

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1140

September 2006

建設後 30 年以上経過した栈橋上部工から切り出した RC 部材の劣化性状と構造性能

加藤 絵万

岩波 光保

山路 徹

横田 弘

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 調査概要	5
3. コンクリートの力学的性質と塩化物イオン浸透性状に関する検討	5
3.1 調査概要	5
3.2 劣化がコンクリートの力学的性質に及ぼす影響	6
3.3 劣化がコンクリート中の塩化物イオン浸透性状に及ぼす影響	6
4. 鉄筋の腐食性状と力学的性質に関する検討	7
4.1 調査概要	7
4.2 鉄筋の腐食性状	9
4.3 鉄筋腐食が鉄筋の力学的性質に及ぼす影響	10
5. 鉄筋腐食の非破壊評価に関する検討	12
5.1 調査概要	12
5.2 鉄筋腐食の推定精度に関する考察	14
6. RC部材の劣化性状と構造性能に関する検討	14
6.1 載荷試験概要	14
6.2 劣化がRC部材の構造性能に及ぼす影響	14
7. まとめ	17
8. あとがき	17
謝 辞	17
参考文献	17
付 録	19

Structural Performance and Deterioration due to Chloride Attack of Reinforced Concrete Deck of Existing Piers

Ema KATO*
Mitsuyasu IWANAMI*
Toru YAMAJI*
Hiroshi YOKOTA***

Synopsis

This paper aims to deliberate the structural performance of reinforced concrete (RC) members degraded by deterioration of constituent materials. Through tests and analyses of RC members taken out from existing piers which have been in service for more than 30 years, the following topics were particularly discussed: 1) Variation in mechanical properties of concrete and chloride ion profiles in concrete; 2) Variation in mechanical properties of corroded reinforcement in concrete; 3) Evaluation of the corrosion state of reinforcement by non-destructive electrochemical indices; and 4) Influence of the variation of materials deterioration on the structural performance of RC members. The following conclusions were drawn: 1) Test pieces should be very carefully sampled to improve the reliability of evaluation results regarding the deterioration state of RC members because the states of deterioration as well as properties of materials have wide variation. 2) Mechanical properties of corroded reinforcement are affected by non-uniformity of its cross-section. 3) Keeping the concrete in uniformly wet is important to reduce inaccuracies when measuring the non-destructive electrochemical indices. 4) The relationship is articulated between the decrease in the load carrying capacity and the deterioration grade judged by visual inspection.

Key Words: RC deck of pier, chloride induced deterioration, corrosion, structural performance

* Project Researcher of LCM Research Center for Coastal Infrastructures

** Director General of LCM Research Center for Coastal Infrastructures

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5089 Fax : +81-46-844-0255 e-mail:katoh-e@pari.go.jp

建設後 30 年以上経過した栈橋上部工から切り出した RC 部材の劣化性状と構造性能

加藤 絵万*
岩波 光保*
山路 徹*
横田 弘**

要 旨

本稿は、塩害を受けた栈橋上部工から切り出した RC 部材の劣化性状に関して種々の調査を行い、RC 構造物の性能評価における不確定性に関する資料を提供することを目的としてとりまとめたものである。特に、1) コンクリートの力学的性質およびコンクリート中の塩化物イオン浸透性状調査、2) 鉄筋の腐食性状調査、3) 鉄筋腐食に対する非破壊評価結果を基に、劣化性状の非一様性やその要因、また、それらが RC 部材の保有性能に及ぼす影響について考察した。また、栈橋上部工より切り出した RC 床版を対象に、4) 塩害が RC 部材の構造性能に及ぼす影響についてもあわせて検討し、特に、目視により判定される劣化度と部材の耐荷性低下の関係について把握した。その結果、1) 劣化によってコンクリートの力学的性質や塩化物イオン浸透性状はばらつくため、最適なコア採取手法や採取したコアの信頼性に関する検討が必要であること、2) 腐食した鉄筋の力学的性質は、断面形状の不均一性によりばらつきが大きくなること、3) 鉄筋腐食性状の非破壊試験の測定誤差や精度のばらつきを低減するためには、コンクリートを十分かつ均一に湿潤状態にさせること重要であること、4) 本検討の範囲では劣化度 A~C の RC 部材において構造性能の低下が見られ、それらの構造性能を精度よく評価するためには鉄筋の腐食性状を把握することが必要であることが考察された。

キーワード：栈橋上部工，塩害，鉄筋腐食，構造性能

* LCM研究センター 特任研究官

** LCM研究センター長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5089 Fax：046-844-0255 e-mail:katohe@pari.go.jp

1. まえがき

RC（鉄筋コンクリート）構造物をより長く安全に使用するために適切な維持管理が重要であることは、現在では技術者の共通認識となっている。そして、既設構造物の保有性能の評価、性能の将来予測、また、それらに基づいた適切な対策の実施といった維持管理が遂行されることが強く求められている。しかし、各種要因によりRC構造物に生じる劣化現象は多様性に富み、同一構造物内、同一部材内においても様々な様相を呈する。したがって、今後、RC構造物の維持管理を効率的に行うためには、環境的要因や材料的要因等の劣化現象に関わる不確定要因を工学的に処理しながら、性能評価および予測を精度よく行う手法の開発が必要である。

本検討は、塩害を受けた栈橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状に関して種々の調査を行い、RC構造物の性能評価における不確定性に関する知見を提供することを目的とした。特に、コンクリートの力学的性質、コンクリート中の塩化物イオン浸透性状、鉄筋の腐食性状に関する調査結果、および鉄筋腐食に対する非破壊評価結果を基に、劣化性状の非一様性やその要因、またそれらがRC部材の構造性能に及ぼす影響について考察した。

さらに、劣化したRC部材の構造性能に関する実験的検討はこれまでに種々行われているが、実環境下で劣化した既設構造物を対象とした検討については、知見が蓄積されていないのが現状である。このような背景のもと、

本稿では、栈橋上部工より切り出したRC床版を対象に、塩害がRC部材の構造性能に及ぼす影響についてもあわせて検討した。特に、将来、既設構造物の簡便な構造性能評価手法を構築することを目的として、「国有港湾施設の点検診断—一次点検（暫定版）」に基づいて目視により判定される劣化度と部材の耐荷性低下の関係について把握した。

図-1に著者らが開発を進めている港湾構造物のLCMシステムの流れ¹⁾と、LCMシステムにおける本稿の位置付けを示す。本検討の成果は、RC部材の長期耐久性および構造性能評価、また実構造物における耐久性データの蓄積の観点から、同図で示した各段階に関する個別技術の高度化に貢献するものである。

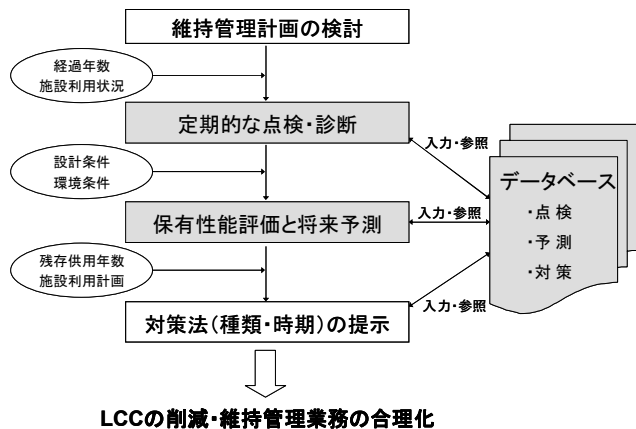


図-1 LCMシステムにおける本検討の位置付け

表-1 調査概要

港湾	部材	No.	建設後経過年数	劣化度	曲げ 載荷試験	主な詳細調査項目				その他 調査項目
						コンクリートの 力学的性質	コンクリート 中のCl ⁻ 量	鉄筋の 腐食量	鉄筋腐食の 非破壊試験	
A	床版	A-S1	40	C	—	○	○	○	○	コンクリートの反発度, EPMA 面分析, 骨材の分析など
	床版	A-S2	40	C	○	○	○	○	○	
	床版	A-S3	40	B	○	○	○	○	○	
	床版	A-S4	40	A	○	○	○	○	—	
	はり	A-B1	40	A	—	○	○	○	○	
はり	A-B2	40	B	—	○	○	○	○		
B	床版	B-S1-1	40	D	○	○	○	○	—	コンクリートの実効拡散係数, 骨材の分析など
	床版	B-S1-A	40	B	—	○	○	○	○	
	床版	B-S1-2	40	B	○	○	○	○	—	
	床版	B-S1-3	40	C	○	○	○	○	—	
	床版	B-S2-1	40	C	○	○	○	○	—	
	床版	B-S2-B	40	B	—	○	○	○	○	
	床版	B-S2-2	40	B	○	○	○	○	—	
	床版	B-S2-3	40	C	○	○	○	○	—	
はり	B-B1	40	B	—	○	○	○	○	空隙量	
C	床版	C-S1	30	D	○	○	○	○	○	コンクリートの空隙量, 酸素拡散係数など
	床版	C-S2	30	C	○	○	○	○	○	
	床版	C-S3	30	B	○	○	○	○	○	
	床版	C-S4	30	A	—	○	○	○	—	
	はり	C-B1	30	D	—	○	○	○	○	コンクリートの配合推定, 空隙量, 酸素拡散係数など
	はり	C-B2	30	D	—	○	○	○	○	
	はり	C-B3	30	D	—	○	○	○	○	
はり	C-B4	30	D	—	○	○	○	○		

表-2 栈橋上部工の劣化度判定基準

対象施設	点検項目	点検方法	判定基準
栈橋 上部工 (下面部)	コンクリートのひび割れ	目視 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数、長さと同幅	スラブ： <input type="checkbox"/> 網目状のひび割れが部材表面の50%以上見られる。 <input type="checkbox"/> かぶりの剥落がある <input type="checkbox"/> 鉄筋が破断している。 はり： <input type="checkbox"/> 軸方向の幅3mm以上のひび割れが見られる。 <input type="checkbox"/> かぶりの剥落がある。 ハンチ： <input type="checkbox"/> 蜘蛛の巣状又は鉛直方向の幅2mm以上のひび割れが見られる。 <input type="checkbox"/> かぶりの剥落がある。 <input type="checkbox"/> スラブ：網目状のひび割れが部材表面の50%未満で見られる。 <input type="checkbox"/> はり：軸方向の幅3mm未満のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> ハンチ：幅2mm未満のひび割れが全体的に広がっている。 <input type="checkbox"/> スラブ：一方向のひび割れもしくは帯状又は線状のゲル吐出物がある。 a <input type="checkbox"/> はり：軸と直角な方向のひび割れのみが見られる。 <input type="checkbox"/> ハンチ：幅2mm未満のひび割れが部分的に見られる。 b <input type="checkbox"/> 変状なし。 c d
	鉄筋の腐食	目視 ・かぶりの剥離・剥落の有無 ・鉄筋に沿ったコンクリート表面のひび割れ ・錆によるコンクリートの赤変	<input type="checkbox"/> 鉄筋が破断している <input type="checkbox"/> 部材表面に対して面積比で10%以上の欠損がある。 <input type="checkbox"/> 部材表面に対して面積比で10%未満の欠損がある。 a <input type="checkbox"/> —— b <input type="checkbox"/> —— c <input type="checkbox"/> 変状なし。 d

2. 調査概要

表-1に本検討の対象としたRC部材と主な調査項目の一覧を示す。RC部材は3港の栈橋上部工から切り出し、建設後約30～40年が経過したものである。同表中の劣化度は、「国有港湾施設の点検診断—一次点検（暫定版）」に基づいて目視により判定されたものである。表-2に栈橋上部工の劣化度判定基準を示す。ここで、「国有港湾施設の点検診断—一次点検（暫定版）」では、栈橋上部工だけでなく、下部工、附帯設備等の各部材・部位毎に個別に劣化度a～dを判定し、それらを総合的に評価して施設に対する劣化度A～Dを決定することとされている。しかし、本検討では、表-2に示す栈橋上部工に関する2項目から総合評価A～Dを判定し、これを劣化指標として用いることとした。

各部材の概要、外観調査結果および詳細調査結果を付録A～Cに示す。本検討では、これらの調査結果の一部を用いて、劣化性状の非一様性やその要因、およびそれらがRC部材の構造性能に及ぼす影響について考察した。3.にA港RC部材を用いたコンクリートの力学的性質およびコンクリート中の塩化物イオン浸透性状に関する検討、4.にB港RC部材を用いた鉄筋の腐食性状に関する検討、5.にC港RC部材を用いた鉄筋腐食の非破壊評価に関する検討を述べる。また、A～C港から切り出したRC床版の載荷試験から検討したRC部材の劣化性状と構造性能に関する考察を6.で述べる。

3. コンクリートの力学的性質と塩化物イオン浸透性状に関する検討

3.1 調査概要

ここでは、A港栈橋上部工RC床版を対象に検討したRC部材のコンクリートの力学的性質、およびコンクリート中の塩化物イオン量の非一様性について報告する。A港栈橋上部工の劣化調査の詳細については、付録A-IIに記述する。

(1) 部材概要

調査対象としたRC部材は、栈橋上部工から切り出したRC床版A-S1～4である。1964～1966年に建設され、2004年に撤去された。使用材料やコンクリートの配合に関する情報は不明である。

床版下面の外観調査結果を付録A-II-1に示す。A-S1では、鉄筋に沿ったひび割れが確認され、その周辺に浮きが認められた。A-S2では一部に浮きと錆び汁が認められたが、ひび割れは確認されなかった。床版A-S3では、ひび割れおよび浮きが多数確認された。床版A-S4においては、かぶりコンクリートが下段の鉄筋に沿って全面剥落しており、下段鉄筋に著しい断面欠損が観察された。またA-S4のコンクリートでは粗骨材周囲に白色の反応生成物が観察された。

(2) 調査概要

コンクリートのひび割れおよび浮きが認められない箇所からコアを採取し、圧縮強度試験および塩化物イオン量分析を実施した。付録A-II-2に各部材におけるコア採

取位置を示す。

圧縮試験用コアはA-S1～S4から採取し、表層から10～15mmの部分を除いて直径100mm、高さ200mmに成形した。

塩化物イオン量分析は、A-S1～S3から採取したコアについて行った。コア表層部の1～2mmほどを除いた表面からの深さ100mmまでを対象とし、JCI-SC5に準拠した電位差滴定法により全塩化物イオン量を測定した。

3.2 劣化がコンクリートの力学的性質に及ぼす影響

図-2にコンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係を示す。同図に示した曲線は、コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]²⁾における普通コンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係を示している。A-S1～S4における圧縮強度とヤング係数はそれぞればらつきが大きく、両者の関係は全てこの曲線を下回る結果となった。

図-3に劣化度と圧縮強度およびヤング係数の関係を示す。図中のプロットは各部材から採取したコアの圧縮強度およびヤング係数の全平均、鉛直の実線はそれぞれの最大・最小値を示している。圧縮強度の平均値は全ての部材において同程度であったが、ヤング係数では劣化度が増す毎に小さくなった。既往の研究によれば、アルカリ骨材反応による損傷を受けたコンクリートでは、力学的性質の変化が圧縮強度よりもヤング係数に鋭敏に現れるとされている³⁾。また、付録A-II-7に示したように、A-S4の骨材周囲の白色生成物がアルカリ-カルシウム-シリカ型のゲルであったことや、アルカリ骨材反応性の高い骨材が用いられていることが推測されることから、A-S1～S4のコンクリートは全てアルカリ骨材反応による損傷を受けているといえる。このためにコンクリートの力学的性質のばらつきが大きかったことが考えられる。

RC構造物にアルカリ骨材反応による劣化が生じているか否かを判定するには、圧縮強度とヤング係数の関係の調査や付録A-II-7に示した方法の他、部材の外観からひび割れの発生状態を調査する方法がある。付録A-II-1に示したように、A-S1～S4では、アルカリ骨材反応により生じる亀甲状あるいは鉄筋に沿ったひび割れの発生は認められなかった。これは、A-S1～S4の配筋が密であったために、アルカリ骨材反応によるひび割れが床版底面に顕在化しなかったことが原因として考えられる。

3.3 劣化がコンクリート中の塩化物イオン浸透性状に及ぼす影響

図-4にA-S1～S3における見かけの塩化物イオン拡散係数と表面における塩化物イオン濃度を、また、表-3にそれぞれの平均値を示す。見かけの塩化物イオン拡散係数

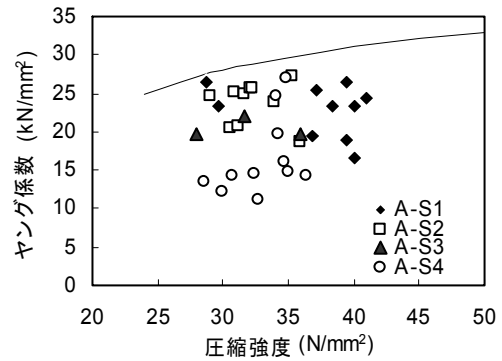


図-2 コンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係

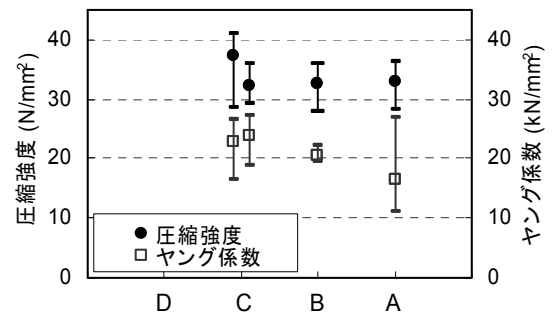


図-3 劣化度と圧縮強度・ヤング係数の関係

と表面における塩化物イオン濃度は、付録A-II-5に示すコンクリート中の塩化物イオン量実測値を、それぞれ式(1)で回帰することにより求めた⁴⁾。

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \quad (1)$$

ここに、 $C(x,t)$: 深さ x cm, 時刻 t 年における塩化物イオン濃度 (kg/m^3), C_0 : 表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3), D : 塩化物イオンの見かけの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$), erf : 誤差関数である。

図中の四角は、見かけの塩化物イオン拡散係数と表面における塩化物イオン濃度の平均値 $\pm 1\sigma$ (σ : 標準偏差) の範囲を示している。ここで、図-4は見かけの塩化物イオン拡散係数と表面における塩化物イオン濃度の相関を示すものではなく、各部材から採取したコア毎の両者の値を比較するためのものであることを付記する。

劣化度CであるA-S3におけるDおよび C_0 は、他と比較して、最もばらつきが小さかった。しかし、表-3に示したように、Dおよび C_0 ともに平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲であったコアは各部材とも5割程度であった。長期供用した一構造部材から複数のコンクリートコアを採取し、それらのDおよび

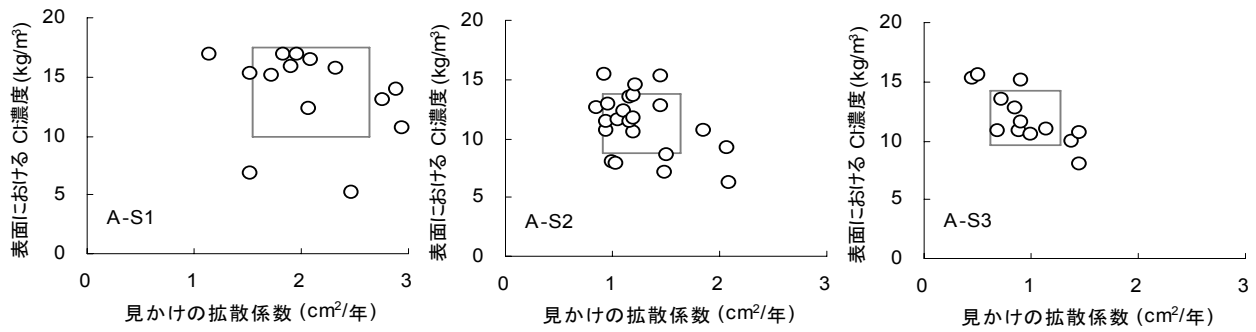


図-4 塩化物イオンの見かけの拡散係数と表面における塩化物イオン濃度

表-3 C_0 および D の回帰結果

No.	劣化度	平均 D ($\text{cm}^2/\text{年}$)	平均 C_0 (kg/m^3)	範囲内データ 割合
A-S1	C	2.09	13.65	50%
A-S2	C	1.27	11.26	50%
A-S3	B	0.95	11.94	54%

表-4 C_0 一定の場合の D' の回帰結果

No.	劣化度	平均 D' ($\text{cm}^2/\text{年}$)	変動係数	範囲内データ 割合
A-S1	C	2.19	0.57	77%
A-S2	C	1.25	0.52	62%
A-S3	B	0.87	0.34	77%

び C_0 のばらつきを検討した報告は見当たらないため、本検討でみられたばらつきの程度の大小は定かではない。しかし、これらのばらつきは、3.2で述べたアルカリ骨材反応による影響を少なからず受けていることが考えられる。

コンクリート中を塩化物イオンが拡散現象により移動する場合、その速度の指標となる拡散係数は、コンクリート中の組織構造の緻密性に大きく影響を受ける。また、表面における塩化物イオン濃度は、コンクリートが曝される塩害環境の厳しさを定量的に表すものである。ここで、既報告⁵⁾において、表面における塩化物イオン濃度 C_0 はHWLから部材表面までの距離と相関が高いことが示されている。これに基づいてA-S1～S3の環境条件を考慮し、表面における塩化物イオン濃度 C_0 を一定と仮定した場合の各コアの修正拡散係数 D' を比較することにより、コンクリートの細孔構造のばらつきを検討する。

表面における塩化物イオン濃度 C_0 として表-3に示した平均値を設定した場合の、塩化物イオンの修正拡散係数 D' の回帰結果を表-4に示す。表-3と同様、修正拡散係数 D' は劣化度Bの場合が最も小さく、また、劣化度Cの場合と比較してその変動係数は小さくなった。前述のとおり、一構造部材中の細孔構造のばらつきを検討した報告は見当たらないため、現時点ではこの原因を特定できない。劣化度と塩化物イオンの修正拡散係数 D' の大小については、実際に各部材が曝されていた局所的環境における波浪の影響、および各コアにおけるASRによるコンクリートの劣化性状のばらつきが要因として考えられるが、こ

れらについては今後の検討としたい。

現在、実施されている詳細調査では、一般的に、一部材から1～2本程度のコアを採取し、コンクリート中の塩化物イオン浸透性状を評価している。しかし、表-3および表-4に示す平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲となるコアの割合は、 C_0 および D を回帰した場合は5割程度、 C_0 一定として D' を回帰した場合は6～8割程度であった。これより、環境条件等により表面における塩化物イオン量が決定される場合においても、採取したコア1本が部材全体のコンクリートの塩化物イオン浸透性状を代表するものではない可能性が高い。今後、点検・診断結果を基にRC構造物の性能評価および将来予測を精度良く行うためには、最適なコア採取手法や採取したコアの信頼性に関する検討が必要であることが考えられる。

4. 鉄筋の腐食性状と力学的性質に関する検討

4.1 調査概要

ここでは、B港栈橋上部工RC床版を対象に調査・検討した、RC部材内の鉄筋腐食の非一様性、および腐食による鉄筋の力学的性質の低下とそのばらつきについて報告する。B港栈橋上部工の劣化調査の詳細については、付録Bに記述する。

(1) 部材概要

調査対象としたRC部材は、日本海側に位置する栈橋上部工から切り出したRC床版である。1965年に供用が開始されたが、底面にひび割れやかぶりの剥落等の劣化が認

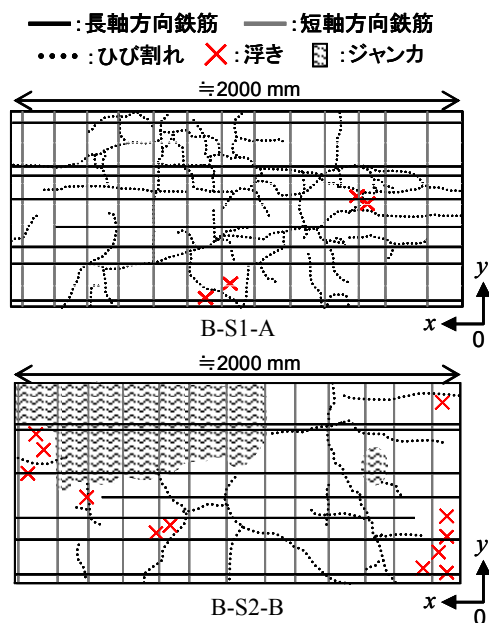


図-5 床版底面の劣化状況と配筋

められたことから、2004年に撤去された。使用材料やコンクリートの配合に関する情報は不明である。丸鋼（φ13）が2段に配筋されているが、上縁コンクリートと上段鉄筋の一部は供用中に撤去され、その部分はアスファルト舗装に置き換えられていた。

調査対象とした床版B-S1-AおよびB-S2-Bの底面には、打設時に使用したと考えられるアスファルトルーフィングが付着しており、その一部にひび割れや剥離が確認された。図-5にアスファルトルーフィングを除去したRC床版底面の状況と下段鉄筋の配筋をあわせて示す。床版B-S1-Aのコンクリート底面では、アスファルトルーフィング上にひび割れの発生が認められた箇所以外にも多数のひび割れが存在し、特に鉄筋に沿ったひび割れが認められた。床版B-S2-Bでは、広範囲に豆板が認められたほか、鉄筋に沿ったひび割れ、および一部に浮きが確認された。

(2) 鉄筋腐食に関する調査

a) 鉄筋の質量減少率の測定

各床版の下段長軸および短軸方向鉄筋をはつり出し、腐食による鉄筋の質量減少を測定した。鉄筋は約100mmに切断し、サンドブラスト処理、10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液への浸せき（60℃、約1日）後にブラシ・サンダー処理を行うことにより腐食生成物を除去した。本検討では、発錆が目視で確認されなかった試験片については、健全な鉄筋であると判断し、質量減少率を0.0%

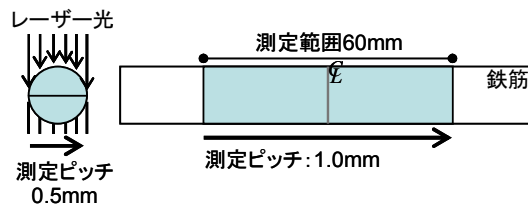


図-6 形状測定の概要



写真-1 引張試験用試験体

と評価した。除錆した試験片と健全と判断された試験片の単位長さ当たりの質量から、試験片の質量減少率を算出した。基準とした健全試験片の単位長さ当たりの質量は、腐食鉄筋と同様の除錆処理を行い測定した。各床版の長軸方向鉄筋には、一部に折曲げ加工を施した鉄筋が認められたが、これについては検討から省くこととした。したがって、質量減少率を調査した試験片数は、床版B-S1-Aでは長軸方向鉄筋8本と短軸方向鉄筋13本からの計265片、床版B-S2-Bでは長軸方向鉄筋7本と短軸方向鉄筋13本からの計249片である。

b) 鉄筋断面積の測定

質量減少率0.0%の試験片を含めた除錆後の試験片27本について、レーザ変位センサを用いた形状測定を行った。測定概要を図-6に示す。形状測定は各試験片の床版底面側および上面側について行い、試験片長手方向中心を基準に60mmの範囲を対象とした。測定ピッチは鉄筋断面方向で0.5mm、長手方向で1.0mmである。測定データである鉄筋断面方向の照射距離を積分し、試験片両面のデータを合わせることで、試験片の長手方向の断面積分布を算出した。ここで用いた形状測定方法は、測定対象とする鉄筋表面の大部分に対してレーザー光が垂直に照射されないため、孔食等の複雑な形状を有する試験片の真の鉄筋断面積は把握できないおそれがある。しかし、本検討では、ここで得られた断面積を腐食による断面減少を考慮した鉄筋断面積として取り扱うこととする。

(3) 鉄筋の引張試験

断面積を測定した試験片について引張試験を行った。引張試験用試験体の概要を写真-1に示す。長さ約150mmのSD295-D16を、治具を用いて試験片端部約20mmの区間に溶接した。溶接部を除いた試験片の長さは約60mmである。試験片の床版底面側、上面側、およびそれらの中間に位置する治具端部計4点の距離を標点間距離（約70mm）

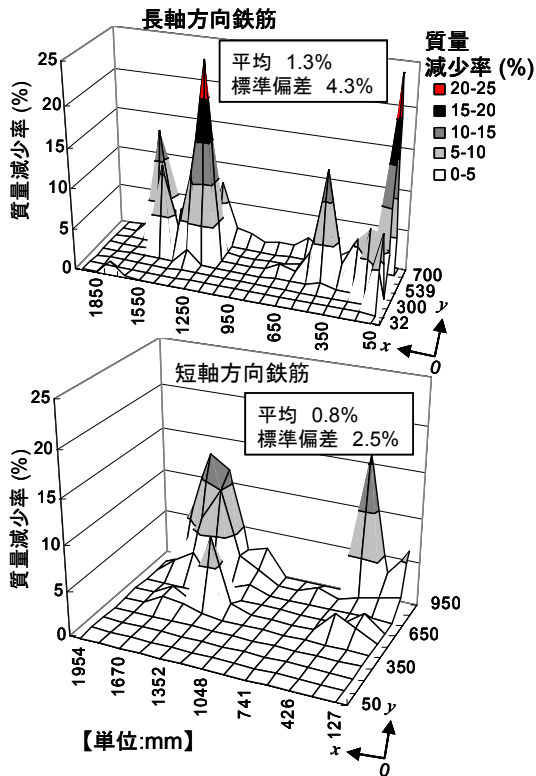


図-7 床版B-S1-Aの鉄筋の質量減少率分布

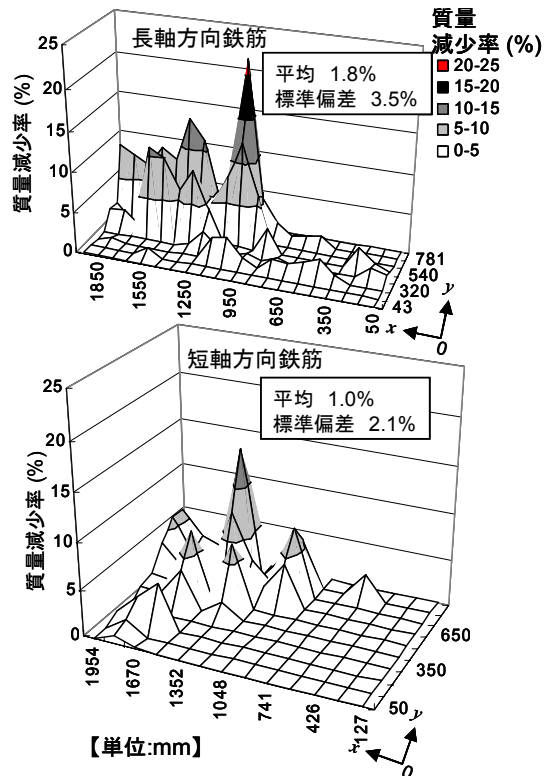


図-8 床版B-S2-Bの鉄筋の質量減少率分布

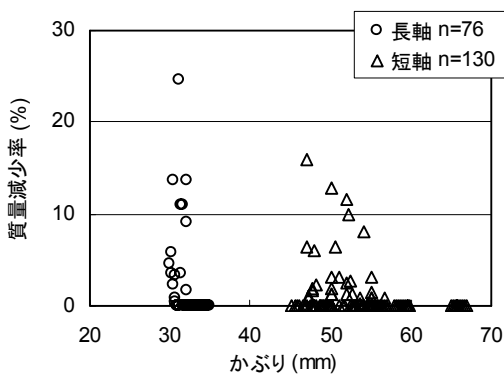


図-9 かぶりと鉄筋の質量減少率の関係 (B-S1-A)

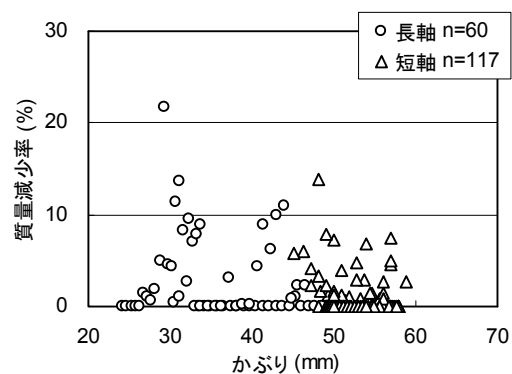


図-10 かぶりと鉄筋の質量減少率の関係 (B-S2-B)

として引張試験を行い、降伏強度、引張強度および破断時の伸び率を測定した。なお、破断時に溶接部分が破断・抜け出した試験片3本については、鉄筋の力学的性質に関する検討から省くこととした。

4.2 鉄筋の腐食性状

(1) 部材中の質量減少分布

床版B-S1-AおよびB-S2-Bの鉄筋の質量減少率分布を図-7および図-8にそれぞれ示す。図中のx軸およびy軸の方向は図-5に示したとおりである。ここで、x軸を長軸、y軸を短軸と述べる。床版B-S1-Aでは、長軸方向鉄筋に沿っ

たひび割れが観察された部分で最も質量減少率が大きく、このひび割れにより短軸方向鉄筋の腐食が促進されたことが考えられる。床版B-S2-Bでは、豆板が確認された箇所において、長軸・短軸方向鉄筋ともに著しい腐食が発生していた。

図-9および図-10に各床版における鉄筋のかぶりと質量減少率の関係を示す。ここで、各鉄筋試験片のかぶりは、各床版の4側面から確認された長軸・短軸方向鉄筋のかぶりを測定し、それらが直線的に配置されたとして補間した値である。折曲げ部を有する鉄筋については除外した。これによれば、ひび割れや豆板等の欠陥の影響に

よってばらつきが大きくなったことが考えられるものの、特に床版B-S2-Bにおいてかぶりが大きくなるとともに、概ね質量減少率が低下する傾向が見られた。これは既往の実構造物の調査結果⁶⁾と同様の傾向であり、これより、RC構造物の耐久性を確保するには、かぶりの十分な確保が重要であることが確認された。

(2) 鉄筋の断面減少分布

図-11に鉄筋断面積分布の一例を示す。腐食した鉄筋の断面積は一様ではないことが分かる。図-12に各試験片の床版底面および上面側の平均断面減少率の関係を示す。ここで、底面および上面の平均断面減少率は、それぞれの鉄筋断面積の2分の1に対して求めた割合である。これより、試験片全体の断面減少には、床版底面側の断面減少が支配的であるといえる。これは、従来からの知見どおり、かぶりが小さいことに加え、ブリーディングにより鉄筋下面に形成された空隙による影響であることが考えられる⁷⁾。

図-13に平均断面減少率と最大断面減少率の関係を示す。直線近似の結果、最大断面減少率は平均断面減少率の2.3倍となり、既往の研究で示された両者の関係⁸⁾よりも、より厳しいものとなった。これは、既往の研究では異形鉄筋を用いて検討していること、および塩分を予め混入したRC試験体中の鉄筋であることから腐食形態が本検討とは異なることが影響していると考えられる。ここで、図-14に平均断面減少率と断面積の変動係数の関係を示す。変動係数は各試験片の断面積の標準偏差を平均断面積で除したものである。平均断面減少率が大きくなるほど、断面積の変動係数は大きくなる傾向を示した。

4.3 鉄筋腐食が鉄筋の力学的性質に及ぼす影響

既往の研究⁹⁾では、数値として求めやすいことから、任意の区間における鉄筋の質量減少率を用いて腐食した鉄筋の力学的性質について検討している。しかし、図-11に示したように、腐食した鉄筋の断面積は一様ではなく、平均的な劣化指標である質量減少率は、劣化指標として十分ではないと考える。そこで、4.2(2)で示した断面減少率を劣化指標として、腐食した鉄筋の力学的性質の検討を行う。

図-15に平均断面減少率と降伏強度および引張強度の関係を示す。各強度は試験時の降伏・最大荷重を健全な鉄筋の断面積、試験片毎の平均断面積および最小断面積で除して求めた。図中の直線は、健全試験片の各強度を切片として最小二乗法により求めた近似線を示し、破線は近似値±20%の範囲を示している。表-5に近似直線の傾

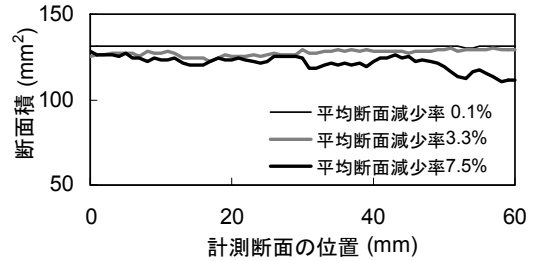


図-11 鉄筋断面積分布の一例

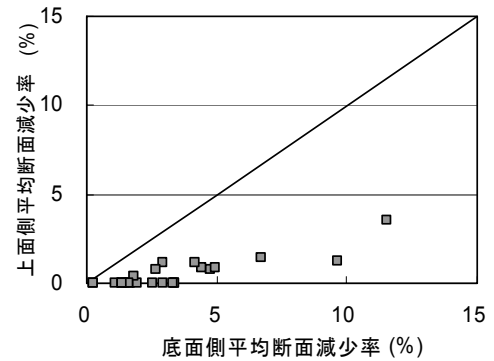


図-12 鉄筋上下面の平均断面減少率の比較

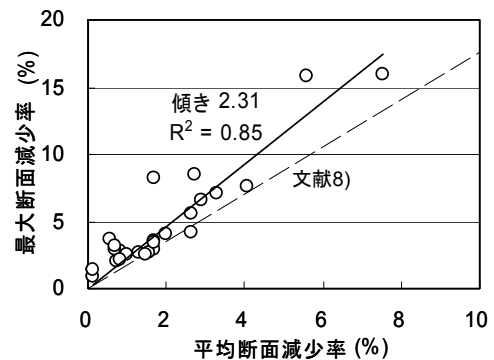


図-13 平均断面減少率と最大断面減少率

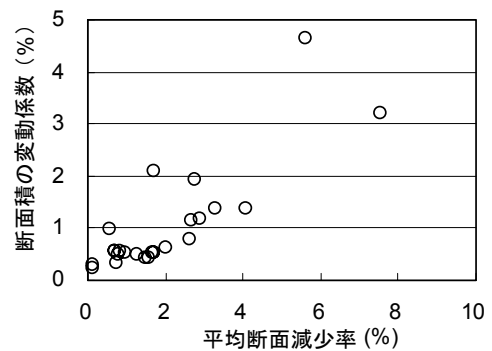


図-14 平均断面減少率と断面積の変動係数

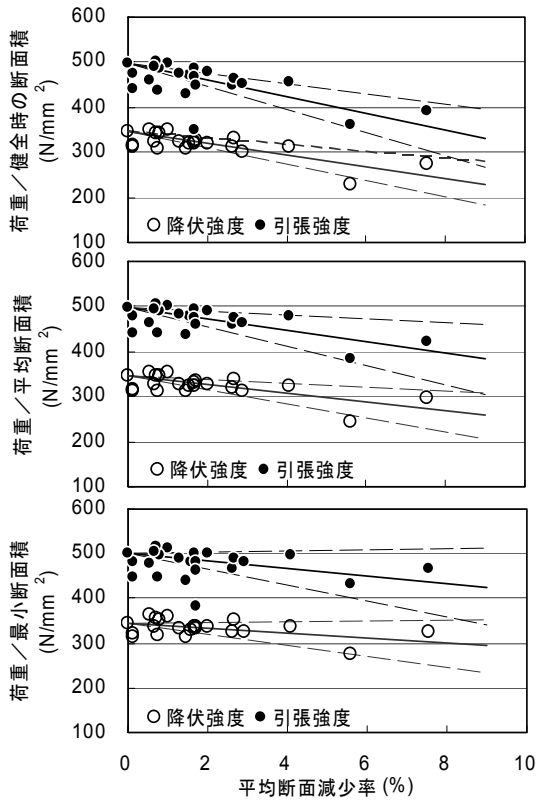


図-15 鉄筋平均断面減少率と強度の関係

き、つまり平均断面減少率に対する強度減少率を示す。強度比に対する強度減少率は、各強度を正規化した場合の傾きを表す。これより、降伏・引張強度ともに考慮する断面積が小さくなるほど、つまり局所的な断面減少を評価するほど、近似直線の傾きは小さくなった。また、強度比に着目すれば、降伏・引張強度ともに傾きはほぼ同じであり、鉄筋の腐食が強度に与える影響は両者で変化しなかった。しかし、最大断面減少を考慮しても強度は一定にはならず、また、平均断面減少率が2.0%以下の場合、特に強度のばらつきが大きかった。これらのことから、断面減少以外の要因が腐食した鉄筋の強度に影響を及ぼしていることが考えられる。

図-16に平均および最大断面減少率と破断時の伸びの関係を示す。図中の直線は既往の研究¹⁰⁾により得られた腐食減量と伸び残存率の関係である。ここでは、腐食減量を平均断面減少率と置き換えて伸び能力を算出している。破断時の伸びは腐食が進行するほどに低下し、その影響は強度に与えるものよりも大きいという既往の知見と一致した。しかし、破断時の伸びは強度よりもばらつきが大きく、特に、文献¹⁰⁾で検討された以上の断面減少率(平均約4.0%以上)においてばらつきが顕著であった。

