

土木研究所資料

既存コンクリート構造物の 健全度実態調査結果 —1999年調査結果—

平成14年3月

独立行政法人土木研究所
技術推進本部構造物マネジメント技術チーム

Copyright © (2002) by P.W.R.I.

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

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

既存コンクリート構造物の 健全度実態調査結果 —1999年調査結果—

構造物マネジメント技術チーム 主席研究員 河野 広隆
主任研究員 渡辺 博志
研 究 員 古賀 裕久

要 旨

「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」でコンクリート構造物の劣化実態を把握するため、1999年に旧建設省の各地方建設局、および北海道開発局、沖縄総合事務局で、既存構造物の健全度に関する実態調査を行った。その結果をとりまとめ報告する。

キーワード：コンクリート構造物，耐久性，健全度調査，中性化，塩害，圧縮強度，拡散係数

目 次

1 . 全体概要	1
1.1 本調査の背景	1
1.2 本報告書の構成	2
2 . 調査方法	3
2.1 基本調査	3
2.2 詳細調査	3
2.3 劣化度の判定	5
3 . 調査した構造物の概要	43
4 . 目視調査結果	55
4.1 各種変状の発生状況	55
4.2 劣化度の判定結果	59
4.3 劣化度の判定からわかったこと	70
5 . 詳細調査結果	71
5.1 圧縮強度およびヤング係数	71
5.2 密度および吸水率	75
5.3 鉄筋のかぶり厚さ	79
5.4 中性化深さ	83
5.5 塩化物イオン濃度	89
5.6 詳細調査結果からわかったこと	92
6 . 考察	93
6.1 検討した項目と検討目的	93
6.2 構造物の竣工年代と構造物およびコンクリートの品質について	94
6.3 書類調査による劣化度判定の妥当性について	100
6.4 塩化物イオンの見掛けの拡散係数と初期塩分量について	103
6.5 コンクリートの中性化と塩化物イオンの分布について	127
6.6 調査における反省点	132

7. まとめ	137
謝 辞	138
関連資料	139
土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言	141
土木コンクリート構造物の品質確保について	165
(国官技第 61 号, 平成 13 年 3 月 29 日)	
「土木コンクリート構造物の品質確保について」の運用について	167
(国コ企第 2 号, 平成 13 年 3 月 29 日)	

1 . 全体概要

1.1 本調査の背景

コンクリート構造物は、安全性や経済性の面で優れた特性を有しており、住宅・社会資本として活用されているコンクリート構造物のストック量は膨大なものになっている。これらコンクリート構造物の品質を確保するため、従来から使用材料や設計方法、施工方法等に関する規格・規準類が整備されており、また、築造された後には、その安全性・使用性を確保するため、点検及び必要に応じた補修・補強等の維持管理が行われてきている。

しかしながら、近年、コンクリート構造物から剥離したコンクリート塊が落下するなど、その安全性に対する信頼を損ないかねないような事例が発生しており、従前以上に適切な建設・維持管理が望まれている。また、土木学会の性能照査型コンクリート標準示方書の発刊など、コンクリート構造物の品質向上に関する新しい取り組みの成果を取り入れていくことも重要である。このような状況をふまえ、旧建設省、旧運輸省、農林水産省では、平成11年9月に「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」を設置し、コンクリートの製造から施工までの建設プロセス及び維持管理の今後のあり方について検討を行った。検討の結果は、平成12年3月に「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言」¹⁾として発表された。本報告書は、この「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」での検討に資するため、平成11年9月から11月の間に実施された「土木コンクリート構造物に対する実態調査」（以下、実態調査）の結果を報告するものである。

実態調査では、既存コンクリート構造物の耐久性に関する実態を多角的に検討するため表－1.1に示す3種類の調査が行われたが、本報告書では、基本調査および詳細調査のうち旧建設省の各地方建設局、および北海道開発局、沖縄総合事務局が調査を担当し、土木研究所で調査結果の分析を担当した事例について報告する。三省で調査した結果の全てをとりまとめた結果については、「土木コンクリート構造物耐久性検討委

表－1.1 実態調査の目的

調査の種類	目的	主な調査項目	調査箇所数	
			旧建設省	三省全体
基本	土木コンクリート構造物の劣化状況について、概要を把握する。特に竣工年代や構造物種類による差異を見る。	竣工年、周辺環境、目視による変状（ひび割れ等）観察	2099*	2,645
詳細	実構造物に用いられているコンクリートの品質や劣化の程度をコア試料を採取して把握する。	中性化深さ、コア圧縮強度、塩化物イオン量	152*	193
生コンクリート	打込み直前のレディーミクストコンクリートについて、抜き取り調査を行い、現状を把握する。	配合、スランプ、空気量、28日圧縮強度	100	旧建設省のみ実施

* 本報告書で報告する調査結果

員会の提言」の解説資料として文献1)中に報告がある。また、本報告書に含まない生コンクリート調査の結果は、土木研究所資料第3838号「レディーミクストコンクリートの品質実態調査－(2)1999年調査結果－」²⁾として報告している。

なお、本報告書で報告する内容の一部は、すでに文献3)～5)として報告しているものである。

1.2 本報告書の構成

本報告書は、以下の章立てに従って記述した。

- | | |
|---------------|---|
| 2章 調査方法 | : 基本調査, 詳細調査の調査方法について記述した。 |
| 3章 調査した構造物の概要 | : 基本調査の一部として収集した, 各構造物の諸元や周辺環境に関するデータを整理した。 |
| 4章 目視調査結果 | : 基本調査で得られたデータのうち, 目視による外観観察等の調査結果(各種変状の発生状況など)を整理した。
: 構造物の外観観察による調査結果や調査した構造物に関するデータから, 各構造物の劣化度を判定した結果について整理した。 |
| 5章 詳細調査結果 | : 詳細調査で得られた, コンクリートの品質や構造物の劣化状態に関する調査結果を整理した。 |
| 6章 考察 | : 今回の調査得られた結果を総合的に捉えて, 全国のコンクリート構造物の健全度や使用されているコンクリート品質等について考察した。
: 今回の調査で明らかになった調査方法に関する問題点を整理した。 |
| 7章 まとめ | : 今回得られた調査結果のうち, 特に重要なポイントを再整理した。 |

【参考文献】

- 1) 「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言」, 国土交通省のホームページ,
<http://www.mlit.go.jp/>, 2001.3
- 2) 土木研究所構造物マネジメント技術チーム:「レディーミクストコンクリートの品質実態調査－(2)1999年実態調査結果－」, 土木研究所資料3838号, 2001.11
- 3) 古賀裕久, 河野広隆, 渡辺博志:「コンクリート構造物の健全度に関する実態調査結果」, 土木技術資料, Vol.42, No.12, pp.58-63, 2000.12
- 4) Hirotaka Kawano, Hiroshi Watanabe, Hirohisa Koga: “NATIONWIDE SURVEY ON SOUNDNESS OF CONCRETE STRUCTURES”, 2001 Second International Conference on Engineering Materials, Vol.1, pp.93-100, 2001.8
- 5) 古賀裕久, 河野広隆, 渡辺博志, 田中良樹:「平成11年度実態調査結果に基づく実構造物中のコンクリート品質に関する検討」, セメント・コンクリート論文集, No.55, pp.599-606, 2002.2

2. 調査方法

2.1 基本調査

基本調査では、全国のコンクリート構造物の健全度を総合的に把握するため、構造物の種類や竣工年代が異なる事例を調査対象としてランダムに多数選定し、目視等による調査を行った。調査対象の構造物では、構造物の諸元や周辺環境に関するデータを書面で調査し、目視で観察できるひび割れやコンクリートのはく離等の変状を現地で調査した。ただし、調査期間等の制約もあり、原則として地上から目視で点検できる範囲で実施し、点検車や足場の設置は行わなかった。調査は、各構造物の管理担当者が実施した。基本調査で行った調査項目を表－2.1に整理する。

調査対象とした構造物の種類は、橋梁上部構造、橋梁下部構造(1基の橋台または橋脚を1つの構造物としてあつかった)、擁壁、カルバート、河川構造物(樋門、樋管、用水施設等)、トンネル(道路トンネル)の6種類である。構造物の竣工年代については、1964年以前に竣工したもの、1965年から1974年の間に竣工したもの、1975年から1984年の間に竣工したもの、1985年以降に竣工したものの4つの年代に区切って整理した。各地方建設局等が所轄する都道府県の単位ごとに、構造物の種類および竣工年代が異なる調査事例を2件ずつ選定することを基本とした(表－2.2)。ただし、地域によっては上記に該当する構造物が選定できない場合もあった。調査した構造物の総数は最終的に2099件であった(調査数の詳細については、「3. 調査した構造物の概要」を参照のこと)。

基本調査は、1999年9月～10月の期間に実施した。ただし、橋梁台帳等により劣化の程度が把握可能なものについては、そのデータを用いても良いことにした。9ページ以降に今回の調査で使用した調査票を掲載した(基本調査については、11～21ページ)。

2.2 詳細調査

(1) 概要

基本調査で概要を把握した構造物の一部については、そのコンクリートの品質や劣化の進行状況についてより詳細に調査するため、コアを採取して各種の試験を行ったり、鉄筋のかぶり等を測定する詳細調査を行った。

コア採取が構造物に与える影響についても考慮し、橋梁上部構造は調査対象から除外した。トンネルもコンクリートに要求される性能が他の構造物とは異なるので対象外とした。したがって、詳細調査の対象構造物は、橋梁下部構造、擁壁、カルバート、河川構造物の4種類である。調査数は、最終的に152件であった(表－2.3)。

調査対象の構造物は、その健全度が偏ることを避けるため、健全事例と劣化事例をほぼ同数ずつ選定することを基本とした。ただし、調査期間が限られていたこともあり、コア採取作業の容易さについても十分に留意する必要があった。また、竣工年代についてもほぼ均等になるように留意したが、比較的新しい構造物

では劣化を生じている事例の数が少なかった。このような理由から、ここでいう劣化事例は、必ずしも明確な劣化が生じている事例だけではない(表-2.4)。なお、調査対象の構造物は土木研究所で指定し、コア採取位置は各構造物の管理者が選定した。

詳細調査は、1999年10月～11月の期間に実施した。22ページ以降に今回の調査で使用した調査票を掲載した。

(2) 調査の方法

詳細調査で実施した調査項目を表-2.1に示す。調査は、次の手順で行った(図-2.1参照)。

- 1) 非破壊試験器で構造物中の鉄筋の位置を探索し、コア採取箇所(3箇所)を選定した。
- 2) コア採取予定箇所付近の鉄筋のかぶりを非破壊試験器で測定した。
- 3) $\phi 100\text{mm}$ のコアを採取した。
- 4) 採取したコアまたはコア抜き孔で、コンクリートの中性化深さを測定した。
- 5) コア抜き孔付近の鉄筋をはつり出し、鉄筋のかぶりを測定した。また、鉄筋の腐食状況を観察した。
- 6) 採取したコアのうち1本の、表面から10cmまでのコンクリートを用いて塩化物イオン濃度の分布を測定した。
- 7) $\phi 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ のコアの残りの部分、および他の2本は圧縮強度試験に使用できるように成形した。
- 8) これら3本のコンクリートコアの密度・吸水率試験を行った。
- 9) 密度・吸水率試験後のコアを用いて圧縮強度試験(およびヤング係数の測定)を行った。

コンクリートの密度・吸水率試験は、次の手順で行った。

- 1) 採取したコアを105℃の乾燥炉中で24時間乾燥させた後、質量(絶乾質量)を測定した。
- 2) コアを20℃の水の中に入れて吸水させた。
- 3) 吸水をはじめてから、1, 3, 6, 24時間後に、それぞれ水から取り出し表面の水分をふき取ってから質量(表乾質量)を測定した。1, 3, 6時間後の場合は、水中に戻し吸水を続けた。
- 4) 24時間吸水させた供試体については、水中での質量(水中質量)を測定した。
- 5) 測定されたコアの絶乾質量、表乾質量、水中質量から、密度・吸水率を算出した。

また、塩化物イオン濃度の測定では、供試体表面から10cmまでのコンクリートを、2cm間隔でスライスしたものを試料とし、硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法(JCI-SC4, 電位差滴定法)により、全塩分量を測定した。

中性化深さの測定は、フェノールフタレイン法で行った。

コアの圧縮強度とヤング係数の測定は、JIS A 1108 および JSCE-G502 に準じて行った。

2.3 劣化度の判定

基本調査では、各構造物に生じたひび割れやコンクリートのはく離等の変状の有無や程度を記録した。しかし、各構造物の大きさ(調査面積)や周辺環境は様々であることから、変状の程度を定量的に評価することは困難であった(例えば、調査面積が違う場合に、ひび割れの総延長を比較することにはあまり意味がない)。一方、詳細調査は、調査数に限界があることから、全国的な視点での把握は困難であると考えられる。

そこで、基本調査を行った2099件の構造物を対象として、写真や図面等を参考にして劣化の程度および劣化要因の推定を行い、コンクリート構造物の耐久性に関する実態を把握することとした。なお、基本調査で得られる情報は限られており、構造物としての補修の要否を適切に判断することは困難である。そこで、調査箇所のコンクリート部材としての劣化の度合いを判定することとし、「橋梁点検要領(案)」の損傷度判定標準⁶⁾を参考に表-2.5のように定めた5段階の劣化度を用いて劣化度の判定を試みた。なお、トンネルは無筋の構造物であり、他の構造物とは劣化機構も異なっていると考えられることから、ひび割れ箇所等からコンクリート片のはく離し、通行者に危害を加える危険性に重点を置いて判定した。

各劣化度に該当する事例の写真を35ページ以降に紹介した。

また、劣化が認められた事例については、劣化原因の推定もあわせて行った。劣化原因は表-2.6に示すものから該当するものを選択したが、資料の関係で原因を特定することが難しい場合も多く、このような場合は“不明”とした。

劣化度の判定は、7名の判定者が分担し、次の手順で行った。

- 1) 判定者の一人が、特に劣化度の判定に迷いそうな事例を構造物種類ごとに10事例程度、合計では74事例選定した。
- 2) 選定された74事例について、判定者全員が劣化度の判定を行った。
- 3) 判定者間で意見が分かれた事例については、判定根拠について議論し、各劣化度が意味する変状の程度についてイメージを共有した。
- 4) 構造物種類ごとに分担して劣化度を判定した。なお、一つの構造物について2名の判定者が担当し、意見を調整することとした。

劣化度および劣化原因の判定は、基本調査(構造物を傷つけず、目視でわかる範囲の情報)をもとに実施したものであり、詳細調査で得られたコンクリートの品質や構造物の劣化状況等に関するデータは判定結果に反映されていない。

【参考文献】

- 6) 建設省土木研究所：「橋梁点検要領(案)」，土木研究所資料第2651号，p.20，1988.7

表－2.1 基本調査・詳細調査の調査項目

種類		調査項目	調査票
基本調査	構造物の概要	調査年月日 構造物名・所在地 構造物の型式 竣工年 コンクリートの設計基準強度 点検・補修履歴 周辺環境（海からの距離、凍結防止剤の使用等）	調査票－1
	目視調査	豆板、変色の有無 ひび割れ（有無，程度） コンクリートのはく離（有無，程度） さび汁（有無，程度） 鋼材の露出（有無，程度） ハンマーによるたたき調査（可能な範囲で行った） 図面・写真の収集（全体写真，変状部位の写真）	調査票－2
詳細調査		調査位置図 かぶり（非破壊検査および部分はつり調査） 部分はつり箇所の鉄筋の健全度 中性化深さ 硬化コンクリート中の塩化物イオン濃度 コアの圧縮強度，ヤング係数 コアの密度，吸水率	調査票－3

表－2.2 基本調査の調査数(計画，各地方建設局あたり)

竣工年	構造物種類					
	橋梁 上部構造	橋梁 下部構造	擁壁	カルバート	河川構造物	トンネル
～1964	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数
1965～1974	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数
1975～1984	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数
1985～	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数	2 × 県数
計	48 × 県数					

※表中では簡略のため県数と示したが，都・府も同様である。

ただし，北海道では各10件程度選定した。

※調査数の詳細については，「3. 調査した構造物の概要」を参照のこと

表－2.3 詳細調査の調査数(年代別, 全国)

竣工年代	健全事例				健全事例小計	劣化事例				劣化事例小計	計
	橋梁下部構造	擁壁	カルバート	河川構造物		橋梁下部構造	擁壁	カルバート	河川構造物		
～1964	5	3	5	4	17	10	2	9	3	24	41
1965～74	5	3	6	4	18	8	3	6	4	21	39
1975～84	7	3	8	4	22	4	4	5	3	16	38
1985～94	6	2	5	3	16	5	4	4	5	18	34
計	23	11	24	15	73	27	13	24	15	79	152

※健全事例：目視調査では変状がほとんど認められず、将来的にも構造物が劣化する可能性が低いと考えられる事例

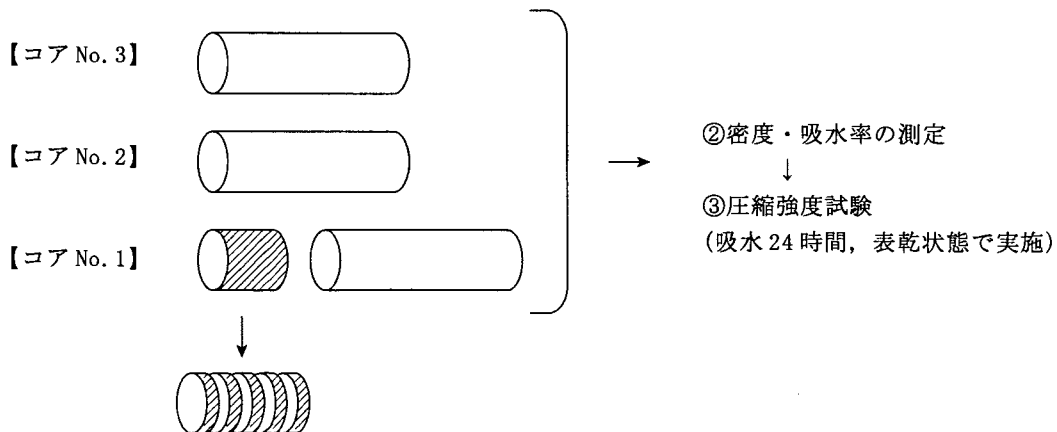
※劣化事例：目視調査で変状が見られた事例や、周辺環境から構造物が劣化する可能性がある事例

