ICUS/INCEDE REPORT 2003-02

INTERNATIONAL CENTER FOR
URBAN SAFETY ENGINEERING

INSTITUTE OF INDUSTRIAL SCIENCE
THE UNIVERSITY OF TOKYO

CONSTRUCTION OF A DATABASE FOR DETERIORATED CONCRETE BRIDGES

- Field research report in company with RNUS -

Edited by

Yoshitaka Kato, Somnuk Tangtermsirikul and Taketo Uomoto
ICUS/INCEDE, The University of Tokyo, Japan

ISBN4-9901475-3-7

Serial Number 3

Construction of a database for deteriorated concrete bridges
- Field research report in company with RNUS -

by

Yoshitaka Kato, Somnuk Tangtermsirikul and Taketo Uomoto

ICUS/INCEDE Report No.3

October 2003

International Center for Urban Safety Engineering

Construction of a database for deteriorated concrete bridges
- Field research report in company with RNUS -

by

Yoshitaka Kato, Somnuk Tangtermsirikul and Taketo Uomoto

ICUS/INCEDE Report No.3, October 2003

ABSTRACT

In the Asian area, the fragility of a structure, which is based on the defect of design criteria, inadequate construction management and maintenance management, etc., becomes to be a big problem. Moreover, those structures were built at the same time during the growing economy. That means it is clear that we should be faced with a lot of problems at the same time in near future. Therefore, we have to make a solution for these problems. Otherwise it is clear that we have a big damage for society and economy of Asia. In order to deal with the problem, the International Center for Urban-safety Engineering (ICUS) focuses on research activities with advanced technology tools such as numerical models, remote sensing, GIS, GPS, etc. for devising appropriate methodologies for management and maintenance of urban buildings, infrastructures, mitigation of urban disasters and environmental problems for sustainable development of Asian cities with adequate safety and security.

ICUS and the School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology (AIT) established a Regional Network Office for Urban Safety (RNUS), at the AIT's School of Civil Engineering (SCE). RNUS is utilized in order to carry out the above-mentioned project. RNUS has successfully initiated two joint projects on 1) Study of making a database for the deterioration of concrete bridge and 2) Urban Flood Risk Mapping using GIS, RS and Mathematical Model in Bangkok. This report describes the outline of project 1).

Until now, investigation about the deterioration of RC bridge in a metropolitan area (Japan) and Bangkok (Thailand) was conducted. The objects of investigation in metropolitan area (Japan) are 9 RC bridges. Visual inspection, the digital camera inspection, and the infrared thermograph inspection were performed. And the objects of investigation in Bangkok are 11 RC bridges. Visual inspection, compressive strength, by Schmidt hammer, and the investigation of carbonation depth were carried out.

コンクリート橋梁のデータベース作成のための基礎調査（日本版）

目　　次

INFORMATION ACQUISITION AND STRUCTURAL HEALTH MONITORING OF BRIDGES IN BANGKOK

TABLE OF CONTENTS

コンクリート橋梁のデータベース作成のための基礎調査（日本）

1. はじめに

本研究の目的は「アジア諸国の都市化地域を対象とした構造物を含めた地域脆弱性の継続的定量評価手法の提案とそのためのデータベースの構築」である。本研究の対象エリアである東アジアや東南アジア地域では，設計基準の不備，不十分な施工管理や維持管理等を理由として，都市を構成する各種の構造物の脆弱性が大きな問題となっている。この問題の重要性は，地震などの特別な外力が作用しない状態でも構造物が崩壊してしまう事故が多発している事実からもはっきりしている。またこれらの地域では急激な地域開発が行われていることが多く，品質に問題のある構造物が建設ラッシュ期に集中的に造られていることから，近い将来に時期を同じくして問題が顕在化してくる可能性が高い。早急にこの問題に対する解決策を提示しない限り，今後，これがアジア諸国に対して社会的・財政的に大きな問題を与えることは自明である。

この問題に対処するには，構造物をはじめとする地域データ整備が不可欠であるが，アジア地域でこれが整備されているところは少なく，建物一棟ずつ調べてデータベース化するなどの手段は現実的ではない。そこで本研究では，これらの地域をカバーできる地球観測衛星データを活用して，地域における市街地化の時系列情報を収集するとともに，現地調査に基づいて市街地化の進行時期ごとの建築構造物をはじめとする地域のデータベース化をはかる。さらに，このデータを活用して脆弱性評価モデルを構築し，アジア諸都市のどの地区が，将来のどの時期に構造的な危険が生ずるかを予測することが可能となるシステムの提案を目的としている。データベースの整備として，日本はもちろんのこと，アジア諸国の中でも問題の切迫性の高いタイのバンコク市を対象として開始し，順次その対象を拡大する予定である。

都市基盤安全工学国際研究センター（以下，ICUS）では，2002年10月にタイのアジア工科大学院（以下，AIT）にリエゾンオフィスを設置し，タイの大学に属する研究者と共同で上記のプロジェクトを開始した。本プロジェクトは幾つかのWGで構成されており，本報告書は構造物調査WGで行った2002年度の成果を報告するものである。今年度は，首都圏（日本）とバンコク市（タイ）において鉄筋コンクリート構造物を調査した結果をとりまとめた。本報告書は，首都圏を対象として実施したものである。

構造物調査WGの目的は，構造物の劣化状態を定量的に把握し，この結果をGIS上にマッピングすることによりデータベースを構築することである。構造物の劣化状態を評価する手法としては，日常点検程度の目視検査，デジタルカメラや赤外線カメラ等の非接触型測定機器を用いた調査ならびに非破壊試験器を用いた詳細調査，コアリング等により採取したコンクリート片の直接調査などが考えられる。また，遠隔監視による橋梁モニタリングシステムなどもその手法の一つといえる。本研究では首都圏に位置する鉄筋コンクリート橋梁9橋において日常点検程度による目視検査とデジタルカメラと赤外線カメラを併用した健全度調査を行った。調査は主に，

主桁と床版におけるコンクリートのひび割れと剥離，鉄筋露出等を対象とした。さらに9橋のうち代表的な2橋においてはさらに，非接触型の試験としてまだ実用化されていないレーザードップラー振動計，マルチスペクトルカメラと実用化されつつある赤外線カメラの3種類を利用して詳細調査を行った。その報告と問題点と考えられる改良点を考察した。

2. 簡易橋梁点検の概要

2.1 調査対象橋梁の位置

東京・横浜・千葉の3国道工事事務所管内の橋梁のうち，今回調査を行ったコンクリート橋の諸元を表-2.1に示す。また，各橋梁の位置を図-2.1に示す。なお，今回調査を行った橋梁は，上部工に損傷（損傷度ランクII）のあるコンクリート橋である。

表-2.1　対象橋梁の諸元

視察日	橋梁名	路線	橋長(m)	有効幅員(m)	径間数	支間長(m)	示方書	設計荷重	架設年(年)
8月20日	東六郷高架橋	15	150.06	13.7	6	18.05	S55	TL20	S58
	下赤塚高架橋	17	111.5	17.4	7	15.00	S39	TL20	S46
	新葛飾橋取付高架橋	6	163	24	17	10.00	S31	TL20	S39
	矢切高架橋	6	259.5	18	16	16.40	S31	TL20	S40
8月21日	小余綾高架橋	1	1098.9	17	50	29.80	S39	TL20	S41
	秦野大橋	246	160	11.5	5	60.01	S31	TL20	S37
	今川橋梁	16	18.09	39.4	1	17.55	S47	TL20	S48
8月22日	境橋	16	62.7	12.1	3	30.00	S39	TL20	S42
	富貴橋	127	30	9.5	2	15.00	S39	TL20	S47

図-2.1　対象橋梁の位置情報

2.2 調査の詳細

調査は日常点検程度の試験を行った。目視およびデジタルカメラと赤外線カメラで撮影を行い，定性的に評価した。調査対象は(1)主桁のひび割れ，剥離・鉄筋露出，(2)床版のひび割れ，遊離石灰である。

3. 簡易橋梁点検の結果

3.1 橋梁調査の様子

写真-3.1 は橋梁における現地踏査状況を示した。


写真-3.1　各橋梁における現地踏査状況

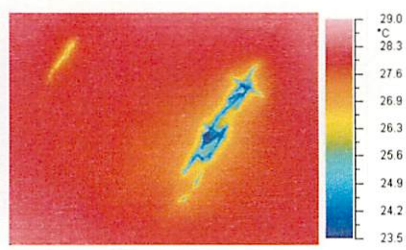
3.2 各橋梁の調査結果

各コンクリート橋梁についての評価，得られた知見ならびに調査中に撮影したデジタルカメラ，赤外線カメラの写真を橋梁ごとにまとめた結果を以降に示す。

橋梁名：東六郷高架橋
上部工形式：単純 PC プレテン中空床版
交差状況：道路
大型車交通量(台/日)：6000
損傷状況(主桁，横桁)：主桁ひびわれ(径間 6)
損傷状況(支承)：腐食
損傷原因：収縮，漏水
損傷進行性：
モニタリングの着眼点：活加重

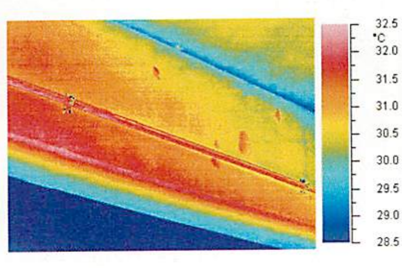
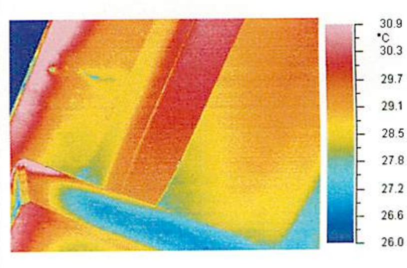
所見

・支点付近の鉛直方向のひび割れはせん断ひび割れと考えられるが，ひび割れ発生の原因を究明すべきである（計算書をチェックして，スターラップが D13 でよいか確認する等）

		
せん断ひび割れと考えられる斜めひびわれ	床版下面の漏水によるコンクリートのつらら	床版下面の鉄筋の露出
		
箱桁側面に等間隔に発生しているひび割れ	支点近傍のせん断ひびわれ	床版下面，温度の低い部分が漏水部

橋梁名：下赤塚高架橋
上部工形式：3 径間連続 RC T 桁橋
交差状況：道路
大型車交通量(台/日)：2747
損傷状況(主桁，横桁)：主桁ひび割れ等，横桁ひび割れ等
損傷状況(支承)：腐食
損傷原因：活加重
損傷進行性：
モニタリングの着眼点：活加重の影響による RC 桁のひび割れの進行

所見
・高架下を自由に使えるため，計測を行うには便利である
・コールドジョイントや遊離石灰がある．遊離石灰は水の影響により発生，中に空洞のある可能性もある
・赤外線法により，浮きが数カ所見つかった

		
主桁の損傷，かぶり不足によるスターラップの露出	コンクリート塊の剥落	横桁，ハンチ部のひび割れ
		
主桁のひび割れ	主桁側面コンクリートの浮き，剥離	床版張出し部のコンクリート剥落

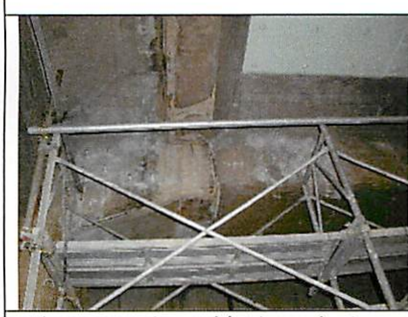
橋梁名：新葛飾橋取付高架橋
上部工形式：ゲルバーRC T 桁橋
　　　　　　ゲルバーRC ラーメン橋
交差状況：公園等
大型車交通量(台/日)：6240
損傷状況(主桁，横桁)：
損傷状況(支承)：
損傷原因：活加重，不等沈下
損傷進行性：有
モニタリングの着眼点：活過重の影響によるRC桁のひび割れの進行，補修後の性状の検討

所見
・ゲルバー部に損傷が見られる。不同沈下の影響も考えられる
・新橋（拡幅部）も同じ構造のため，同じような損傷が発生すると予想できる
・拡幅部との接合部の旧コンクリートと新コンクリートが一体化されていない箇所においては，今後剥落する危険性があるため，何らかの対応が必要である

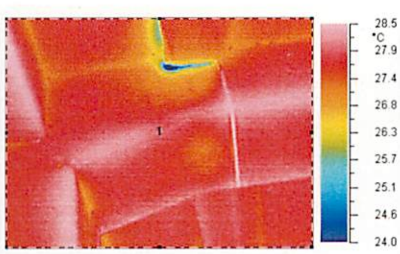
ゲルバー部の損傷

拡幅部との結合部において，新旧コンクリートが一体化していない

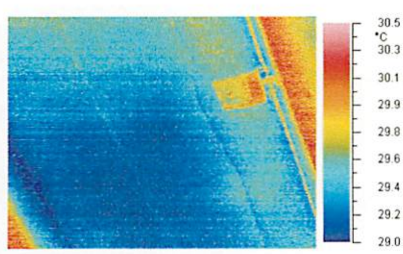
主桁，横桁の損傷
床版部は，鋼板接着補強済



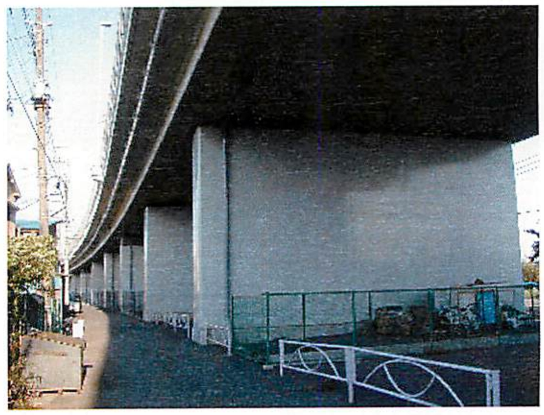
ゲルバー部の補強工事中



低温部で漏水，滞水

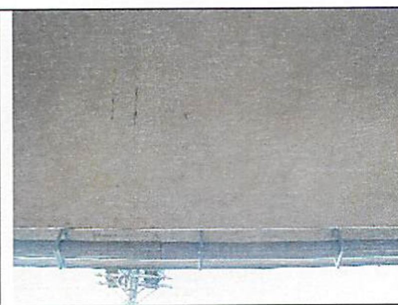
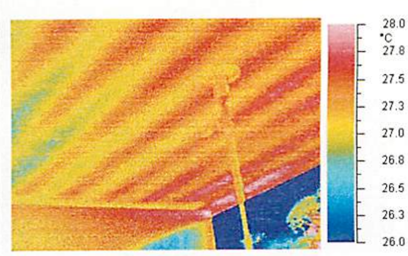


新旧コンクリートの打ち継ぎ目



橋梁名：矢切高架橋
上部工形式：連続 RC 中空床版
交差状況：道路
大型車交通量(台/日)：5818
損傷状況(主桁，横桁)：主桁ひび割れ
損傷状況(支承)：腐食
損傷原因：活荷重
損傷進行性：有
モニタリングの着眼点：活荷重の影響による RC 中空床版のひび割れの進行

所見
・水抜き穴の充填不良が数箇所ある
・赤外線カメラにより，ボイドの位置は確認できる
・補修をしていない区間については，今後補修をする前に調査を行って最適工法を選定する必要がある
・ボイドの中にカメラを入れてボイドの中の状況（滞水等）を確認する必要がある
・吹付け塗装は付着が悪いため，本来は主鉄筋の裏側まではつって断面修復を行うべきである.

		
鉄筋の露出と遊離石灰の溶出	鉄筋の露出とかぶりコンクリートの剥落	補修部の鉄筋露出
		
ジョイント部の損傷	ホロースラブ下面	温度差によってボイド部分が確認できる

橋梁名：小余綾高架橋
上部工形式：単純 PC ポステン T 桁橋
交差状況：海浜
大型車交通量(台/日)：3010
損傷状況(主桁，横桁)：主桁ひび割れ・錆汁，横桁ひび割れ・錆汁
損傷状況(支承)：腐食
損傷原因：塩害
損傷進行性：有
モニタリングの着眼点：塩害の影響による劣化の進行

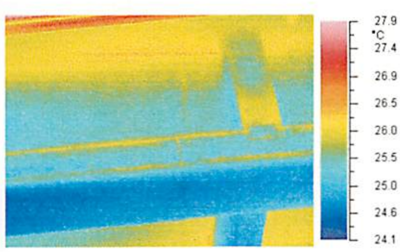
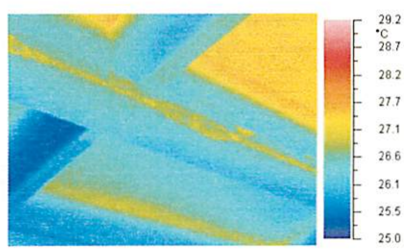
所見

・塩害による劣化が非常に大きい。特に P50～P58 は主桁の表面塗装が行われておらず，はく離，はく落が多い

・P55 付近では，海側から，県道（PC プレテン桁），国道（PC ポステン桁），国道ランプ橋（PC 中空床版橋），自転車道（PC プレテン桁）が平行しているが，それぞれに損傷の特徴がある。県道（PC プレテン桁）は，はく離等の損傷が激しいが，国道ランプ橋（PC 中空床版橋），自転車道（PC プレテン桁）はそれほど損傷していない

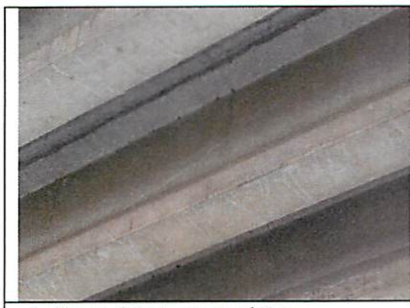
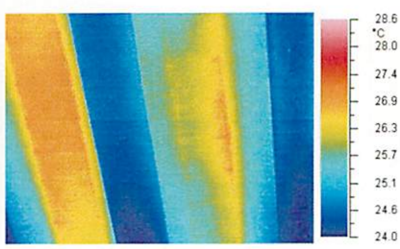
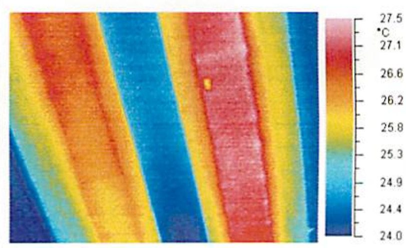
・P1～P7 における主桁はスパン 1/3 点において施工目地がある。当時の施工方法を確認する必要がある（ヤードで主桁をブロック分割施工後，架設後 PC 鋼材で緊張して一体化等）

・P6～P7 における主桁 G6 の支間中央下面において橋軸直角方向のひび割れが数本ある。プレストレスの不足が原因であると考えられる

		
主桁の鋼材露出，腐食が著しい	主桁の施工目地	場所打ちの横桁の損傷
		
塗膜の剥がれ	施工目地	かぶりコンクリートの剥落

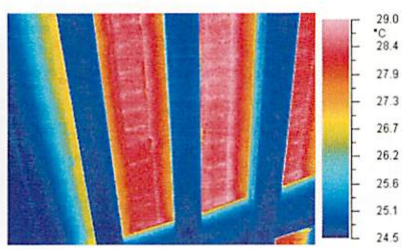
橋梁名：秦野大橋
上部工形式：単純 PC ポステン T 桁橋
交差状況：河川
大型車交通量(台/日)：3170
損傷状況(主桁，横桁)：主桁ひび割れ・錆汁，
横桁鉄筋露出・遊離石灰
損傷状況(支承)：腐食
損傷原因：施工不良
損傷進行性：
モニタリングの着眼点：PC 主桁のひび割れの進行

所見
・主桁の斜めひび割れは，PC グラウト充填不良やシースの腐食等が原因と考えられる。今後，錆汁が出てくるようであれば何らかの対応が必要である。主桁上縁において PC 定着されているようであれば，水の浸入等も考えられるため，設計図により PC の配置を確認する必要がある
・調査法は，X 線法，自然電位法等が考えられる

		
主桁の斜めひび割れ	主桁のひび割れ，遊離石灰の溶出	場所打ちコンクリートの施工不良
		
剥落部の補修跡	かぶりコンクリートの浮き	床版部の漏水等

橋梁名：今川橋梁
上部工形式：単純 PC プレテン T 桁橋
交差状況：道路
大型車交通量(台/日)：17876
損傷状況(主桁，横桁)：主桁剥離・鉄筋露出
損傷状況(支承)：
損傷原因：
損傷進行性：
モニタリングの着眼点：活荷重の影響による PC 桁の検討

