

舗装技術専門委員会報告
Report of the Committee on Pavement
R-28

一般国道 49 号（津川町栄山地区）コンクリート舗装調査結果
－ 既設版の調査結果および修繕後のコンクリート版の供用 10 年調査結果 －

Report on Concrete Pavement in National Highway 49
－ Findings from research into pavement in use for ten years and pavement after repair －

2011 年 4 月
(April. 2011)

社団法人 セメント協会
Japan Cement Association

序

セメント協会 舗装技術専門委員会では、コンクリート舗装の普及を図るために、コンクリート舗装の技術的課題の解決に向けた検討を行っております。コンクリート舗装は十分な耐久性を持ち、長期供用が可能な舗装として認識されており、50年以上の供用実績を持つコンクリート舗装も現存しています。このような長期供用の結果、そのライフサイクルコストはアスファルト舗装のそれよりも安価であることが定量的に明らかとなりました。

しかし一方で、コンクリート舗装の破損の進行や路面性能の変化に関するデータの蓄積は十分ではなく、コンクリート舗装のパフォーマンスカーブは未だ明らかになっていません。長期供用後の破損状況や路面状況を知ることが、設計の見直しばかりでなく、効果的な維持管理方法の策定や補修工法の開発のためにも重要なことです。

一般国道 49 号ではコンクリート舗装が多く施工されており、1998 年にその時点で供用 28 年が経過したコンクリート舗装の補修工事が実施されました。舗装技術専門委員会では、この工事に合わせて同コンクリート舗装の詳細な調査を行うことができました。さらに、この補修区間はコンクリートにより補修されましたが、補修後のコンクリート舗装の経年変化についても継続的な調査を実施しております。

本報告書は、補修前のコンクリート舗装の詳細踏査結果と、新設コンクリート舗装の継続調査結果をまとめたものです。本報告書に記載されたデータが、今後のコンクリート舗装の研究・開発に活用されることを期待します。

本報告書記載の調査にあたり、ご協力頂いた国土交通省北陸地方整備局新潟国道事務所および大林道路株式会社に感謝いたします。また、本報告書のとりまとめに当たりご尽力いただいた、梶尾聡 WG 長をはじめとする舗装技術専門委員会新工法 WG メンバーに感謝いたします。

2011 年 3 月

社団法人セメント協会
舗装技術専門委員会
委員長 小梁川 雅

ABSTRACT

With the aim of promoting concrete pavement, the Pavement Committee of JCA has carried out investigation for solving technical problems related to concrete pavement. Concrete pavement is now recognized as sufficiently durable and usable for a long time. There certainly are concrete-paved roads that have been in service for more than 50 years. It has become quantitatively clear that such a long service life of concrete pavement reduces its lifecycle cost to a level lower than that of asphalt pavement.

Meanwhile, there have not been sufficient data accumulated regarding the progress of failure and changes in the road surface performance of concrete pavement. Its performance curve has not yet been clearly determined. It is important to know the state of failure and road surface conditions of concrete pavement after use for a long time for not only reviewing design but also formulating effective maintenance procedures and developing effective repair methods.

In 1998, repair of concrete pavement that had been in service for 28 years by then was carried out on National Highway 49, which includes many concrete-paved areas. The Pavement Committee was able to conduct detailed research into the pavement on the occasion of this repair. The areas repaired with concrete at this time were also subjected to continued research regarding post-repair changes over time.

This report summarizes the results of the detailed survey of concrete pavement before repair as well as ongoing research into newly placed concrete pavement. We hope that data appearing in this report will be utilized for the research and development of concrete pavement in the future.

We express our gratitude to the Niigata Highway Office, Hokuriku Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism and Obayashi Road Corporation for their cooperation. I am also grateful to the members of the New Method Working Group chaired by Mr. Satoshi Kajio, who made great efforts to complete this report.

March 2011

Masashi Koyanagawa
Chairman, Pavement Committee
Japan Cement Association

舗装技術専門委員会（敬称略 順不同）

委員長	小梁川 雅	東京農業大学
副委員長	安藤 豊	住友大阪セメント株式会社
委員	國府 勝郎	首都大学東京・名誉教授
	西澤 辰男	石川工業高等専門学校
	渡辺 博志	独立行政法人土木研究所
	久保 和幸	独立行政法人土木研究所
	関口 幹夫	東京都土木技術支援・人材育成センター
	神谷 恵三	株式会社高速道路総合技術研究所（2010年7月退任）
	佐藤 正和	株式会社高速道路総合技術研究所（2010年7月選任）
	高橋 哲躬	大林道路株式会社（2010年4月退任）
	小関 裕二	大林道路株式会社（2010年4月選任）
	野田 悦郎	日本道路株式会社
	根本 信行	株式会社 NIPPO
	児玉 孝喜	鹿島道路株式会社
	中丸 貢	大成ロテック株式会社（2010年4月退任）
	辻井 豪	大成ロテック株式会社（2010年4月選任）
	松田 敏昭	世紀東急工業株式会社
	伊藤 康司	全国生コンクリート工業組合連合会（2009年6月退任）
	辻本 一志	全国生コンクリート工業組合連合会（2009年6月選任）
	野田 恒幸	麻生ラファージュセメント株式会社
	大和功一郎	宇部興産株式会社（2010年7月退任）
	佐々木 彰	宇部興産株式会社（2010年7月選任）
	梶尾 聡	太平洋セメント株式会社
	西本 貴夫	株式会社トクヤマ
	小倉 東	日鐵セメント株式会社
	黒岩 義仁	三菱マテリアル株式会社（2009年6月退任）
	高尾 昇	三菱マテリアル株式会社（2009年6月選任）
事務局	村田 芳樹	社団法人セメント協会（2010年1月退任）
	佐藤 智泰	社団法人セメント協会（2010年1月選任）
	泉尾 英文	社団法人セメント協会（2010年11月選任）
	野田 潤一	社団法人セメント協会

舗装技術専門委員会 新工法WG（敬称略 順不同）

WG リーダー 委 員	梶尾 聡	太平洋セメント株式会社
	西澤 辰男	石川工業高等専門学校
	久保 和幸	独立行政法人土木研究所
	関口 幹夫	東京都土木技術支援・人材育成センター
	松田 敏昭	世紀東急工業株式会社
	野田 悦郎	日本道路株式会社(2009年4月退任)
	中原 大磯	日本道路株式会社(2009年4月選任)
	高橋 哲躬	大林道路株式会社(2010年4月退任)
	小関 裕二	大林道路株式会社(2010年4月選任)
	伊藤 康司	全国生コンクリート工業組合連合会(2009年6月退任)
	辻本 一志	全国生コンクリート工業組合連合会(2009年6月選任)
	野田 恒幸	麻生ラファージュセメント株式会社
	西本 貴夫	株式会社トクヤマ
	小倉 東	日鐵セメント株式会社
	黒岩 義仁	三菱マテリアル株式会社(2009年6月退任)
	高尾 昇	三菱マテリアル株式会社(2009年6月選任)

事 務 局	村田 芳樹	社団法人セメント協会(2010年1月退任)
	佐藤 智泰	社団法人セメント協会(2010年1月選任)
	泉尾 英文	社団法人セメント協会(2010年11月選任)
	野田 潤一	社団法人セメント協会

調査開始関係者（敬称略 順不同）

舗装技術専門委員会委員（*旧補修リサイクルWGメンバー、所属名は1999年時）

（委員長）	国府 勝郎	東京都立大学
	西澤 辰男	石川工業高等専門学校
	小梁川 雅	東京農業大学
	河野 広隆	建設省土木研究所
	池田 拓哉	建設省土木研究所
	* 七五三野茂	日本道路公団試験研究所
	阿部 忠行	東京都土木技術研究所
	井上 武美	日本舗道株式会社
	* 野田 悦郎	日本道路株式会社
	* 國分 修一	大林道路株式会社
	加形 護	鹿島道路株式会社
	* 中丸 貢	大成ロテック株式会社
	小野寺孝樹	世紀東急工業株式会社
	伊藤 康司	全国生コンクリート工業組合連合会
	五十嵐浩行	宇部興産株式会社
	渡辺 夏也	住友大阪セメント株式会社
* (WG リーダー)	関野 一男	太平洋セメント株式会社
	渡辺 武	電気化学工業株式会社
	下山 善秀	太平洋セメント株式会社
	堤 博文	麻生セメント株式会社
	* 本田 欽也	新日鐵化学株式会社
	* 佃 美伸	株式会社トクヤマ
	* 工藤 篤志	日鐵セメント株式会社
	高橋 一男	日立セメント株式会社
	与那嶺正雄	琉球セメント株式会社
	中山 英明	三菱マテリアル株式会社
	* 村田 芳樹	社団法人セメント協会
事務局	吉本 徹	社団法人セメント協会
	野田 潤一	社団法人セメント協会

目 次

1. まえがき	1
2. 調査概要	2
2.1 調査区間	2
2.2 既設版および修繕後の施工時期および舗装断面	2
2.2.1 既設版のコンクリート舗装	2
2.2.2 修繕後のコンクリート舗装版	2
2.3 交通量	3
3. 既設版の調査	4
3.1 既設版の調査項目	4
3.2 既設版の調査方法	6
3.2.1 ひび割れおよび段差	6
3.2.2 路盤	6
3.2.3 路盤の支持力	7
3.2.4 ダウエルバー	7
3.2.5 コンクリート版の性状	7
4. 既設版の調査結果	10
4.1 ひび割れ	10
4.2 段差	13
4.3 路盤	15
4.3.1 開削による路盤の目視状況	15
4.3.2 路盤の支持力	18
4.4 ダウエルバー	18
4.5 コンクリート版の性状	21
4.5.1 版厚	21
4.5.2 単位容積質量	21
4.5.3 曲げ強度および圧縮強度	21
4.5.4 材料(骨材)分離	24
4.5.5 中性化	24

4.5.6 配合推定.....	24
4.6 供用 22 年の調査結果.....	26
5. 既設版の調査結果の考察.....	27
5.1 路盤.....	27
5.2 目地部.....	27
5.3 コンクリート版.....	30
5.3.1 コンクリート版の疲労.....	30
5.3.2 コンクリートの各種物性調査.....	32
5.4 コンクリート版の破損進行メカニズム.....	33
6. 既設版の調査結果のまとめ.....	34
7. 修繕後のコンクリート版の追跡調査.....	35
7.1 修繕後のコンクリート版の配合、施工.....	35
7.2 修繕後のコンクリート版の追跡調査項目および方法.....	35
7.3 修繕後のコンクリート版の追跡調査結果.....	36
7.3.1 供用 1 年の状況.....	36
7.3.2 供用 4 年の状況.....	36
7.3.3 供用 10 年の状況.....	36
8. 修繕後のコンクリート版の追跡調査のまとめ.....	39
－参考文献－.....	39

1. まえがき

国土交通省（旧建設省） 北陸地方整備局 新潟国道事務所管内の一般国道 49 号 津川町栄山地区のコンクリート舗装(1970 年施工)は、供用後約 28 年が経過し、設計当初より交通荷重が増加したなどの理由により、ひび割れ、段差などの損傷が発生し、本舗装区間は、順次修繕が行われ、1998 年には、2 区間 約 1000m についてコンクリート舗装版の修繕が行われた。

セメント協会 舗装技術専門委員会は、新潟国道事務所を始めとする多くの機関の協力を得て、その内の 1 区間(約 550m)の長期供用した修繕前のコンクリート舗装について、路面状況、目地部の状況、路盤の状況およびコンクリートの強度性状等、詳細な調査を実施した。

また、修繕後の新しいコンクリート舗装版も、コンクリート舗装の長期耐久性の検証のために、数年ごとに、目視で路面状況、目地部の状況、補修状況を調査した。

本調査報告は、修繕工事により撤去された既設コンクリート舗装の調査結果、および修繕後のコンクリート舗装の長期耐久性の中間調査結果をまとめたもので、今後のコンクリート舗装の設計・施工への基礎資料とすることを目的にしている。

2. 調査概要

2.1 調査区間

調査は1998年（1998年）度発注の「津川舗装修繕その2工事」（施工者：大林道路株式会社）に合わせて実施したものである。

調査区間は、一般国道49号 距離標179.3から距離標179.95までである。また、調査対象のコンクリート舗装版は幅員3.25m、目地間隔6mの186枚（上下線の合計約1,100m）である。

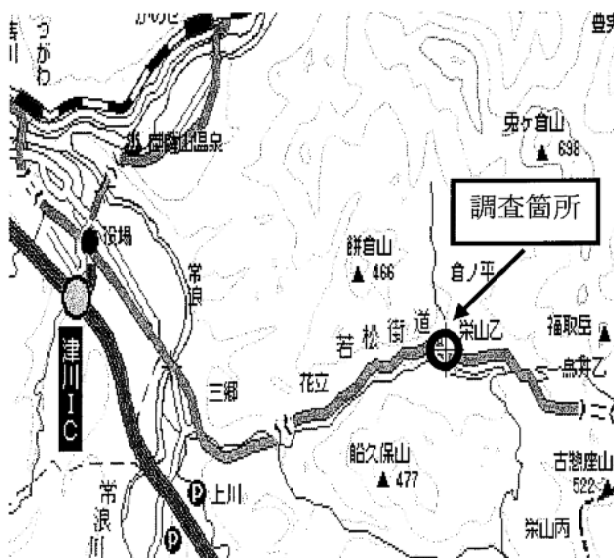


図 2-1 調査場所



写真 2-1 調査場所状況

2.2 既設版および修繕後の施工時期および舗装断面

2.2.1 既設版のコンクリート舗装

調査区間のコンクリート舗装の施工時期および舗装断面は以下のとおりである。

施工時期：1970年（昭和45年）4月24日～10月5日

舗装断面構成：表層－コンクリート版 版厚23cm

路盤－切込み砕石 路盤厚20cm

コンクリート版厚23cmは、セメントコンクリート舗装要綱（昭和59年版）には規定されていない数値であり、現在の設計では25cm（N₅（旧B）交通）となる。

2.2.2 修繕後のコンクリート舗装版

調査区間のコンクリート舗装の施工時期および舗装断面は以下のとおりである。

施工時期：1998年（1998年）11月

舗装断面構成：表層－コンクリート版 版厚25cm

路盤－セメント安定処理 路盤厚15cm

2.3 交通量

調査区間の 12 時間交通量調査結果を図 2-2 に示す。これより、12 時間交通量は 1990 年までは増加傾向であり、1997 年磐越道の開通に伴いほぼ安定してきた。大型車混入率は、1997 年までは 27～33%程度で安定しているが、それ以降 37～40%と増加傾向であった。また、昼夜比率は、1980 年以降約 1.3 前後である。

設計当時は、区間自動車交通量 2000～7500 未満(台/日/2 車線)、版厚 23cm と設計された(昭和 39 年版セメントコンクリート舗装要綱)。しかしながら、交通量の増加に伴い N₆ (旧 C 交通) に区分されるべきであることがわかる。

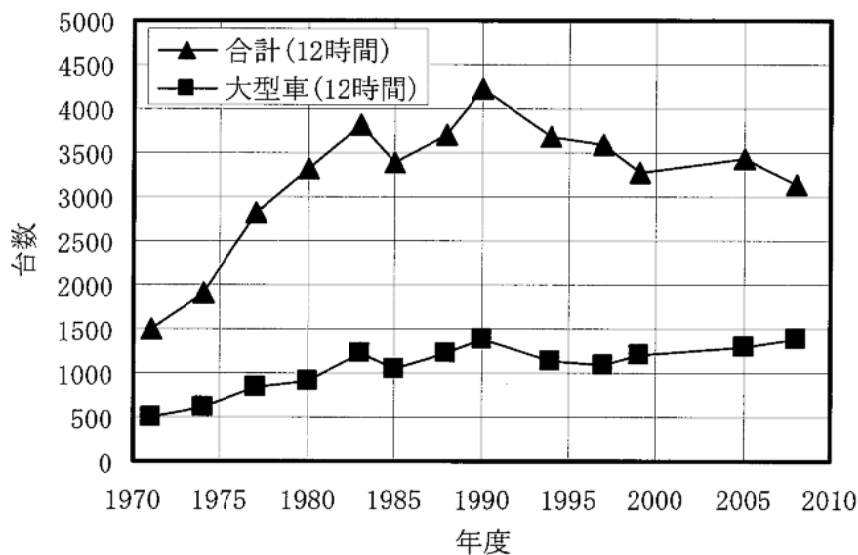


図 2-2 12 時間交通量調査結果

3. 既設版の調査

3.1 既設版の調査項目

現地調査および採取供試体などによる室内調査に加えて事前調査を実施した。事前調査は、今回の現地調査結果等と比較するため、1992 年（1992 年）に実施された調査結果から当調査区間に関する情報を抽出した。現地調査は、ひび割れ調査や目地部段差調査といった通常の路面性状調査に加えて、コンクリート版の開削を行うことによる路盤調査およびコンクリート版から取り出したダウエルバーの腐食状況の調査を行った。

調査項目および内容を表 3-1 に示す。調査箇所位置を図 3-1 に示す。

表 3-1 調査項目

調査分類	調査箇所	調査項目	特記事項
目視調査	ひび割れ	ひび割れ本数 ひび割れ長さ ひび割れ幅	実施：大林道路株式会社
	目地部	段差量 ボンピングの有無	実施：大林道路株式会社
開削調査	路 盤	目視調査(エロージョンの有無) 平板載荷試験	実施：大林道路株式会社 セメント協会
	ダウエルバー	ダウエルバー径の測定	実施：セメント協会
	コンクリート版	曲げ強度試験 圧縮強度試験 単位容積質量 版厚測定 配合推定試験 材料(分離)分離調査 中性化試験	供試体採取：大林道路株式会社 試験実施：セメント協会

179.4 KP											
← 至 新潟											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
186	185	184	183	182	181	180	179	178	177	176	175
至 福島 →											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
174	173	172	171	170	169	168	167	166	165	164	163
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
162	161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
150	149	148	147	146	145	144	143	142	141	140	139
										横断歩道	
										吉田酒店	
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
138	137	136	135	134	133	132	131	130	129	128	127
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
126	125	124	123	122	121	120	119	118	117	116	115
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
114	113	段差大	111	破損有	平板	109	108	段差小	106	105	104
112	110	107	106	105	104	103					
85	86	87	88	89	90	91	92	93			
102	101	100	平板	99	98	97	96	95	94		