表－2.4 詳細調査の調査数(劣化度別, 全国)

劣化度	健全事例				健全事例小計	劣化事例				劣化事例小計	計
	橋梁下部構造	擁壁	カルバート	河川構造物		橋梁下部構造	擁壁	カルバート	河川構造物		
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0	2	1	0	0	3	3
III	0	0	0	0	0	4	2	4	1	11	11
II	1	0	4	2	7	9	2	15	11	37	44
I	22	11	20	13	66	12	8	5	3	28	94
計	23	11	24	15	73	27	13	24	15	79	152

※劣化度については、表－2.5を参照

①中性化深さ(コアまたは採取孔で試験, 3箇所とも)の測定



④塩化物イオン濃度の測定

(コンクリートの表面から10cmまで, 2cmごとに5試料)

図－2.1 採取したコア試料を用いた試験(詳細調査)

表－2.5 劣化度判定基準

○トンネル以外の構造物

劣化度	一般的状況
V	劣化が著しく、補修・補強を行う必要がある。劣化のため構造物の耐力や使用性が低下していることが明白なものの。
IV	劣化が著しく詳細調査を行い、補修するかどうか検討する必要がある。劣化のため構造物の使用性に悪影響が出ているおそれがあるもの。あるいは、放置するとさらに劣化が進行することが十分に予想されるもの。
III	劣化が認められ、追跡調査を行う必要がある。現時点では即座に構造物の使用性に影響を与えないが、将来的には劣化が進行することも予想されるもの。
II	劣化の兆候が認められる。軽微なひび割れや錆汁等が認められ、条件によっては劣化が進行することも予想されるもの。
I	劣化の兆候が認められず、健全な構造物

○トンネル

劣化度	一般的状況
V	はく離・剥落の危険性が明白な部分があり、ただちに補修を行う必要がある。
IV	はく離・剥落のおそれがある部分が複数あり、補修するかどうか検討する必要がある。例えば、打音検査で異常音が認められた箇所が多数存在するもの。
III	はく離・剥落のおそれがある部分がある。例えば、打音検査で異常音が認められた箇所が存在するもの
II	はく離や剥落につながる可能性のある部分がある。例えば、ひび割れやコールドジョイントの存在が目立つもの。
I	はく離や剥落の兆候が認められず、健全な構造物

※ 35 ～ 42 ページに事例写真を掲載した。

表－2.6 劣化要因の定義

劣化要因	劣化の状態（複数回答）
コンクリート 低品質	（下記の兆候から硬化したコンクリートが低品質である可能性がある） ・打ち込み不良による豆板の発生や骨材分離が目立つもの ・コールドジョイントの目立つもの ・遊離石灰等による表面変色が著しいもの ・コンクリート表面のざらつき、骨材露出などの変状が顕著なもの ・コンクリートのひび割れが目立つもの
配筋不良	・鋼材の露出が認められるもの ・多量の錆汁が認められる場合で、塩分の大量供給が考えにくいもの
アルカリ骨材反応	・アルカリ骨材反応に特有の亀甲状のひび割れが認められるもの
塩害	・塩分が外部から供給される環境にあり、鋼材の腐食が認められるもの
凍害	・凍害が予想される地域で、コンクリートの凍結融解に起因する角欠け等が認められるもの
不明	・原因を特定することが難しいもの

コンクリート構造物の追加実態調査(概要編)

1. 調査目的

コンクリート構造物の品質について、信頼性を損ねかねない事例が近年発生している。このような状況を踏まえ、コンクリートの信頼性を確保し、より良い住宅・社会資本を提供するために、先ず既設コンクリート構造物の耐久性に関する実態把握を目的に調査を行う。この調査により、立地条件や製作年度と健全度の関連を究明し、コンクリート構造物の耐久性向上の観点から、既存コンクリート構造物の点検・補修のあり方、製造から施工までの建設プロセスおよび今後の技術開発のあり方について検討するものである。また、本調査の主たる目的は、詳細調査によるコア採取から得られる諸々のデータ分析にある。基本調査は、詳細調査箇所特定のための分析資料と位置づけられる。

2. 調査方法

既存構造物に関し、最初に基本調査を行う。この基本調査の結果を回収し検討して、各地建に詳細調査箇所を指定し、この箇所に対して詳細調査を行う。また、生コンクリートに関する品質調査を行う。なお、基本調査については、橋梁台帳、トンネル緊急点検等により劣化の程度が把握可能なものについては、それをもって代用しても良い。

(1) 基本調査

各地建ごとに、橋梁上部工、橋梁下部工、擁壁、カルバート、河川構造物、トンネルの6種類の構造物を対象に所轄の県数に応じた表-1に示す調査箇所を選定し、調査票-1, 2に基づき、資料(施工記録)および目視等により調査を行う。

なお、調査箇所の選定は、構造物の竣工年、地域および周辺環境(工場、住宅・商業地、農地、山地、雪寒地)のばらつきを考慮して抽出する。また、橋梁下部工については1基の橋台もしくは橋脚を1つの調査箇所として扱う。

表-1 調査箇所の概数(地建当り)

竣工年	基本調査						詳細調査	
	橋梁 上部工	橋梁 下部工	擁 壁	カルバー ト	河川 構造物	トンネル	基本調査に基づき指定さ れた調査箇所	
～1964	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	6～10 (平均事 例)	6～10 (劣化事 例)
1965～1974	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
1975～1984	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
1985～	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
計	48×県数						12～20	

図-2.2 調査票-概要編(1/2)

1) 調査票-1(調査構造物の概要)

調査年月日、構造物名、所在地、構造物形式、竣工年等

2) 調査票-2(目視調査結果)

調査年月日、構造物名、変状状況、ハンマーによるたたき調査等

3) 提出期限、提出先

基本調査の結果は、1999年10月8日(金)までに建設省・土木研究所・材料施工部・コンクリート研究室・〇〇研究員に提出するものとする。

(2) 詳細調査

指定された詳細調査箇所について、各種試験のためのコア採取(各箇所3本づつ)とかぶり測定を調査票-3に基づき行う。

1) 調査票-3(詳細調査結果)

調査年月日、構造物名、圧縮強度、ヤング係数、吸水試験、塩化物イオン濃度、中性化深さ、かぶり等

2) 提出期限、提出先

詳細調査の結果は、1999年11月10日(水)までに建設省・土木研究所・材料施工部・コンクリート研究室・〇〇研究員に提出するものとする。

(3) 生コンクリートに対する品質調査

各地建管内で実際に工事で用いているJIS表示認可レディーミクストコンクリート工場を対象に、各県2構造物程度を選定し、その品質実態を調査票-4に基づき調査する。

1) 調査票-4(生コン品質調査)

フレッシュコンクリートの品質、硬化コンクリートの品質等

2) 提出期限、提出先

生コンクリートに対する品質調査の結果は、1999年10月29日(金)までに建設省・土木研究所・材料施工部・コンクリート研究室・〇〇研究員に提出するものとする。

図-2.3 調査票-概要編(2/2)

コンクリート構造物の追加実態調査(既存構造物調査編)

1. 調査目的

コンクリートは、住宅・社会資本整備のための重要な資材であり、様々な構造物の構築に用いられている。コンクリートの品質を確保するために、その材料、施工方法、構造に関する規格・基準類が整備され、監督・検査等により品質が確認されてきた。また、築造されたコンクリート構造物については、点検および必要な補修等の維持管理が行われてきている。

しかしながら、コンクリート構造物の品質について、信頼性を損ねかねない事例が近年発生している。このような状況を踏まえ、コンクリートの信頼性を確保し、より良い住宅・社会資本を提供するために、先ず既設コンクリート構造物の耐久性に関する実態把握を目的に調査を行う。この調査により、立地条件や製作年代と健全度の関連を究明し、コンクリート構造物の耐久性向上の観点から、既存コンクリート構造物の点検・補修のあり方、製造から施工までの建設プロセスおよび今後の技術開発のあり方について検討するものである。

2. 調査方法

最初に基本調査を行う。基本調査では構造物の竣工年や環境条件等の基本データを集め、目視でわかる範囲の劣化状況の調査を行う。この基本調査の結果を検討した上で、各地建に詳細調査箇所を指定し詳細調査を行う。詳細調査の調査要領は、調査箇所の指定時に再度示す。

(1) 基本調査

各地建ごとに、橋梁上部工、橋梁下部工、擁壁、カルバート、河川構造物、トンネルの6種類の構造物を対象に所轄の県数に応じた表-1に示す調査箇所を選定し、調査票-1, 2に基づき、資料(施工記録)および目視等により調査を行う。

なお、調査箇所の選定は、構造物の竣工年、地域および周辺環境(工場、住宅・商業地、農地、山地、雪寒地)のばらつきを考慮して抽出する。また、橋梁下部工については1基の橋台もしくは橋脚を1つの調査箇所として扱う。

図-2.4 調査票-既存構造物調査編(1/24)

表-1 調査箇所の概数(地建当り)

竣工年	基本調査						詳細調査	
	橋梁 上部工	橋梁 下部工	擁 壁	カルパー ト	河川 構造物	トンネル	基本調査に基づき指定さ れた調査箇所	
～1964	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	6～10 (平均事 例)	6～10 (劣化事 例)
1965～1974	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
1975～1984	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
1985～	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県	2×県		
計	48×県数						12～20	

調査方法は、基本的には目視により行うものとする。但し、ひび割れや鋼材の露出箇所の調査では可能なかぎり接近して調査を行うものとする。

たたき調査は、ひび割れ、はく離、ジャンカ豆板等の外観の変状が顕著な場合に、必要(変状箇所)に応じ足場等を組んで行うものとする。

1) 調査票-1(調査構造物の概要)

- ・調査年月日(資料調査を実施した年月日)
- ・担当事務所
- ・調査担当者
- ・連絡先(TEL、内線まで)
- ・構造物名(例：〇〇橋梁P1橋脚、△△号函渠)
- ・所在地(大字名まで記入)
- ・路線名・河川名(河川構造物の場合は河川名)
- ・位置(起点からの距離〇〇. 〇km)
- ・構造物形式(下記の形式を記入、該当しない場合はその形式名称を記入)

①橋梁上部工

RC中実床版、RC中空床版、RCT桁、RC箱桁、PCプレテン床版、PCプレテン中空床版、PCポステン中空床版、PCプレテンT桁、PCポステンT桁、PCポステン箱桁、合成T桁、合成箱桁

②橋梁下部工

橋台：重力式橋台、逆T式橋台、控え壁式橋台、ラーメン橋台、箱式橋台、中抜き橋台
橋脚：壁式橋脚、柱橋脚、ラーメン橋脚、T型橋脚、I型橋脚、パイルベント橋脚

③擁壁

重力式擁壁、U型擁壁、逆T型擁壁、L型擁壁、控え壁式擁壁、ボックス擁壁

④カルバート

ボックスカルバート、門形カルバート、アーチカルバート

⑤河川構造物(樋門等)

- ・構造物寸法(高さ、幅、奥行き〇〇. 〇m)
- ・施工年(西暦で記入)
- ・適用仕様書(設計時及び施工時の適用仕様書を記入)
- ・コンクリートの設計基準強度(設計基準強度を記入)
- ・点検の有無および点検内容(有無を○で囲み、有の場合は最新点検年月および点検評価内容(損傷度判定区分、ひび割れ、はく離、鋼材露出等)を記入)
- ・補修の有無および補修内容(有無を○で囲み、有の場合は最新補修年月および補修内容(ひび割れ注入、表面コンクリート補修等)を記入)
- ・海岸からの距離(海上、海岸沿い、海岸から〇〇. 〇kmのいずれかを○で囲み、海上、海岸沿いでない場合は海岸からの距離を記入)
- ・周辺環境①(工場、住宅・商業地、農地、山地、その他のいずれかを○で囲み、その他の場合は周辺環境を記入)
- ・周辺環境②(普通地、雪寒地、その他のいずれかを○で囲み、その他の場合は周辺環境を記入)

図-2.6 調査票-既存構造物調査編(3/24)

- ・凍結防止剤の使用(構造物周辺での凍結防止剤の使用の有無を○で囲み、有の場合は年間の使用頻度(○○日／年)を記入)
- ・構造物の直下周辺環境(河川・海、道路、その他いずれかを○で囲み、その他の場合は直下環境を記入。)
- ・標高(海拔表示○○. ○m)
- ・構造物位置図を添付

図－ 2.7 調査票－既存構造物調査編(4/24)

2) 調査票-2(目視調査結果)

- ・ 外観(ジャンカ豆板、変色の有無を○で囲む)
- ・ ひび割れの有無(有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
 - 種類：主筋方向、直角方向、両方向(いずれかを○で囲む)
 - 本数：1～2本、3～5本、多数(いずれかを○で囲む)
 - 総延長：○○、○m(ひび割れの概略総延長を記入)
- ・ はく離の有無(有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
 - 種類：うろこ状はく離、角欠け、両方、その他(いずれかを○で囲み、その他の場合ははく離の種類を記入)
 - 箇所：1～2ヶ所、3～5ヶ所、多数(いずれかを○で囲む)
 - 総面積：○○、○m²(はく離の概略総面積を記入)
- ・ さび汁の有無(有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
 - 箇所：1～2ヶ所、3～5ヶ所、多数(いずれかを○で囲む)
- ・ 鋼材露出の有無(有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
 - 種類：スペーサー、スターラップ、主鉄筋、シース(いずれかを○で囲む)
 - 箇所：1～2ヶ所、3～5ヶ所、多数(いずれかを○で囲む)
 - 総延長：○○、○m(鋼材露出の概略総延長を記入)
 - 腐食：健全、部分的腐食、全面的腐食、断面欠損(目視による鋼材露出部分の腐食程度のいずれかを○で囲む)
- ・ ハンマーによるたたき調査(実施の有無を○で囲み、有の場合は以下を記入)
 - 種類：健全音、異常音(浮き有り)(いずれかを○で囲む)
 - 箇所：1～2ヶ所、3～5ヶ所、多数(異常音の箇所数を○で囲む)
- ・ その他
 - 顕著な損傷の有無、補修の要否等について記入
- ・ 構造物一般図を添付(変状の認められた部分をマーキング)
- ・ 構造物断面図を添付(調査票-2(断面図))
- ・ 全景写真を添付(調査票-2(全景写真))
- ・ ひび割れ、はく離、鋼材露出等の変状が見られた場合は損傷状況図(調査票-2(損傷図))及び損傷箇所の写真(調査票-2(損傷写真))を添付

図-2.8 調査票-既存構造物調査編(5/24)

調査票－1

調査番号： 地建－ 番

調査年月日	1999年 月 日()
担当事務所	地方建設局 事務所
調査担当者	課
連絡先	TEL (内線)
構造物名	
所在地	
路線名・河川名	

位置	起点からの距離 k m
構造物形式	
構造物寸法	高さ m×幅 m×奥行 m
竣工年	
適用仕様書	
コンクリートの設計基準強度	N/mm ²
点検の有無 および点検内容	有、無 最新点検 年 月 点検評価内容：
補修の有無 および補修内容	有、無 最新補修 年 月 補修内容：
海岸からの距離	海上、海岸沿い、海岸から k m
周辺環境①	工場、住宅・商業地、農地、山地、その他()
周辺環境②	普通地、雪寒地、その他()
凍結防止剤の使用	有、無 年間 日程度
直下周辺環境	河川・海、道路、その他()
標高	海拔 m
	構造物位置図(1/50000を標準とする) 添付しない場合は (別添資料－○参照)と記入し、資料提出

図－2.9 調査票－既存構造物調査編(6/24)

調査票－２

調査番号： 地建－ 番

外観(豆板、変色)	有、無	豆板、変色
ひび割れ	有、無	種類：主鉄筋方向、直角方向、両方向
		本数：１～２本、３～５本、多数
		ひび割れ総延長 約 m
はく離	有、無	種類：うろこ状はく離、角欠け、両方、その他()
		箇所：１～２ヶ所、３～５ヶ所、多数
		はく離総面積 約 m ²
さび汁	有、無	箇所：１～２ヶ所、３～５ヶ所、多数
鋼材露出	有、無	種類：スペーサー、スターラップ、主鉄筋、シース
		箇所：１～２ヶ所、３～５ヶ所、多数
		露出総延長 約 m
		腐食：健全、部分的腐食、全面的腐食、断面欠損
ハンマーによる たたき調査	有、無	種類：健全音、異常音(浮き有り)
		箇所：１～２ヶ所、３～５ヶ所、多数
その他	顕著な損傷、補修の要否など記入	

構造物一般図

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、資料提出

図－２.１０ 調査票－既存構造物調査編(7/24)

調査票－2（断面図）

調査番号： 地建－ 番

構造物断面図

添付しない場合は
（別添資料－○参照）と記入し、
資料提出

図－2.11 調査票－既存構造物調査編(8/24)

調査票－2(全景写真)

調査番号： 地建－ 番

全景写真

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

図－2.12 調査票－既存構造物調査編(9/24)

調査票－2 (損傷図)

調査番号： 地建－ 番

損傷箇所(ひび割れ、はく離状況)のスケッチ図

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

図－2.13 調査票－既存構造物調査編(10/24)

調査票－2 (損傷写真)

調査番号： 地建－ 番

損傷箇所の写真

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

図－2.14 調査票－既存構造物調査編(11/24)