写真-2に鉄筋の破断面の一例を示す。写真下の数値は

表-5 平均断面減少率に対する強度減少率

		断面減少率		
		考慮せず(健全)	平均値	最大値
降伏	強度	-12.8	-9.8	-5.8
	強度比	-3.7×10^{-2}	-2.8×10^{-2}	-1.7×10^{-2}
引張	強度	-18.7	-13.0	-8.2
	強度比	-3.7×10^{-2}	-2.6×10^{-2}	-1.6×10^{-2}

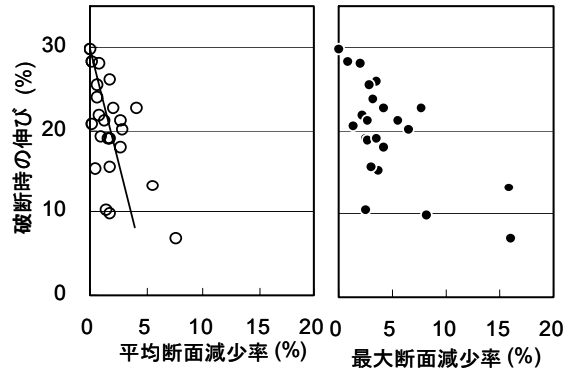


図-16 断面減少率と伸びの関係

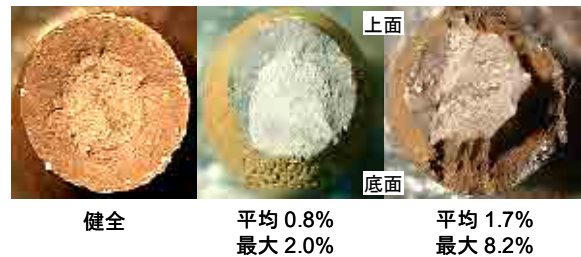


写真-2 鉄筋の破断面の一例

平均および最大断面減少率を示す。健全な鉄筋では破断面の形状に偏りがなく、全断面に対して引張力が均一に作用したことが窺える。しかし、腐食が軽微である場合においても、腐食した鉄筋の破断面に対称性は見られない。守分ら¹¹⁾は、腐食した鉄筋の疲労寿命を予測する手法を検討しており、腐食に伴ういびつな断面形状が応力部に亀裂を発生させ、その亀裂の進展により鉄筋の疲労寿命が決定されると結論づけている。作用させた荷重の性状は異なるが、引張試験時にも同様の現象が生じていることが考えられる。つまり、腐食した鉄筋の力学的性質は、腐食による断面形状の変化に依存し、最小断面における孔食の発生状況により引張力の作用状態が異なる。特に、本検討で用いた試験片は床版底面側の腐食が支配的であったことから作用力の偏りが顕著となり、文献⁸⁾や¹⁰⁾と比較してより強度や伸びのばらつきが大きくなったことが考えられる。さらに、最大断面減少率を考慮した場合の強度減少率が0とならなかったことについても、

鉄筋の断面形状に起因する作用力の偏りの影響が考えられる。そして、特に引張強度時から破断時までの間、この作用力の偏りが顕著になるため、伸び能力のばらつきが大きくなったことが推測される。

5. 鉄筋腐食の非破壊評価に関する検討

5.1 調査概要

ここでは、C港棧橋上部工RC床版を対象として行った非破壊試験による鉄筋の腐食程度の評価精度に関して報告する。

鉄筋腐食の非破壊評価法として、主に自然電位法と分極抵抗法があげられる。自然電位法はコンクリートの表面から電位勾配（以下、自然電位）を測定し、測定時における鋼材の腐食反応の活性度を推定する。一方、分極抵抗法はコンクリート表面に当てた外部電極から内部鋼材に電流あるいは電位差を負荷したときに生じる変化から、腐食速度と反比例の関係にある分極抵抗を測定する方法である。両者ともに比較的簡便であり、また実績も多い方法であるが、コンクリート中の含水量や塩化物イオン濃度分布、pH分布によって生じる液間電位差等、かぶりコンクリートの状態により種々の影響を受けるとされている¹²⁾。

本検討では、特に、コンクリートの含水状態の変化が部材中の鉄筋の自然電位および分極抵抗に及ぼす影響について検討した。C港棧橋上部工の劣化調査の詳細については付録Cに記述する。

(1) 部材概要

調査対象としたRC部材は、1968～1971年に建造され、供用後、約30年が経過した棧橋上部工から切り出したRC床版である。使用材料や配合等の詳細情報は不明である。

測定対象とした部材C-S1およびC-S3の床版下面の外観調査結果を付録C-III-2に示す。C-S1は劣化度D、C-S3は劣化度Bと判定された。

図-17にC-S1～C-S4におけるコンクリート中の塩化物イオン量の計測結果を示す。特に、C-S1およびC-S3に着目すると、劣化度が異なるにもかかわらず、両者はほぼ同等の塩化物イオン量分布を示した。同図に各部材のかぶり、および鉄筋位置におけるコンクリート中の塩化物イオン量を示した。これによれば、劣化度が進行するほど鉄筋位置における塩化物イオン量が大きくなることが分かる。したがって、C-S1～4の劣化進行を支配した主な要因として、かぶりの違いが考えられる。

(2) 計測概要

付録C-III-4に示すC-S1およびC-S3の格子状に配置され

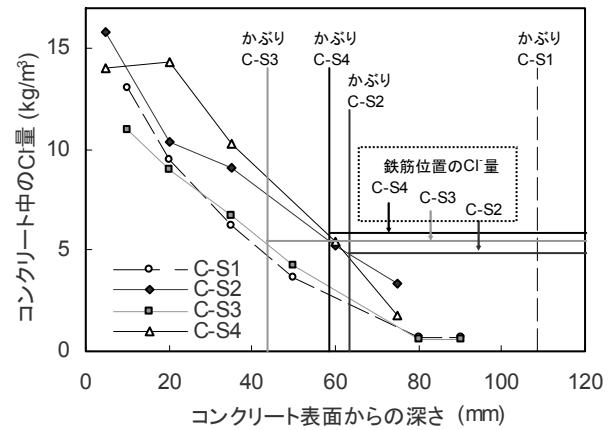


図-17 コンクリート中の塩化物イオン量分布

表-6 自然電位による鉄筋腐食の推定規準 (ASTM)

自然電位 E (mV vs 飽和硫酸銅)	鉄筋腐食の可能性
$-200 < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-350 < E \leq -200$	不確定
$E \leq -350$	90%以上の確率で腐食あり

表-7 分極抵抗による鉄筋腐食の推定規準 (CEB)

腐食電流 ($\mu A/cm^2$)	腐食速度	分極抵抗 ($k\Omega \cdot cm^2$)
$< 0.1 \sim 0.2$	不活性	$130 \sim 260 <$
$0.2 \sim 0.5$	低～中速	$52 \sim 130$
$0.5 \sim 1.0$	中～高速	$26 \sim 52$
$1.0 <$	高速	< 26

た下段鉄筋の非交差部に対して、自然電位および分極抵抗を測定した。測定は全て部材底面側（海側）から行い、自然電位の計測には銀塩化銀電極を使用した。

自然電位計測に基づく鉄筋の腐食推定規準の例として、ASTMの判定規準を表-6に示す。この規準は、自然電位の計測値と腐食確率の関係から鉄筋の腐食状態を推定しようとするものである。一方、分極抵抗は、鉄筋の腐食速度と反比例の関係にあることが知られている。表-7に、CEBの判定規準を示す。表中の分極抵抗の範囲は $K = 0.026V$ として、CEBの規準案に加筆したものである。ここで、 K は分極抵抗と腐食電流の比例定数である。

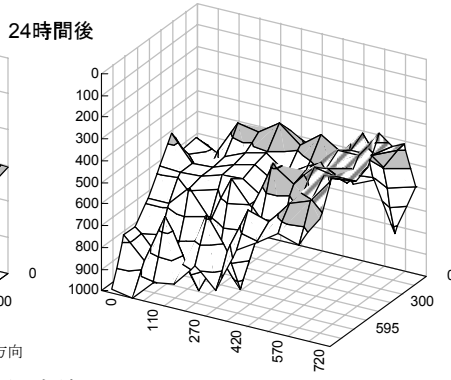
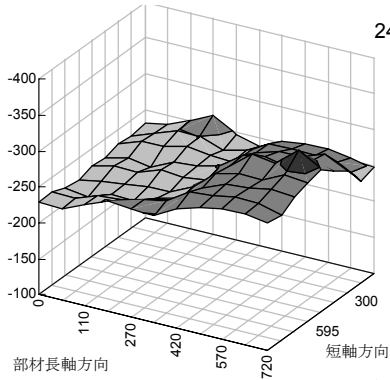
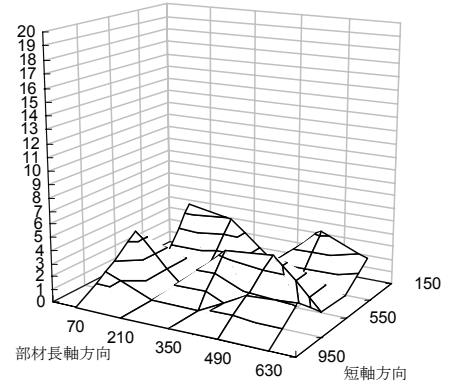
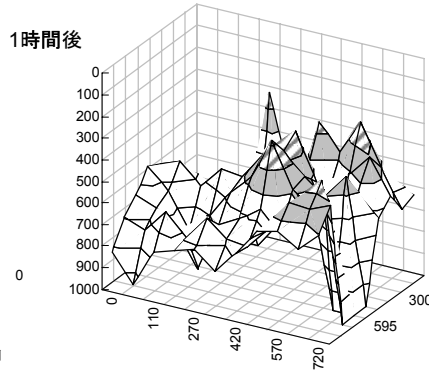
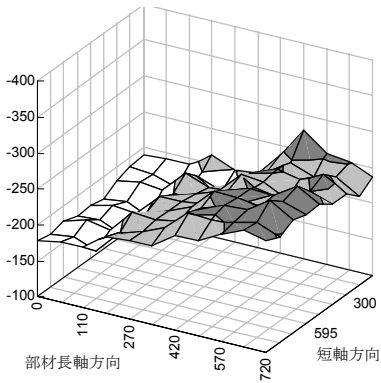
ここで、実構造部において自然電位および分極抵抗の測定を行う場合、一般に、計測の30分～1時間前に測定対象のコンクリートに散水した後に電気化学的測定を行うこととされている¹³⁾。しかし、この方法でコンクリートが十分かつ均一な湿潤状態となるかは定かではなく、これが結果的に実構造物における鉄筋の腐食推定の誤差要因となっていることが考えられる。そこで本検討では、部材表面の湿潤が目視で確認できる程度まで噴霧散水し

自然電位 (mV)

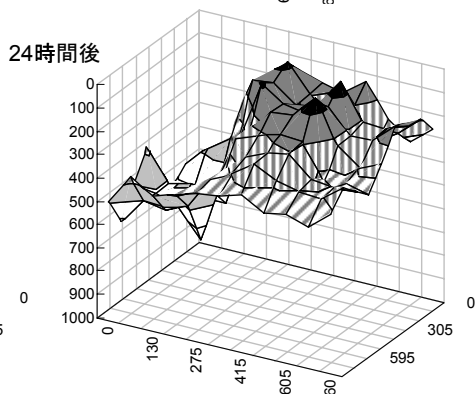
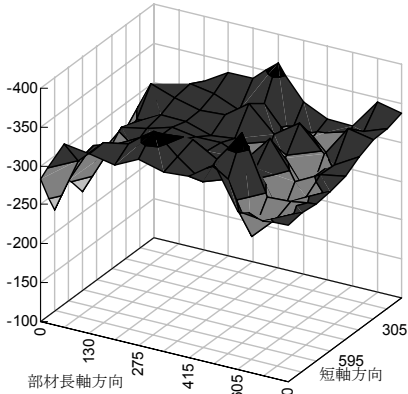
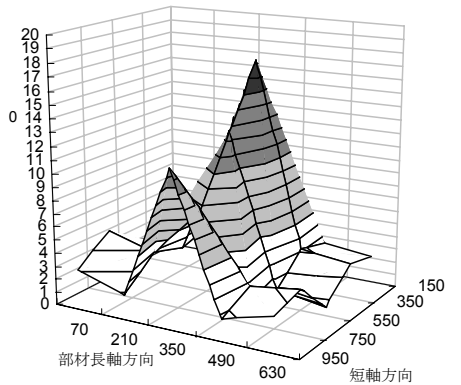
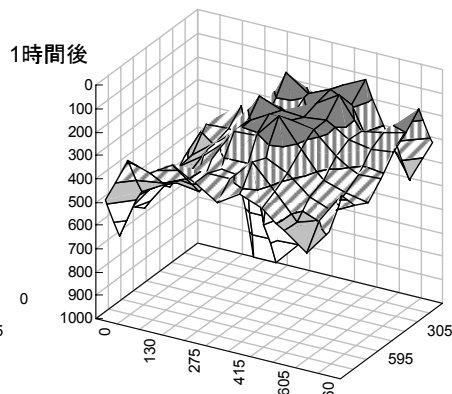
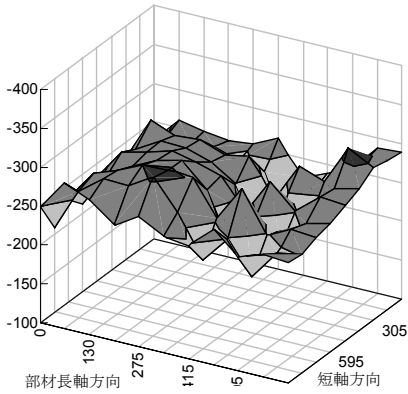
分極抵抗 ($k\Omega \cdot cm^2$)

□ -150--100 □ -200--150 □ -250--200
 ■ -300--250 ■ -350--300 ■ -400--350

□ 900-1000 □ 800-900 □ 700-800 □ 600-700 □ 500-600
 □ 400-500 □ 300-400 □ 200-300 ■ 100-200 ■ 0-100



C-S1 測定結果



C-S3 測定結果

図-18 C-S1 および C-S3 の自然電位・分極抵抗および鉄筋の質量減少分布率

1時間放置した場合（散水1時間後）、および部材表面に噴霧散水し24時間湿潤を保持した場合（24時間湿潤後）について、自然電位および分極抵抗の測定を行い、コンクリートの含水状態の変化が実構造部材を対象とした両測定値に及ぼす影響について把握した。

5.2 鉄筋腐食の推定精度に関する考察

図-18に、C-S1およびC-S3の自然電位および分極抵抗の測定結果を示す。左図が自然電位、右図が分極抵抗の測定結果であり、上図が部材への散水1時間後、下図が24時間湿潤状態を保持した後の結果である。また、同図に、鉄筋の腐食による質量減少率の実測値をあわせて示す。

各部材の自然電位および分極抵抗測定値の上下図を比較すると、自然電位および分極抵抗ともに、含水状態により様相が大きく変化した。質量減少率分布と比較すれば、表-6および表-7に示したそれぞれの規準により腐食程度を判定する場合、コンクリートの含水状態によって腐食発生範囲が誤って推定されるおそれがあることが考えられる。特に、24時間湿潤後の自然電位および分極抵抗分布に着目すると、最大質量減少率を示す箇所が精度良く推定されていることが分かる。したがって、実構造物に対して自然電位および分極抵抗の測定を行う際には、これらの測定原理を考慮すれば、測定時にコンクリートを十分かつ均一な湿潤状態とすることが重要であるといえる。これ以降、24時間湿潤後の計測結果を基に議論を進めることとする。

自然電位の計測結果から、劣化度Dと判定されたC-S1において、部分的に鉄筋が腐食していることが推定された。また、C-S3においては、全面的に鉄筋が腐食し、特に測定範囲中央部において、著しい腐食が発生していることが推測された。質量減少率分布と比較すると、自然電位から推測された腐食程度および範囲と質量減少率の実測値は概ね一致しており、特に、自然電位が最も卑な値を示す箇所は鉄筋の最大質量減少率を示す箇所を精度良く推定していた。

一方、分極抵抗の計測結果は、実際の腐食状況から考えると大きな値を示していた。これは、C-S1およびC-S3が実構造物から切り出される以前は、腐食因子の供給が十分な環境下にあったため腐食速度が大きかったが、切り出された後はそれらの供給が絶たれたために、結果的として腐食速度が小さくなったためと考えられる。しかし、C-S3において、分極抵抗の最小箇所は鉄筋の最大質量減少率を示す箇所を精度良く推定していた。

C-S1は、目視により劣化度Dとされていたものの、内部鉄筋は、自然電位での推定結果のとおり、最大で質量減

少率5%程度の腐食が発生していた。このことは、目視による点検・調査の限界を示すものであり、自然電位や分極抵抗といった電気化学的手法に代表される非破壊試験法の有効性・必要性を強く示唆するものであるといえる。

6. RC部材の劣化性状と構造性能に関する検討

ここでは、栈橋上部工RC床版から切り出した建設後30年以上が経過した部材の劣化度と構造性能の関係について検討する。これまで、長期間供用した実構造部材のコンクリートおよび鋼材の劣化調査に関しては、数多くの論文や報告書が出されている。しかし、実構造部材の劣化・変状程度と構造性能の関係について検討した例は極めて少ない。本検討は、今後の実構造物の構造性能評価、また構造性能将来予測の効率化および精度向上に貢献するものである。

6.1 載荷試験概要

表-8に曲げ載荷試験を実施した実構造部材の概要を、また図-19に各部材の載荷試験の概要を示す。曲げ載荷試験は2点支持1点集中あるいは2点載荷で行い、荷重制御による単調載荷とした。載荷時の計測項目は、載荷荷重、スパン中央変位、載荷点変位、支点変位である。鉄筋にひずみゲージを貼り付けていないため、載荷時に試験体のスパン中央および載荷点変位が急増した際の荷重を部材の降伏荷重と定義した。部材諸元および劣化調査の詳細については、付録A～Cに記述する。

6.2 劣化がRC部材の構造性能に及ぼす影響

(1) 荷重－変位関係

図-20に各部材の荷重－変位関係を示す。ここで、変位はA-S2～4およびC-S1～3については載荷時の曲げスパン中央変位、B-S1-1～3およびB-S2-1～3については載荷点変位を示している。A-S2においては載荷による鉄筋の破断は確認されなかったが、A-S3～4においては、コンクリートの圧縮破壊前に引張側主鉄筋の破断が確認され、その結果、急激に耐荷力が失われた。A-S2はコンクリートの圧縮破壊が見られた後も載荷荷重と変位の増加が認められ、他とは異なる破壊形態となった。このため、A-S2の構造性能については、これ以降、検討から省くこととする。

B-S1-1～3およびB-S2-1～3では、全て引張側主鉄筋の降伏後の曲げ破壊の形態となった。また、B-S1-2、3およびB-S2-2、3では主鉄筋の破断が確認され、主鉄筋降伏後の荷重の低下が著しかった。

表-8 曲げ載荷試験を実施した実構造部材の概要

No.	劣化度	断面幅 (mm)	断面高さ (mm)	引張側主鉄筋					
				上段			下段		
				種類	本数	有効高さ(mm)	種類	本数	有効高さ(mm)
A-S2	C	1520	270	D13	4	92	D13	8	200
A-S3	B	1490	370	D13	4	190	D13	8	290
A-S4	A	1500	310	D13	4	190	D13	8	290
B-S1-1	D	699	300	φ13	3	140	φ13	5	250
B-S1-2	B	732	310	φ13	3	150	φ13	5	260
B-S1-3	C	798	300	φ13	3	140	φ13	6	250
B-S2-1	C	812	310	φ13	3	150	φ13	6	260
B-S2-2	B	535	300	φ13	4	140	φ13	4	250
B-S2-3	C	569	310	φ13	3	150	φ13	5	260
C-S1	D	1010	350	D16	2	165	D13	5	235
C-S2	C	1010	350	D16	2	225	D13	5	280
C-S3	B	1010	350	D16	2	220	D13	5	300

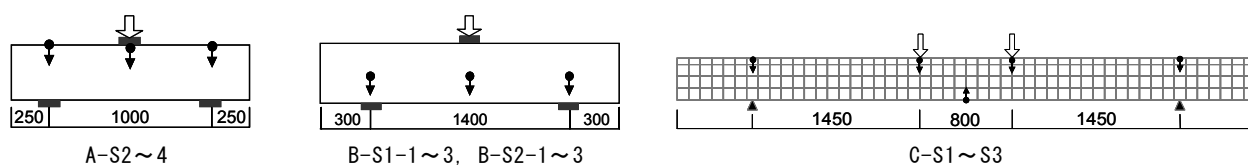


図-19 曲げ載荷試験の概要

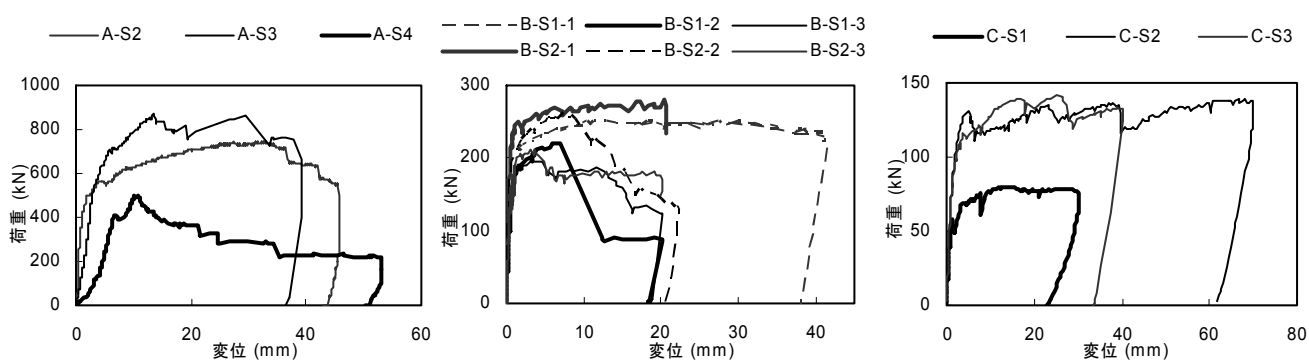


図-20 荷重-変位関係

表-9 曲げ載荷試験の結果

No.	劣化度	降伏荷重 (kN)	最大荷重 (kN)
A-S2	C	567	745
A-S3	B	708	869
A-S4	A	408	498
B-S1-1	D	210	252
B-S1-2	B	185	221
B-S1-3	C	185	196
B-S2-1	C	245	281
B-S2-2	B	190	261
B-S2-3	C	200	212
C-S2	C	131	139
C-S3	B	109	142

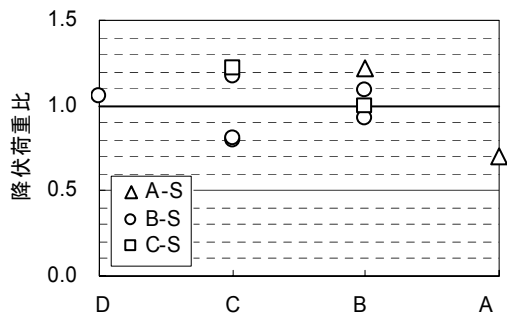


図-21 劣化度と降伏荷重比の関係

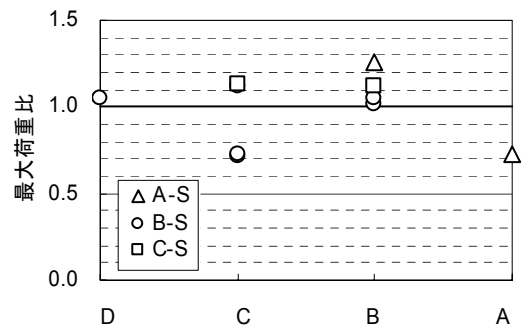


図-22 劣化度と最大荷重比の関係

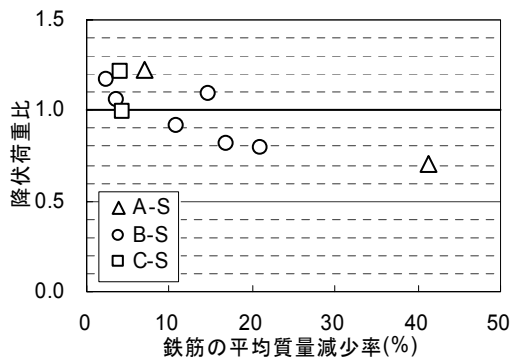


図-23 鉄筋の平均質量減少率と降伏荷重比の関係

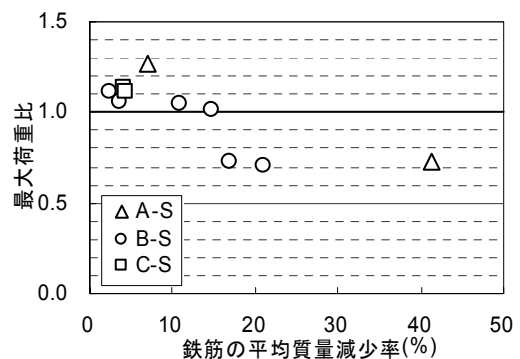


図-24 鉄筋の平均質量減少率と最大荷重比の関係

C-S2およびC-S3は曲げ引張破壊の形態であったが、C-S1では、床版本体コンクリートと上部舗装コンクリートとの間に、作用せん断力による剥離・ずれが発生した。このため、C-S1の構造性能については、これ以降、検討から省くこととする。

(2) 劣化が構造性能に及ぼす影響

表-9に各部材の載荷試験結果を、また、図-21および図-22に劣化度と降伏荷重比および最大荷重比の関係を示す。ここで、降伏荷重比および最大荷重比は、各部材における各荷重の計算値に対する実験値の割合を示す。計算に使用したコンクリートおよび鉄筋の材料値は、コンクリートの設計基準強度 24N/mm^2 、ヤング係数 25kN/mm^2 、鉄筋の引張降伏強度 345N/mm^2 、ヤング係数 200kN/mm^2 である。

図-21および図-22によれば、降伏強度比、最大強度比ともに、劣化度C～Aにおいて1.0以下となるものが存在した。これより、外観に劣化・変状が認められるRC部材の耐荷性は、設計時の耐荷性を下回る可能性があるといえる。また、劣化度Aについては、両強度比ともに3割程度の低下が見られた。これは、かぶりの全面剥落が認められたA-S4の実験結果である。かぶりが剥落した部材では、酸素・水など腐食因子が鉄筋に容易に供給されるた

め、かぶり剥落前と比較して鉄筋の腐食速度は急増し、かぶり剥落後早期に鉄筋の破断に至ることとなる。本検討で用いたA-S4では、腐食による鉄筋の破断は認められなかったが、実験結果および上記の劣化進展を考慮すれば、劣化度Aに至る以前に補修・補強等の対策を実施することが、部材の安全性を確保する観点から重要であるといえる。

部材B-Sに着目すると、B-S1-3およびB-S2-3では劣化度Cと判定されたが、耐荷性は劣化度Aと同程度まで低下する結果となった。付録B-IIに示す部材底面の劣化状況を見ると、B-S1-3およびB-S2-3の載荷スパン中央部においては、打音検査によりかぶりの浮きが確認された。表-2に示したように、劣化度は部材外観から判定されるものであり、鉄筋の腐食により生じるかぶりの浮きは劣化度には反映されない。また、B-S1-3およびB-S2-3では、複数の微細ひび割れおよび豆板が存在し、鉄筋腐食による劣化・変状が部材底面に現れ難い状態であったために、劣化度を健全側に判定する結果となったことが考えられる。

図-23および図-24に部材の中央スパンに位置する鉄筋の腐食による質量減少率と降伏荷重比および最大荷重比の関係を示す。劣化度と各荷重比の関係と比較すれば、

質量減少率と各荷重比の関係は、質量減少率が増加するほど各荷重比が減少する傾向が明確に現れている。これまでの著者らの検討によれば、部材の降伏荷重比および最大荷重比は曲げスパン内に位置する鉄筋の平均的な質量減少率を考慮することで概ね評価できる¹⁴⁾。しかし、A-S4のように質量減少率が大きなものについては、計算値は危険側に耐荷性を評価する可能性がある。この場合、既往の報告⁹⁾で示されるように鉄筋の見かけの降伏点低下を考慮した上で部材の耐荷性を評価する、あるいは従来からRC部材の構造性能低下の要因とされている鉄筋とコンクリート間の付着劣化の影響を考慮するなど別途検討が必要である。また、個々の部材に着目すれば、鉄筋の平均質量減少率に対する各荷重比の低下が、単純な比例関係に対応しないものも見られた。4.で示した孔食などの鉄筋の腐食形態に応じて発生する応力集中により、部材の変形・破壊の局所化が生じ、予測値以上に部材の耐荷性が損なわれる可能性がある。したがって、劣化した部材の耐荷性を精度よく評価するためには、載荷時の発生応力が大きい部位に位置する鉄筋の腐食性状・形態を把握することが必要と考えられる。

7. まとめ

本検討では、塩害を受けた栈橋上部工を対象に、コンクリートの劣化性状の非一様性やその要因、また、劣化がRC部材の構造性能に及ぼす影響について考察した。本検討で得られた成果を以下にまとめる。

- 1) コンクリートのヤング係数はアルカリ骨材反応による劣化により低下した。また、力学的性質およびコンクリート中の塩化物イオン浸透性状は、アルカリ骨材反応による劣化や部材の曝露環境等によって部材内部で大きくばらつくため、構造物の性能評価および将来予測を精度良く行うためには、最適なコア採取手法や採取したコアの信頼性に関する検討が必要であることが考察された。
- 2) RC部材中の腐食による鉄筋の質量減少率は、コンクリートに生じた欠陥の影響によってばらつきが大きくなるものの、かぶりの増加に当たって低下する傾向が見られた。また、腐食した鉄筋の断面減少率は、RC部材の底面側の断面減少に支配され、腐食による平均断面減少率が大きくなるほど、断面積の変動係数は大きくなった。さらに、腐食した鉄筋の力学的性質は、断面形状の不均一性により引張力の作用状態が異なるために、ばらつきが大きくなることが考察された。
- 3) 自然電位および分極抵抗の測定によりRC部材の鉄筋

腐食性状を推定する際には、それらの測定誤差や精度のばらつきを低減するため、コンクリートを十分かつ均一に湿潤状態にさせることが重要であることが分かった。

- 4) 劣化によりRC部材の構造性能は低下し、本検討の範囲では劣化度Dを除く部材において構造性能の低下が見られた。また、劣化した部材の耐荷性を精度よく評価するためには、載荷時の発生応力が大きい部位に位置する鉄筋の腐食性状・形態を把握することが必要と考えられた。

8. あとがき

本検討では、塩害を受けた栈橋上部工を対象に、RC部材の劣化性状に関して種々の調査を行い、RC構造物の性能評価における不確定要因の提言に資する資料を提供した。今後、塩害によるRC部材の劣化性状に関して引き続きデータを蓄積するとともに、劣化の不確定要因を工学的に処理しながらRC部材の保有性能評価を可能とする手法についても検討を進めていく予定である。

(2006年6月16日受付)

謝辞

実構造物を対象とした調査および試験は、各地方整備局の協力により実施が可能となったものである。また、本稿は構造強度研究室、材料研究室、LCM研究センターで実施した平成13～17年度の調査結果をとりまとめたものである。ここに記し、関係者各位に深く感謝の意を表す。

また、本調査を実施するにあたりご助力頂いた実務訓練生 横沢篤君、渡邊真史君（長岡技術科学大学）に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 横田弘:港湾施設の維持管理技術マニュアルの改訂動向, コンクリート工学, Vol.43, No.6, 2005年, pp.3-9.
- 2) 土木学会:コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 2002年, p.28.
- 3) 小林一輔, 森弥広, 野村謙二:圧縮載荷試験によるアルカリ骨材反応の診断方法, 土木学会論文集, No.460/V-18, 1993年, pp.151-154.
- 4) 土木学会:コンクリート標準示方書[維持管理編], 2001年, pp.100-102.
- 5) 山路徹, 中野松二, 濱田秀則:港湾コンクリート構造

物における塩害環境の定量的評価手法に関する検討，
港湾空港技術研究所報告，第44巻，第3号，2005年，
pp.39-75.

- 6) 堤知明，白井伸一，安田登，松島学：塩害劣化に関する影響要因の実データに基づく定量評価，土木学会論文集，No.544/V-32，1996年，pp.33-41.
- 7) 審良善和，Tarek Uddin Mohammed，山路徹，濱田秀則：鉄筋とコンクリート界面の空隙が鉄筋腐食に及ぼす影響，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第5巻，2005年，pp.1-6.
- 8) 大屋戸理明，佐藤勉：鉄筋が腐食したコンクリート部材の曲げ耐力の評価，鉄道総研報告，Vol.19，No.12，2005年，pp.21-26.
- 9) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書，1998年，pp.43-46.
- 10) 小林孝一：塩害により劣化したRC部材の耐震性に関する研究，コンクリート工学論文集，Vol.16，No.2，2005年，pp.49-59.
- 11) 守分敦郎，長滝重義，大即信明：塩害を受けた鉄筋コンクリート部材の疲労寿命の推定に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.2，1996年，pp.1529-1534.
- 12) 武若耕司：鋼材腐食，コンクリート技術の最前線，コンクリートの非破壊検査技術，コンクリート工学，Vol.33，No.3，1995年，pp.123-127.
- 13) 土木学会：コンクリート構造物における自然電位測定法（JSCE-E 601-2000），コンクリート標準示方書[規準編]，2005年，pp.175-177.
- 14) 例えば，岩波光保，横田弘，佐藤文則：鉄筋腐食がRCはりの耐荷性能に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，2002年，pp.1501-1506.

付 録

付録A A港棧橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状

I. 施設概要

II. 床版

1. 外観観察および計測位置
2. 鉄筋位置
3. コンクリートの反発度
4. コンクリートの圧縮強度
5. コンクリート中の塩化物イオン量
6. コンクリートの実効拡散係数
7. 骨材の評価
8. コンクリートの EPMA 面分析
9. 電気化学特性値
10. 鉄筋の力学的性質
11. 鉄筋の質量減少率

III. はり

1. 外観観察および計測位置
2. かぶり
3. コンクリートの圧縮強度
4. コンクリートの中酸化深さ
5. コンクリート中の塩化物イオン量
6. コンクリートの実効拡散係数
7. 電気化学特性値
8. 鉄筋の質量減少率

IV. 投稿論文

付録B B港棧橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状

I. 部材概要

II. 床版

II-① B-S1-A および B-S2-B

1. 外観観察およびコア採取位置
2. 鉄筋位置とかぶり
3. コンクリートの圧縮強度
4. コンクリート中の塩化物イオン量
5. コンクリートの実効拡散係数
6. 骨材の評価
7. 電気化学特性値
8. 鉄筋の質量減少率

II-② B-S1-1～3 および B-S2-1～3

1. 部材寸法
2. 鉄筋位置および有効高さ
3. ひび割れ発生状況
4. コンクリートの圧縮強度

5. コンクリート中の塩化物イオン量

6. 鉄筋の力学的性質

7. 鉄筋の質量減少率

III. はり

1. 部材概要および劣化状況

2. コンクリート中の空隙量

3. コンクリートの圧縮強度

4. コンクリート中の塩化物イオン量

5. 電気化学特性値

6. 鉄筋の質量減少率

IV. 投稿論文

付録C C港棧橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状

I. 施設概要

II. はり

1. 部材概要およびコア採取位置

2. コンクリートの配合推定

3. コンクリート中の空隙量

4. コンクリートの圧縮強度

5. コンクリート中の塩化物イオン量

6. コンクリートの実効拡散係数

7. コンクリートの酸素拡散係数

8. 電気化学特性値

9. 鉄筋の腐食面積率

III. 床版

1. 部材概要

2. 外観観察

3. コンクリート中の塩化物イオン量

4. 電気化学特性値

5. 鉄筋の力学的性質

6. 鉄筋の質量減少率

IV. 投稿論文

付録A A港栈橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状

I. 施設概要

調査対象は、A 港 RC 栈橋上部工より切り出した床版 (S) およびはり (B) である。当該栈橋は、1964～1966 年に建設されており、約 40 年間供用された。栈橋標準断面を図-A. I. 1 に示す。また、調査対象とした床版およびはりの採取箇所を図-A. I. 2 に、劣化度を表-A. I. 1 に表す。

以降、床版に関するデータをⅡに、はりに関するデータをⅢに示す。

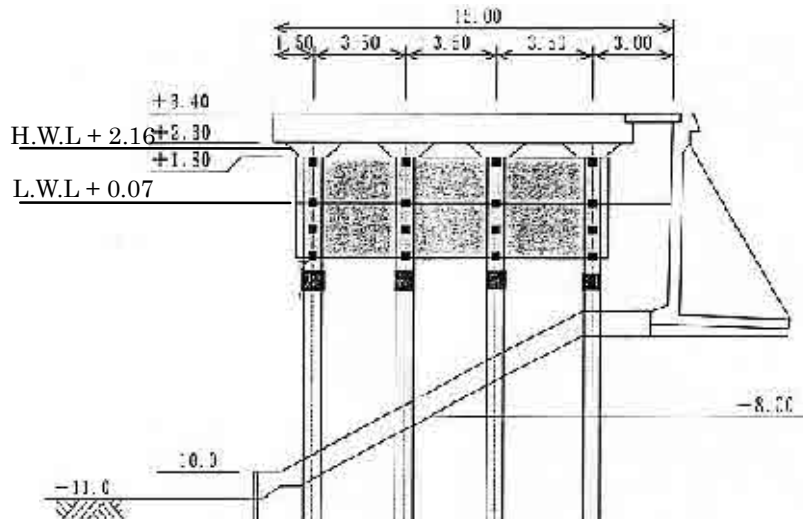


図-A. I. 1 栈橋標準断面図

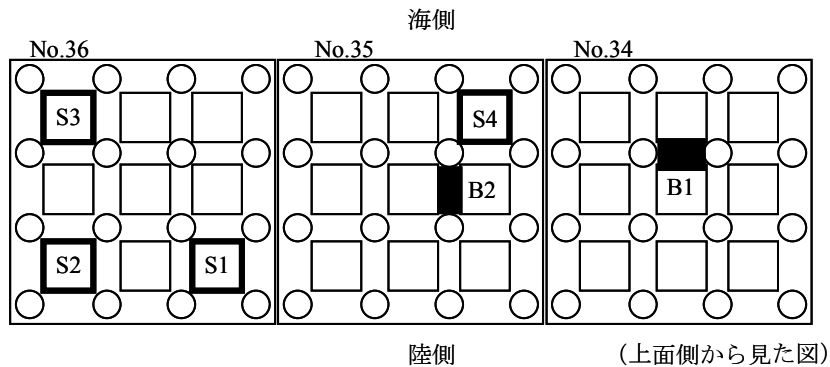


図-A. I. 2 床版およびはり採取箇所

表-A. I. 1 調査対象部材の劣化度

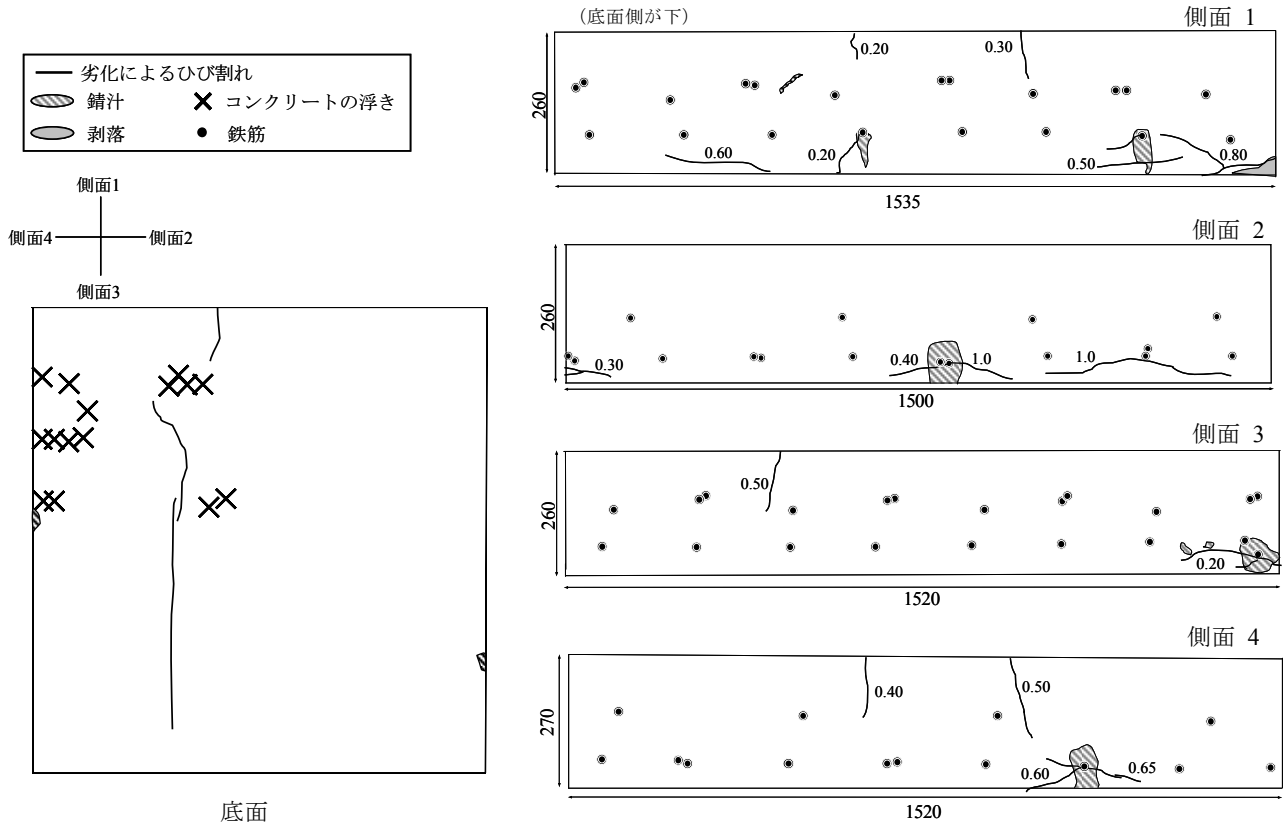
部材 No.	A-S1	A-S2	A-S3	A-S4	A-B1	A-B2
部位	床版	床版	床版	床版	はり	はり
劣化度	C	C	B	A	A	B