179.95 KP

注) 目地間隔 6m、幅員 3.25m

図 3-1 調査箇所位置図

3.2 既設版の調査方法

3.2.1 ひび割れおよび段差

調査区間のすべてのコンクリート版 186 枚を対象にひび割れおよび段差調査を行った。

3.2.2 路盤

コンクリート舗装版をカッターで大きく切り取り、開削して路盤の状況を観察した。

調査箇所は、ひび割れおよび段差の有無による路盤の相違を目視調査するために、ひび割れ調査結果から表 3-2 に示す箇所とした。

表 3-2 路盤目視調査の開削条件と開削箇所

開削条件	コンクリート版 No.	コンクリート版の状況	開削の大きさ (mm)	備考
健全なコンクリート版	No.84	ひび割れなし	1800×1800	—
破損のあるコンクリート版	No.77	亀甲状のひび割れ発生、湧水有り	1800×1800	平板載荷試験 (No.78、88)
段差の小さい目地部	No.80-81	段差小(0mm)	1000×3000	ダウエルバー調査
段差の大きい目地部	No.75-76	段差大(15mm)	1000×3000	ダウエルバー調査

※コンクリート版 No.は図 3-1 参照



写真 3-1 健全なコンクリート版(No.84)



写真 3-2 破損コンクリート版(No.77)



写真 3-3 段差の小さい目地部(No.80-81)



写真 3-4 段差の大きい目地部(No.75-76)

3.2.3 路盤の支持力

路盤の支持力は、JIS A 1215「道路の平板載荷試験方法」に従って、コンクリート版 No.78 と No.88 の箇所を実施した。試験はパワーショベルを反力に用い、直径 30cm の平板上に 5tf の油圧ジャッキを用いて行った。

3.2.4 ダウエルバー

供用から 28 年経過したダウエルバーの状態を把握するため、開削した目地部コンクリート版から、建設重機を用いてダウエルバーを取り出し、腐食による断面損失状況や腐食長を調べた。調査した目地は路盤調査と同一の、段差のほとんどない箇所(段差量 0mm)No.80-81、段差の大きい箇所(段差量 15mm)No.75-76 である。

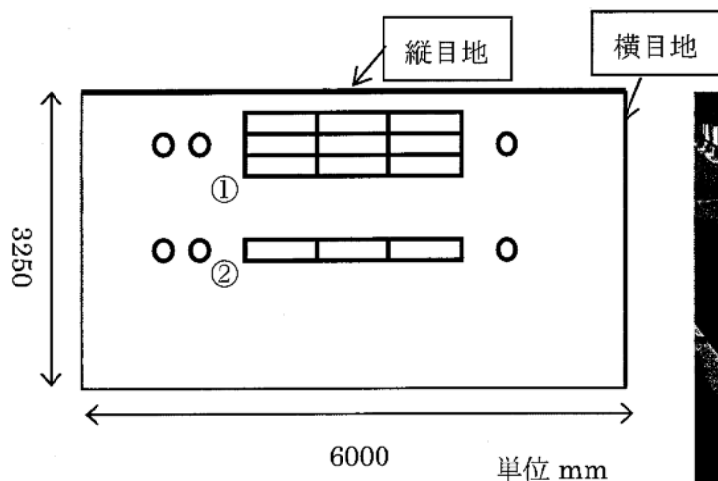
3.2.5 コンクリート版の性状

コンクリート版の性状は版厚測定、曲げ強度試験、圧縮強度試験、単位容積質量試験、配合推定試験、中性化試験および材料分離試験により調査した。供試体は、まず、路盤状況を調査するために開削したコンクリート版から現場より採取し、セメント協会研究所にて、各試験に用いる試験体寸法に整形した。供試体を採取したコンクリート版の状況および箇所、採取数量を表 3-3 に示す。

表 3-3 採取した供試体の種類と数量

採取条件	コンクリート版 No.	コンクリート版の 状況	供試体種類と数量	実施試験
健全箇所	No.81 No.83	健全、ひび割れなし	走行部 円柱 3(計 6) 角柱 12(計 24)	・曲げ強度試験 ・圧縮強度 ・単位容積質量 ・版厚測定 ・配合推定 ・中性化(別途採取) ・材料分離(別途採取)
			非走行部 角柱 3(計 6)	
破損箇所	No.77	亀甲状のひび割れ、湧水有り	円柱 3 角柱 3	

コア供試体は、表 3-3 に示したとおりの種類および数量のものを採取した(写真 3-5)。個々で、健全部の曲げ強度用供試体については車両の走行の影響をみるために、版長手方向の版端の車輪通過部と版中央部の非走行部から採取した。その位置を図 3-2 に示す。破損部に関しては、ひび割れが供試体に入らないような位置で採取できるよう考慮した。



- ① 走行部角柱 9 本、円柱 3 本
 ② 非走行部角柱 3 本、円柱 3 本

図 3-2 コア供試体採取位置図



写真 3-5 供試体採取状況

1) 版厚測定および単位容積質量測定試験

版厚測定は、現場より採取した曲げ強度試験用供試体を所定の寸法に整形する前に実施した。また、単位容積質量は、各種強度試験用の寸法に整形し直した供試体を用いてその寸法と質量を測定し算出した。なお、鉄網の影響は混入量が少ないので無視した。

2) 曲げおよび圧縮強度試験

圧縮強度試験および曲げ強度試験は、それぞれ JIS A 1108 および JIS A 1106 に従い実施した。

曲げ強度試験用の供試体は、現場の版厚が約 23cm あるため、再度カッターを用いて所定の大きさ(15×15×53cm)となるよう整形した。このとき、コンクリート版には表面側に鉄網(丸鋼 $\phi 6\text{mm}$)が入っているので、コンクリート版下面が引張側で鉄網がなるべく圧縮側になるように配慮した。また、JIS の曲げ強度計算方法は、無筋のコンクリート供試体を対象としたものであるのに対し、本コンクリート版は鉄筋量が小さいとはいえ鉄網が入っており、厳密にいうと鉄筋コンクリートとしての取り扱いが必要になる。しかし、鉄網用丸鋼鉄筋は直径 6mm で供試体 1 体につき 1 本が材軸方向に入っている程度であること、鉄筋による中立軸位置のずれは計算上 2～3mm 程度であることから曲げ強度への影響が無視し得るほど小さいと判断し無筋コンクリートとして取り扱った。

圧縮強度用供試体は、コンクリートに用いた骨材の最大寸法が 40mm であることから直径 15cm としたが、供試体高さは版厚が約 23cm であることから、供試体の高さが標準値である「高さ/直径比=2」より小さくなった。このため、JIS A 1108 に従い寸法効果の補正係数を用いて圧縮強度を求めた。

3) 材料(骨材)分離調査

23cm(版厚)×12cm×9cm の現場から採取した供試体 1 体を用いて骨材の分離状況を確認した。確認の方法は、カットした面の骨材を目視観察しやすいように黒色に着色し、目視観察した。

4) 中性化試験

中性化試験は、JIS A 1152 に従い、実施した。

5) 配合推定試験

本舗装に用いられたコンクリートの配合や強度管理のデータ等は、施工後 28 年経ているため、現状では得ることができない。そこで、舗装に用いられたコンクリートの配合推定試験を実施した。配合推定試験は、セメント協会の「硬化コンクリートの配合推定試験」⁽³⁾の方法に従った。試料は、コンクリート版 No.77(ひび割れ部)と No.83(健全部)の 2 試料とし、骨材最大寸法が 40mm であることから約 12~15cm 以上の辺を持つ曲げ強度試験終了後の試験片を用いた(写真 3-6)。表 3-4 は、配合推定を行うための仮定値を示したものである。セメントの仮定値は、昭和 45 年当時の標準的な普通ポルトランドセメントの化学分析および物理試験値を用いた。骨材に関しては、全国から集めた細骨材 26 種、粗骨材 26 種を分析した値の平均値⁽³⁾を用いた。また、配合を推定する上で、空気量の仮定値が必要であることから気泡径分布の測定を実施した。測定は、画像解析装置を用いる方法⁽⁴⁾であり、測定断面を研磨して黒色インクで着色した後、白色の流動パラフィンを気泡に充填して濃淡をつけ、画像解析装置により気泡径および気泡面積を算出した(写真 3-7)。

表 3-4 使用材料の物性仮定値と配合仮定値

	不溶残分(%)	CaO(%)	密度	細骨材率
セメント	0.1	64.8	3.16	—
細骨材	95.6	0.3	2.58	0.35
粗骨材	94.9	0.4	2.63	

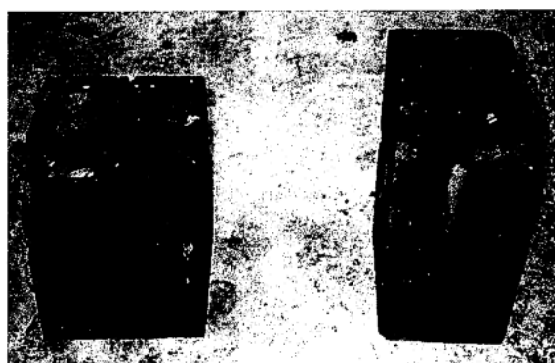


写真 3-6 配合推定用試料



写真 3-7 気泡間隔係数測定用供試体

4. 既設版の調査結果

4.1 ひび割れ

ひび割れ調査結果は、図 4-1 および図 4-2 に詳細に記した。また、本報告書に記述する「コンクリート版 No.」は、図 4-1 および図 4-2 と同一箇所を示すものである。

ひび割れ調査の結果について、コンクリート版の状況を次のように大別し、表 4-1 のように整理した。

- ・全面をアスファルトで補修(オーバーレイ)した版
- ・段差やひび割れをアスファルトで部分補修した版
- ・補修なしで、亀甲状のひび割れが生じている版
- ・補修なしで、貫通ひび割れが 1 本以上または、未貫通ひび割れが数本発生している版
- ・補修なしで、ひび割れが生じていない版(未貫通ひび割れ 1 本発生版含む)

表 4-1 から、アスファルトによる補修が全体の 70%を占めているものの、補修していない版も 30%存在していることがわかる。また、供用から 28 年経過しているが、ひび割れの発生していない版が全体の 10%と少ないが 15 枚あることがわかった。

表 4-1 コンクリート版のひび割れ調査結果

186 枚 (100%)	補修あり 130 枚(70%)	アスファルトオーバーレイ	76 枚(41%)
		アスファルトパッチング	54 枚(29%)
	補修なし 56 枚(30%)	亀甲状ひび割れ	5 枚(3%)
		ひび割れあり(亀甲ひび割れを除く)	36 枚(19%)
		ひび割れなし*	15 枚(8%)

※ひび割れなしの数量には、未貫通ひび割れ 1 本の版(6 枚)含む。

これらの結果を 1992 年に実施した調査結果と比較すると、コンクリート舗装の状態は図 4-1 および図 4-2 のようになる。図 4-3 に 1992 年と 1998 年を比較したコンクリート版の状態を表 4-1 をもとに棒グラフに整理した。アスファルトによる全面オーバーレイは 1992 年～1998 年の間ではほとんど実施されていないが、アスファルトによる部分補修(パッチング)は 20 枚以上実施されていることがわかる。また、ひび割れの発生していなかった健全な版が 45 枚から 15 枚へと 3 分の 1 程度に減少していることがわかった。

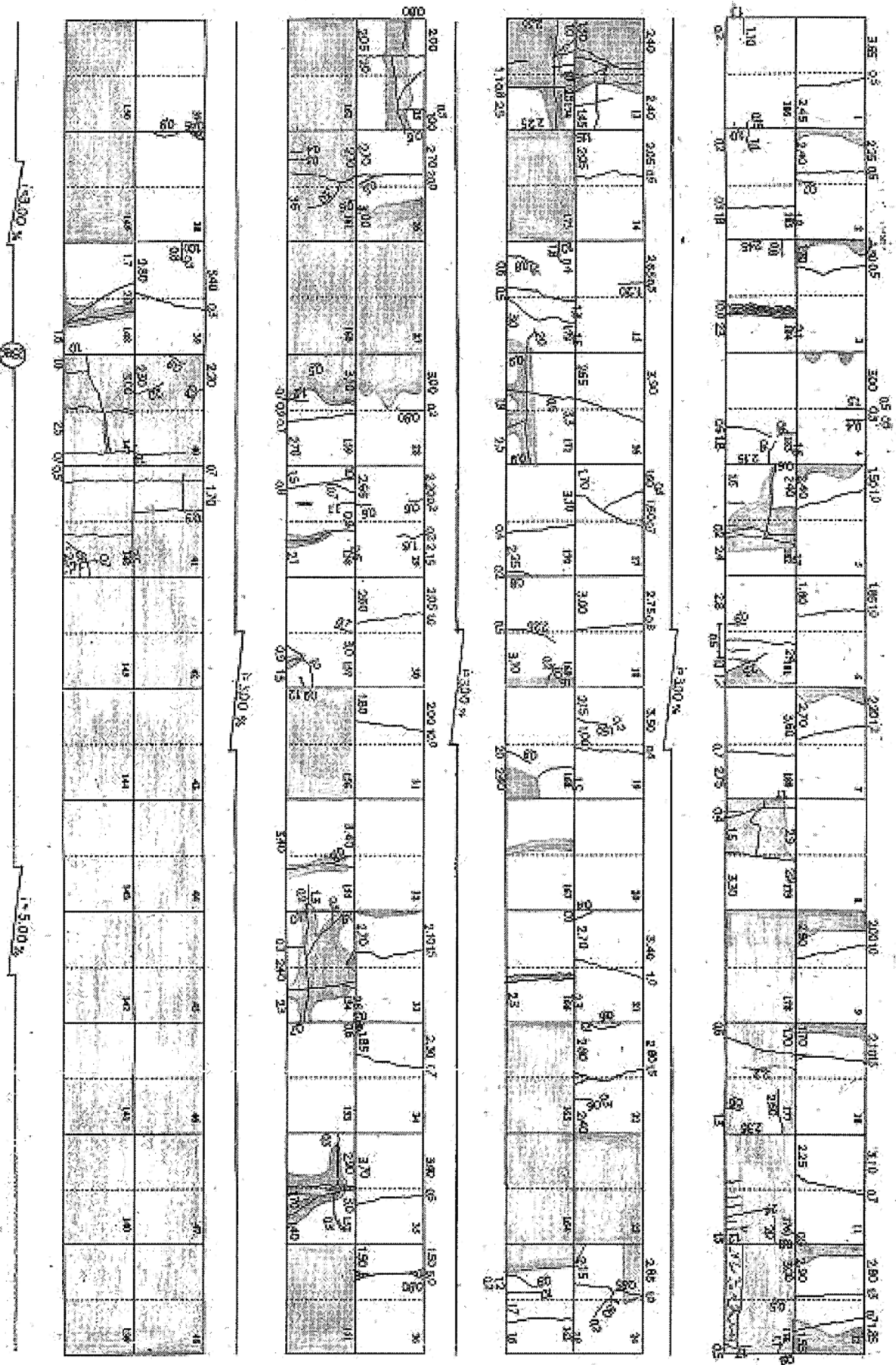


図 4-1 ひび割れおよび段差調査結果(版 No.1~48、139~186)

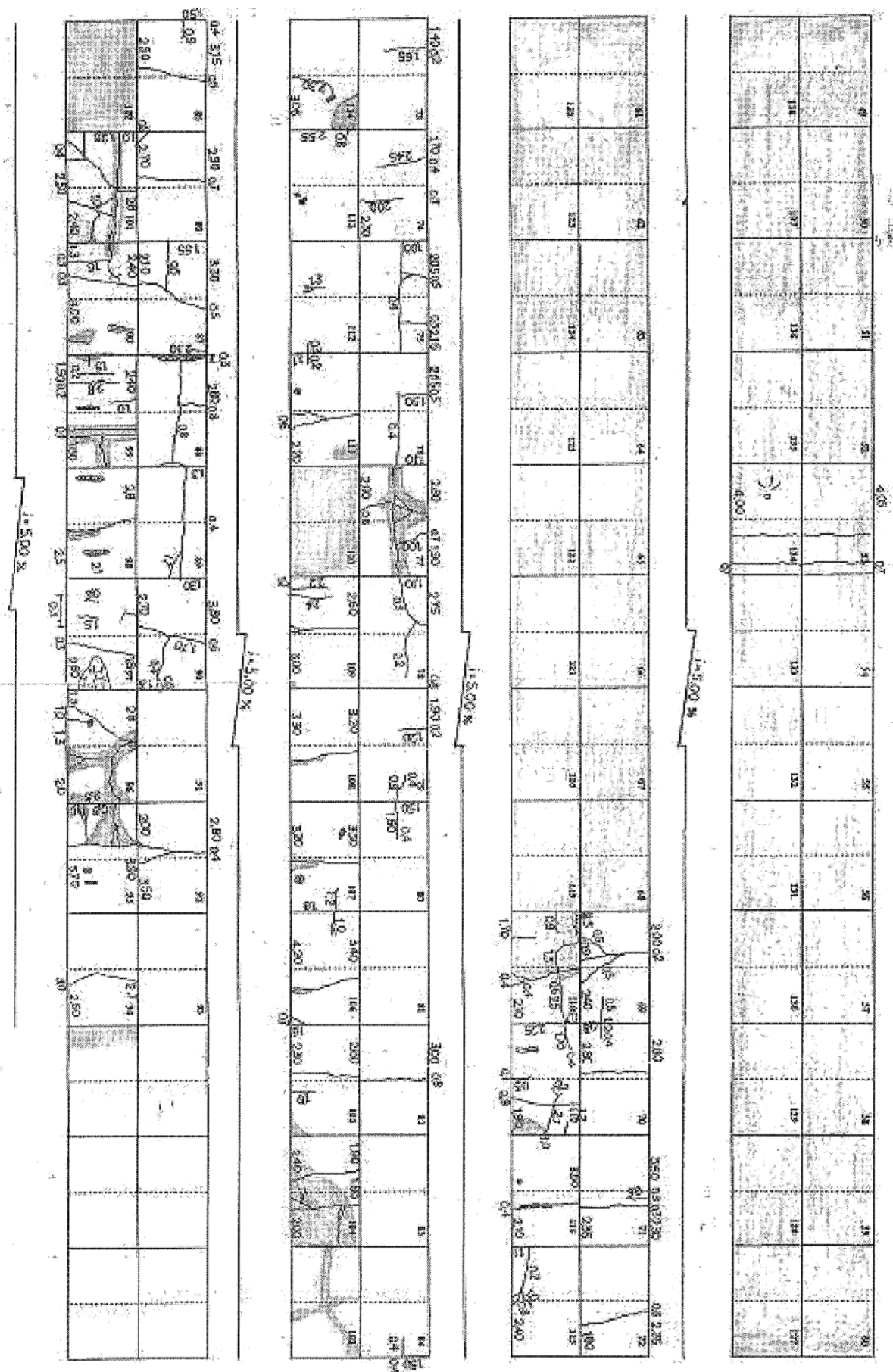


図 4-2 ひび割れおよび段差調査結果(版 No.49~93、94~138)

