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

RESEARCH AND ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF THICKNESS OF COVER CONCRETE AT REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN PRACTICE

西村 進^{*1}, 梶田佳寛^{*2}, 松崎育弘^{*3}, 園部泰寿^{*4}

*Susumu NISHIMURA, Yoshihiro MASUDA, Yasuhiro MATSUZAKI
and Yasuhisa SONOBE*

This report concerns a research on cover concrete thickness implemented for a number of members at 18 completed reinforced concrete buildings through non-destructive inspection and an analysis of the distribution and fluctuation of cover thickness. On the basis of the disclosed actual state of deviation within a member and among members, it has become obvious that the smaller deviation within a member on one hand and the larger deviation among members on the other hand lead to the large cover thickness fluctuation within a building as a whole.

Keywords : Reinforced concrete, Thickness of cover concrete, Distribution, Fluctuation, Deviation within a member, Deviation among members

鉄筋コンクリート, かぶり厚さ, 分布, ばらつき, 部材内偏差, 部材間偏差

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非常に重要な要素である。かぶり厚さに関する規定は、日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事（以下、JASS5 という）で1986年の改定以降、最低限必要とする最小かぶり厚さと、これを確保するために施工上の誤差に対する割増し10mmを加えた、設計仕様で規定する設計かぶり厚さが定められている。しかしながら、実際の建築工事では、施工の良否や施工上の誤差が原因でかぶり厚さがばらつき、施工上の誤差に対する割増し10mm以内の精度を確保することは容易ではない。また、最近では非破壊検査技術の進歩もありコンクリート打込み後の部材に対して、かぶり厚さの非破壊検査が行われるケースが増えており、かぶり厚さ不足を指摘されることも決して少なくはない。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は少なく、かぶり厚さのばらつきやその要因に関する十分なデータや知見が得られていないのが現状である。

一方、既往の研究により「コンクリートの中性化に伴う鉄筋の腐食確率推定によるかぶり厚さの信頼設計法」^{*1}や「コンクリート表層部の不均一性を考慮した有効かぶり厚さ設計法」^{*2}等が提案されており、実際の建築物でかぶり厚さがどの様な要因で、どの様に分

布しているかを把握することは、建物の耐久性を評価する上で必要不可欠であり、また設計および施工にとって非常に重要なことであるといえる。

この報告は、竣工後の建物18棟における柱、壁、大梁およびスラブ部材を対象とし、非破壊検査による鉄筋のかぶり厚さ調査を行い、標準的な施工が行われた建築物でかぶり厚さがどの様に分布し、また一部材の一測定面でのばらつき（以下、部材内偏差という）や複数の部材間でのばらつき（以下、部材間偏差という）が、どの程度であるか等について分析を行い、その結果をまとめたものである。

2. 調査建物の概要

2.1 設計概要

調査を行った建物は、2003年から2006年の間首都圏に建設された集合住宅18棟で、各建物の平面は開放廊下タイプまたは2住戸1階段室タイプで、一般的な集合住宅の形状をしている。各調査建物の設計図書および竣工図によると、構造規模は桁行方向が純ラーメン架構、梁間方向が連層独立耐震壁架構の5階建～11階建の鉄筋コンクリート造で、柱、壁、梁およびスラブにプレキャストコンクリート部材は使用されておらず、現場打ちの鉄筋コンクリート造である。また、鉄筋コンクリート工事に関する仕様は、JASS5 1997年版（以下、JASS5-1997という）に準拠している。

*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 東京理科大学工学部建築学科 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, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tokyo University of Science, Dr. Eng.

Prof. Emeritus, University of Tsukuba, Dr. Eng.