II. 床版

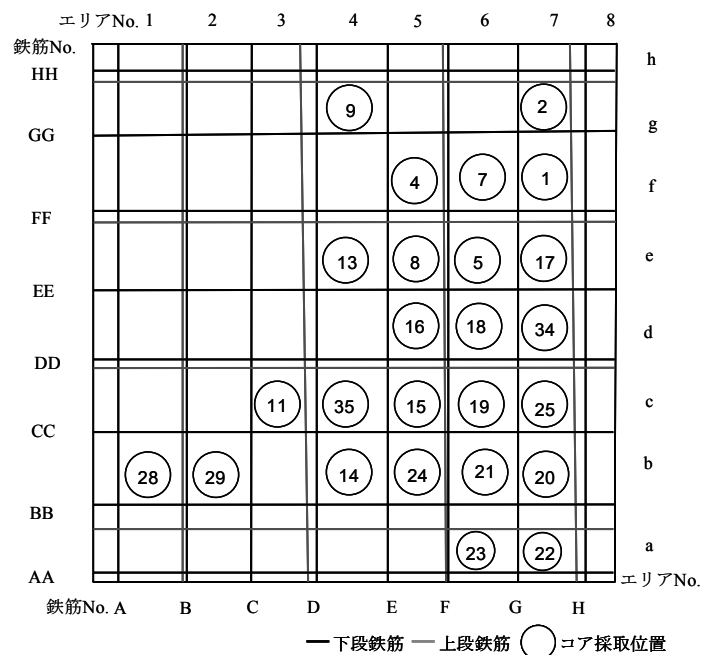
1. 外観観察および計測位置

(1) A-S1

a) 部材寸法および外観観察

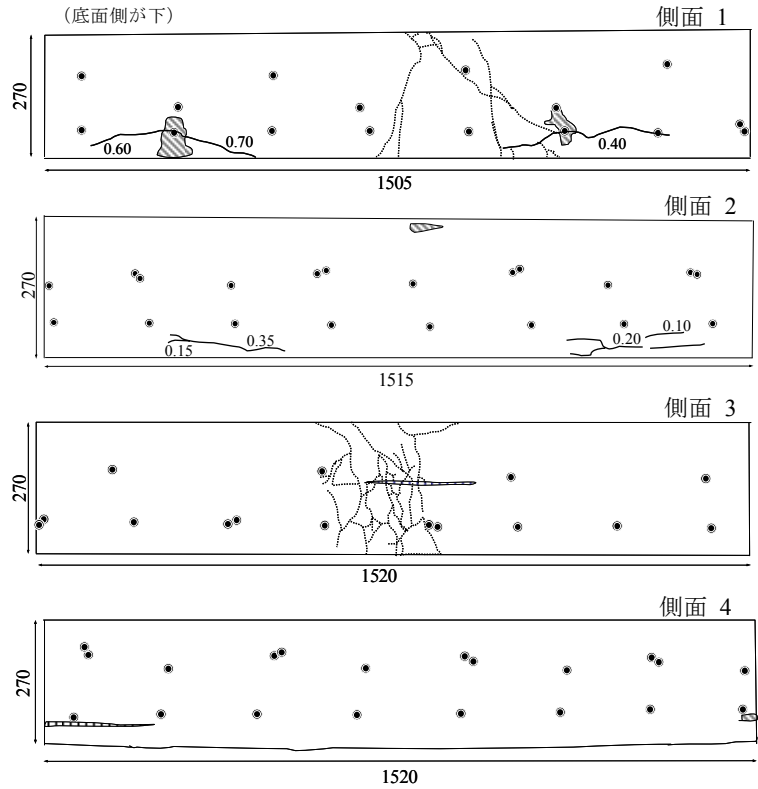
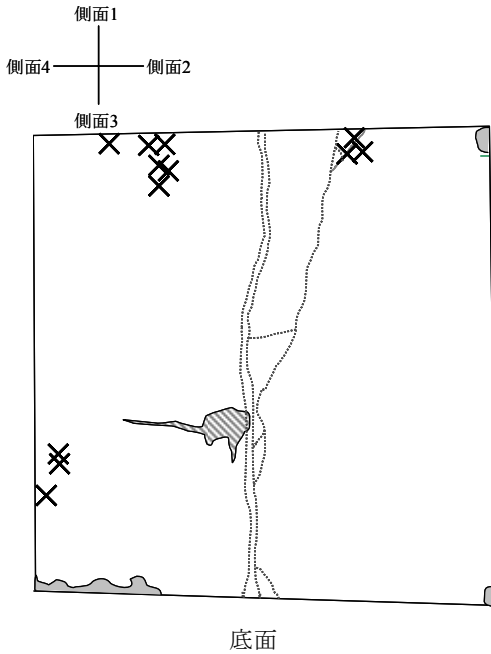
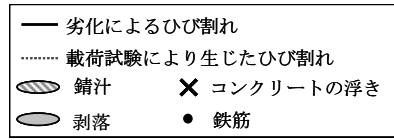


b) コア採取および鉄筋位置, その他計測位置

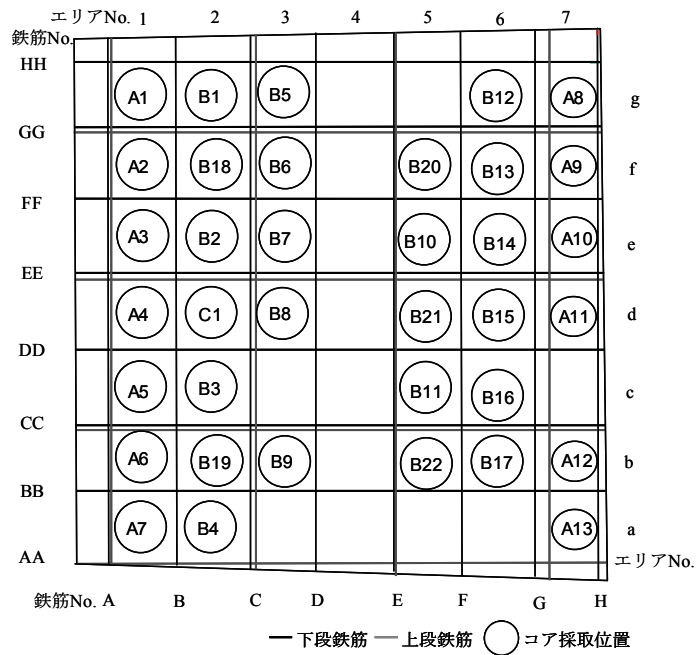


(2) A-S2

a) 部材寸法および外観観察

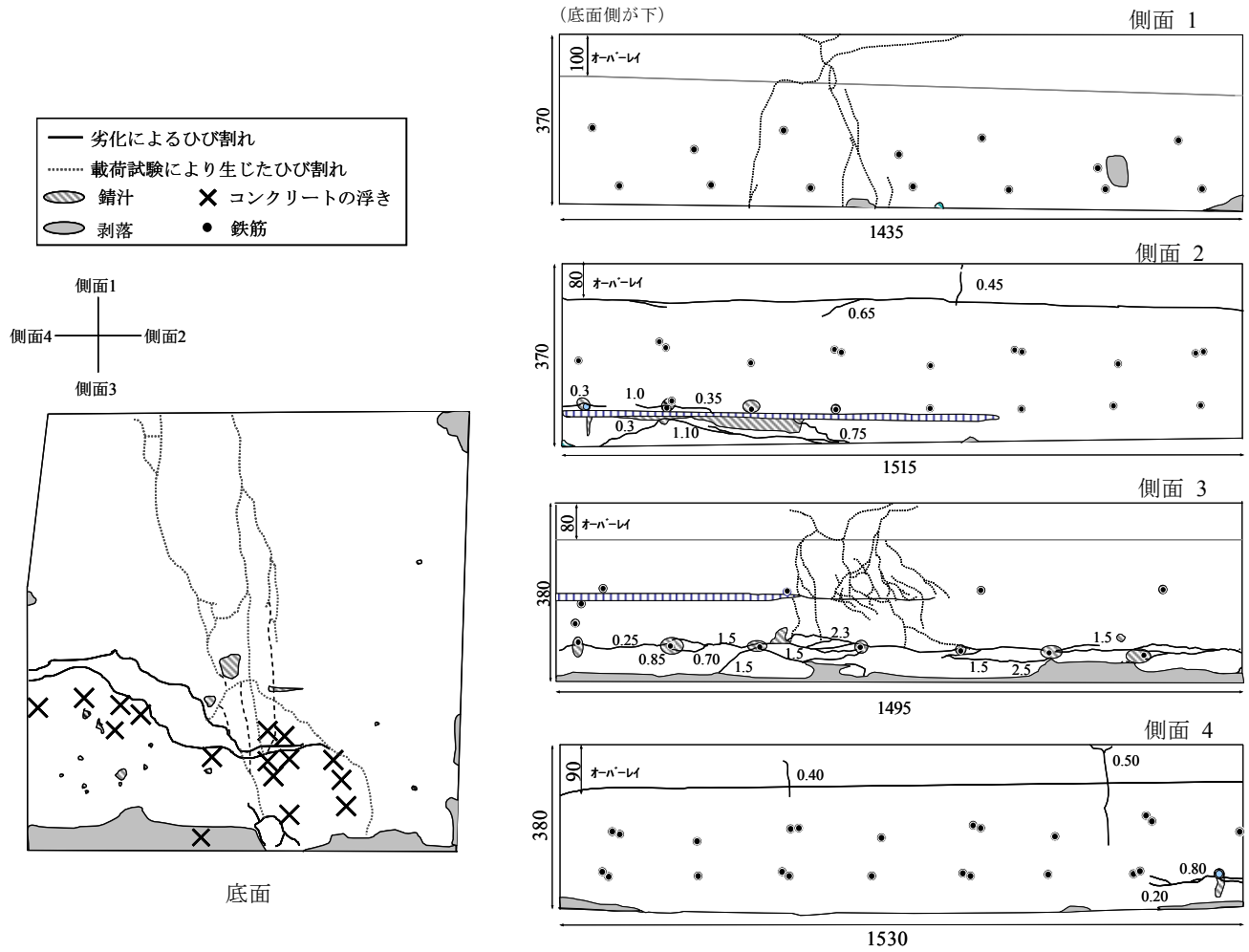


b) コア採取および鉄筋位置，その他計測位置

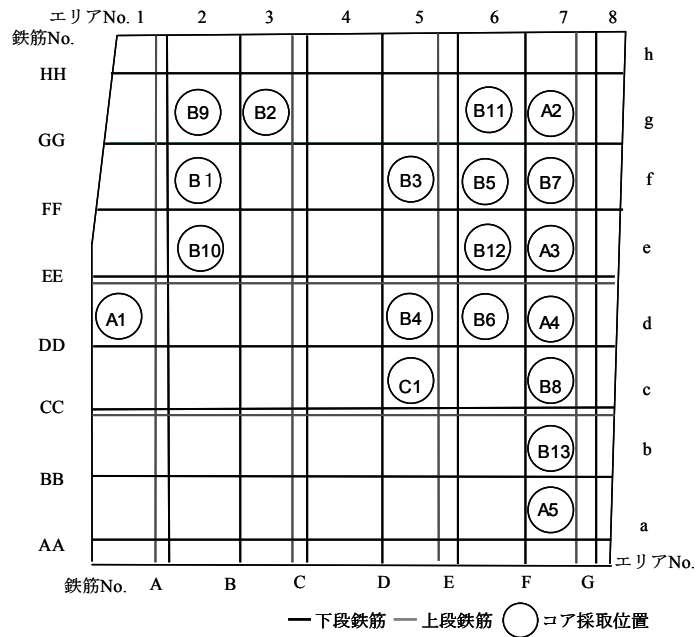


(3) A-S3

a) 部材寸法および外観観察

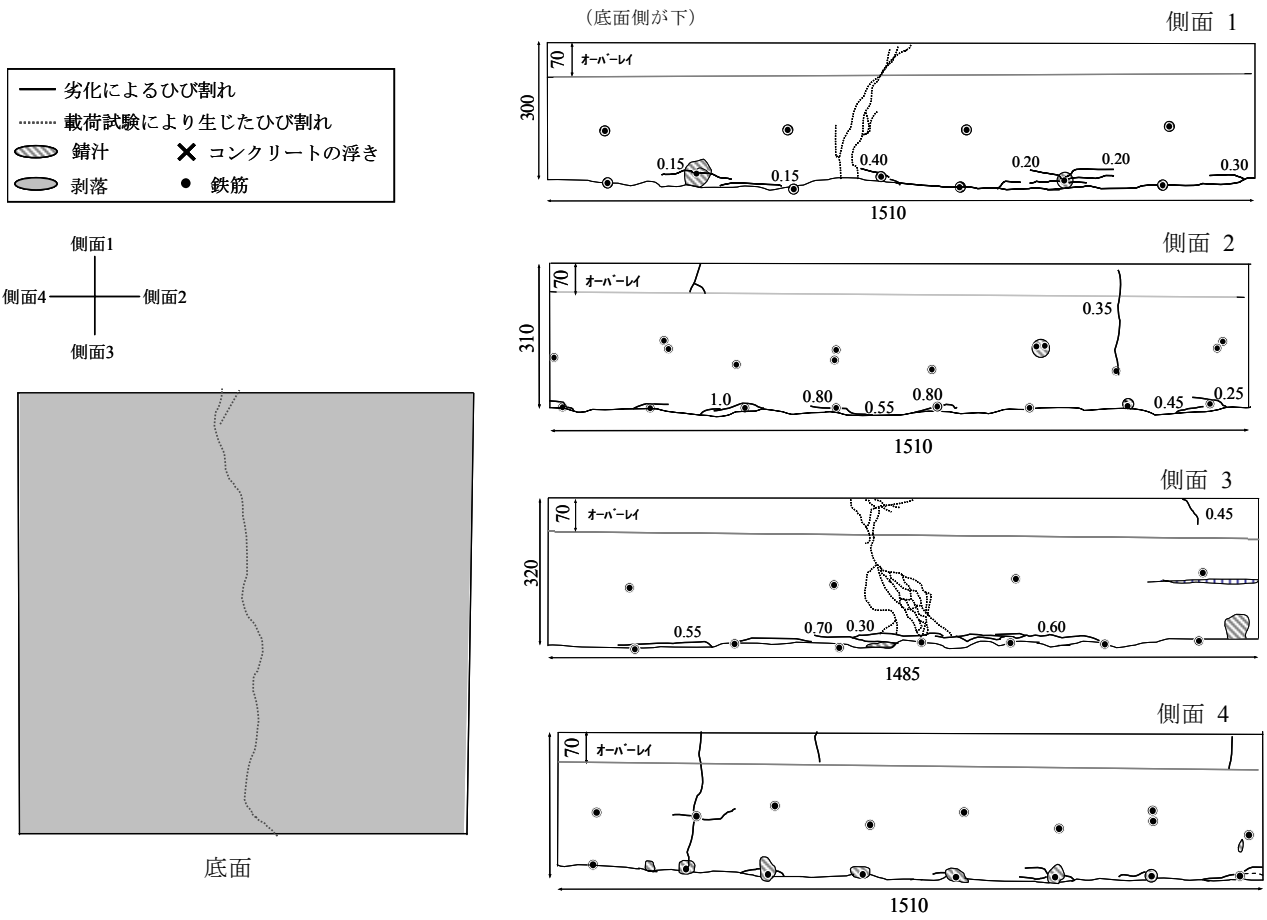


b) コア採取および鉄筋位置, その他計測位置

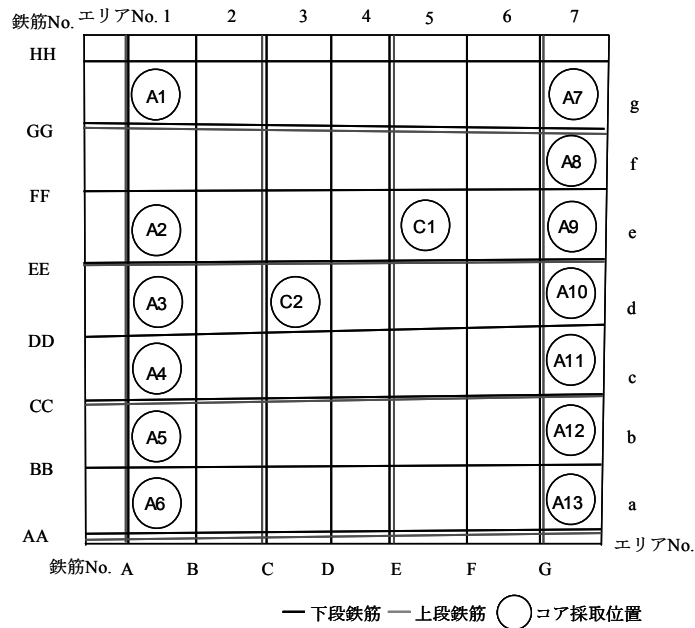


(4) A-S4

a) 部材寸法および外観観察



b) コア採取および鉄筋位置, その他計測位置



2. 鉄筋位置

A-S1～S4 の各側面より測定された鉄筋断面中央から部材上縁までの距離を示す。鉄筋 No.については、2. (1)～(4) b) を参照のこと。

鉄筋 No.	側面 1	側面 3
A	90	95
A	100	100
A	190	195
A	-	210
B	125	125
B	190	195
C	90	90
C	95	105
C	190	190
D	115	120
D	190	195
E	85	90
E	85	95
E	190	195
F	110	115
F	190	195
G	80	80
G	80	95
G	190	190
H	100	110
H	190	190

鉄筋 No.	側面 2	側面 4
AA	203	208
AA	213	-
BB	113	103
BB	203	208
CC	203	208
CC	203	-
DD	118	103
DD	203	213
EE	203	213
EE	203	218
FF	118	103
FF	203	213
GG	188	213
GG	203	218
HH	118	98
HH	208	213

鉄筋 No.	側面 1	側面 3
A	93	118
A	213	218
B	223	218
C	93	113
C	218	218
D	223	218
D	-	218
E	218	103
E	168	213
F	218	203
F	73	213
G	218	103
G	208	208
H	218	213
H	168	218

鉄筋 No.	側面 2	側面 4
AA	123	120
AA	203	200
BB	93	85
BB	103	95
BB	203	200
CC	113	110
CC	203	200
DD	83	80
DD	88	90
DD	198	200
EE	108	105
EE	198	200
FF	73	70
FF	78	75
FF	193	205
GG	108	105
GG	193	205
HH	78	60
HH	83	75
HH	193	215

鉄筋 No.	側面 1	側面 3
A	190	190
A	310	325
B	310	320
C	190	190
C	305	315
D	305	310
E	200	190
E	305	310
F	260	-
F	305	305
G	260	180
G	305	300

鉄筋 No.	側面 2	側面 4
AA	205	195
AA	310	285
BB	165	160
BB	180	170
BB	295	280
BB	310	285
CC	205	200
CC	305	285
DD	180	175
DD	185	180
DD	305	280
DD	-	285
EE	210	210
EE	305	285
FF	180	185
FF	180	185
FF	-	280
FF	300	285
GG	205	210
GG	300	285
HH	180	190
HH	180	195
HH	300	280
HH	-	290

鉄筋 No.	側面 1	側面 3
A	190	185
B	270	-
C	190	190
D	285	-
E	185	195
F	300	-
G	180	200

鉄筋 No.	側面 2	側面 4
AA	195	215
AA	310	300
BB	160	170
BB	170	185
BB	310	310
CC	195	210
CC	310	305
DD	170	-
DD	185	175
DD	310	310
EE	205	205
EE	305	310
FF	180	170
FF	180	-
FF	310	315
GG	210	195
GG	305	310
HH	180	170
HH	185	-
HH	300	305

3. コンクリートの反発度

各部材の測定エリア毎の平均反発度（計測 20 点）を示す。測定エリア No.については、2. (1)～(4) b)を参照のこと。

測定エリア No.	部材 No.		
	A-S1	A-S2	A-S3
1	a	-	43
	b	47	48
	c	50	50
	d	47	49
	e	47	46
	f	49	49
	g	51	44
2	a	-	46
	b	49	46
	c	49	48
	d	52	51
	e	45	48
	f	48	45
	g	47	46
3	a	-	49
	b	52	47
	c	51	-
	d	-	-
	e	-	52
	f	49	49
	g	45	50
4	a	-	-
	b	50	-
	c	50	-
	d	49	54
	e	49	51
	f	52	51
	g	54	51

測定エリア No.	部材 No.		
	A-S1	A-S2	A-S3
5	a	-	47
	b	53	46
	c	53	54
	d	-	52
	e	52	52
	f	47	53
	g	48	47
6	a	-	49
	b	47	49
	c	50	54
	d	50	53
	e	50	52
	f	53	54
	g	52	51
7	a	-	47
	b	45	46
	c	48	52
	d	49	52
	e	49	51
	f	46	51
	g	50	48

4. コンクリートの圧縮強度

各部材のφ100mm コアの圧縮強度およびヤング率を示す。なお、各データはコア寸法に応じて補正した値である。コア No.については、2. (1)～(4) b)を参照のこと。

部材 No.	コア No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)	
A-S1	3	40.1	23.3	
	5	38.3	23.5	
	6	40.9	24.5	
	8	29.7	23.2	
	11	39.4	18.9	
	13	36.8	19.5	
	14	40.1	16.6	
	17	39.4	26.5	
	24	38.5	23.3	
	25	37.1	25.4	
	34	28.6	26.5	
	A-S2	A1	32.3	—
		A2	35.9	18.7
A3		35.3	27.4	
A4		34.9	—	
A5		31.1	20.8	
A6		29.6	—	
A7		32.3	25.8	
A8		33.9	24.0	
A9		30.9	25.0	
A10		29.1	24.6	
A11		31.6	24.9	
A12		30.5	20.6	
A13		32.1	25.6	

部材 No.	コア No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)
A-S3	A1	35.3	—
	A2	35.9	19.6
	A3	28.0	19.6
	A4	31.6	22.0
	A5	32.1	—
A-S4	A1	34.9	26.9
	A2	34.1	24.7
	A3	34.2	19.6
	A4	32.4	14.5
	A5	28.6	13.4
	A6	29.9	12.3
	A7	28.3	—
	A8	34.6	16.1
	A9	36.3	14.3
	A10	35.0	14.7
	A11	32.7	11.0
	A12	34.7	—
	A13	30.7	14.4

5. コンクリート中の塩化物イオン量

コンクリート中の塩化物イオン量を以下に示す。測定は JCI-SC5 電位差滴定に準拠して全塩分量について行った。コア No.については、2. (1)~(4) b)を参照のこと（コア径は全てφ100mm）。

A-S1

コア No.	1	d (mm)	9	31	52	73	96	11	-	-	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	14.8	10.6	10.3	8.2	6.3	14.8	-	-	-	-
	2	d (mm)	11	35	56	76	98	121	143	167	188	209
		Cl ⁻ (kg/m ³)	10.1	7.4	6.9	7.1	5.5	4.2	3.6	2.5	2.2	2.6
	4	d (mm)	12	39	60	81	103	128	-	-	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	15.1	11.6	8.2	8.3	6.8	6.0	-	-	-	-
	7	d (mm)	10	36	60	81	103	125	147	-	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	16.7	12.5	10.2	8.2	6.5	5.7	4.9	-	-	-
	15	d (mm)	36	58	81	100	125	-	-	-	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	11.0	10.3	7.6	5.0	5.2	-	-	-	-	-
	16	d (mm)	9	32	52	76	99	121	-	-	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	15.2	14.6	11.8	10.7	7.1	5.5	-	-	-	-
	18	d (mm)	10	33	56	78	101	122	144	166	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	4.9	4.0	3.0	2.5	2.2	1.8	2.0	1.6	-	-
	19	d (mm)	11	33	52	77	101	122	142	-	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	17.8	11.4	9.7	8.1	7.3	5.6	4.9	-	-	-
	20	d (mm)	10	35	60	83	105	126	145	162	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	6.4	3.9	3.4	4.7	2.0	2.0	1.8	1.6	-	-
	21	d (mm)	11	35	55	77	9	34	56	75	99	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	14.3	10.9	8.4	7.6	16.3	11.2	7.0	6.9	5.8	-
	23	d (mm)	10	33	54	75	96	115	-	-	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	12.3	10.9	10.8	8.3	6.5	3.5	-	-	-	-
	28	d (mm)	8	32	57	79	100	121	143	163	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	11.1	10.4	8.1	7.1	5.4	3.7	3.0	2.5	-	-
35	d (mm)	5	15	25	35	50	70	90	-	-	-	
	Cl ⁻ (kg/m ³)	9.8	12.9	14.0	11.5	10.2	8.9	7.8	-	-	-	

A-S2

コア No.	B1	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	12.5	10.2	8.4	6.5	4.6
	B2	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	10.0	8.9	6.4	4.1	3.8
	B3	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	11.2	8.9	7.9	5.5	3.7
	B4	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.9	9.0	7.5	4.3	3.6
	B5	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	10.0	8.1	7.1	6.9	4.3
	B6	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	10.2	10.8	7.5	6.5	4.4
	B7	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	11.6	7.7	6.6	4.8	4.2
	B8	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	14.1	17.2	10.1	7.4	6.2
	B9	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	7.4	7.2	5.8	4.1	3.4
	B10	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	6.7	5.0	4.5	3.1	3.5
	B11	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	14.2	9.8	8.1	6.2	5.3
	B12	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	11.0	7.7	6.3	5.4	5.0
	B13	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.6	8.1	5.3	5.4	3.8
	B14	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.8	6.9	5.4	4.3	3.8
	B15	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	7.4	5.4	3.9	3.8	2.7
	B16	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	5.9	4.8	4.3	4.2	2.6
	B17	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.9	9.3	6.9	4.8	4.0
	B18	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	11.8	10.7	8.7	6.0	4.3
	B19	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	13.3	10.5	9.5	7.1	4.7
	B20	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.2	6.7	6.3	6.0	4.5
	B21	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	7.8	4.9	4.2	4.0	3.1
	B22	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	11.2	10.1	6.4	6.0	3.5

A-S3

コア No.	B1	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.6	7.4	6.0	4.3	3.5
	B2	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.5	7.8	5.1	3.5	2.5
	B3	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	13.3	8.9	5.9	3.3	2.8
	B4	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	10.4	11.8	6.0	4.4	3.7
	B5	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	13.8	7.8	6.0	4.6	3.1
	B6	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	11.6	8.8	6.9	5.0	3.4
	B7	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.3	9.0	6.7	5.1	3.2
	B8	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	11.9	9.8	6.5	5.1	2.9
	B9	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.9	7.1	6.4	4.9	4.3
	B10	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	7.4	5.7	5.3	4.2	3.0
	B11	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.4	8.3	5.2	4.6	2.9
	B12	d (mm)	10	30	50	70	90
		Cl ⁻ (kg/m ³)	13.7	10.7	8.3	5.8	4.7
B13	d (mm)	10	30	50	70	90	
	Cl ⁻ (kg/m ³)	9.8	8.4	6.7	5.1	4.6	

6. コンクリートの実効拡散係数

電気泳動法により測定したコンクリートの実効拡散係数を以下に示す。試験は、土木学会規準「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法（案）」（JSCE-G571-2003）に準拠して、φ100mm、厚さ50mmのコアを用いて行った。

部材 No.	実効拡散係数 (cm ² /年)
A-S2	0.63
A-S3	1.06
A-S4	1.37

7. 骨材の評価

(1) 評価方法

a) 骨材の評価—アルカリ骨材反応により生成したゲルの確認

コンクリートコア A-S4-C1 (2. (1)~(4) b参照) には、肉眼観察によりアルカリ骨材反応により生成したと思われる白色や透明のゲルの滲出、および骨材周囲の反応リムが確認できたため、ゲルの滲出が見られる骨材および周囲のペースト部を割裂により取り出し、試料台に固定した。観察面に導電性をもたせる目的で白金—パラジウム合金を蒸着したものを観察用試料として、電子顕微鏡によりアルカリ骨材反応により生成したゲルの確認およびゲルの定性分析を行った。

b) 粗骨材岩種の判定・分類試験

各岩種の分類割合は、コアの切断面に10mm間隔の直線を引き各岩種ごとにこの線と交わる長さを積算、積算長さを積算総延長で除して比率を求めた(線積分法)。なお、粒径5mm以上の骨材を粗骨材として扱った。岩種の判定は岩石組織、構成鉱物、色調等を実体顕微鏡下で観察することにより行った。

c) 代表岩種の偏光顕微鏡観察

b) 粗骨材岩種の判定・分類試験で分類された岩種のうち、代表的な岩種に属する粗骨材粒子をコンクリートより取り出し、厚さ20μm程度の薄片試料を作成した。薄片試料を偏光顕微鏡観察することにより、骨材岩石に含まれる反応性シリカ鉱物等の有害鉱物の有無の確認を行った。

(2) 測定結果

a) 骨材の評価—アルカリ骨材反応により生成したゲルの確認

写真-A. 8. 1 上に示すように、アルカリ骨材反応により生成したゲルが観察された。この形態は「ゼリー状」と呼ばれているもので、アルカリ骨材反応により生成するゲルの典型的な形態である。図-A. 8. 1 に示すように、EDS 定性分析の結果、組成として Si (珪素) を主成分とし、他に Ca (カルシウム)、K (カリウム)、Na (ナトリウム) を含む「アルカリ—カル

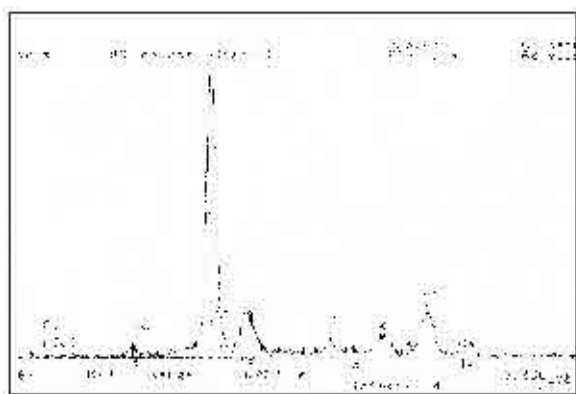


図-A. 8. 1 EDS 定性分析結果

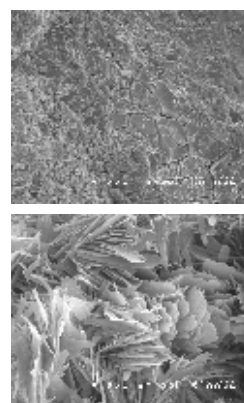


写真-A. 8. 1 アルカリ骨材反応により生成したゲル

シウム-シリカ型」のゲルであった。ゲルの形態としては、ゼリー状だけでなく、葉片状のものも観察された（写真-A.8下）。肉眼観察により骨材に反応リムおよび白色や透明なゲルの滲出が確認でき、電子顕微鏡観察によりアルカリ骨材反応により生成したゲルを確認できたため、本試料コンクリートコアにアルカリ骨材反応は発生している。このことは、EPMA面分析により、S5-2の他、すべての試料コンクリートに用いられているセメント中のNa₂O量が高いこと、および後述b)のとおり、使用骨材にアルカリ骨材反応性の高い骨材が用いられていることからいえる。

b) 粗骨材岩種の判定・分類試験

確認された粗骨材の岩種と割合、および肉眼的な特徴を表-A.8.1に示す。粗骨材には砕石 2005 または砕石 2505 が使用されている。岩種は緑れん石角閃岩および緑泥石白雲母片岩、花崗岩が認められた。なお、細骨材は主に花崗岩起源の鉱物片からなることが認められた。

表-A.8.1 粗骨材岩種と割合、肉眼的な特徴

岩種名	割合(%)	肉眼的な特徴
緑れん石角閃岩	55	色調は濃緑，緑色。ホルンブレンドが定向配列し，片状組織を示す。
緑泥石白雲母片岩	41	色調は淡緑，緑褐色等。縞状構造を示す。
花崗岩	4	色調は優白質，桃色。細骨材から混入したものと考えられる。等粒状組織を示し石英，長石，黒雲母を含む。
計	100	

c) 代表岩種の偏光顕微鏡観察

代表的な岩種につき偏光顕微鏡観察試験を実施した。代表岩種には、粗骨材のほとんどを占める緑れん石角閃岩および緑泥石白雲母片岩を選定した。試験結果の要点を表-A.8.2に示す。試験の結果、緑泥石白雲母片岩は、反応性シリカ鉱物である微小石英を多量に含み、反応性の大きい岩種であることが確認された。

表-A.8.2 偏光顕微鏡観察試験結果

岩種名 項目	鉱物名												備考
	反応性シリカ鉱物		石英 (粗粒〜細粒)	曹長石	ホルンブレンド	緑れん石	くさび石	白雲母	緑泥石	方解石	燐灰石	不透明鉱物 (石墨・チタ ン鉄鉱等)	
	微小石英	その他											
緑れん石角閃岩	—	—	—	◎	◎	○	○	—	—	△	tr	△	反応性シリカ鉱物は、ほとんど含まれない。
緑泥石白雲母片岩	◎	—	◎	○	—	—	△	◎	○	—	—	△	微小石英を多量に含む。

鉱物の概測量比 ◎多量 ○中量 △少量 tr微量 —含まれない(確認されない)

8. コンクリートの EPMA 面分析

(1) 測定方法

コンクリートコア A-S2-C1, A-S3-C1, A-S4-C2 (2. (1)~(4) b参照) について深さ 80mm, コンクリートコア中央で幅 40mm の試験片を切り出し, メタクリル樹脂による補強を行った. 硬化後観察面を研磨し, 導電性をもたせる目的で炭素を蒸着して, Cl, Si, Na, K, Ca および S の 6 元素について EPMA 面分析を行った.

(2) 測定結果

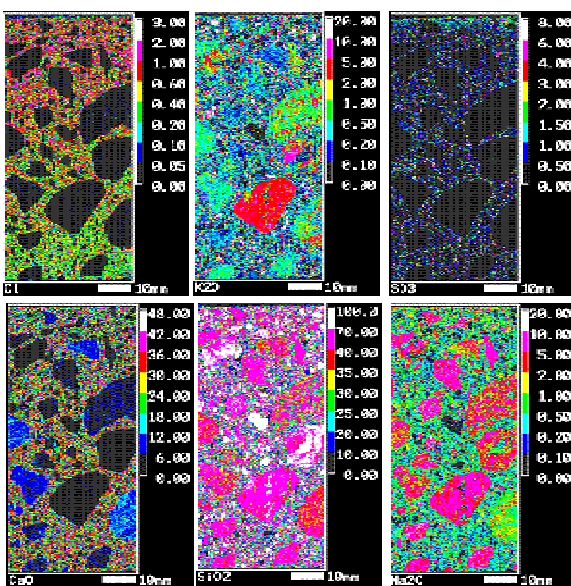
結果を以下に示す. 写真上側が, 試料コンクリートの暴露表面側になっている. 濃度分布を示す写真の右端に示された数字は, Cl は質量濃度(%)範囲, それ以外の元素については酸化物形態での質量濃度(%)範囲を示す.