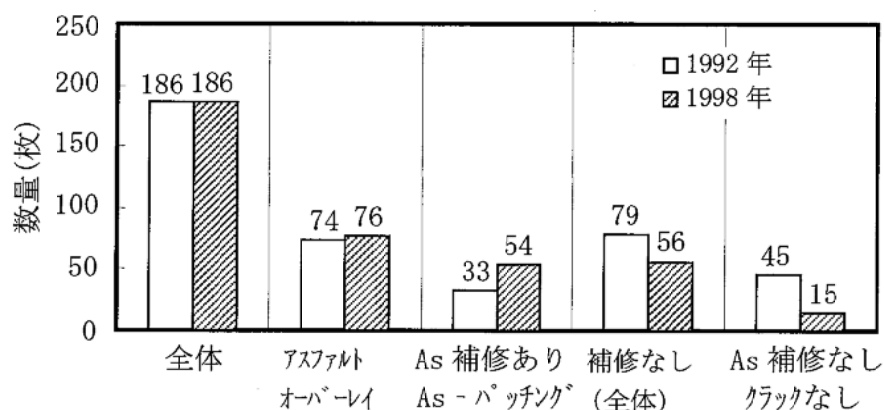
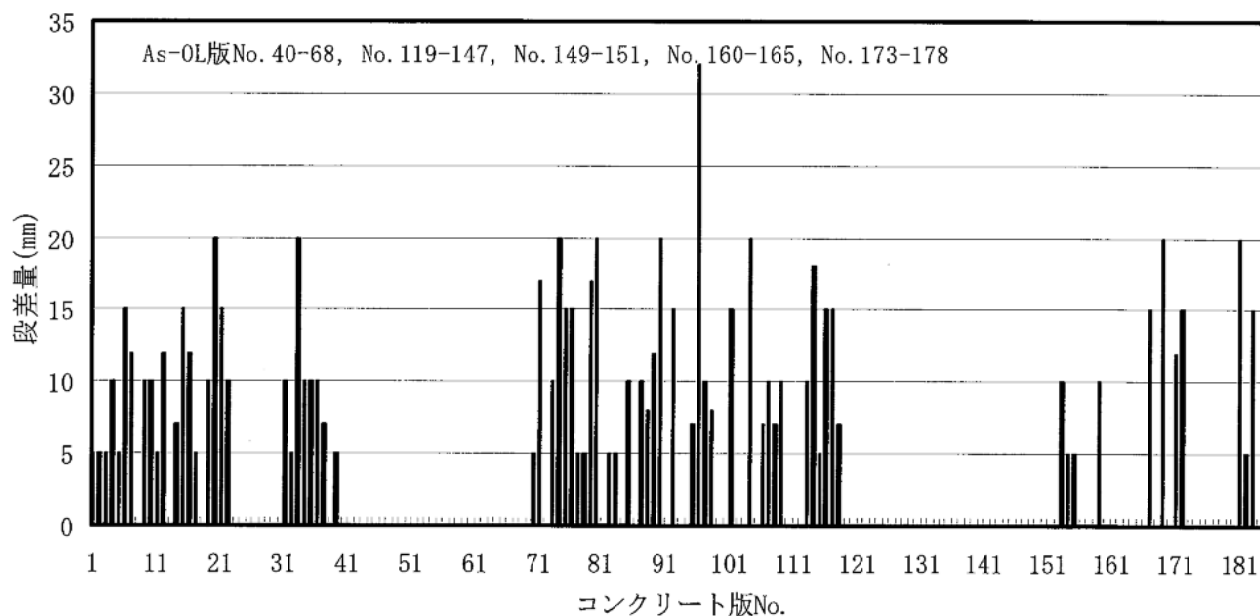


図 4-3 コンクリート版の状態(1992 年との比較)

4.2 段差

ひび割れ調査および段差調査は、図 4-1 および 4-2 に詳細に記した。横目地部における段差調査結果は、幅員 3.25m のうち、最大の段差量を示した箇所のものである⁽⁵⁾。それによると段差の平均は 8.7mm、段差の最大は 32mm となった。また、図 4-4 にコンクリート版 No.毎の段差量を、表 4-2 に段差量の頻度分布をまとめたものを示す。

図 4-4 より、アスファルトでオーバーレイされていない箇所ではほとんどの目地で段差が生じていることがわかった。また、表 4-2 より、段差量は 30mm 以上と非常に大きいものもあるが概ね 0~20mm の範囲にあること、1992 時の調査とは大きく異なった結果であることがわかった。



※コンクリート版 No.n とは、コンクリート版 No.n-1 と No.n との間の目地を示す。
 ※As OL はアスファルトオーバーレイの略。

図 4-4 段差量の調査結果

表 4-2 段差量の頻度分布

段差量(mm)	頻度
0	21
$0 < x \leq 5$	17
$5 < x \leq 10$	26
$10 < x \leq 15$	17
$15 < x \leq 20$	11
$20 < x \leq 25$	0
$25 < x \leq 30$	0
$30 < x \leq 35$	1
合 計	93

※アスファルトで目地が全面覆われた箇所を除く

4.3 路盤

4.3.1 開削による路盤の目視状況

コンクリート版を開削した時の路盤の状況を写真 4-1～写真 4-17 に示した。この調査から明らかになったことをまとめると以下のである。

(a) 健全版(No.84、写真 4-1)および破損版(No.77、写真 4-2)の特徴と相違

- 1) 健全版・破損版ともに路盤の表面には細かい粒状材が浮き出ていたが、破損版の方が路盤表面に浮き出ている粒状材が粗いようであった。
- 2) 健全版・破損版ともに、路盤が水を含み軟弱化しているような様子は特になかった。(以上、写真 4-6、写真 4-9 より)
- 3) 健全版・破損版ともに、路盤厚は設計どおりであった。(写真 4-8、写真 4-11 より)
- 4) 破損版には、路盤とコンクリート版の間に空隙があった。

4)に関しては、以下の方法で確認した(写真 4-12 参照)。

現場は、縦断方向に 5%程度の勾配を持つ区間であり、図 4-5 に示すように、開削した版の上方で円柱コア供試体を採取跡のコア穴に水を貯めてその水位の変化を観察することで、コンクリート版と路盤との間の空隙の有無を確認した。ただし、健全部の代表として開削した No.84 版はコア供試体を採取する計画ではなかったので、同じ健全版である No.81 版に対して確認を行った。また、No.81 版の場合、角柱供試体採取箇所が大きな開口部となったのでそれを利用した。その結果、破損部である No.77 版では 150 秒間の水位の減少が約 1cm あり、開削箇所から水が流れ出ていることを確認した。これに対し、健全版の No.81 では全く水位に変化がなかった。

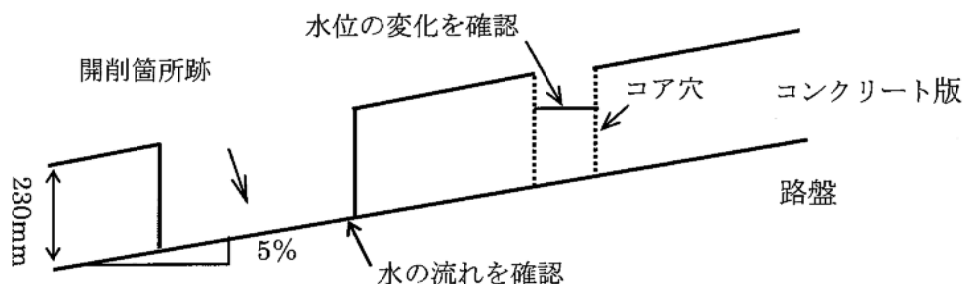


図 4-5 路盤空隙確認方法概略図(断面図)

(b) 段差目地部の路盤の目視状況

- 1) 小段差部 No.80-81 および大段差部 No.75-76 共に、路盤の表面には細かい粒状材が浮き出ていた。また、目地直下部の路盤は、目視でわかるような空洞は認められなかったが、細粒分が目地から流出している痕跡が認められた。
- 2) 小段差部および大段差部共に、路盤が水を含み軟弱化しているようなことは特になかった。(以上、写真 4-13、写真 4-15 より)
- 3) 写真 4-16 でわかるように、大段差部 No.75-76 はひび割れ誘発のためのサン木が挿入されたようであり、コンクリートが大きく断面欠損していた。



写真 4-1 健全なコンクリート版(No.84)



写真 4-2 破損コンクリート版(No.77)



写真 4-3 段差の小さい目地部(No.80-81)

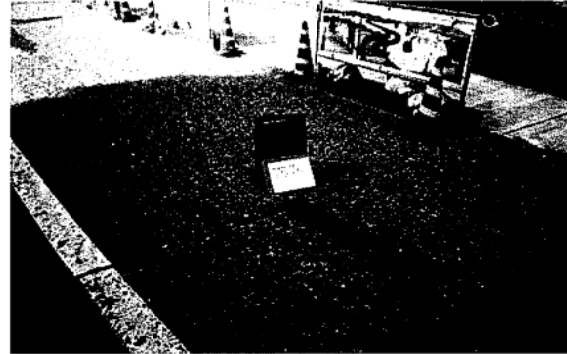


写真 4-4 段差の大きい目地部(No.75-76)



写真 4-5 段差の確認 15mm(No.75-76)



写真 4-6 開削の状況



写真 4-7 版厚の確認(健全版 No.84)
(版厚 23cm)



写真 4-8 路盤厚の確認(健全版 No.84)
(路盤厚 20cm)



写真 4-9 開削の状況(破損版 No.77)



写真 4-10 版厚の確認(破損版 No.77)

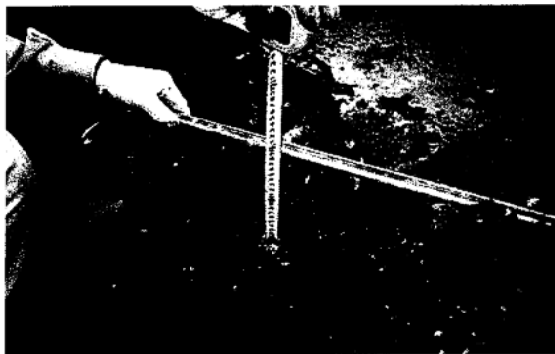


写真 4-11 路盤厚の確認(健全版 No.84)
(路盤厚 20cm)



写真 4-12 水位減少の確認
路盤との間に空隙があり水位減少を確認



写真 4-13 目地部開削(目地 No.80~81)
小さな段差



写真 4-14 ダウエルバーの位置確認



写真 4-15 目地部開削(目地 No.75~76)
大きな段差



写真 4-16 目地 No.75~76 の底面



写真 4-17 目地 No.75～76 の
ダウエルバーの破断状況

4.3.2 路盤の支持力

平板載荷試験方法による路盤の支持力の試験結果を表 4-3 に示す。本コンクリート舗装は昭和 39 年版セメントコンクリート舗装要綱では、路盤支持力係数 $K_{30} \geq 15 \text{ kgf/cm}^3 (0.147 \text{ N/mm}^3)$ と記述されており、その値を満足していた。また、このコンクリートはともに縦ひび割れや隅角部ひび割れが発生している版であるが、路盤の支持力という観点からは問題のない路盤であったといえる。

表 4-3 路盤の支持力の試験結果

コンクリート版 No.	地盤係数 K_{30} (N/mm^3)
No.78	0.211
No.88	0.227

4.4 ダウエルバー

小段差部の目地 No.80-81 では問題なくダウエルバーが取り出せたのに対し、大段差部の目地 No.75-76 では、取り出し作業中に目地を挟んだ両側の版が折れ曲がり、ほとんどダウエルバーを取り出すことができなかった。これは、大段差部の場合、大部分のダウエルバーがすでに切断あるいは著しく痩せた状態にあり、ダウエルバーの機能はほとんど無いことを意味している(写真 4-17)。目地 No.80-81 のダウエルバーは、幅員方向中央部寄りから番号を付けて整理した(写真 4-14)。また、ダウエルバーの状況を写真 4-18～4-29 に示す。

ダウエルバーの腐食状況を表 4-4 に示す。これより、供用後 28 年経過したダウエルバーは、段差の小さいところにおいても設計どおりの機能を期待することができないことがわかった。また、段差の大きい箇所では、大部分のダウエルバーの破断あるいは著しい痩せを予想できることがわかった。

表 4-4 ダウエルバーの腐食状況

コンクリート No. (目地 No.)		測定結果(丸鋼 19mm 筋)							
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
80-81	直径(mm)	17.9	15.3	16.4	15.3	13.5	12.2	13.9	14.5
	断面欠損率(%)	7.9	32.3	22.0	32.8	47.7	57.3	44.6	39.4
	腐食長さ(mm)	57	51	— ¹⁾	76	59	67	48	48
75-76	直径(mm)	15.1	破断	—	—	—	—	—	—
	断面欠損率	34.1	100	—	—	—	—	—	—
	腐食長さ(mm)	— ¹⁾	— ²⁾	—	—	—	—	—	—

1)ダウエルバー取出し作業中に破断、片側のみの採取のため測定不可

2)すでに破断、片側のみの採取のため測定不可

※ ダウエルバー：設計ではφ19mmの丸鋼

※ No.75-76のダウエルバーの採取位置は不明

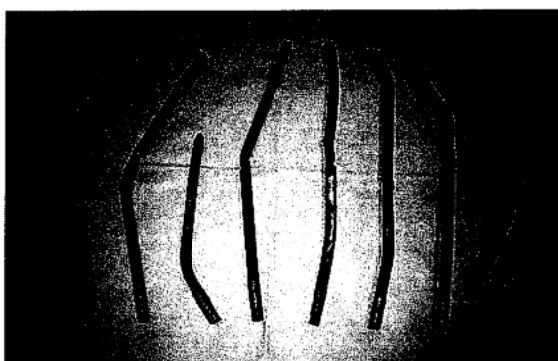


写真 4-18 ダウエルバー目地 No.80～81
曲げているのは取出し時に生じた
左から S1、S2・・・S8



写真 4-19 S1 のダウエルバー拡大

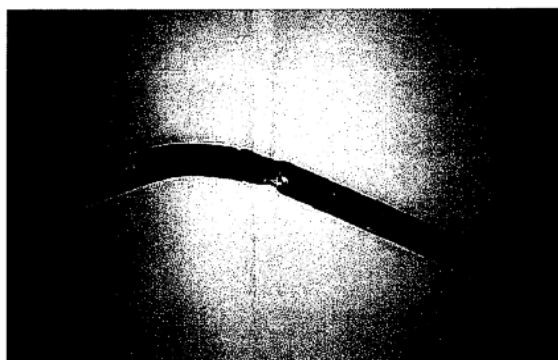


写真 4-20 S2 のダウエルバー拡大

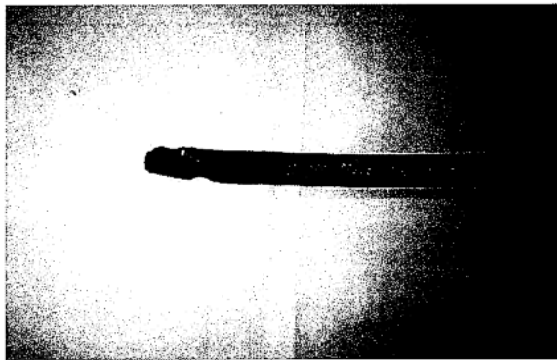


写真 4-21 S3 のダウエルバー拡大
取出し中に破断 半分は未確認

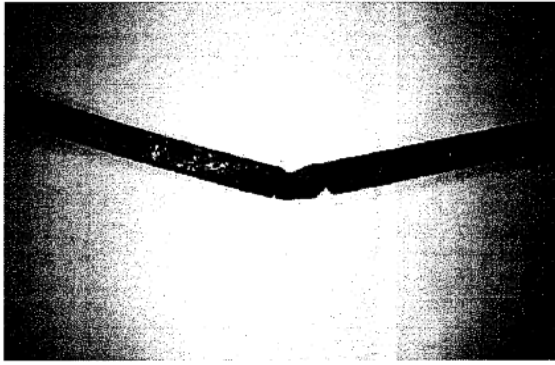


写真 4-22 S4 のダウエルバー拡大

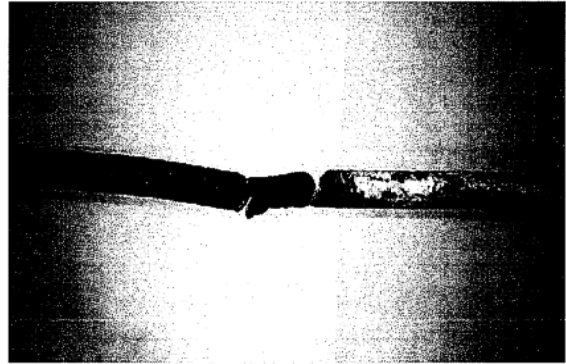


写真 4-23 S5 のダウエルバー拡大

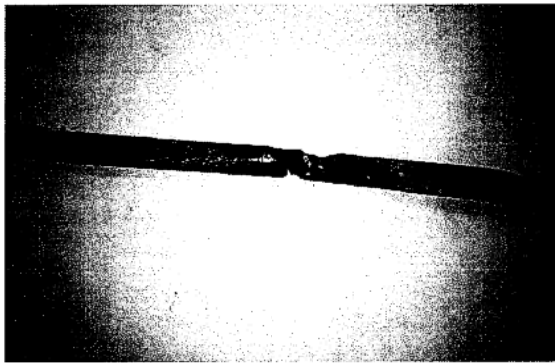


写真 4-24 S6 のダウエルバー拡大

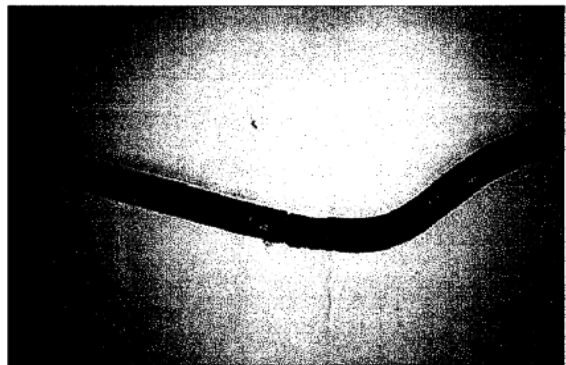


写真 4-25 S7 のダウエルバー拡大

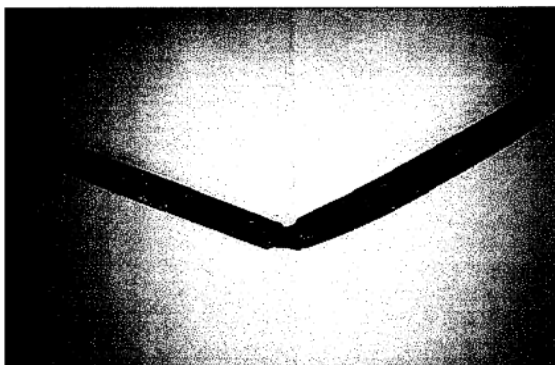


写真 4-26 S8 のダウエルバー拡大

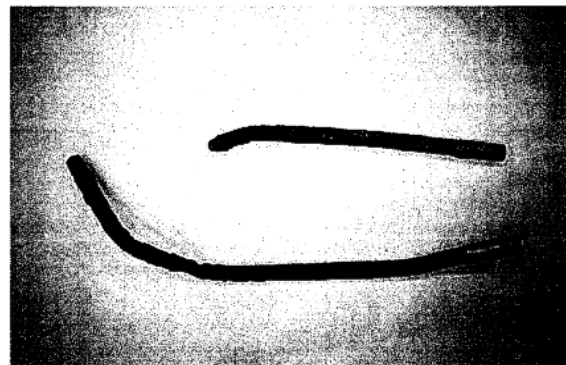


写真 4-27 ダウエルバー(目地 No.75~76)



