

土 木 研 究 所 資 料

非破壊検査を用いた コンクリート構造物の健全度調査 —旧榑橋・旧芦川橋下部構造調査結果—

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

Copyright © (2001) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted 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、本報告書の全文又は一部の転載、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

非破壊検査を用いた コンクリート構造物の健全度調査

—旧榑橋・旧芦川橋下部構造調査結果—

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

要 旨

撤去解体される実構造物において、「コンクリート構造物の健全度診断マニュアル(案)」に基づく、非破壊検査を活用した健全度診断を行った結果を報告する。また、非破壊検査を用いた健全度判定結果の妥当性を検証するため、はつり調査も同時に行ったのでその結果を報告する。

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

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、監視体制の強化や補修・補強などの対策を要する状態となった構造物もある。

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、比較的早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。

このような背景から、コンクリート研究室では、非破壊検査を利用した健全度診断技術について検討するための基礎データを得ることを主たる目的として、二箇所の実構造物で、「コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）」¹⁾に基づく健全度診断を行った。調査箇所では、まず非破壊検査等に基づく健全度診断を行い、その後、鉄筋をはつり出すなどして、構造物の状態を詳細に調査した。

非破壊検査の試験結果の中には、鉄筋をはつり出すなどして調査した結果と一致しているものもあればそうでないものもあるが、本報告では試験方法や試験結果を詳細に記録することに主眼をおき、試験結果に対する考察は、簡単なものにとどめた。

目 次

まえがき

1. 調査の概要	1
1.1 調査・試験項目	1
1.2 調査箇所	8
1.3 各調査・試験項目に要した時間	16
2. 調査方法	17
2.1 鉄筋位置およびかぶり厚さの測定	17
2.2 反発度法による強度推定	18
2.3 自然電位の測定	19
2.4 中性化深さの測定	19
2.5 コアの圧縮強度試験	19
2.6 塩化物量の測定	20
2.7 はつり調査	20
3. 調査結果	22
3.1 鉄筋位置およびかぶり厚さ	22
3.2 反発度法による強度推定	25
3.3 自然電位, コンクリートの含水率および抵抗率	26
3.4 中性化深さ	34
3.5 圧縮強度および静弾性係数	36
3.6 塩化物量	37
3.7 はつり調査	39
4. 健全度の総合評価	47
4.1 定期点検項目に基づく健全度診断	47
4.2 詳細調査項目に基づく健全度診断	52
5. まとめ	55
謝辞	56
参考文献	57
資料編	59

1. 調査の概要

1.1 調査・試験項目

「コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）」（以下、診断マニュアル）では、橋梁構造物を例に、定期点検の進め方として図－1.1のようなフローを提案した上で、定期点検^{*1}の中で実施することが考えられる非破壊検査として、表－1.1に示す項目が挙げられている。

診断マニュアルでは、これらの非破壊検査を利用して得られた定期点検結果をもとに、特に鉄筋の腐食可能性に着目し、コンクリート構造物の健全度を診断する方法として、表－1.2、表－1.3が提案されている。

今回の調査では、診断マニュアルに記載のある項目を中心に、図－1.2に示す7つの項目について試験を行った。なお、今回の調査箇所では、いずれも鉄筋腐食に起因するひび割れがないことが、事前に確認されていたので、ひび割れ深さに関する試験は行わなかった。

調査は二日間で行い、一日目に図－1.2の①～④までの非破壊検査およびコア試料の採取等を行った。二日目は、非破壊検査で得られたデータの妥当性を検証するためのはつり調査（鉄筋をはつり出し、かぶりや腐食状況を確認）を行った。今回実施した調査・試験項目の概要を表－1.4にまとめた。

これらの結果を元に、以下の手順で、構造物の健全度診断を試みた。

- (1) 現地で非破壊検査を行った後、はつり調査の前に、非破壊検査結果（自然電位、中性化深さ、かぶり厚さ）に基づく構造物の健全度診断を行った。

→診断マニュアルの定期点検に該当。

- (2) 後日得られた、塩化物量の測定結果を加味して健全度診断を行った。

→同じく、診断マニュアルの定期点検に該当。

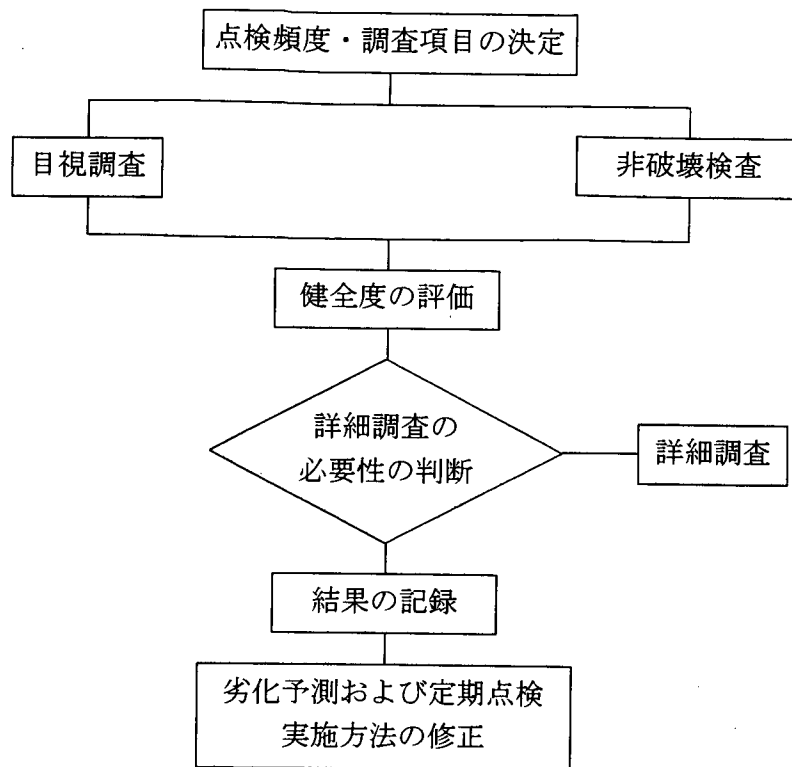
- (3) 最後に、はつり調査や、コア試料の圧縮強度試験結果も加えて、健全度診断を行った

→診断マニュアルの詳細調査に該当。

※今回の塩化物量の測定方法では、試料を実験室に持ち帰って分析を行う必要があり、調査日に試験結果を得ることができないため、(1)の健全度診断の際には塩化物量の試験結果を考慮することはできなかったものである。非破壊検査から得られる情報のみで診断することを試みるため、(1)の診断は、はつり調査の前に行った。

参考までに、診断マニュアルでの「詳細調査」を基に健全度を診断する際の判定基準を、表－1.5～表－1.12に示す。

*1：現在、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」（H12～H14）の中で、非破壊検査の定期点検実務への円滑な導入を目的として、定期点検に導入すべき非破壊検査項目の見直しを行っているところである。しかし、本文では診断マニュアルにおける「定期点検」「詳細調査」の定義に基づき記述することとした。



図－1.1 定期点検の実施フロー

表－1.1 定期点検時に実施する非破壊検査

点検項目	点検方法
1) 腐食状態	i) 自然電位法, ii) 分極抵抗法
2) 塩化物量	iii) 硝酸銀滴定法, iv) ホットプレート法 v) フルオレセイン法
3) 中性化（深さ）	vi) フェノールフタレイン法
4) ひび割れ（深さ）	vii) 超音波法
5) かぶり	viii) 電磁誘導法, ix) 電磁波反射法

表－1.2 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・cm ²)	全塩化物量 Cl (kg/m ³)	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

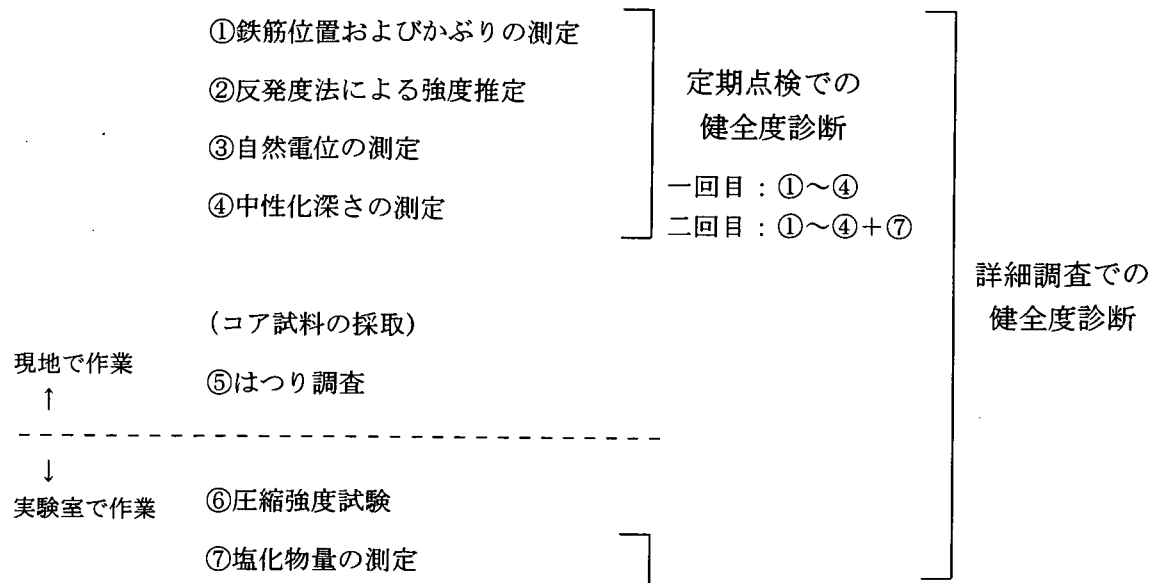
注) (1)：これらの値は、鉄筋のかぶりとの相対値で決まるためこのような表現とした。

(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にのみ用いる。

※ここでの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。

表－1.3 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。



図－1.2 今回行った調査・試験項目

表－1.4 今回行った調査・試験項目の概要

調査・試験項目	診断マニュアル 非破壊検査項目	概要	備考
①鉄筋位置およびかぶり厚さ	○	電磁波反射法で鉄筋位置とかぶりを測定した。	
②反発度による強度推定	○	簡易に硬化コンクリートの品質を評価する手法として、テストハンマーでコンクリート表面に打撃を加えその反発度からコンクリートの強度を推定した。	健全度診断には用いない
③自然電位	○	鋼材の腐食状況を推定する方法として、ローラー型の電極を持つ測定装置を用い、自然電位を測定した。 また、自然電位の測定にあわせて、コンクリートの含水率と電気抵抗を測定した。	
④中性化深さ	○	中性化の影響による鉄筋の腐食可能性を推定するため、自然電位測定のための部分的なはつり箇所、採取したコア試料およびはつり調査面で測定した。	
⑤圧縮強度試験	×	コンクリートの品質を確認するためコア試料を採取して行った。	②の測定結果と比較
⑥塩分量の測定	○	塩分の影響による鉄筋の腐食可能性を推定するため、採取したコアから試料を作成して、硝酸銀滴定法（電位差滴定法）で測定した。	
⑦はつり調査	×	非破壊検査で得られた測定結果と比較するため、鉄筋をはつり出し、鉄筋位置やかぶり厚さ、鉄筋の腐食状況を確認した。	①・③の測定結果と比較

表－1.5 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

表－1.6 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

表－1.7 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

表－1.8 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党である場合（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

写真－1.9 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。

表－1.10 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

※ここでの塩化物イオン含有量とは、全塩分量である。

表－1.11 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-1.12 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。

1.2 調査箇所

今回、健全度診断を行ったのは、旧榊橋 P 2 橋脚と旧芦川橋 A 1 橋台の二箇所である。いずれも新橋架替えに伴う撤去の前に調査を行った。以下、それぞれの構造物の概略を述べる。

(1) 旧榊橋の概要

旧榊橋は、昭和 5 年竣工、一般国道 6 号の久慈川渡河部に位置する橋長 324 m (RC 単純 T 桁橋, 27 連) のコンクリート橋であったが、架け替えに伴い平成 12 年度に撤去された。P 2 橋脚は RC ラーメン橋脚で、約 70 年を経過した調査時でも外観は健全であった。榊橋は、海岸線からの距離が約 4 km であり、また、地理的に凍結防止剤の使用は少ないと思われる。ただし、河川の水位が高い場合には、海水の遡上により塩分を含む水が P 2 橋脚に到達するおそれがあるということであった。

調査範囲のコンクリート表面には、型枠につながっていたと見られる番線が見られた。

P 2 橋脚の周辺環境や調査前の状況を写真－1.1、写真－1.2 に示す。

(2) 旧芦川橋の概要

旧芦川橋は、昭和 41 年竣工、橋長 35 m で、上部構造形式はポステン単純 T 桁橋 (5 主桁) であった。旧芦川橋は秋田県の日本海沿岸部に位置し、海岸線からの距離は約 40 m であった。旧芦川橋の上部工では塩害による下フランジの損傷が著しく、外ケーブル工法等を用いた補修等が数度にわたって行われてきた。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 A 1 橋台では、上部工と異なり、鋼材の腐食に起因すると見られる劣化現象は、外見上は認められなかった。しかし、コンクリート表面には、粗骨材が露出したジャンカ状の部分がみとめられたので、この部分を含むように調査範囲を設定した。

