

コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する
共同研究報告書
—実構造物に対する適用結果—

平成13年 3 月

国土交通省土木研究所
材料施工部コンクリート研究室
日本構造物診断技術協会

Copyright©(2001) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所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。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する 共同研究報告書 —実構造物に対する適用結果—

国土交通省土木研究所
材料施工部コンクリート研究室
日本構造物診断技術協会

要 旨

コンクリート研究室と日本構造物診断技術協会は、既存コンクリート構造物の長寿命化をはかるため、各種の非破壊検査を活用した鉄筋腐食診断技術の開発・改善を目標とし、共同研究を行っている。

本報告書では、各種非破壊検査の現場適用性や測定者・測定機器による測定結果への影響を検討するため、撤去解体される実構造物において各種の非破壊検査を実施し、データを収集した結果を報告する。また、非破壊検査を用いた測定の妥当性を検証するため、コア試料の採取や鉄筋のはつりだしを伴う調査も同時に行ったのでその結果もあわせて報告する。

キーワード：コンクリート構造物、健全度診断、維持管理、非破壊検査、鉄筋腐食、かぶり

コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書

著者名簿

建設省土木研究所

材料施工部コンクリート研究室	室長	河野 広隆
	主任研究員	渡辺 博志
	研究員	田中 良樹
	研究員	古賀 裕久

日本構造物診断技術協会

理事・技術委員長	飯野 忠雄
技術委員	竹田 哲夫
技術委員	内田 明
技術委員	松村 英樹

研究委員

秋山 暉	川崎 克己	中村 公孝
井川 一弘	北園 英明	新谷 毅
石井 和夫	小松 信夫	野永 健二
石本 義将	坂井 涉	平山 信仁
猪之重由之	酒井 徳久	福田 暁
梅田規久夫	神内 隆行	古原 隆
遠藤友紀雄	鈴木 透	毎田 敏郎
小野 定	鈴木 宏信	峰村 富夫
尾之内和久	角 広幸	安田 敏夫
笠井 和弘	瀬野 康弘	吉田 光秀
家室 育夫	谷岡 洋一	

目 次

まえがき	1
本報告書の構成と使用した略号について	3
第Ⅰ部 調査の概要	5
1. 調査・試験項目	7
2. 調査対象構造物	12
3. 調査・試験位置の詳細	19
4. 調査・試験に要した人数・時間等	37
第Ⅱ部 旧暮坪陸橋 P3 橋脚調査	43
1. コンクリートの品質に関する非破壊検査	45
1.1 反発度法によるコンクリート強度の推定	45
1.2 コンクリートの電気抵抗測定	48
1.3 コンクリートの含水率測定	54
1.4 コンクリートの透気係数測定	57
2. 鉄筋位置探査	60
2.1 探査方法	60
2.2 測定装置の詳細	73
2.3 探査結果	78
3. 電気化学的手法による鉄筋腐食の推定	93
3.1 Dk 法	93
3.2 Fb 法	99
3.3 Nb 法	103
3.4 Tk 法	114
4. 小径コアを用いた試験	125
4.1 調査方法	125
4.2 試験結果	126
4.3 考 察	130
5. ドリル試料を用いた塩分量測定	131
5.1 調査の概要	131
5.2 試験結果	132
6. コア採取およびはつりによる調査	135
6.1 コアの圧縮強度試験	135
6.2 コンクリート中の塩分量測定	136
6.3 中性化深さ	138
6.4 はつり調査	140

第Ⅲ部 旧芦川橋 G1 桁調査	147
1. コンクリートの品質に関する非破壊検査	149
1.1 反発度法によるコンクリート強度の推定	149
1.2 コンクリートの電気抵抗測定	150
1.3 コンクリートの含水率測定	153
1.4 コンクリートの透気係数測定	155
2. 鉄筋位置探査	156
2.1 探査方法など	156
2.2 探査結果	157
3. 電気化学的手法による鉄筋腐食の推定	173
3.1 Dk 法	173
3.2 Fb 法	180
3.3 Nb 法	183
3.4 Tk 法	191
4. 赤外線によるはく離箇所の調査	199
4.1 調査の概要	199
4.2 測定方法	200
4.3 測定結果	203
4.4 考 察	209
5. 小径コアを用いた試験	210
5.1 調査の概要	210
5.2 試験結果	214
5.3 考 察	221
6. ドリル試料を用いた塩分量測定	222
7. コア採取およびはつりによる調査	225
7.1 コアの圧縮強度試験	225
7.2 コンクリート中の塩分量測定	226
7.3 中性化深さ	228
7.4 はつり調査	230
あとがき	238
参考文献	240
資 料 編	241

まえがき

現在、コンクリート構造物の建設に当たっては、中性化や塩害、アルカリ骨材反応などによる早期劣化を極力くい止めるように設計・施工において多くの配慮がなされている。しかし、すでに建設されたコンクリート構造物の中には、早期劣化に対する有効な対策が確立される以前につくられた構造物も多く、中には劣化のため監視体制や補修・補強などの対策を要する状態となった構造物もある。膨大な数の既存コンクリート構造物の維持管理を適切に行い、長寿命化をはかっていくことは、重要な課題である。

一方、新設の構造物では、一般に、周辺環境・使用材料に応じた適切な設計・施工がなされていれば、想定する供用期間内で維持管理上問題となるような著しい損傷が発生することはほとんどないと考えられる。しかし、設計・施工が適切に行われていなかった場合や、構造物が想定以上に過酷な環境下におかれた場合は、建設後、比較的初期から劣化が進行することも考えられる。従って、新設のコンクリート構造物においても、定期的な点検を行い、構造物の機能保全につとめる必要がある。

今後、社会資本としてのコンクリート構造物のストックが増えていくことを考えると、維持管理の重要性は一層増していくものと考えられる。

これまで、コンクリート構造物の点検は、ひび割れ等の外観に現れる変状を把握するための目視調査を主体としている。しかし、特に塩害を受けて劣化した構造物では、錆汁やひび割れ等が見られてからでは、補修・補強が容易ではない。構造物中の鋼材の腐食をそのまま長期にわたって放置した場合には、補修工事を実施してもその後短期間で再び劣化が進行することが多く、著しい劣化のために十分な再補修が困難になってしまう場合もある。すなわち、コンクリート構造物の腐食による劣化がひび割れ等によって顕在化してから対応するのでは、補修コストや労力が多大なものになるだけでなく、構造物としての寿命を著しく縮めてしまうことがわかってきた。

このことから、コンクリート構造物の鉄筋腐食の早期発見のためには、何らかの非破壊検査技術を定期点検に導入する必要がある。また、これを活用してコンクリート構造物の健全度を客観的にとらえ、この結果に基づいて詳細点検の要否やその後の補修の要否を判断するといったより効率的な維持管理のシステムを構築することも必要と考えられる。

これまで、建設省土木研究所コンクリート研究室と日本構造物診断技術協会は、平成10年3月に「コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）」を作成し、非破壊検査を利用したコンクリート構造物の健全度診断手法について提案した。このマニュアル（案）では、主に既存の文献や実験結果等を集約して、構造物の補修要否を判断する方法を示した。今後、これをさらによいものとするためには、

- ①鉄筋腐食の早期発見に主眼を置いた非破壊検査の定期点検への導入について検討すること
- ②マニュアル（案）に基づく診断の適用事例を増やし、データを蓄積すること

③適用事例に基づき、診断のプロセスをより明確にするとともに判定に用いる指標をのキャリブレーションを行うこと

④小径コアを用いた試験など新しい技術の導入をはかること

⑤プレストレストコンクリート構造物の耐荷性能に大きな影響を与えるPC鋼材の腐食診断方法について検討すること

等が、必要である。これらの調査検討をすすめるため、土木研究所と日本構造物診断技術協会は、国土交通省官民連帯共同研究「既存コンクリート構造物の高度診断技術の開発」の一部として、平成12年度から3箇年の計画で「コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究」を行っている。

本報告書は、共同研究の一環として、架替えに伴って解体される2つの既存構造物を対象として、各種の手法や機器を用いた非破壊試験を実施するとともに、非破壊試験の結果を検証するためのはつり調査を行った結果を報告するものである。実構造物に対して非破壊試験と破壊を伴った調査を両方行った例は少なく、両者の比較ができるデータや、複数の測定者・測定機器の測定結果が比較できるデータは貴重である。

今後、本報告書の結果を用いて、上記①～⑤に関する検討を行う予定である。

本報告書の構成と使用した略号について

本書は、以下の3部構成とした。

第Ⅰ部 調査の概要：各試験項目の実施目的や実施個所、所要時間等を整理した。

第Ⅱ部 旧暮坪陸橋P3橋脚調査：旧暮坪陸橋P3橋脚に対して実施した試験・調査の方法と結果を、各試験項目ごとに整理して報告した。

第Ⅲ部 旧芦川橋G1桁調査：旧芦川橋G1桁に対して実施した試験・調査結果を報告した。試験・調査方法は、第Ⅱ部と異なる場合のみ記載した。

本報告書は、これらの調査結果を詳細に記録し今後の検討資料とすることを目的としている。得られた試験結果に対する検討は、今後の課題である。

各試験項目ごとに複数の調査者が試験を実施した場合が多いので、調査者ごとに略号（X x等）をつけて整理した。整理の都合上、文中で“X x法”といった表現を用いた場合があるが、同じ測定機器を用いて測定している場合もあり、必ずしも各調査者のオリジナルな試験方法であるとは限らない。各調査者で個々に工夫している点や、測定機器の違いについては、本文中に記述した。

第 I 部 調査の概要

1. 調査・試験項目

まず、今回行った試験項目を、構造物に与える影響の大きさを考慮して以下の3つに分けて整理した(図-1.1)。

- 1) **非破壊検査**：鉄筋およびコンクリートの物理的性質を利用して、構造物中のコンクリート品質や鋼材の位置、コンクリートのはく離箇所等を非破壊で推定する方法。構造物を傷つけず、計測に要する時間も短いものが多いので、目視では劣化の兆候が認められない構造物や新設の構造物への適用にも適していると考えられる。
- 2) **微破壊検査**：コア採取やかぶりコンクリートの部分的なはつり作業を伴う試験方法。従来から行われてきたコア試料を採取して行う各種試験の他に、構造物中の鉄筋に結線する必要があるためにはつり作業が不可欠な試験方法(自然電位法、分極抵抗法)や、試料採取方法を合理化して構造物に与える影響を少なくすること、簡易に試験結果が得られることを特徴とした方法(小径コアによる試験、ドリル試料を用いた塩分量測定)もここに含めた。部分的とはいえ構造物を傷つけるので、何らかの劣化の兆候が現れているか、周辺環境の厳しい箇所など劣化の可能性が高い構造物に用いるのが適当であると考えられる。
- 3) **はつり調査**：鉄筋をはつりだして内部の鋼材の位置や腐食状況などを直接確認する方法。構造物に与える影響が非常に大きいため、著しい劣化が見られる場合の補修方法の検討など、限られた状況でのみ行われる。今回は、非破壊検査・微破壊検査による測定結果の妥当性を検証するために最後にはつり調査を行った。

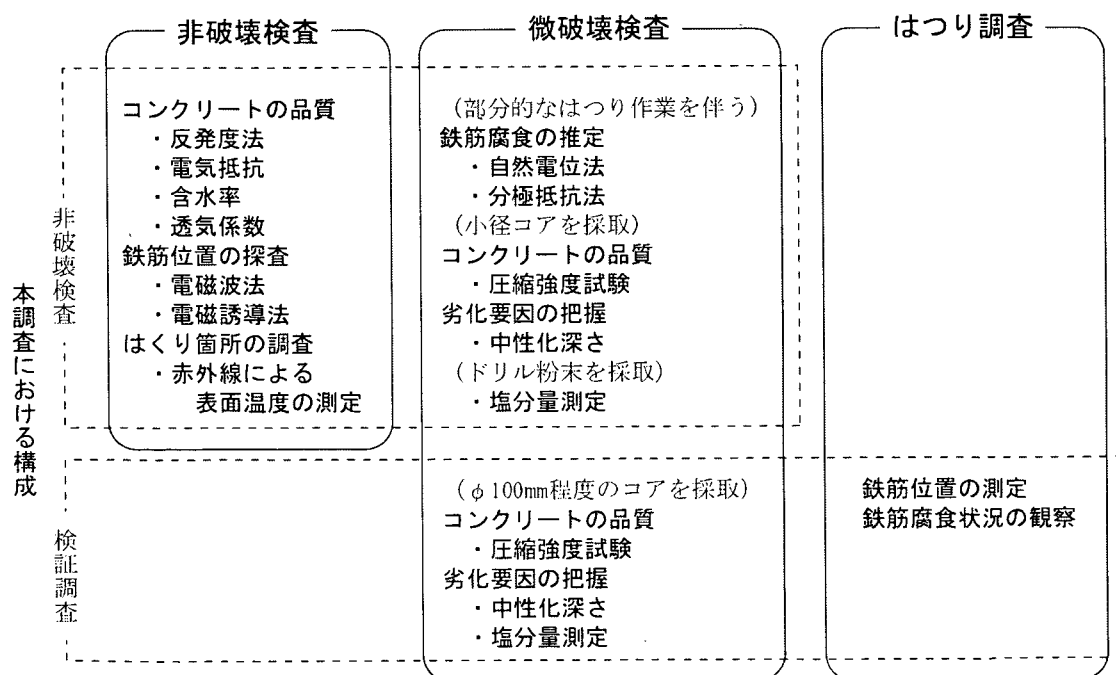


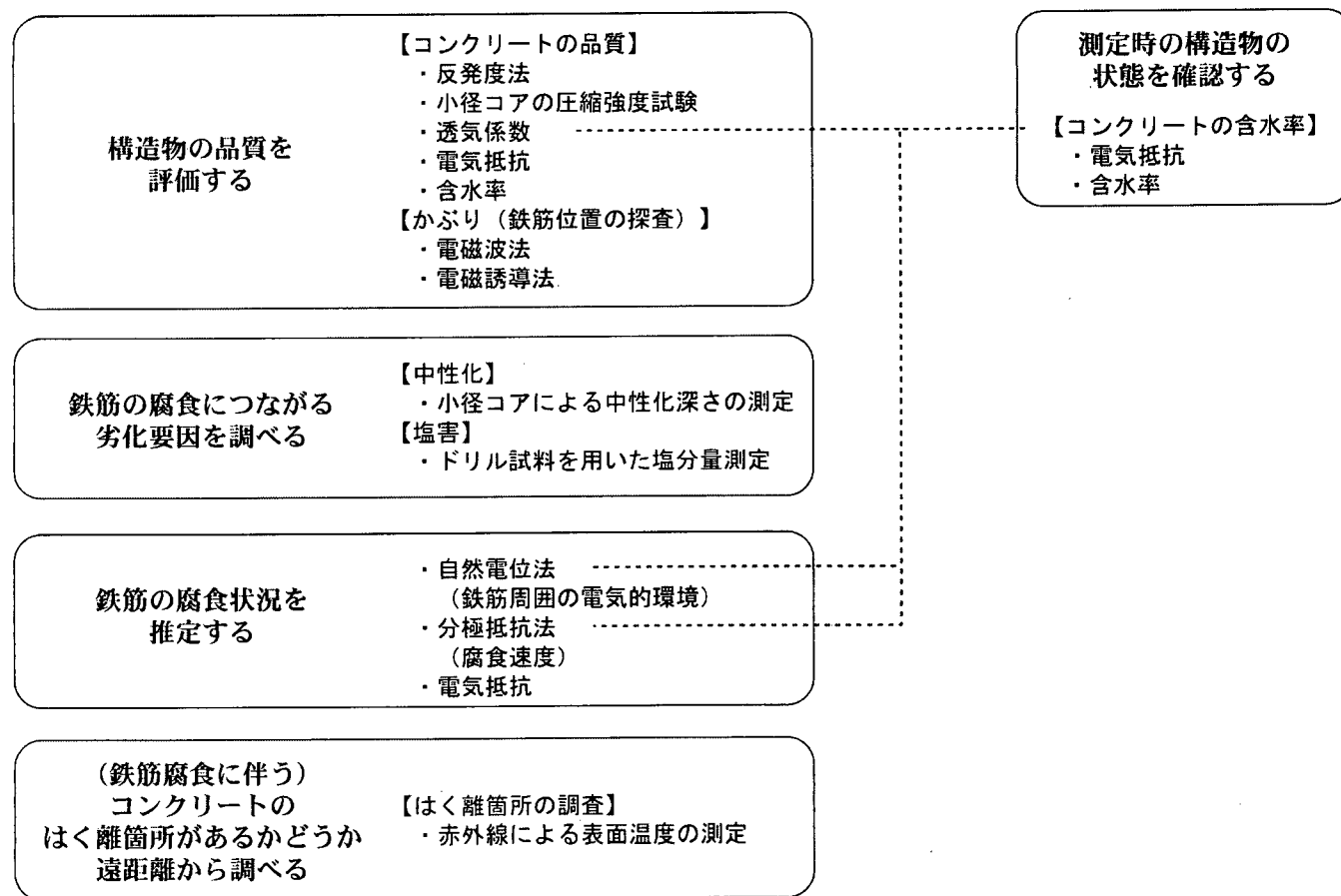
図-1.1 今回行った試験項目

各試験の測定原理や特徴を表－1.1，表－1.2に整理した。

また，図－1.2にコンクリート構造物の維持管理の場面で用いる観点から，今回の非破壊検査の位置づけを暫定的であるが整理してみた。

なお，含水率の測定や電気抵抗の測定（電気抵抗は含水率と密接な相関関係がある）は，コンクリートの含水状態によって測定結果が影響を受ける他の非破壊・微破壊試験を行う際に，測定条件を調べる目的で使用されることが多い。しかし，これらは単独の試験として，コンクリート品質（緻密さ）を評価する目的で用いることができる可能性もある。

各試験の測定原理や特徴を表－1.1，表－1.2に整理した。



図－1.2 維持管理における各試験の導入目的

表－1.1 今回行った試験の概要と特徴（1/2）

試験の 目的	試験方法	概要	特徴
コンクリートの品質	反発度法	・コンクリート表面を重錘で打撃し、その反発度からコンクリートの強度を推定する。	・簡便である。 ・使用実績が多い。 ・反発度からコンクリート強度への換算については多くの提案式があり、評価方法が一致していない。
	小径コアを用いた圧縮強度試験	・ $\phi 20 \sim 30\text{mm}$ 程度のコア試料を採取し、コンクリートの圧縮強度試験を行う。	・通常の $\phi 100\text{mm}$ 程度のコアを用いる場合と比べると、構造物に与える影響が小さい。 ・配筋が密な場合でも試験が可能。
	電気抵抗	・コンクリートに交流電流を流し、電気抵抗を測定する。 ・緻密なコンクリートほど吸水量が少なく電気抵抗が高くなることを利用し、コンクリートの品質を評価できる可能性がある。	・コンクリート表面の電極間で電流を流す方法とコンクリート表面と鉄筋間で電流を流す方法がある。 ・現状では、他の試験の試験条件（コンクリートの含水状態）を確認する目的で使用されることが多い。
	含水率	・コンクリートの誘電率（高周波容量）を測定し、コンクリート中の水分量を推定する。 ・緻密なコンクリートほど吸水量が少なく含水率の変化が小さくなることを利用し、コンクリートの品質を評価できる可能性がある。	・簡便である。 ・現状では、他の試験の試験条件（コンクリートの含水状態）を確認する目的で使用されることが多い。
	透気係数	・真空ポンプを用いてコンクリート表面の一部を減圧し、大気圧によってコンクリート中を透過してくる空気の量を測定する。	・試験結果は、コンクリートの含水状態の影響を受ける。
鉄筋位置 探査	電磁波法（レーダー法）	・電氣的性質の異なる物質の界面で電磁波が反射されて戻ってくる性質を利用し、鉄筋位置を探査する。	・簡便である。 ・使用実績が多い。 ・配筋が密な箇所では測定が困難。 ・測定者によって測定結果の読みとり結果が異なる場合がある。
	電磁誘導法	・金属や強磁性材料が存在するとコイルの交流磁場に影響がある性質を利用して、鉄筋位置を探査する。	・簡便である。 ・使用実績が多い。 ・配筋が密な箇所では測定が困難。 ・かぶりが深い場合は測定が困難。

表－1.2 今回行った試験の概要と特徴 (2/2)

試験の 目的	試験方法	概要	特徴
腐食につ ながる要 因	小径コアを用い た中性化深さの 測定	・ $\phi 22$, $\phi 25\text{mm}$のコア試料を採取し、コンクリートの中性化深さを測定する。	・ 小径コアを用いた圧縮強度試験と同時に実施。
	ドリル試料を用 いた塩分量測定	・ ドリル粉末を試料とする。 ・ フレッシュコンクリート中の塩化物イオン濃度の測定に用いられる試験紙を使用して塩分量を測定する（塩分分析の「モール法」に基づき、茶褐色の試薬が白色に変化することを利用している）。	・ 日本コンクリート工学協会規準のコアを採取して塩分の分析を行う方法（電位差滴定法）に比べ、簡便に、概略の塩分量を推定する。 ・ 現地ですぐに試験結果が得られる。
鉄筋腐食 の程度	自然電位法	・ 腐食により鉄筋表面で鉄がイオン化する反応が生じていると、鉄筋の自然電位が変化する。照合電極と電位差計を用いてこの自然電位を測定し、鉄筋の腐食状況を推定する。 ・ 鉄筋が電氣的に錆びうる環境になっているかどうかを調べる手法であり、測定結果と鉄筋の腐食量は直接には関係がない。	・ 鉄筋位置探査を行って、一箇所鉄筋をはつり出す必要がある。 ・ 測定前に30分程度の吸水時間が必要である。 ・ 比較的短時間で広範囲を測定することができる。 ・ コンクリートの中性化や塩化物イオンの含有量が試験結果に影響を与えると考えられる。
	分極抵抗法	・ 鉄筋と照合電極間に微弱な電流を流し、そのときの電位変化量から分極抵抗を測定する。この分極抵抗から、鉄筋の腐食速度を求める。	・ 鉄筋位置探査を行って、一箇所鉄筋をはつり出す必要がある。 ・ 測定前に30分程度の吸水時間が必要である。 ・ 測定にやや時間がかかる。
腐食に伴 うはく離	赤外線によるは く離箇所調査	・ はく離箇所では、他の箇所と比較して気温や日照による温度変化が大きい。そこで、構造物表面の赤外線放射量からその表面温度を測定し、その分布からはく離箇所の有無を推定する。	・ 遠距離から非接触で測定できる。 ・ はく離箇所が厚い場合は、周囲との温度差が小さく、発見できない。

2. 調査対象構造物

(1) 調査した構造物

今回、非破壊調査を含む健全度診断を行ったのは、

①旧暮坪陸橋P 3 橋脚（昭和40年竣工，山形県）

②旧芦川橋G 1 桁（昭和41年竣工，秋田県）

の二つの構造物である。いずれも日本海沿岸部に位置するPC橋梁で、冬季の季節風に伴う飛来塩分に起因する塩害のため上部工の損傷が著しく掛け替えられた。掛け替えにともなって撤去解体される前に非破壊検査を適用し、その後はつり調査などを行って非破壊検査の精度等を検証した。

(2) 旧暮坪陸橋の概要

旧暮坪陸橋は、昭和40年竣工、橋長144.0mで、上部構造形式は5径間単純PCポステンT桁橋であった。P 3 橋脚は円柱橋脚で海中に位置していた。旧暮坪陸橋では、昭和50年代の初期の頃から下フランジ下面に錆汁が見られ始めたため昭和56年から補修が始まり、損傷が最も著しかった第3スパンでは二度の断面修復工が行われた（1回目：昭和56～58年，2回目：平成3年）。また、スパン中央での断面力の低減を図るため、平成3年にはスパン内に2基の支柱が設置され、平成4年には外ケーブルによる補強が行われた。平成10年に新橋を含むバイパスが完成し、旧暮坪陸橋は順次、撤去・解体されることとなった。

補修にともない、P 3 橋脚の脚元は防波堤状に整備されていた。P 3 橋脚の表面は褐色に汚れていた。この原因としては、上部工・仮支柱などからの錆汁が考えられるが明確ではない。橋脚の周長は計測位置ではおおよそ10mであった。調査箇所として1m×1mの範囲を2箇所設定し酒田側をA面、新潟側をB面とし、この範囲および周辺で試験を行った。測定前の観察では、各面に1本ずつ鉄筋の腐食とは無関係な微細なひび割れが見つかったが、その原因は不明である。

P 3 橋脚の周辺環境や調査位置の写真－2.1～写真－2.4に示す。

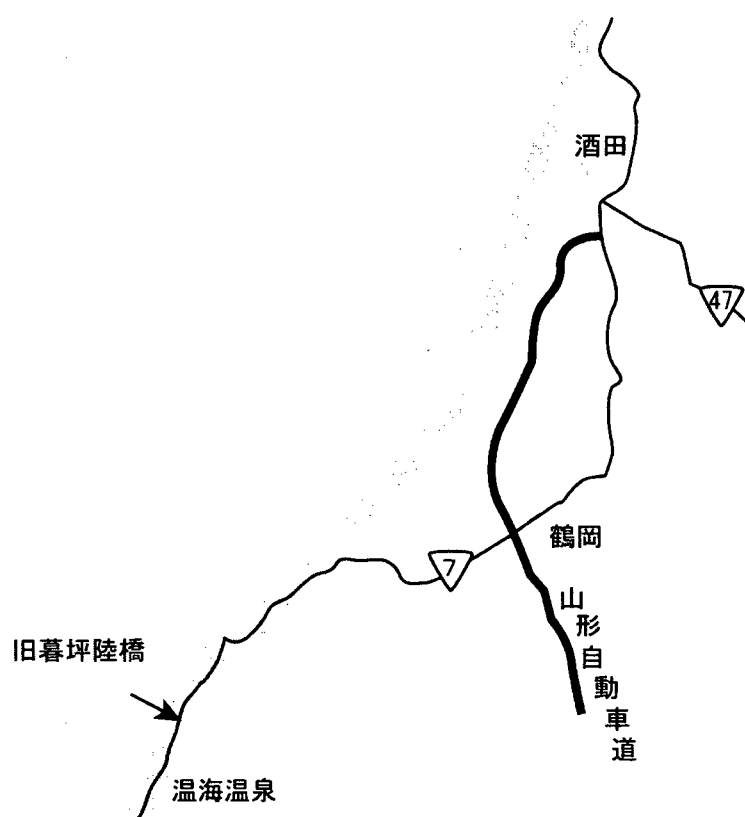
(3) 旧芦川橋の概要

旧芦川橋は、昭和41年竣工、橋長35mで、上部構造形式はポステン単純T桁橋（5主桁）であった。旧芦川橋では塩害による損傷が著しく、昭和56年に外ケーブルおよび鋼板被覆による主桁の補強およびGFRP層による床版の補強が行われた。しかし、その後も劣化が進行し、外ケーブルを被覆した鋼板に錆が目立ち、下フランジを主体に桁のいたるところに鋼材の腐食によるひび割れが確認された。そこで、平成8年には安全確保のための支保工の設置や飛来塩分の付着を軽減するため主桁側面を覆うなどの対策がとられた。また、平成9年にはG3～G5桁に対して、旧外ケーブルを撤去しポリエチレンで被覆された外ケーブルに更新、CFRPシートの接着による補強を行うなどの対策がとられた。平成12年に新橋建設のための仮橋が設置され、旧芦川橋は撤去・解体された。

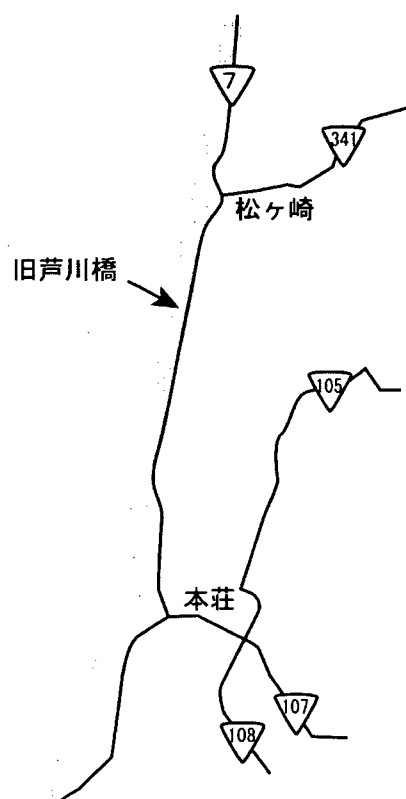
旧芦川橋G1桁（最も海側の主桁）では、下フランジは外ケーブルおよび鋼板被覆により補修されているため、補修が行われていないウェブを調査することとした。調査箇所は桁中央部と桁端付近（秋田側、PC鋼材の曲げ上げ部）とし、それぞれ約1m²の範囲（補修時に加えられた外ケーブルの定着部等を避けて設定した）を中心に調査した。中央部の調査箇所をA面、端部付近の調査箇所をB面とした（図-2.3.1）。なお、両面とも供用時には山側に面していた部分である。

G1桁のウェブの部分では、補修された下フランジとは対照的にひびわれや錆汁等はほとんど見受けられなかったが、B面海側（B面のウラ）では内部のPC鋼材に沿うような形で、微細なひび割れが入っていた。しかし、今回の調査の結果では内部のPC鋼材の腐食はわずかであり、ひび割れの原因は不明である。

G1桁の周辺環境や調査位置の写真-2.5～写真-2.8に示す。



図－2.1 旧暮坪陸橋位置図



図－2.3 旧芦川橋位置図

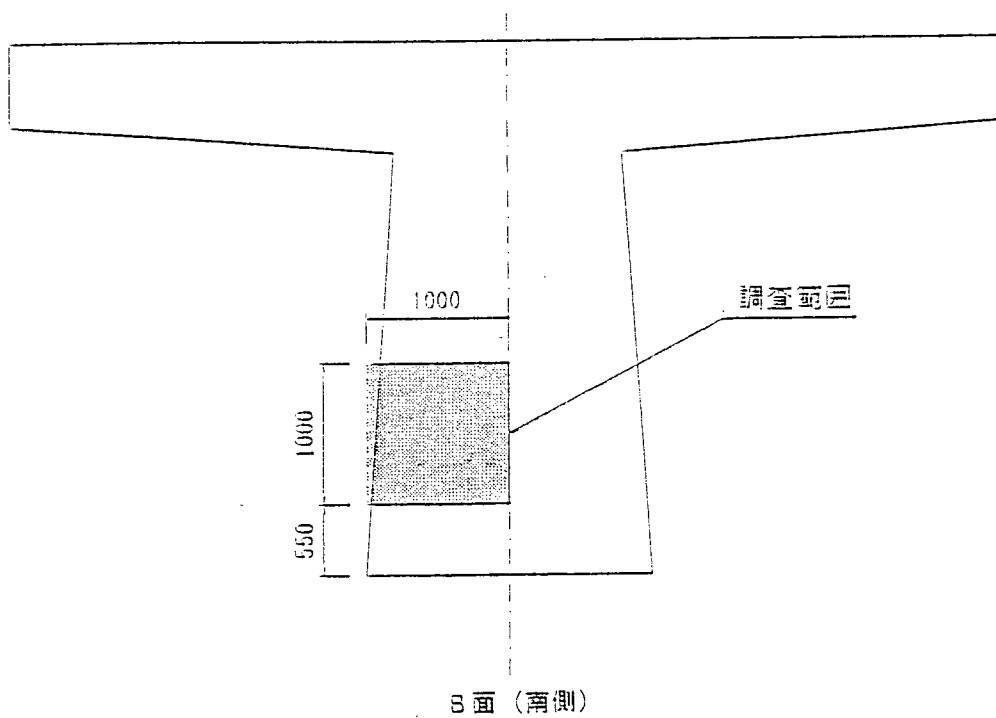
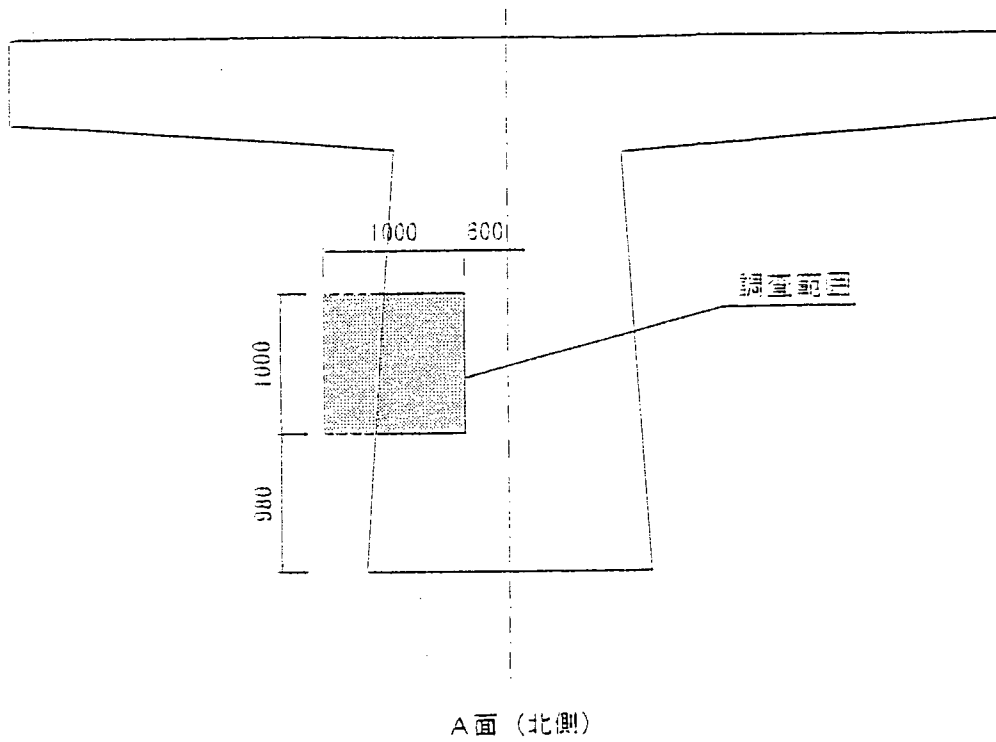
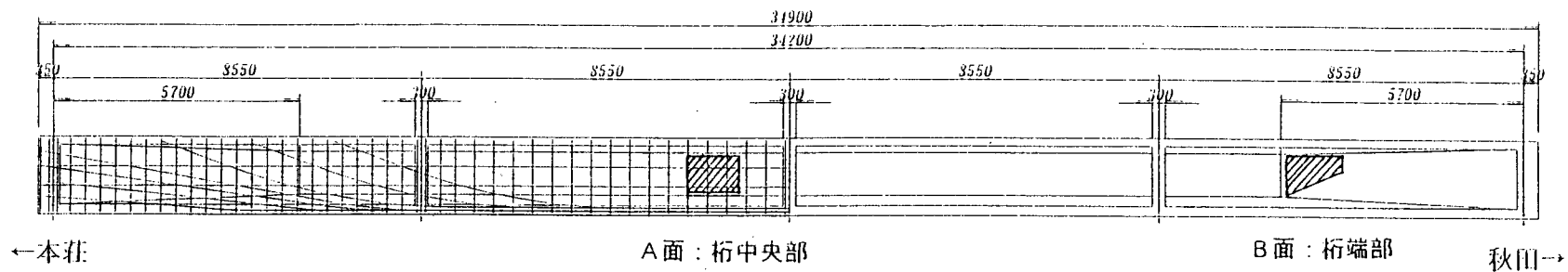
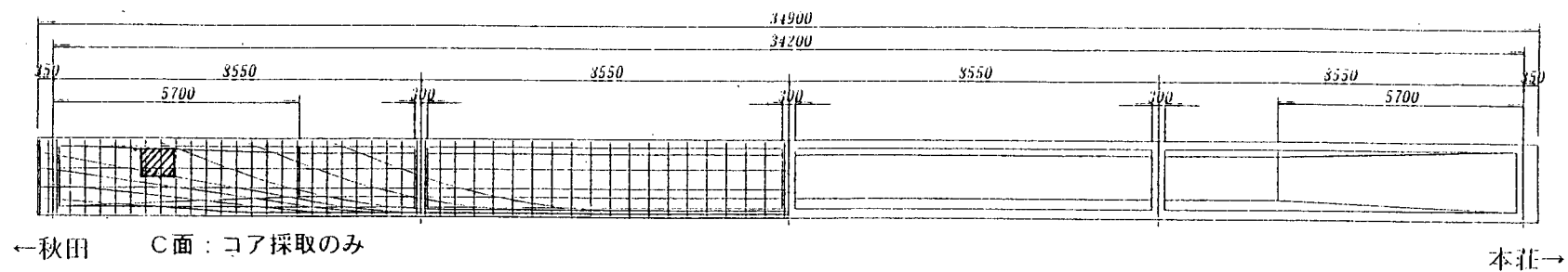


図-2.2 調査位置 (旧暮坪陸橋P3橋脚)

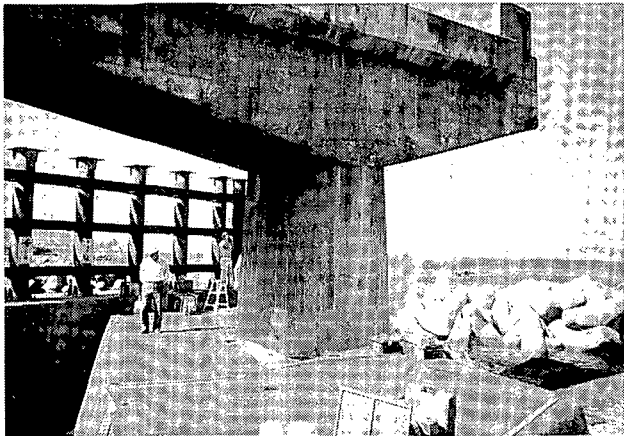
【山側】



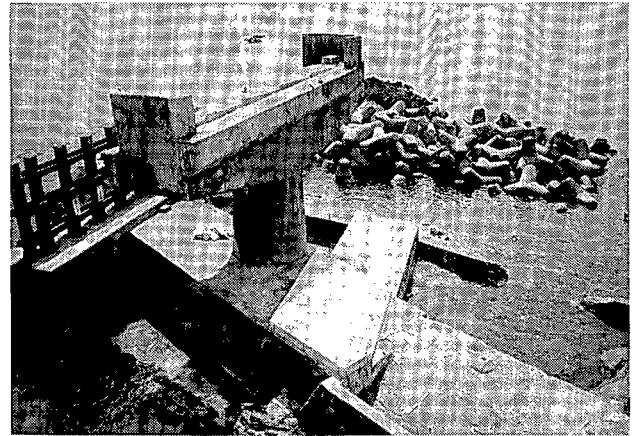
【海側】



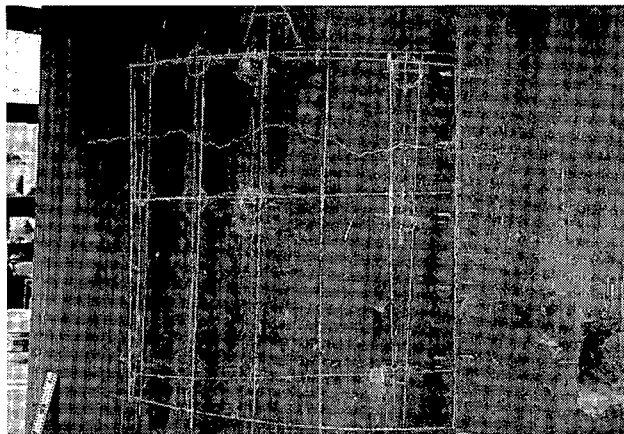
図－2.4 調査位置（旧芦川橋G1桁）



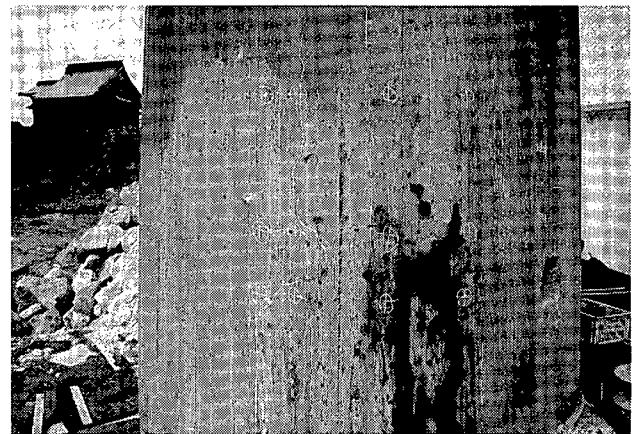
写真－2.1 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚



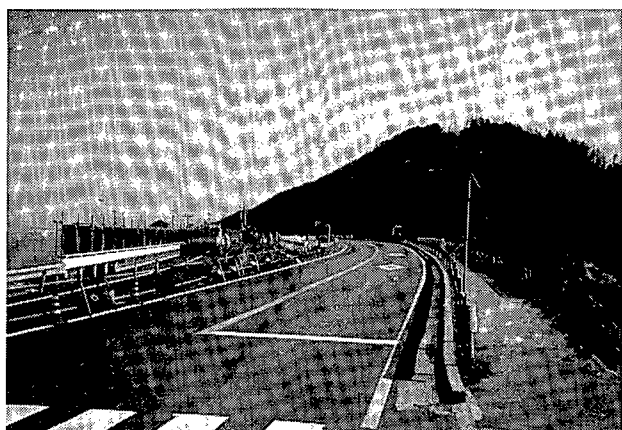
写真－2.2 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚周辺環境



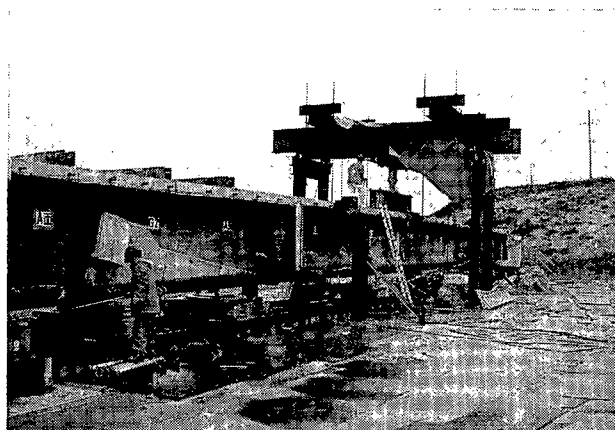
写真－2.3 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚 A 面



写真－2.4 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚 B 面

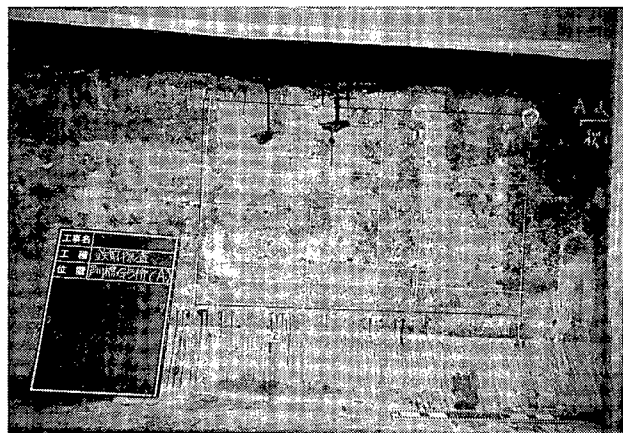


写真－2.5 旧芦川橋周辺環境

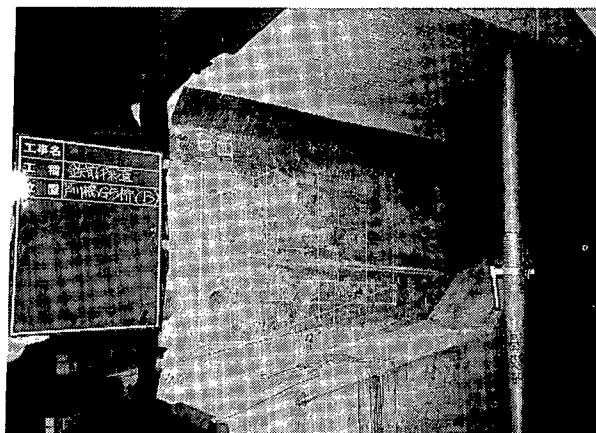


写真－2.6 旧芦川橋主桁全景

※外観が同じG 2桁の写真



写真－2.7 旧芦川橋G 1桁A面



写真－2.8 旧芦川橋G 1桁B面

※穴は事前に別途行われた調査でのコア採取によるもの

3. 調査・試験位置の詳細

(1) 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚

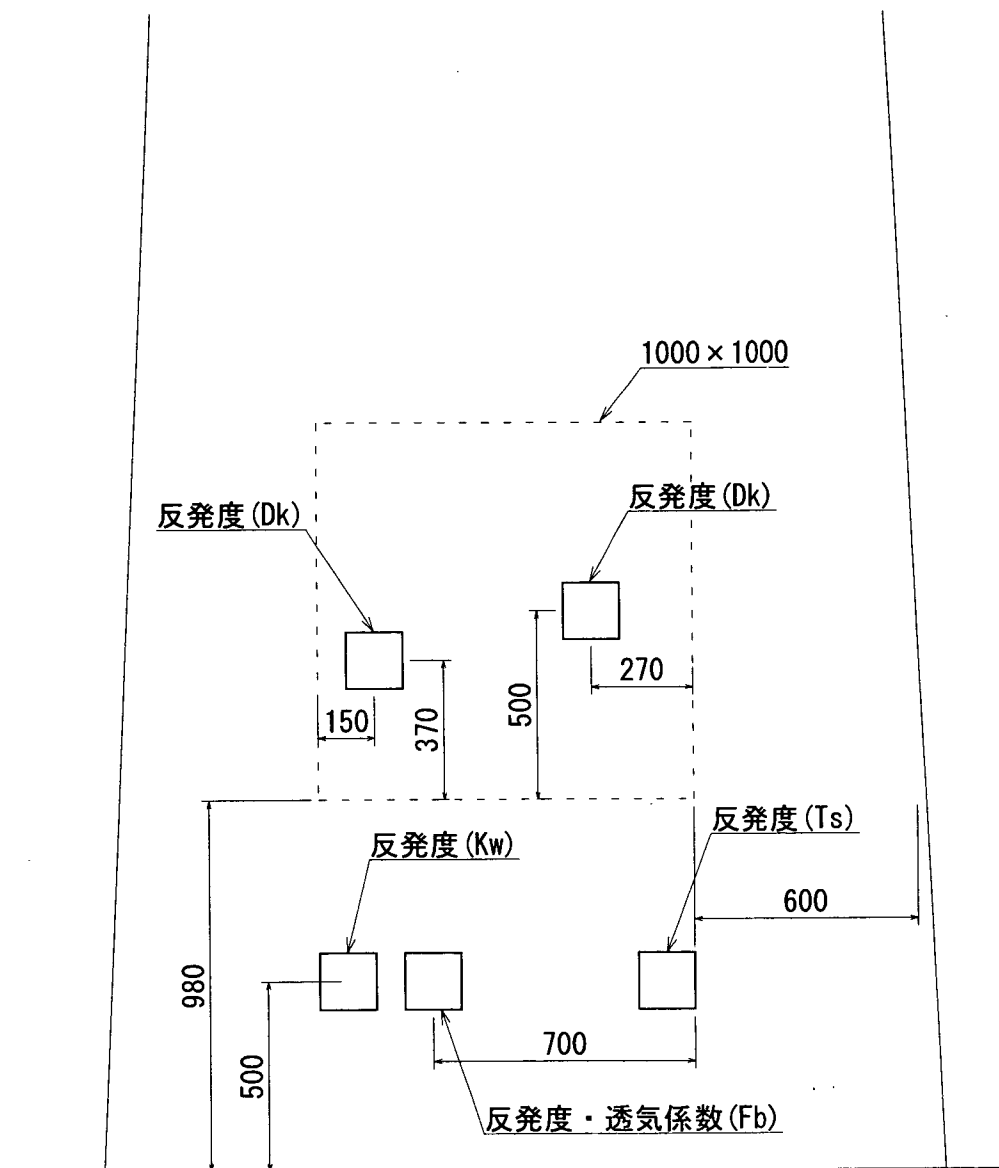


図-3.1 反発度法および透気係数調査位置(旧暮坪陸橋P3橋脚：A面)

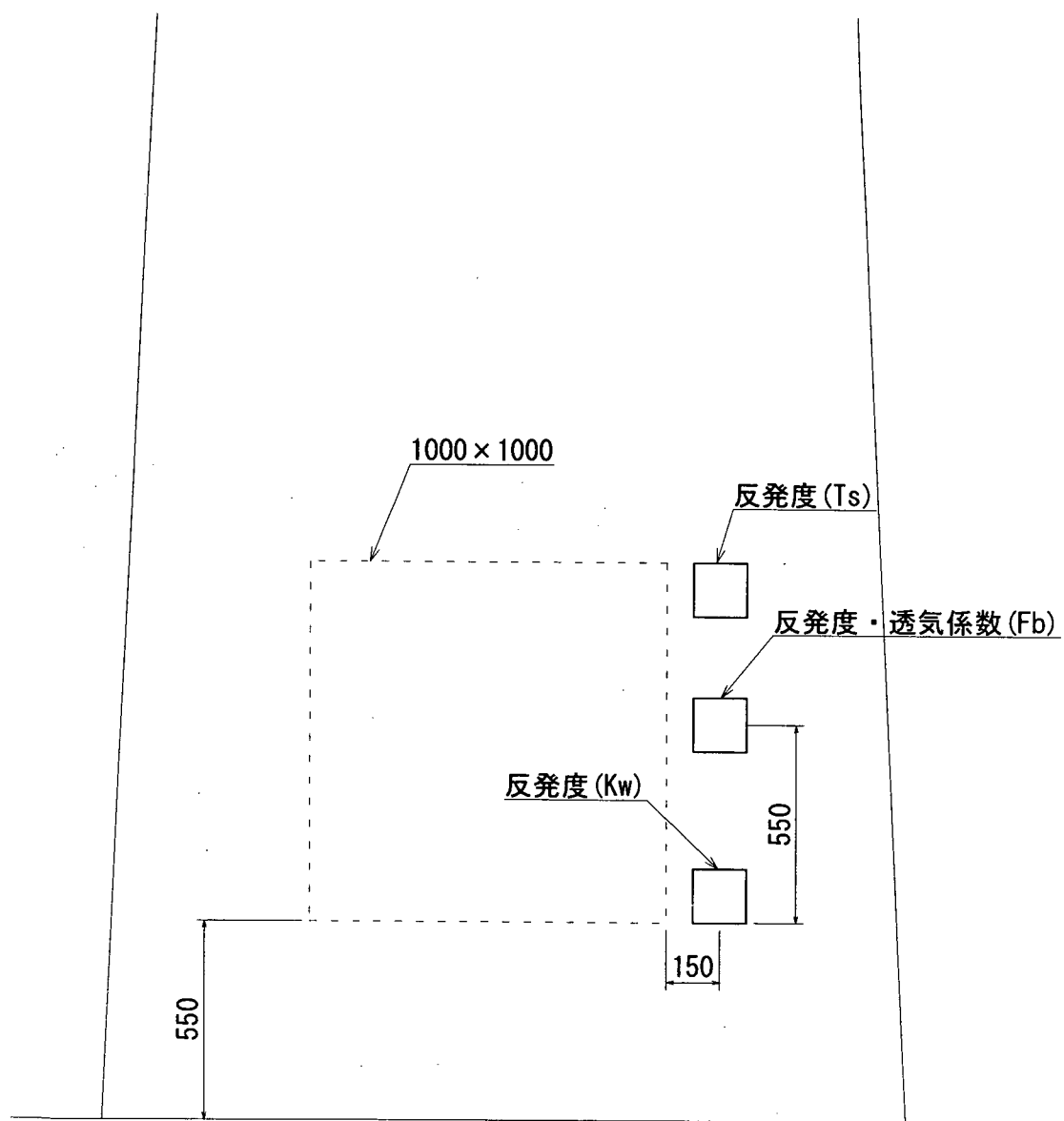


図-3.2 反発度法および透気係数調査位置(旧暮坪陸橋P3橋脚：B面)

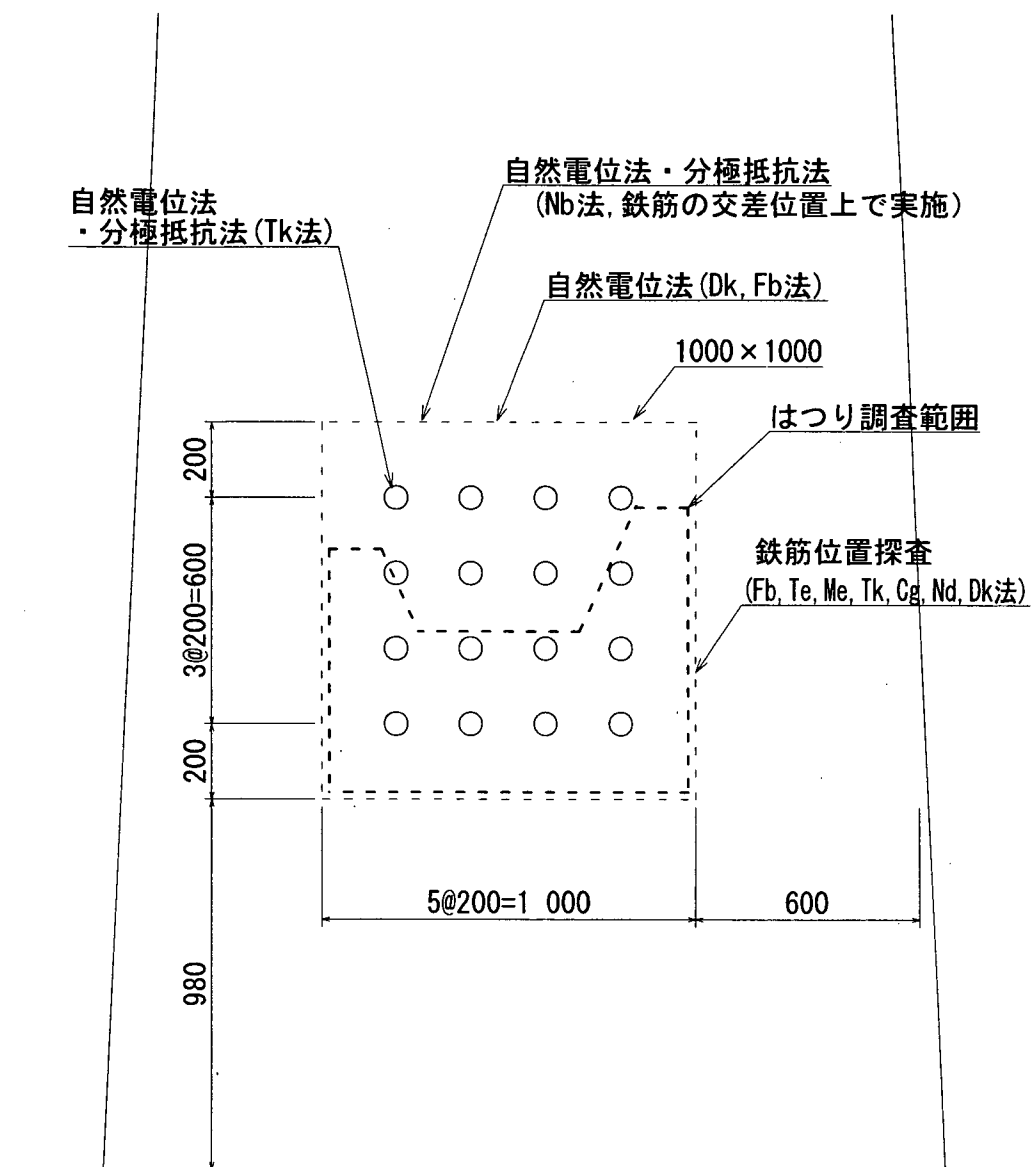


図-3.5 鉄筋位置探査, 自然電位法 (Dk, Fb法), 自然電位法・分極抵抗法 (Nb, Tk法) およびはつり調査範囲 (旧暮坪陸橋P3橋脚: A面)

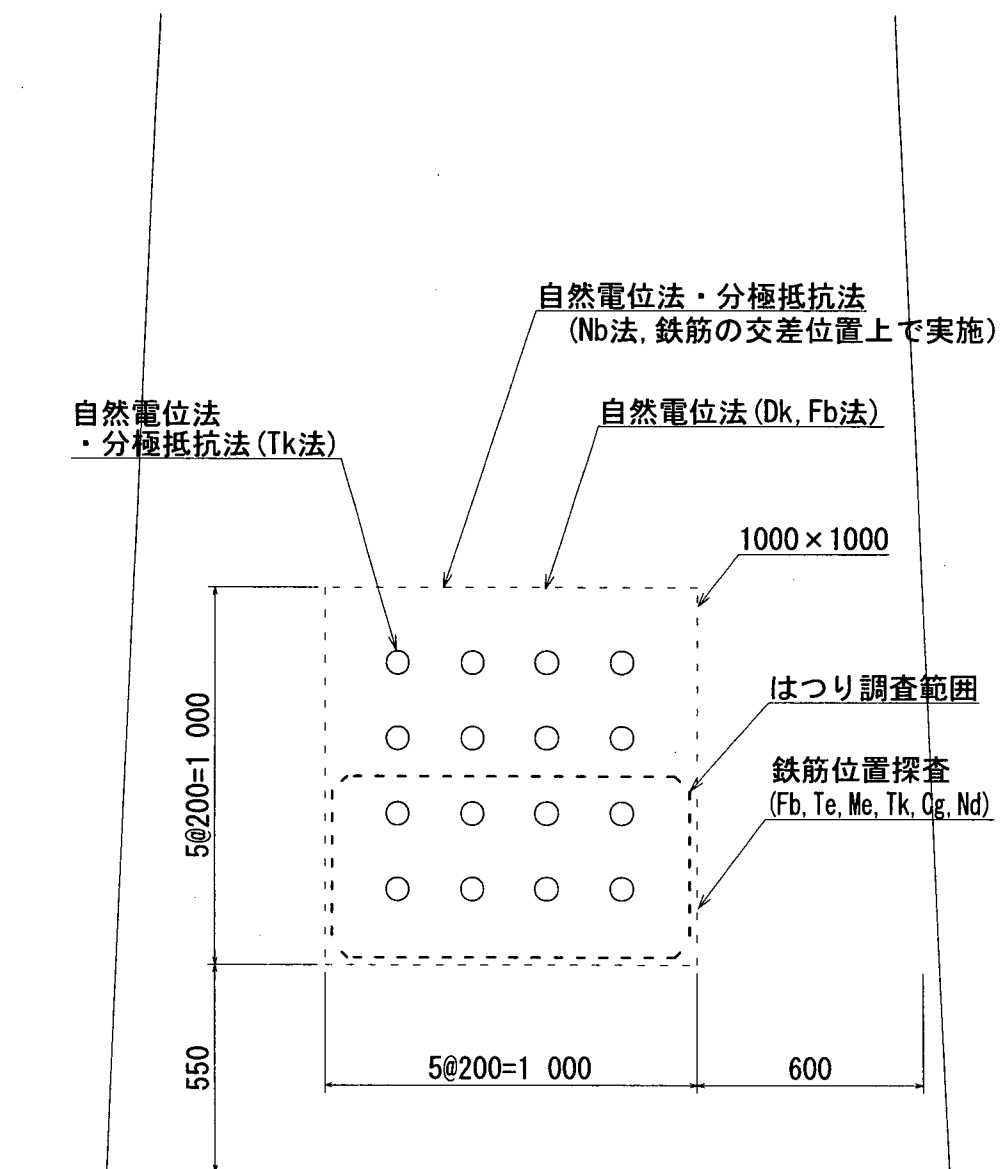


図-3.6 鉄筋位置探査，自然電位法(Fb法)，自然電位法・分極抵抗法(Nb, Tk法) およびはつり調査範囲(旧暮坪陸橋P3橋脚：B面)

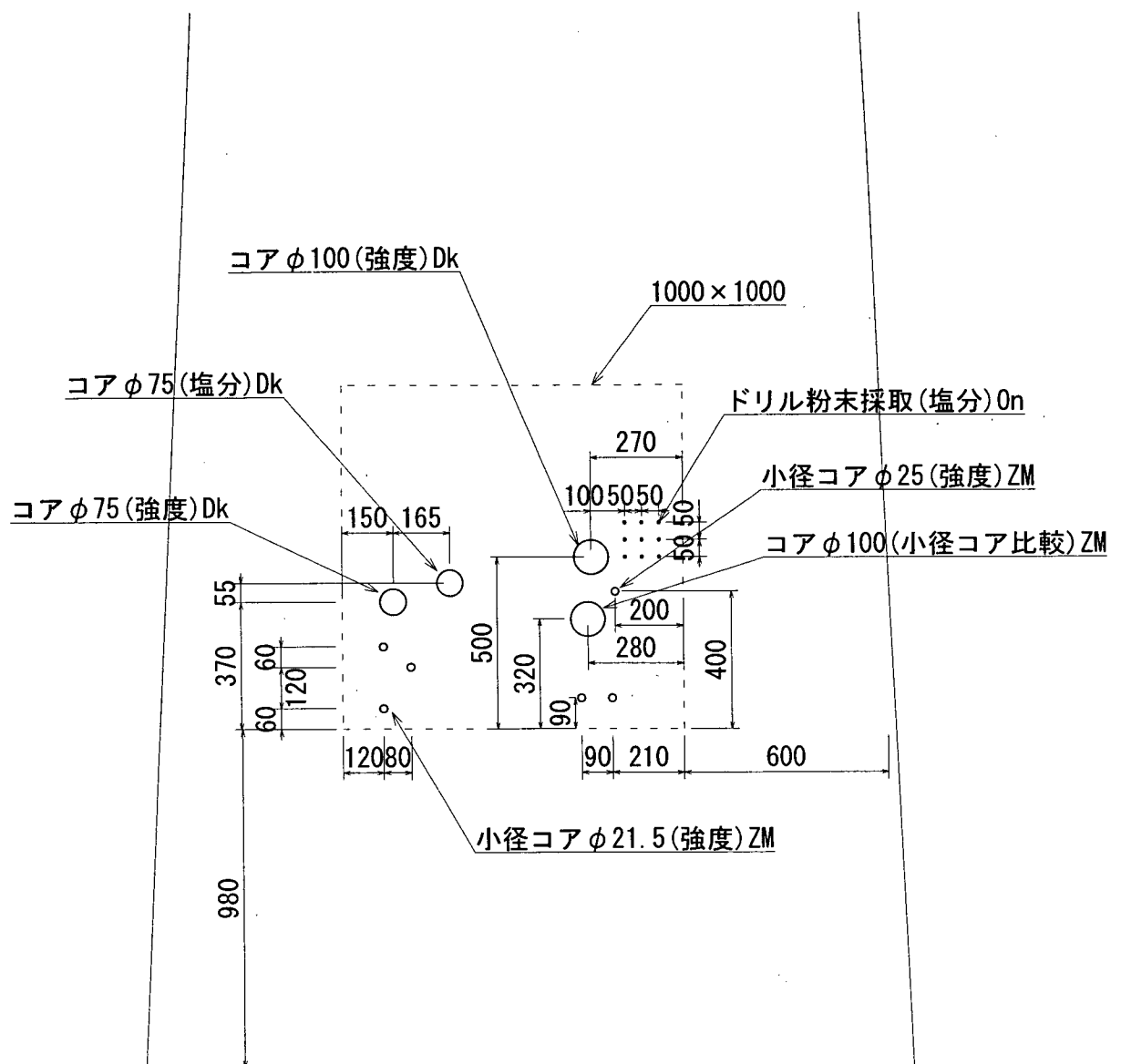


図-3.7 コア採取およびドリルによる塩分量分析試料採取位置(旧暮坪陸橋P3橋脚：A面)

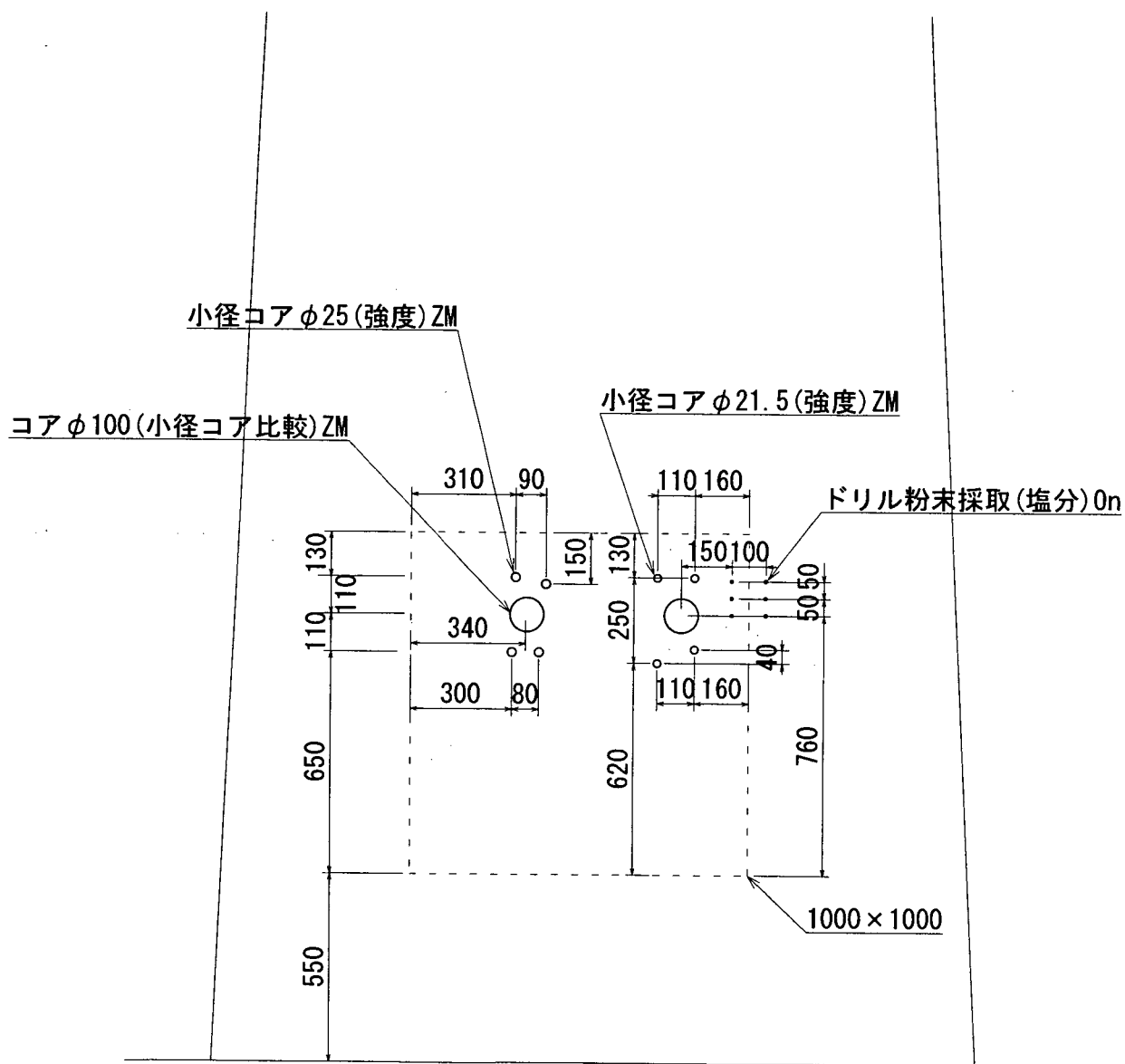


図-3.8 コア採取およびドリルによる塩分量分析試料採取位置(旧暮坪陸橋P3橋脚：B面)

(2) 旧芦川橋 G 1 桁

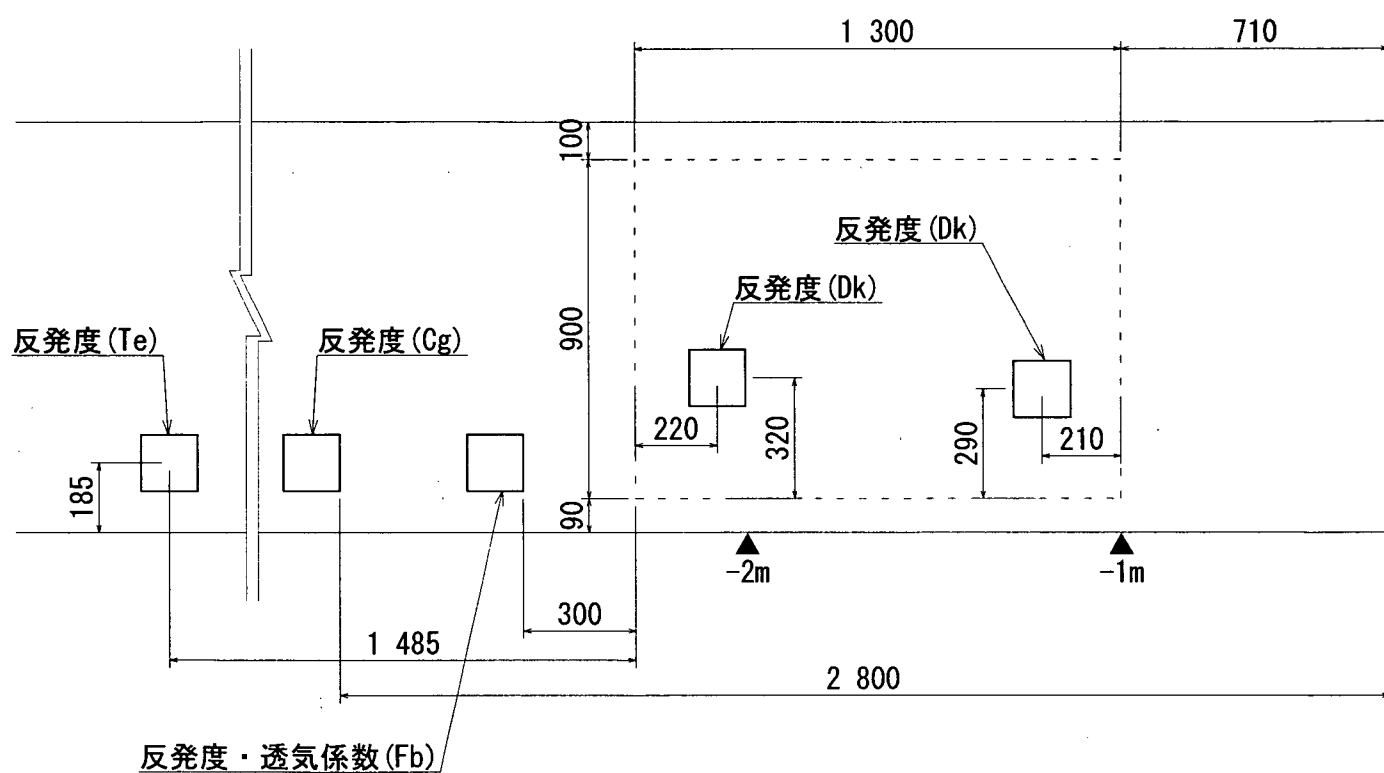


図-3.9 反発度法および透気係数調査位置(旧芦川橋G1桁 中央部山側：A面)

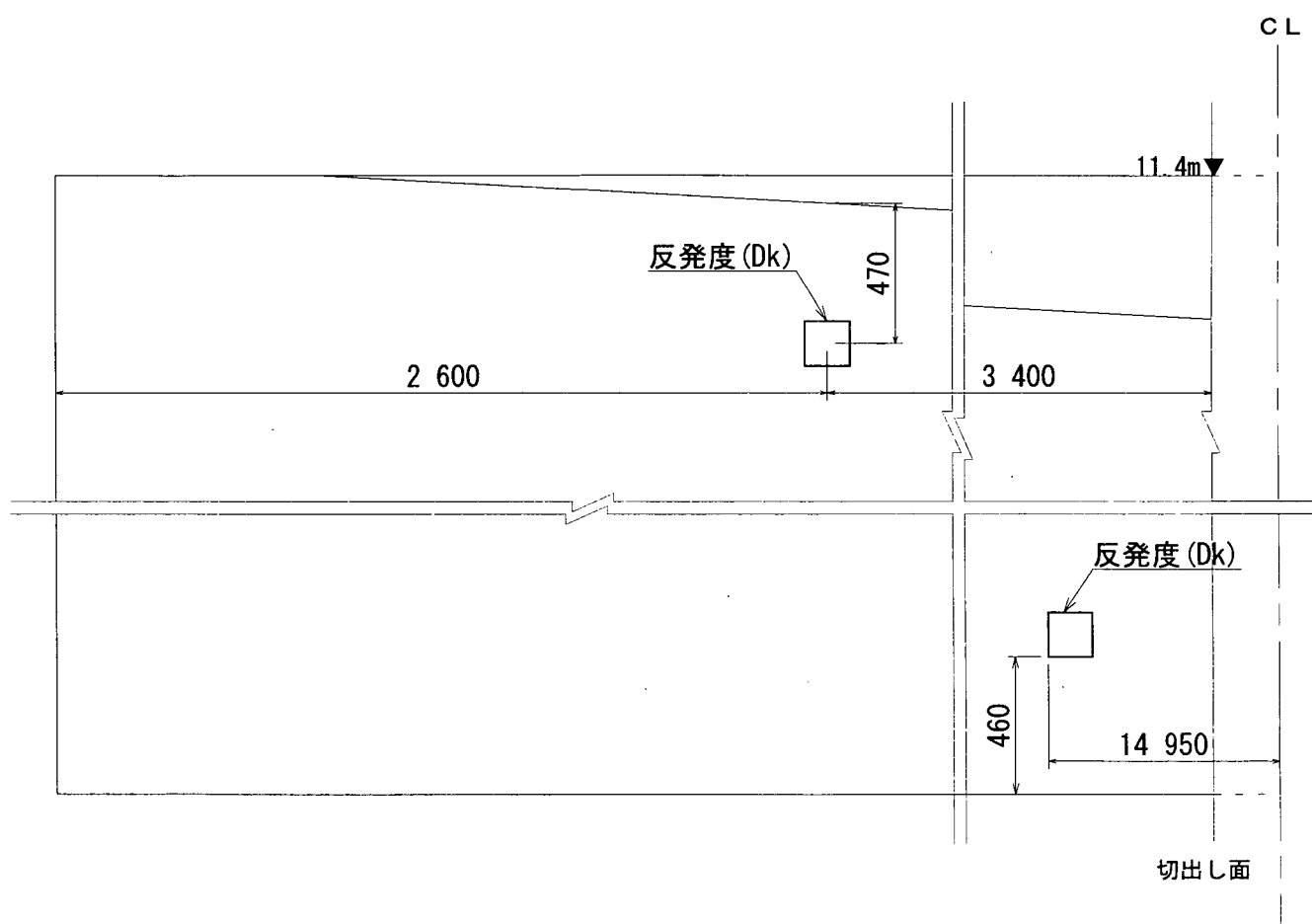


図-3.11 反発度法調査位置(旧芦川橋G1桁 端部海側 : C面)

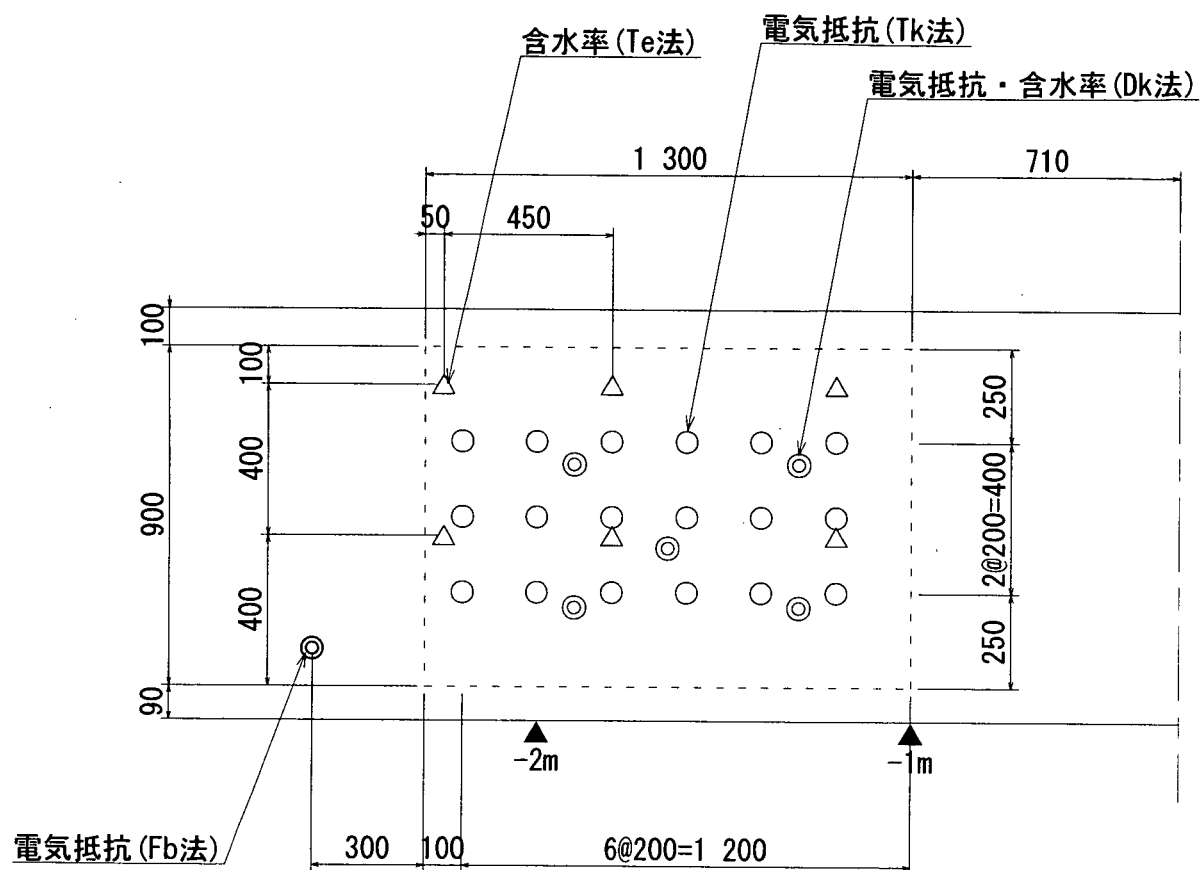


図-3.12 コンクリートの電気抵抗および含水率測定位置(旧芦川橋G1桁 中央部山側：A面)

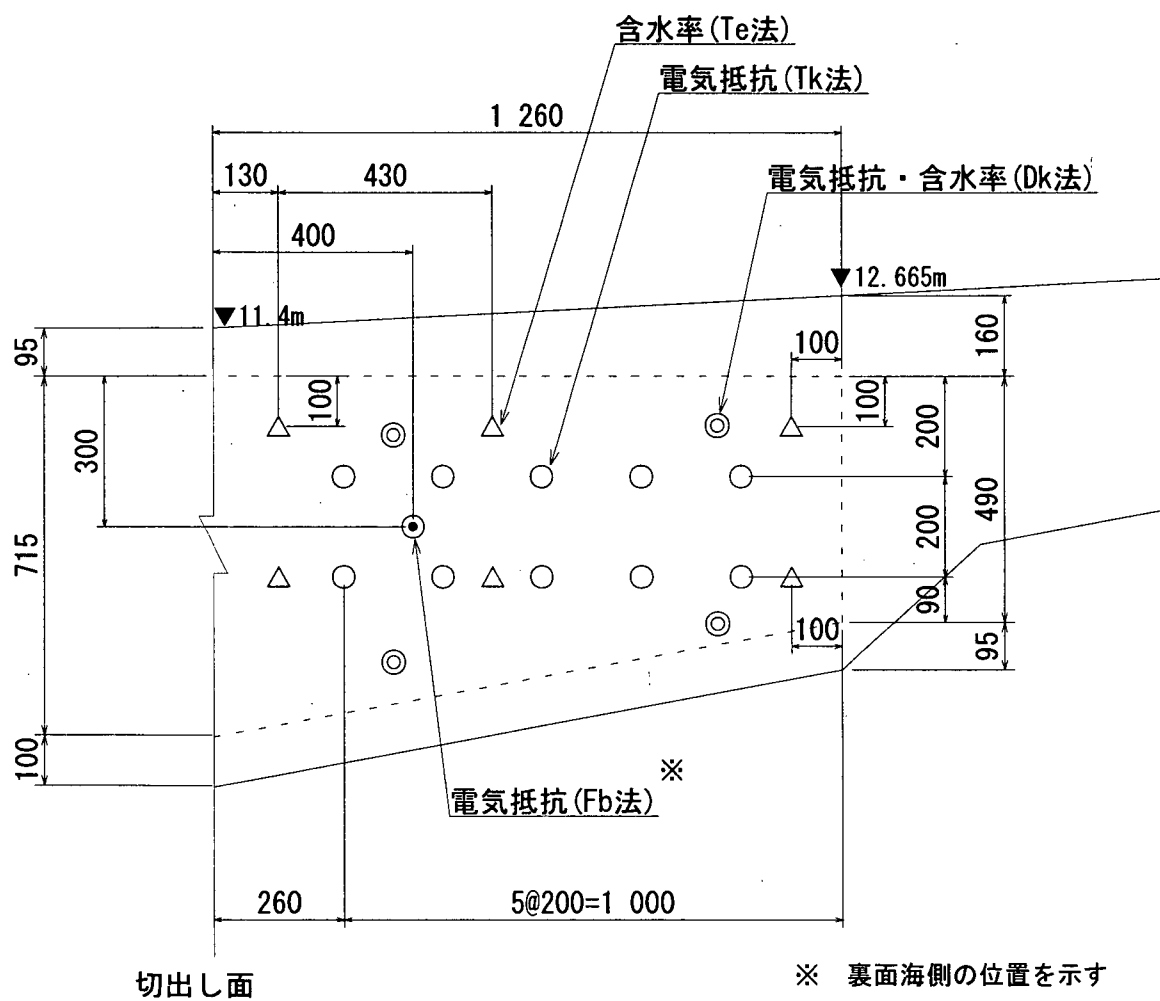


図-3.13 コンクリートの電気抵抗および含水率測定位置(旧芦川橋G1桁 端部山側：B面)

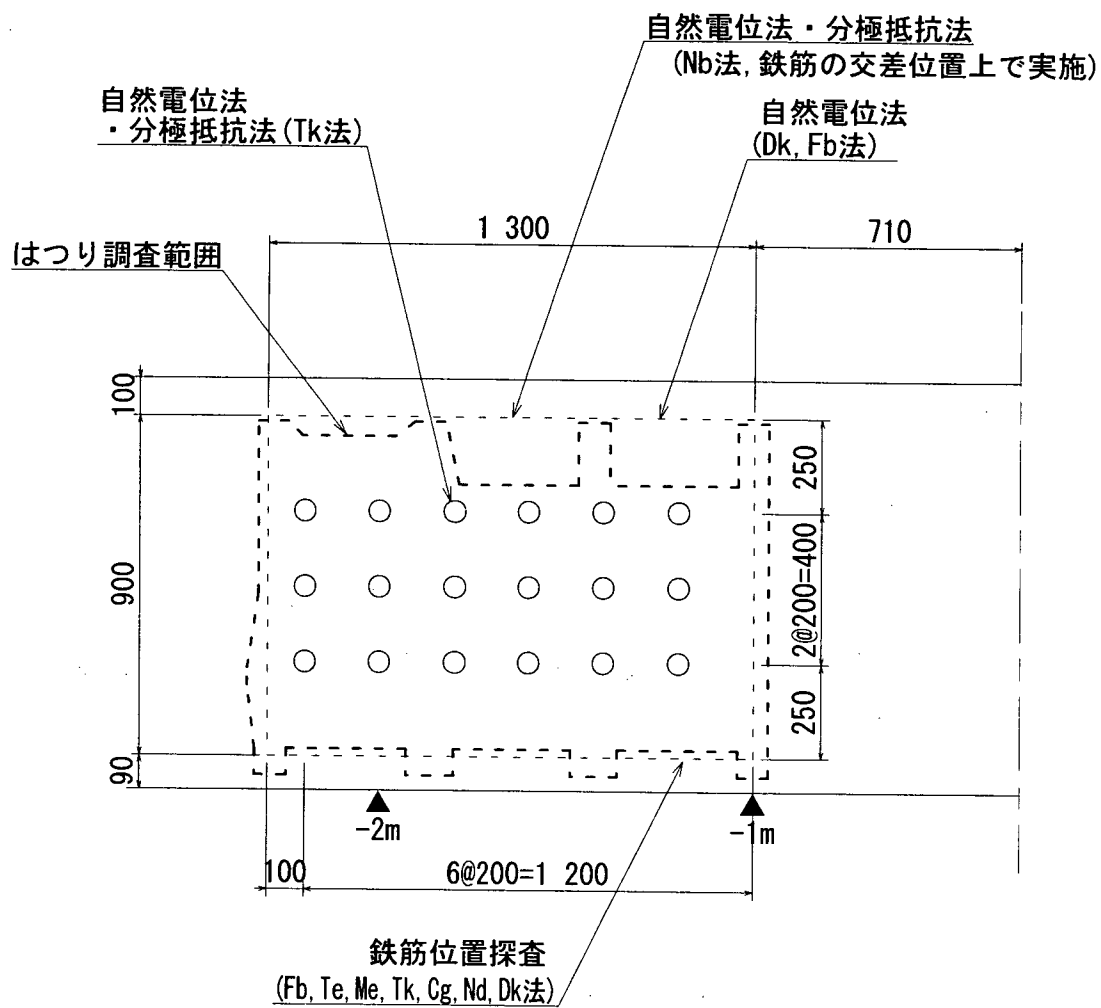


図-3.14 鉄筋位置探査, 自然電位法 (Dk, Fb法), 自然電位法・分極抵抗法 (Nb, Tk法) およびはつり調査範囲 (旧芦川橋G1桁 中央部山側 : A面)

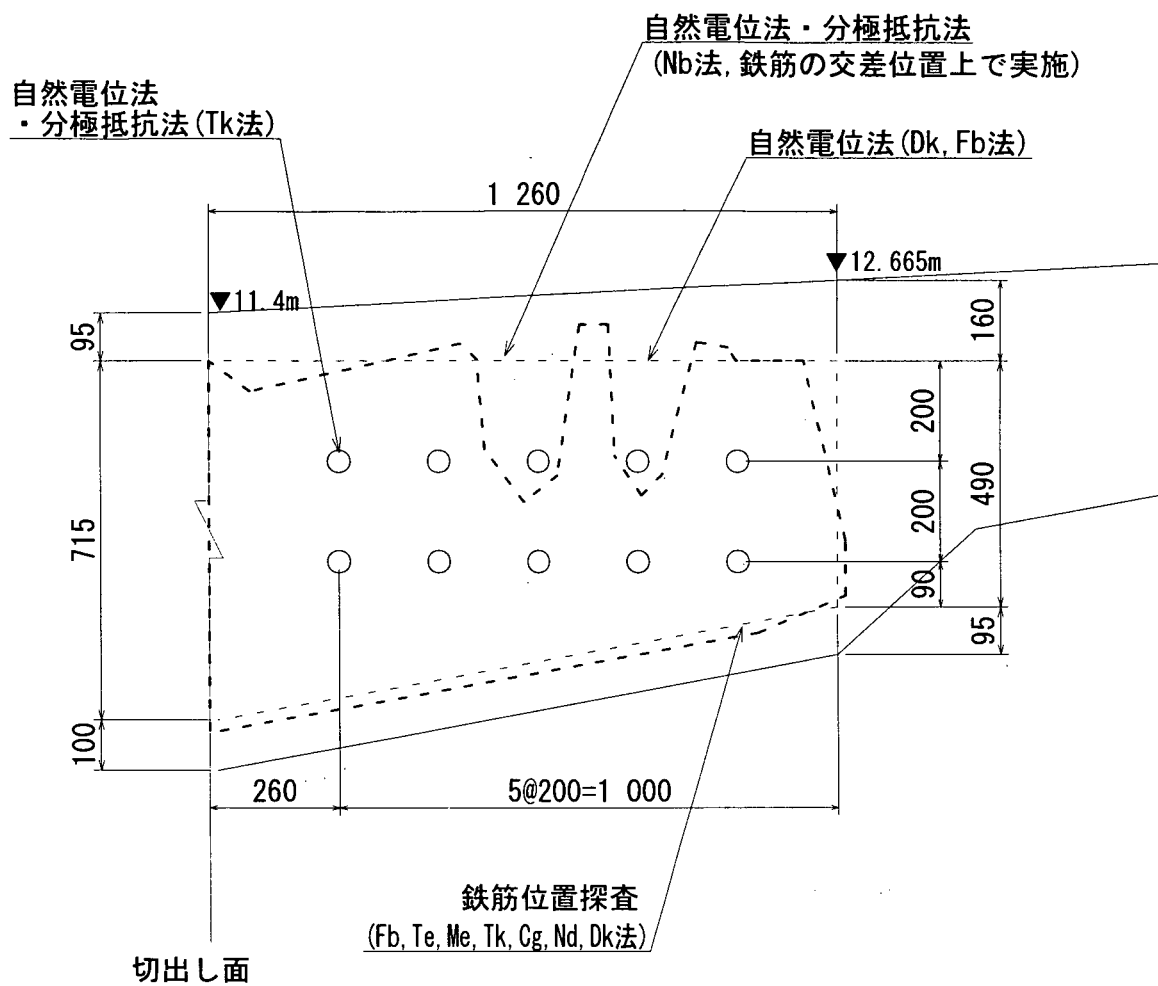


図-3.15 鉄筋位置探査, 自然電位法 (Dk, Fb法), 自然電位法・分極抵抗法 (Nb, Tk法) およびはつり調査範囲 (旧芦川橋G1桁 中央部山側: B面)

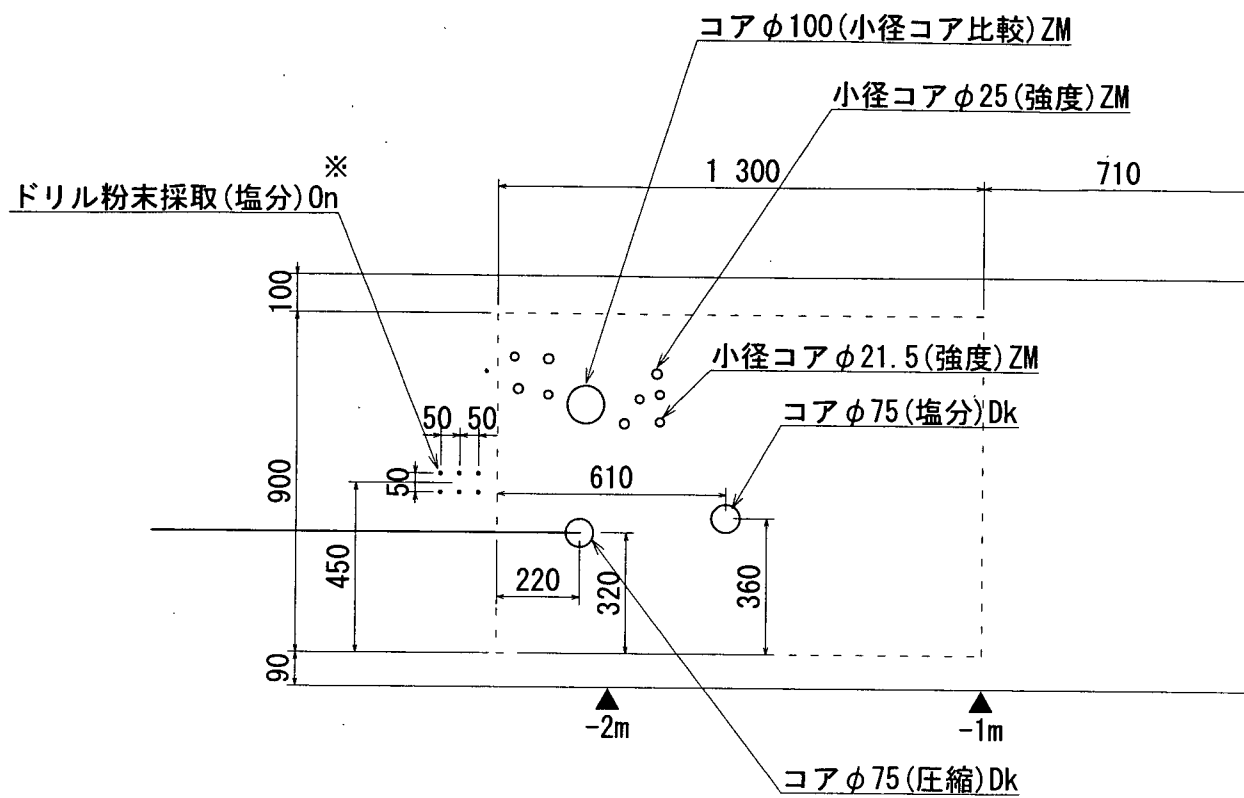


図-3.16 コア採取およびドリルによる塩分量分析試料採取位置(旧芦川橋G1桁 中央部山側:A面)

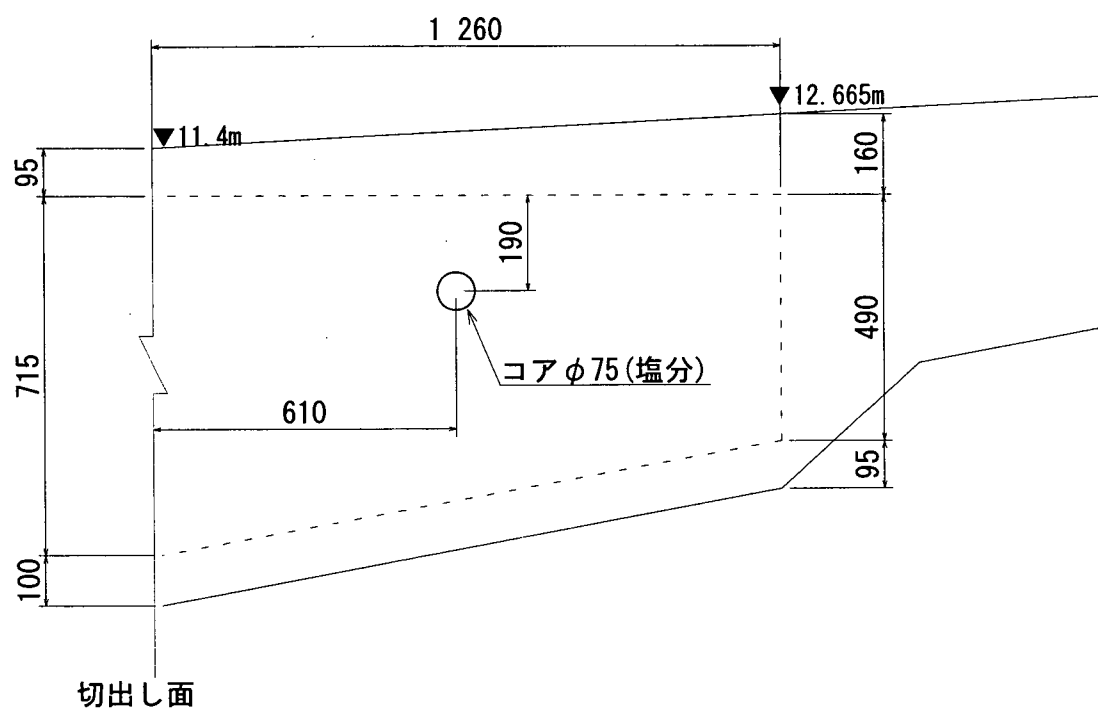


図-3.17 コア採取位置(旧芦川橋G1桁 端部山側 : B面)