(2) 詳細調査

指定された詳細調査箇所について、各種試験のためのコア採取(各箇所3本ずつ)とかぶりの測定を調査票-3に基づき行う。

詳細調査箇所は、構造物の竣工年、地域および周辺環境を考慮して、平均的状況を確保するためのサンプルと劣化程度を確保するためのサンプルに分けて抽出し指定する。

詳細調査の要領は、以下のように実施するものとする。

- ① コア抜き位置を決めるため、まず非破壊での鉄筋探索を行う。
この時、鉄筋までのかぶりを調べる(電磁レーダー：2×2メートル程度)
(非破壊検査機器の例：日本無線 RC レーダ等)
- ② 3本のコア(コアNo. 1～No. 3)を下記1)の「コア採取時の留意点」に基づき採取する。
抜いたコアには、採取位置がわかるようにマジック等でマーキングする。
- ③ コア抜きした穴をウエス等で清掃し、切削による粉や水分等を除去する。表面が変色する程度に乾燥させた後、下記2)の「中性化深さ試験方法」に基づき中性化深さを測定する。
- ④ かぶりを下記3)の「かぶり測定の留意点」に基づき測定する。
- ⑤ コア抜き穴、かぶり測定によるはつり部分を下記4)の「コア採取・かぶり測定後の処理方法」に基づき、確実に補修する。
- ⑥ コアNo. 1の構造物表面から10cmを2cm厚に5枚スライスして、塩化物イオン濃度試験に用いる。
なお、スライスする際には水を用いないこと。また、スライス時の支障を避けるため、コアNo. 1(φ100mm×400mm)より2cm毎のスライス試料を取り、表面からの番号を記入すること。
塩化物イオン濃度試験は、下記5)の「塩化物イオン濃度の試験方法」に基づき、塩化物イオン濃度を求める。
- ⑦ コアNo. 1の残りの部分およびコアNo. 2～No. 3の各々より、コアの両端を研磨するなどして、φ100mm×200mmの供試体を計3本作成する。
- ⑧ 3本の供試体を用いて、下記6)の「吸水試験方法」に基づき、吸水特性、吸水率等を求める。
この試験は、採取コンクリートの密実さを評価するために行う。
- ⑨ 吸水試験で用いた3本の供試体を用いて、下記7)の「圧縮強度試験方法」および8)の「ヤング係数試験方法」に基づき、圧縮強度およびヤング係数を求める。

1) コア採取時の留意点

- ・コアの供試体寸法は、コアNo. 1については $\phi 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 程度の長さのもの、コアNo. 2～No. 3については $\phi 100\text{mm} \times 300\text{mm}$ 程度の長さのものを採取すること。
- ・場所打ちのコンクリート部分から採取すること。
- ・取りやすい位置から採取すること。
- ・構造物の代表的な試料となるよう配慮すること。また劣化事例のサンプルを採取する場合は、劣化部分を採取すること。

構造部材として重要な部分と同等のコンクリートが用いられており、また、環境条件の面でも平均的である資料が望ましい。

すなわち、部分的に呼び強度が異なるコンクリートが用いられた箇所や、構造物の中でも一部分だけ常に濡れている又は乾いているといった箇所がある場合は、そこから採取することは避ける必要がある。

- ・構造物への影響が少ない箇所から採取すること。

構造物の基部および部材の接合部のような応力が集中する位置は避ける。また、コア採取の際に鋼材を傷つけることのないよう十分注意する必要がある。

- ・コアを採取した位置が分るように採取位置を記録した図面を作ること。
- ・コア採取後は補修を確実にすること。

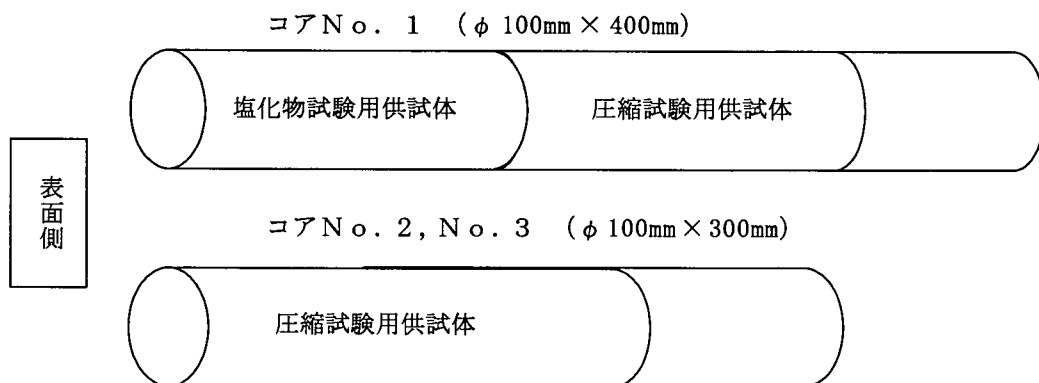


図-1 コンクリートコアからの供試体作成イメージ図

2) 中性化深さ試験方法(簡便方法)

コア抜き穴に霧吹き等でフェノールフタレイン溶液を吹き付けて、中性化を判定する方法である。

① フェノールフタレイン溶液

フェノールフタレイン1.0 g を95%エタノール(JIS K 8102エタノール(95))90mlに溶かし、純水を加えて100mlのフェノールフタレイン溶液を作る。

② コア抜き穴の清掃

コア抜き後の穴をウエス等で拭き、汚れや微粉を取り除く。その後、表面が乾燥して色が変わるまで待ち、フェノールフタレイン溶液をコア抜き穴全面に吹付ける。

③ 中性化深さの測定

フェノールフタレイン溶液を吹付けた後、赤紫色に着色した部分を未中性化領域、着色しない部分を中性化領域として、中性化領域の幅についてコア抜き穴の上下左右の平均を測定し中性化深さを求める。

(フェノールフタレイン溶液の着色域は、pH 8.3～10である)

3) かぶり測定の留意点

- ・ コア採取位置の全てに対して行うこと。
- ・ コア抜きした穴を鉄筋のあるところまで少しづつはつるように行い、鉄筋への損傷を最小限にすること。
- ・ かぶりは、最外縁鉄筋外側とコンクリート表面間の最短距離とする。
- ・ 鉄筋が軸方向鉄筋、横拘束筋のどちらであるか、および鉄筋の健全度を確認すること。

4) コア採取・かぶり測定後の処理方法

コア採取・かぶり測定後の処理は、コア採取部分の強度を満たす無収縮モルタルを充填して処理すること。

5) 塩化物イオン濃度の試験方法(全塩分量)

塩化物イオン濃度は、(社)日本コンクリート工学協会規準(案)「硬化コンクリートに含まれる塩分の分析方法」に準じて以下のように実施するものとする。

試料の採取 → 前処理操作 → 塩分分析

① 試料の採取

下図に示す長さ 400mm のコンクリートコア(コア No. 1)を用いる。構造物表面から 100mm の区間をコンクリートカッターで 20mm 間隔(ブレード厚さ含む)に切断する。なお、このスライス作業には水を用いてはならない。このスライス板をジョークラッシャーまたは鉄乳鉢を用いて粉砕し、測定用の試料とする。

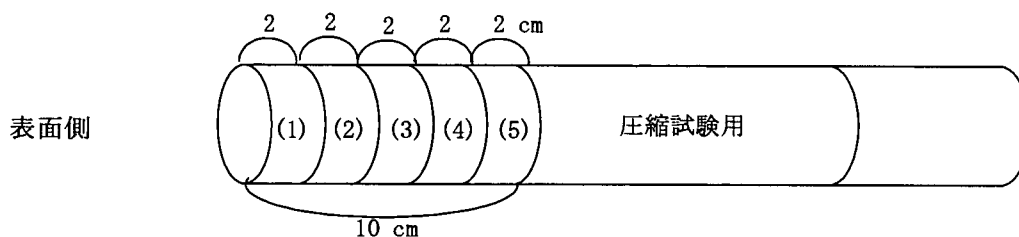


図-2 コンクリートコア切断図

② 前処理操作

測定用試料に対し、硝酸溶解法による塩分抽出操作を行い、全塩分量を測定する。

③ 塩分分析

抽出された塩分の総量操作は、塩素イオン選択性電極を用いた電位差滴定法により行う。求めた全塩分量は、コンクリート質量に対する塩化物イオンの質量の百分率で表す。

本試験による濃度試験は、各スライス板において 2 回実施する。

④ 塩化物濃度計算

塩化物濃度の計算は、(社)日本コンクリート工学協会規準(案)「硬化コンクリートに含まれる塩分の分析方法」によるものとする。

6) 吸水試験方法(簡便方法)

供試体の乾燥状態と吸水状態における質量を測定して、吸水特性および吸水率を求める方法である。

① 乾燥状態の質量

供試体を 105℃ の乾燥炉中で 24 時間乾燥させる。乾燥炉から取り出した後、十分に温度が下がってから質量を計測する(絶乾質量)。

② 吸水状態の質量

供試体を 20℃ ± 3℃ の水中に入れて吸水させる。その後、1, 3, 6, 24 時間後に供試

に供試体を水中から取り出し、表面に付着した水分をウエス等で拭き取り、質量を計測する(各時間の表乾質量)。

24時間吸水後の供試体については、直径、長さを測定し、水中での質量も測定する(水中質量)。

③密度

$$\rho = M_d \cdot \rho_w / (M_s - M_w)$$

ここに、 ρ : 密度(g/cm^3)

M_d : 絶乾質量(g)

ρ_w : 水の密度 $\rho_w = 1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ とする。

M_s : 24時間後の表乾質量(g)

M_w : 水中質量(g)

④吸水率

$$n = (M_s - M_d) / M_d$$

ここに、 n : 吸水率(%)

7) 圧縮強度試験方法

圧縮強度試験は、JIS A 1108に規格されたコンクリートの圧縮強度試験方法に準じて以下のように実施するものとする。

①供試体

供試体は24時間吸水させた表乾状態のものをを用いる。

コア寸法をJIS規格に基づき測定する。

②圧縮試験機

圧縮試験機は、JIS B 7733に規定する1等級以上のものとする。

③試験方法

試験方法は次のとおりとする。

- ・ 供試体の上下端面および上下の加圧板の圧縮面を清掃する。
- ・ 供試体を供試体直径の1%以内の誤差で、その中心軸が加圧板の中心と一致するように置く。
- ・ 試験機の加圧板と供試体の端面とは、直接密着させる。
- ・ 供試体に衝撃を与えないように一様な速度で荷重を加える。荷重を加える速度は、圧縮応力度の増加が毎秒 $0.6 \pm 0.4 \text{ N}/\text{mm}^2$ になるようにする。
- ・ 供試体が急激な変形を始めた後は、荷重を加える速度を中止して、荷重を加え続ける。
- ・ 供試体が破壊するまでに供試体を示す最大荷重を有効数字3桁まで読む。

8) ヤング係数試験方法

ヤング係数試験は、上記の圧縮強度試験の結果を用い、JIS 法に準じて次のように求める。

$$E = (f_1 - f_2) / (\varepsilon_1 - 50 \times 10^{-6})$$

ここに、E : ヤング係数(N/mm²)

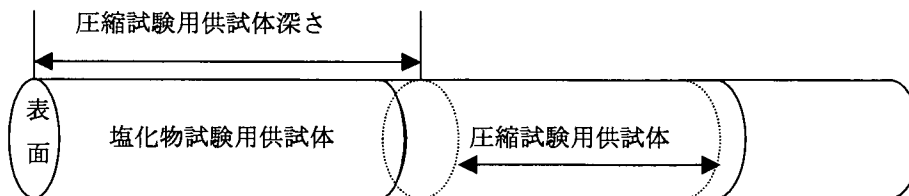
f_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力(N/mm²)

f_2 : ひずみ 50×10^{-6} のときの応力(N/mm²)

ε_1 : 応力 f_1 によって生じたひずみ

調査票-3(詳細調査結果)

- ・調査年月日(詳細調査を実施した年月日)
- ・担当事務所
- ・調査担当者
- ・連絡先(TEL、内線まで)
- ・構造物名(例：〇〇橋梁P1橋脚、△△号函渠)
- ・所在地(大字名まで記入)
- ・路線名・河川名(河川構造物の場合は河川名)
- ・コア採取位置(地盤面又は水面より〇. 〇m)
- ・かぶり(〇. 〇mm：かぶりは非破壊検査による値を記入)
- ・中性化深さ(〇. 〇mm)
- ・かぶり(〇. 〇mm：かぶりは測定による値を記入)
- ・かぶりに対する鋼材種(軸方向筋、横拘束筋、その他のいずれかを○で囲み、その他の場合は鋼材種を記入)
- ・鋼材の健全度(健全、部分腐食、全面腐食、断面欠損のいずれかを○で囲む)
- ・塩化物イオン濃度(〇. 〇〇〇%：各スライス板における2回の濃度試験値を記入)
- ・絶乾質量(〇. 〇g)
- ・各時間の表乾質量(〇. 〇g)
- ・水中質量(〇. 〇g)
- ・密度(〇. 〇g/cm³)
- ・吸水率(〇. 〇%)
- ・圧縮試験用供試体深さ(構造物表面より〇. 〇cm：塩化物試験実施部分として切り取った長さおよび表面整形として排除した長さを記入)



- ・圧縮試験用供試体寸法(ϕ 〇. 〇mm $\times$ 〇. 〇mm)
- ・圧縮強度(〇. 〇N/mm²)
- ・ヤング係数(〇. 〇 $\times 10^4$ N/mm²)
- ・コア採取位置図を添付(調査票-3(位置図))
- ・コア及び採取位置の写真を添付(調査票-3(コア写真))
- ・対象構造物の全景写真を添付(調査票-3(全景写真))
- ・コア採取位置以外の周辺状況写真を2枚程度添付(橋梁下部工であれば上部工等の周辺構造物も含む)を添付(調査票-3(周辺状況))

図-2.21 調査票-既存構造物調査編(18/24)

調査票－3

調査番号： 地建－ 番

調査年月日	1999年 月 日()
担当事務所	地方建設局 事務所
調査担当者	課
連絡先	TEL (内線)
構造物名	
所在地	
路線名・河川名	

詳細調査要領の番号		コアNo. 1	コアNo. 2	コアNo. 3		
①	コア採取位置	(地表面、水面) m	(地表面、水面) m	(地表面、水面) m		
①	かぶり 非破壊検査	mm	mm	mm		
	検査機器名、製造会社名	製造社名： 検査機器名：				
③	中性化深さ	mm	mm	mm		
④	かぶり かぶり測定	mm	mm	mm		
	かぶりに対する 鋼材種	軸方向筋、横拘束筋、 その他()	軸方向筋、横拘束筋、 その他()	軸方向筋、横拘束筋、 その他()		
	鉄筋の健全度	健全、部分腐食、 全面腐食、断面欠損	健全、部分腐食、 全面腐食、断面欠損	健全、部分腐食、 全面腐食、断面欠損		
⑥	塩化物イオン 濃度 (図-2)	(1) %、 % (2) %、 % (3) %、 % (4) %、 % (5) %、 %	-----	-----		
⑧	絶乾質量	g			g	g
	各時間の 表乾質量	1 時間後 g			3 時間後 g	6 時間後 g
		24 時間後 g			g	g

図－2.22 調査票－既存構造物調査編(19/24)

	密度	g/cm^3	g/cm^3	g/cm^3
	吸水率	%	%	%
⑨	圧縮試験用供試体深さ	c m	c m	c m
	圧縮試験用供試体寸法	$\phi \quad \text{mm} \times \quad \text{mm}$	$\phi \quad \text{mm} \times \quad \text{mm}$	$\phi \quad \text{mm} \times \quad \text{mm}$
	圧縮強度	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2
	ヤング係数	$\times 10^4 \text{ N/mm}^2$	$\times 10^4 \text{ N/mm}^2$	$\times 10^4 \text{ N/mm}^2$

図－2.23 調査票－既存構造物調査編(20/24)

調査票－3 (位置図)

調査番号： 地建－ 番

コア採取位置図(構造一般図に示す)

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、資料提出

図－2.24 調査票－既存構造物調査編(21/24)

調査票－３（コア写真）

調査番号： 地建－ 番

コア及び採取位置の写真

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

図－２.２５ 調査票－既存構造物調査編(22/24)

調査票－3 (全景写真)