所見
・プレテン桁よりも横桁（場所打ちコン）および接合部に損傷が多い

		
場所打ち部の鉄筋露出	かぶりコンクリートの剥落・剥離	張出し部の劣化
		
支点近傍の損傷	床版部分のコンクリートの浮き，剥離の可能性有	張出し部の劣化

橋梁名：境橋

上部工形式：単純 PC ポステン T 桁橋

交差状況：河川

大型車交通量(台/日)：11370

損傷状況(主桁，横桁)： 主桁遊離石灰，横桁鉄筋露出

損傷状況(支承)：

損傷原因：塩害，施工不良

損傷進行性：有

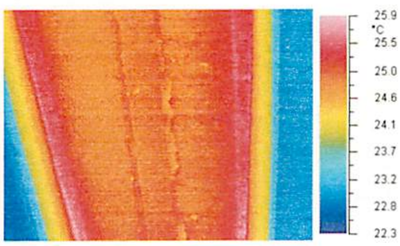
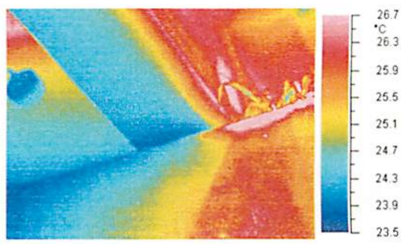
モニタリングの着眼点：かぶりの不足している PC 桁の検討，塩害の影響による劣化の進行

所見

・上流側の主桁の下面に，はく離損傷がある。施工時，剥離剤が塗布されていなかったか，剥離剤を塗りすぎたことが原因と考えられる

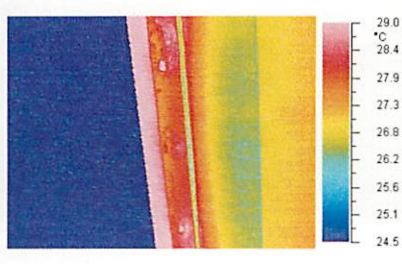
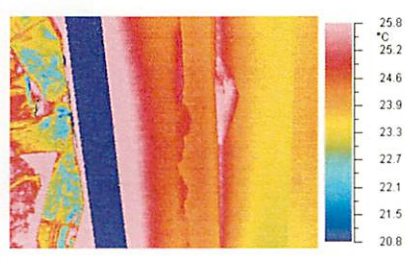
・全体的には主桁よりも横桁（場所打ちコン）および接合部に損傷が多い。海に近いが主桁の塩害劣化程度はあまり大きくはない

・床版補強（繊維系）が行われているためその詳細を知る必要がある

		
主桁の剥離損傷	床版部分の繊維系補強	PC 部と場所打ち部の一体化されていない
		
場所打ち横桁の損傷	PC 部と場所打ち部の界面	高音部は浮き，剥離の可能性あり

橋梁名：富貴橋
上部工形式：単純 PC プレテン T 桁橋
交差状況：河川
大型車交通量(台/日)：630
損傷状況(主桁，横桁)：主桁鉄筋露出，横桁鉄筋露出
損傷状況(支承)：
損傷原因：塩害
損傷進行性：有
モニタリングの着眼点：塩害による劣化の進行

所見
・塩害による劣化が大きい
・プレテン桁よりも横桁（場所打ちコン）および接合部に損傷が多い
・プレテン桁内に PC 鋼材の切れている箇所があり，主桁プレストレスが設計値よりも低い可能性がある。計算書を調べて，耐力のチェックを行う必要がある。
・電気防食は高価なため，その適用にあたっては十分な検討が必要である
・表面塗装を行えば，劣化進行速度を少なくとも現状よりも抑えることができる

		
場所打ち横桁の鉄筋露出	主桁のかぶりコンクリート剥落，鉄筋露出	横桁の劣化
		
主桁のひび割れ(左) プレストレスの低下の可能性有り	張出し部の浮き，剥離	主桁下面の浮き，剥離の可能性有り

4. 詳細調査の概要

4.1 調査対象橋梁

詳細調査は次の 2 橋において行った。

番号	橋梁名	対象劣化原因	試験方法
(1)	下赤塚高架橋	疲労	試験車を用いた載荷試験
(2)	小余綾高架橋	塩害による鉄筋腐食	床版下面からの調査

4.2 試験概要

対象とした橋梁ごとの試験方法を以下に示す。

(1) 下赤塚高架橋

写真-4.1 に示すような荷重既知の試験車（20tf : 3 軸車）を用いて動的測定を実施した。各車線（上り，下り）において，試験車通行時に計測を実施した（3 往復）。測定は桁の振動をレーザードップラー振動計により測定した。

(2) 小余綾高架橋

床版下面から赤外線カメラ，マルチスペクトルカメラを用いて測定を行った。赤外線カメラでは床版に塗布された表面塗膜材の剥離検査ならびにコンクリート片の剥落，鉄筋露出などを調査した。マルチスペクトルカメラにおいてはコンクリート表面に付着している塩化物イオン量の測定を試みた。

写真-4.1　下赤塚高架橋を走行する試験車

写真-4.2　小余綾高架橋の全景

4.3 試験方法

橋梁に適用した試験方法の概要とその適用範囲を示す。

4.3.1 レーザードップラー振動計

【原理】

ある分子が光エネルギーを蓄えると励起状態になることを吸収という。その一方で励起している分子が，ある特定の光によって刺激を受けた時には，分子はその光と全く同じ波長を持つ光を，やってきた光と同じ方向に，かつ同じ位相で放出する。このような原理を用いた光をレーザー光といい，レーザー光には，その方向に進む光は何かに遮られない限り，弱まらずに進んで行くという性質をもつ。

このような特色を持つレーザー光を用いて距離を測定する技術が開発され，様々な分野で応用されている。レーザー光を発射すると物体の逆反射により反射された光を発射した地点で受信することで，その往復に要した時間を計測することが可能となる。これを応用して，測点間の距離の変化を継続的にモニタリングすることで反射点の移動を計測することができる。

【適用範囲】

上記のような原理のもと，写真-4.3に示すような機材を用いて様々な社会基盤構造物の微動を計測することが可能である。適用範囲として，あらゆる建築・土木構造物における地震のような震動による変状，常時微動や固有振動数，風や荷重などの外部要因による変形などを測定することが可能である。今回の場合，比較的難しいと考えられるコンクリート橋に適用を試みた。コンクリート床版に走行する比較的重量のある車両が引き起こす床版・梁の変形を計測することが目的である。レーザードップラー振動計のもっとも優れている点は構造物に非接触で振動を測定できる点にある。そのため，構造物への様座な計測機器の取り付けが必要なく簡易に計測することが可能である。

写真-4.3　レーザードップラー振動計の設置状況

4.3.2 赤外線カメラ

【概要】

赤外線サーモグラフィとは，物体表面から放出される赤外線を，検出素子を用いて二次元的に走査し，検出された赤外線量を映像として表示する方法であり，航空機・プラント・電子基盤等の異常放熱部の検出方法として，また，医学における健康診断法の一つとして早くから利用されてきた。余談ではあるが，その健康診断法の一例として成田空港において SARS 感染の未然防止として，海外からの帰国者の体温を計測している。

タイル・モルタルの浮き部，コンクリート中のジャンカ，空洞，漏水部等，構造物中に欠陥が存在する場合は，熱伝導率，比熱等の熱的性質が健全部と異なる。健全部と欠陥部の熱的性質の違いは，気温や日射，あるいは人工的な過熱・冷却に起因して生じる構造物の温度変動の中で，表面温度の差となって現れる。土木・建築分野におけるサーモグラフィ法とは，赤外線映像画像装置を用いて物体の表面温度分布（熱画像）を測定し，熱画像上に現れる表面温度異常部から，内部欠陥の存在を推定する方法である。

【測定原理】

絶対零度以上の温度を持つ物体はその表面から赤外線を出しており，その放出量は物体の温度と密接な関係をもっていることが知られており，物体から放出される赤外線の量・波長は，物体の表面度および放射率によって決まることから，赤外線センサを用いて物体の放射する赤外線を測定することで表面温度を知ることができ

る。赤外画像装置は赤外線センサを用いて物体表面を二次元的に操作し，表面温度分布を映像化する装置で，得られた熱画像をサーモグラフィと呼んでいる。

サーモグラフィ法による欠陥検出の原理を図-4.1に示す。図-4.1からわかるように，サーモグラフィ法は，内部に生じた空隙が断熱層となり，日射や気温変化に起因して生じる表面温度の日変動の中で，図-4.2に示すように欠陥部と健全部との間に表面温度差が生じる時間帯があることを利用して，内部欠陥を検出する手法である。ただし近年は，構造物を人工的に過熱して強制的に欠陥部と健全部の間の温度差を生じさせる手法も実用化されている。

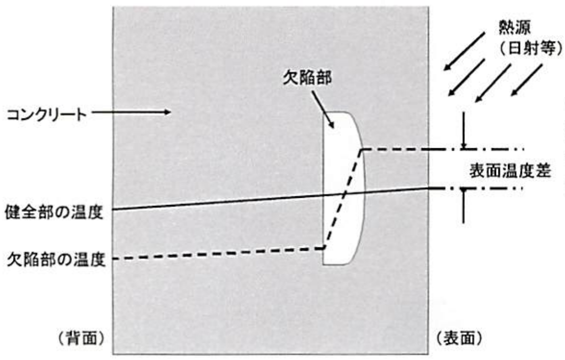


図-4.1：欠陥検出の原

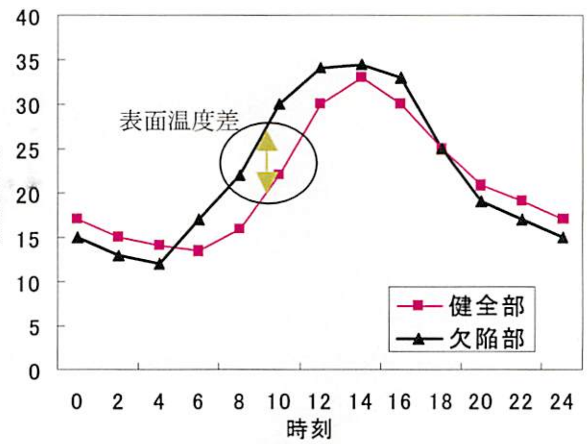
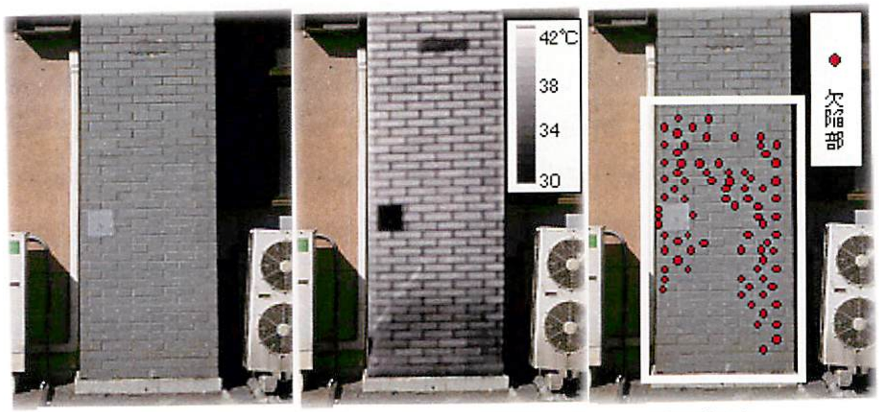


図-4.2：健全部と欠陥部の表面温度変化

【適用範囲】

赤外線装置は，一言で言えば，物体の表面温度分布を映像として記録できる温度計であるといえるが，構造物の非破壊検査の分野は，非接触で高速に大面積の測定ができるという長所が生かせるため，注目されている分野であり，現在，下記に示すように多くの利用方法がある。今回は①に示す橋梁診断を行ったので，それについて説明をすることとする。また写真-4.4と写真-4.5は築30年以上を経過した元東京大学物性研究所所内の研究棟の調査結果を一例としてしめす。

① 橋梁床板のコンクリート浮き（剥離）調査
② 壁仕上げ材の浮き（剥離）調査
③ 吹きつけ法面の老巧化調査
④ トンネル覆工コンクリートの浮き（剥離）調査
⑤ 連続繊維補強材の施工不良調査
⑥ 各種構造物の漏水調査
⑦ 住宅の断熱性能の評価



デジタルカメラ　・サーモグラフィ　打音法

の剥離診断結果

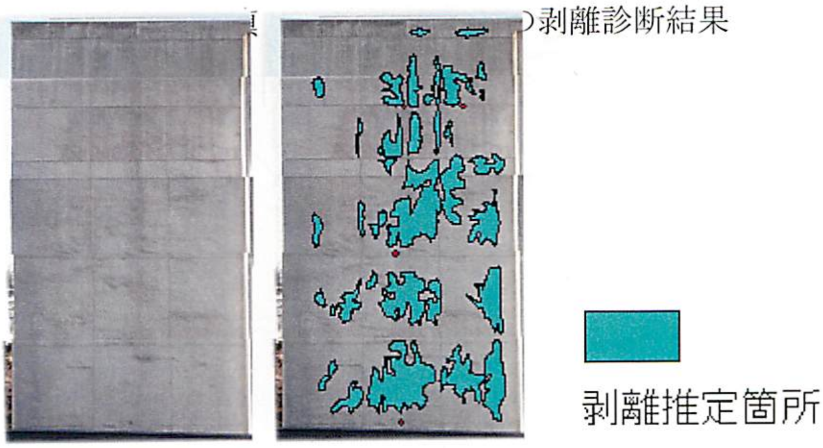


写真-4.5　赤外線サーモグラフィ法による端壁の診断結果

4.3.3 マルチスペクトルカメラ

【測定原理】

マルチスペクトル法とは地球上のあらゆる物質が固有の仕方で電磁波を反射，または放射する性質を利用したものである．この性質を分光特性といい，この特性を用いて，構成成分を特定する方法が実用化されている．人間の目は電磁波のうちの可視域とよばれる極めて狭い範囲しか観測することができないが，リモートセンシングでは，近赤外域，熱赤外域，マイクロ波帯域など様々な波長帯が利用される．また，高い波長分解能で対象物のスペクトル特性を計測する技術をハイパースペクトルリモートセンシングという．この技術により，可視，近赤外，短波長赤外域(400～2500nm)の波長域で分解能 10nm 以下でスペクトル特性を連続的に観測できるようになった．物質によってどのように反射率が変化するかを示すスペクトルを図-4.3 に示す．物質によって，そのスペクトルが多様であることがわかる．また目に見える領域(0.38～0.78μm)以外でも反射率が変化しており，植物でもパターンは

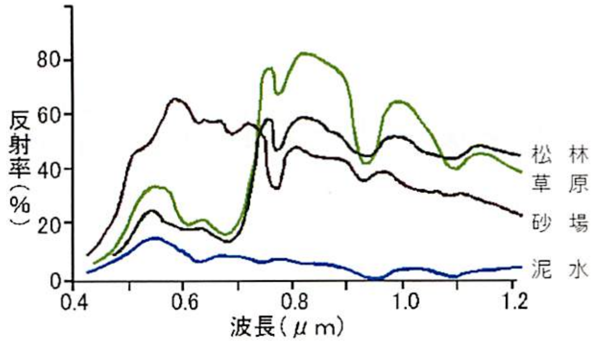


図-4.3　分光反射率特

似ているがその種類によって反射率が異なることが確認できる．この分光特性を用いて，コンクリート表面の塩化物の検出を試みた．

【予備実験(室内実験)】

一般にコンクリートのような白色固形物は，近赤外線も反射するため，植物のように反射，吸収のピークを持っておらず，検出をすることは難しい．また塩化ナトリウムに関しても近赤外域に顕著なピークを有しないことが確認されている．

(1) 供試体

塩化物単体での検出は難しいため，土木学会コンクリート標準示方書(維持管理編)のコンクリート表面塩化物イオン濃度と鉄筋の腐食発生限界濃度を想定して，塩化ナトリウムを混入した4×4×16cmのモルタル供試体を作成し，気乾養生を行った．供試体作成時には，塩化物濃度が不均一にならないように材料分離に注意し，養生後，コンクリート表面の塩分量を分析した．

表-4.1 コンクリート表面の塩化物イオン濃

表面における塩化物イオン濃度 Co(kg/m^3)						
飛沫帯	海岸からの距離(km)					腐食発生限界
	汀線付近	0.1	0.25	0.5	1.0	
13.0	9.0	4.5	3.0	2.0	1.5	1.2

表-4.2 配合表

W/C	単位量(kg/m^3)		
	S	C	W
50%	1397	576	288
供試体 No.	塩化物混入量(kg/m^3)		
N	無混入		
1	1.2		
2	1.5		
3	2.0		
4	3.0		
5	4.5		
6	9.0		
7	13.0		

(2) 測定方法

分光特性の測定は，暗室内で GER 社製ポータブルスペクトルメーターを用い，図-4.4 のように測定面に対して 45°の入射角度で光源を一定保ちながら行った．分光反射率を算出する基準白板として，硫酸バリウム板を用いた．測色技術の観点から見ると，完全拡散反射面というすべての波長の光を 100%反射する白色が基準になり，それに対する反射率の比を絶対反射率という．完全拡散反射面は実物が得られないため，硫酸バリウム($BaSO_4$)粉末の圧着面を完全拡散反射面と仮定し標準白色面として用いる．標準白色面の分光反射率曲線はすべての波長において，99%前後の一様な高い反射率を示す．

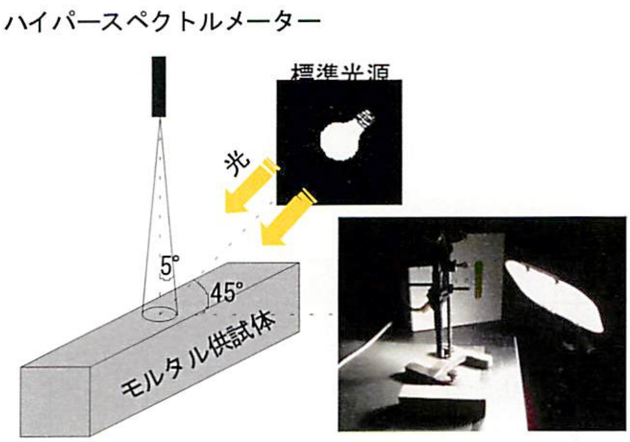


表-4.3 スペクトルメーターのスペ

Spectral Range	Bandwidth	
	350nm〜1050nm	1050nm〜2500nm
350nm〜2500nm	1.5nm	11.5nm
Digitization	Wavelength Repeatability	Sighting
16bit	+0.1nm	Laser

(3) 供試体のスペクトル計測

供試体の分光反射率は，次式のように測定された放射輝度を，同一条件で測定された白板の放射輝度で除することで算出できる．

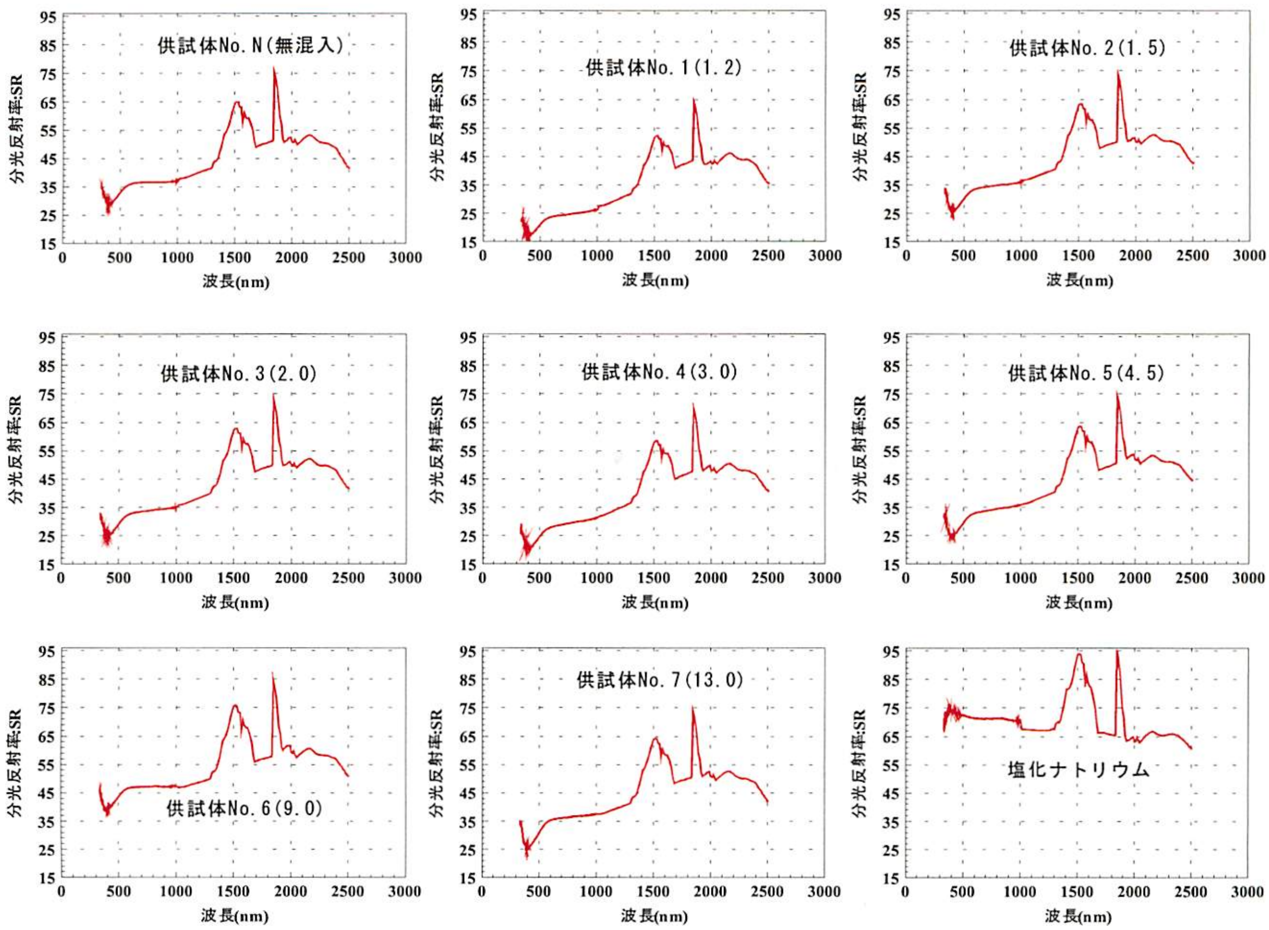


図-4.5　供試体と塩化ナトリウムの分光反射率 ( )内は塩化

$$\text{分光反射率} = \frac{\text{供試体の放射輝度}}{\text{標準白板の放射輝度}} \qquad (1)$$

上式から，見かけの分光反射率を求め，この値を用いて供試体の分光特性を評価する．図-4.5 に測定したスペクトルから算出された各供試体と塩化ナトリウムの分光反射率を示す．グラフから見てとれるように，同様なパターンを示しているが，供試体ごとに分光反射率がばらついており，供試体中の塩分濃度が増えても，分光特性の変化に関する特有の傾向は確認できない．