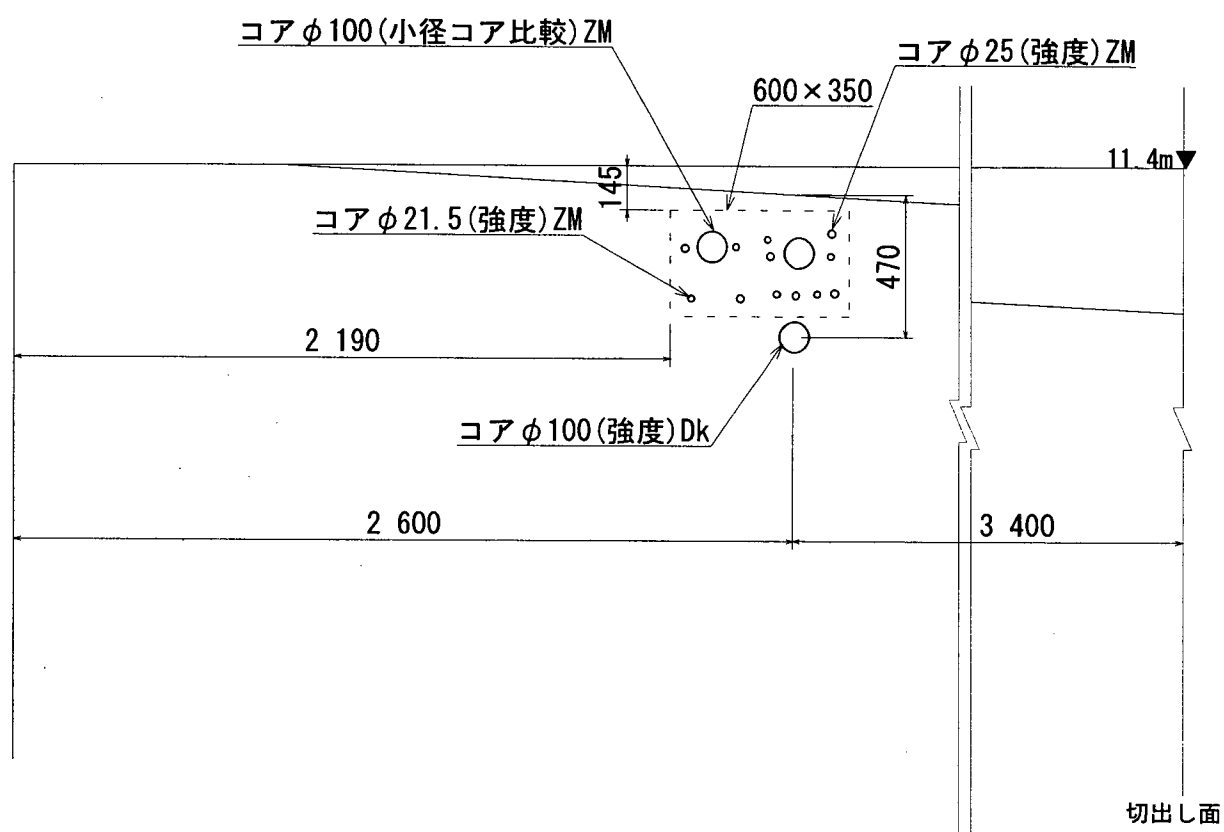


図-3.18 コア採取位置(旧芦川橋G1桁 端部海側：C面)

4. 調査・試験に要した人数・時間等

今回の調査で実施した各調査・試験に要した時間の概要を表－4.1に示す。これらの時間は、今回の2箇所の構造物に対する調査において測定作業を開始してから終了するまでの平均的な時間であり、機器の運搬等の準備作業や測定後のデータの整理などは含まれない。また、調査に要する時間は、調査箇所の作業性（測定面の向きや足場）や天候などにより大きく変わる可能性があるので注意されたい。

個別の測定時間を表－4.2～表4.4に示す。また、調査を行った順序を表－4.5、表－4.6に示す。各調査・試験の実施が、他の試験の結果に影響を与えないように配慮し、このような順序で行った。

表－4.1 調査・試験に要した人数，時間の概要

項目	人数	所要時間	備考
反発度法 (コンクリートの強度推定)	1名	5～10分/箇所	・乾燥状態で行うことが望ましい。
電気抵抗 (4点電極法)	1～2名	5分/点	・吸水操作の時間を含まない。
含水率	1名	3分/点	
透気係数	1名	20～30分/点	・測定器をセットすれば自動で測定。
鉄筋位置の探査	1～2名	10～60分/1 m ²	・配筋が不規則な場合や、かぶり厚さが大きい。
自然電位法 (ローラー型電極)	2名	40分/1 m ²	・鉄筋のはつり出しに要する時間は含まない。 ・30分程度吸水させ、10分程度で測定。
自然電位法 分極抵抗法 電気抵抗 (円形電極*)	2名	60～100分/1 m ² (10点/m ² 程度)	・鉄筋のはつり出しに要する時間は含まない。 ・30分程度吸水させた後で測定。 ・機器によっては、測定時間長を選択することもできる。
赤外線によるはく離箇所調査	1名	10分/10m ² **	・広い範囲を一度に撮影できる。
小径コアの採取	1名	10分/1本	・1本のコア試料から、複数の圧縮強度試験用試料を作成することも可能。
ドリルによる塩分量測定試料の採取	2名	30～60分/箇所	・深さ10cmまで採取。 ・一人で採取できるような装置をつけたドリルも市販されている。
はつり調査	4名	半日～1日/1 m ²	・コンクリート強度やかぶり厚さにより、大きく異なる。 ・2名ずつ交代で作業。

* 自然電位、分極抵抗、電気抵抗を同時に測定する機器の場合。

分極抵抗の測定に時間がかかる。

** 広い範囲を面的に測定する試験では、所要時間は必ずしも調査面積に比例しない。

表-4.2 旧暮坪陸橋P3橋脚調査に要した人数・時間

項目	調査者	使用機器	調査内容	人数	所要時間	備考
反発度 (コンクリートの強度推定)	F b	P社製 DIGI SCHMIDT 2000ND	A・B面1箇所ずつ測定	1名	A面 5分 B面 4分	
	K w	P社製 NR型		1名	A面 8分 B面 4分	
	T s	K社製 α -750RX		1名	A面 15分 B面 15分	
	D k	K社製 α -750RX		1名	A面 10分 B面 一分	
	鉄筋位置の 探査	C g	A面: 1m ² B面: 1m ²	2名	A面 8分 B面 23分	
		D k		2名	A面 25分 B面 一分	
		F b		2名	A面 12分 B面 13分	通常は1名で作業。
		M e		1名	A面 19分 B面 32分	
		N d		2名	A面 24分 B面 50分	
		T e		1名	A面 20分 B面 12分	
		T k		2名	A面 7分 B面 16分	
鉄筋腐食	D k	N社製 コロジションハンダーTR-01	1m ² 自然電位(縦方向5cm ² ツチ), 電気抵抗(4点電極法), 含水率	2名	A面 70分* B面 一分	
	F b	P社製 CANIN	1m ² 自然電位(縦方向5cm ² ツチ)	2名	A面 15分** B面 7分**	
	N b	N社製 RC-NICE	自然電位, 分極抵抗, 電気抵抗 A面12点, B面12点	2名	A面 48分 B面 44分	
	T k	A社製 鉄筋腐食診断機	自然電位, 分極抵抗, 電気抵抗 A面16点, B面16点 各点3回測定	2名	A面 50分 B面 48分	
透気係数	F b	P社製 TORRENT	A・B面1箇所ずつ測定	1名	A面 22分 B面 不明	
塩分量試料採取	O n	—	ドリルによる試料採取のみ。 A面10点, B面6点, C面9点から採取。	2名	A面 50分 B面 68分 C面 28分	
コア採取	D k	—	詳細は表-4.4参照	1名	A面 89分 B面 一分	
	Z M	—		2名	A面 83分 B面 169分	
はつり調査	D k	—	A面: 0.6m ² B面: 0.3m ²	4名	A面 290分 B面 190分	2名ずつ交代で作業

表－4.3 旧芦川橋G1桁調査に要した人数・時間

項目	調査者	使用機器	調査内容	人数	所要時間	備考
反発度 (コンクリートの強度推定)	C g	P社製 NR-10	A・B面1箇所ずつ測定	1名	A面 不明 B面 10分	
	F b	P社製 DIGI SCHMIDT 2000ND		1名	A面 10分 B面 10分	
	T e	P社製 NR-10		1名	A面 15分 B面 10分	
	D k	K社製 α-750RX	A・B面2箇所ずつ測定	1名	A面 15分 B面 20分	
鉄筋位置の 探査	C g	N社製 JEJ-60B	A面:1.1m ² B面:0.75m ² (P C 鋼材あり)	2名	A面 55分 B面 75分	
	D k	N社製 JEJ-60B		2名	A面 5分 B面 45分	
	F b	P社製 プロフォメータ-4		2名	A面 15分 B面 45分	
	M e	K社製 IRS150		1名	A面 40分 B面 50分	
	N d	N社製 JEJ-60B		2名	A面 35分 B面 50分	
	T e	N社製 NJJ-85A		1名	A面 80分 B面 25分	
	T k	A社製 ライトエスパー		2名	A面 60分 B面 60分	
鉄筋腐食	D k	N社製 コロシジョンハンダー-TR-01	自然電位(縦方向5cm ピッチ), 電気抵抗(4 点電極法), 含水率	2名	A面 50分* B面 50分*	対照電極用の鉄筋は つり出しに要する時間は含 まない。 *吸水条件を変えて2回測定。
	F b	P社製 CANIN	1m ² 自然電位(縦方 向5cmピッチ)	2名	A面 30分 B面 35分	
	N b	N社製 RC-NICE	自然電位, 分極抵抗, 電気抵抗 A面8点, B面6点	2名	A面 80分 B面 75分	
	T k	A社製 鉄筋腐食診断機	自然電位, 分極抵抗, 電気抵抗 A面18点, B面10点 各点3回測定	2名	A面 80分 B面 50分	
透気係数	F b	P社製 TORRENT	A・B面1箇所ずつ測定	1名	A面 25分 B面 20分	
はく離有無	C o	N社製 TH7102SP	離れた位置からカメラ で撮影	1名	A面 10分 B面 10分	
塩分量試料 採取	O n	—	ドリルによる試料採取 のみ。	2名	A面 60分	
コア採取	D k	—	詳細は表－4.4参照	1名	A面 40分 B面 35分	
	Z M	—		2名	A面 80分 B面 157分	
はつり調査	D k	—	鋼材位置のみ	4名	両面で, 380分	2名ずつ交代で 作業

表－4.4 コア採取の所要時間

調査対象	調査者	採取場所	コア径 (mm)	試料数 (本)	総延長 (mm)	所要時間 (分)
旧暮坪陸橋 P 3 橋脚	Z M	A 面	φ 21.5	3	—	2 9
			φ 25	3	—	1 7
			φ 100	1	—	3 7
		B 面	φ 21.5	4	—	4 2
			φ 25	5	—	8 4
			φ 100	2	—	4 3
	D k	A 面	φ 75	2	—	2 0
			φ 100	1	—	6 9
旧芦川橋 G 1 桁	Z M	A 面	φ 21.5	5	684	2 4
			φ 25	4	549	4 2
			φ 100	1	177	1 3
		C 面	φ 21.5	6	767	6 8
			φ 25	6	872	5 0
			φ 100	2	446	3 9
	D k	A 面	φ 75	3	—	4 0
		B 面	φ 75	1	—	1 5
		C 面	φ 100	1	—	2 0

表－4.5 調査・試験の順序（旧暮坪陸橋P3橋脚）

調査日	A面		B面	
	調査者	調査・試験項目	調査者	調査・試験項目
8/2	F b	反発度	T s	反発度
	T s	〃	F b	〃
	K w	〃	K w	〃
	F b	鉄筋位置探査	T e	鉄筋位置探査
	T e	〃, 含水率	F b	〃, 含水率
	T k	〃	N d	〃
	C g	〃	T k	〃
	M e	〃	C g	〃
	N d	〃	M e	〃
	F b	透気係数, 電気抵抗	F b	透気係数, 電気抵抗
	F b	自然電位	F b	自然電位
	T k	自然電位, 分極抵抗 電気抵抗	T k	自然電位, 分極抵抗 電気抵抗
	N b	自然電位, 分極抵抗 電気抵抗	N b	自然電位, 分極抵抗 電気抵抗
8/3	D k	反発度, 鉄筋位置探査 自然電位, 電気抵抗 含水率, コア採取	Z M	コア採取
			O n	ドリル試料採取
	Z M	コア採取	—	—
	O n	ドリル試料採取		
8/4	D k	はつり調査	D k	はつり調査

表－4.6 調査・試験の順序（旧芦川橋G1桁）

試験日	A面		B面	
	調査者	調査・試験項目	調査者	調査・試験項目
9/25	C g	鉄筋位置探査	N d	鉄筋位置探査
	N d	〃	C g	〃
	C g	反発度	C g	反発度
	T e	反発度, 鉄筋位置探査 含水率	F b	鉄筋位置探査, 反発度 透気係数, 電気抵抗 自然電位
	F b	鉄筋位置探査, 反発度 透気係数, 電気抵抗 自然電位		反発度, 鉄筋位置探査 含水率
9/26	M e	鉄筋位置探査	M e	鉄筋位置探査
	C o	はく離	C o	はく離
	T k	鉄筋位置探査 自然電位, 分極抵抗 電気抵抗	T k	鉄筋位置探査 自然電位, 分極抵抗 電気抵抗
9/27	N b	自然電位, 分極抵抗 電気抵抗	N b	自然電位, 分極抵抗 電気抵抗
	O n	ドリル試料採取	Z M	コア試料採取 (C面)
	Z M	コア試料採取	—	—
10/2	D k	鉄筋位置探査, 反発度 自然電位, 電気抵抗 含水率, コア試料採取	D k	鉄筋位置探査, 反発度 自然電位, 電気抵抗 含水率, コア試料採取
10/3	D k	はつり調査	D k	はつり調査

第Ⅱ部 旧暮坪陸橋P 3 橋脚調査

1. コンクリートの品質に関する非破壊検査

1.1 反発度法によるコンクリート強度の推定

(1)測定方法

反発度法によるコンクリート強度の推定とは、コンクリート表面を重錘で打撃し、その反発度からコンクリートの圧縮強度を推定する非破壊検査である。測定状況の写真を、写真－1.1.1～写真－1.1.2に示す。

今回、全ての測定者がシュミットハンマーN型に準じた打撃機構を持つ機器を使用し、測定方法は、土木学会の「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法（案）」に準じて測定した。ただし、測定データの棄却方法については、測定者で対応が異なった。

土木学会の試験方法（案）では、各調査箇所で20点の反発度を測定しその平均値から、コンクリートの圧縮強度を推定する。しかし、測定結果のばらつきが大きく、各反発度と平均値の差が平均値の20%を超える点がある場合には、その点を除外し測定点を補わなければならない。これを現場で手計算で行うのは煩雑なので、測定者によって、以下のように対応が分かれた。

- 1)あらかじめ25点程度の測定を行い、平均値に近い20点を採用：C g，K w
- 2)あらかじめ25点程度の測定を行い、平均値との差が平均値の20%を超える点を削除：D k，T e
- 3)測定機器が自動的に平均値を算出し除外すべき測定値があれば測定点の追加を指示、これに従って測定点を追加：F b，T s

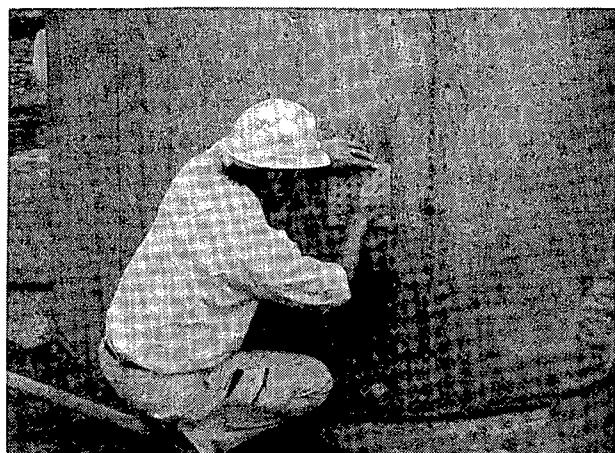
表－1.1.1 反発度測定に使用した機器

測定者	使用機器	測定箇所
C g	P社製 NR-10	旧芦川橋
D k	K社製 α -750RX	旧暮坪陸橋，旧芦川橋
F b	P社製 DIGI SCHMIDT 2000ND	旧暮坪陸橋，旧芦川橋
K w	P社製 NR型	旧暮坪陸橋
T e	P社製 NR-10	旧芦川橋
T s	K社製 α -750RX	旧暮坪陸橋

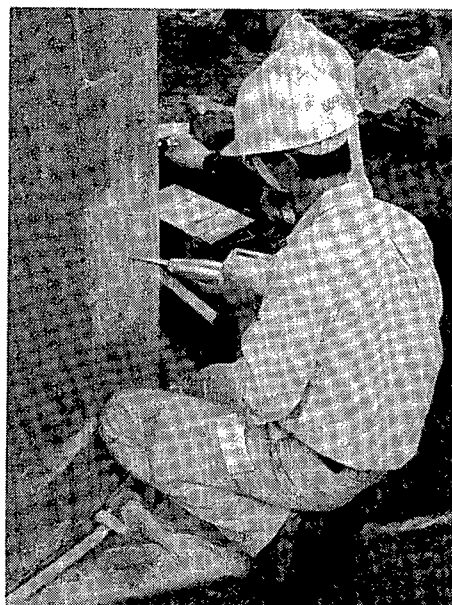
(2)圧縮強度への換算

ところで、反発度をコンクリートの圧縮強度に換算する換算式については、確立されているとは言えず、これまで多数の提案がある。反発度とコンクリートの圧縮強度の関係を一律に結びつけるのが難しいのは、配合や構造物の測定条件、試験装置等の様々な要因に反発度の測定結果が影響を受けるためと考えられる。

本報では、換算式として引用されることが多い日本材料学会の推定式（式－1.1.1），日本建築学会の共通実験に基づく回帰式（式－1.1.2），およびプレストレストコンクリートを対象にした徳光らの実験に基づく回帰式（式－1.1.3）を用いて推定した結果を例として示す。



写真－1.1.1 測定位置マーキング状況



写真－1.1.2 反発度測定状況

①日本材料学会推定式

$$F_c = (-184 + 13R) \times 0.098 \quad \dots\dots\dots (1.1.1)$$

②日本建築学会の共通実験結果に基づく回帰式

$$F_c = (7.3R + 100) \times 0.098 \quad \dots\dots\dots (1.1.2)$$

③徳光らの実験に基づく回帰式

$$F_c = (21.4R - 408) \times 0.098 \quad \dots\dots\dots (1.1.3)$$

ただし、 F_c ：推定圧縮強度（MPa；N/mm²）

R：反発度（乾燥状態のコンクリートを水平方向に打撃した場合に換算したもの）

測定装置のマニュアル等では、長期材齢のコンクリートの強度を推定する場合には、換算式で得られた推定強度に材齢に応じた係数を掛けて補正するよう記述されていることもある。しかし、これらの係数の使用には議論の余地があり、今回は材齢係数として0.63（旧暮坪陸橋・旧芦川橋ともに材齢3000日以上）を乗じた場合とそうでない場合の結果を併記した。

表－1.1.2 材齢による推定強度の補正係数

材齢（日）	28	100	300	500	1000	3000
材齢係数	1.0	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

※日本建築学会、『コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル』

(3) 旧暮坪陸橋での測定結果

旧暮坪陸橋 P 3 橋脚における反発度測定結果を表－1.1.3にまとめた。また、既存の換算式を用いて、反発度からコンクリート強度を推定した結果を表－1.1.4に示す。

表－1.1.3 反発度測定結果（旧暮坪陸橋）

測定場所	測定者	測定点	測定値 平均	テストアン ビルによる 補正值	反発度
A 面	D k	25	54	—	54
		25	52	—	52
	F b	20	57	—	57
	K w	20	52	1.0667	55
	T s	20	56	—	55
B 面	F b	20	52	—	52
	K w	20	52	1.0667	55
	T s	20	48	—	47

表－1.1.4 強度推定結果（旧暮坪陸橋）

測定場所	測定者	反発度	推定圧縮強度 (N/mm ²)			推定圧縮強度 (N/mm ²) × 材齢係数 0.63			コア 圧縮強度 (N/mm ²)
			材料学会	建築学会	徳光ら	材料学会	建築学会	徳光ら	
A 面	D k	54	50.8	48.4	73.3	32.0	30.5	46.2	56.8
		52	48.2	47.0	69.1	30.4	29.6	43.5	
	F b	57	54.6	50.6	79.6	34.4	31.9	50.1	
	K w	55	52.0	49.1	75.4	32.8	31.0	47.5	
	T s	55	52.0	49.1	75.4	32.8	31.0	47.5	
B 面	F b	52	48.2	47.0	69.1	30.4	29.6	43.5	66.2
	K w	55	52.0	49.1	75.4	32.8	31.0	47.5	
	T s	47	41.8	43.4	58.6	26.4	27.4	36.9	

1.2 コンクリートの電気抵抗測定

(1) 電気抵抗の測定目的

コンクリートの電気抵抗はコンクリートの含水率と強い相関関係があり、他の試験を行う前に試験条件を確認する目的や、他の試験項目で得られた結果（例えば自然電位）を検討する際に参考とする目的で測定されることが多い。

しかし、既存の研究から、含水状態のコンクリートの電気抵抗はコンクリートへの塩分浸透性と相関があること等が明らかにされており、電気抵抗の測定によりコンクリートの緻密さを評価することができる可能性がある。また、4点電極法による電気抵抗測定には、構造物を傷つけずに行うことができるという大きな利点がある。

そこで、本報では、コンクリートの電気抵抗を硬化コンクリートの品質を表す指標の一つと考え、他の試験項目と同時に測定された電気抵抗の測定結果を抜き出し、本節にまとめて紹介した。

(2) 測定原理

今回の調査で実施した比抵抗の測定原理を大きく2つに分類した。

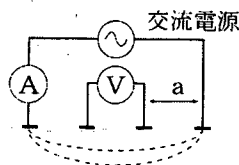
① 4点電極法：Dk法，Fb法

コンクリート表面に4つの電極を押し当て、外側の2つの電極間に交流電流を流し、ここで流れた電流量と中央の電極間で測定された電圧から、コンクリートの比抵抗（単位長さあたりの電気抵抗）を測定する方法。

② 対面電極法：Nb法，Tk法

コンクリート中の鉄筋の一部をはつり出すなどして、構造物内部の鉄筋と測定装置を結線する。その後、コンクリート表面に電極を押し当て、この電極とコンクリート中の鉄筋との間に交流電流を流し、表面の電極と鉄筋間の電圧、測定された電流、かぶり厚さおよび電極の面積からコンクリートの比抵抗を測定する方法（Tk法では比抵抗には換算せず、電気抵抗値）。

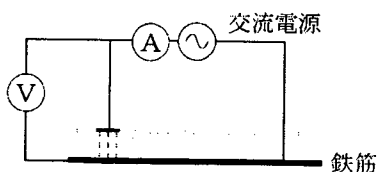
【4点電極法】



$$\rho = 2 \pi a V / I$$

ρ : 比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
 I : 電流 (A)
 V : 実効電圧 (V)
 a : 電極間距離 (cm)

【対面電極法】



$$\rho = V A / I d$$

ρ : 比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
 I : 電流 (A)
 V : 実効電圧 (V)
 d : かぶり厚さ (cm)
 A : 電極面積 (cm^2)

図-1.2.1 比抵抗の測定原理

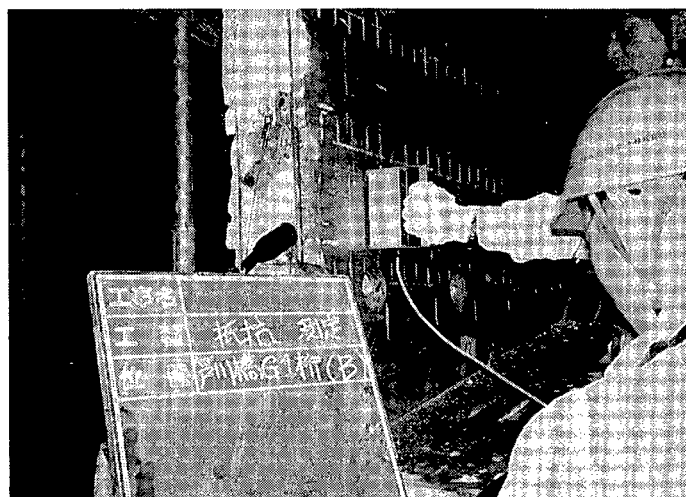
次に、測定方法、測定結果について測定者ごとに報告する。

(3) D k 法

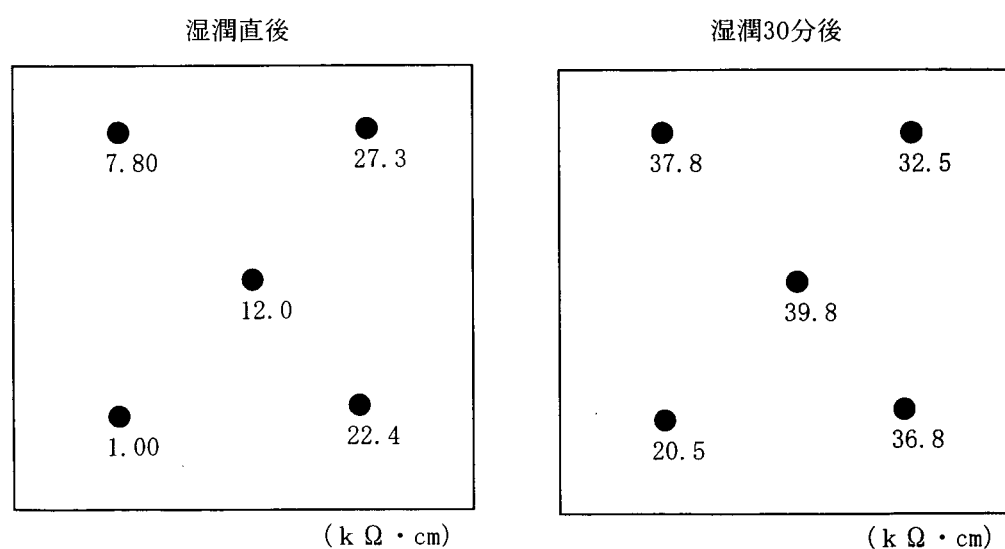
電気抵抗測定は、自然電位の測定に用いた鉄筋腐食診断計（N社製TR-01）に電気抵抗測定用の抵抗率センサー（測定用の電極，N社製RD-01）を接続して行った。この装置の測定原理は、4点電極法に基づいており、4つの電極（円形でゴム状の電極）をコンクリート表面に押しつけて測定した（写真－1.2.1）。

測定は、霧吹き器を用いて水道水により測定面を湿潤状態にした直後とその30分後に、（それぞれ約5分間自然電位の測定を行った後）行った。2回の測定の間には、数回、霧吹き器を用いて水道水を散布し、測定面を湿潤状態に維持してコンクリートに吸水させた。

旧暮坪陸橋P3橋脚A面での測定結果を図－1.2.2に示す（B面は測定しなかった）。



写真－1.2.1 比抵抗測定状況（D k 法）



図－1.2.2 D k 法による比抵抗測定結果（旧暮坪陸橋A面）

(4) F b 法

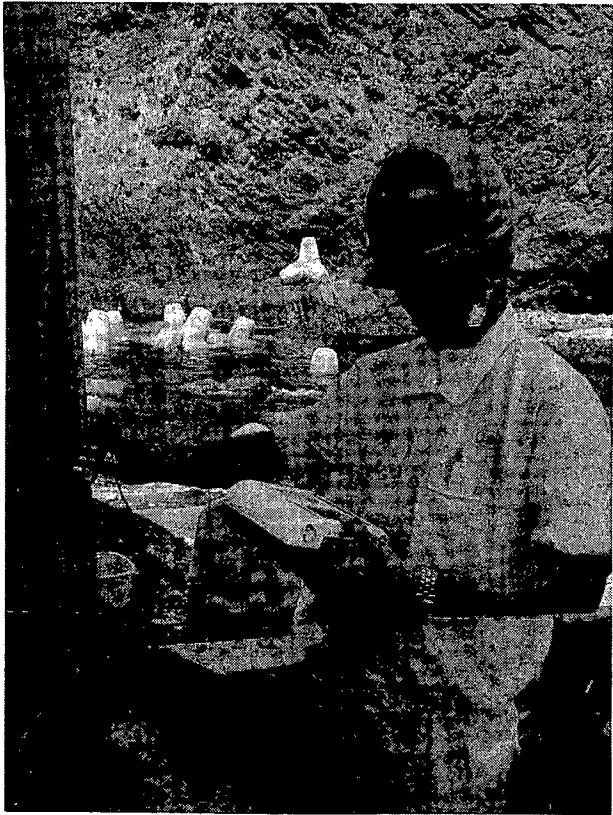
コンクリートの比抵抗測定は、透気試験の試験結果を補正することを主目的とし、コンクリート電気抵抗測定器（P 社製 RESI）を用いて測定した。この装置の測定原理は、4 点電極法に基づいており、4 つの電極（先端にスポンジが付いており、水道水を含ませて用いる）をコンクリート表面に押しつけて測定した（写真－1.2.2）。

測定は、透気試験の実施箇所近傍で、A 面・B 面各一箇所ずつ行った。測定箇所は気乾の状態で測定し、電極からの水が測定面に垂れないよう注意した。

旧暮坪陸橋 P 3 橋脚での測定結果を表－1.2.1 に示す。

表－1.2.1 F b 法による比抵抗測定結果（旧暮坪陸橋）

A 面	B 面
19 k Ω ・ cm	22 k Ω ・ cm



写真－1.2.2 測定状況（F b 法）



写真－1.2.3 測定部拡大（F b 法）

(5) N b 法

コンクリートの比抵抗測定は、鉄筋腐食診断システム（N社製NICEシステムRC-M3.1）を用いて、自然電位・分極抵抗の測定と同時に行った。まず、コンクリート表面に30分程度散水した後、測定を開始した。測定は、鉄筋位置の探査結果に基づき、主筋と帯鉄筋が交差していると考えられる位置で行った。

測定原理は、対面電極法に分類されるものであり、円形の対極と基準電極が組込まれたセンサーをコンクリート表面に押し当て、対極からコンクリート中の鉄筋に電流を流し応答を調べる。鉄筋間隔、鉄筋径およびかぶり厚さから、電流分布を計算し、コンクリートの比抵抗に換算する。詳細に関しては、「3.3 N b 法」を参照されたい。

ここでは、他の測定方法による測定結果と比較するため、旧暮坪陸橋P3橋脚でのN b 法による比抵抗測定結果を抜き出し、図－1.2.3に示す。

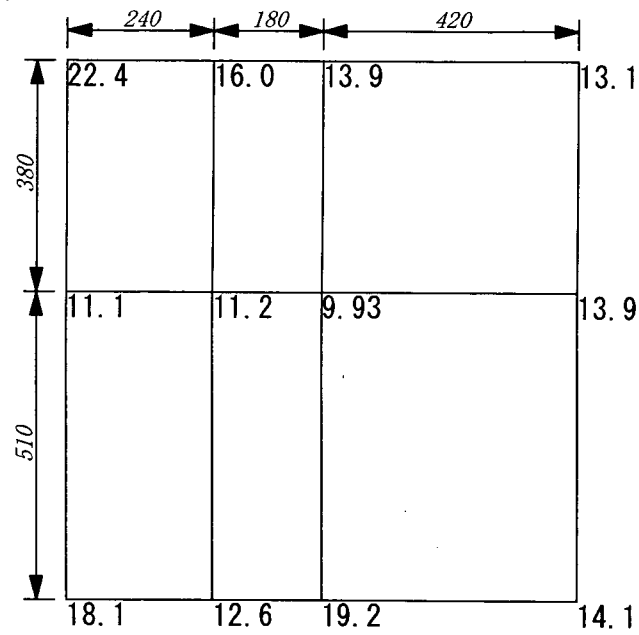
(6) T k 法

コンクリートの電気抵抗測定は、腐食診断機（A社製）を用いて、自然電位・分極抵抗の測定と同時に行った。コンクリート表面に30分程度の吸水操作を行った後測定した。測定原理は対面法に準じたもので、調査範囲をメッシュ状に分割して1 m²の範囲で16点測定した（旧暮坪陸橋）。測定方法の詳細は、「3.4 T k 法」を参照されたい。

T k 法では、コンクリート表面と鉄筋表面間の電流の経路を正確に推定することが困難であることから、比抵抗への換算は行わず、測定された電気抵抗値をそのまま報告した。

ここでは、他の測定方法による測定結果と比較するため、旧暮坪陸橋P3橋脚でのT k 法による電気抵抗値測定結果を抜き出し、図－1.2.4に示す。

【A面】

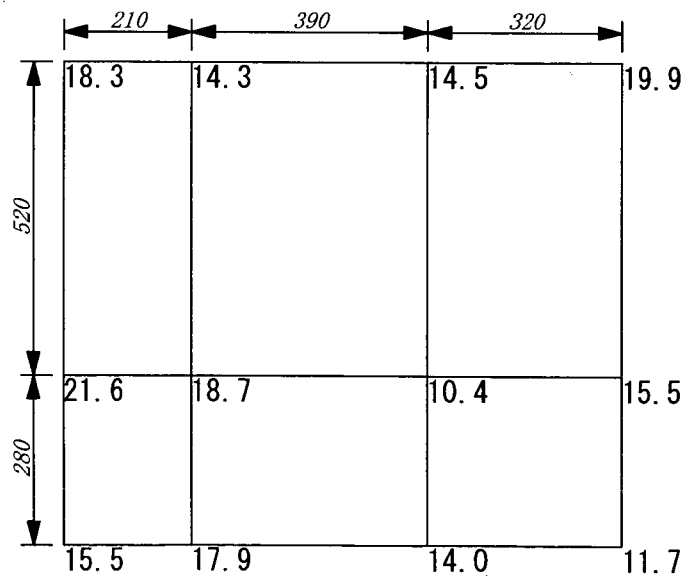


単位

比抵抗 : $k \Omega \cdot cm$

寸法 : mm

【B面】



単位

比抵抗 : $k \Omega \cdot cm$

寸法 : mm

※鉄筋探査の結果に基づき、鉄筋交点の直上で測定した。

図-1.2.3 Nb法による比抵抗測定結果（旧暮坪陸橋）

【A面】

(kΩ)

0.490	0.371	0.640	0.628
0.820	0.634	0.642	2.081
1.914	0.780	0.866	0.712
0.616	3.101	3.008	1.082

【B面】

(kΩ)

0.668	2.279	0.825	0.835
0.359	0.364	1.184	1.205
0.711	0.721	1.282	0.975
0.692	0.663	1.083	0.834

図－1.2.4 Tk法による電気抵抗測定結果（旧暮坪陸橋）

1.3 コンクリートの含水率測定

(1) 含水率の測定目的

コンクリートの含水率測定は、現状では、①他の非破壊試験等で得られた試験結果を補正するため（例えば、電磁波法によるかぶり厚さ測定結果などに、コンクリートの含水率の影響がある）や、②弱材齢のコンクリート表面に塗装などの仕上げを施す際に、施工可能となる時期の目安を得るため、といった目的で用いられることが多い試験項目である。

測定者T eは、コンクリート表面が乾いた状態で実施する試験項目（反発度の測定、鉄筋位置の探査、透気係数の測定）の測定条件を把握する目的で、調査対象の含水率を測定した。

ところで、コンクリートの水セメント比が大きかったり、養生が適切でなかったりした場合には、硬化したコンクリート表面付近に空隙が多くなることから、中性化の進行が速くなったり、塩化物イオン等の有害物がコンクリート内部へ浸入しやすくなるおそれがある。このようなコンクリートでは、空隙が多いことから水を吸収しやすくなり、含水率も大きくなることが予想される。

そこで、測定者D kは、コンクリート表面に噴霧器で水道水を散布した直後とその後、30分間吸水させた後のコンクリートの含水率を比較して、構造物中のコンクリート品質を評価することを試みた（詳細な測定手順については「3.1 D k法」を参照されたい）。

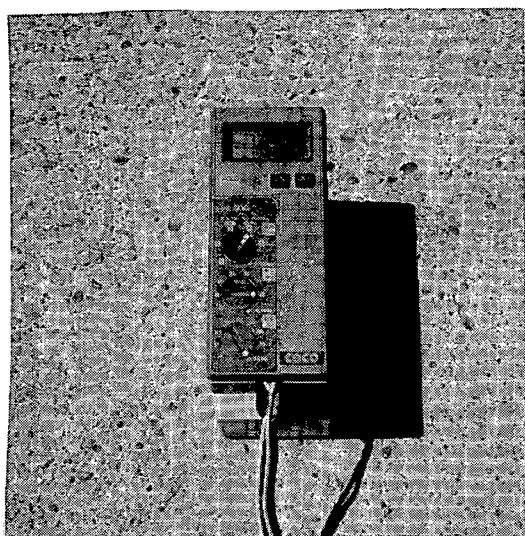
(2) 測定原理

今回測定を行った測定者D kと測定者T eはともに、K社製コンクリート・モルタル水分計（HI-500）を使用して測定した。この測定器は、モルタル・コンクリートの水分による誘電率（高周波容量）の変化を測定し、あらかじめ定められた含水率と誘電率の関係から、モルタルまたはコンクリートの含水率に換算するものである。また、この測定器は測定時の温度を用いて測定値を補正する機能を内蔵している。測定は平行な2つの電極をコンクリート表面に押し当てて行う。

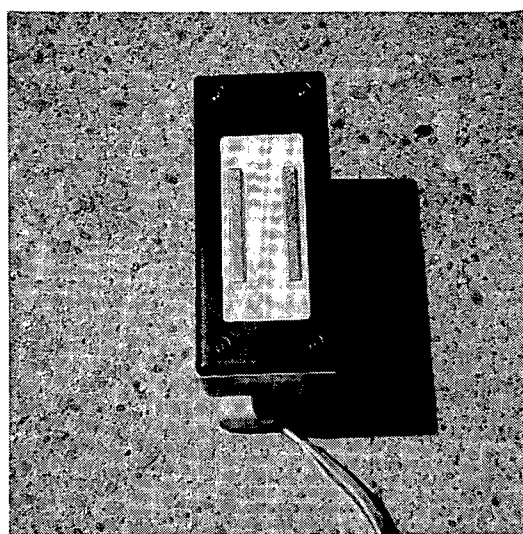
この測定器の仕様を、表－1.3.1に示す。

表－1.3.1 水分計の仕様（D k法，T e法共通）

測定原理	高周波容量式（20MHz）
測定対象	コンクリート・モルタル・ALC
測定範囲	コンクリート（0～15%） モルタル（0～15%） ALC（0～100%）
補正機能	厚さ10～40mm 温度①自動（0～40℃）②（0～70℃）
寸法	高さ110 幅56 奥行き130 （mm）
質量	約540 g
その他	電池式（9 V）



写真－1.3.1 測定に使用した水分計（表示面）



写真－1.3.2 測定に使用した水分計（電極面）



写真－1.3.3 含水率測定状況（T e 法）

以下、旧暮坪陸橋P 3 橋脚での測定結果について報告する。

(3) T e 法

吸水操作等を行わず、コンクリート構造物の含水率を測定した。

試験は、A 面・B 面およびその中間（東面）で3箇所ずつ測定した。測定対象の西面側は足場がなかったため、測定は行わなかった。

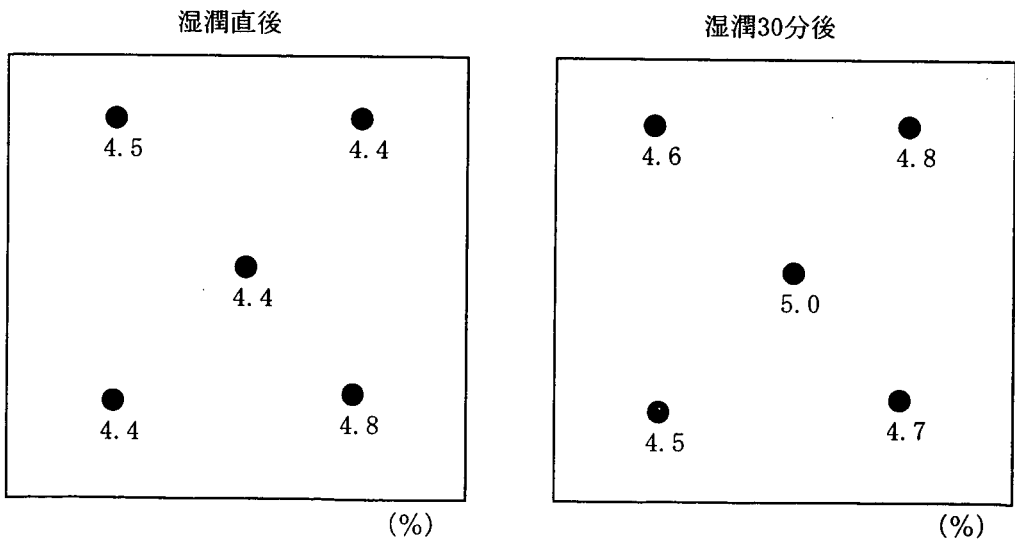
(4) D k 法

測定結果を図－1.3.1 に示す。D k 法はA 面のみ試験した。

表－1.3.2 含水率測定結果（T e 法）

		A 面（北面）	東面	B 面（南面）
地上高 (mm)	1500	4.2	4.7	5.0
	1000	4.4	4.6	5.1
	500	4.4	4.7	4.9

※気乾状態での測定結果 (％)



図－1.3.1 含水率測定結果（D k 法：A 面）

1.4 コンクリートの透気係数測定

(1) 透気係数の測定目的

コンクリート構造物の耐久性向上の観点から、構造物中の硬化コンクリートの品質について考えると、コンクリートの中の鉄筋の腐食を引き起こす要因となりうる物質（塩化物や二酸化炭素など）の外部からの浸入・浸透を防ぐ性能について把握する必要がある。すなわち、コンクリートの緻密さやかぶりの確保が重要である。

しかし、コンクリート表層部の緻密さを評価する試験方法については、確立されていないのが現状である。コンクリートの透気試験は、構造物中の硬化コンクリートの緻密さを評価すべく提案されている試験方法の一つで、測定個所のコンクリートに空気を圧入し、コンクリートの透気性を測定し、コンクリートの緻密さを評価する方法である。

なお、透気性は、コンクリートの乾燥度合いによって影響を受けることが予想されるので、同時に4点電極法によるコンクリートの電気抵抗測定を行い、測定結果の補正に用いた（「1.2 コンクリートの電気抵抗測定」を参照）。

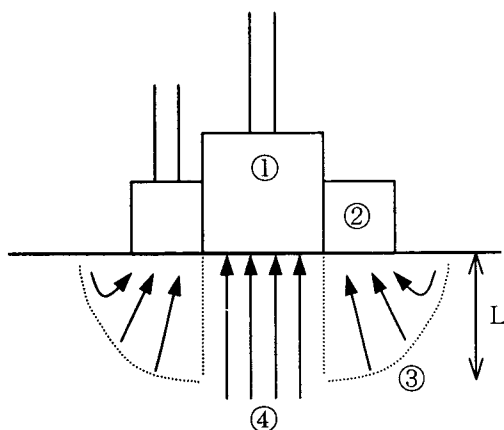
(2) 測定原理

測定にはP社製透気係数測定装置TORRENTを使用した。この装置は、まずバキュームシェル内部の圧力を真空にしておき、次に大気圧によってコンクリート内部を通過して空気の影響による圧力低下を測定して、コンクリートの透気係数を測定するものである。

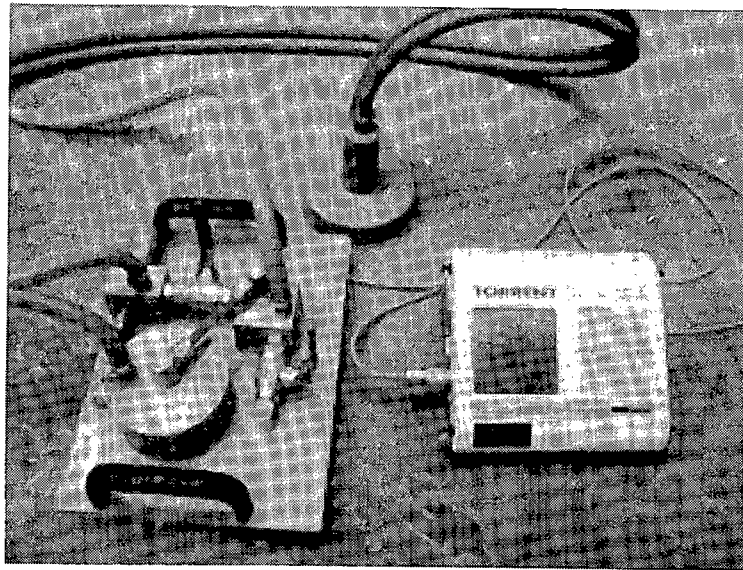
測定は、以下の手順による（図－1.4.1 参照）。

- 1) バキュームシェルを測定個所にあて、①室内と②室内それぞれを真空にする。
- 2) ①室と②室の内圧を一定に保ちながら、①室内の圧力上昇速度を測定する。
- 3) ①室の圧力上昇速度から透気係数を算定する。

この測定装置は、①室内へ流入する空気の流れを一方向に限定するように（③のような空気の流入を防ぎ、④からのみ空気が流入するように）設計されている。測定は装置のセット後自動で行われ、透気係数に関連した K_t 値と空気の流入経路の長さを示す L 値が算出される。



図－1.4.1 透気係数測定方法



写真－1.4.1 透気係数測定装置
(この他に真空ポンプを使用)

①Mbar	②kΩ cm	③#
t = ④ s		
pi = ⑤ mbar		
KT = ⑥ $\times 10^{-16} \text{m}^2$		
L = ⑦ mm		
Start by START		
Menu by MENU		

- ① 測定時の外気圧
- ② 電気抵抗値
- ③ 測定No.
- ④ 経過時間(秒)
- ⑤ 内部チャンバー内の圧力
- ⑥ 透気係数
- ⑦ 測定深度

図－1.4.2 測定画面の表示例

(3)測定結果の評価

測定器のマニュアルに記載されたK t 値の評価指標（表－1.4.1）を元に、コンクリートの品質を判定した。

(4)旧暮坪陸橋での測定結果

1) A面

K t 値は0.016, L 値は8.6mmであった。測定器付属の評価指標から判定すると、コンクリートの品質はグレード2であり, “特に良い” に近い “良い” という評価であった。コンクリートの抵抗値は19 k Ω であった。

2) B面

K t 値は0.06, L 値は16mmであった。コンクリートの品質はグレード2の “良い” という評価であった。コンクリートの抵抗値は22 k Ω であった。

表－1.4.1 K t 値評価指標（測定器マニュアル付属）

Quality	Index	Kt
very bad	5	> 10
bad	4	1.0 ～10
nomal	3	0.1 ～1.0
good	2	0.01 ～0.1
very good	1	< 0.01

表－1.4.2 透気係数測定結果（旧暮坪陸橋）

測定箇所	K t 値	L 値	電気抵抗
A面	0.016	8.6mm	19 k Ω
B面	0.06	16mm	22 k Ω

2. 鉄筋位置探査

2.1 探査方法

(1) 概要

今回、鉄筋位置の探査に用いた測定装置は、いずれも電磁波法（レーダー法）または電磁誘導法によりコンクリート中に埋め込まれた鉄筋の位置やかぶり等を測定するものである。電磁波法・電磁誘導法の測定原理を簡単に紹介する。

電磁波法：電磁波が媒質中を一定の速度で直進し、電氣的性質の異なる物質の界面で反射されて戻ってくる性質を利用して測定する。すなわち、コンクリート表面に試験装置（アンテナ）をあてて電磁波をコンクリート内部に照射し、コンクリートと鉄筋の界面で電磁波が反射されて帰ってくる位置やその時間を測定し、鉄筋の位置やコンクリートのかぶりを測定するものである。配筋が複雑な場合等には、複数の鉄筋からの反射波が干渉することがあり、読みとりに熟練が必要である。

電磁誘導法：コイルに電流を流した交流磁場内に金属等が存在すると、その影響を受けコイルの電圧が変化する。この性質を利用し、試験装置をコンクリート表面に押し当てながら移動させ、コイルの電圧の変化から鉄筋の位置やかぶり等を測定する方法である。

いずれの測定原理を用いた試験装置も数多く市販されており、現場での適用実績も多い。しかし、今後、かぶりの測定方法として維持管理のプロセスに取り入れて行くことを考えると、測定の精度や測定者・測定機器による測定結果の違いなどについて検討する必要がある。これらの検討の基礎資料とするため、今回は同一箇所でも数多くの測定を行った。

今回、使用した測定装置の概要を、表－2.1.1に示す。これらの詳細な仕様は次節「2.2 測定装置の詳細」で紹介する。また、探査結果は、「2.3 探査結果」にまとめて示した。

表－2.1.1 鉄筋探査に使用した機器の概略

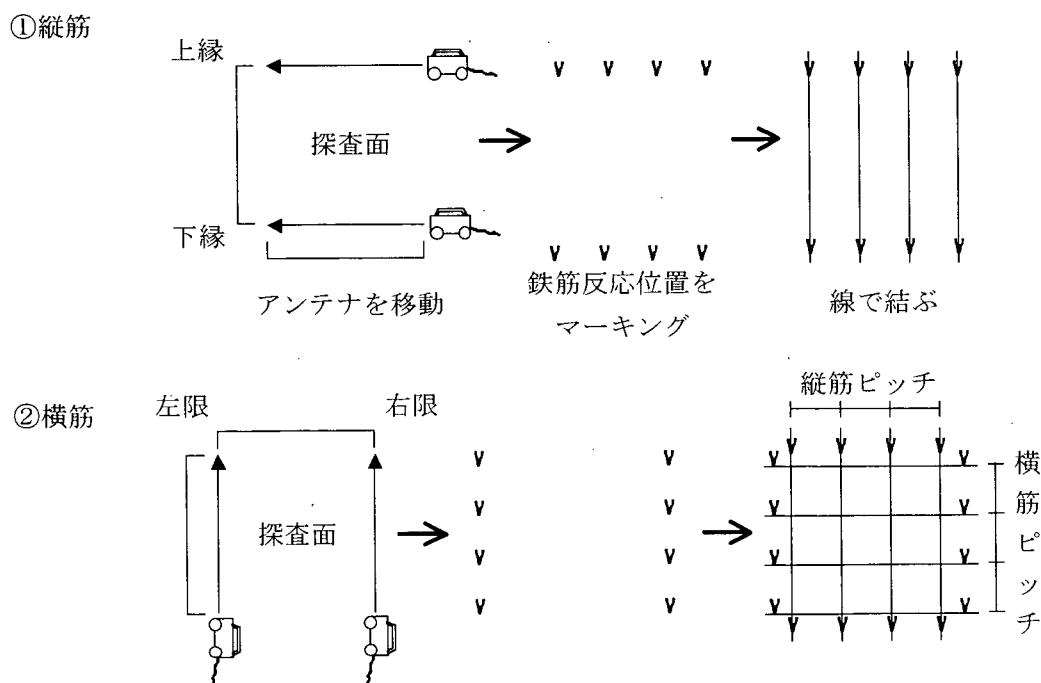
測定者	測定原理	測定装置	かぶり厚さの測定範囲
C g, D k, N d	電磁波法	N社製 JEJ-60B	0.5～20cm
F b	電磁誘導法	P社製 プロフォメーター4	15cmまで
M e	電磁波法	K社製 IRS150	0～15cm (鉄筋径6mm以上の場合)
T e	電磁波法	N社製 NJJ-85A	0.5～20cm (鉄筋径6mm以上の場合)
T k	電磁波法	A社製 ライトエスパー	0～20cm (鉄筋径6mm以上の場合)

以下、各測定者の測定方法や試験結果について必要に応じ詳細に報告する。

(2) C g 法

電磁波法によるコンクリート内部探査器（N社製 JEJ-60B）を用い、以下の手順でコンクリート中の鉄筋位置およびかぶり厚さを探査した。

- ①鉄筋探査範囲の下縁（又は上縁）において、水平（縦筋に垂直）にアンテナを移動させる。その際、アンテナの移動起点に、マーキングをしておく。
- ②RCレーダによって鉄筋反応位置を、移動起点からコンベックス等で測り、マーキングする。
- ③鉄筋探査範囲の上縁（又は下縁）においても、①～②の手順で、鉄筋位置をマーキングする。
- ④鉄筋探査範囲の上縁と下縁の距離が長く鉄筋の反応が疑わしい場合、鉄筋探査範囲の上下縁間の数箇所、①～②の手順で、鉄筋位置をマーキングする。
- ⑤手順①～④によって付けられたマーキングを線で結ぶ。
- ⑥①～⑤の手順を鉄筋探査範囲の左右限においても行い、横筋の位置を出す。なお、探査部材によっては、斜め方向の鉄筋がある可能性があるため、斜め方向の鉄筋探査を行う。
- ⑦探査によって推定された鉄筋位置の再確認を行う。確認はアンテナを移動させ、鉄筋位置として付けられたマーキング上でアンテナのマーカーボタンを押し、表示画面上で鉄筋反応位置とマーカーのずれを比較する。この際、アンテナの移動は移動終点から移動起点に向けて移動させることが望ましい。鉄筋反応位置とマーカーのずれが生じている場合はその部分のマーキングを消し、修正を行う。
- ⑧すべてのマーキング完成後、鉄筋ピッチおよび横筋ピッチを記録する。



図－2.1.1 鉄筋探査手順

(3) D k 法

電磁波法によるコンクリート内部探査器（N社製 JEJ-60B）を用い、コンクリート中の鉄筋位置およびかぶり厚さを探査した。

かぶり厚さ（反射物体までの距離）Dは、電磁波の送信から反射波の受信までの時間Tとコンクリート中での電磁波の速度Vから式（2.1.1）で求めることができる。しかし、コンクリート中の電磁波の速度は、式（2.1.2）に示すようにコンクリートの含水状態の影響を受け、一定ではない。このため、電磁波法では、測定時に仮定した比誘電率と測定対象の実際の比誘電率が異なると、かぶり厚さが全体的に大きくまたは小さく推定されることになる。

今回の調査箇所では、他の試験項目の実施のため鉄筋を一部はつりだした箇所があったので、そこで鉄筋の推定かぶり厚さと実測かぶり厚さとの差を測定し、これを用いることで推定結果を補正した。探査結果の図には、この方法で補正した推定かぶり厚さと補正前のかぶり厚さを併記した。

$$D = \frac{VT}{2} \dots\dots\dots (2.1.1)$$

$$V = \frac{C}{\epsilon r} \dots\dots\dots (2.1.2)$$

ここに、D：反射物体までの距離（m）

V：コンクリート中での電磁波の速度（m/s）

T：電磁波の送信から反射波の受信までの時間（s）

C：真空中での電磁波の速度（m/s）： 3×10^8

ϵr ：コンクリートの比誘電率：6～10程度

暮坪陸橋P3橋脚（A面）の鉄筋は、横1m、縦1mの範囲で主筋が6本、配力筋が3本と推定され、主筋間隔が80～210mm、配力筋間隔が390～520mmと測定された。また、かぶり厚さは、主筋が173～200mm、配力筋が149～194mmと測定された。

なお、探査対象の形状が円柱状の場合、測定される主筋の間隔は、かぶり厚さが大きい程、実際の間隔よりも大きく測定されることに留意する必要がある。

(4) F b 法

電磁誘導法で測定する鉄筋探査機（P社製プロフォメーター4）を使用した。測定前に精度確認用のテストブロックを用いてセンサーの精度を確認し、かぶりが15mm・30mmの場合は測定誤差が±1mm以下であること、同様に、60mmでは±2mm以下、90mmでは±5mm以下であることを確認して使用した。

電磁誘導法は、厳密には磁氣的試験法と渦流試験法に分類されるが、一般に市販されている装置としては磁氣的試験法のものが多く、F b法で用いた鉄筋探査機もこれに属する。電磁誘導法によるかぶりの測定は、コンクリートの性状（含水率等）の影響を受けにくいという特徴があるが、精度良く測定するためには鉄筋の直径を知る必要がある。この探査の開始時には鉄筋径は未知の状態であり、D16に設定し探査を開始した。

なお、渦流試験法では、原理的に鉄筋の直径とかぶりを同時に測定することが可能であるが、現状ではその測定方法は確立されているとは言えず、市販されている装置もほとんどない。

F b法で旧暮坪陸橋P3橋脚の鉄筋位置を探査した結果、以下のようなことがわかった。

1) A面

かぶりは140～160mmぐらいで、測定対象物に向かって右側は主鉄筋及び横筋が約40mm間隔で配置されていた。しかし、かぶりが深いために測定装置の反応が鈍く、測定が非常に難しかった。測定範囲の左側では、一部反応が得られたが、正確に判断するまでには至らなかった。

2) B面

かぶりは180mm前後であった。主筋及び横筋は、250～300mm間隔で配筋されていた。

※測定結果から、ややA面側に配筋がよっている可能性があり、A面左側のかぶりは200mm程度と予想される。

※現状の電磁誘導法では、鉄筋径にもよるが約150～200mmでの探査が限界と考えられる。

(5) Me 法

①適用範囲について

1) 物理的に探査不可能 (図－ 2. 1. 2 参照)

壁, 床面などで障害物から 100mm 以上離れた場所

2) 原理的に探査が不可能な範囲

ダブル配筋の内側

深さ 15 cm の埋設物

3) 探査がむずかしい範囲

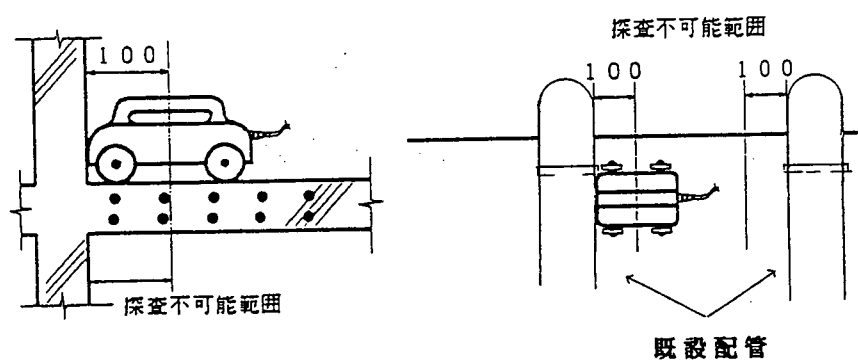
柱, 梁などで配筋ピッチが密で複雑な場所

探査表面に大きな凹凸がある場合

探査表面にボードなどが貼ってあり, かつ空隙が 50 mm 以上ある場所

鉄筋と同じ深さで埋設された障害物

開口部近傍



図－ 2. 1. 2 物理的に探査不可能な事例

②探査方法

現場におけるレーダー探査は原則として以下の手順により探査を実施する。

1) 探査箇所・位置の確認とケ書

探査範囲は係員の確認をもって現物にカラーガムテープをはり明記する。

2) 探査面の手入れ

探査面はアンテナ台車の走行（後輪の回転により探査位置データが計測される）に支障があつてはならない。コンクリート表面に凹凸が存在する場合（コンクリート型枠などの継ぎ目部など）にはその程度により以下の措置を行う。

イ．ハンマー、スクレイパーなどにより凸部をはつりとる。

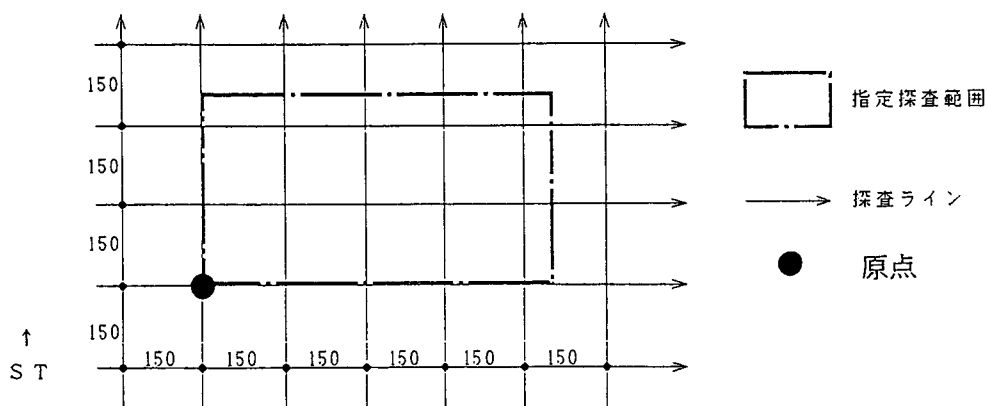
ロ．合板（3mm程度のもの）などを探査面に敷く。

3) 探査原点の明記

探査範囲の角一点を原点とし、その原点を起点とし探査範囲とする。当該部の探査開始点及び走査方向は収録データの整理ミスが生じないように常に一定方向とする。

4) 探査ピッチと探査範囲

探査ピッチは原則として縦横150mm程度のピッチとし、探査範囲の外側1ライン（探査範囲外周部+150mm程度）まで測定する。また、当該部に斜め方向に配された埋設物を考慮して左右45°方向の探査も行う。



図－2.1.3 探査パターン例

③埋設物の解析・判定

1) 反射波の判定

表示画像の反射波の判定はエコー処理を用いて反射波の形状、平面位置、深度などを考慮し総合評価して埋設物（鉄筋、その他など）の推定を行う。

2) 平面位置の推定

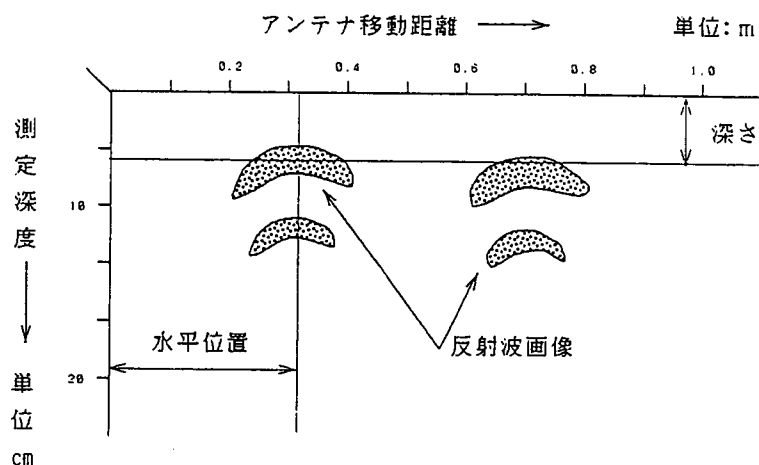
表示画面上の埋設物の反射波の中央にカーソルを合わせ、走査開始点から埋設物までの距離を測定する。

3) 深さの測定

表示画面上の埋設物の反射波の中央にカーソルを合わせ、探査面からの深さを測定する。

4) その他

連続しない埋設物などその種類が特定できない物は不明物体として取り扱い、報告する。

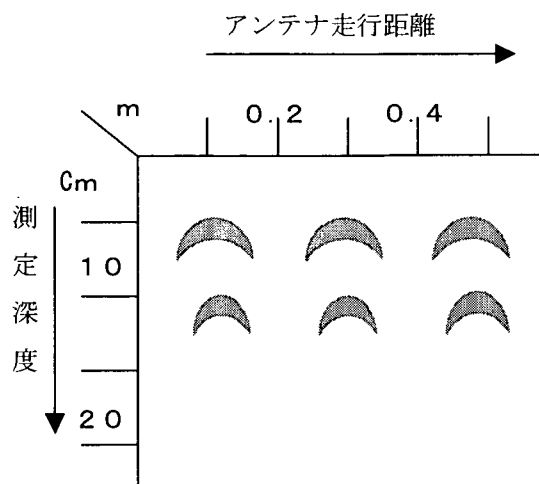


図－2.1.4 探査画像例

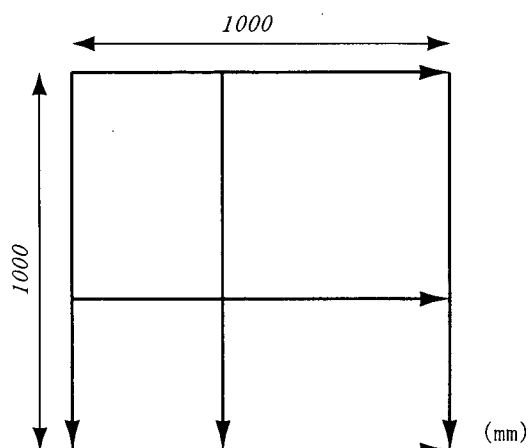
(6) Nd 法

RC内部専用の探査器（N社製JEJ-60B）を用い、鉄筋の位置およびかぶり厚さを計測した。測定原理は電磁波法によるもので、アンテナから電磁波をコンクリート表面に向けて放射し、鉄筋などから反射された反射電磁波を再びアンテナで受信する。測定結果はコンピュータ処理により断面図で表示される。画像表示のイメージを図－2.1.5に示す。

また、A・B面ともに水平な方向に方向に3箇所、地面と垂直な方向に3箇所アンテナを操作し探査を行った。



図－2.1.5 測定結果表示のイメージ図



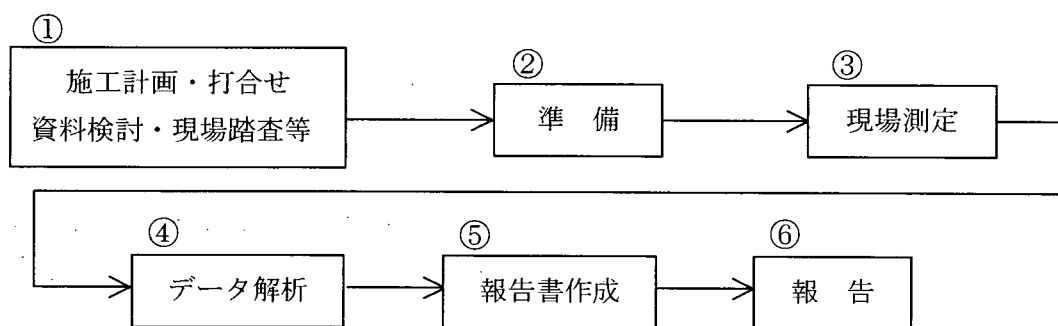
※矢印は測定方向を示す。

図－2.1.6 測定位置の概要
(旧暮坪陸橋, A・B面共通)

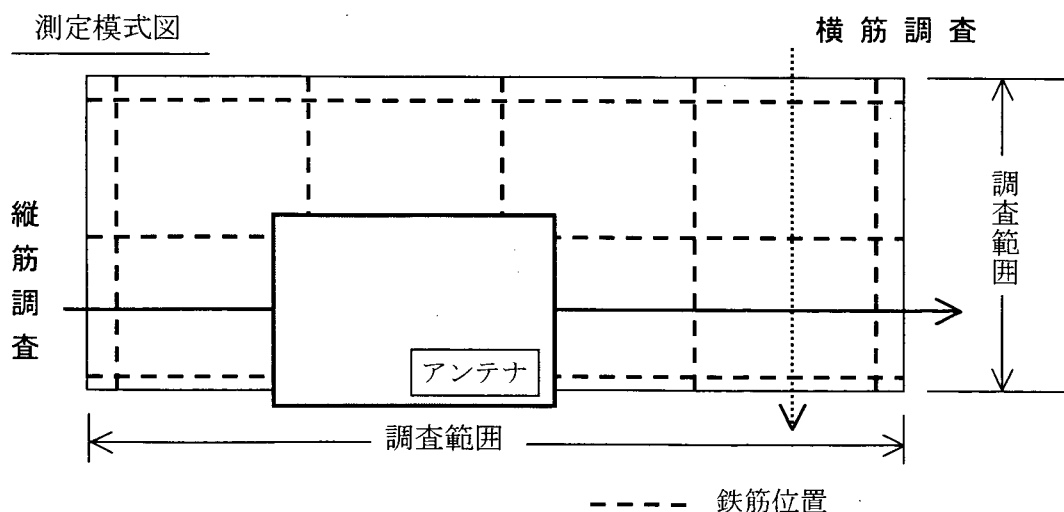
(7) Tk法

1) 鉄筋探査の基本的な手順

- ①施工計画・打合せ・資料検討・現場踏査等：図面等（設計図）により調査箇所の配筋状況を把握し、適切な施工方法を検討計画する（今回の旧暮坪陸橋・旧芦川橋の調査では、配筋状況に関する図面等は測定者には伏せられた）。
- ②準備：測定に必要な装置、及び工具等の準備を行う。
- ③現場測定
 - ・鉄筋探知装置（A社製：AIR-ESPLT-003）の走査測線の設定を行う。縦筋探査の場合には横筋がない場所、横筋探査の場合には、縦筋がない場所とする。
 - ・設定した操作測線上で、鉄筋探知装置を用いて断面探査を行いデータを収録する。
 - ・必要によりマーキング及び探査位置の測量等を行う。
- ④データ解析：鉄筋探知装置による測定データと設計図および現地の状況により総合的に、鉄筋の水平距離、深度を決定する。
- ⑤⑥報告書作成・報告：解析の結果を基に報告図面を作成し、測定結果を報告する。



図－2.1.7 鉄筋探査の手順



図－2.1.8 測定模式図

2) 探査原理

探査原理は、現在広く用いられている電磁波法と基本的には同様である。以下に探査原理を示す。

○パルサーから発信された0.6nsecのモノパルスを送信

アンテナから発射。

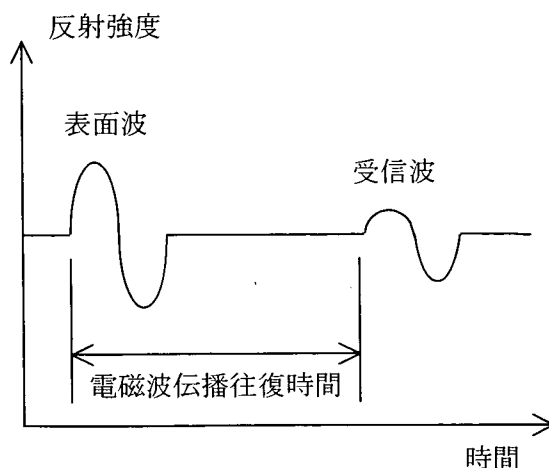
↓

○電磁波はコンクリート表面やコンクリートと鉄筋等の境界面で反射される。

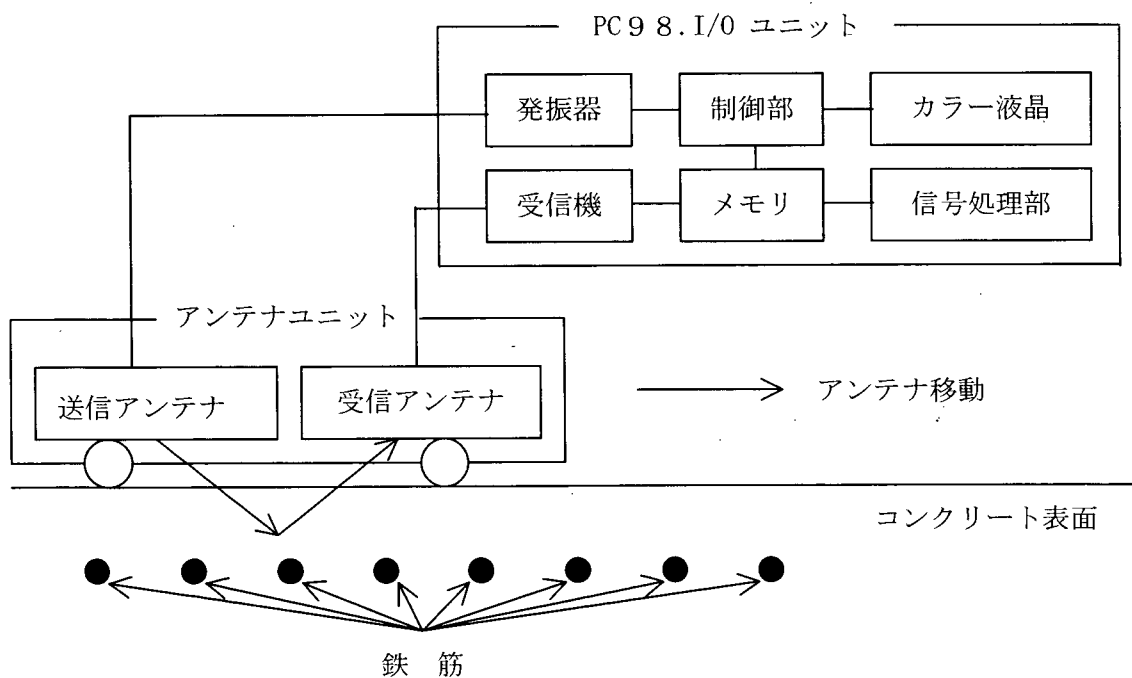
↓

○反射波を受信アンテナで受信し、往復の伝播時間（コンクリート表面で反射される表面波と鉄筋表面で反射される受信波との時間差）から反射物体までの距離を算出する。

本装置の構成を図－2.1.10に示す。



図－2.1.9 表面波と受信波の時間差



図－2.1.10 試験装置の構成

①アンテナ部

アンテナ部は、送信アンテナと受信アンテナ及びエンコーダから構成されている。発振器からの0.6nsecのインパルスを送信アンテナから放射し、反射波を受信アンテナで受信、本体へ送る。

②本体部

受信した観測信号を5mm間隔でサンプリング記録し観測信号の増幅値を色変調し、パソコン画面に表示する。

一般に鉄筋等を横断方向に探査した場合、観測信号は図-2.1.11のように2次曲線の形で表示される。これはアンテナの指向性が広く、鉄筋等の真上にアンテナがなくとも斜め方向の反射波を捉えるためである。探査対象の水平位置は、2次曲線のピーク点の位置である。また2次曲線の曲率はおおよそその深度の関数となる。

また、本試験装置は、信号処理機能として

減算 : 同相成分を除去し探査対象からのみの反射波波形を表示。

STC : 時間方向により増幅値を変化させて色変調。

拡大 : 表示画面を拡大し読み取り精度の向上

等の機能を搭載しており、これらを利用して探査を行った。

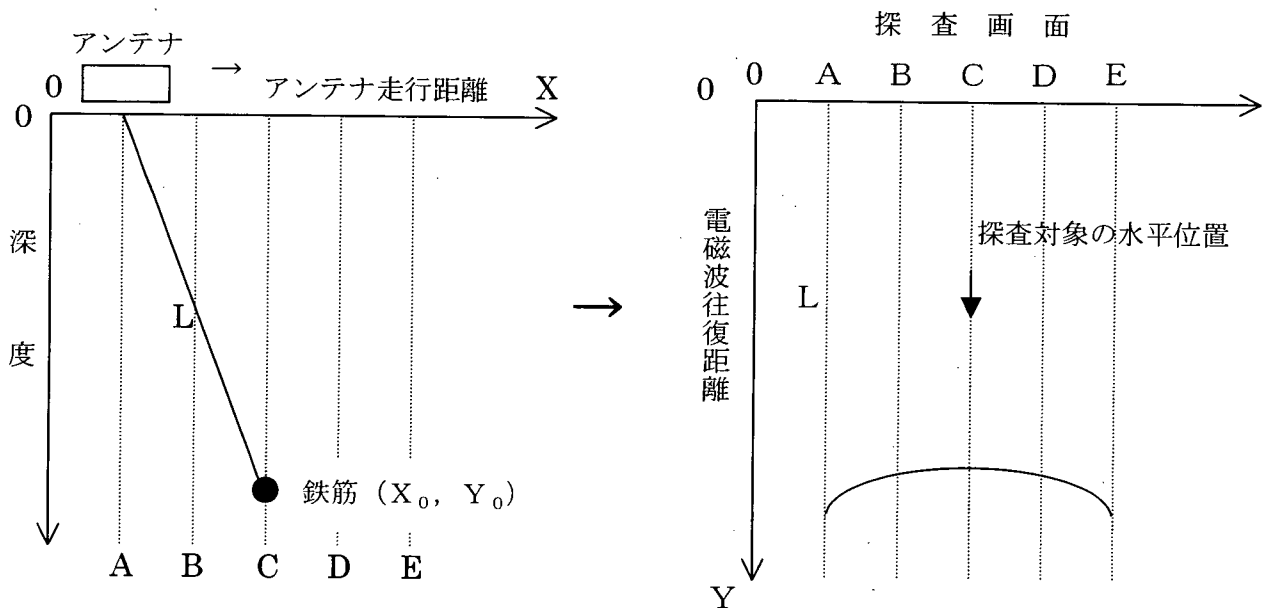


図-2.1.11 鉄筋位置の探査と観測される信号のイメージ

3) 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚での測定結果

鉄筋探査は通常の場合、現地にて判断可能である。しかし、今回のようにかぶりが深く判断が難しい場合は、取得したデータを解析システムにより解析することで精度を向上させている。

以下、測定した鉄筋について述べるが、測定画像とは現地にて測定時の画像データであり、解析画像とは解析システムを通した画像データである。

① A 面横筋

測定範囲内に 2 本と範囲からわずかに外れるが上部側に 1 本の計 3 本を探知した。ピッチは 40 ～ 50 cm である。

鉄筋からの信号は明確であり、測定画面でも鉄筋位置が確認可能である。解析画像を見ると鉄筋からの双曲線信号が長く裾を引いているのがわかる（図－2.1.12）。これはレーダを用いてコンクリート中の鉄筋もしくは地中の埋設管等を探査するときに捉えられる基本的な信号であり、A 面横筋については信頼度の高い信号が得られていることを示している。

② A 面縦筋

指定範囲内には 5 本が探知された。ピッチは 17 ～ 25 cm 程度である。鉄筋のかぶりについては 2 ラインの測定結果ではあるが、A 面左側に向かって浅くなる傾向が見られる。

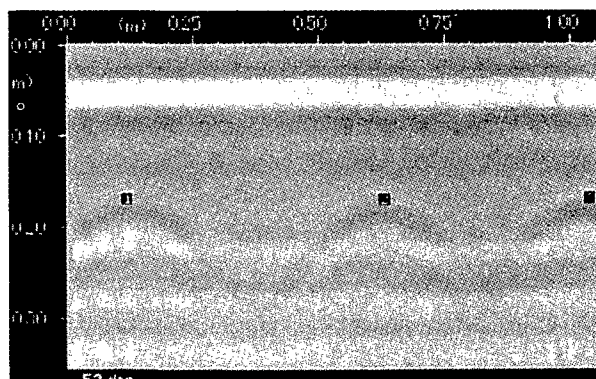
ピッチが狭くなると鉄筋からの信号が互いに干渉し合うため、判断の難易度は高くなるが、特徴的な双曲線信号が識別できるため、信頼性は高いと思われる（図－2.1.13）。

探査面の段差により距離計測に誤差が入ることを避け、アンテナは 10 cm 内側から走行させ、残り 10 cm について別途取り直した。

③ B 面横筋

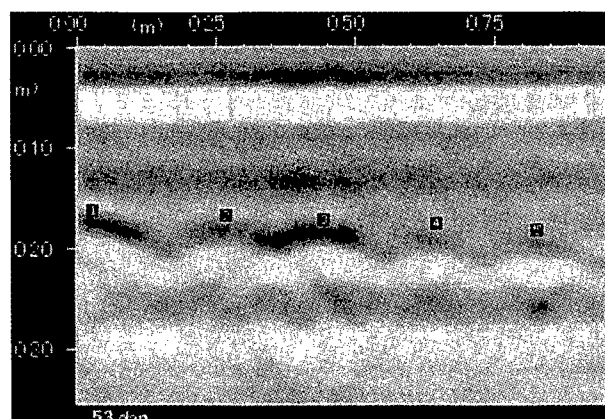
鉄筋は指定範囲内に 3 本確認された。ピッチは 28 ～ 51 cm 程度である。

かぶりが深く信号が減衰しているため、測定画像では判断できないが、信号処理を行うことにより現地でも判断可能な信号レベルである。解析画像では双曲線形状の確認できる信頼性の高いデータが得られている。



図－2.1.12 解析画像

（A 面横筋，調査範囲左端から 15cm，下→上）



図－2.1.13 解析画像

（A 面縦筋，調査範囲上端から 30cm，右→左）

④ B面縦筋

指定範囲内には6本の鉄筋が探知された。ピッチは15～19cm程度である。鉄筋のかぶりは探査面左側ほど浅くなる傾向が見られた。

かぶりが深く減衰していること、およびピッチが狭く互いに干渉していることから判断の難しい信号になっている。測定画像を見ると強度の強い信号がほぼ等ピッチにある。このため、現地ではこの信号を鉄筋位置と判断した。しかし解析画像では双曲線信号が干渉し合って信号強度を強くしている状況が確認できる（図-2.1.14）。このため、現地で鉄筋位置と判断した信号は干渉により強調された信号と判断し、本報告書では鉄筋位置を修正した。

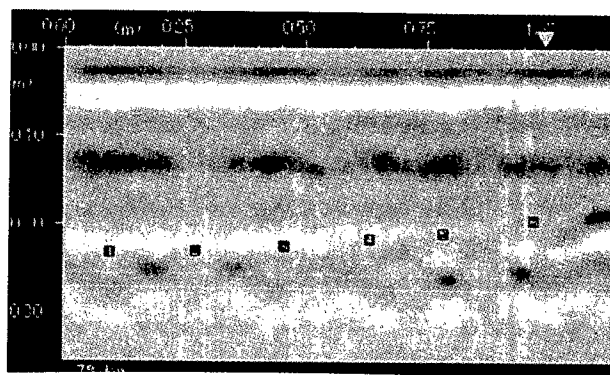


図-2.1.14 解析画像
(B面縦筋, 調査範囲上端から20cm, 右→左)

⑤ 鉄筋かぶり

電磁波法（レーダー法）では測定対象物までの距離は電磁波の伝播時間と伝播速度の積で求められる。伝播速度は物質の電気的な特性のひとつである比誘電率で決定されるため、測定対象物によって異なり、その都度求めることが必要となる。しかし、鉄筋探査の場合媒体の多くはコンクリートであり、その比誘電率は経験的にある程度の範囲内にあることが分かっている。

今回コンクリートをはつり、鉄筋のかぶりを測定できる箇所もあったが、かぶりは場所により数センチ異なると思われるため、比誘電率には経験値をそのまま用いることとした。このため、精度として10%程度の誤差を含むと思われる。

2.2 測定装置の詳細

(1) C g 法, D k 法, N d 法

N社製鉄筋探査機（RCレーダ JEJ-60B）を使用した。測定装置の仕様と測定状況を示す。

表－2.2.1 測定装置の仕様（C g 法, D k 法, N d 法）

項 目	性 能
方式	インパルス方式
送信出力	約 1 ns 約 30Vp-p
測定対象物	鉄筋, 塩ビ管, 空洞等
かぶり厚さ	5～200mm (鉄筋径 6 mm ϕ 以上)
分解能 (ピッチ)	100mm以上 (水平面)
測定レンジ	6 ns
表示モード	反射波形, 垂直断面図
画像処理	表面波処理, ピーク処理
液晶ディスプレイ	256 × 128ドット 3 階調表示
深度校正	深度校正スイッチの設定により液晶ディスプレイ上に表示 (7 種類)
内部記憶	5 m分のデータが記憶可能
アンテナ操作速度	約 40cm/s以下, 速度アラーム機能有り
出力機能	データレコーダ入出力機能, プリンタ用出力機能
温度範囲	0～40℃
電源	AC 100V $\pm$ 10% 50/60Hz または DC 12V
寸法	本体表示器 223 (W) × 173 (H) × 300 (D) mm アンテナ 154 (W) × 140 (H) × 205 (D) mm
重量	本体表示器 約 6.7kg アンテナ 約 1.1kg



写真－2.2.1 測定状況（D k 法）

(2) F b 法

P 社製鉄筋探査機（プロフォメータ 4 型）を使用した。測定装置の仕様と測定状況を示す。

表－2.2.1 測定装置の仕様（F b 法）

原理	電磁誘導法
測定能力	100,000点
測定場所数	72
表示能力	128 × 128mm (LCD)
インターフェース	RS232C
内蔵ソフト	プリントアウト, P C への転送
付属品	スポット・デプス・ダイアプローブ, パス装置など
許容温度	-10℃ ～ +60℃
電源	1.5V 単 3 乾電池 × 6
寸法	表示装置 195×175×80mm
質量	2 kg



写真－2.2.2 測定状況（F b 法）

(3)Me 法

K 社製鉄筋探査機 (IRS-150) を使用して測定した。この測定装置はアンテナ部とノート型パソコンにより構成され、測定時は両者を信号ケーブルで結線し、アンテナからの信号をパソコンに伝送するものである。測定装置の仕様と測定状況を示す。

表－ 2.2.3 反発度測定結果

測定原理	電磁波法
測定対象物	鉄筋、金属パイプ、塩ビパイプ、空洞等
測定深度	0～150mm (鉄筋径 6mm 以上：好条件下)
水平分解能	10cm (2本の鉄筋の分解能力：好条件下)
測定精度	深さ方向： $\pm 2\text{mm}$ (比誘電率最適時)，横方向： $\pm 5\text{mm}$
1回の測定距離	最大 4m
鉄筋探知判定時間	リアルタイム
鉄筋位置出し作業時間	30秒／箇所
画面表示	8階調カラー (N社製カラーノートパソコンPC9801NA/C)
画面モード	4モード切替 (1m, 2m, 倍精度, 時間掃引)
表示機能	深さスケール, 水平スケール, 計測時間
信号処理	強調処理, ノイズ減算処理
電源	AC 100V $\pm 5\%$
重量	アンテナ台車：約1.8kg, 画像処理装置：約6.2kg



写真－ 2.2.3 測定装置 (Me 法)



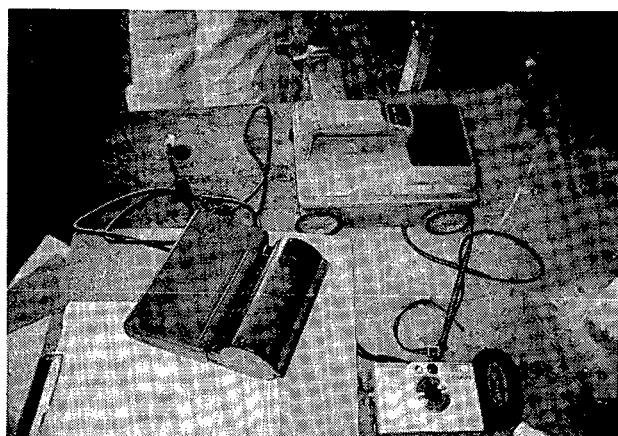
写真－ 2.2.4 装置状況 (Me 法)

(4) T e 法

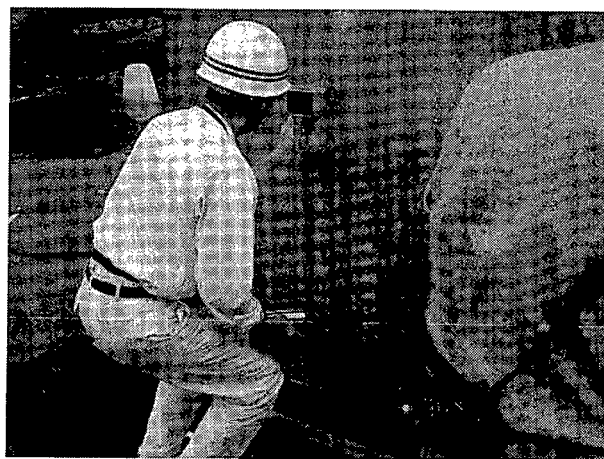
N社製鉄筋探査機（RCレーダNJJ-85A）を使用して測定した。この装置は、アンテナ部と測定装置が一体になっているものである。測定装置の仕様と測定状況を示す。

表－2.2.4 測定装置の仕様（T e 法）

測定方式	レーダ方式（画面モニタ方式）
測定物	鉄筋、塩ビ管、空洞等
測定深度	0.5 ～ 20mm （鉄筋径 6mm ϕ 以上）
深度スケール	cm補正表示および時間（ns）表示
ピッチ	表面方向：8 cm以上の間隔 （鉄筋径10mm ϕ のものが深さ 6 cmにある場合）
測定距離	10m（20画面分）
ディスプレイ	液晶表示，8 階調モノクロ，ライト付
画像処理	マニュアル表面波処理，ピーク処理 原画再生処理，固定表面波処理，減算処理
制御機能	画面反転，カーソルマーク
最大走査速度	約40cm/s 速度アラーム付
電源	バッテリー動作，AC100V動作
連続使用時間	本体約 2 時間，プリンタ約 1 時間
外部接続	プリンタ，パソコン
寸法	約149(W)×147(H)×216.3(D)mm
質量	約 1 kg



写真－2.2.5 測定装置（T e 法）



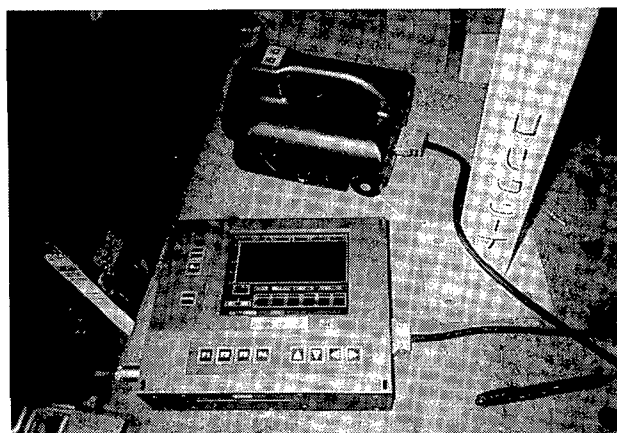
写真－2.2.6 測定状況（T e 法）

(5) T k 法

A社製鉄筋探査機（ライトエスパーAIR-ESPLT-003）を使用して測定した。測定装置の仕様と測定状況を示す。

表－2.2.5 測定装置の仕様（T k 法）

探査対象物	鉄筋，金属パイプ，塩ビパイプ，空洞等
測定深度	0 ～ 20mm （鉄筋径 6 mm以上）
水平分解能	10cm （2本の鉄筋分解能）
測定精度	横方向：± 5 mm，深さ方向：±10%
1回の探査距離	最大 4 m
画像処理	8 階調カラー
画像モード	4 モード切替 （1 m，2 m，倍精度，時間掃引）
表示機能	深さスケール，水平方向スケール，計測時刻
信号処理	強調処理，ノイズ減算処理
電源	専用バッテリーまたはACアダプタ
質量	アンテナ台車：約1.5kg 画像処理装置：約2.8kg



写真－2.2.7 測定装置（T k 法）



写真－2.2.8 測定状況（T k 法）

2.3 調査結果

(1) A面での調査結果

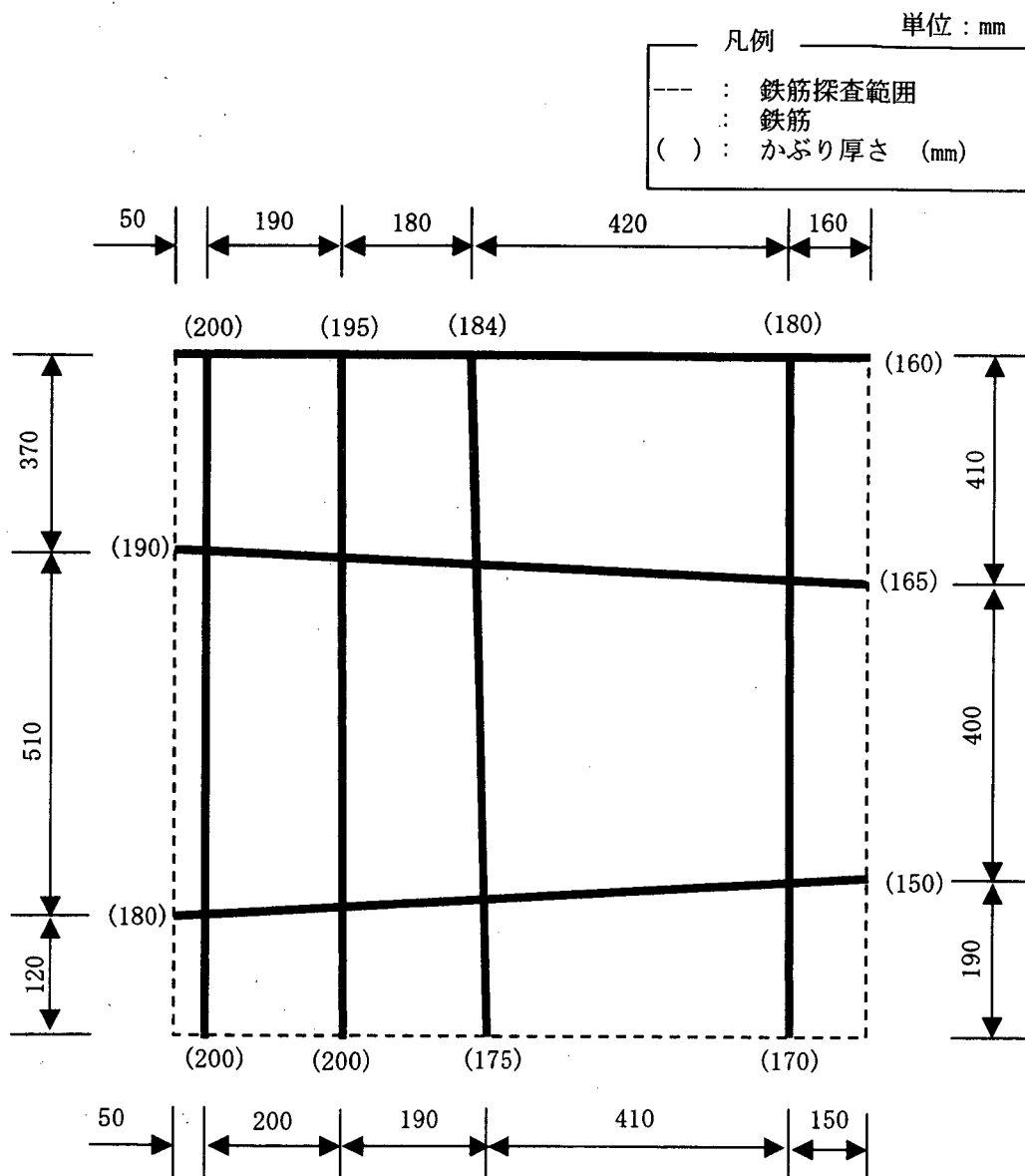


図-2.3.1 Cg法 (A面)

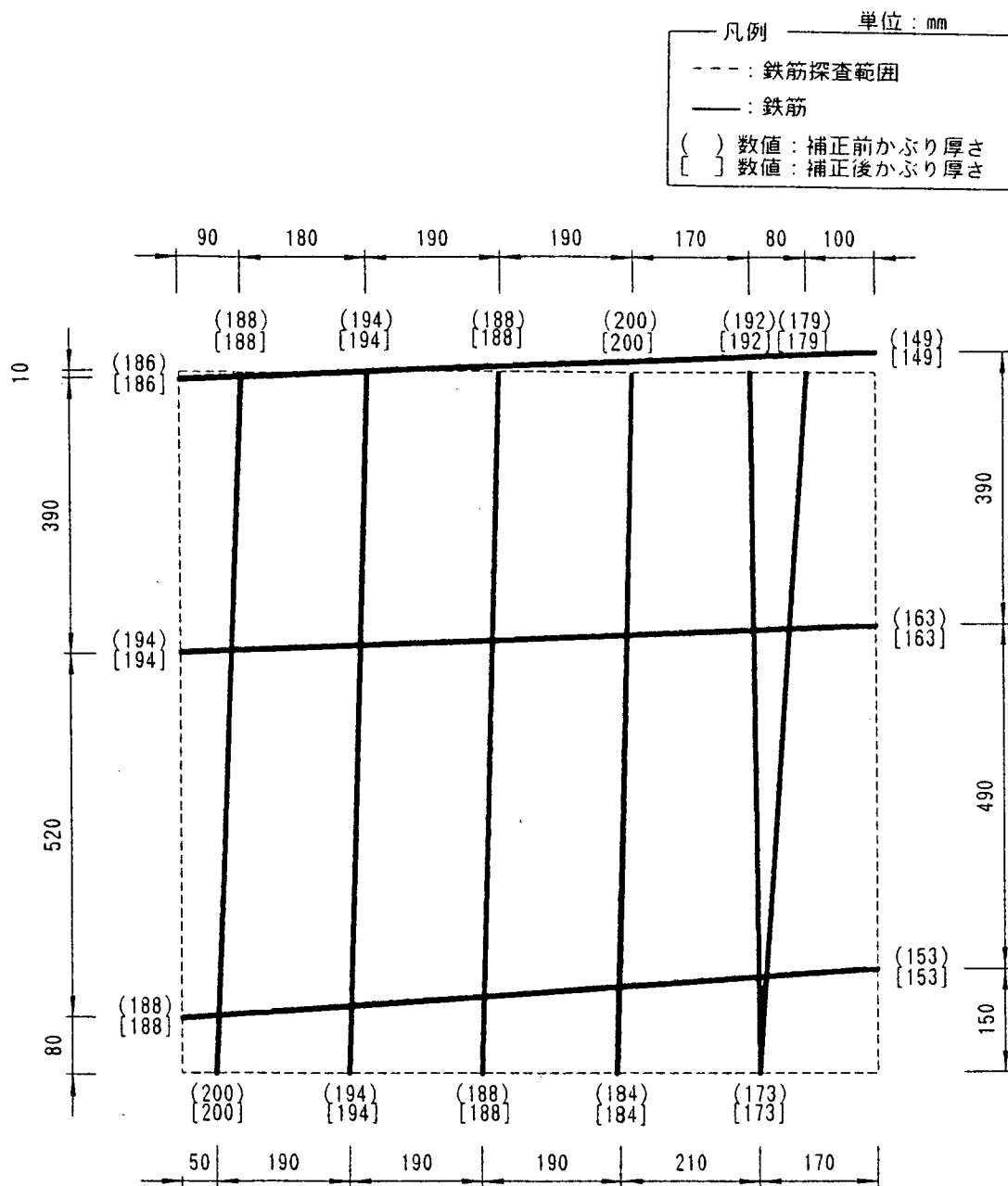


図-2.3.2 Dk法 (A面)