写真 4-28 ダウエルバー拡大
全体的に腐食
(目地 No.75~76 の S1)

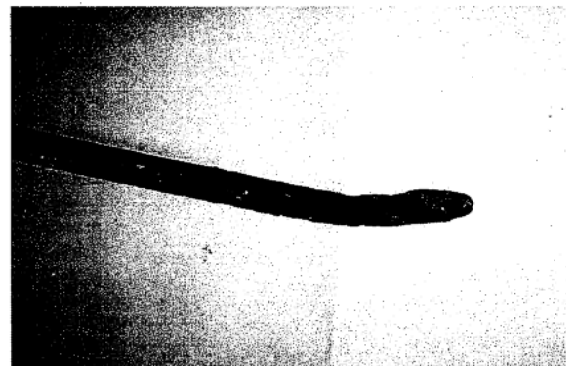


写真 4-29 ダウエルバー拡大
破断
(目地 75~76 の S2)

4.5 コンクリート版の性状

4.5.1 版厚

角柱供試体よりコンクリート版の版厚を測定した。その結果を表 4-5 に示す。本コンクリート舗装の版厚設計値は 23cm であるが、この測定結果から、破損版である No.77 は他の箇所 비해、若干版厚が薄く、供用 28 年間のすり減り量を考慮しても設計値を下回っていた可能性があるものと思われる。

表 4-5 版厚測定結果

コンクリート版		版厚(cm)		
No.	切取り位置	最大	最小	平均
77	—	22.0	21.3	21.6
81	走行部	23.5	22.2	23.0
	非走行部	23.0	22.3	22.5
83	走行部	24.0	22.7	23.4
	非走行部	24.0	22.5	23.3

4.5.2 単位容積質量

角柱および円柱供試体より求めた単位容積質量を表 4-6 に示す。これより、コンクリートの単位容積質量は 2.41～2.43 t/m³であり、標準的なコンクリートであることがわかった。

表 4-6 単位容積質量測定結果

コンクリート版		単位容積質量(t/m ³)	
No.	切取り位置	圧縮供試体	曲げ供試体
77	—	2.41	2.41
81	走行部	2.41	2.43
	非走行部	2.41	2.41
83	走行部	2.42	2.42
	非走行部	2.40	2.42

4.5.3 曲げ強度および圧縮強度

曲げ強度および圧縮強度試験の結果を表 4-7 に示す。また、曲げ強度供試体の破壊状況を写真 4-30～写真 4-44 に示す。これより、破損版である No.77 版を含めた全ての箇所において、コンクリートの曲げ強度は設計値 4.5N/mm²(厳密には 45kgf/cm²(²))を大きく上回っており、コンクリートの強度不足が版に生じたひび割れの原因でないことがわかった。

表 4-7 曲げ強度および圧縮強度試験結果

コンクリート版		曲げ強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	備考
No.	切取り位置			
77	—	5.96	55.6	—
81	走行部	5.93	54.4	曲げ 2 体の平均
	非走行部	6.42	56.3	—
83	走行部	5.89	58.3	—
	非走行部	6.25	56.9	曲げ 2 体の平均



写真 4-30 No.77-1



写真 4-33 No.81-1



写真 4-31 No.77.2



写真 4-34 No.81-2



写真 4-32 No.77-3



写真 4-35 No.81-3

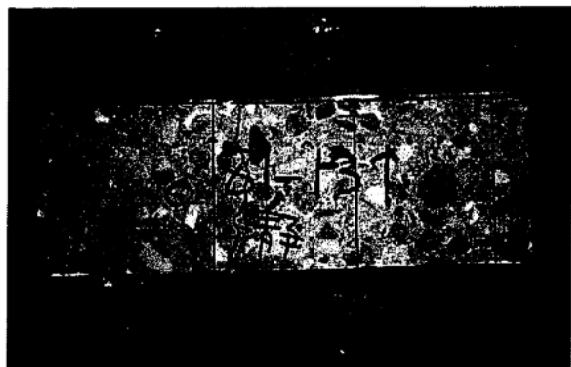


写真 4-36 No.81-13



写真 4-39 No.83-1



写真 4-37 No.81-14



写真 4-40 No.83-2

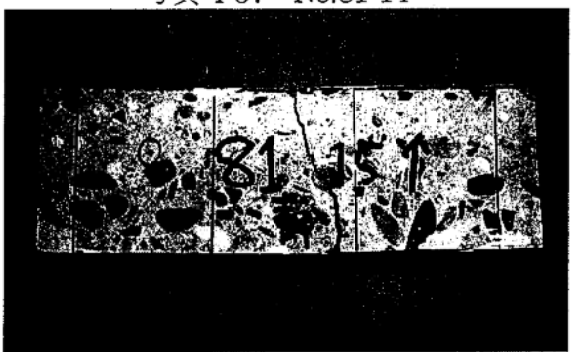


写真 4-38 No.81-15

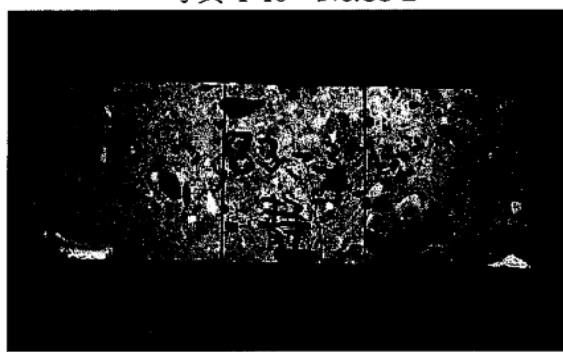


写真 4-41 No.83-3



写真 4-42 No.83-13



写真 4-43 No.83-13

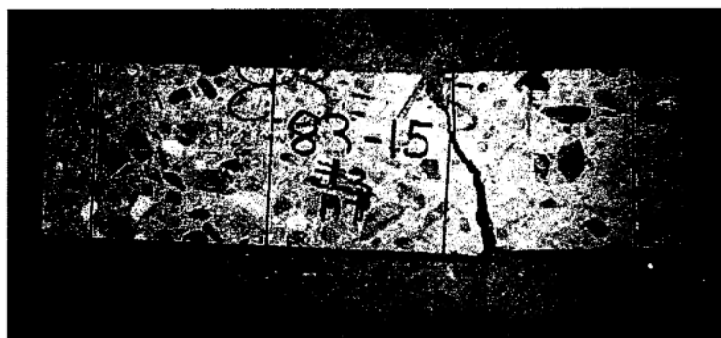


写真 4-44 No.83-14

4.5.4 材料(骨材)分離

材料(骨材)分離調査の結果、写真 4-45 に示すようにほとんど骨材分離は生じていないことがわかった。また、写真の赤くマークしたものは鉄筋であるが、骨材の並びから 2 層施工した跡が伺える。また、他のコア供試体からも骨材分離の傾向はまったく見受けられなかった。

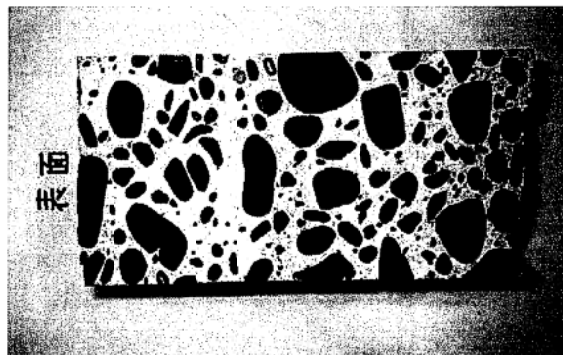


写真 4-45 材料分離確認

4.5.5 中性化

中性化試験結果は写真 4-46 に示すように供用後 28 年経過したにもかかわらず中性化はほとんどない状況であった。なお、この試験は、供試体 1 体のみに実施した結果である。

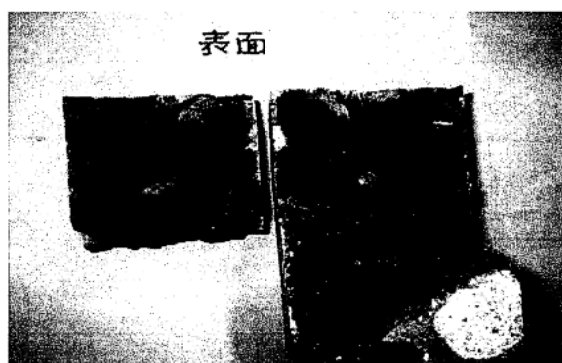


写真 4-46 中性化

4.5.6 配合推定

本舗装は、昭和 39 年度版のセメントコンクリート舗装要綱(道路協会編)に従って設計されている②ことから、コンクリートの設計曲げ強度は 45kgf/cm^2 である。また、使用骨材は、津川地区周辺の生コン工場へのヒアリング調査実施の結果により、昭和 40 年代当時の粗骨材、細骨材共に阿賀野川産骨材であること、セメントは電気化学工業社製の普通ポルトランドセメントを使用していたことがわかった。昭和 40 年代に国道工事に多く使われたコンクリート舗装の配合例を示すと以下の表 4-8 のようである。

表 4-8 昭和 40 年代に国道へ使われたコンクリート配合の一例⁽⁶⁾

名称		Gmax (mm)	スランプ [°] (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				
							W	C	S	G	混和剤
20 号	八王子	30	1～3	-	44	36	136	310	704	1287(碎石)	使用せず
4 号	瀬沼	40	2.5±1	3.5±1	39	30	116	300	594	1353(碎石)	
17 号	高崎	40	2.5 以下	-	45	32	145	320	634	1348	使用せず
41 号	宮崎	40	2.0±1	-	45	31	144	320	608	1364	使用せず
1 号	西湘	40	2.5 以下	-	44	34	128	290	662	1327	
4 号	滝沢	40	2.5±1	4±1	43	38	128	300	740	1236(碎石)	
22 号	春日井	40	2.5 以下	3～5	44	36	133	299	681	1245	
1 号	枚方	40	2.5 以下	-	44	34	140	320	663	1310	使用せず
6 号	水戸	40	1.5±0.5	-	41	31	119	290	615	1375	

表より、水セメント比(W/C と表記)は 39~45%の範囲にあり、単位セメント量は 300 kg/m³ 前後、単位水量は混和剤を使用する場合に 116~133kg/m³、使用しない場合の 136~145 kg/m³ に比べ 10%程度使用量が少ないことがわかる。当時はまだ、空気量を規定しない場合もあったようであるが、本調査区間のコンクリートでは画像解析の結果、図 4-6 に示した気泡分布となっていることがわかった。

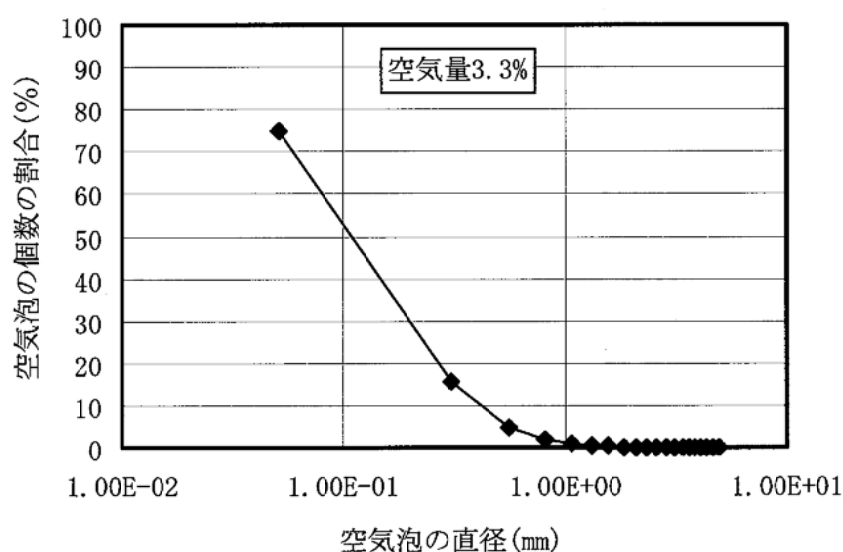


図 4-6 気泡径の分布

AE 剤により連行されるコンクリート中の気泡は、一般に 25~250 μm といわれている。それに対して本調査区間のコンクリート版の気泡の分布も 250 μm 以下の気泡が 90%以上を占めていることにより AE コンクリートであったと推察される。また、この試料の空気量は 3.3%であった。

骨材などの仮定値および画像解析による空気量の結果を用いてコンクリートの配合を推定した結果を表 4-9 に示す。コンクリート No.77 と 83 の試験結果に若干の相違はあるが、多くの仮定

値を用いていること、強度結果等にほとんど相違がないことから、配合の推定は No.77 と 83 の平均値を用いた。その結果、昭和 40 年代に用いられたコンクリートの配合(表 4-8)と同様な配合であることがわかった。

表 4-9 配合推定試験結果

コンクリート版 No.	試験結果		配合の推定				
	不溶残分 (%)	CaO (%)	W/C	単位量(kg/m ³)			
				W	C	S	G
77	80.2	8.0	0.40	115	286	681	1308
83	79.6	8.4					

4.6 供用 22 年の調査結果

供用 22 年の 1992 年に調査を実施している。今回の調査と関係する結果の概要を示す。なお、1992 年では本調査区間を含む約 10km におよぶ区間を対象としている。

- 1) ひび割れ パッチングやオーバーレイ区間を除いたすべての箇所において、ひび割れ度は 9cm/m²以下である。
- 2) 段差およびわだち掘れ 段差のある箇所はなく、わだち掘れが著しい区間はない。
- 3) その他、路肩の排水状況など 片切片盛区間の法面からの地下水が原因と考えられる舗装目地からの湧き水が 2 箇所見られた。FWD 調査と路盤の状況を知るためのボアホールカメラによる調査から、調査区間のコンクリート舗装の評価を表 4-10 に示す。

表 4-10 1992 年調査における舗装評価

現状舗装評価パターン	各層の状態	本調査区間の状態	
I	コンクリート版： 良好	○	上り 150m
	粒状路盤： 良好		下り 180m
II	コンクリート版： 良好		
	粒状路盤： 不良		
III	コンクリート版： 不良	○	下り 180m
	粒状路盤： 良好		
IV	コンクリート版： 不良	○	上り 400m
	粒状路盤： 不良		下り 190m

- パターンⅠ：目視調査、FWD 調査、CBR 試験などすべての調査で異常がなく、MCI も 5 以上と良好な調査区間。局部的な修繕のほかは維持のみでよい。
- パターンⅢ：目視調査では良好、FWD 試験でコンクリート版の強度が低いと判断された区間。将来、版が破損しコンクリート版の打換えが必要となる
- パターンⅣ：目視調査で 1 枚の版に 3 本以上のひび割れが入り、またはパッチングがあり、地下水位が高く路盤の強度も低い区間。直ちに全面打換えの計画案が必要

今回の調査区間 550m は、パターンⅠ、Ⅲ、Ⅳであり、上りはパターンⅠ、Ⅲ、Ⅳが 180m づつで、下りは最も破損の著しいパターンⅣが 400m であった。

5. 既設版の調査結果の考察

5.1 路盤

開削調査によって、路盤の支持力は十分大きく破損版部と健全版部とも違いがないことが明らかとなった。また、破損版、健全版ともに路盤材料の細粒分が表面に多く集まり目地部に集中する傾向が認められたこと、破損版ではコンクリートと路盤との間に空隙あるいは水道があり、健全版ではこのようなことがないこと、さらにこれらのことは特に路盤が局部的に洗掘された様子がないことから、本調査区間の路盤の広範囲にわたって生じていると考えられることがわかった。

路盤表面に細粒分が出ているのは、交通車輻による版目地部のたわみ変形とその復元による路盤に存在する水のサクションが原因で、ポンピング作用によって路盤細粒分が移動しているためと考えられる。また、細粒分の移動は路盤侵食となって版のひび割れの原因となるが、路盤には粗粒分が締固められた状態で残っており支持力試験結果に細粒分の移動が反映されない結果となっているものと考えられる。交通荷重による版の変形は交通の大型化と無関係ではなく、これは交通量調査からも明らかである。また水の存在は、本調査区間が山岳部の道路であるため湧水が多く、1992年の調査においても、本調査区間は切土区間⁽²⁾であり地下水位が高いことが報告されている。破損版と健全版の違いは、主に舗装の縦断および横断勾配や目地シールの状態と関係があるようで、健全版では勾配やシールの関係で、地下水と目地からの雨水が路盤への浸入が少なく、破損版ではそれが多いと考えられる。現在の舗装要綱では、アスファルト中間層をC交通以上において使用する規定になっており、上記のような細粒分の移動と空隙は生じにくい構造となっているが、当時の設計方法はアスファルト中間層のないのが一般的で、このような現象が生じたものと思われる。また、目地からの雨水の浸入等防止するために、特に目地のシーリング等の保守は重要であることが明らかである。