調査番号： ____ 地建－ ____ 番

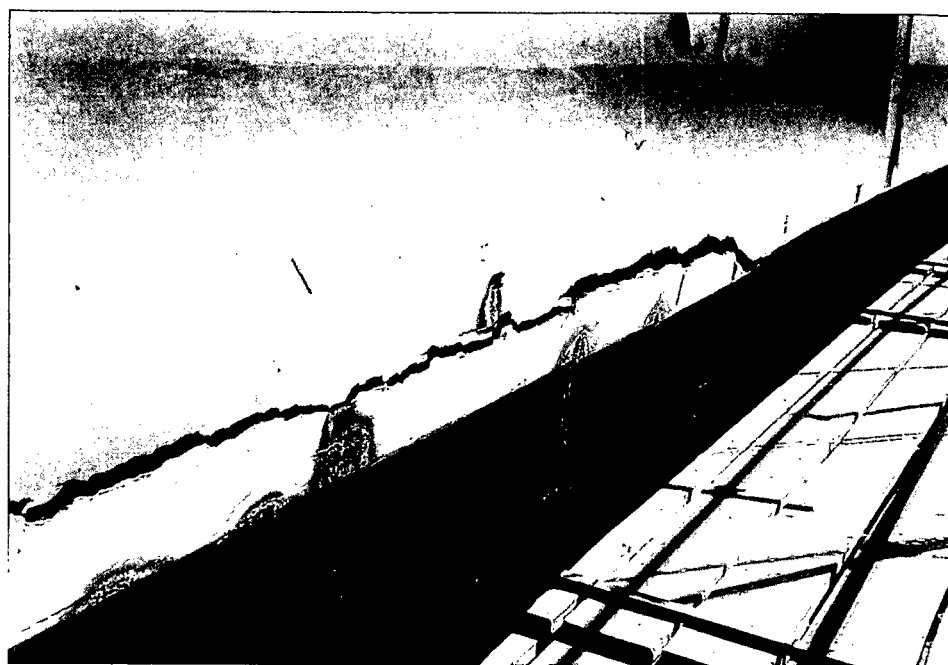
全景写真

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

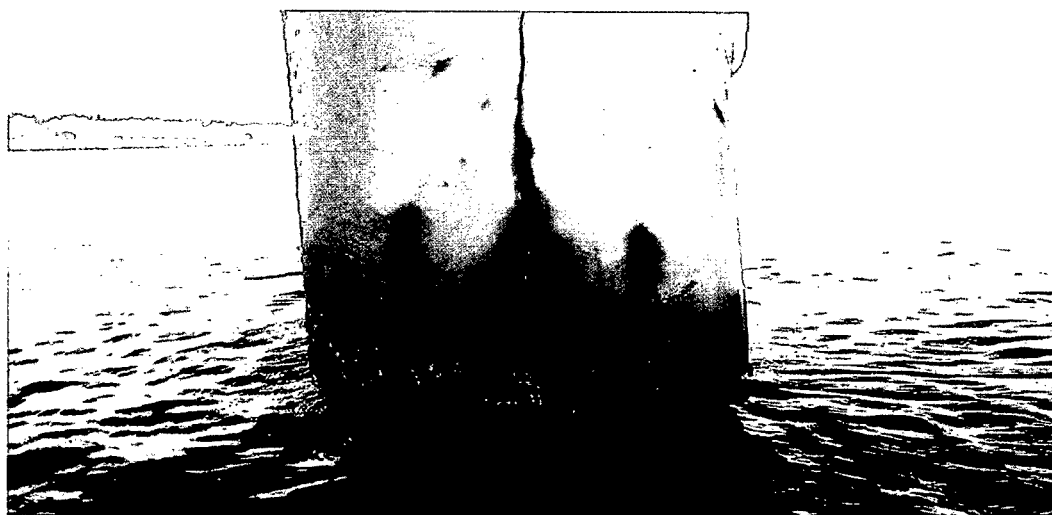
図－2.26 調査票－既存構造物調査編(23/24)

調査票－3 (周辺状況)	調査番号： 地建－ 番
周辺状況の写真 添付しない場合は (別添資料－○参照)と記入し、 資料提出	

図－2.27 調査票－既存構造物調査編(24/24)



写真－2.1 劣化度Ⅴの事例(塩害, 橋梁上部構造)
 ※プレストレストコンクリート主桁に塩害による大きなひび割れが発生している事例。二回目の断面修復補修が実施されている途中である。劣化度Ⅴには, この他にもＲＣ橋上部構造の塩害による劣化事例があった。



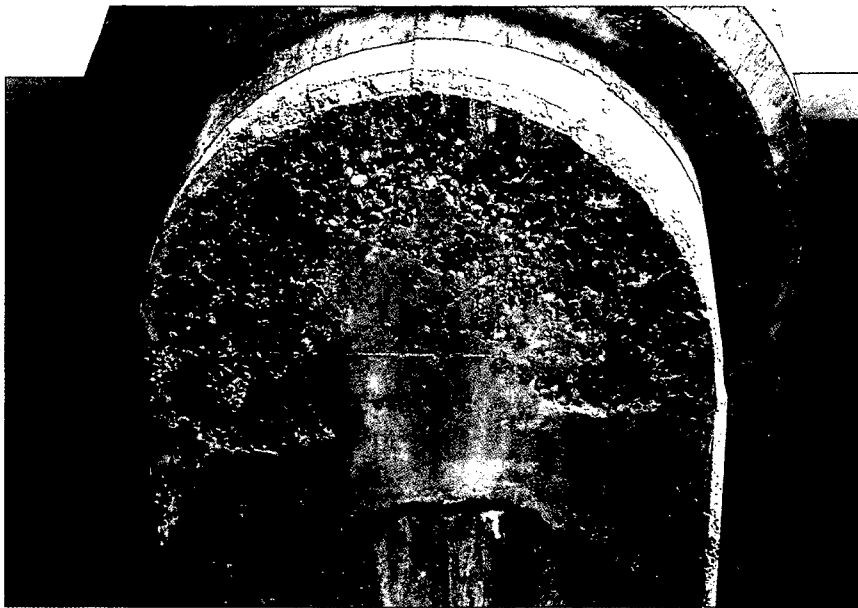
写真－2.2 劣化度Ⅴの事例(塩害, 橋梁下部構造)
 ※海中に位置する橋脚で塩害による鉄筋の腐食が見られる事例。表面被覆による補修が行われているが, 再度劣化し大きなひび割れが見られる。



写真－2.3 劣化度Vの事例(剥落のおそれ、トンネル)
※二本のひび割れが平行して存在し、剥落のおそれがある箇所



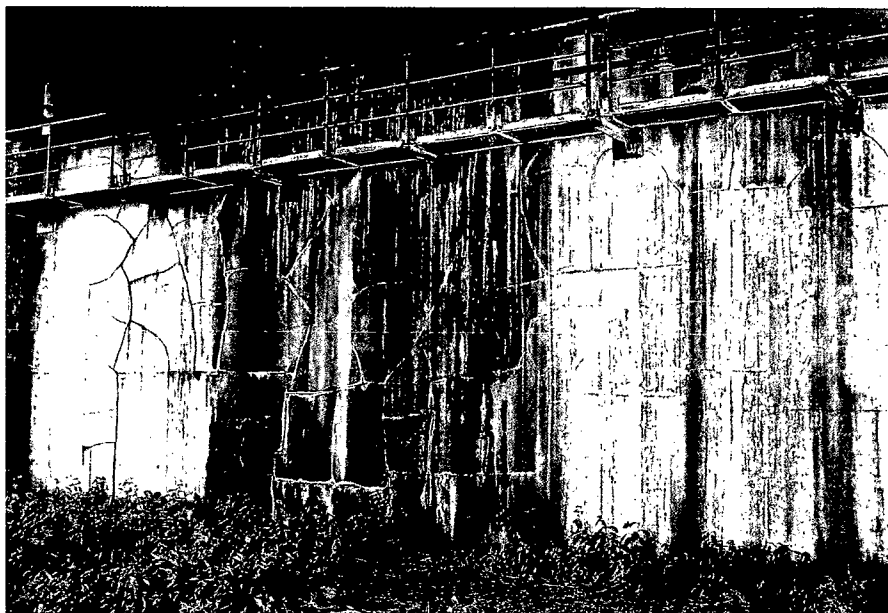
写真－2.4 劣化度IVの事例(塩害・かぶり不足、カルバート)
※海に注ぐ水路用のカルバートで、連続的に鉄筋が露出している。鉄筋の著しい腐食は、海からの塩分の影響を受けているものと考えられる。



写真－2.5 劣化度Ⅳの事例(ジャンカ、橋梁下部構造)
 ※範囲の広いジャンカの事例。この構造物には、他に鉄筋の露出や錆汁が見られる箇所等があり、劣化度Ⅳと判定された。



写真－2.6 劣化度Ⅳの事例(アルカリ骨材反応、擁壁)
 ※アルカリ骨材反応に特有なひび割れパターンが見られる擁壁。反応生成物と見られる白色の析出物も非常に目立つ。



写真－2.7 劣化度Ⅲの事例(アルカリ骨材反応, 橋梁下部構造)
※アルカリ骨材反応に特有なひび割れパターンが見られる橋台。



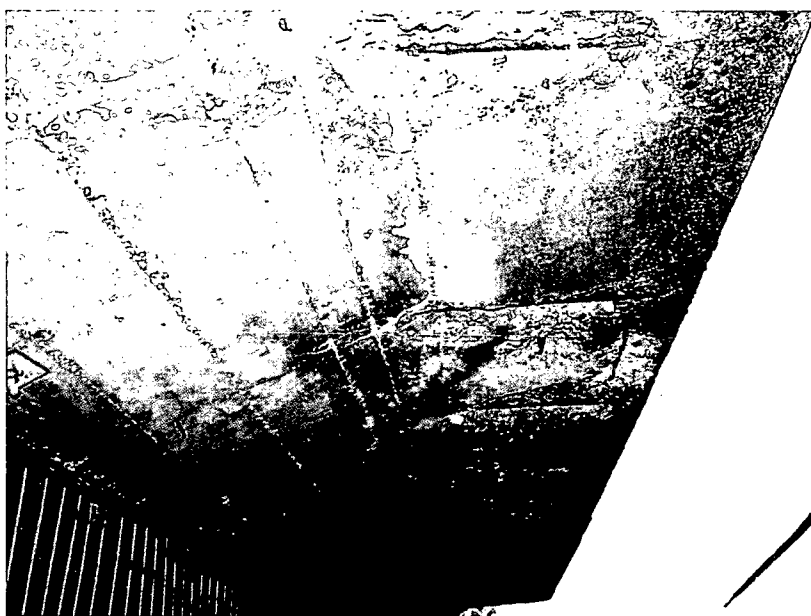
写真－2.8 劣化度Ⅲの事例(凍害, 橋梁下部構造)
※水みちとなっている部分で凍害による角欠けが見られる橋台



写真－2.9 劣化度Ⅲの事例(コンクリートの流動跡, トンネル)
 ※トンネルのアーチクラウン(写真ほぼ中央)からスプリングライン付近にかけて、
 打設時にコンクリートが流動した跡が明瞭に見られる事例。場所によってはコー
 ルドジョイントとなり比較的大きなひび割れが生じており、劣化度Ⅲと判定され
 た。



写真－2.10 劣化度Ⅱの事例(床版のひび割れ, 橋梁上部構造)
 ※繰返し荷重の影響で床版にひび割れが生じていると考えられる事例。



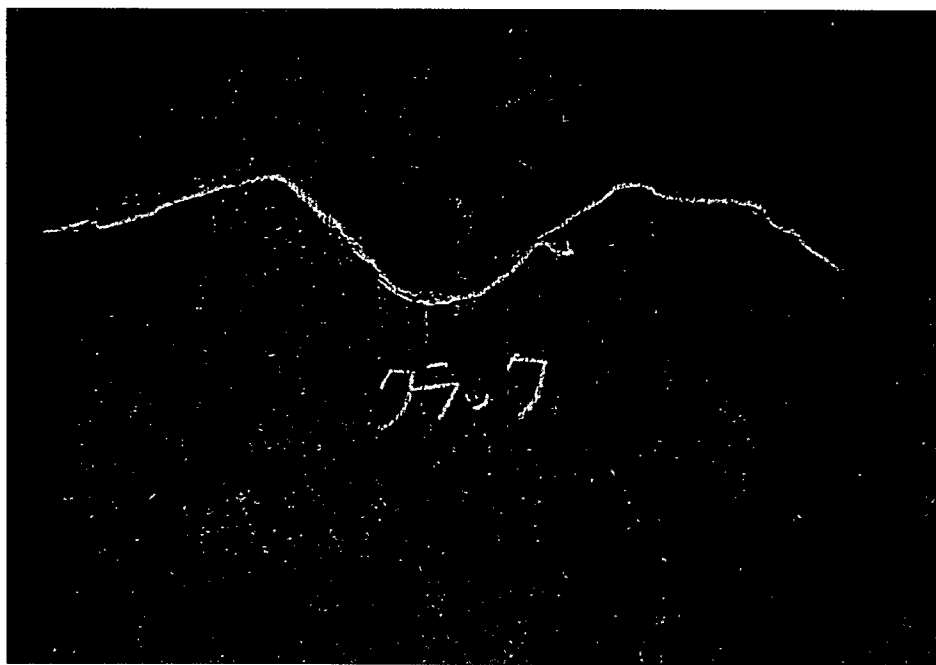
写真－2.11 劣化度Ⅱの事例(かぶり不足・ジャンカ，河川構造物)
 ※鉄筋のかぶりが連続的に不足し，鉄筋の周囲にコンクリートが十分に充填されていなかったと見られる水門。



写真－2.12 劣化度Ⅱの事例(剥落のおそれ，トンネル)
 ※トンネル側壁で，モルタルで補修されたと見られる部位周辺にひび割れが発生し，補修部分が浮いている。剥落のおそれがある。



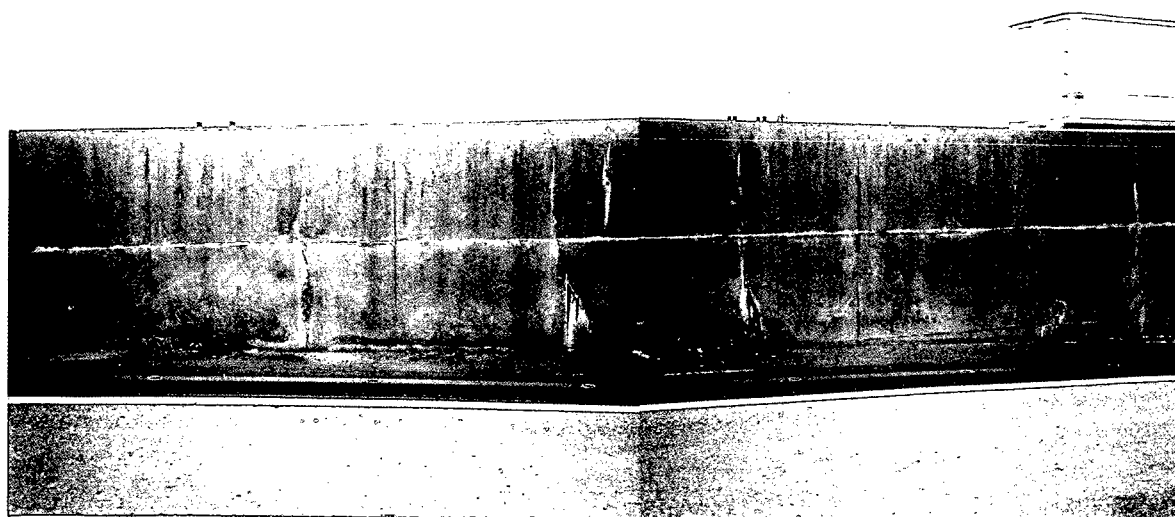
写真－2.13 劣化度Ⅱの事例(かぶり不足，橋梁下部構造)
 ※橋脚でかぶり不足のために鉄筋が露出している事例。この部位における鉄筋の露出事例は複数有り，橋脚において特にかぶりが不足しやすい部位であると考えられる。



写真－2.14 劣化度Ⅰの事例(ひび割れ，橋梁下部構造)
 ※型枠用のセパレータ下側のコンクリートが沈下しひび割れが生じている事例。構造物の耐力や耐久性には影響がないと判断された。



写真－2.15 劣化度Ⅰの事例(エフロレッセンス，擁壁)
 ※収縮ひび割れ，沈下ひび割れからのエフロレッセンスの析出がやや目立つが，構造物の耐久性にはほとんど影響ないと判断された事例。



写真－2.16 劣化度Ⅰの事例(ひび割れ，擁壁)
 ※温度・乾燥収縮による縦方向のひび割れが等間隔に入った擁壁の事例。構造物としての耐久性には影響がないものと判断された。

3. 調査した構造物の概要

この章では、基本調査のうち構造物の概要に関する調査(調査票－1)の結果を報告する。

(1) 構造物の種類と竣工年

- ・調査した事例数を構造物の種類と竣工年代で分類して表－3.1に示す。

(2) 地理的分布

- ・調査した構造物の地理的分布を表－3.2に示す。担当した地方建設局等の地域ごとにとりまとめた。

(3) 周辺環境

- ・調査した構造物の周辺環境を表－3.3に示す。
- ・調査した構造物の気象環境(普通地と雪寒地の別)を表－3.4に示す。
- ・調査した構造物付近での凍結防止剤の使用日数を図－3.1に示す。
- ・調査した構造物の海からの距離を図－3.2に示す。

構造物の周辺環境のうち凍結防止剤の使用日数および海からの距離については、外部からの塩分の供給による塩害の可能性を検討するために調査したものである。しかし、本調査は塩害に的を絞ったものではないので、ここでは簡単な整理にとどめた。なお、塩害に関する調査を行った最新のものとしては、文献7)、8)などがある。凍結防止剤の使用に関しては、他にも文献9)、10)などがある。

(4) コンクリートの設計基準強度

- ・調査した構造物の種類と設計基準強度の関係を図－3.3に示す。
- ・調査した構造物の竣工年代と設計基準強度の関係を図－3.4に示す。

図－3.3と図－3.4を比較すると、設計基準強度は構造物の種類による差異が比較的大きかった。例えば、擁壁や橋梁下部構造は、一部に無筋の構造物も含まれていることから設計基準強度が比較的小さかったものと推測される。一方、竣工年代による設計基準強度の違いは、今回の調査では、ほとんど見られなかった。

設計基準強度が明かでなかった事例も、全体の45%と少なくなかった。

(5) 点検状況

調査票では点検状況についても記入を求めたが、分析の過程で“点検”の意味について調査担当者により大きな違いがあることがわかった。すなわち、“点検”については、日常的な見回りと理解されたケースから特に当該構造物を対象とした調査業務の実施と理解されたケースまで、調査票を記入者による幅があった。

このため点検状況に関する調査結果については、あえて分析は行わなかった。

(6) 補修状況

調査票では最新の補修状況についても記入を求めた。記載された内容は、構造物の劣化に伴って必要になった補修・補強から、劣化は生じていないものの構造物の性能を向上させるために行われた補強(特に耐震補強)や鋼部材の塗装など維持管理に含まれるものがあった。そこで、構造物の種類ごとに調査票に記載

