小さいという傾向があることを示唆している。本報告では、部材測定面毎のかぶり厚さの平均値の分布と、部材測定面毎のかぶり厚さの平均値と部材内偏差の関係について分析を行った。

2. 建物の概要

対象とした建物は、既報^{3), 4), 5)}と同様で2003年から2006年の間首都圏に建設された一般的な形状をした集合住宅18棟である。設計図書および竣工図によると、各建物とも現場打ちの鉄筋コンクリート造であり、鉄筋コンクリート工事に関する仕様はJASS5 1997年版に準拠している。各建物の規模および部材種別毎の調査部材面数を表1に示す。かぶり厚さは、柱、梁および耐力壁の屋外側が最小かぶり厚さ40mm、設計かぶり厚さ50mm、屋内側は最小かぶり厚さ30mm、設計かぶり厚さ40mm、スラブの屋外側が最小かぶり厚さ30mm、設計かぶり厚さ40mmとなっている。調査建物18棟は同一の建設会社によって建築工事が行われており、鉄筋の組立て工法は建物番号9, 11, 12の大梁において鉄筋先組み工法が採用されている他は、現地で鉄筋を組立てる在来工法となっている。鉄筋の加工は、スパイラル筋および溶接閉鎖型せん断補強筋がメーカーで製作され、その他の鉄筋は鉄筋工事専門会社の加工工場で行われている。また、鉄筋

*1 宇都宮大学大学院工学研究科 博士後期課程

*2 宇都宮大学工学研究科地球環境デザイン学専攻
教授・工博

*3 東京理科大学 名誉教授・工博

*4 筑波大学 名誉教授・工博

Graduate School of Engineering, Utsunomiya University
Prof., Dept. of Design and Engineering for Global Environment, Architecture Course,
Utsunomiya University, Dr. Eng.
Prof. Emeritus, Tokyo University of Science, Dr. Eng.
Prof. Emeritus, University of Tsukuba, Dr. Eng.

の組立て作業は、建物毎に一班の鉄筋工事施工班が担当している。

かぶり厚さに関わる帯筋、あばら筋の加工組立用の寸法は、設計断面に対して屋外屋内側ともにかぶり厚さ 50mm とし、あばら筋では梁と交差する柱主筋径等を考慮した割増しを加えて計画かぶり厚さとしている。また、スぺーサの仕様は各建物とも同様で、柱、壁、梁側面にはプラスチック製ドーナツ型スぺーサ、梁下面にはコンクリートブロック製スぺーサ、スラブには足元が防錆塗装された鋼製スぺーサまたはプラスチック製スぺーサが使用されている。

3. 調査の概要

かぶり厚さの調査は、調査建物 18 棟の主に偶数階を対象として行い、開放廊下等共用部から調査可能な範囲について、非破壊試験による測定を行った。かぶり厚さ測定方法は既報³⁾の通りであり、柱壁、梁側面および梁下面は測定面のほぼ中央の 1 探査線を、またスラブ下面は大梁側面からほぼ 50cm 離れた 1 探査線を探査器で連続的に測定した。非破壊試験は電磁誘導法による鉄筋探査システム FS-10(H 社製)を使用し、取得したデータを専用のソフトウェアでデジタルデータ化し、型枠セパレータ等明らかに鉄筋のかぶり厚さではないと判断されるものを削除してかぶり厚さ測定値とした。

電磁誘導法による非破壊探査機器を使用して鉄筋のかぶり厚さ測定を行う場合、かぶり厚さが大きいほど誤差が大きくなり、また測定する鉄筋の径や周辺の鉄筋間隔も正確さに影響を与えることが知られている^{6),7)}。このため、調査に先立ち既報³⁾の通り実物大の試験体を用いた実験により補正式を求め、測定値から実際のかぶり厚さを推定した。外装仕上げ材の厚さは、実際の仕上げ材厚さを実測した結果より、上述の補正した値からタイル張り仕上げ面では 10mm を、吹付けタイルおよびリシン吹付け仕上げ面では補正した値そのものを分析用のかぶり厚さとした。