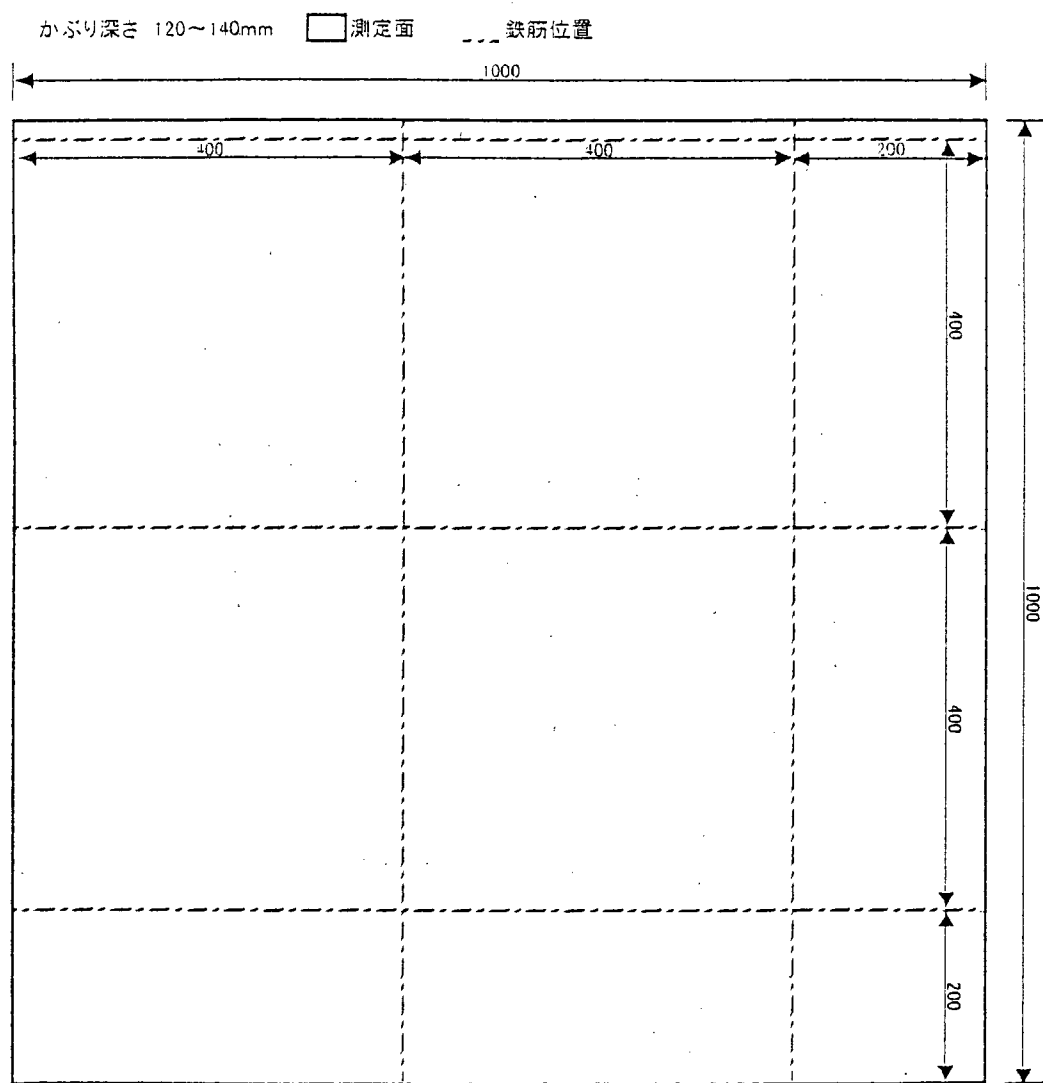


図-2.3.3 Fb法 (A面)

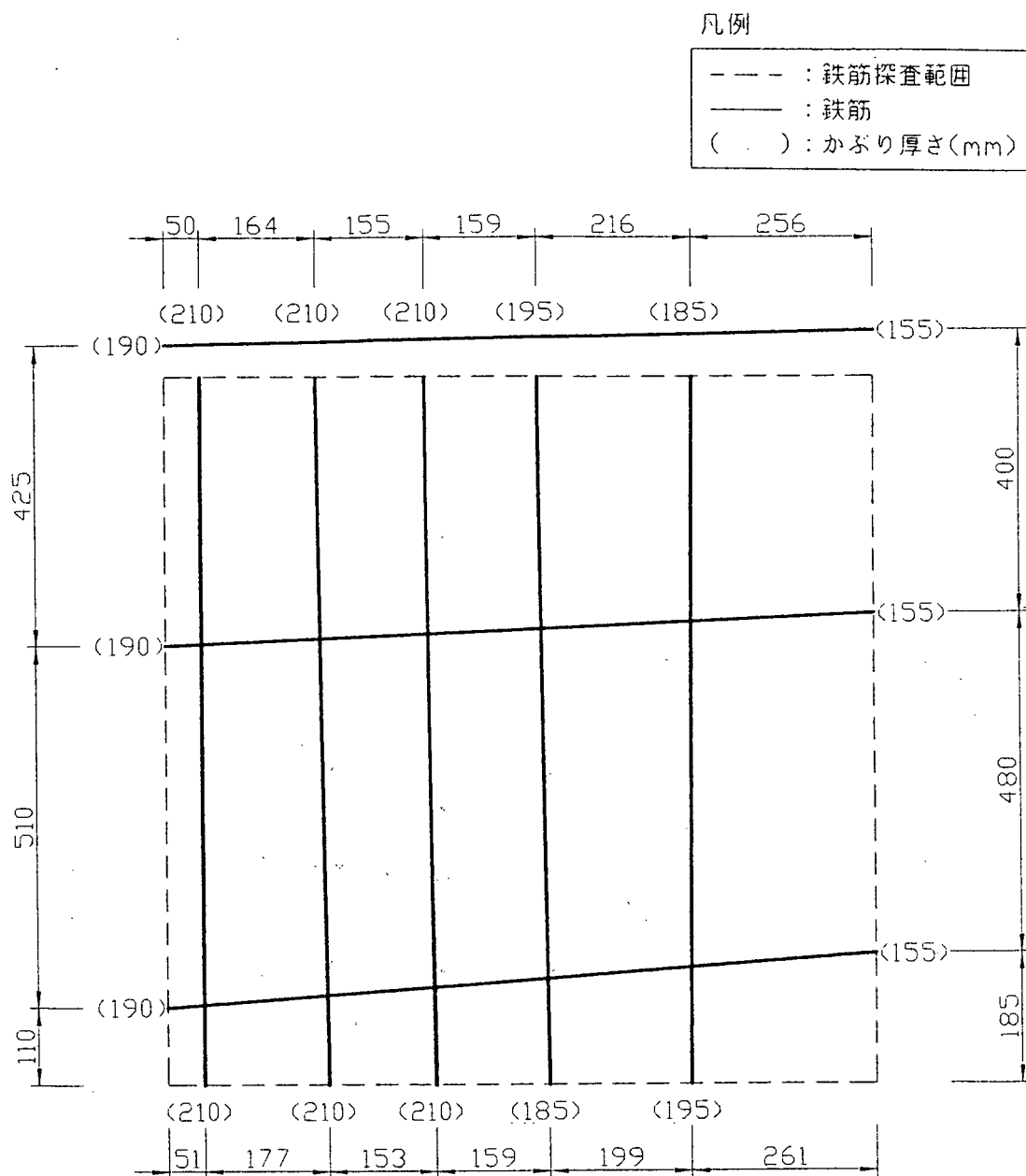


図-2.3.4 Me法 (A面)

单位: mm

- - - - - : 鉄筋探索範囲
 ————— : 鉄筋位置
 () 数値 : 補正前かぶり厚さ
 [] 数値 : 補正後かぶり厚さ

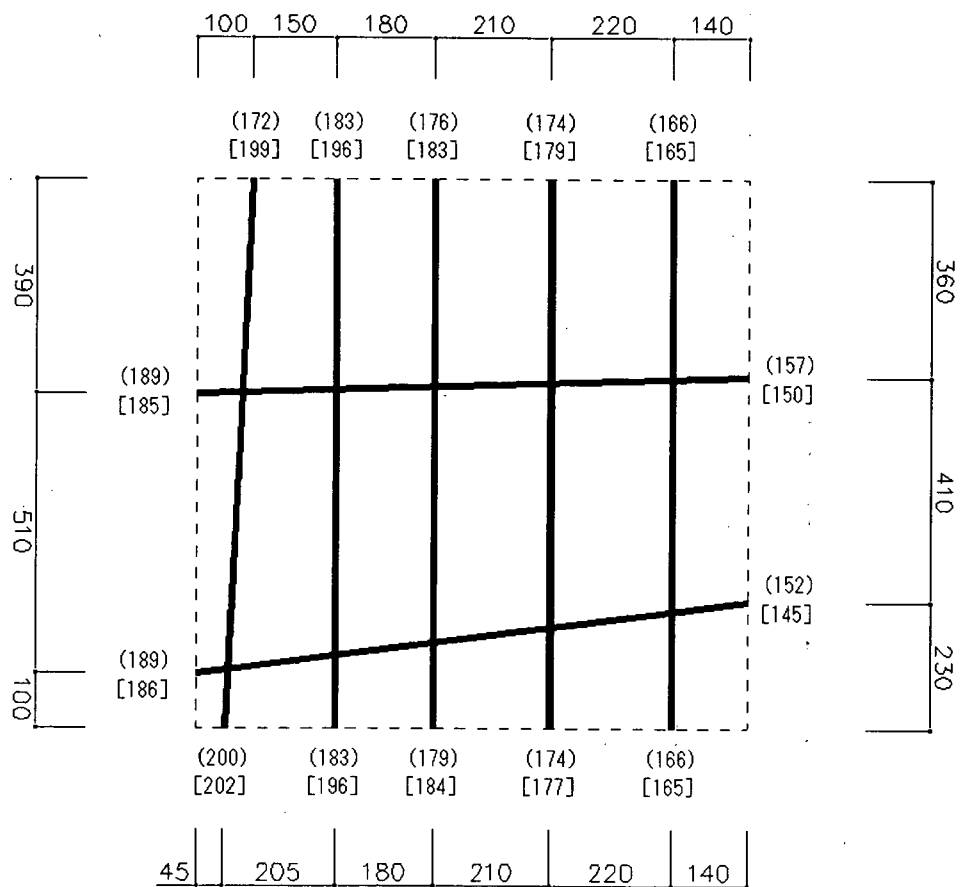


图-2.3.5 Nd法 (A面)

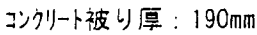
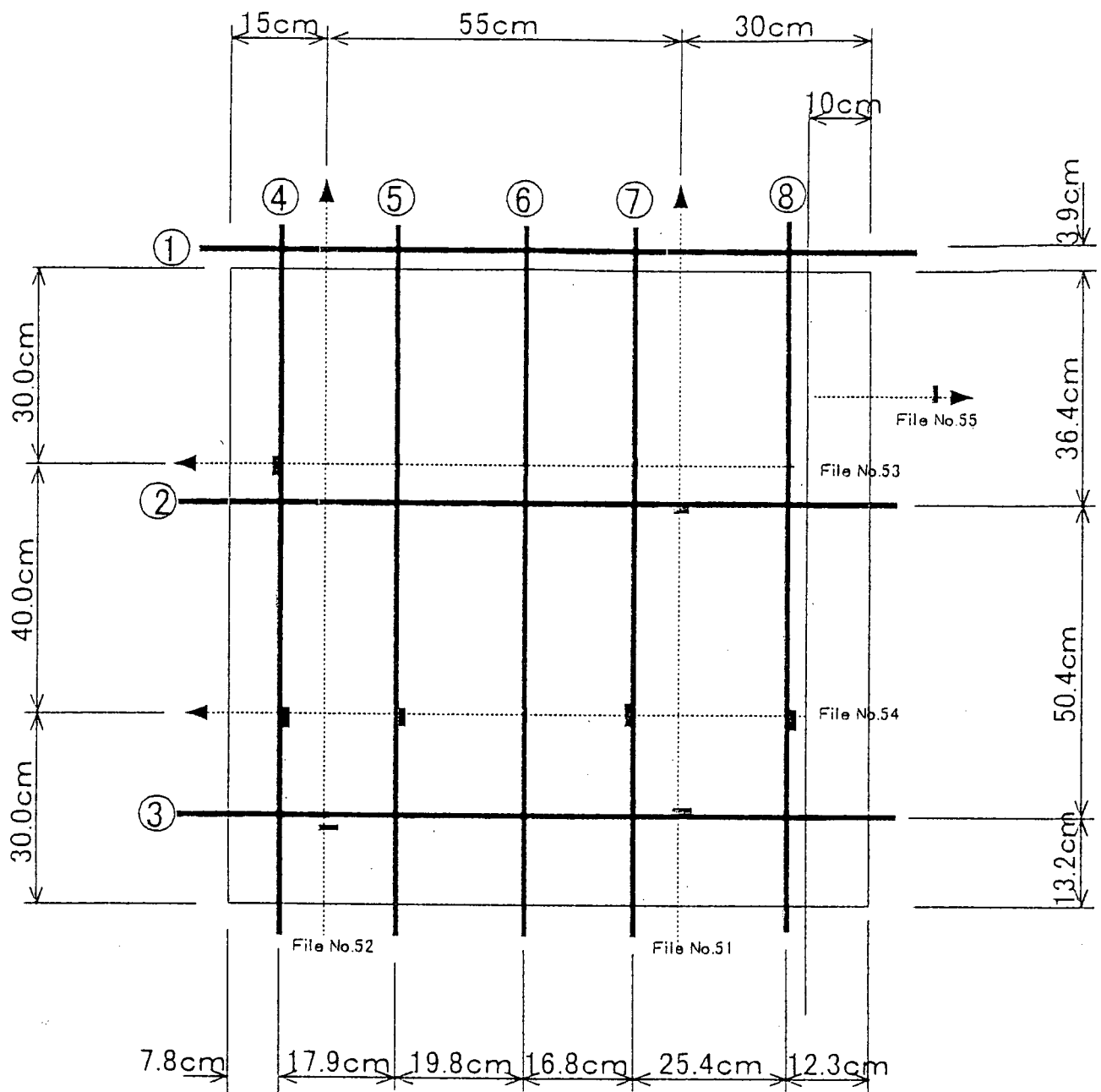


图-2.3.6 Te法(A面)



鉄筋	かぶり(cm)	鉄筋	かぶり(cm)
①	16.1	⑥	17.1
②	16.4	⑦	17.7
③	16.1	⑧	18.1
④	16.3		
⑤	17.0		

■ : 縦筋探査位置

— : 横筋探査位置

□ : 指定範囲

示した数値は平均値である。

図-2.3.7 Tk法 (A面)

表-2.3.1 Tk法測定データ (A面)

横筋

単位:m

鉄筋No File No		①	②	③
51	水平位置	0.148	0.640	1.038
	かぶり	0.153	0.158	0.153
52	水平位置	0.115	0.630	1.038
	かぶり	0.169	0.169	0.168
平均値	水平位置	0.132	0.635	1.038
	かぶり	0.161	0.164	0.161

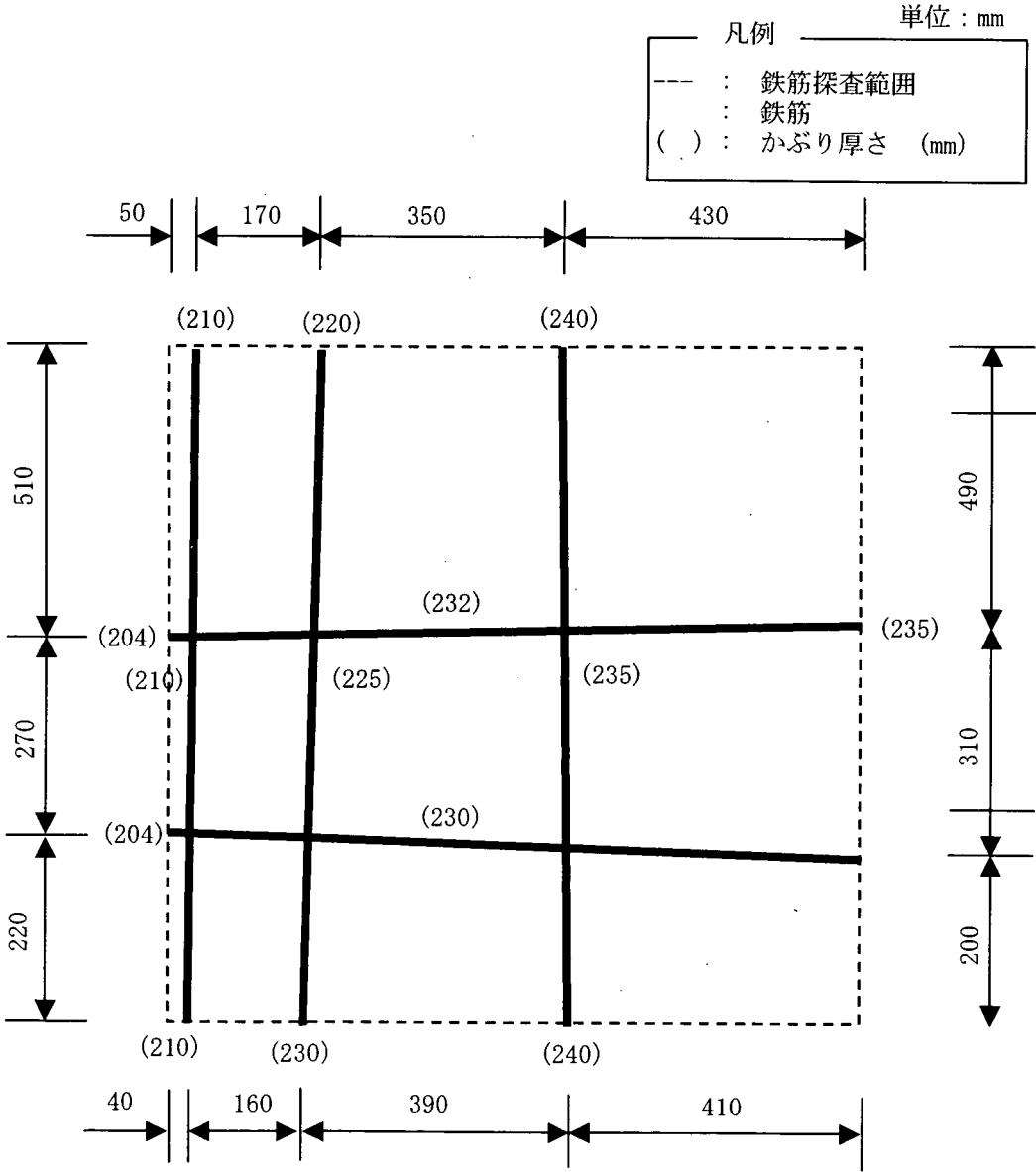
縦筋

単位:m

鉄筋No File No		④	⑤	⑥	⑦	⑧
53	水平位置	0.028	0.268	0.443	0.645	0.825
	かぶり	0.161	0.166	0.171	0.175	0.182
54	水平位置	0.018	0.285	0.445	0.638	0.815
	かぶり	0.165	0.173	0.171	0.179	0.179
平均値	水平位置	0.023	0.277	0.444	0.642	0.820
	かぶり	0.163	0.170	0.171	0.177	0.181

* 水平位置はアンテナがスタート点を0mとして表示

(2) B面での探索結果



図－2.3.8 C_g法 (B面)

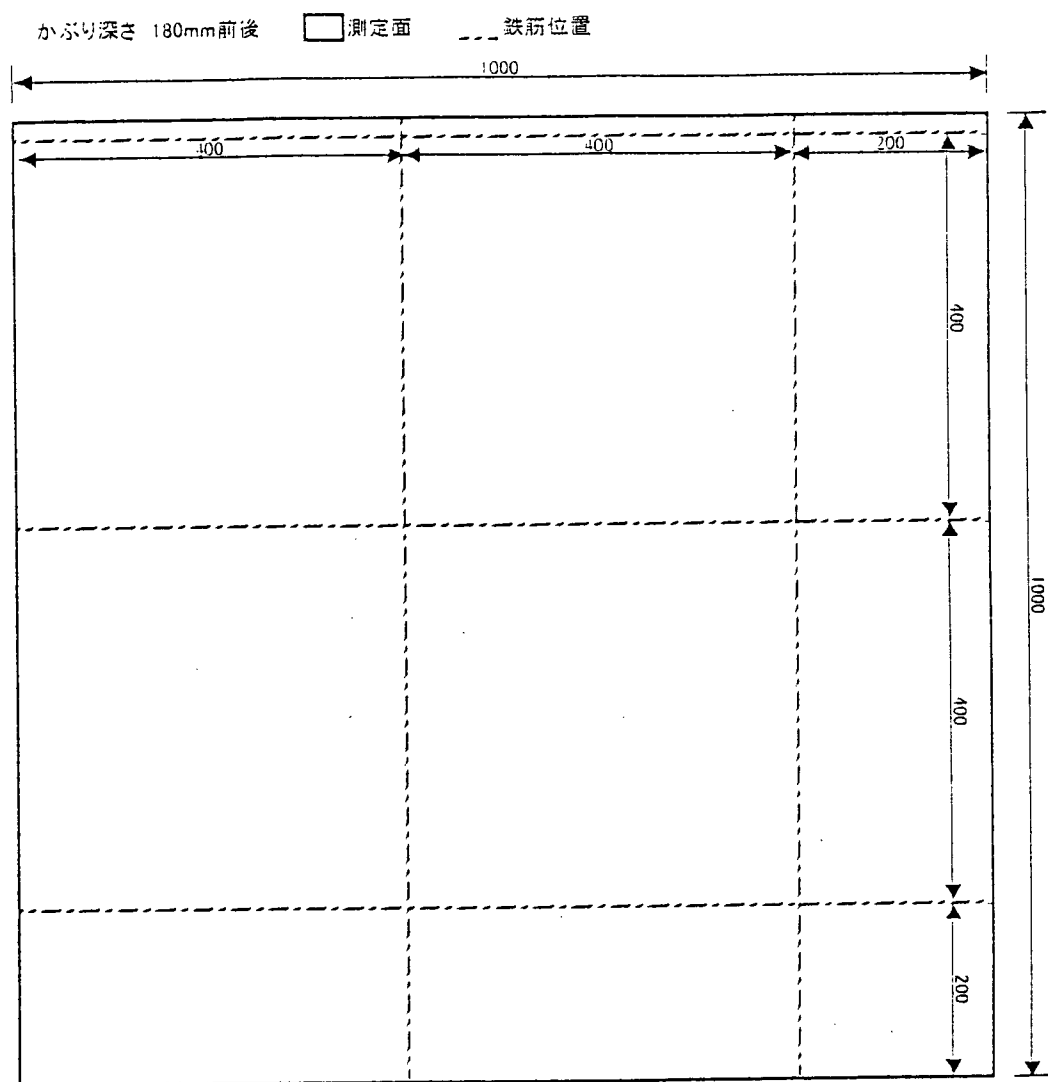


図-2.3.9 Fb法 (B面)

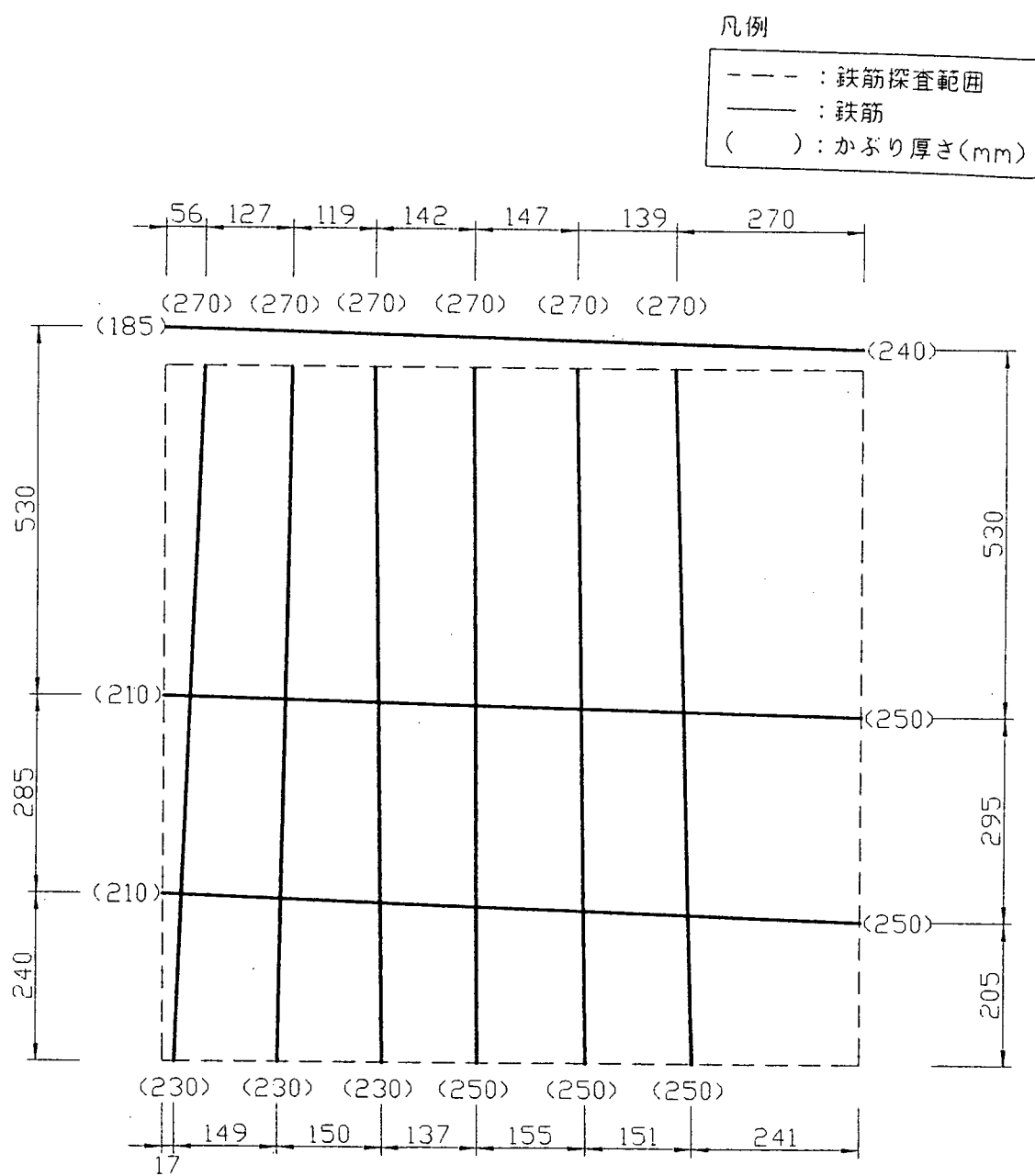


図-2.3.10 Me法 (B面)

凡 例		単位 : mm
-----	: 鉄筋探索範囲	
—————	: 鉄筋位置	
() 数値	: 補正前かぶり厚さ	
[] 数値	: 補正後かぶり厚さ	

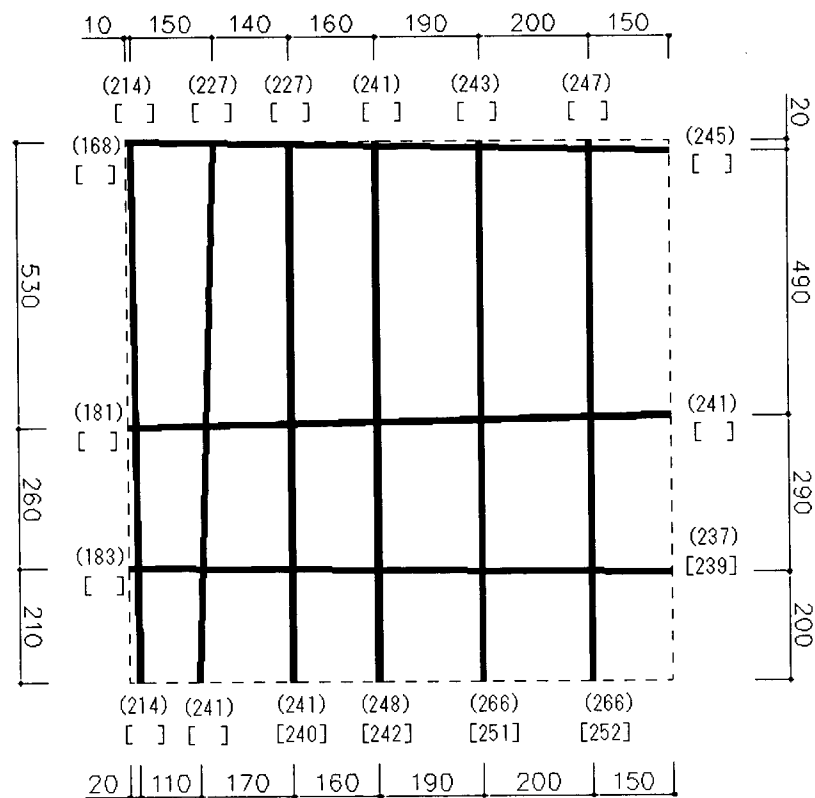
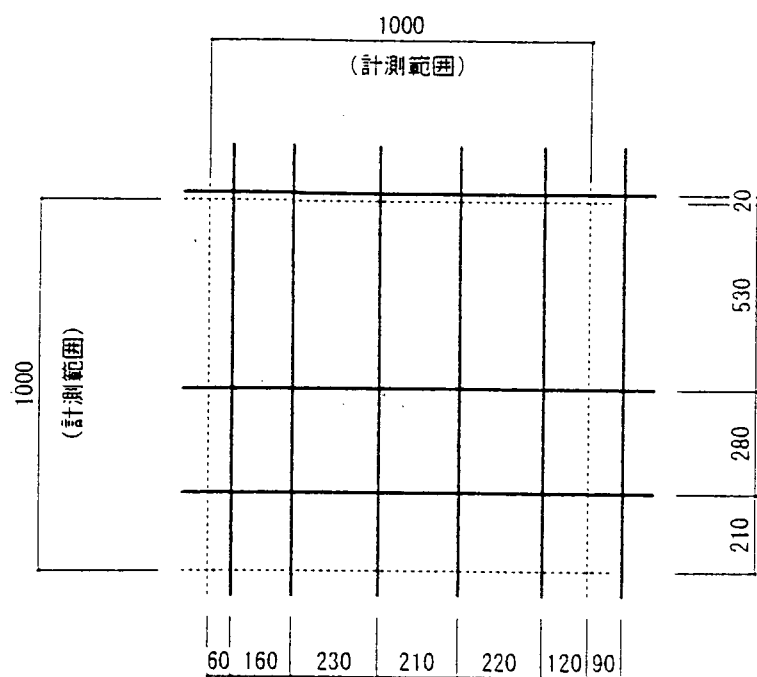


図- 2. 3. 11 N d 法 (A面)



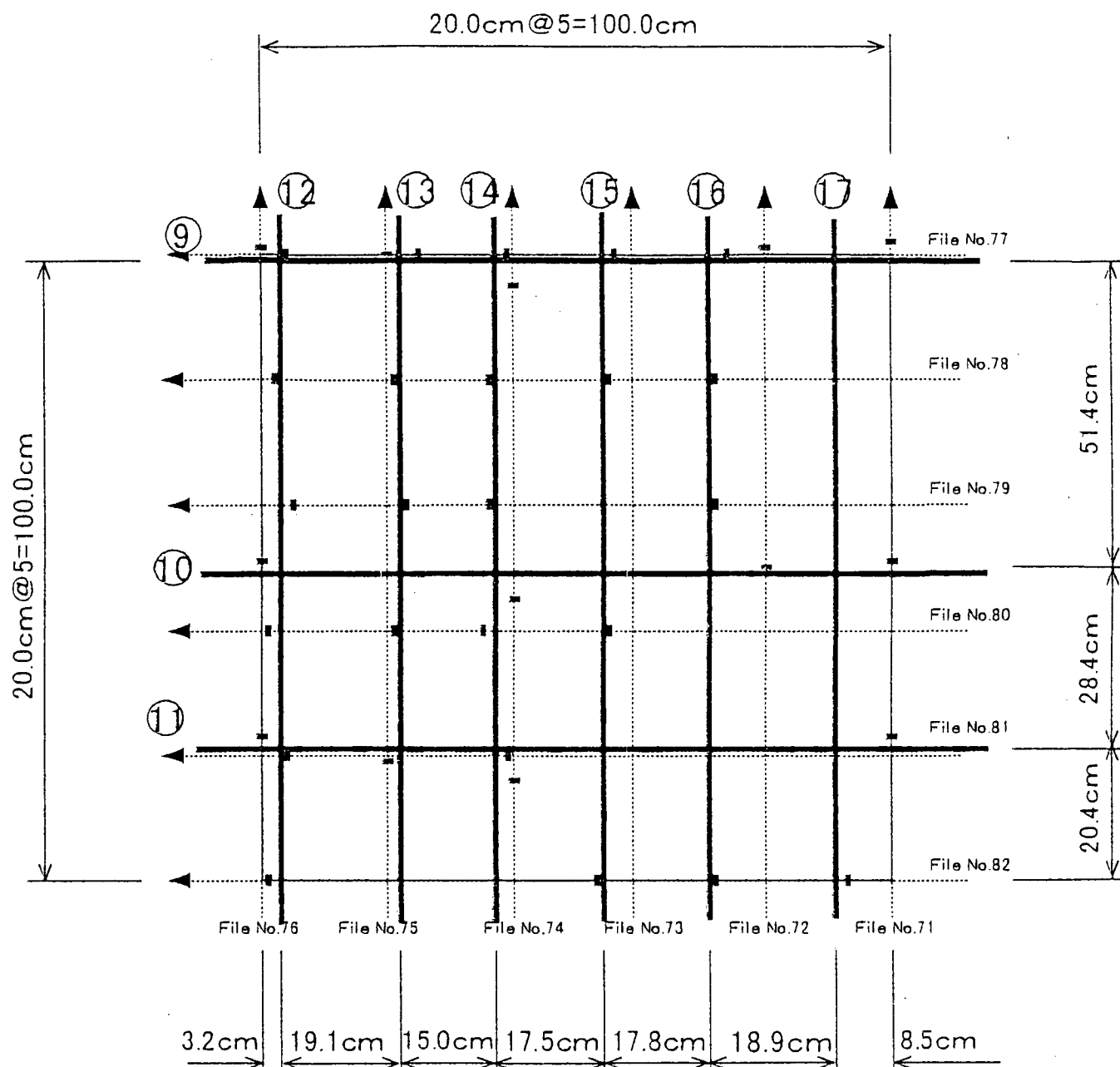
コンクリート被り厚：200mm

凡 例

----- 計測範囲を示す。

———— 鉄筋位置を示す。

図－2.3.12 Te法（B面）



鉄筋	かぶり(cm)	鉄筋	かぶり(cm)
⑨	20.6	⑭	23.1
⑩	20.5	⑮	22.4
⑪	19.2	⑯	21.6
⑫	23.6	⑰	20.1
⑬	23.2		

■ : 縦筋探索位置

— : 横筋探索位置

□ : 指定範囲

示した数値は平均値である。

図-2.3.13 Tk法 (B面)

表-2.3.2 Tk法測定データ (B面)

横筋

単位:m

鉄筋No File No		⑨	⑩	⑪
71	水平位置	0.210	0.500	1.020
	かぶり	0.212	0.212	0.206
72	水平位置	0.215	0.493	1.013
	かぶり	0.213	0.215	0.206
73	水平位置	0.210	0.485	
	かぶり	0.210	0.208	
74	水平位置	0.160	0.443	0.955
	かぶり	0.208	0.206	0.197
75	水平位置	0.198	0.495	1.002
	かぶり	0.202	0.198	0.188
76	水平位置	0.230	0.510	1.018
	かぶり	0.179	0.179	0.157
平均値	水平位置	0.204	0.488	1.002
	かぶり	0.204	0.203	0.191

縦筋

単位:m

鉄筋No File No		⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰
77	水平位置	0.083	0.255	0.443	0.608	0.755	0.953
	かぶり	0.230	0.231	0.227	0.217	0.210	0.201
78	水平位置	0.092	0.273	0.455	0.633	0.785	0.973
	かぶり	0.231	0.230	0.224	0.216	0.209	0.194
79	水平位置	0.088	0.268	0.453	0.635	0.768	0.950
	かぶり	0.248	0.242	0.243	0.234	0.223	0.209
80	水平位置	0.085	0.288	0.443	0.640	0.790	0.985
	かぶり	0.234	0.228	0.228	0.224	0.213	0.195
81	水平位置	0.085	0.283	0.458	0.615	0.778	0.960
	かぶり	0.237	0.231	0.231	0.227	0.224	0.209
82	水平位置	0.077	0.278	0.458	0.628	0.785	0.990
	かぶり	0.234	0.231	0.228	0.226	0.217	0.199
平均値	水平位置	0.085	0.274	0.452	0.627	0.777	0.969
	かぶり	0.236	0.232	0.230	0.224	0.216	0.201

* 水平位置はアンテナがスタート点を0mとして表示

3. 電気化学的手法による鉄筋腐食の推定

3.1 Dk法

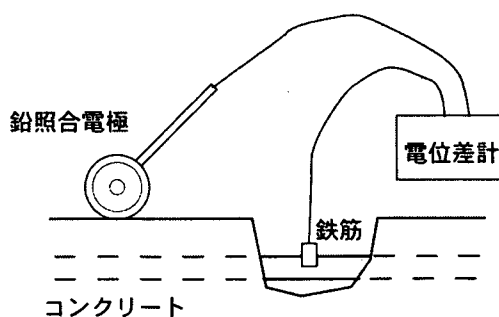
(1)測定方法

鉄筋の自然電位は、鉄筋腐食診断計（N社製コロージョンハンターTR-01）を用いて、図－3.1.1に示すように、部分的にはつり出した鉄筋と電位差計の端子を接続し、コンクリート表面に鉛照合電極を当て、高入力抵抗電圧計により測定した。測定した表面電位は、飽和硫酸銅電極による表面電位（CSE）に換算した。また、コンクリート表面とはつり出した鉄筋位置におけるコンクリートの電位を測定し、かぶりコンクリートの影響を補正した。なお、測定間隔は5 cmとし、測定前には、テスターにより鉄筋の導通確認を行った。

自然電位測定他に、自然電位測定範囲内においてコンクリートの比抵抗と含水率も測定した。コンクリートの比抵抗は、上記鉄筋腐食診断計に付属の4電極抵抗率センサーを用いて測定した。コンクリートの含水率は、コンクリート・モルタル水分計（K社製HI-500）を用いて測定した。

これら自然電位、コンクリートの比抵抗および含水率測定は、いずれも噴霧器を用いて水道水で測定面を湿潤状態にした直後と30分後の2回行った。測定は次の手順による。

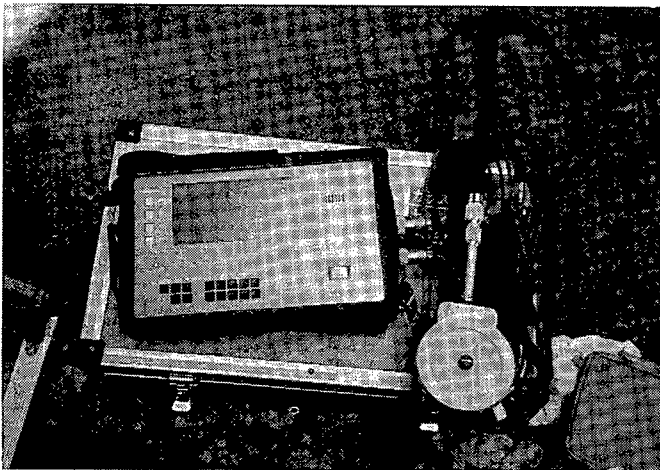
- 1) 水道水で測定面を湿潤状態にする。
- 2) 自然電位を測定する。
- 3) 4電極抵抗率センサーを装着し比抵抗を測定する。
- 4) 含水率を測定する。
- 5) 30分間放置して吸水させる（測定面が乾かないように、数回、噴霧器で水をかける）。
- 6) 再度2)～4)の測定を行う。



図－3.1.1 自然電位測定方法

表－3.1.1 鉄筋腐食診断計の仕様（Dk法）

本体	型名		TR-01型（LCDグラフィック表示/内部時計付）
	メモリ	電位測定	最大記憶容量 12,000点 （1ファイル400点，30ファイル）
		抵抗率測定	最大記憶容量 600点 （1ファイル20点，30ファイル）
	測定範囲	電位	－2000mV～＋2000mV
		測定間隔	1～99cm 任意設定
		抵抗率	500～200,000Ω・cm
	LCD電位表示		5段階グラフィックによる濃淡表示
	電源		単二型アルカリ電池4本（8時間連続使用可能）
	寸法／質量		188(H)300(W)110(D)mm 3.2kg
センサ	電位センサ		PE-01型回転式鉛照合電極
	抵抗率センサ		RD-01型交流四電極方式



写真－3.1.1 使用した測定装置（Dk法）



写真－3.1.2 測定状況（Dk法）

(2) 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚での測定結果

水道水により測定面を湿潤とした直後と 30 分後に行った自然電位、コンクリートの比抵抗および含水率の測定結果を図－3.1.2～図－3.1.4に示す。また、吸水時間による比較を表－3.1.2に、コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）に基づいた自然電位による損傷度の判定を表－3.1.3に示す。

水噴霧直後と 30 分後の測定結果を比較すると下記①～③のようである。

①コンクリートの含水率は、直後より 30 分後がやや大きくなった。

②コンクリートの比抵抗は、直後と 30 分後ではほぼ同等もしくは直後より 30 分後がやや大きくなる傾向にあった。

③自然電位は、直後より 30 分後が卑の方向にある。

自然電位測定結果から、暮坪陸橋 P 3 橋脚では自然電位が -154mv より貴の方向にあり（損傷度Ⅲ～Ⅳ）、コンクリート中の鉄筋はほぼ健全な状態に保たれていると考えられる。

表－3.1.2 吸水条件による比較

調査位置		コンクリートの含水率 (%)		コンクリートの抵抗率 ($k\Omega \cdot \text{cm}$)		自然電位 (mv)	
		湿潤直後	湿潤30分後	湿潤直後	湿潤30分後	湿潤直後	湿潤30分後
暮坪陸橋	P 3 橋脚 (A面)	4.4～4.8	4.5～5.0	1.0～27.3	20.5～39.8	-145～-28	-154～-76

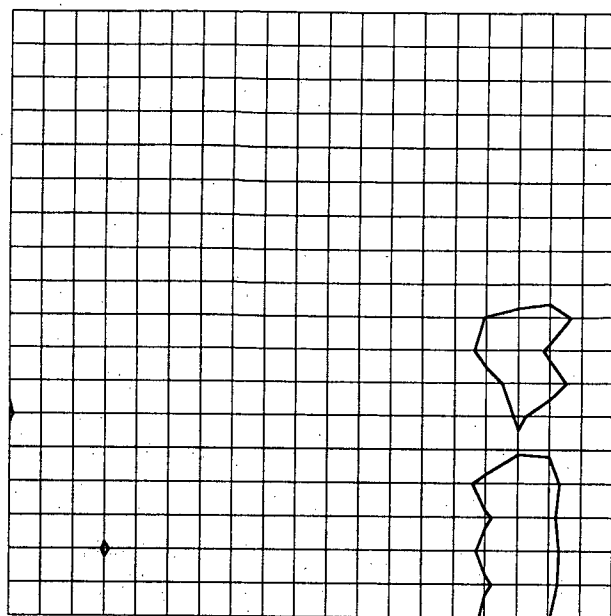
表－3.1.3 自然電位による損傷度の判定

調査位置		自然電位 E (mv)	自然電位測定範囲 E (mv)		指示率 (%)		鉄筋の損傷度
			湿潤直後	湿潤30分後	湿潤直後	湿潤30分後	
暮坪陸橋	P 3 橋脚 (A面)	$-350 \geq E$	$-145 \sim -28$	$-154 \sim -76$	0	0	Ⅲ～Ⅳ
		$-250 \geq E > -350$			0	0	
		$-150 \geq E > -250$			0	0.2	
		$E > -150$			100	99.8	

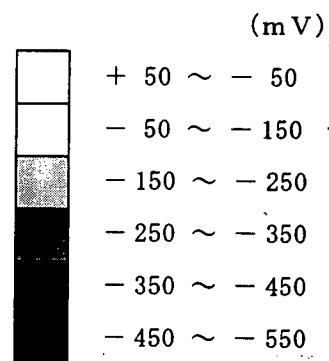
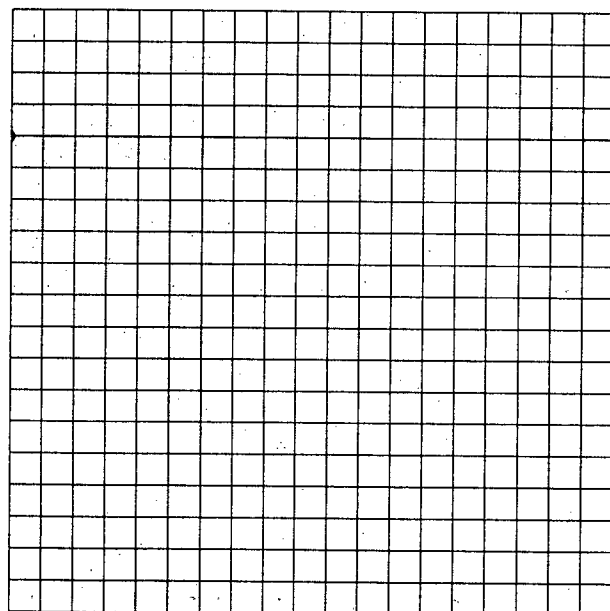
鉄筋損傷度

鉄筋損傷度	自然電位 E (mv)	腐食
I	$-350 \geq E$	大
Ⅱ	$-250 \geq E > -350$	中
Ⅲ	$-150 \geq E > -250$	小
Ⅳ	$E > -150$	無

湿潤直後



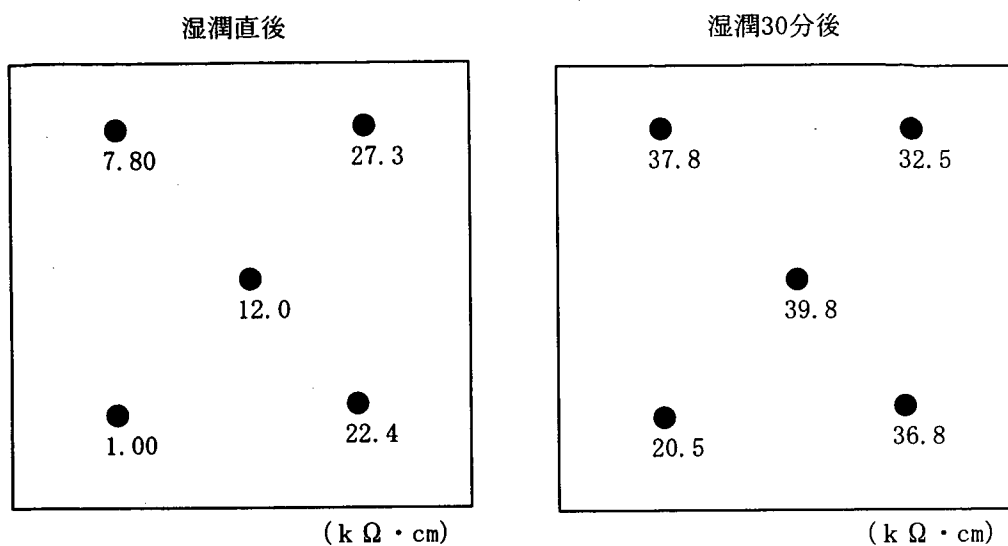
湿潤
30
分
後



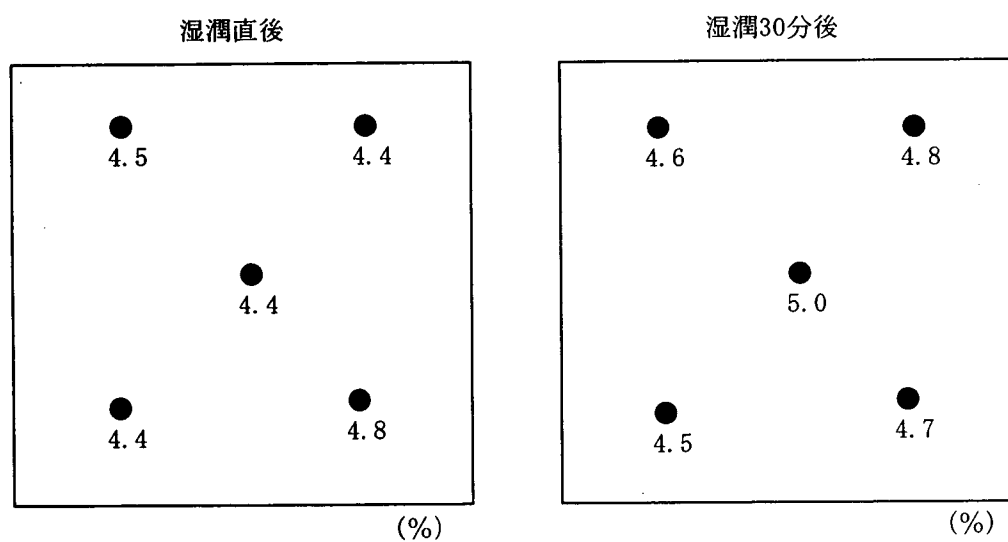
※鉄筋近傍の自然電位とコンクリート表面での自然電位の差として、次の値を実測値に加え補正した。

旧暮坪陸橋A面	吸水直後	50mV
	吸水30分後	80mV

図-3.1.2 自然電位測定結果 (CSE : mV)



圖一 3.1.3 比抵抗測定結果 (旧暮坪陸橋A面)



圖一 3.1.4 含水率測定結果 (旧暮坪陸橋A面)

表一 3.1.4 自然電位測定結果詳細 (D k 法, 旧暮坪陸橋A面, mV, C S E 換算)

【湿润直後】

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	(X)
19	-87	-77	-82	-72	-62	-67	-87	-67	-62	-82	-111	-116	-116	-116	-96	-87	-62	-67	-72	-82	
18	-82	-82	-87	-77	-57	-67	-87	-62	-62	-82	-106	-106	-111	-116	-96	-87	-77	-72	-77	-92	
17	-77	-87	-92	-82	-62	-67	-82	-67	-62	-72	-111	-111	-116	-106	-101	-92	-77	-82	-82	-87	
16	-82	-82	-87	-92	-77	-77	-82	-77	-67	-87	-111	-116	-121	-116	-106	-101	-82	-82	-96	-87	
15	-87	-96	-92	-96	-82	-77	-92	-77	-62	-96	-106	-121	-126	-116	-106	-87	-96	-87	-92		
14	-67	-77	-87	-87	-62	-67	-82	-67	-62	-77	-106	-116	-121	-111	-92	-62	-62	-57	-77	-77	
13	-62	-77	-82	-87	-67	-72	-82	-67	-62	-77	-96	-111	-116	-101	-87	-72	-62	-53	-67	-77	
12	-62	-77	-82	-82	-77	-72	-82	-72	-62	-87	-96	-121	-116	-96	-92	-72	-72	-67	-82	-77	
11	-72	-82	-87	-87	-87	-72	-87	-82	-77	-96	-106	-131	-131	-106	-96	-87	-67	-67	-82	-82	
10	-62	-92	-92	-96	-87	-77	-92	-92	-82	-92	-106	-140	-145	-121	-111	-96	-92	-67	-87	-87	
9	-53	-53	-62	-57	-57	-67	-101	-77	-62	-72	-111	-116	-116	-72	-77	-48	-33	-38	-57	-62	
8	-53	-53	-67	-62	-62	-57	-96	-77	-67	-77	-101	-111	-116	-92	-62	-43	-38	-53	-62	-77	
7	-53	-62	-53	-62	-62	-67	-106	-87	-67	-77	-106	-106	-111	-96	-82	-57	-43	-43	-57	-87	
6	-48	-67	-77	-62	-72	-67	-106	-82	-62	-72	-106	-121	-116	-106	-82	-62	-48	-57	-72	-82	
5	-57	-77	-87	-72	-82	-72	-101	-96	-72	-82	-106	-106	-121	-111	-106	-82	-53	-53	-72	-96	
4	-53	-62	-72	-62	-62	-67	-77	-53	-53	-53	-111	-121	-116	-106	-67	-38	-28	-38	-77	-92	
3	-62	-62	-67	-57	-62	-67	-62	-53	-53	-67	-111	-136	-131	-101	-67	-53	-38	-43	-77	-96	
2	-62	-62	-67	-48	-62	-67	-67	-57	-53	-57	-116	-131	-131	-101	-67	-43	-43	-38	-77	-96	
1	-67	-62	-62	-57	-57	-67	-67	-62	-57	-57	-121	-131	-136	-116	-82	-53	-38	-38	-82	-101	
0	-67	-62	-77	-53	-67	-57	-72	-62	-67	-62	-121	-126	-145	-111	-82	-43	-48	-48	-92	-106	

【湿润 30 分後】

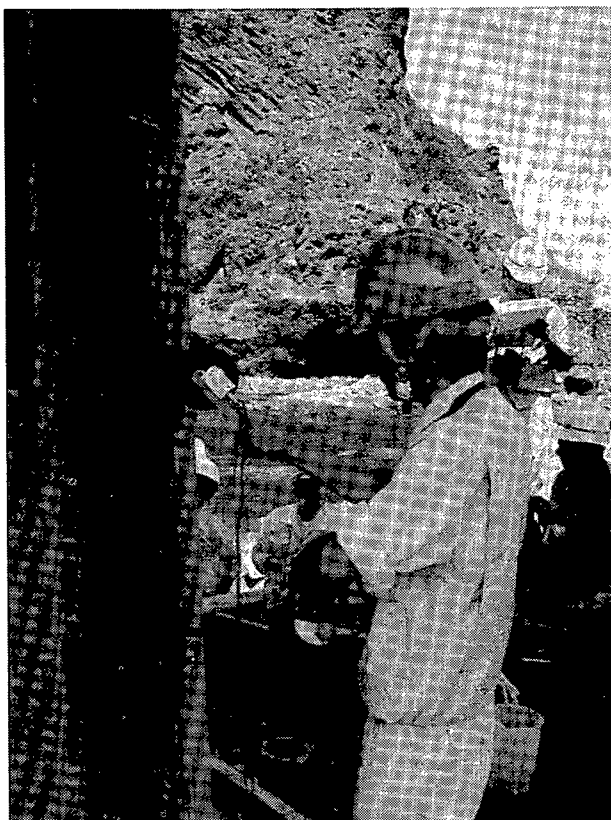
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	(X)
19	-125	-110	-106	-115	-96	-96	-96	-76	-96	-96	-106	-101	-101	-106	-91	-101	-86	-81	-76	-91	
18	-125	-120	-115	-106	-91	-96	-96	-91	-86	-91	-96	-96	-106	-101	-91	-91	-81	-91	-96	-86	
17	-125	-110	-106	-101	-91	-110	-96	-96	-91	-96	-106	-106	-110	-106	-96	-86	-91	-96	-96	-96	
16	-130	-110	-115	-110	-86	-110	-96	-91	-96	-91	-106	-96	-101	-101	-106	-106	-86	-86	-101	-86	
15	-154	-106	-115	-106	-91	-96	-101	-96	-96	-86	-101	-96	-96	-101	-101	-106	-81	-91	-96	-91	
14	-125	-135	-130	-120	-110	-110	-106	-91	-91	-110	-115	-110	-106	-106	-106	-96	-101	-91	-86	-76	
13	-120	-125	-130	-120	-115	-125	-115	-76	-101	-120	-120	-120	-101	-101	-101	-86	-96	-86	-91	-76	
12	-106	-130	-130	-125	-120	-125	-120	-96	-96	-110	-106	-115	-115	-106	-110	-96	-91	-106	-86	-86	
11	-125	-135	-130	-125	-115	-125	-125	-101	-110	-115	-120	-115	-115	-101	-110	-101	-106	-110	-86	-91	
10	-115	-135	-135	-130	-115	-135	-125	-110	-115	-106	-125	-130	-125	-115	-110	-110	-110	-110	-86	-101	
9	-110	-81	-91	-91	-91	-115	-115	-101	-110	-110	-110	-120	-106	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	
8	-110	-91	-86	-81	-91	-120	-120	-106	-106	-115	-115	-115	-106	-101	-101	-86	-81	-96	-81	-91	
7	-115	-91	-91	-91	-86	-120	-120	-106	-115	-110	-120	-120	-115	-110	-101	-96	-91	-101	-91	-96	
6	-110	-96	-101	-106	-106	-115	-120	-106	-101	-106	-120	-125	-125	-110	-106	-96	-91	-110	-101	-96	
5	-135	-120	-106	-115	-110	-110	-125	-115	-110	-115	-125	-130	-140	-125	-125	-106	-106	-115	-91	-96	
4	-120	-115	-120	-101	-106	-125	-101	-96	-101	-106	-110	-125	-106	-120	-110	-106	-91	-106	-91	-91	
3	-106	-120	-120	-101	-110	-125	-106	-101	-106	-96	-106	-130	-120	-120	-115	-110	-91	-96	-91	-101	
2	-120	-115	-115	-110	-106	-130	-110	-101	-115	-110	-125	-130	-120	-120	-115	-106	-101	-106	-96	-96	
1	-120	-120	-125	-110	-120	-125	-110	-106	-110	-115	-125	-125	-125	-130	-110	-110	-91	-106	-96	-101	
0	-145	-120	-115	-115	-106	-130	-110	-115	-115	-110	-120	-135	-125	-125	-120	-115	-110	-115	-106	-106	

3.2 F b 法

(1) 測定方法

P 社製の鉄筋腐食診断機 (CANIN) を使用して、鉄筋の自然電位を測定し、腐食状況を推定した。この装置は硫酸銅を使用したローラー型の電極を用いている。

測定間隔は旧暮坪陸橋 P 3 橋脚では 5 cm, 旧芦川橋 G 1 桁では 10cm とした。



写真－ 3.2.1 測定状況 (F b 法)

(2)旧暮坪陸橋 P 3 橋脚での測定結果

測定結果を図－3.2.1、表－3.2.1に示す。

1) A 面

橋脚に向かい右側は電位が－200～－250mV、左側が－150～200mVを示した。自然電位が－150～200mVの場合の腐食の可能性は、ASTM規格では“不確定領域”であり、BS規格では“50%”とされている。しかし、アースをとった部分の鉄筋の状態から推測すると、内部の鉄筋は健全であると考えられる。この構造物は海中に位置していたことから、コンクリート表面の何らかの影響で比較的大きな－電位となったものと考えられる。

2) B 面

測定した電位は－200mVより大きく、測定範囲内ではほとんど数値に変化が見られなかった。A面と比較するとより貴な電位を測定しており、また、アース部分の鉄筋の状態から判断しても、A面と同様に健全な状態にあったといえる。

A面およびB面の結果から、橋脚は健全な状態を維持していると考えられる。

表－3.2.1 自然電位測定結果（F b 法，旧暮坪陸橋，C S E）（%）

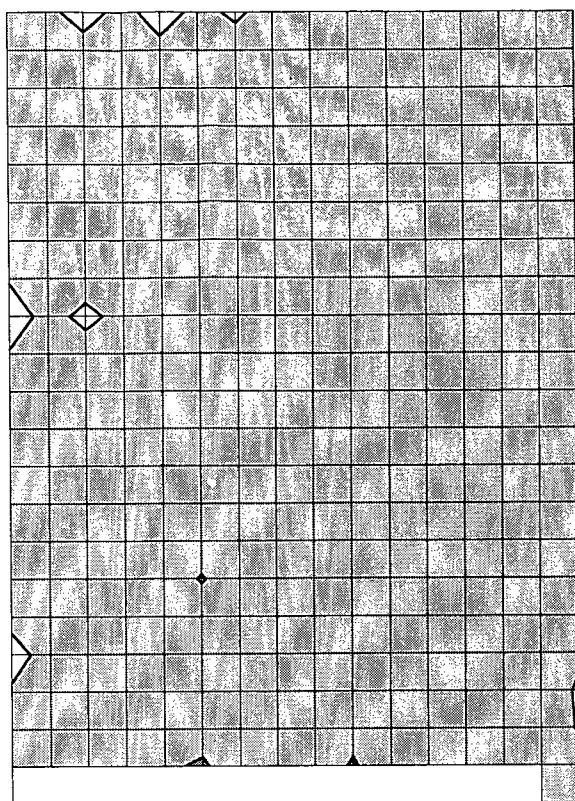
自然電位 (m V)	$0 \geq$ > -50	$-50 \geq$ > -100	$-100 \geq$ > -150	$-150 \geq$ > -200	$-200 \geq$ > -250	$-250 \geq$ > -300
A 面	—	1.2	1.5	31.1	64.5	1.8
B 面	0.3	21.5	69.7	8.5	—	—

表－3.2.2 自然電位による腐食評価参考基準・規格

自然電位 (m V)	A S T M基準	B S 規格
> 200	90%以上の確率で腐食なし	5%以下の確率で腐食あり
$-200 \geq$ > -350	不確定	腐食がある確率は50%
$-350 \geq$	90%以上の確率で腐食あり	90%以上の確率で腐食あり

※自然電位：C S E 基準

【A面】



【B面】

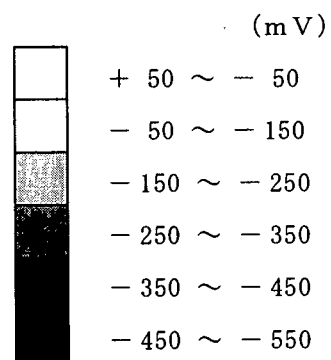
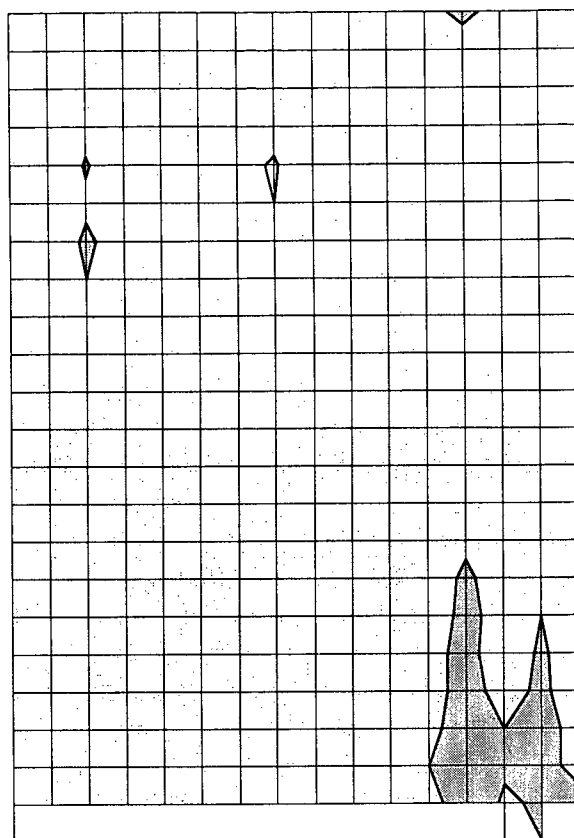


図-3.2.1 自然電位測定結果 (F b 法)

表-3.2.3 自然電位測定結果詳細 (F b 法)

ナンバ-	X軸	Y軸	上限	下限	データ	データ
	[mm]	[mm]	[mV]	[mV]	X-数	Y-数
100001	50	50	-100	-450	17	22

旧暮坪陸橋(A面)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
0	-150	-205	-65	-220	-55	-205	-120	-220	-215	-215	-225	-205	-190	-195	-185	-180	x
5	-200	-215	-235	-220	-210	-215	-235	-225	-210	-215	-220	-200	-190	-180	-165	-165	x
10	-195	-220	-250	-220	-230	-215	-235	-225	-225	-220	-215	-195	-190	-175	-170	-175	
15	-210	-215	-245	-220	-230	-215	-240	-225	-235	-220	-230	-195	-205	-180	-185	-190	
20	-215	-225	-235	-225	-215	-215	-225	-220	-250	-220	-230	-205	-205	-175	-185	-190	
25	-160	-230	-245	-215	-240	-215	-210	-215	-240	-210	-220	-195	-215	-190	-195	-185	
30	-170	-220	-245	-205	-235	-220	-205	-205	-235	-205	-215	-195	-215	-190	-195	-185	
35	-165	-215	-245	-230	-250	-215	-205	-220	-230	-210	-215	-185	-205	-180	-205	-180	
40	-50	-215	-100	-215	-245	-170	-215	-165	-225	-210	-210	-185	-205	-180	-205	-180	
45	-165	-210	-240	-225	-240	-215	-195	-170	-175	-205	-195	-190	-215	-175	-200	-180	
50	-180	-210	-240	-225	-240	-210	-215	-190	-200	-200	-195	-195	-210	-170	-180	-175	
55	-155	-210	-245	-235	-235	-220	-210	-205	-205	-200	-195	-190	-200	-170	-185	-170	
60	-155	-215	-240	-235	-245	-220	-210	-210	-205	-185	-195	-190	-205	-165	-190	-170	
65	-160	-225	-240	-235	-240	-215	-195	-210	-205	-170	-190	-190	-195	-165	-195	-175	
70	-195	-225	-245	-235	-250	-215	-210	-215	-210	-165	-195	-185	-185	-170	-195	-175	
75	-200	-215	-230	-230	-245	-140	-235	-210	-215	-205	-215	-185	-205	-160	-205	-180	
80	-195	-225	-235	-225	-245	-225	-235	-200	-220	-200	-210	-175	-205	-155	-205	-180	
85	-90	-215	-240	-225	-245	-225	-235	-200	-220	-200	-215	-180	-200	-175	-205	-165	
90	-170	-215	-240	-235	-245	-230	-230	-195	-225	-225	-215	-195	-200	-175	-205	-140	
95	-180	-240	-235	-235	-245	-235	-230	-220	-225	-235	-215	-185	-200	-175	-205	-145	
100	-160	-245	-235	-245	-245	-255	-230	-240	-225	-255	-215	-220	-200	-220	-205	-190	
105															-220	-225	

ナンバ-	X軸	Y軸	上限	下限	データ	データ
	[mm]	[mm]	[mV]	[mV]	X-数	Y-数
100002	50	50	-100	-450	17	23

旧暮坪陸橋(B面)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
0	-80	-80	-115	-105	-75	-85	-75	-80	-110	-130	-145	-135	-160	-135	-150	-130	x
5	-100	-70	-140	-105	-55	-95	-50	-80	-105	-125	-135	-135	-130	-130	-120	-125	
10	-105	-65	-140	-85	-80	-95	-70	-80	-125	-125	-130	-120	-135	-130	-120	-125	
15	-105	-95	-135	-120	-75	-115	-75	-80	-135	-105	-130	-115	-130	-90	-125	-130	
20	-90	-95	-155	-110	-90	-125	-80	-40	-135	-80	-135	-115	-130	-90	-130	-90	
25	-95	-110	-140	-110	-75	-130	-80	-50	-100	-80	-135	-135	-135	-95	-130	-100	
30	-100	-110	-160	-120	-100	-125	-100	-100	-80	-120	-140	-135	-100	-130	-130	-125	
35	-110	-115	-150	-115	-110	-125	-110	-95	-80	-120	-140	-135	-105	-130	-90	-130	
40	-125	-125	-140	-120	-105	-135	-120	-105	-75	-120	-90	-135	-110	-130	-95	-130	
45	-105	-100	-145	-80	-100	-110	-140	-105	-110	-115	-140	-135	-145	-130	-140	-125	
50	-85	-95	-150	-80	-100	-115	-145	-105	-120	-115	-140	-135	-145	-130	-135	-125	
55	-75	-105	-150	-80	-95	-115	-130	-105	-125	-115	-135	-140	-150	-130	-140	-125	
60	-60	-115	-125	-85	-80	-115	-120	-110	-120	-120	-135	-135	-150	-130	-140	-125	
65	-70	-115	-120	-80	-85	-115	-105	-110	-125	-120	-135	-130	-150	-130	-140	-125	
70	-90	-115	-125	-80	-100	-115	-115	-110	-120	-125	-125	-130	-145	-130	-135	-125	
75	-90	-130	-120	-130	-85	-145	-135	-120	-115	-110	-140	-135	-155	-135	-150	-125	
80	-90	-120	-120	-120	-85	-140	-135	-110	-115	-110	-140	-130	-160	-135	-150	-130	
85	-90	-120	-120	-90	-85	-135	-135	-105	-115	-110	-145	-140	-160	-130	-155	-130	
90	-90	-115	-120	-70	-85	-115	-135	-105	-115	-120	-145	-140	-160	-140	-155	-135	
95	-100	-105	-120	-80	-90	-120	-135	-120	-115	-110	-145	-145	-160	-150	-155	-145	
100	-75	-100	-120	-80	-85	-120	-140	-125	-125	-125	-145	-150	-160	-155	-155	-145	
105	-70	-95	-120	-75	-75	-105	-115	-135	-130	-130	-150	-135	-175	-145	-155	-155	
110														-150			

3.3 Nb法

(1)鉄筋腐食診断の原理

鉄筋の自然電位、分極抵抗、コンクリートの抵抗率（比抵抗）の3要素を同時に測定し、それぞれの測定を組み合わせる鉄筋の腐食状態を総合的に評価する鉄筋腐食診断システム（N社製NICEシステムRC-M3.1）を用いて、鉄筋の健全度を診断した。

コンクリート中の鉄筋は、その腐食状態によって固有の電位（自然電位）を示し、これはコンクリート表面から容易に測定することができる。鉄筋の自然電位は必ずしも鉄筋の腐食状態を正確に表現しているものではないが、測定値が卑（低い）であるほど鉄筋が腐食している可能性が高くなる。

分極抵抗は、測定時点の鉄筋の腐食速度に対応するもので、その値が小さいほど腐食速度は大きくなる。腐食電流は鉄筋表面における内部電流であるため、直接測定することはできない。そのため、鉄筋の外部から微少な電位差（10～20mV）を負荷したとき、加えた電位差 ΔE と負荷により生じた微小電流 ΔI との間に式（3.3.1）に示すような直線関係があることを利用し、式（3.3.2）に示すような分極抵抗と腐食電流との関係から、腐食電流を推定しようとするものである。

$$\Delta E = \Delta I \cdot R_p \quad \dots\dots\dots (3.3.1)$$

$$I_{\text{corr}} = K \cdot \Delta I / \Delta E = K / R_p \quad \dots\dots\dots (3.3.2)$$

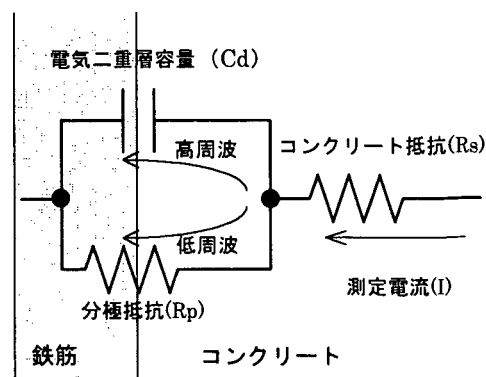
ここで、 R_p ：分極抵抗（ Ω ）

I_{corr} ：腐食電流（A）

K ：金属の種類、環境等によって決定される定数

鉄筋腐食診断システムでは、分極抵抗を2種類の周波数の交流電流を用いた分極抵抗法によって求める。腐食している鉄筋の表面は、図－3.3.1のような電気等価回路で示される。この回路に高周波の電流を流すと電流は電気二重層容量（Cd）を通過するため、回路の抵抗はコンクリートの抵抗（Rs）のみとなる。これに対して低周波の電流を流した場合、電流は電気二重層容量を通過できないため、回路の抵抗は分極抵抗（Rp）＋コンクリートの抵抗（Rs）となる。したがって、分極抵抗は低周波における回路の抵抗と高周波における回路の抵抗の差として得ることができる。

コンクリートの抵抗率は、コンクリート中の塩分濃度と水分量を包括した要素で、塩害の影響度合いの指標となり、分極抵抗測定時に得られるコンクリート抵抗から換算して求められる。一般に、塩害が生じていないコンクリートの抵抗率は高い値（30 k Ω ・cmより大きい）を示し、鉄筋は腐食しないと言われている。しかしながら、コンクリート中に塩分が浸透するとコンクリート抵抗率は30 k Ω ・cm前後まで低くなり、鉄筋



図－3.3.1 腐食している鉄筋表面の電気等価回路

の腐食が生じる。

鉄筋の腐食状況の評価は、3要素の測定データを元にコンピュータ解析システムで評価を行う。この解析システムは、測定データを一定温度における値に補正したうえで、表－3.3.1のように鉄筋の腐食状況の評価し、色別出力するものである。鉄筋腐食診断は、劣化が外観にはあらわれておらず、目視観察ではわからない鉄筋の腐食を早期に発見する際に有効である。

また、分極抵抗の測定結果からその腐食速度を算出することができる。鉄筋の腐食速度はコンクリートのひびわれに関係があり、コンクリートのひびわれ時期の予測を行い、補修対策の選定資料とする。

(2)測定方法

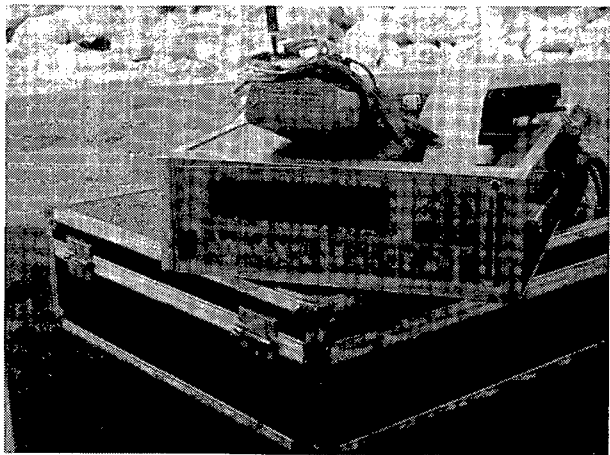
使用した鉄筋腐食診断データ収録装置（RC-M3.1型）データ収録装置は、“鉄筋の自然電位”、“鉄筋の分極抵抗”および“かぶりコンクリートの電気抵抗”の3要素を連続して測定し、各データはICカードに収録される。

測定は、専用のセンサーを用いた3電極方式で行う。分極抵抗およびかぶりコンクリートの電気抵抗は、0.1Hz(または、0.01Hz)および約1KHzの交流電流を対象構造物に印加したときのインピーダンスにより求める。このため、調査現場での測定は、10秒周期（0.01Hzの場合100秒周期）で行われるので安定した

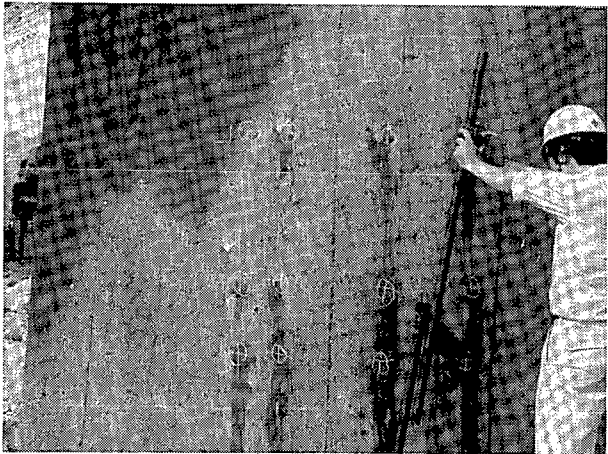
表－ 3. 3. 1 鉄筋腐食評価分類

鉄筋腐食評価	腐食大の領域	発錆面積率20%超	赤
	腐食軽微の領域	発錆面積率5～20%	黄
	腐食無しの領域	発錆面積率5%未満	青
腐食大移行領域	近々腐食大に移行する領域		紫
塩害影響領域	塩害の影響を受けている領域		緑

※本報告書では、モノクロで表現した。



写真－ 3. 3. 1 使用した測定装置（Nb法）



写真－ 3. 3. 2 測定状況（Nb法）

表－ 3.3.2 電極方式について

対極	測定の際，電流を流す極
照合電極	試料極の電位の変化をモニターする極
試料極	測定対象，ここでは鉄筋

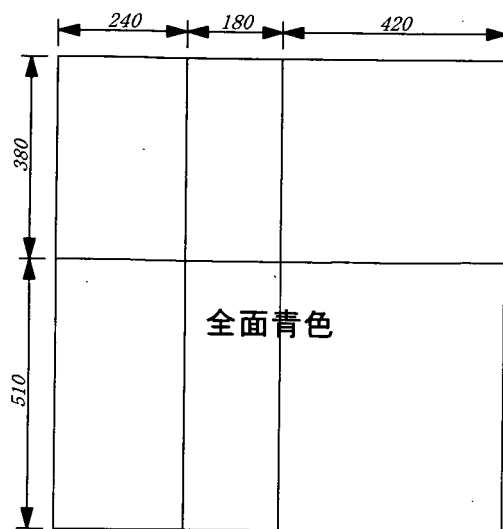
※上記の3つを用いる方式が3電極方式，他に，対極と照合電極が一体になった2電極方式もある。

データ採取を行うには，測定時間は1測点あたり1～2分間（0.01Hzの場合5～10分間）程度必要である。センサーは，電位測定用照合電極（飽和甘こう照合電極）と通電用対極（銀板）から構成されている。センサー内部は，電解質として吸水性高分子にKCL飽和水溶液を含ませたものを使用しているため，センサーの天地を逆にしても使用できる構造となっている。

測定は，鉄筋位置を探索した結果を元に，格子状の鉄筋の交点であると考えられる位置を選択して行った。また，解析にははつり調査後に得られた鉄筋径・かぶりのデータを使用した。

(3) 旧暮坪陸橋P3橋脚での測定結果

測定結果を，図－ 3.3.1～図－ 3.3.15に示す。



【鉄筋腐食評価】

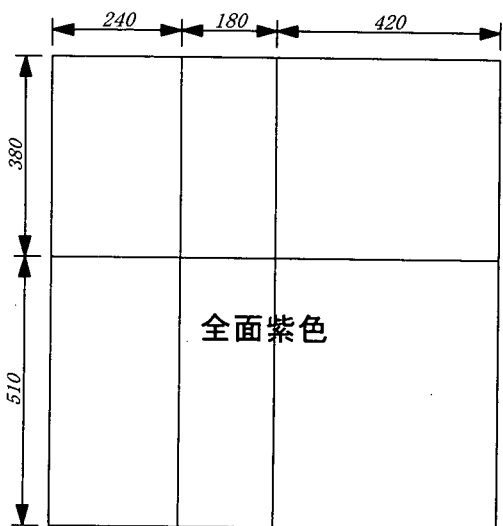
旧暮坪陸橋A面

測定面積 (m²) : 0.75

腐食大 (赤) : 0.00%

腐食軽微 (黄) : 0.00%

腐食無し (青) : 100.00%



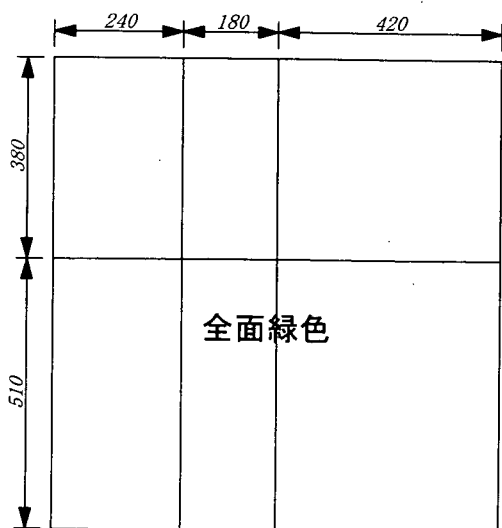
【腐食大に移行する危険性有り】

旧暮坪陸橋A面

測定面積 (m²) : 0.75

腐食大

移行領域 (紫) : 100.00%



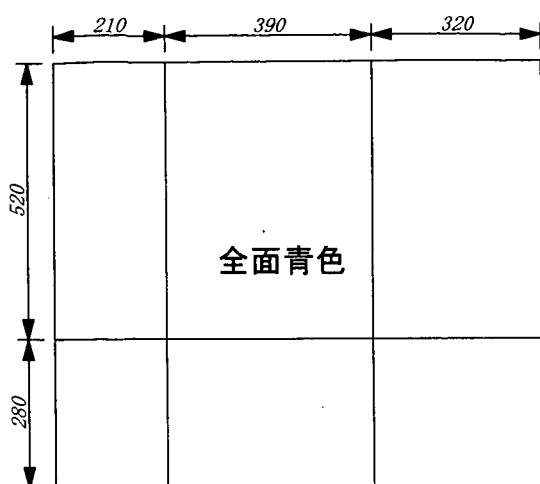
【塩害の影響を受けている領域】

旧暮坪陸橋A面

測定面積 (m²) : 0.75

塩害影響領域 (緑) : 100.00%

図- 3.3.2 鉄筋腐食評価結果 (N b 法 : 旧暮坪陸橋A面)



【鉄筋腐食評価】

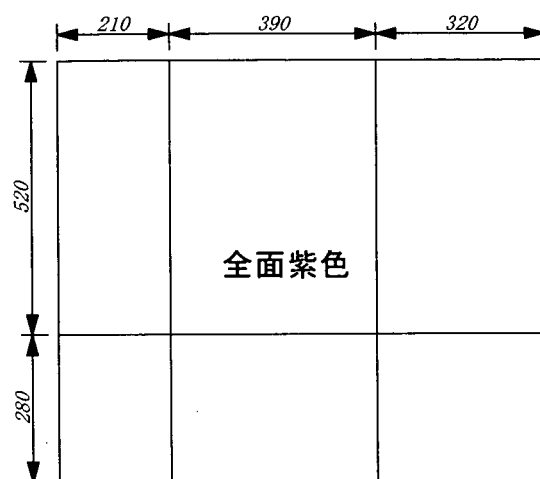
旧暮坪陸橋B面

測定面積 (m²) : 0.74

腐食大 (赤) : 0.00%

腐食軽微 (黄) : 0.00%

腐食無し (青) : 100.00%



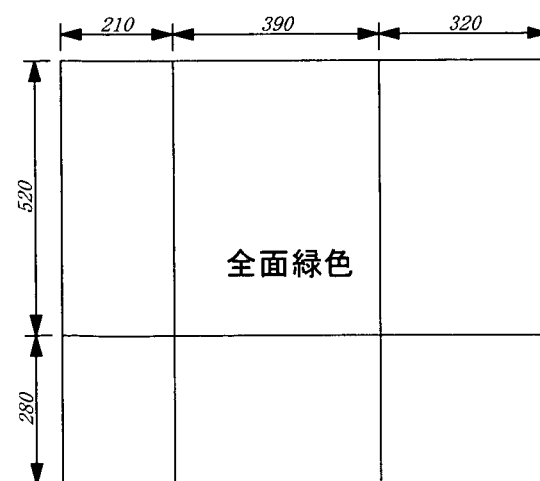
【腐食大に移行する危険性有り】

旧暮坪陸橋B面

測定面積 (m²) : 0.74

腐食大

移行領域 (紫) : 100.00%



【塩害の影響を受けている領域】

旧暮坪陸橋B面

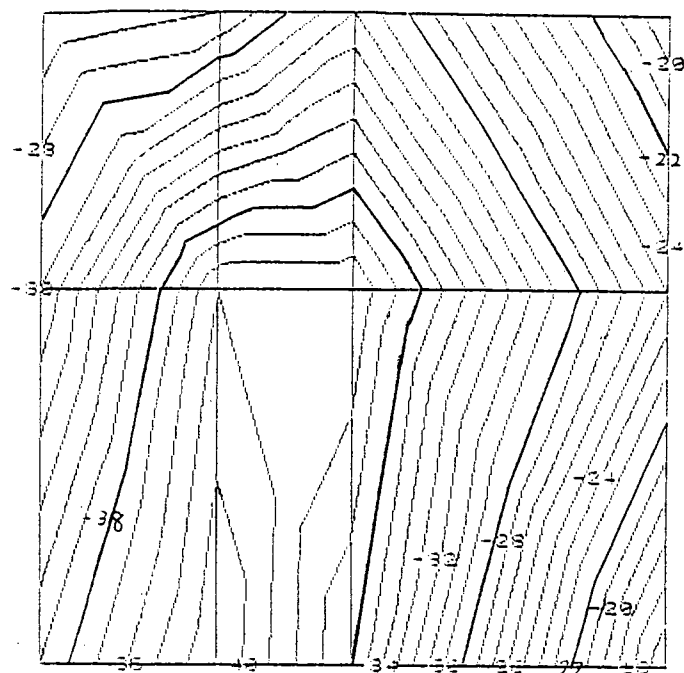
測定面積 (m²) : 0.74

塩害影響領域 (緑) : 100.00%

図－3.3.3 鉄筋腐食評価結果 (Nb法 : 旧暮坪陸橋B面)

※図-3.3.4～図-3.3.11 の等高線も本来カラーで表示されるが、本報告書ではモノクロで印刷した。

第 1 / 2 測定面

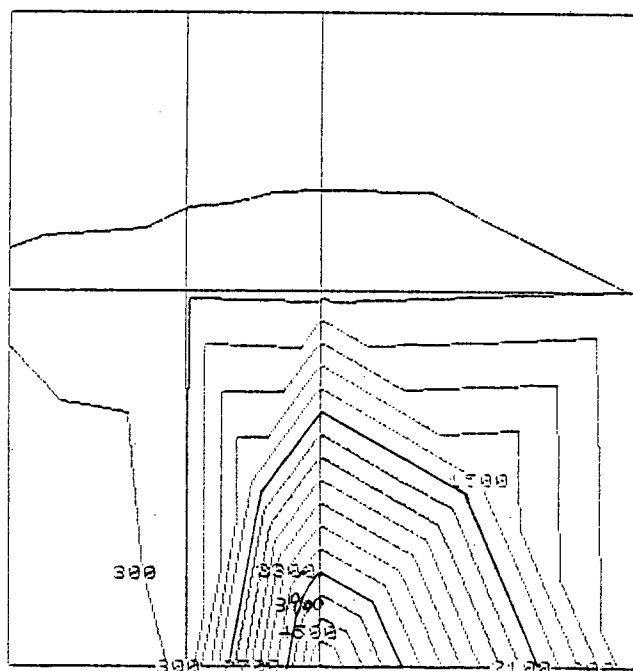


自然電位
温度補正值

最大値 : -16
最小値 : -41
平均値 : -30
単位 : mV, SCE
ピッチ : 1

図-3.3.4 自然電位測定結果 (Nb法:旧暮坪陸橋A面)

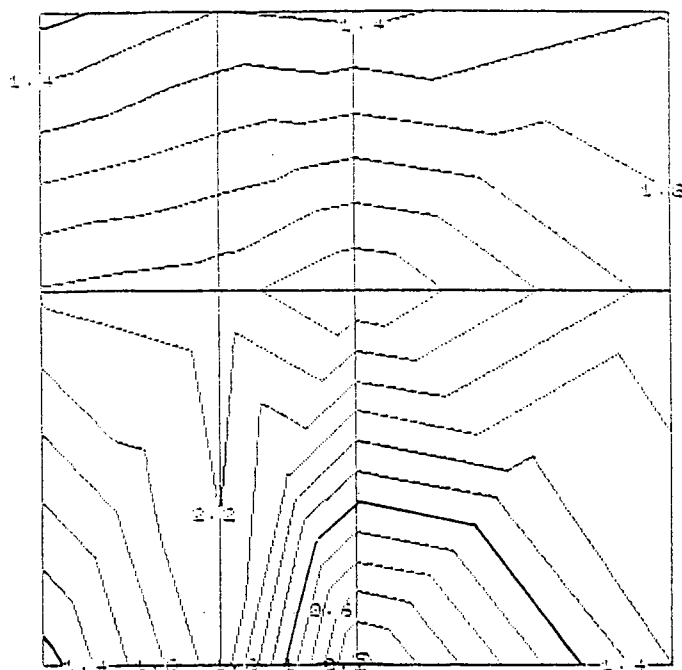
第 1 / 2 測定面



分極抵抗 (0.1Hz)
温度補正值

最大値 : 5.14E3
最小値 : 2.24E2
平均値 : 7.55E2
単位 : $k\Omega cm^2$
ピッチ : 300.00

図-3.3.5 分極抵抗測定結果 (Nb法:旧暮坪陸橋A面)

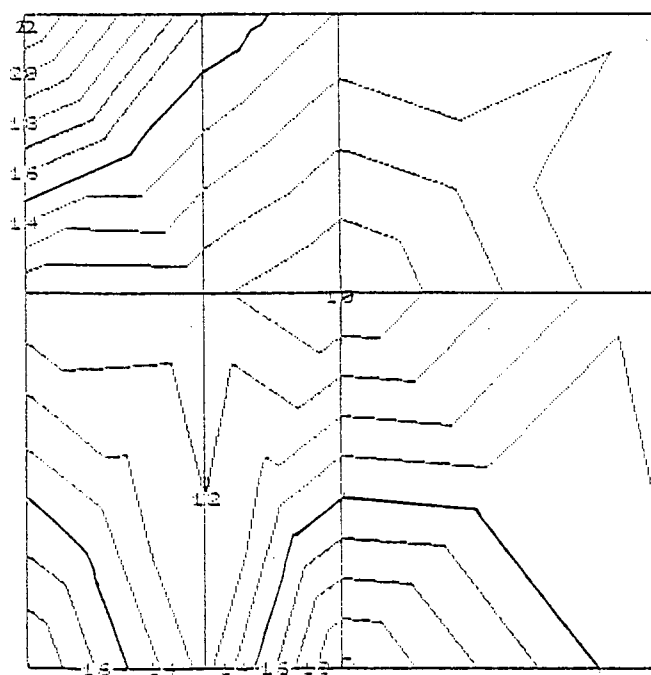


第 1 / 2 測定面

同位速度 (0.1Hz)
温度補正值

最大値 : 2.5902
最小値 : 0.1128
平均値 : 1.6220
単位 : E-4mm/year
ピッチ : 0.2000

図 - 3.3.6 腐食速度換算結果 (Nb 法 : 旧暮坪陸橋 A 面)

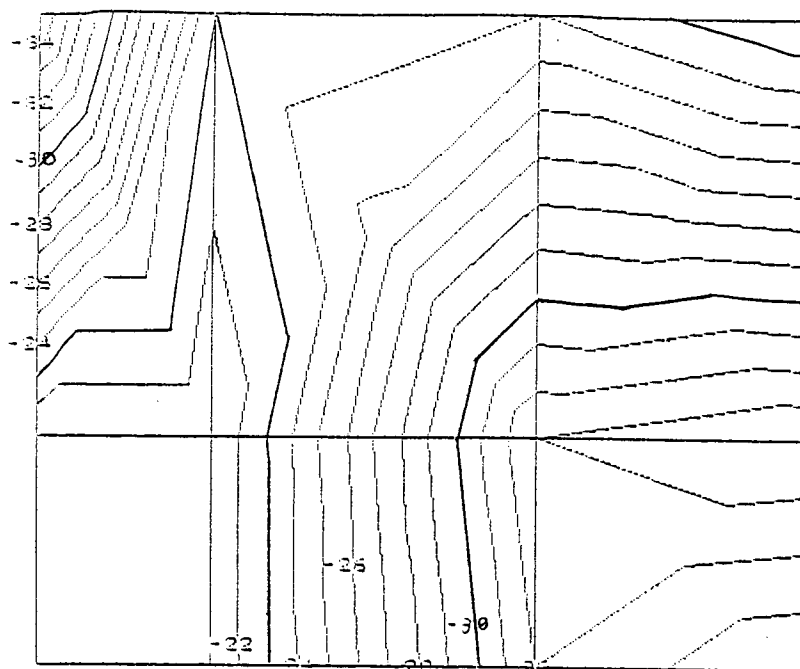


第 1 / 2 測定面

抵抗率
温度補正值

最大値 : 2.24E1
最小値 : 9.93E0
平均値 : 1.46E1
単位 : kΩcm
ピッチ : 1.0000

図 - 3.3.7 比抵抗測定結果 (Nb 法 : 旧暮坪陸橋 A 面)

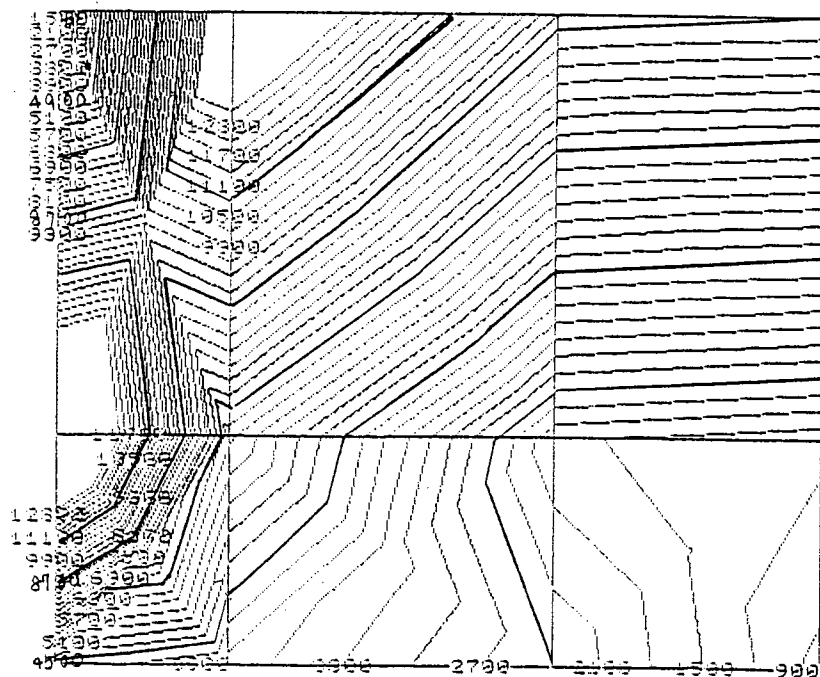


第 2 / 2 測定面

自然電位
温度補正值

最大値 : -20
最小値 : -35
平均値 : -26
単位 : mV, SCE
ピッチ : 1

図 - 3.3.8 自然電位測定結果 (Nb 法 : 旧暮坪陸橋 B 面)

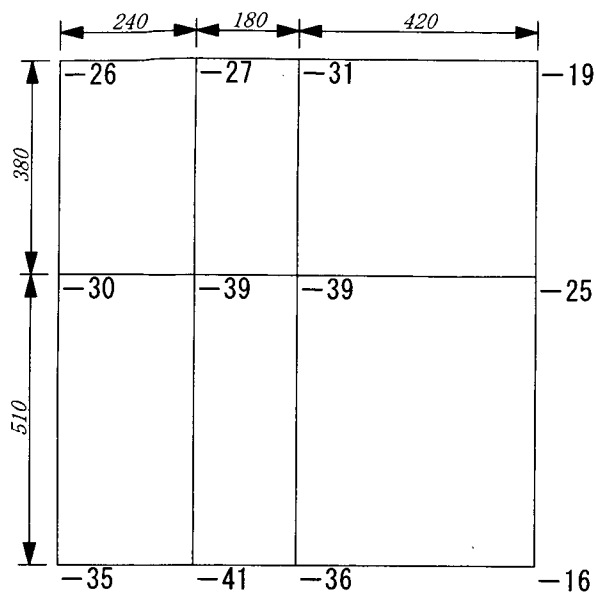


第 2 / 2 測定面

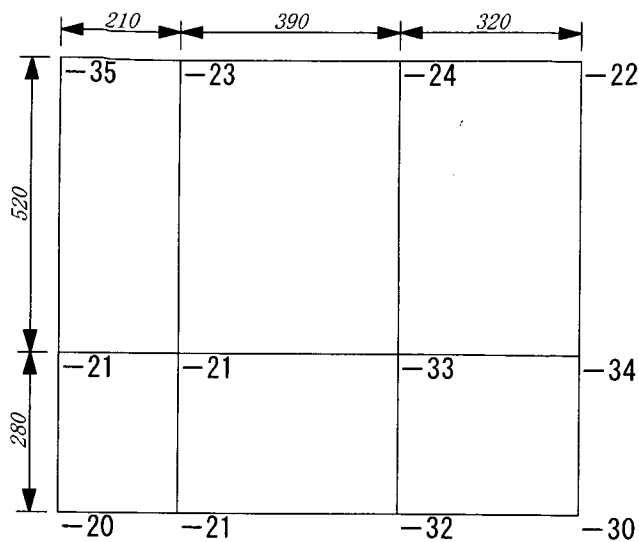
分極抵抗 (0.1Hz)
温度補正值

最大値 : 1.65E4
最小値 : 8.15E2
平均値 : 5.87E3
単位 : $k\Omega cm^2$
ピッチ : 300.00

図 - 3.3.9 分極抵抗測定結果 (Nb 法 : 旧暮坪陸橋 B 面)