測定条件: 加速電圧: 15kV, 試料電流: 1×10^{-7} A, プローブ径: 100 μ m,

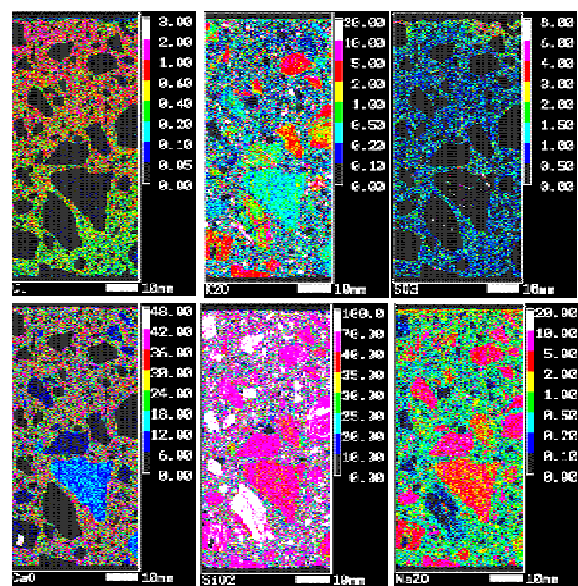
分光結晶: Na, Si(TAP), Cl, K, Ca, S(PET), 計数時間: 80msec, ビケル数: 200 \times 392, ビケルサイズ: 200 μ m (分析範囲: 40 \times 78mm),

標準試料: Cl(Halite, Cl=60.66%), Ca, Si (Wollastonite, CaO=48.00%,SiO₂=50.94%), Na (Albite,Na₂O=11.48%),

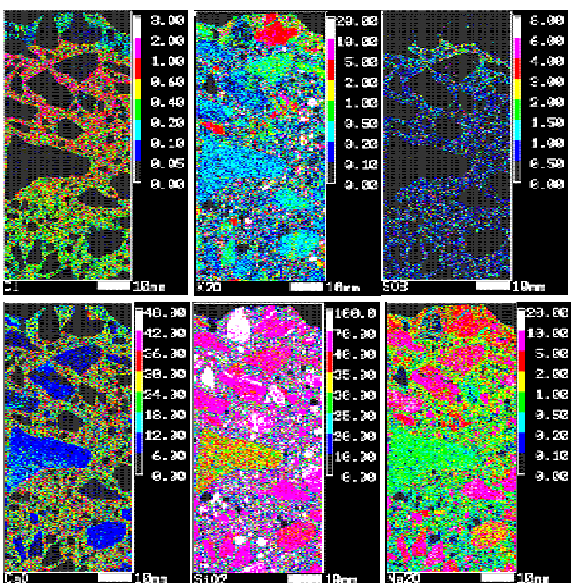
K (K-Feldspar,K₂O=5.62%), S (Anhydrite, SO₃=58.81%)



A-S2



A-S3



A-S4

9. 電気化学特性値

(1) 測定方法

A-S1～S3の格子状に配置されている鉄筋の非交差部に対して、自然電位・見かけの分極抵抗・見かけのコンクリート抵抗の測定を行った。測定は全て部材底面側（海側）から行い、部材への散水 24 時間後に四国総合研究所社製 SRI-CM-III により行った。なお、使用した電極は銀塩化銀電極である。

(2) 測定結果

A-S1～S3 の下段（海側）および上段鉄筋について行った電気化学特性値の測定結果を以下に示す。鉄筋 No., エリア No.は 2. (1)～(4) b)を参照のこと。

A-S1 下段鉄筋

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
B 下段	1	-410	105	1.8
	2	-370	93	1.8
	3	-371	77	1.7
	4	-352	98	1.9
	5	-354	66	1.2
	6	-310	39	0.8
	7	-323	52	1.0
C 下段	1	-348	95	1.8
	2	-295	35	1.5
	3	-268	74	1.9
	4	-	-	-
	5	-316	41	1.3
	6	-346	31	0.8
	7	-291	54	1.2
D 下段	1	-358	63	2.4
	2	-367	109	2.4
	3	-384	100	7.4
	4	-	-	-
	5	-	-	-
	6	-	-	-
	7	-	-	-
E 下段	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-395	135	2.6
	4	-	-	-
	5	-	-	-
	6	-	-	-
	7	-	-	-
F 下段	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-182	4110000	1.5
	4	-	-	-
	5	-183	4170000	1.1
	6	-	-	-
	7	-164	1000000	1.7
G 下段	1	-437	26600	1.6
	2	-520	1930	1010.0
	3	-498	7580	601.0
	4	-412	1450000	0.0
	5	-	-	-
	6	-	-	-
	7	-262	1530	1.8
H 下段	1	-368	85	1.5
	2	-388	60	1.4
	3	-375	39	1.1
	4	-368	77	2.0
	5	-347	74	1.7
	6	-334	93	2.0
	7	-348	103	2.4

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
BB 下段	2	-390	46	3.8
	3	-380	53	1.5
	4	-384	196	4.9
	5	-395	64	1.7
	6	-406	75	2.1
	7	-398	75	1.9
	8	-374	59	1.5
	CC 下段	1	-	-
2		-360	48	1.3
3		-325	58	1.9
4		-307	47	1.2
5		-403	60	1.6
6		-387	110	2.6
7		-361	82	1.9
8		-374	52	1.4
DD 下段	1	-	-	-
	2	-366	34	1.6
	3	-305	55	2.0
	4	-280	81	2.4
	5	-382	59	1.9
	6	-362	62	1.7
	7	-352	55	1.5
	8	-335	58	1.6
EE 下段	1	-	-	-
	2	-395	36	1.2
	3	-313	30	1.2
	4	-308	33	1.2
	5	-379	61	1.8
	6	-366	49	1.4
	7	-344	79	2.1
	8	-349	57	1.6
FF 下段	1	-	-	-
	2	-367	34	1.1
	3	-348	20	0.8
	4	-	-	-
	5	-359	77	2.0
	6	-365	47	1.3
	7	-353	73	1.9
	8	-342	57	1.5
GG 下段	1	-	-	-
	2	-314	37	1.2
	3	-270	14	0.7
	4	-	-	-
	5	-322	43	1.4
	6	-319	58	1.6
	7	-297	61	1.6
	8	-290	59	1.6
HH 下段	1	-	-	-
	2	-393	47	1.5
	3	-412	28	1.3
	4	-395	19	0.9
	5	-366	87	2.2
	6	-367	68	1.6
	7	-346	80	1.8
	8	-328	81	1.9

A-S1 上段鉄筋

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
BB 上段	1	-	-	-
	2	-386	267	1.3
	3	-376	243	1.6
	5	-369	326	2.1
	6	-376	382	2.5
	7	-366	310	2.0
	8	-350	252	1.6
	DD 上段	1	-	-
2		-400	185	1.7
3		-323	333	2.2
5		-277	316	2.0
6		-381	343	2.2
7		-378	337	2.1
8		-365	292	1.9

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
FF 上段	1	-	-	-
	2	-345	192	1.5
	3	-316	138	1.2
	5	-320	356	2.5
	6	-326	205	1.5
	7	-302	360	2.5
	8	-304	264	1.8
	HH 上段	1	-	-
2		-375	180	1.4
3		-376	142	1.3
5		-348	350	2.5
6		-343	260	1.8
7		-320	341	2.2
8		-314	296	2.0

A-S2 下段鉄筋

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
A 下段	1	-305	101	1.3
	2	-251	51	0.9
	3	-286	79	1.4
	4	-297	98	1.5
	5	-303	85	1.4
	6	-303	72	1.3
	7	-285	107	1.8
B 下段	1	-356	95	1.5
	2	-383	50	1.1
	3	-342	72	1.5
	4	-334	82	1.6
	5	-330	74	1.4
	6	-318	51	1.1
	7	-294	72	1.4
C 下段	1	-330	115	1.7
	2	-352	52	1.0
	3	-376	129	2.1
	4	-332	219	3.2
	5	-353	88	1.7
	6	-347	90	1.5
	7	-	-	-
D 下段	1	-335	137	2.2
	2	-360	141	2.3
	3	-347	79	1.3
	4	-339	86	1.6
	5	-335	176	2.8
	6	-346	94	1.5
	7	-326	172	2.6
E 下段	1	-339	112	2.1
	2	-365	74	1.5
	3	-343	157	2.6
	4	-322	140	2.4
	5	-326	128	2.1
	6	-332	129	2.1
	7	-358	95	1.7
F 下段	1	-360	1150	7.3
	2	-386	1850	15.4
	3	-360	1680	13.2
	4	-363	1230	7.8
	5	-381	1250	8.2
	6	-382	1130	7.6
	7	-370	1060	7.1
G 下段	1	-333	27800	76.2
	2	-326	74000	78.3
	3	-325	65600	80.5
	4	-322	44700	80.2
	5	-331	41600	82.2
	6	-349	26600	82.4
	7	-322	45300	78.2

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
BB 下段	1	-345	82	1.2
	2	-370	106	1.5
	3	-381	121	1.7
	4	-380	130	1.7
	5	-378	110	1.5
	6	-362	108	1.5
	7	-366	119	1.6
CC 下段	1	-368	61	1.1
	2	-372	79	1.2
	3	-424	91	1.4
	4	-	-	-
	5	-360	264	3.8
	6	-350	217	3.2
	7	-345	277	4.1
DD 下段	1	-371	134	1.6
	2	-364	200	2.3
	3	-361	167	2.0
	4	-357	251	2.9
	5	-342	298	3.5
	6	-351	258	3.1
	7	-348	288	3.5
EE 下段	1	-341	134	1.8
	2	-346	154	2.1
	3	-347	148	2.0
	4	-338	139	2.1
	5	-332	156	2.5
	6	-335	177	2.6
	7	-322	215	2.8
FF 下段	1	-319	125	1.6
	2	-342	140	2.0
	3	-332	156	2.0
	4	-330	146	2.3
	5	-338	157	2.2
	6	-340	122	1.8
	7	-329	132	1.6
GG 下段	1	-305	91	1.3
	2	-331	91	1.3
	3	-334	110	1.4
	4	-342	140	2.0
	5	-355	103	1.9
	6	-328	118	1.8
	7	-322	167	2.5
HH 下段	1	-374	164	2.4
	2	-411	148	2.3
	3	-	-	-
	4	-369	129	1.9
	5	-354	112	1.7
	6	-339	122	2.2
	7	-378	164	2.6

A-S2 上段鉄筋

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
A 上段	1	-351	1730	2.8
	2	-297	354	1.4
	3	-337	2130	1.6
	4	-329	572	2.0
	5	-333	443	1.5
	6	-343	448	1.5
	7	-319	590	1.9
C 上段	1	-330	4130	6.3
	2	-344	258	1.1
	3	-364	694	2.4
	4	-313	725	2.3
	5	-322	585	1.8
	6	-335	479	1.6
	7	-333	1060	3.3
E 上段	1	-351	6160	7.3
	2	-327	6240	8.0
	3	-325	6070	8.5
	4	-320	5690	8.2
	5	-345	5480	8.2
	6	-372	4860	6.7
	7	-355	4380	6.7
G 上段	1	-340	6110	9.1
	2	-359	5960	8.5
	3	-335	6920	10.7
	4	-328	6880	9.3
	5	-336	6730	8.6
	6	-351	6880	8.9
	7	-346	6360	7.9

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
BB 上段	1	-379	1520	2.9
	2	-390	1500	2.7
	3	-403	1580	3.1
	4	-404	1600	3.1
	5	-	-	-
	6	-397	1600	3.3
	7	-	-	-
CC 上段	1	-368	1200	2.3
	2	-496	1160	2.4
	3	-369	2310	3.9
	4	-526	-	-
	5	-	1800	4.6
	6	-369	1600	4.0
	7	-367	1650	4.0
DD 上段	1	-366	2990	4.6
	2	-494	3290	5.0
	3	-361	408	1.4
	4	-366	1040	3.4
	5	-414	3250	5.8
	6	-442	3310	5.3
	7	-463	3000	5.4
EE 上段	1	-332	493	1.9
	2	-345	425	2.2
	3	-348	-	-
	4	-	757	2.8
	5	-323	-	-
	6	-	4630	8.0
	7	-343	4300	3.2
FF 上段	1	-317	626	1.7
	2	-355	775	2.4
	3	-351	770	2.4
	4	-339	912	2.7
	5	-345	655	2.1
	6	-489	7160	8.9
	7	-354	536	1.7
GG 上段	1	-361	3200	5.6
	2	-361	3110	5.2
	3	-369	3130	5.2
	4	-340	2730	5.8
	5	-346	368	1.7
	6	-328	506	1.9
	7	-315	765	2.7
HH 上段	1	-359	788	2.5
	2	-401	599	2.0
	3	-371	681	2.5
	4	-	-	-
	5	-398	2610	3.6
	6	-375	2680	4.1
	7	-416	2750	4.2

A-S3 下段鉄筋

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
A 下段	1	-	-	-
	2	-448	94	1.6
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	5	-415	254	3.7
	6	-404	282	4.2
	7	-374	218	3.2
B 下段	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-444	300	4.2
	5	-374	241	3.3
	6	-371	299	4.1
	7	-360	341	4.7
C 下段	1	-426	142	2.1
	2	-440	135	2.0
	3	-	-	-
	4	-429	458	6.6
	5	-376	318	4.7
	6	-347	268	4.2
	7	-316	262	4
D 下段	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-590	15500	45.4
	4	-381	6780	32.0
	5	-	-	-
	6	-490	9890	37.7
	7	-	-	-
E 下段	1	-470	93	1.6
	2	-430	96	1.6
	3	-370	270	4.3
	4	-339	150	3.4
	5	-327	232	4.3
	6	-331	299	5.9
	7	-297	378	5.7
F 下段	1	-574	14300	57.2
	2	-550	16200	50.6
	3	-512	8820	40.1
	4	-313	6380	40.6
	5	-462	6490	30.9
	6	-326	6260	32.5
	7	-307	6150	32.1
G 下段	6	-328	181	2.7
	7	-326	169	2.3

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
BB 下段	1	-	-	-
	2	-425	4450	16.2
	3	-411	4520	15.9
	4	-387	4660	16.1
	5	-	-	-
	6	-436	4290	17.5
	7	-409	4650	17.5
	8	-364	4460	20.9
CC 下段	1	-	-	-
	2	-444	-453	15.3
	3	-453	4120	14.7
	4	-	-	-
	5	-	-	-
	6	-439	4600	15.2
	7	-379	4310	16.1
	8	-344	4590	16.9
DD 下段	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-485	4870	17.6
	5	-416	4780	17.6
	6	-384	5000	17.2
	7	-342	4390	16.7
	8	-	-	-
EE 下段	1	-426	3740	14.7
	2	-415	3820	16.4
	3	-395	4600	18.3
	4	-370	4370	18.2
	5	-333	4200	18.7
	6	-319	4340	16.7
	7	-296	3970	17.2
	8	-	-	-
FF 下段	1	-340	358	3.8
	2	-339	399	4.4
	3	-320	480	5.0
	4	-317	420	5.0
	5	-259	411	3.6
	6	-277	193	2.6
	7	-277	176	2.2
	8	-	310	-
GG 下段	1	-373	322	3.4
	2	-368	345	3.49
	3	-347	389	3.85
	4	-342	377	4.33
	5	-297	277	3.72
	6	-292	169	2.98
	7	-293	-	1.83
	8	-	-	-
HH 下段	1	-	274	-
	2	-353	373	3.24
	3	-333	368	4.44
	4	-314	467	4.43
	5	-279	277	5.72
	6	-286	217	3.26
	7	-290	-	2.57
	8	-	-	-

A-S3 上段鉄筋

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
A 上段	1	-323	22700	23.0
	2	-341	21200	21.1
	3	-332	21500	21.8
	4	-327	22700	22.5
	5	-299	22400	24.1
	6	-307	25200	24.2
	7	-272	26900	23.5
	8	-274	24600	22.8
C 上段	1	-317	21900	24.0
	2	-347	23100	24.6
	3	-	-	-
	4	-335	25400	29.3
	5	-290	27900	27.9
	6	-266	25900	28.0
	7	-239	25700	27.6
	8	-240	28100	27.6
E 上段	1	-382	451	1.5
	2	-366	622	2.2
	3	-302	1230	4.5
	4	-238	954	3.4
	5	-234	1670	5.3
	6	-220	1900	5.7
	7	-207	2440	6.1
	8	-187	1100	3.4
G 上段	1	-351	1020	3.2
	2	-278	1110	3.5
	3	-341	206	4.6
	4	-230	760	2.8
	5	-243	1310	4.6
	6	-245	1030	3.5
	7	-244	805	2.7
	8	-	-	-

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗(kΩ・cm ²)	見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)
BB 上段	1	-472	747	2.0
	2	-472	731	2.0
	3	-436	514	1.4
	4	-	-	-
	5	-485	663	1.9
	6	-465	320	1.1
	7	-389	331	2.3
CC 上段	1	-338	852	2.6
	1	-	699	2.2
	2	-334	-	-
	3	-	-	-
	4	-	693	2.2
	5	-324	854	2.7
DD 上段	6	-251	1050	4.0
	7	-228	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
	4	-360	926	2.8
	5	-304	1620	4.4
	6	-262	1180	3.1
EE 上段	7	-238	1040	2.7
	1	-379	1010	3.5
	1	-347	1230	4.2
	2	-369	1570	5.3
	3	-338	1440	5.0
	4	-311	1330	4.4
	5	-267	969	3.5
FF 上段	6	-251	895	3.2
	7	-248	1360	3.9
	2	-328	1670	4.7
	3	-326	1950	5.3
	4	-288	1570	4.4
	5	-260	1710	4.6
	6	-266	661	2.5
GG 上段	7	-260	669	2.1
	1	-	-	-
	2	-287	1090	3.9
	3	-272	1070	3.9
	4	-266	1190	4.8
	5	-217	1090	3.6
	6	-207	871	3.2
HH 上段	7	-213	575	2.1
	1	-	-	-
	2	-308	1380	3.9
	3	-292	1710	4.8
	4	-284	1500	4.4
	5	-222	1540	4.3
	6	-243	1210	3.4
7	-243	968	2.7	

10. 鉄筋の力学的性質

鉄筋の引張試験結果を以下に示す。試験片は A-S2 上段鉄筋から採取した。

種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
D13	386	544	192

11. 鉄筋の質量減少率

(1) 測定方法

A-S1 についてはひび割れ発生部を含む下段鉄筋 2 本を、A-S2~4 については曲げ载荷試験後の曲げスパン中央部の鉄筋を約 200mm はつり出し、腐食による鉄筋の質量減少を測定した。A-S2 および A-S3 の下段および上段鉄筋は、大部分が目視により健全な鉄筋であると判断できるため、質量減少率を 0.0% と評価した。目視により腐食の発生が確認された鉄筋については、約 100mm 毎に切断し、サンドブラスト処理、10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液への浸せき (60℃, 約 1 日) 後に金ブラシ・サンダー処理を行うことにより腐食生成物を除去した。除錆した鉄筋の単位長さあたりの質量を測定し、鉄筋の質量減少率を算出した。

(2) 測定結果

測定結果を以下に示す。部材 No., 鉄筋 No., エリア No.は2. (1)~(4) b)を参照のこと。

部材 No.	鉄筋 No.	部材探部からの距離 (mm) エリア No.1 側から	質量減少率 (%)
A-S1 下段	DD	0 ~ 100	0.3
		100 ~ 200	2.4
		200 ~ 300	5.9
		300 ~ 400	13.3
		400 ~ 500	34.1
		500 ~ 600	30.9
		600 ~ 700	24.4
		700 ~ 800	4.7
		800 ~ 900	0.1
		900 ~ 1000	0.3
		1000 ~ 1100	0.4
		1100 ~ 1200	0.3
		1200 ~ 1300	0.4
		1300 ~ 1400	0.0
	1400 ~ 1500	1.0	
	EE	0 ~ 100	13.8
		100 ~ 200	2.3
		200 ~ 300	10.5
		300 ~ 400	22.1
		400 ~ 500	30.9
		500 ~ 600	31.2
		600 ~ 700	9.6
		700 ~ 800	6.7
		800 ~ 900	2.6
		900 ~ 1000	1.5
		1000 ~ 1100	1.6
		1100 ~ 1200	1.7
		1200 ~ 1300	2.1
1300 ~ 1400		2.0	
1400 ~ 1500	2.1		

部材 No.	鉄筋 No.	エリア No.	サンプル No.	質量減少率 (%)
A-S2 下段	AA	4	1	0.0
	AA	4	2	0.0
	BB	4	1	0.0
	BB	4	2	0.0
	CC	4	1	0.0
	CC	4	2	0.0
	DD	4	1	0.0
	DD	4	2	0.0
	EE	4	1	0.0
	EE	4	2	0.0
	FF	4	1	0.0
	FF	4	2	0.0
	GG	4	1	0.0
	GG	4	2	0.0
A-S3 下段	HH	4	1	0.0
	HH	4	2	0.0
	AA	4	1	39.2
	AA	4	2	21.9
	BB	4	1	31.9
	BB	4	2	28.3
	CC	4	1	0.0
	CC	4	2	0.0
	DD	4	1	0.0
	DD	4	2	0.0
	EE	4	1	0.0
	EE	4	2	0.0
	FF	4	1	0.0
	FF	4	2	0.0
FF	4	3	0.0	
GG	4	1	0.0	
GG	4	2	0.0	
HH	4	1	0.0	
HH	4	2	0.0	

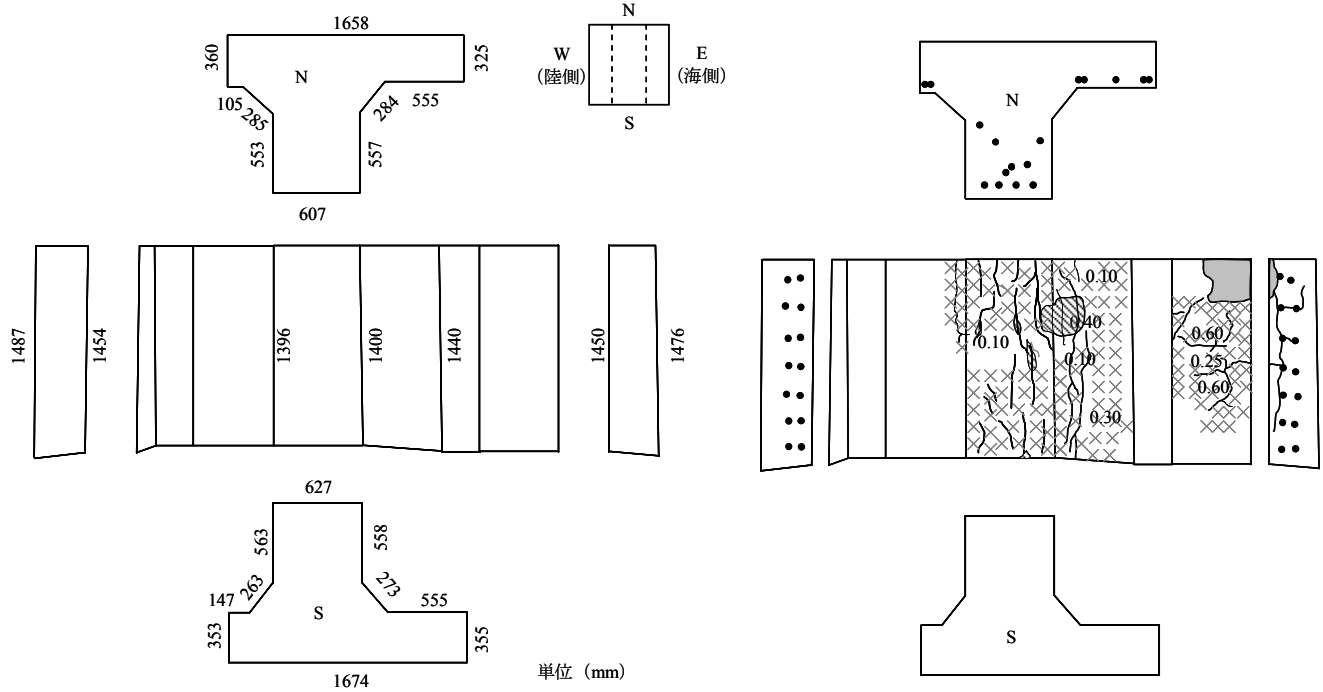
部材 No.	鉄筋 No.	エリア No.	サンプル No.	質量減少率 (%)
A-S4 下段	AA	4	1	24.5
	AA	4	2	26.7
	BB	4	1	70.2
	BB	4	2	47.7
	CC	4	1	55.0
	CC	4	2	31.2
	CC	4	1	31.7
	DD	4	3	56.8
	DD	4	2	51.7
	EE	4	1	44.3
	EE	4	2	53.5
	FF	4	1	61.8
	FF	4	2	64.9
	GG	4	1	22.0
GG	4	2	43.0	
HH	4	1	37.9	
HH	4	2	38.4	
A-S4 上段	AA	4	1	11.4
	AA	4	2	11.4
	CC	4	1	0.0
	CC	4	2	0.0
	EE	4	1	0.0
	EE	4	2	0.0
	GG	4	1	0.0
GG	4	2	0.0	

Ⅲ. はり

1. 外観観察および計測位置

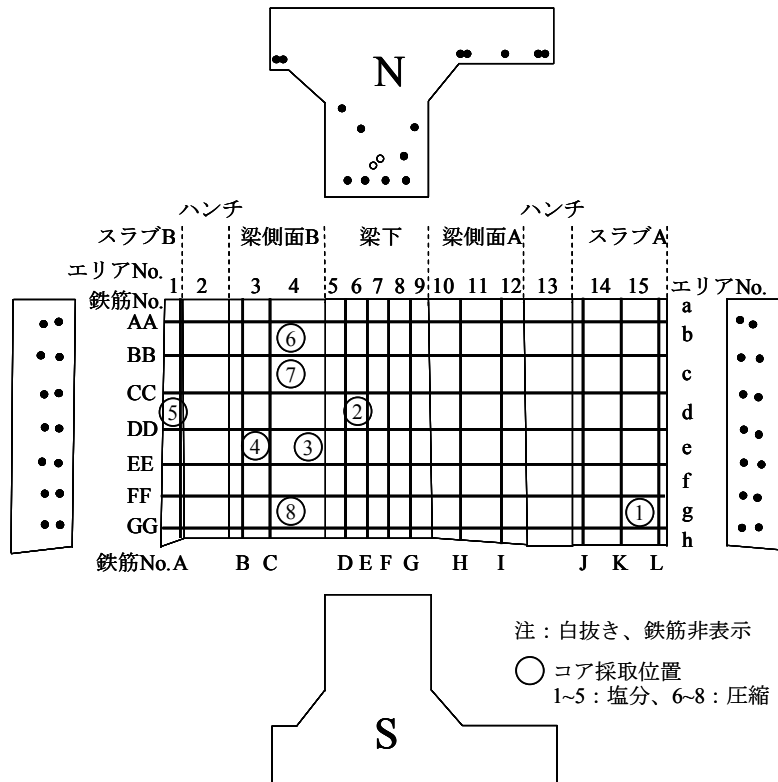
(1) A-B1

a) 部材寸法および外観観察



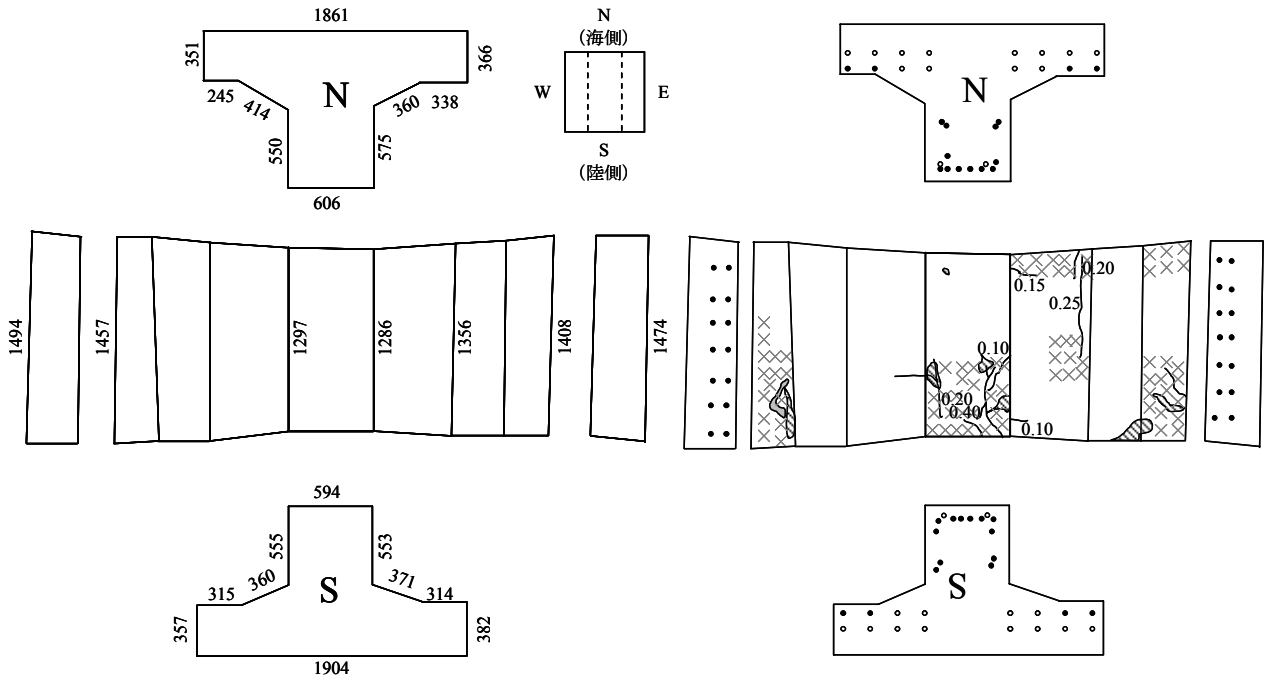
単位 (mm)

b) コア採取, 鉄筋計測位置等

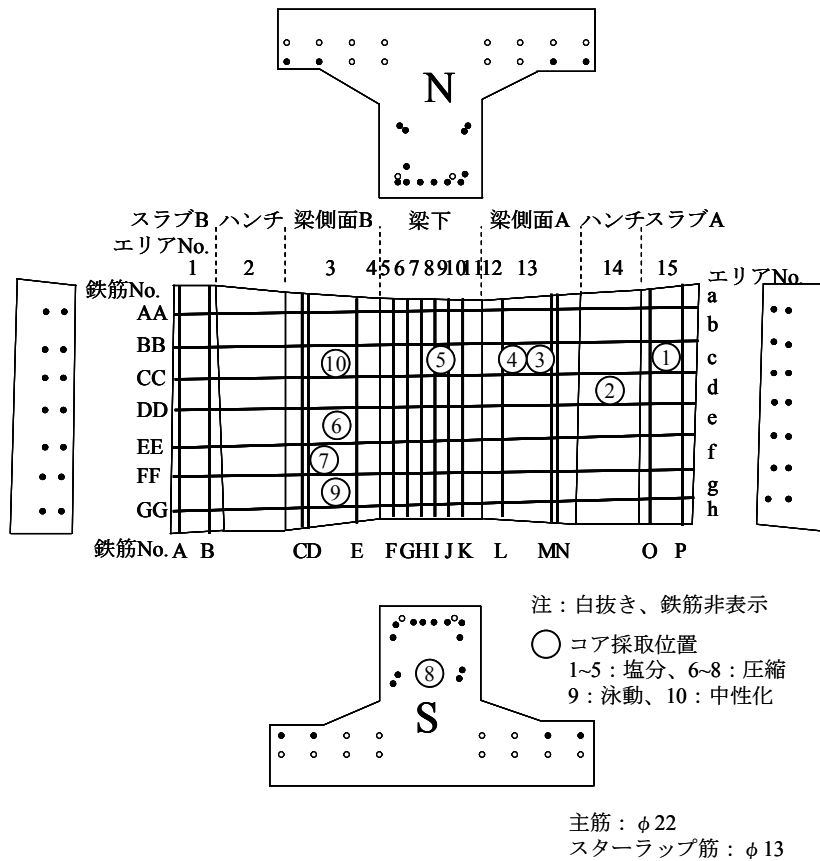


(2) A-B2

a) 部材寸法および外観観察



b) コア採取, 鉄筋計測位置等



2. かぶり

A-B1 および A-B2 の各側面より測定された各鉄筋のかぶりを以下に示す。鉄筋 No.については、Ⅲ- 1.(1) b)および(2) b)を参照のこと。

A-B1			単位：mm			A-B2			単位：mm		
鉄筋 No.	N	S	鉄筋 No.	W	E	鉄筋 No.	N	S	鉄筋 No.	W	E
A	42	47	AA	62	-	A	55	60	AA	48	45
B	100	107	BB	66	66	B	56	50	BB	46	46
C	111	130	CC	65	69	C	44	57	CC	48	46
D	113	107	DD	63	73	D	126	90	DD	48	49
E	110	110	EE	63	69	E	95	107	EE	46	49
F	107	107	FF	64	72	F	116	120	FF	48	45
G	106	100	GG	62	54	G	112	117	GG	46	44
H	81	80				H	107	115			
I	108	106				I	105	114			
J	37	68				J	107	116			
K	40	52				K	106	114			
L	-	50				L	94	94			
						M	64	115			
						N	68	76			
						O	51	41			
						P	59	65			

3. コンクリートの圧縮強度

各部材のφ100mm コアの圧縮強度およびヤング率を示す。コアは数日間水道水（20℃）に水浸させた後、圧縮試験に供した。コア No.については、Ⅲ- 1.(1) b)および(2) b)を参照のこと。

部材 No.	コア No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)
A-B1	6	33.3	-
	7	34.0	13.5
	8	33.3	17.1
A-B2	6	27.0	11.0
	7	35.5	11.8
	8	41.4	16.5

4. コンクリートの中性化深さ

各部材のφ100mm コアの中性化深さを示す。コア No.については、Ⅲ- 1.(1) b)および(2) b)を参照のこと。

部材 No.	コア No.	中性化深さ (mm)
A-B1	1	0.0
	2	0.0
	4	2.3
	5	1.4
A-B2	2	0.2
	3	5.2
	10	3.8

5. コンクリート中の塩化物イオン量

コンクリート中の塩化物イオン量を以下に示す。測定は JCI-SC4 に準拠して全塩分量について行った。コア No.については、Ⅲ- 1.(1) b)および(2) b)を参照のこと（コア径は全て $\phi 100\text{mm}$ ）。

A-B1

コア No.	場所	コンクリート中の塩化物イオン量分布							
		d (mm)	10	30	50	70	90	150	200
1	スラブ	d (mm)	10	30	50	70	90	150	200
		Cl ⁻ (kg/m ³)	9.1	5.8	4.7	7.0	3.8	7.7	3.2
2	梁下	d (mm)	10	50	70	90	130	150	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	18.6	9.0	8.8	5.8	4.4	4.2	-
3	梁側面	d (mm)	10	30	50	70	90	120	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	10.3	12.2	8.2	8.8	7.9	2.1	-
4	梁側面	d (mm)	10	30	50	70	90	150	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	12.5	9.8	8.6	6.8	5.8	2.6	-
5	スラブ	d (mm)	10	30	50	70	90	150	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	12.4	9.5	4.8	4.6	3.1	1.5	-

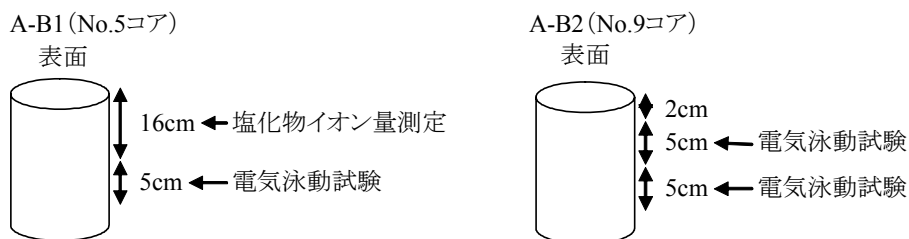
A-B2

コア No.	場所	コンクリート中の塩化物イオン量分布							
		d (mm)	10	30	50	70	90	110	170
1	スラブ	d (mm)	10	30	50	70	90	110	170
		Cl ⁻ (kg/m ³)	12.9	3.9	2.2	2.0	1.7	2.2	1.8
2	ハンチ	d (mm)	10	30	50	70	90	130	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	8.9	4.7	3.4	2.1	1.9	1.5	-
3	梁側面	d (mm)	10	20	30	40	-	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	18.3	13.9	12.5	10.1	-	-	-
4	梁側面	d (mm)	10	20	30	40	-	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	14.9	10.0	10.7	10.4	-	-	-
5	梁下	d (mm)	10	30	50	70	90	-	-
		Cl ⁻ (kg/m ³)	14.1	8.5	8.5	5.7	3.2	-	-

6. コンクリートの実効拡散係数

電気泳動法により測定したコンクリートの実効拡散係数を以下に示す。試験は、土木学会規準「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法（案）」（JSCE-G571-2003）に準拠して、 $\phi 100\text{mm}$ 、厚さ 50mm のコアを用いて行った（下図参照）。コア No.については、Ⅲ- 1.(1) b)および(2) b)を参照のこと。

部材 No.	コア No.	実効拡散係数 (cm ² /年)	
A-B1	5	0.55	
A-B2	9	上側	1.13
		下側	0.99



7. 電気化学特性値

(1) 測定方法

四国総合研究所社製 SRI-CM-III を用い、自然電位、分極抵抗およびコンクリート抵抗の測定を行った。自然電位の測定には飽和 KCl-Ag/AgCl 電極を用い、分極抵抗は交流インピーダンス法により測定した。負荷電圧は 10mV 、周波数は

10Hz/20mHz である。切断面の鉄筋にリード線をはんだで接着することにより電氣的導通を確保した。測定は、測定箇所表面をディスクサンダーで削り、水道水で湿潤させたウェスを1～2時間かぶせた後に行った。

(2) 測定結果

A-B1 および A-B2 の電気化学特性値の測定結果を以下に示す。鉄筋 No., エリア No. については、III-1.(1)b)および(2)b)を参照のこと。

A-B1

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV vs. Ag/AgCl)	見かけの分極抵抗 (kΩ·cm ²)	見かけの コンクリート抵抗 (kΩ)
B 梁側面	a	-	-	-
	b	-249	4.4	1.9
	c	-267	2.3	1.8
	d	-249	2.5	1.5
	e	-234	2.7	1.5
	f	-203	3.5	1.6
	g	-238	2.9	1.9
C 梁側面	a	-	-	-
	b	-241	9.7	2.2
	c	-250	7.6	1.9
	d	-311	13.3	3.5
	e	-268	13.0	2.9
	f	-245	8.6	2.2
	g	-243	6.2	1.9
D 梁下	a	-	-	-
	b	-96	10.4	2.1
	c	-80	4.7	1.9
	d	-145	6.1	1.7
	e	-221	13.2	2.8
	f	-135	10.1	2.0
	g	-124	12.0	2.6
E 梁下	a	-	-	-
	b	-45	7.8	2.2
	c	-28	4.4	1.6
	d	-34	2.4	1.1
	e	-203	13.9	2.8
	f	-93	7.9	1.6
	g	-78	8.6	1.8
F 梁下	a	-	-	-
	b	-58	9.2	2.3
	c	-38	5.5	1.9
	d	-	-	-
	e	-203	11.9	2.4
	f	-120	7.3	1.5
	g	-85	9.3	2.0
G 梁下	a	-	-	-
	b	-60	14.8	3.7
	c	-72	3.7	1.5
	d	-181	8.1	2.1
	e	-228	14.4	2.9
	f	-183	11.3	2.3
	g	-153	10.9	2.3
H 梁側面	a	-	-	-
	b	-169	5.4	1.2
	c	-158	3.3	1.1
	d	-207	1.4	0.9
	e	-221	2.1	1.4
	f	-211	2.3	1.3
	g	-172	4.7	1.5
I 梁側面	a	-	-	-
	b	-179	11.5	2.6
	c	-195	12.9	2.9
	d	-176	10.4	2.3
	e	-150	10.4	2.3
	f	-153	11.8	2.7
	g	-169	15.0	3.2
K スラブ	a	-	-	-
	b	-278	79.5	1.9
	c	-210	32.1	1.4
	d	-215	5.8	1.6
	e	-213	6.2	1.5
	f	-248	8.4	1.7
	g	-251	10.2	2.1
L スラブ	a	-	-	-
	b	-	-	-
	c	-170	29.2	1.2
	d	-185	45.8	1.5
	e	-219	5.9	1.5
	f	-271	10.6	2.1
	g	-267	14.0	2.9

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV vs. Ag/AgCl)	見かけの分極抵抗 (kΩ·cm ²)	見かけの コンクリート抵抗 (kΩ)
AA	3	-228	4.4	2.1
	6	-77	17.4	3.6
	7	-67	15.6	3.1
	8	-84	16.9	3.6
	11	-184	3.3	1.1
	14	-268	8.8	1.8
	15	-	-	-
BB	3	-259	5.0	2.1
	6	-63	10.6	2.3
	7	-39	8.6	1.8
	8	-62	9.5	2.0
	11	-227	6.8	1.8
	14	-270	6.2	1.4
	15	-239	6.8	1.4
CC	3	-251	4.7	1.7
	6	-64	7.3	1.6
	7	-31	6.7	1.5
	8	-85	8.1	1.8
	11	-228	6.0	1.4
	14	-235	6.0	1.3
	15	-190	8.1	1.7
DD	3	-233	4.5	1.7
	6	-241	15.4	3.2
	7	-185	13.2	2.8
	8	-148	7.2	1.5
	11	-214	5.0	1.4
	14	-241	9.8	2.2
	15	-209	7.4	1.6
EE	3	-236	18.6	2.1
	6	-186	7.4	1.7
	7	-141	8.0	1.8
	8	-183	8.5	1.8
	11	-192	6.6	1.4
	14	-251	9.2	2.1
	15	-250	9.5	2.2
FF	3	-226	2.5	1.7
	6	-123	10.0	2.4
	7	-117	10.5	2.4
	8	-118	13.6	3.0
	11	-190	6.0	1.4
	14	-249	7.9	1.7
	15	-277	9.2	2.0
GG	3	-252	5.5	2.5
	6	-111	10.8	2.5
	7	-65	7.4	1.6
	8	-136	14.2	3.2
	11	-220	12.4	2.5
	14	-241	9.1	2.0
	15	-	-	-

A-B2

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV vs. Ag/AgCl)	見かけの分極抵抗 (kΩ·cm ²)	見かけの コンクリート抵抗 (kΩ)
A スラブ	a	-	-	-
	b	-269	2.5	6.4
	c	-	-	-
	d	-265	1.7	4.2
	e	-277	1.7	4.4
	f	-	-	-
	g	-233	1.1	2.6
C 梁側面	a	-	-	-
	b	-290	4.6	1.4
	c	-	-	-
	d	-297	1.2	1.6
	e	-	-	-
	f	-299	4.5	2.2
	g	-	-	-
E 梁側面	a	-	-	-
	b	-250	9.0	2.8
	c	-	-	-
	d	-275	4.8	1.4
	e	-	-	-
	f	-319	4.3	1.2
	g	-	-	-
F 梁下	a	-	-	-
	b	-215	11.2	3.1
	c	-	-	-
	d	-289	7.7	2.0
	e	-	-	-
	f	-188	4.5	1.3
	g	-	-	-
H 梁下	a	-	-	-
	b	-335	9.4	2.4
	c	-	-	-
	d	-408	6.1	1.6
	e	-	-	-
	f	-231	4.9	1.4
	g	-	-	-
I 梁下	a	-	-	-
	b	-324	12.0	2.5
	c	-	-	-
	d	-374	7.2	1.6
	e	-	-	-
	f	-191	4.4	1.2
	g	-	-	-
K 梁下	a	-	-	-
	b	-295	11.0	2.3
	c	-	-	-
	d	-308	11.5	2.3
	e	-	-	-
	f	-183	7.6	1.5
	g	-	-	-
L 梁側面	a	-	-	-
	b	-313	3.9	2.4
	c	-	-	-
	d	-351	5.4	1.6
	e	-	-	-
	f	-274	6.3	1.9
	g	-	-	-
M 梁側面	a	-	-	-
	b	-290	4.0	1.1
	c	-	-	-
	d	-270	4.1	1.1
	e	-	-	-
	f	-279	6.1	1.7
	g	-	-	-
O スラブ	a	-	-	-
	b	-252	4.4	1.0
	c	-285	5.0	1.1
	d	-342	8.3	1.8
	e	-298	11.6	2.4
	f	-287	8.6	1.8
	g	-252	3.0	0.9

鉄筋 No.	エリア No.	自然電位 (mV vs. Ag/AgCl)	見かけの分極抵抗 (kΩ·cm ²)	見かけの コンクリート抵抗 (kΩ)	
AA	1	-279	14.7	4.4	
	2	-277	8.0	2.4	
	3	-297	5.6	2.3	
	6	-305	11.6	3.1	
	8	-332	12.0	3.3	
	9	-	-	-	
	10	-409	3.0	10.4	
	11	-	-	-	
	12	-	-	-	
	13	-316	4.4	1.3	
	14	-	-	-	
	15	-	-	-	
	BB	1	-	-	-
		2	-	-	-
		3	-	-	-
6		-	-	-	
8		-	-	-	
9		-	-	-	
10		-	-	-	
11		-	-	-	
12		-	-	-	
13		-	-	-	
14		-289	6.2	1.6	
15		-257	5.9	1.6	
CC		1	-296	7.1	2.2
		2	-258	5.8	1.8
		3	-293	6.2	2.5
	6	-349	13.3	3.6	
	8	-372	7.5	1.8	
	9	-	-	-	
	10	-379	3.6	3.6	
	11	-	-	-	
	12	-	-	-	
	13	-276	9.5	2.6	
	14	-	-	-	
	15	-	-	-	
	DD	1	-	-	-
		2	-	-	-
		3	-312	6.6	2.6
6		-356	5.3	1.6	
8		-336	6.0	1.8	
9		-	-	-	
10		-347	5.2	1.6	
11		-	-	-	
12		-	-	-	
13		-295	11.8	3.0	
14		-322	10.3	2.7	
15		-340	10.3	3.0	
EE		1	-281	15.0	4.7
		2	-241	3.1	1.1
		3	-	-	-
	6	-	-	-	
	8	-	-	-	
	9	-	-	-	
	10	-	-	-	
	11	-	-	-	
	12	-	-	-	
	13	-	-	-	
	14	-	-	-	
	15	-	-	-	
	FF	1	-	-	-
		2	-	-	-
		3	-305	6.0	2.6
6		-265	6.5	2.0	
8		-213	6.6	2.0	
9		-	-	-	
10		-256	11.3	3.2	
11		-	-	-	
12		-	-	-	
13		-306	7.5	2.1	
14		-311	3.3	1.0	
15		-319	5.2	1.4	