かぶり厚さ調査を行った結果、1 調査部材面当りの鉄筋本数の平均、最大および最小は、それぞれ柱では 15, 24, 12 本、壁では 13, 19, 10 本、梁側面では 23, 36, 14 本、梁下面は 24, 30, 7 本、スラブ下面は 52, 100, 14 本となっている。

表 1 調査建物の規模および調査部材面数

建物番号	建物階数	延床面積 (m ²)	竣工年	調査部材面数				
				柱	壁	大梁側面	大梁下面	スラブ下面
1	7階建	8,399	2003年	29	90	30	—	15
2	7階建	4,435	2003年	47	26	37	28	14
3	7階建	3,328	2003年	12	30	11	—	6
4	5階建	3,879	2003年	27	28	18	18	4
5	5階建	3,826	2003年	30	32	18	18	4
6	7階建	3,476	2003年	12	24	11	—	6
7	10階建	6,585	2004年	50	90	30	—	15
8	10階建	8,686	2004年	61	114	38	—	19
9	11階建	7,086	2005年	44	60	38	35	15
10	11階建	10,178	2005年	65	35	48	49	15
11	11階建	7,855	2005年	54	60	44	30	15
12	11階建	6,856	2005年	34	60	36	29	15
13	10階建	6,680	2006年	24	33	20	24	10
14	7階建	3,286	2006年	12	24	12	—	6
15	5階建	2,840	2006年	10	12	7	8	2
16	5階建	3,827	2006年	15	24	14	14	4
17	7階建	3,256	2006年	16	36	14	9	3
18	10階建	6,971	2006年	45	57	36	31	15
合 計				587	835	462	293	183

4. 分析結果および考察

4. 1 部材種別のかぶり厚さの分布

各部材種別毎に、部材測定面毎のかぶり厚さ平均値の分布(以下、「平均値の分布」という)および鉄筋 1 本毎のかぶり厚さの分布(以下「鉄筋 1 本毎の分布」という)について、それぞれの平均値と標準偏差を表 2 に示す。平均値の差は 0~2mm、標準偏差は「平均値の分布」の方が僅かに小さくなる傾向があり 0.1~2.2mm の差があるものの、大きな違いは見られない。各部材種別について、「平均値の分布」と「鉄筋 1 本毎の分布」のヒストグラムを図 1 に示す。

表 2 平均値の分布および鉄筋 1 本毎の分布

	平均値および標準偏差 σ (mm)									
	柱		壁		梁側面		梁下面		スラブ下面	
	平均値	σ	平均値	σ	平均値	σ	平均値	σ	平均値	σ
平均値の分布	59	14.4	46	9.5	66	18.8	67	13.9	46	7.1
鉄筋 1 本毎の分布	57	15.3	46	11.1	65	19.0	67	16.1	48	7.0

図 1 「平均値の分布」と「鉄筋 1 本毎の分布」

「平均値の分布」は「鉄筋 1 本毎の分布」に対して、山の中央がやや高くなり裾が低くなる傾向が見られるものの、分布の形状、分布の幅ともに顕著な違いは見られない。

4. 2 測定面毎の平均値の分布

(1) 柱

柱のかぶり厚さは、設計かぶり厚さが外部 50mm 内部 40mm に対して、施工段階では帯筋の加工寸法を決めるためのかぶり厚さを外部・内部とも 50mm としている。一方躯体施工図によると、かぶり厚さを測定した面には、タイルの割付や他部材との取合い等施工計画上の理由による 15mm～57mm の打増しに記載されている部材が多くあり、さらにその測定面の反対側面に 20～57mm の打増しがあるものも含まれている。しかし、実際の施工では打増し寸法に応じた大きさのスペーサは使用されておらず、かぶり厚さ 50mm 用のスペーサが使われている。この打増しがかぶり厚さの分布に及ぼす影響は、既報^{4),5)}の通りであり、部材内偏差および部材間偏差が大きくなり、ばらつきが大きくなるという傾向がある。