G 1 桁の周辺環境や調査位置を写真－1.3～写真－1.4 に示す。

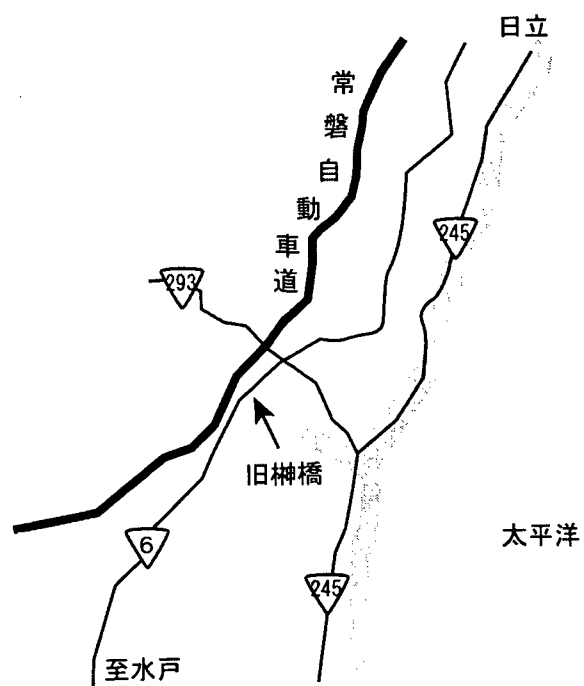


図-1.3 旧榊橋位置図

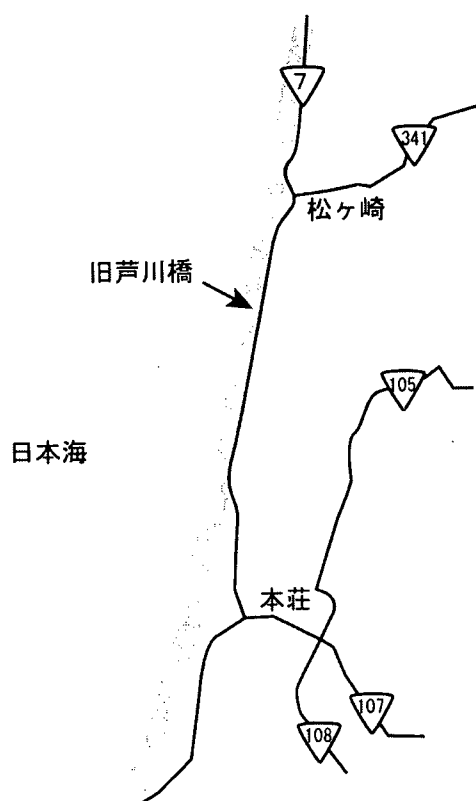


図-1.4 旧芦川橋位置図



写真-1.1 旧榊橋P2橋脚

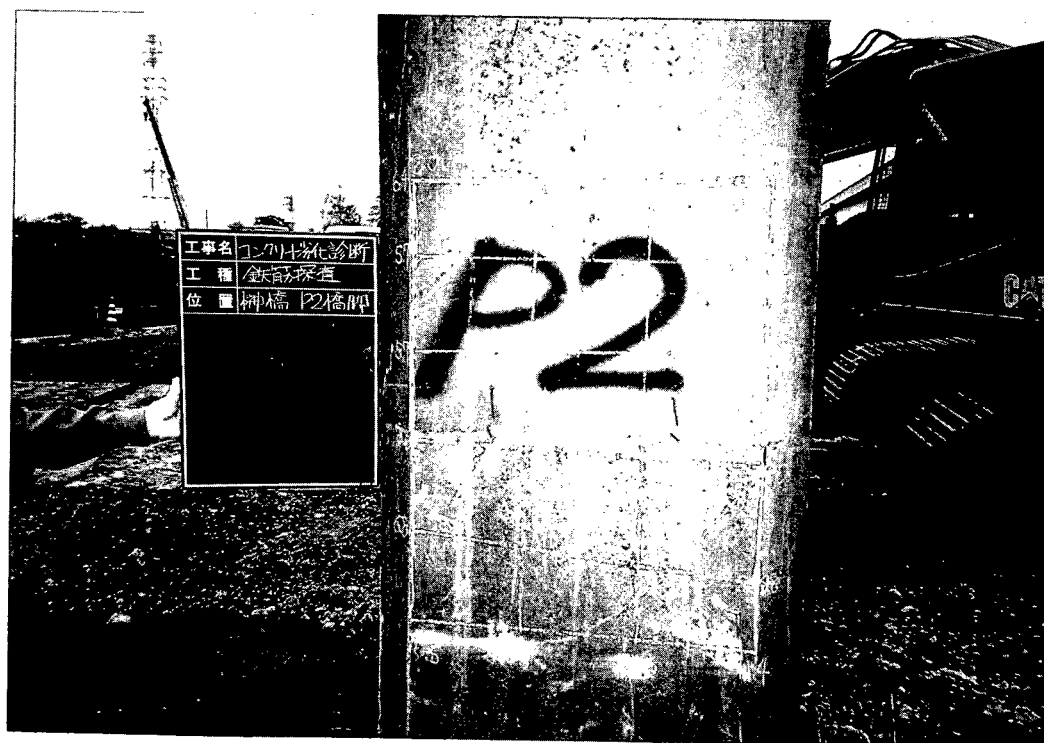
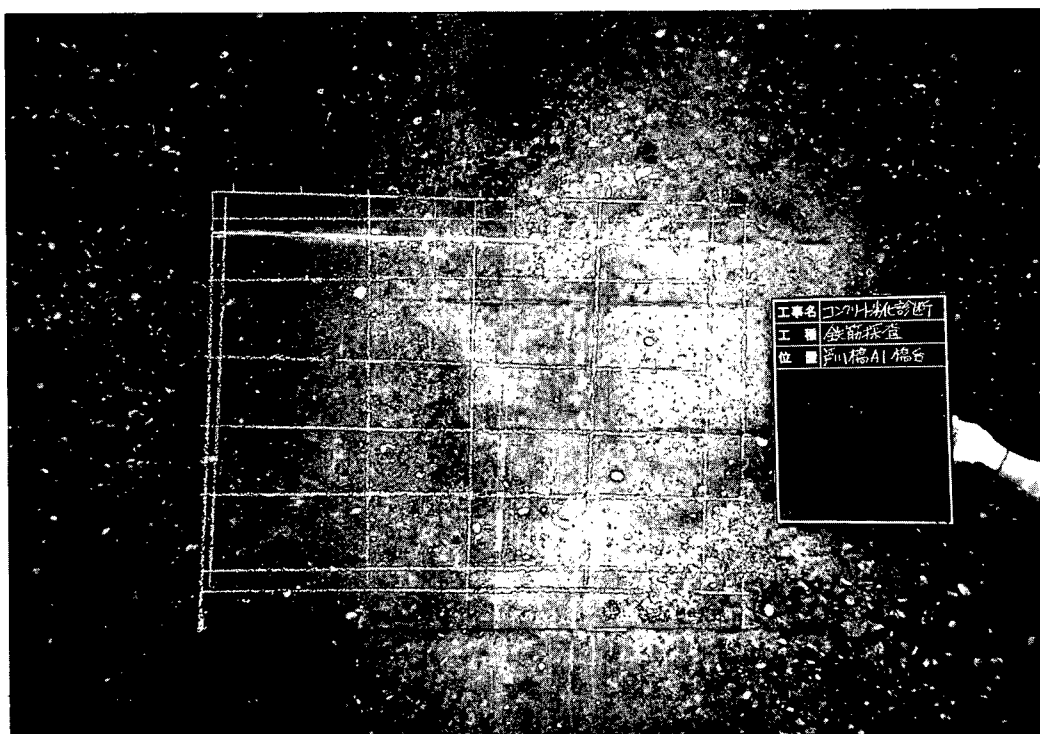


写真-1.2 旧榊橋P2橋脚調査範囲



写真－1.3 旧芦川橋 A 1 橋台の周辺環境（画面左側が A 1 橋台）



写真－1.4 旧芦川橋 A 1 橋台調査範囲

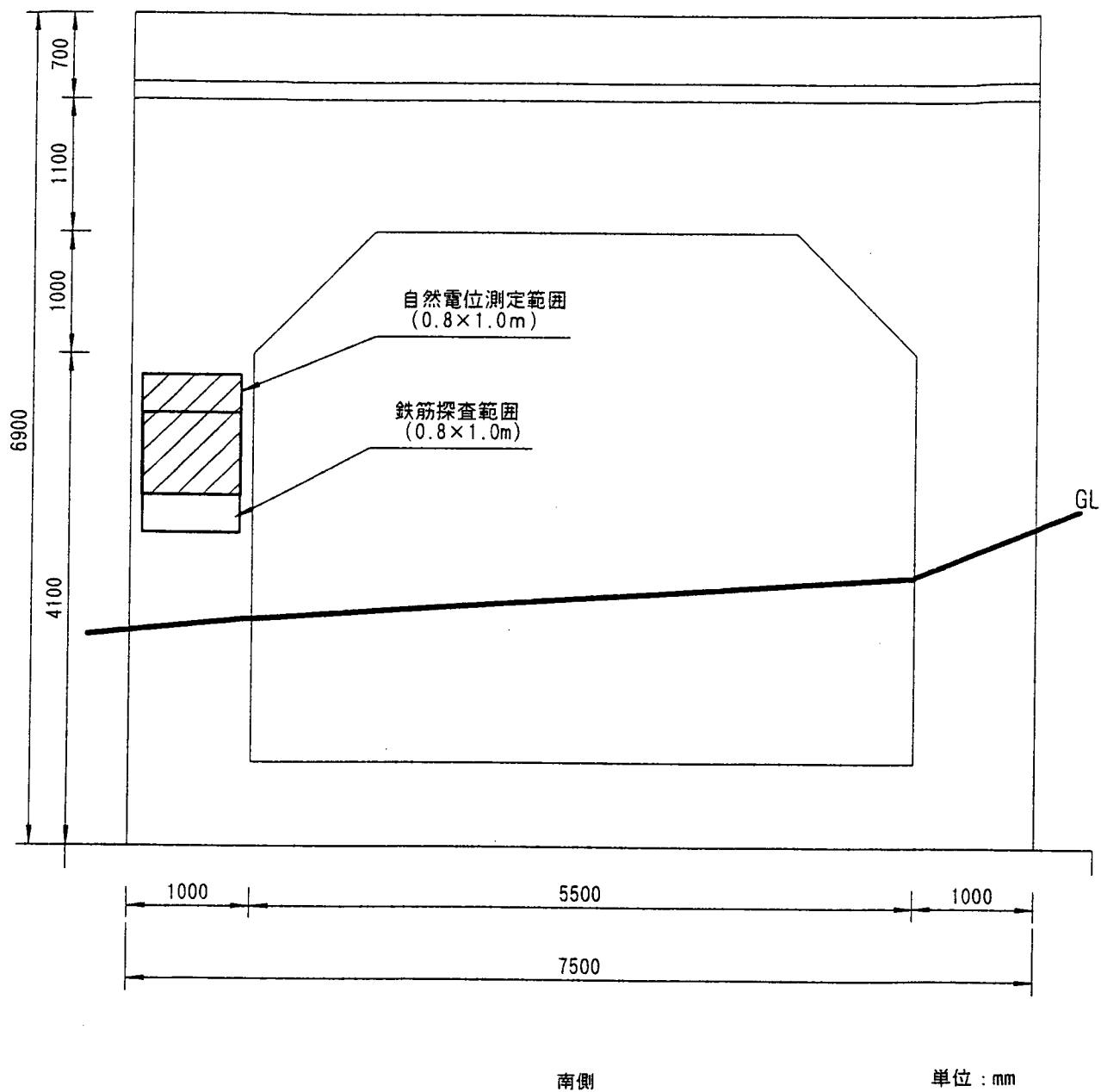


図-1.5 調査位置 (旧榊橋 P 2 橋脚)

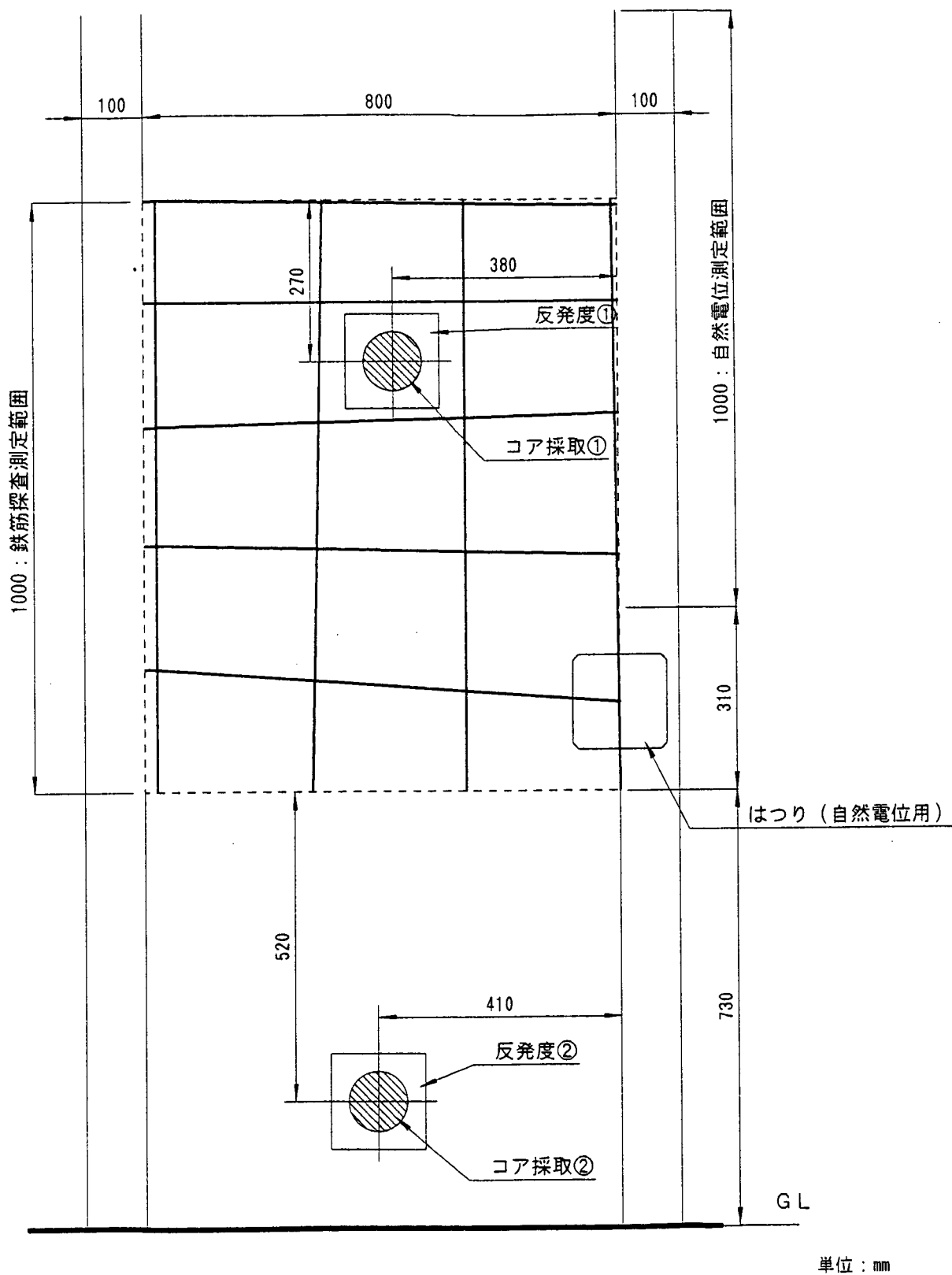


図-1.6 調査位置の詳細 (旧榊橋P2橋脚)

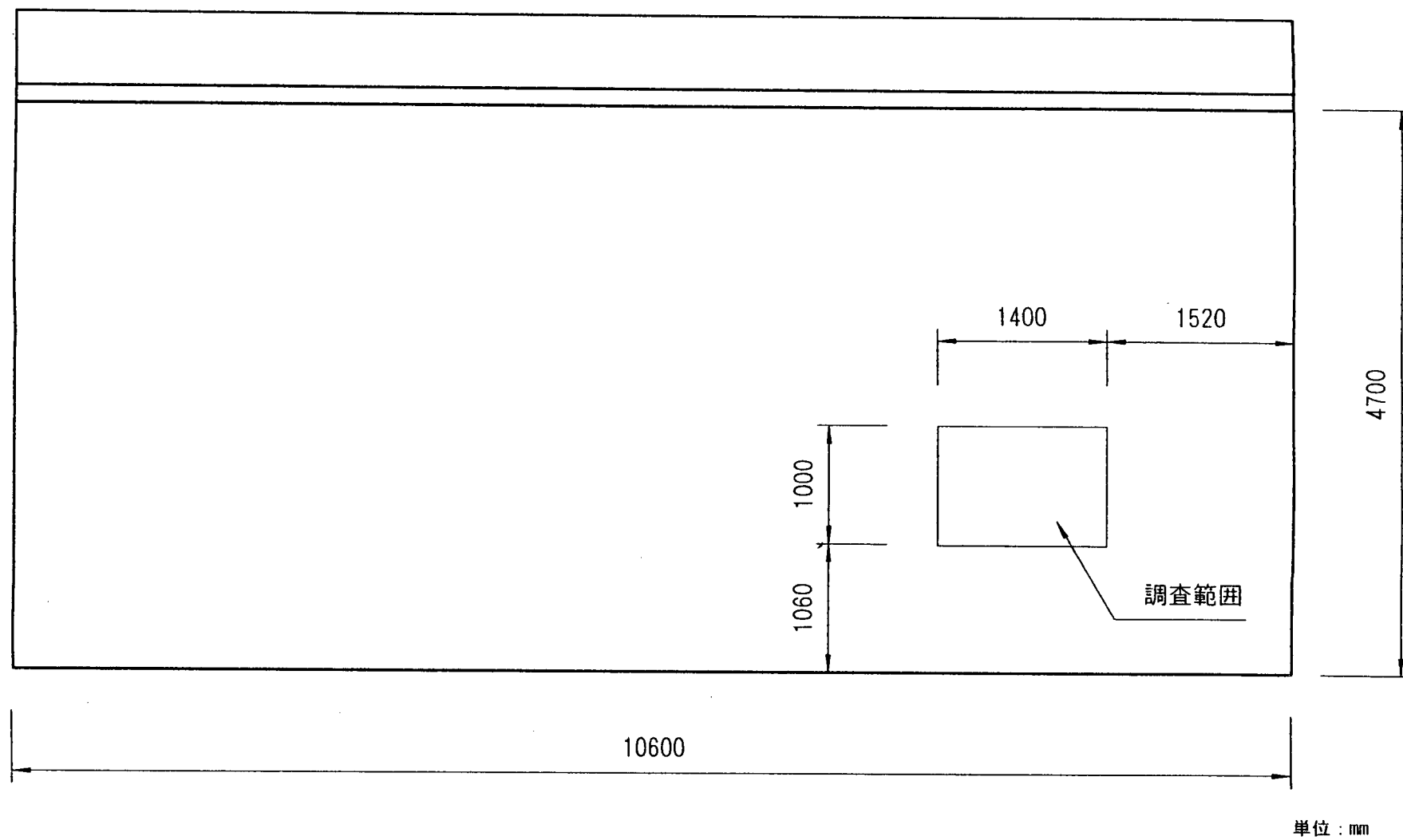


図-1.7 調査位置 (旧芦川橋A 1橋台)

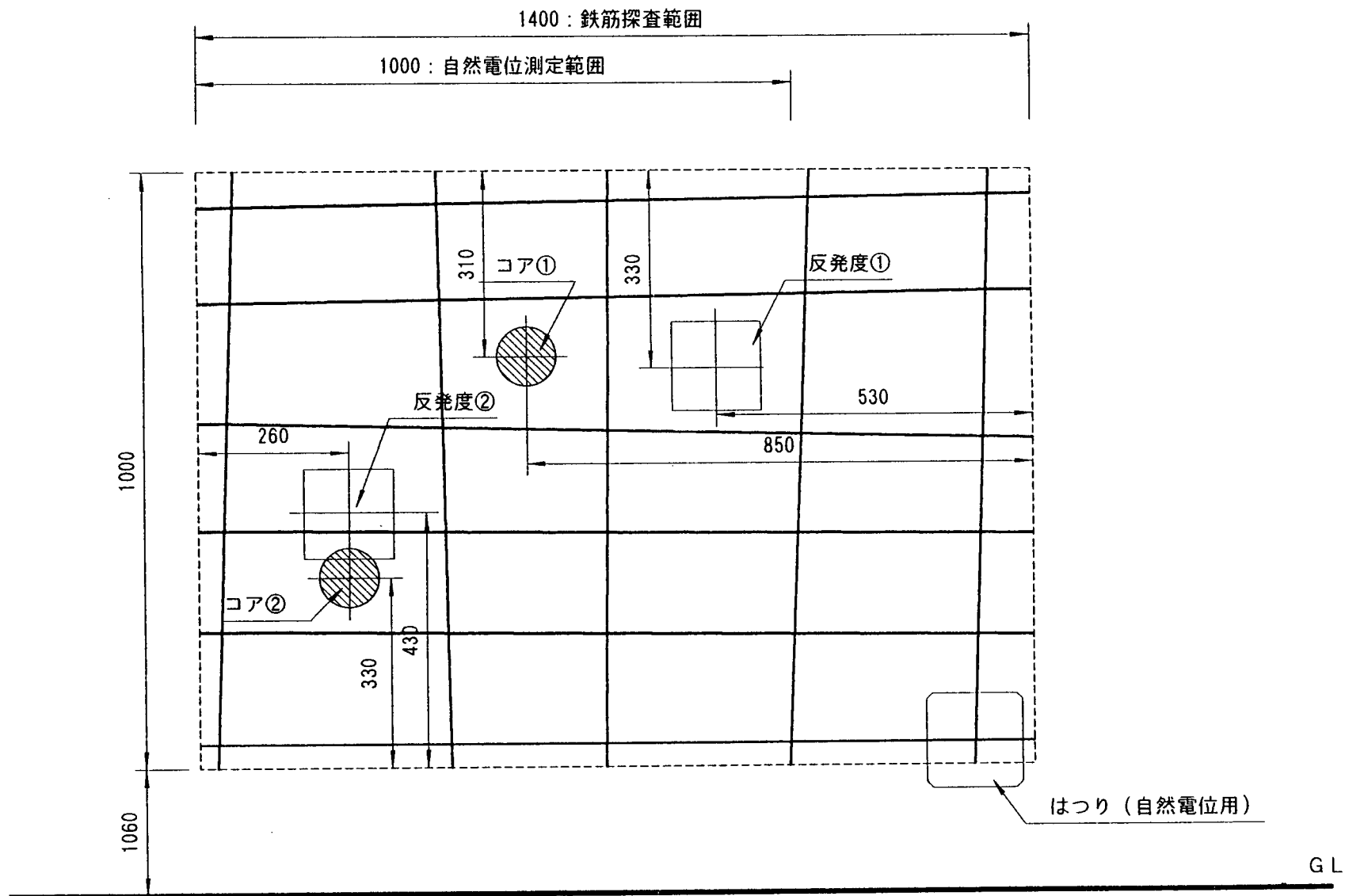


図-1.8 調査位置の詳細 (旧芦川橋A 1橋台)