5.2 目地部

1992年の調査では目地部にほとんど段差は生じていない結果であったが、今回の調査では最大値 32mm、平均値 8.7mm の段差が生じていた。現在、我が国では段差からコンクリート舗装の設計や修繕を判断することになっていないが、土木学会コンクリート舗装標準示方書には、段差とこれによる乗り心地の悪さ程度からコンクリート舗装の限界値を決めて設計する限界状態設計法が記述されている。この段差量の算定式⁽⁷⁾が我が国の実態を十分に反映しているか否かはこれからの検証にもよるが、今回の測定データから算定式の妥当性を検討すると同時に本調査区間の段差を検討した。

新潟地方の1970年から1990年の20年間の平均雨量は約1800mm⁽⁹⁾であり、解析条件を次に示すとおりとすれば、本コンクリート舗装区間の段差量は9.65mmと計算される。

(1)版厚および路盤支持力係数 K_{70} : 23cm および 0.1N/mm^3

(2)強度 : 図 5-1 のとおり。15×15×53cm 供試体の28日強度を 4.5N/mm^2 と仮定、28年後の強度を 6.0N/mm^2 として、材齢の対数値と強度が正比例するものと仮定し、交通量調査年に合わせて内挿した。

(3)弾性係数 : 図 5-2 のとおり。弾性係数と曲げ強度の関係を文献(10)と(11)より求めた。

(4)交通量：表 5-1 のとおり。図 2-2 の交通量を輪荷重ごとに区分した⁽¹²⁾

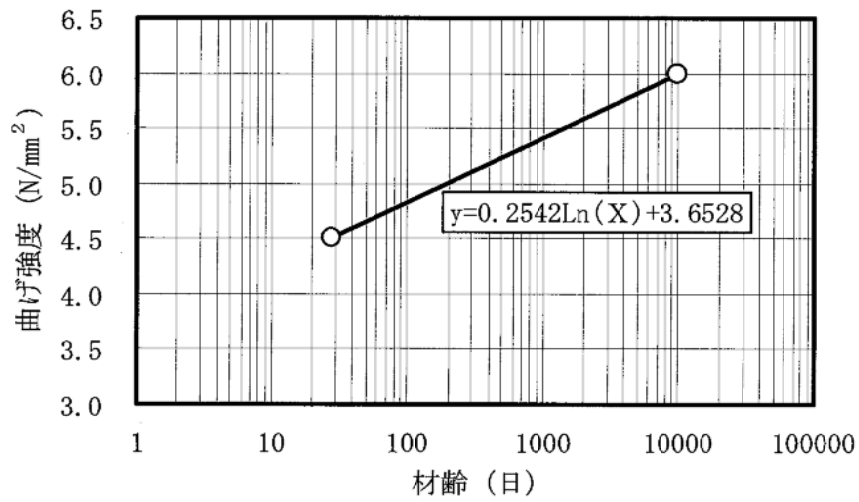


図 5-1 曲げ強度の経時変化と近似式

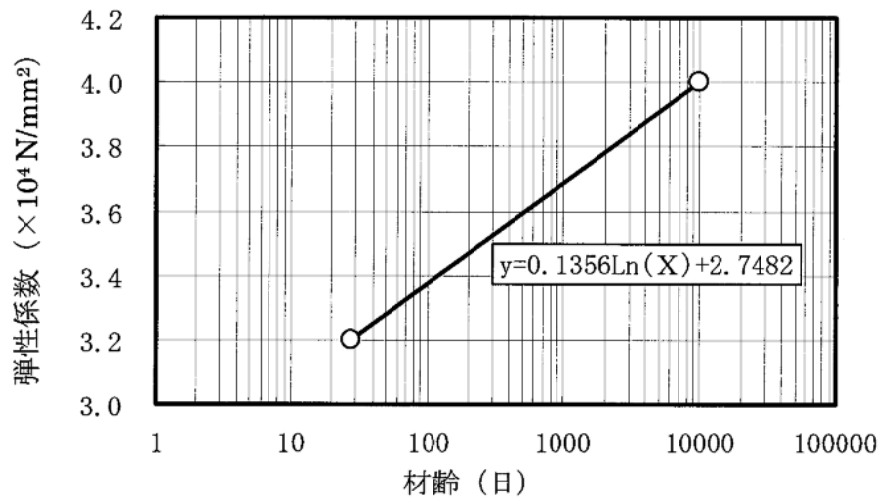


図 5-2 弾性係数の経時変化と近似式

表 5-1 交通量と荷重区分

年度(年) 荷重(kN)	1971	1972～ 1974	1975～ 1977	1978～ 1980	1981～ 1983	1984～ 1985	1986～ 1988	1989～ 1990	1991～ 1994	1995～ 1997	1998
10	1504	1891	2556	3124	3442	3110	3528	4057	4248	3390	3390
20	198	249	490	599	660	597	677	778	815	650	650
30	131	165	285	349	384	347	394	453	475	379	379
40	63	79	158	193	213	192	218	250	262	209	209
50	33	42	84	103	114	103	117	134	140	112	112
60	18	22	49	60	67	60	68	78	82	66	66
70	8	10	24	30	33	29	33	38	40	32	32
80	4	5	10	12	13	12	14	16	16	13	13
90	2	2	4	5	6	5	6	7	7	6	6
100	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	1	1	1	1	1	2	2	1	1
total	1962	2467	3666	4482	4938	4462	5061	5819	6094	4863	4863

計算による段差量は、28年間供用したコンクリート舗装の実測段差量と比較するとほぼ同等といえ、計算式は概ね実態を示していると思われる。しかし、示方書ではさらにサービス性能Ⅰ限界状態の段差の限界値は12mm、サービス性能Ⅱ限界状態で15mmとする記述があり、単純に平均値で比較すれば本コンクリート舗装は限界状態に達していないと判断されることになる。これは、示方書の限界状態値の設定が一律に段差が生じたものとしてIRIから判断、設定されているからであり、今回調査した区間のほとんどのコンクリート版が横断ひび割れと大きな段差、ダウエルバーの破断あるいは断面欠損を生じている現状では、IRIによる判断、設計における限界状態値の設定などはさらに道路管理者と検討するなどして我が国に合わせて設定し直す必要があるものと思われる。

また、表4-4に示した目地No.80-81のダウエルバーの断面欠損率と腐食長さを位置毎に図示すると図5-3のようである。図より、断面欠損率が大きいダウエルバーの位置は路肩寄り(自由縁部)であり、縦目地近傍のものは比較的小さいこと、腐食長さは、断面欠損率の大小やダウエルバーの設置位置に関わらず、概ね50～80mm程度であることがわかる。ダウエルバーの腐食は、目地部からの雨水や融雪剤等の浸透によるものと考えられ、さらに、縁部においてダウエルバーが大きく断面欠損したのは、交通荷重による繰返し応力が縦目地部近傍ではタイバーの設置により小さく縁部では大きいことで雨水等による腐食に加えて応力による損傷があったものと考えられる。

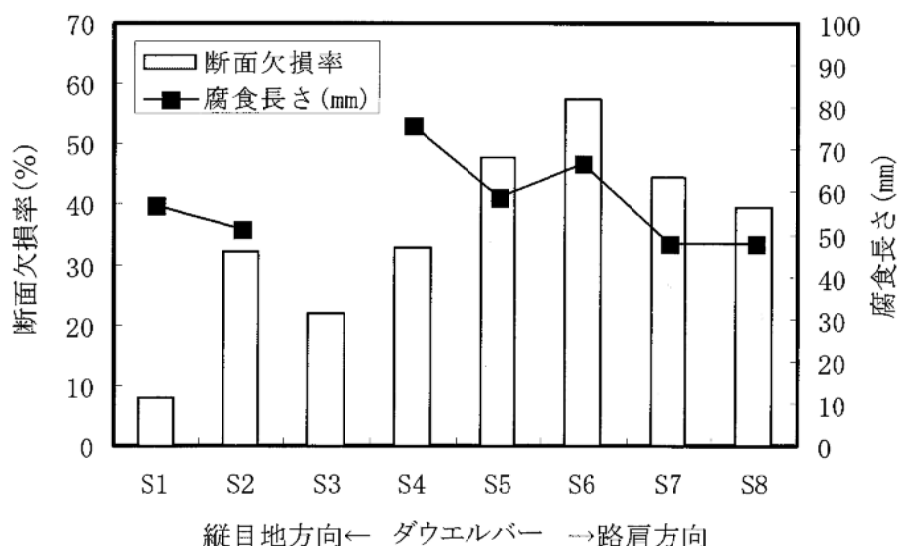


図 5-3 ダウエルバーの断面欠損率と腐食長さ(目地 No.80-81)

ちなみに、当該地区のコンクリート舗装の設計は昭和 39 年版セメントコンクリート舗装要綱に準じて設計しているが、B 交通区分(昭和 59 年度版による区分)における設計値を昭和 59 年版と比較すると表 5-2 のとおりであり、昭和 59 年時点の設計値の方が厳しい仕様であることがわかる。

表 5-2 舗装要綱の内容の比較

項 目		昭和 39 年版	昭和 59 年版
路盤の支持力係数 K_{30}		15kgf/cm ³	20kgf/cm ³
コンクリート版厚		23cm	25cm
コンクリートの曲げ強度		45kgf/cm ²	45kgf/cm ²
目地間隔		6～10m	10m(版厚 25cm 以上の場合)
鉄網の有無		有 3kg/m ²	有 3kg/m ²
ダウエルバー	長さ	60cm	70cm
	直径	22mm	25mm
	間隔	40cm(版中央)	40cm(版中央)

5.3 コンクリート版

5.3.1 コンクリート版の疲労

表 5-3 は、本調査区間のひび割れ度について、1992 年の調査と今回の調査とを比較したものである。この表をみてわかるように、1992 年からの 6 年間でひび割れ度が 2 倍に増加していることがわかる。ただし、この値はアスファルトによる補修をしたコンクリート版を除いた数値であり、それらを入れるとさらに大きな値となると予想される。

表 5-3 対象区間のひび割れ度

調査年	ひび割れ度 (cm/m ²)
1992 年	7.7
1998 年	16.0

このひび割れ度の結果から、供用 22 年経過した 1992 年では、コンクリート版 2 枚毎に、横断方向貫通ひび割れが 1 本発生していた計算になる。これは、コンクリート版に発生したひび割れが設計概念どおり曲げ疲労に起因しているとするならば、曲げ疲労破壊確率 50% で疲労度が 1 であるといえる。

またこれに対し、今回供用 28 年経過した現時点では、コンクリート版 1 枚につき横断ひび割れ 1 本発生していることになり、上記と同様な仮定をするならば、曲げ疲労破壊確率 100% で疲労度 1 ということになり、設計上このコンクリート舗装は寿命に達したことになる。しかし、路盤の空隙や版厚不足も確認されていることから、コンクリートに生じたひび割れが疲労によるものでないとも考えることもでき、実際に曲げ疲労強度試験等を実施してコンクリートの有する疲労寿命を調査する必要があることが認識される。

ここで、コンクリート版 No.77 において認められた版厚の不足が舗装の寿命にどの程度の影響を及ぼすか、また、強度増進や交通量の増加の影響がどの程度であるかをコンクリート版の設計公式⁽¹⁾⁽⁷⁾を用いて検討した結果を示すと以下のとおりである。

解析条件を次に示すのものととして自由縁部応力の算定を行い疲労抵抗の計算を行った。

- (1) 解析期間： 1971 年～1998 年の 28 年間
- (2) 版厚： 23cm、21.6cm(ともに実測値)
- (3) 強度： 図 5-1(実測をもとに変動)、一定(曲げ強度 4.5N/mm²)
- (4) 弾性係数： 図 5-2(実測をもとに変動)、一定(35000N/mm²)
- (5) 交通量と荷重分布： 表 5-1 のとおり
- (6) 走行位置と走行頻度の関係： 文献(1)による
- (7) 車輪の接地圧： 0.64N/mm²
- (8) 車輪の接地半径： 参考文献(7)による
- (9) 温度差が正または負のときに走行する大型車の比率： 正 0.57 負 0.43(交通量調査昼夜比率 1.3 から算出)
- (10) コンクリート版の温度差： 文献(1)「温度差の小さいところ」による
- (11) コンクリートのポアソン比： $\mu=0.20$
- (12) コンクリートの線膨張係数： $\alpha_c=10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- (13) 路盤の支持力係数： $K_{30}=22\text{kgf/cm}^3$ (実測値) $K_{70}=K_{30}/2.2$
- (14) 疲労曲線： 参考文献(7)による曲線、破壊確率 5%、50%

計算の結果を図 5-4 に示す。版厚が設計どおりで、交通量や強度を実測ベースで計算した①の場合は、疲労度が 1.3 と 0.1 となり、破壊確率 5% の条件では設計寿命に達したといえる。②は①の条件から強度を設計時の値一定として計算した場合であるが、破壊確率 5% と 50% とともに 1 を大きく上回っており、コンクリートの強度増進がなければ本コンクリート舗装は 28 年の供用は不可能との結果となった。③はコンクリートの強度増進は考慮するが、版厚を No.77 版の版厚実測値を用いた場合である。破壊確率 50% では疲労度が 1 を下回っているものの、5% では 1 を大きく上回っている。また、④は③の条件からコンクリートの強度を一定とした場合であり、疲労度は他の計算条件に比べ著しく大きくなっている。これらの結果は、1.4cm の版厚差およびコンクリートの強度増進の有無がコンクリート版の疲労抵抗に大きく影響を及ぼしていることを示しているものと思われる。

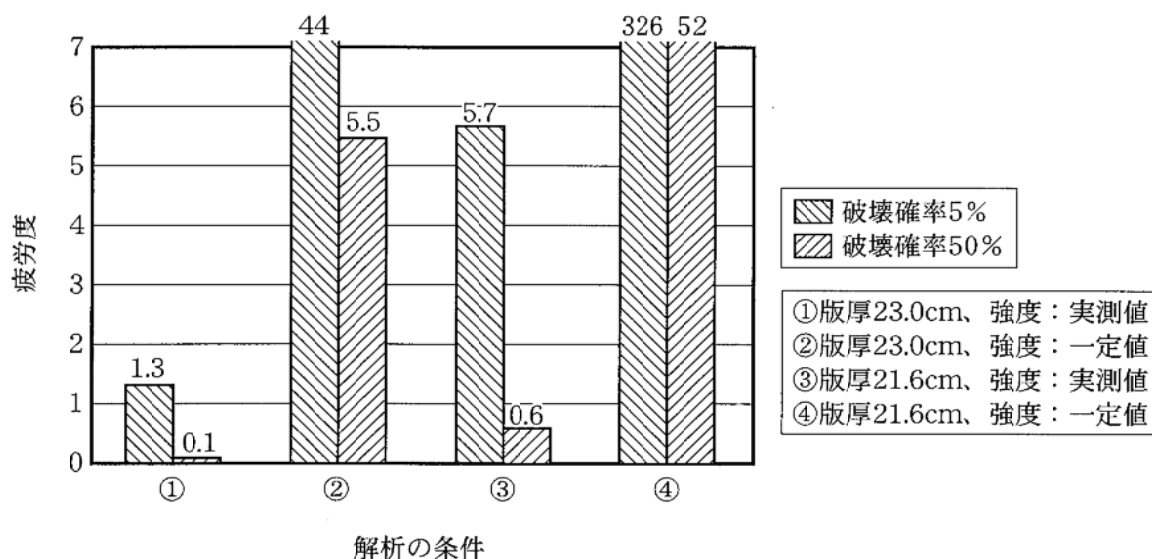


図 5-4 コンクリート版の疲労抵抗計算結果

5.3.2 コンクリートの各種物性調査

コンクリート版を切り出し、各種試験を実施したがコンクリートの物性に関しては問題はなく、特に 6N/mm^2 前後と大きい値を示した曲げ強度は、表 5-4 に示した昭和 30 年代に建設されたコンクリート舗装の長期材齢(15 年)コア強度試験結果⁽⁸⁾と同様に材齢の進行とともに大きく増進した結果であると考えられる。昭和 45 年建設当時の曲げ強度は、本コンクリートの水セメント比の推定値等から推察すると、設計基準強度 4.5N/mm^2 程度の強度であったと考えられる。

表 5-4 材齢 28 日強度と材齢 15 年の強度の推移(抜粋)

セメントの種類	曲げ強度(N/mm ²)		
	材齢 28 日		材齢 15 年
	水中	現場	
普通ポルトランド※1	4.07	3.37	6.02
早強ポルトランド※2	4.56	3.96	5.87

※1 : W/C=46.0% ※2 : W/C=46.7%

5.4 コンクリート版の破損進行メカニズム

今までに述べたように、調査区間のコンクリート舗装はコンクリートの十分な強度増進や路盤強度はあったものの、若干版厚が不足した箇所や地形に起因する路盤への地下水の浸透、目地シールの剥脱による雨水の進入があったことが明らかである。また、当初設計に対して交通の大型化が進行してコンクリート版と荷重伝達装置(ダウエルバー)が相対的に薄くあるいは過小になって版のたわみが増大してきたものと推察される。このような場合、車輻荷荷によってコンクリート版はたわみ、目地から路盤細粒材が水とともに吐き出されることになる。また、車輻の通過によってたわみが復元するときには路盤中の水を路盤細粒材とともに目地付近に集めることになる。これを長い年月に渡って繰り返すと次第に路盤は侵食されてコンクリート版との間に空間ができ、上述のようなポンピング作用が著しくなると目地付近に空洞などができてコンクリート版の隅角部や横断にひび割れが発生して段差が生じるようになる。しかし、ダウエルバーが機能している目地ではまだ段差も小さいが、鉄網しか入っていないひび割れ部では新たなポンピングが起こって分岐したひび割れや亀甲状ひび割れの発生をみることになる。また、目地部でもダウエルバーが痩せて破断してくるとひび割れた版は目地部で落ち込み、段差が著しく大きくなる。さらに、ひび割れ部やダウエルバーが破断した目地部は自由縁部と同様な構造に変化するので、車輻の通行によってひび割れが縦方向に発生するようになる。

当調査区間のコンクリート舗装は地形と縦断および横断勾配を考慮すれば地下湧水の流れがある程度判断でき、これらをコンクリート版のひび割れや段差と重ね合わせると上記の破損進行メカニズムは妥当であるものと考えられる。