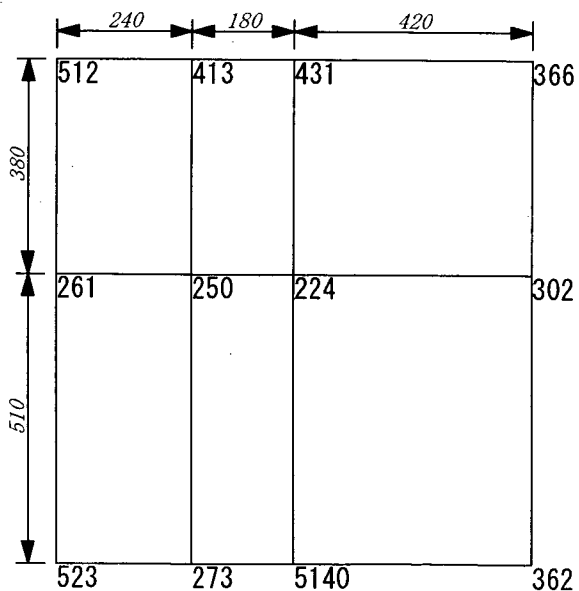


【旧暮坪陸橋A面】

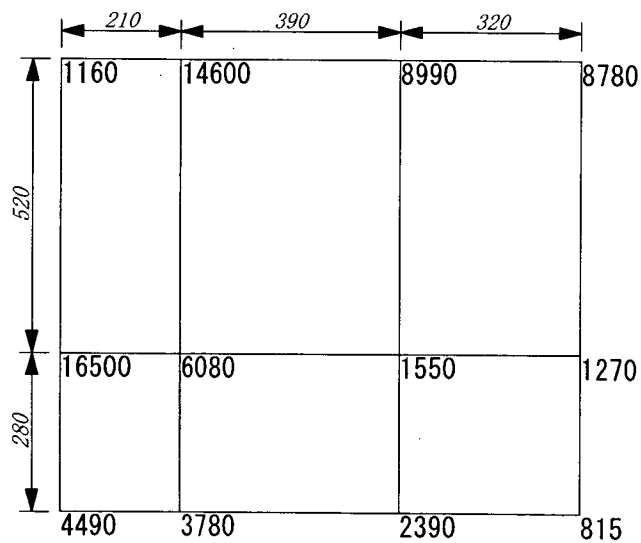


【旧暮坪陸橋B面】

図- 3. 3. 12 自然電位測定結果詳細 (N b 法, mV : SCE 換算)

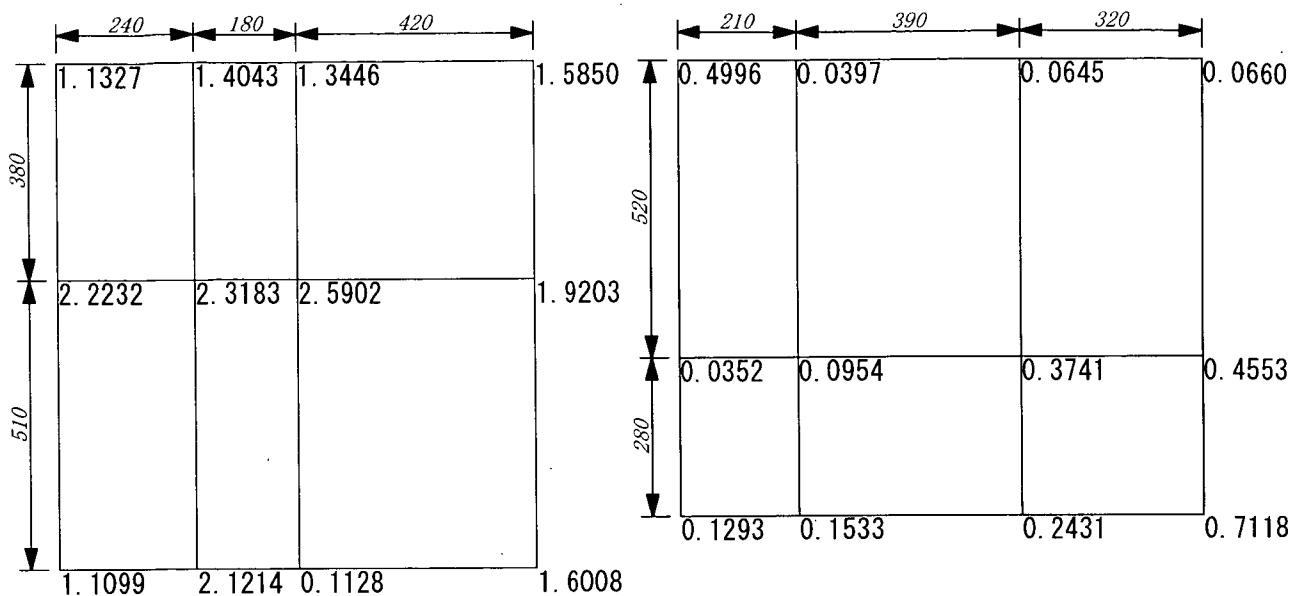


【旧暮坪陸橋A面】



【旧暮坪陸橋B面】

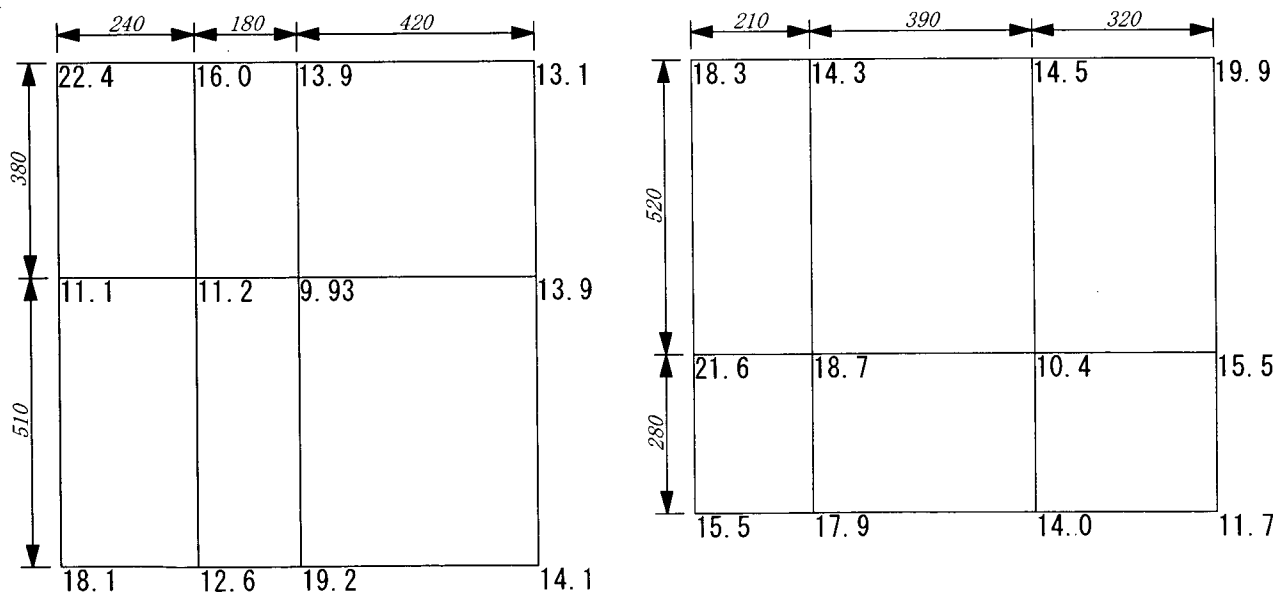
図- 3. 3. 13 分極抵抗測定結果詳細 (N b 法, $k\Omega \cdot cm^2 : 0.1Hz$)



【旧暮坪陸橋 A 面】

【旧暮坪陸橋 B 面】

図－3.3.14 腐食速度測定結果詳細 (Nb 法, 10^{-4}mm/year : 0.1Hz)



【旧暮坪陸橋 A 面】

【旧暮坪陸橋 B 面】

図－3.3.15 比抵抗測定結果詳細 (Nb 法, $k\Omega \cdot \text{cm}$)

3.4 Tk法

(1) 測定原理

腐食現象を説明するために、図-3.4.1に最も単純な腐食の例である異種金属接触腐蝕の概念図を示す。電解質溶液中に2つの異なる金属を浸し、両者を電氣的に接続する。このような状態をつくると、金属はそれぞれ固有の電位を持っているので、両者の電位差を解消するため、2つの金属の間を流れる電流が発生する。電流は電位の高い金属から電位の低い金属の方に一方的に流れる。これは電池の原理と同一のものであり、電位の高い金属が電池の+極、電位の低い金属が電池の-極に相当する。

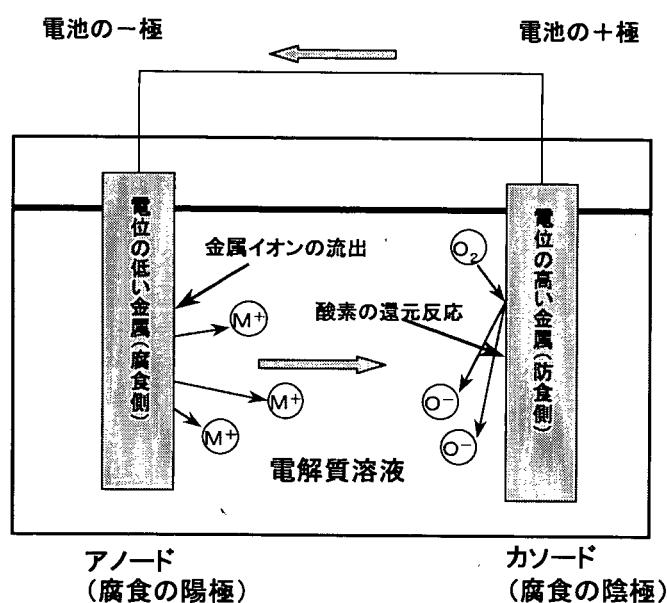


図-3.4.1 異種金属接触腐食と電池の概念図

2つの金属の間に電流が流れることで、電解質溶液中に浸されている金属の表面においても変化が生じる。すなわち、電位の低い金属からは電流を流出させるために表面から金属イオンが流出し（酸化）、電位の高い金属側では電流を流入させるために電子の放出が生じる（還元）。金属イオンが流出する側では腐食が生じ、電子を放出する側は逆に防食されることになる。

上記の説明はあくまで定性的なものであるが、腐食現象を論ずるに当たって腐食を電氣的に捉えることの意味は明らかである。すなわち、腐食の進行は金属イオンの流出が大きいほど速く、流出が少ないほど遅くなる。あるいは換言すれば、ミクロにせよマクロにせよ電流が大きく流れる電池ができるほど腐食の進行が速いことになる。溶液（ここではコンクリート中の水）あるいは金属表面に比べ金属内部の電気抵抗は極めて低いので、溶液あるいは金属表面の電氣的特性を明らかにすれば、腐食の進行速度を評価することができることを示している。

単一の金属であっても、金属表面の微少な組成の違いや、溶液中に存在するイオンや溶存酸素のミクロ的な濃度の違いによって局部的に電位差が生じ、前述のような電池が局所的に出来上がる（これをマイクロセルといい、異種金属が接触している場合のマクロセルと区別して扱っている）。

電解質中におかれる金属は、その環境と金属の表面状態により、固有の電位すなわち自然電位を示す。コンクリートは固体であるが、水分を含み、強いアルカリ電解質（初期 pH12～14）と見なすことができる。この強アルカリ環境下での鉄筋表面は、強い不導体被膜に覆われており、自然電位も比較的貴な電位（約 $+100 \sim -150\text{mV VS CSE}$ ）を示す。しかし、中性化や塩化物イオンなどの影響を受け、鉄筋表面の不導体被膜が破壊された状態では、自然電位は卑な電位（約 $-150 \sim -600\text{mV VS CSE}$ ）に移行することがわかっている。

したがって、鉄筋の自然電位測定は、かぶりコンクリートや鉄筋の表面状態を総合的に判断する指標であるといえる。ただし、金属の電位は絶対値が測定できないため、各種条件下でも安定な電位を示す飽和塩化カリウム-塩化水銀電極（甘こう電極）や飽和塩化銀-銀電極などの基準電極に対する電位差を測定し、この差で表すのが一般的である。

次に考慮しなければならないのは金属の表面である。金属は一般に空気中にさらされると、腐食により表面に酸化物の層を形成する。この酸化物層の性質によっても腐食の進行は大きく変化する。例えばアルミニウムは鉄に比べて電位は低いですが、表面に強固で緻密な酸化物層を形成するため、鉄に比べて腐食には強い。これらの酸化物は通常絶縁体であることが多いため、この点を含めて評価しなければならない。腐食ではこの絶縁物の層を不動態皮膜と呼び、金属の耐食性を評価する重要な因子として扱っている。

図-3.4.2に金属腐食の最も単純な等価回路を示す。この回路は単純なハイパスフィルタであるため、この回路の周波数特性を測定すれば、高周波域のインピーダンスから溶液抵抗が、低周波域のインピーダンスから溶液抵抗と分極抵抗（金属表面の電気抵抗）の合計値を求めることができる。また、両者の差をとれば分極抵抗値を求めることができる。

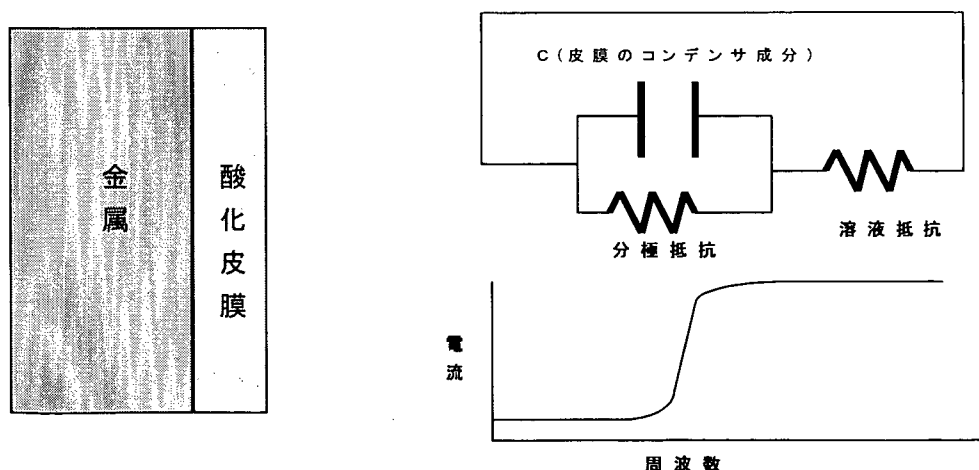


図-3.4.2 金属腐食の等価回路

溶液抵抗（ここではコンクリートの抵抗）は金属が置かれた環境の腐食促進程度を示し、抵抗が小さいほど腐食促進環境であるといえる。また、分極抵抗は金属表面の腐食進行の尺度であり、分極抵抗が小さいほど腐食は進行しやすい。

以上の原理から、対象金属の溶液中（あるいは環境中）における交流電気特性の測定と基準電極に対する電位差を測定することで、対象金属の現在の腐食状況、ならびに今後の腐食進行に対する危険性を判断することができる。

(2) 測定装置・測定方法

測定にはA社製の腐食診断器を用いた。1箇所3回測定し、中央値となるデータを採用した。測定データが安定しない場合はさらに1～2回測定した。

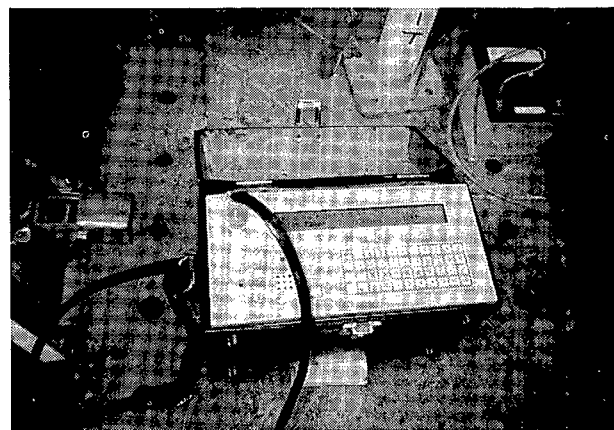
分極抵抗およびコンクリートの電気抵抗の測定結果を単位あたりの大きさ（分極抵抗： $k\Omega \cdot cm^2$ ，電気抵抗： $k\Omega \cdot cm$ ）に換算するには、コンクリート中で電流の流れる面積等を仮定する必要がある。しかし、これは困難であるので、Tk法では、測定された値をそのまま使用し、腐食程度の指標とした。

測定装置の諸元は以下の通りである。

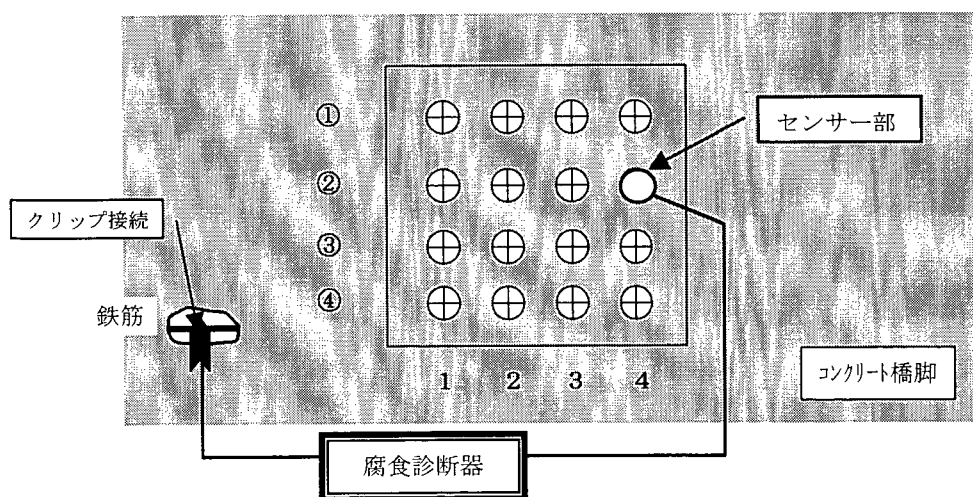
- ・形状 $160 \times 110 \times 130\text{ mm}$
- ・重量 約3.5 kg
- ・電源 12 V
- ・表示項目 電位，分極抵抗，コンクリート抵抗
- ・使用電極 旧暮坪陸橋：飽和塩化銀電極
旧芦川橋：飽和硫酸銅電極



写真－3.4.1 腐食診断状況（Tk法）



写真－3.4.2 腐食診断器本体（Tk法）



図－3.4.3 測定模式図

(3) 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚での測定結果

測定結果を図－3.4.4～図－3.4.8に示す。また、自然電位の判定基準値を表－3.4.1に示す。

① A面測定結果

自然電位（現状の腐食度の評価指標）から判断すると全測定ポイントで0～70 m vであり、本調査箇所における鉄筋は腐食まで至っていないと思われる（図－3.4.2自然電位データ参照）。また、分極抵抗値（腐食速度の評価指標）を見ると、測定面上部（20cm）で分極抵抗が小さく、腐食速度が早い傾向を示している（図－3.4.5参照）。コンクリート抵抗値（腐食環境の評価指標）を見ると測定面上部（40cm）で鉄筋を取り囲むコンクリートの環境が悪い傾向を示している（図－3.4.6参照）。

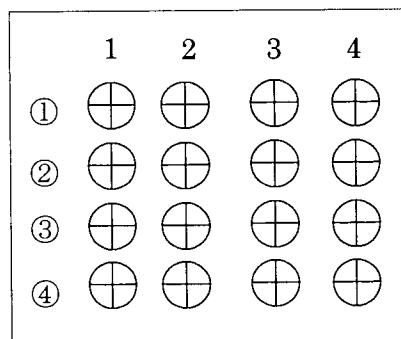
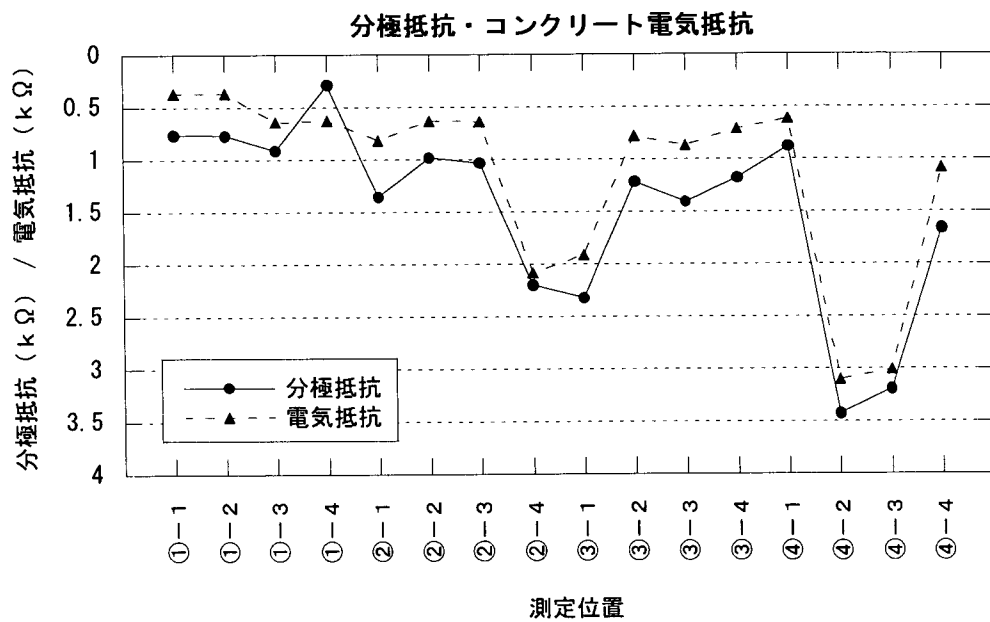
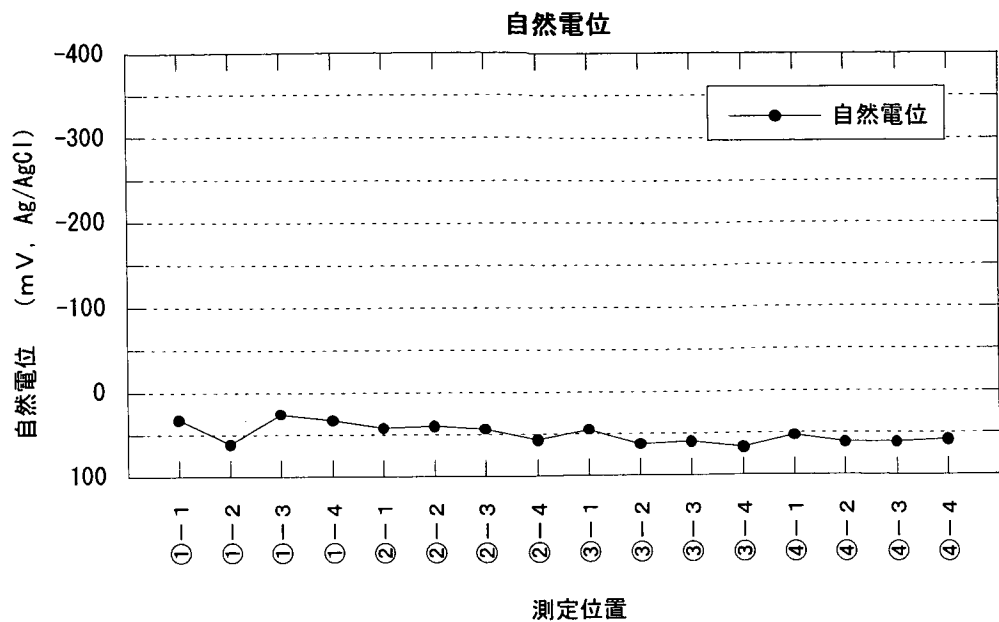
② B面測定結果

自然電位から判断すると全測定ポイントで0～51 m vであり、本調査箇所における鉄筋は腐食まで至っていないと思われる（図－3.4.3自然電位データ参照）。また、分極抵抗値を見ると、測定面全体的に腐食速度が遅い傾向を示している（図－3.4.3分極抵抗データ参照）。コンクリート抵抗値を見ると測定面左部でコンクリート環境が悪い傾向を示している（図－3.4.6参照）。A面と比較するとB面は海側の影響をよりうけているためではないかと思われる。

表－3.4.1 自然電位による腐食判定

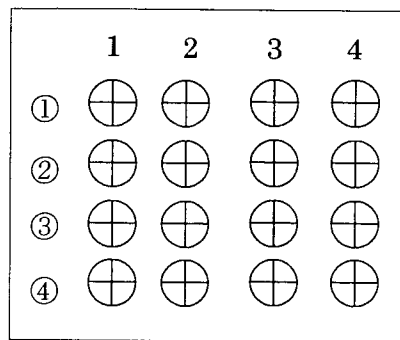
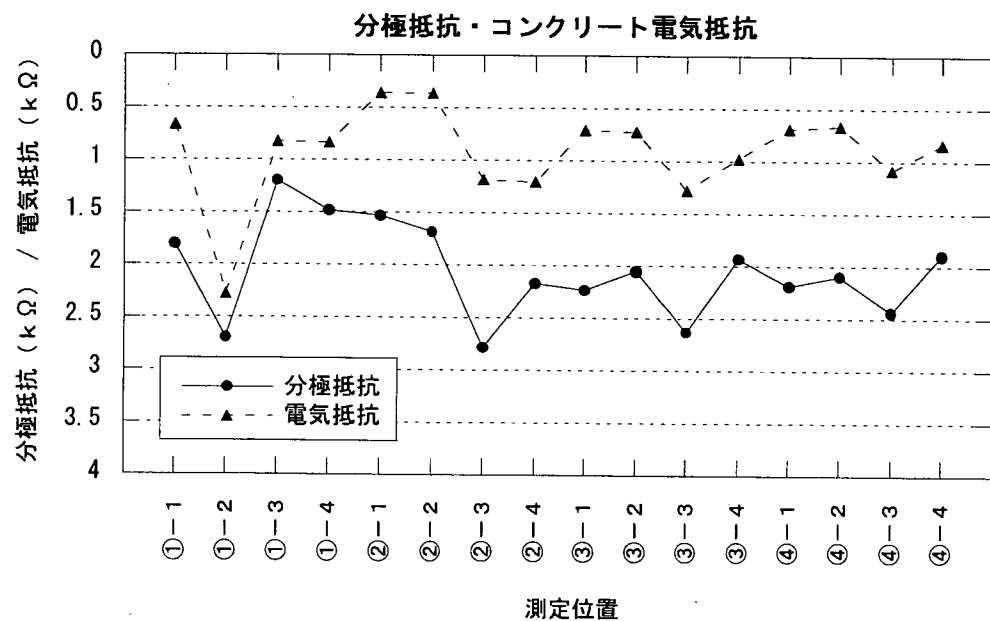
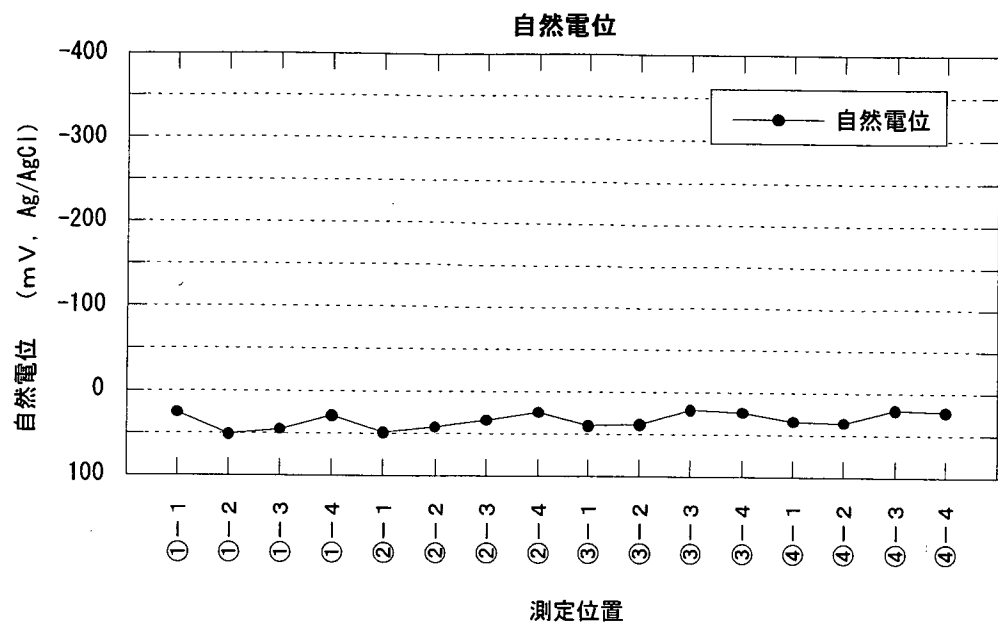
自然電位 (mV, Ag/AgCl)	腐食判定
－80以上	A：腐食していない可能性が高い
－230 ～ －80	B：腐食有無両方の可能性がある
－230以下	C：腐食している可能性が高い

※ASTM (American Society for Testing and Materials)



※ 1 m² の調査箇所を
20cm × 20cm の
メッシュに分割して
16 点測定

図-3.4.4 自然電位・分極抵抗・コンクリート電気抵抗測定結果 (Tk法, 旧暮坪陸橋A面)



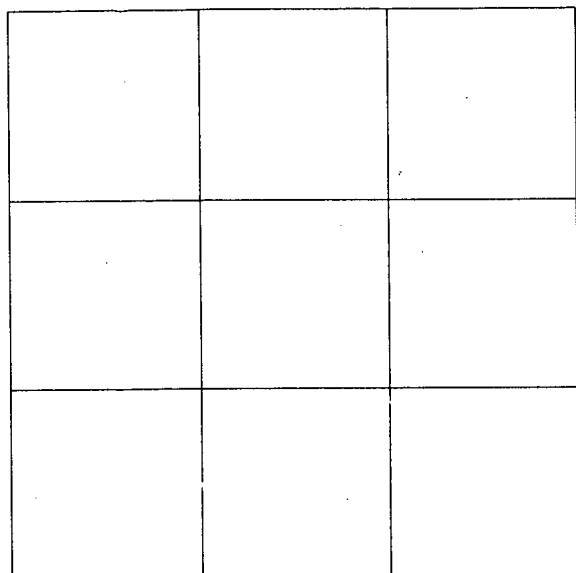
※ 1 m² の調査箇所を
20cm × 20cm の
メッシュに分割して
16 点測定

測定位置図

図-3.4.5 自然電位・分極抵抗・コンクリート電気抵抗測定結果 (Tk法, 旧暮坪陸橋B面)

旧暮坪陸橋

【A面】



旧暮坪陸橋

【B面】

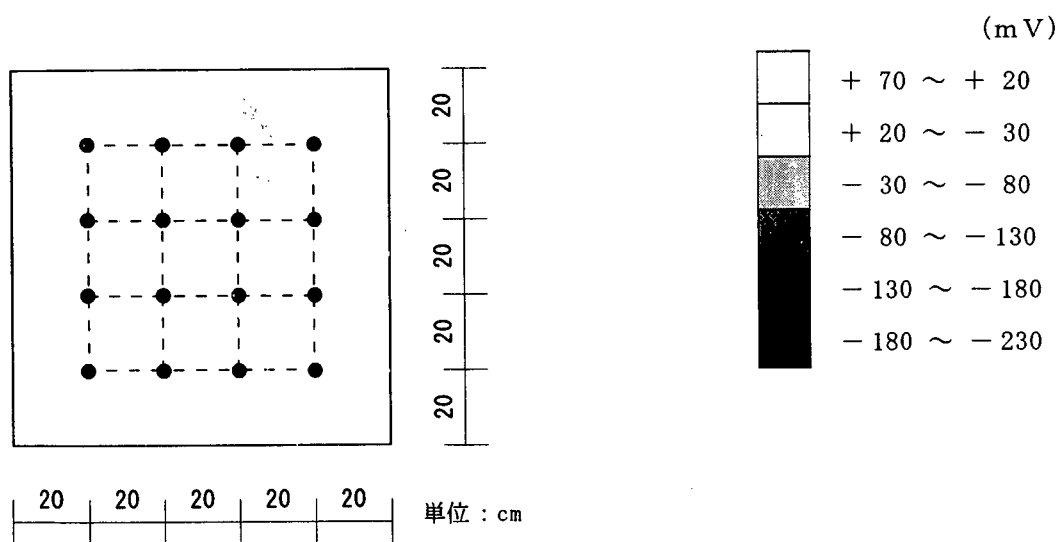
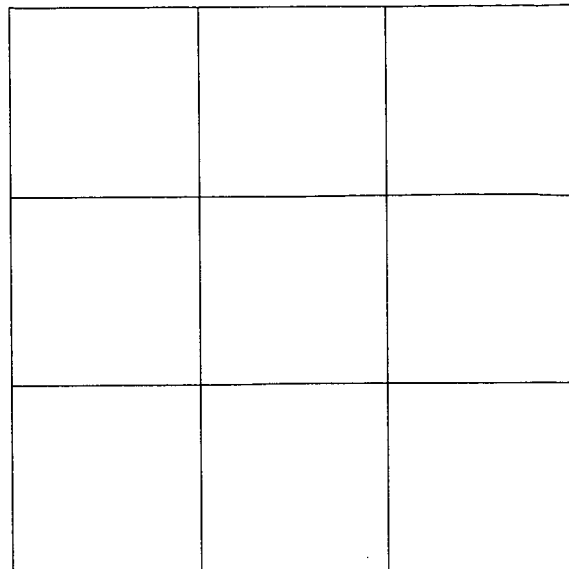
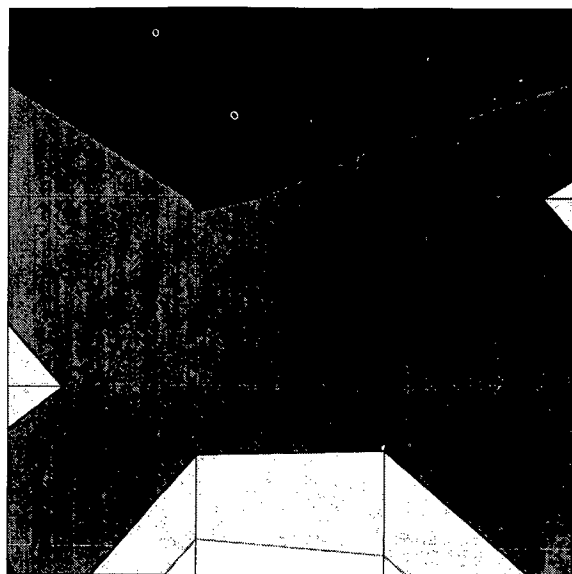


図-3.4.6 自然電位測定結果 (T k 法, mV : Ag/AgCl)

旧暮坪陸橋

【A面】



旧暮坪陸橋

【B面】

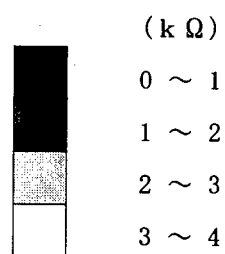
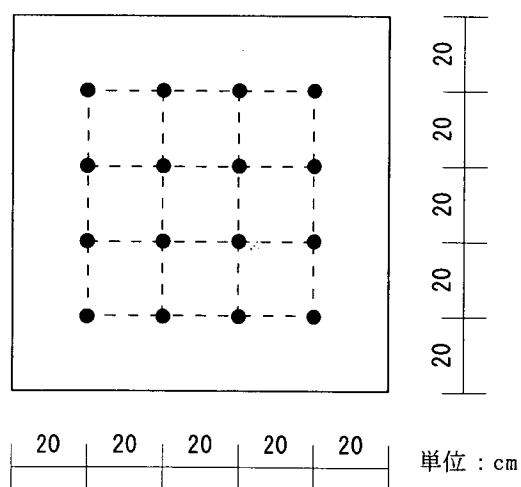
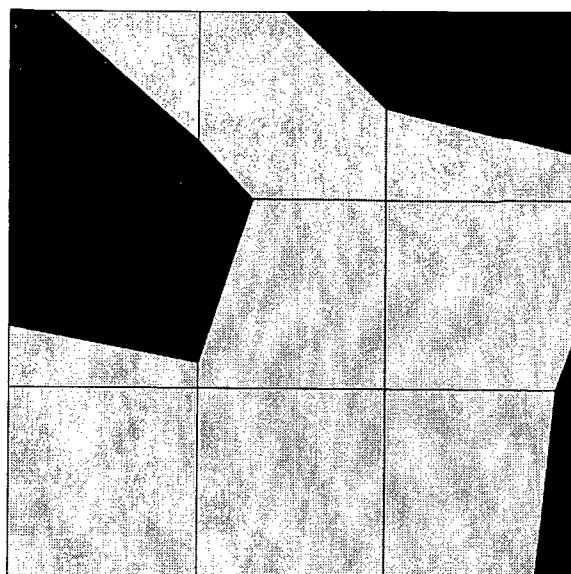
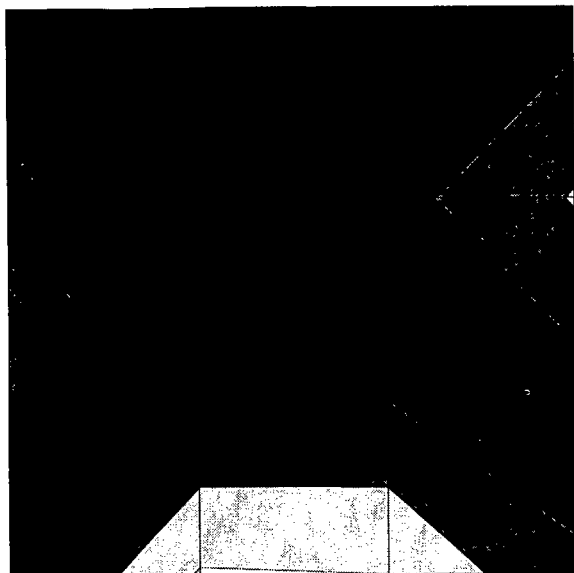


図-3.4.7 分極抵抗測定結果 (Tk法, k Ω)

旧暮坪陸橋
【A面】



旧暮坪陸橋
【B面】

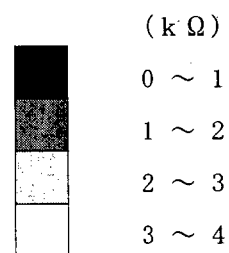
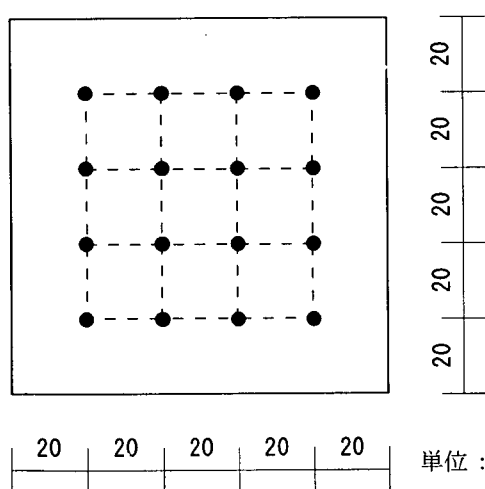
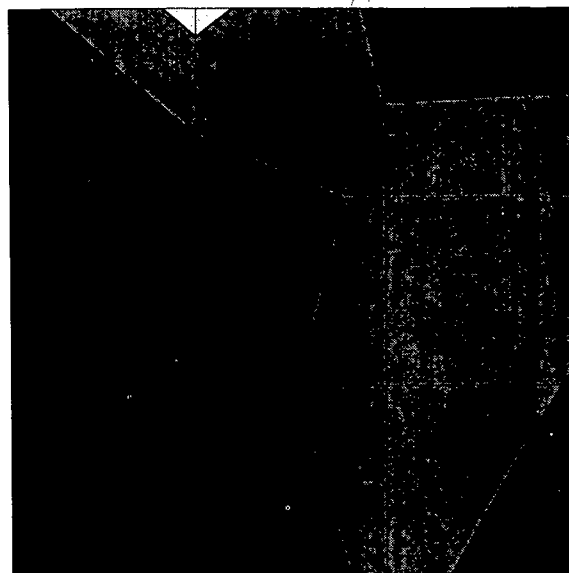


図-3.4.8 コンクリートの電気抵抗測定結果 (Tk法, kΩ)

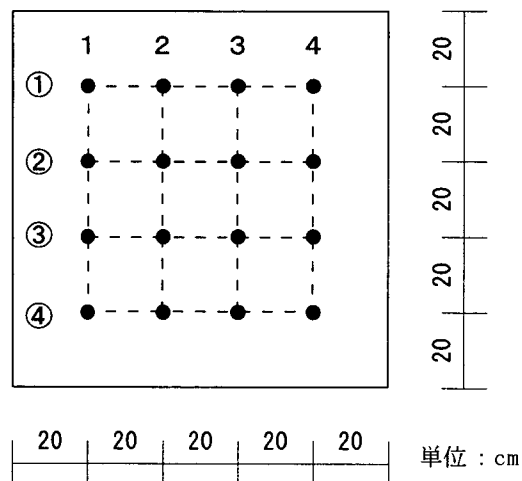
表-3.4.2 測定結果詳細 (T k 法)

【A面】

測定位置	自然電位 (mV)	分極抵抗 (kΩ)	コンクリート 電気抵抗 (kΩ)
①-1	32.280	0.760	0.371
①-2	61.401	0.764	0.371
①-3	25.870	0.914	0.640
①-4	32.530	0.286	0.628
②-1	42.053	1.355	0.820
②-2	39.856	0.984	0.634
②-3	43.640	1.036	0.642
②-4	56.762	2.195	2.081
③-1	45.309	2.325	1.914
③-2	62.561	1.214	0.780
③-3	59.875	1.408	0.866
③-4	66.833	1.179	0.712
④-1	53.649	0.879	0.616
④-2	60.974	3.425	3.101
④-3	61.279	3.193	3.008
④-4	58.105	1.657	1.082

【B面】

測定位置	自然電位 (mV)	分極抵抗 (kΩ)	コンクリート 電気抵抗 (kΩ)
①-1	25.512	1.801	0.668
①-2	51.320	2.698	2.279
①-3	45.776	1.198	0.825
①-4	29.052	1.481	0.835
②-1	48.767	1.533	0.359
②-2	42.297	1.686	0.364
②-3	34.667	2.788	1.184
②-4	24.719	2.172	1.205
③-1	40.039	2.233	0.711
③-2	38.391	2.052	0.721
③-3	20.751	2.634	1.282
③-4	24.169	1.934	0.975
④-1	34.362	2.190	0.692
④-2	36.254	2.093	0.663
④-3	20.446	2.438	1.083
④-4	22.277	1.892	0.834



4. 小径コアを用いた試験

4.1 調査方法

(1) 概要

小径コアによるコンクリートの圧縮強度と中性化深さの試験結果について述べる。

小径コアによる既存構造体コンクリート強度の調査法の適用範囲は、現状では、強度で 60N/mm^2 以下、粗骨材の最大寸法で 25mm 以下である（この範囲外のデータが少なく、ばらつきに対する評価が十分できないため）。建築構造物の多くはこの適用範囲に含まれるが、土木構造物の場合は粗骨材の最大寸法が 25mm を超えるものもある。また、粗骨材の最大寸法が 25mm 以下であっても、土木用のコンクリートの方が、建築用よりも単位粗骨材量が多いのが一般的である。そこで、小径コアによる構造体コンクリート強度の調査法を土木構造物に適用する場合の基礎資料を得るために、小径コアおよび直径 $100\times 200\text{mm}$ の標準コアによる圧縮強度試験を行った。

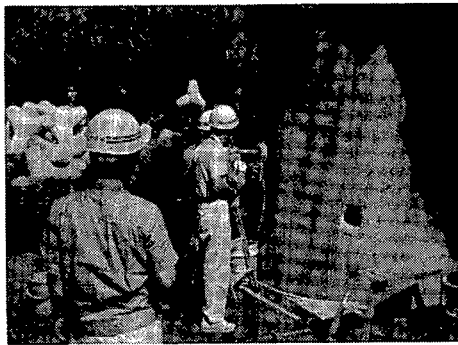


写真-4.1 小径コア採取状況

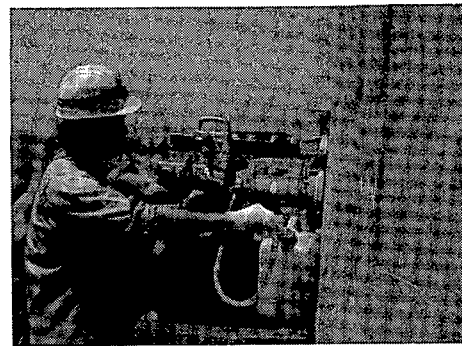


写真-4.2 標準コア採取

(2) 調査位置

図-4.1 に、コア採取位置を示す。採取位置は、橋脚側面の A 面および B 面の 2 箇所である。

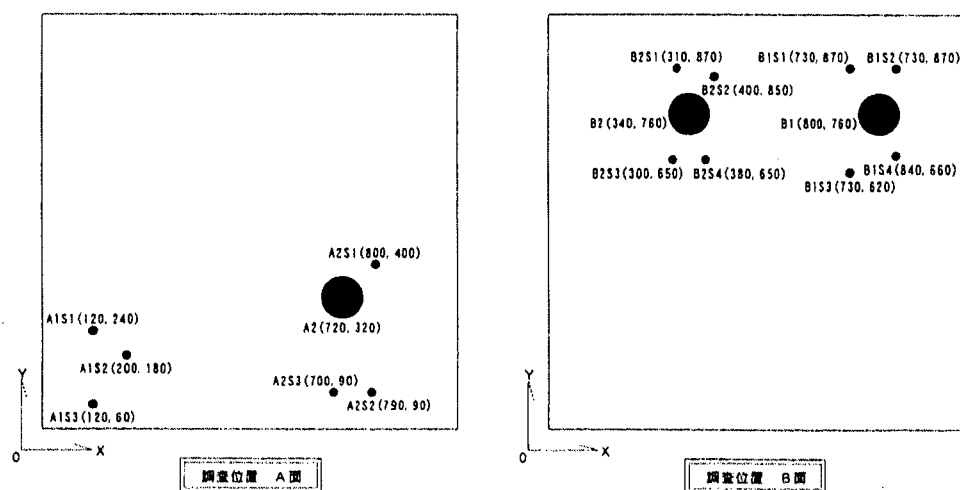


図-4.1 コア調査位置図

(3) 圧縮強度

①小径コア

直径 21.5mm および 25.0mm の 2 種類の小径コアを、長さ 120～150mm の長さで抜き取った。

抜き取った小径コアを $h/d=2$ となるように切断し、両端面を硫黄キャッピングして、圧縮試験に供した。供試体は、1 本のコアにつき表面側と内部側の 2 本作製した。小径コアから供試体を切り出す際には、骨材のゆるみ・はがれや大きな気泡を避け、また、同時に中央部分に大きな骨材が無いよう注意して整形した。

圧縮試験時の载荷方法は荷重制御とし、载荷速度は [JIS 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法] に準じて $0.25\text{N/mm}^2/\text{s}$ とした。

なお、小径コアの採取、圧縮強度試験および試験値の評価は、「(財) 日本建築センター・(財) 建築保全センター：技術審査証明第 0005 号、既存構造物のコンクリート強度調査法『ソフトコアリング』」における調査マニュアルに準じて行った。

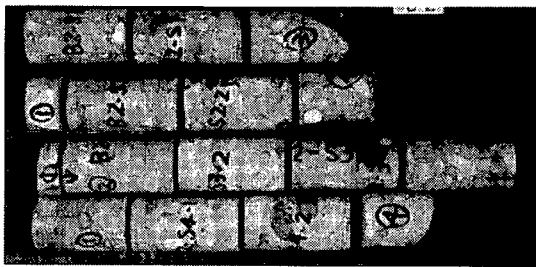


写真-4.3 小径コア切断状況

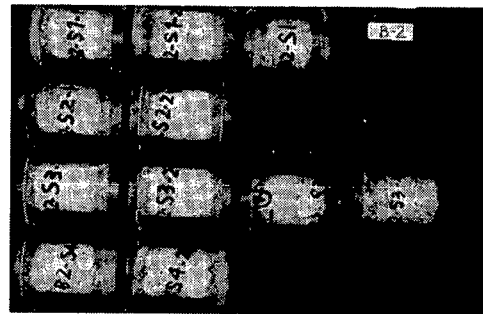


写真-4.4 小径コアキャッピング

② $\phi 100 \times 200\text{mm}$ コア

小径コアによる強度試験値の比較用として直径 100mm のコアを A 面、B 面より各 2 本、計 4 本採取した。ただし、A 面の 1 本は、抜き取り中鉄筋にあたって折れ、 $h/d=1$ 以上の圧縮強度試験用供試体が成型できなかったため、試験には供さなかった。

圧縮強度試験は [JIS 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法] に準じて行った。

(4) コンクリートの中酸化深さ

圧縮強度試験用に採取した小径コアおよび $\phi 100\text{mm}$ コアを、現場において水洗いし、乾燥させた後に、コアの側面についてフェノールフタレイン法により中酸化深さを測定した。

4.2 試験結果

(1) 圧縮強度試験

表-4.1 表-4.2 に、圧縮強度試験結果を示す。

表-4.3 に、圧縮強度試験結果の一覧を示す。

①直径 21.5mm コア

A 面より採取した $\phi 21.5\text{mm}$ の小径コア 3 本 (A1-S1, A1-S2, A1-S3) の強度は、それぞれ、40.1, 50.5, 52.4 N/mm^2 であり、平均で 47.7 N/mm^2 であった。

B面より採取した $\phi 21.5\text{mm}$ の小径コア4本(B1-S1, B1-S2, B1-S3, B1-S4)の強度は、それぞれ、49.0, 52.4, 58.4, 56.9 N/mm^2 であり、平均で53.2 N/mm^2 であった。

② 直径25mm コア

A面より採取した $\phi 25.0\text{mm}$ の小径コア3本(A2-S1, A2-S2, A2-S3)の強度は、それぞれ、64.4, 72.0, 60.6 N/mm^2 であり、平均で65.7 N/mm^2 であった。

B面より採取した $\phi 25.0\text{mm}$ の小径コア4本(B2-S1, B2-S2, B2-S3, B2-S4)の強度は、それぞれ、60.7, 60.1, 60.0, 68.5 N/mm^2 であり、平均で62.3 N/mm^2 であった。

③ 直径100mm コア

A面より採取した $\phi 100 \times 200\text{mm}$ コア(A2)の圧縮強度は、57.2 N/mm^2 であった。

B面より採取した $\phi 100 \times 200\text{mm}$ コア(B1)の圧縮強度は、51.2 N/mm^2 であった。

B面より採取した $\phi 100 \times 200\text{mm}$ コア(B2)の圧縮強度は、48.2 N/mm^2 であった。

直径100mm コアの3本の平均値は、52.8 N/mm^2 であった。

④ 小径コアと直径100mm コアの強度比較

採取位置が近接している $\phi 21.5\text{mm}$ の小径コア4本(B1-S1, B1-S2, B1-S3, B1-S4)の平均値と直径100mm コア(B1)の強度を比較すると、小径コアの方が大きいとその差は2.3 N/mm^2 と小さかった。

おなじく、A面で採取した $\phi 25.0\text{mm}$ の小径コア3本(A2-S1, A2-S2, A2-S3)の平均値と直径100mm コア(A2)の強度を比較すると、小径コアの方が8.4 N/mm^2 大きく、B面で採取した小径コア4本(B2-S1, B2-S2, B2-S3, B2-S4)の平均値と直径100mm コア(B2)の強度を比較すると、小径コアの方が14.2 N/mm^2 大きかった。

以上のように、直径21.5mmの小径コア強度は、直径 $100 \times 200\text{mm}$ の強度とほぼ同程度であったが、直径25.0mmの小径コア強度は、直径 $100 \times 200\text{mm}$ の強度より15%~29%大きかった。

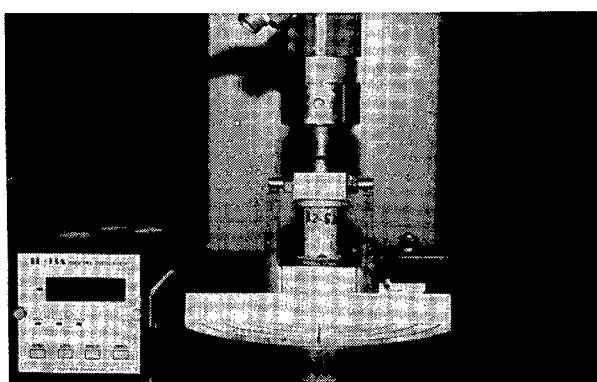


写真-4.5 小径コア圧縮試験状況



写真-4.6 小径コア圧縮試験後の状況

表-4.1 圧縮強度試験結果 (小径コア)

供試体 No.	直径① (mm)	直径② (mm)	平均 (mm)	断面積 (mm ²)	キャッピング後			h/d	最大 荷重 (N)	圧縮 強度 (N/mm ²)	補正後 圧縮強 度 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	備考
					高さ① (mm)	高さ② (mm)	平均 (mm)						
A1-S1-1	21.61	21.61	21.6	366.4	42.94	42.94	42.9	1.986	13800	37.7	35.7	40.1	
A1-S1-2	21.59	21.60	21.6	366.4	43.39	43.30	43.3	2.005	17000	46.4	44.5		
A1-S2-1	21.53	21.58	21.6	366.4	43.19	43.15	43.2	2.000	22200	60.6	58.7	50.5	
A1-S2-2	21.57	21.58	21.6	366.4	43.01	43.06	43.0	1.991	16200	44.2	42.3		
A1-S3-1	21.55	21.57	21.6	366.4	43.10	42.97	43.0	1.991	19400	52.9	51.0	52.4	
A1-S3-2	21.57	21.57	21.6	366.4	43.19	43.18	43.2	2.000	20400	55.7	53.8		
A2-S1-1	25.05	25.08	25.1	494.8	50.01	50.02	50.0	1.992	34500	69.7	68.8	64.4	
A2-S1-2	25.08	25.08	25.1	494.8	50.80	50.84	50.8	2.024	30100	60.8	60.0		
A2-S2-1	25.06	25.06	25.1	494.8	50.06	50.20	50.1	1.996	36000	72.8	71.9	72.0	
A2-S2-2	25.07	25.09	25.1	494.8	50.18	50.22	50.2	2.000	36100	73.0	72.1		
A2-S3-1	25.07	25.06	25.1	494.8	50.00	49.96	50.0	1.992	31900	64.5	63.6	60.6	
A2-S3-2	25.05	25.07	25.1	494.8	49.78	49.77	49.8	1.984	29000	58.6	57.6		
B1-S1-1	21.57	21.59	21.6	366.4	42.60	42.61	42.6	1.972	16400	44.8	42.8	49.0	
B1-S1-2	21.57	21.54	21.6	366.4	42.89	43.02	43.0	1.991	20900	57.0	55.1		
B1-S2-1	21.61	21.59	21.6	366.4	43.12	43.10	43.1	1.995	20700	56.5	54.6	52.4	
B1-S2-2	21.55	21.60	21.6	366.4	42.92	42.79	42.9	1.986	19100	52.1	50.1		
B1-S3-1	21.59	21.59	21.6	366.4	42.66	42.62	42.6	1.972	21000	57.3	55.3	58.4	
B1-S3-2	21.56	21.57	21.6	366.4	42.49	42.49	42.5	1.968	23300	63.6	61.5		
B1-S4-1	21.57	21.60	21.6	366.4	43.31	43.15	43.2	2.000	23700	64.7	62.8	56.9	
B1-S4-2	21.58	21.59	21.6	366.4	42.90	43.07	43.0	1.991	19400	52.9	51.0		
B2-S1-1	25.07	25.07	25.1	494.8	45.56	45.54	45.6	1.817	34600	69.9	67.9	60.7	
B2-S1-2	25.05	25.08	25.1	494.8	50.06	50.08	50.1	1.996	26900	54.4	53.5		
B2-S2-1	25.04	25.06	25.1	494.8	50.27	50.32	50.3	2.004	30200	61.0	60.1	60.1	
B2-S2-2	25.06	25.08	25.1	494.8	49.97	49.85	49.9	1.988	39100	79.0	—		大きな骨材あり (棄却)
B2-S3-1	25.00	25.01	25.0	490.9	50.17	50.28	50.2	2.008	31900	65.0	64.1	60.0	
B2-S3-2	25.03	25.01	25.0	490.9	49.67	49.59	49.6	1.984	27900	56.8	55.8		
B2-S4-1	24.99	25.00	25.0	490.9	49.94	49.97	50.0	2.000	32700	66.6	65.7	68.5	
B2-S4-2	25.00	25.01	25.0	490.9	50.03	50.14	50.1	2.004	35400	72.1	71.2		

表-4.2 圧縮強度試験結果 (φ100mm コア)

供試体 No.	直径① (mm)	直径② (mm)	平均 (mm)	断面積 (mm ²)	研磨後			h/d	最大 荷重 (N)	圧縮 強度 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	密度 (g/cm ³)	備考
					高さ① (mm)	高さ② (mm)	平均 (mm)						
A2	99.61	99.78	99.7	7807	197.87	198.01	197.9	1.985	447000	57.3	52.8	2.30	
	99.80	99.70			—	—							
	99.71	99.73			—	—							
B1	99.69	99.63	99.7	7807	197.92	198.23	198.1	1.987	400000	51.2		2.35	
	99.78	99.81			—	—							
	99.75	99.81			—	—							
B2	99.73	99.75	99.7	7807	197.21	197.64	197.4	1.980	376500	48.2		2.37	
	99.72	99.69			—	—							
	99.75	99.71			—	—							

表-4.3 圧縮強度試験結果の一覧

供試体 No.	供試体 採取位置	直径 (mm)	圧縮 強度 (N/mm ²)	補正後 圧縮強度 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	φ 100mm 強度 (N/mm ²)				
A1-S1-1	A 面	21.6	37.7	35.7	40.1	47.7	8.4	51.4	—				
A1-S1-2		21.6	46.4	44.5									
A1-S2-1	A 面	21.6	60.6	58.7	50.5					53.2	6.3	64.0	51.2
A1-S2-2		21.6	44.2	42.3									
A1-S3-1	A 面	21.6	52.9	51.0	52.4								
A1-S3-2		21.6	55.7	53.8									
B1-S1-1	B 面	21.6	44.8	42.8	49.0								
B1-S1-2		21.6	57.0	55.1									
B1-S2-1	B 面	21.6	56.5	54.6	52.4								
B1-S2-2		21.6	52.1	50.1									
B1-S3-1	B 面	21.6	57.3	55.3	58.4								
B1-S3-2		21.6	63.6	61.5									
B1-S4-1	B 面	21.6	64.7	62.8	56.9								
B1-S4-2		21.6	52.9	51.0									
A2-S1-1	A 面	25.1	69.7	68.8	64.4	65.7	6.2	64.0	57.3				
A2-S1-2		25.1	60.8	60.0									
A2-S2-1	A 面	25.1	72.8	71.9	72.0								
A2-S2-2		25.1	73.0	72.1									
A2-S3-1	A 面	25.1	64.5	63.6	60.6								
A2-S3-2		25.1	58.6	57.6									
B2-S1-1	B 面	25.1	69.9	67.9	60.7	62.3	5.9	48.2					
B2-S1-2		25.1	54.4	53.5									
B2-S2-1	B 面	25.1	61.0	60.1	60.1								
B2-S2-2		25.1	79.0	—									
B2-S3-1	B 面	25.0	65.0	64.1	60.0								
B2-S3-2		25.0	56.8	55.8									
B2-S4-1	B 面	25.0	66.6	65.7	68.5								
B2-S4-2		25.0	72.1	71.2									

⑤ 表面側と内部側の比較

表-4.4 に、深さごとの圧縮強度を示す。

当該橋脚は波打ち際にあることから、海水により長期的に養生され、表面部の強度が内部より大きいことも考えられる。そこで、小径コア強度について、表面側と内部側に層別して平均値を比較した。

表-4.3 からわかるように、直径 21.5mm コアについては明らかでないが、直径 25.0mm の場合は、表面側が内部側より強度が大きい傾向にある。

(2) コンクリートの中性化深さ

コンクリートコアの側面ではコンクリートの中性化は認められなかった。確認のため、橋脚表面をはつて中性化深さ試験を行ったが、この場合もまったく中性化は認められなかった。

表-4.4 深さごとの圧縮強度（小径コア）

供試体 No.	供試体 採取位置	直径 (mm)	圧縮 強度 (N/mm ²)	補正後 圧縮強度 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	φ100mm 強度 (N/mm ²)
A1-S1-1	A 面表面側	21.6	37.7	35.7	48.5	11.7	47.7	8.4	—
A1-S2-1	A 面表面側	21.6	60.6	58.7					
A1-S3-1	A 面表面側	21.6	52.9	51.0					
A1-S1-2	A 面内部側	21.6	46.4	44.5	46.9	6.1			
A1-S2-2	A 面内部側	21.6	44.2	42.3					
A1-S3-2	A 面内部側	21.6	55.7	53.8					
B1-S1-1	B 面表面側	21.6	44.8	42.8	53.9	7.0	53.5	6.6	51.2
B1-S2-1	B 面表面側	21.6	56.5	54.6					
B1-S3-1	B 面表面側	21.6	57.3	55.3					
B1-S4-1	B 面表面側	21.6	64.7	62.8					
B1-S1-2	B 面内部側	21.6	57.0	55.1	54.4	5.7			
B1-S2-2	B 面内部側	21.6	52.1	50.1					
B1-S3-2	B 面内部側	21.6	63.6	61.5					
B1-S4-2	B 面内部側	21.6	52.9	51.0					
A2-S1-1	A 面表面側	25.1	69.7	68.8	68.1	4.2	65.7	6.2	57.2
A2-S2-1	A 面表面側	25.1	72.8	71.9					
A2-S3-1	A 面表面側	25.1	64.5	63.6					
A2-S1-2	A 面内部側	25.1	60.8	60.0	63.2	7.8			
A2-S2-2	A 面内部側	25.1	73.0	72.1					
A2-S3-2	A 面内部側	25.1	58.6	57.6					
B2-S1-1	B 面表面側	25.1	69.9	67.9	64.5	3.9	62.3	5.7	48.2
B2-S2-1	B 面表面側	25.1	61.0	60.1					
B2-S3-1	B 面表面側	25.0	65.0	64.1					
B2-S4-1	B 面表面側	25.0	66.6	65.7					
B2-S1-2	B 面内部側	25.1	54.4	53.5	60.2	1.6			
B2-S2-2	B 面内部側	25.1	79.0	—					
B2-S3-2	B 面内部側	25.0	56.8	55.8					
B2-S4-2	B 面内部側	25.0	72.1	71.2					

4.3 考察

国道7号線旧暮坪陸橋について行った小径コアによる圧縮強度および中性化深さの試験結果は以下のとおりである。

- ①直径100×200mmの標準コアによる圧縮強度は、57.2, 51.2, 48.2N/mm²であり、平均で52.8N/mm²であった。
- ②直径21.5mmの小径コア強度は、40.1～58.4N/mm²の範囲にあり、平均で51.4N/mm²であった。
- ③直径25.0mmの小径コア強度は、53.5～72.1N/mm²の範囲にあり、平均で64.0N/mm²であった。
- ④直径21.5mmの小径コア強度は、直径100×200mmの標準コア強度とほぼ同程度であったが、直径25.0mmの小径コア強度は、標準コア強度より15～30%程度大きかった。
- ⑤直径25.0mmの小径コアでは、表面側の強度の方が内部側の強度より大きい傾向にあった。
- ⑥中性化は認められなかった。

5. ドリル試料を用いた塩分量測定

5.1 調査の概要

(1) 検討の目的

実構造物のコンクリート中に含まれる塩分量の分析にあたっては、日本コンクリート工学協会規準「硬化コンクリート中に含まれる塩分分析用コア試料の採取方法」(JCI-SC8) および「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」(JCI-SC4) に従って、試料の採取・分析が行われることが多い。これらの試験方法は、塩分量の詳細な分析としては優れているが、試料の採取や調整・分析に手間がかかることや、コア抜きによる構造物への影響を考慮すると、数多くの試験を行うことは難しい。

そこで、現地で簡易に概略の塩分量を測定する手法として、ドリル粉末を分析試料とし、フレッシュコンクリート用の塩分測定計を用いて、硬化コンクリート中の塩分量を測定する手法について検討した。

(2) 測定用試験紙

測定用の試験紙としフレッシュコンクリート中の塩分量測定計 (O社カンタブ) を使用した。この測定計は、塩分分析のモール法に基づいてフレッシュコンクリート中の塩分量を測定する試験紙で、塩化物イオンの濃度に対応して茶褐色の試薬が白色に変色することを利用している。

(3) 測定方法

- ①試料の採取：コンクリート表面からコンクリートドリルを使用して削孔し、2 cmごとに10cmの深さまでコンクリート粉末を採取した。一箇所から採取できるコンクリート粉末は少量であるので、隣接する十箇所程度から採取し一試料とした。
- ②試料の計量：表面からの深さごとに採取したコンクリート粉末から10gを量り取り、ポリ容器に入れる。
- ③塩分の抽出：抽出する溶液には20℃または90℃の水道水を用いた。10gの水道水をコンクリート粉末に加え、約5分間よくかき混ぜ10分間静置した。90℃の温水で抽出した場合には、約5分間よくかき混ぜた後、常温(20℃)になるまで静置した。
- ④塩化物イオン濃度の測定：所定の時間静置した試料に、塩分量測定計を差込み、試薬が白色に変化した目盛りを読んだ。読みとった目盛りを塩分量測定計に添付されている換算表を用いて、塩化物イオン濃度(%)に換算した。一試料に対し、3本の塩分量測定計を使用し、その平均値をとった。
- ⑤塩化物イオン量への換算：読みとった塩化物イオン濃度(%)にコンクリートの単位容積質量を掛け、コンクリート1 m³あたりの塩化物イオン量(kg/m³)に換算した。

5.2 試験結果

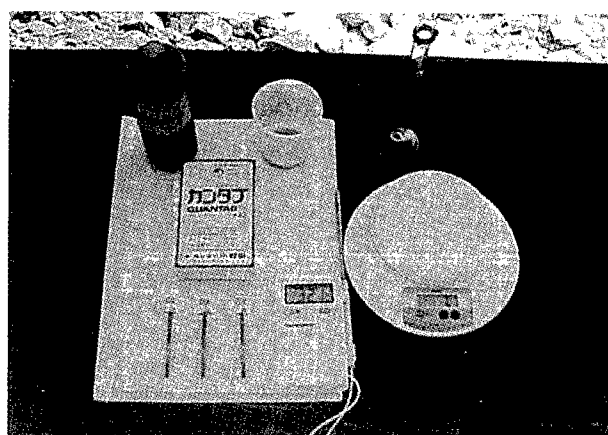
旧暮坪陸橋では、海側を除く3面から試料を採取し、塩分量を測定した（図－5.2.1）。また、A面については、コアを採取して粉砕した試料（「6. はつり調査」で述べる塩分量測定に用いたものと同一の試料）を用いた場合についても、塩分量測定計による簡易な測定を行った。その結果、

- ①ドリル粉を採取した場所で塩分量に差が見られた。
- ②コンクリート表面から深くなるにつれて塩分量が少なくなるのが確認された。
- ③抽出温度 90℃の方が、20℃の場合よりも塩分量が多く測定された。
- ④ドリル粉末を用いた場合は、コアから作成された試料よりも塩分量が少なく測定された。ドリル微粉末の方が粗いため抽出される塩分が少なくなったものと考えられる。

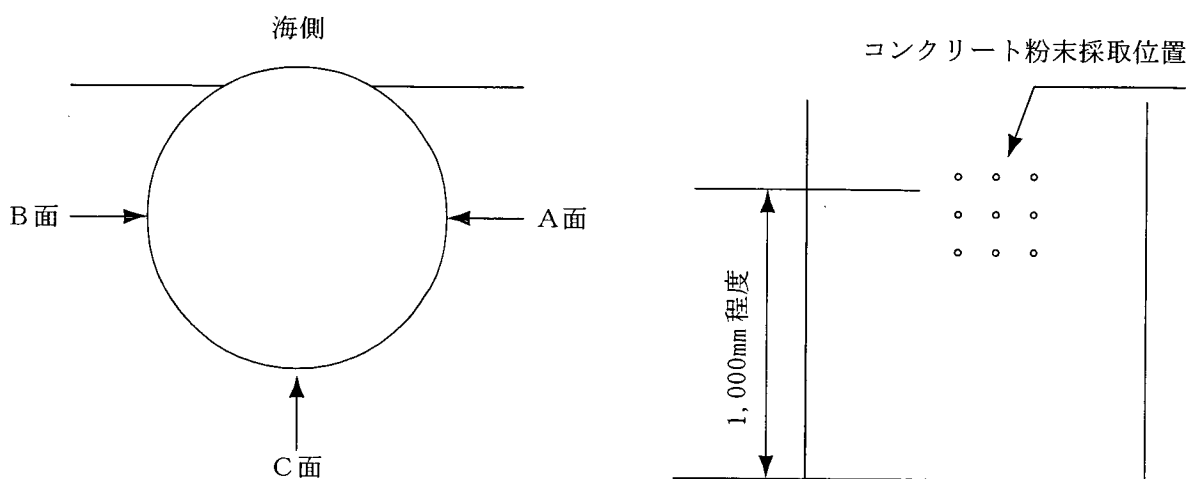
今後も同種の試験を行ない、データを蓄積することで、本手法で得られる可溶性塩分量と日本コンクリート工学協会規準による全塩分量の関係を把握することができ、本手法を現場での簡易な塩分量分析方法として用い、詳細な分析の必要性を検討することが可能になるものと考ええる。



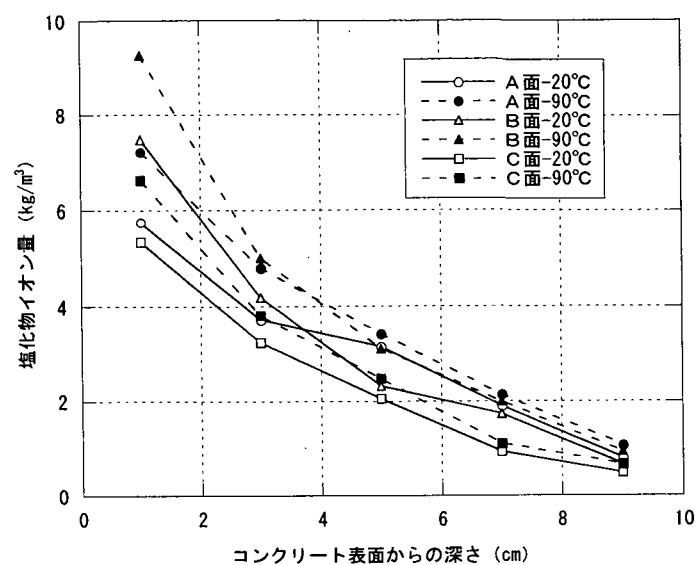
写真－5.2.1 試料の採取状況



写真－5.2.2 塩分濃度測定に用いた器具

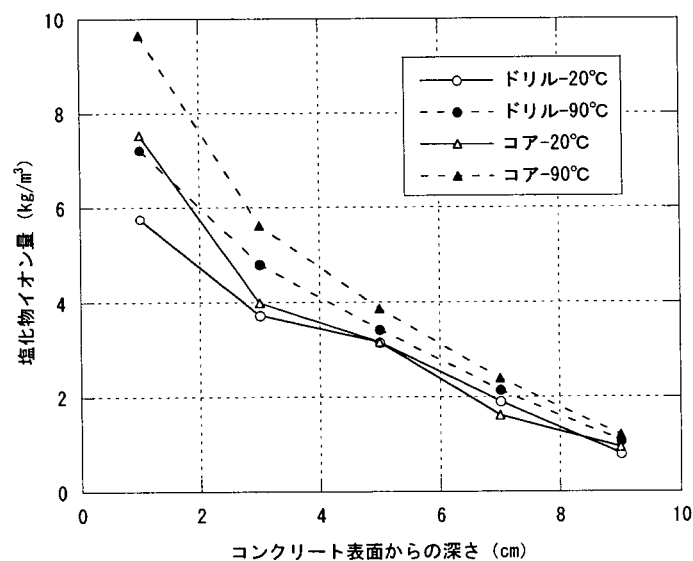


図－5.2.1 試料の採取位置（旧暮坪陸橋 P 3 橋脚）



試料採取位置	抽出水の温度(°C)	コンクリート表面からの深さ(cm)				
		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10
A	20	5.75	3.73	3.15	1.91	0.80
A	90	7.22	4.81	3.42	2.14	1.07
B	20	7.48	4.19	2.32	1.74	0.67
B	90	9.26	5.01	3.11	2.00	0.94
C	20	5.35	3.24	2.05	0.94	0.48
C	90	6.64	3.81	2.48	1.10	0.67

図ー 5. 2. 2 コンクリート表面からの深さと塩化物イオン量（旧暮坪陸橋）



試料採取方法	抽出水の温度(°C)	コンクリート表面からの深さ(cm)				
		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10
ドリル	20	5.75	3.73	3.15	1.91	0.8
ドリル	90	7.22	4.81	3.42	2.14	1.07
コア	20	7.54	3.99	3.15	1.61	0.94
コア	90	9.65	5.62	3.86	2.39	1.19

図ー 5. 2. 3 試料採取方法の違いによる比較（旧暮坪陸橋）

表-5.2.1 旧暮坪陸橋P3橋脚における簡易塩分量測定結果一覧

試料採取箇所	抽出水の温度(°C)	試料採取深さ(cm)														
		0 ~ 2			2 ~ 4			4 ~ 6			6 ~ 8			8 ~ 10		
		かたがひの読値	塩素イオン濃度(%)	塩化物イオン量(kg/m³)	かたがひの読値	塩素イオン濃度(%)	塩化物イオン量(kg/m³)	かたがひの読値	塩素イオン濃度(%)	塩化物イオン量(kg/m³)	かたがひの読値	塩素イオン濃度(%)	塩化物イオン量(kg/m³)	かたがひの読値	塩素イオン濃度(%)	塩化物イオン量(kg/m³)
A面	20	5.2	0.25	5.75	4.2	0.162	3.73	3.7	0.133	3.06	2.8	0.081	1.86	1.8	0.036	0.83
		5.2	0.25	5.75	4.2	0.162	3.73	3.8	0.139	3.20	2.9	0.087	2.00	1.8	0.036	0.83
		5.2	0.25	5.75	4.2	0.162	3.73	3.8	0.139	3.20	2.8	0.081	1.86	1.7	0.032	0.74
		平均値	0.25	5.75	平均値	0.162	3.73	平均値	0.137	3.15	平均値	0.083	1.91	平均値	0.035	0.80
	90	5.8	0.303	6.97	4.5	0.188	4.32	3.9	0.145	3.34	3.0	0.093	2.14	2.2	0.053	1.22
		6.0	0.328	7.54	4.7	0.206	4.74	4.2	0.162	3.73	3.0	0.093	2.14	2.0	0.045	1.04
		5.9	0.311	7.15	5.0	0.233	5.36	3.8	0.139	3.20	3.0	0.093	2.14	1.9	0.041	0.94
		平均値	0.314	7.22	平均値	0.209	4.81	平均値	0.149	3.42	平均値	0.093	2.14	平均値	0.046	1.07
	コア	5.9	0.311	7.15	4.3	0.171	3.93	3.8	0.139	3.20	2.6	0.07	1.61	1.8	0.036	0.83
		6.2	0.362	8.33	4.3	0.171	3.93	3.7	0.133	3.06	2.6	0.070	1.61	1.9	0.041	0.94
		5.9	0.311	7.15	4.4	0.179	4.12	3.8	0.139	3.20	2.6	0.07	1.61	2.0	0.045	1.04
		平均値	0.328	7.54	平均値	0.174	3.99	平均値	0.137	3.15	平均値	0.070	1.61	平均値	0.041	0.94
B面	20	6.5	0.414	9.52	5.0	0.233	5.36	4.2	0.162	3.73	3.2	0.104	2.39	2.2	0.053	1.22
		6.6	0.431	9.91	5.1	0.241	5.54	4.3	0.171	3.93	3.2	0.104	2.39	2.2	0.053	1.22
		6.5	0.414	9.52	5.3	0.259	5.96	4.3	0.171	3.93	3.2	0.104	2.39	2.1	0.049	1.13
		平均値	0.420	9.65	平均値	0.244	5.62	平均値	0.168	3.86	平均値	0.104	2.39	平均値	0.052	1.19
	90	6.0	0.328	7.54	4.5	0.188	4.32	3.1	0.099	2.28	2.8	0.081	1.86	1.6	0.028	0.64
		6.1	0.345	7.94	4.4	0.179	4.12	3.1	0.099	2.28	2.6	0.07	1.61	1.7	0.032	0.74
		5.8	0.303	6.97	4.4	0.179	4.12	3.2	0.104	2.39	2.7	0.076	1.75	1.6	0.028	0.64
		平均値	0.325	7.48	平均値	0.182	4.19	平均値	0.101	2.32	平均値	0.076	1.74	平均値	0.029	0.67
	コア	6.4	0.397	9.13	4.9	0.224	5.15	3.6	0.127	2.92	2.8	0.081	1.86	1.8	0.036	0.83
		6.5	0.414	9.52	4.8	0.215	4.95	3.8	0.139	3.20	3.0	0.093	2.14	2.0	0.045	1.04
		6.4	0.397	9.13	4.8	0.215	4.95	3.8	0.139	3.20	2.9	0.087	2.00	1.9	0.041	0.94
		平均値	0.403	9.26	平均値	0.218	5.01	平均値	0.135	3.11	平均値	0.087	2.00	平均値	0.041	0.94
C面	20	4.9	0.224	5.15	3.8	0.139	3.20	2.9	0.087	2.00	1.9	0.041	0.94	1.4	0.019	0.44
		5.0	0.233	5.36	3.8	0.139	3.20	2.9	0.087	2.00	1.8	0.036	0.83	1.5	0.024	0.55
		5.1	0.241	5.54	3.9	0.145	3.34	3.0	0.093	2.14	2.0	0.045	1.04	1.4	0.019	0.44
		平均値	0.233	5.35	平均値	0.141	3.24	平均値	0.089	2.05	平均値	0.041	0.94	平均値	0.021	0.48
	90	5.8	0.303	6.97	4.2	0.162	3.73	3.4	0.116	2.67	2.2	0.053	1.22	1.6	0.028	0.64
		5.5	0.277	6.37	4.1	0.156	3.59	3.2	0.104	2.39	2.0	0.045	1.04	1.7	0.032	0.74
		5.6	0.286	6.58	4.4	0.179	4.12	3.2	0.104	2.39	2.0	0.045	1.04	1.6	0.028	0.64
		平均値	0.289	6.64	平均値	0.166	3.81	平均値	0.108	2.48	平均値	0.048	1.10	平均値	0.029	0.67

【備考】

- 1) 塩化物イオン量は、塩素イオン濃度にコンクリートの単位容積質量を掛けて得られた値。コンクリートの単位容積質量は2,300kg/m³とした。
- 2) A面コア試料は、土研にて全塩分測定用コンクリート粉末と同一試料。

6. コア採取およびはつりによる調査

6.1 コアの圧縮強度試験

(1) コアによる圧縮強度および静弾性係数試験方法

JIS A 1107-1993「コンクリートからのコア及びはりの切取り方法並びに強度試験方法」により、各調査箇所から直径75mmまたは100mm、長さ250mm程度のコアを1本採取し、その圧縮強度を試験すると同時に土木学会規準JSCE-G502-1999「コンクリートの静弾性係数試験方法」に規定する単調増加载荷により静弾性係数を試験した。なお、ひずみの測定は、コア試験体にひずみゲージを貼り付けて行った。

(2) 旧暮坪陸橋P3橋脚コアの試験結果

試験結果を、表－6.1.1に示す。暮坪陸橋P3橋脚コアの静弾性係数は、土木学会コンクリート標準示方書「設計編」に示される標準値の80%以下となっており、構造的な検討も必要と考えられる。

表－6.1.1 コアの圧縮強度試験結果

調査位置		コア No.	直径 (mm)	質量 (g)	高さ (mm) キャッピング		h/d 補正係数	最大 荷重 (kN)	圧縮 強度 (N/mm ²)	50 μ 強度 (N/mm ²)	1/3荷重 縦ひずみ (μ)	静弾性 係数 (kN/mm ²)
					前	後						
旧暮坪陸橋	A面	②	74.5	1493	147.8	148.8	1.000	248	56.9	1.40	752	25.1

6.2 コンクリート中の塩分量測定

(1)測定方法

各調査箇所から直径75mmまたは100mm、長さ250mm程度のコアを1本採取し、日本コンクリート工学協会規準「硬化コンクリート中に含まれる塩分分析方法」(JCI-SC4)に準じた塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法により、全塩化物イオン量を測定した。測定位置は、コア表面から1cm毎の深さ10cmまでを原則とし、鉄筋のかぶりが10cm以上ある場合は、かぶり位置の塩化物イオン量も測定した。試料は採取コアを乾式コンクリートカッターにより切断・採取した。

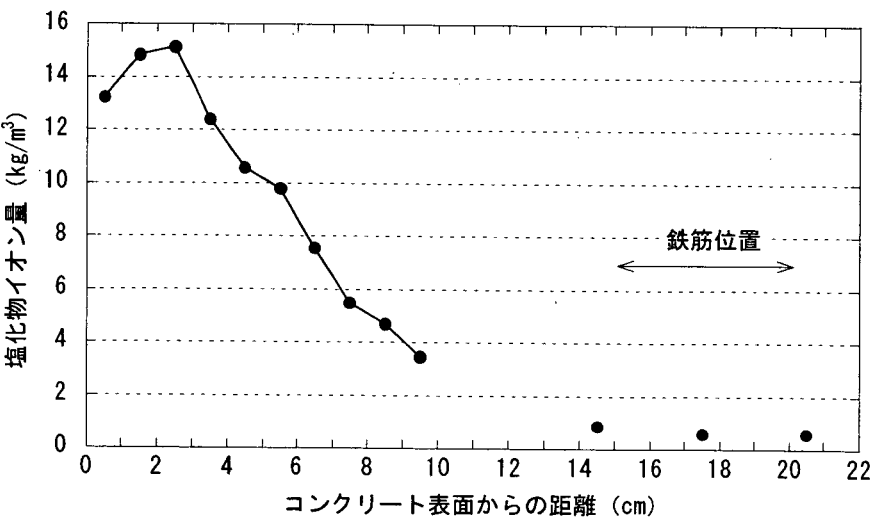
なお、塩分量測定の前に採取したコアの密度・吸水率試験を行った。

(2)旧暮坪陸橋P3橋脚での測定結果

採取コアを用いて測定した全塩化物イオン量の分析結果を図-6.2.1に示し、コンクリート構造物の健全度診断マニュアル(案)に基づいた損傷度の判定結果を表-6.2.2に示す。また、コアの密度・吸水率試験結果を表-6.2.3に示す。

全塩化物イオン量分析結果から、調査箇所における最大塩化物量は、表面から2～3cmの箇所で、15.15kg/m³であった。塩化物量は表面から10cmの深さまで濃度勾配が見られることから、外部から浸透した塩化物が浸透蓄積したと考えられ、その影響は10cmの深さまでも及んでいるものと推測される。

しかし、はつり調査の結果からわかった調査箇所での鋼材位置は、構造物表面から15～20cmと深く、鋼材位置周辺では鉄筋の腐食に結びつくほどの塩化物イオン濃度ではなく、健全度診断マニュアル(案)に基づいて判定すると損傷度Ⅲであった。



絶乾単位 容積質量 (kg/m³)	表面からの深さごとの全塩化物イオン量 (kg/m³)													
	0～1cm	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	10～14	14～15	17～18	20～21
2186	13.25	14.84	15.15	12.42	10.58	9.79	7.54	5.49	4.70	3.48	—	0.85	0.59	0.59

※太枠は、非破壊で探査された鉄筋のかぶり厚さの範囲を示す。

図-6.2.1 全塩化物イオン量の測定結果

表－6.2.2 全塩化物イオン量による損傷度の判定結果

調査位置		鉄筋位置における全塩化物量 (kg/m ³)	鉄筋位置 (かぶり厚さ) (mm)	損傷度
旧暮坪陸橋	A面	0.59～0.85	149～200	Ⅲ

※鉄筋位置は、電磁波法（Dk法）によって探査したかぶり厚さによる。

－健全度診断（案）マニュアルでの判定基準－
（鉄筋位置における塩化物量による損傷度の判定）

Ⅰ：Cl ≥ 2.5kg/m³

Ⅱ：2.5kg/m³ > Cl ≥ 1.2kg/m³

Ⅲ：1.2kg/m³ > Cl ≥ 0.3kg/m³

Ⅳ：0.3kg/m³ > Cl

表－6.2.3 コアの密度・吸水率試験結果

調査位置		コア No.	水中質量 (g)	表乾質量 (g)	絶乾質量 (g)	表乾単位 容積質量 (kg/m ³)	絶乾単位 容積質量 (kg/m ³)	吸水率 (%)
旧暮坪陸橋	A面	①	854.8	1485.0	1377.6	2356	2186	7.8

6.3 中性化深さ

(1) 測定方法

中性化深さの測定は、コア孔、採取コア、自然電位測定のためのはつり箇所および後述するはつり調査のはつり箇所において、フェノールフタレイン1%溶液をコンクリート面に噴霧し、コンクリート表面から赤紫色に発色した間の無発色域を中性化深さとして、スケールによりその距離を測定した。

(2) 旧暮坪陸橋P3橋脚での測定結果

コアによる中性化深さ測定結果およびコンクリート構造物の健全度診断マニュアル(案)に基づいた中性化深さによる損傷度の判定結果を表-6.3.1に示す。また、自然電位測定用のはつり箇所での鉄筋腐食度の判定結果を表-6.3.2に、はつり調査で測定した中性化深さを表-6.3.3に示す。

旧暮坪陸橋P3橋脚では、中性化はほとんど進んでおらず(損傷度はIV)、鉄筋のかぶりが大きいことも考えると中性化による鉄筋の腐食が生じている可能性はほとんどないと考えられる。

なお、自然電位測定用のはつり箇所の鉄筋腐食状況は、腐食度③(ごく表面的な腐食)であった。

表-6.3.1 コアの中性化深さ測定結果および損傷度の判定

調査箇所		コアNo.	中性化深さ (mm)						鉄筋のかぶり厚さ (電磁波法) (mm)	中性化による 損傷度
			測定値				平均値	部位平均		
旧暮坪陸橋	A面	① (コア表面)	4	0	0	1	2	1	149~200 平均 主筋: 189 配力筋: 172	IV
		② (コア表面)	0	1	0	0	0	0		

—健全度診断(案)マニュアルでの判定基準—

(中性化による損傷度の判定)

I : 中性化深さ $\geq$ かぶり

II : かぶり $>$ 中性化深さ $\geq$ かぶり / 2

ただし、かぶり $<$ 40mm

III : かぶり $>$ 中性化深さ $\geq$ かぶり / 2

ただし、かぶり $\geq$ 40mm

IV : かぶり / 2 $>$ 中性化深さ

表－6.3.2 自然電位測定用はつり箇所調査結果および中性化深さによる損傷度，鉄筋腐食の判定

調査箇所		中性化深さ (mm)					鉄筋のかぶり厚さ (実測値) (mm)	鉄筋の径 (mm)	中性化による 損傷度	鉄筋の 腐食度
		測定値				平均値				
旧暮坪陸橋	A面	－	－	－	－	－	主筋：－ 配力筋：109	主筋：－ 配力筋：－	－	③

※今回は，調査日程の関係から，自然電位測定用のはつりを行った日と測定者D k はつり調査を行った日が異なっていた。このため，自然電位測定用のはつり箇所では，中性化に関する試験を行わなかった。

－健全度診断（案）マニュアルでの判定基準－
（鉄筋の腐食状況に応じた鉄筋腐食度）

- ①：断面欠損が著しい腐食
- ②：浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
- ③：ごく表面的な腐食
- ④：腐食無し

表－6.3.3 はつり調査結果（中性化深さ）および損傷度の判定

調査箇所		中性化深さ (mm)						使用鉄筋		鉄筋の かぶり厚さ (mm)	中性化による 損傷度	
		測定値										平均値
旧暮坪陸橋	A面	0	0	0	0	0	0	0	主筋	D32	164～207	Ⅳ
		0	0	0	0	0	0					
		0	0	—	—	—	—					
		—	—	—	—	—	—					
	B面	0	0	0	0	0	0	0	主筋	D32	238～252	Ⅳ
		0	0	0	0	0	0					
		0	0	—	—	—	—					
		—	—	—	—	—	—					

6.4 はつり調査

(1) 調査方法

はつり調査は、自然電位測定範囲内で行った。はつり調査項目は以下のとおりである。なお、自然電位測定のためのはつり箇所についても同様の調査を行った。

①鉄筋の種類と径

はつり出した鉄筋の種類（異形鉄筋、丸鋼）を判定し、ノギスにより鉄筋径を測定した。

②鉄筋の腐食状況

はつり出した鉄筋の腐食状況を目視により判定した。

③かぶり深さ

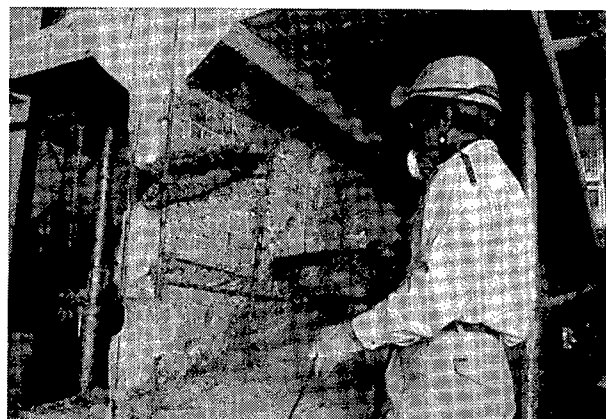
はつり出した鉄筋のかぶり厚さをスケールにより測定した。

④コンクリートの中性化深さ

測定方法・結果は前節 6.3 に示す。



写真－6.4.1 はつり調査状況 1/2



写真－6.4.2 はつり調査状況 2/2

(2) 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚調査結果

はつり調査は、自然電位測定範囲について行った。なお、暮坪陸橋については、自然電位測定範囲内の下半分について行った。

はつり調査による鉄筋の種類、径、配筋状態、かぶり厚さおよび腐食状況を図－6.4.1～図－6.4.2に示し、かぶり厚さとコンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）に基づいた鉄筋の腐食度の判定結果を表－6.4.1に示す。

鉄筋は、暮坪陸橋 P 3 橋脚の主筋に異形鉄筋が使用されていた。

鉄筋の実測かぶり厚さは、暮坪陸橋 P 3 橋脚 A 面が 145～207mm、同 B 面が 220～252mm の範囲にある。これら鉄筋のかぶり厚さは、土木学会コンクリート標準示方書「設計編」で規定する腐食性環境における最小かぶり（柱：60mm）の条件を満足している。

また、実測かぶり厚さは、電磁波法によった推定かぶり厚さと概ね一致していたが、主筋間隔は探查結果の方がやや大きかった。

鉄筋の腐食状況は、主筋、配力筋ともにごく表面的な腐食であったことから腐食度③と判定した。

鉄筋の腐食度と自然電位による鉄筋の損傷度（Dk 法）を比較すると、自然電位による損傷度は、鉄筋の腐食度と傾向的に一致しているが、適合性が良いとは言えず、その評価精度については更にデータの蓄積と検討が必要である。

表－6.4.1 はつり調査結果（鉄筋のかぶり厚さおよび腐食度の判定）

調査箇所		使用鉄筋		かぶり厚さ（mm）		鉄筋の腐食度	自然電位による鉄筋の損傷度
				実測値	電磁波法		
旧暮坪陸橋	A 面	主筋	D32	164～207	173～200	③	Ⅲ～Ⅳ (Ⅳが主体)
		配力筋	φ16	145～186	149～194	③	
	B 面	主筋	D32	238～252	—	③	—
		配力筋	φ16	220～239	—	③	

※自然電位による鉄筋の腐食度は、Dk 法による測定結果にもとづくもの

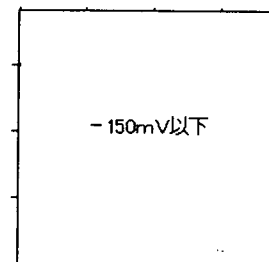
－健全度診断（案）マニュアルでの判定基準－
（鉄筋の腐食状況に応じた鉄筋腐食度）

- ①：断面欠損が著しい腐食
- ②：浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
- ③：ごく表面的な腐食
- ④：腐食無し

- - - : はつり範囲
 - - - : 自然電位測定
 - - - : 鉄筋探査範囲
 - - - : 鉄筋探査結果

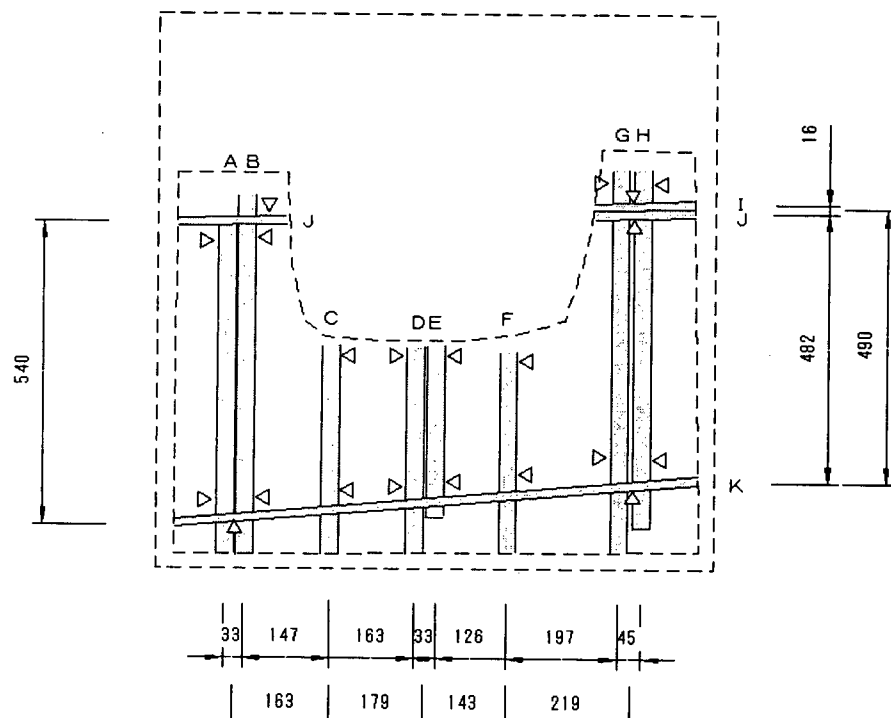


自然電位測定結果



(mV)