8. 鉄筋の質量減少率

(1) 測定方法

鉄筋をはつり出し、サンドブラスト処理、10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液への浸せき(60℃, 2日)、金ブラシ・サンダー処理により腐食生成物を除去した。除錆した鉄筋の単位長さあたりの質量を測定し、鉄筋の質量減少率を算出した。

(2) 測定結果

測定結果を以下に示す。鉄筋 No., エリア No. については, III- 1.(1) b)および(2) b)を参照のこと。

A-B1

鉄筋 No.	エリア No.	部材探部からの距離 (mm) N 側から		鉄筋長 (mm)	質量減少率 (%)
A スラブ	a	0	~ 200	200	1.6
	b	200	~ 400	200	1.2
	c	400	~ 600	200	7.0
	d	600	~ 650	50	12.9
	d	650	~ 800	150	3.3
	e	800	~ 1000	200	1.7
	f	1000	~ 1200	200	3.5
	g	1200	~ 1400	200	16.0
B 梁側面	a	0	~ 200	200	1.9
	b	200	~ 400	200	3.7
	c	400	~ 600	200	3.4
	d	600	~ 800	200	2.6
	e	800	~ 1000	200	4.0
	f	1000	~ 1200	200	1.2
	g	1200	~ 1400	200	2.5
	D 梁下	a	0	~ 100	100
a		100	~ 200	100	9.3
b		200	~ 300	100	18.4
b		300	~ 400	100	12.1
c		400	~ 500	100	24.2
c		500	~ 600	100	8.3
d		600	~ 800	200	3.5
e		800	~ 1000	200	-
f		1000	~ 1200	200	2.7
g		1200	~ 1400	200	3.0
E 梁下	a	0	~ 200	200	3.4
	b	200	~ 400	200	3.0
	c	400	~ 600	200	3.2
	d	600	~ 800	200	-
	e	800	~ 1000	200	4.2
	f	1000	~ 1200	200	6.5
	g	1200	~ 1400	200	4.5
	F 梁下	a	0	~ 200	200
b		200	~ 400	200	4.3
c		400	~ 600	200	3.3
d		600	~ 800	200	3.3
e		800	~ 1000	200	3.3
f		1000	~ 1200	200	3.3
g		1200	~ 1400	200	3.5
G 梁下		a	0	~ 100	100
	a	100	~ 200	100	21.5
	b	200	~ 280	80	25.0
	b	280	~ 300	20	28.7
	b	300	~ 400	100	12.9
	c	400	~ 500	100	21.6
	c	500	~ 600	100	11.0
	d	600	~ 700	100	12.4
	d	700	~ 800	100	2.1
	e	800	~ 950	150	1.6
	e	950	~ 1000	50	11.0
	f	1000	~ 1100	100	15.4
	f	1100	~ 1200	100	10.4
	g	1200	~ 1250	50	20.3
	g	1250	~ 1300	50	31.0
g	1300	~ 1400	100	11.5	
I 梁側面	a	0	~ 100	100	27.5
	a	100	~ 200	100	10.9
	b	200	~ 400	200	2.1
	c	400	~ 600	200	5.2
	d	600	~ 800	200	5.4
	e	800	~ 1000	200	17.7
	f	1000	~ 1100	100	14.4
	f	1100	~ 1200	100	6.6
	g	1200	~ 1400	200	1.5
J スラブ	a	0	~ 200	200	2.4
	b	200	~ 400	200	2.3
	c	400	~ 500	100	2.1
	c	500	~ 600	100	9.6
	d	600	~ 800	200	3.5
	f	800	~ 1000	200	0.3
	e	1000	~ 1200	200	1.2
	g	1200	~ 1400	200	1.5

A-B2

鉄筋 No.	エリア No.	部材探部からの距離 (mm)	N 側から	鉄筋長 (mm)	質量減少率 (%)	
B スラブ	ab	0	~ 200	200	0.1	
	c	200	~ 400	200	0.0	
	d	400	~ 600	200	0.0	
	e	600	~ 800	200	0.0	
	f	800	~ 1000	200	0.5	
	g	1000	~ 1200	200	7.2	
	h	1200	~ 1300	100	12.9	
	h	1300	~ 1400	100	30.5	
	F 梁下	ab	0	~ 200	200	1.5
c		200	~ 400	200	1.2	
d		400	~ 600	200	0.7	
e		600	~ 800	200	2.5	
f		800	~ 1000	200	9.5	
g		1000	~ 1200	200	1.7	
h		1200	~ 1400	200	-	
G 梁下		ab	0	~ 200	200	3.7
	c	200	~ 400	200	2.9	
	d	400	~ 600	200	2.9	
	e	600	~ 800	200	4.1	
	f	800	~ 1000	200	8.6	
	g	1000	~ 1200	200	4.3	
	h	1200	~ 1400	200	-	
	H 梁下	ab	0	~ 200	200	4.0
c		200	~ 400	200	3.2	
d		400	~ 600	200	3.1	
e		600	~ 800	200	3.6	
f		800	~ 1000	200	3.7	
g		1000	~ 1200	200	3.5	
h		1200	~ 1400	200	-	
I 梁下		ab	0	~ 200	200	3.7
	c	200	~ 400	200	4.0	
	d	400	~ 600	200	4.3	
	e	600	~ 800	200	3.9	
	f	800	~ 1000	200	3.7	
	g	1000	~ 1200	200	3.3	
	h	1200	~ 1400	200	-	
	J 梁下	ab	0	~ 200	200	2.6
c		200	~ 400	200	2.4	
d		400	~ 600	200	2.8	
e		600	~ 800	200	2.9	
f		800	~ 1000	200	8.2	
g		1000	~ 1200	200	3.3	
h		1200	~ 1400	200	-	
K 梁下		ab	0	~ 200	200	6.7
	c	200	~ 400	200	-	
	d	400	~ 600	200	3.1	
	e	600	~ 800	200	4.1	
	f	800	~ 1000	200	10.3	
	g	1000	~ 1200	200	13.1	
	h	1200	~ 1400	200	-	
	M 梁下	ab	0	~ 100	100	36.6
b		100	~ 200	100	19.8	
c		200	~ 300	100	17.9	
c		300	~ 400	100	18.5	
d		400	~ 500	100	16.5	
d		500	~ 600	100	5.5	
e		600	~ 800	200	3.0	
f		800	~ 1000	200	3.1	
g		1000	~ 1200	200	2.5	
h		1200	~ 1400	200	-	
O スラブ		ab	0	~ 200	200	0.7
	c	200	~ 400	200	0.7	
	d	400	~ 600	200	1.9	
	e	600	~ 700	100	9.5	
	e	700	~ 750	50	31.5	
	e	750	~ 800	50	24.6	
	f	800	~ 900	100	22.6	
	f	900	~ 1000	100	30.0	
	g	1000	~ 1050	50	47.8	
	g	1050	~ 1100	50	22.1	
	g	1100	~ 1200	100	35.9	
	h	1200	~ 1250	50	25.1	
	h	1250	~ 1400	150	2.6	
	P 梁下	ab	0	~ 200	200	1.0
		c	200	~ 400	200	0.5
d		400	~ 600	200	1.0	
e		600	~ 800	200	0.6	
f		800	~ 1000	200	0.6	
g		1000	~ 1200	200	0.6	
h		1200	~ 1400	200	0.5	

IV. 投稿論文

- 1) 横沢篤, 加藤絵万, 横田弘, 下村匠: 供用 40 年が経過した RC 栈橋上部工の劣化と構造性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, 2005 年, pp.1591-1596.
- 2) 横沢篤, 加藤絵万, 横田弘, 下村匠: 供用 40 年が経過した RC 栈橋上部工の材料劣化と既存耐荷性能に関する実験的検討, 第 23 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 2005 年, pp.264-267.
- 3) Ema Kato, Atushi Yokozawa, Yoshikazu Akira and Hiroshi Yokota: Study on Durability of RC Deck of an Existing Pier, Proc. of New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, Singapore, 2005, pp.69-78.

付録B B港栈橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状

I. 部材概要

調査対象とした栈橋上部工は、1965年に供用が開始され、2004年に撤去されたものである。上部工の使用材料やコンクリートの配合に関する情報は不明である。以降、床版に関するデータをⅡに、はりに関するデータをⅢに示す。

Ⅱ. 床版

床版には、建設当初、丸鋼（φ13）が2段に配筋されていたことが考えられるが、上縁コンクリートと上段鉄筋は、排水設備の整備のため供用中に一部切除され、切削部はアスファルトにより再度舗装された状態であった。底面には、打設時に使用したと考えられるアスファルトルーフィングが附着しており、その一部にひび割れや剥離が確認された。図-B.Ⅱ.1～4にアスファルトルーフィングの除去前後のB-S1およびB-S2底面の劣化状況を示す。

ここで、本調査においては、B-S1およびB-S2をそれぞれ4分割し、劣化詳細調査（対象はB-S1-AおよびB-S2-B）、および載荷試験（対象はB-S1-1～3およびB-S2-1～3）を行った。同図に分割線を示す。以降、B-S1-AおよびB-S2-Bに関するデータをⅡ-①に、B-S1-1～3およびB-S2-1～3に関するデータをⅡ-②に示す。

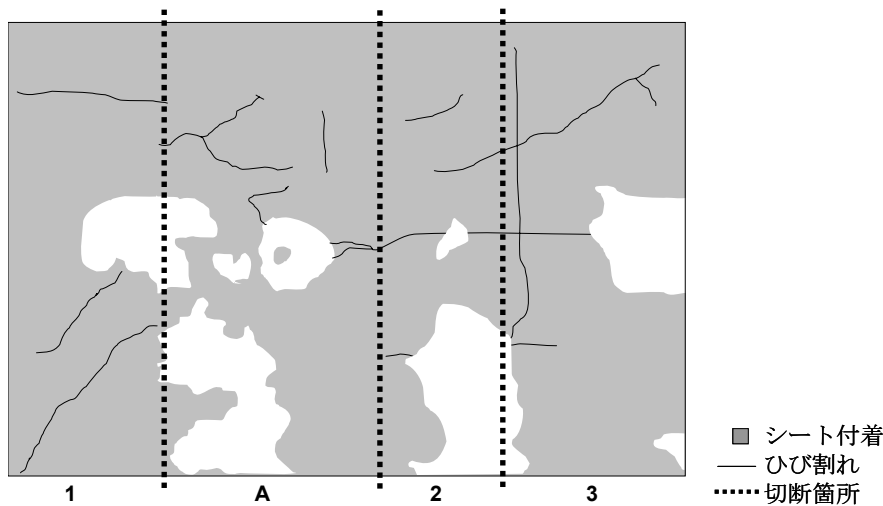


図-B.Ⅱ.1 底面の劣化状況（B-S1）

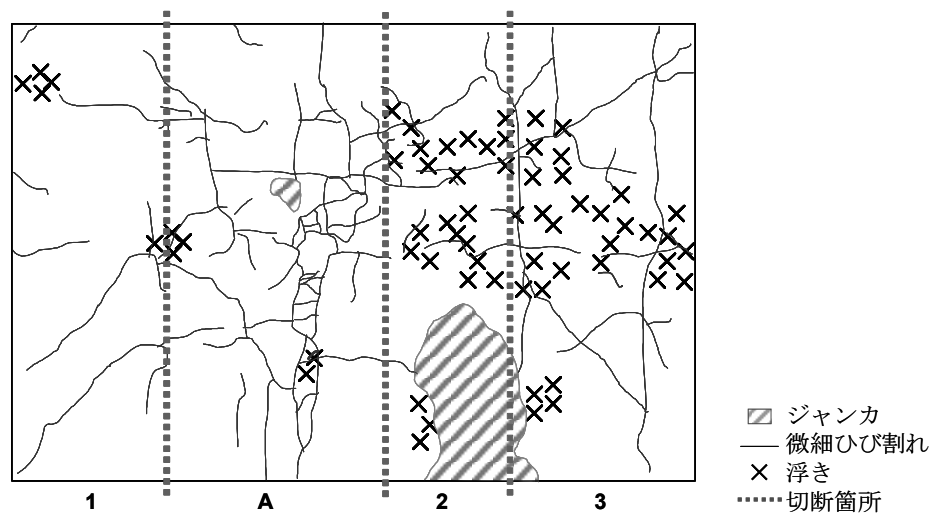


図-B.Ⅱ.2 底面の劣化状況（シート除去後）（B-S1）

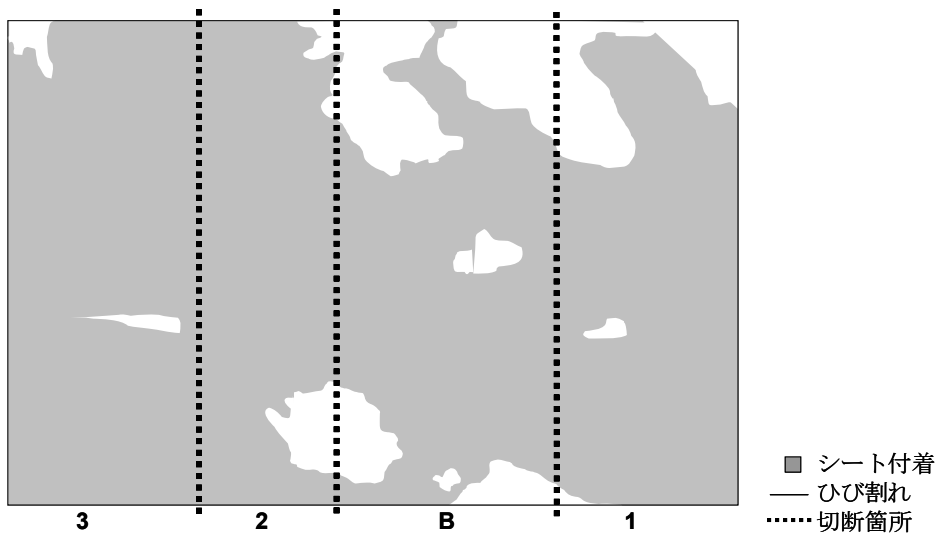


図-B. II. 3 底面の劣化状況 (B-S2)

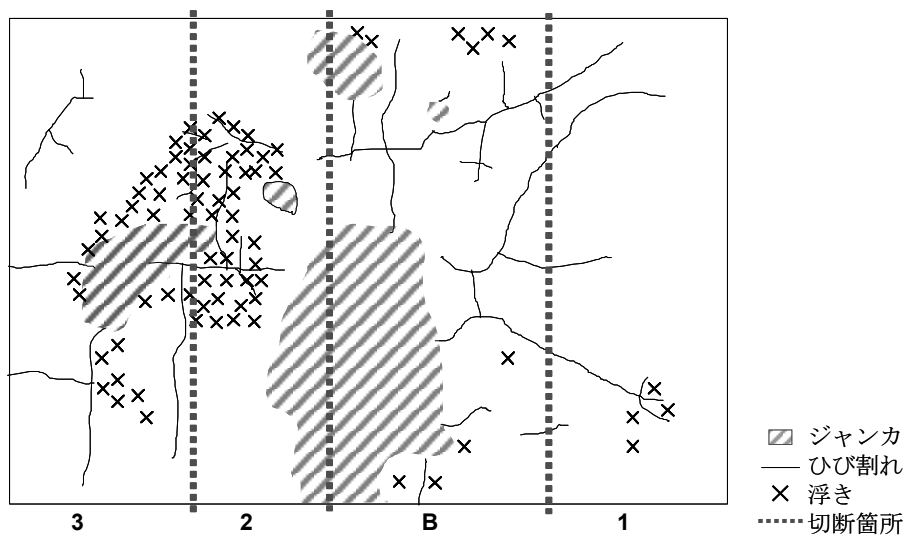


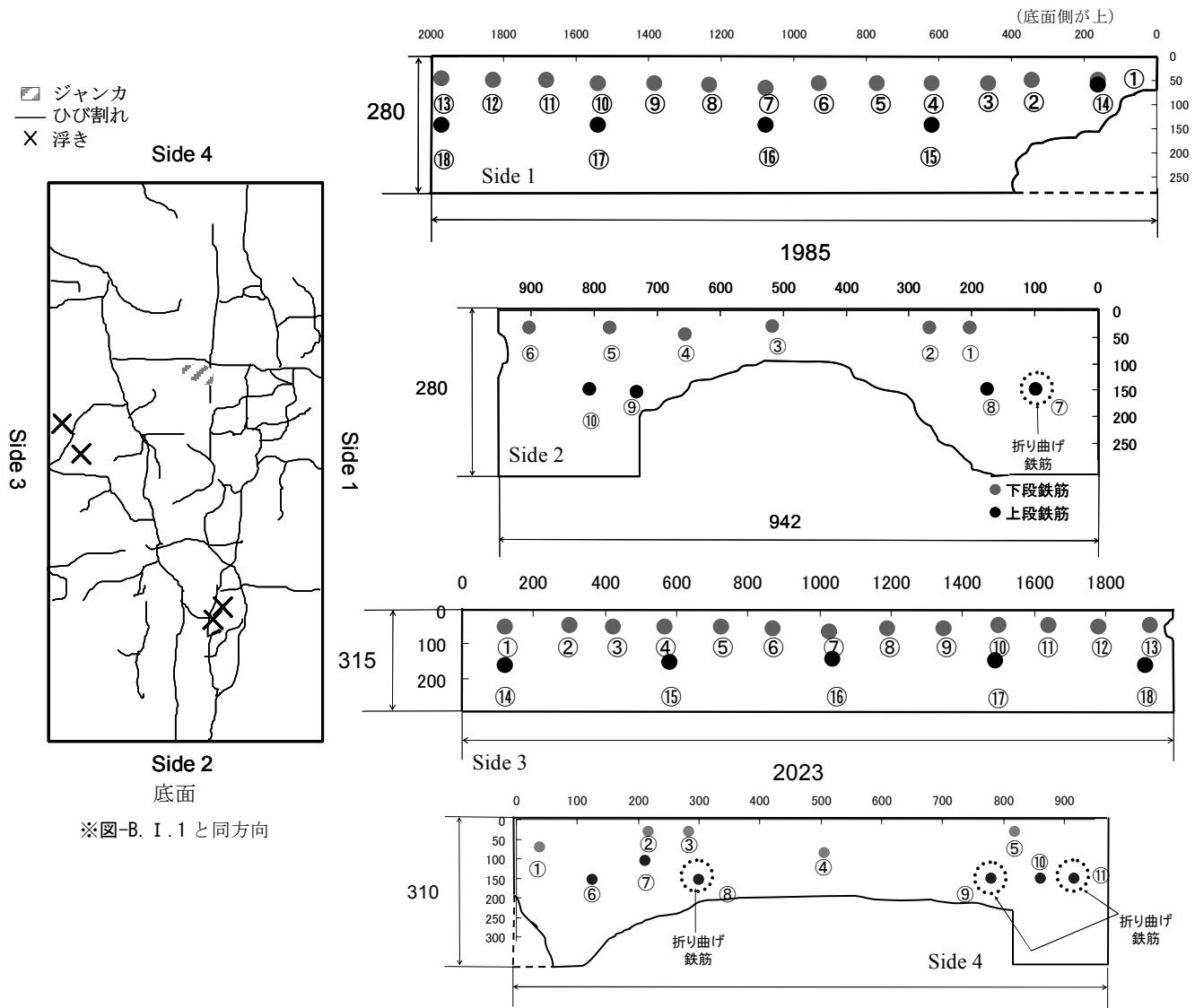
図-B. II. 4 底面の劣化状況 (シート除去後) (B-S2)

II-① B-S1-A および B-S2-B

1. 外観観察およびコア採取位置

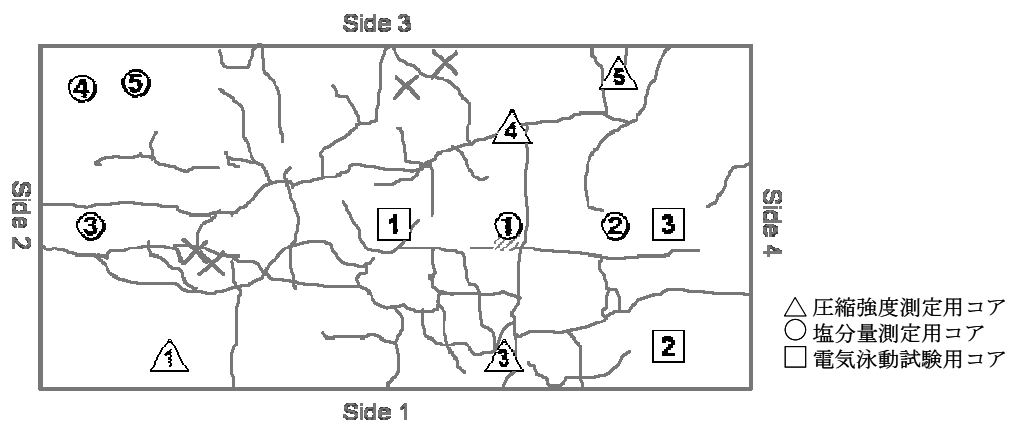
(1) B-S1-A

a) 部材寸法および外観観察



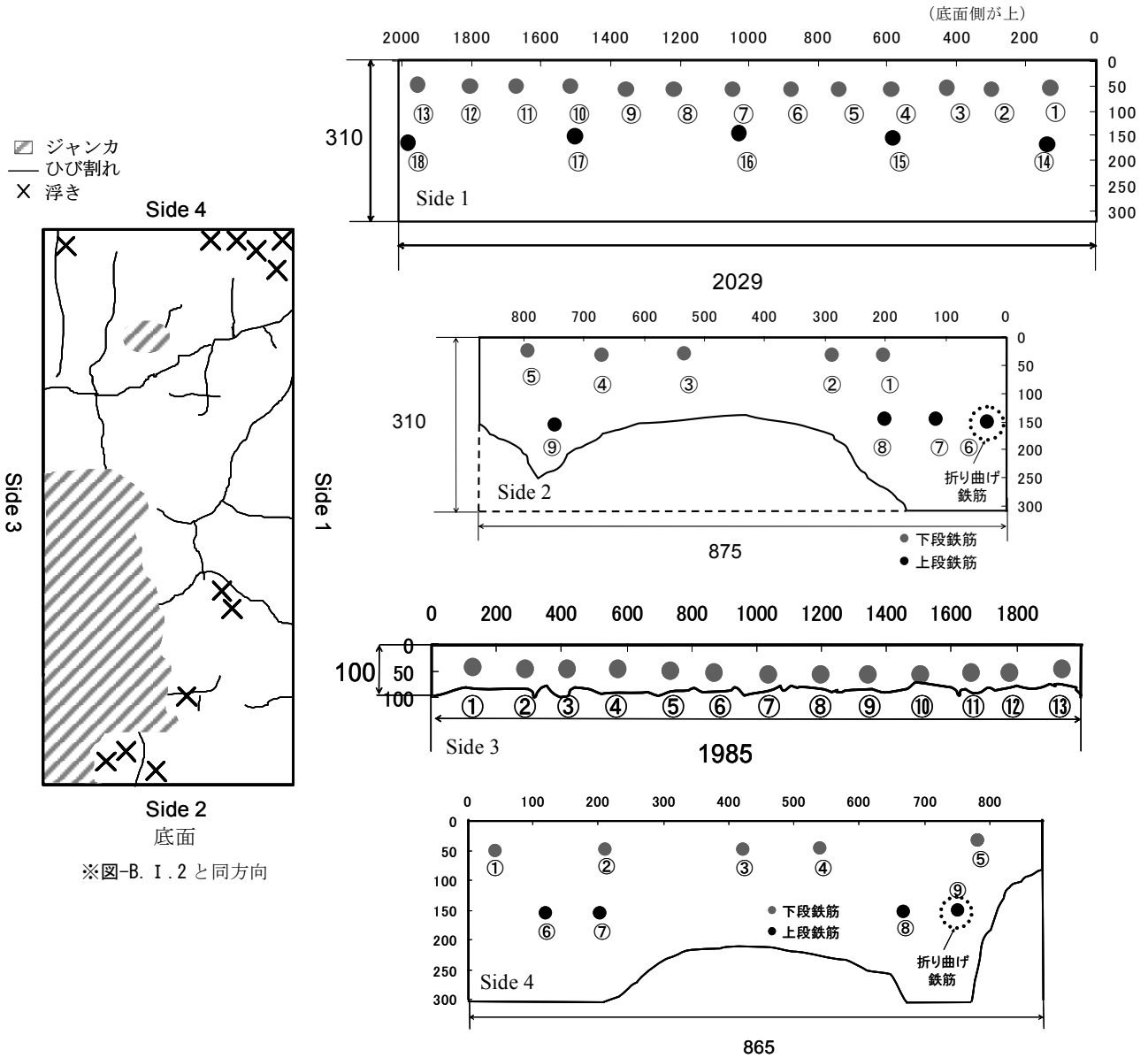
※図-B. I. 1 と同方向

b) コア採取位置

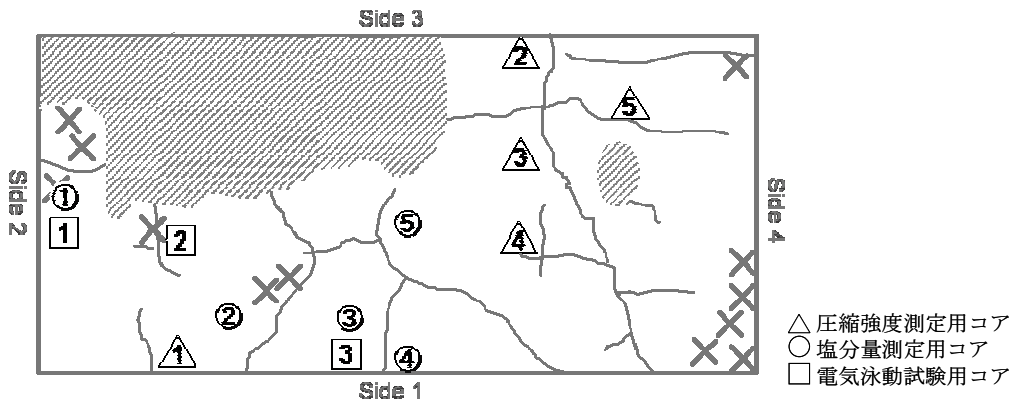


(2) B-S2-B

a) 部材寸法および外観観察



b) コア採取位置



2. 鉄筋位置とかぶり

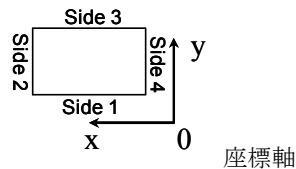
B-S1-A および B-S2-B の各側面より測定された各鉄筋のかぶりを以下に示す。鉄筋 No.については、Ⅱ-① 1.(1) a)および(2) a)を、鉄筋位置を示す座標 (x, y) については下図を参照のこと。

B-S1-A

Side 1			Side 2			Side 3			Side 4		
鉄筋 No.	鉄筋位置 x (mm)	かぶり (mm)	鉄筋 No.	鉄筋位置 x (mm)	かぶり (mm)	鉄筋 No.	鉄筋位置 x (mm)	かぶり (mm)	鉄筋 No.	鉄筋位置 x (mm)	かぶり (mm)
1	158	50	1	203	32	1	120	50	1	38	70
2	344	50	2	266	32	2	303	47	2	283	32
3	464	55	3	517	30	3	424	50	3	506	85
4	617	55	4	655	45	4	568	52	4	820	32
5	770	57	5	776	33	5	728	52	5	217	32
6	931	55	6	902	33	6	869	55	6	126	154
7	1077	67	7	98	148	7	1028	65	7	212	105
8	1233	60	8	176	150	8	1189	58	8	300	153
9	1384	55	9	733	155	9	1350	57	10	781	151
10	1540	55	10	806	148	10	1502	48	11	862	150
11	1681	50				11	1641	47	12	917	150
12	1827	50				12	1784	50			
13	1970	45				13	1927	48			
14	158	60				14	123	162			
15	606	142				15	584	154			
16	1063	144				16	1038	147			
17	1523	143				17	1492	151			
18	1958	143				18	1915	163			

B-S2-B

Side 1			Side 2			Side 3			Side 4		
鉄筋 No.	鉄筋位置 x (mm)	かぶり (mm)	鉄筋 No.	鉄筋位置 x (mm)	かぶり (mm)	鉄筋 No.	鉄筋位置 x (mm)	かぶり (mm)	鉄筋 No.	鉄筋位置 x (mm)	かぶり (mm)
1	127	54	1	203	33	1	128	45	1	43	50
2	298	56	2	287	34	2	292	48	2	212	49
3	426	55	3	533	30	3	420	47	3	422	48
4	589	56	4	669	32	4	574	48	4	540	47
5	741	57	5	793	24	5	735	52	5	781	34
6	877	56	6	31	151	6	871	56	6	119	155
7	1048	57	7	115	146	7	1041	57	7	203	156
8	1216	58	8	200	147	8	1202	57	8	669	153
9	1352	58	9	747	156	9	1345	58	9	752	152
10	1514	50				10	1504	59			
11	1670	52				11	1663	55			
12	1806	50				12	1782	54			
13	1954	49				13	1945	50			
14	140	168									
15	582	154									
16	1028	147									
17	1499	151									
18	1984	163									



3. コンクリートの圧縮強度

各部材のφ75mm コアの圧縮強度およびヤング率を示す。なお、各データはコア寸法に応じて補正した値である。コア No.については、II-① 1.(1) a)および(2) a)を参照のこと。

コア No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)
1	50.1	29.8
2	43.9	29.8
3	37.7	35.4
4	43.2	27.4
5	48.0	27.5

コア No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)
1	56.1	39.0
2	42.4	38.4
3	41.5	35.7
4	42.4	31.5
5	45.9	31.7

4. コンクリート中の塩化物イオン量

コンクリート中の塩化物イオン量を以下に示す。測定は JCI-SC5 電位差滴定に準拠して全塩分量について行った。コア No.については、II-① 1.(1) b)および(2) b)を参照のこと。

コア No.	コア径	コンクリート表面からの深さ (mm)					
		5	15	25	35	50	70
1	φ75	11.2	9.0	7.6	4.6	5.1	3.8
2	φ75	11.0	7.8	6.1	6.0	5.4	4.5
3	φ100	11.3	9.7	8.8	6.6	5.5	4.6
4	φ100	5.9	6.9	4.9	4.7	4.0	3.3
5	φ100	10.0	7.2	6.6	5.7	3.6	2.5

(単位:kg/m³)

コア No.	コア径	コンクリート表面からの深さ (mm)					
		5	15	25	35	50	70
1	φ50	9.6	9.1	8.6	4.6	3.5	2.5
2	φ50	13.0	10.0	7.7	7.6	5.1	3.8
3	φ50	7.3	6.8	6.3	5.0	4.4	2.0
4	φ75	6.9	6.5	6.3	4.7	4.0	3.1
5	φ50	7.6	6.0	4.6	3.4	2.9	3.8

(単位:kg/m³)

5. コンクリートの実効拡散係数

電気泳動法により測定したコンクリートの実効拡散係数を以下に示す。測定は JSCE-G571-2003 に準拠して、φ100mm、厚さ 50mm のコアを用いて行った。

コア No.	実効拡散係数 (cm ² /年)
1	0.583
2	0.526
3	0.622

コア No.	実効拡散係数 (cm ² /年)
1	0.662
2	0.698
3	0.462

6. 骨材の評価

(1) 評価方法

a) アルカリ骨材反応の有無の確認

B-S1-A および B-S2-B のコアを用い、アルカリ骨材周辺のゲルの滲出等を肉眼観察することにより確認した。

b) 使用骨材の岩種判定

各岩種の分類割合は、JCI-DD3 および JCI-DD4 に基づき、コアの切断面に 10mm 間隔の直線を引き各岩種ごとにこの線と交わる長さを積算、積算長さを積算総延長で除して比率を求めた(線積分法)。なお、粒径 5mm 以上の骨材を粗骨材として扱った。岩種の判定は岩石組織、構成鉱物、色調等を実体顕微鏡下で観察することにより行った。また、代表的な岩種に属する粗骨材粒子をコンクリートより取り出し、厚さ 20 μ m 程度の薄片試料を作成した。薄片試料を偏光顕微鏡観察することにより、骨材岩石に含まれる反応性シリカ鉱物等の有害鉱物の有無確認を行った。

(2) 測定結果

a) アルカリ骨材反応の有無の確認

B-S1-A において、ごく少数の骨材にアルカリ骨材反応によると考えられるゲルの滲出が見られたが、それ以外の粗骨材および細骨材にはゲルの滲出は見られず、骨材や試料自体の割れも観察されなかった。B-S2-B では、ゲルの滲出等のアルカリ骨材反応による変化は観察されなかった。

b) 使用骨材の岩種判定

粗骨材は石灰岩の単一岩種からなる砕石（石灰石）であることが確認された。細骨材は分析の対象としていないため詳細な記述は行わないが、主に花こう岩の岩片および花こう岩から分離した鉱物結晶片からなるもので、反応性シリカ鉱物はほとんど含まれていなかった。粗骨材の偏光顕微鏡観察を以下に示す。

粗骨材岩種の偏光顕微鏡観察試験結果

項目	鉱物名		備考
	方解石	不透明鉱物	
岩種名			反応性シリカ鉱物等の有害鉱物は確認されない。 アルカリ炭酸塩岩反応を発生する岩石組織は認められない。
石灰岩	多量	微量	

7. 電気化学特性値

(1) 測定方法

B-S1-A および B-S2-B の格子状に配置されている鉄筋の非交差部と推定される位置に対して、自然電位・分極抵抗・見かけのコンクリート抵抗の測定を行った。測定は全て部材底面側（海側）から行い、部材への散水 24 時間後に四国総合研究所社製 SRI-CM-III により行った。なお、使用した電極は銀塩化銀電極である。

(2) 測定結果

B-S1-A および B-S2-B の電気化学特性値測定結果を以下に示す。測定位置の座標 (x, y) については、II-① 1.(1) b), (2) b), および下図を参照のこと。

B-S1-A 長軸方向鉄筋

自然電位 (mV)

y (mm) \ x (mm)	100	250	400	650	700	970	1020	1080	1330	1500	1650	1770	1900	1950
203	-381	-359	-383	-383	-346	-346	-334	-324	-338	-340	-354	-345	-346	-
266	-119	-234	-259	-225	-264	-176	-317	-344	-344	-342	-353	-339	-283	-
506	-99	-105	-98	-83	-89	-154	-164	-90	-45	-41	-45	-175	-198	-280
655	-380	-322	-327	-328	-313	-334	-349	-352	-348	-297	-347	-346	-344	-353
776	-303	-329	-329	-320	-232	-225	-207	-229	-207	-183	-191	-394	-367	-392

見かけの分極抵抗 (kΩ・cm²)

y (mm) \ x (mm)	100	250	400	650	700	970	1020	1080	1330	1500	1650	1770	1900	1950
203	1.E+03	-	75	33	75	123	146	64	249	81	27	70	80	-
266	-	-	-	1.E+05	-	-	-	93	10	-	-	-	-	-
506	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.E+03	2.E+04	3.E+08	1.E+08	4.E+08
655	43	122	75	122	82	122	124	201	67	9	93	83	71	90
776	54	93	88	122	139	146	602	51	49	97	136	621	6	9.E+04

見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)

y (mm) \ x (mm)	100	250	400	650	700	970	1020	1080	1330	1500	1650	1770	1900	1950
203	2.5	2.5	2.2	1.4	1.8	2.8	3.0	1.5	7.4	1.7	2.5	1.7	1.7	-
266	42.8	44.0	41.8	41.5	50.5	50.3	2.2	3.0	2.1	143.0	57.7	246.0	148.0	-
506	98.5	81.7	128.0	133.0	116.0	85.8	68.5	75.1	62.2	3.2	1.6	1.5	1.6	1.7
655	2.3	2.6	1.4	2.3	1.5	1.9	2.5	4.3	1.4	2.2	1.8	1.5	1.4	1.7
776	2.0	2.4	2.0	2.3	2.6	2.9	2.8	2.2	1.9	2.6	2.0	12.8	1.7	49.3

B-S1-A 短軸方向鉄筋

自然電位 (mV)

y (mm) \ x (mm)	158	344	464	617	770	931	1077	1233	1384	1540	1681	1827	1970
100	-397	-519	-386	-387	-543	-342	-356	-365	-370	307	-282	-329	-
250	-4	-282	-374	-356	-528	-373	-359	-96	-362	-342	-302	-239	-
300	-266	-395	-350	-350	-531	-386	-382	-87	-401	-377	-348	-207	-92
450	-288	-294	-296	-332	-524	-421	-409	-241	-393	-375	-367	-229	-126
600	-3	-99	-333	-318	-517	-386	-395	-49	-336	-344	-320	-207	-146
750	-206	-361	-352	-34	-457	-341	-359	-348	-334	-269	-232	-183	-153
850	-260	64	-288	-17	-455	-362	-366	-375	-377	-288	-225	-191	-95

見かけの分極抵抗 (kΩ・cm²)

y (mm) \ x (mm)	158	344	464	617	770	931	1077	1233	1384	1540	1681	1827	1970
100	331	2.E+04	17	87	6.E+03	95	180	94	83	123	10	87	-
250	383	10	34	99	7.E+03	112	122	-	87	68	74	118	-
300	137	-	34	133	6.E+03	104	-	-	75	58	61	2.E+04	6.E+07
450	95	47	79	586	7.E+03	81	99	-	88	70	64	5.E+07	-
600	166	-	41	58	2.E+04	101	124	-	105	82	76	3.E+04	8.E+07
750	4.E+08	-	-	1.E+04	-	93	89	26	131	122	73	3.E+04	5.E+07
850	1.E+08	-	2.E+04	3.E+08	-	1.E+08	93	24	122	84	57	-	-

見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)

y (mm) \ x (mm)	158	344	464	617	770	931	1077	1233	1384	1540	1681	1827	1970
100	6.1	2.2	1.8	1.8	21.7	2.1	2.5	1.8	1.8	1.8	2.0	2.1	-
250	5.0	2.0	2.0	1.6	19.8	2.3	1.9	159.0	1.8	1.6	1.5	3.3	-
300	1.9	172.0	1.6	1.8	20.7	2.0	1.7	81.2	1.5	1.5	1.5	213.0	13.6
450	2.2	1.2	1.9	115.0	22.4	1.5	1.9	101.0	1.7	1.7	1.5	1.5	1.5
600	1.6	161.0	1.3	1.6	32.2	1.9	2.4	135.0	2.0	1.8	1.6	6.8	1.5
750	2.2	715.0	1.3	1.1	89.7	1.8	1.6	2.2	2.5	2.1	1.6	1.3	1.7
850	2.0	528.0	1.7	1.7	140.0	1.9	1.7	1.2	2.5	1.9	1.5	112.0	-

B-S2-B 長軸方向鉄筋

自然電位 (mV)

y (mm) \ x (mm)	100	250	400	650	700	970	1020	1080	1330	1500	1650	1770	1900
212	-218	-232	-247	-280	-253	-251	-269	-280	-303	-295	-294	-278	-283
287	-230	-241	-272	-272	-269	-269	-283	-280	-293	-297	-317	-322	-310
422	-279	-	-605	-295	-338	-339	-352	-360	-355	-368	-401	-396	-371
540	-	-	-	-288	-298	-314	-308	-333	-321	-331	-373	-386	-370
669	-263	-261	-277	-324	-	-319	-313	-336	-313	-320	-357	-366	-377
781	-	-	-	-	-	-	-	-338	-317	-318	-350	-362	-360

見かけの分極抵抗 (kΩ・cm²)

y (mm) \ x (mm)	100	250	400	650	700	970	1020	1080	1330	1500	1650	1770	1900
212	134	20.2	48.8	-36.6	2.E+05	1.E+05	-	78.7	75.3	77.8	53.6	31.3	58.9
287	77.9	82.8	93.3	141	136	91.8	83.2	60.4	70.2	48.5	50.7	41.9	72.6
422	55.9	-	93.8	146	70.8	65.3	53.4	43.6	73.6	58.8	51.2	41.7	29.6
540	-	-	-	114	86.2	54.1	65.2	84.5	62.7	50.4	29.9	42.8	63.9
669	54.6	51.6	53.8	54.4	-	29.4	31.1	61.3	56.9	44.1	40.2	53.9	51.4
781	-	-	-	-	-	-	-	95.9	78.8	38.9	45.4	70	82.8

見かけのコンクリート抵抗 (kΩ)

y (mm) \ x (mm)	100	250	400	650	700	970	1020	1080	1330	1500	1650	1770	1900
212	3.0	1.5	2.4	1.6	104.0	318.0	155.0	1.6	1.5	1.5	1.2	0.3	1.1
287	1.7	1.7	2.0	3.0	2.7	2.0	1.9	1.6	1.8	1.6	1.4	1.2	1.9
422	1.9	-	2.2	3.0	1.6	1.4	1.3	1.2	1.4	1.4	1.6	1.3	1.6
540	-	-	-	2.2	1.8	1.4	1.4	1.8	1.3	1.3	0.3	1.1	1.8
669	1.3	1.5	1.5	1.4	-	1.6	1.2	2.5	1.4	1.0	1.1	1.6	0.5
781	-	-	-	-	-	-	-	2.4	1.8	1.1	1.3	1.9	1.9