鉄筋には JIS 規格品または大臣認定品が使用され、建物、階および部位によって異なるが、柱主筋はD19～D32、帯筋はD13、D16のスパイラル筋または呼び名 UHD13、UHD16 の溶接閉鎖型せん断補強筋が 100mm@で配筋され、大梁主筋にD25～D35、あばら筋にD13、D16 の末端フック付鉄筋または呼び名 UHD13 の溶接閉鎖型せん断補強筋が 100mm@または 150mm@で配筋されている。また、壁およびスラブの主筋には、主にD10 またはD13 の鉄筋が使用され 100mm@～200mm@の配筋となっている。

鉄筋のかぶり厚さに関する設計仕様は JASS5-1997 に準拠しており、屋外側のかぶり厚さは、柱、梁および耐力壁で最小かぶり厚さ 40mm、設計かぶり厚さ 50mm、非耐力壁およびスラブで最小かぶり厚さ 30mm、設計かぶり厚さ 40mm、また屋内側のかぶり厚さは、柱、梁および耐力壁で最小かぶり厚さ 30mm、設計かぶり厚さ 40mm、非耐力壁およびスラブで最小かぶり厚さ 20mm、設計かぶり厚さ 30mm となっている。コンクリートは、設計基準強度が $27\text{ N/mm}^2 \sim 36\text{ N/mm}^2$ 、品質基準強度が $30\text{ N/mm}^2 \sim 39\text{ N/mm}^2$ の普通コンクリートが使用されている。

2.2 施工概要

調査建物 18 棟は、同じ建設会社によって建築工事が行われており、鉄筋工事は工事専門会社 2 社が担当している。建設会社の施工記録等によると、鉄筋の組立て工法は建物番号 9、11、12 で大梁の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、鉄筋の組立て作業は、棟毎に一班の鉄筋工事施工班が担当し、18 棟全体で 16 班が従事している。

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、交差する鉄筋径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、スペーサー取付けは、各建物とも同様の施工計画に基づいており、柱、壁、梁側面にはプラスチック製ドーナツ型スペーサ、梁下面にはコンクリートブロック製スペーサ、スラブには足元が防錆塗装された鋼製スペーサまたはプラスチック製スペーサが使用され、スペーサの配置は JASS 5-1997 に準拠した計画となっている。

コンクリート打込み後のコンクリート表面は、型枠の目違い部分等が左官で薄塗り補修され、その上にタイル直張り、吹付けタイル等の外装仕上げが施されている。

3. 調査の概要

3.1 測定部材および測定方法

かぶり厚さ調査は、調査建物 18 棟の主に偶数階を対象として行い、開放廊下や階段等共用部から調査可能な範囲で、できるだけ多くの部材について非破壊探査による測定を行った。かぶり厚さ測定は、次の①～⑤に示す各部材種別毎に、最も外側の鉄筋について行った。①柱の帯筋(以下、柱という)、②耐力壁の横筋(耐力壁、非耐力壁の調査を行ったが本報告は耐力壁のみとする。以下、壁という)③大梁あばら筋の側面(以下、大梁側面という)、④大梁あばら筋の下面(以下、大梁下面という)、および⑤スラブの下端主筋(以下、スラブ下面という) なお、測定作業は、非破壊検査専門会社の検査員が行った。

調査建物の規模および部材種別毎の測定部材面数を表 1 に示す。

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

図 1 各部材の測定面および測定方法

非破壊探査によるかぶり厚さの測定方法を図1に示す。柱はX方向、Y方向の各1面のほぼ中央を、スラブ上面から大梁下面まで1探査線を探索器で連続的に測定、同様に壁、大梁側面、大梁下面では測定面のほぼ中央の1探査線を、スラブ下面では大梁側面からほぼ50cm離れた1探査線を探索器で連続的に測定した。

調査の結果、1調査部材面の1探査線について、かぶり厚さを測定した鉄筋本数は、18棟全体の平均で、柱約15本、壁約13本、大梁側面約23本、大梁下面約24本、スラブ下面約52本である。