-150
 -250
 -350



鉄筋のかぶり厚さおよび鉄筋径

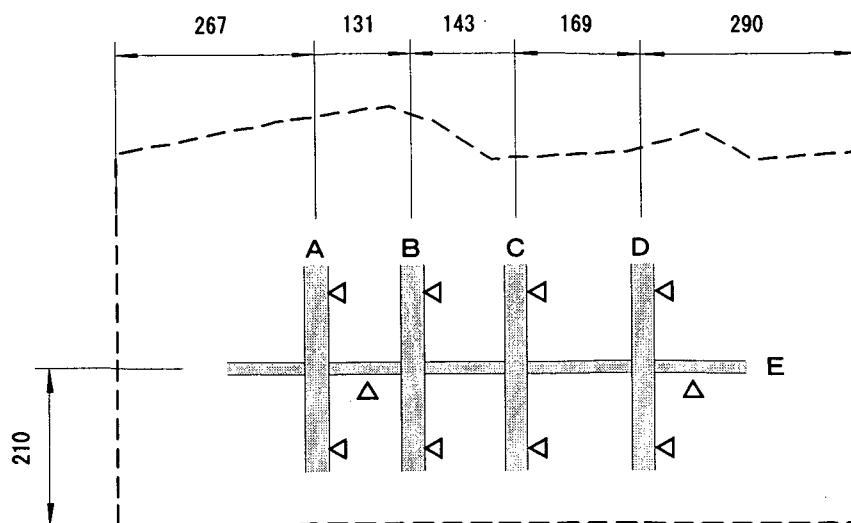
鉄筋	記号	かぶり厚さ(mm)		鉄筋径(mm)	
		上	下	上	下
主筋 (異形)	A	204	207	-	-
	B	199	202	-	-
	C	196	196	29.6	-
	D	183	184	30.2	-
	E	185	184	(33.9)	-
	F	179	177	30.3	-
	G	165	165	-	(35.1)
	H	165	164	-	-
配力筋 (丸鋼)		左	右	左	右
	I	149	15.4	-	-
	J	185	150	15.3	15.4
	K	186	145	15.3 × 15.3	15.3 × 15.4

注) 鉄筋径の()数字は、リブとリブの距離を示す。

凡例

■ : 腐食度① 断面欠損が著しい腐食
 ▨ : 腐食度② 浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
 ▩ : 腐食度③ こく表面的な腐食
 □ : 腐食度④ 腐食なし
 △ : かぶり厚さおよび鉄筋径測定箇所:

図-6.4.1 はつり調査結果 (旧暮坪陸橋P3橋脚A面)



凡例

	: 腐食度①	断面欠損が著しい腐食
	: 腐食度②	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
	: 腐食度③	ごく表面的な腐食
	: 腐食度④	腐食なし
Δ	: かぶり厚さおよび鉄筋径測定箇所:	

鉄筋のかぶり厚さおよび鉄筋径

鉄筋	記号	かぶり厚さ(mm)		鉄筋径(mm)	
		上	下	上	下
主筋 (異形)	A	238	240	30.2	—
	B	241	242	30.1	—
	C	251	251	30.1	—
	D	251	252	30.0	—
		左	右	左	右
配力筋 (丸鋼)	E	220	239	15.4 × 15.7	15.4 × 15.5

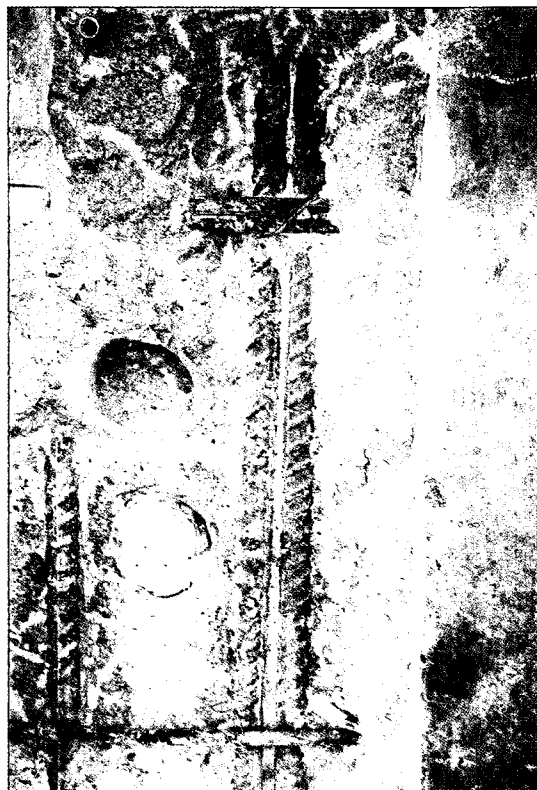
図-6.4.2 はつり調査結果 (旧暮坪陸橋 P 3 橋脚 B 面)



写真－ 6. 4. 1 A面はつり後状況（旧暮坪陸橋 P 3 橋脚）



写真－ 6. 4. 2 A面はつり後状況拡大（旧暮坪陸橋 P 3 橋脚）



写真－ 6. 4. 3 表面錆の状況－ A面調査箇所右端の鉄筋（旧暮坪陸橋 P 3 橋脚）



写真－ 6. 4. 4 B面はつり後状況拡大（旧暮坪陸橋 P 3 橋脚）

第Ⅲ部 旧芦川橋G 1 桁調査

1. コンクリートの品質に関する非破壊検査

1.1 反発度法によるコンクリート強度の推定

旧芦川橋G 1桁での、反発度の測定結果を表－1.1.1に、コンクリート強度の推定を行った結果を表－1.1.2に示す。反発度の測定方法や強度の推定方法等については、第Ⅱ部の記述を参照されたい。

表－1.1.1 反発度測定結果（旧芦川橋）

測定場所	測定者	測定点	測定値 平均	テストアン ビルによる 補正值	反発度
A面	C g	20	58	—	58
	D k	24	56	—	56
		25	60	—	60
	F b	20	57	—	57
	T e	25	56	—	56
B面	C g	20	54	—	54
	D k	23	60	—	60
		24	60	—	60
	F b	20	58	—	58
	T e	25	58	—	58

表－1.1.2 強度推定結果（旧芦川橋）

測定場所	測定者	反発度	推定圧縮強度 (N/mm ²)			推定圧縮強度 (N/mm ²) × 材齢係数 0.63			コア 圧縮強度 (N/mm ²)
			材料学会	建築学会	徳光ら	材料学会	建築学会	徳光ら	
A面	C g	58	55.9	51.3	81.7	35.2	32.3	51.4	59.5
	D k	56	53.3	49.9	77.5	33.6	31.4	48.8	
		60	58.4	52.7	85.8	36.8	33.2	54.1	
	F b	57	54.6	50.6	79.6	34.4	31.9	50.1	
	T e	56	53.3	49.9	77.5	33.6	31.4	48.8	
B面	C g	54	50.8	48.4	73.3	32.0	30.5	46.2	66.9
	D k	60	58.4	52.7	85.8	36.8	33.2	54.1	
		60	58.4	52.7	85.8	36.8	33.2	54.1	
	F b	58	55.9	51.3	81.7	35.2	32.3	51.4	
	T e	58	55.9	51.3	81.7	35.2	32.3	51.4	

1.2 コンクリートの電気抵抗測定

各方法とも、旧暮坪陸橋P3橋脚の調査と同様の方法で、コンクリートの比抵抗を測定した。

Dk法の測定結果を図-1.2.1、図-1.2.2に示す。

Fb法の測定結果を表-1.2.1に示す。

Nb法の測定結果を図-1.2.3に示す。

Tk法の測定結果を図-1.2.4に示す。

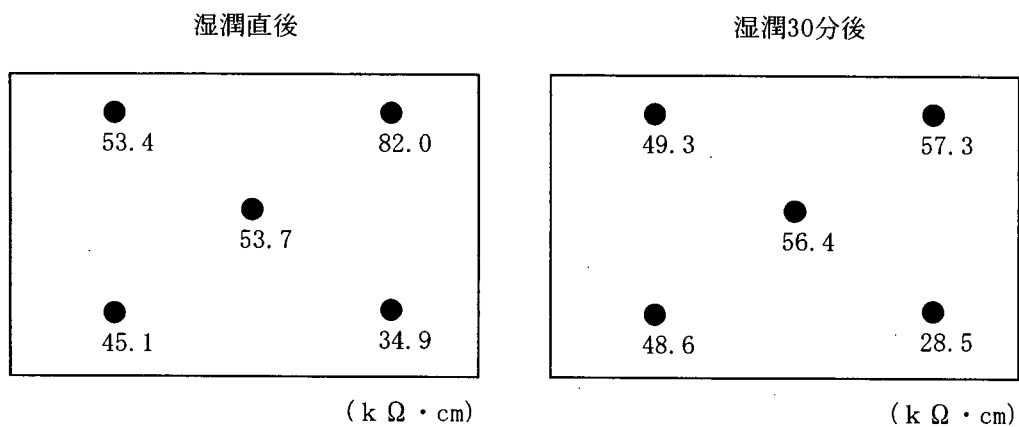


図-1.2.1 Dk法による比抵抗測定結果 (旧芦川橋A面)

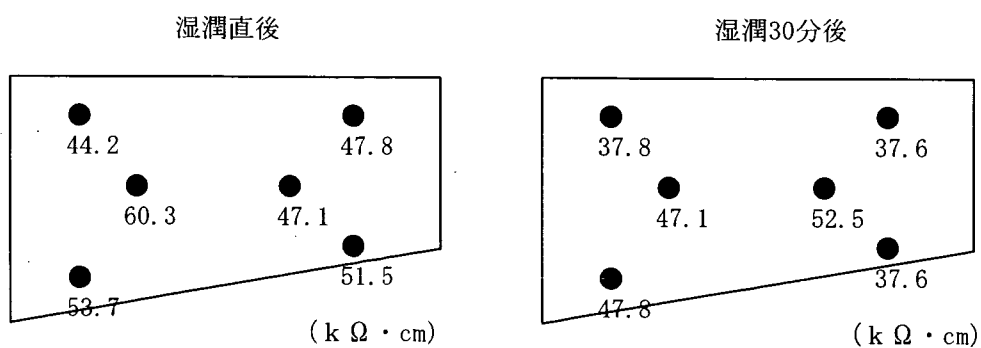
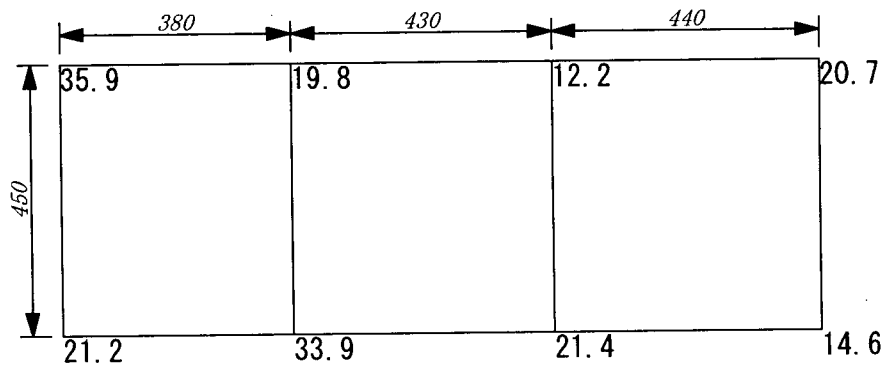


図-1.2.2 Dk法による比抵抗測定結果 (旧芦川橋B面)

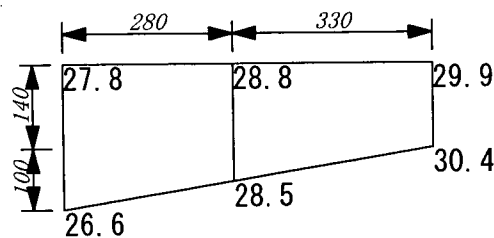
表－1.2.1 F b 法による比抵抗測定結果（旧芦川橋）

A 面	B 面
46 k Ω ・ cm	45 k Ω ・ cm

【A 面】



【B 面】



単位
比抵抗：k Ω ・ cm
寸法：mm

※鉄筋探査の結果に基づき、鉄筋交点の直上で測定した。

図－1.2.3 N b 法による比抵抗測定結果（旧芦川橋）

【A面】

(kΩ)

1.236	2.208	1.072	0.416	0.037	1.644
1.208	0.122	1.783	0.209	0.162	1.503
2.187	0.118	0.095	0.237	0.075	0.081

【B面】

(kΩ)

1.414	0.953	0.403	0.906	1.958
2.07	1.729	1.578	0.612	1.175

図-1.2.4 Tk法による電気抵抗測定結果 (旧芦川橋)

1.3 コンクリートの含水率測定

各方法とも、旧暮坪陸橋P3橋脚の調査と同様の方法で、コンクリートの含水率を測定した。

Dk法の測定結果を図-1.3.1、図-1.3.2に示す。

Te法の測定結果を図-1.3.3、図-1.3.4に示す。

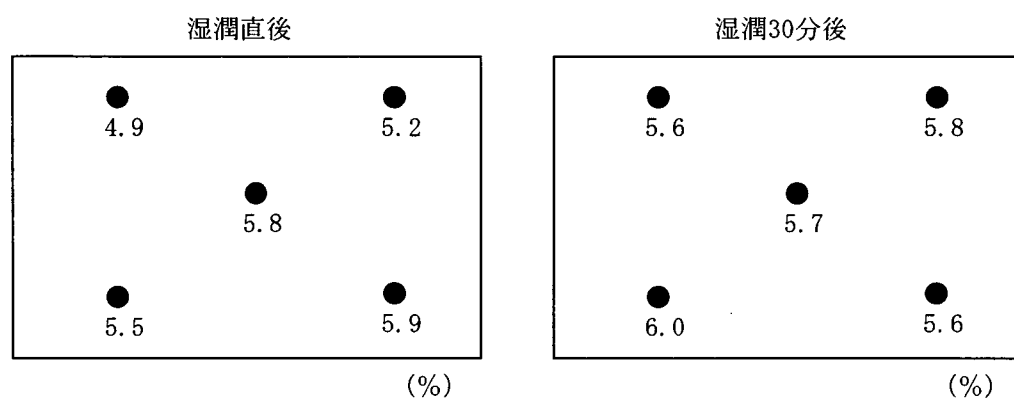


図-1.3.1 Dk法による含水率測定結果（旧芦川橋A面）

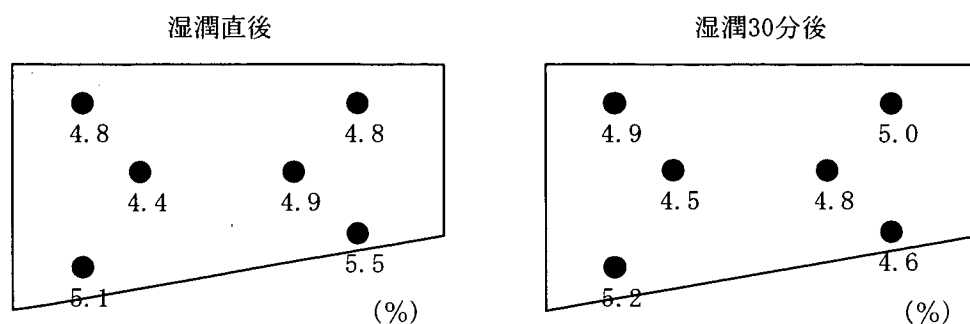
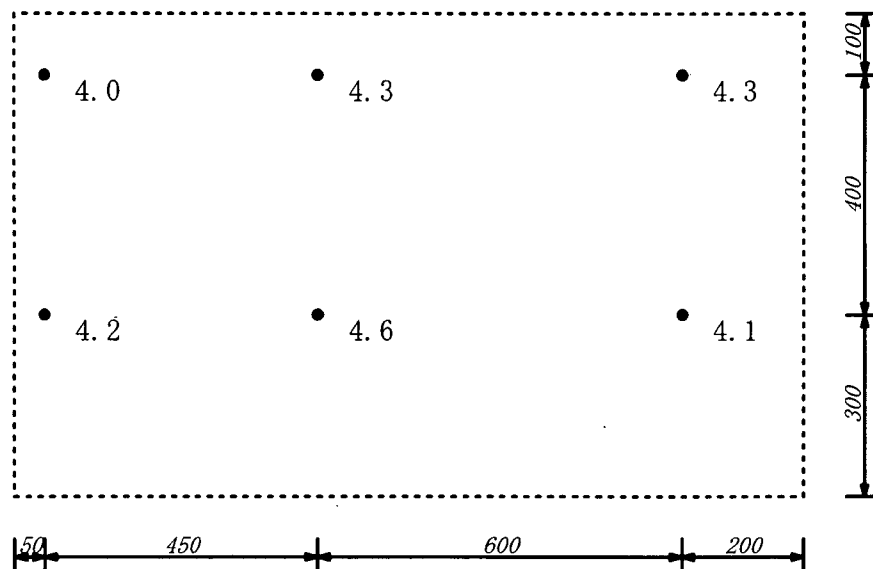
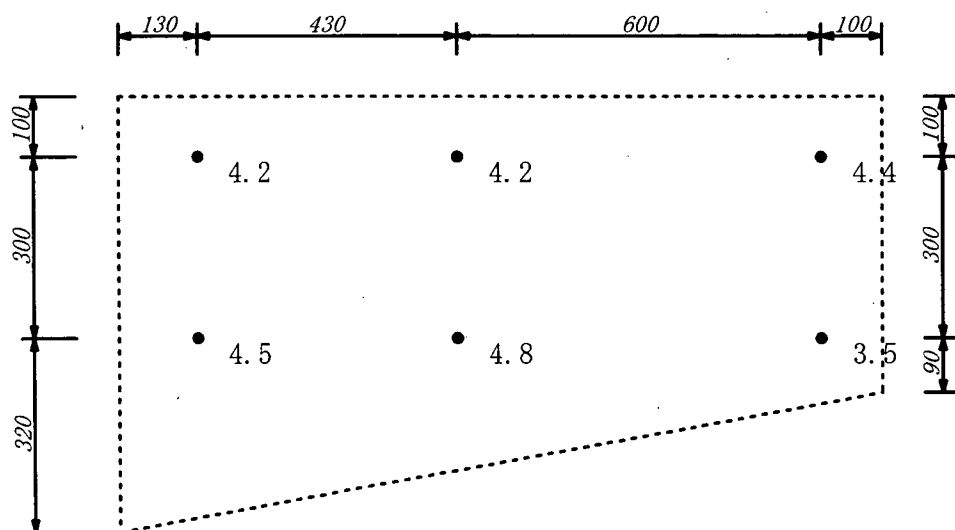


図-1.3.2 Dk法による含水率測定結果（旧芦川橋B面）



図－1.3.3 T e 法による含水率測定結果（旧芦川橋A面）



図－1.3.4 T e 法による含水率測定結果（旧芦川橋B面）

1.4 コンクリートの透気係数測定

旧暮坪陸橋P 3 橋脚の調査と同様の方法で、コンクリートの透気係数を測定した。測定結果を表－1. 4. 1 に示す。

表－1. 4. 1 透気係数測定結果（旧芦川橋）

測定個所	K t 値	L 値	電気抵抗
A面	0.797	48.5mm	46 k Ω
	0.174	28.8mm	
B面	0.071	18.3mm	45 k Ω

2. 鉄筋位置探査

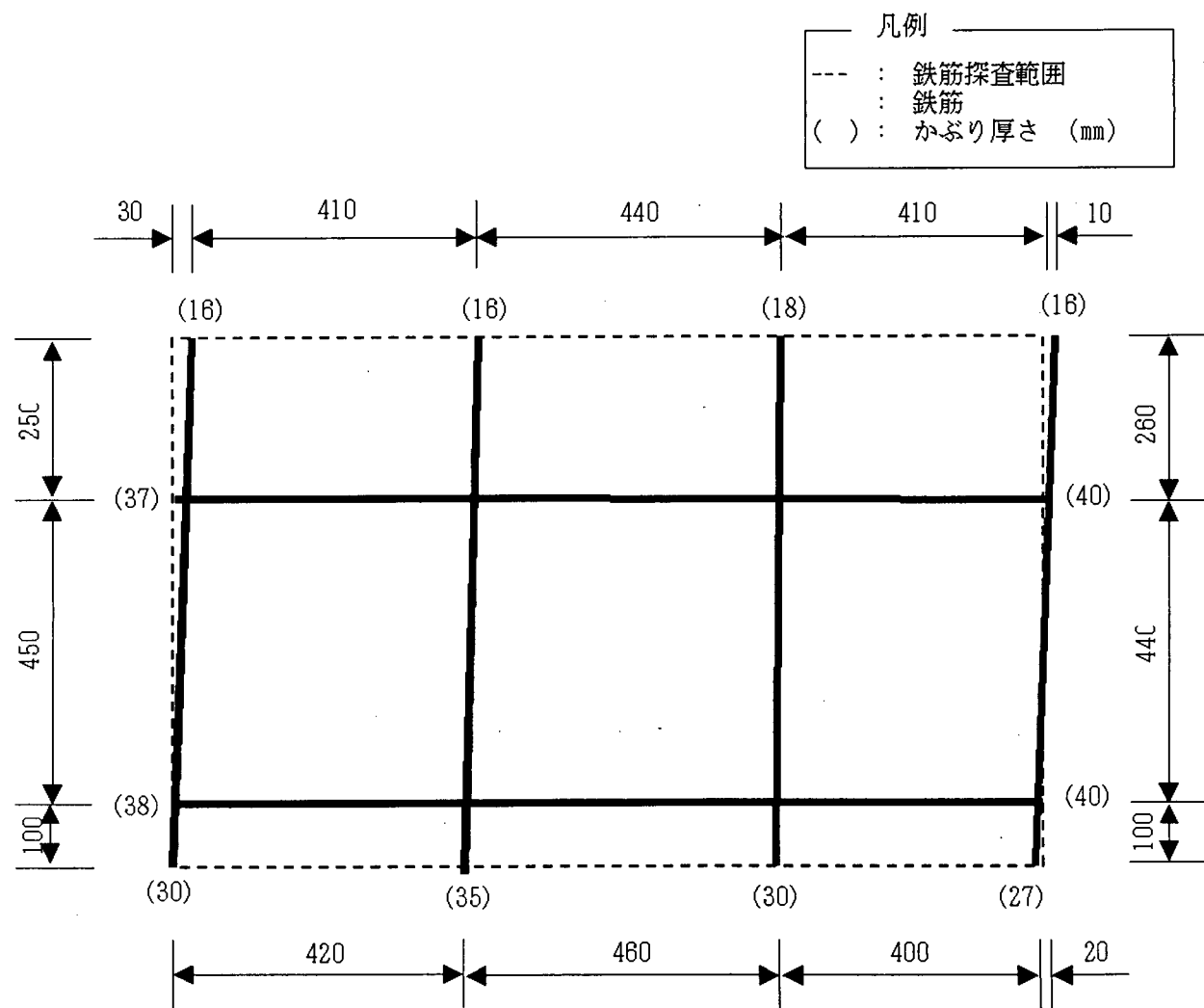
2.1 探査方法など

鉄筋位置の探査は、旧暮坪陸橋での測定と同様に行った。詳細は第Ⅱ部を参照されたい。

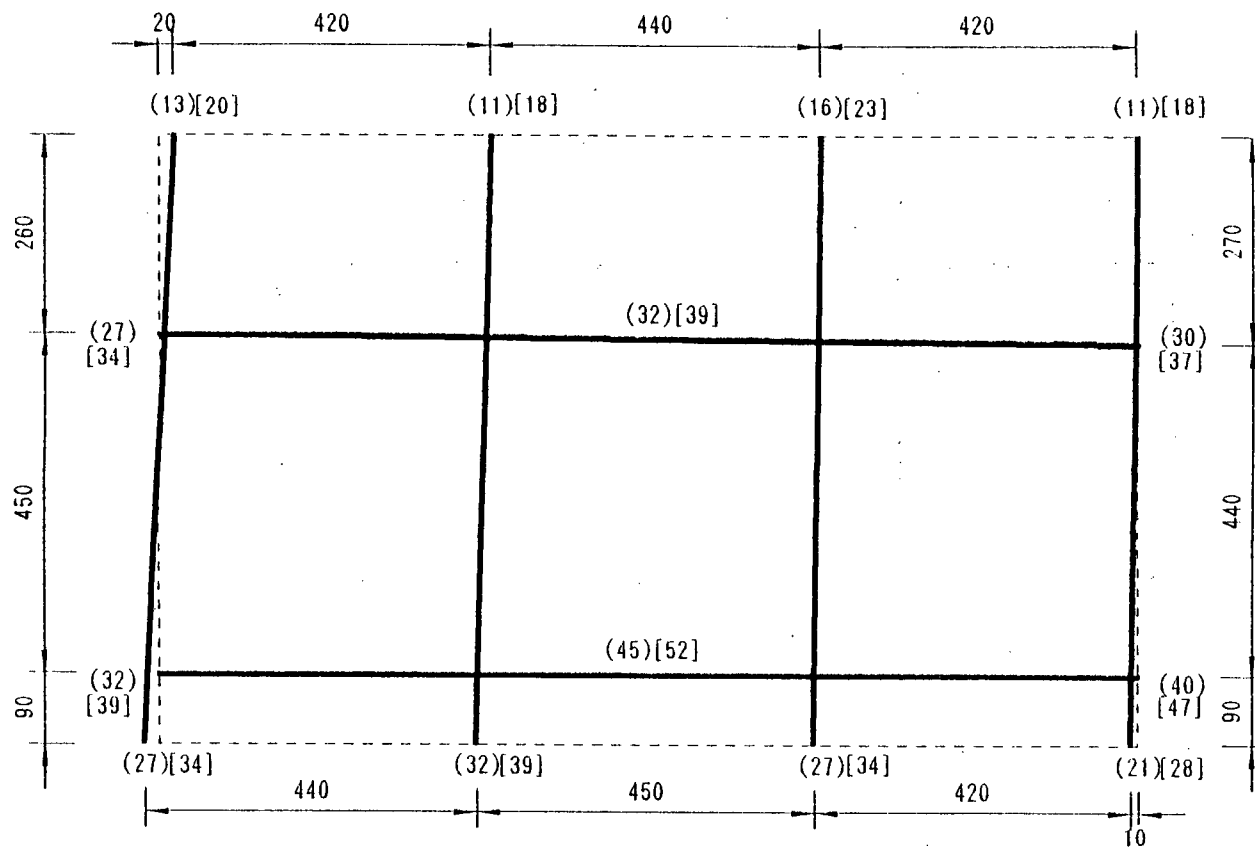
測定個所は、桁中央付近で鉄筋は格子状に配筋されているA面（探査が比較的容易）と、桁端付近で、鉄筋に加え桁上部に定着するために曲げ上げられたP C鋼材があるB面（P C部材に対する知識がないと、この位置に鋼材があることを予想することが難しいため、探査がやや難しい）で行った。

2.2 探査結果

(1) A面での探査結果



図－2.2.1 C g 法 (A面)



單位：mm

---: 鉄筋探查範囲

— : 鉄筋

() 数值: 補正前かぶり厚さ

〔 〕 数值：補正後かぶり厚さ

图-2.2.2 Dk法(A面)

【配筋状態】A面

かぶり深さ 数字 (単位はmm) 測定面 鉄筋位置

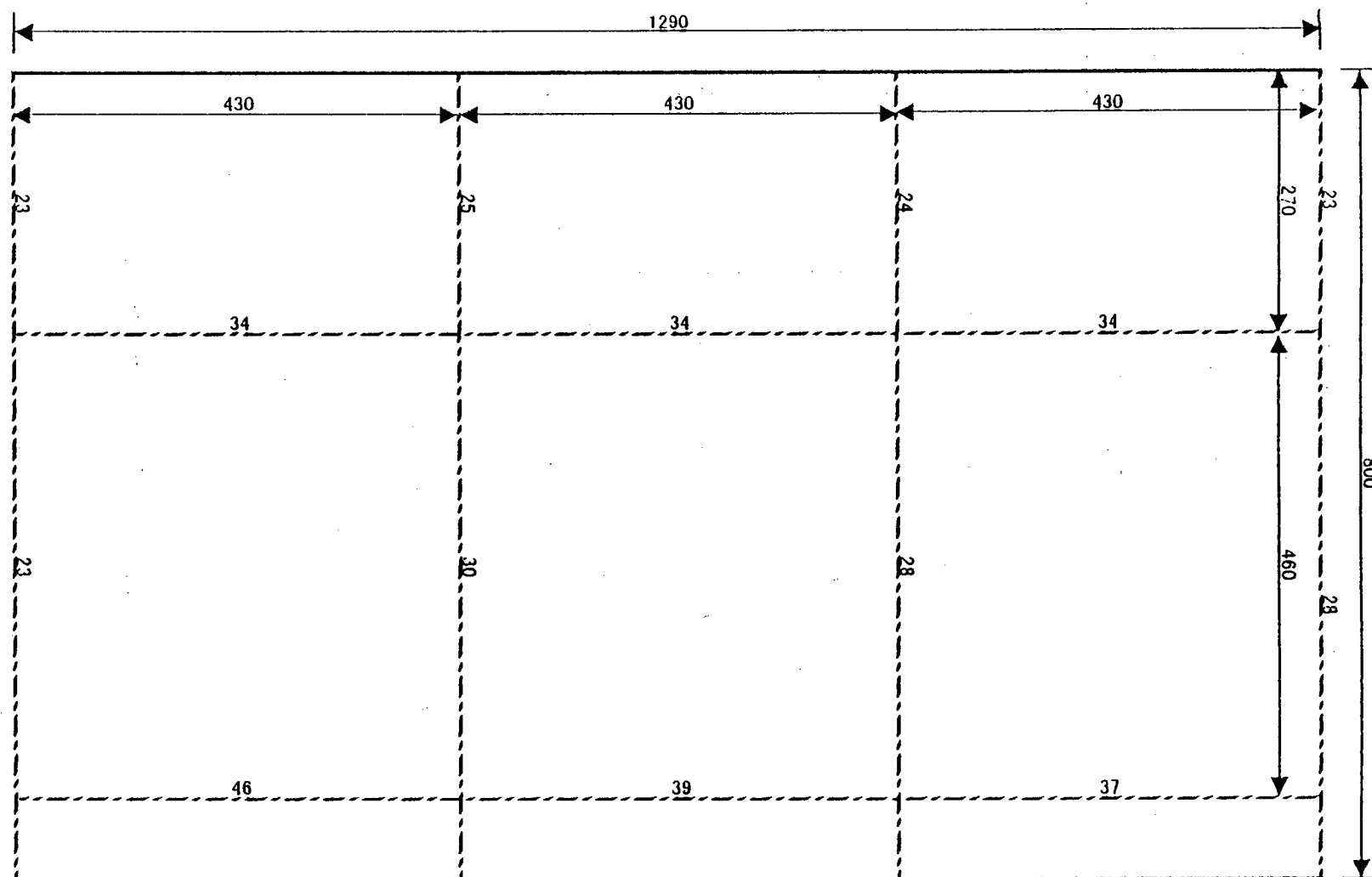


図-2.2.3 Fb法 (A面)

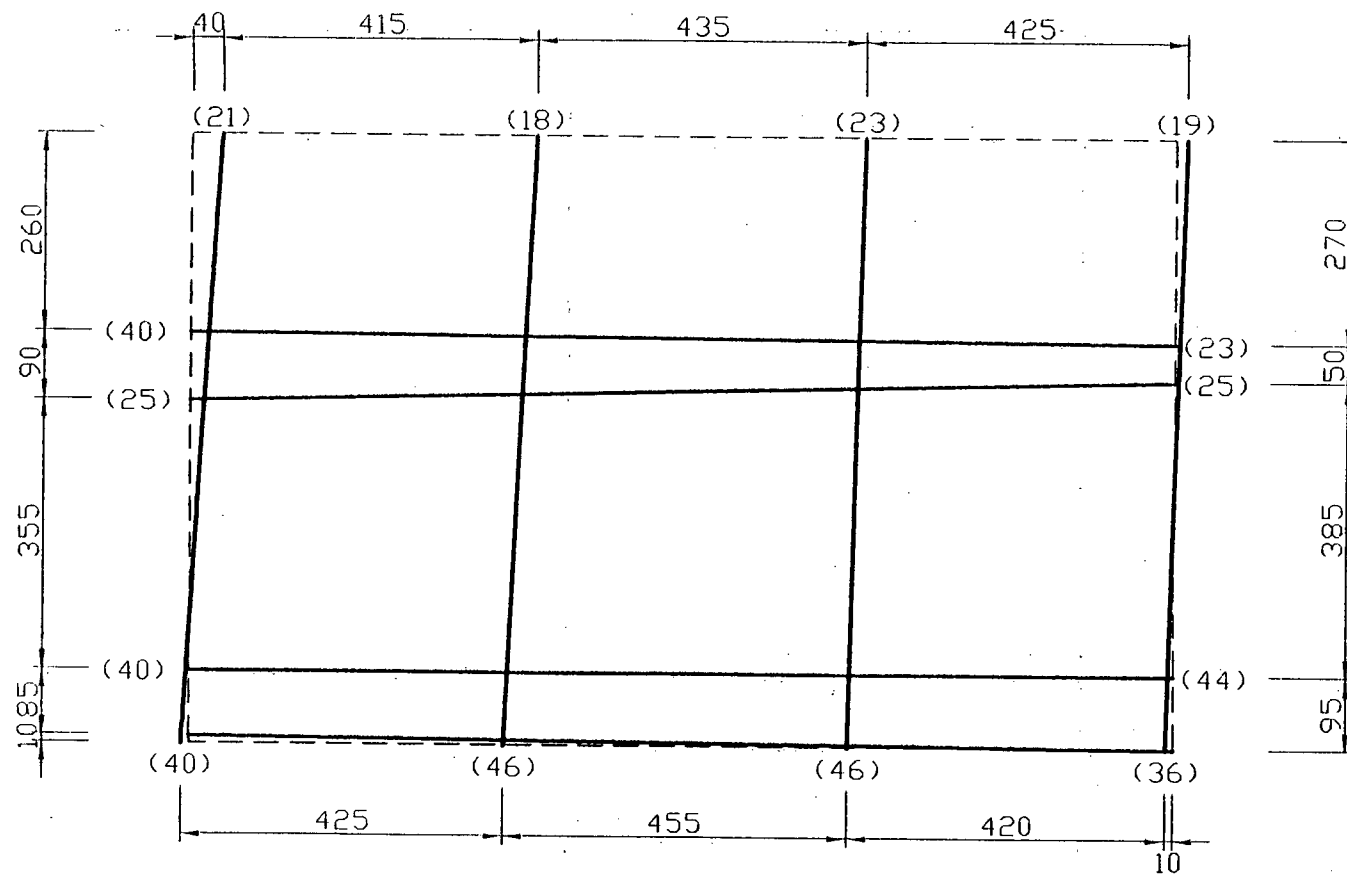
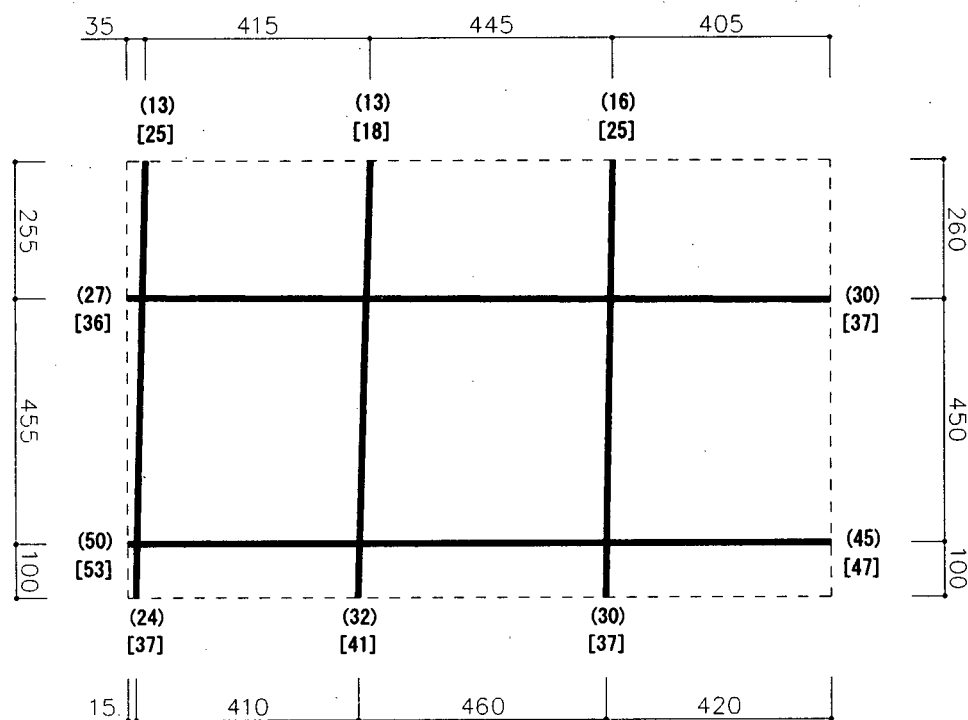


図-2.2.4 Me法 (A面)

凡例

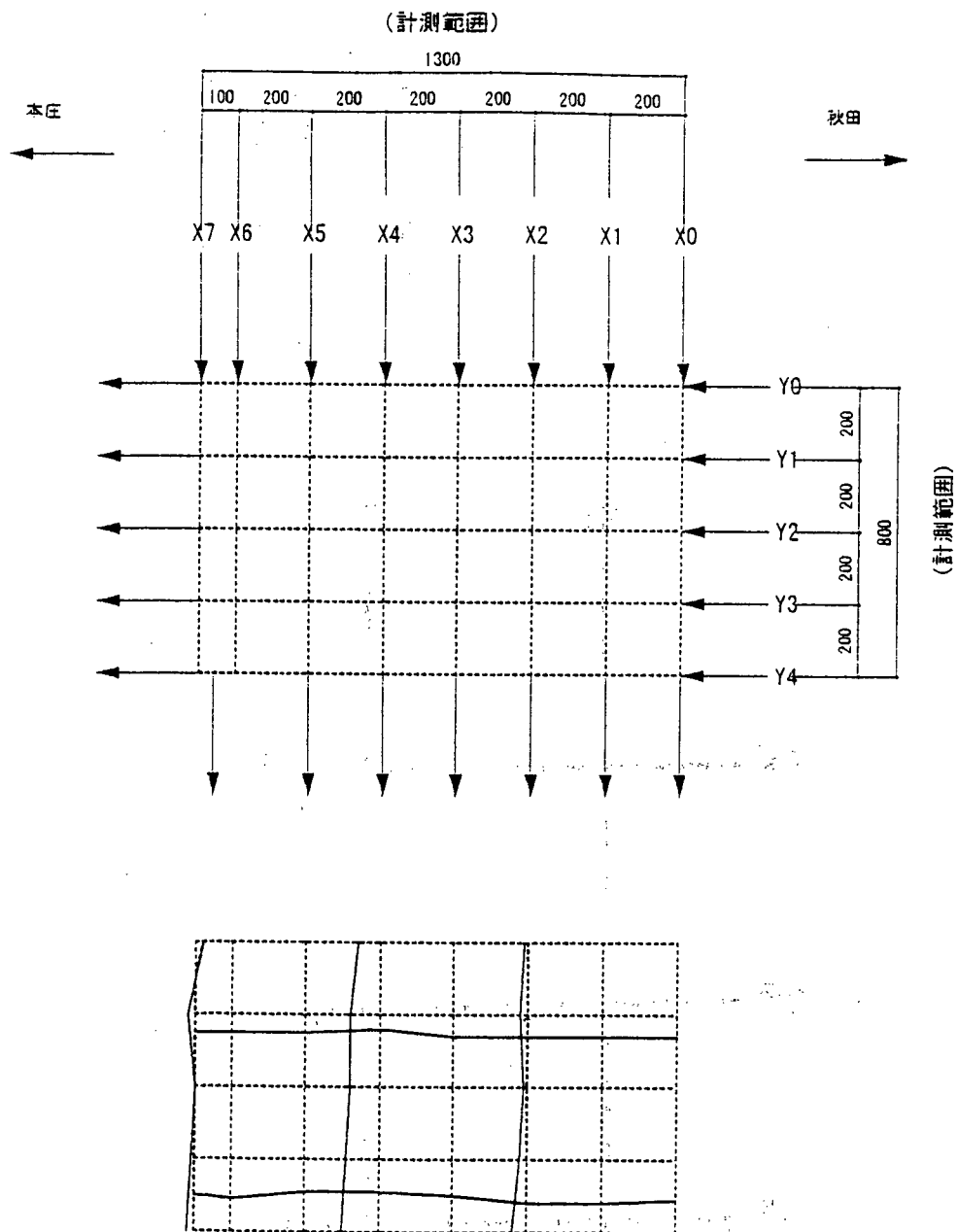
- : 鉄筋探索範囲
- : 鉄筋
- () : かぶり厚さ(mm)



凡 例		単位 : mm
-----	:	鉄筋探索範囲
—————	:	鉄筋位置
() 数値	:	補正前かぶり厚さ
[] 数値	:	補正後かぶり厚さ

図- 2. 2. 5 Nd法 (A面)

A 面

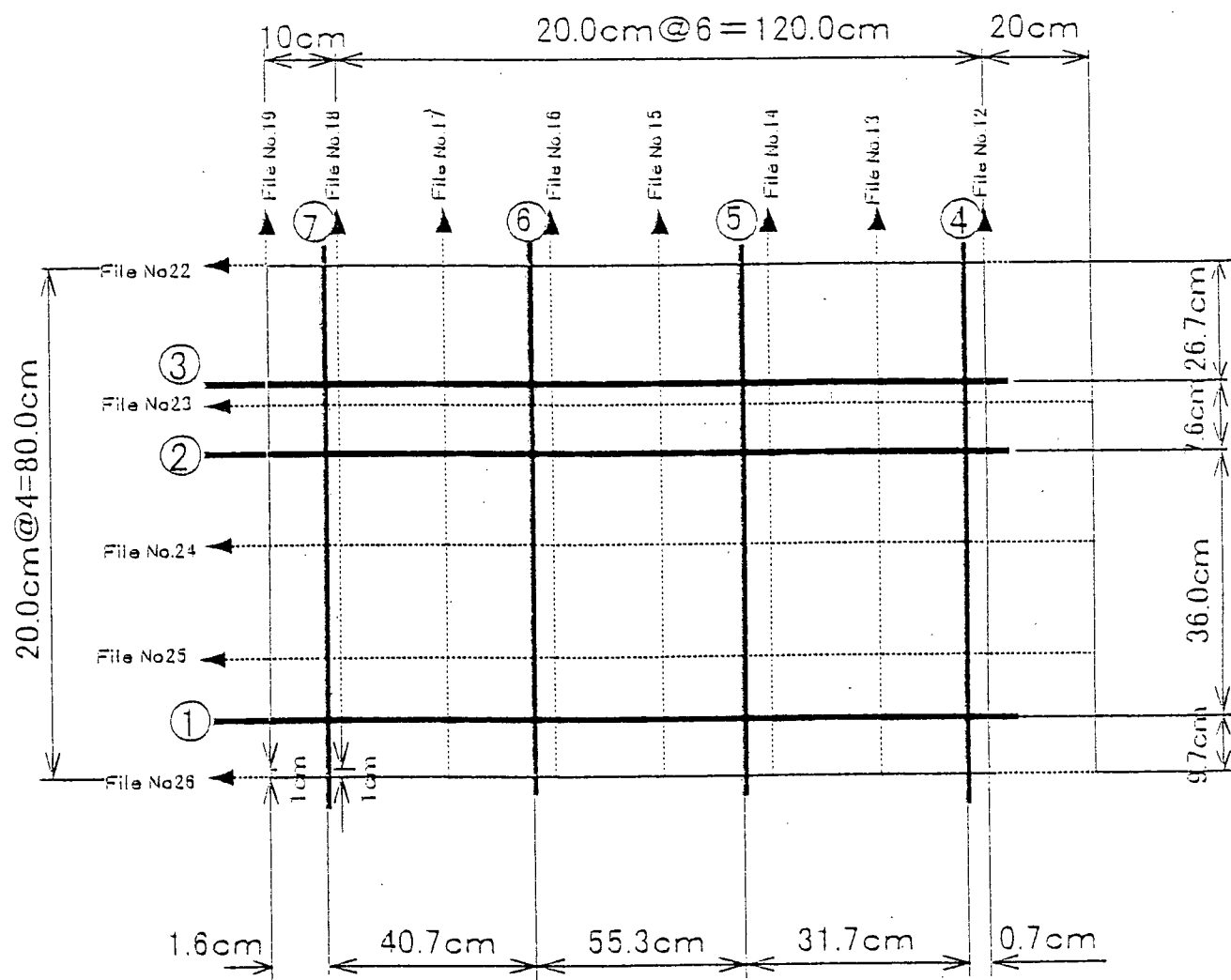


コンクリート被り厚 : 21 mm (最小値)

図-2.2.6 Te法 (A面)

凡 例

- 計測範囲を示す。
- 鉄筋位置を示す。
- RCL-7-走行方向を示す。



鉄筋	かぶり (cm)	鉄筋	かぶり (cm)
①	4.1	⑥	4.4
②	11.3	⑦	4.3
③	3.4	/	
④	4.1		
⑤	4.1		

□ : 指定範囲

示した数値は平均値である。

図-2.2.7 Tk法 (A面)

表-2.2.1 Tk法測定データ (A面)

横筋

単位: cm

鉄筋No File No		①	②	③
12	水平位置	9.000		52.750
	かぶり	5.290		3.530
13	水平位置	9.000	45.250	52.500
	かぶり	5.130	13.310	3.050
14	水平位置	10.000	45.750	53.250
	かぶり	3.370	11.870	3.050
15	水平位置	11.000	45.750	53.750
	かぶり	3.850	12.510	3.370
16	水平位置	9.250	48.250	54.250
	かぶり	5.130	11.070	3.050
17	水平位置	10.250	47.750	53.750
	かぶり	3.850	10.270	3.530
18	水平位置	9.000	41.250	52.750
	かぶり	2.410	10.270	3.690
19	水平位置	10.250	46.000	53.000
	かぶり	3.690	9.790	4.010
平均値	水平位置	9.719	45.714	53.250
	かぶり	4.090	11.299	3.410

縦筋

単位: cm

鉄筋No File No		④	⑤	⑥	⑦	
22	水平位置	20.500	62.250	106.250	147.000	
	かぶり	3.050	3.210	2.890	3.370	
23	水平位置	20.750	62.250	107.000	146.750	
	かぶり	3.370	3.370	3.370	3.850	
24	水平位置	20.000	61.750	107.000	146.750	
	かぶり	3.530	3.690	4.330	3.690	
25	水平位置	21.250	64.000	109.000	150.750	
	かぶり	3.690	4.970	4.810	4.490	
26	水平位置	21.000	64.000	109.250	150.750	
	かぶり	4.170	4.650	4.810	4.650	
平均値	水平位置	20.700	52.375	107.700	148.400	
	かぶり	3.562	3.978	4.042	4.010	

* 水平位置はアンテナがスタート点を0mとして表示

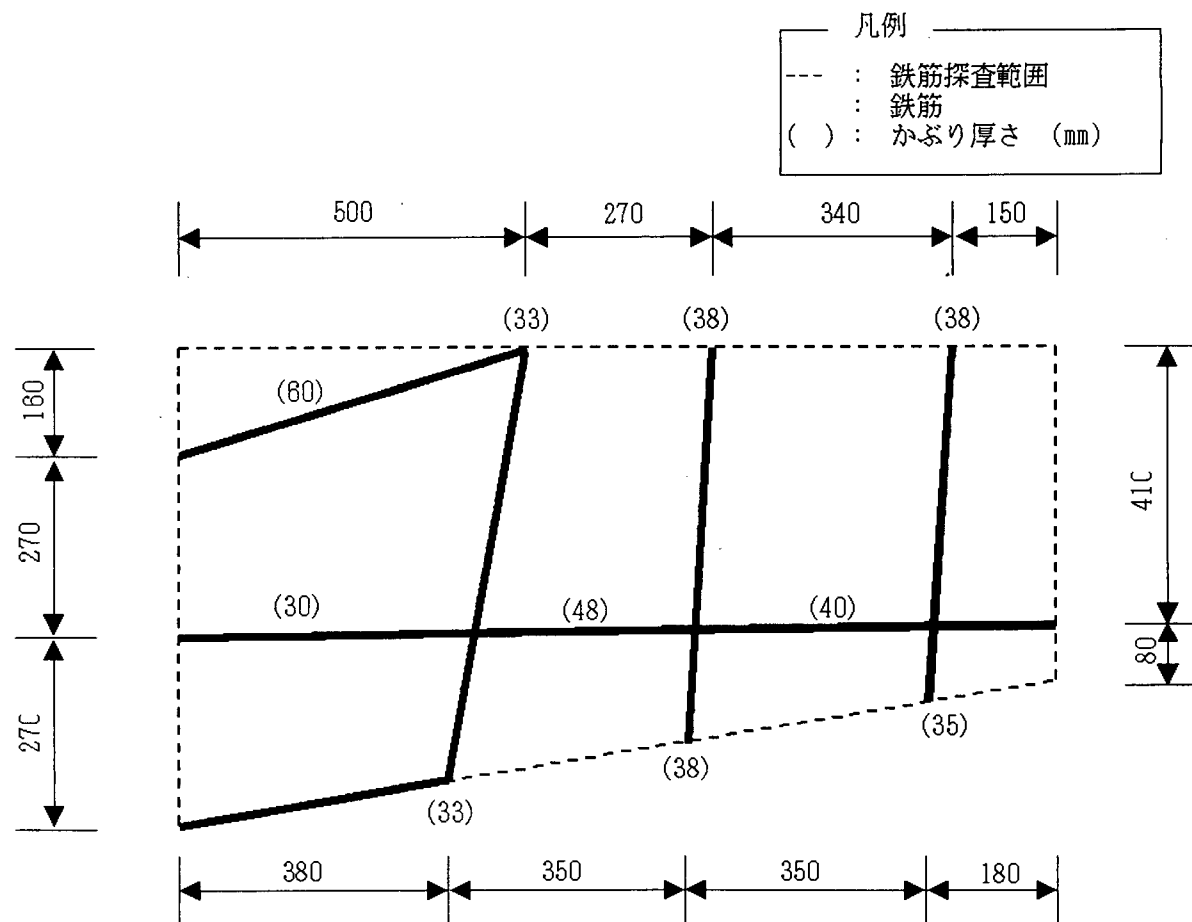
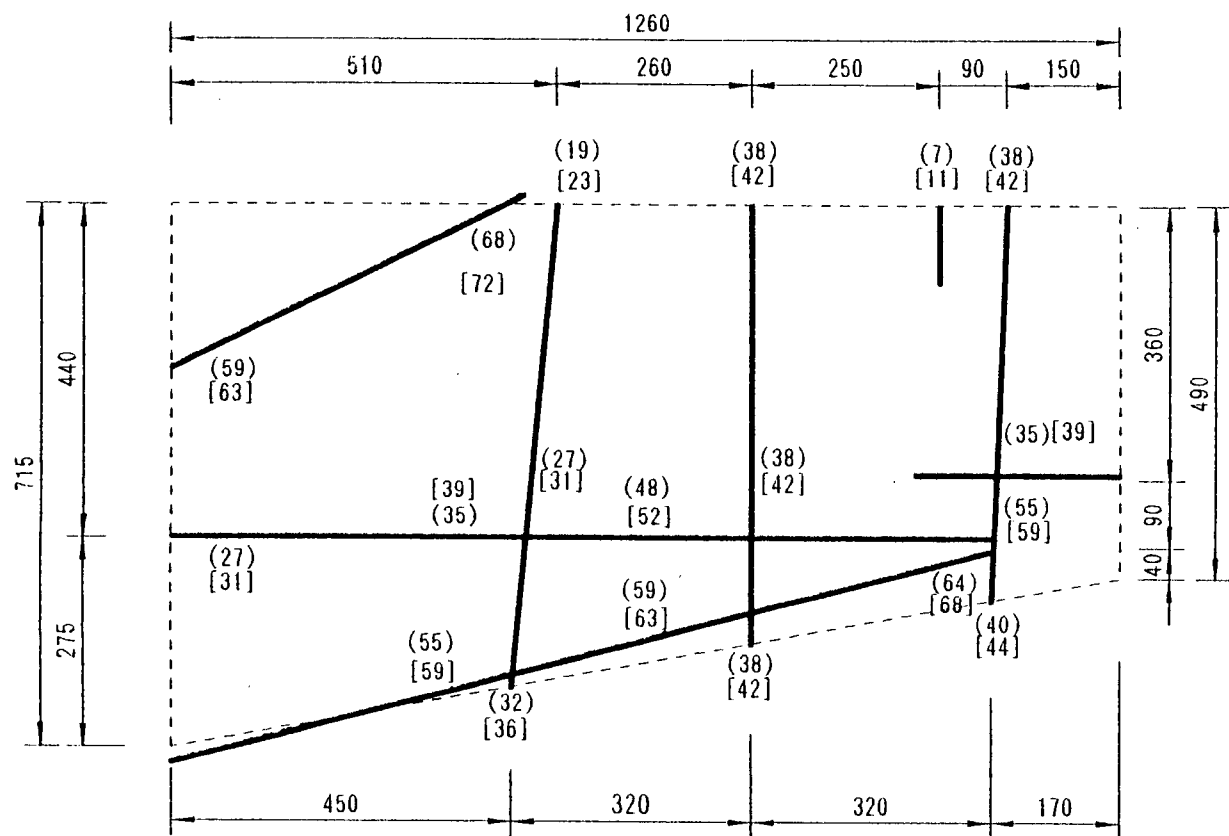


図-2.2.8 Cg法 (B面)



凡例 単位: mm

---: 鉄筋探索範囲

—: 鉄筋

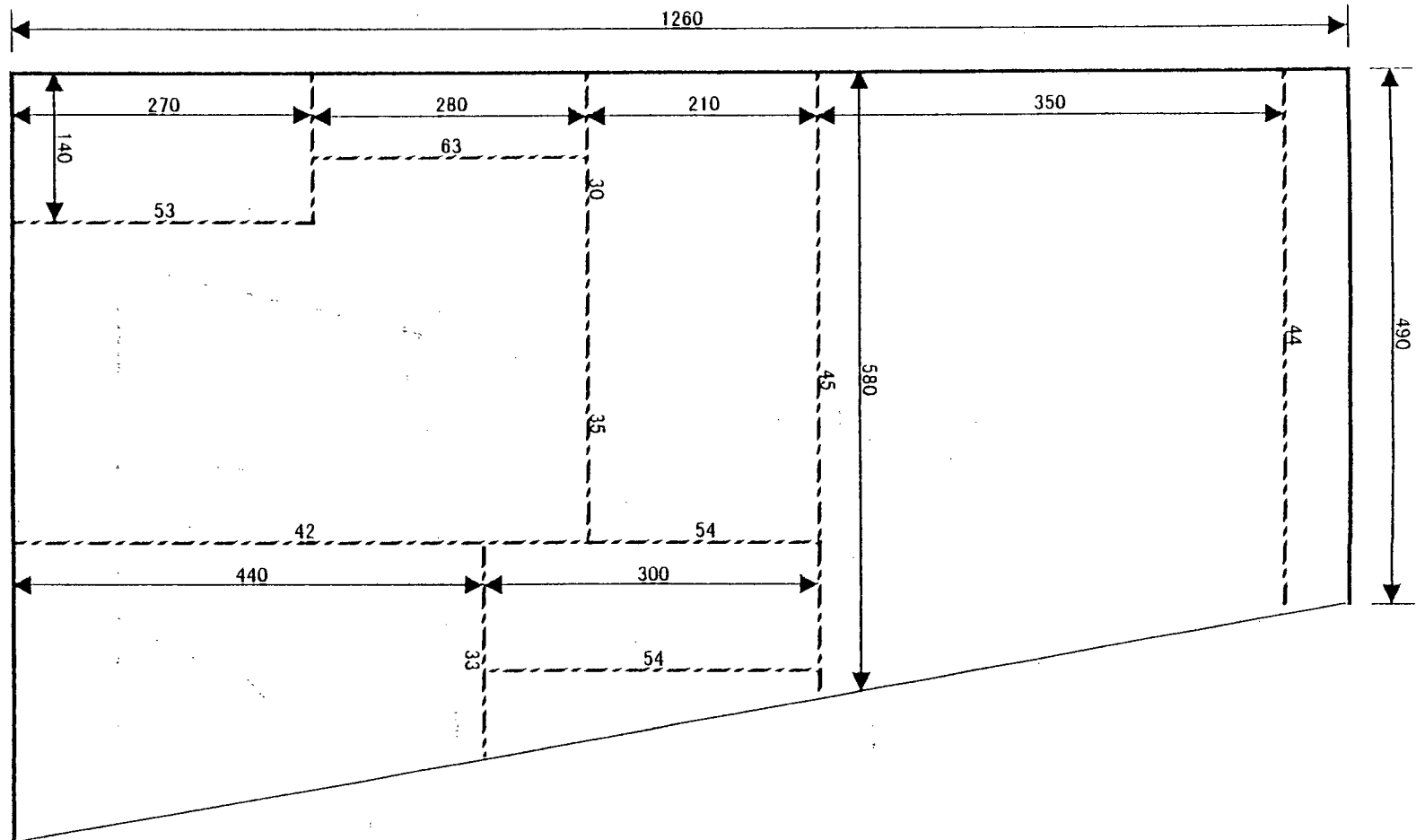
() 数値: 補正前かぶり厚さ

[] 数値: 補正後かぶり厚さ

図-2.2.9 Dk法 (B面)

【配筋状態】B面

かぶり深さ 数字 (単位はmm) 測定面 鉄筋位置



図一 2. 2. 10 F b 法 (B面)

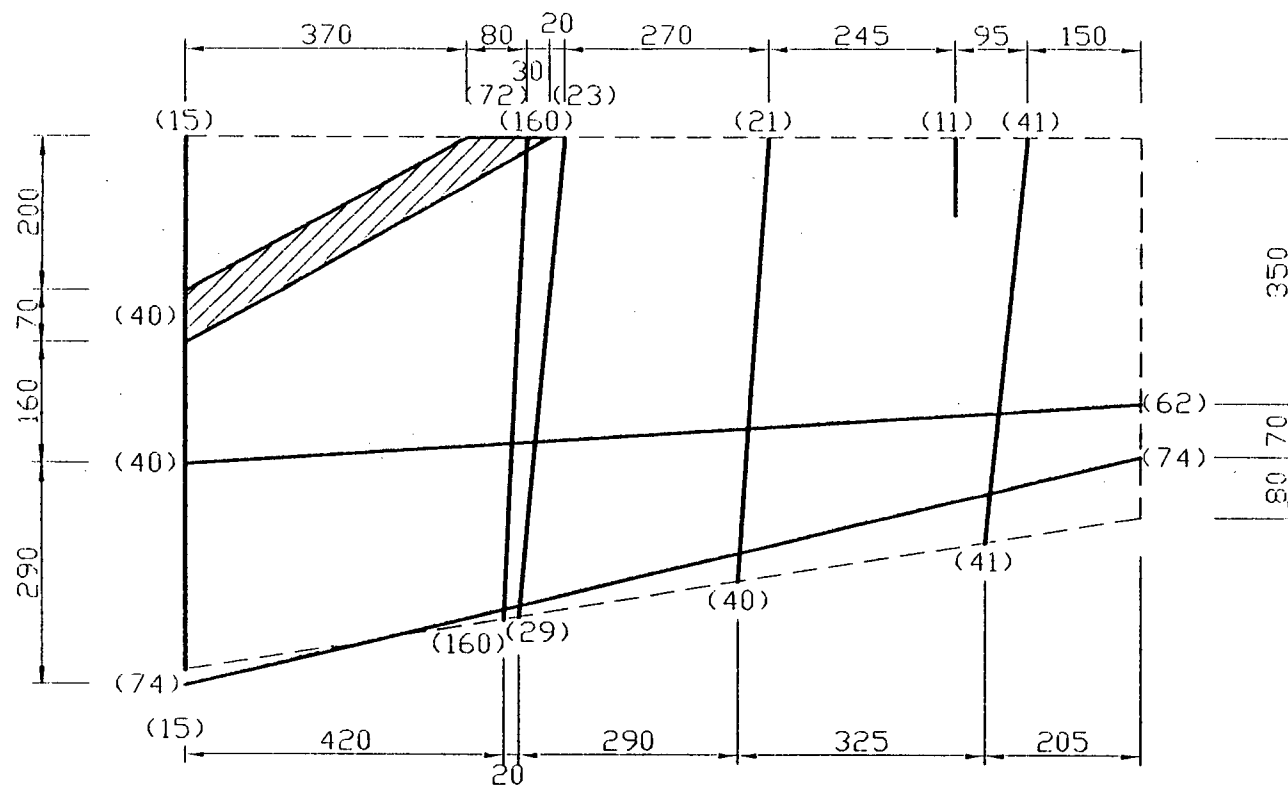


图-2.2.11 Me法 (B面)

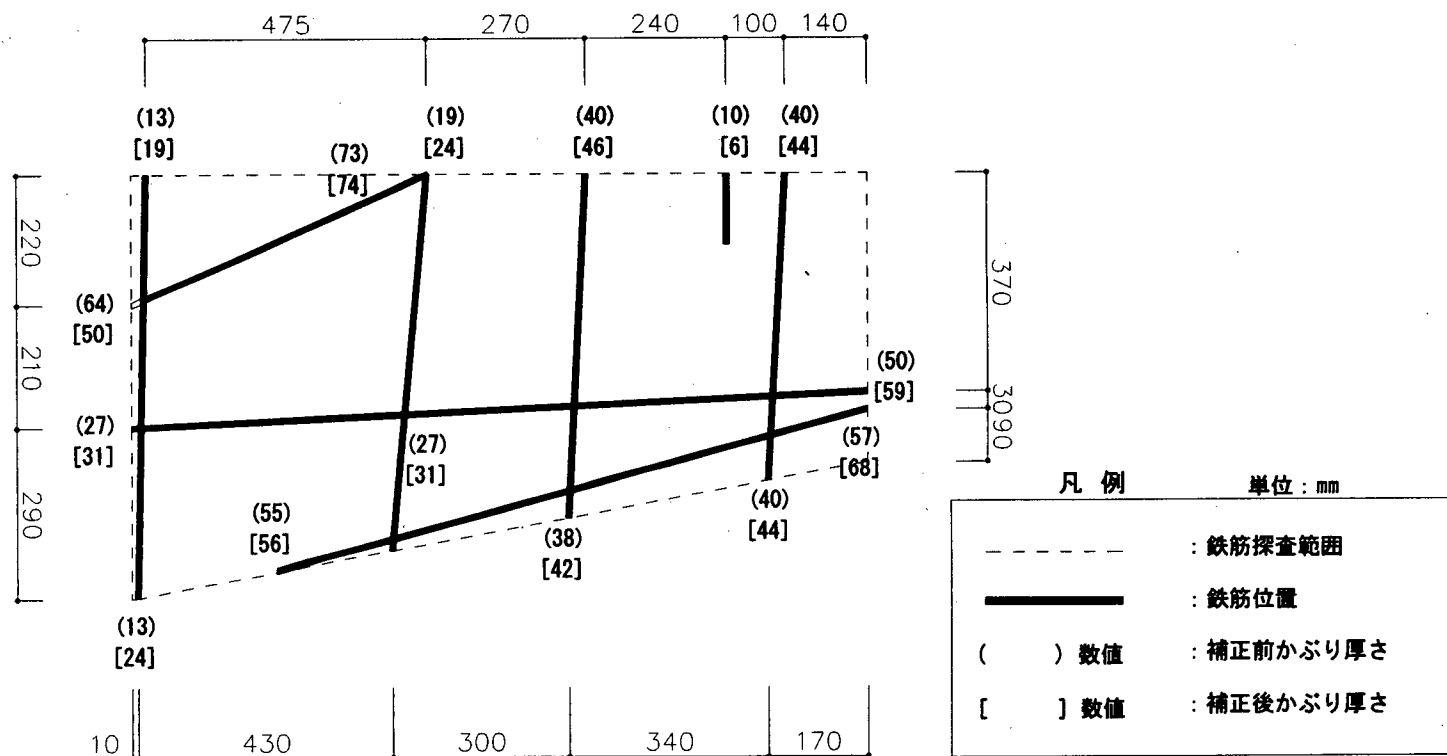


図-2.2.12 Nd法 (B面)

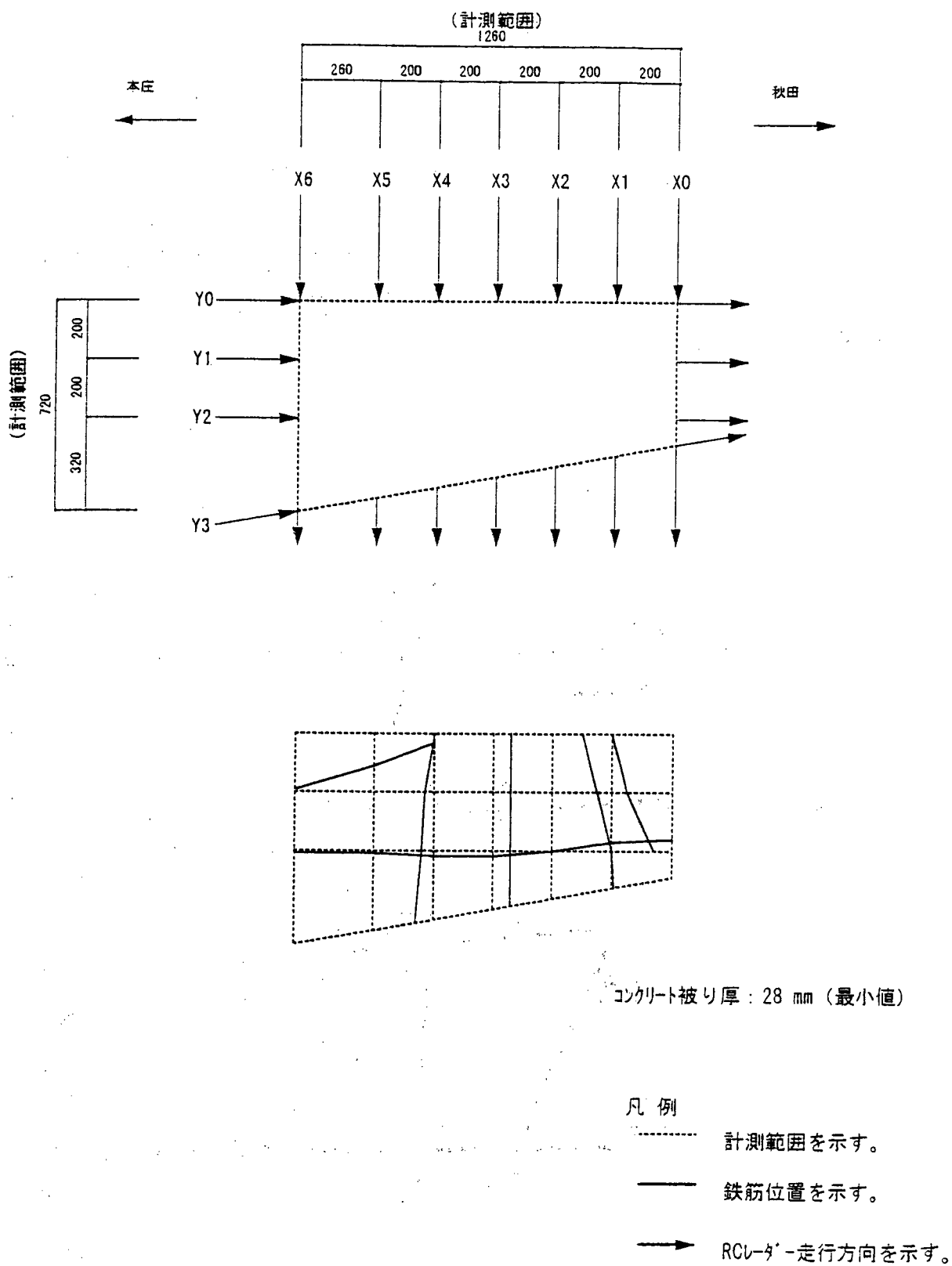


図-2.2.13 Te法 (B面)

表- 2. 2. 2 T k法測定データ (B面)

横筋

単位: cm

鉄筋No File No		⑧	⑨	
1	水平位置	18.250	41.500	51.300
	かぶり	6.100	3.690	3.050
2	水平位置	10.500	41.500	50.500
	かぶり	6.100	3.530	2.730
3	水平位置	1.250	42.500	
	かぶり	7.220	5.450	
4	水平位置	/	41.000	
	かぶり		4.490	
5	水平位置		39.750	
	かぶり		4.810	
6	水平位置		36.500	
	かぶり		4.810	
平均値	水平位置		40.458	
	かぶり		4.463	

縦筋

単位: cm

鉄筋No File No		⑩		⑪	⑫
31	水平位置	14.250	23.750	48.500	74.750
	かぶり	6.580	2.410	4.490	3.530
28	水平位置	15.750	/	48.750	76.500
	かぶり	4.170		4.170	3.370
29	水平位置	16.500	30.750	49.500	78.750
	かぶり	4.330	6.900	5.780	3.850
平均値	水平位置	15.500	/	48.917	76.667
	かぶり	5.027		4.813	3.583

3. 電気化学的手法による鉄筋腐食の推定

3.1 Dk法

(1)測定方法

測定は旧暮坪陸橋に対する調査と同様に行った。B面では、鉄筋とは別にPC鋼材にも結線して測定した。

(2)旧芦川橋G1桁での測定結果

水道水により測定面を湿潤とした直後と30分後に行った自然電位、コンクリートの含水率および抵抗率の測定結果を図-3.1.1～図-3.1.4に示し、これら測定結果を、吸水時間で整理して表-3.1.1に示す。また、コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）に基づいた自然電位による損傷度の判定を表-3.1.2に示す。

なお、自然電位測定に際して、鉄筋は電氣的に導通していることを確認した。

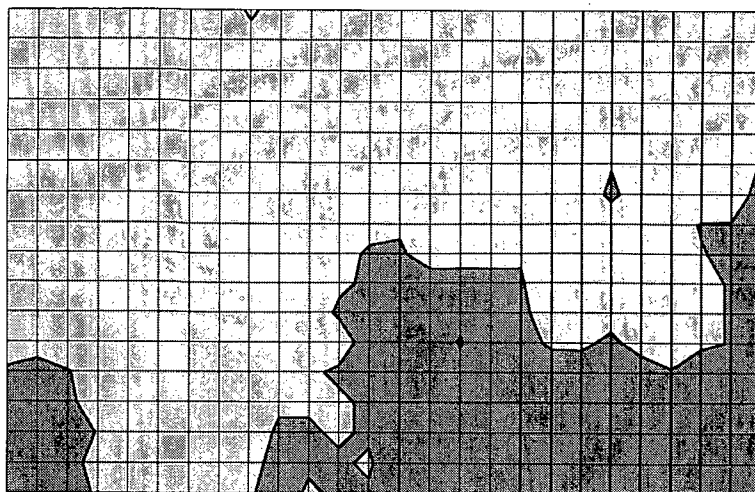
水噴霧直後と30分後の測定結果を比較すると下記①～③のようである。

- ①コンクリートの含水率は、直後より30分後がやや大きくなる。
- ②コンクリートの抵抗率は、直後と30分後では、30分後で小さくなる傾向を示した。
- ③自然電位は、直後より30分後が卑の方向にある。

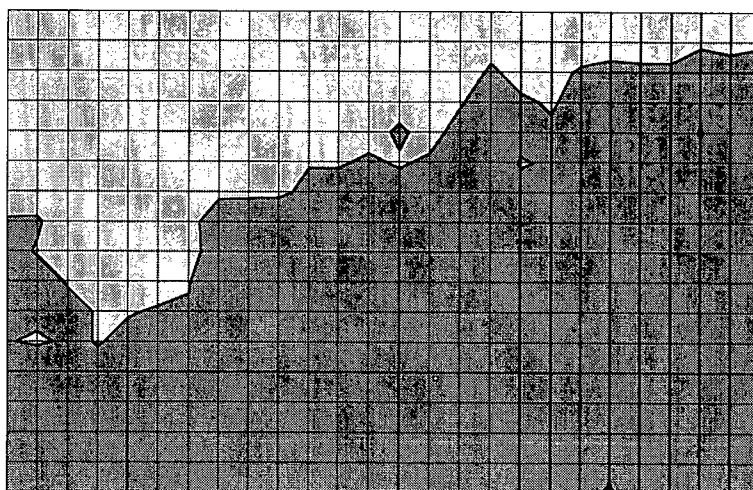
以下、本調査においては、安定した電位が得られると言われる30分後の測定結果について述べる。

芦川橋G1桁は、中央部で $-360 \sim -209\text{mv}$ の範囲（損傷度Ⅰ～Ⅲ）、端部で $-425 \sim -298\text{mv}$ の範囲（損傷度Ⅰ～Ⅱ）にあり、鉄筋の腐食が中央部よりも端部で進行していると判断される。

湿潤直後



湿潤
30
分
後



※鉄筋近傍の自然電位とコンクリート表面での自然電位の差として、次の値を実測値に加え補正した。

旧芦川橋A面 吸水直後 60mV
吸水30分後 40mV

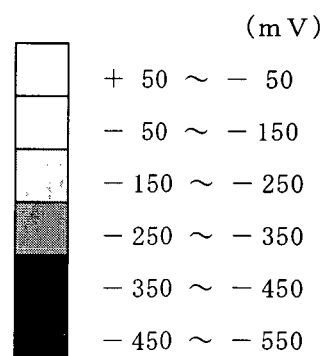
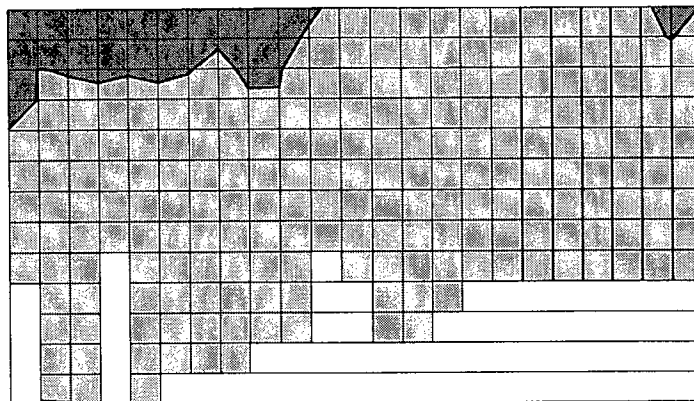
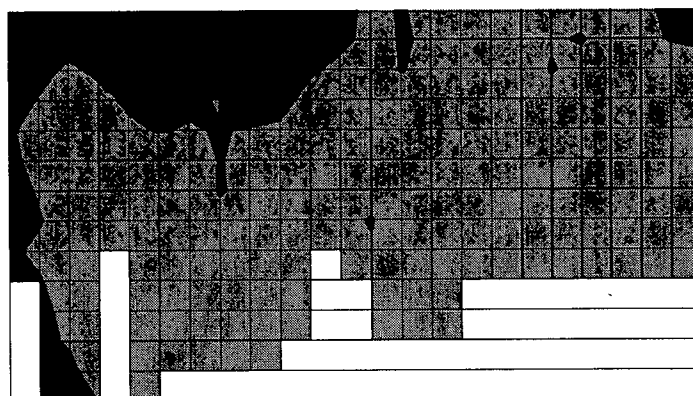


図- 3. 1. 1 D k 法による自然電位測定結果 (旧芦川橋A面, C S E : m V)

湿
潤
直
後

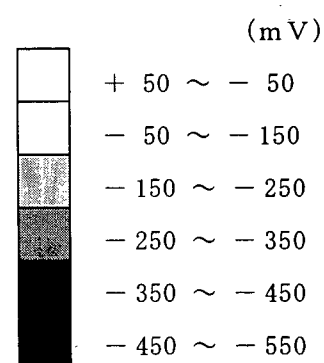


湿
潤
30
分
後



※鉄筋近傍の自然電位とコンクリート表面での自然電位の
差として、次の値を実測値に加え補正した。

旧芦川橋B面 吸水直後 40mV
吸水30分後 0mV



図－3.1.2 Dk法による自然電位測定結果（旧芦川橋B面，CSE：mV）

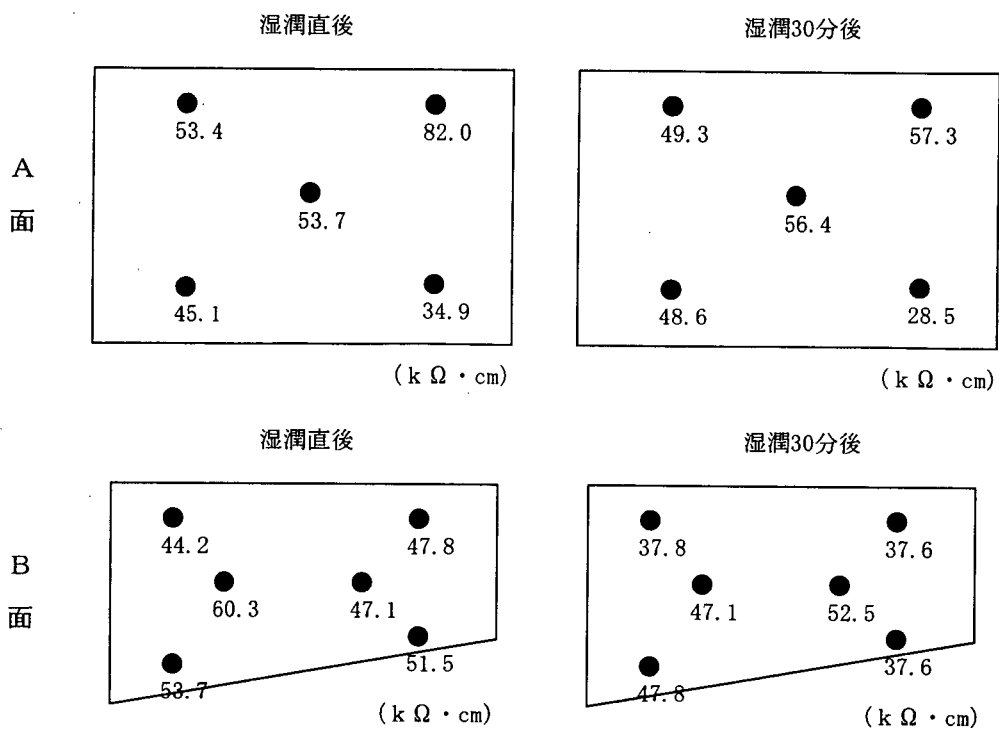


図-3.1.3 Dk法による比抵抗測定結果 (旧芦川橋)

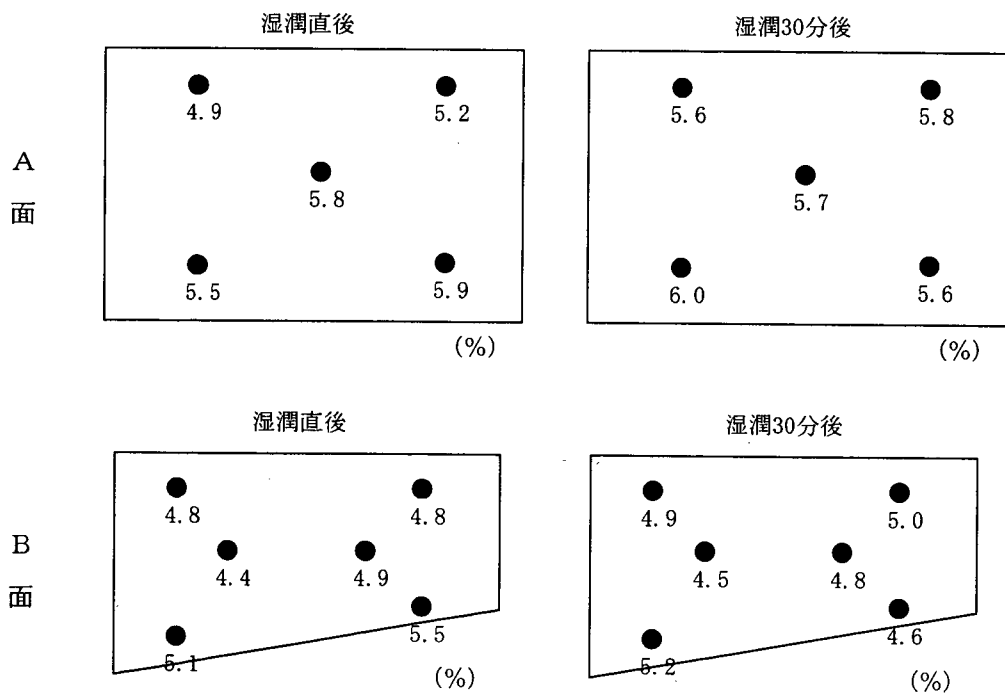


図-3.1.4 Dk法による含水率測定結果 (旧芦川橋)

表－ 3. 1. 1 吸水条件による比較

調査位置		コンクリートの含水率 (%)		コンクリートの抵抗率 ($k\Omega \cdot cm$)		自然電位 (mv)	
		湿潤直後	湿潤30分後	湿潤直後	湿潤30分後	湿潤直後	湿潤30分後
芦川橋	G 1 桁 中央部	4. 9～5. 9	5. 6～6. 0	34. 9～82. 0	28. 5～57. 3	-296～-145	-360～-209
	G 1 桁 端部	4. 4～5. 5	4. 5～5. 2	44. 2～60. 3	37. 6～52. 5	-321～-180	-425～-298

表－ 3. 1. 2 自然電位による損傷度の判定

調査位置		自然電位 E (mv)	自然電位測定範囲 E (mv)		指示率 (%)		鉄筋の 損傷度
			湿潤直後	湿潤30分後	湿潤直後	湿潤30分後	
芦川橋	G 1 桁 中央部	$-350 \geq E$	-296～-145	-360～-209	0	0. 3	I ～ III
		$-250 \geq E > -350$			29. 0	66. 7	
		$-150 \geq E > -250$			70. 8	33. 0	
		$E > -150$			0. 2	0	
	G 1 桁 端部	$-350 \geq E$	-321～-180	-425～-298	0	25. 2	I ～ II
		$-250 \geq E > -350$			12. 7	74. 8	
		$-150 \geq E > -250$			87. 3	0	
		$E > -150$			0	0	

鉄筋損傷度

鉄筋 損傷度	自然電位 E (mv)	腐食
I	$-350 \geq E$	大
II	$-250 \geq E > -350$	中
III	$-150 \geq E > -250$	小
IV	$E > -150$	無

表-3.1.3 自然電位測定結果詳細 (D k 法, 旧芦川橋A面, mV, C S E 換算)

【湿潤直後】

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	∞
16	-150	-169	-165	-189	-160	-169	-160	-169	-145	-165	-179	-194	-184	-179	-199	-194	-189	-179	-174	-194	-194	-194	-194	-209	-199	-194	
15	-165	-165	-169	-179	-174	-194	-174	-179	-160	-184	-184	-199	-194	-199	-199	-204	-194	-194	-199	-194	-223	-223	-209	-209	-223	-218	
14	-174	-179	-174	-174	-189	-189	-189	-184	-174	-184	-179	-184	-204	-204	-194	-199	-199	-199	-199	-204	-218	-213	-223	-218	-213	-238	
13	-179	-174	-179	-169	-189	-189	-189	-189	-189	-199	-189	-189	-204	-204	-199	-204	-213	-204	-199	-223	-238	-213	-228	-218	-223	-252	
12	-179	-184	-184	-189	-184	-179	-199	-194	-189	-199	-194	-199	-218	-218	-209	-218	-223	-209	-199	-218	-243	-228	-228	-223	-223	-243	
11	-184	-174	-189	-179	-194	-194	-204	-189	-194	-204	-204	-209	-218	-223	-213	-228	-248	-209	-204	-223	-248	-228	-228	-223	-233	-252	
10	-204	-179	-194	-184	-204	-199	-199	-199	-209	-199	-199	-218	-213	-238	-223	-228	-243	-228	-218	-228	-257	-233	-233	-218	-233	-262	
9	-218	-209	-194	-189	-184	-194	-204	-228	-228	-243	-228	-243	-233	-248	-238	-233	-257	-252	-243	-243	-248	-223	-228	-233	-238	-252	
8	-218	-204	-194	-189	-194	-189	-209	-218	-233	-248	-238	-233	-257	-252	-243	-243	-248	-248	-223	-228	-223	-233	-238	-248	-257	-277	
7	-213	-209	-204	-194	-204	-204	-209	-233	-243	-243	-233	-248	-252	-267	-257	-257	-252	-252	-233	-228	-228	-228	-233	-243	-252	-272	
6	-228	-218	-209	-199	-213	-209	-213	-238	-238	-238	-243	-252	-257	-277	-262	-257	-262	-257	-233	-233	-238	-238	-238	-243	-252	-262	
5	-223	-213	-218	-209	-218	-218	-218	-228	-233	-238	-238	-243	-257	-277	-267	-248	-272	-267	-243	-243	-257	-238	-238	-243	-252	-257	
4	-257	-282	-252	-233	-238	-238	-238	-243	-243	-248	-252	-252	-267	-272	-262	-272	-287	-277	-272	-272	-267	-272	-272	-277	-277	-277	
3	-277	-282	-257	-233	-228	-248	-228	-238	-228	-248	-248	-248	-252	-257	-267	-272	-277	-287	-272	-277	-267	-272	-272	-262	-282	-287	
2	-267	-292	-267	-248	-238	-243	-233	-238	-243	-252	-252	-248	-252	-262	-267	-272	-277	-292	-277	-287	-282	-272	-272	-262	-282	-287	
1	-267	-267	-257	-243	-243	-243	-233	-243	-248	-252	-252	-252	-248	-262	-277	-282	-287	-292	-287	-282	-287	-267	-282	-277	-287	-292	
0	-262	-267	-257	-248	-233	-248	-228	-243	-248	-257	-248	-252	-252	-272	-282	-282	-267	-287	-287	-287	-282	-272	-282	-277	-292	-296	

(Y)

【湿潤30分後】

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	(∞)
16	-209	-219	-214	-224	-219	-229	-209	-214	-209	-224	-229	-224	-229	-229	-224	-233	-219	-219	-224	-243	-229	-224	-229	-238	-233	-238	
15	-224	-219	-224	-233	-238	-243	-224	-219	-219	-243	-233	-238	-238	-243	-224	-243	-243	-224	-233	-238	-238	-233	-233	-248	-248	-243	
14	-224	-219	-209	-214	-229	-229	-233	-224	-219	-229	-224	-214	-229	-233	-238	-238	-253	-243	-243	-253	-258	-258	-258	-258	-253	-277	
13	-229	-229	-224	-214	-229	-229	-229	-229	-229	-233	-229	-233	-243	-243	-243	-248	-263	-253	-248	-258	-272	-263	-258	-258	-268	-268	
12	-224	-229	-224	-219	-224	-233	-233	-233	-229	-238	-238	-238	-243	-253	-243	-258	-272	-258	-253	-263	-277	-268	-268	-248	-268	-287	
11	-229	-233	-229	-229	-233	-229	-233	-233	-233	-233	-248	-248	-253	-248	-253	-258	-272	-248	-253	-258	-277	-268	-268	-263	-258	-277	
10	-233	-238	-233	-229	-238	-238	-224	-243	-243	-243	-258	-258	-258	-258	-258	-258	-272	-258	-253	-268	-287	-272	-272	-258	-268	-282	
9	-253	-253	-233	-224	-238	-219	-238	-272	-277	-282	-268	-277	-277	-292	-277	-277	-292	-268	-258	-268	-272	-272	-277	-282	-287	-302	
8	-258	-248	-243	-233	-233	-233	-238	-268	-282	-282	-272	-282	-282	-302	-282	-282	-292	-272	-253	-268	-277	-268	-272	-277	-282	-297	
7	-253	-263	-248	-238	-238	-238	-248	-282	-282	-282	-277	-277	-287	-302	-292	-292	-297	-277	-263	-268	-282	-263	-272	-277	-287	-307	
6	-263	-263	-258	-248	-248	-253	-253	-277	-282	-287	-282	-277	-282	-307	-297	-297	-297	-282	-268	-272	-302	-272	-272	-277	-287	-302	
5	-253	-243	-258	-248	-258	-258	-263	-282	-277	-282	-277	-268	-297	-287	-297	-297	-292	-292	-282	-272	-331	-282	-277	-292	-302		
4	-292	-297	-292	-263	-268	-277	-263	-277	-282	-282	-282	-287	-287	-292	-302	-312	-316	-331	-331	-312	-297	-312	-302	-312	-302	-316	
3	-316	-326	-312	-268	-268	-268	-272	-277	-287	-292	-287	-292	-287	-292	-307	-316	-331	-331	-312	-297	-321	-302	-312	-302	-316	-321	
2	-336	-336	-307	-272	-263	-277	-258	-277	-287	-297	-292	-282	-292	-297	-297	-312	-316	-336	-316	-316	-326	-302	-302	-321	-321	-321	
1	-326	-321	-307	-272	-272	-282	-272	-282	-297	-297	-297	-287	-282	-292	-312	-316	-331	-336	-321	-321	-331	-302	-316	-316	-331	-321	
0	-316	-307	-297	-277	-272	-277	-277	-287	-292	-292	-302	-287	-292	-297	-312	-321	-326	-341	-321	-321	-360	-302	-312	-307	-336	-326	
(Y)																											

(Y)

表- 3.1.4 自然電位測定結果詳細 (D k 法, 旧芦川橋B面, mV, C S E換算)

【湿潤直後】

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	∞
13	-321	-297	-282	-302	-292	-292	-282	-268	-292	-292	-263	-229	-224	-219	-224	-214	-209	-204	-233	-243	-219	-233	-277	-248	
12	-312	-282	-268	-282	-277	-272	-282	-258	-277	-277	-238	-219	-209	-219	-224	-219	-209	-219	-243	-229	-219	-233	-253	-224	
11	-292	-248	-253	-263	-253	-263	-253	-233	-263	-253	-224	-214	-199	-224	-219	-209	-229	-224	-238	-238	-219	-229	-219	-224	
10	-272	-248	-238	-233	-238	-233	-233	-229	-243	-248	-204	-204	-204	-224	-219	-233	-229	-224	-233	-214	-219	-214	-219	-224	
9	-248	-233	-219	-224	-219	-224	-229	-219	-238	-229	-209	-194	-209	-229	-209	-233	-238	-219	-214	-219	-224	-214	-219	-224	
8	-224	-238	-233	-199	-185	-194	-214	-238	-224	-224	-194	-199	-199	-209	-194	-214	-229	-214	-199	-214	-219	-219	-224	-219	
7	-238	-243	-233	-199	-189	-209	-214	-224	-229	-224	-204	-219	-209	-199	-189	-209	-214	-209	-199	-194	-209	-219	-224	-214	
6	-214	-243	-238	-214	-189	-194	-204	-224	-219	-224	-219	-224	-224	-219	-204	-199	-209	-204	-199	-204	-214	-219	-219	-219	
5	-233	-243	-238	-199	-180	-194	-199	-214	-219	-214	-209	-224	-233	-214	-204	-209	-214	-199	-214	-209	-224	-224	-219	-209	
4	-243	-243	-233		-185	-180	-194	-189	-199	-204		-214	-219	-219	-209	-214	-219	-219	-204	-209	-214	-224	-224	-214	
3		-243	-224		-204	-194	-204	-189	-204	-204			-204	-209	-209										
2		-238	-219		-199	-194	-199	-199	-204	-214			-214	-214											
1		-233	-214		-194	-194	-204	-224																	
0		-253	-253		-224																				
(Y)																									

【湿潤 30 分後】

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	∞
13	-405	-386	-381	-415	-405	-405	-405	-396	-415	-425	-386	-361	-342	-352	-342	-332	-332	-332	-342	-342	-342	-337	-361	-381	
12	-405	-386	-366	-391	-405	-410	-405	-381	-405	-405	-371	-361	-337	-352	-347	-332	-337	-332	-347	-352	-337	-342	-352	-356	
11	-376	-361	-342	-356	-386	-386	-381	-376	-391	-386	-356	-337	-322	-352	-337	-327	-337	-332	-352	-342	-332	-327	-332	-337	
10	-366	-347	-337	-337	-356	-366	-356	-347	-376	-366	-332	-327	-322	-332	-342	-322	-342	-327	-337	-317	-327	-317	-322	-327	
9	-356	-327	-317	-317	-342	-352	-347	-352	-347	-342	-327	-322	-327	-327	-342	-332	-337	-332	-337	-332	-322	-317	-312	-327	
8	-352	-347	-312	-303	-308	-317	-327	-352	-337	-332	-312	-322	-337	-332	-317	-337	-337	-337	-322	-332	-322	-322	-327	-327	
7	-361	-347	-322	-317	-312	-317	-332	-352	-342	-332	-317	-337	-337	-337	-327	-337	-337	-332	-317	-317	-322	-322	-327	-327	
6	-361	-352	-332	-322	-317	-317	-332	-342	-332	-327	-317	-342	-352	-322	-327	-327	-337	-332	-308	-327	-322	-332	-327	-327	
5	-356	-342	-342	-312	-308	-317	-327	-327	-322	-327	-322	-337	-347	-342	-332	-332	-337	-337	-322	-327	-327	-327	-332	-317	
4	-356	-352	-332		-312	-317	-317	-317	-308	-312		-332	-337	-347	-322	-327	-332	-332	-327	-317	-327	-332	-327	-327	
3		-356	-342		-322	-332	-332	-298	-308	-342			-332	-342	-327										
2		-356	-347		-312	-322	-317	-303	-322	-347			-332	-337	-327										
1		-361	-356		-317	-327	-332	-327	-322																
0		-361	-371		-337																				
(Y)																									

3.2 F b 法

旧芦川橋の調査では、10cm ピッチで自然電位を測定した。

測定結果を、図－3.2.1、表－3.2.1に示す。

以下、測定結果を簡単にまとめる。

(1) A面

P C 桁上部よりも下部の方が－電位の絶対値が大きくなった。全体的には－200～－300mVの範囲にあり、A S T M規格による判定では“不確定領域”，B S 規格では50%であった。

(2) B面

P C 桁上部の方が下部よりも－電位の絶対値が大きくなった。また、調査範囲の左端は局部的に－電位の絶対値が大きくなった。この箇所にひびが入っていたことも－電位が大きく出た原因の一つと考えられる。

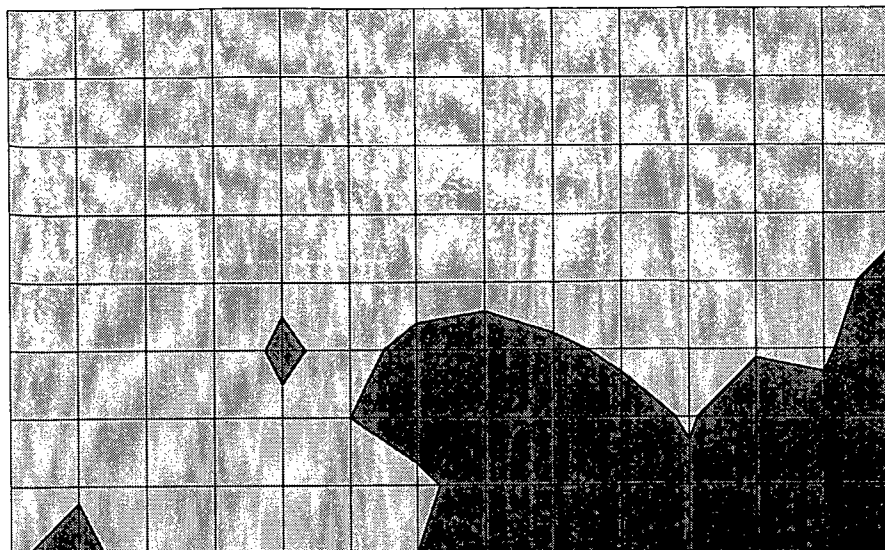
表－3.2.1 自然電位測定結果（F b 法，旧芦川橋，C S E） (%)

自然電位 (m V)	-100≥ >-150	-150≥ >-200	-200≥ >-250	-250≥ >-300	-300≥ >-350	-350≥ >-400
A 面	—	13.5	61.9	23.0	1.6	—
B 面	2.2	1.1	50.5	38.7	5.4	2.2

表－3.2.2 自然電位による腐食評価参考基準・規格

自然電位 (m V)	A S T M基準	B S 規格
>200	90%以上の確率で腐食なし	5%以下の確率で腐食あり
-200≥ >-350	不確定	腐食がある確率は50%
-350≥	90%以上の確率で腐食あり	90%以上の確率で腐食あり

【A面】



【B面】

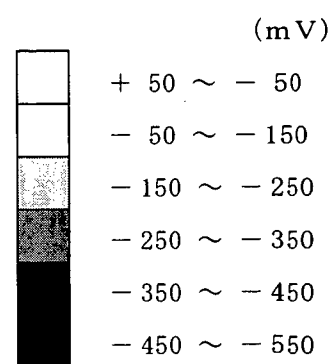
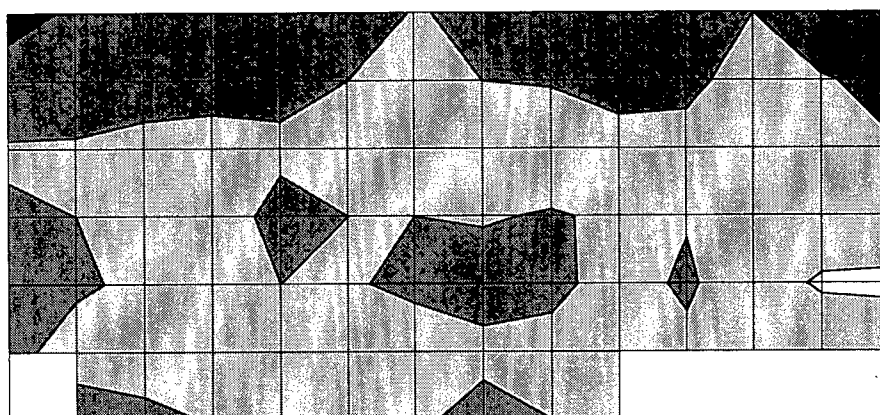