これらの測定面および反対側面の打増し寸法の組合せのうち、測定面数が 10 以上のものについて、「平均値の分布」および「鉄筋 1 本毎の分布」それぞれの平均値と標準偏差を表 3 に示す。また、測定面数が 14 以下と比較的少ないものを除き、測定面と反対側面の打増し寸法の合計と標準偏差の関係を図 2 に示す。測定面の打増し寸法 0、反対側面の打増し寸法 0 (以下、打増し 0-0 という。以下同様) のとき、「平均値の分布」、「鉄筋 1 本毎の分布」それぞれの標準偏差およびその差は小さく、打増しがある場合にはそれぞれの標準偏差およびその差が大きくなる傾向が見られる。しかしながら、標準偏差の差は、いずれの場合も「平均値の分布」の方が 1～3mm 程度小さくなるだけである。この理由は既報^{4),5)}の通りであり、打増しの影響により部材内偏差および「平均値の分布」の標準偏差である部材間偏差が大きくなる傾向があるものの、部材内偏差は部材間偏差に比べ値が小さく、また打増しの影響による変化も小さいことから、部材間偏差の影響が大きく現れることによる。次に、打増し 0-0 および標準偏差の差が最も大きい打増し 20-0 のヒストグラムを図 3 に示す。「平均値の分布」は「鉄筋 1 本毎の分布」に比べ山の中央が高く裾が低くなる傾向が見られるものの、5mm 毎の区間による分布の幅は打増し 20-0 の左側裾が 2 区間、その他の裾は 1 区間と僅かに狭くなる程度である。以上のことは、かぶり厚さの分布の特性として、かぶり厚さの小さい鉄筋は建物全体に散らばっているのではなく、かぶり厚さの平均値の小さい部材面に集中して存在しているという特徴を表しているといえる。

表 3 のうち、打増し 0-0、20-0 の「平均値の分布」について、X 軸にかぶり厚さ測定値、Y 軸に期待値を表した正規確率プロットを図 4 に示す。なお、測定値に対する期待値は、市販のソフトウェア⁸⁾を用いて求めた。いずれの場合も、プロットが対角線上をほぼ直線的に並んでいることから、これらの分布は正規分布に近似していると考えられる。また、表 3 のそれぞれの「平均値の分布」について、上記のソフトウェアを用いコルモゴロフ・スミルノフ検定 (以下、K-S 検定という) による正規性の仮説検定を行った。その結果はいずれも有意確率が 0.05 以上となり、「平均値の分布」が正規分布に従うという仮説は棄却されないと判定されている。

表 3 平均値の分布および鉄筋 1 本毎の分布 (柱)

測定面の打増し (mm)	反対面の打増し (mm)	平均値の分布			鉄筋 1 本毎の分布		
		測定面数 (面)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	鉄筋数 (本)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)
0	0	48	51	9.3	786	51	10.3
	20	11	62	18.3	153	61	18.3
20	0	71	61	8.9	1249	61	12.1
25	0	288	55	13.1	4624	53	14.7
	25	47	68	15.4	635	65	16.6
27	47	14	55	15.9	230	56	17.0
37	0	44	66	14.8	544	63	15.4
47	40	14	68	11.7	183	64	12.2
上記の合計		537	—	—	8404	—	—
柱全体		587	59	14.4	9026	57	15.3

図 2 打増し寸法と標準偏差の関係 (柱)

図 3 平均値の分布と鉄筋 1 本毎の分布 (柱)

図 4 「平均値の分布」正規確率プロット (柱)

(2) 壁

壁のかぶり厚さ測定面は、屋外側と内部階段室等の屋内側があり、設計かぶり厚さは前述の通りそれぞれ 50mm および 40mm である。躯体施工図によると、壁のかぶり厚さ測定面には施工計画上の理由による 10mm～57mm の打増しが記載されている部材が多くあり、さらにその測定面の反対側面にも打増しの記載があるものが含まれている。