単位 : mm

1.3 各調査・試験項目に要した時間

今回実施した調査・試験項目について、現地での作業に要した時間と作業の流れを表－1.5に示す。なお、これらはいずれも地面と垂直な調査箇所で、基本的には地上から手の届く範囲で作業を行い、晴天時に試験を行った場合（比較的好条件下で）の実績である。調査箇所の足場等の測定条件が異なれば調査時間も異なることに留意されたい。

表－1.5 調査に要した人数・時間

【旧榑橋】

作業日	時刻	調査人数	作業内容
一日目	09:00～09:25	2	鉄筋探査（電磁波反射法）
	09:25～09:35	1	反発度法
	09:35～09:50	1	含水率の測定
	09:50～10:30	1	自然電位測定のためのはつり作業、中性化深さ測定
	10:30～10:40	2	自然電位測定、電気抵抗測定
	10:40～11:20	2	30分吸水、自然電位測定
	13:05～14:50	1	コア採取（2箇所）、中性化深さ測定
二日目	08:10～11:45	4	鉄筋のはつり出し
	11:45～12:35	2	鉄筋位置や腐食状況等の測定・記録、中性化深さ測定

※鉄筋のはつり出しは、4人が交代で2人ずつ作業した。

【旧芦川橋】

作業日	時刻	調査人数	作業内容
一日目	08:50～09:20	2	鉄筋探査（電磁波反射法）
	09:20～09:35	1	反発度法
	09:35～09:50	1	自然電位測定のためのはつり作業
	09:50～10:00	1	中性化深さ等の測定
	10:10～11:10	2	自然電位・電気抵抗測定（30分の吸水時間を含む）
	11:20～11:30	1	コア採取準備等
	12:45～13:50	1	コア採取（2箇所）
	13:50～14:15	1	中性化深さ測定
二日目	08:10～11:10	4	鉄筋のはつり出し
	記録無し	2	鉄筋位置や腐食状況等の測定・記録、中性化深さ測定

※鉄筋のはつり出しは、4人が交代で2人ずつ作業した。

2. 調査方法

2.1 鉄筋位置およびかぶり厚さの測定

電磁波反射法によるコンクリート内部探査器（N社製RCレーダJ E J-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。この装置は、かぶりが比較的薄い場合に高い分解能で探査することを目的としており、パルス幅が極めて短い約1ナノ秒（10億分の1秒）のパルス波を送信に用いたものである。

測定原理は、電磁波をアンテナからコンクリート内部に向けて放射すると、コンクリートと電氣的性質の異なる物質、たとえば、鉄筋等との境界面で反射され、再びコンクリート表面に戻ってくことを利用している。発信から受信までにかかる時間から反射物体までの距離を知り、アンテナをコンクリート表面で移動することにより、反射物体の水平面上の位置を知ることができる。反射物体までの距離D（ここでは、コンクリート表面から鉄筋までの距離、すなわちかぶり）は、送信時刻から反射波の受信時刻までの時間差Tから（式-2.1）で求めることができる。

$$D = 1/2 VT \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、D : かぶり (m)

V : コンクリート中での電磁波の速度 (m/s)

T : 電磁波を発信してから反射波を受信するまでの時間 (s)

C : 真空中（空気中）での電磁波の速度 (3×10^8 m/s)

ϵ_r : コンクリートの比誘電率 (6～10程度)

反射波形、距離は、本体に組み込まれた装置により液晶ディスプレイ上に自動で表示される。

なお、電磁波反射法では、仮定したコンクリートの比誘電率が計測箇所の実際の比誘電率と異なっていると、ぶりが実際よりも大きくまたは小さく推定されることになる。そこで、自然電位測定のためにはつり出した箇所で、かぶりの推定値と実測値を比較し全体的に補正した。

2.2 反発度法による強度推定

シュミットハンマーN型に準じた打撃機構をもつテストハンマー（K社製コンクリートテストハンマーα-750RX）を用いて反発度を測定し、強度を推定した。

(1) 反発度測定方法

まず、各測定箇所において25点程度の打撃を行った。得られた反発度のデータの中で同一箇所における反発度測定結果平均の±20%を外れた値は異常値として削除した。その結果、測定値が所定の数（20点）以上になることを確認した。打撃箇所は約15×15cmの正方形内とし打撃点相互の間隔は3cm程度とした。

測定面に凸凹や仕上げがある場合は、その部分を除去してから測定を行った。

(2) 強度推定方法

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-2.3）、日本建築学会の共通実験に基づく回帰式（式-2.4）、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-2.5）を用いて推定した結果を例として示す。

① 日本材料学会推定式⁴⁾

$$F_c = (-184 + 13R) \times 0.098 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

② 日本建築学会の共通実験結果に基づく回帰式⁵⁾

$$F_c = (7.3R + 100) \times 0.098 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

③ 徳光らの実験に基づく回帰式⁶⁾

$$F_c = (21.4R - 408) \times 0.098 \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

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、これらの係数設定の妥当性には議論の余地があり、今回は材齢係数として0.63（旧桝橋・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-2.1 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』

2.3 自然電位の測定

自然電位の測定には、鉄筋腐食診断計（N社製、TR-01型）を用いた。図-2.1に示すように、はつりにより露出させた鉄筋と電位差計の端子を接続させ、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鉄筋の表面電位を測定し、測定した表面電位を飽和硫酸銅電極による表面電位（CSE）に換算した。また、かぶりコンクリートの影響を取り除くため、コンクリート表面とはつり出した鉄筋付近における自然電位の差を測定し、測定電位を補正した。なお、測定は5 cm間隔で行い、測定前にはテスターで鉄筋の導通確認を行った。

また、自然電位の測定時には、測定範囲内においてコンクリートの電気抵抗（比抵抗）と含水率も測定した。コンクリートの電気抵抗の測定には、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た。コンクリートの含水率の測定には、コンクリートの比誘電率から含水率を推定するコンクリート・モルタル水分計（K社製、COCO HI-500）を用いた。

これら自然電位、コンクリートの抵抗率および含水率測定は、いずれも水道水の噴霧により測定面を湿潤状態にした直後と30分後の2回行った。この間の30分は測定面を湿潤状態に維持した。自然電位の測定は、30分程度の吸水時間をおいた後に行われるのが普通であるが、今回は、比較のため吸水直後にも測定を行った。

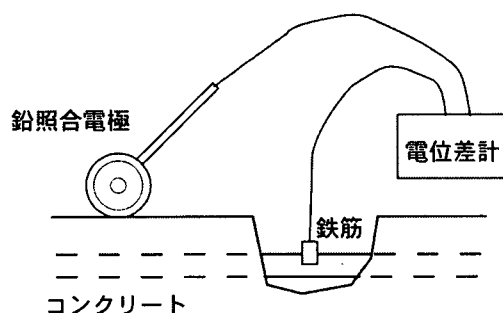


図-2.1 自然電位測定方法

2.4 中性化深さの測定

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で行った。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、スケールでその距離を測定した。

2.5 コアの圧縮強度試験

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載荷により静弾性係数を試験した。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。

2.6 塩化物量の測定

各調査箇所から直径 75mm または 100mm, 長さ 250 mm 程度のコアを 1 本採取し, 日本コンクリート工学協会 JCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分分析方法」による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。

2.7 はつり調査

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。判定は, 診断マニュアルの詳細調査における評価基準 (表-1.6) に従って行った。

(3) かぶり深さ

はつり出した鉄筋のかぶりをスケールを用いて測定した。

(4) コンクリートの中性化深さ

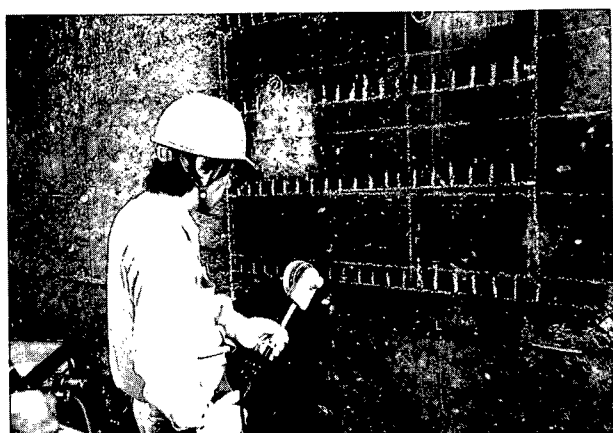
前節 2.4, 「中性化深さの測定」による。



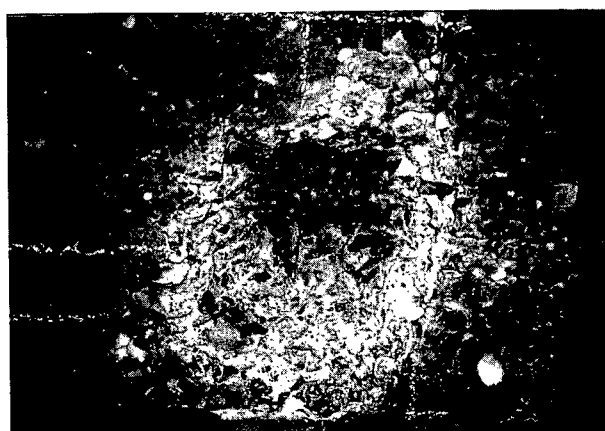
写真－2.1 鉄筋探査状況



写真－2.2 鉄筋探査装置本体部



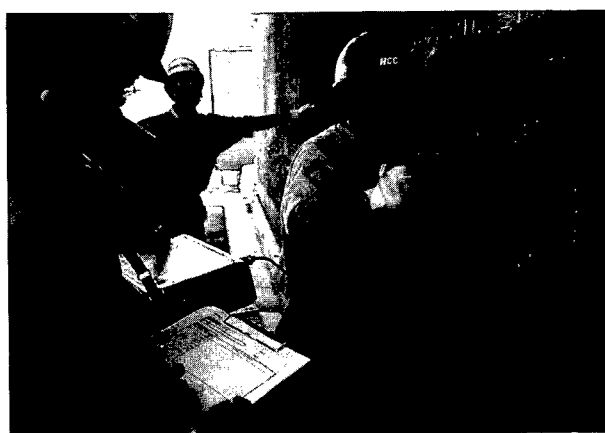
写真－2.3 自然電位の測定状況



写真－2.4 自然電位測定のためのはつり箇所
※横筋は腐食している（孔食）



写真－2.5 かぶり補正のための測定



写真－2.6 電気抵抗の測定状況

3. 調査結果

3.1 鉄筋位置およびかぶり厚さ

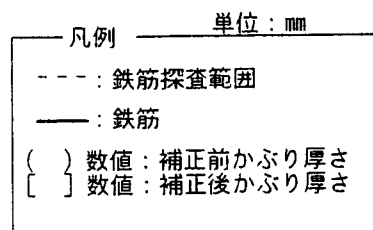
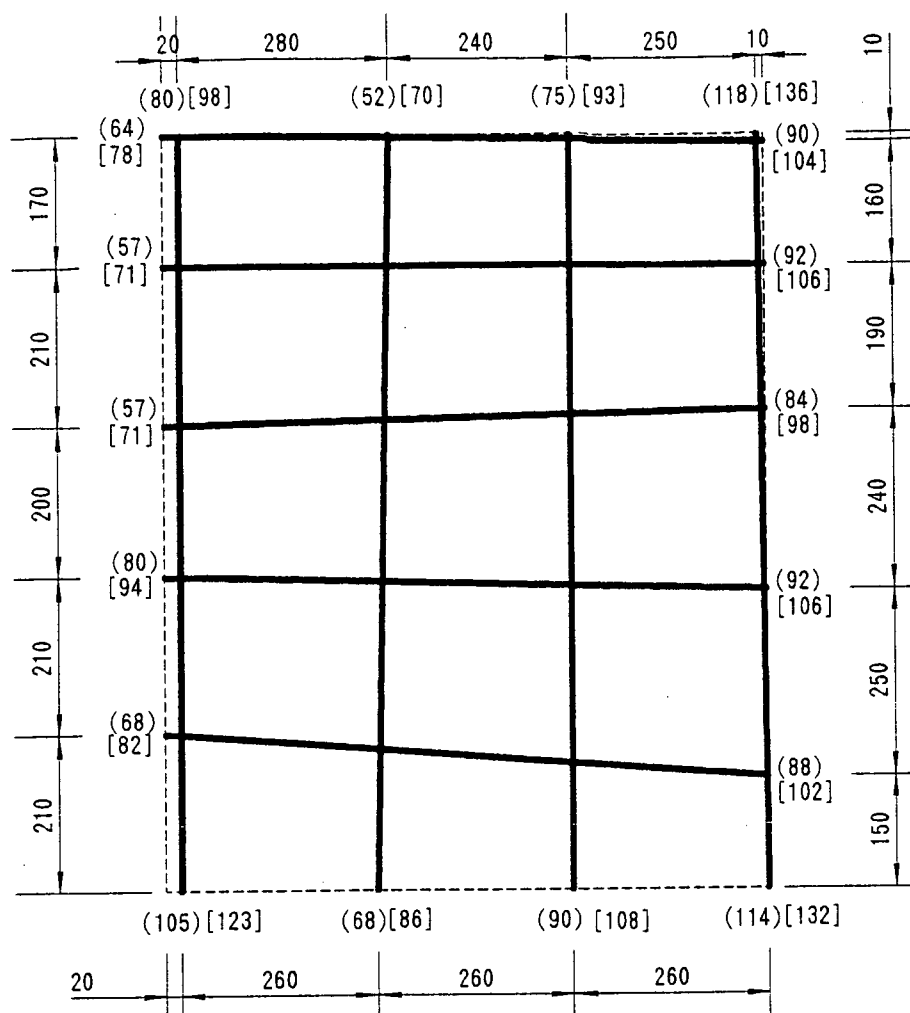
電磁波反射法により探査した鉄筋の位置およびかぶり厚さ測定結果を図－3.1～図－3.2に示す。なお、鉄筋の推定かぶり厚さは、実測したかぶり厚さとの差で補正した値について述べる。

① 榊橋 P 2 橋脚

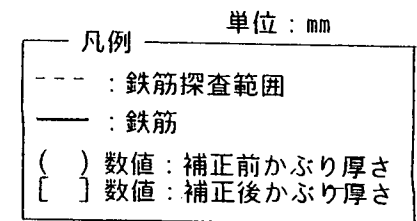
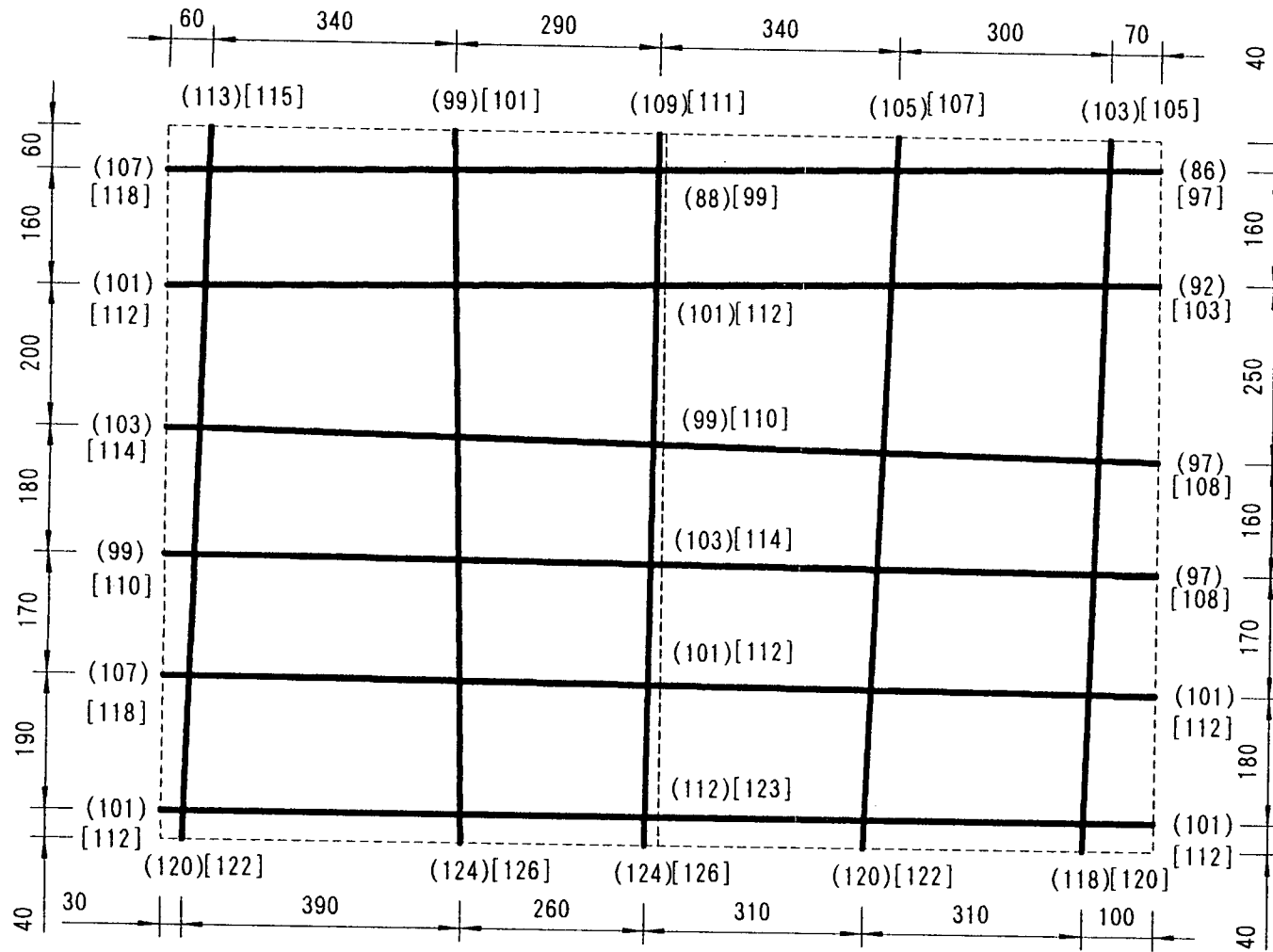
榊橋 P 2 橋脚の鉄筋は、図－3.1に示すように、横 0.8m、縦 1m の範囲で主筋が 4 本、配力筋が 5 本と推定され、主筋間隔が 240 ～ 280mm、配力筋間隔が 160 ～ 280mm と測定された。また、かぶり厚さは、主筋が 70 ～ 132mm、配力筋が 71 ～ 106mm と測定された。