6. 既設版の調査結果のまとめ

本調査の範囲において、供用後 28 年経過した当該コンクリート舗装に関して以下のことが確認された。

- 1) 1 日あたりの大型車交通量は、N6(旧 C)交通量区分（大型車 1000 台～3000 台/日・一方向）に相当する。アスファルトによる補修箇所を除いたコンクリート舗装の現状における段差の平均は 8.7mm、ひび割れ度は 16cm/m² である。コンクリート標準示方書による算定式を用いた大型車交通量および年間降雨量から計算される値と比較すると段差はおおむね想定される段差量と考えられる。ひび割れ度は、ほぼ各版に横断ひび割れが 1 本発生している状態であるといえる。
- 2) コンクリートの各種物性調査結果、すなわち強度、単位容積質量、配合、中性化および材料分離に関しては、全く問題がなかった。特に、曲げ強度は設計値の 1.3 倍程度の大きな値を示し、この強度増進が疲労抵抗を大幅に増加させることを計算により確認した。
- 3) 路盤支持力係数は建設当時において設計値を満足していたものと思われる。しかし、コンクリート版が破損している箇所では、コンクリート版と路盤との間に水が流れる空間が生じていた。このことから、当該調査区間のコンクリート舗装では特に路盤に水が浸透・流入し易い状況もあつて、水による路盤とコンクリート版間の空隙の形成→ひび割れ発生→日地部段差進行という破損の進行過程を辿ったものと推察される。
- 4) ダウエルバーは大きな断面欠損が生じており、特にたわみ量が大きいと考えられる版自由縁部側でその傾向が著しい傾向が見られた。当時のダウエルバーの設計基準ではその後の交通・気象条件に対して耐久的でないことが確認された。

以上の結果より、コンクリート物性は、供用 28 年後であっても全く問題はなかったが、コンクリート版損傷の要因は、交通量の増加および大型化、地形に起因する路盤への地下水の浸透などが考えられる。

7. 修繕後のコンクリート版の追跡調査

修繕後の新しいコンクリート舗装版の長期耐久性を検証するために、目視でひび割れ状況、目地部の状況、補修状況などを調査した。

7.1 修繕後のコンクリート版の配合、施工

既報の文献⁽¹³⁾によれば、修繕後の舗装断面は、既設の路床(CBR14)に、再生骨材を使用したセメント安定処理路盤 150mm を敷設、その上にコンクリート版 250mm を舗設している。収縮目地間隔は 10m、膨張目地は 700m 中に 2 箇所設けられている。コンクリート打設後の養生は、散水マット養生を 1 週間実施している。

舗装版に用いられたコンクリートの配合を表 7-1 に示す。

表 7-1 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	セメント の種類	目標 スランプ (cm)	水セメ ント比 (%)	単位量(kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤
40	早強	2.5	37	126	341	619	1247	3.41

7.2 修繕後のコンクリート版の追跡調査項目および方法

修繕後のコンクリート版の追跡調査は表 7-1 に示す方法および頻度で行った。

表 7-2 追跡調査項目、方法、頻度

追跡調査項目	方法	頻度
コンクリート版幾何形状	縦目地間隔、横目地間隔、レーンマーク位置をデジタルメジャーにて測定	1 年、4 年、 10 年、15 年、 20 年、25 年、 30 年、35 年、 40 年
ひび割れ状況	ひび割れ方向、ひび割れ長さ、ひび割れ幅を目視によるスケッチおよびクラックゲージにより測定	
目地部およびひび割れ段差量	スチールスケールにて測定	
交通量	全車両および大型車両の 1 時間交通量(上下線)をカウンターにより計測	

7.3 修繕後のコンクリート版の追跡調査結果

修繕後の追跡調査結果を図 7-1 に示す。なお、○中の数字は供用開始から追跡調査時までの年数を示す。

7.3.1 供用 1 年の状況

隅角部にひび割れが数箇所見られたが、他に損傷は見当たらない。目地の段差もない。

7.3.2 供用 4 年の状況

隅角部のひび割れは、1 年時に比べて 2 カ所増えているものと思われる。段差はないが、目地の開きは大きいか、目地材のはみ出しが多いようである。路盤からの水の流出が 1 カ所の滲みが認められた。センターライン側のコンクリート版の縦目地の角欠けが発生していた。

7.3.3 供用 10 年の状況

目地部および隅角部のひび割れは増加している。供用 4 年と同様に段差はないが、目地の開きは大きい場合や、目地材のはみ出しが見られた。供用 4 年と同様にセンターライン側のコンクリートの角欠けが発生していた。

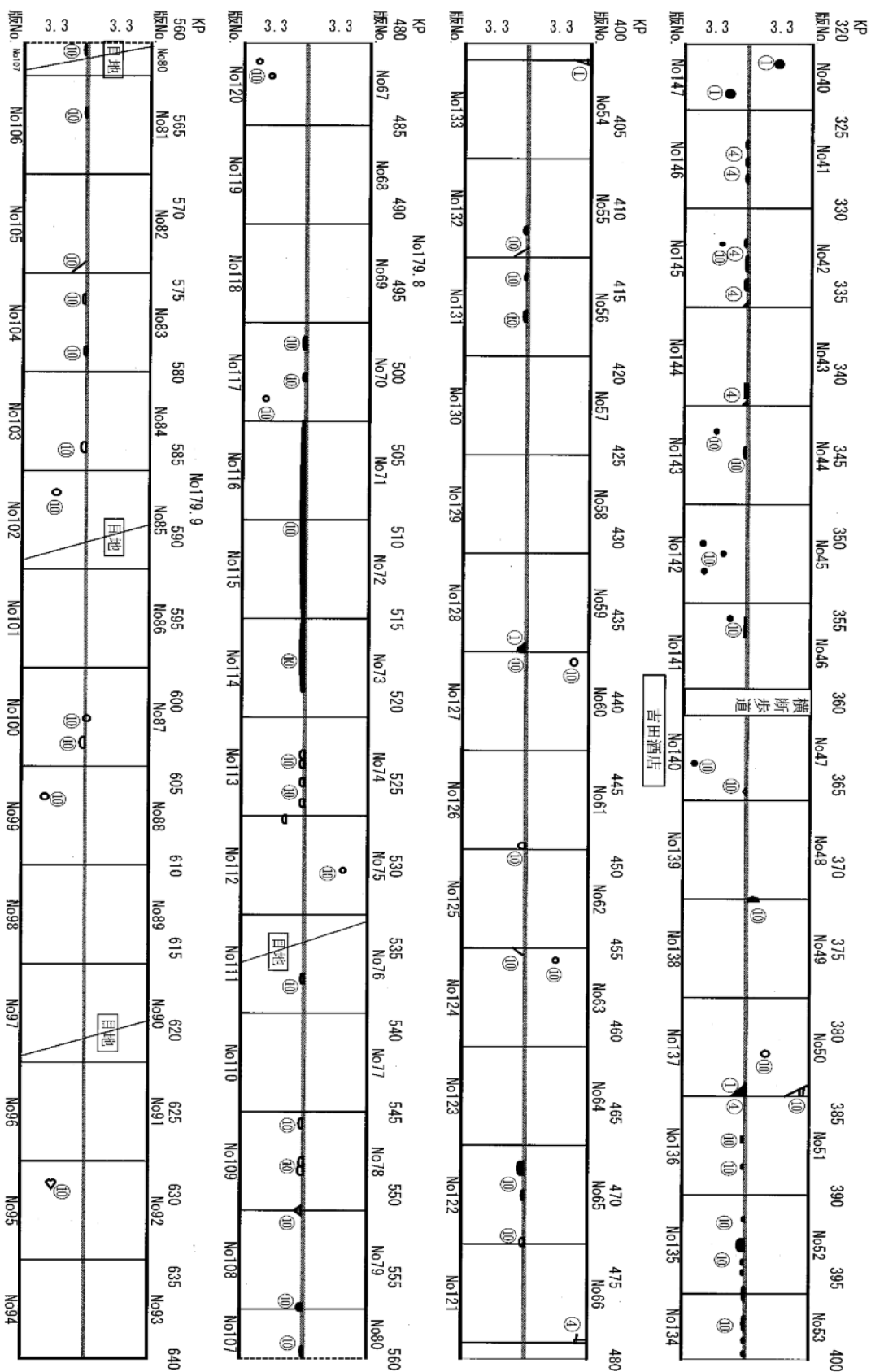


図 7-2 追跡調査結果図(その 2)

8. 修繕後のコンクリート版の追跡調査のまとめ

修繕後の新しいコンクリート舗装版の長期耐久性を検証するために、目視で路面状況、目地部の状況、補修状況などを調査した。供用 10 年までの路面状況は、供用 10 年から目地部および隅角部のひび割れが確認された。また、供用 4 年と同様に目地部の段差は認められないが、目地の開きは大きい場合、目地材にはみ出しがある場合などが見られ、さらに、縦目地部（センターライン側）のコンクリートの角欠けが見られた。しかし、大きな損傷はなく、供用性に問題はなかった。

－参考文献－

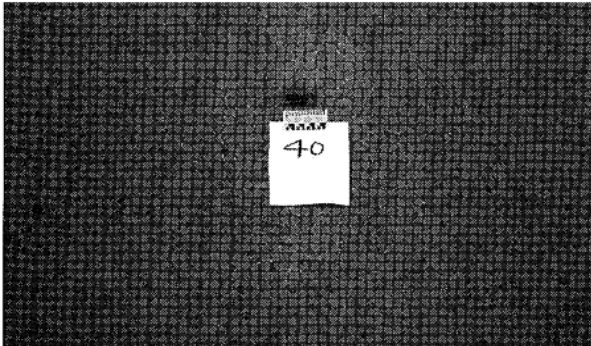
- (1)セメントコンクリート舗装要綱、道路協会、昭和 59 年 2 月
- (2)一般国道 49 号舗装修繕工法検討業務報告書、財団法人道路保全技術センター、平成 5 年 1 月
- (3)硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告、セメント協会コンクリート委員会報告 F-18、昭和 42 年 9 月
- (4)原田他、画像解析装置を用いた硬化コンクリート中の気泡組織測定方法、セメント・コンクリート No.471、1986.5
- (5)「津川舗装修繕その 2 工事」工事報告書、大林道路㈱、平成 11 年 1 月
- (6)柳田、講座 舗装用コンクリートの配合と品質管理(1)、道路とコンクリート No.2、1968.12
- (7)コンクリート標準示方書・舗装編平成 8 年度版、土木学会、平成 8 年
- (8)柳田、建設後 15 年を経た舗装コンクリートのコア強度試験、道路とコンクリート No.30、1975.12
- (9)理科年表、国立天文台編、平成 11 年
- (10)大塩、山崎、曾根、各種セメントを用いたコンクリートの基礎的諸性質、セ技年報 42、1988
- (11)西、舗装用コンクリートの材令 25 年試験、道路とコンクリート No.61、1983.9
- (12)土木研究所資料 1723 号、建設省土木研究所、昭和 56 年
- (13)佐藤、一般国道 49 号におけるコンクリート舗装修繕、舗装、2010.9

