

論文 鉄道高架橋におけるかぶりの施工誤差に関する調査研究

谷村 幸裕^{*1}・長谷川 雅志^{*2}・曾我部 正道^{*3}・佐藤 勉^{*4}

要旨：鉄筋のかぶりは、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を左右する重要な要素である。本研究では、鉄道高架橋のかぶりの施工誤差について、実構造物において実態調査を実施し、かぶりの施工誤差が生じる要因とその大きさについて検討した。調査結果より、ラーメン高架橋の柱側面および上層梁側面ならびに張出スラブ下面は、他の部材に比べて施工誤差が大きくなる傾向にあることを把握した。また、スパーサの使用量が多くなるとかぶりの施工誤差が小さくなり、3 個/m²程度以上配置するとかぶりの施工誤差を一定以内に抑えることができる傾向が認められた。

キーワード：かぶり，施工誤差，非破壊検査，耐久性

1. はじめに

鉄筋のかぶりは、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を左右する重要な要素である。近年、コンクリート構造物が増加し、建設後長期間経過した構造物が増えるに伴って、構造物の維持管理に関する問題が顕在化し、RC 構造物の耐久性の向上が課題となっている。土木学会コンクリート標準示方書¹⁾には、耐久性の照査を直接的に行う方法が取り入れられており、鋼材の腐食に関しては、鉄筋のかぶりが適正か否かを照査できるようになっている。

設計段階で耐久性の照査を行う場合、かぶりは、図面に記載されているかぶりをを用いることになるが、実際には施工段階で誤差が生じ、設計段階で想定していない状況になっていることも考えられる。そこで、設計段階で施工誤差をどのように見込んでおくかが課題となる。実際にも、鋼材の腐食が生じている構造物で、鉄筋のかぶりが不足しており、それが劣化の一因となっている場合が少なくない。したがって、このような施工の実態を考慮せずして耐久性の照査を行うことは、その意義を損なうことになり

かねない。

そこで、本研究では、実構造物のかぶりの実態調査を行い、施工誤差の生じる要因についての分析を行うとともに、統計的な分析を行って設計段階で見込んでおくべき施工誤差について検討することとした。

2. 調査の概要

2.1 調査対象構造物

調査は、2000 年度に建設された鉄道 RC 高架橋を対象として行った。調査場所は全国から数箇所を選定し、事業主体、施工業者のそれぞれ異なる構造物を対象としている。

調査対象構造物の構造形式は、RC ラーメン高架橋 10 基、RC スラブ桁 8 連、RCT 形桁 7 連である。これらの構造形式は、鉄道の高架橋で一般的に用いられている形式であり、いずれも複線を支持する構造物である。調査対象構造物の諸元を表-1、2に、概略形状を図-1に示す。なお、調査対象構造物の設計かぶりは 30～50mm であった。