設計かぶり厚さ、測定面および反対側面の打増し寸法の組合せのうち、測定面数 10 以上について「平均値の分布」および「鉄筋 1 本毎の分布」それぞれの平均値と標準偏差を表 4 に示す。なお、表 4 のうち測定面の打増し 0, 10 は設計かぶり厚さ 40mm、15, 25 は同 50mm である。また、測定面数が 15 以下と比較的少ないものを除き、測定面と反対側面の打増し寸法の合計と標準偏差の関係を図 5 に示す。

「平均値の分布」、「鉄筋 1 本毎の分布」それぞれの標準偏差は、柱の場合と同様な傾向を示しており、その差は 1～2mm 程度と僅かである。次に測定面数の比較的多い、打増し 0-0 および 25-0 について、「平均値の分布」および「鉄筋 1 本毎の分布」それぞれのヒストグラムを図 6 に示す。それぞれの分布は柱の場合と同様に、「平均値の分布」の幅の方が 1 ないし 2 区間ほど僅かに狭くなっている。

「平均値の分布」について、打増し 0-0 および 25-0 の正規確率プロットを図 7 に示す。どちらもプロットが対角線上をほぼ直線的に並んでおり、正規分布に近似していると考えられる。また、表 4 の組合せ全てについて K-S 検定による正規性の仮説検定を行うと、打増し 0-0 以外については、「平均値の分布」が正規分布に従うという仮説は棄却されないと判定されている。

図 5 打増し寸法と標準偏差の関係(壁)

(3) 梁側面

梁側面のかぶり厚さは、柱と同様にあばら筋の加工寸法を決めるためのかぶり厚さを、外部・内部とも 50mm としている。一方構造図や躯体施工図によると、かぶり厚さを測定した面には、柱主筋と大梁主筋との交差の影響による 25～35mm の割増し(主筋、あばら筋とも呼び名を鉄筋外径とする)があり、さらにタイルの割付け等施工計画上の理由による 15～25mm の打増しが記載されている部材が多くある。

これらの割増し寸法と打増し寸法の組合せのうち、測定面数 10 以上について「平均値の分布」および「鉄筋 1 本毎の分布」それぞれの平均値と標準偏差を表 5 に示す。また、測定面数が 17 以下と比較的少ないものを除き、割増し寸法・打増し寸法の合計と標準偏差の関係を図 8 に示す。「平均値の分布」および「鉄筋 1 本毎の分布」それぞれの標準偏差は、柱、壁の場合と同様な傾向を示している。次に、割増し 0 打増し 0(以下、0-0 という。以下同様)および標準偏差の差

表 4 平均値の分布および鉄筋 1 本毎の分布(壁)

測定面の 打増し (mm)	反対面の 打増し (mm)	平均値の分布			鉄筋1本毎の分布		
		測定面 数(面)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	鉄筋数 (本)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)
0	0	291	40	6.8	3377	40	8.5
	9	15	42	3.0	135	42	5.4
	25	52	46	8.1	557	46	9.2
10	15	12	58	5.1	136	57	6.5
	57	12	65	11.7	119	66	12.6
15	0	12	50	6.7	149	49	8.0
25		435	50	8.6	6195	50	10.7
上記の合計		829	—	—	10668	—	—
壁全体		835	46	9.5	10740	46	11.1

図 6 平均値の分布と鉄筋 1 本毎の分布(壁)

図 7 「平均値の分布」正規確率プロット(壁)

表 5 平均値の分布および鉄筋 1 本毎の分布(梁側面)

測定面割増し(mm)	打増し(mm)	平均値の分布			鉄筋 1 本毎の分布		
		測定面数(面)	平均値(mm)	標準偏差(mm)	鉄筋数(本)	平均値(mm)	標準偏差(mm)
0	0	81	44	7.7	1786	43	8.2
	20	31	56	10.8	1169	55	13.1
28	25	42	69	10.6	774	67	13.8
29	25	101	78	13.4	2676	78	14.9
32	25	115	71	12.0	2270	72	15.2
35	25	17	75	11.8	265	75	14.3
上記の合計		387	—	—	8940	—	—
大梁側面全体		462	66	18.8	10754	65	19.0