3.2 使用した探査機器

かぶり厚さの非破壊探査には、電磁誘導法を用いた鉄筋探査システムFS-10、H社製(以下、測定機器という)を使用した。電磁誘導法は、タイル張りや吹付け等非磁性体の表面仕上げやコンクリートの状態に影響を受けにくく、かぶり厚さを比較的精度良く測定できるという特長を有している³⁾。取得したデータは、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、釘、番線等鉄筋以外の金属の影響で、明らかに鉄筋のかぶり厚さではないと判断されるものについては、検査員が削除し、これによって得られたデータを測定値とした。

3.3 測定データの精度

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度に影響を与えることが知られている^{3),4)}。そのため、調査に先立ち実物大の柱および壁試験体による実験を行い、測定値から実際のかぶり厚さを推定するための補正式を求めた。なお、使用した測定機器は、鉄筋径の影響を補正する機能を有している。

柱試験体は主筋間隔が狭い場合(主筋D25が約100mm間隔で帯筋がD13-100@)と、主筋間隔が広い場合(主筋D25が約250mm間隔で帯筋がD13-100@)の2試験体、壁試験体は縦横筋がD13-200@モチアミダブルの1試験体で、非磁性体のスペーサーと型枠用パネルでかぶり厚さを変化させてコンクリート表面を模擬し、実際に使用する測定機器を用いてかぶり厚さ測定を行った。柱の2試験体および壁試験体の測定値と実際のかぶり厚さの関係を、それぞれ図2、図3および図4に示す。また、測定値から実際のかぶり厚さを推定するために、実験結果から最小二乗法により求めた補正式 式(1)、式(2)および式(3)を、それぞれを図2、図3および図4の図中に示す。

実験結果は、鉄筋が多い場合に実際のかぶり厚さに対して測定値が小さくなる傾向が見られ、測定値をそれぞれの補正式で補正した値に対して、実際のかぶり厚さはいずれの場合もほぼ±10%以内のばらつきとなっている。これらの実験結果より、実際の調査では、主筋間隔の狭い柱および大梁下面は図2の式(1)、主筋間隔の広い柱および大梁側面は図3の式(2)、壁およびスラブ下面は図4の式(3)を用いて測定値を補正した。

外装仕上げ材の厚さは、実際の調査建物の仕上げ材厚さを実測した結果、各棟ともタイル直張りで約9mm、吹付けタイルで約0.6mm、リシン吹付けで約0.7mmであった。これにより、前述の補正した値から外装仕上げ材の厚さを考慮して、タイル張り仕上げ面では10mmを差引いた値を、また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。

建物18棟の調査期間はおよそ5ヶ月間であったが、測定作業を行

う検査員および測定機器は同一とした。また、建物番号1に付属する鉄筋コンクリート造建物の壁に、鉄筋のはつり出し箇所を設け、測定日毎測定開始前に点検のための測定を行い、測定機器に大きな誤差がないことを確認した。

図2 測定値とかぶり厚さの関係
(主筋間隔が狭い柱試験体)

図3 測定値とかぶり厚さの関係
(主筋間隔が広い柱試験体)

図4 測定値とかぶり厚さの関係(壁試験体)

4. 調査分析結果

4.1 部材種別毎のかぶり厚さの分布

調査建物18棟全体での柱、壁、大梁側面、大梁下面およびスラブ下面の、5mm毎の度数分布で表したかぶり厚さの分布を図5～図9に示す。一つ一つのデータは、調査で得られた鉄筋1箇所毎のかぶり厚さの推定値である。柱、壁、大梁下面およびスラブ下面でのかぶり厚さの分布は、平均値付近を中心に左右になだらかに下がる形をしており、既往の文献^{5),6),7)}に示されている分布と、同様な分