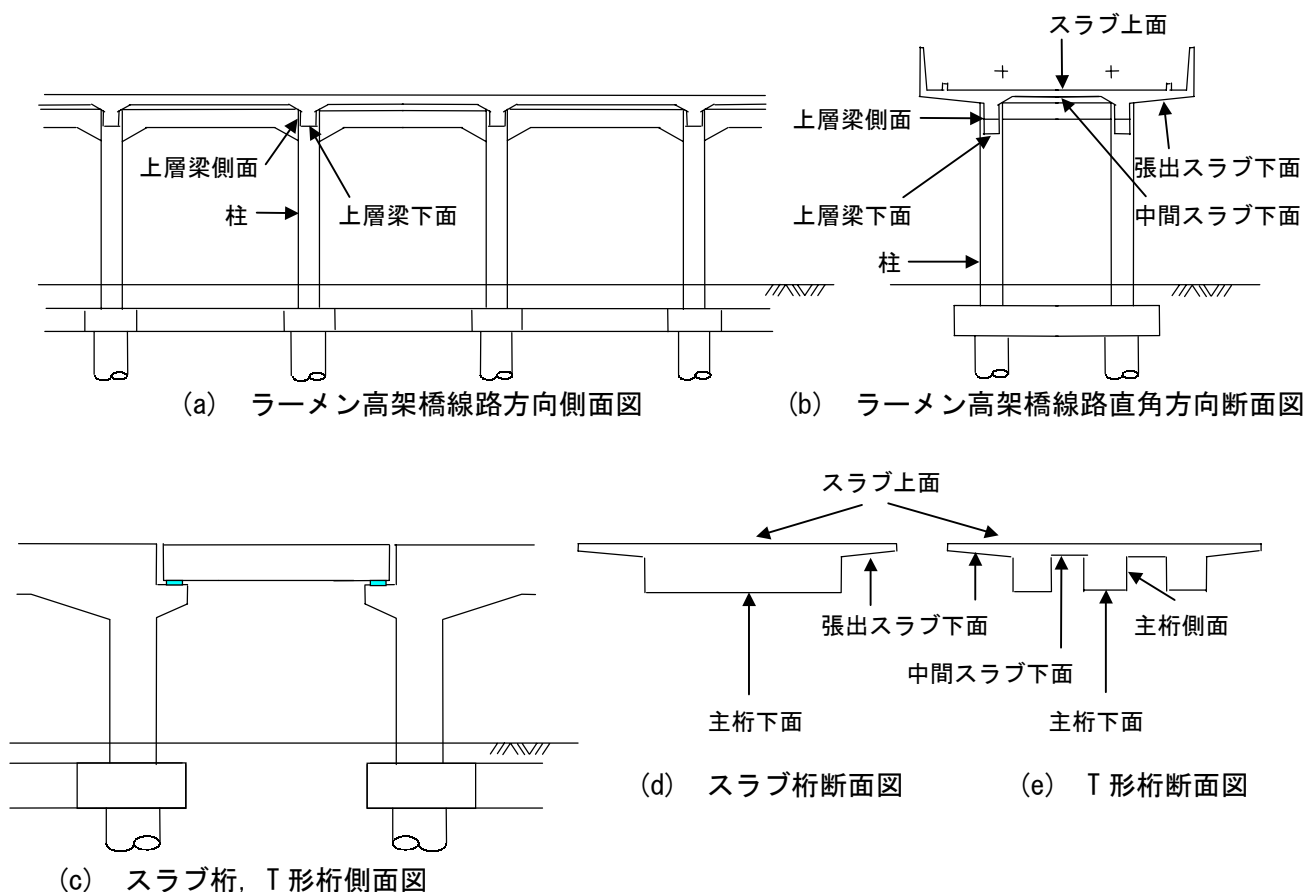
また、これらの構造物は、鉄道構造物等設計

*1 (財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造 工修 (正会員)

*2 北海道旅客鉄道(株) 工務部工事課 (正会員)

*3 (財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造 (正会員)

*4 (財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造研究室長 工博(正会員)



図－１ 調査対象構造物の概略形状

標準^{2), 3)}を適用して設計されおり、施工管理は各鉄道事業者で定められた土木工事標準示方書に基づいている。なお、いずれの鉄道事業者の土木工事標準示方書にも、鉄筋工、型枠および支保工に関して、設計図に示されている形状、寸法にしたがって正確に施工するとともに、組み立て完了後すみやかに検測を行うことが定められている。

2.2 測定方法

かぶりの測定は、電磁誘導法（磁気式）により非破壊で行った。調査対象構造物には、一部、鉄筋が軸方向および横方向に密に配筋されている部位がある。このような場合は、測定対象鉄筋に直交する鉄筋の影響により、測定値に誤差が生じることが明らかにされており、かぶりの大きさに応じた補正方法が提案されている⁴⁾。そこで、本調査では、ラーメン高架橋上層梁部材の下面、柱部材の側面、T 形桁の主桁下面の測定結果を、文献 4)の方法を用いて補正した。