が比較的大きい28-25について、「平均値の分布」および「鉄筋1本毎の分布」それぞれのヒストグラムを図9に示す。前述の柱、壁の場合と同様に、5mm 毎の区間による分布の幅は、「平均値の分布」の方が両裾において1ないし2区間ほど僅かに狭くなっている。

0-0および28-25の「平均値の分布」について、正規確率プロットを図10に示す。0-0の両端付近を除けば、プロットは対角線上をほぼ直線的に並んでいる。また、表5の組合せ全てについてK・S検定による正規性の仮説検定を行うと、0-0および29-25以外には、「平均値の分布」が正規分布に従うという仮説は棄却されないと判定されている。

図9 平均値の分布と鉄筋1本毎の分布(梁側面)

(4) 梁下面およびスラブ下面

梁下面の測定面は全て屋外側で、躯体施工図によると10、20、30mmの打増しが記載されている部材が含まれており、反対側面となる梁上面に打増しはない。また、スラブ下面では、かぶり厚さの保持方法が調査建物18棟のうち5棟では設計かぶり厚さ寸法40mmのスペーサで下端主筋を直接受ける方法がとられ、その他の13棟では設計かぶり厚さ寸法40mmのスペーサの上にさらに受け筋D10を配置し、その上に下端主筋をのせるという方法がとられている。

梁下面是測定面の打増し寸法毎のうち測定面数が10以上について、またスラブ下面はかぶり厚さ保持方法別に、「平均値の分布」および「鉄筋1本毎の分布」それぞれの平均値と標準偏差を表6および表7に示す。梁下面についてそれぞれの標準偏差の差は、2～3mm程度と前述の各部材と同程度であり、スラブ下面については標準偏差の差はほとんど見られない。

「平均値の分布」の正規確率プロットは、梁下面、スラブ下面とも前述の各部材と同様な傾向を示しており、K・S検定による正規性の仮説検定では、梁下面の打増し10のみが、正規性に従うという仮説が棄却されないと判定されている。

4.3 測定面の平均値と部材内偏差の関係

各部材種別について、測定面のかぶり厚さ平均値とその測定面のかぶり厚さの部材内偏差の関係を図11～図15に示す。各部材とも、

図8 割増し・打増し寸法と標準偏差の関係(梁側面)

図10 「平均値の分布」正規確率プロット(梁側面)

表6 平均値の分布および鉄筋1本毎の分布(梁下面)

測定面の 打増し (mm)	反対面の 打増し (mm)	平均値の分布			鉄筋1本毎の分布		
		測定面 数(面)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	鉄筋数 (本)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)
0	0	41	56	7.9	987	55	10.4
10		36	48	9.6	1017	47	12.5
30		207	73	10.9	4958	73	12.8
梁下面全体		293	67	13.9	7148	67	16.1

表7 平均値の分布および鉄筋1本毎の分布(スラブ下面)

スラブ下端筋のかぶり厚さ保持方法	平均値の分布			鉄筋1本毎の分布		
	測定面数(面)	平均値(mm)	標準偏差(mm)	鉄筋数(本)	平均値(mm)	標準偏差(mm)
40mmスペーサを設置	70	43	6.7	2002	43	7.1
40mmスペーサ上に受け筋D10設置	113	48	6.7	7434	50	6.3
全体	183	46	7.1	9436	48	7.0

図11 測定面の平均値と部材内偏差の関係(柱)

割増しや打増しがないものおよび割増しや打増しを含む全ての測定面について示した。一部傾向の異なるデータも見られるが、各部材種別において、測定面の平均値が小さい場合は部材内偏差の大きいものが少なく、測定面の平均値が大きくなると部材内偏差の大きいものが増える傾向が見られる。この理由として既報^{4),5)}で報告した様に、割増しや打増しの影響によって部材内偏差が大きくなる傾向のあることが影響していると思われる。また、割増しや打増しのない部材面についても同様な傾向が見られることから、既報³⁾で報告した様にかぶり厚さが大きくなると非破壊試験による誤差が大きくなることの他に、かぶり厚さの平均値が設計かぶり厚さ近辺の場合は、かぶり厚さの施工精度が良く部材内偏差が小さくなっていることも考えられる。