布の形をしていると考えられる。

これに対して、大梁側面のかぶり厚さ分布は、かぶり厚さの大きい右寄りの区間に、高い部分が多く見られる形となっている。この理由として、柱主筋と梁主筋の交差の影響によるかぶり厚さの割増し⁸⁾や、タイル割付け等の仕上げを考慮した施工計画上の打増し⁸⁾が考えられる。設計図および躯体施工図を確認すると、各部材種別ともかぶり厚さ測定面に、およそ 20mm～30mm の打増しのある部材が含まれており、大梁側面ではさらに柱主筋と梁主筋の交差の影響によって、柱主筋径相当分(呼び名で D25～D32)のかぶり厚さの割増しが加わっている部材が多く含まれる。このため、大梁側面ではかぶり厚さの割増しと打増しの合計寸法がおよそ 50mm～60mm となる測定面が測定面全体の約 60%あり、この影響で大梁側面のかぶり厚さの分布が、前述のようになっていると推測される。

柱梁主筋の交差の影響等によるかぶり厚さの割増し、およびタイル割付け等を考慮した施工段階でのコンクリートの打増しの影響についての分析結果は、改めて報告する予定である。

かぶり厚さの平均値は、柱、壁およびスラブ下面で設計かぶり厚さに近い値であるが、大梁側面および大梁下面ではやや大きい値となっている。また、スラブ下面以外では最大値が 100mm 前後まで分布しており、測定側および反対側の設計かぶり厚さの合計が最大値であるとすればやや過大である。これらは、施工によるばらつきと前述のかぶり厚さの割増しや打増しが影響していると考えられる。

設計かぶり厚さ－10mm の最小かぶり厚さを満足していない箇所の割合は、柱 11.3%、壁 27.2%、大梁側面 11.0%、大梁下面 4.7%、スラブ下面 0.7%で、設計かぶり厚さ－20mm の建築基準法上のかぶり厚さを満足していない箇所の割合は、柱 3.1%、壁 3.4%、大梁側面 0.6%、大梁下面 1.2%、スラブ下面は 0 となっている。

かぶり厚さの標準偏差は、柱 15mm、壁 11mm、大梁側面 19mm、大梁下面 16mm で、既往の文献^{5),6)}に示される 10mm～20mm の範囲となっているが、大梁側面で大きい傾向を示している。スラブ下面は標準偏差が 7mm で、他の部材と比べて小さな値である。

図 5 かぶり厚さの分布 (柱)

図 7 かぶり厚さの分布 (大梁側面)

図 6 かぶり厚さの分布 (壁)

図 8 かぶり厚さの分布 (大梁下面)

図 9 かぶり厚さの分布 (スラブ下面)

4.2 部材種別毎の建物別平均値と標準偏差

各部材種別毎に、かぶり厚さの建物別の平均値および標準偏差を図10～14に示す。建物別の平均値は設計かぶり厚さに対して、柱が約-7mm～+18mm、壁-11mm～+6mm、大梁側面+4mm～+28mm、大梁下面-5mm～+27mm、スラブ下面が-8mm～+13mmで、建物の違いによる差が大きい、ほぼ最小かぶり厚さ以上となっている。

建物別の標準偏差は、柱、壁、大梁側面および大梁下面はおよそ10mm～20mmの範囲、スラブ下面は10mm未満と小さな値となり、調査建物全体の場合と同様な傾向が見られる。ただし、大梁側面は建物の違いによる差が特に大きく、6棟の標準偏差が20mmを超えている。これは、前述のように大梁側面のかぶり厚さに、割増しの加わっている部材が多く含まれることが原因であると考えられる。

4.3 部材内偏差

部材内でのかぶり厚さのばらつきを表す部材内偏差として、一つの測定面毎のかぶり厚さの標準偏差を求めた。この部材内偏差

は、設計段階でのかぶり厚さの割増しや、施工段階での打増しによるかぶり厚さの増加分の影響を含まないばらつきである。したがって、この部材内偏差は鉄筋の加工組立て等の施工精度や誤差に関わる、かぶり厚さのばらつきを表しているものと考えられる。