図-3.2.1 F b 法による自然電位測定結果（旧芦川橋，CSE）

表－ 3. 2. 3 F b 法による自然電位測定結果詳細（旧芦川橋A面，C S E）

ナンバ－	X軸	Y軸	上限	下限	デー々	デー々
	[mm]	[mm]	[mV]	[mV]	X-数	Y-数
100001	100	100	-100	-450	14	9

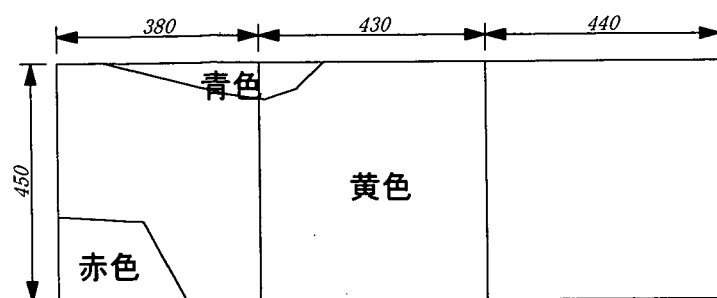
[cm]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
0	-170	-160	-205	-195	-200	-195	-205	-210	-215	-185	-200	-200	-200	-200
10	-170	-185	-205	-200	-210	-195	-215	-220	-205	-195	-200	-210	-225	-230
20	-200	-185	-190	-210	-200	-175	-200	-195	-205	-200	-215	-205	-195	-215
30	-200	-220	-175	-195	-205	-225	-205	-200	-220	-215	-210	-230	-220	-240
40	-215	-200	-205	-210	-245	-245	-235	-235	-220	-230	-220	-230	-240	-260
50	-195	-215	-240	-235	-255	-240	-260	-270	-260	-240	-245	-245	-245	-275
60	-200	-220	-235	-245	-245	-250	-260	-275	-270	-270	-245	-285	-260	-285
70	-240	-245	-220	-220	-225	-235	-245	-260	-265	-280	-260	-265	-275	-275
80	-245	-265	-225	-240	-230	-250	-250	-275	-290	-295	-295	-305	-290	-315

表－ 3. 2. 4 F b 法による自然電位測定結果詳細（旧芦川橋B面，C S E）

ナンバ－	X軸	Y軸	上限	下限	デー々	デー々
	[mm]	[mm]	[mV]	[mV]	X-数	Y-数
100012	100	100	-100	-450	7	14

[cm]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
0	-375	-340	-335	-350	-310	-295	-245	-265	-285	-265	-255	-250	-295	-320
10	-320	-275	-280	-275	-265	-250	-235	-250	-255	-265	-265	-225	-245	-265
20	-240	-245	-230	-225	-240	-230	-240	-240	-205	-235	-230	-240	-235	-245
30	-260	-250	-240	-225	-265	-250	-250	-245	-255	-240	-245	-240	-230	-240
40	-275	-260	-235	-220	-250	-245	-260	-275	-265	-225	-260	-205	-135	-125
50	-270	-220	-210	-225	-175	-220	-225	-235	-230	-250	-235	-225	-230	-235
60		-285	-270	-245	-245	-240	-240	-270	-250	-220				

3.3 Nb法



【鉄筋腐食評価】

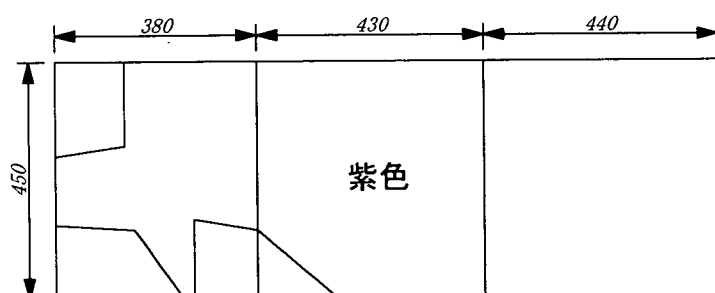
旧芦川橋A面

測定面積 (m²) : 0.56

腐食大 (赤) : 5.10%

腐食軽微 (黄) : 91.79%

腐食無し (青) : 3.12%



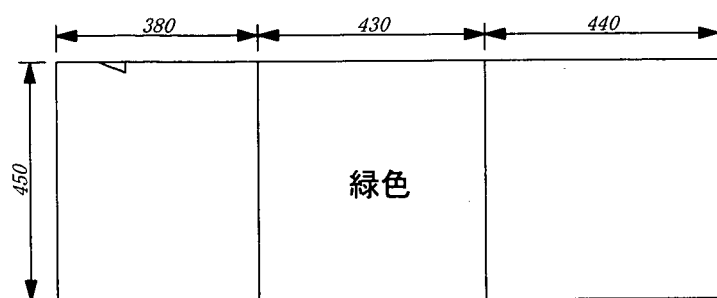
【腐食大に移行する危険性有り】

旧芦川橋A面

測定面積 (m²) : 0.56

腐食大

移行領域 (紫) : 86.53%



【塩害の影響を受けている領域】

旧芦川橋A面

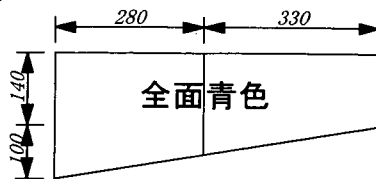
測定面積 (m²) : 0.56

塩害影響領域 (緑) : 99.94%

図－3.3.1 鉄筋腐食評価結果 (Nb法：旧芦川橋A面)

【鉄筋腐食評価】

旧芦川橋B面



測定面積 (m²) : 0.11

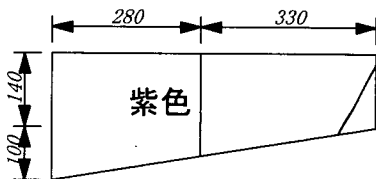
腐食大 (赤) : 0.00%

腐食軽微 (黄) : 0.00%

腐食無し (青) : 100.00%

【腐食大に移行する危険性有り】

旧芦川橋B面



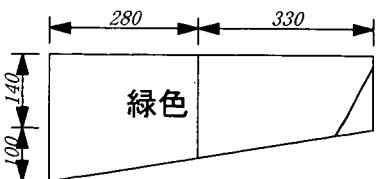
測定面積 (m²) : 0.11

腐食大

移行領域 (紫) : 96.48%

【塩害の影響を受けている領域】

旧芦川橋B面

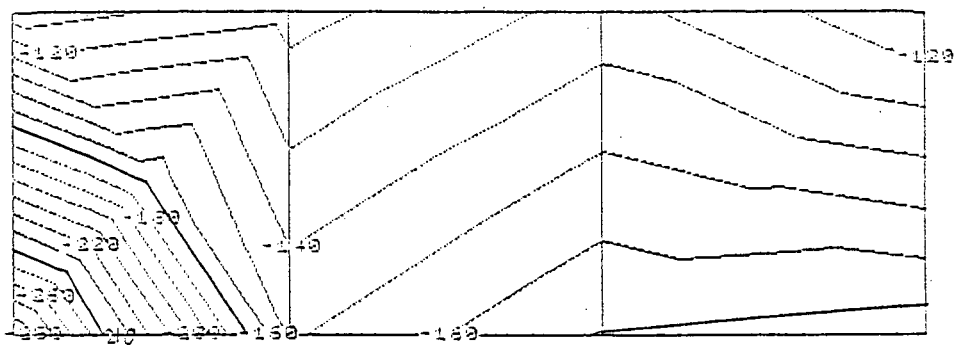


測定面積 (m²) : 0.11

塩害影響領域 (緑) : 96.48%

図－3.3.2 鉄筋腐食評価結果 (N b 法 : 旧芦川橋A面)

※図-3.3.3～図-3.3.10 の等高線も本来カラーで表示されるが、本報告書ではモノクロで印刷した。

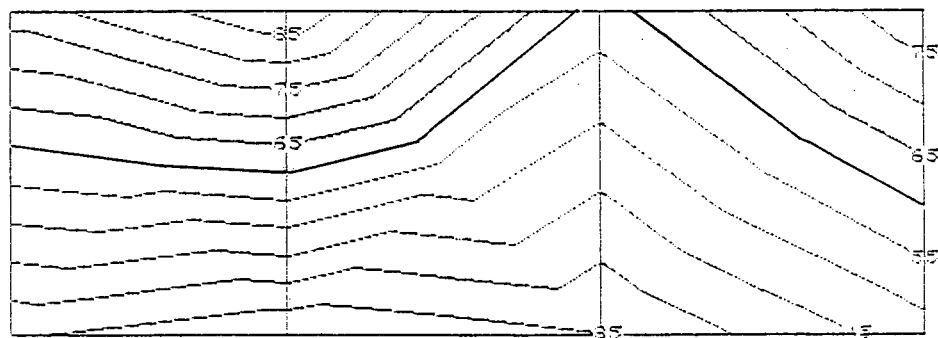


第 1 / 2測定面
A面 (中央部)

自然電位
温度補正值

最大値 : -104
最小値 : -290
平均値 : -156
単位 : mV, SCE
ピッチ : 10

図-3.3.3 自然電位測定結果 (Nb法 : 旧芦川橋A面)

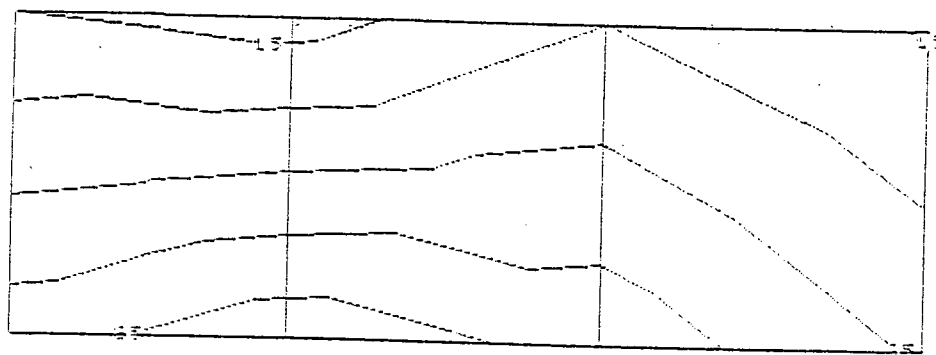


第 1 / 2測定面
A面 (中央部)

分極抵抗 (0.01Hz)
温度補正值

最大値 : 8.96E1
最小値 : 3.05E1
平均値 : 5.66E1
単位 : kΩcm²
ピッチ : 5.0000

図-3.3.4 分極抵抗測定結果 (Nb法 : 旧芦川橋A面)

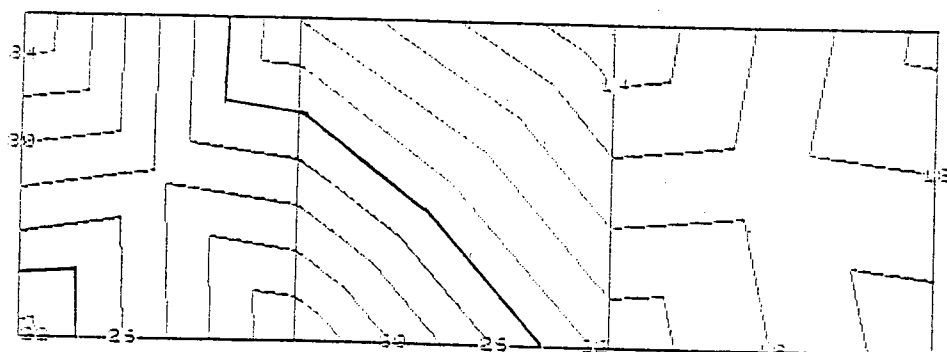


第 1 / 2 測定面
A 面 (中央部)

腐食速度 (0.01Hz)
温度補正値

最大値 : 38.092
最小値 : 12.943
平均値 : 23.880
単位 : E-4mm/year
ピッチ : 5.0000

図-3.3.5 腐食速度換算結果 (Nb 法 : 旧芦川橋 A 面)

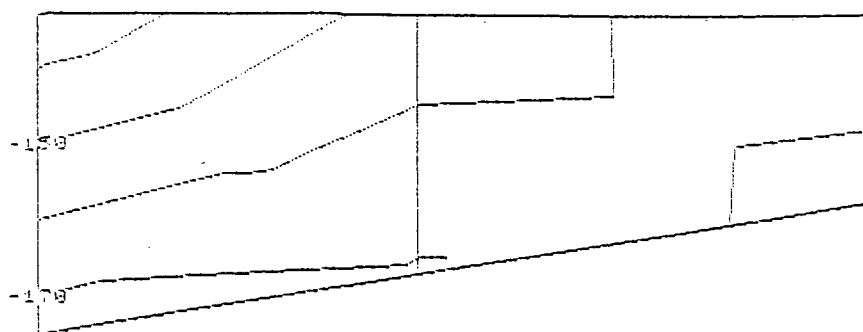


第 1 / 2 測定面
A 面 (中央部)

抵抗率
温度補正値

最大値 : 3.59E1
最小値 : 1.22E1
平均値 : 2.25E1
単位 : kΩcm
ピッチ : 2.0000

図-3.3.6 比抵抗測定結果 (Nb 法 : 旧芦川橋 A 面)

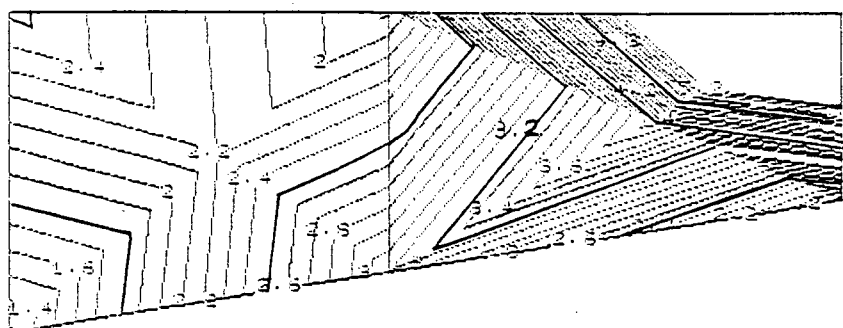


第 2 / 2 測定面
B 面 (端部)

自然電位
温度補正値

最大値 : -133
最小値 : -175
平均値 : -159
単位 : mV, SCE
ピッチ : 10

図-3.3.7 自然電位測定結果 (Nb 法 : 旧芦川橋 B 面)

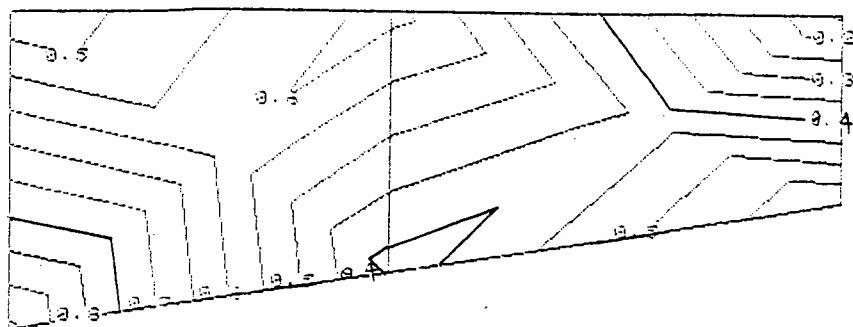


第 2 / 2 測定面
B 面 (端部)

分極抵抗 (0.01Hz)
温度補正値

最大値 : 8.4250
最小値 : 1.2750
平均値 : 3.1950
単位 : MΩcm²
ピッチ : 0.1000

図-3.3.8 分極抵抗測定結果 (Nb 法 : 旧芦川橋 B 面)



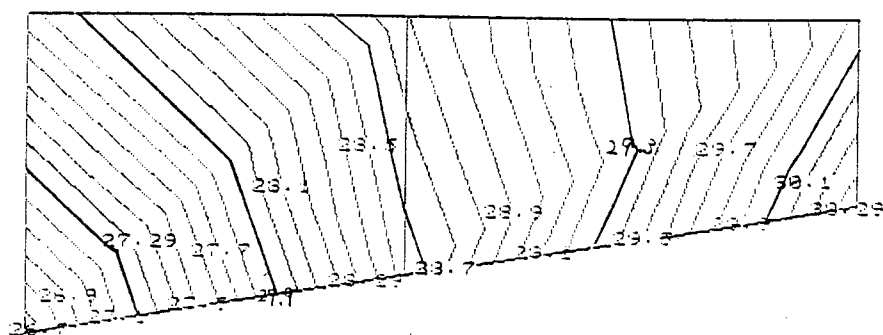
第 2 / 2 測定面

腐食速度 (0.01Hz)
温度補正值

B 面 (端部)

最大値 : 0.9110
最小値 : 0.1373
平均値 : 0.5158
単位 : E-4mm/year
ピッチ : 0.0500

図 - 3.3.9 腐食速度換算結果 (Nb 法 : 旧芦川橋 B 面)



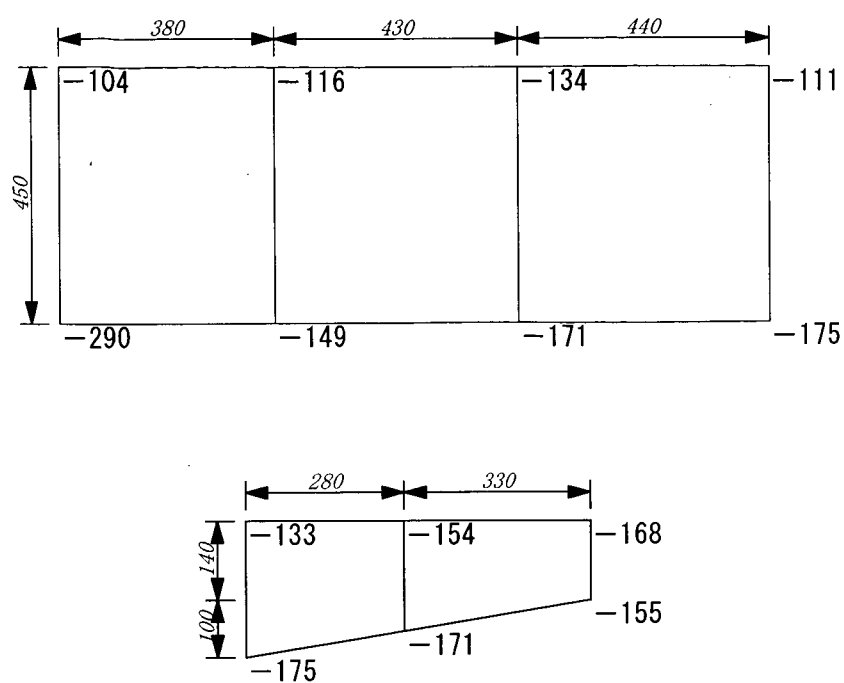
第 2 / 2 測定面

抵抗率
温度補正值

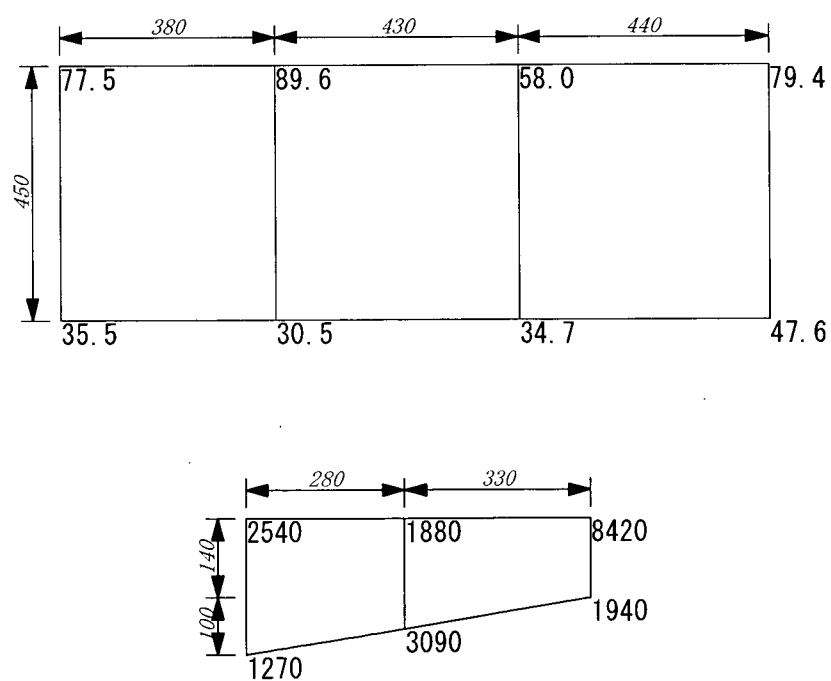
B 面 (端部)

最大値 : 3.04E1
最小値 : 2.66E1
平均値 : 2.87E1
単位 : kΩcm
ピッチ : 0.1000

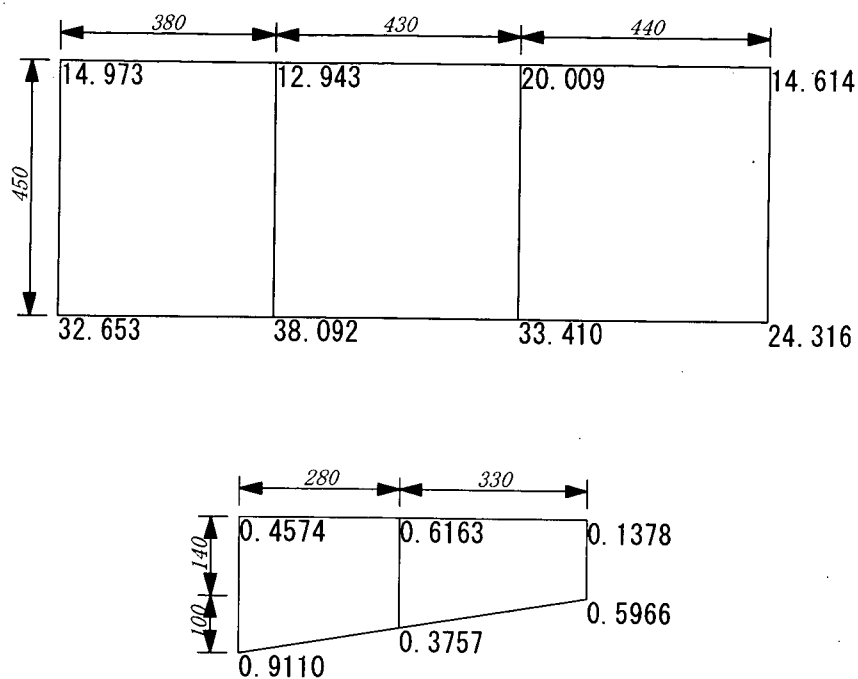
図 - 3.3.10 比抵抗測定結果 (Nb 法 : 旧芦川橋 B 面)



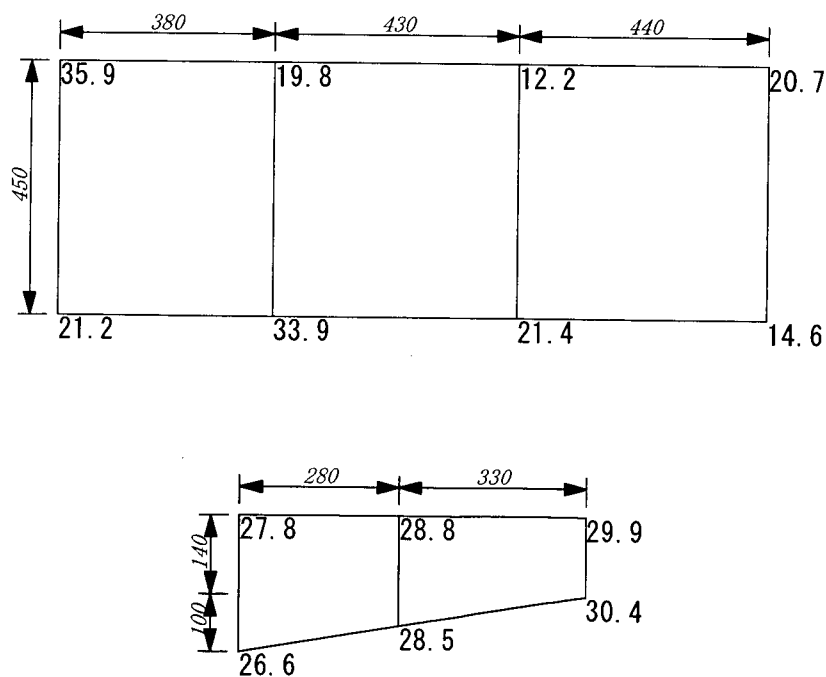
圖— 3.3.11 自然電位測定結果詳細 (Nb法, mV : SCE 換算)



圖— 3.3.12 分極抵抗測定結果詳細 (Nb法, $k\Omega \cdot cm^2 : 0.1Hz$)



圖— 3. 3. 13 腐食速度測定結果詳細 (Nb 法, $10^{-4}\text{mm/year} : 0.1\text{Hz}$)



圖— 3. 3. 14 比抵抗測定結果詳細 (Nb 法, $k\Omega \cdot \text{cm}$)

3.4 Tk法

旧芦川橋の調査では、飽和硫酸銅電極（CSE）を使用した。

測定結果を図-3.4.1～図-3.4.5に示す。また、これらの測定結果を総合的に判断して、図-3.4.6に鉄筋腐食の可能性を図示した。

①A面測定結果

電位値（現状の腐食度の評価指標）から判断すると全測定ポイントで $-50 \sim -150 \text{ mV}$ であり、本調査箇所における鉄筋は腐食まで至っていないと思われる（図4-5自然電位マップ参照）。コンクリート抵抗値（腐食環境の評価指標）を見ると測定面下部で鉄筋を取り囲むコンクリートの環境が悪い傾向を示している（図4-7コンクリート抵抗マップ参照）。総合的に評価すると（図4-11供試体Aマップ参照）測定面右側、特に下部の腐食度が高いと思われる。

②B面測定結果

電位値から判断すると全測定ポイントで $-150 \sim -200 \text{ mV}$ であり、本調査箇所における鉄筋は腐食まで至っていないと思われる（図4-8電位マップ参照）。ただし、供試体A面と比較すると腐食は進んでいる状態にあると思われる。総合的に評価すると（図4-12供試体Bマップ）測定面中央部付近がやや腐食度が高いと思われる。

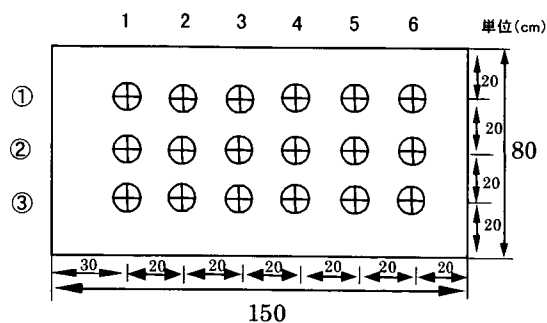
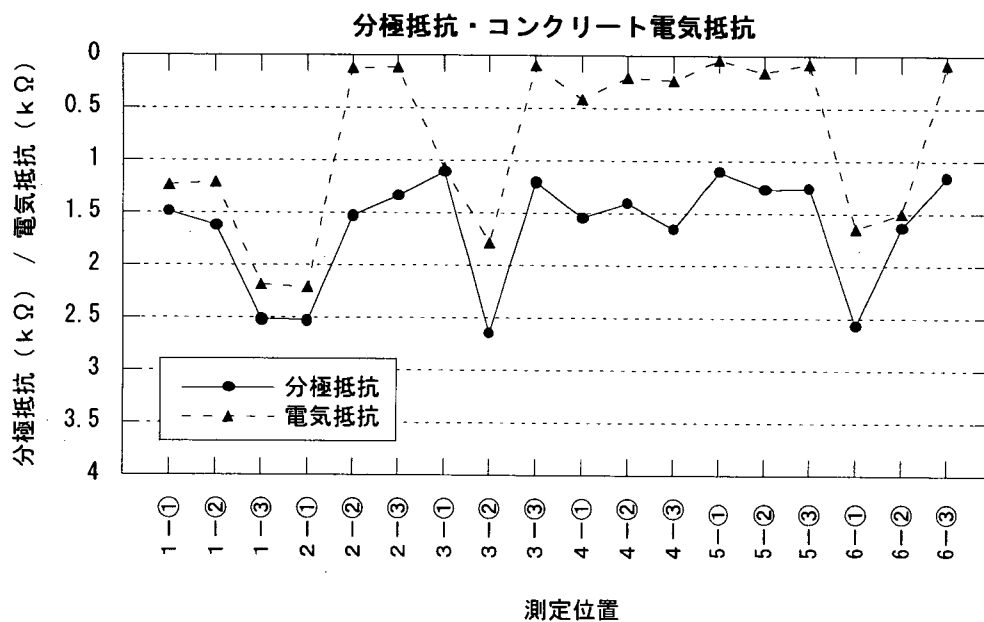
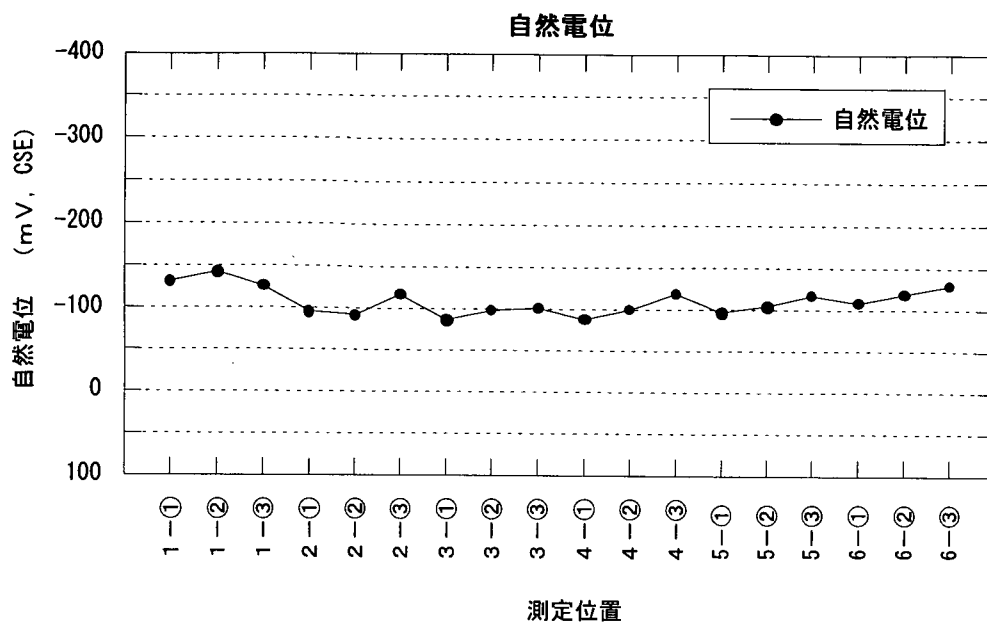


図-3.4.1 自然電位・分極抵抗・コンクリート電気抵抗測定結果 (Tk法, 旧芦川橋A面)

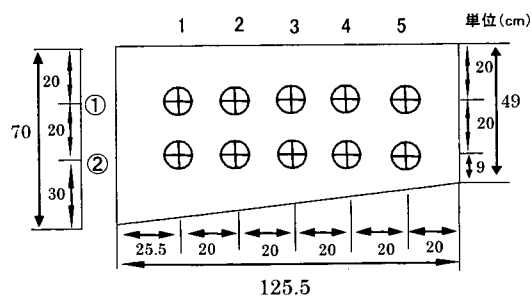
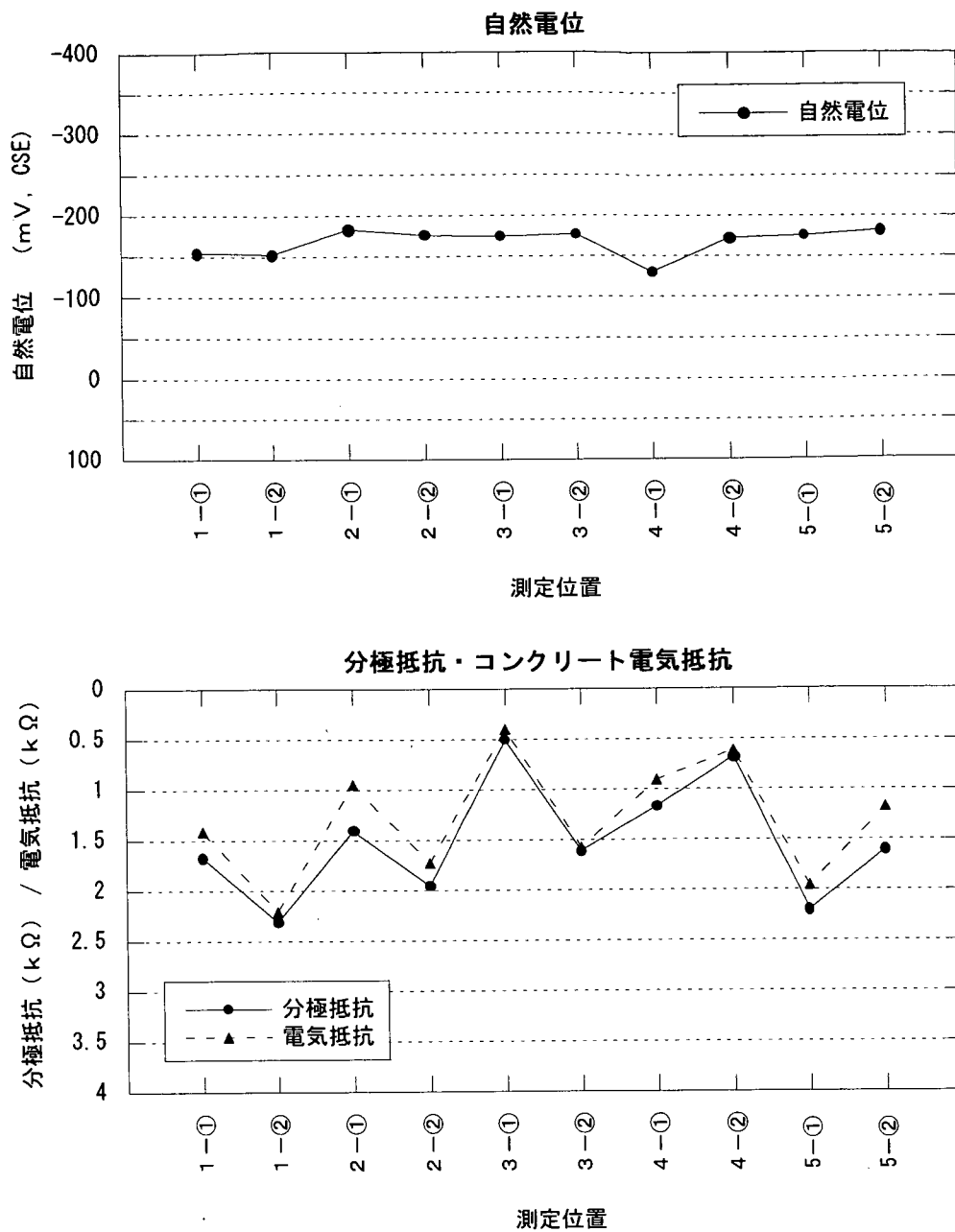
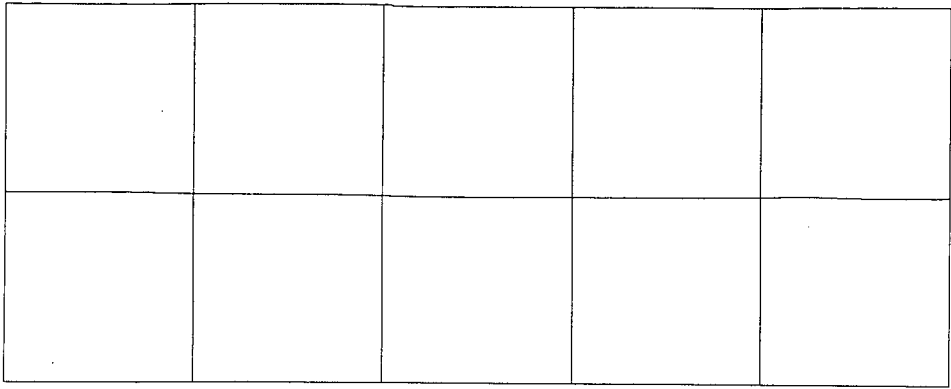
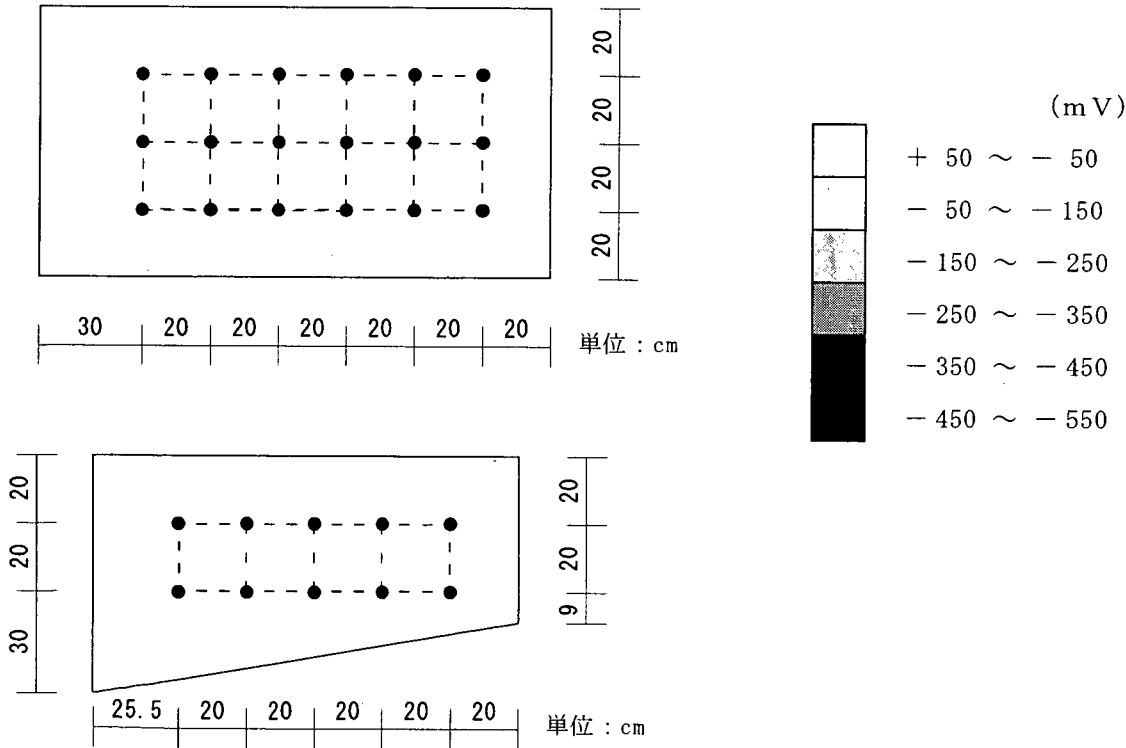
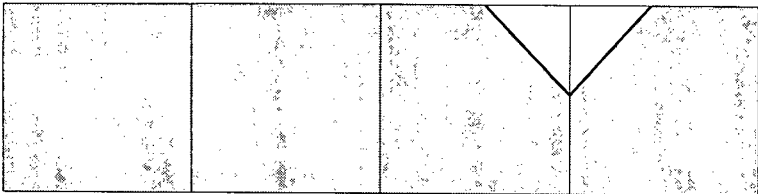


図-3.4.2 自然電位・分極抵抗・コンクリート電気抵抗測定結果 (Tk法, 旧芦川橋B面)

旧芦川橋 【A面】

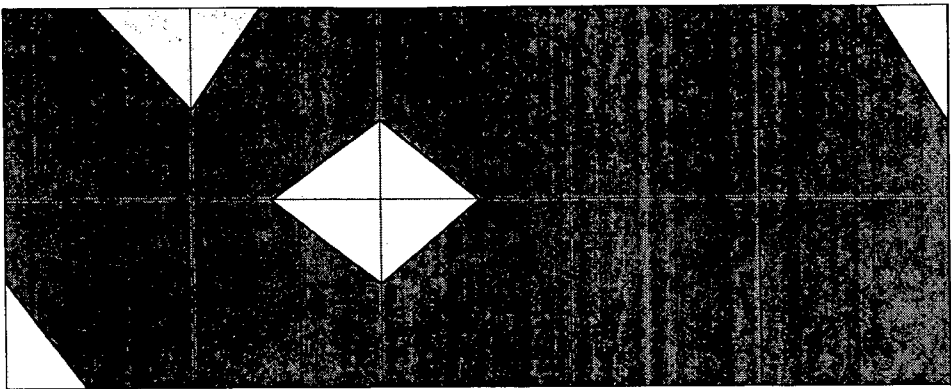


旧芦川橋 【B面】



図一 3.4.3 自然電位測定結果 (T k 法, mV : CSE)

旧芦川橋 【A面】



旧芦川橋 【B面】

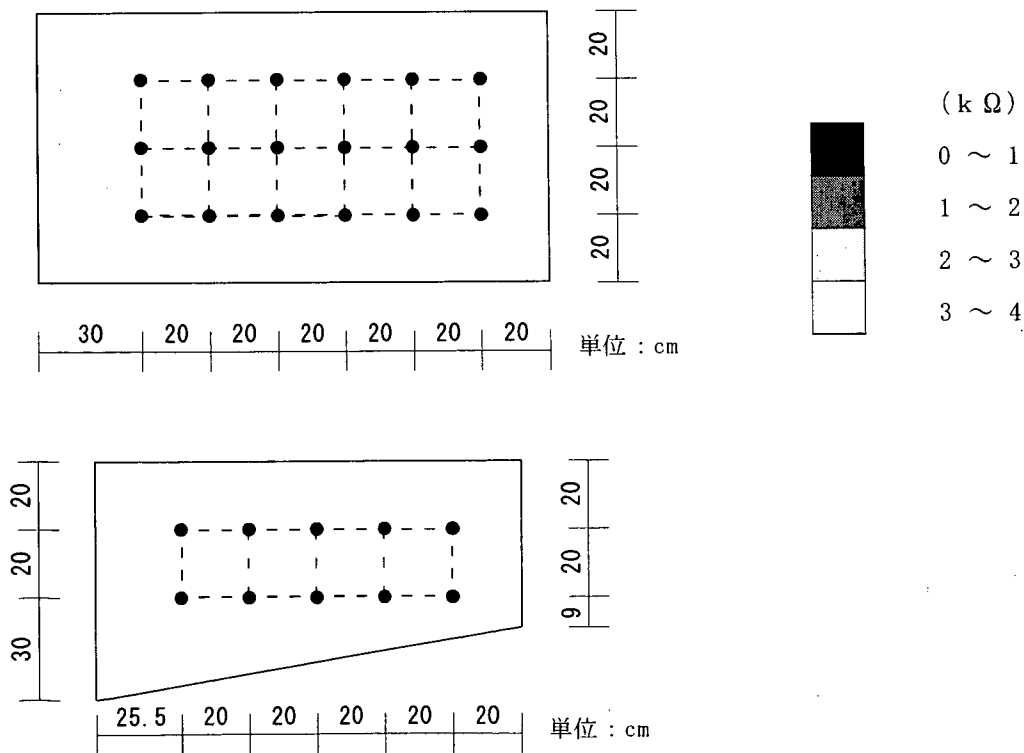
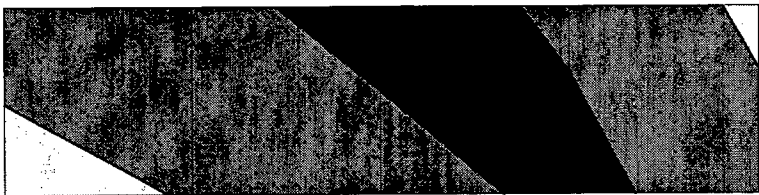
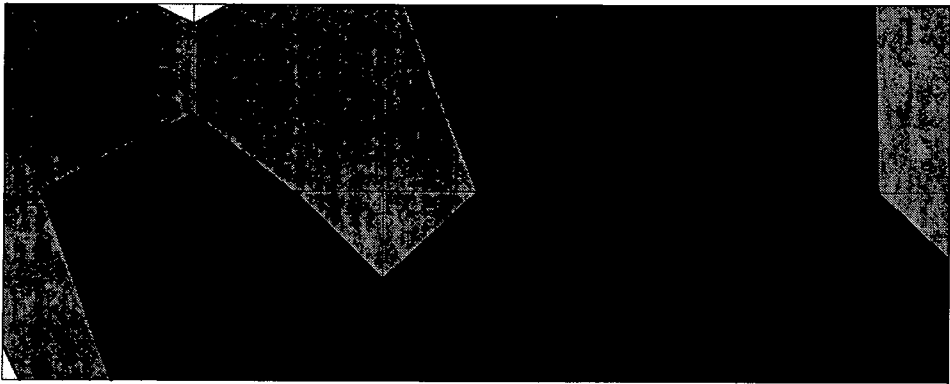


図-3.4.4 分極抵抗測定結果 (T k 法, kΩ)

旧芦川橋 【A面】



旧芦川橋 【B面】

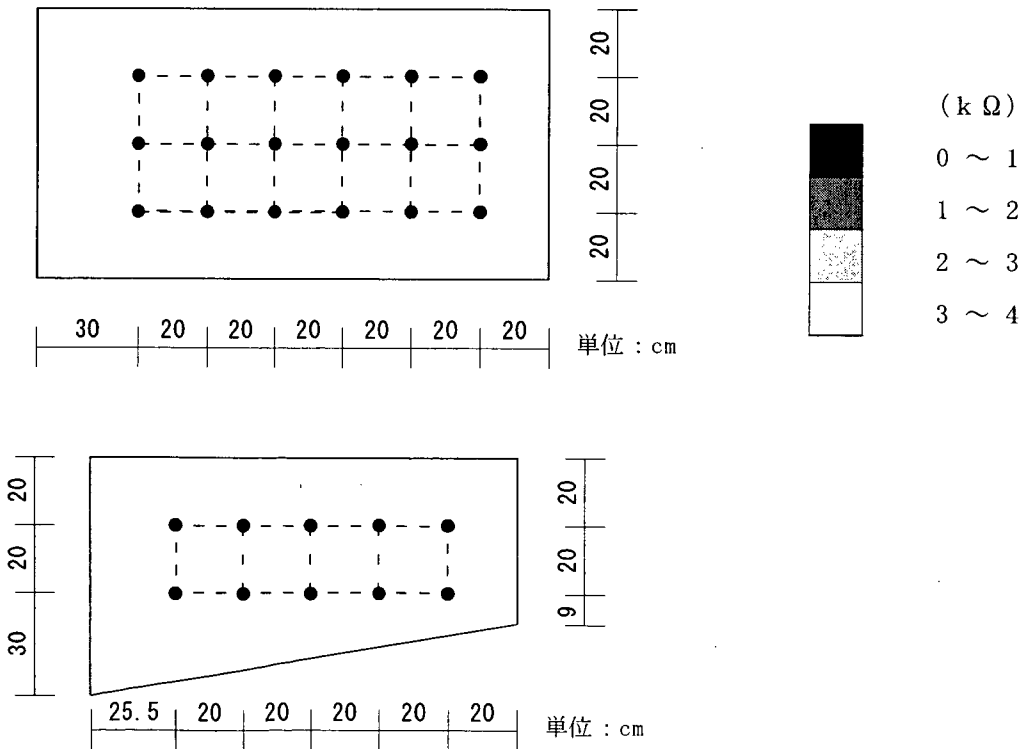
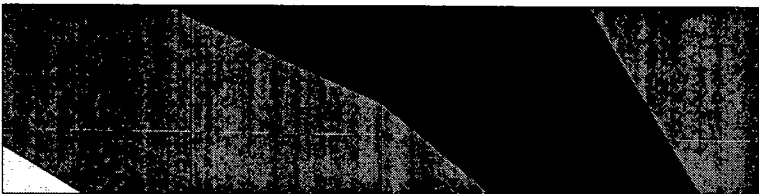
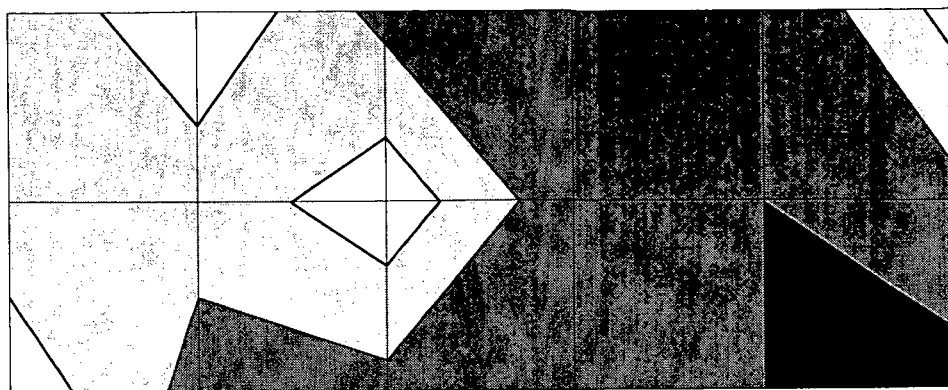


図- 3. 4. 5 コンクリートの電気抵抗測定結果 (T k 法, k Ω)

旧芦川橋 【A面】



旧芦川橋 【B面】

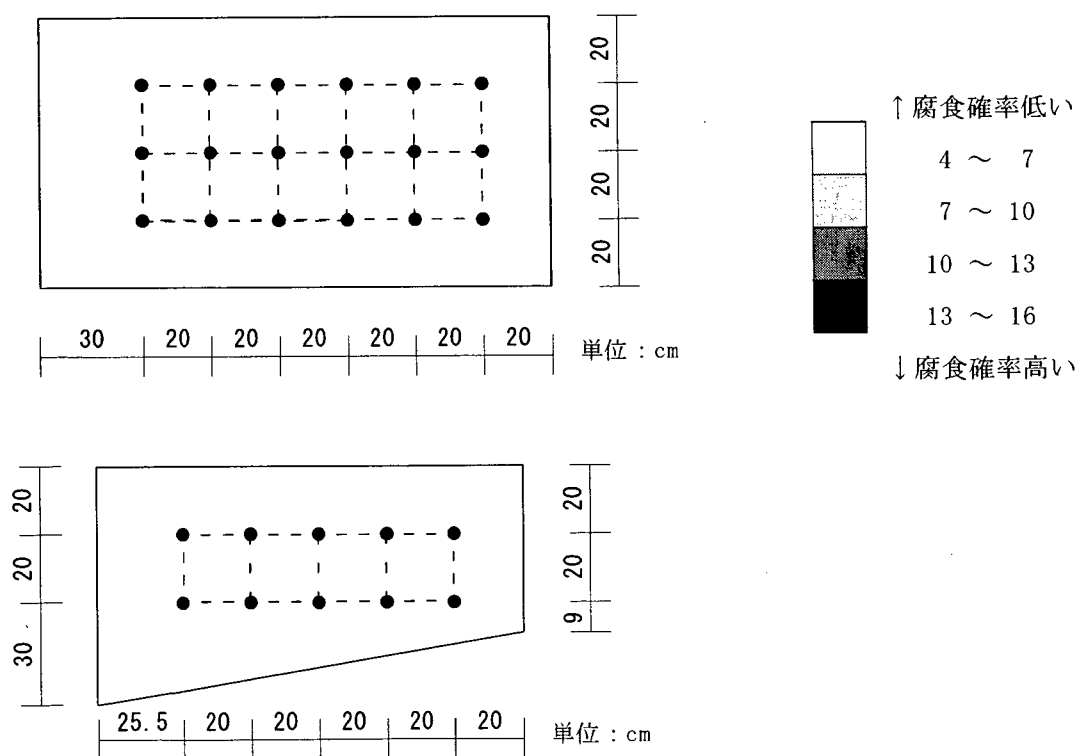
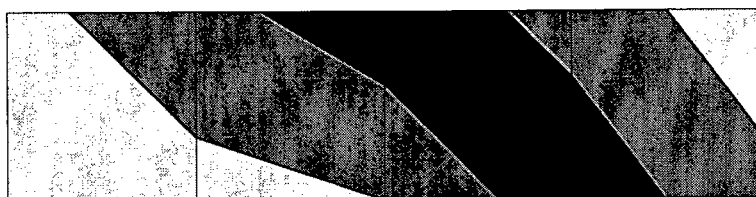


図-3.4.6 総合評価 (Tk法)

表-3.4.1 測定結果詳細 (Tk法)

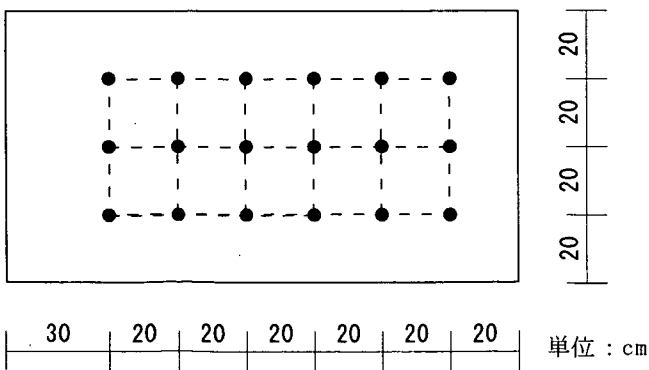
【A面】

測定位置	自然電位 (mV)	分極抵抗 (kΩ)	コンクリート 電気抵抗 (kΩ)	総合評価
1-①	-131.34	1.487	1.236	10
1-②	-142.64	1.62	1.208	9
1-③	-126.22	2.512	2.187	5
2-①	-96.313	2.526	2.208	4
2-②	-92.407	1.529	0.122	9
2-③	-117.37	1.335	0.118	11
3-①	-87.219	1.108	1.072	11
3-②	-98.327	2.646	1.783	5
3-③	-101.562	1.204	0.095	11
4-①	-88.134	1.545	0.416	11
4-②	-99.67	1.406	0.209	12
4-③	-118.713	1.651	0.237	12
5-①	-97.229	1.099	0.037	13
5-②	-104.614	1.272	0.162	13
5-③	-117.37	1.259	0.075	13
6-①	-108.52	2.568	1.644	6
6-②	-119.201	1.637	1.503	11
6-③	-129.15	1.155	0.081	14

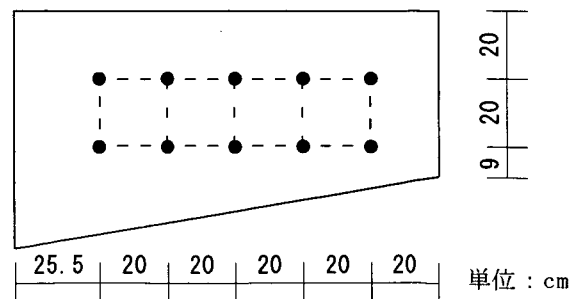
【B面】

測定位置	自然電位 (mV)	分極抵抗 (kΩ)	コンクリート 電気抵抗 (kΩ)	総合評価
1-①	-154.235	1.671	1.414	9
1-②	-152.832	2.308	2.208	7
2-①	-183.471	1.407	0.953	12
2-②	-175.537	1.956	1.729	9
3-①	-174.56	0.507	0.403	15
3-②	-176.94	1.607	1.578	10
4-①	-130.249	1.171	0.906	12
4-②	-172.119	0.68	0.612	15
5-①	-176.33	2.195	1.958	8
5-②	-182.678	1.603	1.175	11

【A面】



【B面】



4. 赤外線によるはく離箇所の調査

4.1 調査の概要

(1) 目的

赤外線映像装置およびデジタル写真を用いて表面温度を測定し、コンクリートのはく離箇所を検出した。屋内で測定を行ったので、散水による冷却ではく離部と健全部に温度差をつけ、コンクリートのはく離箇所を検出する方法を検討した。

(2) 測定対象

①旧芦川橋G 1 桁のA面およびC面（B面のウラ、海側）

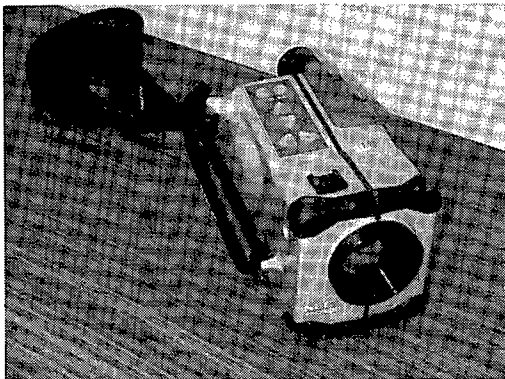
②土木研究所で保管してあったPC桁（PC桁No.2）の両面（便宜的に、D面、E面とする）

旧芦川橋G 1 桁のウェブ部は、事前の調査でコンクリートのはく離箇所はほとんどないことがわかったので、今回とは別の調査のため保管してあったPC桁No.2に対しても測定を行った。

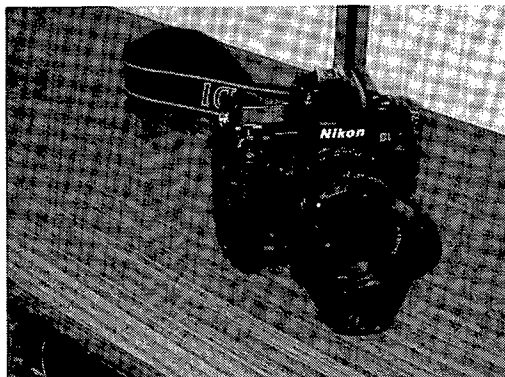
(3) 使用機材

①赤外線映像装置（N社製TH7102SP、ただし測定者C oにより一部改造）

②デジタルスチルカメラ（N社製D1）



写真－4.1.1 赤外線映像装置



表－4.1.2 デジタルスチルカメラ

表－4.1.1 赤外線映像装置の仕様

項目	仕様
温度測定範囲	－20～100℃
最小検知温度差	0.08℃（30℃黒体において）
視野角	29° × 22°
測定波長	5.5～13μm
検出器	2次元非冷却センサ（マイクロボロメータ）
熱画像画素数	320（H）× 240（V）
フレーム時間	30フレーム／秒
焦点範囲	50cm ～ ∞
バッテリー持続時間	約70分

表－4.1.2 デジタルスチルカメラの仕様

項目	仕様
検出器	23.7 × 15.6mmサイズ原色CCD
解像度	2000（H）× 1312（V）
画素数	274万画素（有効画素数266万画素）

4.2 測定方法

(1) 赤外線計測の原理

すべての物体は、その温度が絶対零度以上であれば物体表面の原子あるいは分子の運動により、その温度に応じた電磁波を放射している。放射率が ε の物体の単位面積、単位波長あたりの放射発散度（以下、分光放射発散度と表記）は、式(4.2.1)で与えられ、プランクの式と呼ばれる。

$$W_{\lambda} = \varepsilon \cdot \frac{2 \pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/\lambda kT} - 1} \dots\dots\dots (4.2.1)$$

ここに、 W_{λ} : 分光放射発散度 ($W/cm^2 \cdot \mu m$)

ε : 放射率 (%)

h : プランク定数 6.6261×10^{-34} (W/s^2)

c : 光速 2.9979×10^{10} (cm/s)

λ : 波長 (μm)

k : ボルツマン定数 1.3807×10^{-23} ($W \cdot s/K$)

T : 絶対温度 (K)

放射率とは、黒体の放射発散度に対する物体の放射発散度の比を表し、自然界に存在する物体の放射率は、すべて0～1の値をとる。キルヒホッフの法則によれば、物体の赤外線放射率と赤外線吸収率は等しく、また、赤外線放射率 α と赤外線反射率 β との間には、式(4.2.2)の関係が成立する。

$$\beta = 1 - \alpha \dots\dots\dots (4.2.2)$$

これは、赤外線放射率が大きな物体ほど赤外線をよく吸収し、赤外線放射率が小さな物体ほど赤外線をよく反射することを意味する。したがって、検出波長帯が $a \sim b$ (μm)の赤外線センサに入射する放射量は、式(4.2.3)により与えられる。

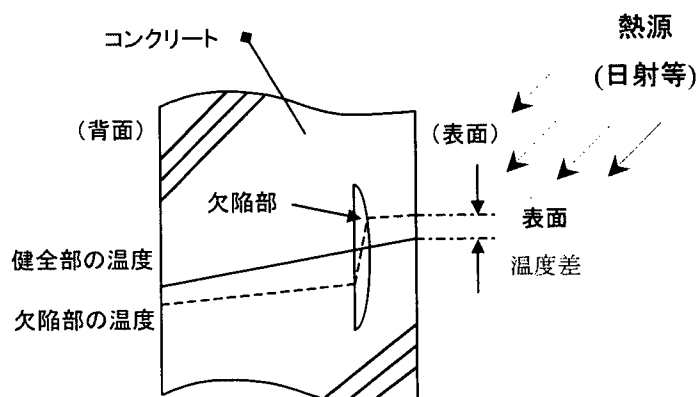
$$\int_b^a W_{\lambda} = \int_b^a \varepsilon \cdot \frac{2 \pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/\lambda kT} - 1} \dots\dots\dots (4.2.3)$$

以上の原理を用いて物体の表面温度を計測する装置が放射温度計であり、赤外線センサの検出波長帯における放射率が既知であれば、赤外線センサを用いて放射発散度を測定することにより、物体の表面温度を知ることができる。現在用いられている赤外線映像装置は、赤外線センサを用いて物体表面を2次元的に走査し、表面温度分布を映像化する放射温度計の一種である。

(2) 赤外線法による欠陥検出の原理

赤外線法による構造物診断の原理図を図－4.2.1に示す。構造物の内部あるいは背面に存在するはく離、空洞、漏水等の欠陥部と健全な部分とは、熱伝導率や比熱・密度等の物理的性質が異なる。このため、欠陥部と健全部では、日照等によるコンクリート表面の温度変化の速さが異なり、構造物表面の温度差を測定することで、欠陥部の有無や位置を推定することが可能である。

赤外線法では、離れた位置から非破壊で、構造物表面の温度を測定することができる。今回の測定では、一般に行われている加熱法ではなく、散水によるコンクリート表面の温度低下をみる冷却法を試みることで、冷却過程における赤外線熱画像から、コンクリートの浮き部を検出した。



図－4.2.1 反発度測定結果

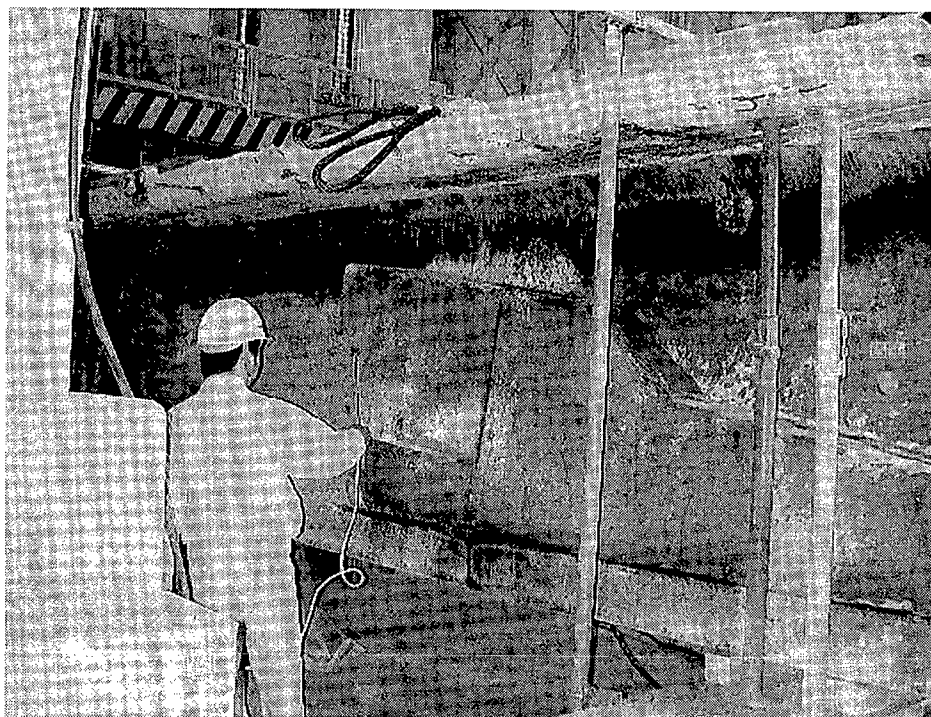
(3) 赤外線画像の表示方法

赤外線画像の表示方法を橋梁高欄部の熱画像図－4.2.2を用いて解説する。赤外線画像は、慣例的に画像上の各点の温度値を擬似的カラーあるいは濃淡グレースケールで表現する。カラーの場合は、暖色ほど高温であることを示し、寒色ほど低温であることを示す。一方、グレースケールの場合は、黒色ほど高温を示し、白色ほど低温であることを示す。

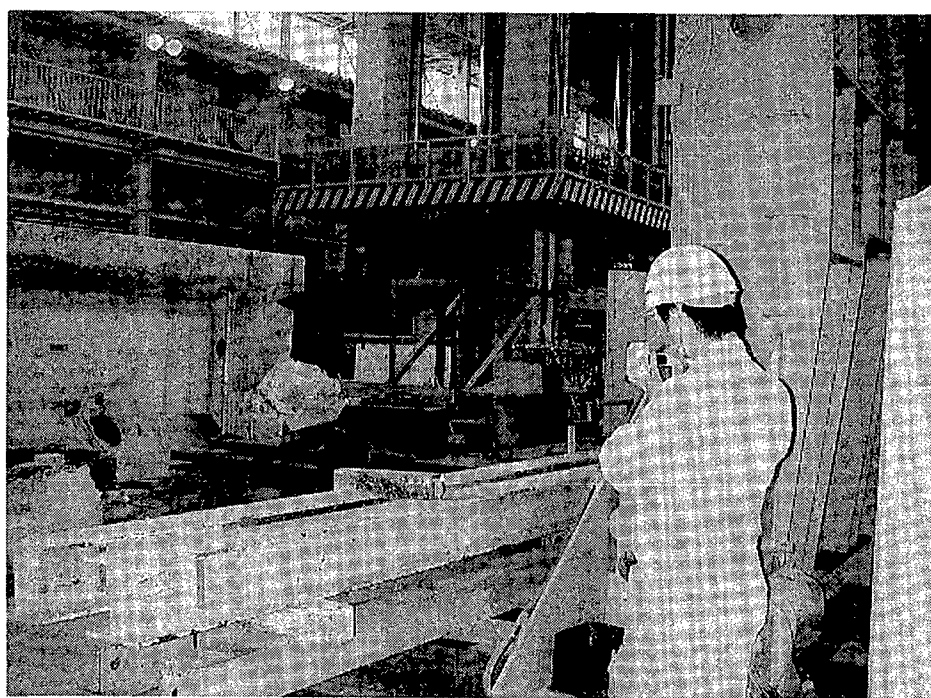
外部から熱を加えた場合、コンクリート損傷部は、健全部よりも温度が上がりやすく、高温部として赤色（黒色）に表示される。



図－4.2.2 橋梁高欄部の赤外線熱画像



写真－4.2.1 散水状況



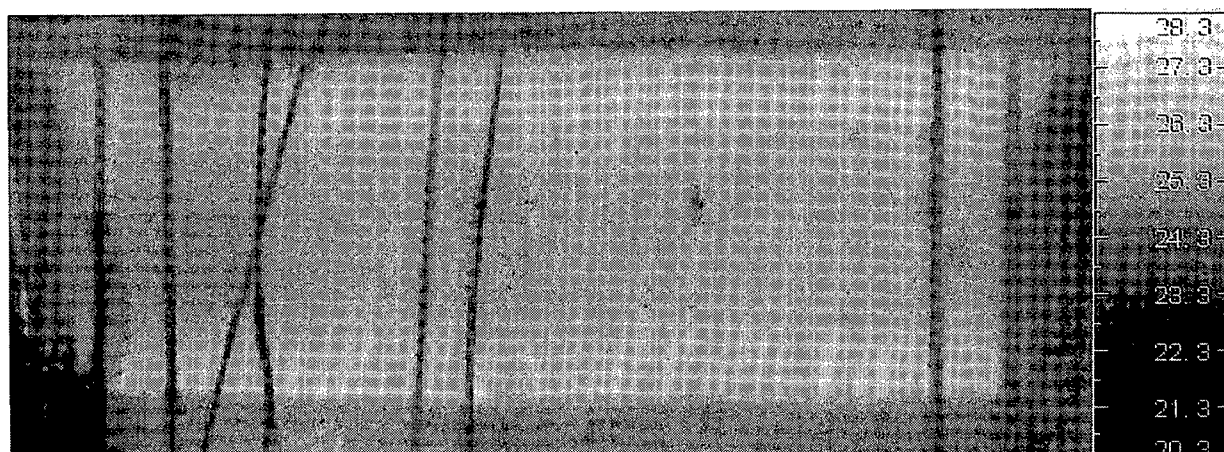
写真－4.2.2 測定状況

4.3 測定結果

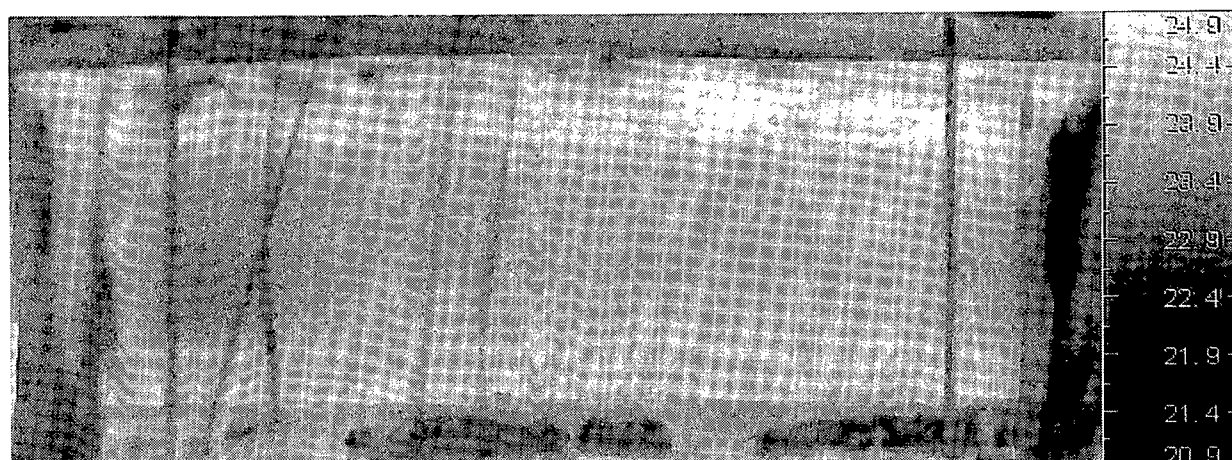
(1) 旧芦川橋



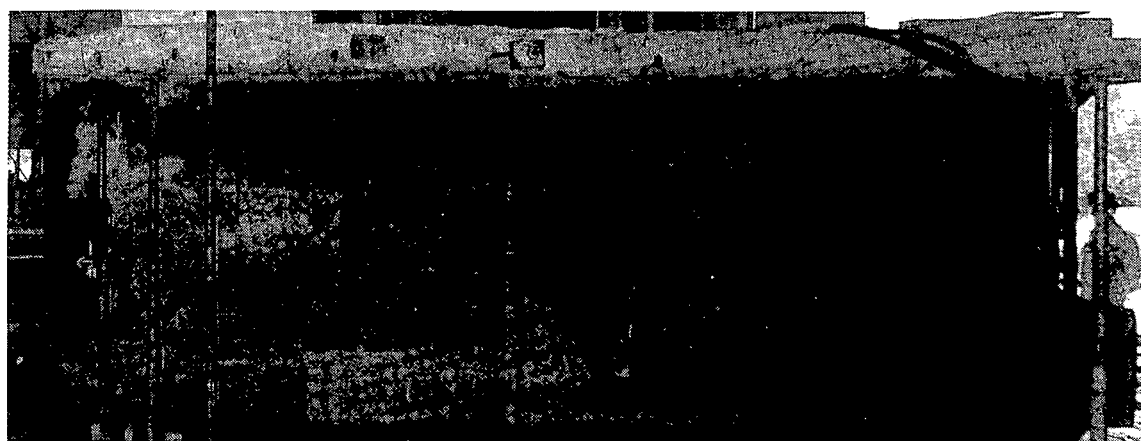
写真－4.3.1 測定対象（旧芦川橋A面）



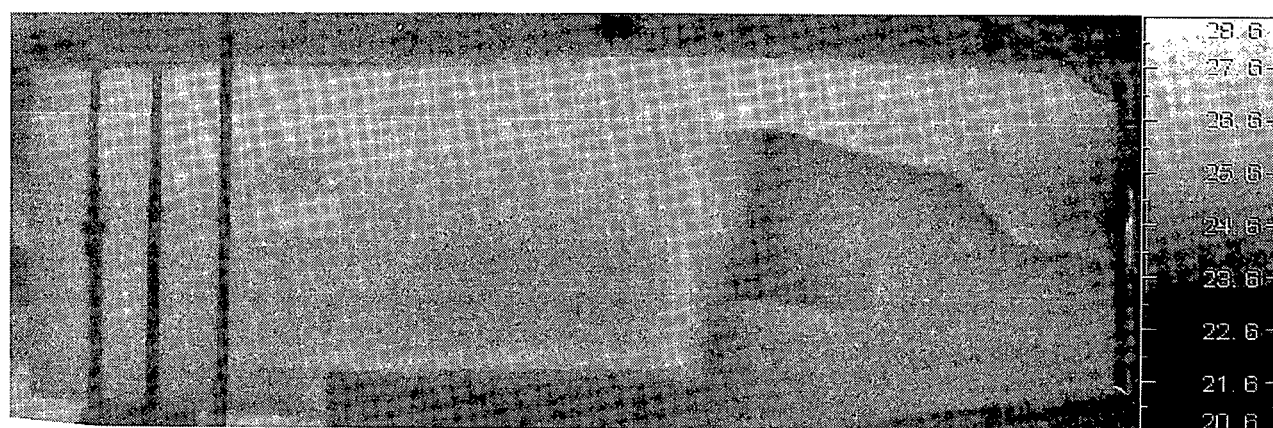
図－4.3.1 赤外線熱画像合成図（旧芦川橋A面，散水前）



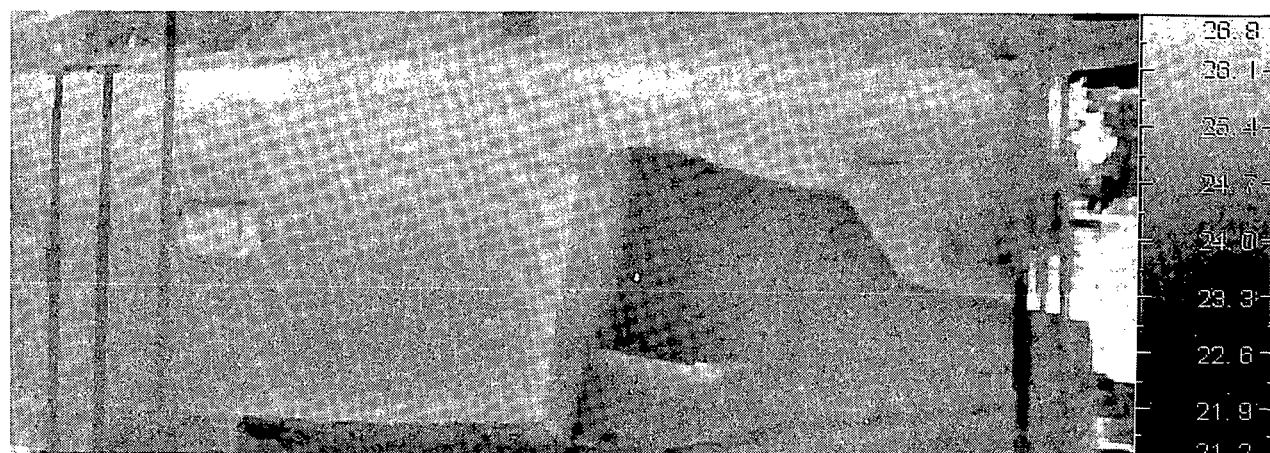
図－4.3.2 赤外線熱画像合成図（旧芦川橋A面，散水後）



写真－4.3.2 測定対象（旧芦川橋C面）

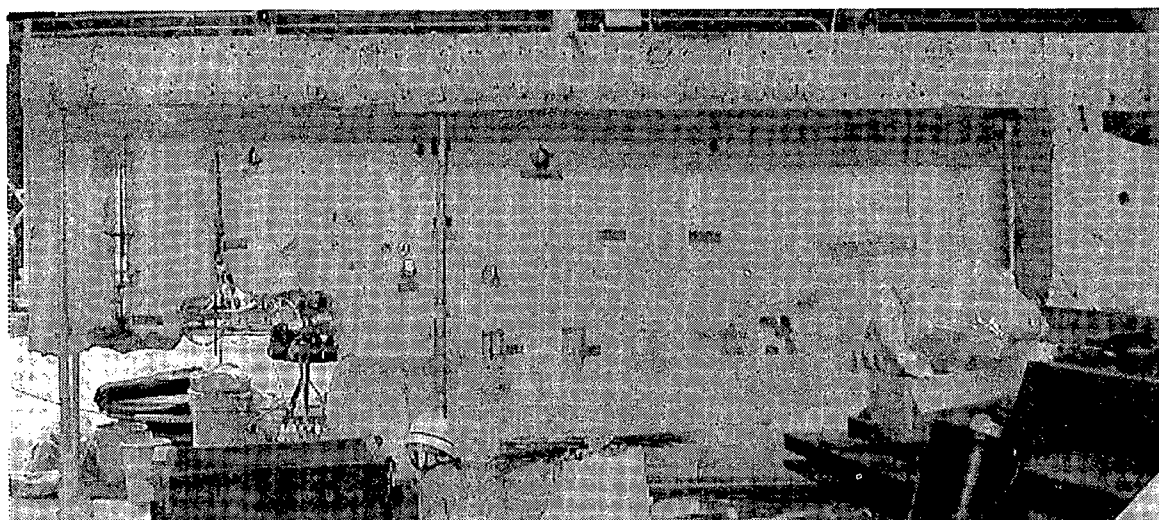


図－4.3.3 赤外線熱画像合成図（旧芦川橋C面，散水前）

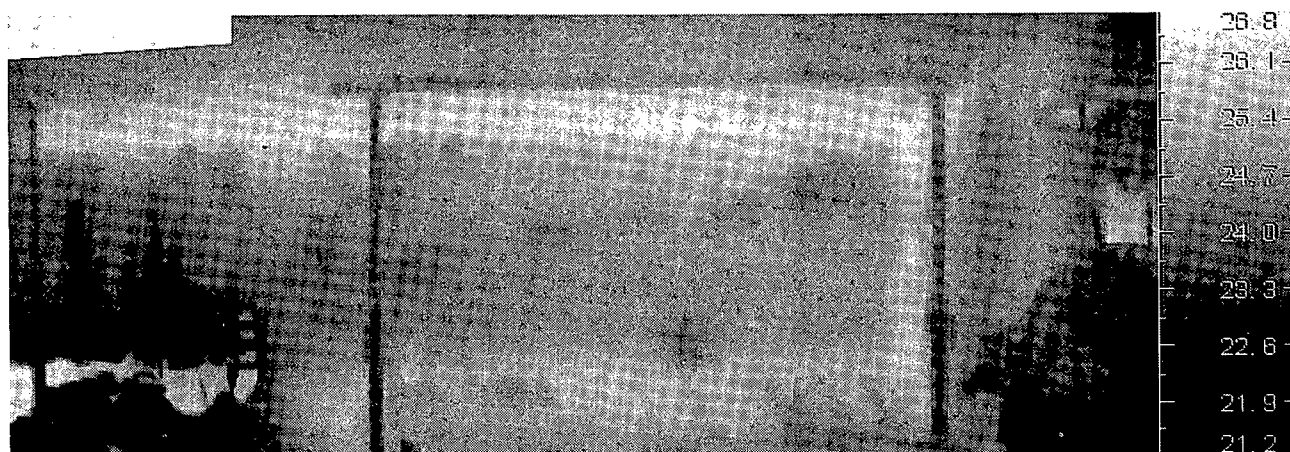


図－4.3.4 赤外線熱画像合成図（旧芦川橋C面，散水後）

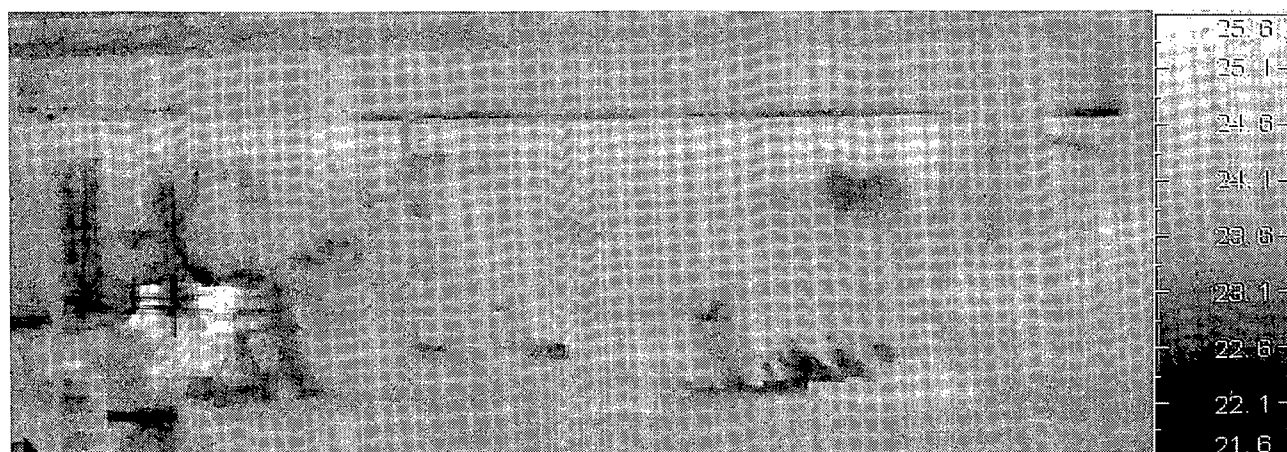
(2) P C 桁 No. 2



写真－4.3.3 測定対象 (P C 桁 No. 2, D面)



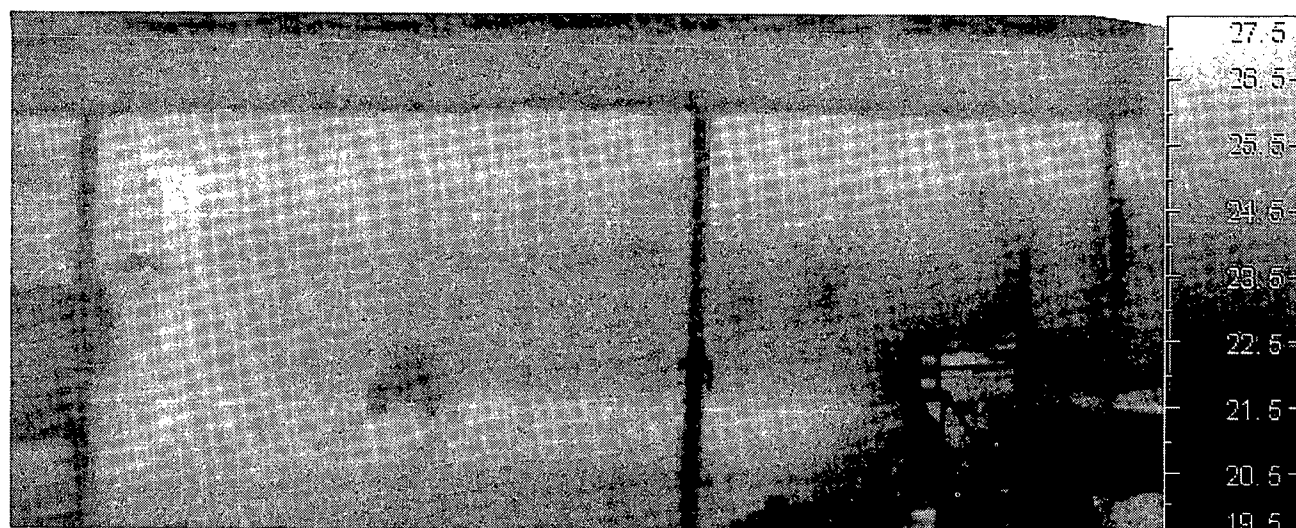
図－4.3.5 赤外線熱画像合成図 (P C 桁 No. 2, D面, 散水前)



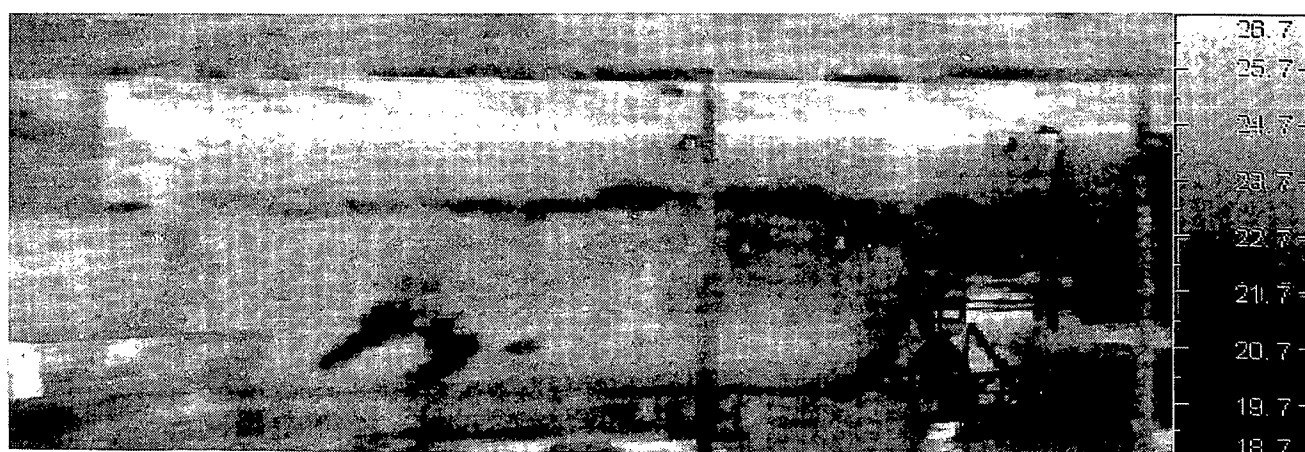
図－4.3.6 赤外線熱画像合成図 (P C 桁 No. 2, D面, 散水後)



写真－4.3.4 測定対象（P C 桁 No. 2, E 面）



図－4.3.7 赤外線熱画像合成図（P C 桁 No. 2, E 面, 散水前）



図－4.3.8 赤外線熱画像合成図（P C 桁 No. 2, E 面, 散水後）

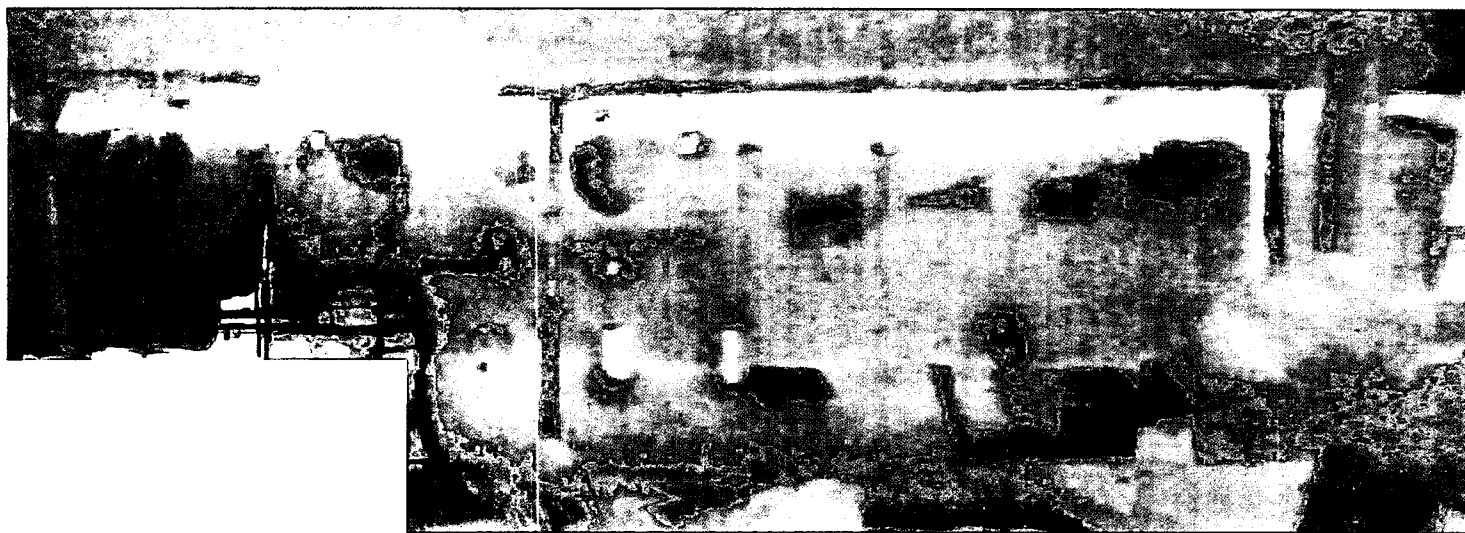


図-4.3.9 熱画像低温部抽出図 (PC 桁 No. 2, D 面)

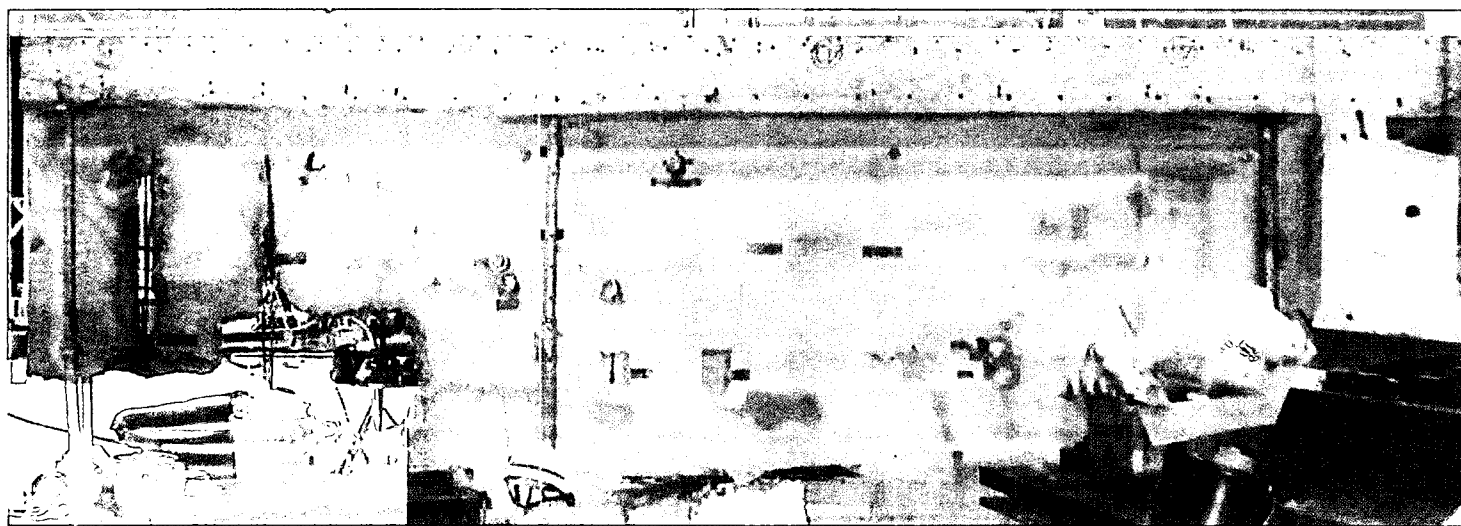
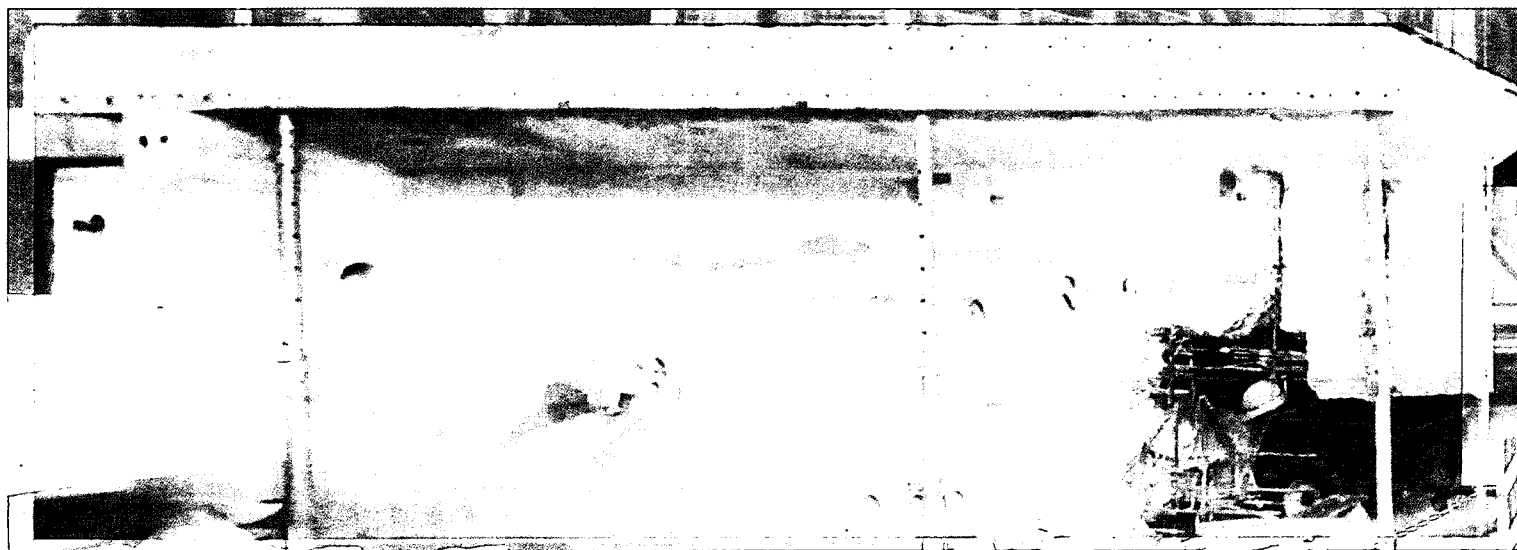


図-4.3.10 熱画像低温部抽出図 (PC 桁 No. 2, D 面)



図－4.3.11 熱画像低温部抽出図（P C 桁 No. 2, E 面）



図－4.3.12 熱画像低温部抽出図（P C 桁 No. 2, E 面）

4.4 考察

今回の調査の結果、得られた知見を以下に列記する。

- ①旧芦川橋 G 1 桁では、ウェブ部にはコンクリートの浮き箇所はなかった。
- ②コンクリートに多数の浮きが存在する P C 桁 No. 2 については、散水後の熱画像に多数の低温部が検出されており、これらはコンクリートの浮き箇所、ひび割れの箇所、あるいは補修部分の分布とよく一致した。P C 桁 No. 2 では、曲げ上げられた P C 鋼材がウェブ部に存在し、かつ、著しい腐食を生じている。熱画像で抽出された低温部は、この P C 鋼材に沿って検出されており、P C 鋼材の腐食により構造物が著しい劣化を生じていることがあらためて確認された。
- ③散水前の熱画像で検出されていないコンクリート浮き部が、冷却後の熱画像では明瞭に検出されており、冷却法の有効性が確認された。
- ④冷水による表面温度低下は 1°C 前後であることから、コンクリートのはく離箇所検出には、微量の散水で十分であるといえる。
- ⑤加熱法によって浮きの表面に現れる高温部に比べて、冷却法によって浮き部に現れる低温部は、長時間安定して健全部との温度差を維持する。これは、加熱法によって現れた表面温度差が空気による冷却作用を受けて短時間で消滅するのに対し、散水によって生じた表面温度差はコンクリート表面が完全に乾くまで気化熱を奪い続けるためであると考えられる。