表－１ 構造物の諸元（ラーメン高架橋）

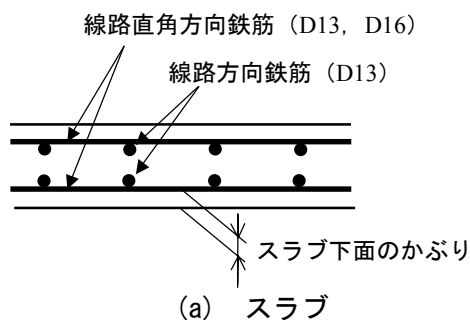
線路方向スパン		10m×3～8 径間
線路直角方向スパン		5～6.5m×1 径間
張出スラブ長さ		1.7～2.5m
高架橋高さ		6.7～8.4m
基礎形式		杭基礎
測定対象 鉄筋径	柱	D16, D19
	梁	D16
	スラブ	D13, D16

表－２ 構造物の諸元（スラブ桁, T 形桁）

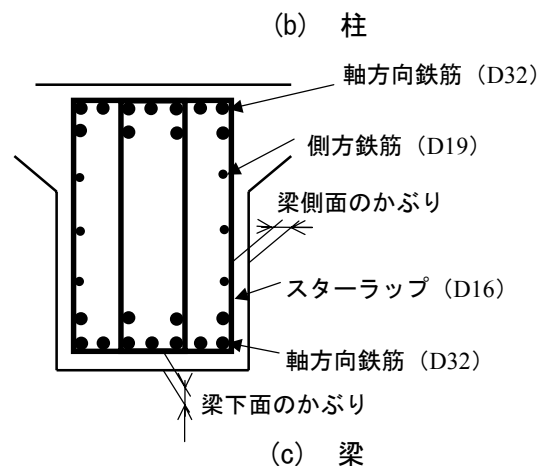
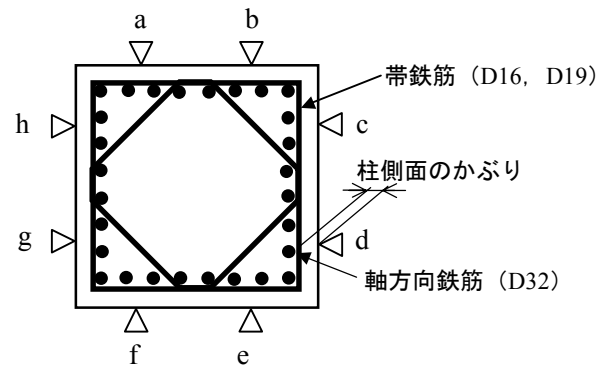
	スラブ桁	T 形桁
主桁本数	1 本	3～4 本
スパン	8.0～10.1m	12.1～14.7m
張出スラブ長さ	1.7～2.0m	1.2～1.9m
測定対象	主桁	D13, D16
鉄筋径	スラブ	D13

測定箇所は、図－１に示すように、ラーメン高架橋の柱部材の側面、上層梁部材の下面および側面、中間スラブの下面、張出スラブの下面、スラブ桁の主桁下面、張出スラブ下面、T 形桁の主桁下面および側面、中間スラブの下面、張

出スラブの下面である。なお、スラブ上面の測定も試みたが、スラブ上に排水勾配コンクリートが一体となって施工されており、かぶりが設計値を大幅に上回っていて、測定困難であった。測定対象の鉄筋は、最外縁に配置された鉄筋であり、柱部材では帯鉄筋、上層梁部材および主桁ではスターラップ、スラブでは橋軸直角方向に配置された鉄筋である。図－2に、ラーメン高架橋において測定した部材の断面形状および配筋の例と測定位置を示す。柱部材、梁部材および主桁は部材軸方向に、スラブは線路方向に測定線を設定し、測定線に沿って測定対象鉄筋が現れるごとに鉄筋のかぶりを測定した。



測定対象構造物ごとに、測定対象面数および測定した鉄筋の本数を表－3～5に示す。



図－2 断面形状および配筋の例

表－3 ラーメン高架橋の測定箇所数

構造物	柱側面	梁下面	梁側面	中間スラブ下面	張出スラブ下面
R1	4 (684)	3 (103)	6 (218)	1 (342)	1 (128)
R2	4 (647)	—	6 (230)	1 (350)	1 (129)
R3	—	1 (31)	2 (108)	—	—
R4	4 (646)	4 (91)	8 (269)	2 (350)	1 (75)
R5	—	3 (67)	6 (189)	1 (184)	1 (71)
R6	—	1 (34)	2 (128)	1 (181)	1 (73)
R7	—	3 (86)	7 (297)	1 (181)	1 (79)
R8	4 (603)	3 (91)	6 (255)	1 (177)	1 (72)
R9	—	3 (95)	6 (257)	1 (180)	1 (76)
R10	4 (391)	5 (171)	10 (4455)	1 (237)	1 (106)
合計	20(2,971)	26 (769)	59 (2,406)	10 (2,182)	9 (809)