② 芦川橋 A 1 橋台

芦川橋 A 1 橋台の鉄筋は、図－3.2に示すように、横 1.4m、縦 1m の範囲で主筋が 5 本、配力筋が 6 本と推定され、主筋間隔が 260 ～ 390mm、配力筋間隔が 160 ～ 250mm と測定された。また、かぶり厚さは、主筋が 101 ～ 126mm、配力筋が 97 ～ 123mm と測定された。



図－3.1 鉄筋探索による鉄筋位置およびかぶり厚さ測定結果
(旧榊橋P2橋脚)



図－3.2 鉄筋探索による鉄筋位置およびかぶり厚さ測定結果
(旧芦川橋A 1橋脚)

3.2 反発度法による強度推定

反発度の測定結果を表－3.1に示す。

また、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－3.2に示す。

表－3.1 反発度の測定結果

測定場所		各測定点での反発度測定結果														測定点数	反発度
旧榊橋 P 2 橋脚	①	49	55	56	55	56	57	52	52	53	58	50	52	54	23	54	
		35	53	54	54	56	56	53	56	56	52	54	—	—			
	②	51	52	45	46	55	50	48	51	54	53	50	53	51	24	51	
		55	46	44	49	54	54	52	56	53	54	50	—	—			
旧芦川橋 A 1 橋台	①	43	48	40	46	43	44	42	47	46	55	44	43	48	24	45	
		44	42	39	53	46	47	43	48	47	42	47	44	—			
	②	31	49	36	45	44	43	37	50	40	37	34	39	46	21	40	
		34	43	39	37	30	39	45	43	35	47	40	34	—			

※斜体は、平均値からのばらつきが大きく（± 20%を超える）採用しなかった測定点

表－3.2 強度推定結果

測定場所		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	
旧榊橋 P 2 橋脚	①	54	50.8	48.4	73.3	32.0	30.5	46.2	28.5
	②	51	46.9	46.3	67.0	29.6	29.2	42.2	
旧芦川橋 A 1 橋台	①	45	39.3	42.0	54.4	24.8	26.5	34.3	14.9
	②	40	32.9	38.4	43.9	20.7	23.7	27.7	

3.3 自然電位、コンクリートの含水率および抵抗率

水道水の噴霧により測定面を湿潤とした直後とその30分後に測定した自然電位、コンクリートの含水率および比抵抗を図-3.3～3.6に示す。これら測定結果を対比して表-3.3に示す。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-3.4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る。
- ②コンクリートの抵抗率は、旧芦川橋では30分後で小さくなる傾向を示したが、旧榑橋では明確な傾向は見られなかった。
- ③自然電位は、直後より30分後の方が卑である。

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。

コンクリートの含水率は、今回の測定箇所ではほとんどが約4～6%の範囲にあるが、旧芦川橋A1橋台で一部12%を超える箇所がみられた。これは、コンクリート表面が粗く、粗骨材が露出していることによる影響と考えられる。

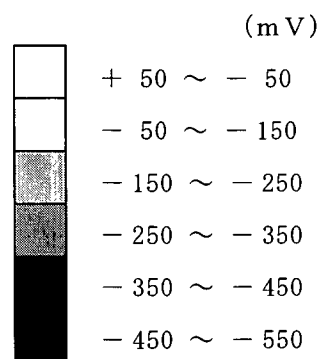
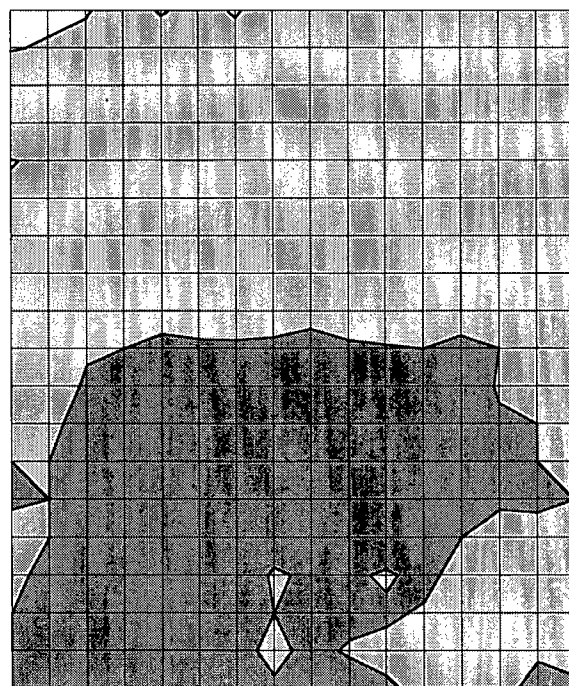
コンクリートの比抵抗（電気抵抗）は鉄筋の腐食状況とは直接には関係がないが、硬化コンクリートに空隙が多く、水分を多く含んでいると小さくなり、このようなコンクリートでは鉄筋が腐食しやすいと考えられる。今回の測定結果では、旧榑橋P2橋脚で15.4～85.7 k Ω ・cm、旧芦川橋A1橋台では4.6～11.2 k Ω ・cmと測定箇所による違いが見られた。

自然電位測定結果は、旧榑橋P2橋脚で約-320～-130mVの範囲にあり（損傷度Ⅱ～Ⅳ）、鉄筋の腐食がやや進行していると予想される。旧芦川橋A1橋台では-350mVよりも卑であり（損傷度Ⅰ）、鉄筋の腐食がかなり進行していると判断される。

湿潤直後



湿潤
30
分
後

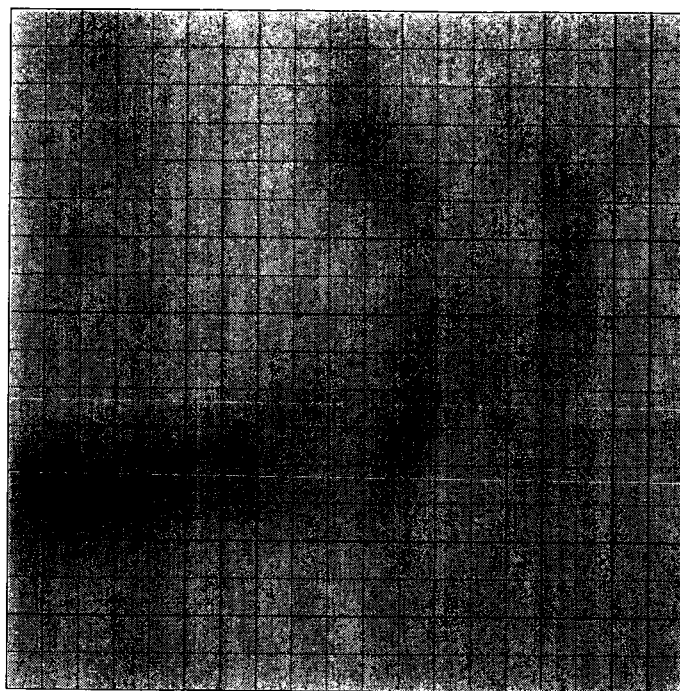


※鉄筋近傍の自然電位とコンクリート表面での自然電位の差として、次の値を実測値に加え補正した。

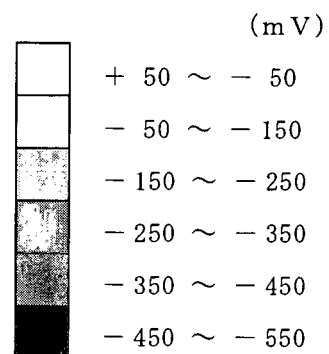
旧桝橋 P 2 橋脚	吸水直後	- 50mV
	吸水 30 分後	- 60mV

図-3.3 自然電位の測定結果 (旧桝橋 P 2 橋脚)

湿潤直後



湿潤
30
分
後

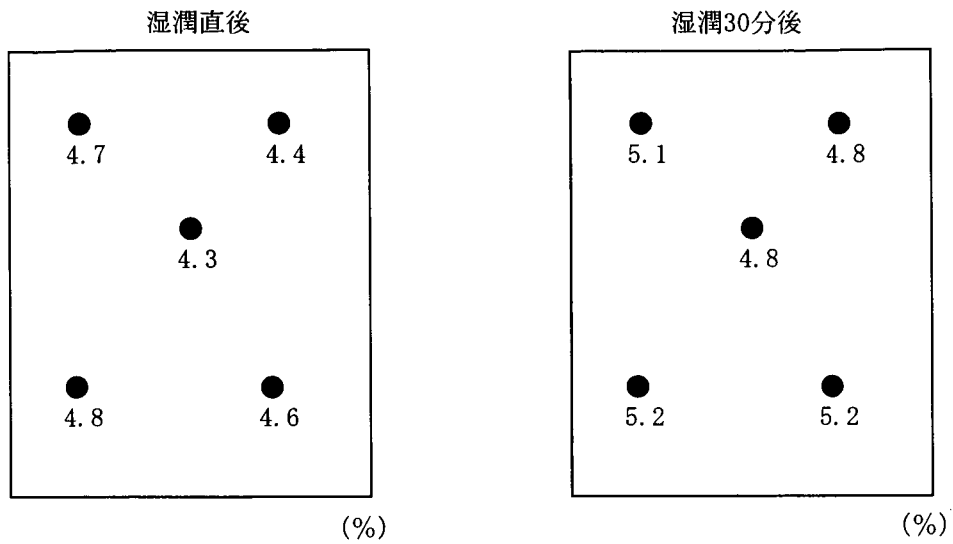


※鉄筋近傍の自然電位とコンクリート表面での自然電位の差として、次の値を実測値に加え補正した。

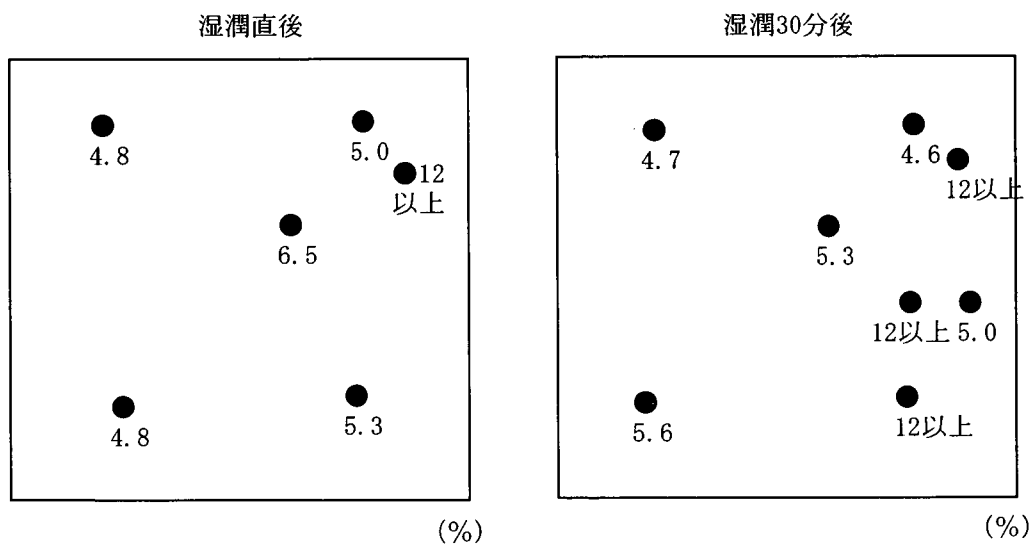
旧芦川橋A 1 橋台	吸水直後	- 10mV
	吸水 30 分後	0mV

図-3.4 自然電位の測定結果（旧芦川橋A 1 橋台）

【旧桝橋 P 2 橋脚】

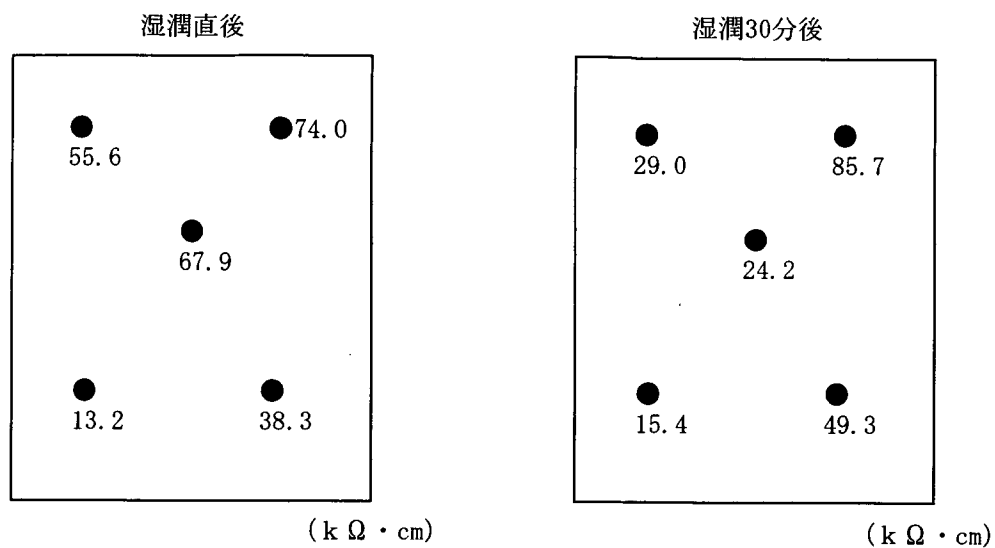


【旧芦川橋 A 1 橋台】



図－3.5 含水率の測定結果

【旧榊橋P 2 橋脚】



【旧芦川橋A 1 橋台】

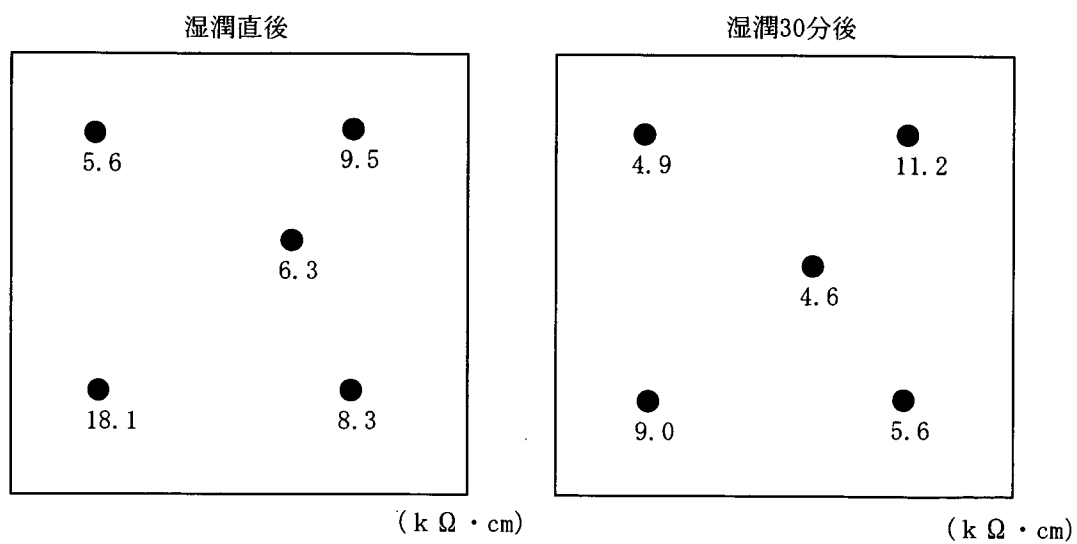


図-3.6 比抵抗の測定結果

表-3.3 吸水条件による比較

調査位置		含水率 (%)		比抵抗 ($k\Omega \cdot cm$)		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
旧榊橋	P 2 橋脚	4.3~4.8	4.8~5.2	13.2~74.0	15.4~85.7	-353~-74	-324~-133
旧芦川橋	A 1 橋台	4.8~12以上	4.6~12以上	5.6~18.1	4.6~11.2	-449~-357	-503~-386

表-3.4 自然電位による損傷度の判定

調査位置		自然電位判定基準 E (mV)	自然電位測定範囲 (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	
旧榊橋	P 2 橋脚	$-350 \geq E$	$-353 \sim -74$	$-324 \sim -133$	0.3	0	II~IV
		$-250 \geq E > -350$			8.8	37.8	
		$-150 \geq E > -250$			58.7	58.1	
		$E > -150$			32.2	4.1	
旧芦川橋	A 1 橋台	$-350 \geq E$	$-449 \sim -357$	$-503 \sim -386$	100	100	I
		$-250 \geq E > -350$			0	0	
		$-150 \geq E > -250$			0	0	
		$E > -150$			0	0	