実験条件を厳密に同じに設定しても，供試体表面そのものの色，ムラ，気泡等によって，光の反射率が異なることが原因と考えられる．したがって，分光反射率の値そのもので，供試体中の塩分濃度を推定することは困難である．

(4) 1 次微分スペクトルの導入

分光反射率の値は，測定条件，状態によって影響を受ける．また，フィールドでの測定では測定毎に条件，状態が刻々と変化することが考えられる．よって，スペクトルの形状が構成物質の特徴を表していると考え，式(2)のように各波長における傾きを表す 1 次微分スペクトルを導入した．

$$dSR_i = \frac{SR_{i+1} + SR_{i-1}}{\Delta\lambda} \qquad (2)$$

ここに，$\Delta\lambda$：波長間隔，dSR_i：分光反射率の 1 次微分値，SR_{i+1}・SR_{i-1}：SR_iを中心とする i+1 と i-1 の分光反射率

図-4.6 に各供試体と塩化ナトリウムの各波長における 1 次微分スペクトルを示す．グラフから，1540nm，1657nm，1820nm，1870nm 近辺で 1 次微分値の値が，供試体の塩化物混入量に依存していることが確認できる．

よって，この波長近辺の 1 次微分スペクトルに着眼することで，供試体中の塩分量が推定できると考えられる．抽出した各波長(1540nm，1657nm，1820nm，1870nm)毎の 1 次微分値と供試体の塩分量の関係を図-4.7 に示す．

線形回帰分析の結果，1870nm における 1 次微分値と塩化物混入量の相関が高いことが判明した．

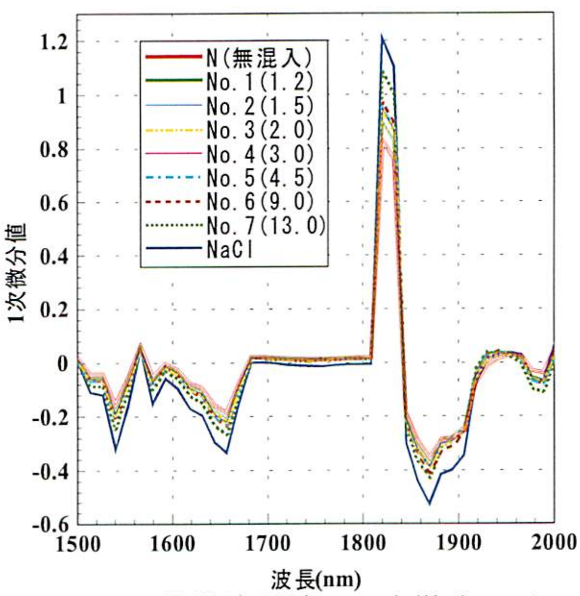


図-4.6 特徴波長域の 1 次微分スペ

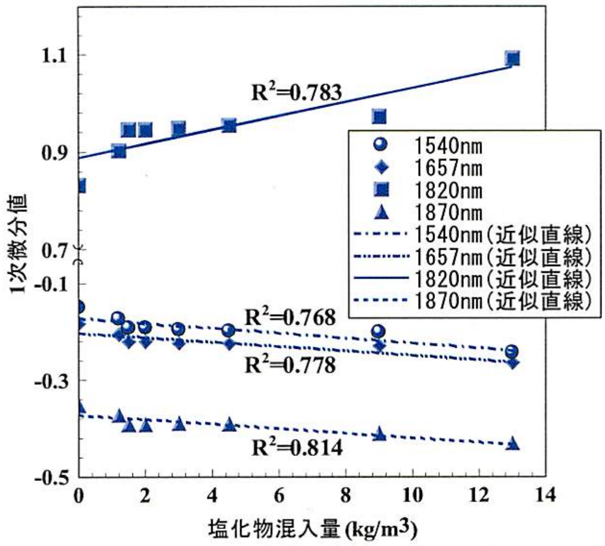


図-4.7　1次微分値と塩化物

5. 詳細調査結果

5.1 下赤塚高架橋

下赤塚高架橋は内陸部に位置しているが，設計当時の荷重は現行の設計荷重より低く設定されている。そのため，交通量の多いこの橋梁では床版下面や桁下面にひび割れや錆汁が検出されている。

【レーザードップラー振動計による測定結果】

レーザードップラー振動計を用いて劣化した構造物の車両走行時における変動の測定を試みた。レーザードップラー振動計は前述したとおり，非接触で振動を計測できるという優れた性能をもつ。そこで，ここではどの程度の計測まで可能かを確かめるため，接触型で振動数を計測できる三次元加速度計（写真-5.1）を測定点に取り付け比較した。図-5.1は測定結果を示している。レーザードップラー振動計と加速度計の波形を確認すると，大きさ，位相，極性等同じにおいては同じ波形が見られる。また，これらのデータの積分処理による変位波形と加速度計によるたわみ波形を比較すると，細かい動きに相違はあるものの，ほぼ同程度の値（速度の最大値：約5kine，速度の積分変位の最大値：約1mm）を示した。このことから，レーザードップラー振動計による振動測定は接触型の加速時計と同程度の精度が得られ，非接触で計測が可能であることを示している。

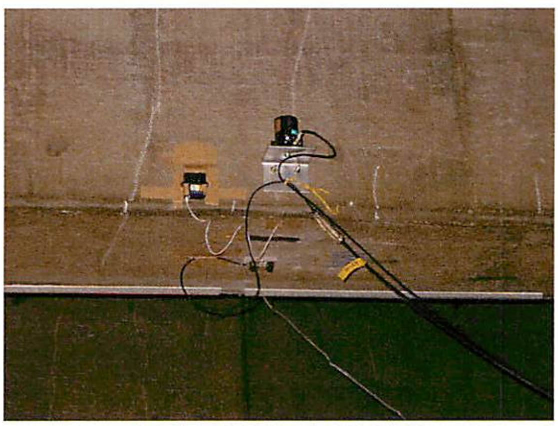


写真-5.1　接触型加速度計の概要

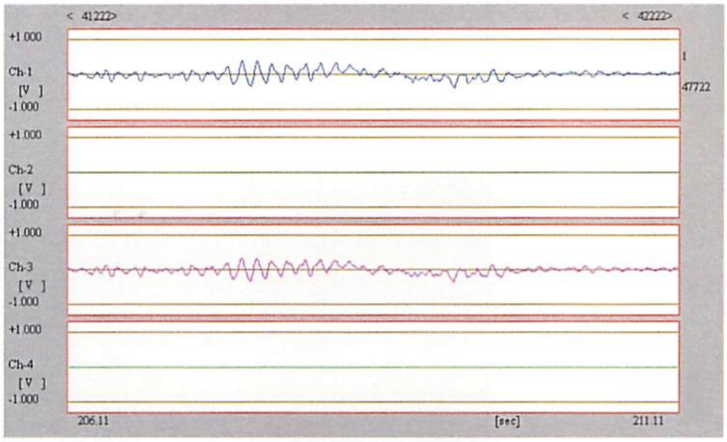


図-5.1　加速度計とレーザードップラー振動計の波形結果

5.2 小余綾高架橋

小余綾橋は海岸に面した場所に設置されており，一年中塩分が飛来する環境下にある。そのため多くの場所において塩害による被害が確認された。またコンクリートのかぶり不足より内部鉄筋の腐食が促進され，内部の鉄筋の膨張圧によりかぶりコンクリートが剥離・剥落しており第三者影響度が大変高いと推測される（写真-5.2）。しかしながらそれらの剥落箇所に補修をしており，パッチワーク的な補修を行っていた（写真-5.3）。またコンクリート表面に塩分浸透の防止策として塗膜がされている箇所が多く見られたが，何らかの理由による塗膜材の剥離が確認できた（写真-5.4）。

写真-5.2　塩害よる鉄筋腐食とかぶりコンクリートの剥落

写真-5.3　床版下面のコンクリート補修部

写真-5.4　塗膜材の剥離状況

【赤外線カメラによる計測結果】

次に赤外線サーモグラフィを用いた小余綾橋の計測結果について示す。赤外線サーモグラフィを用いて計測を行う場合は，図-4.2 に示したように健全部と欠陥部の温度差が大きい場合は判断には困らないが，温度差が小さい場合は判断に困ることは多々ある。しかし今回の計測は屋外による観測のため外気温・日射・風等の自然の影響が大きいことを最初に示しておく。しかしながら，赤外線ストーブやホットプレートを用いて強制的に加熱することにより健全部と欠陥部の温度差を大きくする方法も考えられたが，今回の計測では適用しなかった。

今回の計測は 2003 年 2 月上旬に行っており，外気温が上昇しなかったため内部欠陥や塗膜材の浮きを温度差から判断することは大変厳しかった。ここでは，床版

下面の補修部のサーモグラフィ画像（写真-5.5）とかぶりコンクリートの剥落部と塗膜材の浮きのサーモグラフィ画像を（写真-5.6,写真-5.7）示す。しかしながら，サーモグラフィ画像のみで補修部と塗膜材の浮きを判断することは困難であり，実際には同箇所をデジタルカメラ等を用いて撮影することが有効である。

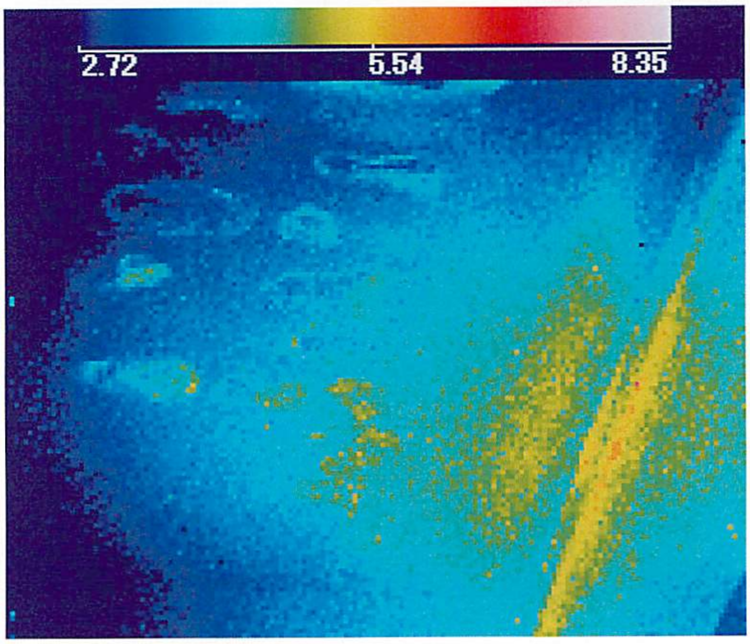


写真-5.5　床版下面のコンクリート補修部のサーモグラフィ画像

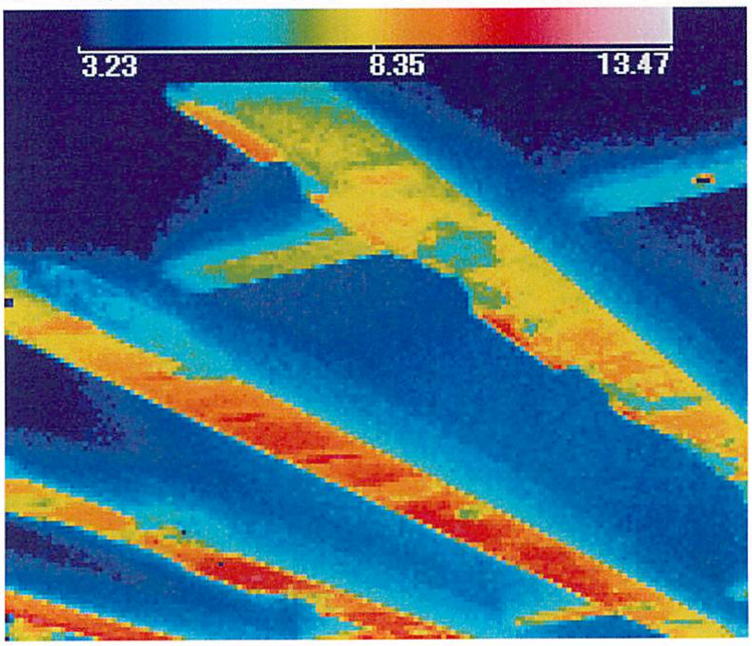


写真-5.6　かぶりコンクリート剥落と補修材の浮きのサーモグラフィ画像

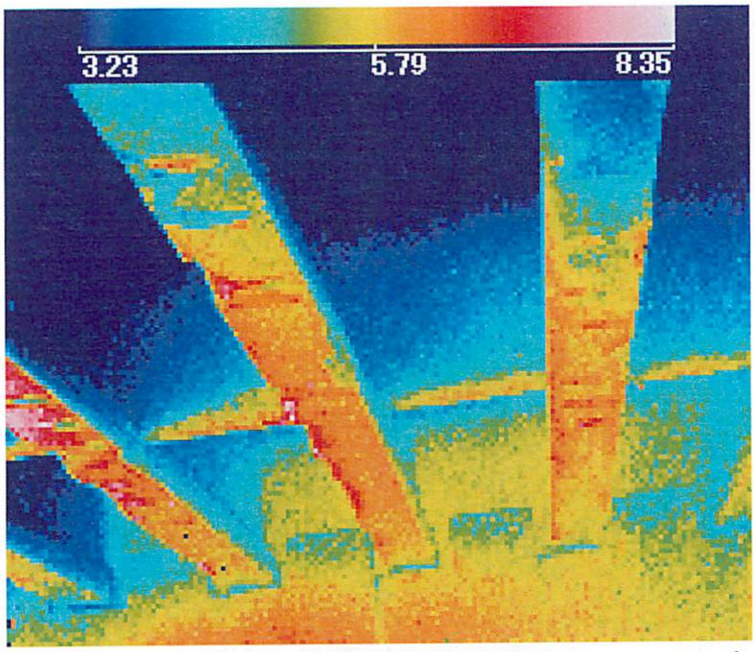


写真-5.7　かぶりコンクリート剥落と補修材の浮きのサーモグラフィ画像

【マルチスペクトルカメラによる計測結果】

表-5.1 に計測に用いた機材のスペックを示す.

カメラの撮影には，CRI 社製液晶フィルターを用いた．このフィルターの特徴は，任意の波長帯を指定でき，従来のフィルターのように，波長帯域ごとに一枚一枚交換する必要がないところにある．光源は都合上，太陽光を用いて測定を行った．液晶フィルターの性能上，室内実験で得られた 1657nm の波長を抽出し，測定を試みた．以下に 1657nm 付近での波長で撮影した写真-5.8,5.9 を示す.

表-5.1 マルチスペクトルシステムのスペック

近赤外カメラ	Spectral Sensitivity	Typical Resolution
	400〜1800nm	550Lines
液晶フィルター	Wavelength Range	Bandwidth
	900〜1700nm	20nm

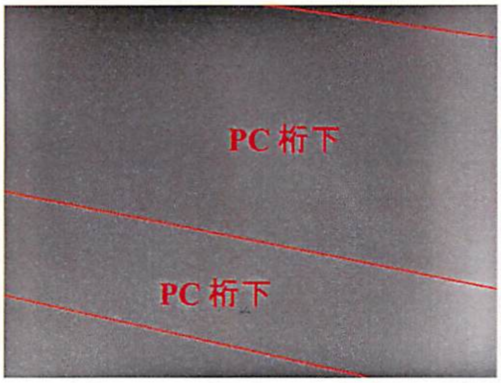


写真-5.8 マルチスペクトルカメラによる PC 橋下

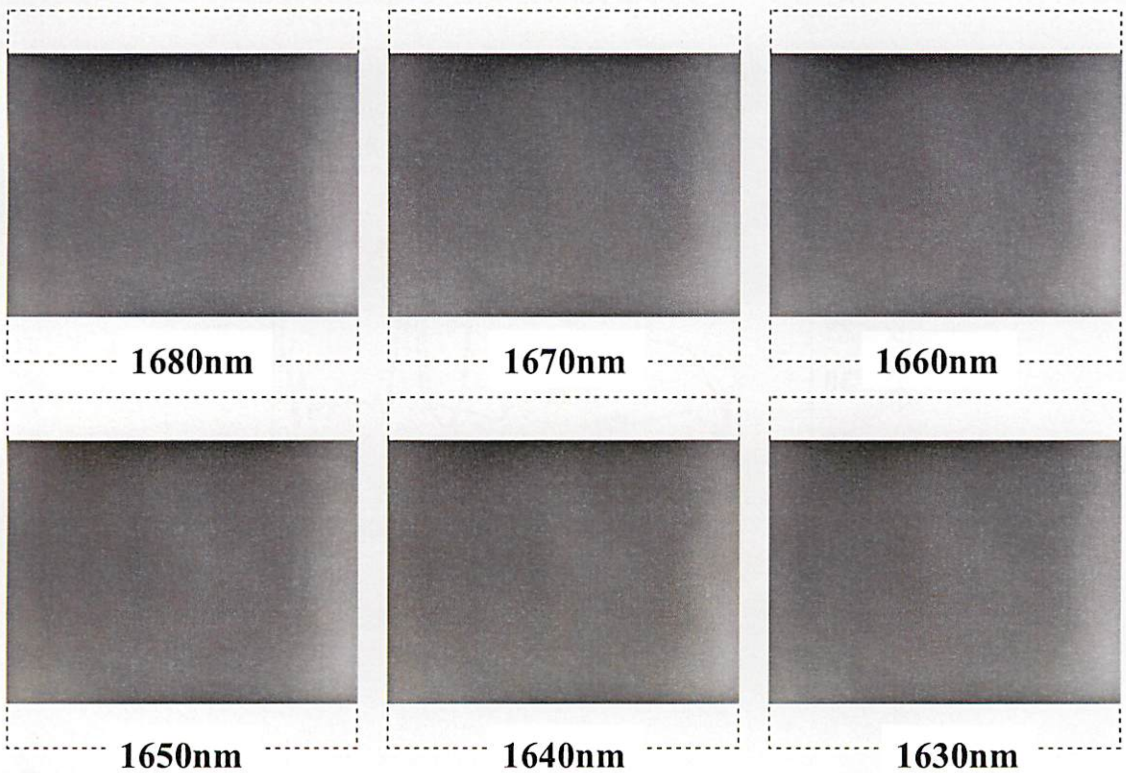


写真-5.9　1657nm 付近の連続写真

白黒画像の濃い部分が反射率が低く，薄い部分は反射率が高いことを示している．残念ながら，光量が少ないため明確な濃度差を確認できなかった．図-5.2 に室内実験で用いた光源と太陽光の放射輝度を示す．測定に必要な近赤外域の放射輝度が光源と比較して低いことが確認できる．