された“補修”内容を整理した。ただし、調査票では、最新の補修についてのみ記載を求めたことから、ここに整理された内容が各構造物に施された補修のすべてではない。

a) 橋梁上部構造

調査した371件の橋梁上部構造のうち100件の構造物で補修履歴があるとの回答で、補修内容については106件の記載があった(一つの構造物で複数種類の補修が行われている場合があった)。記載された内容を整理して図-3.5に示す。このうちコンクリート部材の劣化のために行われた補修としては、桁や床版の断面修復、コンクリートの表面被覆(塩分の浸透を防止)、ひび割れへの注入、床版・桁の耐荷力向上(鋼板接着など)があり、これらの合計は31件であった。高欄や支承、伸縮装置など橋梁上部構造特有の装置の補修や取換えも多く37件あった。

一方、舗装や鋼桁の塗装など補修には該当しないと考えられるものも8件あった。また、下部構造の補修・補強について記載されていた場合も少なくなかった。なお、落橋防止装置の設置という記載内容については、下部構造である橋台や橋脚の桁座拡幅を意味している事例も含まれると考えられたが、調査票からは明らかにできなかった。

調査票の記載内容からは、補修内容がわからない場合も14件あった。

b) 橋梁下部構造

調査した390件の橋梁下部構造のうち、81件の構造物で83件の補修内容の記載があった(図-3.6)。しかし、沓座コンクリートの補修やひび割れ注入、表面被覆などコンクリート部材の劣化のために補修が行われた事例は17件であった。一方、桁座の拡幅23件、落橋防止装置の設置4件や橋脚の耐震補強13件など、耐震性能を向上させるための補強の実施が多く、記載内容の半数を占めた。

この他、上部構造の補修・補強等について記載されている場合が14件、補修内容の詳細が不明の場合が13件あった。

c) 擁壁

調査した348件の擁壁のうち、14件の構造物で14件の補修内容の記載があった(図-3.7)。表面被覆やひび割れ注入といったコンクリート部材の劣化に関連した補修は3件と少なかった。また、底版補強、根固め工といった擁壁の安定に関する補強が行われている事例が2件あった。

この他、擁壁の嵩上げが行われている事例が3件あった。また、補修内容が不明の場合が1件、法面の処理など擁壁本体の補修・補強ではない内容が記載されている場合が5件あった。

d) カルバート

調査した370件のカルバートのうち、28件の構造物で30件の補修内容の記載があった(図-3.8)。カルバートの補修では「表面コンクリート補修」との記載が10件と多かった(頂版や側壁等にモルタルを薄く塗布していることを指す)。他に、ひび割れ注入や漏水対策(漏水対策としてひび割れ注入が行われていることも考えられるが調査票からは明らかにできなかった)、目地部、ジャンカの補修、(流水によるすりへり作用を受ける)底版の補修などがあった。

補修内容が明確でない事例も6件あった。また、補修ではない事例も2件(化粧版の設置、歩道部分の拡幅)あった。

e) 河川構造物

調査した 364 件の河川構造物のうち、97 件の構造物で 98 件の補修内容の記載があった(図-3.9)。ひび割れ注入あるいはグラウトと記載されている事例が 27 件と比較的多かった。表面コンクリート補修などコンクリート部材の補修を指す事例は、他に 8 件あった。一方、水門としての機能(開閉にかかわる機械設備など)に関する補修事例も 12 件と多かった。「改築」とされている事例もほとんどは水門としての機能を改善するためのものと考えられる。

また、河川構造物では補修した場所(例えば、門柱、翼壁、樋管など)についてのみ記載があり、補修の内容については明確でなかった場合が多かった。

f) トンネル

調査した 256 件のトンネルのうち、103 件の構造物で 128 件の補修内容の記載があった(図-3.10)。このうち半分程度の 63 件は漏水対策で、漏水を計画的に流下させるための導水工が実施されている場合と漏水を防止する補修が行われている場合があった。また、覆工と地山の間に裏込め注入を行っている事例も 25 件と多かった。なお、化粧板の設置など補修とは言えない事例も 3 件あった。

補修内容として記載されたものを整理すると、①コンクリート部材の劣化または初期欠陥に対応するために補修・補強が行われている事例、②構造物の機能を維持するためにコンクリート部材以外に対して補修が行われている事例、③竣工後の基準類の変更や構造物の用途の変更にに基づき補強が行われている事例(耐震補強や擁壁の嵩上げなど)、④調査票の記載内容だけでは補修内容が十分に明確でない事例、⑤定期的な維持管理活動などで補修とはいえない事例、の 5 種類があった。そこで、①、②、④に該当する記述がある場合を「補修有り」、③に該当する記述がある場合を「改修有り」、それ以外を「補修無し」として整理した。一つの構造物で「補修有り」と「改修有り」の双方に該当する場合は、「補修有り」の構造物として集計した。

調査した構造物の種類と補修実施の有無の関係を図-3.11 に示す。構造物種類ごとの集計ではトンネルが最も補修された構造物の割合が高いが、これは他の構造物と比較して一つの構造物の規模(調査範囲)が大きく、なんらかの不具合が発生する可能性が高いためと考えられる。また、トンネル以外の構造物では、比較的かぶり厚さが小さい橋梁上部構造や河川構造物(門柱部分等)で補修された割合が高かった。橋梁下部構造では、改修を受けた構造物の割合は大きい、補修を受けた構造物の割合はカルバートと同程度であった。

調査した構造物の竣工年と補修実施の有無の関係を図-3.12 に示す。竣工からの経過年数が多くなるほど補修を受けた構造物の割合が大きくなる傾向が見られる。このような傾向が見られる理由としては、①時間の経過とともに徐々に構造物の劣化が進み補修が必要となること(すなわち、最近つくられた構造物でも 50 年後には 4 割近くがなんらかの補修を必要とする)、②竣工年代が古い構造物ほど品質が悪く補修が必要となっていること(すなわち、最近つくられた構造物は品質が改善されており、50 年後には補修を必要とする構造物の割合は減少している)、の二つが考えられるがこの調査結果のみでは明かではない。

【参考文献】

- 7) 国土交通省土木研究所ほか：コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究，土木研究所資料第 3811 号，2001. 3
- 8) 国土交通省土木研究所，プレストレスト・コンクリート建設業協会：ミニマムメンテナンス P C 橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅲ)－P C 橋の塩害対策に関する検討－，共同研究報告書第 270 号，2001. 3
- 9) 日本コンクリート工学協会：融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集，1999. 11
- 10) 下村忠一，酒井洋一，中島久男：凍結防止剤の散布実態調査，土木技術資料，31-5，pp. 50-55，1989. 5

表 3.1 調査した構造物の竣工年代

構造物種類	竣工年代				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
橋梁上部構造	101	89	95	86	371
橋梁下部構造	98	99	97	96	390
擁壁	73	91	95	89	348
カルバート	73	96	101	100	370
河川構造物	79	98	92	95	364
トンネル	60	71	63	62	256
計	484	544	543	528	2099

※カルバートには、道路として利用されているもの(自動車も通行可能なもの)が233件、道路として利用されているもの(歩行者のみ通行可能なもの)が29件、河川や用水路として利用されているものが104件、とさまざまな種類のものが含まれていた(調査票からは用途が不明なものも4件あった)。

表 3.2 調査した構造物の地理的分布

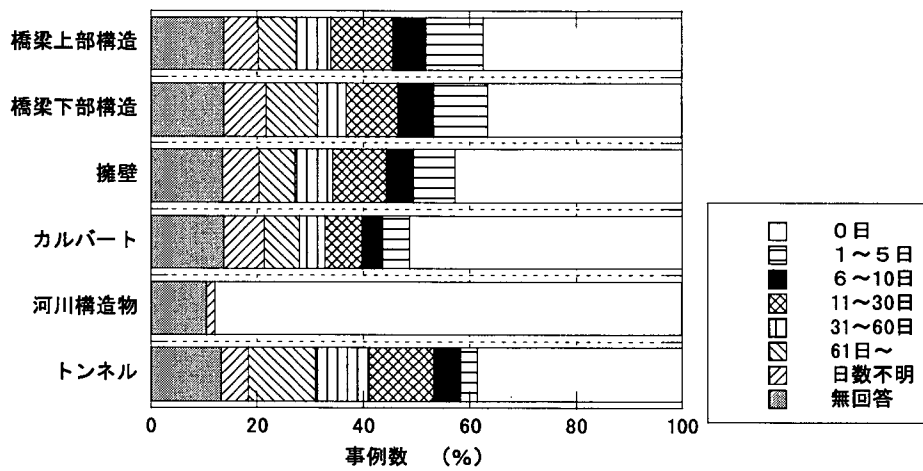
構造物種類	地域										計
	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
橋梁上部構造	40	28	63	24	31	53	37	32	55	8	371
橋梁下部構造	40	38	65	24	38	52	40	31	54	8	390
擁壁	40	25	56	24	36	44	40	31	43	9	348
カルバート	40	35	64	24	34	53	39	27	48	6	370
河川構造物	40	41	60	27	32	47	37	28	52	0	364
トンネル	37	35	25	16	22	27	30	27	32	5	256
計	237	202	333	139	193	276	223	176	284	36	2099

表 3.3 調査した構造物の周辺環境

構造物種類	構造物の周辺環境					計
	工場	住宅・商業地	農地	山地	その他	
橋梁上部構造	13	167	132	46	13	371
橋梁下部構造	14	163	130	71	12	390
擁壁	9	136	88	102	13	348
カルバート	8	146	146	62	8	370
河川構造物	12	138	204	6	4	364
トンネル	1	29	16	203	7	256
計	57	779	716	490	57	2099

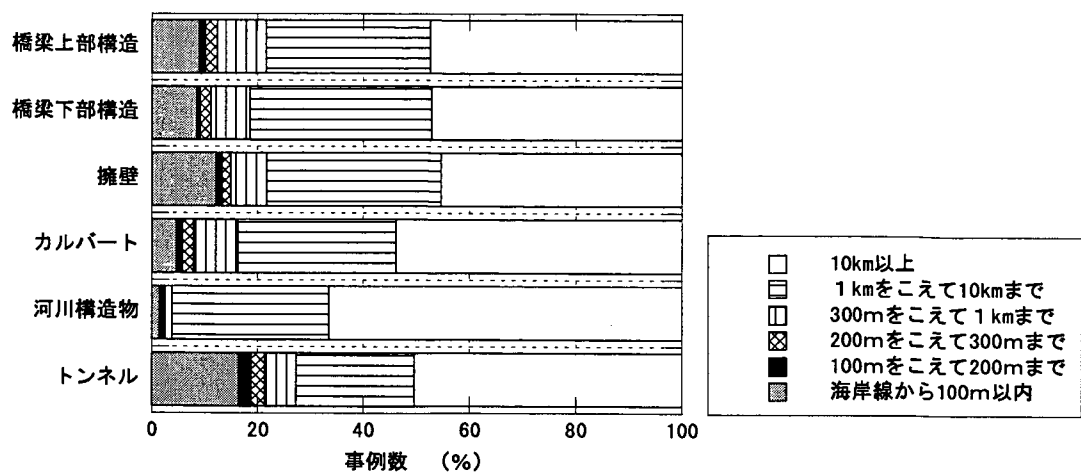
表－3.4 調査した構造物の気象環境

構造物種類	竣工年代		計
	普通地	雪寒地	
橋梁上部構造	248	123	371
橋梁下部構造	253	137	390
擁壁	233	115	348
カルバート	233	137	370
河川構造物	256	108	364
トンネル	133	123	256
計	1356	743	2099



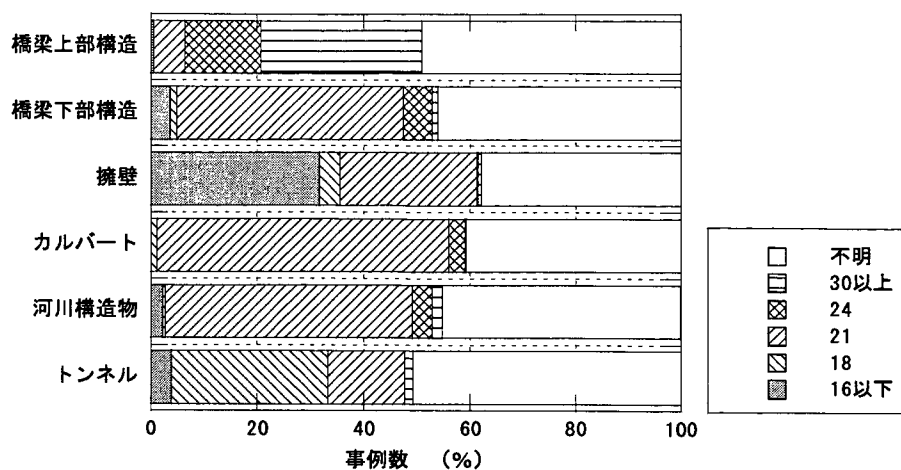
構造物種類	凍結防止剤の年間使用日数								計
	0日	1～5日	6～10日	11～30日	31～60日	61日以上	日数不明	無回答	
橋梁上部構造	139	40	23	43	25	26	24	51	371
橋梁下部構造	143	39	26	38	22	37	31	54	390
擁壁	149	27	18	35	25	23	24	47	348
カルバート	190	19	14	26	18	24	28	51	370
河川構造物	320	0	0	0	0	0	6	38	364
トンネル	99	8	13	31	26	32	13	34	256
計	1040	133	94	173	116	142	126	275	2099

図－3.1 凍結防止剤の年間使用日数



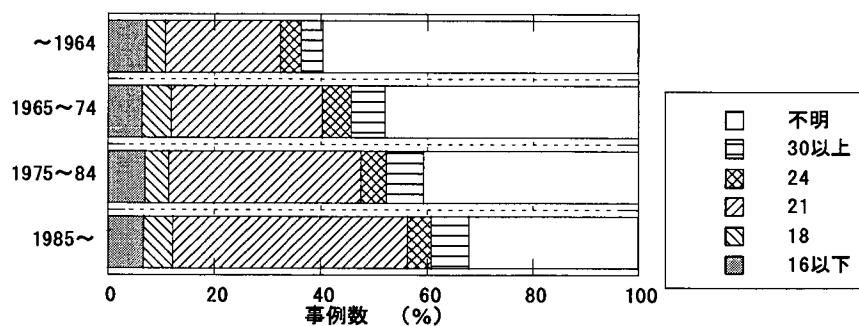
構造物種類	海からの距離						計
	海岸線から 100m以内	100mをこえて 200mまで	200mをこえて 300mまで	300mをこえて 1 kmまで	1 kmをこえて 10kmまで	10kmを こえる	
橋梁上部構造	33	4	9	34	115	176	371
橋梁下部構造	33	2	8	29	134	184	390
擁壁	42	4	6	24	114	158	348
カルバート	17	4	8	31	111	199	370
河川構造物	5	2	1	6	108	242	364
トンネル	42	6	7	15	57	129	256
計	172	22	39	139	639	1088	2099

図-3.2 調査した構造物の海からの距離



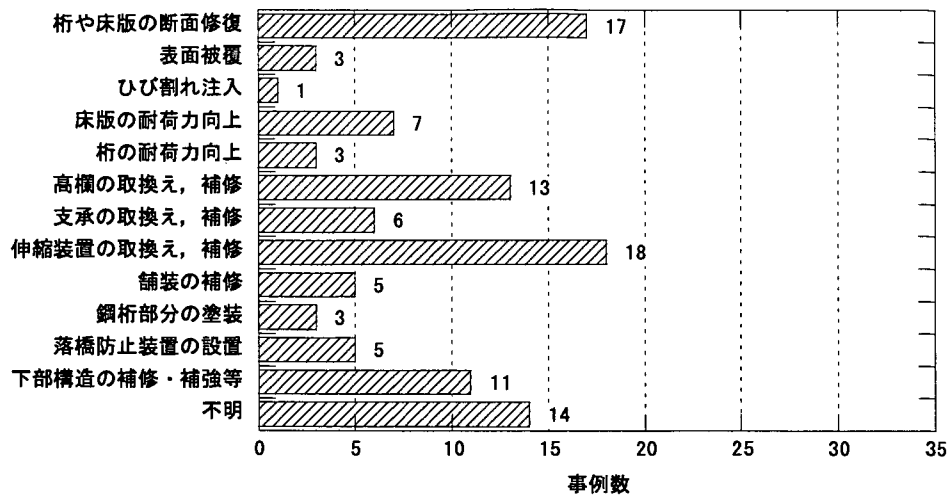
構造物種類	設計基準強度							計
	16以下	18	21	24	30	40	50以上	
橋梁上部構造	2	0	22	53	25	58	29	371
橋梁下部構造	14	5	166	21	4	0	0	390
擁壁	110	14	89	1	2	0	0	348
カルバート	0	4	203	11	1	0	0	370
河川構造物	8	2	169	14	5	2	0	364
トンネル	10	75	37	0	4	0	0	256
計	144	100	686	100	41	60	29	2099

図－3.3 構造物種類と設計基準強度の関係



竣工年	設計基準強度							計
	16以下	18	21	24	30	40	50以上	
～1964	35	17	104	20	11	6	3	484
1965～74	35	30	154	30	13	15	6	544
1975～84	38	24	196	26	10	17	11	543
1985～	36	29	232	24	7	22	9	528
計	144	100	686	100	41	60	29	2099

図－3.4 竣工年代と設計基準強度の関係



図－3.5 橋梁上部構造の補修内容(調査票記載内容)