— 自然電位法による腐食判定 (定期点検) —

損傷度	自然電位 E (mV : CSE)	腐食性
I	$-350 \geq E$	大
II	$-250 \geq E > -350$	やや大
III	$-150 \geq E > -250$	軽微
IV	$E > -150$	なし

表-3.5 自然電位測定結果詳細 (旧榊橋P2橋脚, mV, CSE換算)

【湿潤直後】

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	(X)
19	-79	-89	-99	-99	-113	-109	-109	-113	-128	-138	-138	-143	-148	-138	-128	-109	mV
18	-74	-99	-109	-113	-118	-113	-109	-109	-133	-128	-138	-138	-148	-143	-133	-128	mV
17	-79	-104	-109	-123	-113	-113	-113	-118	-138	-133	-138	-133	-157	-138	-128	-123	mV
16	-84	-104	-113	-128	-118	-113	-113	-118	-138	-138	-148	-133	-162	-138	-138	-118	mV
15	-104	-118	-123	-123	-128	-128	-118	-123	-138	-143	-143	-148	-172	-133	-133	-133	mV
14	-99	-109	-123	-148	-148	-157	-138	-133	-153	-157	-162	-167	-162	-143	-143	-143	mV
13	-99	-118	-128	-143	-153	-162	-157	-133	-157	-157	-162	-172	-177	-167	-162	-157	mV
12	-104	-118	-143	-157	-162	-177	-157	-143	-162	-167	-162	-177	-172	-172	-162	-157	mV
11	-113	-123	-148	-157	-167	-167	-157	-143	-172	-172	-162	-177	-172	-182	-172	-177	mV
10	-148	-133	-148	-162	-157	-162	-162	-157	-177	-177	-167	-182	-182	-182	-177	-172	mV
9	-177	-177	-196	-240	-226	-231	-206	-206	-206	-206	-201	-192	-226	-206	-187	-187	mV
8	-182	-114	-221	-265	-265	-255	-231	-226	-221	-226	-206	-211	-221	-211	-201	-192	mV
7	-201	-201	-231	-284	-265	-270	-245	-236	-236	-240	-240	-221	-231	-211	-206	-196	mV
6	-221	-216	-240	-299	-299	-279	-260	-240	-255	-255	-250	-231	-250	-206	-206	-206	mV
5	-231	-221	-250	-304	-304	-275	-265	-240	-265	-255	-250	-255	-255	-216	-206	-206	mV
4	-206	-226	-236	-353	-294	-260	-231	-216	-216	-221	-231	-240	-221	-182	-182	-187	mV
3	-211	-226	-231	-309	-275	-245	-226	-211	-206	-196	-201	-206	-201	-167	-162	-182	mV
2	-211	-221	-226	-245	-245	-245	-216	-201	-206	-206	-201	-196	-187	-167	-167	-177	mV
1	-216	-221	-226	-226	-240	-240	-216	-192	-201	-201	-201	-187	-182	-157	-172	-177	mV
0	-206	-216	-221	-226	-240	-231	-216	-196	-196	-206	-206	-192	-172	-167	-177	-182	mV

※ピッチ (cm)

X : 5

Y : 5

【湿潤 30 分後】

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	(X)
19	-133	-143	-143	-148	-143	-143	-153	-167	-167	-177	-182	-177	-182	-177	-172	-172	mV
18	-138	-143	-148	-163	-148	-158	-148	-163	-177	-177	-163	-182	-192	-187	-177	-172	mV
17	-148	-153	-158	-167	-163	-163	-158	-167	-182	-187	-182	-187	-192	-177	-172	-158	mV
16	-172	-158	-167	-158	-163	-163	-167	-172	-177	-172	-182	-182	-187	-187	-187	-172	mV
15	-202	-153	-172	-177	-172	-177	-158	-177	-187	-192	-192	-187	-197	-192	-172	-182	mV
14	-148	-158	-182	-197	-192	-206	-192	-197	-202	-202	-206	-197	-216	-192	-192	-197	mV
13	-158	-167	-182	-202	-206	-206	-211	-202	-211	-206	-211	-206	-216	-206	-197	-197	mV
12	-158	-163	-192	-197	-206	-216	-216	-211	-226	-211	-206	-216	-226	-216	-211	-206	mV
11	-177	-167	-192	-206	-211	-226	-206	-226	-236	-221	-211	-216	-231	-221	-221	-216	mV
10	-197	-182	-197	-206	-211	-221	-216	-216	-241	-216	-211	-211	-231	-231	-221	-206	mV
9	-216	-226	-246	-250	-275	-260	-260	-265	-260	-260	-255	-250	-260	-250	-246	-231	mV
8	-231	-231	-255	-270	-294	-280	-285	-260	-255	-275	-265	-265	-275	-246	-250	-231	mV
7	-231	-241	-265	-294	-314	-294	-289	-280	-270	-275	-280	-275	-285	-255	-250	-246	mV
6	-250	-250	-275	-294	-309	-299	-294	-285	-275	-280	-289	-285	-285	-255	-250	-250	mV
5	-255	-250	-265	-309	-324	-299	-299	-280	-275	-285	-289	-294	-280	-255	-260	-250	mV
4	-236	-250	-275	-309	-309	-294	-270	-265	-265	-270	-270	-270	-250	-236	-231	-241	mV
3	-246	-255	-270	-294	-299	-285	-270	-246	-255	-255	-246	-260	-236	-231	-221	-241	mV
2	-250	-255	-265	-289	-294	-289	-255	-250	-255	-260	-255	-246	-226	-226	-241	-241	mV
1	-250	-255	-270	-280	-285	-285	-260	-241	-260	-246	-241	-241	-236	-221	-246	-241	mV
0	-255	-250	-265	-280	-289	-294	-275	-255	-255	-270	-255	-241	-236	-241	-260	-255	mV

表-3.6 自然電位測定結果詳細 (旧芦川橋A1橋台, mV, CSE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	(X)
19	-435	-435	-425	-420	-401	-396	-396	-396	-386	-381	-386	-391	-391	-376	-391	-391	-376	-391	-371	-391	mV
18	-435	-440	-430	-406	-406	-396	-396	-396	-381	-386	-391	-386	-391	-386	-386	-386	-391	-381	-381	-386	mV
17	-440	-435	-425	-420	-410	-391	-396	-391	-381	-391	-386	-391	-386	-381	-376	-386	-386	-391	-386	-386	mV
16	-430	-430	-425	-425	-415	-401	-396	-391	-386	-386	-386	-391	-386	-381	-386	-386	-391	-386	-386	-376	mV
15	-425	-430	-425	-420	-415	-396	-391	-396	-386	-386	-396	-391	-386	-381	-391	-396	-386	-386	-391	-376	mV
14	-420	-415	-420	-406	-406	-391	-396	-391	-381	-371	-376	-386	-376	-371	-371	-366	-366	-371	-371	-366	mV
13	-415	-425	-420	-415	-410	-396	-396	-386	-391	-386	-381	-366	-381	-376	-376	-362	-371	-362	-371	-366	mV
12	-420	-430	-420	-410	-406	-401	-391	-386	-386	-381	-386	-381	-381	-386	-371	-362	-371	-362	-366	-362	mV
11	-425	-425	-415	-415	-391	-396	-396	-391	-386	-381	-386	-386	-376	-376	-376	-362	-366	-357	-366	-362	mV
10	-430	-425	-420	-415	-410	-406	-391	-396	-391	-391	-386	-391	-396	-391	-381	-371	-376	-376	-376	-366	mV
9	-410	-415	-410	-406	-406	-401	-391	-396	-391	-386	-391	-381	-376	-391	-376	-371	-376	-371	-366	-366	mV
8	-410	-410	-410	-406	-406	-401	-396	-386	-401	-396	-396	-386	-391	-386	-376	-376	-376	-366	-376	-362	mV
7	-410	-406	-410	-415	-410	-401	-401	-396	-391	-396	-391	-391	-386	-391	-386	-376	-371	-376	-366	-371	mV
6	-406	-406	-415	-415	-415	-406	-401	-396	-396	-396	-396	-391	-391	-386	-386	-376	-381	-376	-381	-371	mV
5	-401	-410	-420	-425	-420	-406	-406	-401	-386	-396	-401	-391	-386	-391	-381	-386	-386	-381	-381	-376	mV
4	-435	-440	-435	-425	-420	-415	-406	-406	-401	-406	-410	-401	-391	-396	-386	-391	-386	-376	-386	-376	mV
3	-445	-445	-440	-430	-435	-420	-420	-410	-415	-406	-410	-410	-401	-396	-401	-396	-396	-396	-391	-391	mV
2	-449	-440	-445	-425	-420	-430	-425	-406	-410	-415	-410	-410	-401	-406	-396	-406	-401	-396	-391	-391	mV
1	-440	-449	-445	-435	-430	-435	-425	-415	-415	-415	-415	-410	-410	-406	-391	-401	-391	-401	-401	-386	mV
0	-449	-445	-430	-435	-425	-430	-425	-425	-415	-410	-415	-410	-410	-406	-391	-420	-396	-406	-401	-391	mV

※ピッチ (cm)

X : 5

Y : 5

【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	(X)
19	-469	-469	-459	-444	-425	-430	-420	-405	-410	-405	-400	-405	-410	-415	-415	-410	-410	-396	-415	-405	mV
18	-474	-469	-464	-449	-435	-420	-420	-410	-420	-410	-420	-415	-415	-410	-410	-410	-410	-415	-410	-400	mV
17	-464	-464	-454	-449	-439	-425	-425	-415	-420	-415	-415	-410	-410	-410	-410	-410	-410	-400	-405	-396	mV
16	-464	-464	-444	-444	-435	-430	-425	-415	-410	-405	-405	-415	-410	-415	-415	-405	-405	-410	-405	-391	mV
15	-454	-459	-449	-444	-439	-425	-425	-415	-425	-420	-415	-415	-405	-415	-425	-410	-415	-410	-400	-391	mV
14	-454	-464	-459	-444	-439	-430	-425	-420	-410	-410	-410	-405	-405	-405	-396	-405	-396	-391	-391	-386	mV
13	-454	-454	-459	-449	-444	-415	-430	-415	-415	-415	-400	-410	-410	-405	-410	-386	-391	-391	-396	-391	mV
12	-459	-464	-459	-449	-439	-430	-425	-420	-410	-410	-405	-415	-405	-415	-405	-405	-400	-400	-386	-391	mV
11	-459	-459	-454	-454	-444	-430	-430	-420	-420	-420	-420	-415	-405	-415	-410	-400	-400	-396	-396	-391	mV
10	-454	-469	-459	-454	-444	-439	-430	-420	-420	-405	-415	-420	-420	-420	-410	-415	-415	-400	-396	-396	mV
9	-444	-449	-449	-449	-435	-435	-430	-420	-420	-415	-415	-415	-420	-420	-410	-405	-400	-396	-405	-386	mV
8	-444	-449	-454	-439	-449	-439	-430	-425	-425	-425	-420	-415	-420	-410	-405	-405	-415	-410	-396	-396	mV
7	-439	-454	-454	-454	-444	-435	-420	-430	-420	-425	-410	-420	-420	-425	-410	-400	-410	-405	-410	-405	mV
6	-444	-449	-459	-449	-449	-439	-439	-430	-415	-420	-425	-425	-425	-420	-410	-405	-400	-410	-420	-405	mV
5	-449	-459	-464	-454	-454	-444	-439	-425	-425	-425	-430	-425	-420	-425	-410	-415	-415	-410	-420	-400	mV
4	-474	-469	-459	-454	-444	-439	-444	-439	-430	-435	-430	-425	-425	-425	-415	-420	-420	-415	-410	-420	mV
3	-479	-479	-464	-459	-454	-449	-439	-435	-435	-435	-435	-435	-435	-425	-430	-430	-425	-415	-430	-410	mV
2	-493	-474	-464	-454	-449	-449	-439	-444	-439	-435	-439	-430	-435	-430	-425	-430	-425	-430	-435	-435	mV
1	-493	-483	-469	-459	-454	-454	-449	-439	-435	-439	-444	-439	-439	-435	-439	-435	-439	-435	-435	-430	mV
0	-503	-479	-464	-454	-454	-449	-449	-444	-444	-439	-439	-444	-439	-444	-439	-435	-439	-435	-439	-430	mV

3.4 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結果を表-3.7に示す。また、自然電位測定用に鉄筋をはつり出した箇所での中性化深さ、鉄筋調査結果等を表-3.8に、はつり調査で、調査箇所の鉄筋を全てはつり出した際に測定した中性化深さの測定結果等を表-3.9に示す。

旧榑橋では、中性化深さの平均は約10mmであった。旧榑橋では、鉄筋のかぶりが約60mm以上あったことから、中性化による鉄筋腐食のおそれはほとんどないものと考えられる。

一方、旧芦川橋A1橋台では、調査箇所による中性化深さの違いが明確に見られた。橋台コンクリート表面に骨材の露出が認められる箇所があり、採取したコア②にも空隙が目立ったことから、竣工当初から硬化コンクリート中の骨材分布に偏りがあってジャンカ状になっている箇所が存在し、このような箇所で中性化の進行が速かった可能性がある。ただし、旧芦川橋A1橋台では、鉄筋のかぶりも100mm前後と大きいことから、必ずしも中性化に起因する腐食が生じていたとは言えない。

表-3.7 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			
旧榑橋	P 2 橋脚	① (コア孔)	1	1	13	15	17	9	5	70～136 平均 主筋：106 帯鉄筋：91	Ⅳ
		② (コア孔)	1	0	0	0	1	0			
旧芦川橋	A 1 橋台	① (コア表面)	6	14	6	10	11	9	19	97～126 平均 主筋：116 配力筋：111	Ⅳ
		① (コア割裂)	6	4	3	1	12	6			
		② (コア表面)	27	11	23	31	38	26			
		② (コア割裂)	20	38	42	37	29	33			

—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－ 3.8 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				
旧榊橋	P 2 橋脚	5	3	4	3	5	4	主筋：132 帯鉄筋：102	主筋：24.5 × 25.0 帯鉄筋：9.0 × 9.5	Ⅳ	④
旧芦川橋	A 1 橋台	45	64	64	55	67	59	主筋：120 帯鉄筋：112	主筋：12.9 × 12.7 帯鉄筋：15.4 × 15.2	Ⅲ	②

－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－ 3.9 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	
旧榊橋	P 2 橋脚	26	16	9	1	19	1	12	主筋	φ 25	74～140	Ⅳ
		1	2	3	6	35	20					
		38	10	5	7	20	12		帯鉄筋	φ 9	61～115	
		6	12	—	—	—	—					
旧芦川橋	A 1 橋台	56	11	72	85	94	55	37	圧縮 主鉄筋	φ 13	103～126	Ⅳ
		12	11	9	10	9	64					
		66	49	25	36	20	41		配力筋	φ 16	83～109	
		20	28	22	12	—	—					

3.5 圧縮強度および静弾性係数

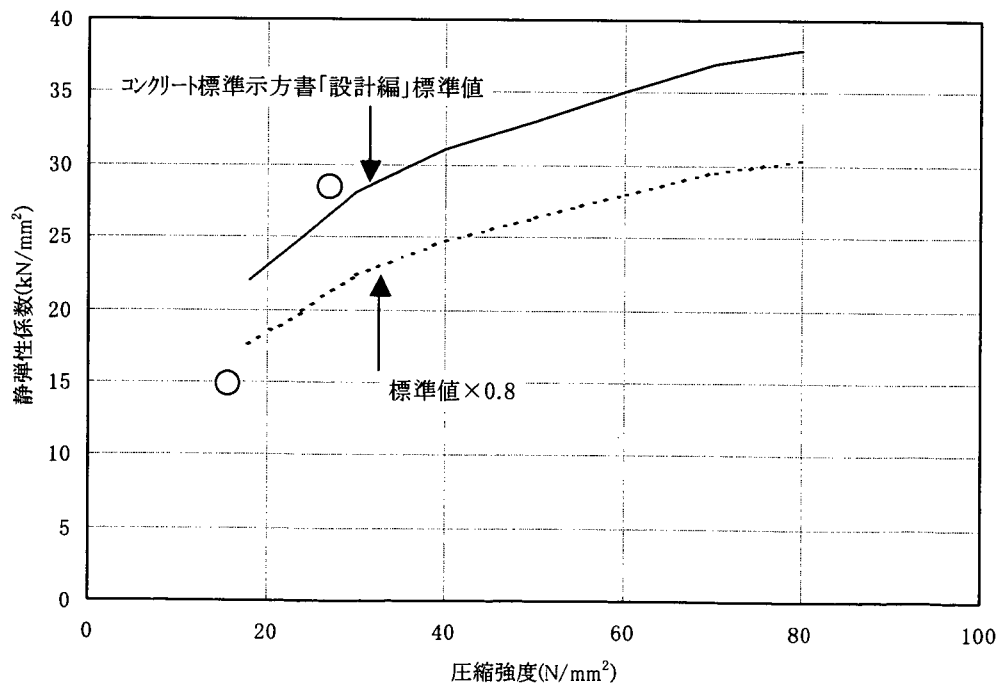
採取コアによる圧縮強度および静弾性係数試験結果を表－3.10 および図－3.7 に示す。

旧榑橋 P 2 橋脚から採取したコアは設計基準強度が不明であるが、当時の土木構造物に用いる鉄筋コンクリートの設計基準強度が200kgf/cm² (20N/mm²) 程度までであったことを考えると、十分な強度を有していたと言える。一方、芦川橋 A 1 橋台については15.7N/mm²と旧榑橋と比較すると強度が小さいが、昭和41年当時は、橋台に用いるコンクリートとして160kgf/cm² (16N/mm²) 程度のものまで使用されていたことから、最低限の強度は有していたものと考えられる。