表－4 スラブ桁の測定箇所数

構造物	主桁下面	張出スラブ下面
S1～S8	8 部材 ×1 面	8 部材 ×1 面
計	8 (615)	8 (780)

注：数字は測定面数

括弧内は測定鉄筋本数

表－5 T形桁の測定箇所数

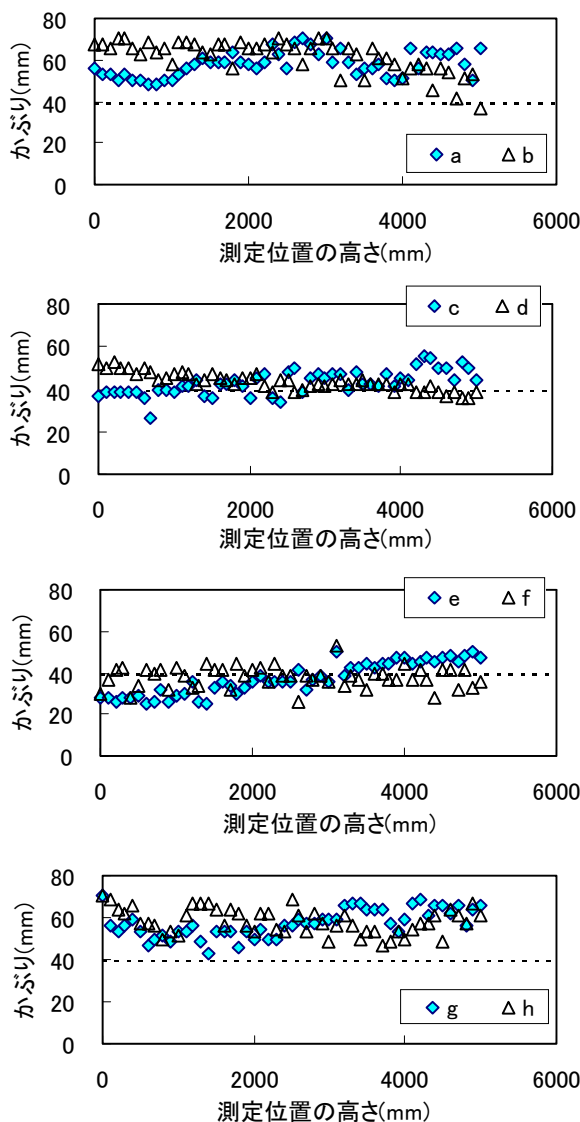
構造物	主桁下面	主桁側面	中間スラブ下面	張出スラブ下面
T1	4 (175)	4 (174)	2 (78)	1 (106)
T2	3 (173)	6 (325)	—	1 (200)
T3	3 (233)	6 (455)	—	—
T4	2 (154)	2 (153)	—	—
T5	—	—	3 (280)	1 (127)
T6	2 (91)	4 (172)	2 (72)	1 (87)
T7	2 (89)	4 (170)	2 (76)	1 (101)
合計	16 (915)	26 (1,449)	9 (506)	5 (621)

3. 測定結果

3.1 施工誤差の生じる要因

図－3に、ラーメン高架橋柱部材の測定結果の例を示す。図の a～h は測定線の位置で、図－2 (b) に示した位置で測定した。図の横軸は柱の下端からの測定位置の高さを示している。また、この部材の設計かぶりは 40mm であり、図中に破線で示した。