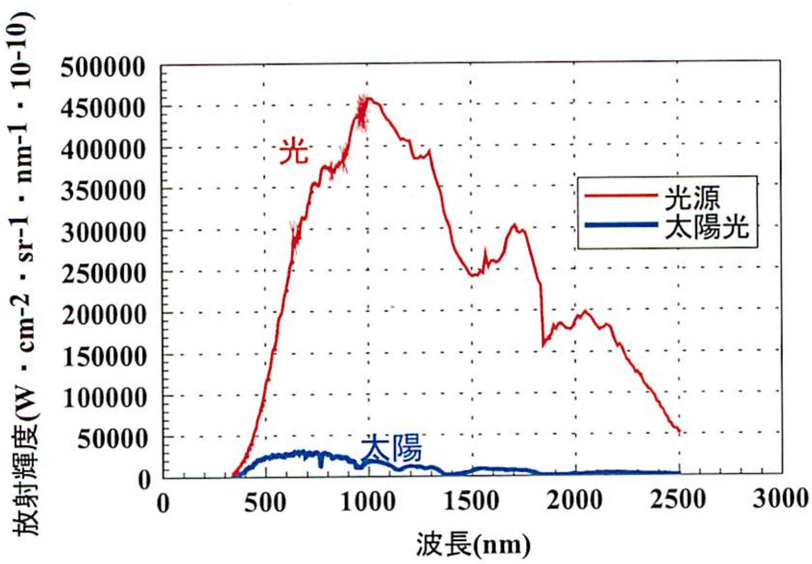


図-5.2 光源と太陽光の放射輝度

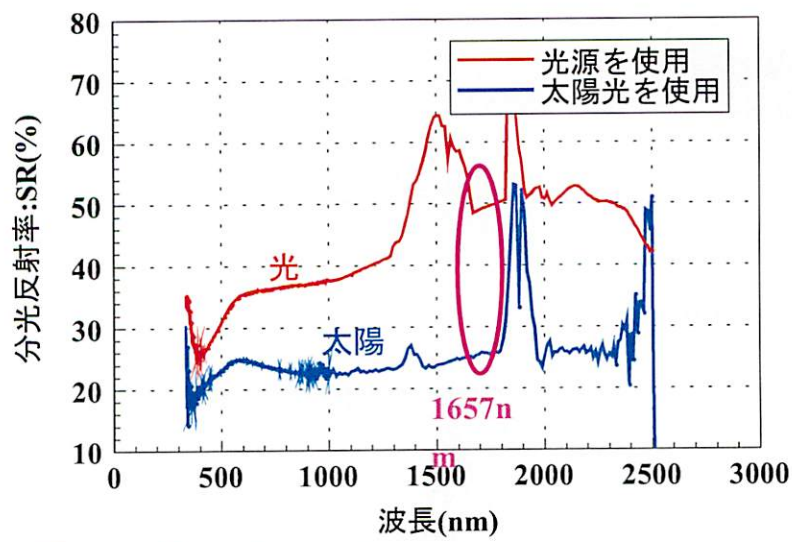


図-5.3 光源と太陽光を用いて測定したコンクリートの分光

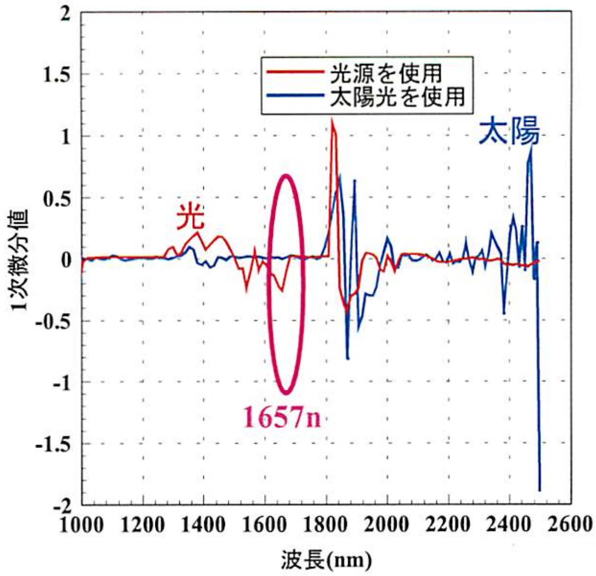


図-5.4　光源と太陽光を用いて測定したコンクリートのスペクトル(1 次

同じコンクリート供試体を光源と太陽光を用いて測定したが，図-5.3,5.4 のように反射率が低く，またノイズを多く含む結果となり，光量が不足していることが確認できる．

5.3 各試験結果に対する考察

【レーザードップラー振動計】

今回の測定は橋梁下部に入り込み，床版状に走行した車両による桁の振動を測定した。測定値は接触型の加速度計と同程度の精度が得られたことから非接触による測定の可能性を示唆できた。しかし，問題点として床版を走行している車両が橋梁下部からでは認識できず，走行した車両の情報やいつ床版を走行したかを認識するための人員が必要となってしまった。今後，測定においては同時刻に橋梁上部を走行した車両の情報を測定者が認識できるよう，ビデオカメラなどを利用して橋梁下部からモニタリングできるシステムを構築する必要がある。また，得られたデータの解析手法の確立ならびに，その解析して得られた情報をどのようにフィードバックするかを明確にする必要があると考えられる。

【赤外線カメラ】

今回は屋外にて計測を行ったため，測定精度が気象条件に大きく影響を受けている。そのため計測する時間帯を熟慮する必要がある。一例としては，計測気象物に影が映っている場合はその場所では計測することはできないため，計測時間を日が落ちた夜間に設定する必要がある。また健全部と欠陥部の温度差が小さい場合は，判断する人物のレベルによって判断基準が大きく異なることにより結果が異なる可能性がある。そのため赤外線サーモグラフィのみの試験方法ではなく，打音法や超音波法等の他の試験方法との併用が望まれる。しかしながら，大断面を一度に計測

することができるメリットを赤外線サーモグラフィは有しているので，その特徴を最大限利用できる気象条件・地理条件を見極めることが重要である。

【マルチスペクトルカメラ】

太陽光を用いて，マルチスペクトルカメラによる撮影を試みたが，光量の不足により良い結果が得られなかった.

以下のような改善を行うことで，Field への適用が可能であると考えられる.

(1) 特に，橋梁下面のような光量の乏しい箇所の場合は．大型ハロゲンランプ等で光量を確保する必要がある.

(2) より高感度のフィルター，近赤外域カメラを使用することで，精度の良い測定が可能となると考えられる.

(3) 今回は，検量線として，1657nm を用いたが，定量分析を行うことで，より効率的な波長を選択できる.

(4) 基準白板と同時に測定することにより，撮影後の補正等を行うことができる.

6. まとめ

本報告書では，構造物の劣化状態を定量的に把握し，この結果を GIS 上にマッピングすることによりデータベースを構築することを目的とした研究の基礎的情報収集を行った結果を記した。今回，首都圏に位置する鉄筋コンクリート橋梁 9 橋において日常点検程度による目視検査とデジタルカメラと赤外線カメラを併用した健全度調査を行った。調査は主に，主桁と床版におけるコンクリートのひび割れと剥離，鉄筋露出等を対象とした。さらに 9 橋のうち代表的な 2 橋においては，非接触型の試験としてまだ実用化されていないレーザードップラー振動計，マルチスペクトルカメラと実用化されつつある赤外線カメラの 3 種類を利用して詳細調査を行った。

詳細調査の結果，赤外線カメラによる剥離・浮きの調査，およびレーザードップラー振動計による変位計測は非常に有効な検査手法であることが確認できた。マルチスペクトルカメラは，実用化すれば，これまでの非破壊検査では得られなかった化学情報が得られるため極めて有益であるが，現時点では現場への適用は困難であることが明らかとなった。今後は，本調査結果をベースとして鉄筋コンクリート構造物の調査用データベースフォーマットの構築を行っていく必要があると考えられる。

謝　辞

本報告書をまとめるにあたり，東京大学生産技術研究所・技官の西村次男氏，元東京大学生産技術研究所・魚本研究室・博士研究員の伊代田岳史氏，東京大学大学院の金田尚志氏，芝浦工業大学大学院の村瀬豊氏にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

Information Acquisition and Structural Health Monitoring of Bridges in Bangkok

CHAPTER 1

INTRODUCTION

This study was undertaken by the School of Building Facilities Engineering and Civil Engineering, Sirindhorn International Institute of Technology (SIIT) of Thammasat University in association with Bangkok Metropolitan Administration (BMA) and was supported by the International Centre for Urban Safety (ICUS), The University of Tokyo. The report presents the information of all the bridges owned by BMA including the intensive inspection of 11 bridges.

1.1 PROJECT DESCRIPTION AND SCOPE OF WORK

The aim of this project is to provide the information of the bridges under the superintending of BMA, i.e. name, location, type of structure, dimension of structure, and year of construction, etc., in order to subsequently create the Geographic Information System (GIS) of the bridges in Bangkok in the near future which will be handy for operation, repair, and maintenance of the structures. In addition to the aforementioned information of the bridges, the health and durability monitoring of some selected structures were also performed. The intention is to detect and locate damages or degradations in structural components and to finally provide this information to GIS in the next stage.

From searching and surveying, it was found that there are totally 1953 bridges under the control of BMA, i.e. 31 flyovers, 598 pedestrian bridges, and 1324 canal bridges. Amidst these bridges, the health and durability monitoring of the 9 flyovers and 2 canal bridges were performed in details, i.e. Asoke flyover, Aekkamai flyover, Ramkamhaeng flyover, Pratunam flyover, Ratchathewi flyover, Sirindhorn flyover, Suntornkosa flyover, Yommarat flyover Ratchavipa flyover, Vittayu and Jaroennakorn canal bridges. Visual inspection was conducted. In addition to the visual inspection, compressive strength, by Schmidt hammer, of piers, girders, beams, and slabs of each bridge were recorded. Moreover, the investigation of carbonation depth was also carried out.

Furthermore, on March 13th, 2003, the demonstration of non-destructive testing instruments, i.e. thermograph, radar penetration, and impact-echo methods were carried out under the Ratchavipa flyover in the area, which was hit by a fire accident on May 12th, 2000 and was strengthened and repaired by carbon fibre sheet and shortcrete.

1.2 TIME FRAME

The project had been completed within 3 months starting from December 2002 till March 2003

CHAPTER 2

INFORMATION OF BRIDGES

There are totally 1953 bridges owned by BMA, i.e. 31 flyovers, 598 pedestrian bridges, and 1324 canal bridges. This chapter presents sample of all information of the bridges (originally in Thai) and the data based computer program provided by the BMA's Civil Works Department.

2.1 DATA BASED COMPUTER PROGRAM FOR BRIDGES OWNED BY BMA

The data based computer program for bridge management of BMA is called BRIDGE. Some characteristics of the program are illustrated in the following sections.

2.1.1 Front Page of the Program

There are four main sections in the front page of the user interface of the program which classifies the types of structure to be selected, i.e. pedestrian bridge, canal bridge, flyover, and tunnel.

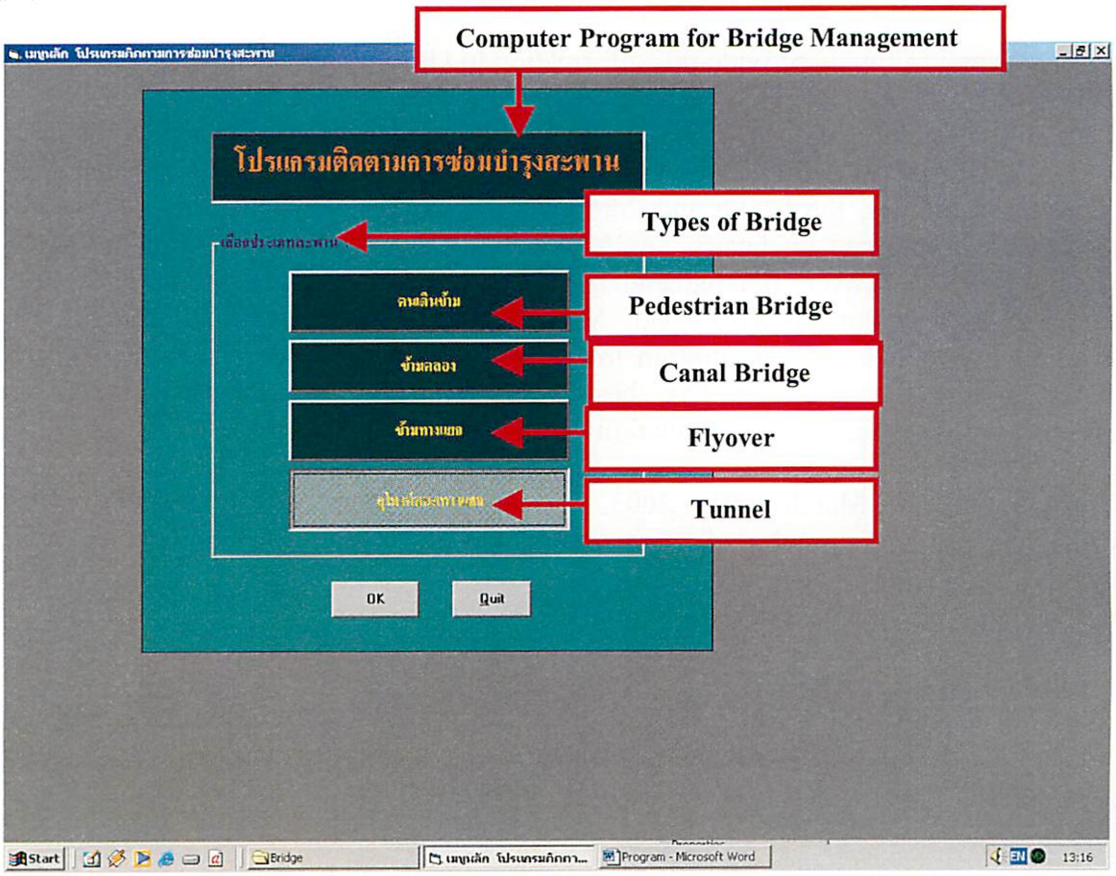


Fig. 2.1 User interface of the program "BRIDGE"

2.1.2 Pedestrian Bridges

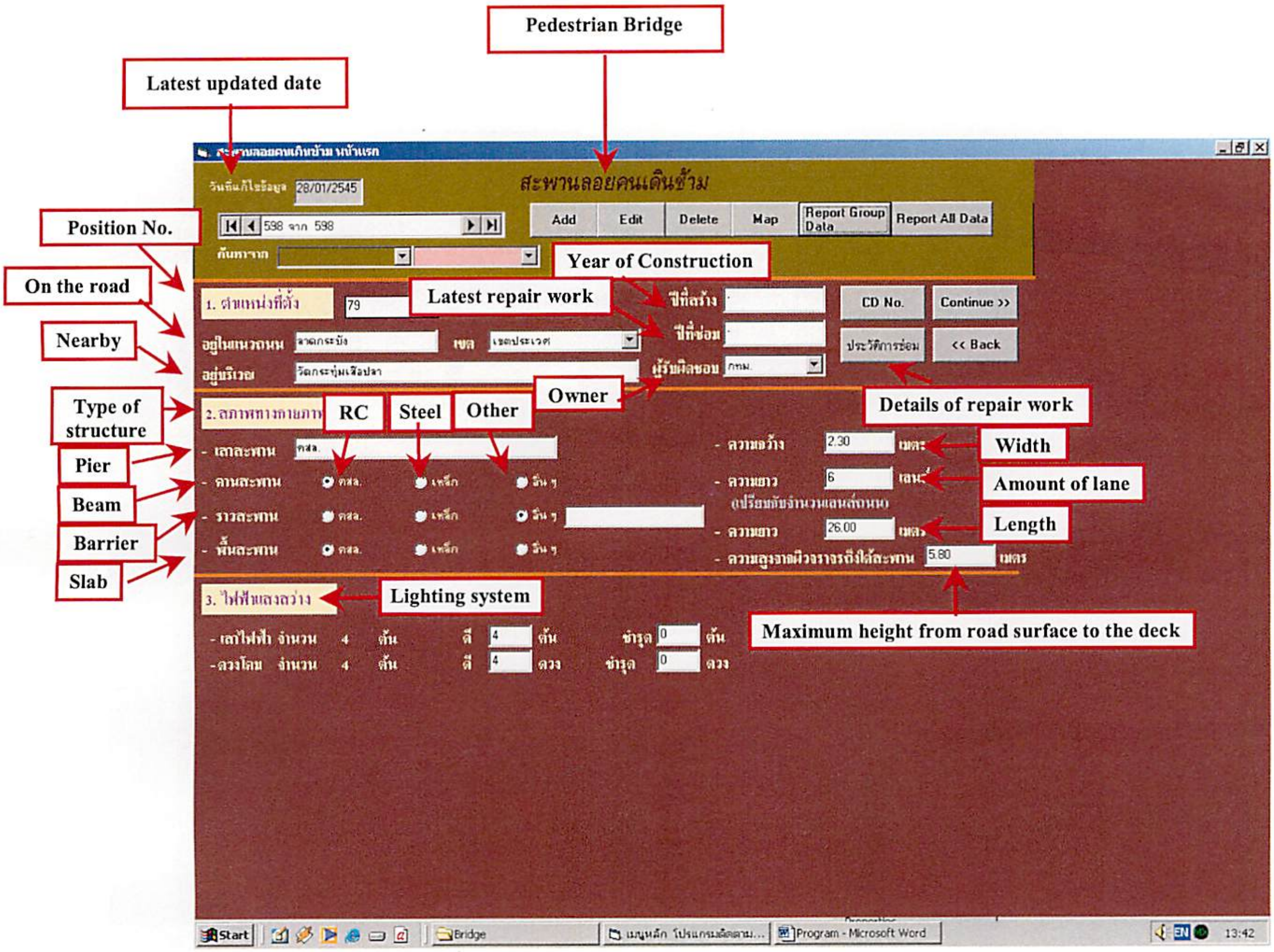


Fig. 2.2 User interface to input the information of pedestrian bridges

The pedestrian bridges page shows the information on location, types of structure, repair and maintenance details, dimensions of the structure, the buttons to view map, and tabulated form of the input information.

2.1.3 Canal Bridges

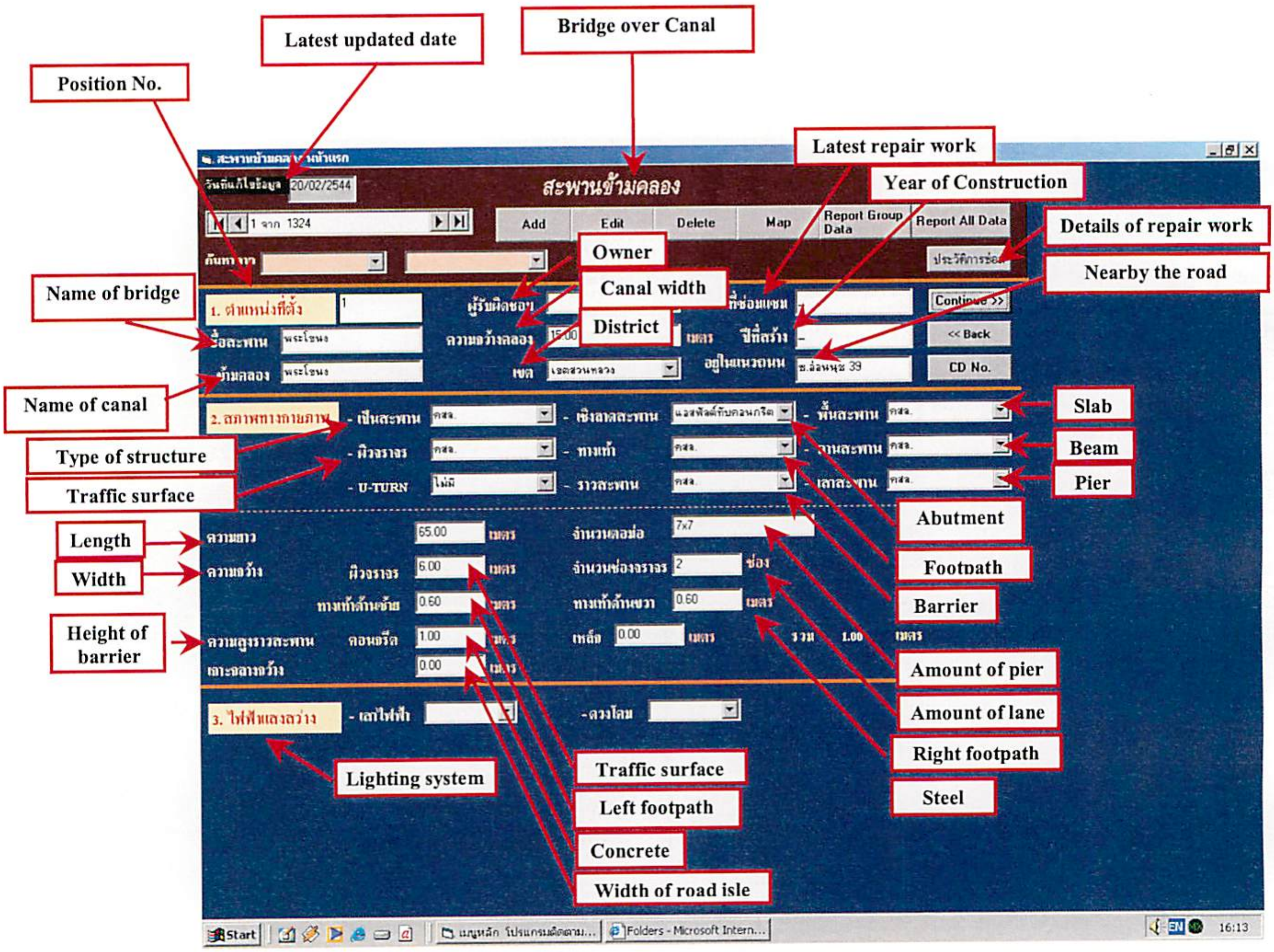


Fig. 2.3 User interface to input the information of bridges over canal

The canal bridges page shows the information on location, types of structure, repair and maintenance details, dimensions of the structure, the buttons to view map, and tabulated form of the input information.