静弾性係数の測定結果を見ると、芦川橋 A 1 橋台から採取したコアでは、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%をやや下回っており、診断マニュアル（詳細調査）に従うと、構造的な検討も必要と判定された。

表－3.10 圧縮強度および静弾性係数試験結果

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)	50μ 強度 (N/mm ²)	1/3荷重 縦ひずみ (μ)	静弾性 係数 (kN/mm ²)
					前	後						
旧榑橋	P 2 橋脚	②	99.9	3077	167.2	171.0	0.977	217	27.1	1.3	320	28.5
旧芦川橋	A 1 橋台	①	99.9	3337	193.2	196.9	1.97	123	15.7	0.71	356	14.9



図－3.7 圧縮強度と静弾性係数の関係

3.6 塩化物量

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表－3.11および図－3.8～図－3.9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－3.12に示す。また、これらの塩化物量の分析前に行ったコアの単位容積質量試験結果を表－3.13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を示すと下記のようにあり、沿岸に位置する芦川橋は大きく、内陸に位置する榊橋では小さい。

榊橋 P 2 橋脚 0.46kg/m³ (測定位置 0 ～ 1 cm)

芦川橋 A 1 橋台 7.32kg/m³ (測定位置 3 ～ 4 cm)

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。芦川橋 A 1 橋台のコア②では、コンクリート表面から 4 cm 程度までの塩分量が、内部 (5 ～ 13cm) の塩化物量を下回っているが、これは、コア②を採取した位置のコンクリート表面部で、骨材が多くモルタル分がほとんどないジャンカ状のコンクリートとなっていたためと考えられる(このことは、コア①と比較してコア②の方が中性化深さが大きかったことから確認できる)。

鉄筋位置における全塩化物イオン量は、榊橋 P 2 が 1.2kg/m³ 以下であり、芦川橋 A 1 橋台では 2.5kg/m³ を上回る箇所がある。これより、塩化物イオン量による損傷度は、榊橋 P 2 がⅣ、芦川橋 A 1 橋台がⅠ～Ⅱと判定された。

表－3.11 全塩化物イオン量測定結果

調査位置	コア	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	10～11	11～12	12～13
旧榊橋	①	2193	0.46	0.24	0.37	0.33	0.22	0.18	0.11	0.09	0.07	0.07	—	—	—
旧芦川橋 A 1 橋台	①	2068	6.12	6.08	7.28	7.32	6.43	5.00	3.97	3.97	2.77	3.16	1.84	1.99	1.99
	②	2099	2.16	1.09	1.28	2.14	3.48	3.76	4.24	2.50	2.56	2.69	3.55	2.25	2.06

※太枠は、電磁波法によって探査した鉄筋のかぶり厚さの範囲を示す。

表－3.12 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
旧榊橋	P 2 橋脚	0.07～0.09	70～136	Ⅳ
旧芦川橋	A 1 橋台	1.84～3.55	97～126	Ⅰ～Ⅱ

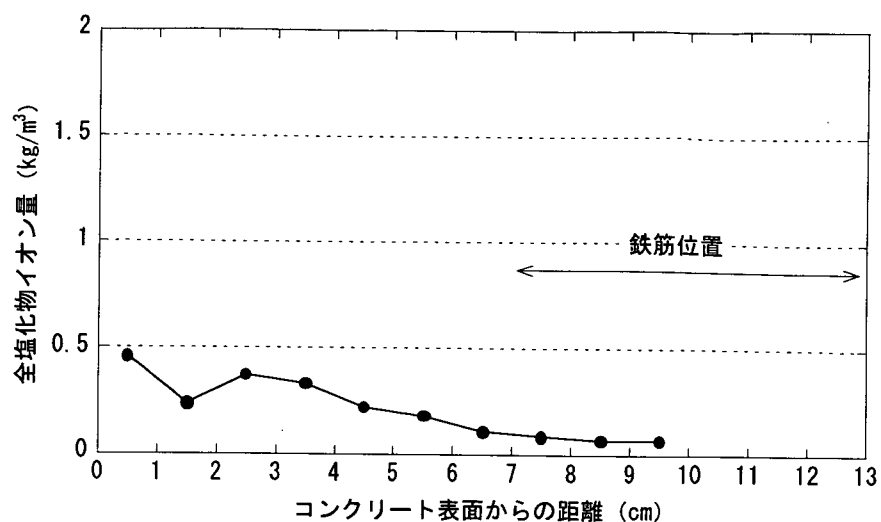


図-3.8 コンクリート表面からの距離と全塩化物イオン量の関係（旧桧橋P 2 橋脚）

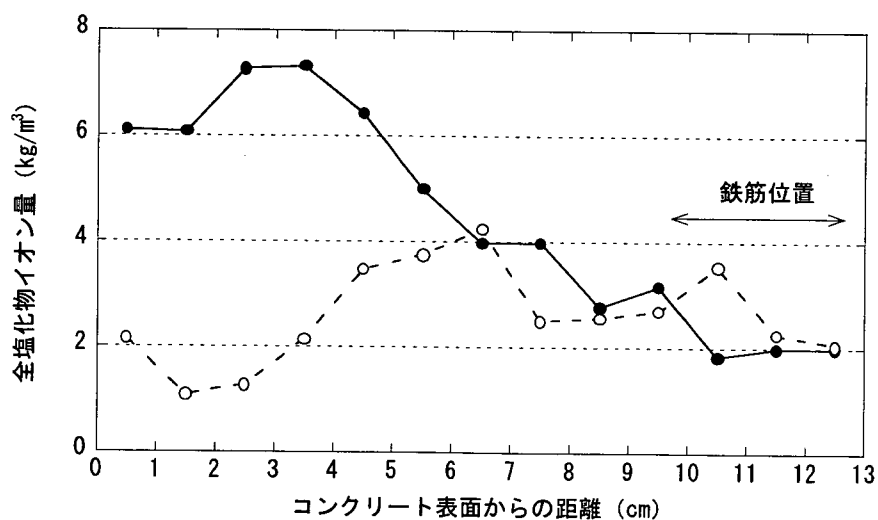


図-3.9 コンクリート表面からの距離と全塩化物イオン量の関係（旧芦川橋A 1 橋台）

表-3.13 コンクリートコアの単位容積質量試験結果

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/m³)	絶乾単位 容積質量 (kg/m³)	吸水率 (%)
旧桧橋	P 2 橋脚	①	536.6	939.5	883.5	2332	2193	6.3
旧芦川橋	A 1 橋台	①	869.0	1561.7	1432.8	2255	2068	9.0
		②	606.3	1079.9	994.0	2280	2099	8.6

3.7 はつり調査

はつり調査は、自然電位測定範囲を対象に行い、鉄筋の腐食状況やかぶり等を確認した。

(1) 鉄筋に関する調査

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-3.10、図-3.11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-3.14に示す。

桷橋P2橋脚および芦川橋A1橋台では丸鋼が使用されていた。

鉄筋の実測かぶり厚さは、桷橋P2橋脚が61～140mm、芦川橋A1橋台が88～126mmの範囲にある。この実測かぶり厚さは、電磁波法によった推定かぶり厚さと概ね一致していた。

鉄筋の腐食状況および腐食度の判定は下記のようなものである。

a. 桷橋P2橋脚 (写真-3.1)

腐食状況：主筋、配力筋ともに腐食なしまたはごく表面的な腐食である。この表面的な腐食は、帯鉄筋よりも主筋で目立ったことや、中性化や塩分の浸透など腐食につながる要因が見あたらないことから、建設時から鉄筋表面に浮き錆が生じていたことが考えられる。コンクリートの打継部と交差する一部の主筋では、新たに僅かな浮き錆が生じているようにも見受けられたが、明確ではない(写真-3.3)。

腐食度：主筋 [②～④ (③が主体, ②が極部的)]
：帯鉄筋 [③～④ (④が主体)]

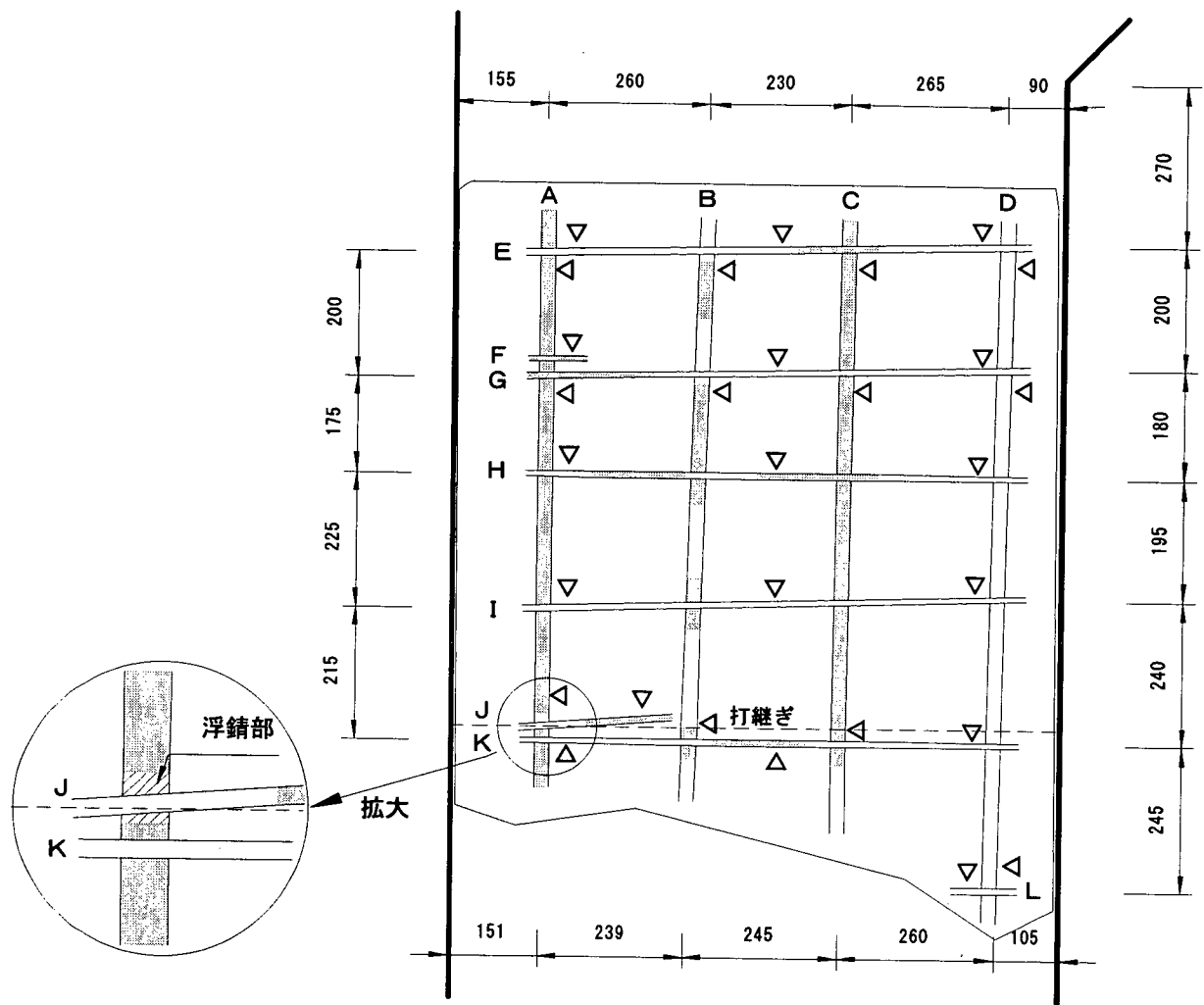
b. 芦川橋A1橋台 (写真-3.2)

腐食状況：主筋、配力筋とも表面的な浮き錆の箇所が多いが、部分的に孔食による断面欠損も生じている。塩化物量の試験結果を見ると、鉄筋位置でも鋼材の腐食につながりかねない塩化物イオン濃度となっており、海からの飛来塩分の影響でこれらの腐食が生じたものと予想される。また、孔食が生じていた箇所とコンクリート表面で粗骨材の露出が目立った場所は、調査箇所右上部や自然電位測定のための端子接続部等で一致していた(写真-3.4～写真-3.6)。

腐食度：主筋 [②～③ (③が主体)]
：配力筋 [①～③ (③が主体)]

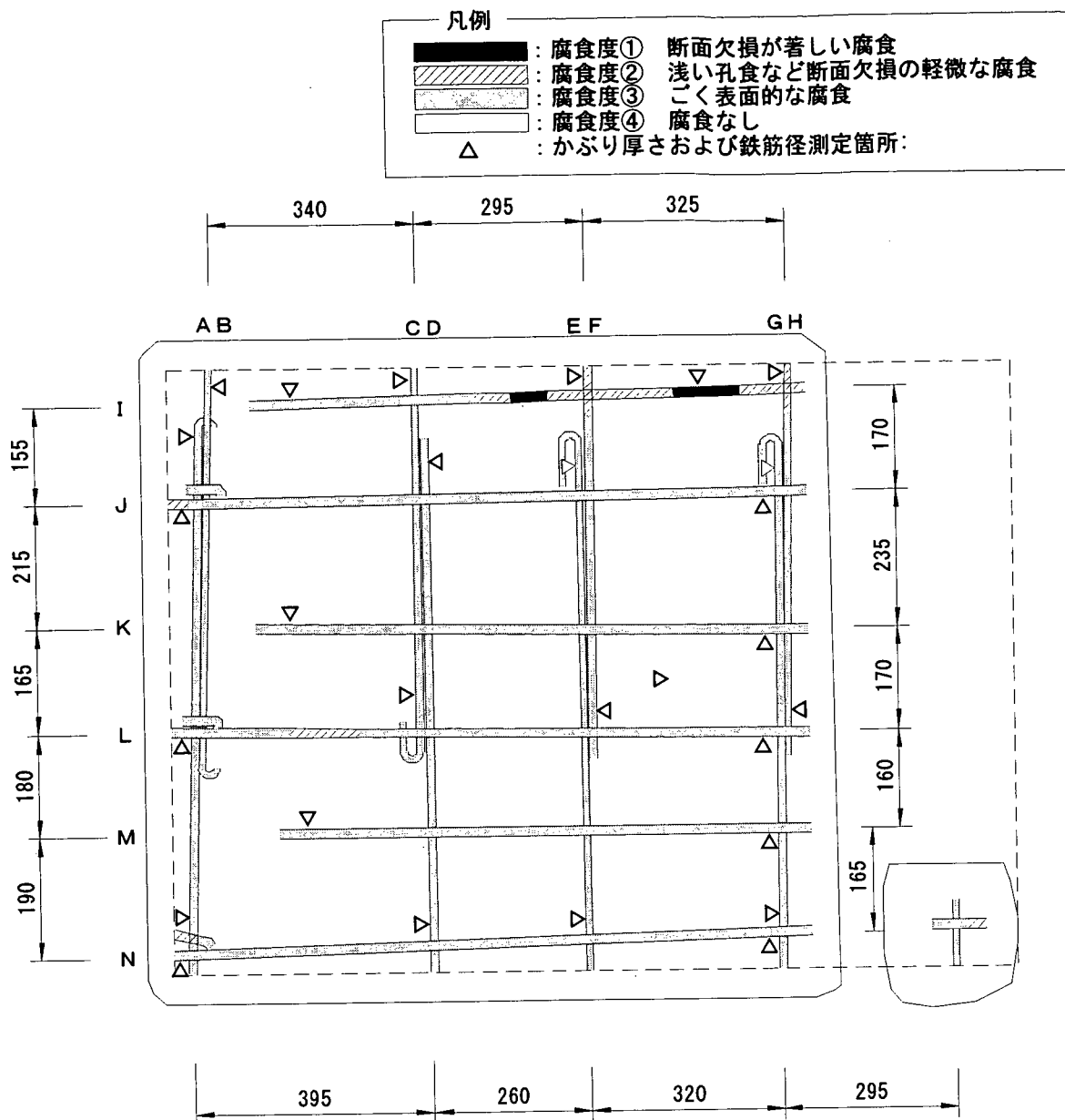
凡例

	: 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:	



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	中	下	上	中	下	
主筋 (丸鋼)	A	107	110	106	25.5 × 25.0	25.5 × 25.0	25.0 × 25.0	
	B	74	78	79	25.0 × 25.0	25.0 × 25.0	25.0 × 25.5	
	C	88	97	97	25.0 × 25.0	25.0 × 25.0	24.5 × 25.5	
	D	140	140	132	25.0 × 25.0	24.5 × 25.0	24.5 × 25.0	
配力筋 (丸鋼)		左	中	右	左	中	右	
	E	85	69	115	8.5 × 9.0	9.0 × 9.0	9.0 × 9.0	
	F		61			8.5 × 8.5		
	G	72	70	107	9.0 × 9.0	8.5 × 8.5	9.0 × 9.0	
	H	75	75	110	9.0 × 9.0	9.0 × 9.0	9.0 × 9.0	
	I	69	64	84	9.0 × 8.5	9.0 × 9.0	9.0 × 9.0	
	J		98			9.0 × 9.5		
	K	71	66	90	9.0 × 9.5	9.0 × 9.0	9.0 × 9.0	
	L		102			9.5 × 9.0		

図-3.10 はつり調査結果 (旧榊橋P2橋脚)



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 (丸鋼)	A	116	123	—	12.6 × 12.7
	B	115	120	12.6 × 12.4	—
	C	112	120	12.4 × 12.7	12.5 × —
	D	113	120	12.5 × 12.5	12.6 × 12.6
	E	115	126	12.6 × 12.7	12.5 × 12.8
	F	107	123	12.6 × 12.6	12.4 × —
	G	116	124	12.6 × —	12.7 × 12.7
	H	103	126	12.6 × 12.6	—
配力筋 (丸鋼)		左	右	左	右
	I	104	88	15.3 × 15.4	12.6 × 15.0
	J	100	95	15.3 × 15.4	15.3 × 15.4
	K	102	104	15.1 × 15.5	15.3 × 15.6
	L	104	108	15.3 × 15.6	15.4 × 15.6
	M	104	108	15.3 × 15.6	15.4 × 15.8
	N	106	109	15.6 × 15.4	15.5 × 15.6