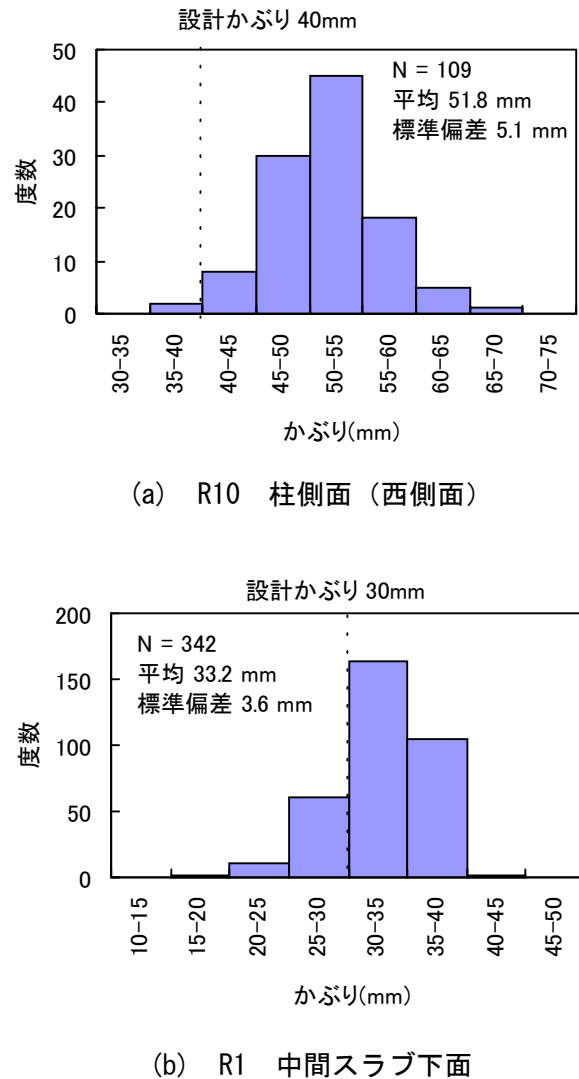
a, b および g, h はかぶりが全体的に設計値よりも大きいのが、その裏側にあたる c, d および e, f ではかぶり不足を生じている。また、各々の側線の中でも測定値が変動している。このうち、前者は鉄筋と型枠の位置関係が全体的にずれたことにより生じているものと考えられる。



図－3 かぶりの測定結果 (R2, 柱側面)

3.2 かぶり測定値の分布

本検討では、測定面ごとに測定値の集計を行い、統計的分析により検討することとした。図－4にラーメン高架橋の柱部材ならびに中間スラブの測定データの測定結果を測定面ごとに集計した結果の例を、度数分布で示した。この例では、測定面における平均値付近の測定データ数が最も多く、平均値よりも差が大きくなるほど測定データ数が小さくなり、誤差の正負によらずほぼ均等に分布している。このような傾向は、他の測定面でも多く見られた。そこで、本検討では、かぶり測定値の分布を正規分布として取り扱い、検討を行うこととする。