付録

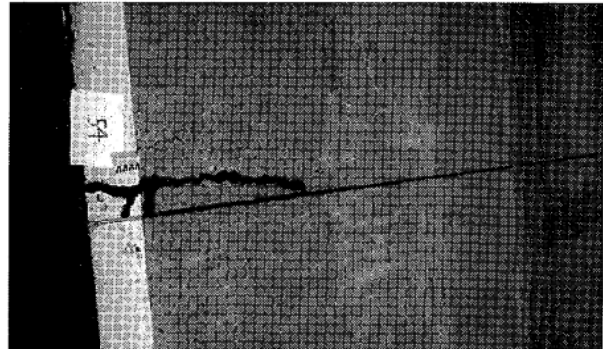
1. 供用後の調査写真

1. 供用後の調査写真

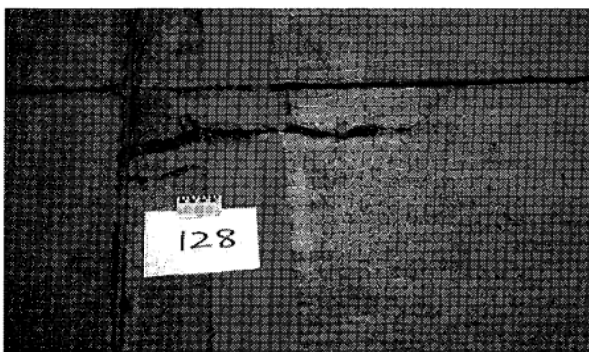
1) 供用1年の状況



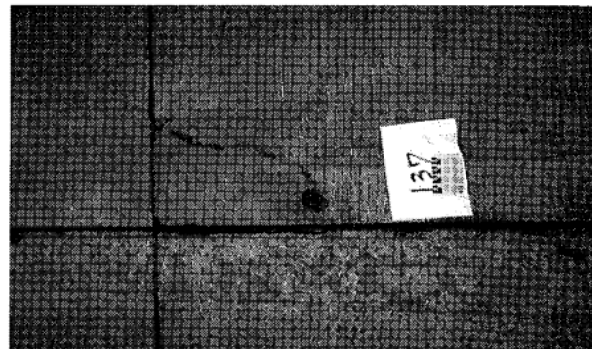
No.40 骨材が飛散した跡



No.54 ひび割れ部補修



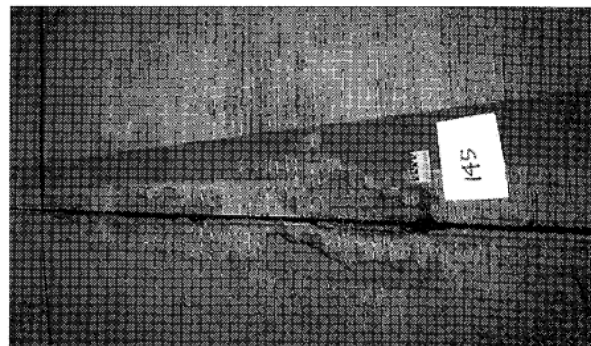
No.128 ひび割れ



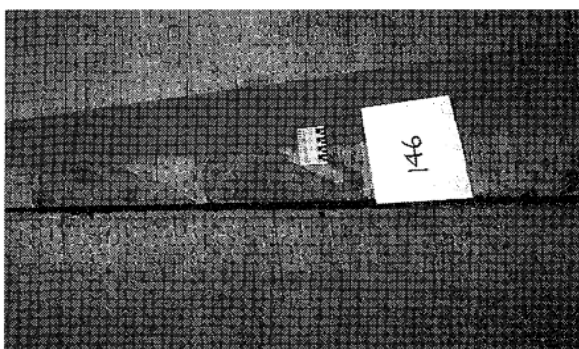
No.137 隅角部の破損



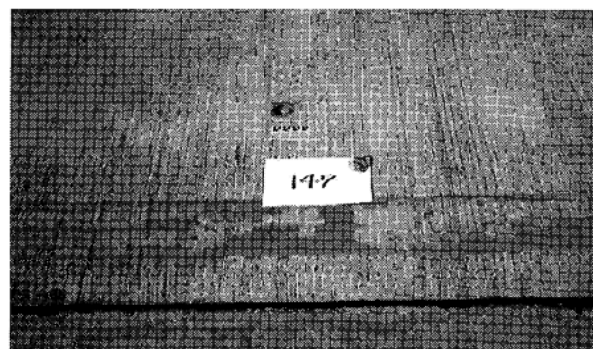
No.144 隅角部の破損



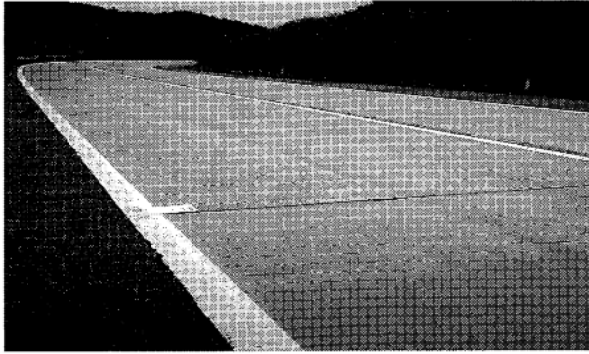
No.145 縦目地に沿って破損し補修



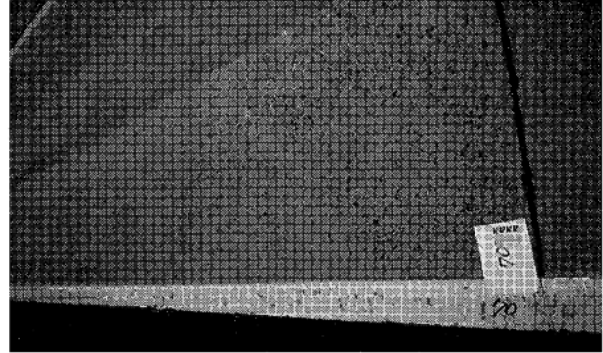
No.146 縦目地に沿って破損し補修



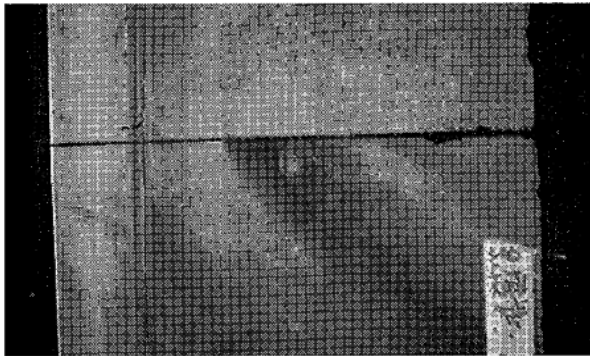
No.147 骨材が飛散した跡



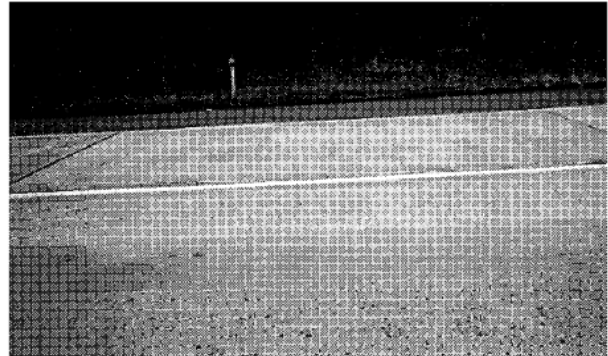
No.70 から新潟方面
ウォータージェットにより目荒し実施



No.70 水酸化カルシウムの析出の可能性

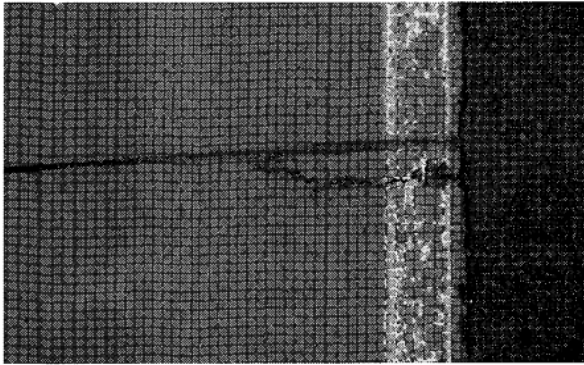


コア抜き調査

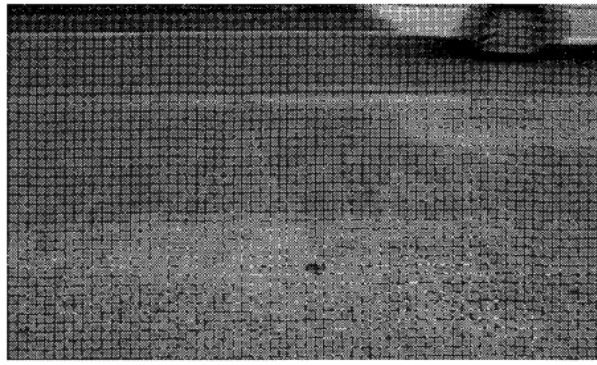


車輪通行部のみウォータージェットによる目荒し

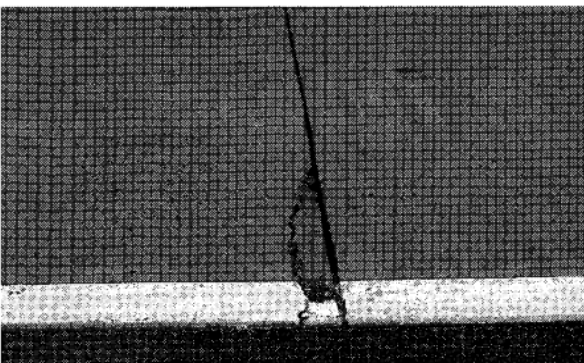
2) 供用 4 年の状況



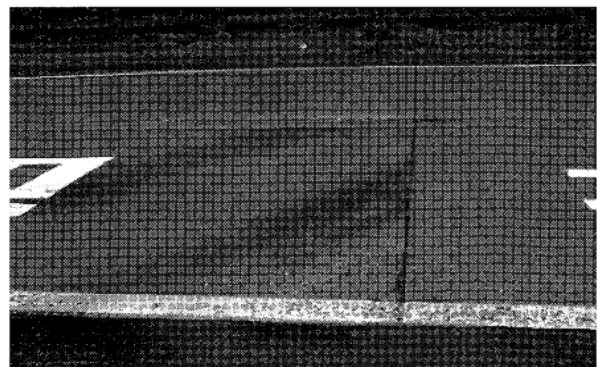
No.4 目地部ひび割れ



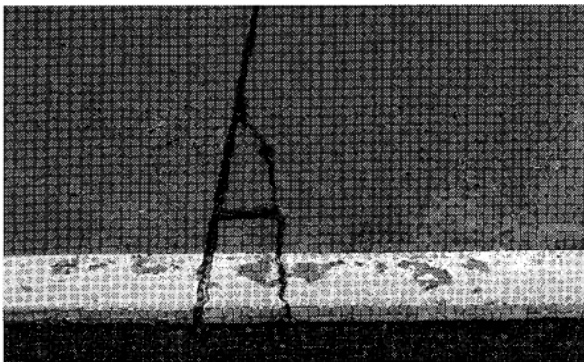
No.40 骨材が飛散した跡



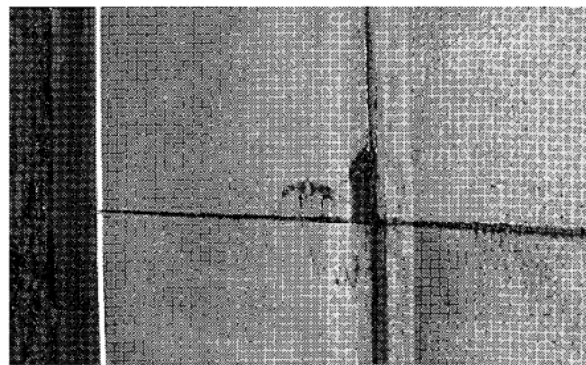
No.54 ひび割れ部補修



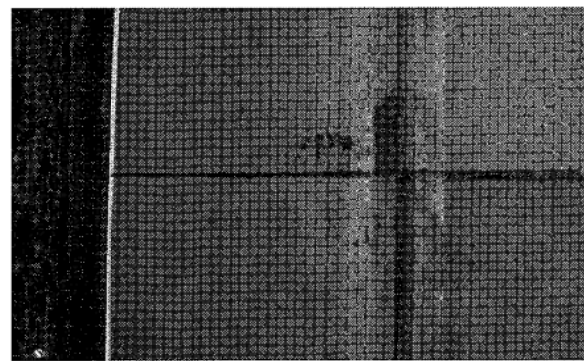
No.60 版上汚れ



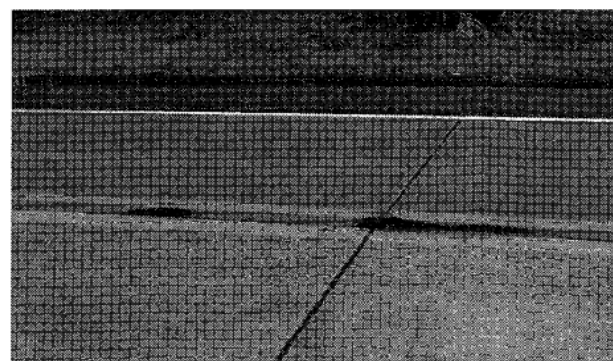
No.66 ひび割れ部補修



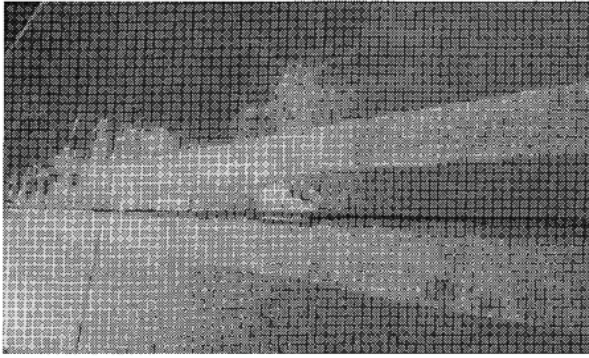
No.128 角欠け、ひび割れ部補修



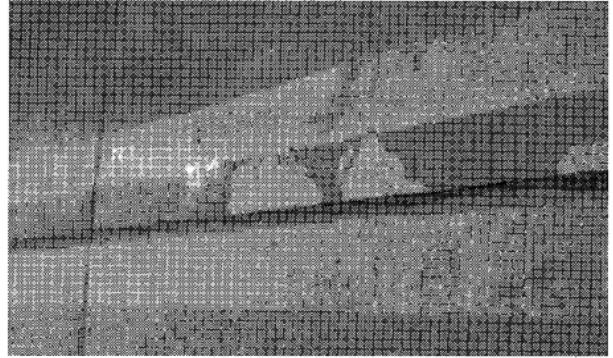
No.137 角欠け補修



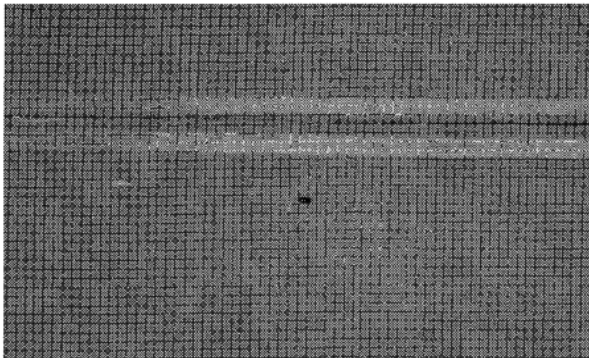
No.144 縦目地に沿って破損し補修



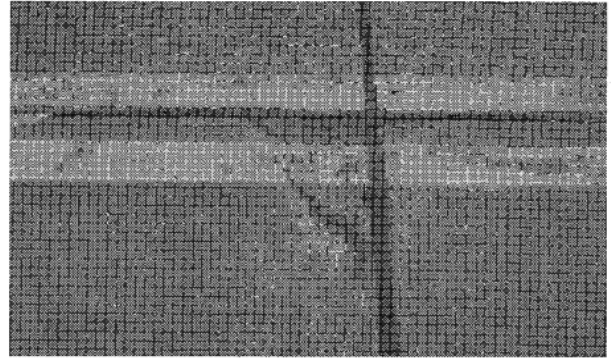
No.145 縦目地に沿って破損し補修



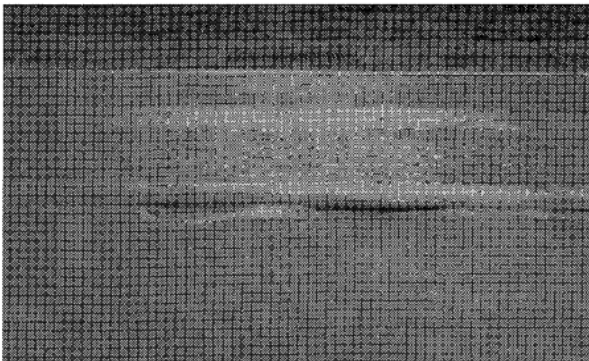
No.146 縦目地に沿って破損し補修



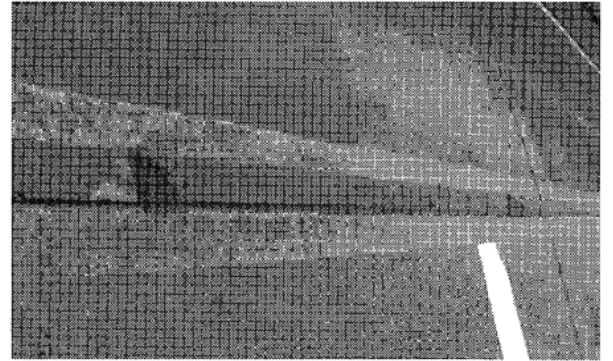
No.147 骨材が飛散した跡



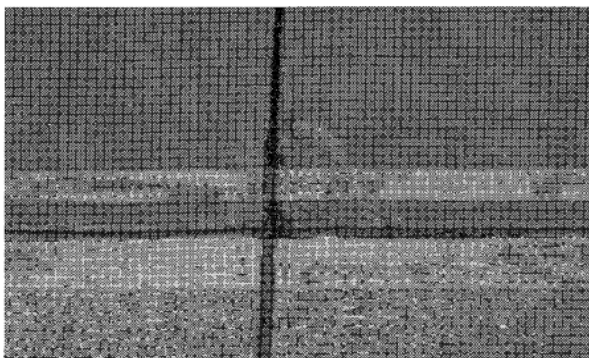
No.148 角欠け



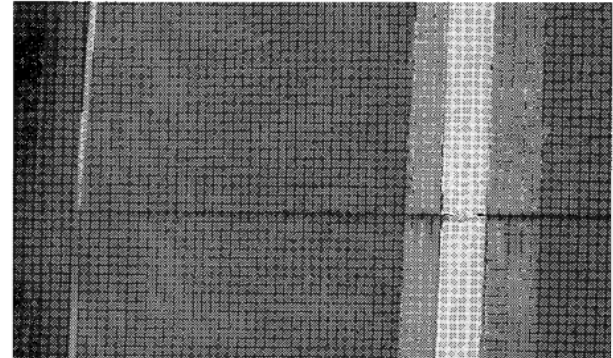
No.149 縦目地に沿って破損



No.153 角欠け補修

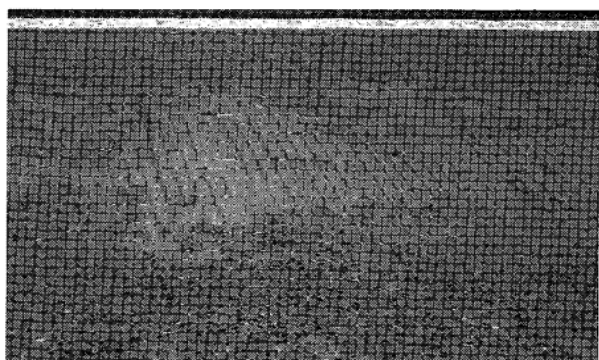


No.157 角欠け

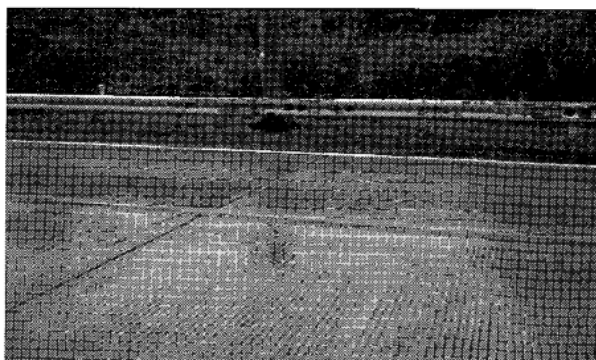


No.178 グルーピング摩耗

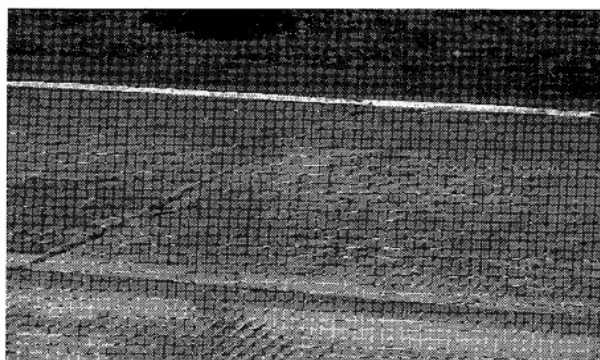
3) 供用 10 年の状況



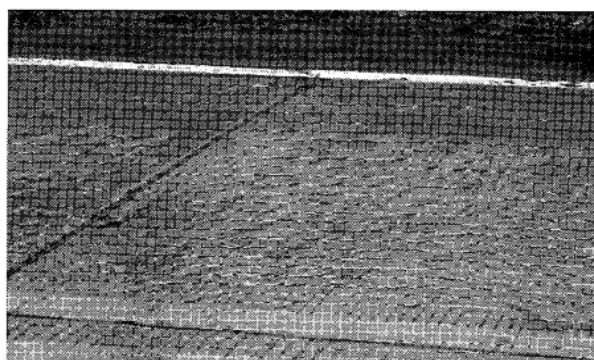
No.4 わだち掘れ



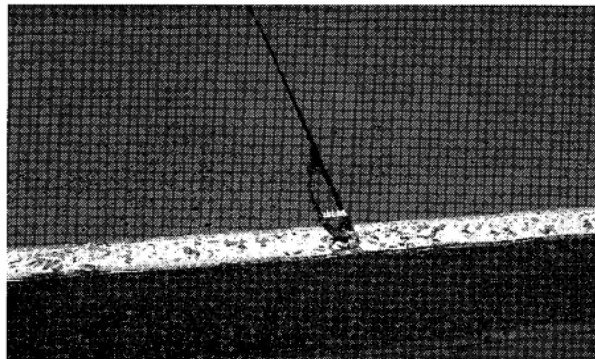
No.10 角欠け補修



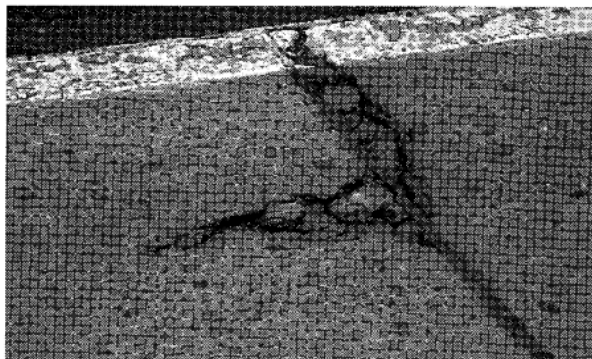
No.11 角欠け補修



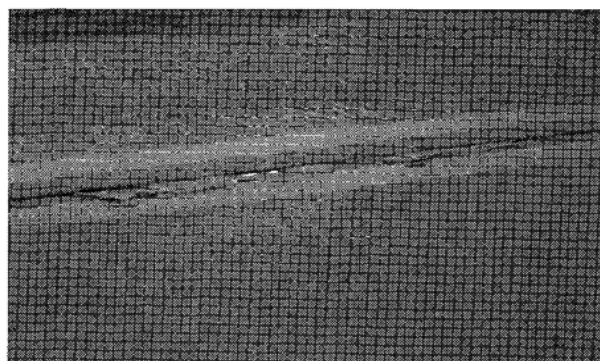
No.12 角欠け補修



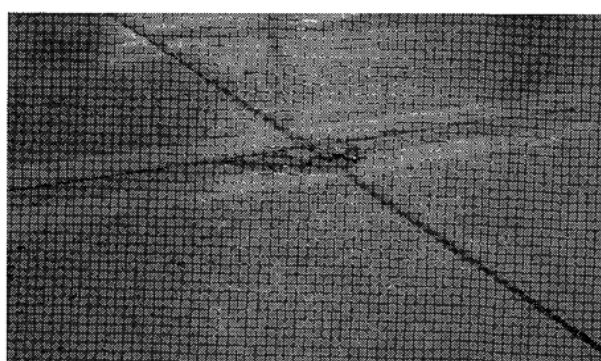
No.54 角欠け補修



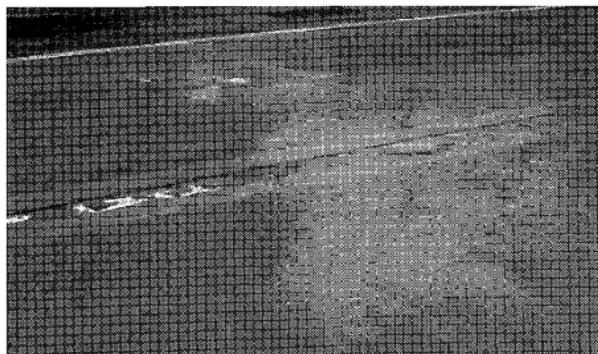
No.66 角欠け・ひび割れ



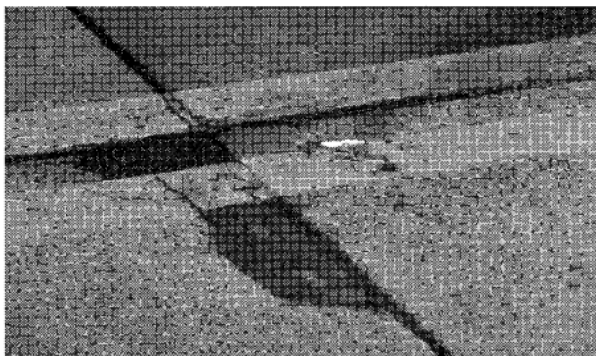
No.116 縦目地に沿って角欠けコンクリートで補修



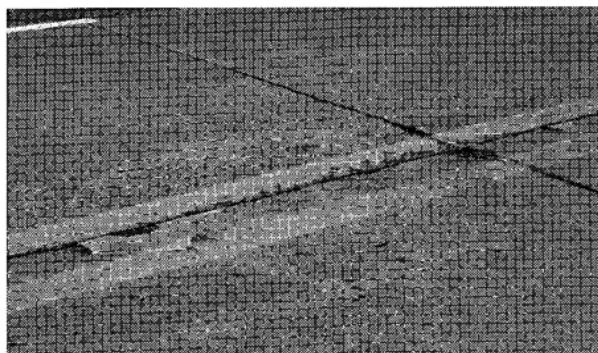
No.121~122 角欠け補修



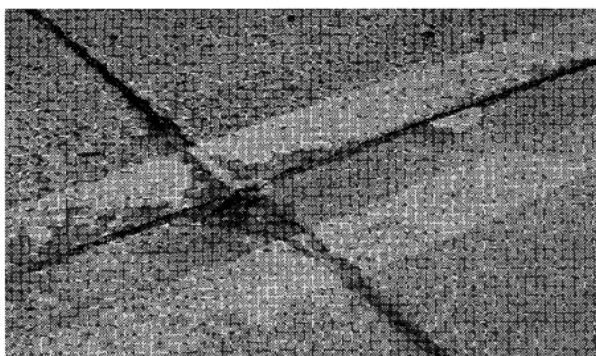
No.122 縦目地に沿って角欠けコンクリートで補修



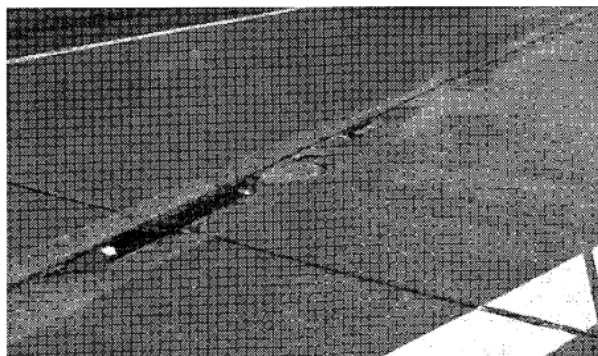
No.128 角欠け、アスファルトで補修



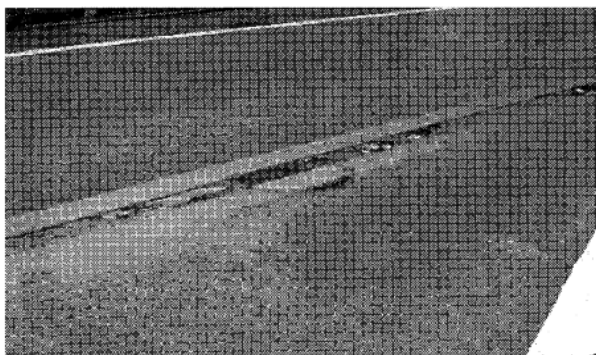
No.132 縦目地に沿って角欠けコンクリートで補修



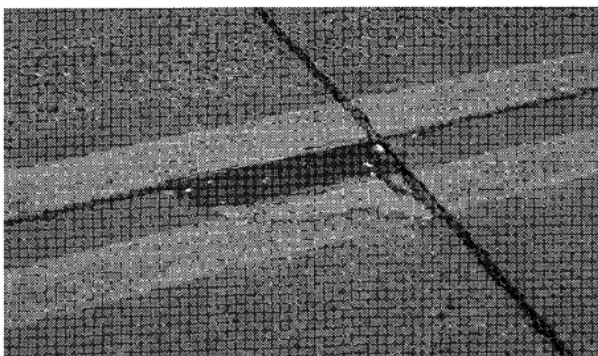
No.132 角欠け、アスファルトで補修



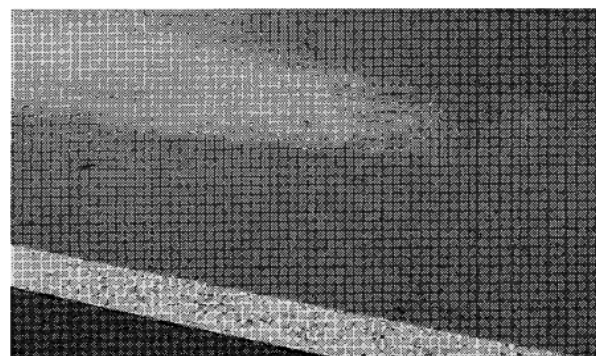
No.134～135 縦目地にそって角欠け
アスファルトとコンクリートで補修