5. 小径コアを用いた試験

5.1 調査の概要

(1) 概要

小径コアによるコンクリートの圧縮強度と中性化深さの試験結果について述べる。

小径コアによる構造体コンクリート強度の調査法の適用範囲は、現状では、強度範囲が 60N/mm^2 以下、粗骨材の最大寸法で 25mm 以下である（この範囲外のデータが少なく、ばらつきに対する評価が十分できないため）。建築構造物の多くはこの適用範囲に含まれるが、土木構造物の場合は粗骨材の最大寸法が 25mm を超えるものもある。また、粗骨材の最大寸法が 25mm 以下であっても、土木用のコンクリートの方が、建築用よりも単位粗骨材量が多いのが一般的である。そこで、小径コアによる構造体コンクリート強度の調査法を土木構造物に適用する場合の基礎資料を得るために、小径コアおよび直径 $100\times 200\text{mm}$ の標準コアによる圧縮強度試験を行い、比較検討を行った。



写真-5.1 小径コア採取状況



写真-5.2 標準コア採取状況

(2) 調査位置

コアは、PC桁側面のA面およびB面の2箇所から採取した。

図-5.1 および図-5.2 に調査位置を示す。

図-5.3 および、図-5.4 に、コア採取位置の詳細を示す。



写真-5.3 A面コア採取後状況

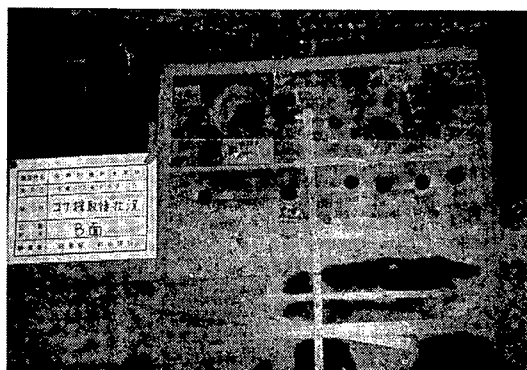


写真-5.4 B面コア採取後状況

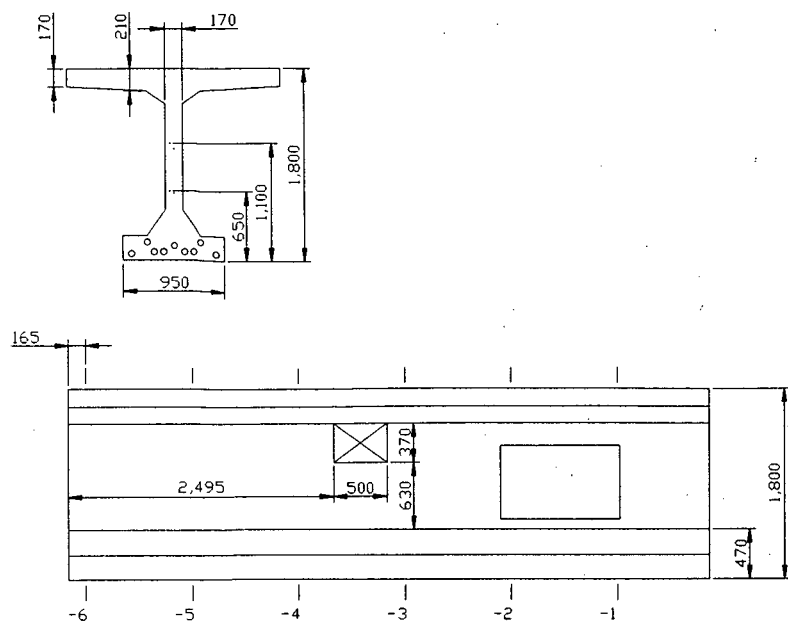


図-5.1 調査位置 (A面)

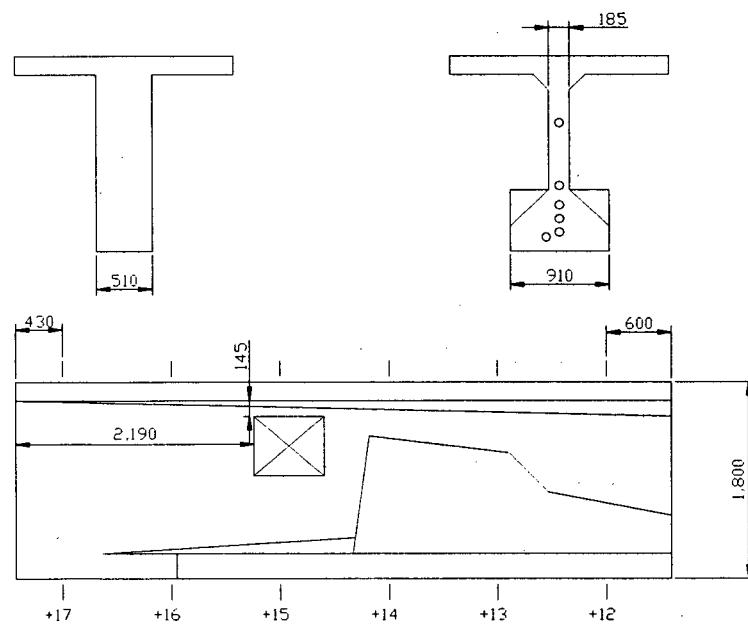


図-5.2 調査位置 (B面)

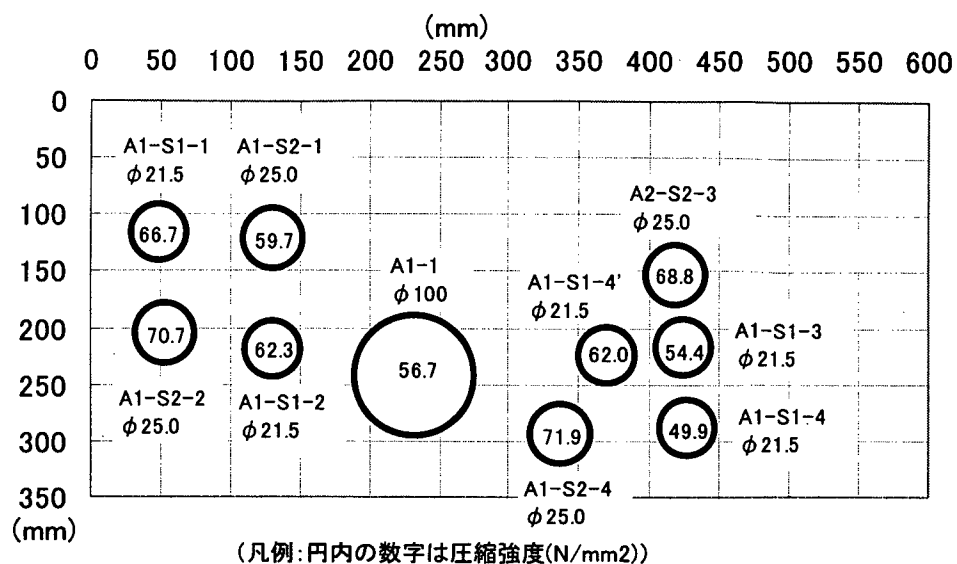


図-5.3 コア採取位置 (A面)

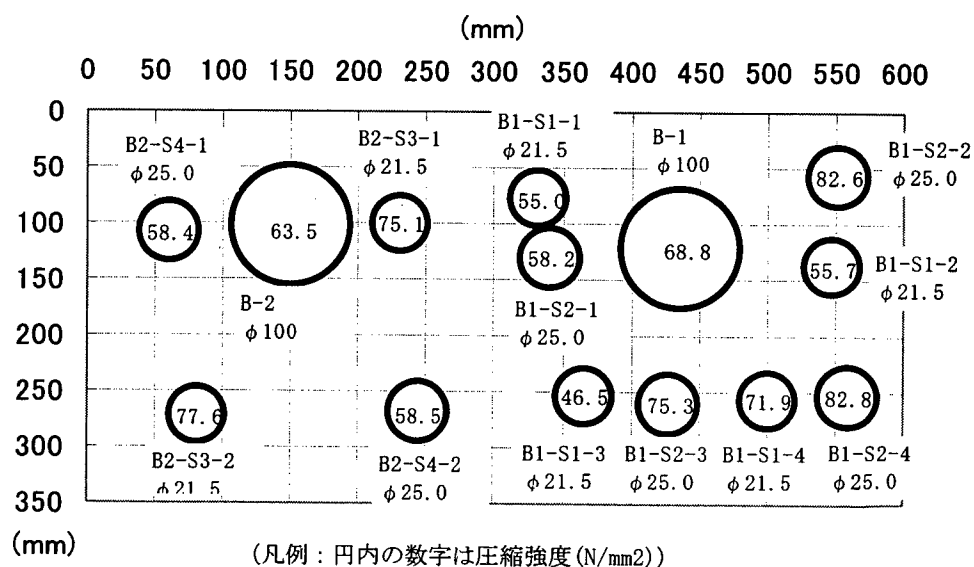


図-5.4 コア採取位置 (B面)

(3) 圧縮強度

① 小径コア

直径 21.5mm および 25.0mm の 2 種類の小径コアを、長さ 100~170mm の長さで抜き取った。A 面では、ドリルの回転数を 1100rpm および 1800rpm とし、ドリルの回転数が圧縮強度に及ぼす影響を検討した。なお、B 面ではドリルの回転数はすべて 1800rpm とした。これまでは 600rpm 以上であれば可能範囲であり、1000rpm 以上が望ましいという扱いであったが、回転数が早いほど強度に及ぼす影響が少ないという観点から検討したものである。

抜き取った小径コアを $h/d=2$ となるように切断し、両端面を硫黄キャッピングして、圧縮試験に供した。供試体は 1 本のコアから原則として 2 本作製した。小径コアから供試体を切り出す際には、骨材のゆるみ・はがれや大きな気泡を避け、また、同時に中央部分に大きな骨材が無いよう注意して整形した。

圧縮試験時の載荷方法は荷重制御とし、載荷速度は [JIS A 1108 コンクリートの圧縮試験方法] に準じて $0.25\text{N/mm}^2/\text{s}$ とした。

なお、小径コアの採取、圧縮強度試験および試験値の評価は、「(財) 日本建築センター・(財) 建築保全センター：技術審査証明第 0005 号、既存構造物のコンクリート強度調査法『ソフトコアリング』における調査マニュアルに準じて行った。

② $\phi 100 \times 200\text{mm}$ コア

小径コアによる強度試験値の比較用として直径 100mm のコアを A 面より 1 本、B 面より 2 本、計 3 本採取した。

圧縮強度試験は、[JIS A 1108 コンクリートの圧縮試験方法] に準じて行った。なお、圧縮強度試験値が 60N/mm^2 程度と高強度コンクリートの範囲にあり、 h/d による強度の違いは小さいと判断されたので、 h/d による強度の補正は行わなかった。

(4) コンクリートの中性化深さ

圧縮強度試験用に採取した小径コアおよび $\phi 100\text{mm}$ コアを、現場において水洗いし乾燥させた後に、コアの側面についてフェノールフタレイン法により中性化深さを測定した。

(5) コアの密度および骨材最大寸法

小径コアおよび $\phi 100\text{mm}$ コアについて、気中質量および水中質量を測定し、密度を求めた。なお、小径コアについては、採取位置および採取径種ごとに複数本まとめて 1 試料とし気中質量および水中質量を測定し、密度を求めた。

また、コアの側面に現れた最も大きな骨材について、長径および短径を測定した。

(6) コア採取時間

小径コアおよび $\phi 100\text{mm}$ コアの採取に要する時間を測定し、作業能率の比較検討を行った。

5.2 試験結果

(1) コア試料

表-5.1 に、コア試料の状態を示す。

① 粗骨材の最大寸法

小径コアの場合、骨材の長径は 21~44mm の範囲にあり、平均で 31mm であった。

φ100mm コアの場合、骨材の長径は 30~47mm の範囲にあり、平均で 39mm であった。これらの骨材長径の測定結果、および調査のためのはつりにより、桁内部が露出している面における骨材の大きさの観察結果から、粗骨材の最大寸法は 40mm と判断される。

表-5.1 コア試料の状態

供試体 No.	材齢	供試体 採取位 置	コア直径 (mm)	ドリル 回転数 rpm	採取長さ (mm)	最大骨材径(mm)		密度(g/cm ³)		コア表面の状態		
							長径平均		平均			
A1-S1-1	34 年	A 面	21.5	1100	172	28×20	30	31	2.30	2.34	一部‘す’あり	
A1-S1-2	34 年	A 面	21.5	1800	134	30×19						
A1-S1-3	34 年	A 面	21.5	1800	131	35×18						
A1-S1-4	34 年	A 面	21.5	1100	107	30×20						
A1-S1-4'	34 年	A 面	21.5	1100	140	27×13						
A1-S2-1	34 年	A 面	25.0	1100	120	23×12	34		2.33			
A1-S2-2	34 年	A 面	25.0	1800	127	35×17						
A1-S2-3	34 年	A 面	25.0	1800	175	32×25						
A1-S2-4	34 年	A 面	25.0	1100	127	44×30						
B1-S1-1	34 年	B 面	21.5	1800	142	27×16	32		2.39			
B1-S1-2	34 年	B 面	21.5	1800	141	34×23						
B1-S1-3	34 年	B 面	21.5	1800	113	31×17						
B1-S1-4	34 年	B 面	21.5	1800	112	37×18						
B1-S2-1	34 年	B 面	25.0	1800	147	30×14	32		2.30			
B1-S2-2	34 年	B 面	25.0	1800	159	30×21						
B1-S2-3	34 年	B 面	25.0	1800	132	27×17						
B1-S2-4	34 年	B 面	25.0	1800	150	40×24						
B2-S3-1	34 年	B 面	21.5	1800	130	21×14	25		2.36			
B2-S3-2	34 年	B 面	21.5	1800	129	28×17						
B2-S4-1	34 年	B 面	25.0	1800	153	27×22	29		2.37			
B2-S4-2	34 年	B 面	25.0	1800	131	30×14						
A-1	34 年	A 面	100	1100	177	30×25	39	39	2.28	2.34	粗悪, 中小空隙多し	
B-1	34 年	B 面	100	1100	203	40×25					2.38	
B-2	34 年	B 面	100	1100	243	47×18					2.37	

② コンクリートの密度

小径コアの密度は $2.30 \sim 2.39 \text{g/cm}^3$ の範囲にあり、A 面における直径 21.5mm コアおよび B 面における直径 25.0mm コアの密度が 2.30g/cm^3 と、その他のコアよりも小さかった。

$\phi 100 \text{mm}$ コアの密度は、供試体 A-1, B-1, および B-2 について、それぞれ $2.28, 2.38, 2.37 \text{g/cm}^3$ であり、供試体 A-1 の密度が他のものより小さかった。小径コアによる密度の総平均値は 2.34g/cm^3 であった。また、 $\phi 100 \text{mm}$ コアによる密度の平均値も、小径コアとおなじく 2.34g/cm^3 であった。

$\phi 100 \text{mm}$ コアの供試体 A-1 は、コア表面に空隙が多く、一部にはジャンカも認められた。また、密度が小さかった小径コアのグループには、空隙が多いコアも含まれている。これらのことから、密度が小さいコアを採取した部分は、コンクリート打込み時締固めが不十分であったことが推察される。

(2) 圧縮強度

表-5.2①に、 $\phi 100 \text{mm}$ コアの圧縮強度試験結果を示す。

表-5.2②に、小径コアの圧縮強度試験結果 (A 面) を示す。

表-5.2③に、小径コアの圧縮強度試験結果 (B 面) を示す。

表-5.2① $\phi 100 \text{mm}$ コアの圧縮強度試験結果

供試体 No.	直径① (mm)	直径② (mm)	平均 (mm)	断面積 (mm^2)	研磨後			h/d	最大 荷重 (N)	圧縮 強度 (N/mm^2)	密度 (g/cm^3)	備考
					高さ① (mm)	高さ② (mm)	平均 (mm)					
A1	99.70	99.67	99.7	7807	171.18	170.94	171.1	1.716	443000	56.7	2.28	ジャンカ (20×10×20mm) 最大粗骨材径 50×16mm
	99.60	99.71			—	—						
	99.71	99.68			—	—						
B1	99.78	99.68	99.7	7807	189.63	189.53	189.6	1.902	537500	68.8	2.38	最大粗骨材径 41.5×24.5mm
	99.65	99.63			—	—						
	99.62	99.60			—	—						
B2	99.65	99.81	99.7	7807	199.62	199.58	199.6	2.002	496000	63.5	2.37	最大粗骨材径 49.0×20.0mm
	99.94	99.70			—	—						
	99.60	99.61			—	—						

表-5.2② 小径コアの圧縮強度試験結果 (A面)

供試体 No.	直径① (mm)	直径② (mm)	平均 (mm)	断面積 (mm ²)	キャッピング後			h/d	最大 荷重 (N)	圧縮 強度 (N/mm ²)	補正後 圧縮強度 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	備考
					高さ① (mm)	高さ② (mm)	平均 (mm)						
A1-S1-1-1	21.42	21.45	21.4	359.7	42.31	42.32	42.3	1.977	23350	64.9	62.9	66.7	
A1-S1-1-2	21.43	21.42	21.4	359.7	42.70	42.69	42.7	1.995	26000	72.3	70.4		
A1-S1-2-1	21.44	21.43	21.4	359.7	42.43	42.49	42.5	1.986	22950	63.8	61.8	62.3	
A1-S1-2-2	21.44	21.46	21.5	363.1	42.48	42.44	42.5	1.977	23500	64.7	62.7		
A1-S1-3-1	21.40	21.39	21.4	359.7	42.50	42.48	42.5	1.986	20750	57.7	55.7	54.4	
A1-S1-3-2	21.43	21.45	21.4	359.7	34.91	34.90	34.9	1.631	20460	56.9	53.0		
A1-S1-4	21.43	21.39	21.4	359.7	42.61	42.59	42.6	1.991	18300	50.9	49.9		
A1-S1-4-1	21.47	21.44	21.5	363.1	42.49	42.50	42.5	1.977	23000	63.3	62.3	62.0	
A1-S1-4-2	21.43	21.42	21.4	359.7	42.52	42.55	42.5	1.986	22500	62.6	61.6		
A1-S2-1-1	25.10	25.09	25.1	494.8	50.14	50.15	50.1	1.996	29600	59.8	58.9	59.7	
A1-S2-1-2	25.11	25.11	25.1	494.8	50.28	50.27	50.3	2.004	30350	61.3	60.4		
A1-S2-2-1	25.09	25.10	25.1	494.8	49.99	50.03	50.0	1.992	38700	78.2	76.3	70.7	
A1-S2-2-2	25.09	25.11	25.1	494.8	50.49	50.50	50.5	2.012	33050	66.8	65.0		
A1-S2-3-1	25.11	25.11	25.1	494.8	51.22	51.23	51.2	2.040	34900	70.5	68.8	68.8	
A1-S2-4-1	25.08	25.12	25.1	494.8	50.40	50.45	50.4	2.008	36500	73.8	71.9	71.9	

表-5.2③ 小径コアの圧縮強度試験結果 (B面)

供試体 No.	直径① (mm)	直径② (mm)	平均 (mm)	断面積 (mm ²)	キャッピング後			h/d	最大 荷重 (N)	圧縮 強度 (N/mm ²)	補正後 圧縮強度 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	備考
					高さ① (mm)	高さ② (mm)	平均 (mm)						
B1-S1-1-1	21.36	21.35	21.4	359.7	42.58	42.54	42.6	1.991	21550	59.9	57.9	55.0	
B1-S1-1-2	21.26	21.34	21.3	356.3	42.70	42.70	42.7	2.005	19250	54.0	52.1		
B1-S1-2-1	21.34	21.38	21.4	359.7	42.64	42.64	42.6	1.991	19650	54.6	52.6	55.7	
B1-S1-2-2	21.32	21.32	21.3	356.3	42.90	42.92	42.9	2.014	21600	60.6	58.8		
B1-S1-3-1	21.25	21.34	21.3	356.3	43.34	43.27	43.3	2.033	18750	52.6	50.9	46.5	
B1-S1-3-2	21.36	21.30	21.3	356.3	43.03	43.08	43.1	2.023	15650	43.9	42.1		端面の粗骨材がはがれる
B1-S1-4-1	21.34	21.40	21.4	359.7	43.31	43.34	43.3	2.023	23500	65.3	63.5	71.9	
B1-S1-4-2	21.35	21.37	21.4	359.7	42.75	42.75	42.8	2.000	29550	82.2	80.3		
B1-S2-1-1	25.08	25.08	25.1	494.8	50.50	50.50	50.5	2.012	30550	61.7	60.9	58.2	
B1-S2-1-2	25.02	25.09	25.1	494.8	50.80	50.81	50.8	2.024	27800	56.2	55.4		
B1-S2-2-1	25.11	25.12	25.1	494.8	51.75	51.71	51.7	2.060	41900	84.7	84.2	82.6	粗骨材が割れる
B1-S2-2-2	25.12	25.11	25.1	494.8	50.42	50.44	50.4	2.008	40450	81.8	80.9		
B1-S2-3-1	25.08	25.09	25.1	494.8	50.58	50.61	50.6	2.016	39100	79.0	78.2	75.3	
B1-S2-3-2	25.07	25.09	25.1	494.8	50.88	50.89	50.9	2.028	36100	73.0	72.3		
B1-S2-4-1	25.09	25.09	25.1	494.8	50.65	50.65	50.7	2.020	44650	90.2	89.4	82.8	
B1-S2-4-2	25.10	25.10	25.1	494.8	50.95	50.95	51.0	2.032	38050	76.9	76.2		
B2-S3-1-1	21.38	21.37	21.4	359.7	42.89	42.97	42.9	2.005	32850	91.3	89.4	75.1	
B2-S3-1-2	21.38	21.37	21.4	359.7	43.52	43.47	43.5	2.033	22450	62.4	60.7		
B2-S3-2-1	21.40	21.42	21.4	359.7	43.25	43.25	43.3	2.023	26850	74.6	72.8	77.6	
B2-S3-2-2	21.43	21.43	21.4	359.7	42.82	42.80	42.8	2.000	30300	84.2	82.3		
B2-S4-1-1	25.10	25.11	25.1	494.8	50.69	50.68	50.7	2.020	27250	55.1	54.3	58.4	
B2-S4-1-2	25.11	25.11	25.1	494.8	50.58	50.66	50.6	2.016	31300	63.3	62.5		粗骨材が割れる
B2-S4-2-1	25.11	25.11	25.1	494.8	50.92	50.92	50.9	2.028	25950	52.4	51.7	58.5	粗骨材が割れる
B2-S4-2-2	25.08	25.09	25.1	494.8	50.75	50.79	50.8	2.024	32700	66.1	65.3		粗骨材が割れる

① A 面の強度

表－5.3 に、圧縮強度試験結果一覧（A 面）を示す。また、前掲の図－5.3 中にも、採取位置ごとの圧縮強度を示した。

φ 100mm コア供試体 A－1 の強度は、56.7N/mm²であった。

小径コア供試体の個々の圧縮強度（補正後）は、49.9～76.3N/mm² の範囲にあった。コアごとの平均値は、49.9～71.9N/mm² の範囲にあり、平均値は 62.9N/mm²であった。

表－5.3 圧縮強度試験結果一覧（A 面、採取コア直径に着目して整理）

供試体 No.	直径 (mm)	圧縮 強度 (N/mm ²)	補正後 圧縮強度 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	φ 100mm 強度 (N/mm ²)
A1-S1-1-1	21.4	64.9	62.9	66.7	59.0	6.7	62.9	56.7
A1-S1-1-2	21.4	72.3	70.4					
A1-S1-2-1	21.4	63.8	61.8	62.3				
A1-S1-2-2	21.5	64.7	62.7					
A1-S1-3-1	21.4	57.7	55.7	54.4				
A1-S1-3-2	21.4	56.9	53.0					
A1-S1-4	21.4	50.9	49.9	49.9				
A1-S1-4'-1	21.5	63.3	62.3	62.0	67.8	5.5		
A1-S1-4'-2	21.4	62.6	61.6					
A1-S2-1-1	25.1	59.8	58.9	59.7				
A1-S2-1-2	25.1	61.3	60.4					
A1-S2-2-1	25.1	78.2	76.3	70.7				
A1-S2-2-2	25.1	66.8	65.0					
A1-S2-3-1	25.1	70.5	68.8	68.8				
A1-S2-4-1	25.1	73.8	71.9	71.9				

② B 面の強度

表－5.4 に、圧縮強度試験結果一覧（B 面）を示す。また、前掲の図－5.4 中にも、採取位置ごとの圧縮強度を示した。

2 本の φ 100mm コア供試体強度は、それぞれ、68.8 および 63.5N/mm²であり、平均値で 66.2N/mm²であった。

小径コア供試体の個々の圧縮強度（補正後）は、42.1～89.4N/mm² の範囲にあった。コアごとの平均値は、46.5～82.8N/mm² の範囲にあり、平均値は 66.4N/mm²であった。

③ ドリル回転数の影響

表－5.5 に、ドリル回転数およびコア直径と圧縮強度の関係（A 面）を示す。

ドリル回転数 1100rpm および 1800rpm での平均強度は、それぞれ、65.1 および 64.1N/mm²であり、両者の間に違いは認められない。

コア直径 21.5mm および 25.0mm の平均強度は、それぞれ、61.4N/mm²および 67.8N/mm²であり、直径 25.0mm の方が 6.4N/mm²大きい。

表-5.4 圧縮強度試験結果一覧 (B面)

供試体 No.	直径 (mm)	圧縮 強度 (N/mm ²)	補正後 圧縮強度 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	平均 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	平均(N/mm ²)		φ 100mm コア (N/mm ²)	
								全平均		全平均
B1-S1-1-1	21.4	59.9	57.9	55.0	57.3	10.6	66.0	66.4	68.8	66.2
B1-S1-1-2	21.3	54.0	52.1							
B1-S1-2-1	21.4	54.6	52.6	55.7						
B1-S1-2-2	21.3	60.6	58.8							
B1-S1-3-1	21.3	52.6	50.9	46.5						
B1-S1-3-2	21.3	43.9	42.1							
B1-S1-4-1	21.4	65.3	63.5	71.9						
B1-S1-4-2	21.4	82.2	80.3							
B1-S2-1-1	25.1	61.7	60.9	58.2	74.7	11.6				
B1-S2-1-2	25.1	56.2	55.4							
B1-S2-2-1	25.1	84.7	84.2	82.6						
B1-S2-2-2	25.1	81.8	80.9							
B1-S2-3-1	25.1	79.0	78.2	75.3						
B1-S2-3-2	25.1	73.0	72.3							
B1-S2-4-1	25.1	90.2	89.4	82.8						
B1-S2-4-2	25.1	76.9	76.2							
B2-S3-1-1	21.4	91.3	89.4	75.1	76.3	1.8	67.4		63.5	
B2-S3-1-2	21.4	62.4	60.7							
B2-S3-2-1	21.4	74.6	72.8	77.6						
B2-S3-2-2	21.4	84.2	82.3							
B2-S4-1-1	25.1	55.1	54.3	58.4	58.5	0.1				
B2-S4-1-2	25.1	63.3	62.5							
B2-S4-2-1	25.1	52.4	51.7	58.5						
B2-S4-2-2	25.1	66.1	65.3							

表-5.5 ドリル回転数およびコア直径と圧縮強度の関係 (A面)

	-	-	コア直径(mm)		平均 (N/mm ²)
			21.5	25.0	
回転数 (rpm)	1100	強度 (N/mm ²)	66.7	59.7	65.1
			62.0	71.9	
		平均	64.4	65.8	
	1800	強度 (N/mm ²)	62.3	70.7	64.1
			54.4	68.8	
		平均	58.4	69.8	
直径ごとの平均			61.4	67.8	
全平均			-	-	64.6

表-5.6 小径コア直径と圧縮強度の関係 (B面)

	コア直径 (mm)		
	21.5	25.0	100
圧縮強度 (N/mm ²)	55.0	58.2	68.8
	55.7	82.6	63.5
	46.5	75.3	-
	71.9	82.8	-
	75.1	58.4	-
	77.6	58.5	-
平均	63.6	69.3	66.2
標準偏差	12.8	12.3	-
全平均	66.4		66.2

④ 小径コア直径と圧縮強度の関係

表-5.6 に、小径コア直径と圧縮強度の関係（B 面）を示す。

コア直径 21.5mm および 25.0mm の平均強度は、それぞれ、63.6N/mm² および 69.3N/mm² であり、直径 25.0mm の方が 5.7N/mm² 大きい。

前掲の表 3 に示したように、A 面においても直径 25.0mm コア強度の方が直径 21.5mm コア強度より平均的に大きい傾向にある。

(3) コンクリートの中性化深さ

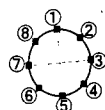
表-5.7 に、コンクリートの中性化深さを示す。

小径コアで測定した A 面の中性化深さは、平均で 3.5mm であった。おなじく、B 面の中性化深さは、平均で 0.9mm であった。

φ100mm コアで測定した A 面の中性化深さは、平均で 2.7mm であった。表-5.7 中の供試体 A-1 の欄に示した筒先の測定値は、コア抜き方向側のコンクリート表面の測定値である。おなじく、B 面の中性化深さは、平均で 1.4mm であった。

表-5.7 コンクリートの中性化深さ

供試体 No.	材齡	供試体 採取位置	中性化深さ(mm)										平均	標準偏差
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	平均			
A1-S1-1	34 年	A 面	3	8	3	2	3	2	3	3	3.4	3.5	1.1	
A1-S1-2	34 年	A 面	6	2	3	3	3	2	2	4	3.1			
A1-S1-3	34 年	A 面	2	2	2	0	1	5	2	3	2.1			
A1-S1-4	34 年	A 面	3	2	5	4	3	3	2	1	2.9			
A1-S1-4'	34 年	A 面	5	4	2	2	2	3	2	2	2.8			
A1-S2-1	34 年	A 面	9	7	6	6	6	6	5	4	6.1			
A1-S2-2	34 年	A 面	5	5	4	2	3	3	4	5	3.9			
A1-S2-3	34 年	A 面	7	4	2	3	2	3	2	6	3.6			
A1-S2-4	34 年	A 面	6	5	3	2	6	3	4	2	3.9			
B1-S1-1	34 年	B 面	2	1	1	2	1	1	0	0	1.0	0.9	0.3	
B1-S1-2	34 年	B 面	2	1	1	0	0	0	1	1	0.8			
B1-S1-3	34 年	B 面	2	2	1	1	1	1	1	1	1.3			
B1-S1-4	34 年	B 面	1	1	0	1	0	0	0	1	0.5			
B1-S2-1	34 年	B 面	3	0	1	2	2	1	0	0	1.1			
B1-S2-2	34 年	B 面	2	0	1	0	1	1	0	0	0.6			
B1-S2-3	34 年	B 面	3	2	1	0	2	1	0	1	1.3			
B1-S2-4	34 年	B 面	1	0	0	1	1	0	0	0	0.4			
B2-S3-1	34 年	B 面	2	1	1	2	1	1	0	0	1.0			
B2-S3-2	34 年	B 面	1	1	1	0	1	0	0	1	0.6			
B2-S4-1	34 年	B 面	2	1	1	3	1	1	0	0	1.1			
B2-S4-2	34 年	B 面	1	0	1	3	0	1	1	0	0.9			
A-1	34 年	A 面	5	7	10	7	10	6	4	4	6.6	2.7		
		(筒先)	1	1	2	1	1	1	1	1	1.1			
B-1	34 年	B 面	2	1	1	2	1	1	1	1	1.3	1.4		
B-2	34 年	B 面	3	1	2	3	1	0	1	2	1.6			



中性化深さ測点

(4) コア採取時間

表-5.8 に、コア採取作業時間を参考に示す。削孔長やドリル回転数の違いなど、作業時間の分析には別途詳細な検討が必要であるが、今回の作業の記録から単純にコア採取時間を比較してみる。

表中の作業時間の欄に示したように、 $\phi 100\text{mm}$ コアの採取に要する時間は、平均で 17 分 20 秒であった。おなじく、小径コアの採取に要する時間は、平均で 9 分 12 秒であった。

表-5.8 コア採取作業時間 * 供試体採取欄は時刻、その他は 分：秒で示している。

	供試体記号	供試体採取	作業時間	削孔時間	削孔以外	セット→開始	開始→終了	終了→採取	採取→セット
[1]	B1 $\phi 100$	12:48:00	18:00	12:00	06:00	03:00	12:00	01:00	02:00
①	$\phi 22$ B1-S1-2	13:05:00	16:00	09:30	06:30	04:00	09:30	01:30	01:00
②	$\phi 22$ B1-S1-1	13:19:00	13:00	09:00	04:00	02:00	09:00	02:00	00:00
③	$\phi 22$ B1-S1-4	13:33:00	15:00	08:00	07:00	04:00	08:00	02:00	01:00
④	$\phi 22$ B1-S1-3	13:46:00	13:00	10:00	03:00	01:00	10:00	01:00	01:00
⑤	$\phi 25$ B1-S2-3	13:55:00	09:00	05:00	04:00	01:00	05:00	02:00	01:00
⑥	$\phi 25$ B1-S2-1	14:04:00	09:00	04:00	05:00	03:00	04:00	01:00	01:00
⑦	$\phi 25$ B1-S2-2	14:11:00	06:00	03:30	02:30	01:30	03:30	01:00	00:00
⑧	$\phi 25$ B1-S2-4	14:17:30	08:00	03:00	05:00	02:30	03:00	01:00	01:30
⑨	$\phi 25$ B2-S4-1	14:25:00	07:00	03:30	03:30	00:30	03:30	02:00	01:00
⑩	$\phi 25$ B2-S4-2	14:32:30	11:00	04:30	06:30	01:00	04:30	01:00	04:30
⑪	$\phi 22$ B2-S3-1	14:42:00	06:00	02:30	03:30	01:00	02:30	01:30	01:00
⑫	$\phi 22$ B2-S3-2	14:47:30	05:00	03:00	02:00	01:00	03:00	00:30	00:30
[2]	B2 $\phi 100$	15:08:00	21:00	12:00	09:00	06:00	12:00	02:00	01:00
	A 試験体に移動		02:00	—	—	—	—	—	—
[3]	A1 $\phi 100$	15:23:00	13:00	07:00	06:00	04:00	07:00	01:00	01:00
⑬	$\phi 25$ A1-S2-1	15:28:30	06:00	02:30	03:30	01:00	02:30	01:00	01:30
⑭	$\phi 25$ A1-S2-4	15:36:00	13:00	04:00	09:00	01:00	04:00	01:00	07:00
⑮	$\phi 22$ A1-S1-4	15:47:30	05:30	02:00	03:30	01:00	02:00	01:30	01:00
⑯	$\phi 22$ A1-S1-1	15:54:00	06:30	02:30	04:00	01:30	02:30	01:30	01:00
⑰	$\phi 25$ A1-S2-3	16:05:00	12:00	04:00	08:00	05:00	04:00	01:00	02:00
	休憩		06:30	—	—	—	—	—	—
⑱	$\phi 22$ A1-S1-3		03:30	—	—	—	—	—	—
	やり直し	16:22:00	06:00	02:30	03:30	02:00	02:30	00:30	01:00
⑲	$\phi 22$ A1-S1-2	16:28:00	06:00	02:00	04:00	02:00	02:00	01:00	01:00
⑳	$\phi 25$ A1-S2-2	16:35:00	11:00	03:00	08:00	01:30	03:00	01:30	05:00
	作業時間	$\phi 100\text{ave.}$	17:20	10:20	07:00	04:20	10:20	01:20	01:20
		$\phi 22\text{ave.}$	09:12	05:06	04:06	01:57	05:06	01:18	00:51
		$\phi 25\text{ave.}$	09:12	03:42	05:30	01:48	03:42	01:15	02:27

5.3 考察

旧芦川橋 G 1 桁について行った小径コアによる圧縮強度および中性化深さの試験結果は以下とおりである。

- ①コア表面の骨材長径の測定結果、および桁内部が露出している面における骨材の大きの観察結果から、粗骨材の最大寸法は 40mm と判断された。
- ②コンクリートの密度は、小径コアおよび $\phi 100\text{mm}$ コアによるいずれの測定値も、平均で 2.34g/cm^3 であった。
- ③測定箇所 A 面で採取した $\phi 100\text{mm}$ コア供試体の強度は、 56.7N/mm^2 であった。
おなじく、小径コア供試体の圧縮強度(補正後)は、 $49.9\sim 71.9\text{N/mm}^2$ の範囲にあり、平均値は 62.9N/mm^2 であった。
- ④測定箇所 B 面で採取した 2 本の $\phi 100\text{mm}$ コア供試体強度は、それぞれ、 68.8N/mm^2 および 63.5N/mm^2 であり、平均値で 66.2N/mm^2 であった。
おなじく、小径コア供試体の圧縮強度(補正後)は、 $46.5\sim 82.8\text{N/mm}^2$ の範囲にあり、平均値は 66.4N/mm^2 であった。
- ⑤ドリル回転数 1100rpm および 1800rpm での平均強度は、それぞれ、 65.1N/mm^2 および 64.1N/mm^2 であり、両者の間に違いは認められなかった。
- ⑥A 面から採取したコア直径 21.5mm および 25.0mm の平均強度は、それぞれ、 61.4N/mm^2 および 67.8N/mm^2 であり、直径 25.0mm の方が 6.4N/mm^2 大きかった。
おなじく、B 面から採取したコア直径 21.5mm および 25.0mm の平均強度は、それぞれ、 63.6N/mm^2 および 69.3N/mm^2 であり、直径 25.0mm の方が 5.7N/mm^2 大きかった。
- ⑦小径コアで測定した A 面の中性化深さは、平均で 3.5mm であった。おなじく、B 面の中性化深さは、平均で 0.9mm であった。
 $\phi 100\text{mm}$ コアで測定した A 面の中性化深さは、平均で 2.7mm であった。おなじく、B 面の中性化深さは、平均で 1.4mm であった。
- ⑧今回の $\phi 100\text{mm}$ コアの採取に要した時間は、平均で 17 分 20 秒であった。おなじく、小径コアの採取に要した時間は、平均で 9 分 12 秒であった。(ただし、削孔長やドリル回転数の違いなどの観点での比較はない。)

6. ドリル試料を用いた塩分量測定

旧芦川橋 G 1 桁では、A 面の山側（鉄筋探査等を行った面）および海側の双方から試料を採取し、調査箇所であるウェブ内部の塩分濃度分布を求めた。測定結果を表－6.1 および図－6.1, 図－6.2 に示す。なお、B 面では、試料の採取は行わなかった。

測定結果から、以下のことがいえる。

- ①海に面する桁の位置関係で塩分量に差が認められる。
- ②抽出温度が高い程、高い塩分量を示した。
- ③ドリル粉とコア試料の差は明確には認められなかった。
- ④旧芦川橋 P C 桁の塩分測定結果は、旧暮坪陸橋の結果ほど明確な傾向は認められなかった。

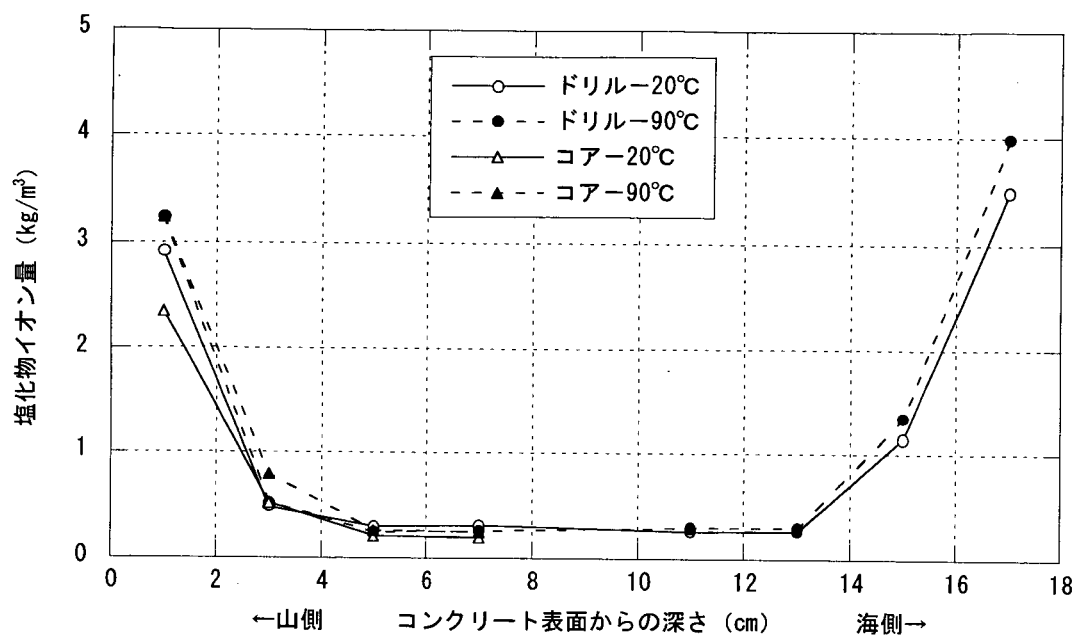
旧暮坪陸橋 P 3 橋脚・旧芦川橋 G 1 桁における測定結果から、以下のようなことが確認された。

- ①現場におけるカンタブ簡易測定方法は、全塩分量（真値）の抽出割合を事前に把握しておくことにより、ドリル粉からの可溶性塩分量から、全塩分量を推定することが出来る。
- ②本測定方法は簡易方法であり、概略の全塩分量を迅速に測定することが可能である。
- ③本簡易測定結果から、詳細分析への必要性を判断できる。

表-6.1 旧芦川橋G1桁における簡易塩分量測定結果一覧

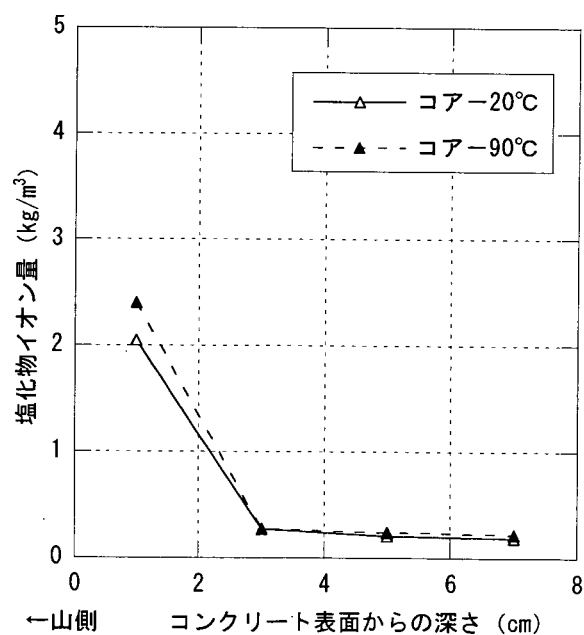
試料採取箇所	抽出水の温度(℃)	採取試料(コンクリート・ドリル粉末)の深さ(cm)												
		0～2			2～4			4～6			6～8			
		かタブの読値	塩素イオン濃度(%)	塩化物イオン量(kg/m ³)	かタブの読値	塩素イオン濃度(%)	塩化物イオン量(kg/m ³)	かタブの読値	塩素イオン濃度(%)	塩化物イオン量(kg/m ³)	かタブの読値	塩素イオン濃度(%)	塩化物イオン量(kg/m ³)	
A面 山側	20	3.6	0.127	2.92	4.0	0.0203	0.47	2.8	0.0132	0.30	2.7	0.0126	0.29	
		3.6	0.127	2.92	4.1	0.0210	0.48	2.8	0.0132	0.30	2.8	0.0132	0.30	
		3.6	0.127	2.92	4.2	0.0218	0.50	2.6	0.0121	0.28	3.0	0.0142	0.33	
		平均値	0.127	2.92	平均値	0.0210	0.48	平均値	0.0128	0.30	平均値	0.0133	0.31	
	90	3.9	0.145	3.34	4.2	0.0218	0.50	2.4	0.0111	0.26	2.6	0.0121	0.28	
		3.8	0.139	3.20	4.3	0.0225	0.52	2.4	0.0111	0.26	2.4	0.0111	0.26	
		3.8	0.139	3.20	4.4	0.0233	0.54	2.3	0.0106	0.24	2.4	0.0111	0.26	
		平均値	0.141	3.24	平均値	0.0225	0.52	平均値	0.0109	0.25	平均値	0.0114	0.26	
	コ ア	20	3.3	0.110	2.53	4.3	0.0225	0.52	1.9	0.0085	0.20	1.8	0.0080	0.18
			3.2	0.104	2.39	4.4	0.0233	0.54	2.0	0.0090	0.21	2.0	0.0090	0.21
			3.0	0.093	2.14	4.2	0.0218	0.50	2.1	0.0095	0.22	2.0	0.0090	0.21
			平均値	0.102	2.35	平均値	0.0225	0.52	平均値	0.0090	0.21	平均値	0.0085	0.20
		90	3.8	0.139	3.20	5.2	0.0336	0.77	2.5	0.0116	0.27	2.3	0.0106	0.24
			3.9	0.145	3.34	5.3	0.0350	0.81	2.5	0.0116	0.27	2.4	0.0111	0.26
			3.8	0.139	3.20	5.3	0.0350	0.81	2.4	0.0111	0.26	2.4	0.0111	0.26
			平均値	0.141	3.24	平均値	0.0345	0.79	平均値	0.0114	0.26	平均値	0.0109	0.25
A面 海側	20	4.0	0.150	3.45	6.3	0.0511	1.18	2.6	0.0121	0.28	2.5	0.0116	0.27	
		4.0	0.150	3.45	6.2	0.0495	1.14	2.6	0.0121	0.28	2.4	0.0111	0.26	
		4.1	0.156	3.59	6.2	0.0495	1.14	2.5	0.0116	0.27	2.5	0.0116	0.27	
		平均値	0.152	3.50	平均値	0.0500	1.15	平均値	0.0119	0.27	平均値	0.0114	0.26	
	90	4.4	0.179	4.12	6.7	0.0581	1.34	2.8	0.0132	0.30	2.6	0.0121	0.28	
		4.4	0.179	4.12	6.8	0.0599	1.38	2.7	0.0126	0.29	2.8	0.0132	0.30	
		4.2	0.162	3.73	6.6	0.0563	1.29	2.8	0.0132	0.30	2.8	0.0132	0.30	
		平均値	0.173	3.99	平均値	0.0581	1.34	平均値	0.0130	0.30	平均値	0.0128	0.30	
B面 山側	20	2.9	0.087	2.00	2.6	0.0121	0.28	2.0	0.0090	0.21	1.8	0.0080	0.18	
		3.0	0.093	2.14	2.4	0.0111	0.26	2.0	0.0090	0.21	1.8	0.0080	0.18	
		2.9	0.087	2.00	2.6	0.0121	0.28	2.1	0.0095	0.22	2.0	0.0090	0.21	
		平均値	0.089	2.05	平均値	0.0118	0.27	平均値	0.0092	0.21	平均値	0.0085	0.19	
	90	3.3	0.110	2.53	2.6	0.0121	0.28	2.4	0.0111	0.26	2.0	0.0090	0.21	
		3.2	0.104	2.39	2.5	0.0116	0.27	2.2	0.0101	0.23	2.2	0.0101	0.23	
		3.1	0.099	2.28	2.5	0.0116	0.27	2.2	0.0101	0.23	2.2	0.0101	0.23	
		平均値	0.104	2.40	平均値	0.0118	0.27	平均値	0.0104	0.24	平均値	0.0097	0.22	

- 【備考】 1) 塩化物イオン量は、塩素イオン濃度にコンクリートの単位容積質量を掛けて得られた値。コンクリートの単位容積質量は2,300kg/m³とした。
 2) A面コア試料は、土研にて全塩分測定用コンクリート粉末と同一試料。
 3) 0~2は標準品、その他は低濃度品のカタブを使用。



試料採取 方法	抽出水の 温度(°C)	コンクリート表面からの深さ(cm)								海側→
		←山側 0~2	2~4	4~6	6~8	8~9	6~8	4~6	2~4	
ドリル	20	2.92	0.48	0.3	0.31	—	0.26	0.27	1.15	3.5
ドリル	90	3.24	0.52	0.25	0.26	—	0.3	0.3	1.34	3.99
コア	20	2.35	0.52	0.21	0.2	—	—	—	—	—
コア	90	3.24	0.79	0.26	0.25	—	—	—	—	—

図ー 6.1 コンクリート表面からの深さと塩化物イオン量 (旧芦川橋 A 面)



試料採取 方法	抽出水の 温度(°C)	コンクリート表面からの深さ(cm)			
		←山側 0~2	2~4	4~6	6~8
コア	20	2.05	0.27	0.21	0.19
コア	90	2.4	0.27	0.24	0.22

図ー 6.2 コンクリート表面からの深さと塩化物イオン量 (旧芦川橋 B 面)

7. コア採取およびはつりによる調査

7.1 コアの圧縮強度試験

試験結果を、表－7.1.1に示す。旧芦川橋G 1桁コアの静弾性係数は、土木学会コンクリート標準示方書「設計編」に示される標準値の80%以上となっており、健全であると判定される。

表－7.1.1 コアの圧縮強度試験結果

調査位置		コア No.	直径 (mm)	質量 (g)	高さ (mm) キャッピング		h/d 補正係数	最大 荷重 (kN)	圧縮 強度 (N/mm ²)	50 μ 強度 (N/mm ²)	1/3荷重 縦ひずみ (μ)	静弾性 係数 (kN/mm ²)
					前	後						
旧芦川橋	A面	①	83.5	2077	163.3	166.9	1.000	341	62.3	1.72	686	30.0
	B面	②	93.6	2991	181.6	185.2	0.998	472	68.5	1.96	613	37.2

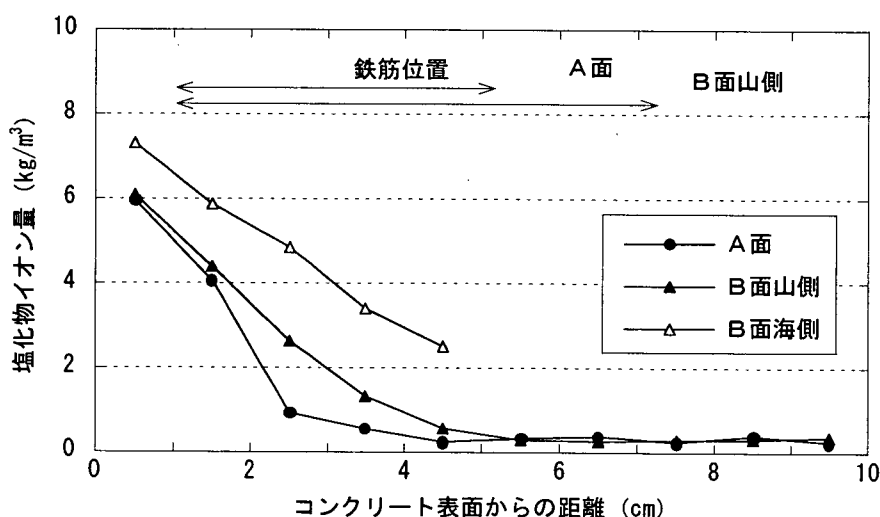
7.2 コンクリート中の塩分量測定

採取コアを用いて測定した全塩化物イオン量の分析結果を図-7.2.1に示し、コンクリート構造物の健全度診断マニュアル(案)に基づいた鉄筋位置における全塩化物イオン量の分析結果の判定を表-7.2.1に示す。また、コンクリートの単位容積質量測定結果を表-7.2.2に示す。

全塩化物イオン量分析結果から、調査箇所における最大塩化物量は、表面から0～1cmの箇所で、A面で 5.96kg/m^3 、B面で 6.09kg/m^3 であった。塩化物量は濃度勾配が見られることから、外部から浸透した塩化物が浸透蓄積したと推察される。

鉄筋位置(はつり調査による実測かぶり厚さ)における全塩化物イオン量は、 2.5kg/m^3 を上回る箇所があった。

塩化物イオン量による損傷度は、中央部、端部ともにⅠ～Ⅳと判定される。



調査位置		コア No.	絶乾単位 容積質量 (kg/m^3)	表面からの深さごとの全塩化物イオン量 (kg/m^3)									
				0～1cm	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10
旧芦川橋	A面	②	2207	5.96	4.06	0.93	0.55	0.26	0.33	0.38	0.26	0.40	0.26
	B面山側	①	2274	6.09	4.39	2.62	1.32	0.57	0.30	0.27	0.30	0.32	0.36
	B面海側			7.32	5.87	4.84	3.39	2.50	—	—	—	—	—

※太枠は、非破壊で探査された鉄筋のかぶり厚さの範囲を示す。

図-7.2.1 全塩化物イオン量の測定結果(旧芦川橋)

表－ 7. 2. 1 全塩化物イオン量による損傷度の判定結果

調査位置		鉄筋位置における全塩化物量 (kg/m ³)	鉄筋位置 (かぶり厚さ) (mm)	損傷度
旧芦川橋	A面	0.26～4.06	18～52	I～IV
	B面	0.27～4.39	11～72	I～IV

※鉄筋位置は、電磁波法（Dk法）によって探査したかぶり厚さによる。

－健全度診断（案）マニュアルでの判定基準－

（鉄筋位置における塩化物量による損傷度の判定）

I : $Cl \geq 2.5\text{kg/m}^3$

II : $2.5\text{kg/m}^3 > Cl \geq 1.2\text{kg/m}^3$

III : $1.2\text{kg/m}^3 > Cl \geq 0.3\text{kg/m}^3$

IV : $0.3\text{kg/m}^3 > Cl$

表－ 7. 2. 2 コアの密度・吸水率結果

調査位置		コア No.	水中質量 (g)	表乾質量 (g)	絶乾質量 (g)	表乾単位 容積質量 (kg/m ³)	絶乾単位 容積質量 (kg/m ³)	吸水率 (%)
旧芦川橋	A面	②	582.4	1014.6	953.9	2348	2207	6.4
	B面	①	568.8	975.6	924.9	2398	2274	5.5

7.3 中性化深さ

コアによる中性化深さ測定結果およびコンクリート構造物の健全度診断マニュアル(案)に基づいた中性化深さによる損傷度の判定を表-7.3.1に示す。この結果、中性化による損傷度はIVと判定され、中性化により鉄筋の腐食が生じている可能性は低いと考えられる。

また、はつり調査による中性化深さ測定結果を、表-7.3.2に示す。

なお、旧芦川橋では、切り出された桁の端部から自然電位等測定のための電極をとることができたので、自然電位測定に伴うのはつり作業や、はつり箇所での中性化深さ試験は行わなかった。

表-7.3.1 コアの中性化深さ測定結果および損傷度の判定

調査箇所		コアNo.	中性化深さ (mm)					鉄筋のかぶり厚さ (電磁波法) (mm)	中性化による 損傷度		
			測定値			平均値	部位平均				
旧芦川橋	A面	①山 (コア表面)	7	7	5	5	6	山側 5 海側 0	18～52 平均 主筋：41 配力筋：27	IV	
		①山 (割裂面)	3	5	5	5	5				
		①海 (割裂面)	0	0	0	0	0				
		②山 (コア表面)	3	6	8	5	4				5
		②山 (割裂面)	5	5	5	5	5				
		②海 (割裂面)	0	0	0	0	0				
	B面	①山 (コア表面)	0	0	0	0	0	山側 0 海側 0	11～72 平均 主筋：44 配力筋：35 斜め筋：65	IV	
		①海 (コア表面)	1	0	1	0	0				0
		②海 (コア表面)	0	0	0	0	0				0

—健全度診断(案)マニュアルでの判定基準—

(中性化による損傷度の判定)

I : 中性化深さ $\geq$ かぶり

II : かぶり $>$ 中性化深さ $\geq$ かぶり / 2

ただし、かぶり $<$ 40mm

III : かぶり $>$ 中性化深さ $\geq$ かぶり / 2

ただし、かぶり $\geq$ 40mm

IV : かぶり / 2 $>$ 中性化深さ

表-7.3.2 はつり調査結果（中性化深さ）および損傷度の判定

調査箇所		中性化深さ (mm)						使用鉄筋		鉄筋のかぶり厚さ (mm)	中性化による 損傷度	
		測定値					平均値					
旧芦川橋	A面	3	6	6	6	7	9	4	スター ラップ	φ 9	36～48	IV
		5	7	2	4	2	4					
		0	6	4	3	3	2		主筋	φ 12	18～41	
		4	3	—	—	—	—					
	B面	2	1	2	4	4	3	2	シース	φ 45	50～74	IV
		3	5	0	0	—	—					
		—	—	—	—	—	—		スター ラップ	φ 9	31～59	
		—	—	—	—	—	—					
		—	—	—	—	—	—		主筋	φ 12	6 ～46	
		—	—	—	—	—	—					

7.4 はつり調査

はつり調査は、自然電位測定範囲について行った。なお、B面ではシースを確認したことからシースを開口し、P C鋼材の腐食状況も観察した。

はつり調査による鉄筋の種類、径、配筋状態、かぶり厚さおよび腐食状況を図-7.4.1～図-7.4.2に示し、かぶり厚さとコンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）に基づいた鉄筋の腐食度の判定を表-7.4.1に示す。

旧芦川橋G 1桁の主筋・スターラップには丸鋼が使用されていた。また、B面では2本のシースを確認した。

鉄筋の実測かぶり厚さは、A面が18～53mm、B面が6～59mmの範囲にあった。実測かぶり厚さは、電磁波法（Dk法）による推定かぶり厚さと概ね一致していたが、B面では、シースが斜めに交差し、主筋にフックが設けられていたため、鉄筋探査では捉えることができなかった部分もある。

鉄筋の腐食状況および腐食度の判定は下記のようなであった。

中央部（A面）

腐食状況：主筋、スターラップともに点錆程度の腐食。一部のスターラップに孔食が生じている。

端部（B面）

腐食状況：主筋、スターラップともに点錆程度の腐食。一部の主筋に孔食が生じている。

：シースは点錆または浮き錆。

：シース内部のP C鋼材は腐食が認められない。

鉄筋の腐食度と自然電位による鉄筋の損傷度（Dk法）を比較すると、自然電位による損傷度は、鉄筋の腐食度と傾向的に一致している。しかし、適合性が良いとは言えず、更にデータの蓄積と検討が必要である。

図-7.4.1 はつり調査結果 (旧芦川橋G1桁A面)

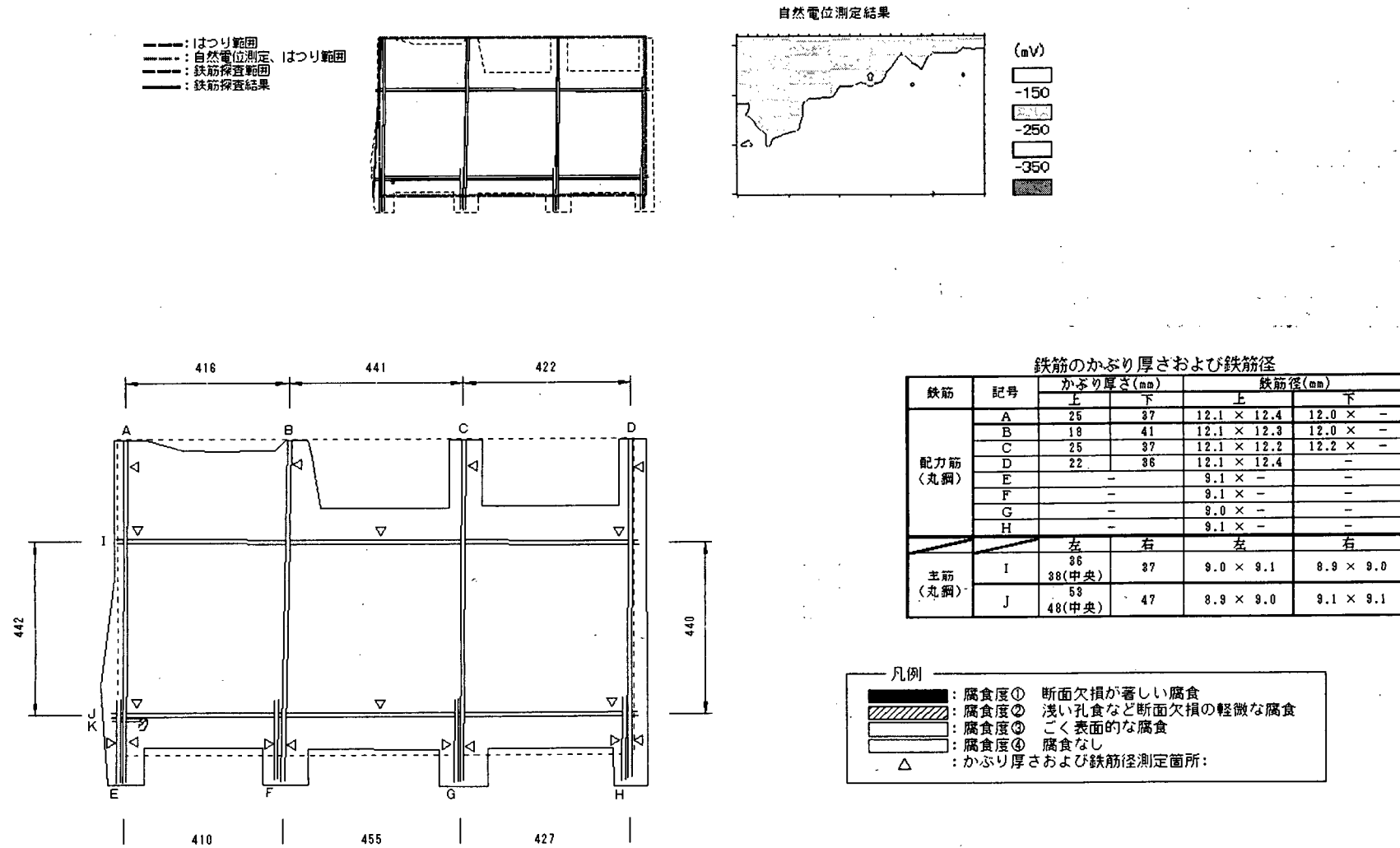
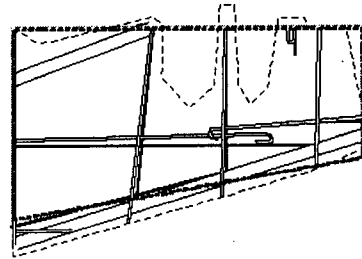
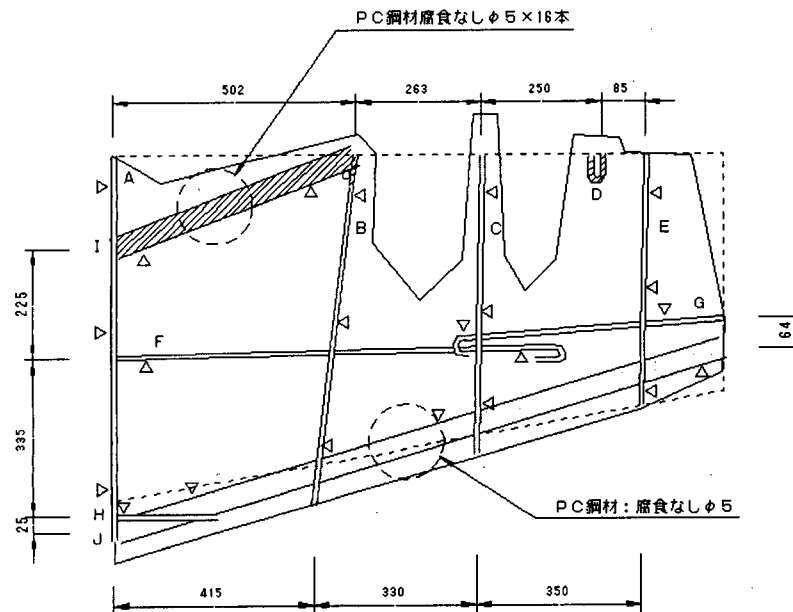
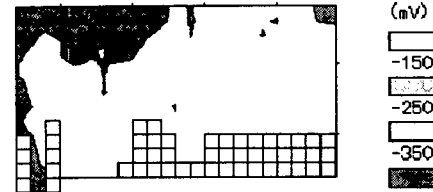


図-7.4.2 はつり調査結果 (旧芦川橋G1桁B面)

- - - はつり範囲
 - - - 自然電位測定範囲
 - - - 鉄筋検査範囲
 - - - 鉄筋検査結果



自然電位測定結果

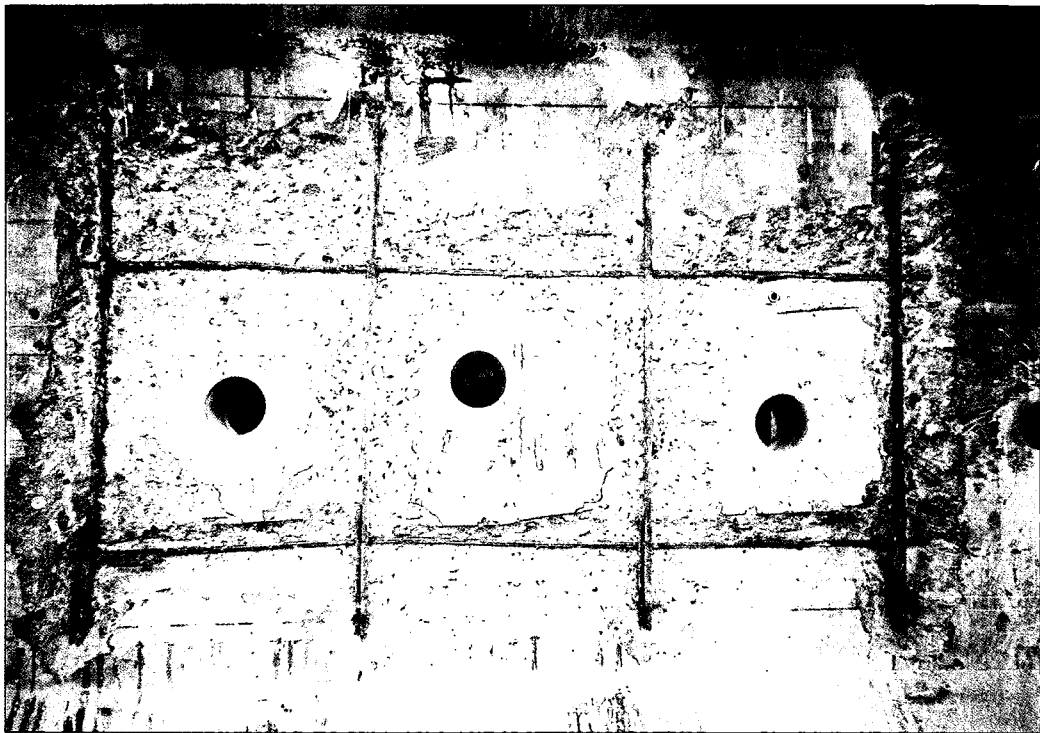


鉄筋のかぶり厚さおよび鉄筋径

鉄筋	記号	かぶり厚さ(mm)		鉄筋径(mm)	
		上	下	上	下
配力筋 (丸鋼)	A	19 15(中央)	24	12.2 × -	12.3 × 12.3
	B	24 31(中央)	32	12.2 × 12.2	12.1 × 12.2
	C	46 44(中央)	42	12.1 × 12.1	12.1 × 12.3
	D	8 9.0 × 9.1			
	E	44 44(中央)	44	12.2 × -	12.0 × 12.2
主筋 (丸鋼)	F	左	右	左	右
	G	31	58	8.7 × 8.8	9.0 × 9.1
	H	54	59	8.8 × -	9.2 × 9.2
	I	87	87	8.8 × 8.8	-
シーす	J	50	74	51.8	
		56 64(中央)	66	45.6 × 45.6	

凡例

- 腐食度① 断面欠損が著しい腐食
- 腐食度② 浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
- 腐食度③ ごく表面的な腐食
- 腐食度④ 腐食なし
- △ : かぶり厚さおよび鉄筋径測定箇所



写真－7.4.1 A面はつり後状況（旧芦川橋G 1桁）



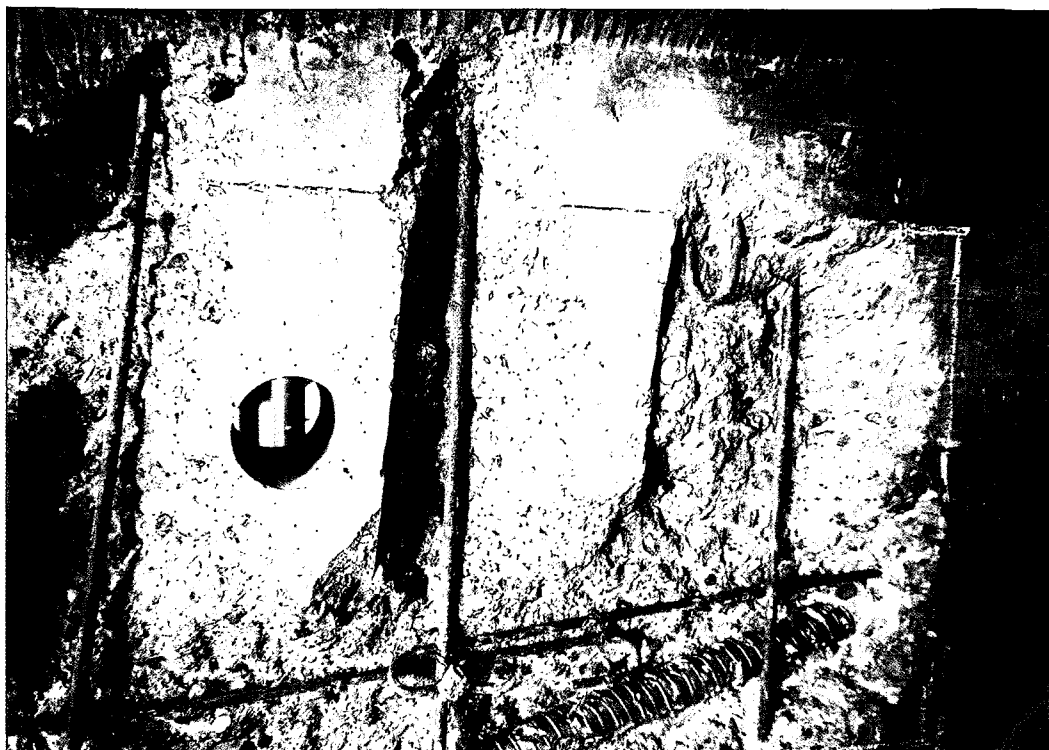
写真－7.4.2 腐食状況－A面調査箇所右上部（旧芦川橋G 1桁）



写真－7.4.3 孔食の状況－A面調査箇所左下部（旧芦川橋G 1桁）



写真－7.4.4 B面はつり後状況（旧芦川橋G 1桁）



写真－7.4.5 腐食状況－B面調査箇所中央上部（旧芦川橋G 1桁）



写真－7.4.6 かぶりが薄く孔食も見られた鉄筋－B面調査箇所右上部（旧芦川橋G 1桁）



写真－7.4.7 腐食状況－B面調査箇所左上部のシース（旧芦川橋G1桁）



写真－7.4.8 シース内のPC鋼線は健全－B面調査箇所左上部（旧芦川橋G1桁）

表-7.4.1 はつり調査結果（鉄筋のかぶり厚さおよび腐食度の判定）

調査箇所		使用鉄筋		かぶり厚さ (mm)		鉄筋の腐食度	自然電位による鉄筋の損傷度
				実測値	電磁波法		
旧芦川橋	A面	スターラップ	φ 9	36～53	34～52	②～③（③が主体）	Ⅰ～Ⅲ （Ⅱが主体）
		主筋	φ 12	18～41	18～39	③	
	B面	シース	φ 45	50～66	59～72	②～③（③が主体）	Ⅰ～Ⅱ （Ⅱが主体）
		スターラップ	φ 9	31～59	31～59	③	
		主筋	φ 12	6～46	11～44	②～③（③が主体）	
		P C鋼材	φ 5	—	—	④	

※自然電位による鉄筋の腐食度は、Dk法による測定結果にもとづくもの

—健全度診断（案）マニュアルでの判定基準—

（鉄筋の腐食状況に応じた鉄筋腐食度）

- ①：断面欠損が著しい腐食
- ②：浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食
- ③：ごく表面的な腐食
- ④：腐食無し

あとがき

コンクリート研究室と日本構造物診断協会の共同研究として、実構造物に対して非破壊検査・微破壊試験を行って健全度を診断した結果を報告した。また、鉄筋をはつりだして構造物の劣化状況を詳細に調べた結果もあわせて報告した。その結果、非破壊試験・微破壊試験で構造物の状態がよく把握できていた場合もあれば、そうでない場合もあったが、本報では、試験結果を整理・記録することを重視し、考察等は簡単なものとどめている。

今後、今回得られた結果をもとに、各種試験結果の評価方法の見直しや、新たな試験方法を取り入れるなどの検討を行い、健全度診断マニュアルを作成する予定である。

謝辞

今回行った旧暮坪陸橋P 3 橋脚に対する健全度診断の実施にあたっては、建設省東北地方建設局酒田工事事務所、同鶴岡国道維持出張所のご協力をいただきました。

また、旧芦川橋G 1 桁に対する健全度診断の実施にあたっては、建設省東北地方建設局秋田工事事務所、同本荘国道維持出張所のご協力をいただきました。

この場を借りて関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

ー全般ー

1. コンクリート研究室, 日本構造物診断技術協会:「コンクリート構造物の健全度診断技術の開発に関する共同研究報告書」ーコンクリート構造物の健全度診断マニュアル(案)ー, 共同研究報告書第 195 号, 1998.3
2. コンクリート研究室, 日本構造物診断技術協会:「コンクリート構造物の健全度診断技術の開発に関する共同研究報告書」ーコンクリート構造物の非破壊検査マニュアルー, 共同研究報告書第 106 号, 1994.7

ー反発度法関連ー

3. 土木学会:「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法(案)」(JSCE-G504), 1990
4. 明石外世樹:「コンクリートの非破壊試験に関する研究」, 土木学会論文集, 第 390 号/V・8, pp.1-22, 1998.2
5. 社団法人日本材料試験協会実施コンクリート強度判定法委員会:「シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針(案)」, 材料試験, 第 7 巻 59 号, pp.40-44, 1958.8
6. 日本建築学会:『コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル』, 1973
7. 徳光善治, 松下博通, 境吉彦:「P C 用コンクリートのシュミットハンマーによる強度推定とそのコア強度について」, 土木学会第 34 回年次学術講演会講演概要集, 第 V 部, pp.55-56, 1979.10

ー電気抵抗関連ー

8. 「Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method」(ASTM G 57), 1995.4
9. 古賀裕久, 河野広隆, 渡辺博志, 田中良樹:「コンクリートの電気抵抗測定による耐久性評価に関する基礎的研究」, 鉄筋コンクリート構造物の計測と表面探傷シンポジウム講演論文集, 社団法人日本非破壊検査協会, pp.89-94, 2001.1

資料編

健全度診断マニュアル（案）による判定基準

反発度測定データシートの例

鉄筋探査画像の例

健全度診断マニュアル（案）による判定基準

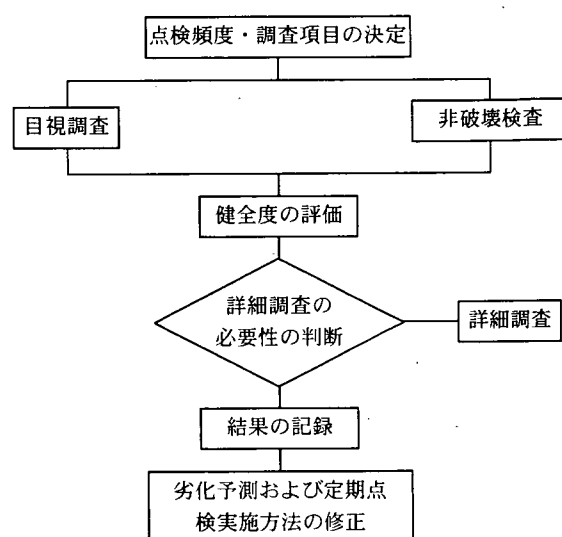
ここでは、参考までに今回の調査結果を基に構造物の健全度診断を行った結果を、例として示す。

健全度診断マニュアル（案）では、構造物の定期点検の実施フロー（付図－１）を提案した上で、定期点検時に、構造物の健全度診断のために行う非破壊試験項目として、付表－１の項目（および判定基準を）挙げている。なお、付表－１でいう構造物の損傷とは付表－２のような状況を指す。

これらの定期点検における非破壊調査結果（および目視調査結果）から、詳細調査が必要と判定された場合には、詳細調査を行うこととなる（付図－１）。診断マニュアル（案）における詳細調査での各種判定基準を、付表－３～付表－１０に示す。

今回は、同じ測定項目についても複数の調査者が測定を実施したが、ここでは測定者D kの測定結果に基づき、診断マニュアルでいう定期点検に基づく判定例を付表－１１～付表－１６で、詳細調査に基づく判定例を付表－１７～付表－１９に示す。

なお、定期点検に基づく判定例のうち診断書（案）は、現場ですぐに得られる結果を基に判定したものである。一方、診断書では、持ち帰ったコア試料を用いて、後日試験を行った結果を含めて判定したものである。診断書作成時にはつり調査結果等に基づく先入観に影響されることを防ぐため、はつり調査前に診断書（案）を作成した。



付図－１ 定期点検の実施フロー

付表－１ 損傷度の判定（定期点検）

損傷度	調査方法				
	自然電位 E (mV)	分極抵抗法 Rp (kΩ・cm²)	全塩化物量 Cl (kg/m³)	中性化深さ ⁽¹⁾ Xc	ひび割れ深さ ⁽¹⁾⁽²⁾ d
I	-350 ≥ E	Rp ≤ 40	Cl ≥ 2.5	Xc ≥ かぶり	—
II	-250 ≥ E > -350		2.5 > Cl ≥ 1.2	かぶり > Xc ≥ 1/2 かぶり： ただしかぶり < 40mm	d ≥ かぶり
III	-150 ≥ E > -250	40 < Rp ≤ 60	1.2 > Cl ≥ 0.3	かぶり > Xc ≥ 1/2 かぶり： ただしかぶり ≥ 40mm	かぶり > d ≥ 1/2 かぶり
IV	E > -150	Rp > 60	0.3 > Cl	1/2 かぶり > Xc	1/2 かぶり > d

注) (1)：これらの値は、鉄筋のかぶりとの相対値で決まるためこのような表現とした。

(2)：ひび割れ深さに関する指標は過酷な塩害環境にある場合에만用いる。

※ここでいう過酷な塩害環境とは、「海上部および海岸線から100 mまでの地域、沖縄県および融雪剤（塩化カルシウム）が散布される地域」を指す。

付表－２ 損傷度と構造物の状況（定期点検）

損傷度	想定される状況
I	コンクリート中の鋼材は、腐食していると考えてまず間違いない状態。早めに詳細調査の実施を検討する必要がある段階。
II	コンクリート中の鋼材が腐食している可能性が高いと考えられる状態。詳細調査を行って、構造物の状況を確実に把握することが望ましい段階。
III	場合によってはコンクリート中の鋼材の腐食が始まっていると考えられる状態。構造物の重要度、維持管理レベルに応じて、詳細調査を実施することが望ましい段階。
IV	これまでの知見からすると、コンクリート中の鋼材の腐食は生じていないと考えるのが妥当な状態。当面は、通常の定期点検を主体とした管理で十分であると考えられる段階。

付表－３ 詳細目視調査結果による外観損傷度（詳細調査）

損傷状況	外観損傷度
コンクリートの断面欠損が認められ、内部の鋼材の露出や破断が認められる場合	I
ひび割れ、錆汁、剥離、あるいは剥落が連続的に認められる場合	II
ひび割れ、錆汁、剥離、あるいは剥落が部分的に認められる場合	III
ごく軽微なひび割れや錆汁が認められる場合	IV
損傷が認められない場合	無

付表－４ 鉄筋の腐食状況に応じた鉄筋腐食度（詳細調査）

鉄筋の腐食状況	鉄筋腐食度
断面欠損が著しい腐食	①
浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食	②
ごく表面的な腐食	③
腐食なし	④

付表－５ 自然電位値と鉄筋腐食状況（詳細調査）

自然電位値 E (mV) (飽和硫酸銅電極基準)	鉄筋腐食状況
$E > -200$	90%以上の確率で腐食なし
$-200 \geq E > -350$	不確定
$-350 \geq E$	90%以上の確率で腐食あり

付表－6 圧縮強度試験結果の評価（詳細調査）

圧縮強度値	評 価
各々の供試体の圧縮強度が、設計基準強度とほぼ同等である場合（少なくとも80%以上）	健全である
各々の供試体圧縮強度値が、設計基準強度を下回っている場合	構造的な検討も必要である

付表－7 静弾性係数試験結果の評価（詳細調査）

静弾性係数試験値	評 価
個々の供試体の試験値が、標準値とほぼ同等である場合（標準値の80%以上）	健全である
個々の供試体の試験値が、標準値を下回っている場合	構造的な検討も必要である
個々の供試体の試験値が、標準値に比べ著しく低下している場合	アルカリ骨材反応あるいは凍害が生じている可能性も考えられ、構造的な検討も必要である。

付表－8 塩化物イオン含有量試験結果と塩害による影響の評価（詳細調査）

塩化物イオン含有量	2.5kg/m ³ 以上	1.5～2.5kg/m ³	1.5kg/m ³ 以下
塩害による影響の評価	塩害を生じうる	将来的に塩害による損傷を生じる可能性がある	塩害による損傷を生じる可能性は少ない

※ここでいう塩化物イオン含有量とは、全塩分量である。

付表－9 損傷度評価基準（詳細調査）

損傷度	損傷の程度
A	調査を実施した時点で、構造物の耐久性能が著しく低下していて、耐荷性能の低下が懸念される段階
B	調査を実施した時点で、構造物の耐久性能が低下していると考えられる段階
C	調査を実施した時点では、構造物の耐久性能が低下しているとは判断しづらいがその兆候は認められる段階
D	調査を実施した時点では、構造物に損傷はないと考えられる段階

表-1.10 総合評価方法（詳細調査）

各調査項目と評価		損傷度	A	B	C	D
外観損傷度	I		◎			
	II			◎		
	III			○	○	
	IV				○	
	無					○
鉄筋腐食度 (はつり)	①		◎			
	②			○		
	③				○	
	④					○
自然電位 (mv : CSE)	$E \leq -350$			○		
	$-350 < E \leq -200$			○	○	
	$-200 < E$					○
鉄筋位置での 塩化物イオン 含有量 (kg/m ³)	2.5以上			◎		
	1.5~2.5			○	○	
	1.5以下				○	○
中性化深さ	鉄筋位置 に達して いる			○	○	
	鉄筋位置 に達して いない					○

総合判断

①各損傷形態に応じた表を選定する。ただし、損傷形態が複数の場合は該当する各損傷形態全てを選定する（上は、塩害および中性化が考えられる場合）。

②各試験項目と評価で該当する横軸の◎または○の位置をチェックする。○が同一の横軸上に2つある場合は両方チェックする。

③上記②でチェックした位置を縦軸の各損傷度別に数え、最も個数の多い損傷度をその構造物の損傷度とみなす。ただし、◎が一つでも該当するものがあればその損傷度とし、○の個数が同一の場合は、最も厳しい損傷度とする。

平成 年 月 日

診断書（案）

構造物概要

所在地：山形県西田川郡温海町大字暮坪 地先

対象構造物：暮坪陸橋

調査部位：下部工P3橋脚

竣 工：不明
 コンクリートの
 設計基準強度：不明 N/mm^2
 鉄筋の設計かぶり：不明 mm

測定結果

調査日：平成 年 月 日

測定項目	測定方法	測定結果		損傷度ランク	摘要
圧縮強度・ 静弾性係数	反発度法 *1	推定圧縮強度		—	反発度①：53.8 ②：51.9
		①	50.5 N/mm ²		
		②	48.1 N/mm ²		
	コア	全平均	49.3 N/mm ²	—	—
圧縮強度：— N/mm ²					
		静弾性係数：— ×10 ⁴ N/mm ²		—	—
かぶりおよび 鉄筋位置の測定	電磁波法 (1m×1m 範囲)	鉄筋間隔(mm)		—	—
		主 筋：80～260 平均 177 配力筋：390～590 平均 448			
	実測： 自然電位測定のためのはつり部	かぶり(mm)		—	—
		主 筋：173～200 平均 189 配力筋：149～194 平均 172			
		鉄筋間隔(mm)		—	—
		主 筋：— ～— 平均— 配力筋：— ～— 平均—			
		かぶり(mm)		—	—
		主 筋：— 配力筋：109			
鉄筋腐食状況	自然電位 (1m×1m 範囲)	測定電位 (mv)	指示率 (%)	Ⅲ～Ⅳ	湿潤 30 分後
		—350≥E	0		
		—250≥E>—350	0		
		—150≥E>—250	0.2		
		E>—150	99.8		
	目視： 自然電位測定のためのはつり部	腐食状況：配力筋浮き錆		(腐食度③)	—
中性化	フェノールフタレイン法	コア①：0 mm コア②：1 mm はつり：— mm 全平均 0 mm		Ⅳ	—
塩化物イオン 含有量	JCI-SC4 (全塩化物)	鉄筋かぶり位置(mm)：— 全塩化物量(kg/m ³)：—		—	—

診断結果*2

調査部位は損傷度Ⅲと判定され、詳細調査を実施することが望ましい段階です。

* 1：反発度による推定圧縮強度は $F = -184 + 13.0 R_0$ （日本材料学会）による。

* 2：診断結果の損傷度は、測定結果の損傷度最上位のランクとした。

付表-4.12 診断書の記載例（旧芦川橋，診断書（案））

平成 年 月 日

診断書（案）

構造物概要

所在地：秋田県本荘市芦川 地先

対象構造物：芦川橋

調査部位：上部工G1桁（中央部：A面）

竣 工：不明

コンクリートの

設計基準強度：不明 N/mm²

鉄筋の設計かぶり：不明 mm

測定結果

調査日：平成 年 月 日

測定項目	測定方法	測定結果		損傷度ランク	摘要
圧縮強度・ 静弾性係数	反発度法 *1	推定圧縮強度 ① : 53.4 N/mm ² ② : 58.4 N/mm ² 全平均 : 55.9 N/mm ²		—	反発度 A-1 : 56.1 A-2 : 60.0
	コア	圧縮強度 : — N/mm ²		—	—
		静弾性係数 : — ×10 ⁴ N/mm ²		—	—
かぶりおよび 鉄筋位置の測定	電磁波法 (1.3m×0.8m 範囲)	鉄筋間隔(mm) 主 筋 : 440~450 平均 445 配力筋 : 420~450 平均 432 かぶり(mm) 主 筋 : 34~52 平均 41 配力筋 : 18~39 平均 27		—	—
		鉄筋間隔(mm) 主 筋 : — ~— 平均— 配力筋 : — ~— 平均— かぶり(mm) 主 筋 : — 配力筋 : —		—	—
	実測： 自然電位測定のためのはつり部			—	—
鉄筋腐食状況	自然電位 (1.3m×0.8m 範囲)	測定電位 (mv)	指示率 (%)	I ~ III	湿潤 30 分後
		-350 ≥ E	0.3		
		-250 ≥ E > -350	66.7		
		-150 ≥ E > -250	33.0		
		E > -150	0		
	目視： 自然電位測定のためのはつり部	腐食状況：—		—	—
中性化	フェノールフタレイン法	コア A-1 : 山側 6mm (海側 0mm) コア A-2 : 山側 5mm (海側 0mm) はつり : —mm 全平均 6mm		IV	中性化が不鮮明のため割裂による測定を予定
塩化物イオン含有量	JCI-SC4 (全塩化物)	鉄筋かぶり位置(mm) : — 全塩化物量(kg/m ³) : —		—	—

診断結果*2

調査部位は損傷度 I と判定され、早めに詳細調査の実施を検討する必要がある段階です。

* 1 : 反発度による推定圧縮強度は $F = -184 + 13.0R_0$ (日本材料学会) による。

* 2 : 診断結果の損傷度は、測定結果の損傷度最上位のランクとした。

付表-13 診断書の記載例（旧芦川橋，診断書（案））

平成 年 月 日

診断書（案）

構造物概要

所在地：秋田県本荘市芦川 地先
 対象構造物：芦川橋
 調査部位：上部工G1桁（端部：B面）

竣工工：不明
 コンクリートの
 設計基準強度：不明 N/mm²
 鉄筋の設計かぶり：不明 mm

測定結果

調査日：平成 年 月 日

測定項目	測定方法	測定結果		損傷度ランク	摘要
圧縮強度・ 静弾性係数	反発度法 *1	推定圧縮強度		—	反発度 B-1 : 60.0 B-2 : 59.7
		①	: 58.4 N/mm ²		
		②	: 58.0 N/mm ²		
		全平均	: 58.2 N/mm ²		
かぶりおよび 鉄筋位置の測定	コア	圧縮強度 : — N/mm ²		—	—
		静弾性係数 : — ×10 ⁴ N/mm ²		—	—
	電磁波法 (1.26m×0.72m 範囲)	鉄筋間隔(mm) 主筋 : 90 平均 90 配力筋 : 90~320 平均 228 かぶり(mm) 主筋 : 31~59 平均 44 配力筋 : 11~44 平均 35 斜め筋 : 59~72 平均 65		—	—
		鉄筋間隔(mm) 主筋 : — ~— 平均— 配力筋 : — ~— 平均— かぶり(mm) 主筋 : — 配力筋 : —		—	—
鉄筋腐食状況	自然電位 (1.26m×0.72m 範囲)	測定電位 (mv)	指示率 (%)	I ~ II	湿潤 30 分後
		-350 ≥ E	25.2		
		-250 ≥ E > -350	74.8		
		-150 ≥ E > -250	0		
		E > -150	0		
	目視： 自然電位測定のためのはつり部	腐食状況：—		—	—
中性化	フェノールフタレイン法	コア B-1 : 0 mm コア B-2 : 0 mm はつり : —mm 全平均 0 mm		IV	—
塩化物イオン 含有量	JCI-SC4 (全塩化物)	鉄筋かぶり位置(mm) : — 全塩化物量(kg/m ³) : —		—	—

診断結果*2

調査部位は損傷度 I と判定され、早めに詳細調査の実施を検討する必要がある段階です。

* 1 : 反発度による推定圧縮強度は $F = -184 + 13.0R_0$ (日本材料学会) による。

* 2 : 診断結果の損傷度は、測定結果の損傷度最上位のランクとした。

付表-4.14 診断書の記載例(旧暮坪陸橋, 診断書)

平成 年 月 日

診断書

構造物概要

所在地：山形県西田川郡温海町大字暮坪 地先

対象構造物：暮坪陸橋

調査部位：下部工P3橋脚

竣 工：不明

コンクリートの

設計基準強度：不明 N/mm²

鉄筋の設計かぶり：不明 mm

測定結果

調査日：平成 年 月 日～ 月 日

測定項目	測定方法	測定結果		損傷度ランク	摘要
圧縮強度・ 静弾性係数	反発度法 *1	推定圧縮強度		—	反発度① : 53.8 ② : 51.9
		① : 50.5 N/mm ²			
		② : 48.4 N/mm ²			
	コア	全平均 : 49.3 N/mm ²		—	—
圧縮強度 : 56.9 N/mm ²					
		静弾性係数 : 2.51×10 ⁴ N/mm ²		構造的な検討も必要である	土木学会標準値の80%を下回る
かぶりおよび 鉄筋位置の測定	電磁波法 (1m×1m 範囲)	鉄筋間隔(mm) 主 筋 : 80～260 平均 177 配力筋 : 390～590 平均 448 かぶり(mm) 主 筋 : 173～200 平均 189 配力筋 : 149～194 平均 172		—	—
	実測 : 自然電位測定のためのはつり部	鉄筋間隔(mm) 主 筋 : — ～— 平均— 配力筋 : — ～— 平均— かぶり(mm) 主 筋 : — 配力筋 : 109		—	—
鉄筋腐食状況	自然電位 (1m×1m 範囲)	測定電位 (mv)	指示率 (%)	Ⅲ～Ⅳ	湿潤 30 分後
		－350≧E	0		
		－250≧E>－350	0		
		－150≧E>－250	0.2		
		E>－150	99.8		
	目視 : 自然電位測定のためのはつり部	腐食状況 : 配力筋浮き錆		(腐食度③)	—
中性化	フェノールタイン法	コア① : 0 mm コア② : 1 mm はつり : — mm 全平均 0 mm		Ⅳ	—
塩化物イオン 含有量	JCI-SC4 (全塩化物)	鉄筋かぶり位置(mm) : 149～200 全塩化物量(kg/m ³) : 0.59～0.85		Ⅲ	—

診断結果*2

調査部位は損傷度Ⅲと判定され、詳細調査を実施することが望ましい段階です。

* 1 : 反発度による推定圧縮強度は $F = -184 + 13.0R_0$ (日本材料学会) による。

* 2 : 診断結果の損傷度は、測定結果の損傷度最上位のランクとした。

平成 年 月 日

診断書

構造物概要

所在地：秋田県本荘市芦川 地先

対象構造物：芦川橋

調査部位：上部工G1桁（中央部：A面）

竣 工：不明
 コンクリートの
 設計基準強度：不明 N/mm^2
 鉄筋の設計かぶり：不明 mm

測定結果

調査日：平成 年 月 日～ 月 日

測定項目	測定方法	測定結果		損傷度ランク	摘要
圧縮強度・ 静弾性係数	反発度法 *1	推定圧縮強度		—	反発度 A-1 : 56.1 A-2 : 60.0
		① : 53.4 N/mm ²			
		② : 58.4 N/mm ²			
		全平均 : 55.9 N/mm ²			
	コア	圧縮強度 : 62.3 N/mm ²		—	—
		静弾性係数: 3.00×10 ⁴ N/mm ²		(健全である)	土木学会標準値 の 80%以上
かぶりおよび 鉄筋位置の測定	電磁波法 (1.3m×0.8m 範囲)	鉄筋間隔(mm) 主 筋: 440～450 平均 445 配力筋: 420～450 平均 432 かぶり(mm) 主 筋: 34～52 平均 41 配力筋: 18～39 平均 20		—	—
	実測: 自然電位測定のためのはつり部	鉄筋間隔(mm) 主 筋: — ～— 平均— 配力筋: — ～— 平均— かぶり(mm) 主 筋: — 配力筋: —		—	—
鉄筋腐食状況	自然電位 (1.3m×0.8m 範囲)	測定電位 (mv)	指示率 (%)	Ⅰ ～ Ⅲ	湿潤 30 分後
		—350≧E	0.3		
		—250≧E>—350	66.7		
		—150≧E>—250	33.0		
		E>—150	0		
	目視: 自然電位測定のためのはつり部	腐食状況: —		—	—
中性化	フェノールフタレイン法	コア A-1 : 山側 6mm (割裂 5mm) コア A-2 : 山側 5mm (割裂 5mm) はつり: —mm 全平均 5mm		Ⅳ	
塩化物イオン 含有量	JCI-SC4 (全塩化物)	鉄筋かぶり位置(mm) : 18～52 全塩化物量(kg/m ³) : 0.26～4.06		Ⅰ ～ Ⅳ	—

診断結果*2

調査部位は損傷度 I と判定され、早めに詳細調査の実施を検討する必要がある段階です。

* 1 : 反発度による推定圧縮強度は $F = -184 + 13.0R_0$ (日本材料学会) による。

* 2 : 診断結果の損傷度は、測定結果の損傷度最上位のランクとした。

平成 年 月 日

診断書

構造物概要

所在地：秋田県本荘市芦川 地先

対象構造物：芦川橋

調査部位：上部工G1桁 (端部：B面)

竣 工：不明

コンクリートの

設計基準強度：不明 N/mm^2

鉄筋の設計かぶり：不明 mm

測定結果

調査日：平成 年 月 日～ 月 日

測定項目	測定方法	測定結果		損傷度ランク	摘要
圧縮強度・ 静弾性係数	反発度法 *1	推定圧縮強度 ① : 58.4 N/mm^2 ② : 58.0 N/mm^2 全平均 : 58.2 N/mm^2		—	反発度 B-1 : 60.0 B-2 : 59.7
	コア	圧縮強度 : 68.5 N/mm^2 静弾性係数 : $3.72 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$		— (健全である)	— 土木学会標準値 を上回る
かぶりおよび 鉄筋位置の測定	電磁波法 (1.26m×0.72m 範囲)	鉄筋間隔(mm) 主 筋 : 90 平均 90 配力筋 : 90~320 平均 228 かぶり(mm) 主 筋 : 31~59 平均 44 配力筋 : 11~44 平均 35 斜め筋 : 59~72 平均 65		—	—
	実測 : 自然電位測定のためのはつり部	鉄筋間隔(mm) 主 筋 : — ~— 平均— 配力筋 : — ~— 平均— かぶり(mm) 主 筋 : — 配力筋 : —		—	—
鉄筋腐食状況	自然電位 (1.26m×0.72m 範囲)	測定電位 (mv) —350 ≥ E —250 ≥ E > —350 —150 ≥ E > —250 E > —150	指示率 (%) 25.2 74.8 0 0	I ~ II	湿潤 30 分後
	目視 : 自然電位測定のためのはつり部	腐食状況 : —		—	—
中性化	フェノールフタレイン法	コア B-1 : 0 mm コア B-2 : 0 mm はつり : —mm 全平均 0 mm		IV	—
塩化物イオン 含有量	JCI-SC4 (全塩化物)	鉄筋かぶり位置(mm) : 11~72 全塩化物量(kg/m^3) : 0.27~4.39		I ~ IV	—