図－4 測定値の度数分布

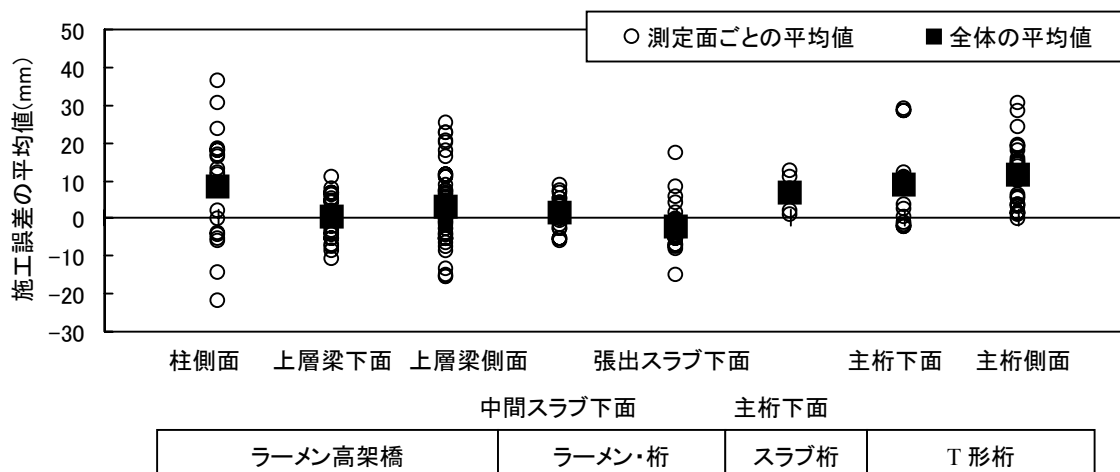
4. 施工誤差の検討

4.1 部材の種類と施工誤差の関係

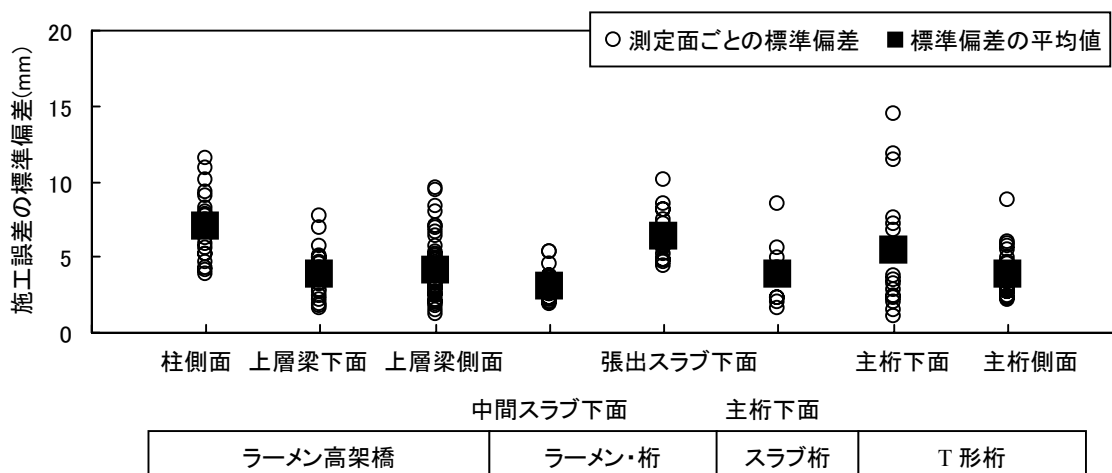
かぶりの測定結果を、部材の種類別に集計し比較検討することとした。図－5に、かぶりの施工誤差の平均値を、図－6にかぶりの施工誤差の標準偏差を示す。図には、測定面ごとの平均値または標準偏差と、部材の種類ごとに全体の平均値を示した。ここで、中間スラブおよび張出スラブは、構造物間で形状寸法や配筋に大きな差がないことから、ラーメン高架橋、スラブ桁およびT形桁を区別せずに集計した。また、施工誤差とは、かぶりの測定値と設計かぶりの差であり、負の値の場合はかぶり不足となっていることを表している。