調査建物18棟全体での部材種別毎の部材内偏差を、区間2mm毎の度数分布で図15～図19に示す。18棟全体での部材内偏差の平均値は、柱6.8mm、壁5.2mm、大梁側面8.0mm、大梁下面7.5mm、スラブ下面3.4mmであり、建物別、部材種別毎に求めた標準偏差の平均値のおよそ1/2～3/5程度と小さい値となっている。また、どの部材種別とも分布の山がやや左に寄り、部材内偏差の小さい左裾が急に立ち上り部材内偏差の大きい右裾がなだらかに下がる同様な形をしており、分布の範囲もスラブ下面を除いてほぼ同じとなっている。これらのことから、この部材内偏差の分布が、割増しや打増しを含まない、施工精度、誤差としてのかぶり厚さのばらつきの傾向や大きさを、よく表しているものと考えられる。

図10 かぶり厚さの平均値と標準偏差(柱)

図11 かぶり厚さの平均値と標準偏差(壁)

図15 部材内偏差の分布(柱)

図12 かぶり厚さの平均値と標準偏差(大梁側面)

図16 部材内偏差の分布(壁)

図17 部材内偏差の分布(大梁側面)

図13 かぶり厚さの平均値と標準偏差(大梁下面)

図18 部材内偏差の分布(大梁下面)

図19 部材内偏差の分布(スラブ下面)

図14 かぶり厚さの平均値と標準偏差(スラブ下面)

次に、部材種別毎に部材内偏差の建物別平均値を図 20～図 24 に示す。建物によって違いはあるものの、部材内偏差の比較的大きい柱の場合でおよそ 5mm～10mm の範囲、大梁側面でおよそ 6mm～12mm の範囲であり、ほとんどの建物は 10mm 以下となっている。また、大梁下面、壁およびスラブ下面の部材内偏差は、柱および大梁側面に比較して建物の違いによる差は小さく、ほとんどの建物でそれぞれ 8mm, 6mm および 4mm 以下となっている。

以上のことから、部材内偏差の比較的大きい柱や大梁側面の場合でも、部材内偏差の建物別平均値はほぼ 10mm 以下と考えられ、梁下面、壁およびスラブ下面では、さらに小さい値であるといえる。ただし、面部材である壁およびスラブ下面については、探査を行った 1 方向の標準偏差を部材内偏差としているため、2 方向の測定結果から部材内偏差を求める場合は、大きくなる可能性もあると考えられる。

部材内偏差が大きくなる主な原因として、柱では配筋の倒れやねじれ、梁側面では配筋の水平方向および鉛直方向の傾き、梁下面では配筋のたわみが考えられる。また、面部材である壁およびスラブ下面については、探査を行った 1 方向での部材内偏差の原因として壁筋では鉛直方向の倒れ、スラブ筋ではたわみが考えられる。

4.4 部材間偏差

同一建物内の同一部材種について、各部材一つ一つの測定面のかぶり厚さの平均値を変数として標準偏差を求め、部材間のばらつきを表す部材間偏差とした。部材種別毎に、建物別の部材内偏差の平均値、部材間偏差および部材全体の標準偏差を、図 25～図 29 に示す。建物別の部材間偏差は、柱ではおよそ 7mm～20mm、壁でおよそ 4mm～13mm、大梁側面でおおよそ 5mm～23mm、大梁下面でおおよそ 5mm～14mm、スラブ下面でおおよそ 1mm～7mm の範囲であり、部材種別毎の建物別標準偏差と同様に、建物の違いによる差が大きいたことが分かる。また、部材間偏差は、大梁側面が最も大きく、柱、大梁下面、壁、スラブ下面の順にその値が小さくなる傾向を示しており、建物別標準偏差と同様の傾向となっている。