2.1.4 Flyovers

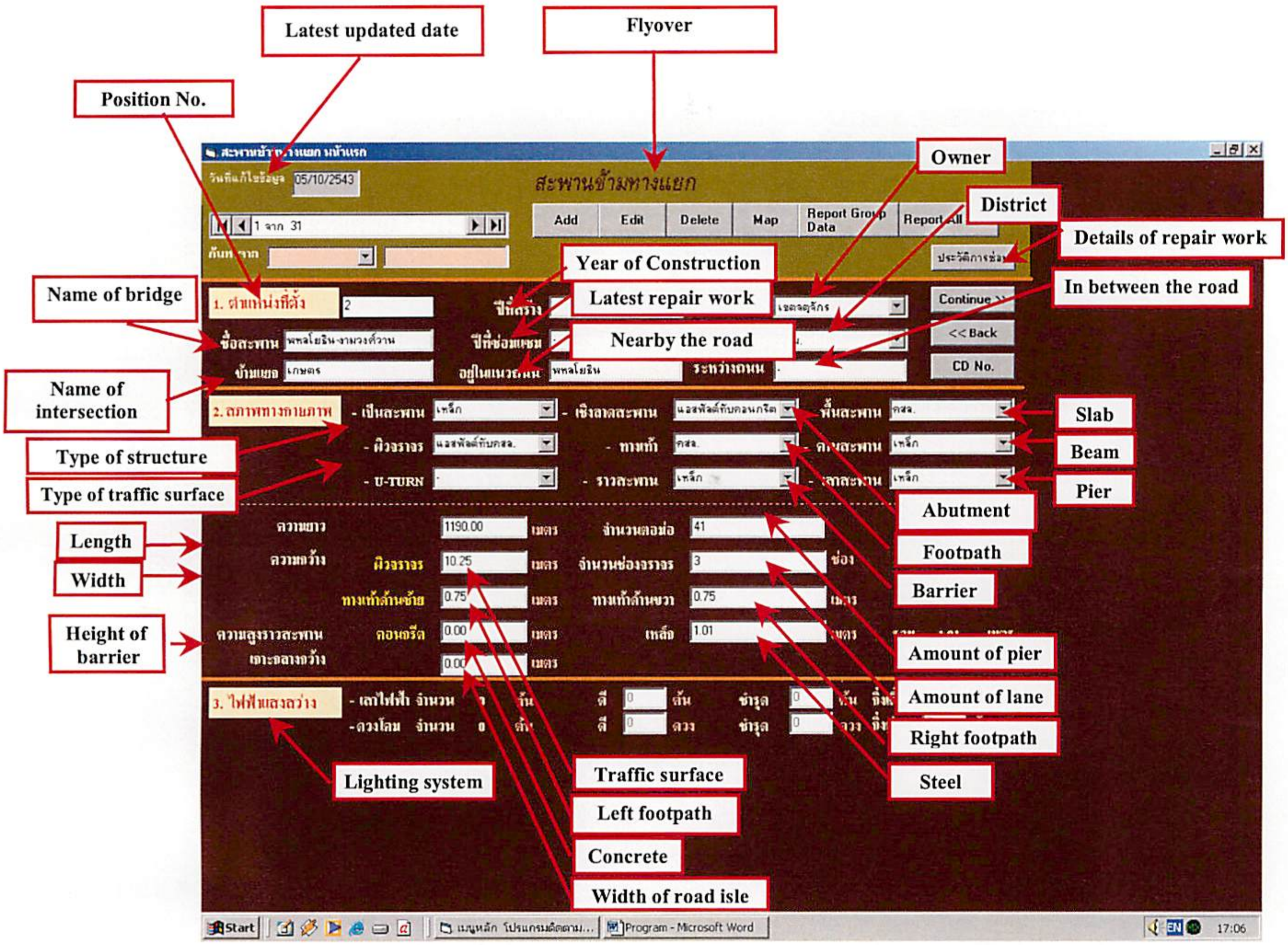


Fig. 2.4 User interface to input the information of flyovers

The flyovers page shows the information on location, types of structure, repair and maintenance details, dimensions of the structure, the buttons to view map, and tabulated form of the input information.

2.1.5 Information on Repair and Maintenance

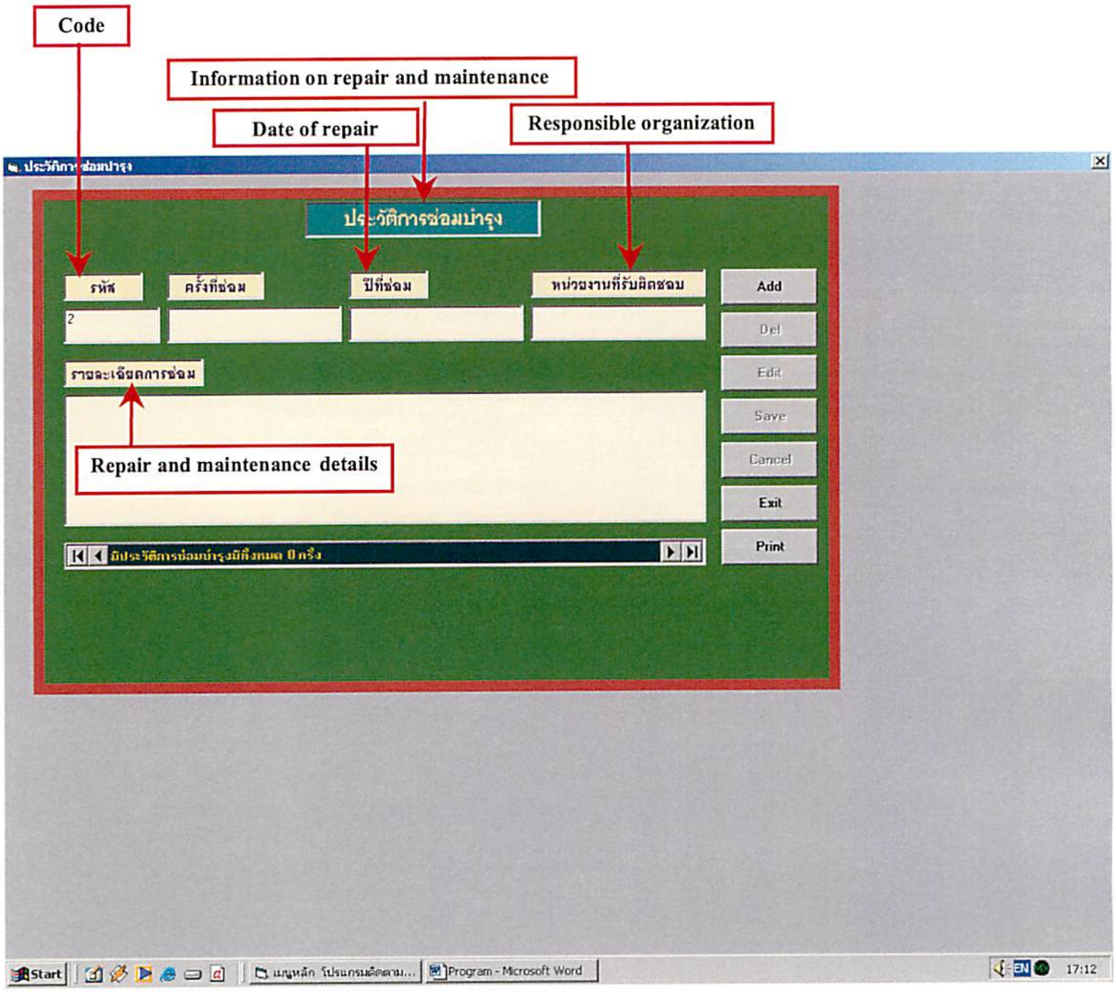


Fig. 2.5 User interface to input information on repair and maintenance

The repair and maintenance information page shows the information on details, date of the previous repair and maintenance, the responsible organization and the blank to fill the new repair and maintenance work.

2.1.6 Geographic Based Information

This geographic based information shows the location of the selected bridge on the map of Bangkok including the scale and also all information that are previously input on the user interface. The users can choose to view highways, collector road, and their names, rivers, canals and their names, district boundaries and their names, and the locations of the important landmarks. There are totally 1953 bridges, which have been input into the pOrogram.

(1) Geographic based information of Pedestrian Bridges

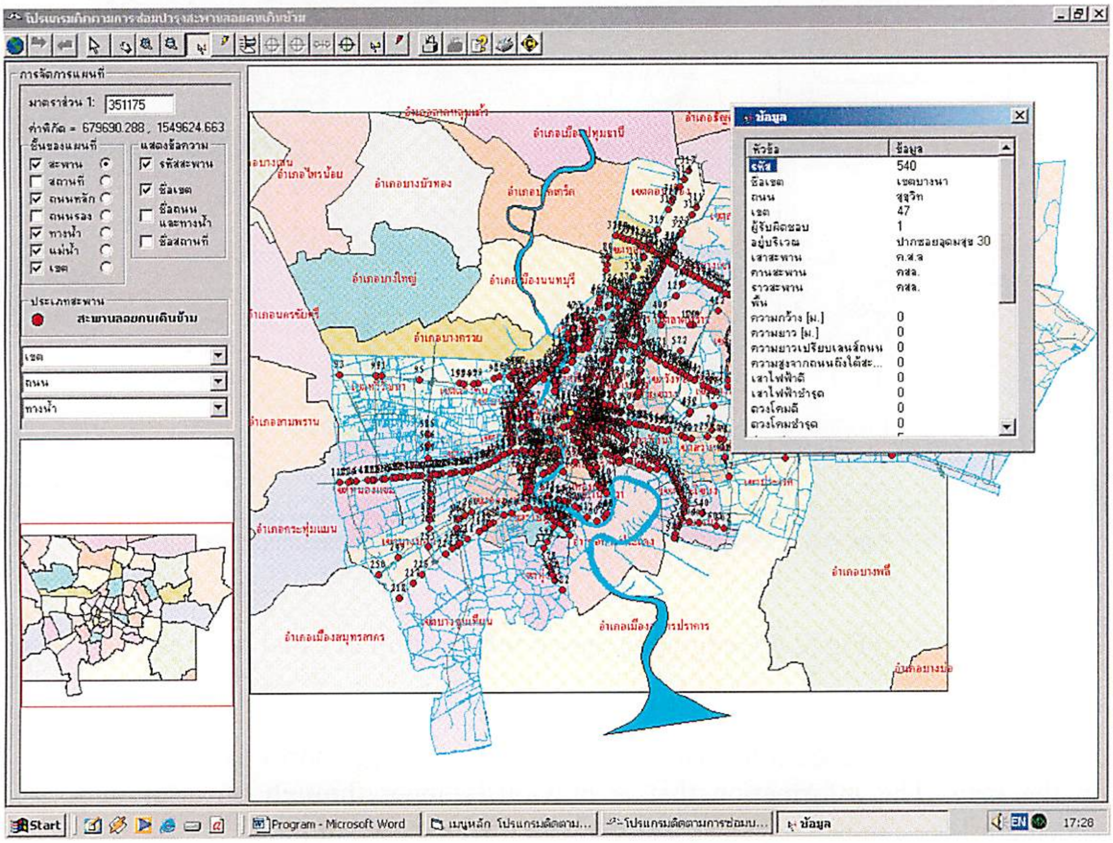


Fig. 2.6 Geographic based information of pedestrian bridges

The geographic based information of pedestrian bridges page shows the location of the bridges on the map. The information that is previously input through the user interface of the selected bridge can be viewed as a small window as shown in Fig. 2.6.

(2) Geographic Based Information of Canal Bridges

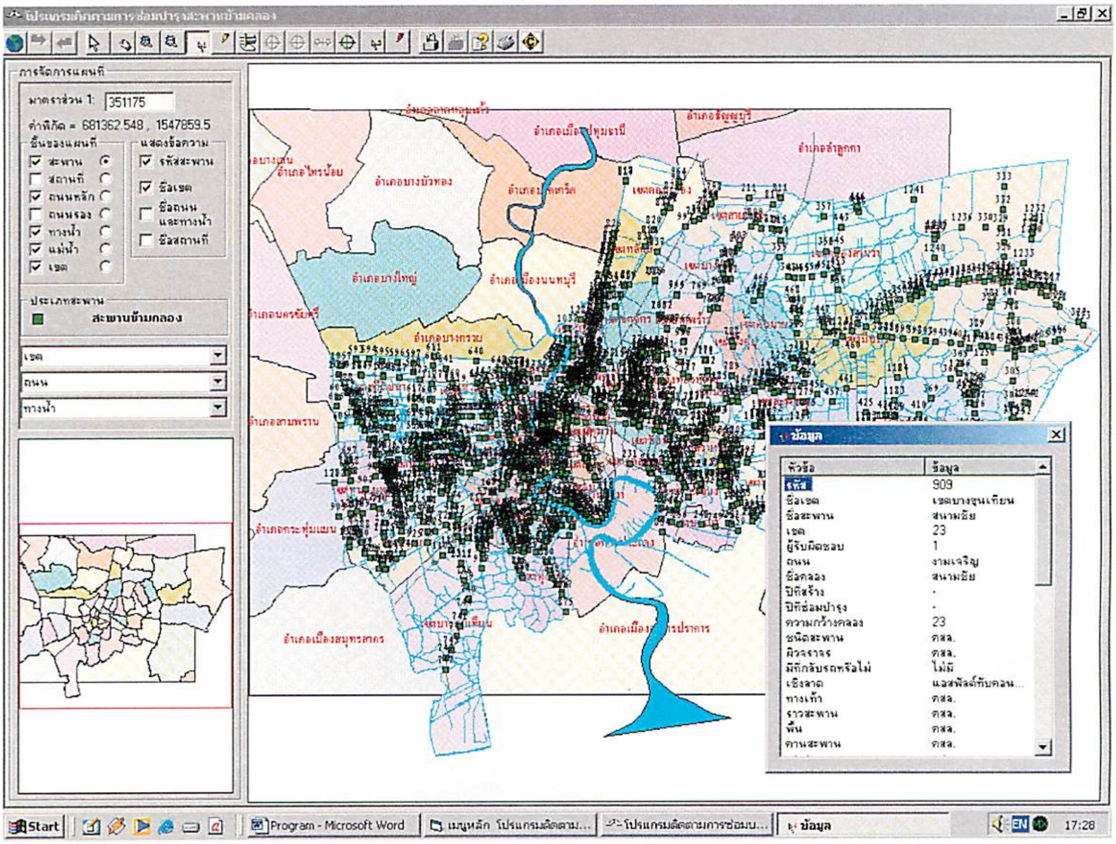


Fig. 2.7 Geographic based information of canal bridges

The geographic based information of canal bridges page shows the location of the bridges on the map. The information that is previously input through the user interface of the selected bridge can be viewed as a small window as shown in Fig. 2.7.

(3) Geographic Based Information of Flyovers

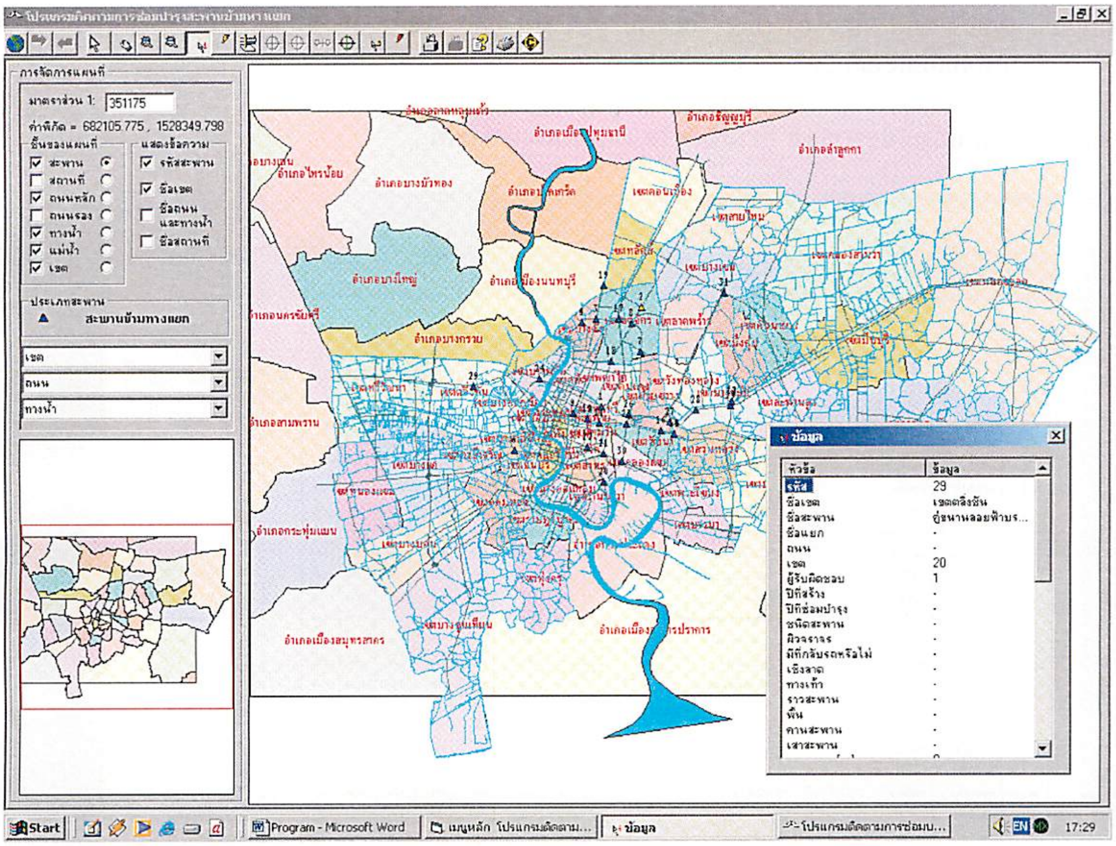


Fig. 2.8 Geographic based information of flyovers

The geographic based information of flyovers page shows the location of the bridges on the map. The information that is previously input through the user interface of the selected flyover can be viewed as a small window as shown in Fig. 2.8.