次に、測定面のかぶり厚さ平均値を5mmの区間毎に分けて部材内偏差の平均値を求めたものを、設計かぶり厚さ50mmの柱、梁側面、および梁下面を表8に、設計かぶり厚さ40mmの壁、スラブ下面を表9に示す。なお、各区間における部材内偏差のデータ数が3以下のものは除外した。

表8 かぶり厚さ平均値の範囲毎の部材内偏差の平均値(mm)
(柱、梁側面、梁下面：設計かぶり厚さ50mm)

部材種別	打増し等の区分	測定面の平均値 $\bar{x}$ の範囲(mm)					
		$35 \leq \bar{x} < 40$	$40 \leq \bar{x} < 45$	$45 \leq \bar{x} < 50$	$50 \leq \bar{x} < 55$	$55 \leq \bar{x} < 60$	$60 \leq \bar{x} < 65$
柱	打増し0-0	—	3.7	4.1	4.4	4.9	5.2
	柱全体	6.0	5.1	6.5	7.0	7.5	7.1
梁側面	割増し0打増し0	2.9	4.5	6.7	6.0	8.4	—
	梁側面全体	3.3	4.8	6.6	6.4	8.1	8.7
梁下面	打増し0-0	—	5.1	—	6.6	6.3	8.3
	梁下面全体	5.5	7.2	6.6	6.5	7.5	7.5

表9 かぶり厚さ平均値の範囲毎の部材内偏差の平均値(mm)
(壁、スラブ下面：設計かぶり厚さ40mm)

部材種別	打増し等の区分	測定面の平均値 $\bar{x}$ の範囲(mm)					
		$25 \leq \bar{x} < 30$	$30 \leq \bar{x} < 35$	$35 \leq \bar{x} < 40$	$40 \leq \bar{x} < 45$	$45 \leq \bar{x} < 50$	$50 \leq \bar{x} < 55$
壁	打増し0-0	4.9	3.7	4.5	4.6	5.0	6.8
	壁全体	4.9	3.8	4.4	4.5	4.8	5.5
スラブ下面	40mmスぺーサ	—	2.5	3.7	3.0	4.0	2.8
	スラブ下面全体	—	2.8	4.1	3.1	4.1	3.1

各部材種別毎の割増しや打増しのない部材面について、かぶり厚さ平均値の範囲毎に部材内偏差の平均値を図16に示す。鉛直部材の柱、壁については、かぶり厚さの平均値が小さくなると部材内偏差も小さくなる傾向が見られ、設計かぶり厚さ～設計かぶり厚さ－10mm(以下、最小かぶり厚さという)の範囲において、部材内偏差が最も小さくなっている。これは、前述のように非破壊試験の誤差の影響の他、かぶり厚さの平均値が設計かぶり厚さ～最小かぶり厚さ近辺のものは、かぶり厚さの施工精度が比較的良好ことが影響していることも考えられる。水平部材の梁側面、梁下面については、全体的に部材内偏差がやや大きめとなり、一部で部材内偏差の大きさが僅かに逆転する部分もあるが、全体の傾向としては柱、壁と同様であると考えられる。スラブ下面については同様な傾向は見られず、いずれの範囲においても部材内偏差が小さい値となっている。これは、スラブ下面がスぺーサの設置により、かぶり厚さの施工精度を比較的確保し易いことを表しているともいえる。

図12 測定面の平均値と部材内偏差の関係
(設計かぶり厚さ40mmの壁)

図13 測定面の平均値と部材内偏差の関係(梁側面)

図14 測定面の平均値と部材内偏差の関係(梁下面)

図15 測定面の平均値と部材内偏差の関係(スラブ下面)

図16 平均値の範囲毎の部材内偏差の平均値
(割増しや打増しのない部材)

これらのことから、割増しや打増しの影響を受けていない部材面の場合、かぶり厚さの平均値が設計かぶり厚さ～最小かぶり厚さ近辺の場合は、部内偏差の平均値は 5mm 程度以下と考えて良いと思われる。