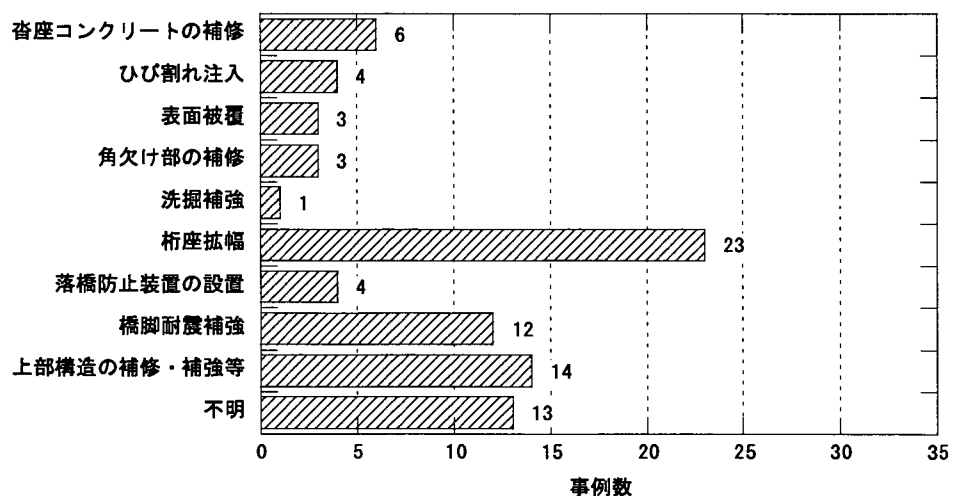
※「表面被覆」3件は、いずれも塩害で劣化したと見られる構造物で行われた。

※「ひび割れ注入」は、繰返し荷重を受けた床版に対して行われていた。

※「床版の耐力力向上」7件中5件は、鋼板接着を行っていた。

※「桁の耐力力向上」3件のうち2件は増桁を行っていた。他の1件では、鋼板接着を行っていた。

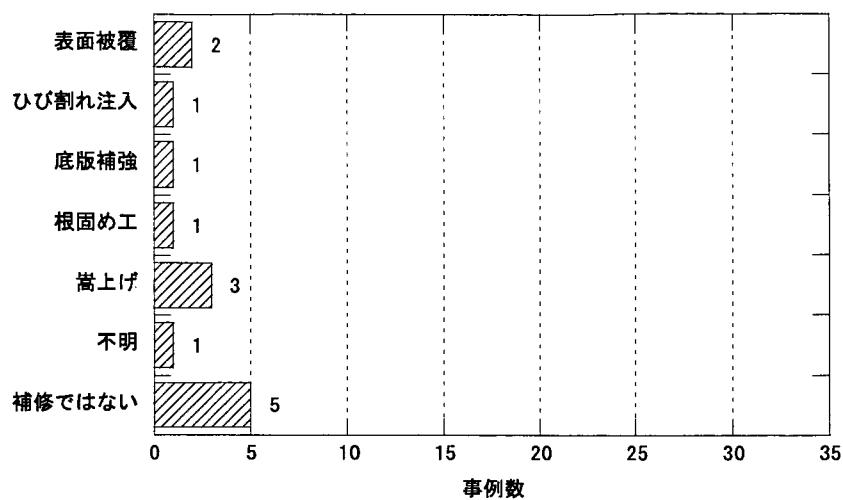
※なお、「下部構造の補修・補強等」では、桁座の拡幅が11件中7件と多かった。



図－3.6 橋梁下部構造の補修内容(調査票記載内容)

※「表面被覆」3件のうち2件はアルカリ骨材反応により劣化したと見られる構造物で、1件は塩害により劣化したと見られる構造物で行われた。

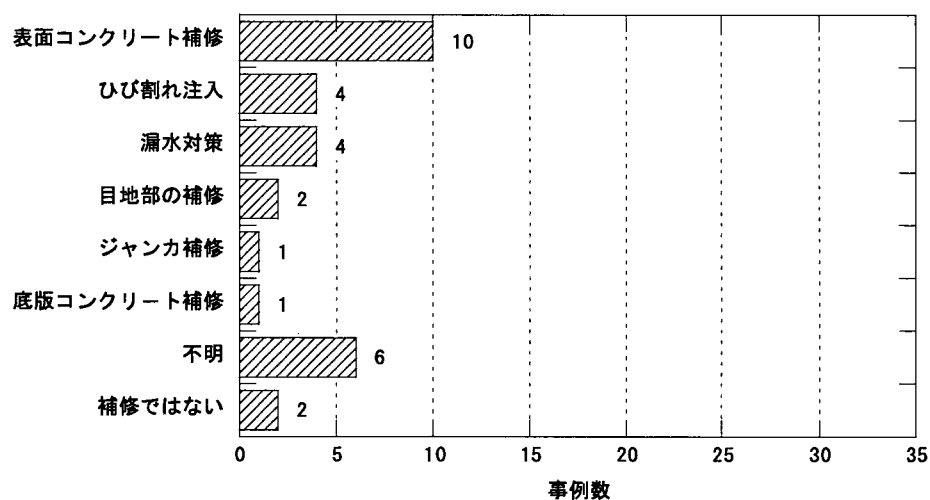
※「橋脚耐震補強」12件のうち8件は鋼板巻立てによる補強で、1件はコンクリート巻立てによる補強であった。他の3件については、詳細は不明であった。



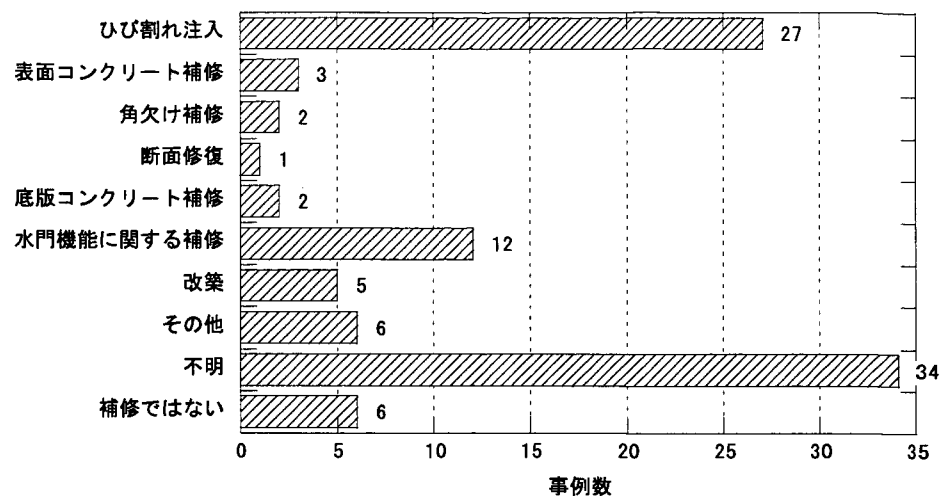
図－3.7 擁壁の補修内容(調査票記載内容)

※「表面被覆」2件は、

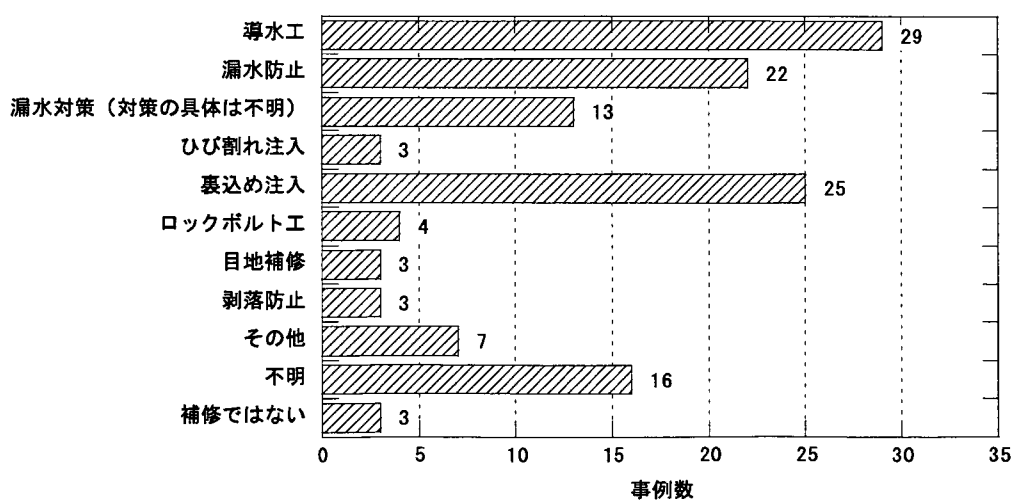
※「ひび割れ注入」は、アルカリ骨材反応により劣化したと見られる構造物で行われた。



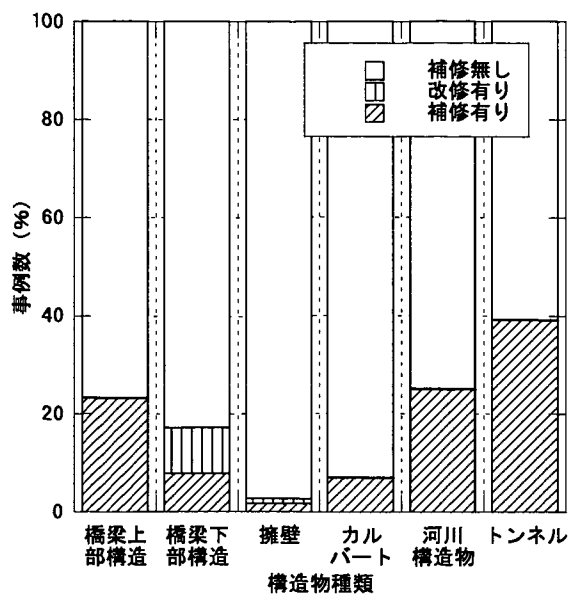
図－3.8 カルバートの補修内容(調査票記載内容)



図－3.9 河川構造物の補修内容(調査票記載内容)

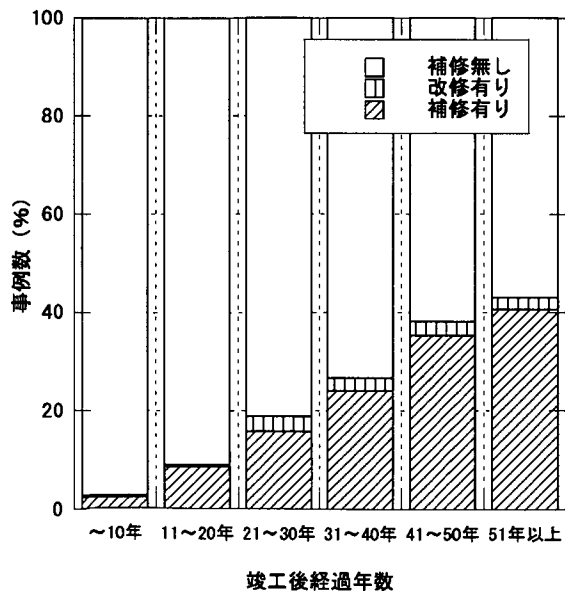


図－3.10 トンネルの補修内容(調査票記載内容)



構造物種類	補修有り	改修有り	補修無し	計
橋梁上部構造	86	0	285	371
橋梁下部構造	30	37	323	390
擁壁	6	3	339	348
カルバート	26	0	344	370
河川構造物	91	0	273	364
トンネル	100	0	156	256
計	339	40	1720	2099

図－3.11 構造物の種類と補修実施の有無



竣工後経過年数	補修有り	改修有り	補修無し	計
～10	5	1	219	225
11～20	50	2	535	587
21～30	87	18	454	559
31～40	130	14	400	544
41～50	50	4	88	142
51～	17	1	24	42
計	339	40	1720	2099

図－3.12 構造物の竣工年と補修実施の有無

4 . 目視調査結果

4.1 各種変状の発生状況

この節では、調査票－2に記入された構造物の変状を簡潔に整理した。先に2.3節で述べたような問題点から、調査票に記入された各種変状の発生状況を整理しても、必ずしも構造物の状態を把握することにはつながらないものと考えられるが、参考までに結果を示した。

これらの結果や貼付された写真・図面等をもとに総合的に劣化度を判定した結果については、次節で説明する。

(1) 豆板、変色

- ・豆板、変色の発生状況を図－4.1に示す。

(2) ひび割れ

- ・ひび割れの発生状況を図－4.2に示す。

(3) はく離

- ・コンクリートのはく離の発生状況を図－4.3に示す。

(4) さび汁

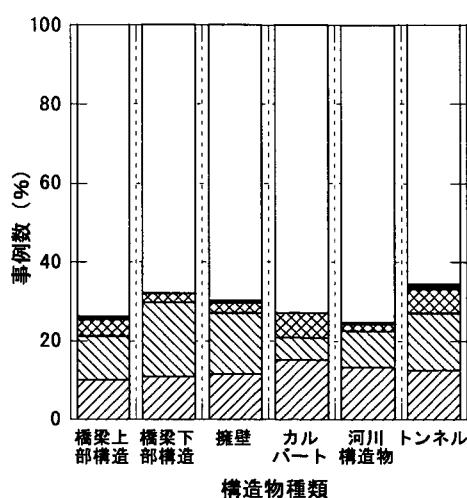
- ・さび汁の有無を図－4.4に示す。

(5) 鋼材露出

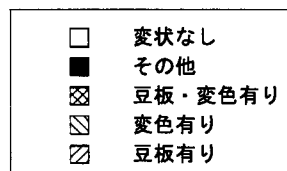
・鋼材の露出状況を図－4.5に示す。なお、露出した鋼材の種類としては、調査票にない配力筋、組立筋等の回答が目立った。

(6) ハンマーによるたたき調査

- ・たたき調査の結果を図－4.6に示す。

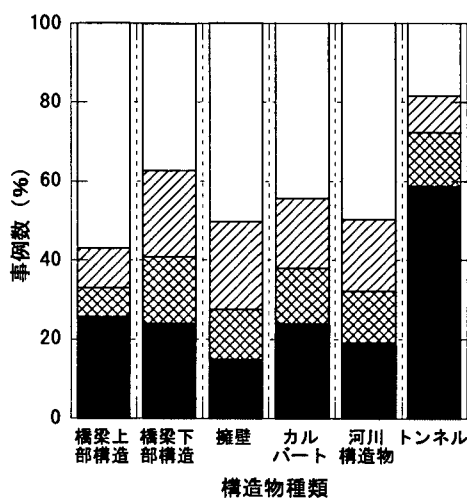


※その他とは、豆板あるいは変色、またはその両者が認められているが、変状の種類について明記のなかった事例である。

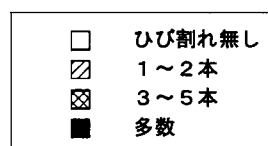


	豆板有り	変色有り	豆板・変色有り	その他	変状なし	計
橋梁上部構造	37	41	16	3	274	371
橋梁下部構造	42	74	9	0	265	390
擁壁	40	54	9	2	243	348
カルバート	56	21	23	0	270	370
河川構造物	48	34	6	2	274	364
トンネル	32	37	16	3	168	256

図－4.1 豆板，変色の発生状況

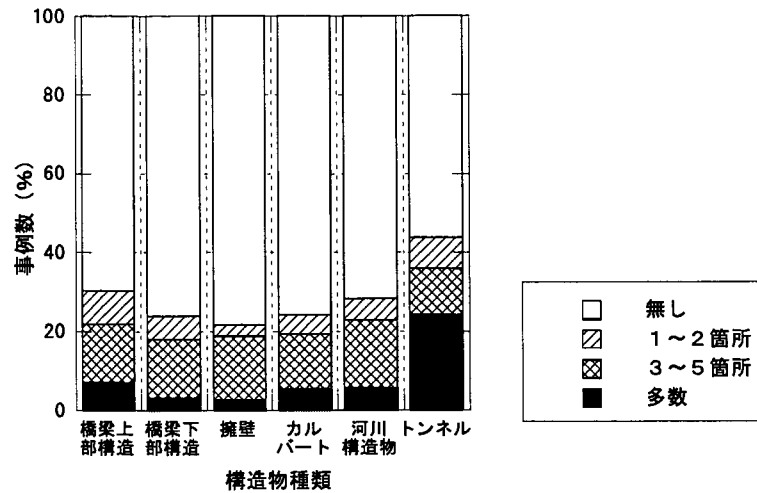


※トンネルはその延長が長いために、1構造物あたりで発見されるひび割れ本数が多かったものと思われる。



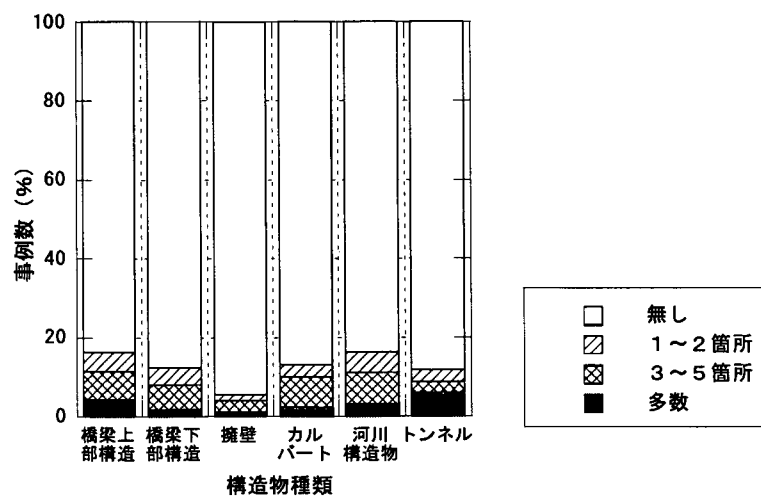
	1～2本	3～5本	多数	無し	計
橋梁上部構造	37	27	95	212	371
橋梁下部構造	85	66	93	146	390
擁壁	78	44	51	175	348
カルバート	65	52	88	165	370
河川構造物	65	48	69	182	364
トンネル	24	35	150	47	256

図－4.2 ひび割れの発生状況



	1～2箇所	3～5箇所	多数	無し	計
橋梁上部構造	55	31	26	259	371
橋梁下部構造	58	23	12	297	390
擁壁	56	10	9	273	348
カルバート	51	18	20	281	370
河川構造物	63	20	20	261	364
トンネル	30	20	62	144	256