2.1.7 Tabulated Information of the Bridges

Tabulated information of the bridges indicates location of bridges on the map, name of the bridges, types and size of pier, beam, girder, slab, year of construction, information about repair and maintenance work

(1) Information of pedestrian bridges in tabulated form

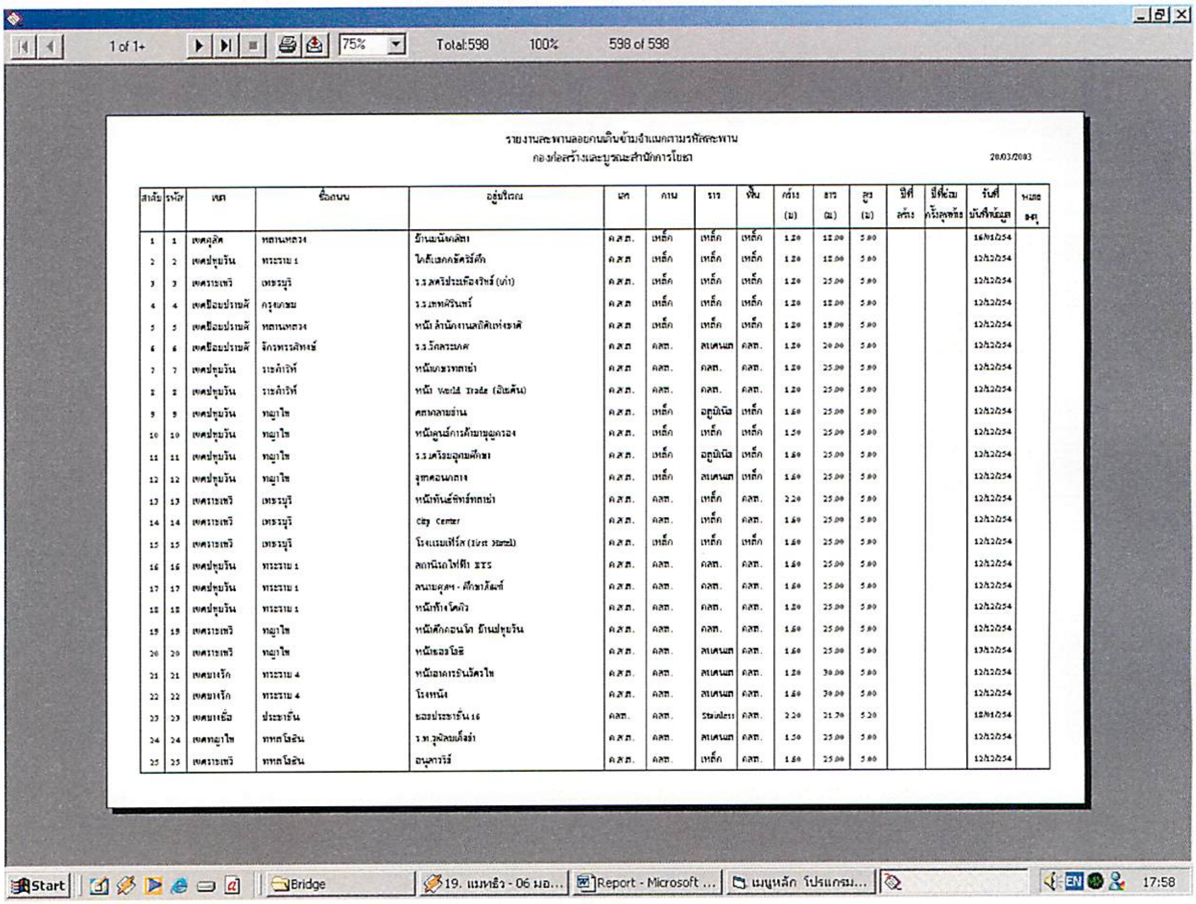


Fig. 2.9 Example of the tabulated information of the pedestrian bridges

From the user interface to input the information of pedestrian bridges, the user can choose to view the information in tabulated form as shown in Fig. 2.9. From the tabulated information, it indicates that there are 517 reinforced concrete, 28 steel, and 53 composite pedestrian bridges under the control of BMA.

(2) Information of canal bridges in tabulated form

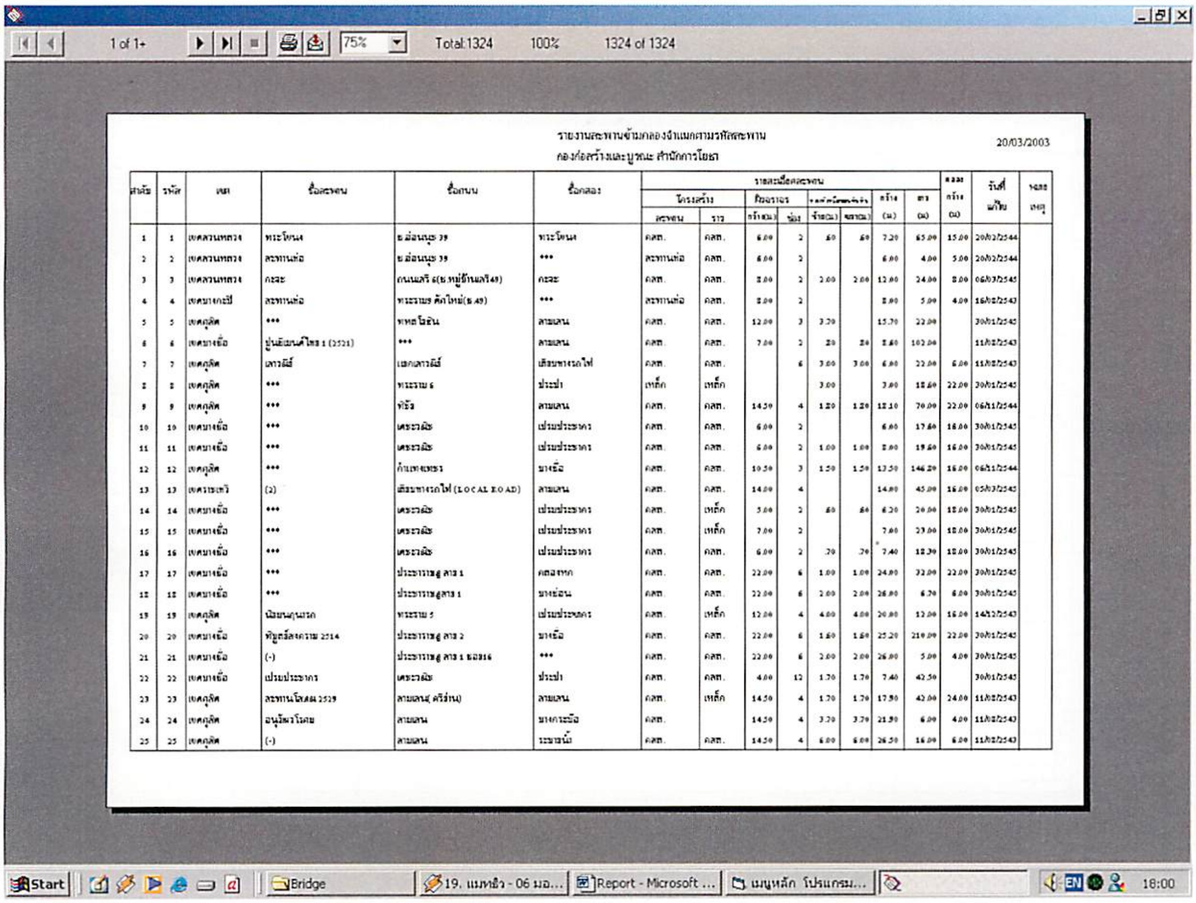


Fig. 2.10 Example of the tabulated information of the canal bridges

From the user interface to input the information of canal, the user can choose to view the information in tabulated form as shown in Fig. 2.10. From the tabulated information, it indicates that there are 1299 reinforced concrete, 20 wood, and 5 steel canal bridges under the control of BMA.

(3) Information of flyovers in tabulated form

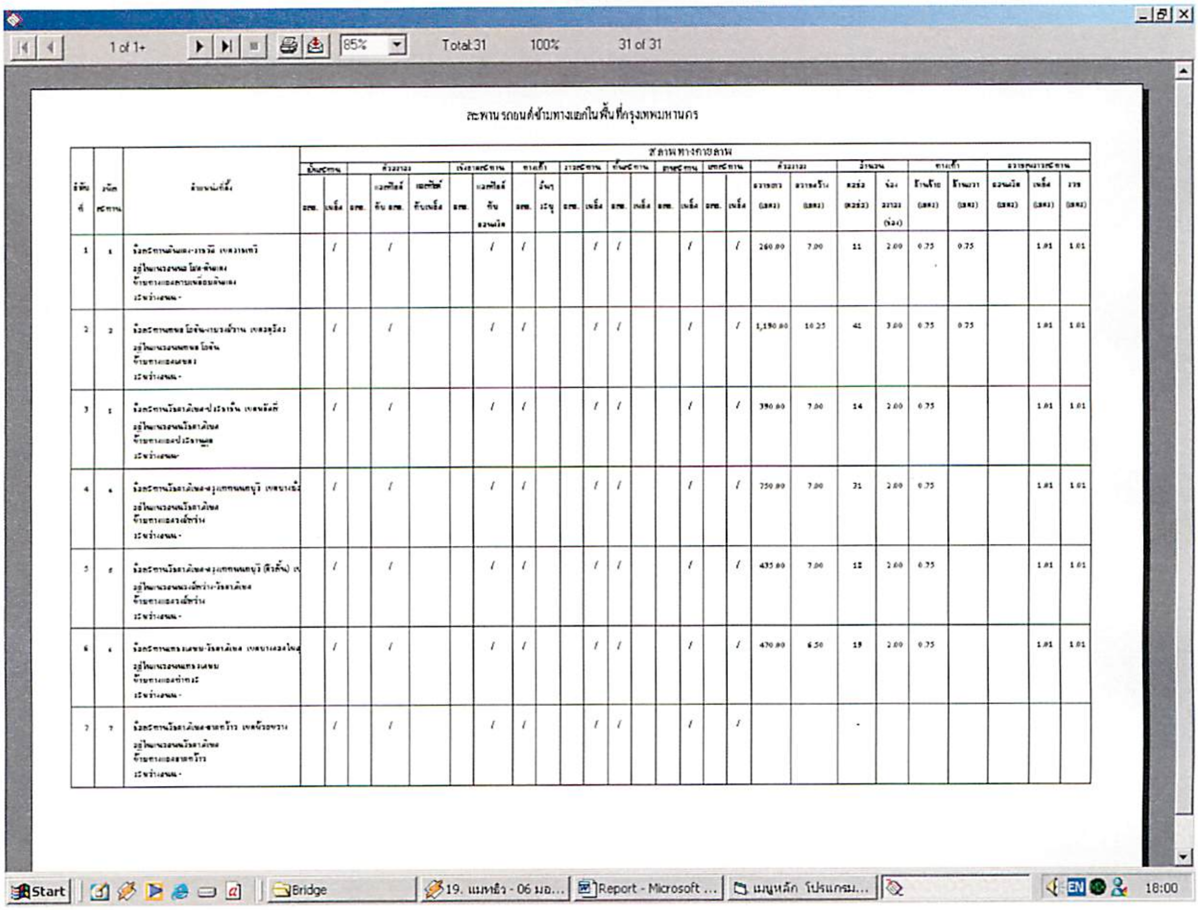


Fig. 2.11 Example of the tabulated information of the flyovers

From the user interface to input the information of pedestrian bridges, the user can choose to view the information in tabulated form as shown in Fig. 2.10. From the tabulated information, it indicates that there are 22 reinforced concrete, and 31 steel flyovers under the control of BMA.

In summary, there are totally 598 pedestrian bridges under the control of BMA which are classified as 517 reinforced concrete, 28 steel, and 53 composite pedestrian bridges. There are 1324 canal bridges which are categorized as 1299 reinforced concrete, 20 wood, and 5 steel canal bridges. Additionally, there are 31 flyovers which are categorized as 22 reinforced concrete, and 9 steel flyovers.

CHAPTER 3

INTENSIVE INSPECTION OF THE SELECTED BRIDGES

This chapter presents the deteriorations of structural components of the selected bridges. It was found that, most of the case, the bridges in Bangkok face durability problem rather than overloading problem. This is because in the past the structural design in Thailand had mainly been based on working stress design concept which results in very much overestimated design loads compared to the present structural design concept, the ultimate load design.

Carbonation was found to be the most severe and serious durability problem for concrete bridges in Bangkok which is clearly due to the traffic in the city. The secondary problem found in this study is the non-homogeneity of concrete in the form of honeycombs in concrete which is caused by poor construction practice. Differential settlement of the slabs is another problem causing very large crack width and consequently leads to corrosion of the steel reinforcement.

Amongst the inspected bridges, it was found that three bridges need urgent repair, i.e. Jaroennakorn canal bridge, Vittayu canal bridge and Sirindhorn flyover. Jaroennakorn, Vittayu canal bridges have encountered very severe carbonation causing serious reduction of the steel cross section. For the Sirindhorn flyover, there is one eccentrically loaded pier with cracks along the tied bars. Presumably, this may be because the design engineer did not take long-term durability into consideration.

The followings are the bridges that were inspected during the study.

3.1 ASOKE FLYOVER

3.1.1 General Information

Year of Construction: 1976
Type of Structure:
  Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
  Girder: Steel
  Beam: No beam
  Slab: Cast-in-Place Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
  Pier: 58 MPa
  Girder: -
  Beam: No beam
  Slab: 55 MPa
Depth of Carbonation at the pier: 1 cm

3.1.2 Views of the Asoke Flyover

Fig. 3.1 Views of the Asoke Flyover

3.1.3 Observed Deteriorations

Fig. 3.2 Cracks around all piers of the Asoke flyover at the ties locations

Fig. 3.3 Cracks due to differential settlement

Fig. 3.4 Honeycombs in slab caused by bad concrete placing

3.2 Yommarat Flyover

3.2.1 General Information

Year of Construction: 1976
Type of Structure
 Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
 Girder: Cast-in-Place Reinforced Concrete
 Beam: No beam
 Slab: Pre-cast Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
 Pier: 56 MPa
 Girder: 60 MPa
 Beam: No beam
 Slab: 54 MPa

3.2.2 Views of the Yommarat Flyover

Fig. 3.5 Views of the Yommarat Flyover

3.2.3 Observed Deteriorations

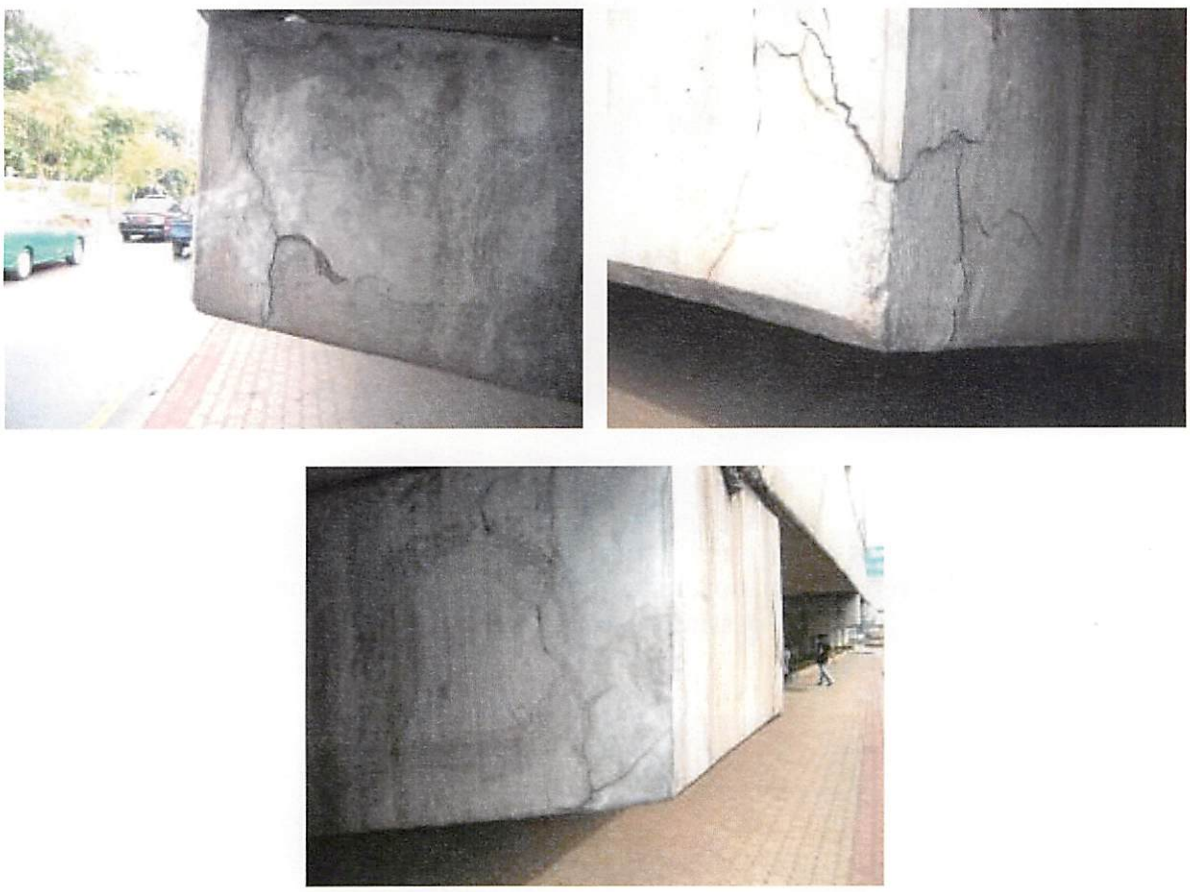


Fig. 3.6 Cracks at the corners of the girder caused by incompatible shrinkage of original and new surface finishing concretes

Fig. 3.7 Cracks due to the penetration of the tree's roots

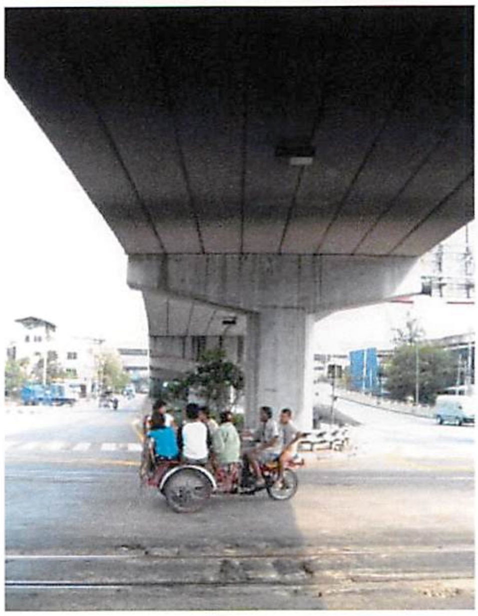


Fig. 3.8 Expected severe carbonation under the slab of the flyover due to smoke of the train passing beneath the flyover

Fig. 3.9 Cracks due to incompatible shrinkage of original and new surface finishing concretes

3.3. RATCHATHEWI FLYOVER

3.3.1 General Information

Year of Construction: 1976
Type of Structure
  Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
  Girder: Cast-in-Place Reinforced Concrete
  Beam: No beam
  Slab: Pre-cast Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
  Pier: 42 MPa
  Girder: 38 MPa
  Beam: No beam
  Slab: 51 MPa
Depth of Carbonation at the pier: 1.5 cm

3.3.2 Observed Deteriorations

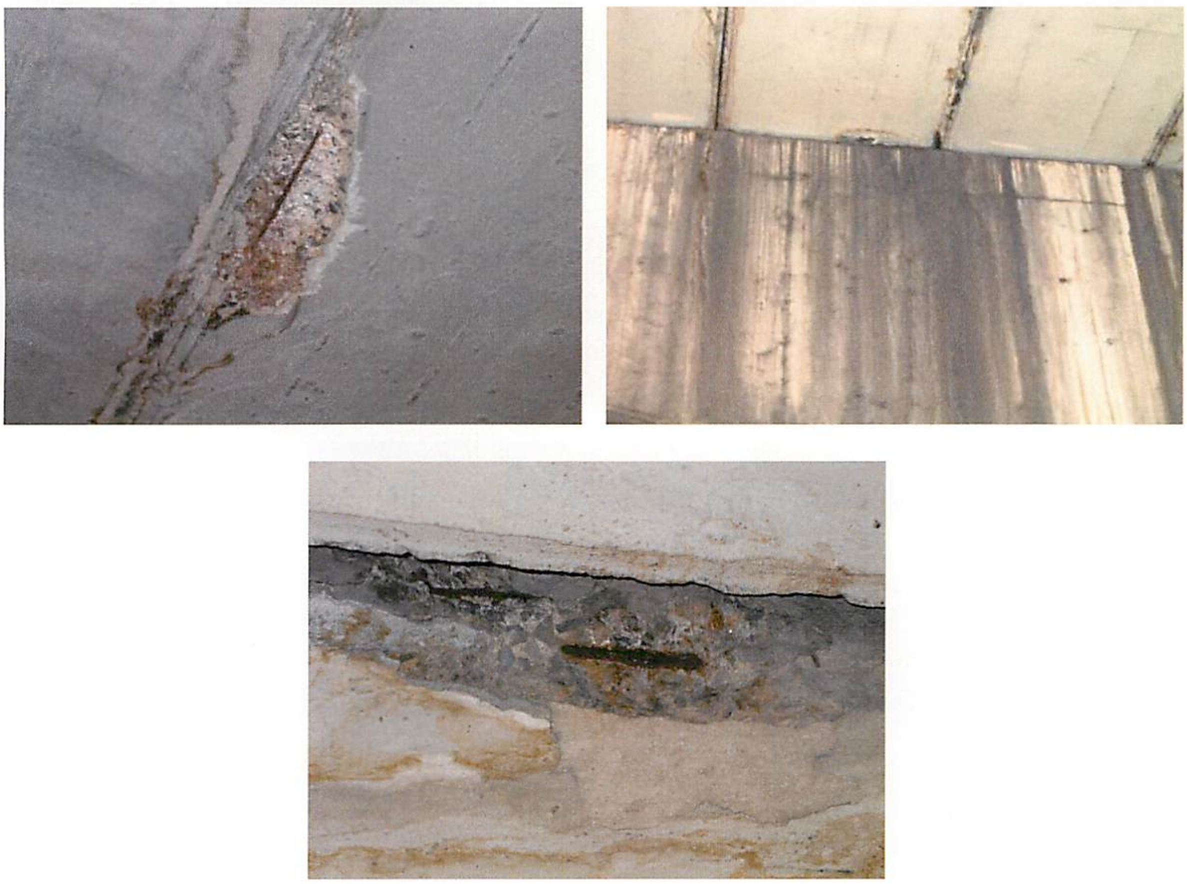


Fig. 3.10 Concrete spalling at the slabs caused by steel corrosion

Fig. 11 Concrete spalling at the girders due to carbonation induced steel corrosion

Fig. 3.12 Concrete spalling due to truck collision and bad construction causing corrosion of the reinforcement

Fig. 3.13 Cracks due to incompatible shrinkage of original and new surface finishing concretes

3.4 Pratunam Flyover

3.4.1 General Information

Year of Construction: 1976
Type of Structure
  Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
  Girder: Cast-in-Place Reinforced Concrete
  Beam: No beam
  Slab: Pre-cast Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
  Pier: 44 MPa
  Girder: 30 MPa
  Beam: No beam
  Slab: 51 MPa
Depth of Carbonation at the pier: 1.5 cm.