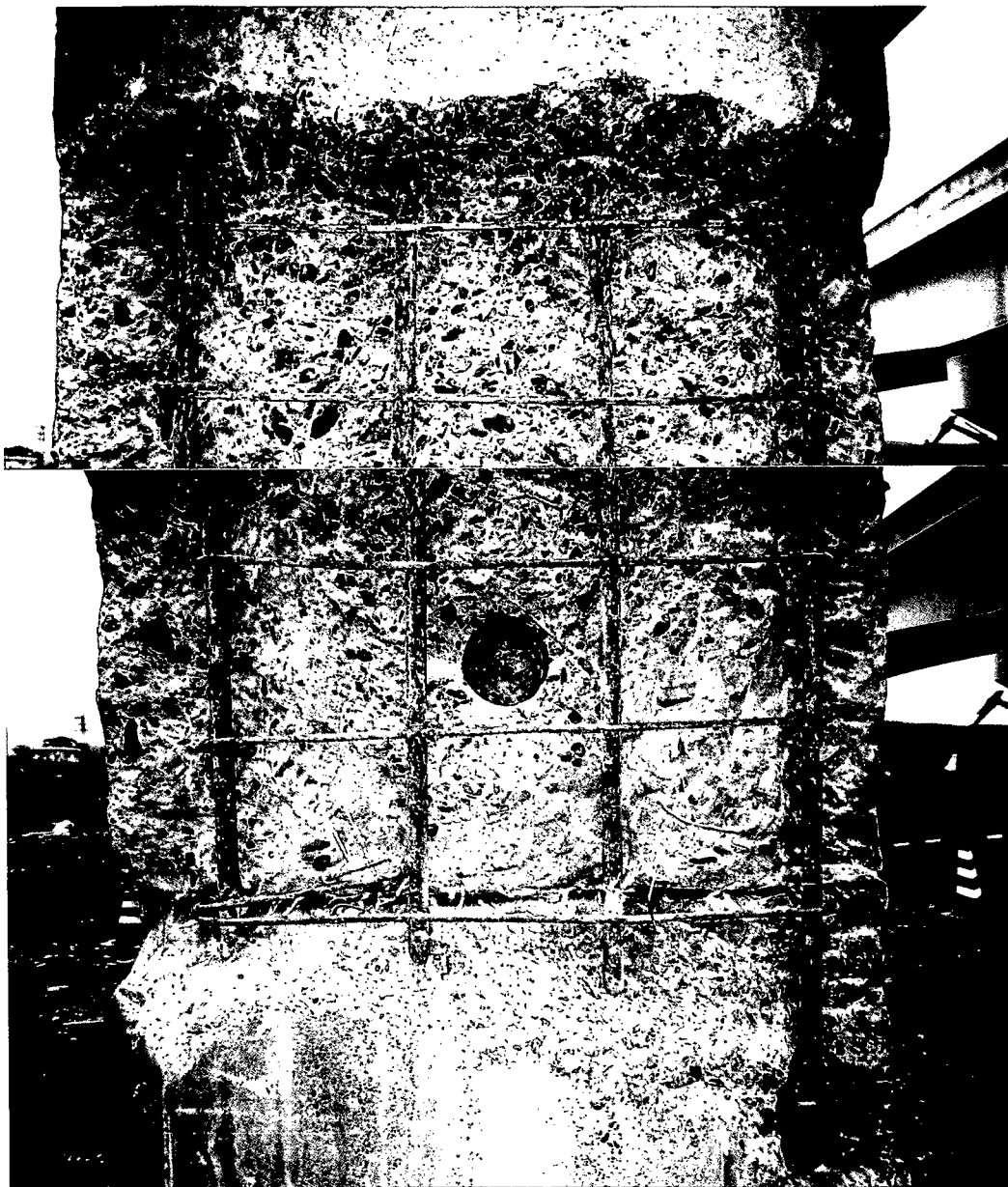
図-3.11 はつり調査結果(旧芦川橋A1橋台)

表-3.14 はつり調査結果（鉄筋のかぶり厚さおよび腐食度の判定）

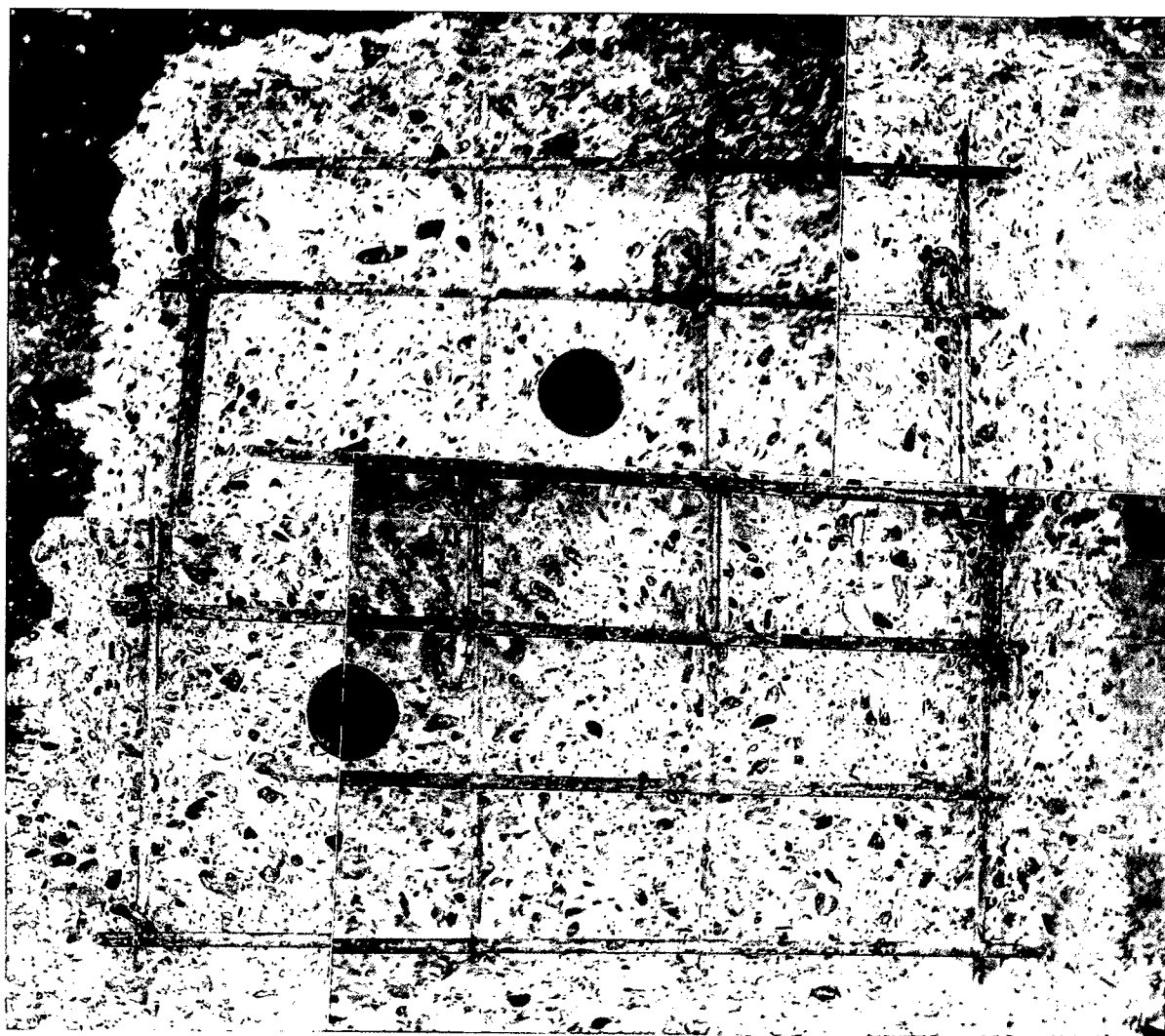
調査箇所		使用鉄筋		かぶり厚さ (mm)		鉄筋の腐食度	自然電位による鉄筋の損傷度
				実測値	電磁波法		
旧榊橋	P 2 橋脚	主筋	φ 25	74~140	70~136	②~④ (③が主体)	Ⅱ~Ⅳ (Ⅲが主体)
		帯鉄筋	φ 9	61~115	71~106	③~④ (④が主体)	
旧芦川橋	A 1 橋台	圧縮主筋	φ 13	103~126	101~126	②~③ (③が主体)	Ⅰ
		配力筋	φ 16	88~109	97~123	①~③ (③が主体)	

－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



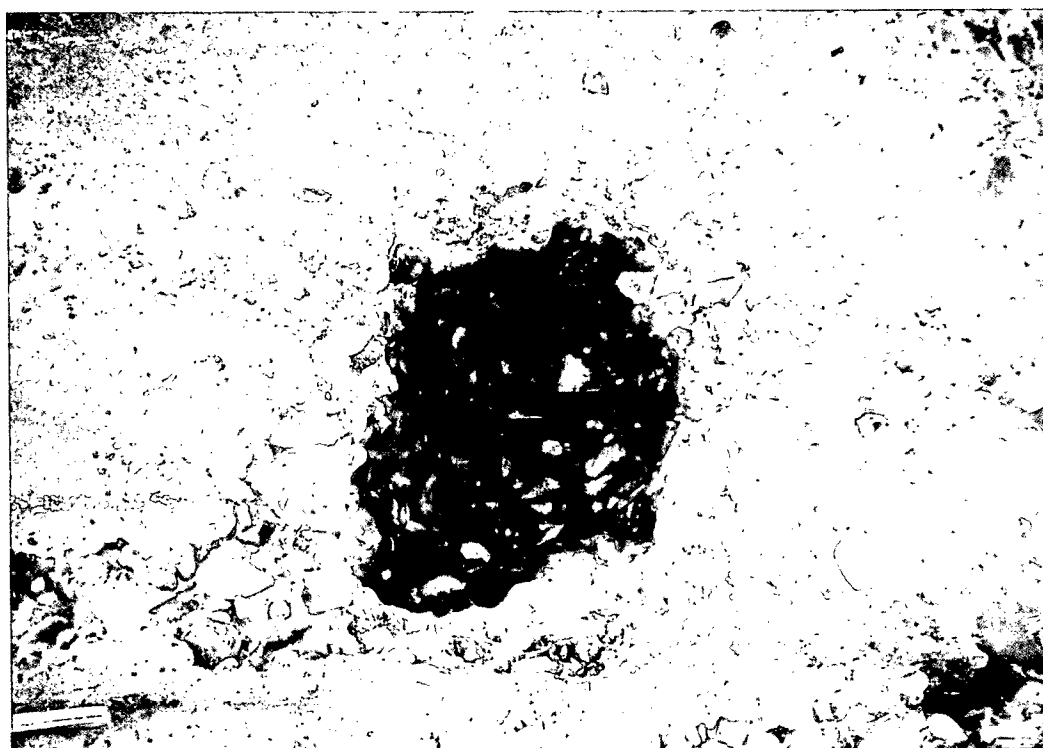
写真－3.1 鉄筋の腐食状況（旧榊橋P2橋脚）



写真－3.2 鉄筋の腐食状況（旧芦川橋A1橋台）



写真－3.3 鉄筋腐食状況の詳細（榊：左下部）



写真－3.4 鉄筋腐食状況の詳細（芦川：自然電位測定のためのはつり箇所）

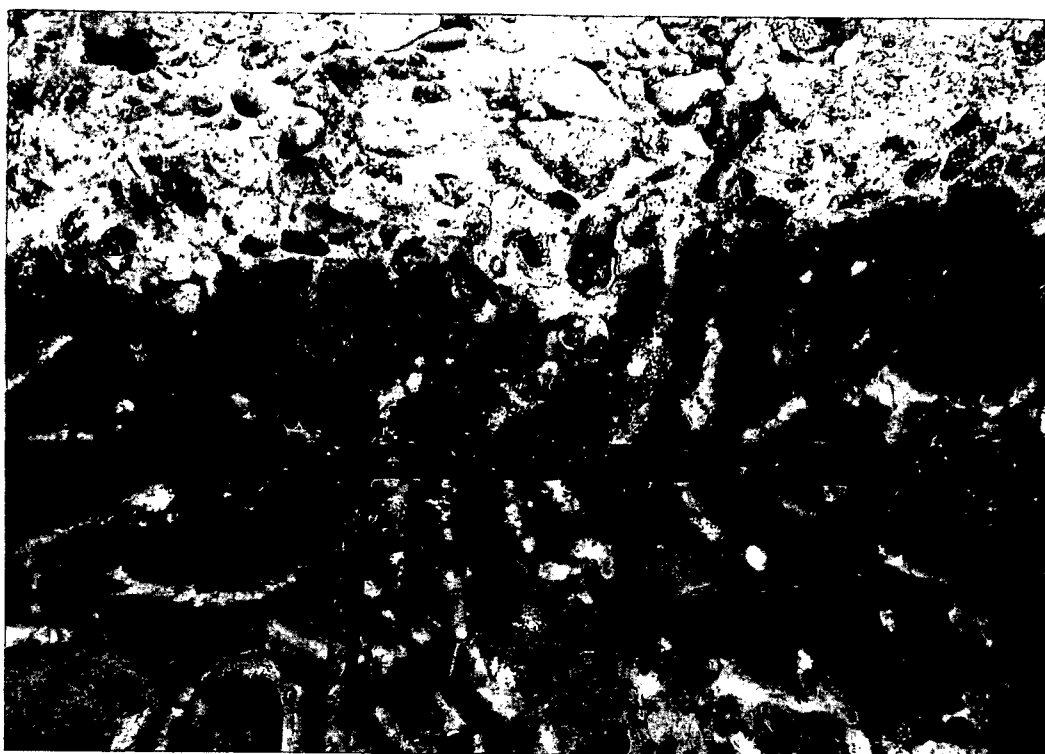


写真-3.5 鉄筋腐食状況の詳細（芦川：右上部，孔食が認められる）



写真-3.6 鉄筋腐食状況の詳細（芦川：コア②付近，孔食が認められる）

4. 健全度の総合評価

4.1 定期点検項目に基づく健全度診断

非破壊検査に基づく診断結果を表－4.1に示す。また、診断書の記載例を表－4.2～表－4.5に示す。

非破壊検査結果から構造物の健全度を判定した結果は、診断書（案）および診断書のいずれも、芦川橋 A 1 橋台がⅠ，榊橋 P 2 橋脚がⅡと判定され、詳細調査が必要あるいは実施することが望ましい段階にあると判定された。

これは、今回の調査結果では、

旧榊橋・旧芦川橋ともに自然電位に基づく損傷度の判定結果が最も厳しかったこと

総合的な損傷度の判定の際に、最も厳しい試験結果を採用したこと

による。

なお、診断マニュアルにおける「定期点検」では、非破壊検査の活用が主体になっており、外観目視調査については詳述されていない（橋梁点検要領（案）等を参照することとされている）が、ここでは調査範囲が限られていることもあり、診断マニュアルの「詳細調査」における詳細目視調査の評価（表－1.5）に基づいて簡単に評価した。その結果、旧榊橋 P 2 橋脚・旧芦川橋 A 1 橋台は、ともに鉄筋腐食に起因すると考えられるひび割れ、錆汁等が見られなかったので、「無」と判定された。

表－4.1 定期点検項目に基づく健全度診断結果（損傷度の判定）

調査箇所		自然電位	中性化	全塩化物イオン量	鉄筋の腐食度*	外観目視調査	診断結果	
旧榊橋	P 2 橋脚	Ⅱ～Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	④	無	Ⅱ	詳細調査を行って、構造物の状態を確実に把握することがのぞましい段階。
旧芦川橋	A 1 橋台	Ⅰ	Ⅲ～Ⅳ	Ⅰ～Ⅱ	②	無	Ⅰ	早めに詳細調査の実施を検討する必要がある段階。

* 自然電位測定によるはつり箇所の鉄筋について判定したものであり、参考値として示した。

** 今回の調査範囲には、ひび割れは見られなかった。

表-4.2 診断書の記載例 (旧桝橋, 診断書 (案))

平成 年 月 日

診断書 (案)

構造物概要

所在地：茨城県那珂郡東海村石神外宿地先

対象構造物：桝橋

調査部位：下部工P2橋脚

竣工工：昭和5年

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 : 50.8 N/mm ² ② : 46.9 N/mm ² 全平均 : 48.8 N/mm ²	—	反発度① : 54.0 ② : 51.1
	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 (0.8m×1m 範囲)	鉄筋間隔(mm) 主 筋 : 240~280 平均 258 配力筋 : 160~250 平均 204 かぶり(mm) 主 筋 : 70 ~136 平均 106 配力筋 : 71 ~106 平均 91	—	—
	実測： 自然電位測定のためのはつり	鉄筋間隔(mm) 主 筋 : — ~— 平均— 配力筋 : — ~— 平均— かぶり(mm) 主 筋 : 132 配力筋 : 102	—	—
鉄筋腐食状況	自然電位 (0.8m×1m 範囲)	測定電位 (mv) 指示率 (%) -350 ≥ E 0.0 -250 ≥ E > -350 37.8 -150 ≥ E > -250 58.1 E > -150 4.1	Ⅱ ~Ⅳ	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：腐食なし	(腐食度④)	—
中性化	フェノールフタレイン法	コア① : 9 mm コア② : 0 mm はつり : 4 mm 全平均 4 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Ⅱと判定され、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。