図－4.3 はく離の発生状況



	1～2箇所	3～5箇所	多数	無し	計
橋梁上部構造	26	18	16	311	371
橋梁下部構造	24	17	7	342	390
擁壁	10	5	4	329	348
カルバート	29	11	8	322	370
河川構造物	29	19	11	305	364
トンネル	7	8	15	226	256

図－4.4 錆汁の有無

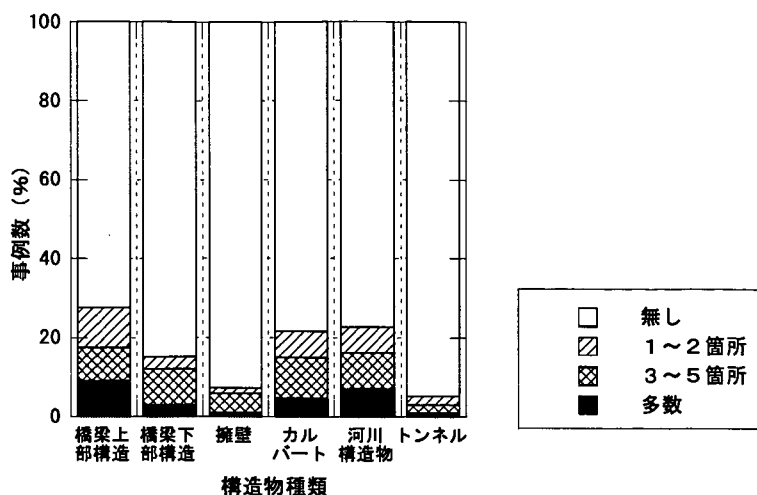
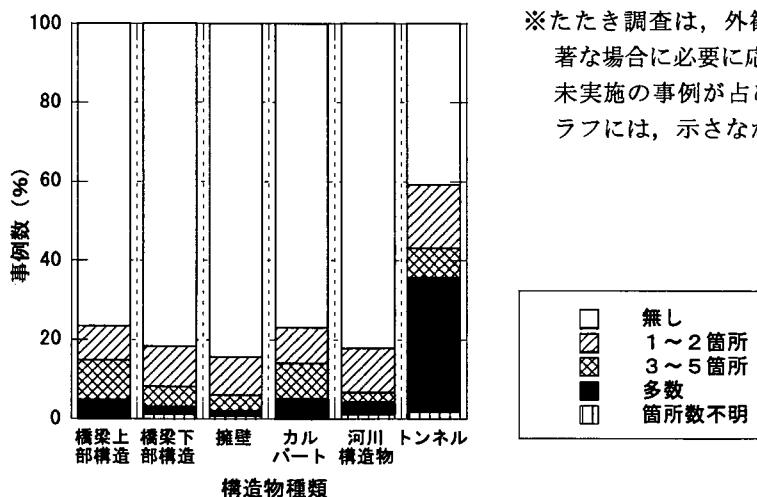


図- 4.5 鋼材の露出状況



※たたき調査は、外観の変状が顕著な場合に必要に応じて行った。未実施の事例が占める割合はグラフには、示さなかった。

図- 4.6 たたき調査結果

4.2 劣化度の判定結果

(1) 劣化度の判定結果

劣化度の判定結果を、図－4.7～図－4.13および表－4.1、表－4.2に示す。構造物の竣工年代と劣化した構造物の割合には明確な関係が認められ、古い構造物ほど劣化が進んでいることがわかった。すなわち、特定の年代の構造物で劣化の進行が著しいといった傾向は見られなかった。一方、時間の経過とともに全ての構造物が劣化するわけではなく、竣工後35年以上が経過した(1964年以前の)構造物でも、その半数以上(54.8%)は、劣化の兆候が認められなかった。

補修等を視野に入れて点検や監視などを行うことが必要になると考えられる劣化度Ⅲ以上の構造物は、全体の5.9%あった。このうち劣化度Ⅴと判定された事例は5例であったが、このうち1例は補修中で、4例は補修計画中であった。

トンネルは、判定基準が異なっているため、他の構造物と比較すると劣化度が高めになっていた。トンネル以外の構造物では、鉄筋のかぶり厚さが比較的小さい橋梁上部構造で劣化度の高い事例が目立った。逆に、無筋コンクリート構造物も多数含まれる擁壁では、全体的に劣化度が低かった。

(2) 劣化要因の推定結果

劣化が認められた構造物について、その劣化要因を推定した結果を、図－4.14～図－4.20および表－4.3、表－4.4に示す。

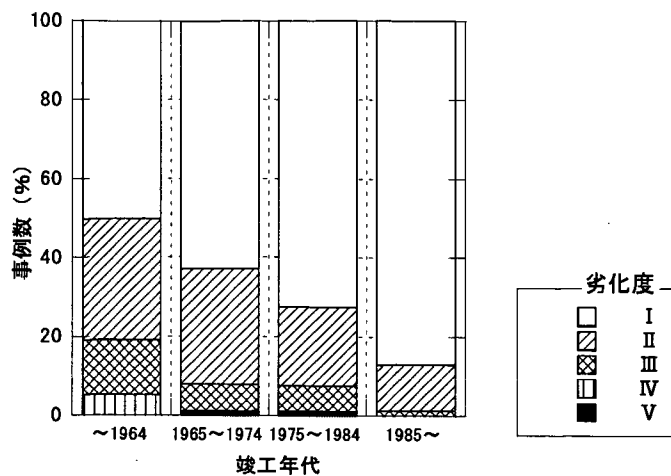
劣化要因として挙げられたものは、年代にかかわらず「コンクリート低品質」が多く、それに「配筋不良」が続いている(トンネルの場合は、劣化要因のほとんどが「コンクリート低品質」である)。「コンクリート低品質」と判断された事例には、豆板やコールドジョイントのように施工に起因することが明らかなものと、エフロッセンスやコンクリート表面の変状など原因が必ずしも明確でないものがあつたが、前者が比較的目立った。すなわち劣化要因としては施工に起因するものが大部分を占めており、コンクリートの打込みや養生、かぶりの確保等を確実にやっていくことが重要であると言える。

一方、アルカリ骨材反応や塩害、凍害などコンクリートの材料そのものや周辺環境に起因する劣化事例は、全国的なコンクリート構造物の数量からすると、必ずしも多くはなかった。しかし、劣化度が高い事例では、これらが劣化要因として挙げられる割合が高い。特に劣化度Ⅴの構造物のうちトンネルを除く3例(橋梁上部構造の2例、橋梁下部構造の1例)では、いずれも塩害が劣化要因の一つとして挙げられていた。今後も、塩害の劣化の予防を確実にするとともに、補修・補強技術を向上させていく必要がある。

なお、1986年のアルカリ骨材反応抑制対策実施以降の構造物でアルカリ骨材反応による劣化が疑われる構造物は、今回の調査では認められなかった。

調査票に貼付された写真・図面など限られた情報から推定を行ったため、原因を特定することが難しい事例も少なくなかった。このような事例は「不明」とした。

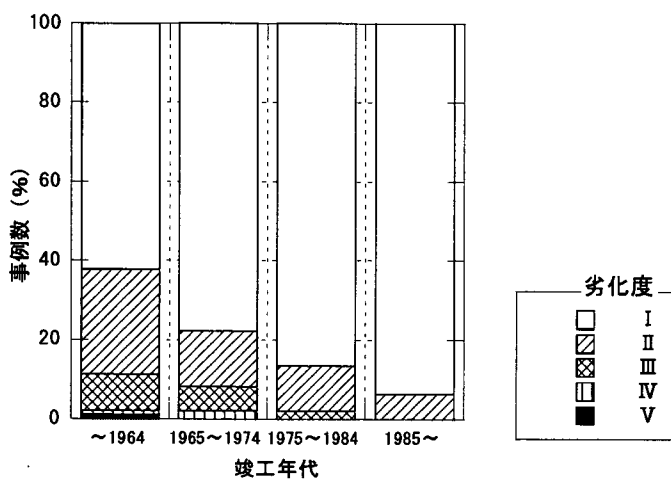
※劣化度の判定基準および劣化要因の定義については、2.3節(表－2.4および表－2.5)を参照のこと。



橋梁上部構造

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	0	5	14	31	51	101
1965~1974	1	0	6	26	56	89
1975~1984	1	0	6	19	69	95
1985~	0	0	1	10	75	86
計	2	5	27	86	251	371

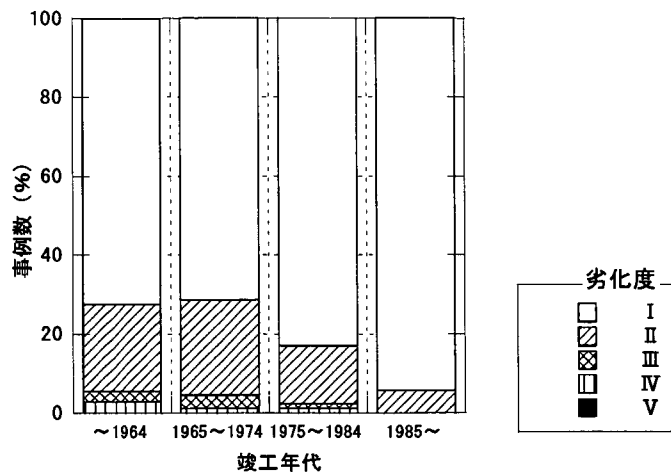
図- 4.7 劣化度判定結果(橋梁上部構造)



橋梁下部構造

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	1	1	9	26	61	98
1965~1974	0	2	6	14	77	99
1975~1984	0	0	2	11	84	97
1985~	0	0	0	6	90	96
計	1	3	17	57	312	390

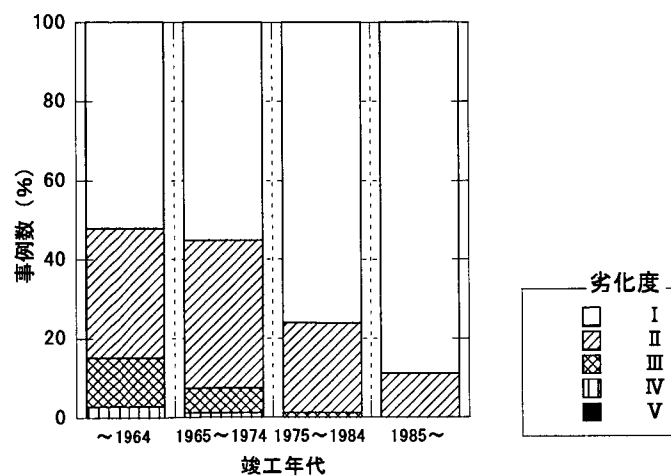
図- 4.8 劣化度判定結果(橋梁下部構造)



擁壁

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	0	2	2	16	53	73
1965~1974	0	1	3	22	65	91
1975~1984	0	1	1	14	79	95
1985~	0	0	0	5	84	89
計	0	4	6	57	281	348

図- 4. 9 劣化度判定結果(擁壁)



カルバート

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
~1964	0	2	9	24	38	73
1965~1974	0	1	6	36	53	96
1975~1984	0	0	1	23	77	101
1985~	0	0	0	11	89	100
計	0	3	16	94	257	370

図- 4. 10 劣化度判定結果(カルバート)

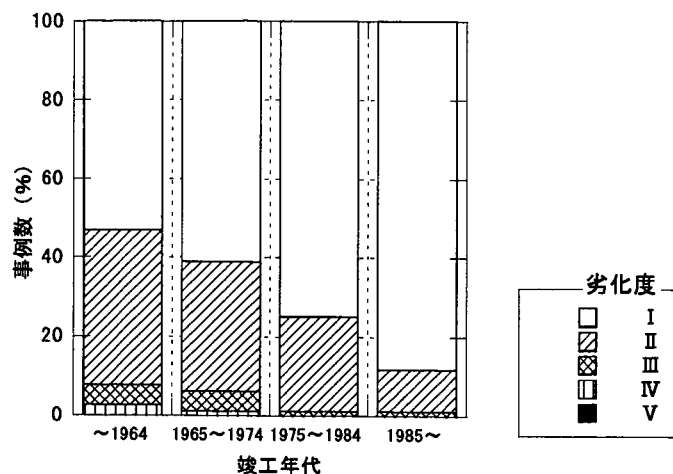


図- 4.11 劣化度判定結果(河川構造物)

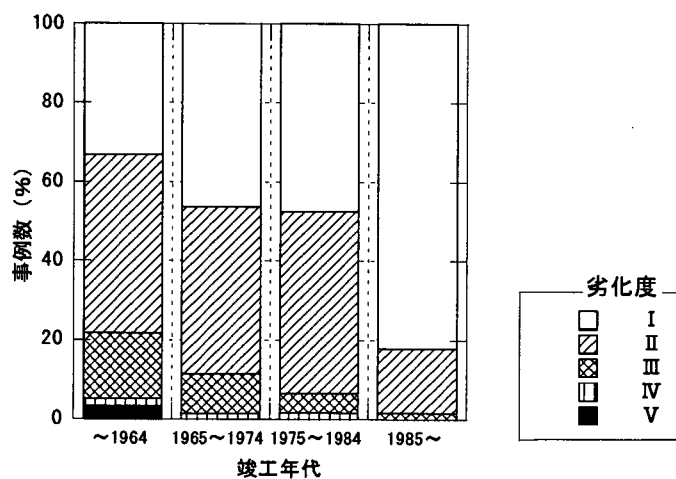
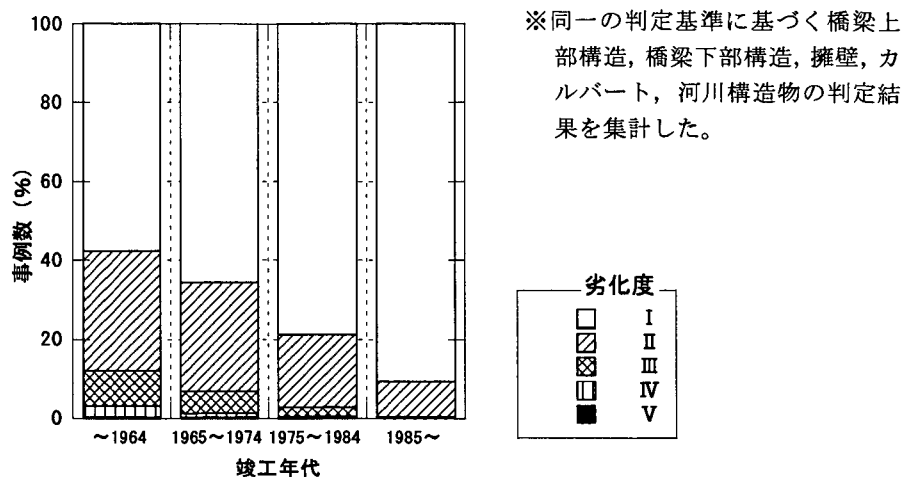


図- 4.12 劣化度判定結果(トンネル)



トンネル以外の構造物

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
～1964	1	12	38	128	245	424
1965～1974	1	5	26	130	311	473
1975～1984	1	1	11	89	378	480
1985～	0	0	2	42	422	466
計	3	18	77	389	1356	1843

図－4.13 劣化度判定結果(トンネル以外の構造物)

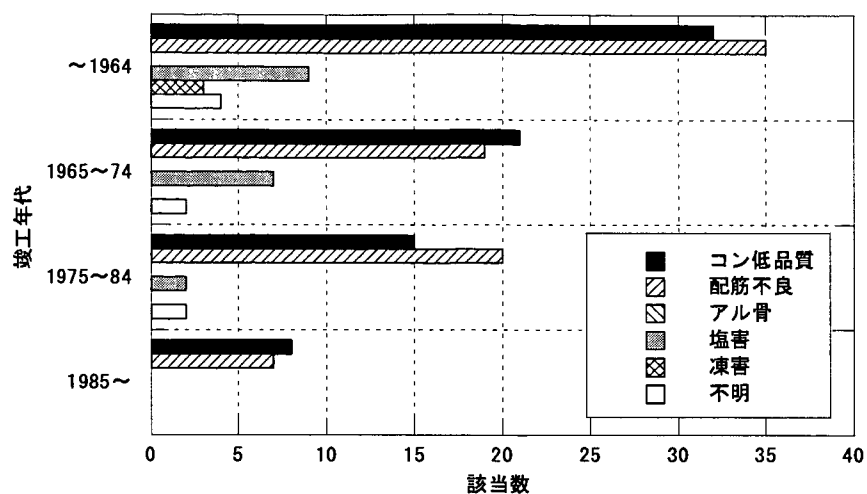
表－4.1 劣化度判定結果(竣工年代ごとに整理)

竣工年代	構造物種類	劣化度					計
		V	IV	III	II	I	
～1964	トンネル以外	1	12	38	128	245	424
	トンネル	2	1	10	27	20	60
1965～1974	トンネル以外	1	5	26	130	311	473
	トンネル	0	1	7	30	33	71
1975～1984	トンネル以外	1	1	11	89	378	480
	トンネル	0	1	3	29	30	63
1985～	トンネル以外	0	0	2	42	422	466
	トンネル	0	0	1	10	51	62
総計		5	21	98	485	1490	2099