B-S2-B 短軸方向鉄筋

自然電位 (mV)

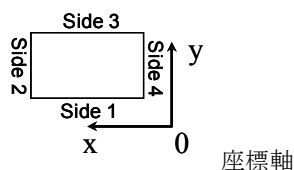
y (mm) \ x (mm)	127	298	426	589	741	877	1048	1216	1352	1514	1670	1806
50	-331	-305	-266	-274	-287	-251	-260	-280	-297	-257	-255	-261
150	-346	-319	-289	-293	-311	-280	-272	-274	-299	-282	-251	-248
270	-347	-378	-314	-305	-324	-288	-294	-296	-394	-294	-271	-243
400	-361	-395	-346	-307	-321	-303	-316	-311	-298	-266	-	-241
500	-397	-399	-343	-302	-344	-309	-328	-313	-299	-	-	-253
650	-393	-377	-327	-294	-346	-311	-	-	-	-	-	-286
750	-390	-385	-329	-292	349	-329	-	-	-	-	-259	-306

見かけの分極抵抗 ($k\Omega \cdot cm^2$)

y (mm) \ x (mm)	127	298	426	589	741	877	1048	1216	1352	1514	1670	1806
50	41.2	69.3	137	141	142	85.9	93.7	128	73.4	91.4	180	79.3
150	36.5	57.7	114	84.7	124	85.4	58.3	149	75.9	332	75.3	46.3
270	48.5	53.8	83.3	91.5	113	95.4	46.5	79.3	58.7	164	74.8	45.4
400	36.8	49.8	80.5	84.1	137	70.2	60.8	83.2	83.1	1.E+04	-	82.1
500	45.6	79.6	74.5	82.1	89.3	54.8	46.8	78.9	83.3	-	-	109
650	13.5	71.7	79.1	123	94.4	77.3	-	-	-	-	-	67.8
750	17.4	67.4	79.8	130	114	87.1	-	-	-	-	135	73.8

見かけのコンクリート抵抗 ($k\Omega$)

y (mm) \ x (mm)	127	298	426	589	741	877	1048	1216	1352	1514	1670	1806
50	1.4	2.0	1.9	2.4	2.3	1.9	2.2	2.7	1.6	2.0	3.8	2.0
150	1.5	1.4	1.5	1.3	2.0	1.9	1.3	3.5	1.7	2.2	1.9	1.4
270	1.4	1.3	1.3	1.5	1.7	2.2	1.2	1.9	1.4	2.5	2.0	1.5
400	1.2	1.1	1.4	1.3	2.4	1.7	1.6	2.1	2.1	0.3	-	2.4
500	1.2	1.6	1.3	1.4	1.5	1.3	1.4	2.0	2.2	-	-	3.1
650	1.1	1.5	1.4	2.4	1.9	1.9	-	-	-	-	-	2.0
750	0.9	1.4	1.4	2.6	2.3	2.1	-	-	-	-	3.1	2.2



8. 鉄筋の質量減少率

(1) 測定方法

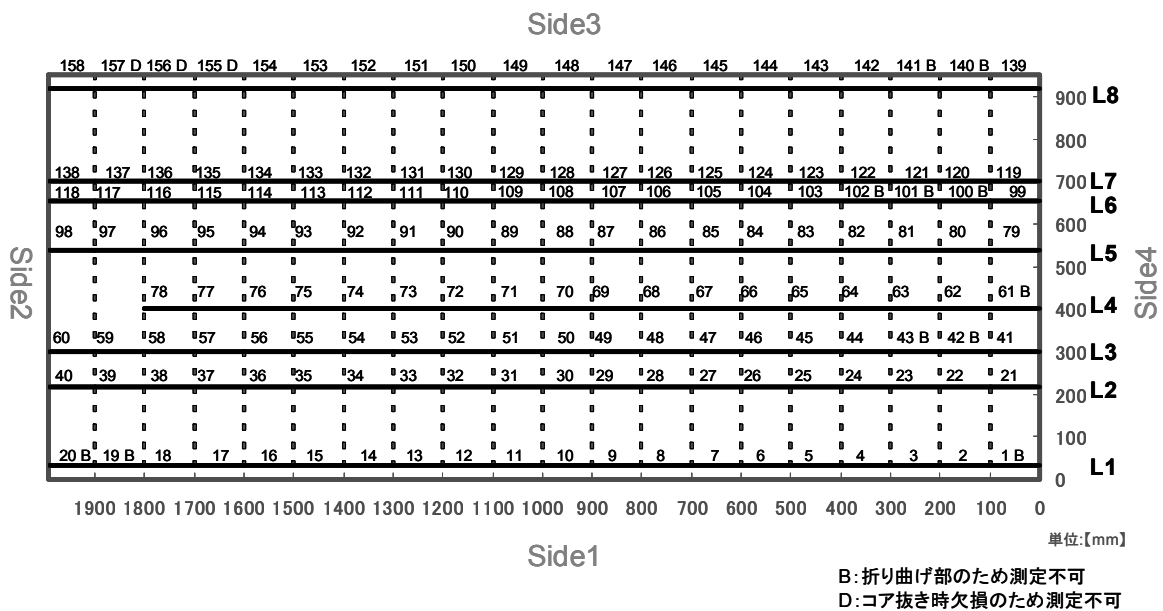
B-S1-A および B-S2-B の鉄筋を全てはつり出し、腐食による鉄筋の質量減少を測定した。鉄筋は、全て約 100mm 毎に切断し、サンドブラスト処理、10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液への浸せき（60℃、約 1 日）後に金ブラシ・サンダー処理を行うことにより腐食生成物を除去した。除錆した鉄筋の単位長さあたりの質量を測定し、鉄筋の質量減少率を算出した。目視により発錆が認められないものについては、質量減少率を 0.0% と評価した。

(2) 測定結果

測定結果を以下に示す。鉄筋 No. および位置については、各添付図を参照のこと。

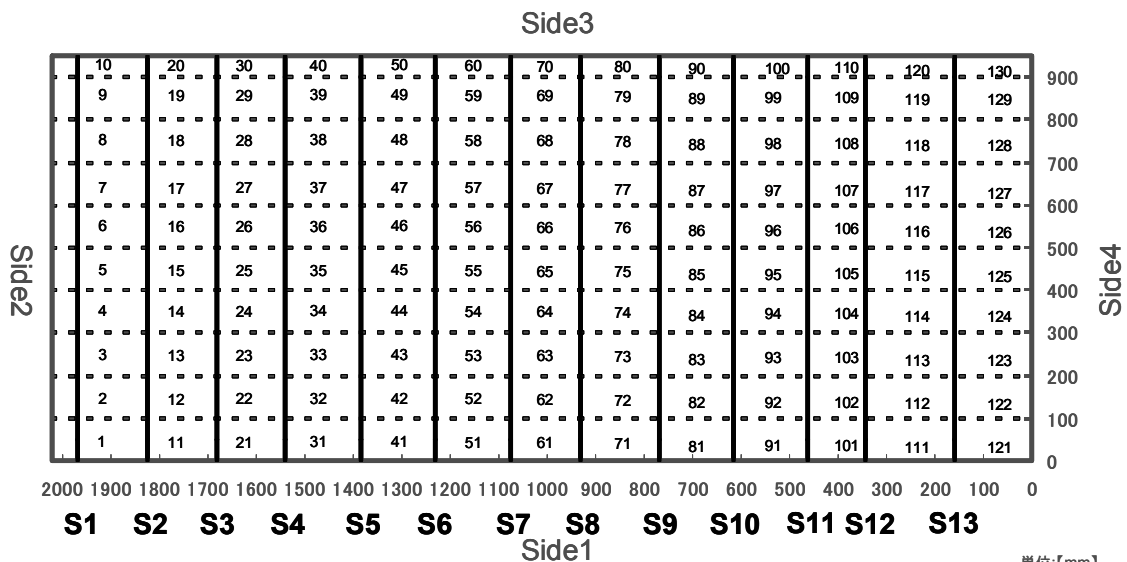
B-S1-A 下段 (長軸方向)

鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)
L1	1	-	L3	41	9.1	L5	79	4.6	L7	119	0.1
	2	0.0		42	-		80	3.5		120	0.0
	3	0.0		43	-		81	5.9		121	0.0
	4	0.0		44	0.0		82	2.3		122	0.0
	5	0.0		45	0.0		83	13.7		123	0.0
	6	0.0		46	0.0		84	3.2		124	0.0
	7	0.0		47	0.0		85	0.4		125	0.0
	8	0.0		48	0.0		86	0.9		126	0.0
	9	0.0		49	0.0		87	0.0		127	0.0
	10	0.0		50	0.0		88	0.0		128	0.0
	11	0.0		51	0.0		89	0.0		129	0.0
	12	0.0		52	0.0		90	0.0		130	0.0
	13	0.0		53	0.0		91	24.5		131	0.0
	14	0.0		54	0.0		92	10.9		132	0.0
	15	0.0		55	0.0		93	3.6		133	0.0
	16	0.0		56	0.0		94	11.0		134	0.0
	17	0.2		57	0.0		95	0.0		135	13.7
	18	1.8		58	0.0		96	0.0		136	1.6
	19	-		59	0.0		97	0.0		137	0.0
	20	-		60	0.0		98	0.0		138	0.0
L2	21	0.0	L4	61	-	L6	99	34.8	L8	139	0.0
	22	0.0		62	8.4		100	-		140	-
	23	0.0		63	0.0		101	-		141	-
	24	0.0		64	0.0		102	-		142	1.5
	25	0.0		65	0.6		103	0.0		143	0.1
	26	0.0		66	0.0		104	0.1		144	0.5
	27	0.0		67	0.0		105	0.4		145	2.0
	28	0.0		68	0.0		106	0.0		146	0.6
	29	0.0		69	0.0		107	0.0		147	0.8
	30	0.0		70	0.0		108	0.0		148	0.4
	31	0.0		71	0.0		109	0.0		149	1.3
	32	0.0		72	0.0		110	0.2		150	1.7
	33	0.0		73	0.0		111	8.6		151	7.4
	34	0.0		74	1.8		112	0.3		152	1.1
	35	0.0		75	0.0		113	0.0		153	1.5
	36	0.0		76	0.0		114	0.0		154	2.9
	37	0.0		77	0.0		115	0.0		158	0.0
	38	0.0		78	0.0		116	0.0			
	39	0.0					117	0.0			
	40	0.0					118	0.0			



B-S1-A 下段 (短軸方向)

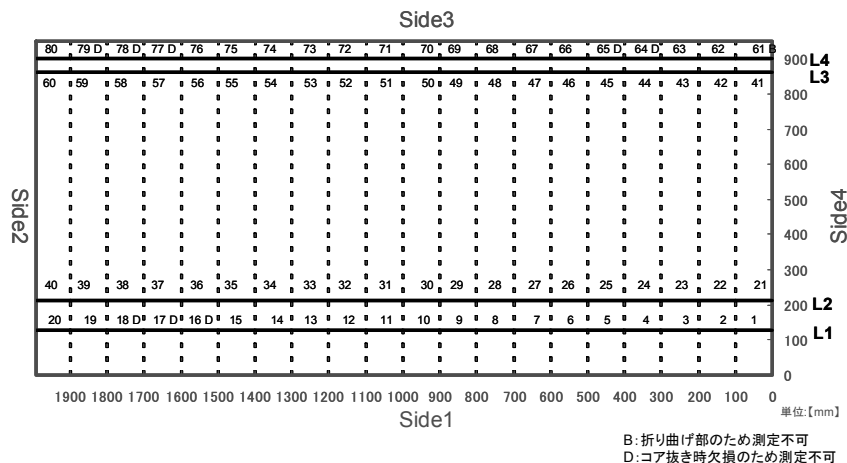
鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)
S1	1	0.0	S4	31	0.0	S7	61	0.0	S10	91	0.0
	2	0.0		32	0.0		62	0.0		92	0.0
	3	0.0		33	0.0		63	0.0		93	0.0
	4	0.0		34	0.0		64	0.0		94	0.0
	5	0.0		35	0.8		65	0.0		95	0.0
	6	0.0		36	0.0		66	0.0		96	0.0
	7	0.0		37	0.0		67	0.0		97	0.0
	8	0.0		38	0.0		68	0.0		98	0.0
	9	0.0		39	9.9		69	0.0		99	0.0
	10	0.0		40	11.5		70	0.0		100	0.0
S2	11	0.0	S5	41	0.0	S8	71	0.0	S11	101	0.0
	12	0.0		42	0.0		72	0.0		102	0.0
	13	0.0		43	0.0		73	0.0		103	0.0
	14	0.0		44	0.0		74	0.0		104	0.0
	15	0.0		45	0.2		75	0.0		105	0.0
	16	0.0		46	8.1		76	0.0		106	2.3
	17	0.0		47	0.2		77	0.0		107	0.0
	18	1.8		48	0.0		78	0.0		108	0.0
	19	1.0		49	2.7		79	0.0		109	0.8
	20	6.4		50	2.4		80	0.0		110	16.0
S3	21	0.0	S6	51	0.0	S9	81	0.0	S12	111	0.0
	22	0.0		52	0.0		82	0.0		112	0.0
	23	0.0		53	0.0		83	0.0		113	0.0
	24	0.0		54	0.0		84	0.0		114	0.0
	25	1.2		55	0.0		85	0.0		115	0.0
	26	1.3		56	0.9		86	0.0		116	1.2
	27	0.0		57	0.0		87	0.0		117	1.8
	28	3.2		58	0.8		88	0.0		118	0.0
	29	6.3		59	1.4		89	0.9		119	1.3
	30	12.9		60	3.1		90	0.0		120	3.0
								S13	121	0.0	
									122	0.0	
									123	0.0	
									124	0.0	
									125	0.0	
									126	0.0	
									127	0.0	
									128	0.0	
									129	1.8	
									130	6.1	



B: 折り曲げ部のため測定不可
D: コア抜き時欠損のため測定不可

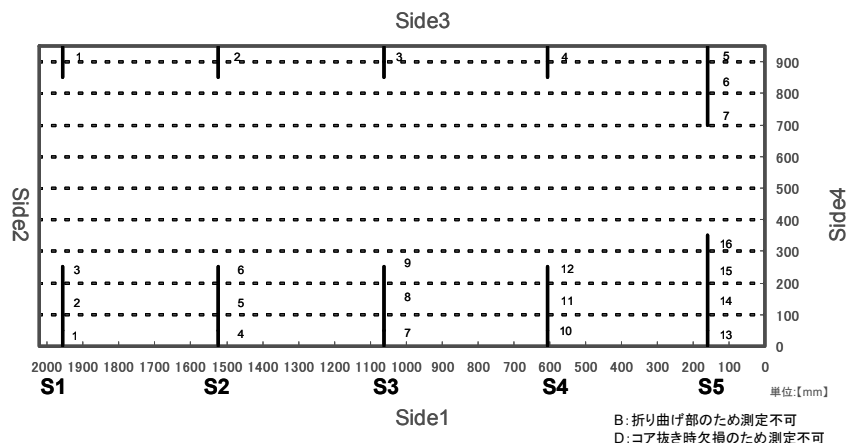
B-S1-A 上段 (長軸方向)

鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)
L1	1	0.6	L2	21	0.0	L3	41	0.0	L4	61	-
	2	-		22	0.0		42	0.0		62	0.0
	3	-		23	0.0		43	0.0		63	0.0
	4	-		24	0.0		44	0.0		64	-
	5	-		25	0.0		45	0.0		65	-
	6	-		26	0.0		46	0.0		66	0.0
	7	-		27	0.0		47	0.0		67	0.0
	8	-		28	0.0		48	0.0		68	0.0
	9	-		29	0.0		49	0.0		69	1.3
	10	-		30	0.0		50	0.0		70	1.0
	11	0.0		31	0.0		51	0.0		71	1.2
	12	0.0		32	0.0		54	0.0		72	0.0
	13	0.0		33	0.0		55	3.1		73	0.0
	14	0.0		34	0.0		56	11.5		74	24.5
	15	0.0		35	0.0		57	8.9		75	0.0
	16	-		36	0.0		58	8.2		76	3.0
	17	-		37	0.0		59	9.2		77	-
	18	-		38	0.0		60	2.8		78	-
	19	0.0		39	0.0					79	-
	20	0.0		40	0.0					80	3.4



B-S1-A 上段 (短軸方向)

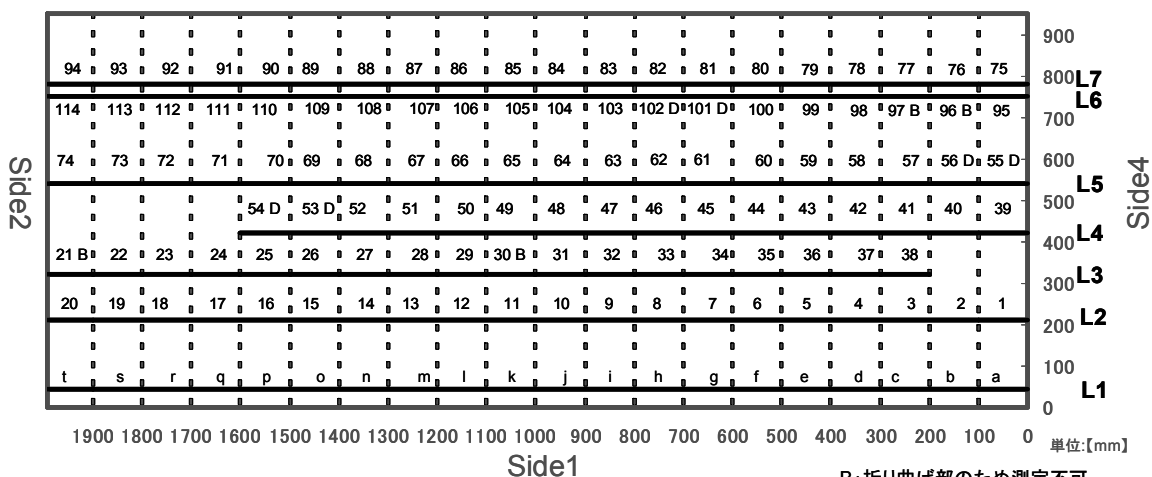
鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)
S1	1	0.0	S3	7	0.0	S5	13	0.5
	2	0.0		8	0.0		14	0.0
	3	10.3		9	4.9		15	0.3
	a	6.2		c	4.4		16	4.7
S2	4	0.1	S4	10	0.0		e	0.0
	5	0.0		11	0.0		f	0.0
	6	15.0		12	6.2		g	18.3
	b	3.6		d	0.0			



B-S2-B 下段 (長軸方向)

鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)
L1	a	0.0	L3	22	0.5	L5	55	0.4	L7	75	0.0
	b	0.0		23	0.0		56	1.0		76	0.0
	c	0.0		24	0.0		57	2.7		77	0.0
	d	0.0		25	0.0		58	0.0		78	0.0
	e	0.0		26	0.0		59	0.0		79	0.0
	f	0.0		27	0.0		60	0.0		80	1.4
	g	0.0		28	0.1		61	0.0		81	0.9
	h	0.0		29	2.8		62	0.0		82	0.7
	i	0.0		30	3.1		63	3.1		83	2.0
	j	0.0		31	1.0		64	0.0		84	5.1
	k	0.0		32	0.0		65	0.2		85	21.8
	l	0.0		33	1.5		66	0.2		86	4.6
	m	0.0		34	1.3		67	4.3		87	4.4
	n	0.0		35	1.8		68	8.9		88	11.3
	o	0.0		36	2.4		69	6.1		89	13.6
	p	0.0		37	0.8		70	10.0		90	8.3
	q	0.0		38	0.0		71	11.1		91	9.4
	r	0.0		L4	39		0.9	72		0.8	92
	s	0.0	40		1.5	73	2.3	93		7.9	
	t	0.0	41		0.0	74	2.3	94		9.0	
L2	1	0.0	42		0.0	L6	95	0.0			
	2	0.0	43		0.0		96	-			
	3	0.0	44		0.0		97	-			
	4	0.0	45	0.0	98		0.0				
	5	0.0	46	0.7	99		0.0				
	6	0.0	47	0.0	100		0.0				
	7	0.0	48	0.5	101		-				
	8	0.0	49	0.0	102		-				
	9	0.0	50	0.5	103		0.0				
	10	0.0	51	2.4	104		6.0				
	11	0.0	52	0.4	105		12.4				
	12	0.0	53	-	106		8.0				
	13	0.0	54	-	107		4.3				
	14	0.0			108		5.1				
	15	0.0			109		2.1				
	16	1.1			110		0.0				
	17	0.0			111		0.0				
	18	0.0			112		0.0				
	19	0.1			113		0.0				
	20	0.0			114		2.0				

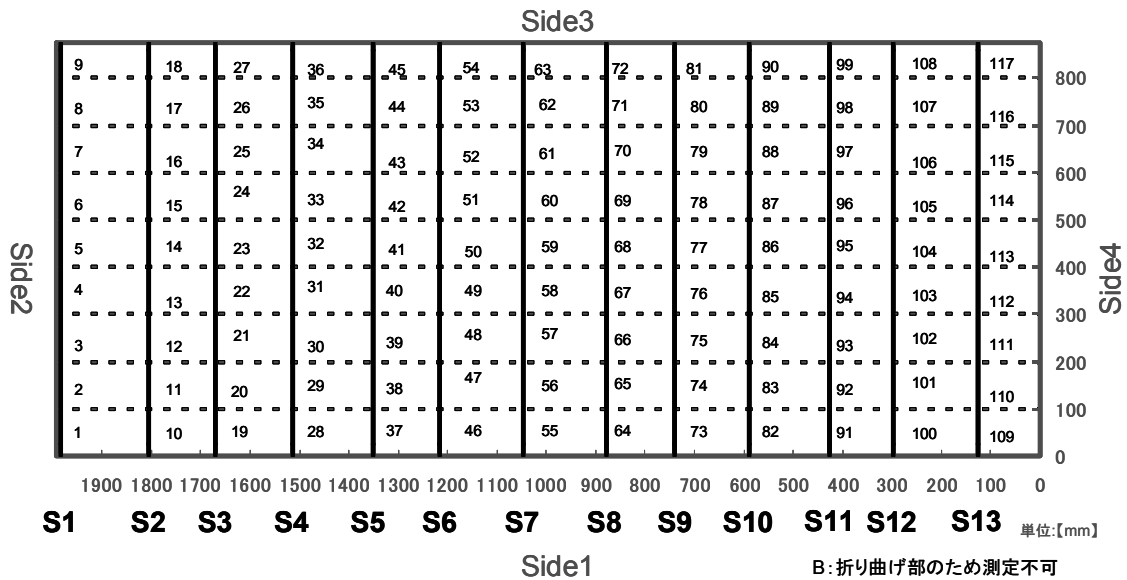
Side3



B: 折り曲げ部のため測定不可
D: コア抜き時欠損のため測定不可

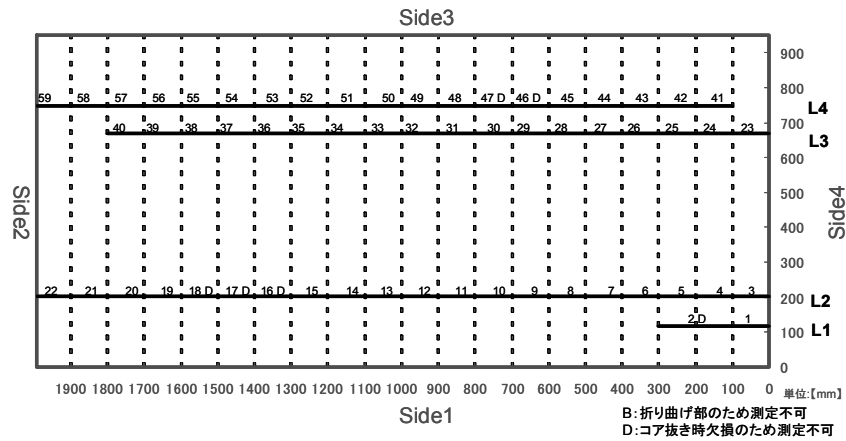
B-S2-B 下段 (短軸方向)

鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)
S1	1	0.0	S4	28	0.0	S7	55	0.0	S10	82	0
	2	0.0		29	0.0		56	0.0		83	0
	3	0.7		30	0.0		57	0.0		84	0
	4	0.0		31	0.0		58	0.0		85	0
	5	1.2		32	0.0		59	0.0		86	0
	6	1.6		33	0.0		60	0.0		87	0
	7	4.0		34	1.3		61	4.5		88	0
	8	6.0		35	7.9		62	7.5		89	0
	9	5.8		36	13.9		63	5.0		90	2.7
S2	10	0.9	S5	37	0.0	S8	64	0.0	S11	91	0
	11	1.5		38	0.0		65	0.0		92	0
	12	2.9		39	0.0		66	0.0		93	0
	13	0.0		40	0.0		67	0.0		94	0
	14	1.0		41	1.5		68	0.0		95	0
	15	1.3		42	6.8		69	0.0		96	0
	16	1.7		43	0.9		70	0.0		97	0
	17	2.3		44	2.8		71	0		98	0
	18	3.3		45	0.0		72	0		99	0
S3	19	0.2	S6	46	0.0	S9	73	0	S12	100	0
	20	0.0		47	0.0		74	0		101	0
	21	4.8		48	0.0		75	0		102	0
	22	0.0		49	0.0		76	0		103	0
	23	4.0		50	0.0		77	0		104	0
	24	7.3		51	0.0		78	0		105	0
	25	0.0		52	1.5		79	0		106	0
	26	0.0		53	0.8		80	0		107	0
	27	2.3		54	2.7		81	0		108	0
								S13	109	0	
									110	0	
									111	0	
									112	0	
									113	0	
									114	0	
									115	0	
									116	0	
									117	0	



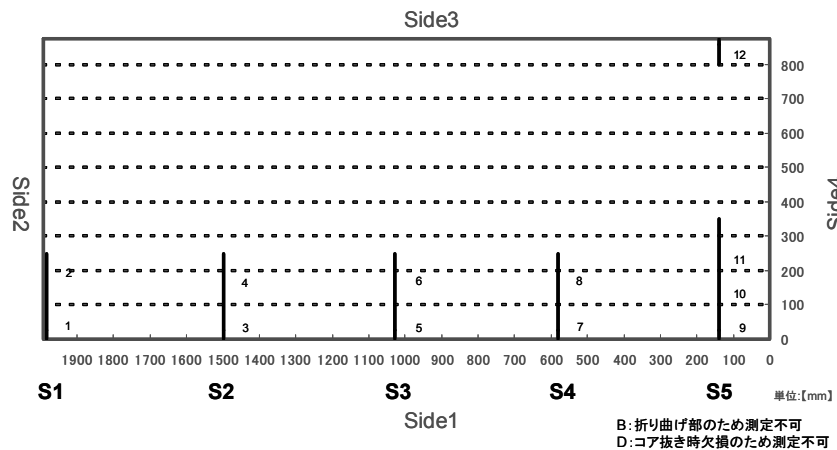
B-S2-B 上段 (長軸方向)

鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)
L1	1	0.9	L2	3	0.0	L3	23	0.0	L4	41	0.9
	2	0.0		4	0.0		24	0.0		42	0.4
		5		0.0	25		0.0	43		2.3	
		6		0.0	26		0.0	44		1.1	
		7		0.1	27		0.0	45		0.0	
		8		1.7	28		0.0	46		-	
		9		5.9	29		0.0	47		-	
		10		3.6	30		0.0	48		0.0	
		11		2.6	31		0.0	49		0.0	
		12		2.2	32		0.0	50		0.0	
		13		2.0	33		0.0	51		0.0	
		14		2.6	34		0.0	52		0.0	
		15		1.5	35		0.0	53		0.0	
		16		-	36		0.0	54		0.0	
		17		-	37		0.0	58	0.0		
		18		-	38		0.0	59	5.1		
		19		0.0	39		0.0				
		20		0.0	40		0.0				
		21		0.0							
		22		0.1							



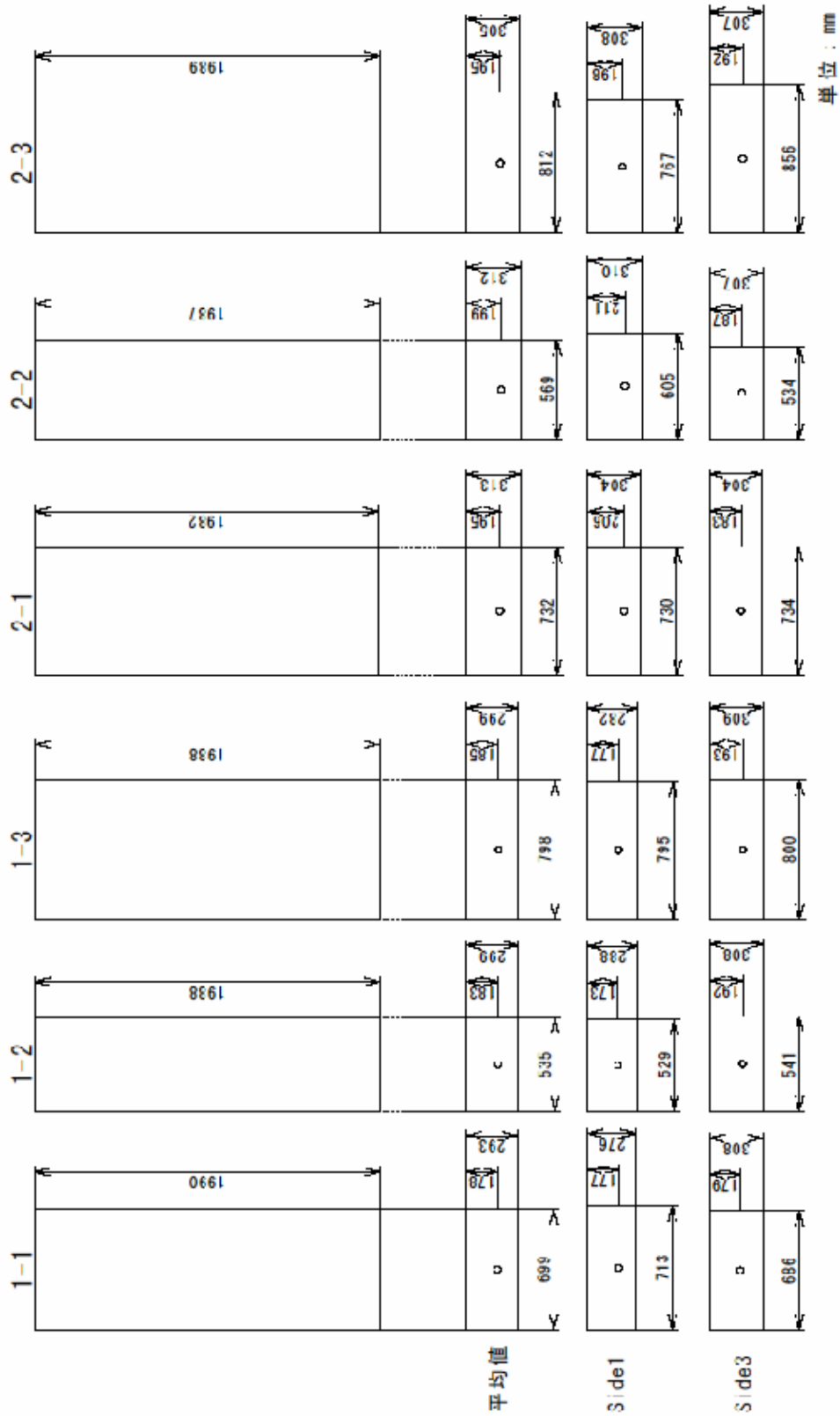
B-S2-B 上段 (短軸方向)

鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	位置 No.	質量減少率 (%)
S1	1	0.0	S3	5	0.0	S5	9	1.2
	2	0.7		6	0.0		10	1.7
S2	3	0.0	S4	7	0.0		11	8.2
	4	4.8		8	2.4		12	11.5



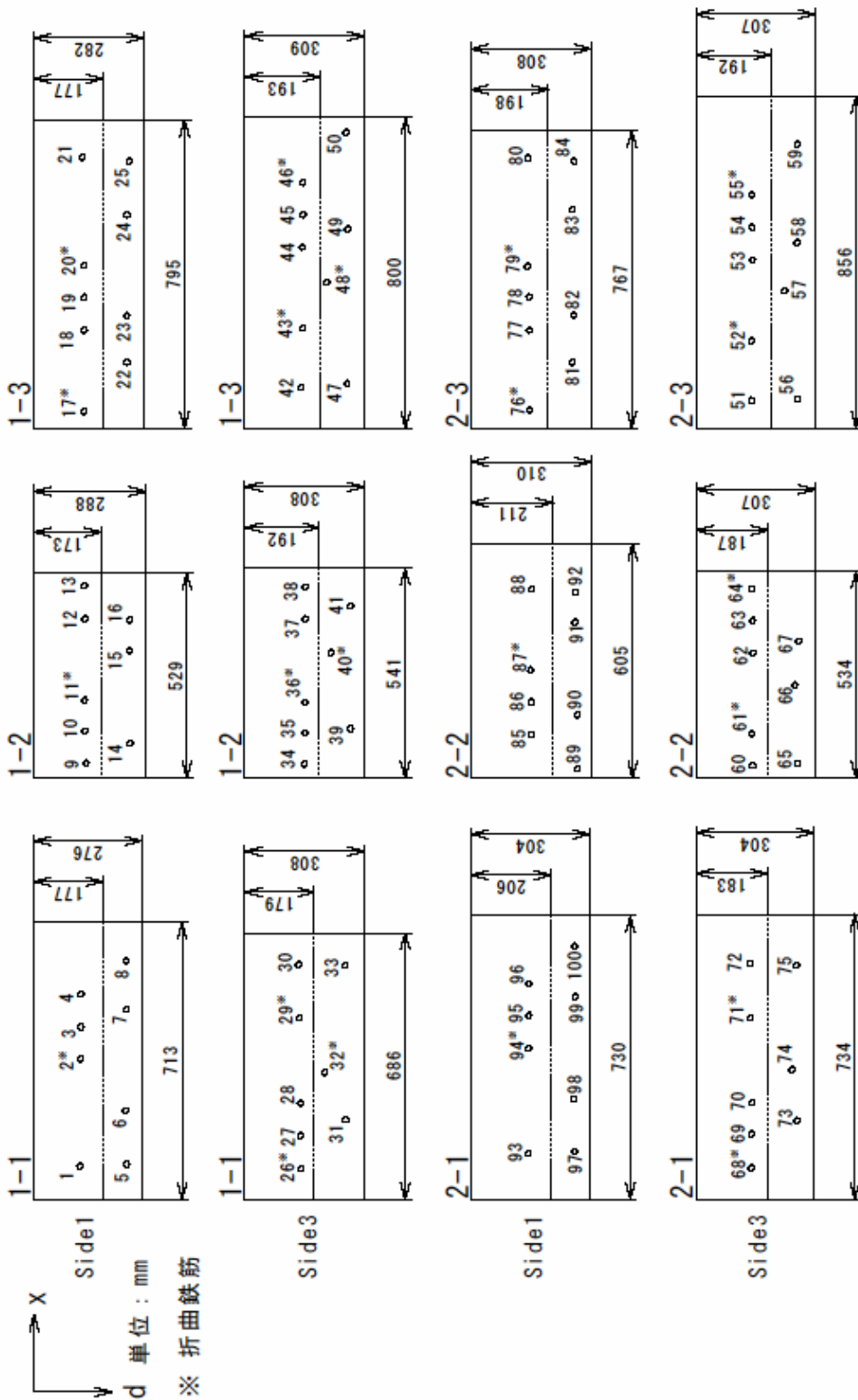
II-② B-S1-1~3 および B-S2-1~3

1. 部材寸法



2. 鉄筋位置および有効高さ

各側面より測定された各鉄筋の有効高さを以下に示す。鉄筋 No.および鉄筋位置については、下図を参照のこと。



side1

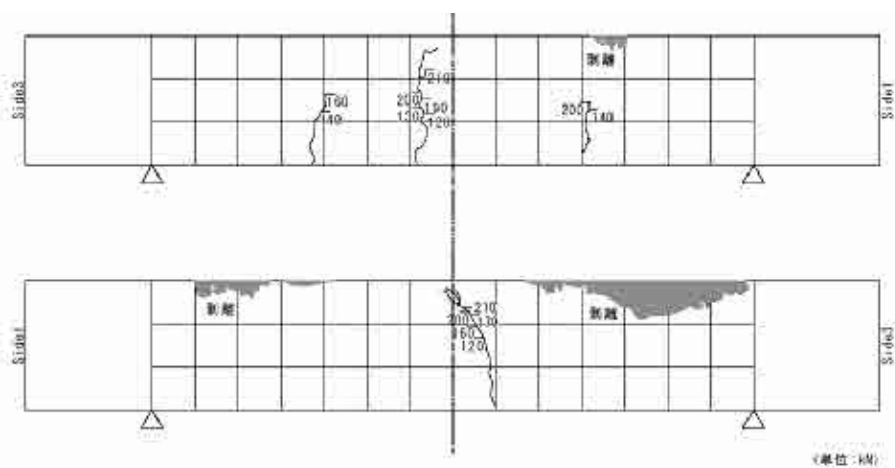
試験体	1-1	試験体	1-2	試験体	1-3	試験体	2-1	試験体	2-2	試験体	2-3
上幅(mm)	716	上幅(mm)	579	上幅(mm)	797	上幅(mm)	778	上幅(mm)	606	上幅(mm)	766
下幅(mm)	710	下幅(mm)	528	下幅(mm)	798	下幅(mm)	731	下幅(mm)	603	下幅(mm)	768
左高さ(mm)	271	左高さ(mm)	288	左高さ(mm)	286	左高さ(mm)	310	左高さ(mm)	308	左高さ(mm)	310
右高さ(mm)	278	右高さ(mm)	288	右高さ(mm)	278	右高さ(mm)	298	右高さ(mm)	311	右高さ(mm)	305
平均幅(mm)	713	平均幅(mm)	529	平均幅(mm)	795	平均幅(mm)	750	平均幅(mm)	602	平均幅(mm)	767
平均高さ(mm)	276	平均高さ(mm)	288	平均高さ(mm)	282	平均高さ(mm)	304	平均高さ(mm)	310	平均高さ(mm)	308
番号	x(mm)	d(mm)	番号	x(mm)	d(mm)	番号	x(mm)	d(mm)	番号	x(mm)	d(mm)
1	85	118	9	40	133	17	45	128	93	118	146
2	362	119	10	122	130	18	253	129	94	389	147
3	444	120	11	202	129	19	338	128	95	474	147
4	529	120	12	413	130	20	419	128	96	555	148
5	90	258	13	496	129	21	698	123	97	123	266
6	228	255	14	91	247	22	170	239	98	259	263
7	490	257	15	329	245	23	290	238	99	522	267
8	615	256	16	408	246	24	550	230	100	652	265
						25	688	245			

side1

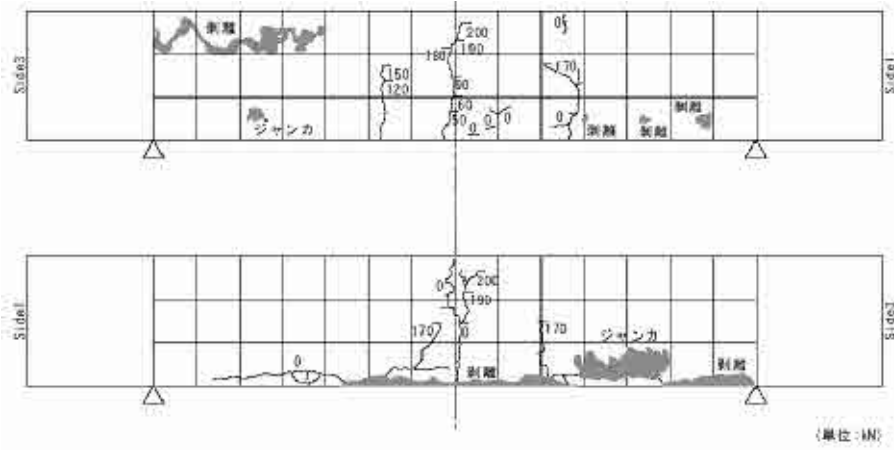
試験体	1-1	試験体	1-2	試験体	1-3	試験体	2-1	試験体	2-2	試験体	2-3
上幅(mm)	687	上幅(mm)	539	上幅(mm)	800	上幅(mm)	737	上幅(mm)	534	上幅(mm)	856
下幅(mm)	684	下幅(mm)	542	下幅(mm)	800	下幅(mm)	731	下幅(mm)	534	下幅(mm)	856
左高さ(mm)	311	左高さ(mm)	302	左高さ(mm)	307	左高さ(mm)	308	左高さ(mm)	308	左高さ(mm)	306
右高さ(mm)	321	右高さ(mm)	313	右高さ(mm)	310	右高さ(mm)	300	右高さ(mm)	306	右高さ(mm)	308
平均幅(mm)	686	平均幅(mm)	541	平均幅(mm)	800	平均幅(mm)	734	平均幅(mm)	534	平均幅(mm)	856
平均高さ(mm)	308	平均高さ(mm)	308	平均高さ(mm)	309	平均高さ(mm)	304	平均高さ(mm)	307	平均高さ(mm)	307
番号	x(mm)	d(mm)	番号	x(mm)	d(mm)	番号	x(mm)	d(mm)	番号	x(mm)	d(mm)
26	80	145	34	37	153	42	106	144	68	82	142
27	164	144	35	117	155	43	258	148	69	169	143
28	248	143	36	196	155	44	467	147	70	249	143
29	468	140	37	411	155	45	550	150	71	467	139
30	605	138	38	493	136	46	633	149	72	508	139
31	205	280	39	128	272	47	116	263	73	203	260
32	326	206	40	324	222	48	377	211	74	335	246
33	603	258	41	444	272	49	514	265	75	603	259
						50	763	260			