5. まとめ

実際の鉄筋コンクリート造建物 18 棟を対象とした非破壊試験によるかぶり厚さ調査結果をもとに、柱、壁、梁側面、梁下面およびスラブ下面について、部材測定面毎のかぶり厚さ平均値の分布、およびかぶり厚さの平均値と部材内偏差の関係を分析した結果は次の通りである。

- (1) 各部材種別毎に割増し寸法や打増し寸法毎に分けて、測定面毎のかぶり厚さの平均値の分布と鉄筋 1 本毎のかぶり厚さの分布について、標準偏差および 5mm 区間のヒストグラムの分布を比較した場合、「平均値の分布」は「鉄筋 1 本毎の分布」に比べ僅かに分布の幅が狭くなる程度である。これは、かぶり厚さの分布の特性として、かぶり厚さの小さい鉄筋は建物全体に散らばっているのではなく、かぶり厚さの平均値の小さい部材面に集中して存在しているという特徴を表している。
- (2) 各部材種別の測定面毎のかぶり厚さ平均値の分布は、割増しや打増し寸法毎に分けた場合、それぞれ正規分布に近似しているとして扱ってよいと考えられる。
- (3) 測定面のかぶり厚さ平均値とかぶり厚さの部材内偏差の関係は、測定面の平均値が小さい場合は部材内偏差が大きいものは少なく、測定面の平均値が大きくなると部材内偏差の大きいものが多くなる傾向がある。これは、割増しや打増しの影響および非破壊試験による誤差の影響などが考えられる。
- (4) 割増しや打増しのない部材面について、測定面のかぶり厚さの平均値と部材内偏差の関係をみると、柱、壁、梁側面、梁下面では平均値が小さくなると部材内偏差が小さくなる傾向があり、スラブ下面については全体的に部材内偏差が小さくなっている。また、各部材とも測定面の平均値が設計かぶり厚さ～最小かぶり厚さ近辺のときに部材内偏差が最も小さくなり、このときの部材内偏差は 5mm 程度以下と考えられる。

参考文献

- 1) 嵩英雄, 和泉意登志, 友沢史紀, 福士勲: 経年 R C 構造物におけるコンクリートの中性化と鉄筋の腐食, 第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 181～184, 1984
- 2) 榊田佳寛, 友沢史紀, 矢島義鷹: 実際の鉄筋コンクリート造建築物における鉄筋のかぶり厚さの実態, 第 7 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 45～48, 1985
- 3) 西村進, 榊田佳寛, 松崎育弘, 園部泰寿: 実際の鉄筋コンクリート造建築物におけるかぶり厚さの分布に関する調査と分析, 日本建築学会構造系論文集, 第 649 号, pp. 491～497, 2010. 3
- 4) 西村進, 榊田佳寛, 松崎育弘, 園部泰寿: 鉄筋コンクリート造建築物の柱・梁側面におけるかぶり厚さの分布に及ぼす割増しや打増しの影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 657 号, pp. 1941～1946, 2010. 11
- 5) 西村進, 榊田佳寛, 松崎育弘, 園部泰寿: 鉄筋コンクリート造建築物の壁・梁・スラブにおけるかぶり厚さの分布に及ぼす打増しや施工方法の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 658 号, pp. 2079～2085, 2010. 12
- 6) 日本コンクリート工学協会: コンクリート診断技術 '07 基礎編, 2007. 1
- 7) 濱崎仁, 川西泰一郎, 榊田佳寛, 鹿毛忠継: 実構造物におけるかぶり厚さの測定誤差およびその補正方法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 2, pp. 799～804, 2008. 7
- 8) 社会情報サービス, エクセル統計 2008

注

注 1) 日本建築学会, 鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説 2003, 付録 C 用語によれば、鉄筋の納まりから部材の最小寸法に加算される割増しの幅を「割増し幅」、またコンクリート部材や鉄筋の納まりからあるいは建築意匠の関係から、構造上の必要断面にコンクリートを付加することを「打増し」と記されている。その用語を参考とした。

(2010年10月10日原稿受理, 2011年 2 月22日採用決定)