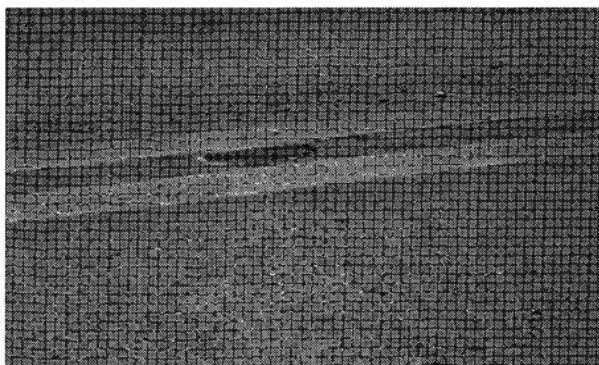
No.135 縦目地に沿って角欠け、アスファルトで補修



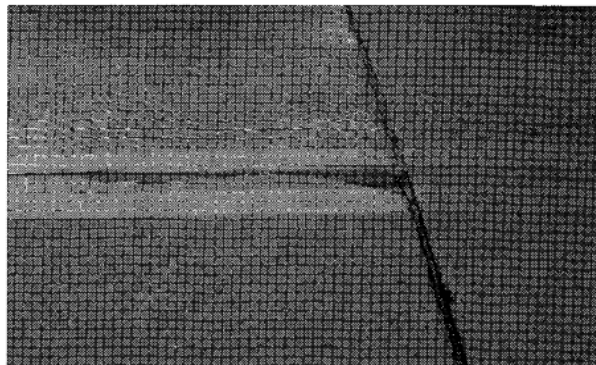
No.137 角欠け、アスファルトで補修



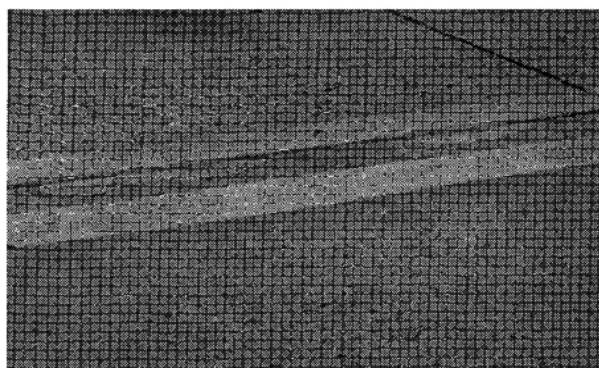
No.142 ポットホール(骨材抜け落ち)



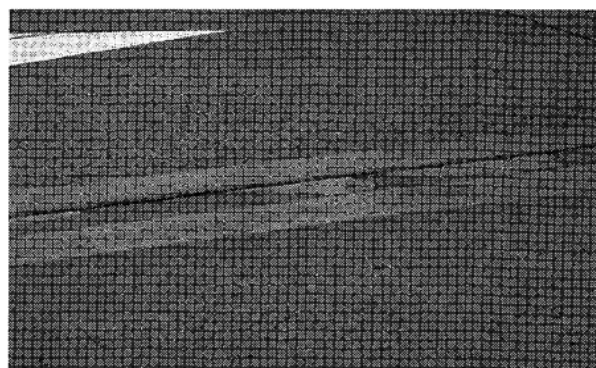
No.143 縦目地に沿って角欠けアスファルトで補修



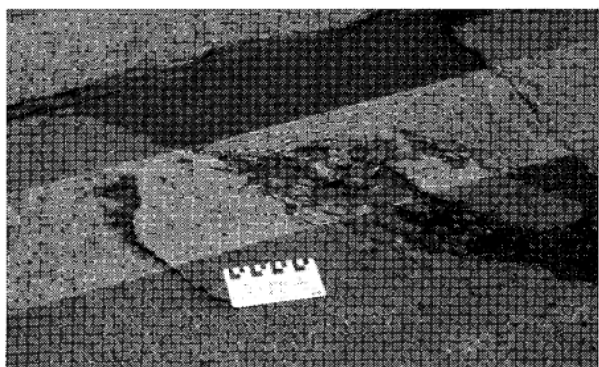
No.144 縦目地に沿って角欠けアスファルトで補修



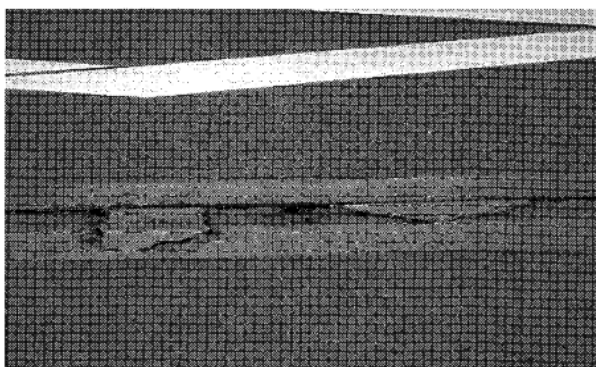
No.145 縦目地に沿って角欠けコンクリートで補修



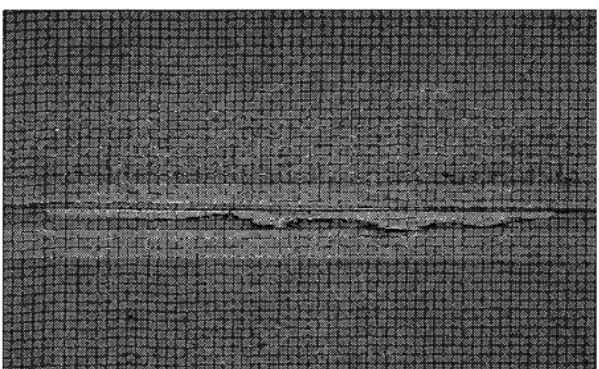
No.146 縦目地に沿って角欠けコンクリートで補修



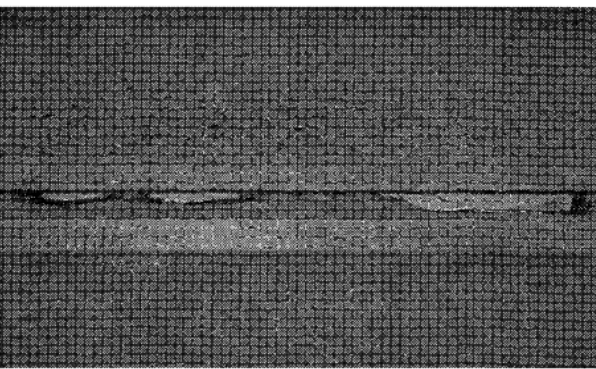
No.148 角欠け、アスファルトで補修



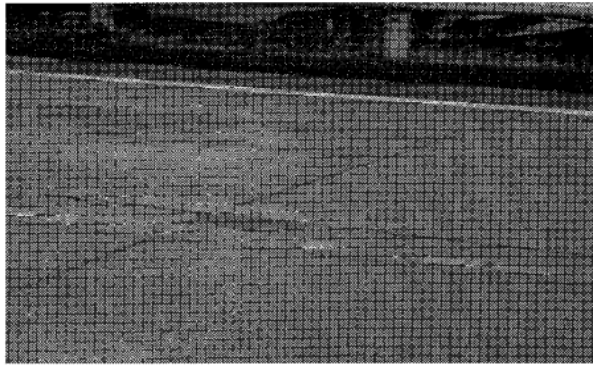
No.149 角欠け、コンクリートで補修



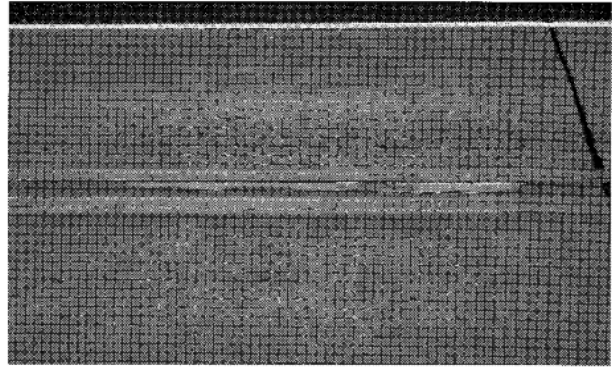
No.150 縦目地に沿って角欠けコンクリートで補修



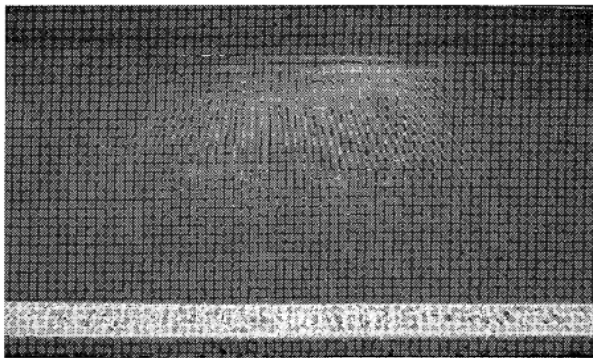
No.153 縦目地に沿って角欠けコンクリートで補修



No.157 角欠け、アスファルトで補修



No.164 縦目地に沿って角欠けコンクリートで補修



No.178 横グルーピング摩耗

関 係 報 告 書

号数	発行年月	表 題	価 格 (円)
R-11	1999 年 10 月	舗装用ポーラスコンクリート共通試験結果報告	2,000
R-12	2000 年 2 月	レディーミクストコンクリートの舗装工事への適用拡大に関する検討	2,000
R-13	2001 年 3 月	養生剤を用いたコンクリート舗装の養生の合理化に関する調査・研究	1,500
R-14	2001 年 12 月	薄層付着型ホワイトトッピング工法に関する調査・研究	2,000
R-15	2003 年 11 月	車道用ポーラスコンクリート現場試験舗装結果 (福井県) － 中間報告 (供用 3 年) －	2,000
R-16	2004 年 7 月	車道用ポーラスコンクリート試験舗装中間報告 － 千葉県道 松戸・野田線・供用 3 年 －	1,500
R-17	2005 年 11 月	車道用ポーラスコンクリート現場試験舗装結果 (福井県) － 供用 5 年 －	2,000
R-18	2005 年 11 月	車道用ポーラスコンクリート試験舗装中間報告 － 千葉県道 成田小見川鹿島港線・供用 3 年 －	2,000
R-19	2006 年 3 月	ホワイトトッピング試験舗装 中間報告	1,500
R-20	2006 年 9 月	車道用ポーラスコンクリート試験舗装報告 － 千葉県道 松戸・野田線・供用 5 年 －	1,500
R-21	2007 年 9 月	ホワイトトッピング試験舗装 供用 5 年報告	1,500
R-22	2007 年 10 月	車道用ポーラスコンクリート試験舗装報告 － 千葉県道 成田小見川鹿島港線・供用 5 年 －	1,500
R-23	2008 年 5 月	車道用ポーラスコンクリート試験舗装報告 － 国道 210 号浮羽バイパス(福岡県)・供用 5 年 －	1,500
R-24	2009 年 1 月	コンクリート舗装のライフサイクルコスト調査結果	1,500
R-25	2009 年 2 月	車道用ポーラスコンクリート試験舗装報告 － 宮城県道 仙台岩沼線・供用 7 年 －	1,500
R-26	2009 年 12 月	車道用ポーラスコンクリートによる 薄層付着型オーバーレイ試験舗装報告 － 福井県道 皿谷大野線・供用 5 年 －	1,500
R-27	2010 年 3 月	早期交通開放が可能なコンクリート舗装に関する調査報告	1,500

関 係 資 料

発行年月	表 題	価 格 (円)
1998 年 4 月	第 6 回コンクリート舗装の高度化を目指した設計法と材料に関する パデュー国際会議論文集概要	
1999 年 3 月	第 8 回コンクリート道路に関する国際会議論文集 (要旨)	
1999 年 3 月	コンクリート舗装の補修技術資料	
2003 年 12 月	第 7 回コンクリート舗装に関する国際会議論文集概要	
2005 年 8 月	コンクリート舗装の補修技術資料	1,500
2006 年 2 月	第 9 回コンクリート道路に関する国際会議 (ISTANBUL2004 年 4 月開催) 論文集概要	
2006 年 11 月	第 8 回コンクリート舗装に関する国際会議 (Colorado2005 年 8 月開催) 論文集概要	
2007 年 9 月	車道用ポーラスコンクリート舗装設計施工技術資料	1,000
2008 年 3 月	第 10 回コンクリート道路に関する国際会議 (BLUSSELS2006 年 9 月開催) 論文集概要	

ISBN978-88175-110-7 C3358 ¥1500E

舗装技術専門委員会報告 R-28

定 価 : 本体 1,500+税

平成 23 年 4 月 30 日 印刷

社団法人 セメント協会

平成 23 年 4 月 30 日 発行

東京都中央区日本橋本町 1 丁目 9 番 4 号

Daiwa 日本橋本町ビル 7 階

電話 03(5200)5051(代)

発行所 社団法人 セメント協会 研究所

東京都北区豊島 4 丁目 17 番 33 号

電話 03(3914)2691(代)

印刷所 有限会社 イー・エム・ピー

東京都千代田区三崎町二丁目 14 番 6 号

T・M 水道橋ビル 2 階

電話 03(3265)6050

JCA