部材間偏差は部材内偏差に比較して、一部を除いて大きな値となっており、各部材種毎に建物別の部材内偏差の平均値を σ_1 、部材間偏差を σ_2 、部材全体の標準偏差 σ_3 としたときの関係は、柱、梁側面、梁下面、壁およびスラブ下面ともに、 $\sigma_1^2 + \sigma_2^2 = \sigma_3^2$ の関係となっている。これらより、部材間偏差が大きいたことが建物別の部材全体のかぶり厚さの標準偏差を大きくしている要因となっていることが分かる。部材間偏差が大きくなる原因は、前述のかぶり厚さの割増しや打増しによる影響が大きいたと考えられる。

図 20 部材内偏差の建物別平均値(柱)

図 21 部材内偏差の建物別平均値(壁)

図 22 部材内偏差の建物別平均値(大梁側面)

図 23 部材内偏差の建物別平均値(大梁下面)

図 24 部材内偏差の建物別平均値(スラブ下面)

図 25 建物別の部材内・部材間偏差(柱)

図 26 建物別の部材内・部材間偏差(壁)

図 27 建物別の部材内・部材間偏差(大梁側面)

図 28 建物別の部材内・部材間偏差(大梁下面)

図 29 建物別の部材内・部材間偏差(スラブ下面)

5. まとめ

標準的な施工方法で建設された鉄筋コンクリート造建物 18 棟について、柱、壁、大梁側面、大梁下面およびスラブ下面のかぶり厚さを、非破壊検査により調査し、分析した結果は次の通りである。

- (1) JASS5-1997 に準拠した仕様で、標準的な施工を行う場合においても、全ての箇所設計かぶり厚さ-10mm の最小かぶり厚さを確保することは容易ではない。
- (2) 18 棟全体での部材種別毎のかぶり厚さの標準偏差は、柱、壁、梁側面および梁下面は、既往の文献^{5),6)}に示される 10mm~20mm の範囲となるが、梁側面で大きい傾向を示している。また、スラブ下面の標準偏差は 7mm で、他の部材と比べて小さな値である。
- (3) 建物別部材種別のかぶり厚さの標準偏差は、(2) とほぼ同様な傾向であるが、建物の違いによる差が大きく、特に大梁側面でその傾向が顕著であり、標準偏差の大きなものが多い。これは、鉄筋の交差の影響等による、かぶり厚さの割増しが加わっている部材が多く含まれることが原因であると考えられる。
- (4) かぶり厚さの部材内偏差は、施工精度や誤差を表しており、建物別部材種別の標準偏差に対して $1/2 \sim 3/5$ 程度と小さい値となる。また、部材内偏差の比較的大きい柱や梁側面でも、部材内偏差の建物別平均値は、ほぼ 10mm 以下と考えられる。
- (5) 同一建物内の部材種別毎の部材間偏差は、部材内偏差に比較して大きな値であり、部材間偏差が建物別の部材全体のかぶり厚さの標準偏差を大きくしている要因となっている。

かぶり厚さの部材間偏差が大きくなる要因として、柱梁主筋の交差の影響等によるかぶり厚さの割増し、およびタイル割付け等を考慮した施工段階でのコンクリートの打増しの影響が考えられる。これらについての分析結果は、改めて報告する予定である。

参考文献

- 1) 和泉意登志, 嵩英雄, 友沢史紀, 福士勲: 鉄筋のかぶり厚さの信頼設計による耐久性向上技術の提案, 第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 185~188, 1984. 10
- 2) 大田達見, 山崎庸行, 榊田佳寛: 有効かぶり厚さ設計法の提案, 日本建築学会技術報告集, 第 22 号 pp. 77~80, 2005. 12
- 3) 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
- 4) 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, 2008. 7
- 5) 嵩英雄, 和泉意登志, 友沢史紀, 福士勲: 経年 RC 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
- 6) 榊田佳寛, 友沢史紀, 矢島義彦: 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
- 7) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, 2003
- 8) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説, 2003

(2009年6月10日原稿受理, 2009年11月18日採用決定)