表-4.3 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：下部工A1橋台

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①：44.8 ②：39.9		
		①	39.3 N/mm ²				
		②	32.9 N/mm ²				
	コア	全平均	36.1 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 (1 m×1m 範囲)	鉄筋間隔(mm)		—	—		
		主 筋：260～390 平均 328					
		配力筋：160～250 平均 182					
		かぶり(mm)					
	実測： 自然電位測定のためのはつり部	主 筋：101～126 平均 116		—	—		
		配力筋：97～123 平均 111					
鉄筋腐食状況	自然電位 (1 m×1m 範囲)	鉄筋間隔(mm)		I	湿潤 30 分後		
		主 筋：— ～— 平均—					
		配力筋：— ～— 平均—					
		かぶり(mm)					
		主 筋：120					
	目視： 自然電位測定のためのはつり部	配力筋：112		(腐食度②)	—		
		測定電位 (mv)				指示率 (%)	
		—350≧E				100	
		—250≧E>—350				0	
		—150≧E>—250				0	
E>—150		0					
中性化	フェノールフタレイン法	コア①：9 mm		Ⅲ～Ⅳ	コア②およびはつり部はジャンカあり		
		コア②：26 mm					
		はつり：59 mm 全平均 31 mm					
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。

表-4.4 診断書の記載例（旧桝橋，診断書）

平成 年 月 日

診断書

構造物概要					
所在地：茨城県那珂郡東海村石神外宿地先					
対象構造物：桝橋					
調査部位：下部工P2橋脚					
竣工：昭和5年 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①：54.0 ②：51.1
		①：50.8 N/mm ²			
		②：46.9 N/mm ²			
	全平均：48.8 N/mm ²				
	コア	圧縮強度：27.1 N/mm ²		—	—
		静弾性係数：2.85×10 ⁴ 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 (0.8m×1m 範囲)	鉄筋間隔(mm)		—	—
		主 筋：240～280 平均 258			
		配力筋：160～250 平均 204			
		かぶり(mm)			
	実測： 自然電位測定のためのはつり	主 筋：70～136 平均 106		—	—
		配力筋：71～106 平均 91			
		鉄筋間隔(mm)			
		主 筋：— ～— 平均—			
		配力筋：— ～— 平均—		—	—
		かぶり(mm)			
		主 筋：132			
		配力筋：102			
鉄筋腐食状況	自然電位 (0.8m×1m 範囲)	測定電位 (mv)	指示率 (%)	Ⅱ～Ⅳ	湿潤 30 分後
		—350≥E	0.0		
		—250≥E>—350	37.8		
		—150≥E>—250	58.1		
		E>—150	4.1		
	目視： 自然電位測定のためのはつり部	腐食状況：腐食なし		(腐食度④)	—
中性化	フェノールフタレイン法	コア①：9 mm コア②：0 mm はつり：4 mm 全平均 4 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)：70～136 全塩化物量(kg/m ³)：0.07～0.09		Ⅳ	—
診断結果*2					
調査部位は損傷度Ⅱと判定され、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。

表-4.5 診断書の記載例（旧芦川橋：診断書）

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：下部工A1橋台

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①：44.8 ②：39.9
		①	39.3 N/mm ²		
		②	32.9 N/mm ²		
	全平均	36.1 N/mm ²			
コア	圧縮強度	15.7 N/mm ²		—	—
	静弾性係数	1.49×10 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 (1 m×1m 範囲)	鉄筋間隔(mm)		—	—
		主 筋：260～390 平均 328			
	配力筋：160～250 平均 182				
	かぶり(mm)				
主 筋：101～126 平均 116					
配力筋： 97～123 平均 111					
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： 120			
配力筋： 112					
鉄筋腐食状況	自然電位 (1 m×1m 範囲)	測定電位 (mv)	指示率 (%)	I	湿潤 30 分後
		－350≧E	100		
		－250≧E>－350	0		
		－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：面錆、断面欠損あり		(腐食度①～③)	—
中性化	フェノールフタレイン法	コア①： 9 mm コア②： 26 mm はつり： 59 mm 全平均 31 mm		IV	コア②およびはつり部はジャンカあり
塩化物イオン含有量	JCI-SC4 (全塩化物)	鉄筋かぶり位置(mm)： 97～126 全塩化物量(kg/m ³)： 1.99～3.55		I ～ II	—

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。

4.2 詳細調査項目に基づく健全度診断

今回の調査では、非破壊検査を利用した定期点検の有効性を検証するため、鉄筋のはつり調査など詳細調査に分類される項目についても一部調査を行ったので、診断マニュアルの「詳細調査」に基づく損傷形態の推定や損傷度の総合評価を試みた。

診断マニュアルや定期点検項目の試験結果をもとに損傷形態を推定すると、旧芦川橋A1橋台は、塩害による損傷が生じていると推定される。一方、旧榊橋P2橋脚では、鉄筋位置における塩化物イオン量が少なく、中性化深さも鉄筋位置まで進行していないことから損傷形態を確定することはできない(旧榊橋は損傷無しと判断し、詳細調査までは行わないのが普通と考えられるが、今回は研究目的ではつり調査等を実施した)。

表-4.6～表-4.7に、損傷度の総合評価を行った結果を示す。その結果、旧榊橋P2橋脚は損傷度D、旧芦川橋A1橋台が損傷度Aとなった。

なお、健全度診断マニュアル(案)の解説によると、補修の可否については、以下の状況にあると考えられる。

①旧榊橋P2橋脚(損傷度D)：

調査を実施した時点では構造物に損傷はなく、当面は補修を必要としない状況

②旧芦川橋A1橋台(損傷度A)：

調査した時点で、構造物の耐久性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であり、補強・補修を早急に実施することが望ましい状況

表-4.6 詳細調査項目に基づく健全度診断（旧榊橋P2橋脚）

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Dと判定される。

表-4.7 詳細調査項目に基づく健全度診断（旧芦川橋A 1橋台）

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Aと判定される。

5. まとめ

実構造物に対して非破壊検査を用い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をあわせて報告した。本報では調査・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た。

今後、他の調査結果³⁾もあわせて、各種非破壊検査の定期点検実務への導入について検討していく予定である。

なお、今回の調査を通して、既存の診断マニュアルの調査方法について、以下のような課題が明らかになった。

(1) 中性化深さの測定方法について

診断マニュアルでは、かぶり深さ程度まではつり出した箇所で試験することを原則としているが、今回のようにかぶりが厚い構造物では、はつり面積が大きくなり、構造物への影響が大きいと考えられることから、必ずしも推奨できない。かぶりが厚い構造物で、中性化深さのみを測定することが目的の場合には、小径のコア等を利用して行うのがよい（今回は、自然電位の測定およびコアの圧縮強度試験のために、それぞれ鉄筋の部分はつり出しおよびコア採取を行ったので、はつり箇所、コアの両方で中性化深さを測定した）。

なお、コア採取孔による中性化深さの測定は呈色反応の境界が明瞭でない場合があることから、採取コア（可能であれば、コアの割裂面）を用いて、中性化深さを測定する方がよい。

また今回、調査を行った旧芦川橋A1橋台では、測定箇所（約1×1m）の範囲中でも中性化深さに大きなばらつきが認められた。このことから、構造物の調査として行う場合の調査箇所数等について、今後検討する必要があると考えられる。

(2) 電磁波法による鉄筋探査

電磁波法によるかぶり厚さの推定では、コンクリートの比誘電率を適切に仮定することが必要である。今回は、自然電位測定のために部分的にはつり出された箇所で電磁波法の測定値とスケールによる実測値を比較して補正を行ったが、構造物に与える影響等を考慮するとかぶり推定のためだけに部分的なはつりを行うことは現実的ではないと考えられる。そこで、実構造物におけるコンクリートの比誘電率の実態や評価法について検討する必要があると考えられる。

(3) 構造物の外観観察

既存の診断マニュアルの「定期点検」では、非破壊検査の測定結果に重点を置き、目視によるひび割れ等の観察については詳述されていない。しかし、通常の構造物調査では、非破壊検査の測定前後に目視で構造物の表面状態を確認することが行われると考えられるので、目視観察結果を含めた判定方法に改めたほうがよいと思われる。

謝辞

今回、行った旧榊橋P2橋脚に対する健全度診断の実施にあたっては、国土交通省関東地方整備局常陸工事事務所、同日立国道出張所のご協力をいただきました。

また、旧芦川橋A1橋台に対する健全度診断の実施にあたっては、国土交通省東北地方整備局秋田工事事務所、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

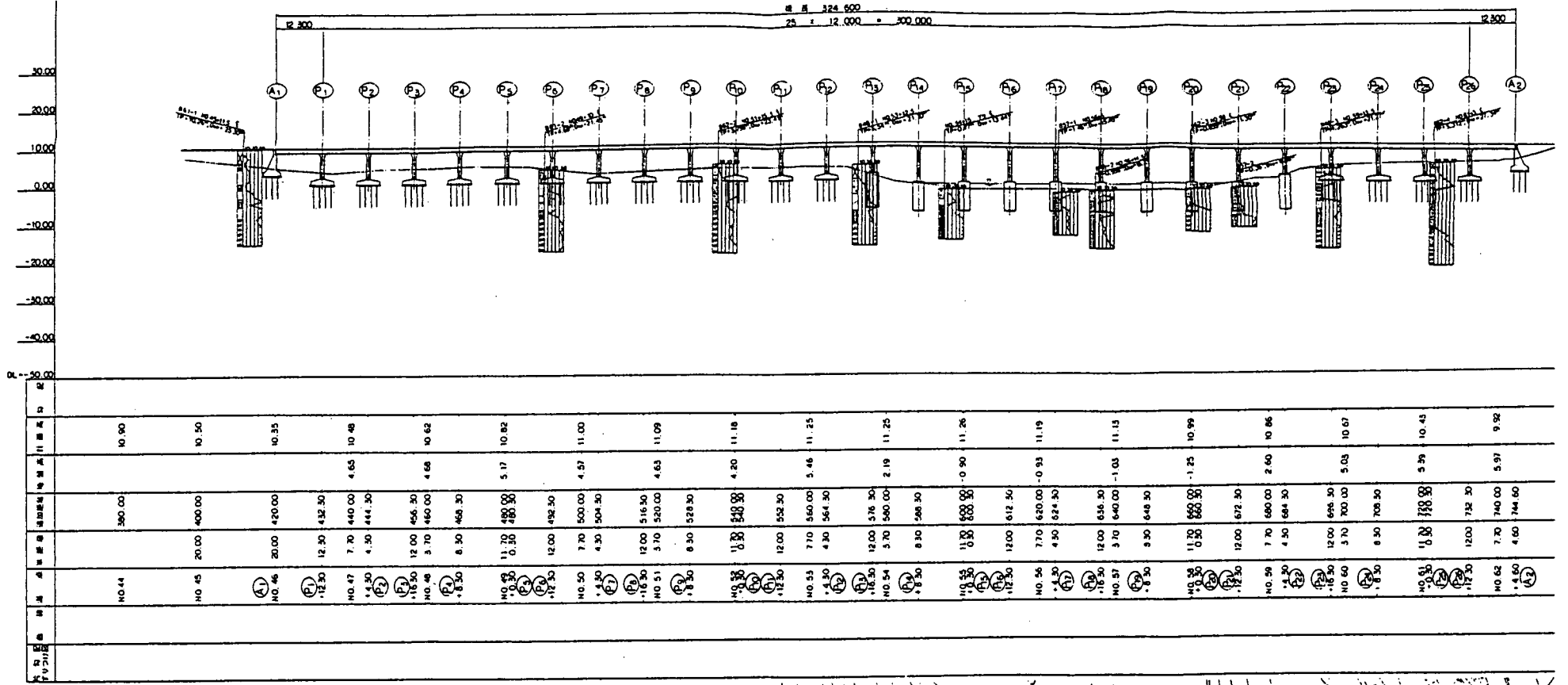
－全般－

- 1) 建設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：「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　－コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）－」共同研究報告書 No. 195，1998. 3
- 2) 建設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：「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　－コンクリート構造物の非破壊検査マニュアル－」共同研究報告書 No. 106，1994. 7
- 3) 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：「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－」共同研究報告書 No. 269，2001. 3

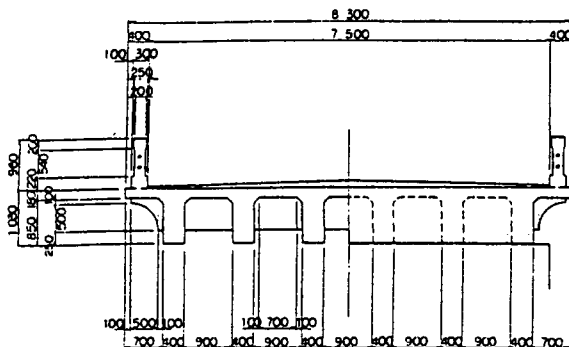
－反発度法－

- 4) 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
- 5) 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
- 6) 徳光善治，松下博通，境吉彦：「PC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
- 7) 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

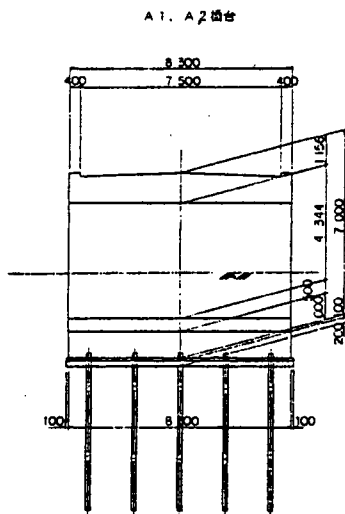
資 料 編



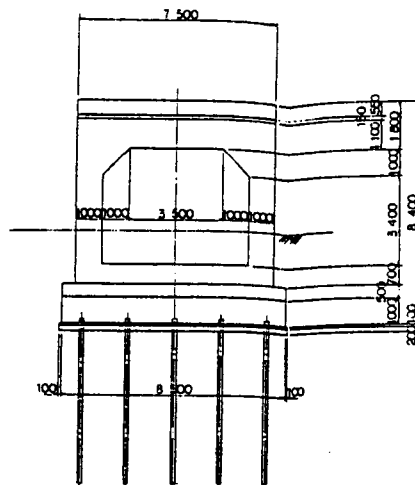
標準断面図 S=1:50



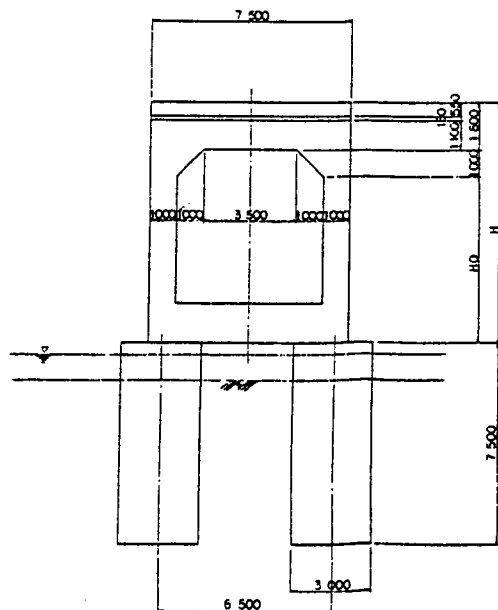
横断面図 S=1:100



P1~P12橋脚、P23~P26橋脚



P13~P22橋脚

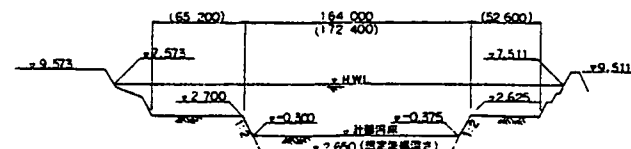


設計条件

橋 長	324.60m (11.98m×27間)
橋 格	大正15年 内務省示 第二種
荷 重	TL-8
幅 員	8.30m (有効7.50m)
形 上 部 工	RC連続T桁橋
下 部 工	半重力式橋台、RCラーメン橋脚
式 基 礎 工	松杭 (高水側)、井筒 (低水側)
床 版	RC床版 t=21.0cm
舗 道	アスファルト舗道 t=7.0cm
築 設	昭和5年8月、茨城縣施工
河 川 名	一級河川 久慈川 (Q=4000t/sec)
適用示方書	大正15年 内務省示

河川計画断面図 (新橋上り線)

計画高水流量 Q=6,000l/sec



注()内は橋軸方向寸法を示す。

工 事 名	工事
図 面 名	新橋旧橋一般図
縮 尺	1/500 (縮尺番号 10の1)
設計年月日	平成10年 3月 8日
製 図 者	常陸工務事務所

橋梁の構造及び工事概要調査書

作成 44年 12月 20日

東北地方建設局

整理番号	9	橋梁名	芦川橋	事務所名	秋田 工務事務所	路線名	一般国道 7号	橋の種別 (該当欄に○) 種別を付ける	川橋	橋の種別	橋	
工事竣工年月日	昭和41年 9月 日	架橋地点名	秋田 県 本荘 町 本荘 村	河川名	芦川	歩道の有無	有	照明設備の有無	有	無	基	
橋梁の構造及び工事概要	下部工				上部工 (設計荷重 TL 20t、斜角、曲線の有無)							
	工事区分	橋台	橋脚	工事区分	橋梁							
	① 基礎	② 橋台	③ 基礎	④ 橋台								
	施工年度				施工年度	昭和41年						
	型式	拱橋式橋台			型式	ポストテンションT型単純形						
	基 礎				橋 長	25.0m						
	平均高	(根入深さ)			連 数	1						
	杭の品質・規格				支 間 割	P1 15.0m						
	コンクリートの設計基準強度				巾 員 構成	P.O. (S.F.)						
	設計単位セメント量				橋体総重量(t)	292.75t						
	請負会社名				コンクリートの設計基準強度	主部 橋脚 4号 52.400% 支間 高上 52.300%						
	総工事費(千円)				設計単位セメント量	主部 橋脚 4号 6.450% 支間 高上 6.300%						
				(工場塗装) クレートの種類	塗料名 無 種							
下部工 総工事費(千円)				(現場塗装) 上塗ペイン名								
				請負会社名								
注 1. 工事区分を分割しないで施工した場合の総工事費は、まとめて記入する。				総工事費(千円)								
				上部工 総工事費(千円)								

① ② ③ ④