3.4.2 Views of the Pratunam Flyover

Fig. 3.14 Views of the Pratunam Flyover

3.4.3 Observed Deteriorations

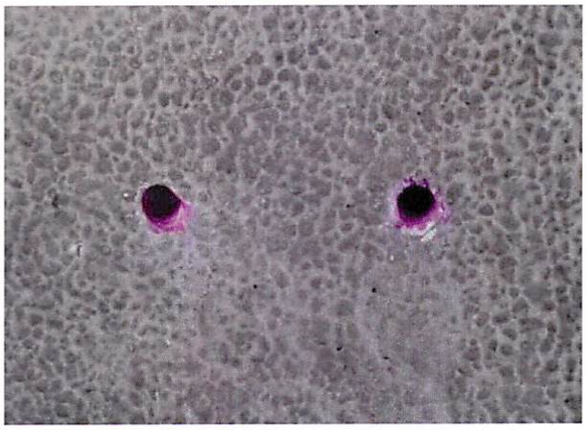


Fig. 3.15 Carbonation test by phenophthalene in ethanol solution

Fig. 3.16 Cracks due to the penetration of the tree's root

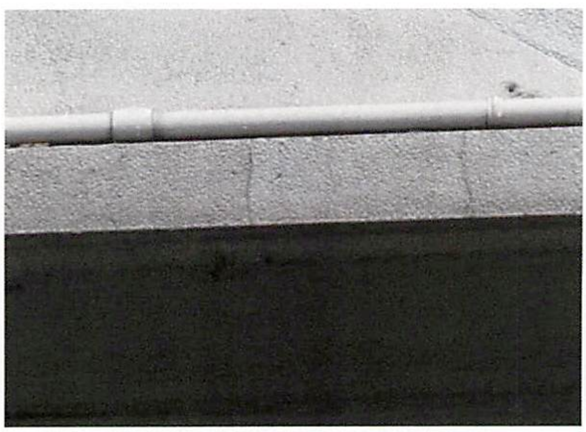


Fig. 3.17 Bending cracks at the repaired concrete surface

Fig. 3.18 Concrete spalling due to collision of trucks causing corrosion of the reinforcement

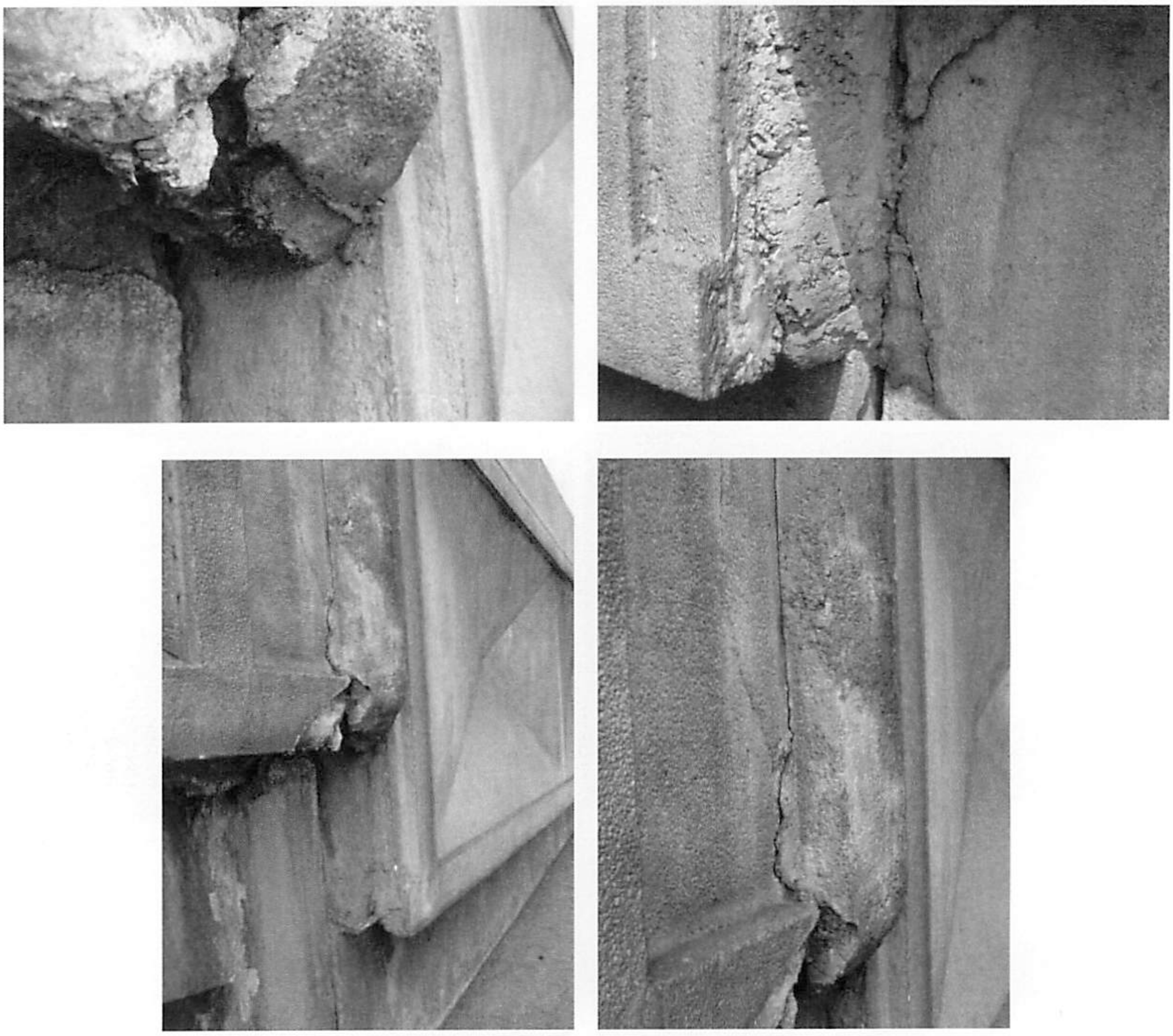
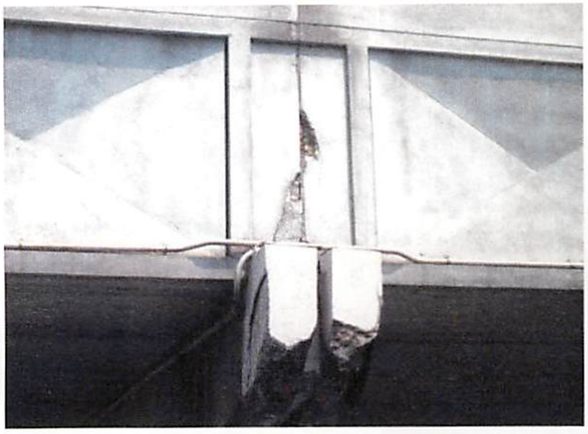
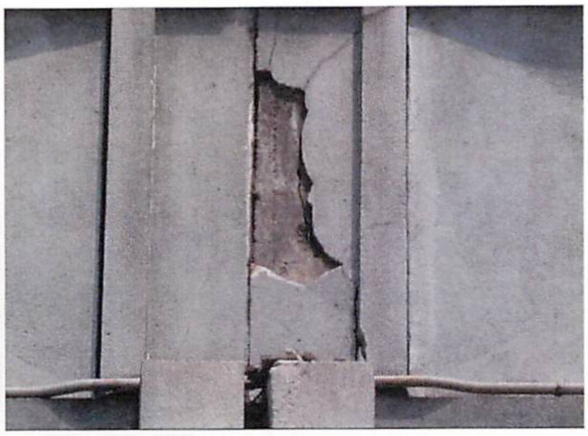
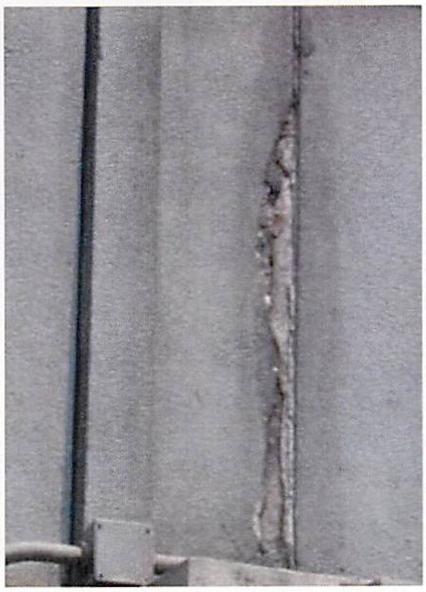
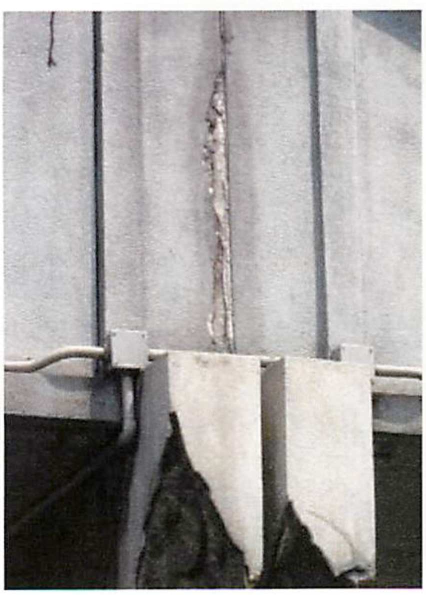


Fig. 3.19 Differential settlement









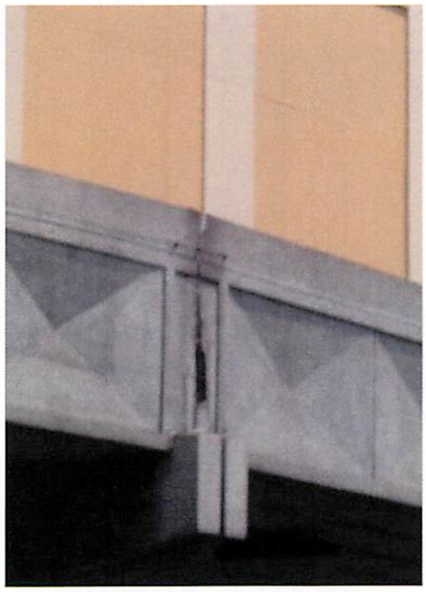


Fig. 3.20 Cracks at joints of the barrier (cause is still under investigation)

3.5 Suntornkosa Flyover

3.5.1 General Information

Year of Construction: Not Available
Type of Structure
  Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
  Girder: Cast-in-Place Reinforced Concrete
  Beam: No beam
  Slab: Pre-cast Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
  Pier: 40 MPa
  Girder: 61 MPa
  Beam: No beam
  Slab: 62 MPa
Depth of Carbonation at the pier: 8 cm.

3.5.2 Observed Deteriorations







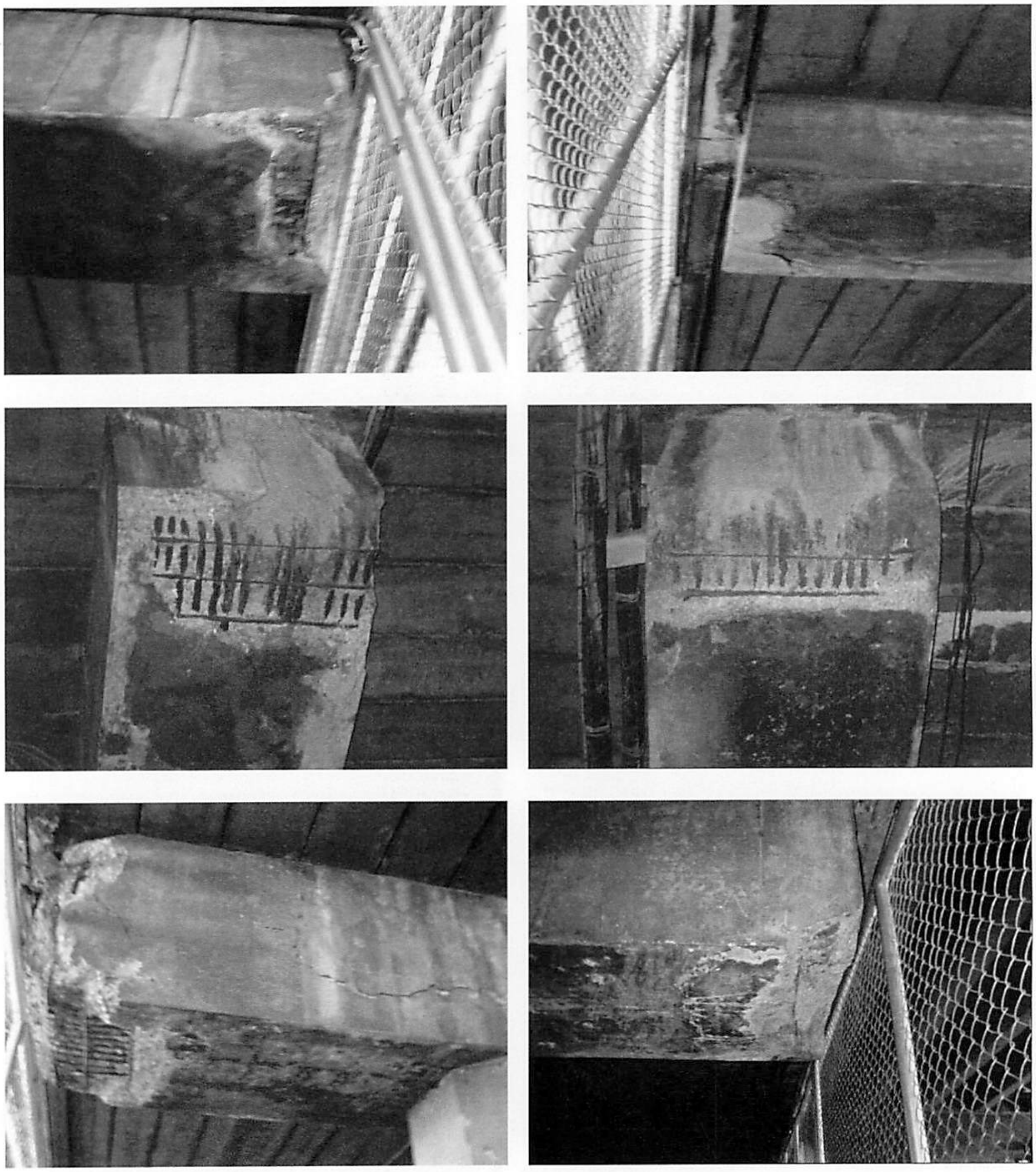



Fig. 3.21 Severe steel corrosion due to carbonation
(depth of carbonation at some location was about 8 cm)





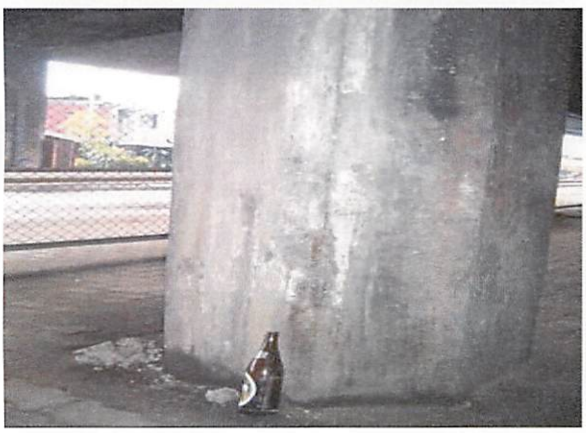



Fig. 3.22 Spalling of concrete due to carbonation causing corrosion of reinforcement

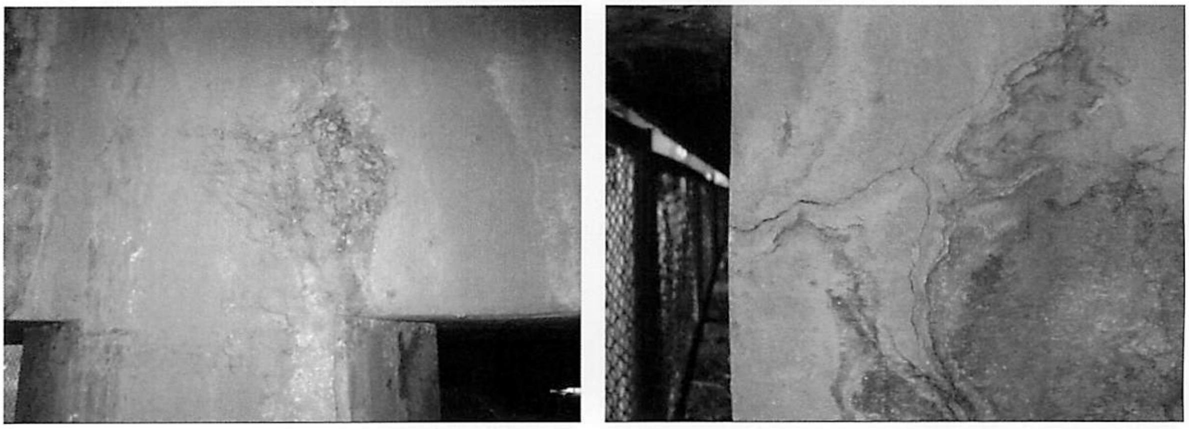


Fig. 3.23 Bad construction (honeycombing with patching)

3.6 Vittayu Bridge over Sansaeb Canal

3.6.1 General Information

Year of Construction: 1970
Type of Structure
 Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
 Girder: Cast-in-Place Reinforced Concrete
 Beam: Cast-in-Place Reinforced Concrete
 Slab: Pre-cast Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
 Pier: 60 MPa
 Girder: 41 MPa
 Beam: 75 MPa
 Slab: 48 MPa
Depth of Carbonation at the pier: >7 cm.