3. ひび割れ発生状況

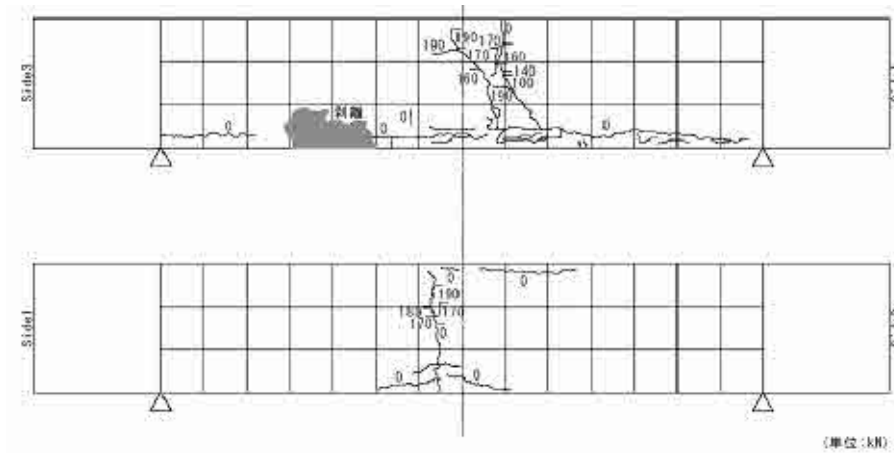
載荷時のひび割れの進展状況を以下に示す。



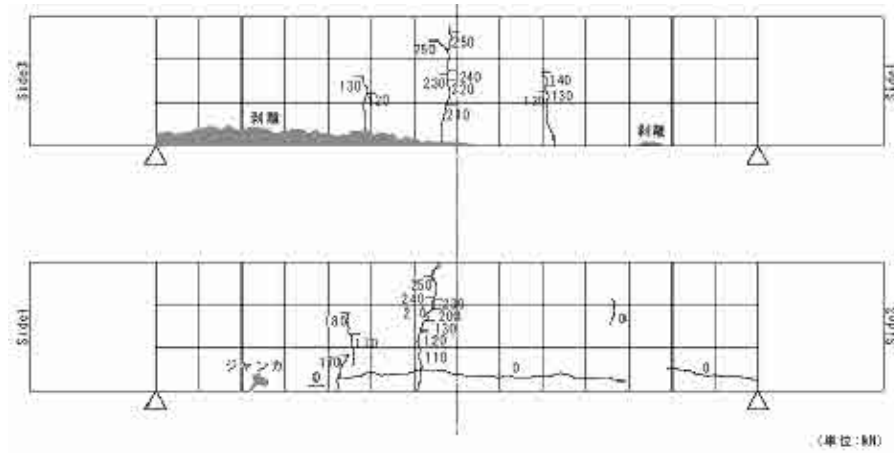
B-S1-1



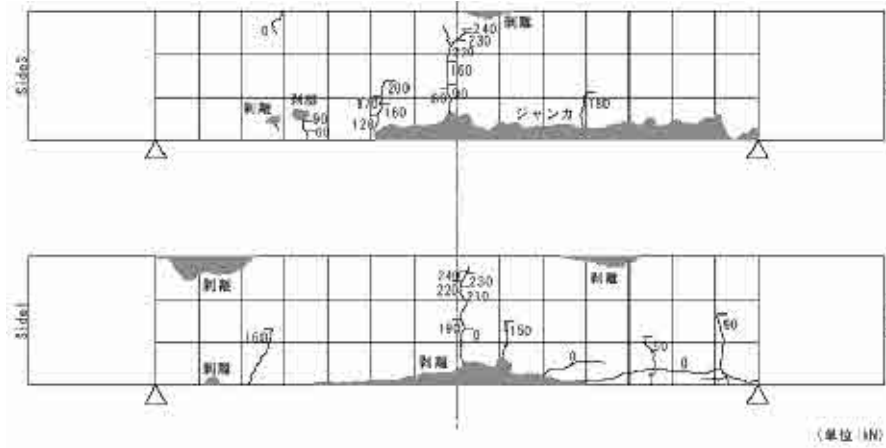
B-S1-2



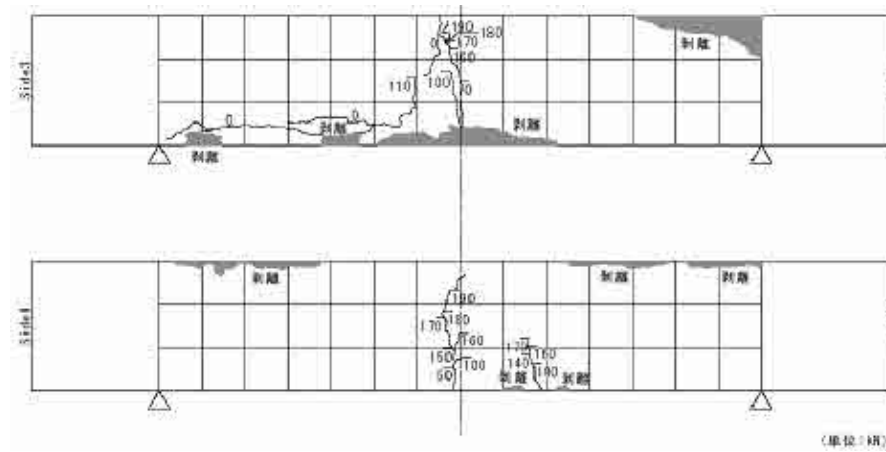
B-S1-3



B-S2-1



B-S2-2



B-S2-3

4. コンクリートの圧縮強度

各部材のコンクリートの圧縮強度およびヤング率を示す。なお、各データはコア寸法に応じて補正した値である。

部材 No.	コア採取部	コア寸法	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)
B-S1-1	床版部	φ75×75	48.8	-
	床版部	φ75×150	41.6	29.1
B-S1-2	舗装部	φ75×75	38.0	-
	床版部	φ75×75	42.2	-
	床版部	φ75×150	32.6	26.2
B-S1-2	床版部	φ75×75	41.5	-
	床版部	φ75×150	36.7	29.5
B-S2-1	舗装部	φ75×75	37.4	-
	床版部	φ75×75	41.9	-
	床版部	φ75×150	43.5	28.8
B-S2-2	舗装部	φ75×75	35.9	-
	床版部	φ75×75	46.4	-
	床版部	φ75×150	37.1	28.5
B-S2-3	舗装部	φ75×75	40.9	-
	床版部	φ75×75	34.6	-
	床版部	φ75×150	40.2	29.6

5. コンクリート中の塩化物イオン量

コンクリート中の塩化物イオン量を以下に示す。測定は JCI-SC5 電位差滴定に準拠して全塩分量について行った。

コンクリート表面からの深さ (mm)		5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
コンクリート中の 塩化物イオン量 (kg/m ³)	1-1	10.3	4.8	5.1	3.5	2.9	2.8	1.8	1.5	1.0	0.6
	1-2	7.7	6.0	3.2	2.8	2.7	1.6	1.5	1.0	1.6	2.2
	1-3	5.9	5.2	4.1	3.1	3.2	1.8	1.4	1.1	2.0	2.2
	2-1	7.3	5.2	4.8	3.5	2.2	2.6	1.6	1.3	0.7	0.6
	2-2	5.1	3.1	2.5	1.4	1.1	1.0	0.5	0.4	0.4	0.2
	2-3	1.7	0.8	0.7	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.5

6. 鉄筋の力学的性質

鉄筋の引張試験結果を以下に示す。

種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
φ13	358	-	218

7. 鉄筋の質量減少率

(1) 測定方法

載荷試験後、部材内の鉄筋をはつり出し、腐食による鉄筋の質量減少を測定した。鉄筋は、全て約 100mm 毎に切断し、サンドブラスト処理、10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液への浸せき後に金ブラシ・サンダー処理を行うことにより腐食生成物を除去した。除錆した鉄筋の単位長さあたりの質量を測定し、鉄筋の質量減少率を算出した。目視により発錆が認められないものについては、質量減少率を 0.0% と評価した。

(2) 測定結果

測定結果を以下に示す。鉄筋 No. および鉄筋の位置については②-2. を参照のこと。

1-1 (下段)						1-2 (下段)					1-3 (下段)						
Sidel 鉄筋番号	5	6	2	7	8	Sidel 鉄筋番号	14	11	15	16	Sidel 鉄筋番号	17	22	23	20	24	25
y (mm) \ x (mm)	90	228	362	490	615	y (mm) \ x (mm)	91	202	329	408	y (mm) \ x (mm)	43	170	290	419	550	688
50	2.5	2.6	0.0	5.0	0.0	50	3.8	5.3	1.0	2.4	50	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	150	3.8	10.4	0.0	0.0	150	6.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	250	3.6	4.2	0.0	0.0	250	8.8	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0
350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	350	4.9	10.5	0.4	0.0	350	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
450	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	450	0.0	7.6	0.0	0.0	450	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
550	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	550	0.0	14.7	0.0	0.0	550	24.3	7.2	0.0	0.0	1.8	1.4
650	0.0	0.0	9.8	5.6	11.0	650	24.3	18.3	20.8	27.1	650	33.9	31.0	32.8	15.8	15.0	26.2
750	0.0	0.0	0.0	5.2	4.4	750	0.0	18.7	8.4	0.0	750	11.9	7.2	11.6	29.5	26.5	9.7
850	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	850	0.0	6.1	0.0	0.0	850	14.1	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
950	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	950	0.0	7.5	0.0	2.8	950	35.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1050	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1050	0.0	5.0	0.0	2.3	1050	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1150	0.0	6.5	11.2	11.5	1150	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1250	0.0	12.0	30.9	19.1	1250	2.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1350	0.0	10.0	45.1	24.7	1350	2.9	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-1 (上段)						1-2 (上段)					1-3 (上段)						
Sidel 鉄筋番号	1	3	4			Sidel 鉄筋番号	9	10	12	13	Sidel 鉄筋番号	18	19	21			
y (mm) \ x (mm)	86	444	529			y (mm) \ x (mm)	40	122	412	496	y (mm) \ x (mm)	253	338	698			
50	0.0	0.0	0.0			50	0.0	0.0	0.0	0.0	50	0.0	0.0	0.0			
150	0.0	0.0	0.0			150	0.0	0.0	0.0	0.0	150	0.0	0.0	0.0			
250	0.0	0.0	0.0			250	0.0	0.0	0.0	0.0	250	0.0	0.0	0.0			
350	0.0	0.0	0.0			350	0.0	0.0	0.0	0.0	350	0.0	0.0	0.0			
450	0.0	0.0	0.0			450	0.0	0.0	0.0	0.0	450	0.0	0.0	0.0			
550	0.0	0.0	0.0			550	0.0	0.0	0.0	0.0	550	0.0	0.0	0.0			
650	0.0	0.0	0.0			650	0.0	0.0	0.0	0.0	650	0.0	0.0	0.0			
750	0.0	0.0	0.0			750	0.0	0.0	0.0	0.0	750	0.0	0.0	0.0			
850	0.0	0.0	0.0			850	0.0	0.0	0.0	0.0	850	0.0	0.0	0.0			
950	0.0	0.0	0.0			950	0.0	0.0	0.0	0.0	950	0.0	0.0	0.0			
1050	0.0	0.0	0.0			1050	0.0	0.0	0.0	0.0	1050	0.0	0.0	0.0			
1150	0.0	0.0	0.0			1150	0.0	0.0	0.0	0.0	1150	0.0	0.0	0.0			
1250	0.0	0.0	0.0			1250	0.0	0.0	0.0	0.0	1250	0.0	0.0	0.0			
1350	0.0	0.0	0.0			1350	0.0	0.0	0.0	0.0	1350	0.0	0.0	0.0			

2-1 (下段)						2-2 (下段)						2-3 (下段)						
Sidel鉄筋番号	97	98	94	99	100	Sidel鉄筋番号	89	90	87	91	92	Sidel鉄筋番号	76	81	82	79	83	84
$y \setminus x$ (mm)	123	259	389	522	652	$y \setminus x$ (mm)	26	163	280	403	480	$y \setminus x$ (mm)	47	170	292	418	564	688
50	0.0	2.4	8.9	0.0	0.0	50	0.7	3.0	9.0	0.0	0.0	50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
150	0.0	0.0	8.1	0.0	0.0	150	2.9	4.1	1.2	0.0	0.0	150	2.6	0.0	4.0	9.8	0.0	0.0
250	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	250	5.5	17.9	0.0	0.0	0.0	250	2.2	0.0	3.2	8.1	0.0	0.0
350	0.0	0.0	0.0	8.7	0.0	350	3.3	13.0	0.0	0.0	0.0	350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
450	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	450	6.3	3.8	0.0	0.0	0.0	450	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
550	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	550	5.3	5.1	0.0	8.8	0.0	550	11.8	5.3	2.6	6.3	0.0	0.0
650	0.0	0.0	12.1	0.0	0.0	650	25.2	4.8	0.0	25.5	10.3	650	50.9	41.0	30.8	17.3	0.0	0.0
750	0.0	7.5	4.5	0.0	0.0	750	1.5	8.1	0.0	9.5	23.0	750	13.8	17.6	21.6	8.4	0.0	0.0
850	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	850	4.7	0.0	5.0	2.1	1.8	850	5.7	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0
950	6.9	4.2	0.0	0.0	0.0	950	1.9	0.0	6.8	0.0	0.0	950	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1050	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1050	1.5	0.0	6.2	0.0	0.0	1050	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1150	2.1	0.0	6.4	8.5	9.3	1150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1250	0.0	0.0	0.5	4.0	5.4	1250	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
1350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1350	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
2-1 (上段)						2-2 (上段)						2-3 (上段)						
Sidel鉄筋番号	93	95	96			Sidel鉄筋番号	85	86	88			Sidel鉄筋番号	77	78	80			
$y \setminus x$ (mm)	118	474	555			$y \setminus x$ (mm)	113	197	489			$y \setminus x$ (mm)	253	338	696			
50	0.0	0.0	0.0			50	0.0	0.0	0.0			50	0.0	0.0	0.0			
150	0.0	0.0	0.0			150	0.0	0.0	0.0			150	0.0	0.0	0.0			
250	0.0	0.0	0.0			250	0.0	0.0	0.0			250	0.0	0.0	0.0			
350	0.0	0.0	0.0			350	0.0	0.0	0.0			350	0.0	0.0	0.0			
450	0.0	0.0	0.0			450	0.0	0.0	0.0			450	0.0	0.0	0.0			
550	0.0	0.0	0.0			550	0.0	0.0	0.0			550	0.0	2.2	2.6			
650	0.0	0.0	0.0			650	0.0	0.0	0.0			650	0.0	4.4	7.7			
750	0.0	0.0	0.0			750	0.0	0.0	0.0			750	0.0	3.0	3.2			
850	0.0	0.0	0.0			850	0.0	0.0	0.0			850	0.0	0.0	0.0			
950	0.0	0.0	0.0			950	0.0	0.0	0.0			950	0.0	0.0	0.0			
1050	0.0	0.0	0.0			1050	0.0	0.0	0.0			1050	0.0	0.0	0.0			
1150	0.0	0.0	0.0			1150	0.0	0.0	0.0			1150	0.0	0.0	0.0			
1250	0.0	0.0	0.0			1250	0.0	0.0	0.0			1250	0.0	0.0	0.0			
1350	0.0	0.0	0.0			1350	0.0	0.0	0.0			1350	0.0	0.0	0.0			

Ⅲ. はり

1. 部材概要および劣化状況

調査対象としたはりの概要と計測位置、および劣化状況を図-B. Ⅲ. 1~3に示す。はりは、内部（底面）に鋼板が入った構造となっており、スターラップはφ9mm、主筋はφ21mmであった。現地では、下部工（鋼管杭）には電気防食が施されていた。

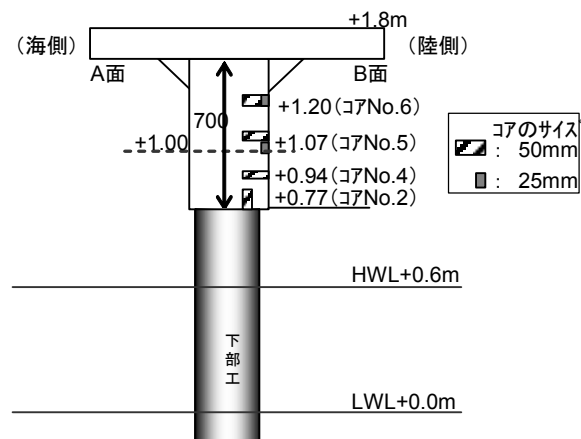


図-B. Ⅲ. 1 はり概要

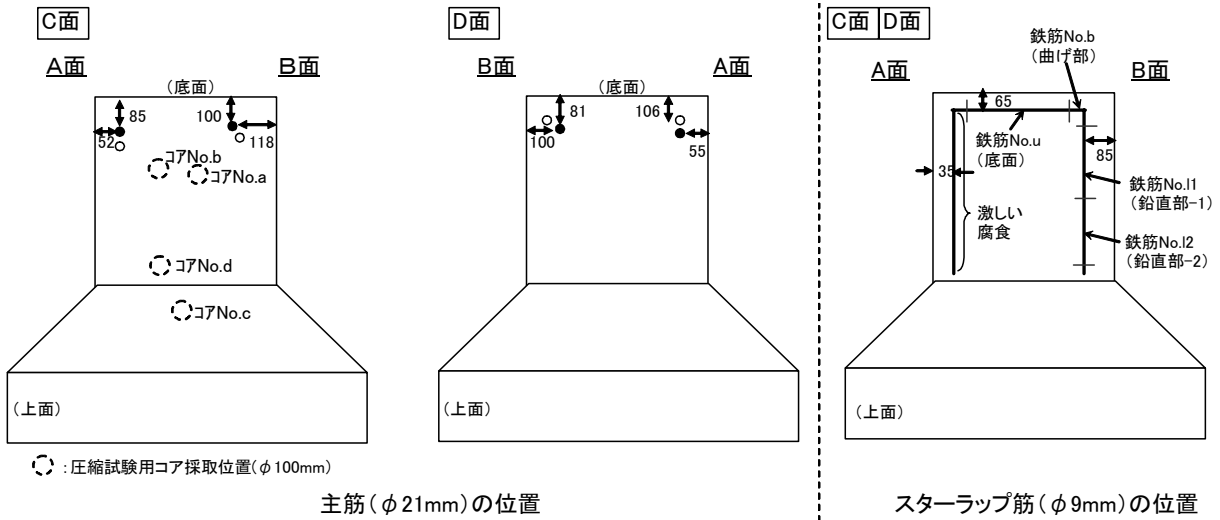


図-B. III. 2 鉄筋位置およびコア採取位置

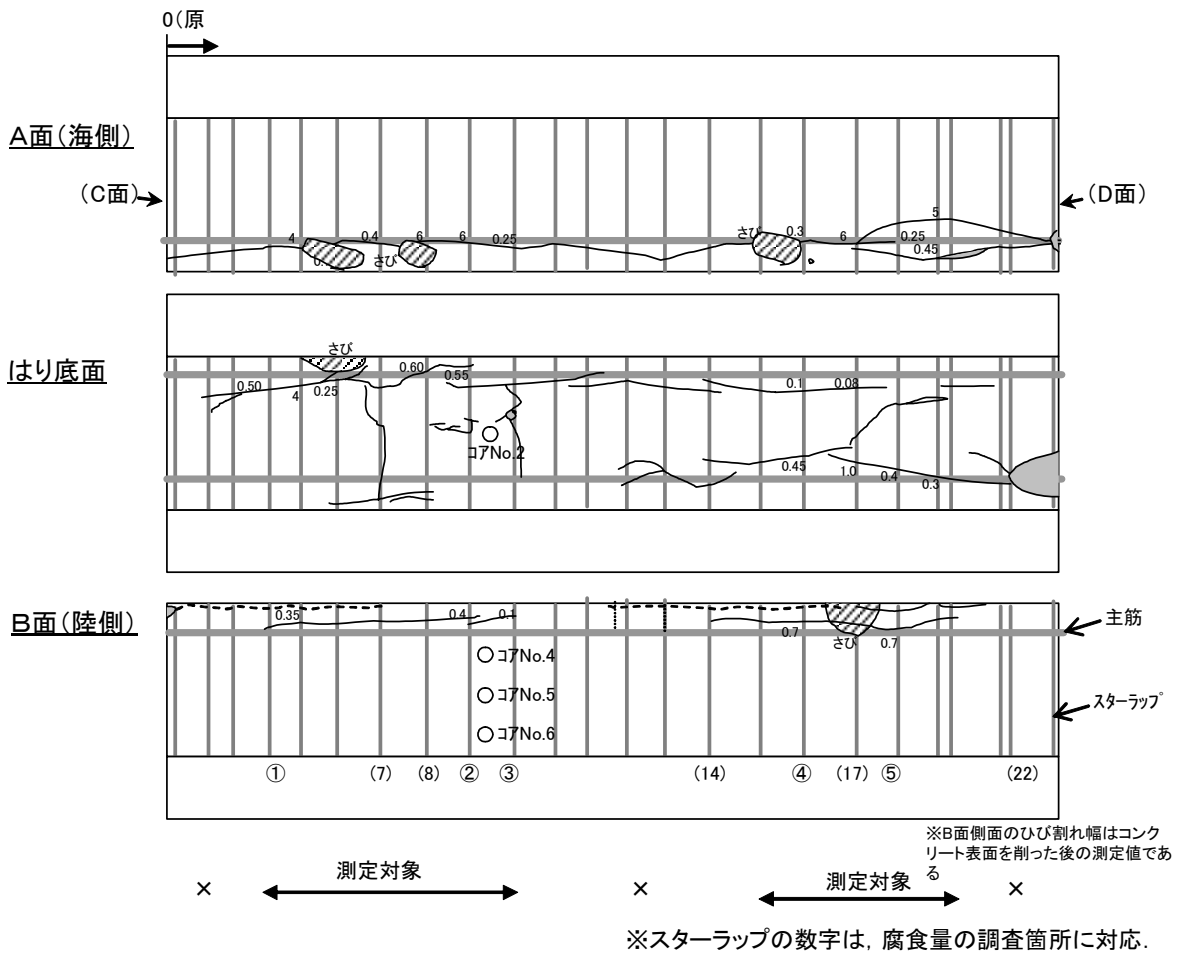


図-B. III. 3 劣化状況、鉄筋およびコア採取位置

2. コンクリート中の空隙量

コア No.4, 5 の一部に対して、コンクリートの飽和重量 W_s 、乾燥重量 W_d および飽和時の容積 V_s を測定し、次式で空隙量 P を求めた。

$$P = \frac{W_s - W_d}{V_s} \cdot \frac{1}{\rho_w}$$

ここで、 ρ_w ：水の密度である。なお、コンクリートの飽和は、水道水中に 8 日間浸漬させることにより行い、乾燥は 105℃ の環境に 9 日間置くことにより行った。結果を以下に示す。

コア No.	空隙量(cc/cc)
4	0.164
5	0.142

3. コンクリートの圧縮強度

はり断面から $\phi 100\text{mm}$ コアを採取し 1 日間水道水 (20℃) に水浸させた後、圧縮試験を行った。圧縮強度およびヤング係数を以下に示す。

コア No.	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング率(kN/mm ²)
a	38.0	27.8
b	34.5	25.1
c	26.3	35.2
d	20.2	20.8

4. コンクリート中の塩化物イオン量

$\phi 50\text{mm}$ のコアをはり底面 (コア No.2) および側面 (コア No.4,5,6) から採取し、JCI-SC 4 に準拠して全塩分量を測定した。測定深さは、コンクリート表面から 5-15, 25-35, 45-55, 65-75, 85-95mm の 5 点とした。なお、側面の最底面側のみ深さ 105-115mm についても測定を行った。


コア No.	コンクリート表面からの深さ(mm)						
	10	30	50	70	90	100	110
2 (底面)	9.0	8.6	5.6	4.5	4.1	3.8	-
4 (側面-下)	7.4	8.3	7.6	6.1	3.3	-	5.0
5 (側面-中)	5.4	6.2	7.5	5.7	3.3	-	1.7
6 (側面-上)	5.6	8.5	5.9	4.4	4.2	-	2.4

5. 電気化学特性値

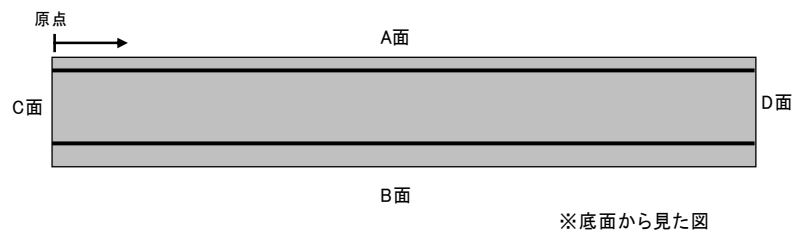
(1) 測定方法

四国総合研究所社製 SRI-CM-III により、自然電位および分極抵抗の測定を行った。自然電位測定の際は、照合電極として飽和 KCl-Ag/AgCl 電極を用いた。分極抵抗は交流インピーダンス法により測定を行った。負荷電圧は 10mV、周波数は 10Hz/20mHz の 2 種類である。鉄筋との電氣的導通は、部材切断面の鉄筋にリード線をはんだで接着することにより行った。測定箇所は、主鉄筋 (底面側) のみであり、測定点数は 3 点/箇所×4 箇所 (A・B 両面 2 箇所づつ) の計 12 点である。なお、測定は、測定箇所表面をディスクサンダーで削り、水道水で湿潤させたウェスを 1-2 時間程度かぶせた後に行った。

(2) 測定結果

電気化学特性値測定結果を以下に示す。測定位置については、 および添付図を参照のこと。

側面	No.	かぶり (cm) : C,D 面での値	原点(C面)からの距離 (cm)		自然電位 (mV)	分極抵抗 (kΩcm ²)	コンクリート抵抗 (kΩ)	表面における ひび割れ幅 (mm)	
			切断位置	中心位置					
A 面側	A	5.2	30	50	40.0	-	-	-	
	B		50	67	58.5	-	-	-	
	C		67	97	82.0	-53	156	0.9	
	D		97	180	138.5	-34	50	0.5	
	E	5.5	180	197	188.5	-	-	-	
	F		197	215	206.0	-89	146	1.0	
	G		215	233	224.0	-89	184	1.1	
	H		233	251	242.0	-92	231	0.9	
B 面側	I	10.0	30	50	40.0	-	-	-	
	J		50	67	58.5	-	-	-	
	K		67	83	75.0	-265	243	1.1	
	L		83	97	90.0	-293	282	1.3	
	M		97	180	138.5	-299	292	1.4	
	N	8.1	180	197	188.5	-	-	-	
	O		197	215	206.0	-213	24	0.9	
	P		215	233	224.0	-199	35	0.8	
	Q		233	251	242.0	-183	14	0.2	
	R*		不明	不明	不明	不明	-	-	-



6. 鉄筋の質量減少率

(1) 測定方法

主筋 (A・B 面) およびスターラップ筋 (底面・B 面) をはつり出し、サンドブラスト処理、10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液への浸せき (60°C, 約 2 日) を行うことにより腐食生成物を除去した。除錆した鉄筋の単位長さあたりの質量を測定し、鉄筋の質量減少率を算出した。目視により発錆が認められないものについては、質量減少率を 0.0% と評価した。スターラップ筋については、底面部・曲げ部・側面部の 3 箇所について行った。なお、A 面については腐食が激しく、試料採取が困難であったため、測定は行わなかった。また、曲げ部の長さは、鉄筋をコピー機に載せて、鉄筋全長を投影し、その全面積を鉄筋径で除すことにより求めた。

(2) 測定結果

測定結果を以下に示す。鉄筋 No. および位置については、図-B. III. 2 および図-B. III. 3, 添付図を参照のこと。

スターラップ

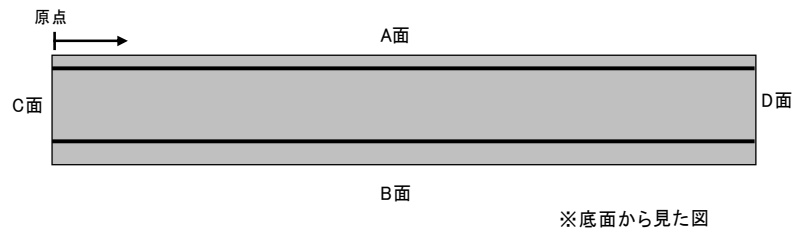
No.	位置			
	u(底面)	b(曲げ部)	l1(鉛直 1)	l2(鉛直 2)
①	1.5	3.2	0.0	0.4
7	-	39.2	-	-
8	3.1	2.6	-	-
②	-	1.7	1.5	1.0
③	8.2	0.5	0.5	0.5
14	4.1	9.7	-	-
④	-	57.8	2.5	2.3
17	-	41.3	-	-
⑤	-	35.7	3.0	2.7
22	4.1	4.6	-	-

単位:%

主筋

側面	No.	かぶり (cm) : C,D 面での値	原点(C 面) からの距離 (cm)		質量減少率 (%)	
			切断位置	中心位置		
A 面側	A	5.2	30	50	40.0	34.9
	B		50	67	58.5	47.5
	C		67	97	82.0	48.6
	D		97	180	138.5	48.5
	E	5.5	180	197	188.5	44.9
	F		197	215	206.0	41.1
	G		215	233	224.0	62.0
	H		233	251	242.0	31.7
B 面側	I	10.0	30	50	40.0	1.5
	J		50	67	58.5	7.0
	K		67	83	75.0	7.1
	L		83	97	90.0	7.5
	M		97	180	138.5	4.4
	N	8.1	180	197	188.5	12.8
	O		197	215	206.0	14.8
	P		215	233	224.0	15.2
	Q		233	251	242.0	8.4
	R*		不明	不明	不明	不明

*腐食が最も軽微なもの (基準として使用)



IV. 投稿論文

- 1) 渡邊真史, 横田弘, 岩波光保, 下村匠: 塩害を受けたRC栈橋上部工の構造性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, 2006年 (印刷中)
- 2) 加藤絵万, 岩波光保, 横田弘, 守分敦郎: 塩害を受けた栈橋上部工の劣化状況のばらつきに関する考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, 2006年 (印刷中)

付録C C港栈橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状

I. 施設概要

調査対象は、C港RC栈橋上部工より切り出した床版(S)およびはり(B)である。当該栈橋は1965年に供用開始後、2004年に撤去された。床版はプレキャストコンクリート製であり、はり底面には鋼板が入った構造であるが、使用材料および配合等の詳細情報は不明である。また、供用時は下部工(鋼管杭)に電気防食が施されていた。栈橋標準断面を図-C. I. 1に、調査対象とした床版およびはりの採取箇所を図-C. I. 2示す。また、同栈橋上部工改良工事終了後、連続的に計測を行った栈橋スラブ上、スラブ下、海中部における温度、湿度(スラブ上・下)、水位変化を表-C. I. 1に示す。なお、表中の浸漬率は、水位がはり底面より上となっている時間の割合を示す。

以降、原則として、はりに関するデータをIIに、床版に関するデータをIIIに示す。

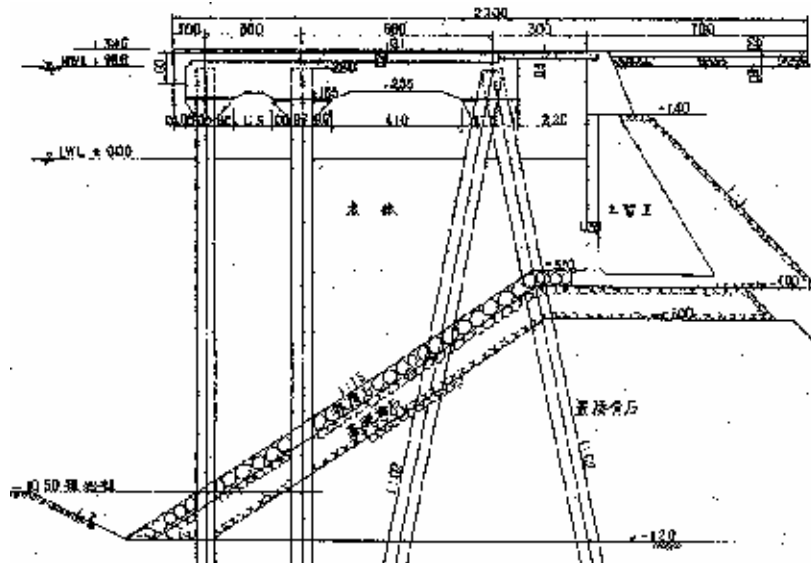


図-C. I. 1 栈橋標準断面

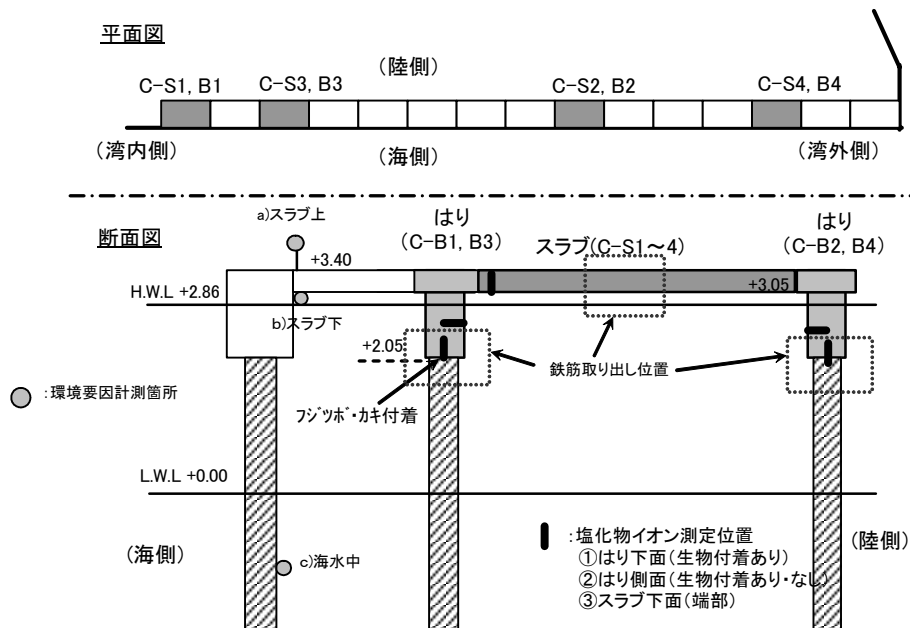


図-C. I. 2 床版およびはり採取箇所

表-C. I.1 環境計測結果

期間		5/8-6/30	6/30-8/21	8/21-10/10	10/10-12/11	12/11-2/7	2/7-3/28	平均値*
温度(°C)	スラブ上	21.7	27.6	24.5	13.8	6.8	8.5	13.4
	スラブ下			24.9	15.1	8.1	9.1	14.3
	海水	20.7	26.3	25.6	18.2	11.1	10.3	16.3
湿度(%)	スラブ上	76.9	79.5	75.0	70.6	72.8	75.0	73.4
	スラブ下			84.0	87.4	90.3	89.0	87.7
浸漬率(はり底面)		0.431	0.474	0.506	0.437	0.347	0.298	0.416

*温度・湿度は02/8/21～03/3/28の平均

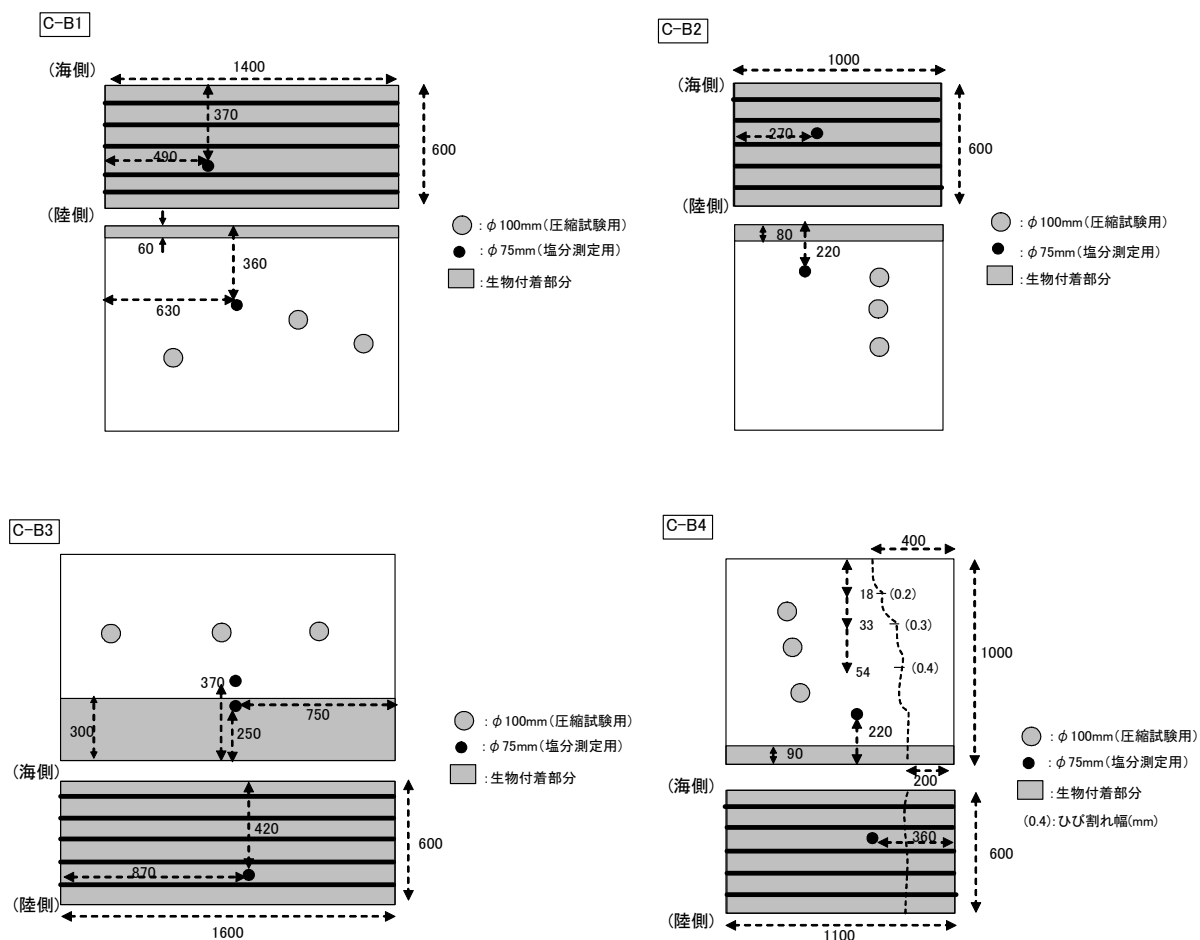
II. はり

1. 部材概要およびコア採取位置

調査対象としたはり(計4体)の概要およびコア採取位置を以下に示す。

部材 No.	平均かぶり(cm)	劣化度 (切り出し後の判定)	外観状況
C-B1	9.0	D	異常なし
C-B3	8.0	D	異常なし
C-B2	8.5	D	異常なし
C-B4	7.5	D	最大ひび割れ幅 0.4mm

※腐食ひび割れではない



2. コンクリートの配合推定

セメント協会コンクリート専門委員会報告 F-18 「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告」に準じて、C-B1 から採取したコアを用いて行った。

単位容積質量(kg/m ³)		単位量(kg/m ³)			W/C(%)
表乾	絶乾	C	W	S+G	
2350	2200	321	197	1727	61

3. コンクリート中の空隙量

はり C-B1 および B4, 床版 C-S1 および S3 から採取したコアについて、水銀圧入法によりコンクリート中の細孔径分布を求めた。また、コンクリートの飽和重量 W_s , 乾燥重量 W_d および飽和時の容積 V_s を測定し、次式で空隙量 P を求めた。

$$P = \frac{W_s - W_d}{V_s} \cdot \frac{1}{\rho_w}$$

ここで、 ρ_w : 水の密度である。なお、コンクリートの飽和は、水道水中に7日間以上浸漬させることにより行い、乾燥は105°Cの環境に7日間以上置くことにより行った。結果を以下に示す。