診断結果*2

調査部位は損傷度 I と判定され、早めに詳細調査の実施を検討する必要がある段階です。

* 1 : 反発度による推定圧縮強度は $F = -184 + 13.0R_0$ (日本材料学会) による。

* 2 : 診断結果の損傷度は、測定結果の損傷度最上位のランクとした。

付表-17 詳細調査項目に基づく健全度診断（旧暮坪陸橋）

各調査項目と評価		損傷度	A	B	C	D
外観損傷度	I	◎				
	II		◎			
	III		○	○		
	IV			○		
	無					○
鉄筋腐食度 (はつり)	①	◎				
	②		○			
	③			○		
	④					○
自然電位 (mv : CSE)	$E \leq -350$		○			
	$-350 < E \leq -200$		○	○		
	$-200 < E$					○
鉄筋位置での 塩化物イオン 含有量 (kg/m ³)	2.5以上		◎			
	1.5～2.5		○	○		
	1.5以下			○	○	
中性化深さ	鉄筋位置 に達して いる		○	○		
	鉄筋位置 に達して いない					○

が該当する項目

総合判断

○の数が最も多い損傷度をその構造物の損傷度とする。ただし、◎が一つでも該当するものがあればその損傷度とする。
この結果、損傷度はCと判断される。

付表-18 詳細調査項目に基づく健全度診断 (旧芦川橋 : A面)

損傷度 各調査項目と評価		A	B	C	D
外観損傷度	I	◎			
	II		◎		
	III		○	○	
	IV			○	
	無				○
鉄筋腐食度 (はつり)	①	◎			
	②		○		
	③			○	
	④				○
自然電位 (mv : CSE)	$E \leq -350$		○		
	$-350 < E \leq -200$		○	○	
	$-200 < E$				○
鉄筋位置での 塩化物イオン 含有量 (kg/m ³)	2.5以上		◎		
	1.5~2.5		○	○	
	1.5以下			○	○
中性化深さ	鉄筋位置 に達して いる		○	○	
	鉄筋位置 に達して いない				○

が該当する項目

総合判断

○の数が最も多い損傷度をその構造物の損傷度とする。ただし、◎が一つでも該当するものがあればその損傷度とする。
この結果、損傷度はBと判定される。

付表-19 詳細調査項目に基づく健全度診断（旧芦川橋：B面）

各調査項目と評価		損傷度	A	B	C	D
外観損傷度	I		◎			
	II			◎		
	III			○	○	
	IV				○	
	無					○
鉄筋腐食度 (はつり)	①		◎			
	②			○		
	③				○	
	④					○
自然電位 (mv : CSE)	$E \leq -350$			○		
	$-350 < E \leq -200$			○	○	
	$-200 < E$					○
鉄筋位置での 塩化物イオン 含有量 (kg/m ³)	2.5以上			◎		
	1.5～2.5			○	○	
	1.5以下				○	○
中性化深さ	鉄筋位置 に達して いる			○	○	
	鉄筋位置 に達して いない					○

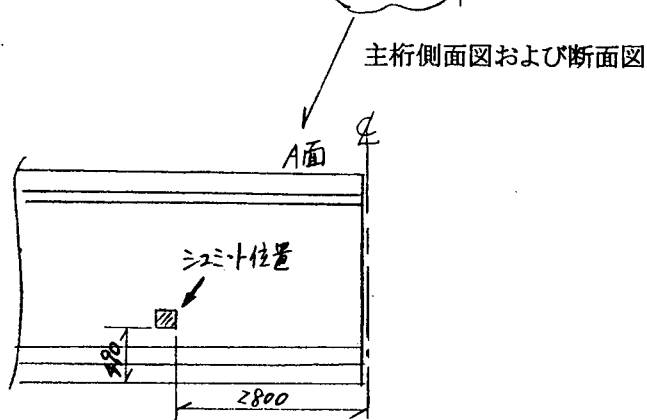
が該当する項目

総合判断

○の数が最も多い損傷度をその構造物の損傷度とする。ただし、◎が一つでも該当するものがあればその損傷度とする。
この結果、損傷度はBと判定される。

反発度測定データシートの例 (Cg 法)

会社名		計測者	
計測場所	土木研究所実験棟	計測日	平成12年9月25日
計測対象	旧芦川橋 主桁(中央部、端部の2ヶ所)	計測項目	圧縮強度
計測機器	シュミットハンマー (proceq・NR-10)	計測時間	11:50 ~ 12:05 (2人)



シュミットハンマーによる反発度測定結果表

測定点	反発度	測定点	反発度
1	56	11	59
2	57	12	58
3	57	13	56
4	56	14	58
5	58	15	56
6	57	16	57
7	59	17	59
8	59	18	60
9	57	19	54
10	58	20	59
		平均値 R	58
		角度補正 ΔR	0

材令係数 $a = 0.63$

反発度 $R = 58$

圧縮推定式 $(-184 + 13R) \times a$

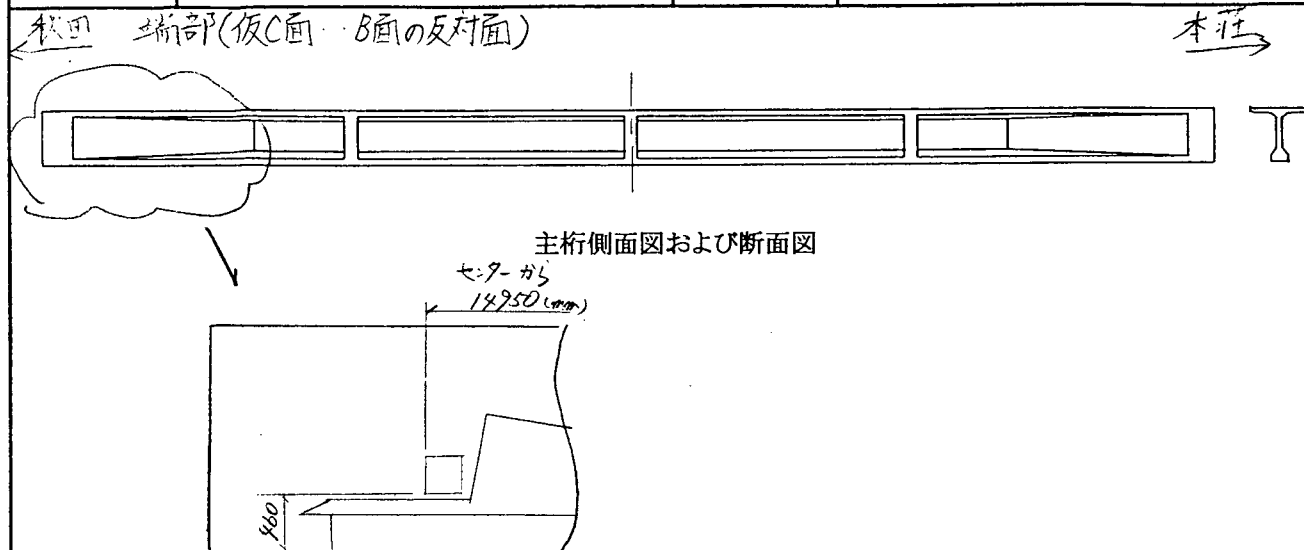
$F_c = 359$

推定圧縮強度 359 kg/cm^2

材料係数の値

材令(日)	28	100	300	500	1000	3000
a	1.00	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

会社名		計測者	
計測場所	土木研究所実験棟	計測日	平成12年9月25日
計測対象	旧芦川橋 主桁(中央部、端部の2ヶ所)	計測項目	圧縮強度
計測機器	シュミットハンマー (proceq・NR-10)	計測時間	12:05 ~ 12:20 (2人)



シュミットハンマーによる反発度測定結果表

測定点	反発度	測定点	反発度
1	56	11	52
2	52	12	56
3	54	13	56
4	52	14	56
5	56	15	52
6	56	16	51
7	52	17	56
8	55	18	56
9	54	19	52
10	54	20	56
		平均値 R	54
		角度補正 ΔR	0

材令係数 $a = 0.63$

反発度 $R = 54$

圧縮推定式 $(-184 + 13R) \times a$

$F_c = 326$

推定圧縮強度 326 kg/cm^2

材料係数の値

材令(日)	28	100	300	500	1000	3000
a	1.00	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

反発度測定データシートの例(Dk法)

暮坪P3①					暮坪P3②				
調査位置 打撃回数	測定値	-20%	+20%	反発 R	調査位置 打撃回数	測定値	-20%	+20%	反発 R
1	63	0	0	63	1	47	0	0	47
2	53	0	0	53	2	47	0	0	47
3	53	0	0	53	3	56	0	0	56
4	59	0	0	59	4	48	0	0	48
5	60	0	0	60	5	57	0	0	57
6	49	0	0	49	6	47	0	0	47
7	56	0	0	56	7	48	0	0	48
8	58	0	0	58	8	57	0	0	57
9	57	0	0	57	9	56	0	0	56
10	50	0	0	50	10	55	0	0	55
11	54	0	0	54	11	49	0	0	49
12	54	0	0	54	12	51	0	0	51
13	56	0	0	56	13	51	0	0	51
14	57	0	0	57	14	59	0	0	59
15	52	0	0	52	15	53	0	0	53
16	51	0	0	51	16	55	0	0	55
17	50	0	0	50	17	49	0	0	49
18	47	0	0	47	18	54	0	0	54
19	55	0	0	55	19	51	0	0	51
20	49	0	0	49	20	51	0	0	51
21	47	0	0	47	21	43	0	0	43
22	53	0	0	53	22	51	0	0	51
23	55	0	0	55	23	51	0	0	51
24	53	0	0	53	24	55	0	0	55
25	54	0	0	54	25	57	0	0	57
n	25	0	0	25	n	25	0	0	25
最大値	63			63	最大値	59			59
最小値	47			47	最小値	43			43
平均	53.8			53.8	平均	51.9			51.9
平均-20%	43			43	平均-20%	41.5			41.5
平均+20%	64.6			64.4	平均+20%	62.3			62.3
異常値の数	-			0	異常値の数	-			0
標準偏差	3.9			3.9	標準偏差	4.0			4.0
打撃角度 α	0.0	補正值：—		64	打撃角度 α	補正值：—		52	
調査位置	暮坪P3①				調査位置	暮坪P3②			

調査位置 芦川橋G-1A-1					調査位置 芦川橋G-1A-2					調査位置 芦川橋G-1B-1					調査位置 芦川橋G-1B-2				
打撃回数	測定値	-20%	+20%	反発 R	打撃回数	測定値	-20%	+20%	反発 R	打撃回数	測定値	-20%	+20%	反発 R	打撃回数	測定値	-20%	+20%	反発 R
1	47	0	0	47	1	61	0	0	61	1	60	0	0	60	1	58	0	0	58
2	58	0	0	58	2	60	0	0	60	2	56	0	0	56	2	56	0	0	56
3	54	0	0	54	3	62	0	0	62	3	62	0	0	62	3	62	0	0	62
4	52	0	0	52	4	62	0	0	62	4	60	0	0	60	4	61	0	0	61
5	58	0	0	58	5	62	0	0	62	5	58	0	0	58	5	63	0	0	63
6	41	1	0	-	6	61	0	0	61	6	61	0	0	61	6	57	0	0	57
7	55	0	0	55	7	61	0	0	61	7	61	0	0	61	7	58	0	0	58
8	58	0	0	58	8	58	0	0	58	8	60	0	0	60	8	60	0	0	60
9	56	0	0	56	9	61	0	0	61	9	63	0	0	63	9	60	0	0	60
10	53	0	0	53	10	61	0	0	61	10	62	0	0	62	10	61	0	0	61
11	54	0	0	54	11	56	0	0	56	11	62	0	0	62	11	60	0	0	60
12	56	0	0	56	12	57	0	0	57	12	39	1	0	-	12	59	0	0	59
13	54	0	0	54	13	60	0	0	60	13	61	0	0	61	13	60	0	0	60
14	56	0	0	56	14	60	0	0	60	14	60	0	0	60	14	58	0	0	58
15	56	0	0	56	15	60	0	0	60	15	58	0	0	58	15	61	0	0	61
16	57	0	0	57	16	61	0	0	61	16	61	0	0	61	16	56	0	0	56
17	58	0	0	58	17	60	0	0	60	17	62	0	0	62	17	58	0	0	58
18	57	0	0	57	18	60	0	0	60	18	39	1	0	-	18	59	0	0	59
19	57	0	0	57	19	63	0	0	63	19	61	0	0	61	19	61	0	0	61
20	57	0	0	57	20	61	0	0	61	20	59	0	0	59	20	62	0	0	62
21	59	0	0	59	21	54	0	0	54	21	56	0	0	56	21	62	0	0	62
22	61	0	0	61	22	60	0	0	60	22	59	0	0	59	22	57	0	0	57
23	56	0	0	56	23	59	0	0	59	23	61	0	0	61	23	46	1	0	-
24	58	0	0	58	24	60	0	0	60	24	59	0	0	59	24	61	0	0	61
25	59	0	0	59	25	59	0	0	59	25	58	0	0	58	25	63	0	0	63
n	25	1	0	24	n	25	0	0	25	n	25	2	0	23	n	25	1	0	24
最大値	61			61	最大値	63			63	最大値	63			63	最大値	63			63
最小値	41			47	最小値	54			54	最小値	39			56	最小値	46			56
平均	55.5			56.1	平均	60			60	平均	58.3			60	平均	59.2			59.7
平均-20%	44.4			44.9	平均-20%	48			48	平均-20%	46.6			48	平均-20%	47.4			47.8
平均+20%	66.6			67.3	平均+20%	72			72	平均+20%	70			72	平均+20%	71			71.6
異常値の数	-			1	異常値の数	-			0	異常値の数	-			2	異常値の数	-			1
標準偏差	4.0			2.8	標準偏差	1.9			1.9	標準偏差	6.0			1.8	標準偏差	3.4			2.1
打撃角度 α	0.0	補正值：—		56	打撃角度 α	補正值：—		60	打撃角度 α	補正值：—		60.0	打撃角度 α	補正值：—		59.7			
調査位置	芦川橋G-1A-1				調査位置			芦川橋G-1A-2				調査位置	芦川橋G-1A-1				調査位置	芦川橋G-1A-2	

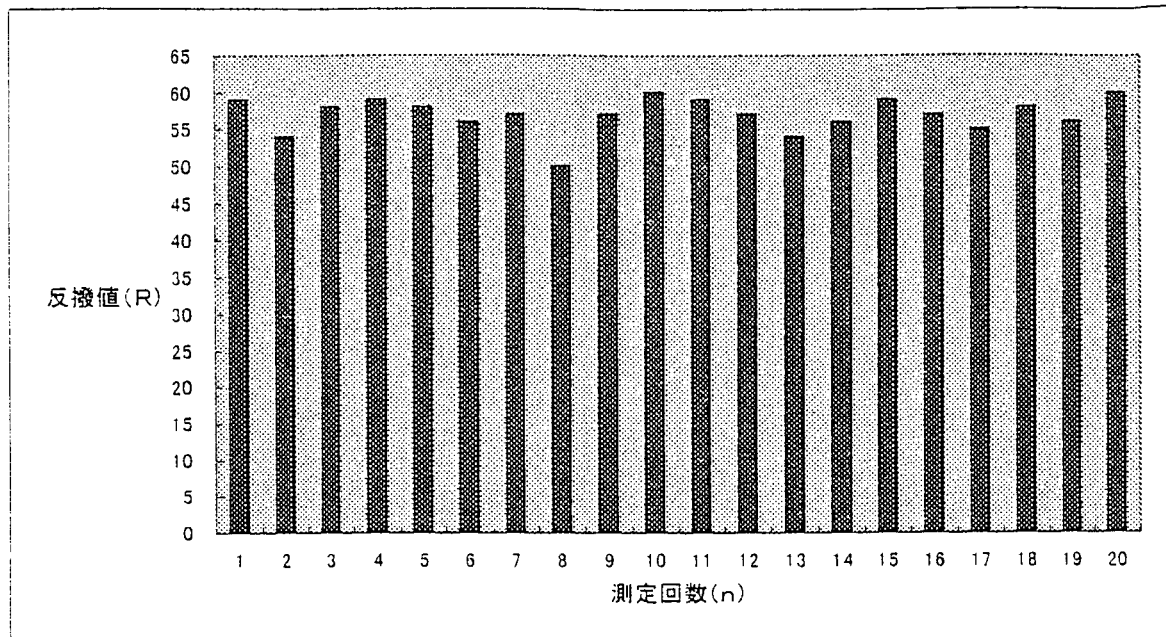
反発度測定データシートの例 (Fb 法)

【圧縮強度試験】

山形県暮坪陸橋

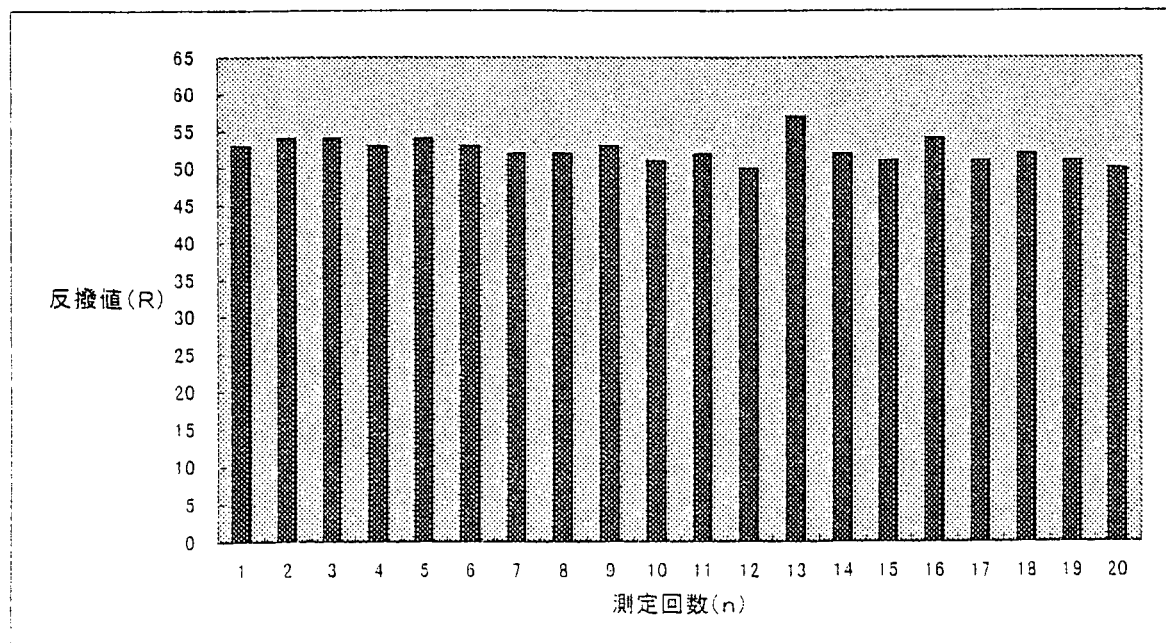
A面

測定値(R)	59	54	58	59	58	56	57	50	57	60	59	57	54	56	59	57	55	58	56	60
平均値(R)	57																			
圧縮強度(N/mm ²)	① 日本材料学会式 = $(13R - 184) \times 0.0980665$																			
	→ 材齢補正後($\alpha = 0.63$)																			
	② 芝武式 = $(14R - 157) \times 0.0980665$																			
	→ 材齢補正後($\alpha = 0.63$)																			
	55																			
	34																			
	63																			
	40																			



B面

測定値(R)	53	54	54	53	54	53	52	52	53	51	52	50	57	52	51	54	51	52	51	50
平均値(R)	52																			
圧縮強度(N/mm ²)	① 日本材料学会式 = $(13R - 184) \times 0.0980665$																			
	→ 材齢補正後($\alpha = 0.63$)																			
	② 芝武式 = $(14R - 157) \times 0.0980665$																			
	→ 材齢補正後($\alpha = 0.63$)																			
	49																			
	31																			
	57																			
	36																			

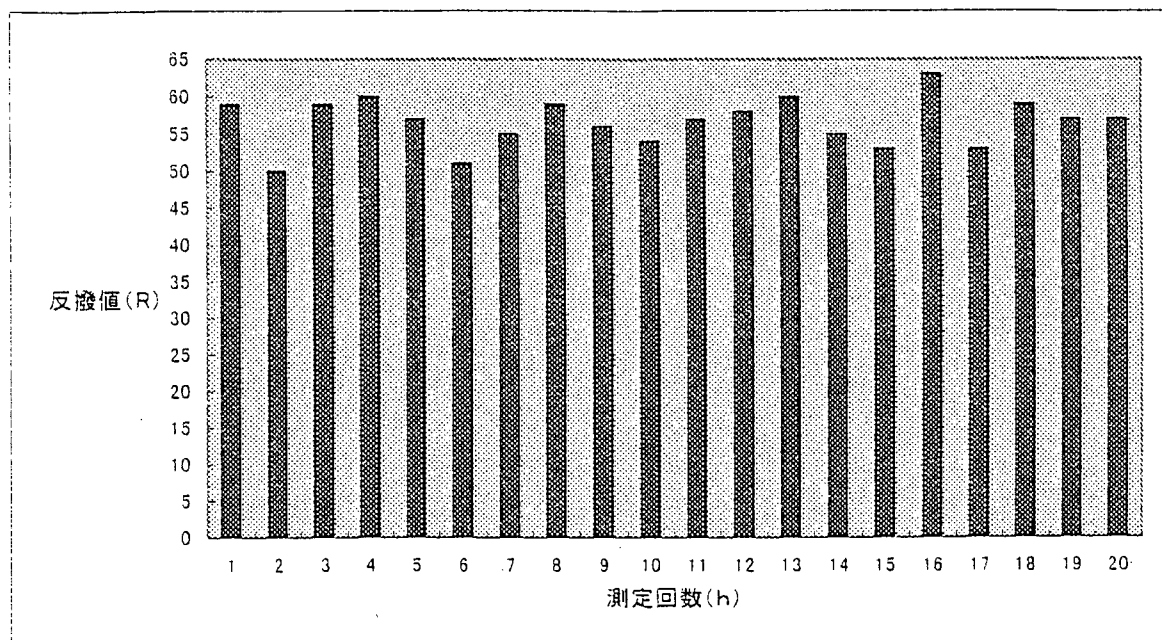


【圧縮強度試験】

旧芦川橋(PC桁)

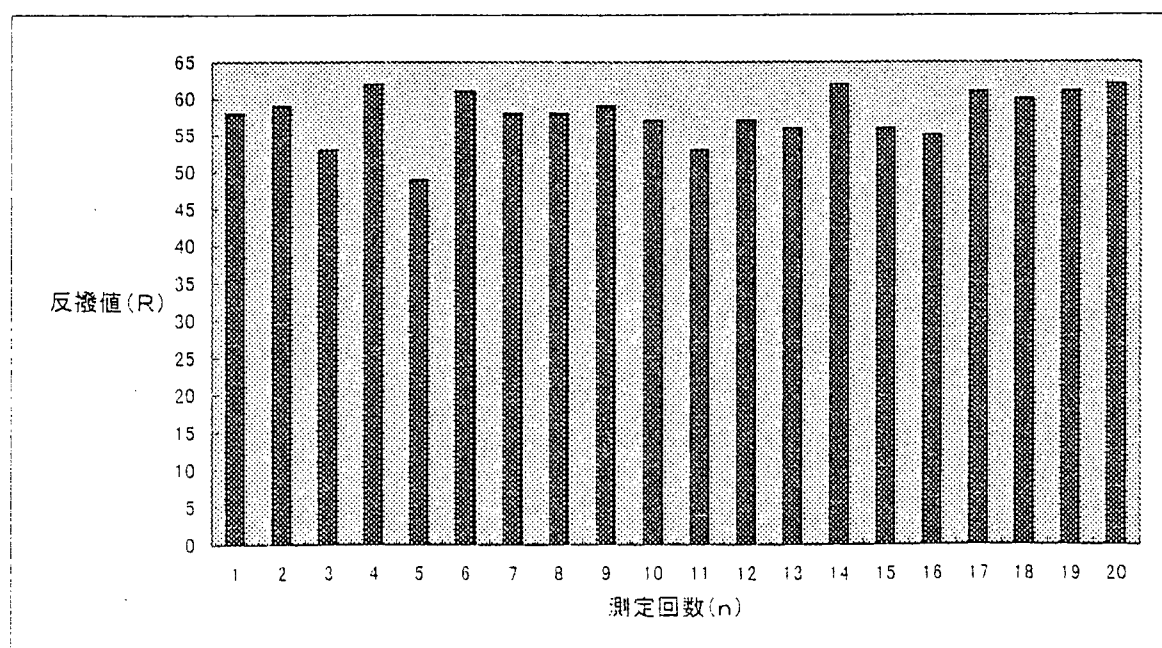
A面

測定値(R)	59	50	59	60	57	51	55	59	56	54	57	58	60	55	53	63	53	59	57	57
平均値(R)	57																			
圧縮強度(N/mm ²)	① 日本材料学会式 = $(13R - 184) \times 0.0980665$																			
	→ 材齢補正後($\alpha = 0.63$)																			54
	② 芝武式 = $(14R - 157) \times 0.0980665$																			62
	→ 材齢補正後($\alpha = 0.63$)																			39



B面

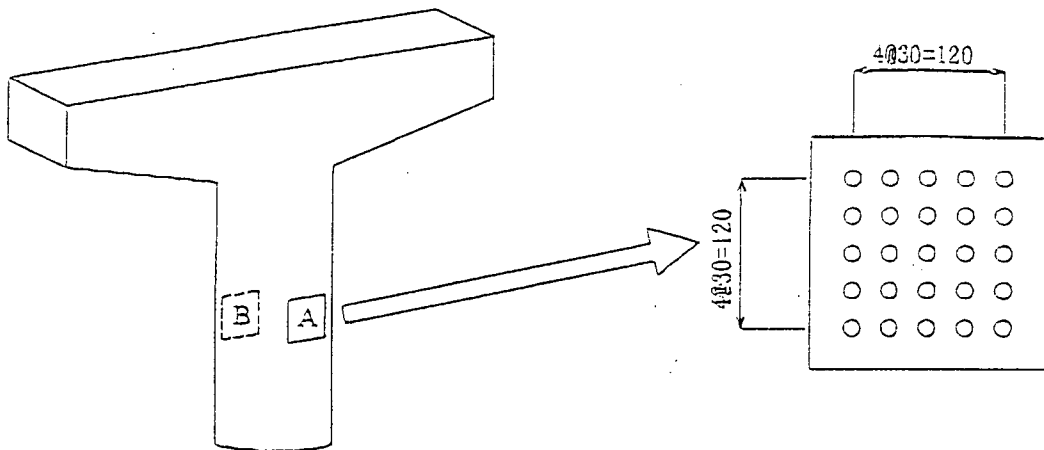
測定値(R)	58	59	53	62	49	61	58	58	59	57	53	57	56	62	56	55	61	60	61	62
平均値(R)	58																			
圧縮強度(N/mm ²)	① 日本材料学会式 = $(13R - 184) \times 0.0980665$																			
	→ 材齢補正後($\alpha = 0.63$)																			56
	② 芝武式 = $(14R - 157) \times 0.0980665$																			64
	→ 材齢補正後($\alpha = 0.63$)																			40



反発度測定データシートの例 (Kw 法)

碁坪陸橋橋脚実施計測試験報告

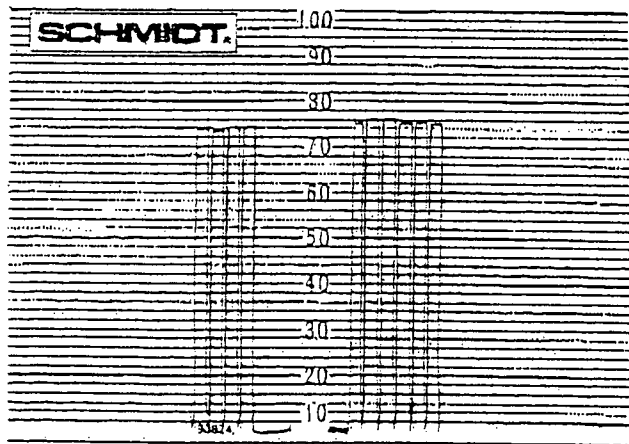
シュミットハンマー (N.R 型) による物性試験



◆試験方法

- ・ 砥石で表面を平坦処理する。
- ・ 測定位置をマーキングする。
- ・ 測定 (A、Bともに $5 \times 5 = 25$ 箇所ずつ → 採用 20 箇所)

◆テストアンビルによる補正



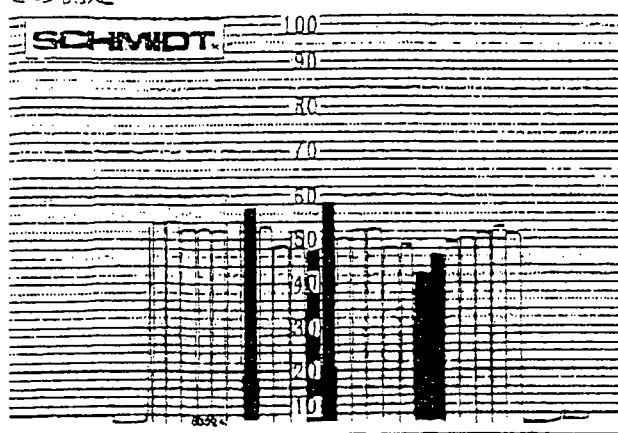
測定値 : 10

74 74 74 74 75

76 76 75 75 75

平均値 $R_A = 75$

◆ Aでの測定



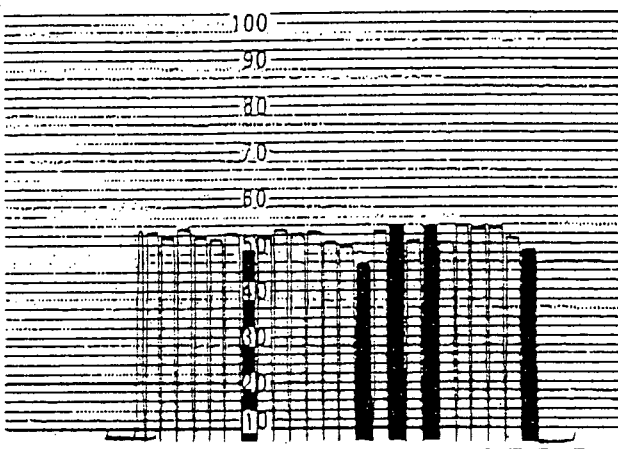
測定数：25

53 54 54 52 52 52 51
~~57~~ 53 48 52 ~~47~~ ~~58~~ 50
 52 52 48 49 ~~42~~ ~~46~~ 50
 50 52 53 51

最大値：58 最小値：42

20 個所を採用

◆ Bでの測定



測定数：25

53 52 51 53 51 51 52
~~48~~ 52 53 52 53 50 50
~~45~~ 53 ~~54~~ 50 ~~51~~ 50 54
 54 54 51 ~~49~~

最大値：54 最小値：45

20 個所を採用

◆ コンクリートの強度推定

$$\text{反発硬度} : R_o = \frac{\sum r}{n} \cdot \frac{80}{R_A}$$

$$\text{コンクリートの圧縮応力度} : F_c = 13R_o - 184$$

(日本材料学会式)

$$\text{材齢による補正係数} : \alpha = 0.63$$

計算結果を下表に示す。

測定位置	$\sum r$	n	テストアンビル による修正 $80/R_A$	R_o	F_c (N/mm ²)	$\alpha \cdot F_c$ (N/mm ²)
A	1031	20	1.0667	55	52.0	32.8
B	1039	20	1.0667	55	52.0	32.8

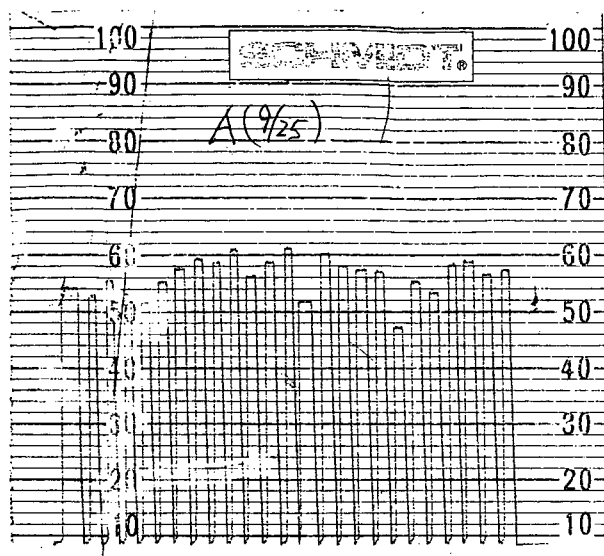
反発度測定データシートの例 (Te 法)

対象構造物：旧芦川橋		試験日：2000年9月25日	
試験No.	A 部 析	B 部 析	
測 定 反 発 度	54	59	
	52	61	
	56	57	
	53	59	
	52	58	
	55	58	
	58	60	
	59	53	
	59	55	
	61	53	
	56	60	
	59	60	
	61	58	
	52	57	
	60	60	
	58	59	
	57	50	
	57	59	
	47	61	
	55	56	
	53	60	
	58	58	
	59	56	
	57	61	
	57	53	
平均反発度 R_0	56	58	
$R_0+20\%$	67	70	
$R_0-20\%$	45	46	
平均反発度 (再計算) R_1	56	58	
打撃方向	横	横	
角度補正值 ΔR	0	0	
補正反発度 R	56	58	
$F1 (N/mm^2)$	53.4	55.9	
材令 (日)	12,410	12,410	
経年係数 (α)	0.63	0.63	
推定強度			
$FF1 (N/mm^2)$ [kgf/cm ²]	33.6 [343]	35.2 [359]	

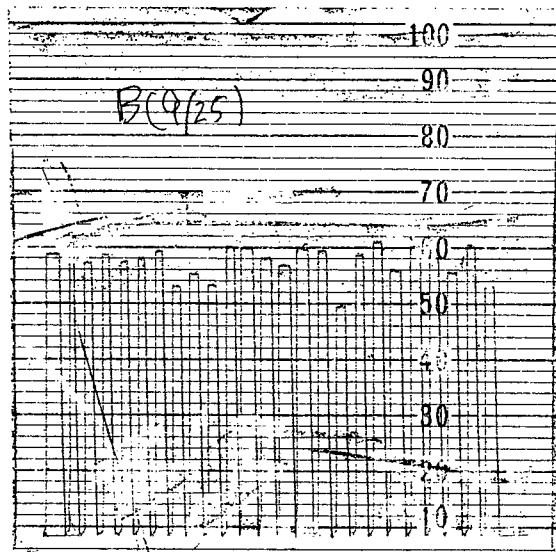
* $F1$: 日本材料学会による推定強度式 $F = (13R-184) \times 9.81 \times 10^{-2}$

* $FF1 = F1 \times \alpha$

A 部 析



B 部 析



反発度測定データシートの例 (Ts 法)

工事名		暮坪陸橋 反発硬度試験		
測定者名			測定月日	H. 12年 8月 2日
		測定位置	備考	
		A		
測定値	1回目	54	R VALUE R 01 54 _____ R 02 54 _____ R 03 51 _____ R 04 55 _____ R 05 51 _____ R 06 56 _____ R 07 57 _____ R 08 56 _____ R 09 55 _____ R 10 60 _____ R 11 59 _____ R 12 59 _____ R 13 53 _____ R 14 55 _____ R 15 53 _____ R 16 56 _____ R 17 56 _____ R 18 57 _____ R 19 57 _____ R 20 56 _____ AVERAGE 55 ANGLE 0 (測定チャート)	
	2回目	54		
	3回目	51		
	4回目	55		
	5回目	51		
	6回目	56		
	7回目	57		
	8回目	56		
	9回目	55		
	10回目	60		
	11回目	59		
	12回目	59		
	13回目	53		
	14回目	55		
	15回目	53		
	16回目	56		
	17回目	56		
	18回目	57		
	19回目	57		
	20回目	56		
測定値	平均値 R	55	コンクリート 材令:35年 打撃角度:水平 表面:乾燥 日本材料学会 式を代用	
	補正值 ΔR	0		
	基準硬度R ₀	55		
	圧縮強度F'(N/mm ²)	52		
	材例係数 α _n	0.63		
	補正圧縮強度F(N/mm ²)	32.8		

$$\begin{aligned}
 \text{測定硬度平均 } R &= \Sigma R / \Sigma N \\
 \text{補正值 } \Delta R &= \Delta R(0) \\
 R_0 &= R + \Delta R \\
 \text{推定圧縮強度 } F' &= 0.098 \times (13R_0 - 184) \\
 \text{材例補正值 } \alpha_n &= \alpha_n(0.63) \\
 \text{推定圧縮強度 } F &= \alpha_n \times F' \text{ (N/mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

材令(日)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
α _n	1.15	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

材令による補正係数

工事名		暮坪陸橋 反発硬度試験	
測定者名		測定月日	H. 12年 8月 2日
		測定位置	備考
		B	
測定値	1回目	53	R VALUE R 01 53 — R 02 46 — R 03 47 — R 04 46 — R 05 52 — R 06 51 — R 07 50 — R 08 48 — R 09 47 — R 10 51 — R 11 47 — R 12 48 — R 13 42 — R 14 44 — R 15 51 — R 16 44 — R 17 49 — R 18 45 — R 19 47 — R 20 46 — AVERAGE 47 ANGLE 0 (測定チャート)
	2回目	46	
	3回目	47	
	4回目	46	
	5回目	52	
	6回目	51	
	7回目	50	
	8回目	48	
	9回目	47	
	10回目	51	
	11回目	47	
	12回目	48	
	13回目	42	
	14回目	44	
	15回目	51	
	16回目	44	
	17回目	49	
	18回目	45	
	19回目	47	
	20回目	46	
測定値	平均値 R	47	コンクリート 材令:35年 打撃角度:水平 表面:乾燥 日本材料学会 式を代用
	補正值 ΔR	0	
	基準硬度 R_0	47	
	圧縮強度 F' (N/mm ²)	41.8	
	材例係数 α_n	0.63	
	補正圧縮強度 F (N/mm ²)	26.3	

測定硬度平均 R $R = \Sigma R / \Sigma N$

補正值 ΔR $\Delta R(0)$

R_0 $R_0 = R + \Delta R$

推定圧縮強度 F' $F' = 0.098 \times (13R_0 - 184)$

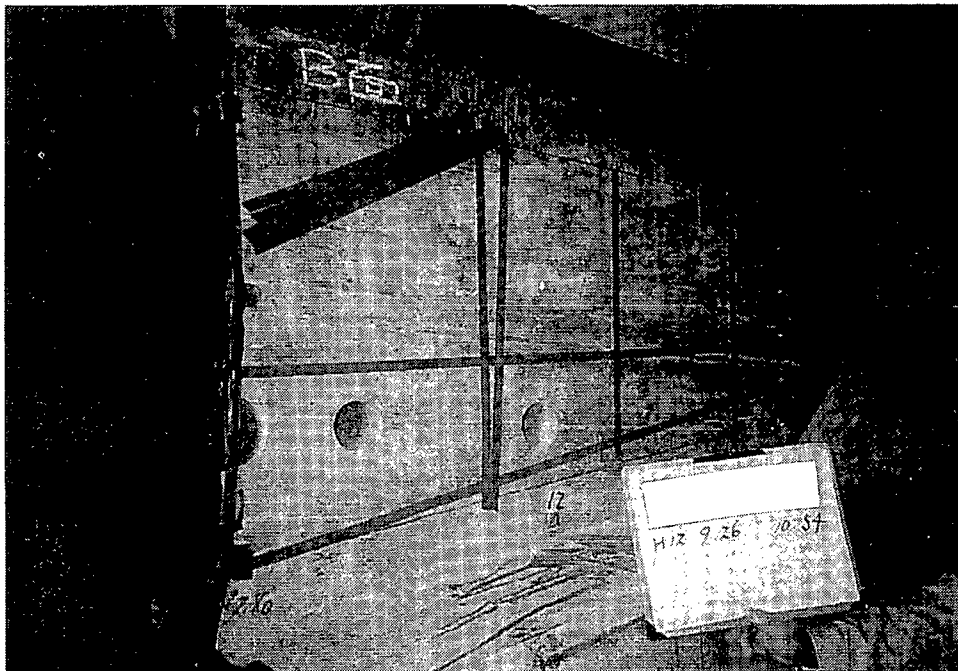
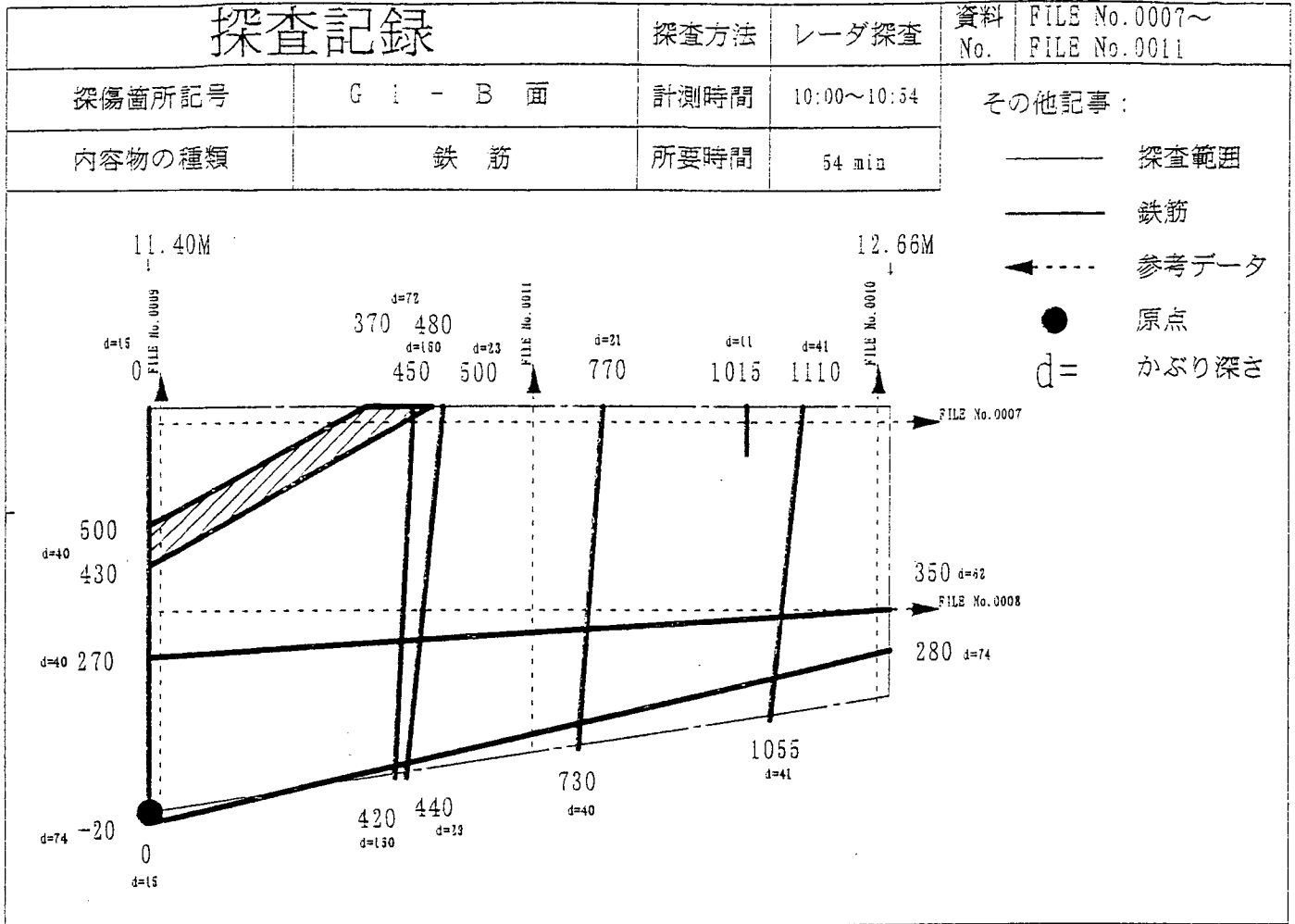
材例補正值 α_n $\alpha_n(0.63)$

推定圧縮強度 F $F = \alpha_n \times F' \text{ (N/mm}^2\text{)}$

材令(日)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
α_n	1.15	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

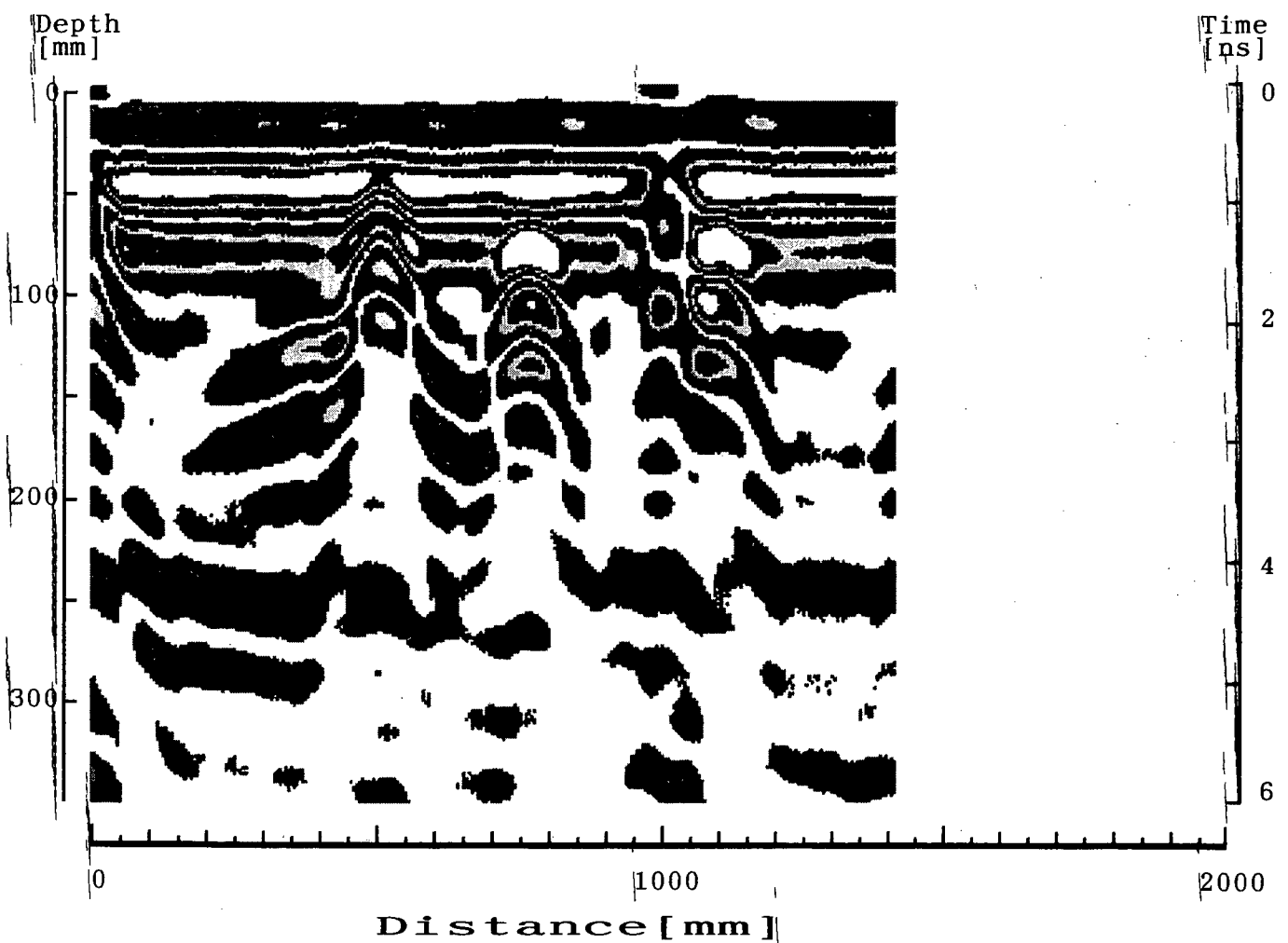
材令による補正係数

鉄筋探査画像の例 (Me 法)



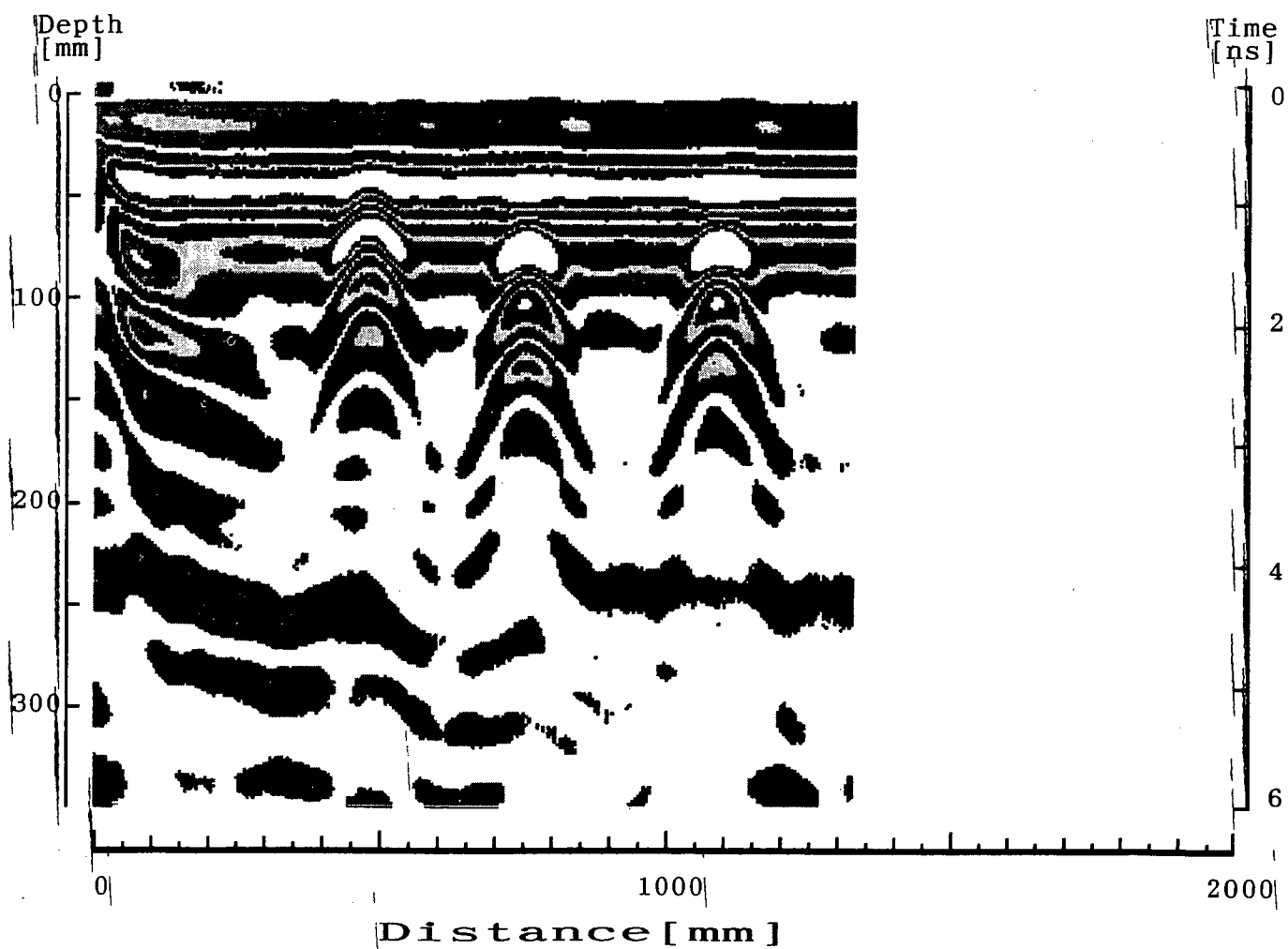
IronSeeker Ver.3.1

FILE : Aアキタ0007.ADT
DATE : 2000/09/26 ER : 6.5
START : 10:00:49 GAIN : 12dB
END : 10:01:04 RANGE : 6ns
コメント1 : _____
コメント2 : _____
コメント3 : _____
コメント4 : _____
コメント5 : _____



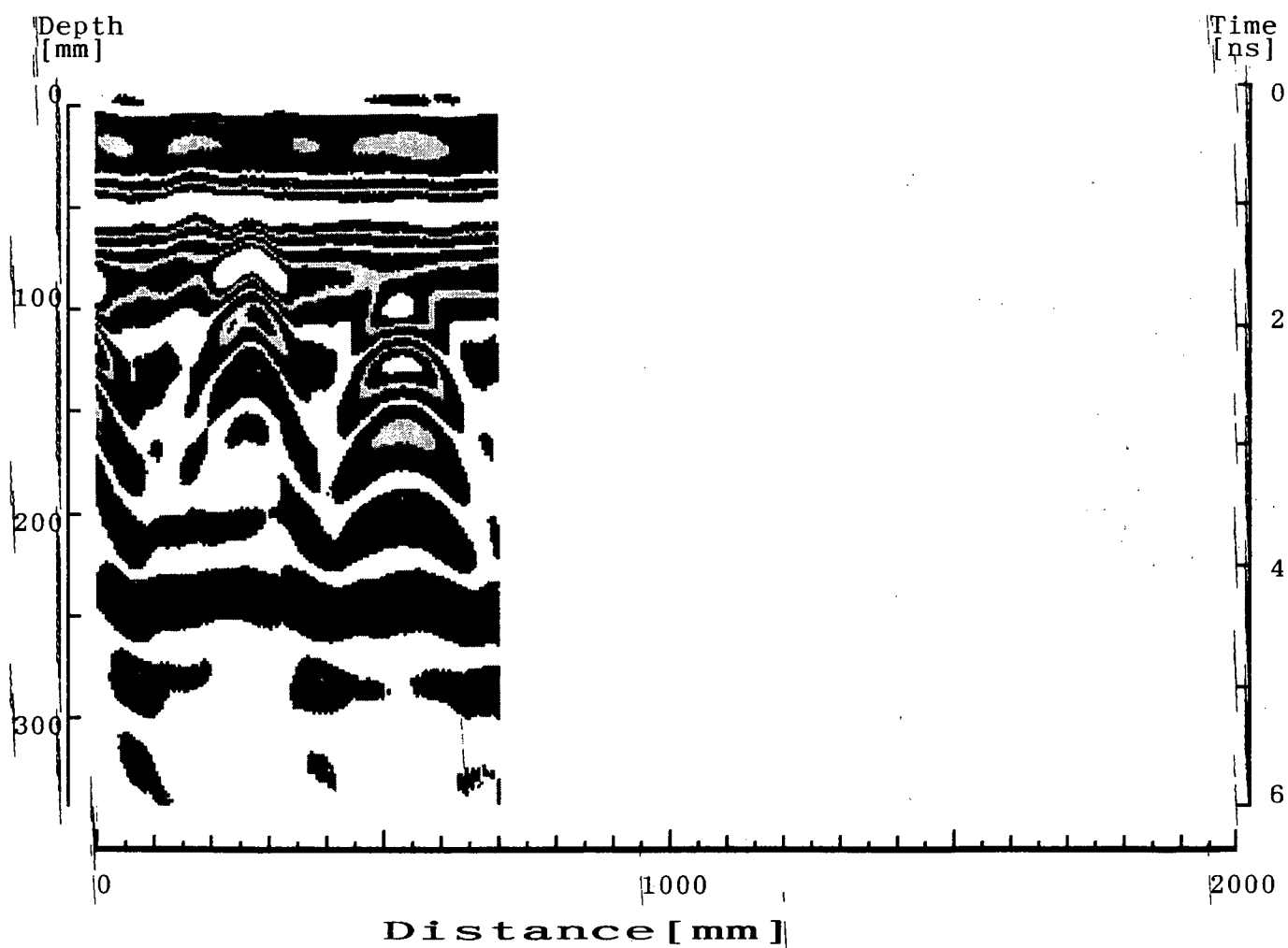
IronSeeker Ver.3.1

FILE : Aアキタ0008.ADT
DATE : 2000/09/26 ER : 6.5
START : 10:07:58 GAIN : 12dB
END : 10:08:14 RANGE : 6ns
コメント1 : _____
コメント2 : _____
コメント3 : _____
コメント4 : _____
コメント5 : _____



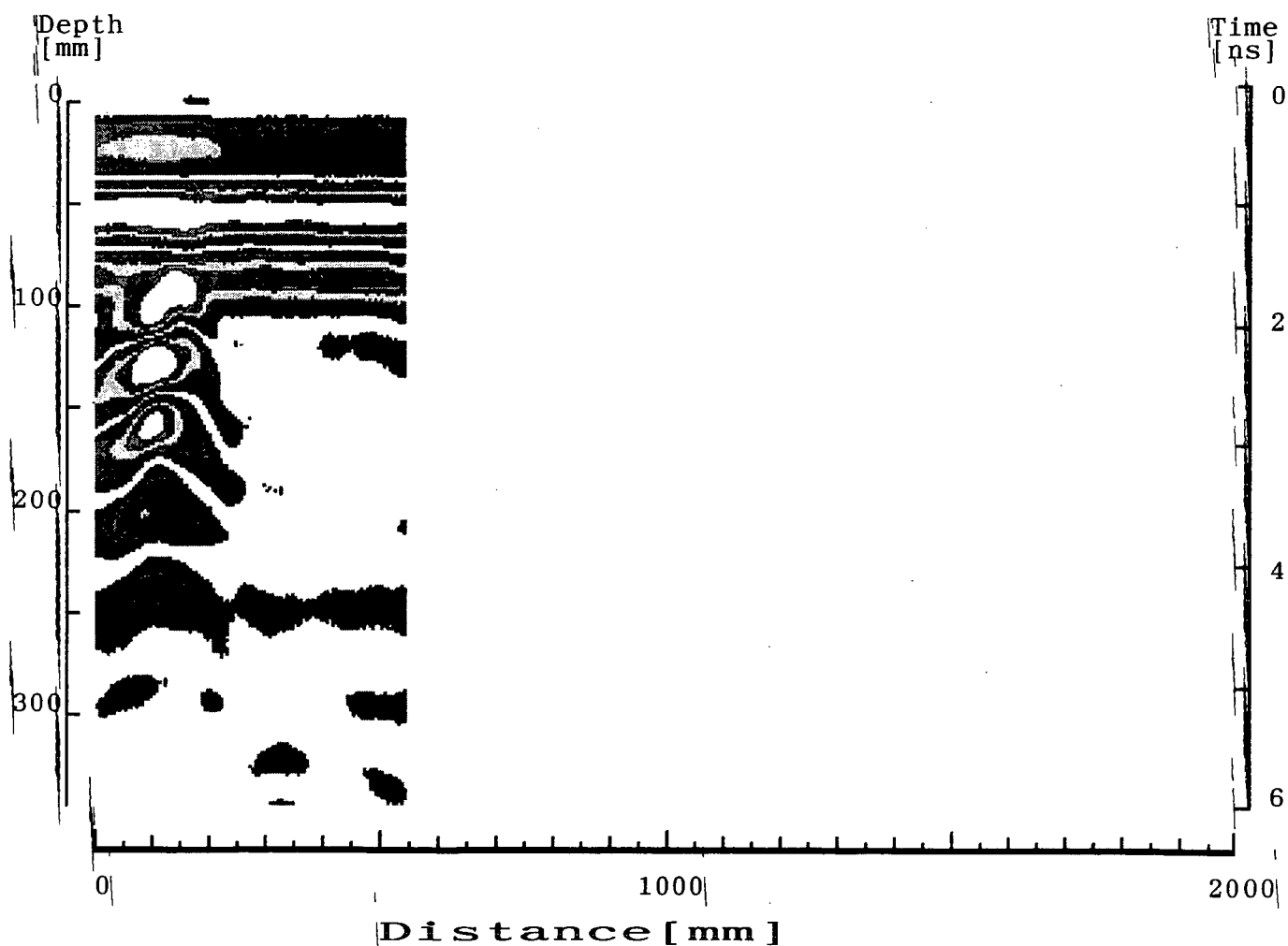
IronSeeker Ver.3.1

FILE : Aアキタ0009.ADT
DATE : 2000/09/26 ER : 6.5
START : 10:20:01 GAIN : 12dB
END : 10:20:13 RANGE : 6ns
コメント1 : _____
コメント2 : _____
コメント3 : _____
コメント4 : _____
コメント5 : _____



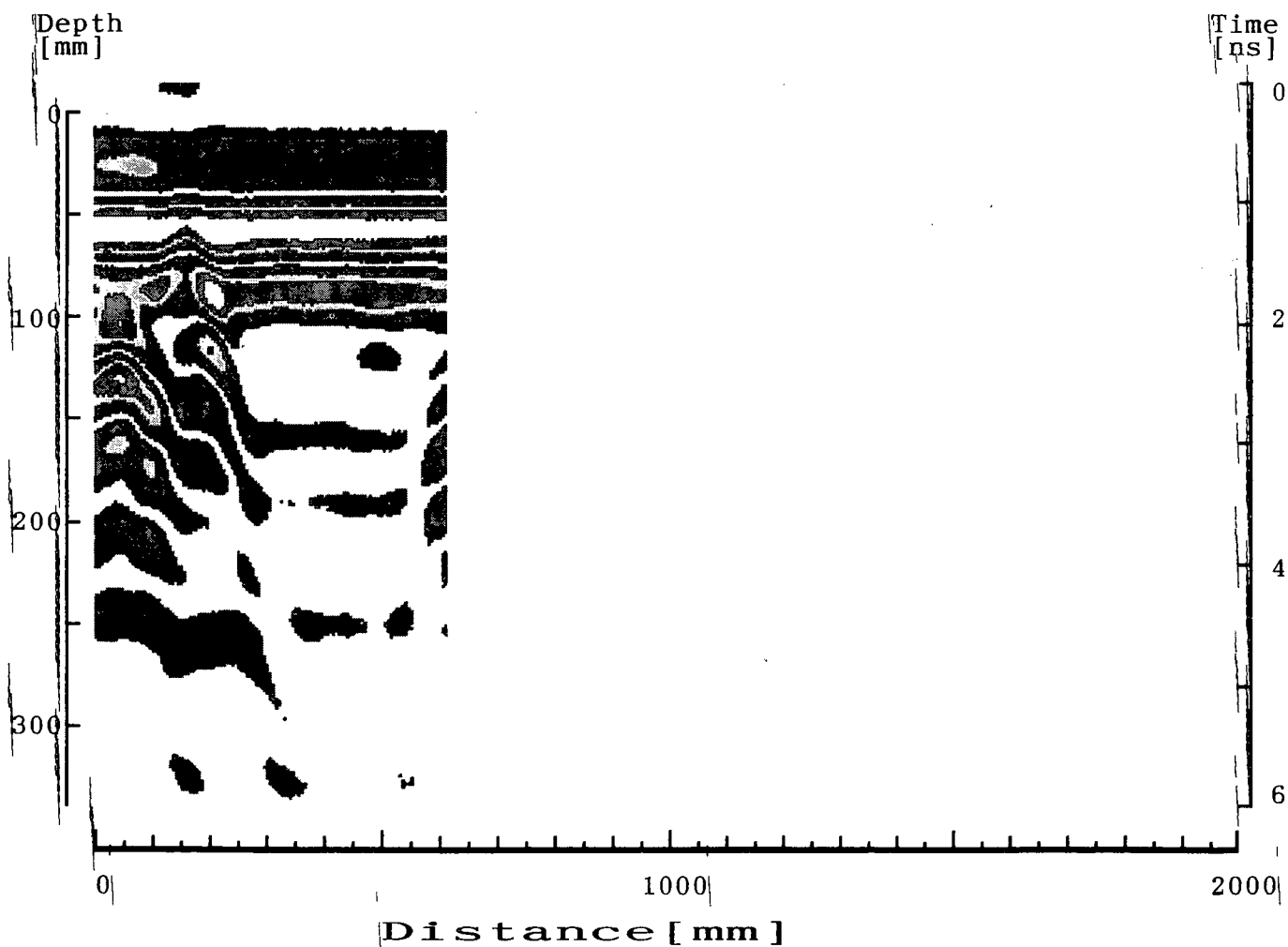
IronSeeker Ver.3.1

FILE : Aアキタ0010.ADT
DATE : 2000/09/26 ER : 6.5
START : 10:24:22 GAIN : 12dB
END : 10:24:30 RANGE : 6ns
コメント1 : _____
コメント2 : _____
コメント3 : _____
コメント4 : _____
コメント5 : _____



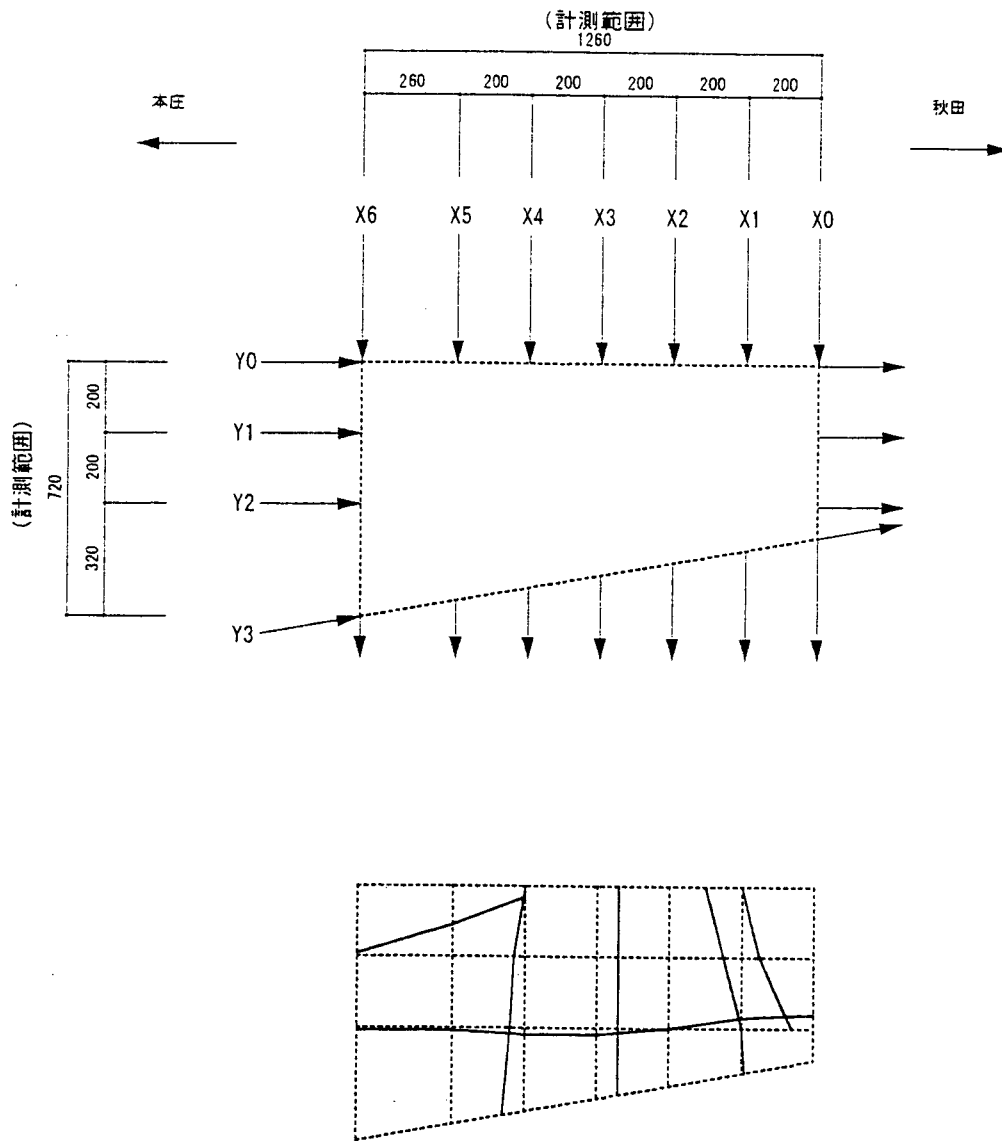
IronSeeker Ver.3.1

FILE	:	Aアキタ0011.ADT			
DATE	:	2000/09/26	ER	:	6.5
START	:	10:27:46	GAIN	:	12dB
END	:	10:27:54	RANGE	:	6ns
コメント1	:				
コメント2	:				
コメント3	:				
コメント4	:				
コメント5	:				



鉄筋探査画像の例 (Te 法)

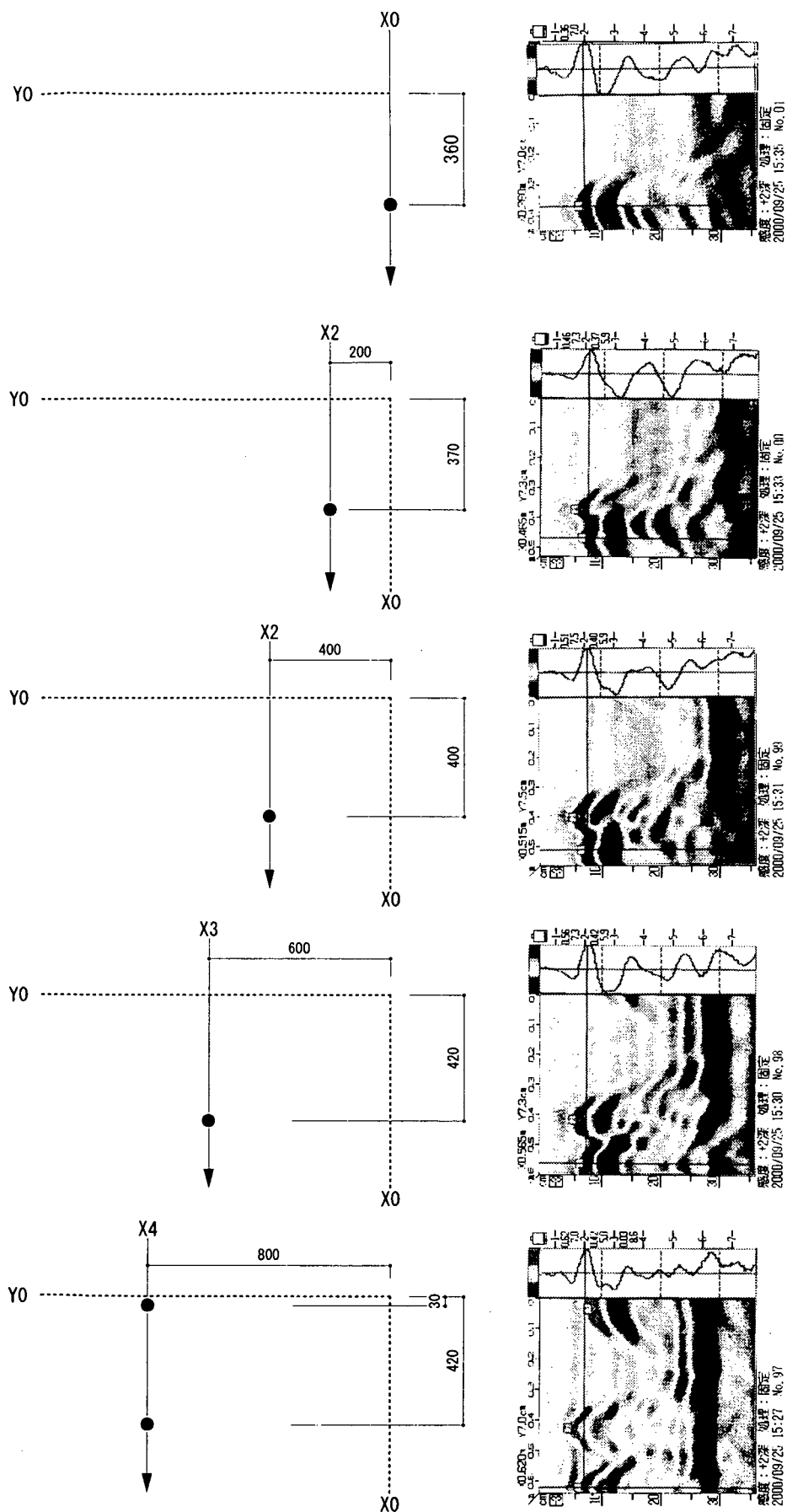
B 面



コンクリート被り厚 : 28 mm (最小値)

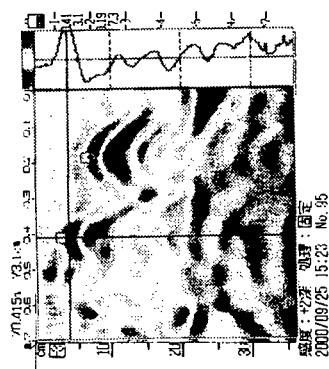
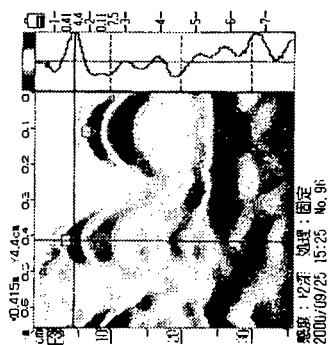
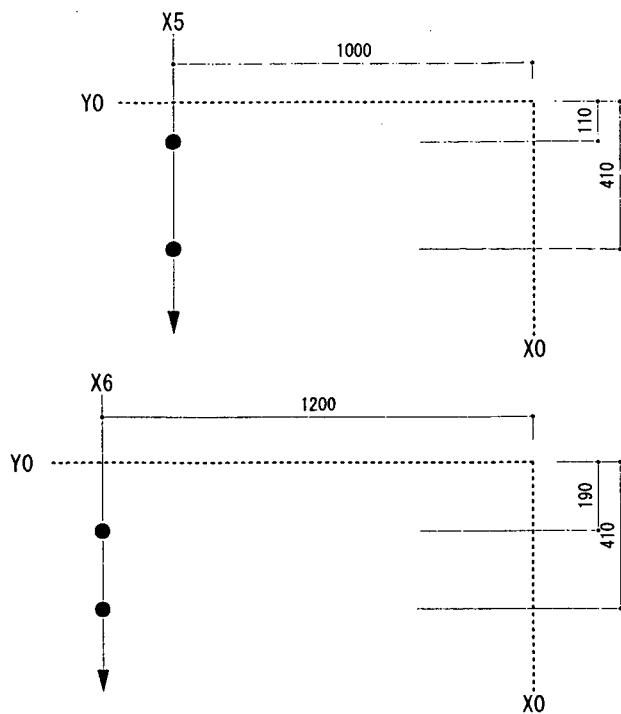
凡 例

- 計測範囲を示す。
- 鉄筋位置を示す。
- RCL-700 走行方向を示す。

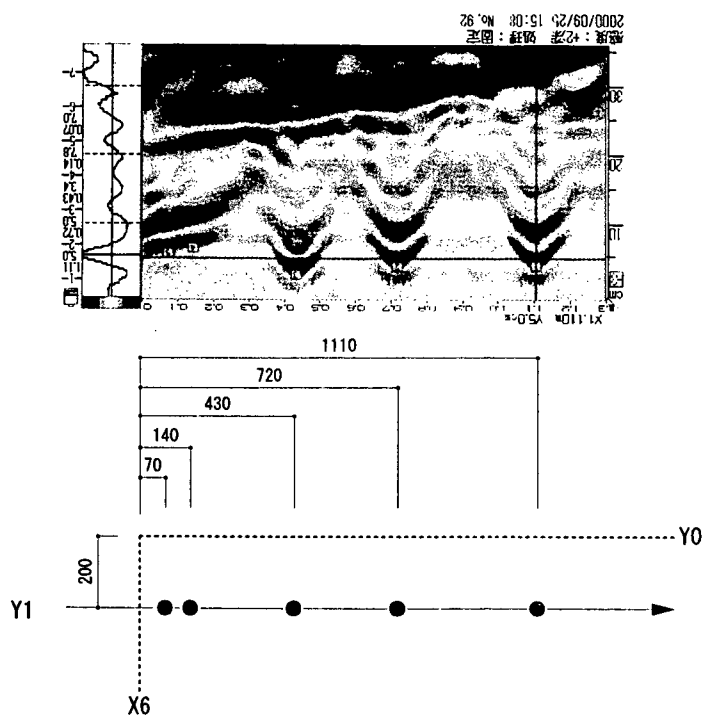
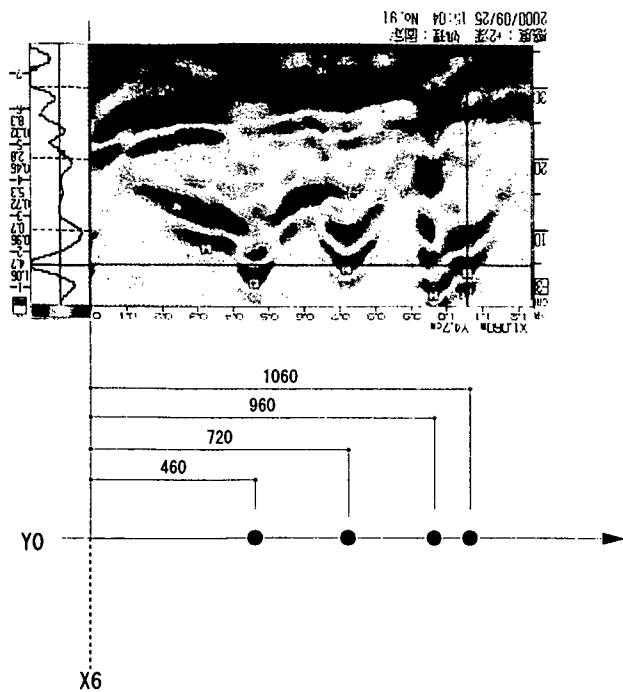


付図 1-7 鉄筋探査データ

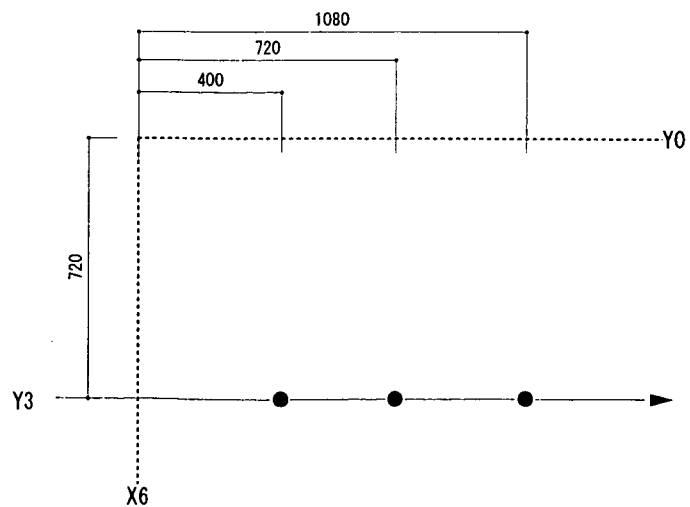
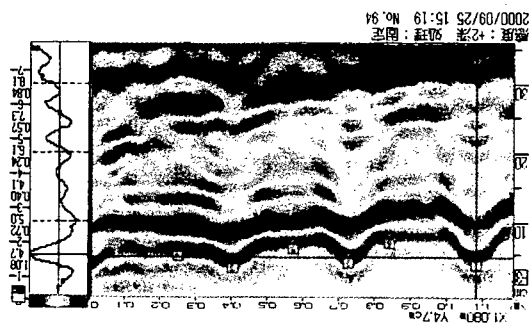
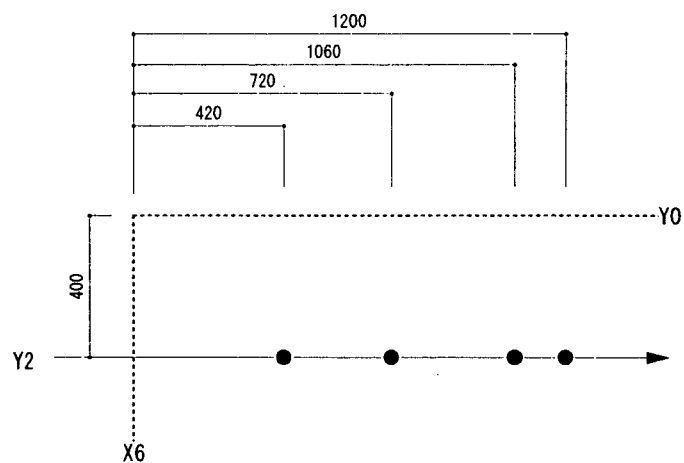
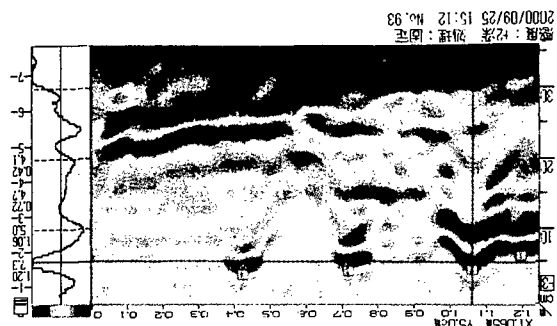
旧芦川橋 B面



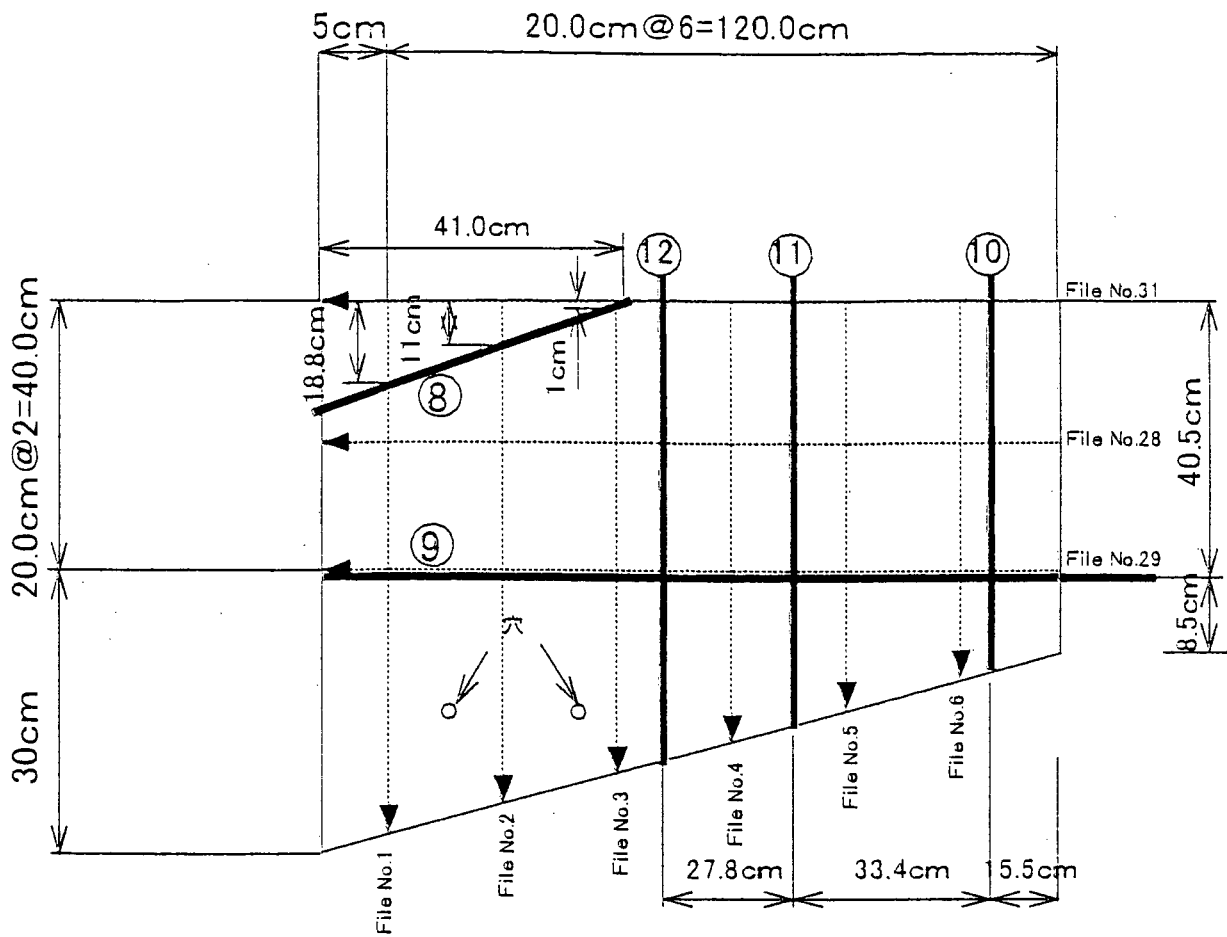
旧芦川橋 B面



旧芦川橋 B面



鉄筋探査画像の例（Tk 法）



鉄筋	かぶり(cm)	鉄筋	かぶり(cm)
⑧	6.5		
⑨	4.5		
⑩	5.0		
⑪	4.8		
⑫	3.6		

□ : 指定範囲

示した数値は平均値である。

横筋

単位:cm

鉄筋No File No		⑧	⑨	
1	水平位置	18.250	41.500	51.300
	かぶり	6.100	3.690	3.050
2	水平位置	10.500	41.500	50.500
	かぶり	6.100	3.530	2.730
3	水平位置	1.250	42.500	
	かぶり	7.220	5.450	
4	水平位置	/	41.000	
	かぶり		4.490	
5	水平位置		39.750	
	かぶり		4.810	
6	水平位置		36.500	
	かぶり		4.810	
平均値			40.458 4.463	

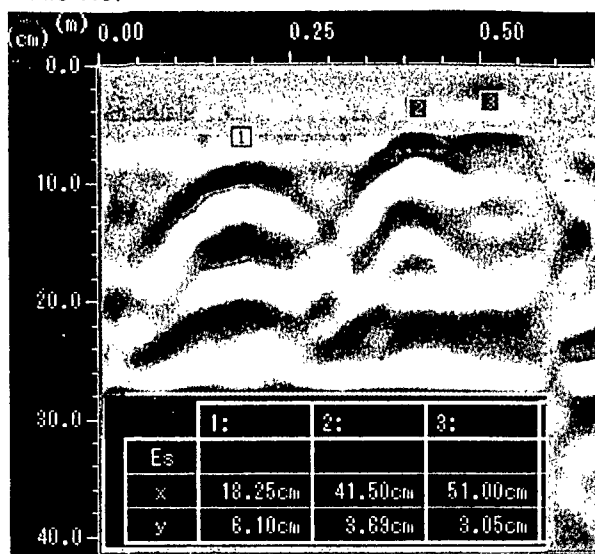
縦筋

単位:cm

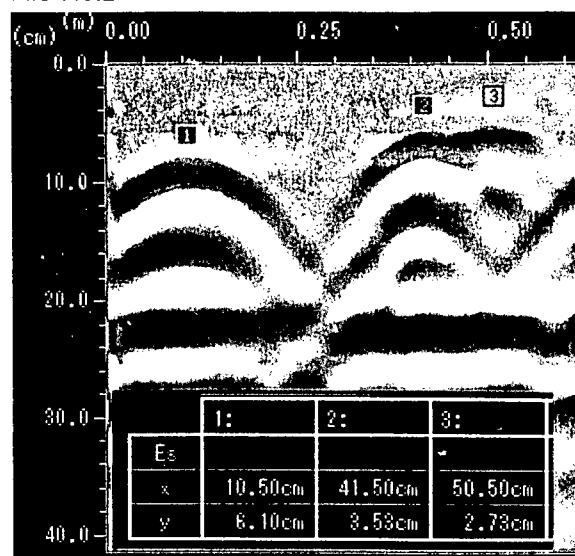
鉄筋No File No		⑩		⑪	⑫
31	水平位置	14.250	23.750	48.500	74.750
	かぶり	6.580	2.410	4.490	3.530
28	水平位置	15.750	/	48.750	76.500
	かぶり	4.170		4.170	3.370
29	水平位置	16.500	30.750	49.500	78.750
	かぶり	4.330	6.900	5.780	3.850
平均値		15.500 5.027	/	48.917 4.813	76.667 3.583

解析画像 B面 1/3

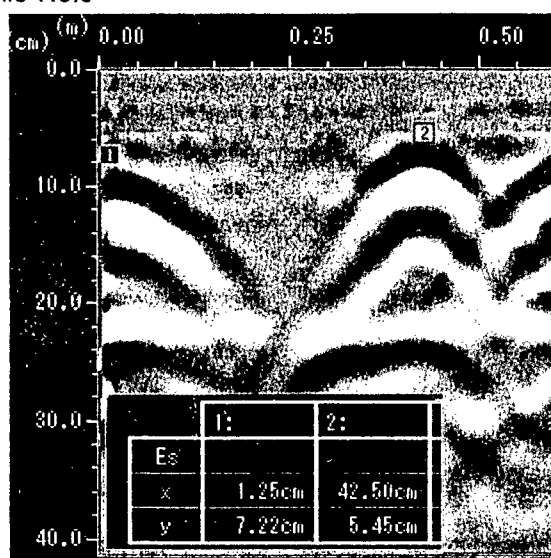
File No.1



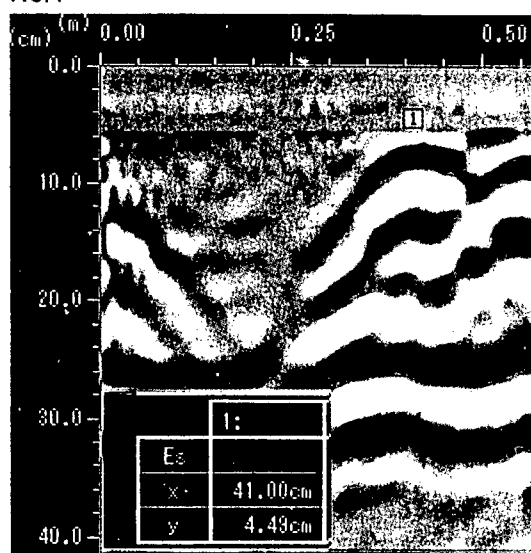
File No.2



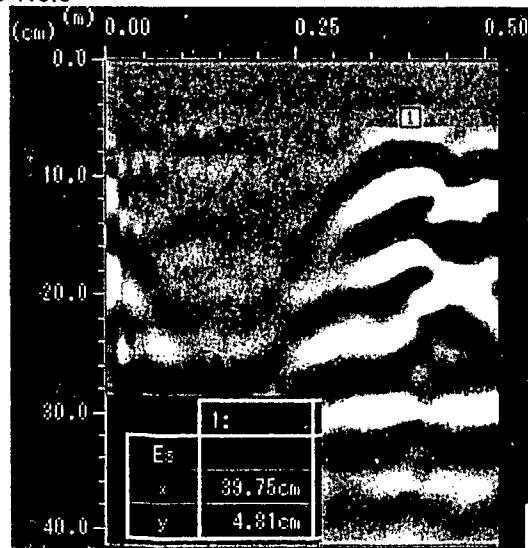
File No.3



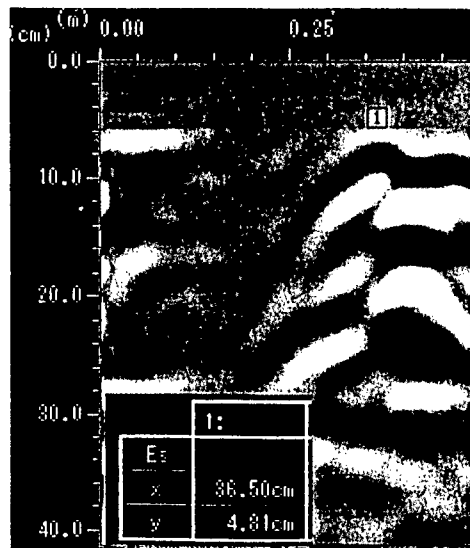
File No.4



File No.5

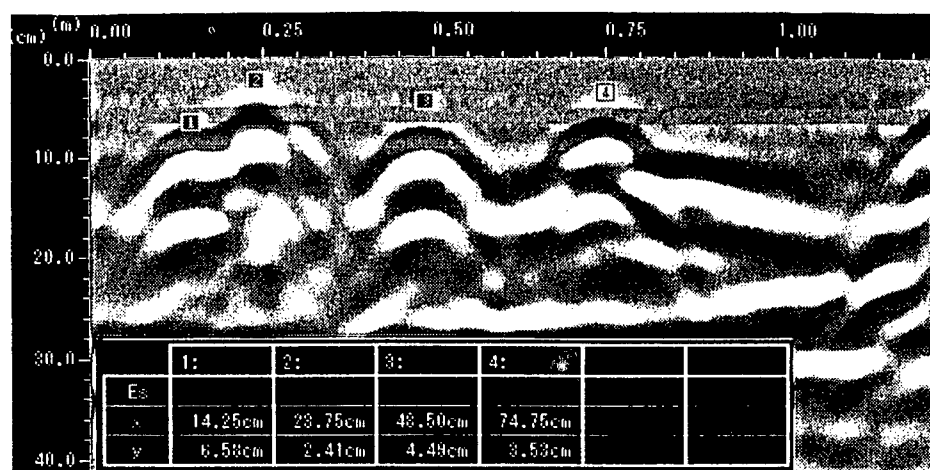


File No.6

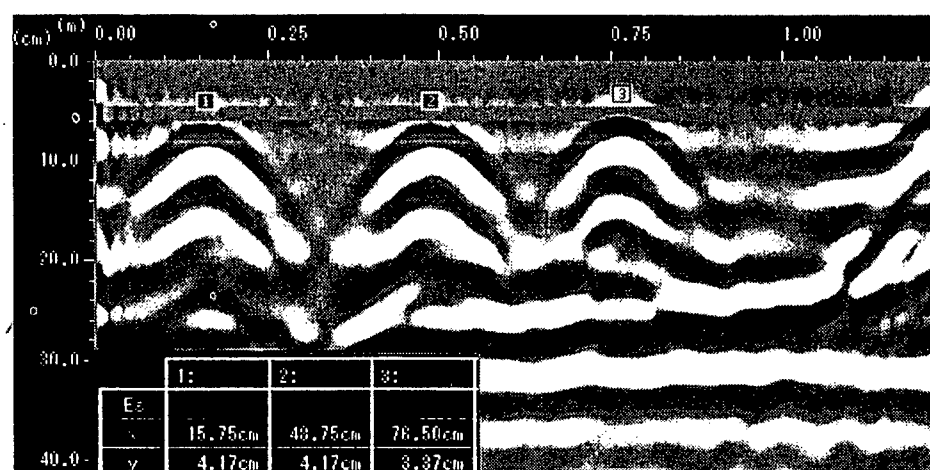


解析画像 B面 2/3

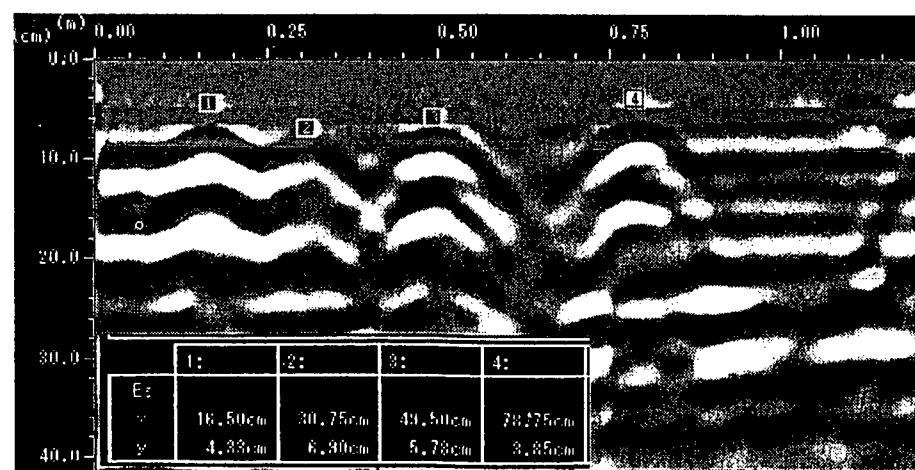
File No.31



File No.28



File No.29



解析画像 B面 3/3

File No.30