3.6.2 Views of Vittayu Canal Bridge

Fig. 3.24 Views of Vittayu Canal Bridge

3.6.3 Observed Deteriorations








Fig. 3.25 Concrete spalling due to carbonation induced steel corrosion







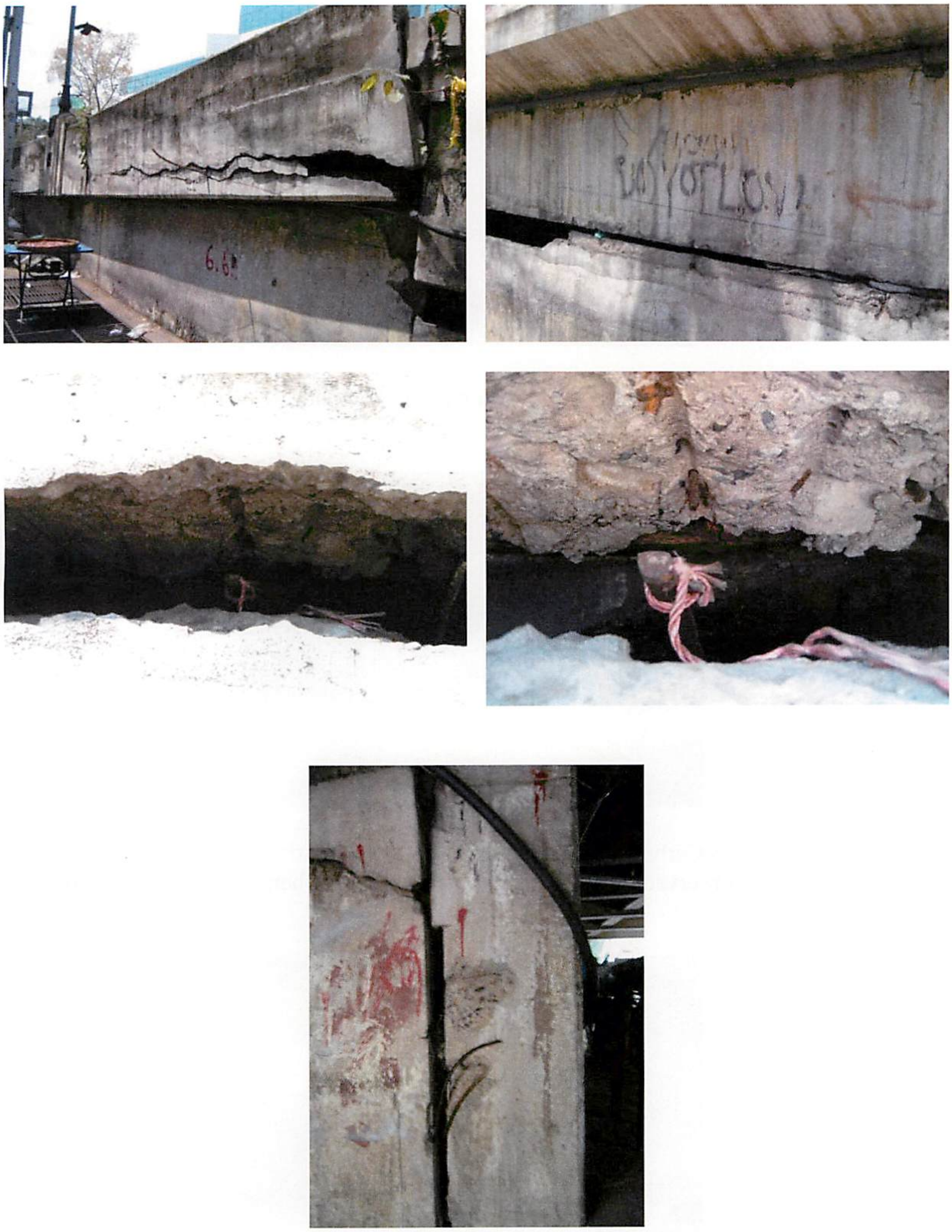



Fig. 3.26 Cracks due to settlement of the ground

Fig. 3.27 Abrasion on the footpath

Fig. 3.28 Carbonation test showing very large carbonation depth
(no color was observed in the two holes after spraying phenolpthalene solution)

Fig. 3.29 Cracks due to the penetration of the tree's root

3.7 Jaroennakorn Canal Bridge

3.7.1 General Information

Year of Construction: Not Available
Type of Structure
  Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
  Girder: Cast-in-Place Reinforced Concrete
  Beam: No Beam
  Slab: Pre-cast Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
  Pier: 50 MPa
  Girder: 42 MPa
  Beam: -
  Slab: 60 MPa
Depth of Carbonation at the pier: > 8 cm

3.7.2 Views of the Jaroennakorn Bridge

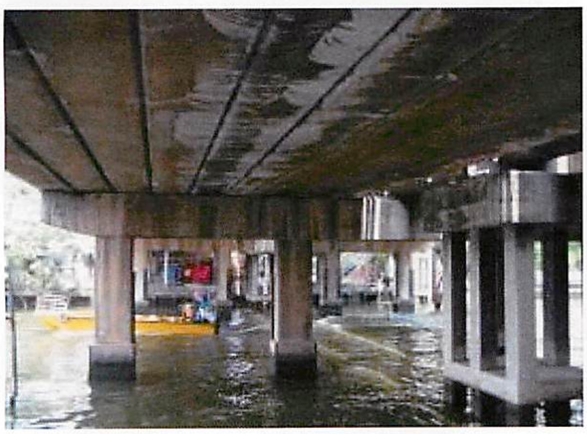



Fig. 3.30 Views of the Jaroennakorn Canal Bridge

3.7.3 Observed deteriorations

Fig. 3.31 Bearing failure

Fig. 3.32 Incompatible barrier repair






















Fig. 3.33 Spalling of concrete due to carbonation induced corrosion of reinforcement

Fig. 3.34 Cracking at the slab (cause is still under investigation)

Fig. 3.35 Crack at barrier

Fig. 3.36 Bad concrete placing

3.8 Sirindhorn Flyover

3.8.1 General Information

Year of Construction: 1999
Type of Structure
  Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
  Girder: Cast-in-Place Reinforced Concrete
  Beam: Precast Reinforced Concrete
  Slab: Pre-cast Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
  Pier: 68 MPa
  Girder: -
  Slab: -
  Beam: -

3.8.2 Views of the Sirindhorn Flyover

Fig. 3.37 Views of the Sirindhorn Flyover

3.8.3 Observed Deteriorations

Fig. 3.38 Cracks along tied bars on the tension side of the eccentric pier

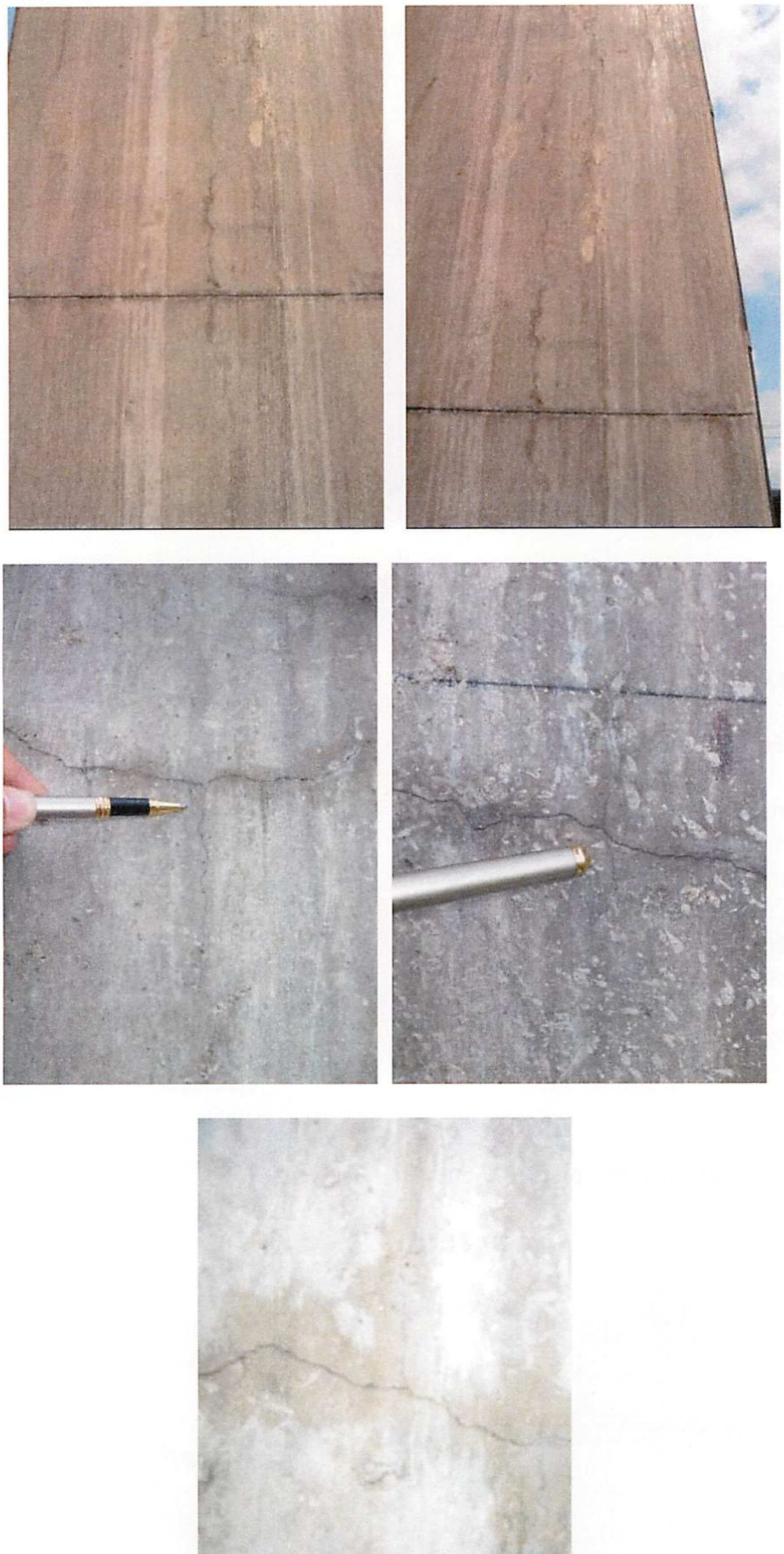


Fig. 3.39 Some cracks in vertical direction

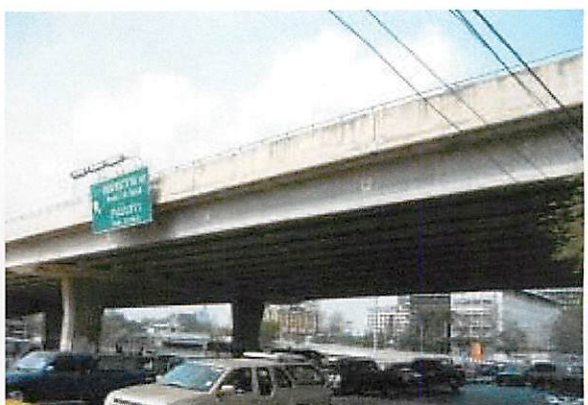
Fig. 3.40 Compressive strength test by Schmidt hammer

3.9 Ekkamai Flyover

3.9.1 General Information

Year of Construction: Not Available
Type of Structure
Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
Girder: Cast-in Place Reinforced Concrete
Beam: Precast Reinforced Concrete
Slab: Pre-cast Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
Pier: 62 MPa
Girder: 58 MPa
Beam: 60 MPa
Slab: 64 MPa
Depth of Carbonation at the pier: 0.5 cm

3.9.2 Views of the Ekkamai Flyover



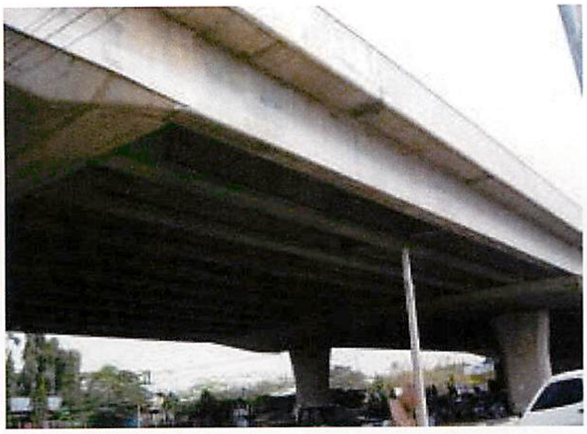


Fig. 3.41 Views of the Ekkamai Flyover

3.9.3 Observed Deteriorations

Fig. 3.42 Determination of carbonation depth

Fig. 3.43 Imperfect precast girder (repaired portion can be seen)

Fig. 3.44 Imperfect precast beams (repaired portion can be observed)

3.10 RAMKAMHAENG ELEVATED BRIDGE

3.10.1 General Information

Year of Construction: 2002
Type of Structure
  Pier: Cast-in Place Reinforced Concrete
  Girder: Precast Reinforced Concrete
  Beam: Precast Reinforced Concrete
  Slab: Pre-cast Reinforced Concrete
Compressive Strength by Schmidt Hammer
  Pier: 54 MPa
  Girder: 58 MPa
  Beam: 70 MPa
  Slab: 65 MPa
Depth of Carbonation at the pier: 0.5 cm.

3.10.2 Views of the Ramkamhaeng Elevated Bridge

Fig. 3.45 Views of the Ramkamhaeng elevated bridge

3.10.3 Observed Deterioration

Fig. 3.46 Cracks at barriers by crashing of the car

3.11 DEMONSTRATION OF NDT DEVICES AT RATCHAVIPA FLYOVER

Fig. 3.47 View of Ratchavipa flyover

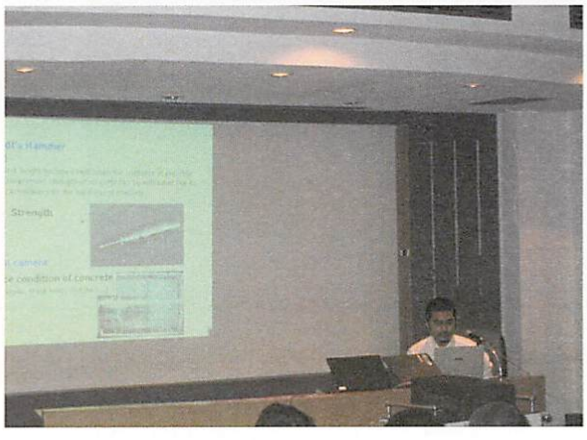


Fig. 3.48 Lecture on non-destructive testing techniques for evaluating concrete structures

Fig. 3.49 Demonstration of how to use NDT instruments under the Ratchavipa flyover

Fig. 3.50 The bridge was strengthened and repaired by shortcrete where was hit by a fire on May 12, 2000

Fig. 3.51 The bridge was strengthened and repaired by carbon fibre sheet where was hit by a fire on May 12, 2000

Fig. 3.52 Antenna of the Radar penetration equipment

Fig. 3.53 Demonstration of how to use Radar penetration equipment

Fig. 3.54 The result of the radar scanning of reinforcements in concrete

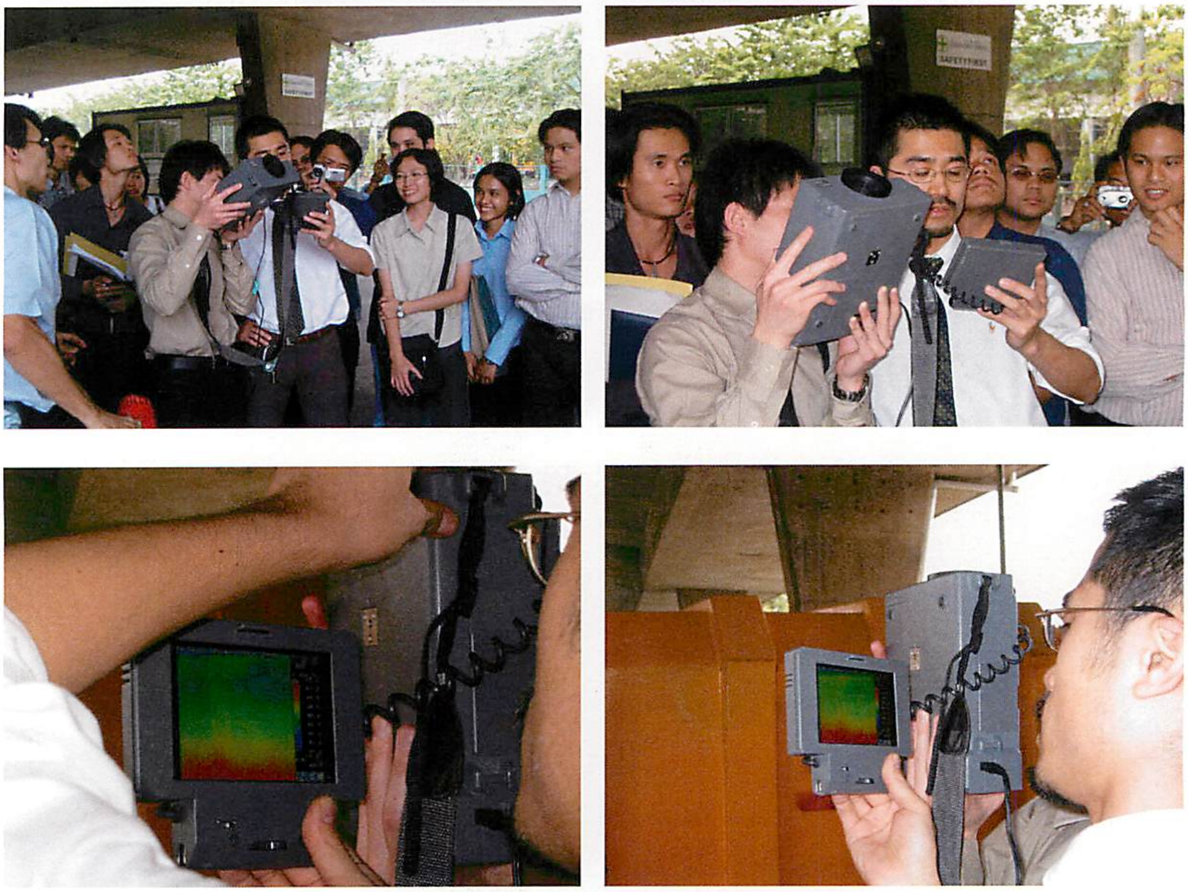


Fig. 3.55 Demonstration of how to use Thermography device

Fig. 3.56 Cracks occurred after the fire hitting on girder of the bridge

Fig. 3.57 Demonstration of impact-echo method

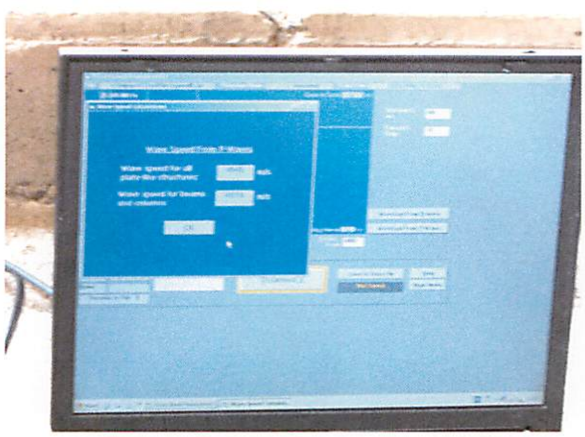


Fig. 3.58 The result of the reinforcement scanning using the impact-echo method

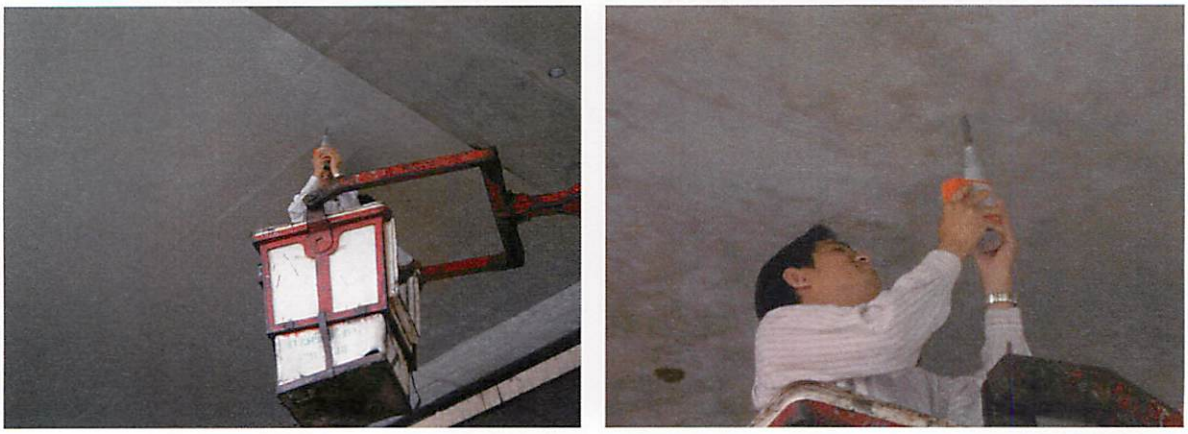


Fig. 3.59 Compressive strength test by Schmidt hammer at the repaired portions by carbon fiber sheet and shotcrete

CHAPTER 4

CONCLUDING REMARKS

The information of all bridges owned by Bangkok Metropolitan Administration was searched. There are totally 1953 bridges under superintending of BMA which are categorized as 31 flyovers, 598 pedestrian bridges, and 1324 canal bridges. The types and dimensions of structural components, location, year of construction, information on repair and maintenance were recorded in the computer program provided by the BMA's Civil Work Department. The information both in the forms of geographic based and tabulated based can be viewed from the computer program. Amidst the 1953 bridges, the structural health monitoring of 9 selected flyovers and 2 selected canal bridges were performed in details. Moreover, at the Ratchavipa flyover on March 13th, 2003, the demonstrations of the non-destructive testing devices, i.e. thermograph, radar penetration, and impact- echo, were carried out under the flyover in the area which was hit by the fire accident on May 12th, 2000.

From the intensive inspection of 9 selected flyovers and 2 selected canal bridges, it was found that few damages of the bridges were caused by loads, and that majority of damages were durability problems though many structures are under service for more than 20 years. This may be because the design concept used in the past was working stress concept with large safety factors (the Engineering Institute of Thailand (EIT) Code provided larger safety factors than the ACI Code that EIT adopted) and also quality of construction was better at that period.

Amongst the inspected bridges, it was found that threeo bridges need urgent repair, i.e. Jaroennakorn canal bridge, Vittayu canal bridge, and Sirindhorn flyover. Jaroennakorn and Vittayu canal bridges have encountered very severe carbonation causing serious reduction of the steel cross section.

All information obtained from this study will be used in the near future for bridge management including repair and maintenance operation in the form of Geographic Information System.

INTERNATIONAL CENTER FOR URBAN SAFETY ENGINEERING
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo
4-6-1 Komaba, Meguro-ku,
Tokyo 153-8505, Japan
http://icus.iis.u-tokyo.ac.jp/
E-mail: icus@iis.u-tokyo.ac.jp

Tel: (+81-3)5452-6472
Fax: (+81-3)5452-6476