全細孔量 (mL/g)			空隙量(cc/cc)	
部材名	表面からの距離(mm)		部材名	表面からの距離(mm)
	0-5	45-55		5-15
C-B1	0.0818	0.0992	C-B1	-
C-B4	0.0925	0.0961	C-B4	-
C-S1	-	0.0856	C-S1	0.131
C-S3	-	-	C-S3	0.126

4. コンクリートの圧縮強度

はり断面からφ100mm コアを採取し数日間水道水(20°C)に水浸させた後、圧縮試験を行った。圧縮強度およびヤング係数を以下に示す。

部材名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数(kN/mm ²)
C-B1	33.6	35.8
C-B2	32.3	30.1
C-B3	37.1	35.8
C-B4	35.3	31.0

5. コンクリート中の塩化物イオン量

コンクリート中の塩化物イオン量を以下に示す。φ75mmのコアをはり底面および側面から採取し、JCI-SC4に準拠して全塩分量を測定した。

C-B1	底面*	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	30	50	70	90	
		コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	9.8	3.0	1.9	1.1	0.9	
	側面	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	30	50	70	80	
		コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	16.4	7.6	4.0	0.7	0.5	
C-B2	底面*	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	25	40	55	80	
		コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	4.1	4.4	2.6	2.9	2.6	
	側面	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	25	40	55	80	
		コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	9.2	7.7	6.8	6.1	5.2	
C-B3	底面*	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	30	50	70	80	
		コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	13.8	4.1	2.6	1.5	0.8	
	側面	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	20	30	50	70	90
		コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	15.5	9.9	7.4	3.2	1.6	0.7
C-B4	底面*	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	25	40	55	80	
		コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	6.7	4.4	3.3	1.9	1.2	
	側面	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	25	40	55	80	
		コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	8.7	4.6	4.1	3.0	1.9	

*フジツボが全面に付着

6. コンクリートの実効拡散係数量

はり C-B1 および床版 C-S1 から採取したコアについて、JSCE-G571-2003 と同様な方法で実施した。なお、異なる点は以下の通りである。(※JSCE 基準が制定される前に行ったため。)

- ・ 試料厚さは約 30mm とした。
- ・ 溶液として、アノード側が Ca(OH)₂ 飽和溶液、カソード側が 5%NaCl 溶液を用いた。

C-B1

生物付着状況 (%) *	実効拡散係数(×10 ⁻⁸ cm ² /s)
100	0.06
95	0.06
55	0.09
32	0.11
0	0.15

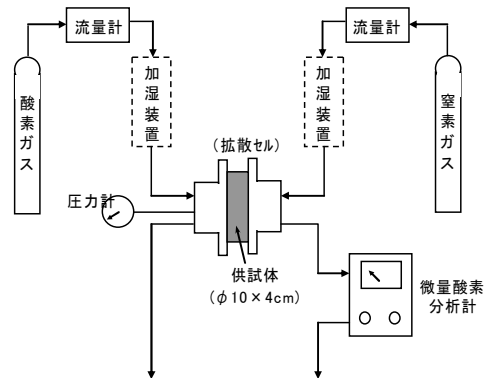
C-S1

表面からの距離(mm)	実効拡散係数(×10 ⁻⁸ cm ² /s)
0~30	0.07
30~60	0.08

*フジツボの付着層 (殻は除去)

7. コンクリートの酸素拡散係数

はり C-B4 から採取したコアについて、日本コンクリート工学協会基準案 JCI-DD5 「酸素の拡散試験方法（案）」に準拠して行った。



試験までの状態	酸素拡散係数($\times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$)	含水率
水道水浸漬	0.28	0.97
2ヶ月乾燥*	0.75	0.93
8ヶ月乾燥*	2.55	0.87

*温度 20℃，湿度 80-90%程度 of 環境下に所定期間放置

8. 電気化学特性値

(1) 測定方法

テスタと照合電極を用いて自然電位のみの測定を、四国総合研究所社製 SRI-CM-III を用い、自然電位、分極抵抗およびコンクリート抵抗の測定を行った。前者の自然電位のみの測定の際は、照合電極として海水-銀塩化銀電極を用いた。後者の場合は、自然電位測定の際には、飽和 KCl-Ag/AgCl 電極を用いた。分極抵抗は交流インピーダンス法により測定を行った。負荷電圧は 10mV、周波数は 10Hz/20mHz の 2 種類とした。鉄筋との電気的導通は、切断面の鉄筋にリード線をはんだで接着することにより行った。測定箇所は、「主鉄筋（底面側）」のみである。なお、測定は、測定箇所表面をディスクサンダーで削り、「海水」で湿潤させたウェスを 1～2 日かぶせた後に行った。

(2) 測定結果

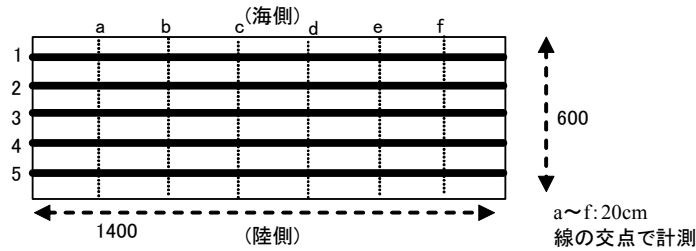
C-B1～B4 のにおける電気化学特性値測定結果を以下に示す。計測点 No.および位置は各添付図を参照のこと。

C-B1

かぶり (cm)			自然電位 (mV)						
A	B	平均		a	b	c	d	e	f
9.5	9.0	9.3	1	-	-219	-	-	-187	-
9.5	9.0	9.3	2	-	-213	-	-	-189	-
9.5	9.0	9.3	3	-	-205	-	-	-186	-
9.5	9.0	9.3	4	-	-203	-	-	-191	-
9.0	9.0	9.0	5	-	-206	-	-	-184	-

かぶり (cm)			見かけの分極抵抗 (kΩcm ²)						
A	B	平均		a	b	c	d	e	f
9.5	9.0	9.3	1	-	550	-	-	407	-
9.5	9.0	9.3	2	-	594	-	-	614	-
9.5	9.0	9.3	3	-	574	-	-	707	-
9.5	9.0	9.3	4	-	619	-	-	525	-
9.0	9.0	9.0	5	-	580	-	-	523	-

かぶり (cm)			コンクリート抵抗 (kΩ)						
A	B	平均		a	b	c	d	e	f
9.5	9.0	9.3	1	-	2.45	-	-	1.82	-
9.5	9.0	9.3	2	-	3.10	-	-	2.71	-
9.5	9.0	9.3	3	-	2.62	-	-	2.85	-
9.5	9.0	9.3	4	-	2.71	-	-	2.46	-
9.0	9.0	9.0	5	-	2.35	-	-	1.97	-

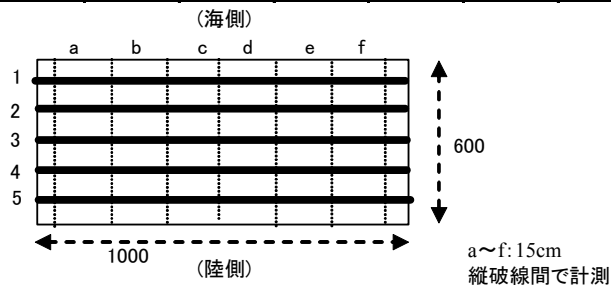


C-B2

かぶり (cm)			自然電位 (mV)						
A	B	平均		a	b	c	d	e	f
8.0	8.5	8.3	1	-	-174.8	-	-186.7	-	-198.5
8.0	8.5	8.3	2	-	-180	-	-188.6	-	-204.9
8.0	8.5	8.3	3	-	-184.5	-	-195.8	-	-217.4
8.0	9.0	8.5	4	-	-196.2	-	-203.5	-	-222.5
9.0	8.5	8.8	5	-	-200.7	-	-210.8	-	-226.8

かぶり (cm)			見かけの分極抵抗 (kΩcm ²)						
A	B	平均		a	b	c	d	e	f
8.0	8.5	8.3	1	-	140	-	117	-	139
8.0	8.5	8.3	2	-	138	-	135	-	150
8.0	8.5	8.3	3	-	126	-	144	-	127
8.0	9.0	8.5	4	-	114	-	118	-	122
9.0	8.5	8.8	5	-	132	-	128	-	151

かぶり (cm)			コンクリート抵抗 (kΩ)						
A	B	平均		a	b	c	d	e	f
8.0	8.5	8.3	1	-	1.33	-	1.07	-	1.17
8.0	8.5	8.3	2	-	1.10	-	1.03	-	1.07
8.0	8.5	8.3	3	-	1.04	-	1.08	-	0.96
8.0	9.0	8.5	4	-	0.88	-	0.96	-	1.04
9.0	8.5	8.8	5	-	1.11	-	1.06	-	1.20

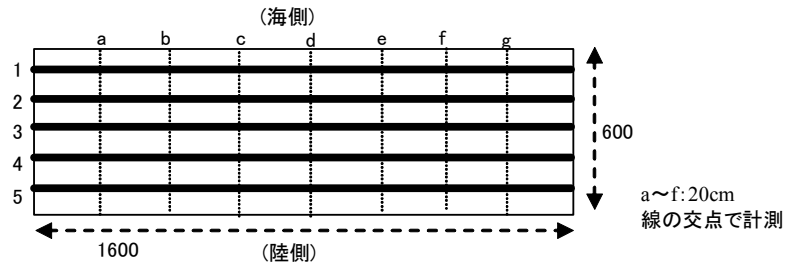


C-B3

かぶり (cm)			自然電位 (mV)							
A	B	平均		a	b	c	d	e	f	g
8.0	8.0	8.0	1	-	-214	-	-	-180	-	-
8.0	8.0	8.0	2	-	-226	-	-	-206	-	-
7.5	8.0	7.8	3	-	-233	-	-	-212	-	-
7.5	7.5	7.5	4	-	-225	-	-	-207	-	-
7.5	7.5	7.5	5	-	-247	-	-	-208	-	-

かぶり (cm)			見かけの分極抵抗 (kΩcm ²)							
A	B	平均		a	b	c	d	e	f	g
8.0	8.0	8.0	1	-	371	-	-	479	-	-
8.0	8.0	8.0	2	-	315	-	-	518	-	-
7.5	8.0	7.8	3	-	206	-	-	541	-	-
7.5	7.5	7.5	4	-	382	-	-	619	-	-
7.5	7.5	7.5	5	-	569	-	-	703	-	-

かぶり (cm)			コンクリート抵抗 (kΩ)							
A	B	平均		a	b	c	d	e	f	g
8.0	8.0	8.0	1	-	1.12	-	-	1.81	-	-
8.0	8.0	8.0	2	-	2.43	-	-	3.21	-	-
7.5	8.0	7.8	3	-	2.25	-	-	3.31	-	-
7.5	7.5	7.5	4	-	3.16	-	-	3.82	-	-
7.5	7.5	7.5	5	-	2.50	-	-	3.74	-	-

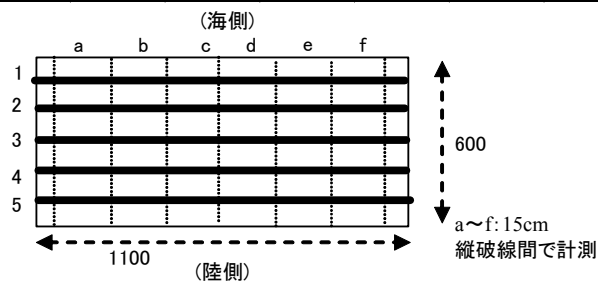


C-B4

かぶり (cm)			自然電位 (mV)						
A	B	平均		a	b	c	d	e	f
7.8	8.4	8.1	1	-	-126.3	-	-129.4	-	-158.8
7.2	7.7	7.4	2	-	-162.6	-	-172.4	-	-195
7.4	7.5	7.5	3	-	-119.5	-	-129.5	-	-139.2
7.9	7.5	7.7	4	-	-156.2	-	-164.6	-	-179.4
7.8	7.3	7.6	5	-	-152.1	-	-162.6	-	-182.5

かぶり (cm)			見かけの分極抵抗 (kΩcm ²)						
A	B	平均		a	b	c	d	e	f
7.8	8.4	8.1	1	-	250	-	287	-	278
7.2	7.7	7.4	2	-	151	-	140	-	147
7.4	7.5	7.5	3	-	190	-	168	-	146
7.9	7.5	7.7	4	-	131	-	121	-	123
7.8	7.3	7.6	5	-	122	-	134	-	113

かぶり (cm)			コンクリート抵抗 (kΩ)						
A	B	平均		a	b	c	d	e	f
7.8	8.4	8.1	1	-	1.45	-	1.62	-	1.34
7.2	7.7	7.4	2	-	1.47	-	1.26	-	1.17
7.4	7.5	7.5	3	-	1.75	-	1.56	-	1.33
7.9	7.5	7.7	4	-	1.26	-	1.1	-	1.14
7.8	7.3	7.6	5	-	1.15	-	1.31	-	1.11

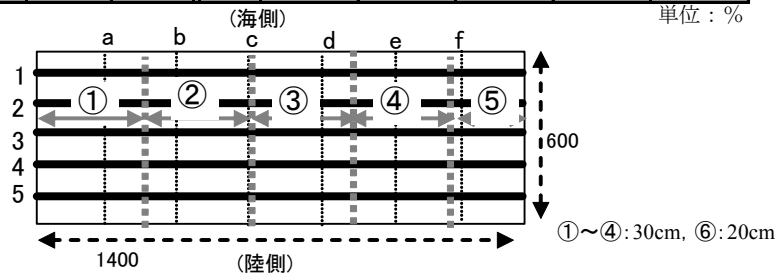


9. 鉄筋の腐食面積率

目視により確認される鉄筋の腐食部を透明フィルムに写し取り、スキャナで面積を読み取ることにより求めた。計測点No.および位置は各添付図を参照のこと

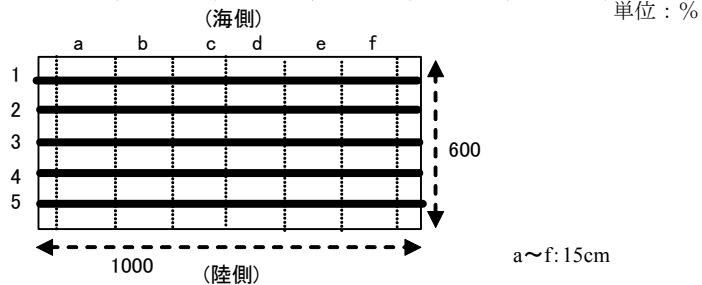
C-B1

かぶり (cm)				①	②	③	④	⑤
A	B	平均						
9.5	9.0	9.3	1	0	0	0	0	0
9.5	9.0	9.3	2	0	0	0	0	0
9.5	9.0	9.3	3	0	0	0	0	0
9.5	9.0	9.3	4	0	0	0	0	0
9.0	9.0	9.0	5	0	0	0	0	0



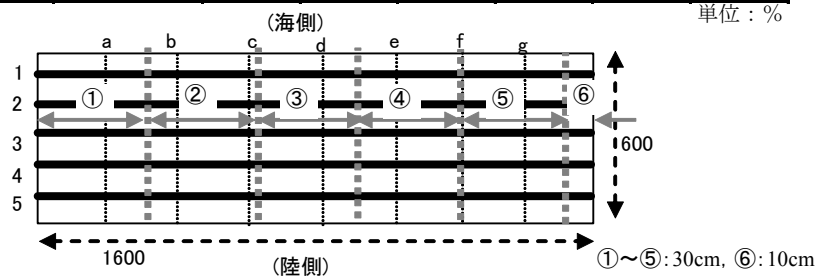
C-B2

かぶり (cm)				a	b	c	d	e	f
A	B	平均							
8.0	8.5	8.3	1	10.7	18.0	19.8	11.8	13.8	12.9
8.0	8.5	8.3	2	7.4	7.7	7.8	10.5	7.9	12.7
8.0	8.5	8.3	3	10.0	8.6	8.2	9.7	10.6	11.1
8.0	9.0	8.5	4	10.7	11.0	12.3	9.8	10.6	12.2
9.0	8.5	8.8	5	8.0	9.1	9.8	6.8	6.8	7.6



C-B3

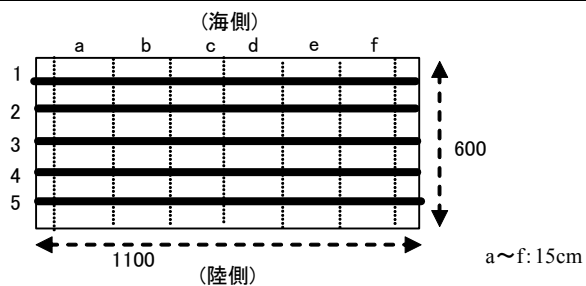
かぶり (cm)				①	②	③	④	⑤	⑥
A	B	平均							
8.0	8.0	8.0	1	2.4	1.5	2.8	3.1	4.1	5.9
8.0	8.0	8.0	2	2.5	3.2	3.1	3.8	4.6	6.1
7.5	8.0	7.8	3	1.9	2.3	3.7	2.5	3.5	3.8
7.5	7.5	7.5	4	1.4	0.7	1.3	1.2	1.5	0.6
7.5	7.5	7.5	5	3.9	4.2	4.6	4.6	5.2	6.8



C-B4

かぶり (cm)				a	b	c	d	e	f
A	B	平均							
7.8	8.4	8.1	1	14.7	19.0	29.9	24.3	28.2	22.9
7.2	7.7	7.4	2	20.7	15.9	21.9	21.9	14.7	11.7
7.4	7.5	7.5	3	14.5	11.7	10.1	16.0	10.5	7.9
7.9	7.5	7.7	4	18.6	19.8	20.4	24.0	16.4	6.1
7.8	7.3	7.6	5	17.3	17.0	14.4	19.4	18.9	13.1

単位：%



Ⅲ. 床版

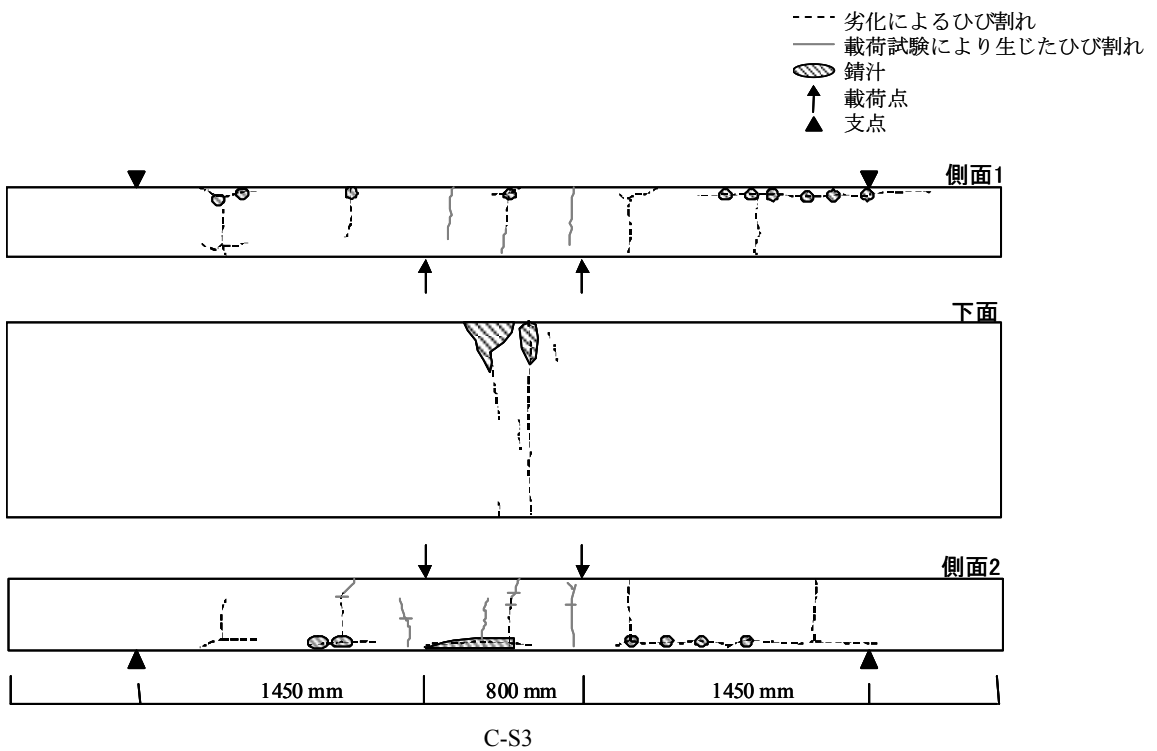
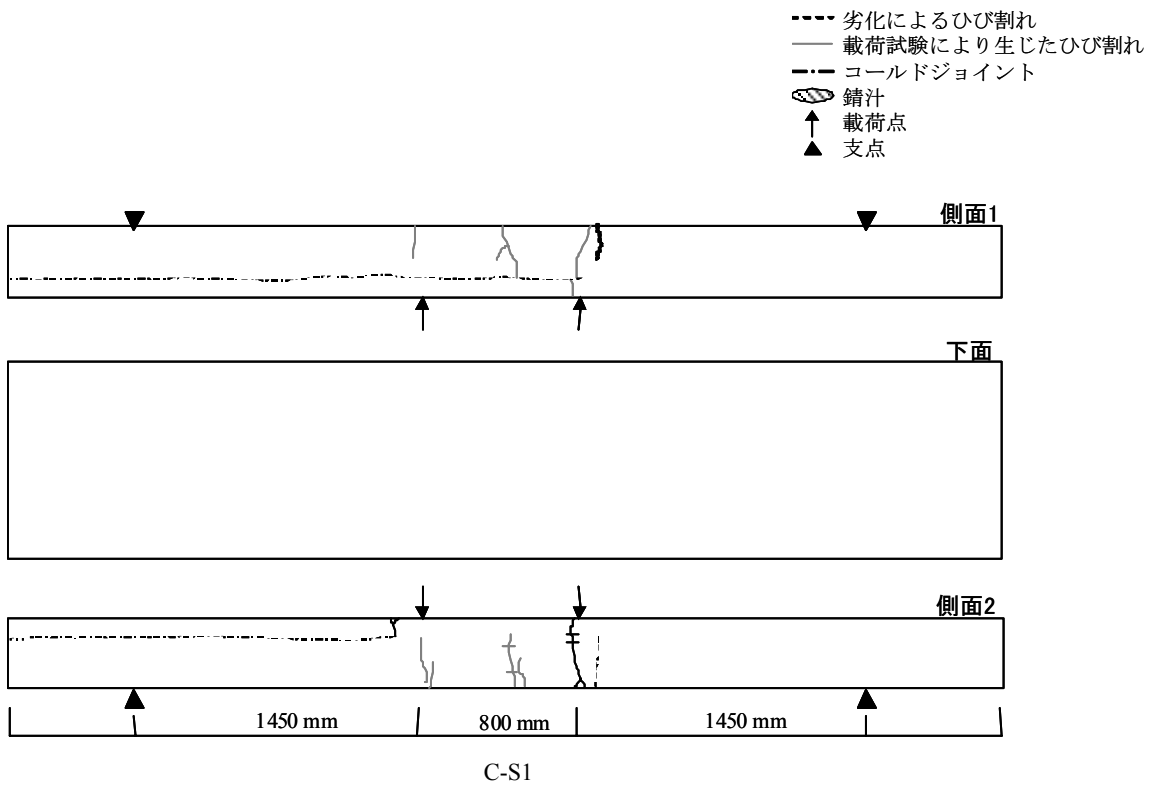
1. 部材概要

調査対象とした床版（計4体）の概要を以下に示す。

部材 No.		C-S1	C-S2	C-S3	C-S4
項目	劣化度	D	C	B	A
	はり高 (mm)	350	350	350	350
	はり巾 (mm)	1010	1010	1010	1010
軸方向鉄筋 1	鉄筋径 (mm)	13	13	13	13
	鉄筋本数 (本)	5	5	5	5
	有効高さ d_1 (mm)	235	280	300	285
軸方向鉄筋 2	鉄筋径 (mm)	16	16	16	16
	鉄筋本数 (本)	3	2	2	3
	有効高さ d_2 (mm)	165	225	220	220
	オーバーレイの平均厚さ (mm)	85	95	95	105
	コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)	46.8	32.6	37.3	35.5

2. 外観観察

C-S1 および C-S3 の劣化状況および荷重後のひび割れ発生状況を以下に示す。



C-S3 では、底面においておよそ 60%に浮きが確認された。

3. コンクリート中の塩化物イオン量

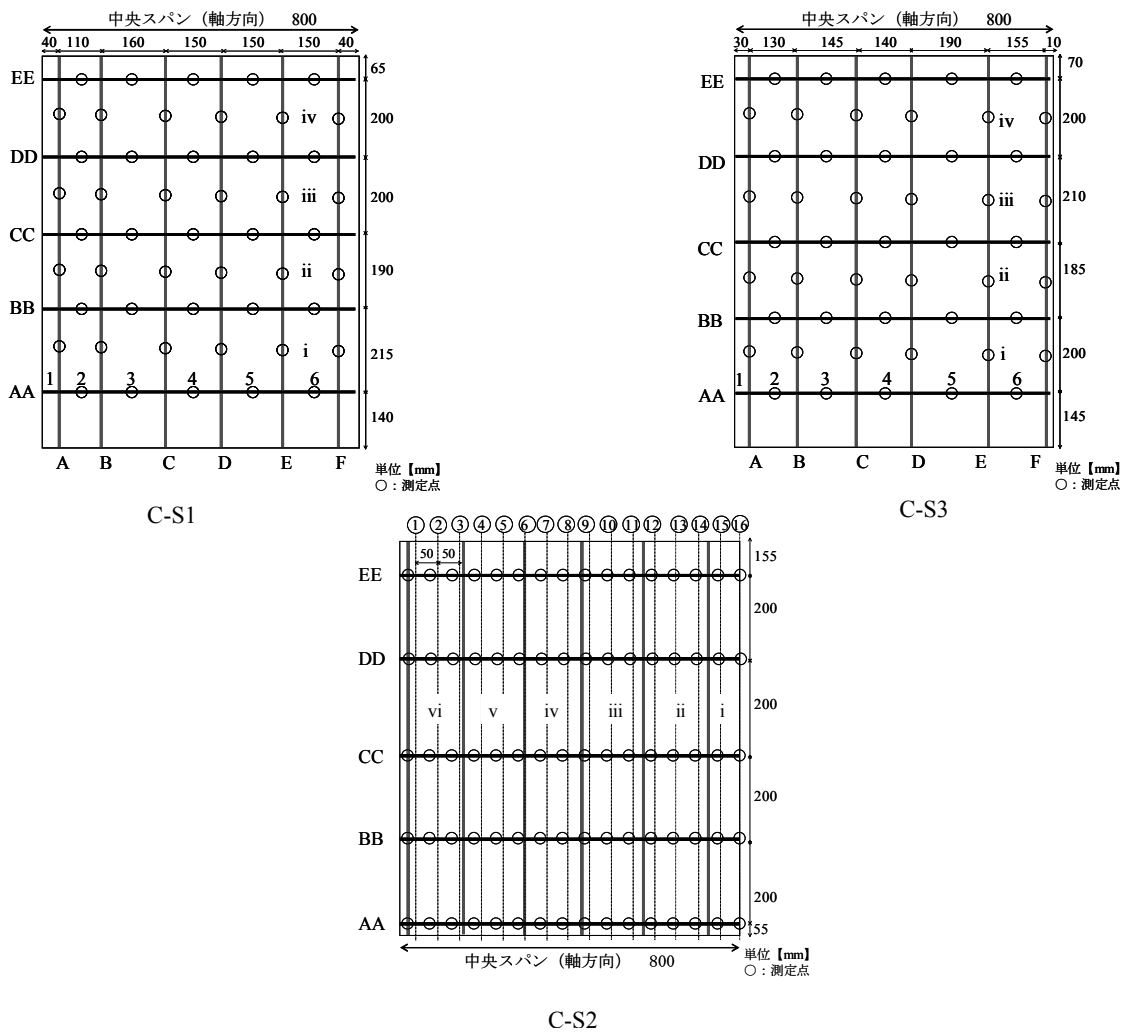
コンクリート中の塩化物イオン量を以下に示す。測定は JCI-SC5 電位差滴定に準拠して全塩分量について行った。

部材 No.	C-S1	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	20	35	50	80	90
		コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	13.1	9.5	6.2	3.7	0.7	0.7
C-S2	コンクリート表面からの深さ (mm)	5	20	35	60	75	-	
	コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	15.8	10.4	9.1	5.2	3.3	-	
C-S3	コンクリート表面からの深さ (mm)	10	20	35	50	80	90	
	コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	10.9	9.0	6.7	4.3	0.6	0.6	
C-S4	コンクリート表面からの深さ (mm)	5	20	35	60	75	-	
	コンクリート中の塩化物イオン量 (kg/m ³)	14.0	14.3	10.3	5.4	1.8	-	

4. 電気化学特性値

(1) 測定方法

C-S1～S3 の格子状に配置されている下段鉄筋の非交差部に対して、自然電位・見かけの分極抵抗・見かけのコンクリート抵抗の測定を行った。測定は全て部材底面側（海側）から行い、部材への散水 a) 1 時間後、および b) 24 時間湿潤状態を保持した後、四国総合研究所社製 SRI-CM-III により行った。使用した電極は銀塩化銀電極である。a) 散水 1 時間後については C-S1 および S3, b) 24 時間後の結果は C-S1～S3 について測定を行った。



(2) 測定結果

C-S1～S3 の下段鉄筋に対して行った電気化学特性値測定の結果を以下に示す。鉄筋 No., エリア No.および測定点 No. は(1)を参照のこと。

a) 散水1時間後測定結果

鉄筋 No.	エリア No.	C-S1			C-S3		
		自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗 ($k\Omega \cdot cm^2$)	見かけのコンクリート抵抗 ($k\Omega$)	自然電位 (mV)	見かけの分極抵抗 ($k\Omega \cdot cm^2$)	見かけのコンクリート抵抗 ($k\Omega$)
AA	2	-184	945	9.9	-288	288	6.4
	3	-208	742	9.0	-249	261	5.2
	4	-210	788	11.3	-251	376	6.6
	5	-233	557	5.6	-274	354	7.4
	6	-263	597	6.3	-258	498	9.6
BB	2	-189	667	8.4	-273	466	8.7
	3	-214	906	9.0	-300	453	8.4
	4	-217	625	8.6	-299	350	4.8
	5	-254	640	7.7	-299	281	5.0
	6	-277	356	6.3	-264	396	7.7
CC	2	-181	533	7.0	-273	471	9.2
	3	-209	522	7.2	-290	323	5.6
	4	-215	408	8.9	-273	161	3.3
	5	-251	465	6.9	-282	177	3.0
	6	-269	416	6.4	-278	322	7.0
DD	2	-187	752	9.0	-288	376	7.8
	3	-215	783	9.3	-277	397	2.5
	4	-205	785	8.7	-273	236	4.6
	5	-252	636	9.3	-275	109	2.4
	6	-259	407	5.7	-314	224	4.7
EE	2	-192	848	11.1	-260	503	11.4
	3	-212	329	8.6	-250	2330	4.0
	4	-203	896	10.1	-268	248	5.4
	5	-278	578	9.1	-239	122	3.0
	6	-251	615	10.8	-286	507	9.0
A	i	-173	692	10.0	-208	673	13.4
	ii	-172	540	9.5	-213	635	11.1
	iii	-168	625	15.5	-212	624	12.9
	iv	-187	1430	12.3	-194	632	13.2
B	i	-165	622	11.0	-286	404	9.9
	ii	-161	790	11.3	-276	442	8.5
	iii	-159	659	11.8	-282	392	8.7
	iv	-173	3540	10.4	-251	313	7.3
C	i	-209	608	10.2	-305	311	8.2
	ii	-210	568	10.1	-299	213	5.8
	iii	-207	647	9.2	-271	145	3.3
	iv	-183	870	17.0	-244	121	2.9
D	i	-251	695	10.8	-213	220	6.5
	ii	-253	280	11.6	-202	103	2.7
	iii	-250	321	9.5	-181	187	4.2
	iv	-227	355	6.7	-167	151	3.7
E	i	-252	443	6.4	-208	428	8.9
	ii	-248	552	7.6	-221	332	7.6
	iii	-231	696	9.9	-226	236	5.1
	iv	-234	312	7.1	-234	393	8.2
F	i	-248	407	7.4	-252	270	7.9
	ii	-251	3020	12.9	-264	380	10.2
	iii	-240	626	12.1	-282	243	5.1
	iv	-223	670	13.1	-291	136	4.3

b) 24 時間湿潤状態保持後の測定結果

鉄筋 No.	エリア No.	C-S1			C-S3		
		自然電位 (mV)	見かけの 分極抵抗 (kΩ・cm ²)	見かけの コンクリート抵抗 (kΩ)	自然電位 (mV)	見かけの 分極抵抗 (kΩ・cm ²)	見かけの コンクリート抵抗 (kΩ)
AA	2	-229	1190	10.0	-335	361	7.5
	3	-254	884	9.0	-324	389	11.1
	4	-249	867	9.8	-331	350	8.6
	5	-276	601	6.5	-356	377	10.4
	6	-282	565	6.1	-299	389	11.1
BB	2	-217	871	9.5	-307	511	11.9
	3	-227	1210	9.6	-333	666	14.8
	4	-246	947	11.8	-346	261	7.5
	5	-281	640	7.9	-370	202	6.8
	6	-290	331	5.9	-297	302	9.5
CC	2	-233	581	7.3	-304	655	14.7
	3	-244	548	8.2	-319	587	12.2
	4	-245	607	9.2	-316	151	5.6
	5	-297	437	7.9	-336	44	1.6
	6	-318	445	7.6	-304	297	9.1
DD	2	-240	701	9.4	-332	479	11.9
	3	-250	528	9.6	-314	137	3.3
	4	-244	573	6.7	-338	203	6.0
	5	-274	469	7.2	-329	54	2.3
	6	-284	396	5.6	-337	211	6.2
EE	2	-238	725	10.0	-290	742	17.0
	3	-265	498	8.0	-336	205	6.4
	4	-238	533	7.3	-364	189	6.5
	5	-257	655	9.9	-307	134	3.4
	6	-253	837	10.4	-344	348	9.9
A	i	-230	771	12.1	-230	618	16.2
	ii	-219	684	11.9	-226	376	9.4
	iii	-223	463	8.5	-237	622	15.5
	iv	-226	562	9.9	-231	604	15.4
B	i	-239	637	11.5	-331	520	14.0
	ii	-230	592	10.4	-299	490	12.3
	iii	-226	577	10.2	-315	630	17.7
	iv	-249	455	8.6	-327	419	11.2
C	i	-251	586	9.9	-362	342	10.6
	ii	-234	502	8.3	-323	249	7.5
	iii	-243	514	8.2	-302	90	2.4
	iv	-237	407	7.1	-307	79	2.9
D	i	-276	517	8.8	-312	231	6.7
	ii	-274	384	9.5	-283	183	4.8
	iii	-273	603	9.4	-270	175	4.7
	iv	-262	411	7.8	-290	294	5.7
E	i	-285	438	7.5	-257	302	10.9
	ii	-281	354	6.0	-256	341	10.3
	iii	-273	358	6.5	-254	221	3.9
	iv	-262	362	5.9	-265	334	9.4
F	i	-275	280	5.2	-305	236	9.0
	ii	-294	370	6.7	-304	349	11.3
	iii	-283	231	5.0	-321	133	5.9
	iv	-241	363	6.2	-331	183	5.8

C-S2

鉄筋 No.	測定点 No.	自然電位 (mV)	見かけの 分極抵抗 ($k\Omega \cdot cm^2$)	見かけの コンクリート抵抗 ($k\Omega$)
AA	①	-317	498	7.7
	②	-296	3140	15.2
	④	-252	349	6.2
	⑩	-255	1090	26.5
	⑬	-261	326	5.4
	⑯	-318	1780	58.1
BB	①	-271	4050	19.7
	②	-248	569	10.1
	④	-233	1520	34.0
	⑦	-198	698	13.2
	⑧	-210	739	18.0
	⑪	-202	426	7.4
	⑬	-244	1400	9.1
	⑯	-241	887	16.0
CC	①	-237	343	17.4
	⑤	-204	606	11.6
	⑦	-188	934	15.4
	⑩	-203	462	6.4
	⑬	-200	414	9.7
	⑭	-201	663	16.3
	⑯	-242	869	16.1
DD	①	-205	171	60.8
	②	-205	334	6.8
	④	-225	647	17.9
	⑦	-215	415	11.4
	⑧	-239	466	8.7
	⑩	-232	969	22.1
	⑬	-198	342	16.9
	⑭	-194	1800	32.2
EE	②	-214	252	3.7
	④	-260	297	10.0
	⑦	-235	602	13.0
	⑧	-247	270	10.4
	⑩	-216	584	9.9
	⑬	-196	566	10.2
	⑭	-179	921	20.1
⑯	-186	550	9.1	

5. 鉄筋の力学的性質

鉄筋の引張試験結果を以下に示す。

種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
D13	380	539	183
D16	363	538	186

6. 鉄筋の質量減少率

(1) 測定方法

C-S1～3の中央スパンに位置する鉄筋を約800mmはつり出し、腐食による鉄筋の質量減少を測定した。鉄筋は、約150mm毎に切断し、サンドブラスト処理、10%クエン酸水素ニアンモニウム水溶液への浸せき（60℃、約1日）後に金ブラシ・サンダー処理を行うことにより腐食生成物を除去した。除錆した鉄筋の単位長さあたりの質量を測定し、鉄筋の質量減少率を算出した。

(2) 測定結果

測定結果を以下に示す。部材 No., 鉄筋 No., エリア No.は4。(1)を参照のこと。

鉄筋 No.	エリア No.	質量減少率 (%)
AA	1	-
	2	1.7
	3	3.3
	4	0.0
	5	2.9
	6	3.7
BB	1	-
	2	0.0
	3	0.0
	4	0.0
	5	0.0
	6	0.0
CC	1	-
	2	0.0
	3	3.7
	4	3.3
	5	0.0
	6	3.5
DD	1	-
	2	2.1
	3	1.8
	4	0.0
	5	0.0
	6	1.5
EE	1	-
	2	0.0
	3	0.0
	4	0.0
	5	0.0
	6	0.0

鉄筋 No.	エリア No.	質量減少率 (%)
AA	i	3.4
	ii	4.3
	iii	0.5
	iv	1.7
	v	3.4
	vi	0.7
BB	i	3.9
	ii	7.6
	iii	5.8
	iv	5.6
	v	6.2
	vi	5.8
CC	i	0.0
	ii	4.0
	iii	1.6
	iv	2.5
	v	4.6
	vi	3.3
DD	i	1.1
	ii	3.7
	iii	1.4
	iv	1.3
	v	5.0
	vi	15.4
EE	i	3.6
	ii	6.0
	iii	4.2
	iv	3.6
	v	16.5
	vi	34.0

C-S3

鉄筋 No.	エリア No.	質量減少率 (%)	鉄筋 No.	エリア No.	質量減少率 (%)
AA	1	-	A	i	0.7
	2	2.1		ii	0.8
	3	2.5		iii	0.9
	4	6.1		iv	1.0
	5	2.0	B	i	1.7
	6	3.4		ii	1.7
BB	1	-	C	iii	1.7
	2	2.7		iv	1.2
	3	3.1	D	i	0.8
	4	17.2		ii	1.0
	5	3.9		iii	0.9
	6	4.2		iv	19.3
CC	1	-	E	i	19.1
	2	0.7		ii	36.5
	3	1.2		iii	41.3
	4	12.6		iv	43.9
	5	3.2	F	i	3.6
	6	2.2		ii	4.5
DD	1	-	E	iii	3.8
	2	3.3		iv	3.5
	3	2.7	F	i	0.0
	4	7.8		ii	0.0
	5	3.9		iii	0.0
	6	4.9		iv	0.0
EE	1	-			
	2	2.7			
	3	1.7			
	4	11.8			
	5	1.9			
	6	3.1			

IV. 投稿論文

- 1) 山路徹, 渡辺弘子, 小牟礼建一, 濱田秀則, 岩波光保: 海洋環境下で 30 年以上供用された栈橋上部工コンクリートの耐久性, 土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集第 V 部, 2002 年, pp.1027-1028,
- 2) 山路徹, 岩波光保, 濱田秀則: 干満帯および飛沫帯において 30 年以上供用された栈橋上部工コンクリートの耐久性, 土木学会, コンクリート耐久性データベースフォーマットに関するシンポジウム, 2002 年, pp.13-20.
- 3) Ema Kato, Mitsuyasu Iwanami, Hiroshi Yokota and Fuminori Sato: Structural Performance and Material Deterioration of Reinforced Concrete Deck of Pier, Proceedings of the Fourth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering, 2003, pp.107-112.
- 4) Toru Yamaji, Tarek Uddin Mohammed, Hidenori Hamada and Mitsuyasu Iwanami: Durability of A 30-Year-Old Reinforced Concrete Wharf Under Marin Environment, Proceedings of the 4th International Conference on Concrete under Severe Conditions CONSEC '04, 2004, pp.141-148.

港湾空港技術研究所資料 No. 1140

2006. 9

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 昭和情報プロセス株式会社

Copyright © (2006) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。