図－5より、ラーメン高架橋の柱および上層梁ならびに張出スラブにおいてかぶり不足が多

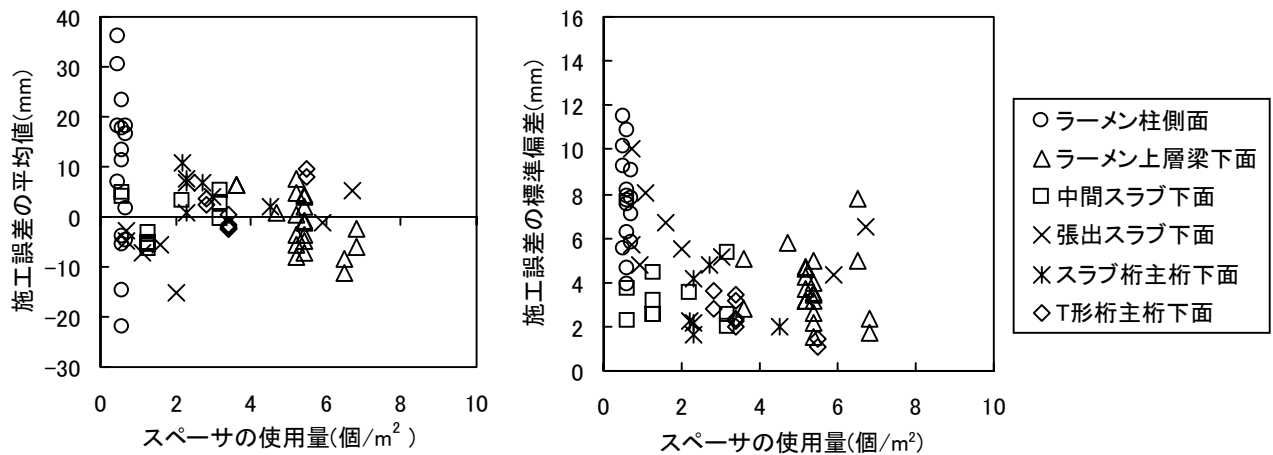
く生じていることがわかる。特に、張出スラブは、全体の平均値も設計かぶりより小さくなっている。これは、張出スラブが片持ち形式であるため、部材の先端で鉄筋が垂れ下がり、かぶり不足が生じやすくなっているものと考えられる。また、ラーメン高架橋の柱側面では、大きくかぶり不足となっている箇所があるが、一方で設計かぶりを大幅に上回っている箇所もある。これは、前述したとおり、鉄筋と型枠の位置関係が全体にずれていることが原因と考えられる。さらに、ラーメン高架橋の上層梁の鉄筋は、柱の鉄筋と交差するため、柱の鉄筋の位置がずれるとそれに影響されてずれることになる。上層梁側面で、施工誤差の平均値が大きくばらついているのはその影響が原因の一つとなっていると考えられる。また、T形桁の主桁側面でも平



図－5 かぶりの施工誤差の平均値



図－6 かぶりの施工誤差の標準偏差



図ー７ スペーサの使用量と施工誤差の関係

均値のばらつきが大きく、部材の側面は、下面に比べて鉄筋と型枠の位置関係がずれやすくなっているものと思われる。

次に、図ー６では、ラーメン高架橋の柱側面および上層梁側面、張出スラブ下面で比較的標準偏差が大きい。なお、T 形桁主桁下面にも標準偏差が 10mm を越えている測定面があるが、これは施工誤差の平均値が 30mm 程度であった測定面であり、同じ構造物の異なる主桁であることから、この構造物だけが特に施工誤差が大きかったものと思われ、これを除くと比較的標準偏差は小さい。

4.2 スペーサ数と施工誤差の関係

図ー７に、スペーサの使用量と、かぶりの施工誤差の平均値および標準偏差の関係を示す。図には、調査時にスペーサの数を確認できた測定面のみを示している。スペーサの使用量が少ない場合は、かぶりの施工誤差の平均値および標準偏差とも大きくなっているが、使用量が多くなると減少する傾向にある。図より、1m²あたり 3 個程度以上のスペーサを配置することにより、かぶりの施工誤差を一定以内に抑えることができることがわかる。しかし、スペーサの量を非常に多くしても、ある程度の施工誤差は生じていることもわかる。後者については、現状の施工方法が抜本的に見直されない限り避けることは難しいものと思われ、かぶりには設計

段階である程度の施工誤差を考慮しておくことが望ましいものと考えられる。

5. まとめ

鉄道高架橋のかぶりの施工誤差について、実構造物の調査を実施し検討したところ、以下の結論を得た。

- (1) ラーメン高架橋の柱側面および上層梁側面ならびに張出スラブ下面は、他の部材に比べて施工誤差が大きくなる傾向にある。
- (2) スペーサの使用量が多くなるとかぶりの施工誤差が小さくなり、3 個／m² 程度以上配置すると、施工誤差を一定以内に抑えることができる傾向が認められた。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編 2002 年制定
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，1999
- 3) 鉄道総合技術研究所：新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料，1996
- 4) 東川孝治，曾我部正道，井上裕司，谷村幸裕：鉄筋検査機の鉄道構造物への適用に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.24，No.1，pp.1497-1502，2002