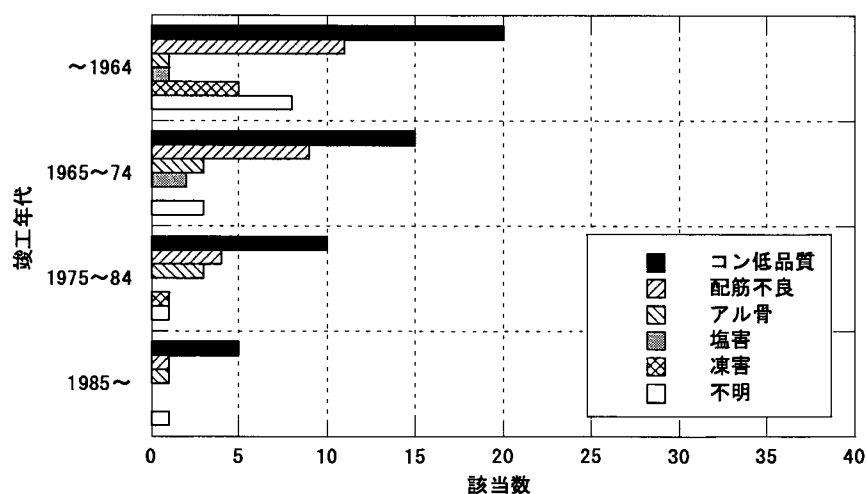
※トンネルと他の構造物(橋梁上部構造、橋梁下部構造、擁壁、カルバート、河川構造物)では判定基準が異なるので、別途集計した。

表－ 4.2 劣化度判定結果(構造物ごとに整理)

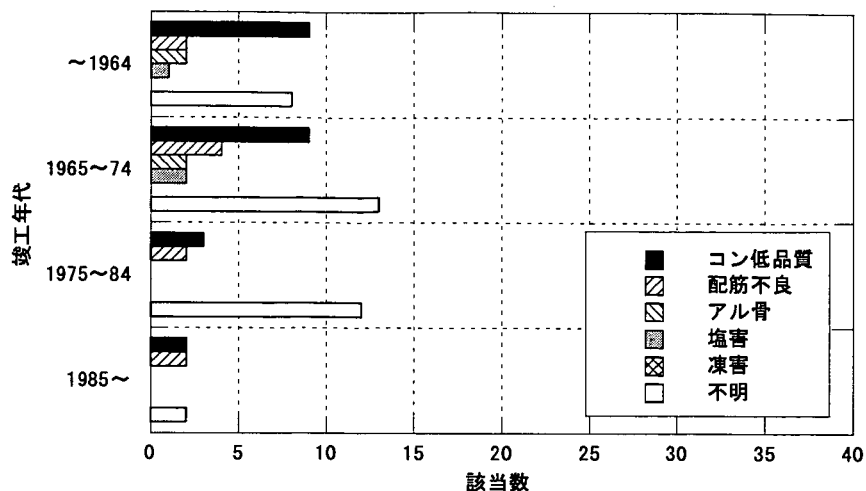
構造物種類	年代	劣化度					計
		V	IV	III	II	I	
橋梁 上部構造	～1964	0	5	14	31	51	101
	1965～1974	1	0	6	26	56	89
	1975～1984	1	0	6	19	69	95
	1985～	0	0	1	10	75	86
小計		2	5	27	86	251	371
橋梁 下部構造	～1964	1	1	9	26	61	98
	1965～1974	0	2	6	14	77	99
	1975～1984	0	0	2	11	84	97
	1985～	0	0	0	6	90	96
小計		1	3	17	57	312	390
擁壁	～1964	0	2	2	16	53	73
	1965～1974	0	1	3	22	65	91
	1975～1984	0	1	1	14	79	95
	1985～	0	0	0	5	84	89
小計		0	4	6	57	281	348
カルバート	～1964	0	2	9	24	38	73
	1965～1974	0	1	6	36	53	96
	1975～1984	0	0	1	23	77	101
	1985～	0	0	0	11	89	100
小計		0	3	16	94	257	370
河川構造物	～1964	0	2	4	31	42	79
	1965～1974	0	1	5	32	60	98
	1975～1984	0	0	1	22	69	92
	1985～	0	0	1	10	84	95
小計		0	3	11	95	255	364
トンネル	～1964	2	1	10	27	20	60
	1965～1974	0	1	7	30	33	71
	1975～1984	0	1	3	29	30	63
	1985～	0	0	1	10	51	62
小計		2	3	21	96	134	256
トンネル以外の構造物		3	18	77	389	1356	1843
総計		5	21	98	485	1490	2099



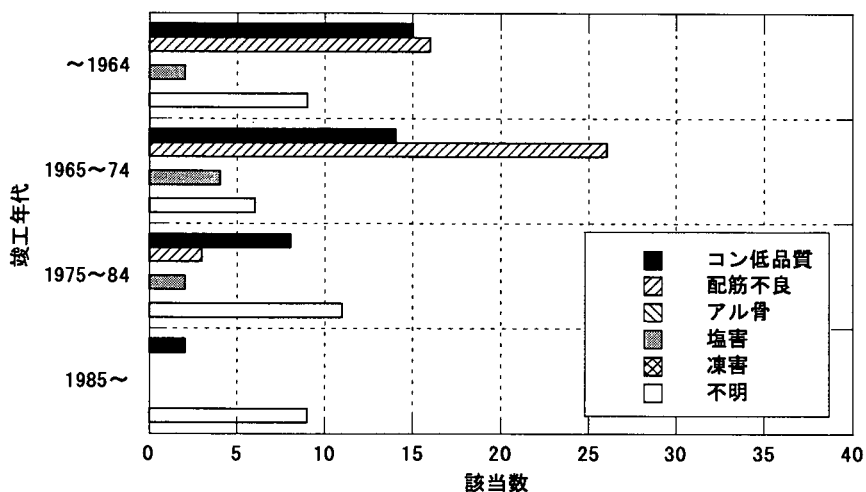
図－4.14 劣化要因の推定結果(橋梁上部構造)



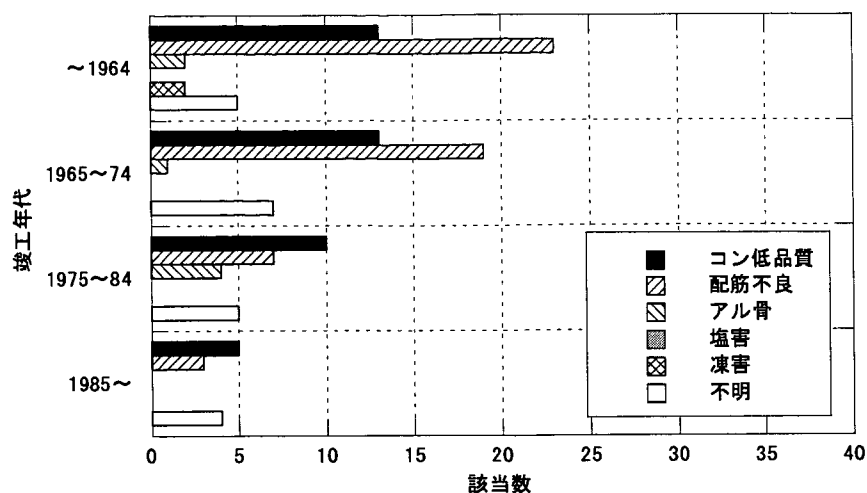
図－4.15 劣化要因の推定結果(橋梁下部構造)



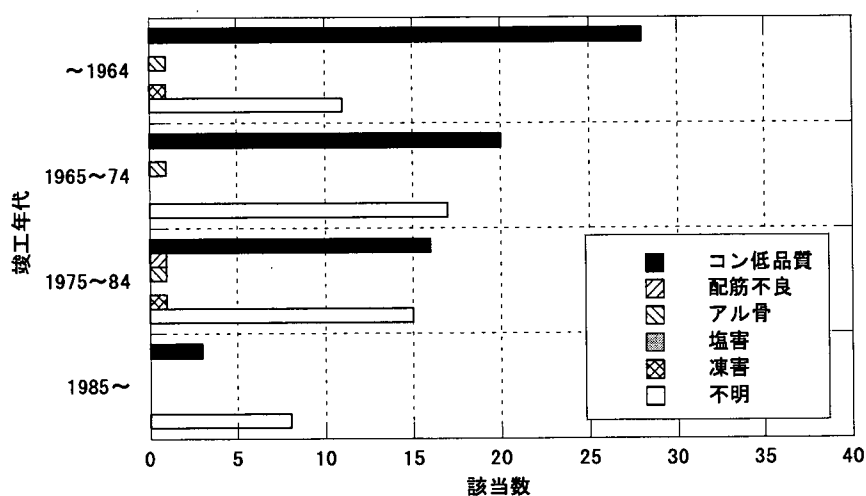
図－4.16 劣化要因の推定結果(擁壁)



図－4.17 劣化要因の推定結果(カルバート)



図－4.18 劣化要因の推定結果(河川構造物)



図－4.19 劣化要因の推定結果(河川構造物)

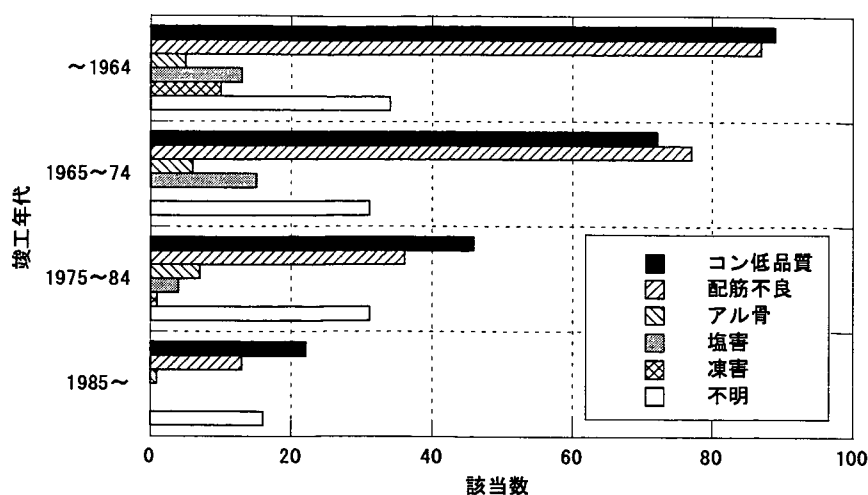


図- 4.20 劣化要因の推定結果(トンネル以外の構造物)

表- 4.3 劣化要因の推定結果(竣工年代ごとに整理)

竣工年代	構造物種類	劣化要因 (複数選択)						計
		コン低品質	配筋不良	アル骨	塩害	凍害	不明	
～1964	トンネル以外	89	87	5	13	10	34	238
～1964	トンネル	28	0	1	0	1	11	41
1965～1974	トンネル以外	72	77	6	15	0	31	201
1965～1974	トンネル	20	0	1	0	0	17	38
1975～1984	トンネル以外	46	36	7	4	1	31	125
1975～1984	トンネル	16	1	1	0	1	15	34
1985～	トンネル以外	22	13	1	0	0	16	52
1985～	トンネル	3	0	0	0	0	8	11
総計		296	214	22	32	13	163	740

表－4.4 劣化要因の推定結果(構造物ごとに整理)

構造物種類	竣工年代	劣化要因（複数選択）						計
		コン 低品質	配筋 不良	アル骨	塩害	凍害	不明	
橋梁 上部構造	～1964	32	35	0	9	3	4	83
	1965～1974	21	19	0	7	0	2	49
	1975～1984	15	20	0	2	0	2	39
	1985～	8	7	0	0	0	0	15
小計		76	81	0	18	3	8	186
橋梁 下部構造	～1964	20	11	1	1	5	8	46
	1965～1974	15	9	3	2	0	3	32
	1975～1984	10	4	3	0	1	1	19
	1985～	5	1	1	0	0	1	8
小計		50	25	8	3	6	13	105
擁壁	～1964	9	2	2	1	0	8	22
	1965～1974	9	4	2	2	0	13	30
	1975～1984	3	2	0	0	0	12	17
	1985～	2	2	0	0	0	2	6
小計		23	10	4	3	0	35	75
カルバート	～1964	15	16	0	2	0	9	42
	1965～1974	14	26	0	4	0	6	50
	1975～1984	8	3	0	2	0	11	24
	1985～	2	0	0	0	0	9	11
小計		39	45	0	8	0	35	127
河川構造物	～1964	13	23	2	0	2	5	45
	1965～1974	13	19	1	0	0	7	40
	1975～1984	10	7	4	0	0	5	26
	1985～	5	3	0	0	0	4	12
小計		41	52	7	0	2	21	123
トンネル	～1964	28	0	1	0	1	11	41
	1965～1974	20	0	1	0	0	17	38
	1975～1984	16	1	1	0	1	15	34
	1985～	3	0	0	0	0	8	11
小計		67	1	3	0	2	51	124
トンネル以外の構造物		229	213	19	32	11	112	616
総計		296	214	22	32	13	163	740

4.3 劣化度の判定からわかったこと

基本調査結果(構造物の概要に関するデータ収集と目視調査)をもとに,調査した構造物の劣化度を総合的に判定した。その結果から,以下のことが分かった。

- ・ 古い構造物ほど劣化が進んでいる。
- ・ 全ての構造物が劣化するわけではなく,大部分のコンクリート構造物は健全である。竣工後35年以上が経過した構造物でも,その半数以上は,劣化の兆候が認められなかった。
- ・ 補修等を視野に入れて点検や監視などを行うことが必要になると考えられる構造物は,全体の5.9%あった。
- ・ 構造物の劣化要因としては施工に起因するものが大部分を占めており,コンクリートの打込みや養生,かぶりの確保等を確実にやっていくことが重要である。
- ・ アルカリ骨材反応や塩害,凍害などコンクリートの材料そのものや周辺環境に起因する劣化事例は,必ずしも多くはない。しかし,劣化度が高い事例では,これらが劣化要因となっている場合が多い。
- ・ 1986年のアルカリ骨材反対策実施以降の構造物でアルカリ骨材反応による劣化が疑われる構造物は,今回の調査では認められなかった。

5 . 詳細調査結果

5.1 圧縮強度およびヤング係数

(1) 圧縮強度

各構造物ごとに3本のコアを採取し、圧縮強度試験を行うとともにヤング係数を測定した。測定データは、152の構造物で455件(ヤング係数は454件)得られた。圧縮強度は、3本の平均値をとって整理した(1件のみ2本の平均値とした)。

圧縮強度試験結果を表-5.1、表-5.2に示す。コアの圧縮強度は平均で約27MPaであった。

コアの圧縮強度を年代別に見ると、古い年代の構造物では圧縮強度が非常に高い事例もあるが、逆に設計基準強度よりも低いことが疑われる事例も目立つ。一方、新しい年代の構造物では、20～30MPa程度に集中しており、ばらつきが少なくなっている。このことからコンクリートの品質管理が全体としては改善されているとも考えられる。構造物の種類ごとでは、無筋コンクリート構造物が含まれる擁壁や橋梁下部構造と、カルバート、河川構造物の間で、強度に若干の違いが見られた。

コアを採取した構造物152件のうち、設計基準強度がわかった構造物は80件あった。これら80件について設計基準強度とコアの圧縮強度を比較した結果を図-5.1に示す。コア抜きして採取した試料を用いて圧縮強度試験を行った場合、一般に試験結果がばらつき、かつ標準供試体を用いた場合に比べ強度が1割程度以上小さくなるとされている¹¹⁾。しかし、今回の試験結果では、コア試料でも設計基準強度の約1.36倍の強度が確保されていた。これは、実構造物に使用されたコンクリートには、十分な割増し係数が与えられていたためと考えられる。

一方、設計基準強度に満たなかった事例も9件あり、このうち6件では、設計基準強度の9割を下回る結果であった。

(2) ヤング係数

ヤング係数の測定結果とコアの圧縮強度の関係を図-5.2に示す。ばらつきが大きいものの、コアの圧縮強度が高くなるほどヤング係数も大きくなることが確認できる。コアの圧縮強度で分類してヤング係数の平均をとると、例えば、圧縮強度が21～24MPaの範囲では、ヤング係数の平均は17.2GPaであった。

なお、ヤング係数の測定結果を既往研究のデータ¹²⁾と比較すると、今回の調査結果の方が、ヤング係数がやや小さく測定されているようである。この原因としては、標準養生供試体とコア試料の違いとも考えられるが明確ではない。

表－5.1 竣工年とコア圧縮強度

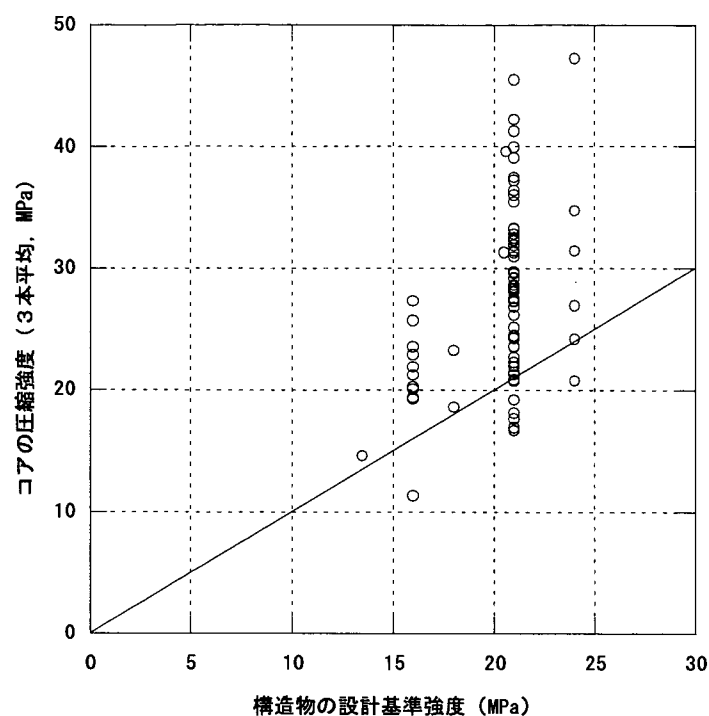
コアの強度 (N/mm ²)	竣工年				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
10≦ <15	3	2	1	0	6
15≦ <20	8	5	5	6	24
20≦ <25	8	11	10	11	40
25≦ <30	6	5	15	10	36
30≦ <35	3	13	5	3	24
35≦ <40	5	2	0	4	11
40≦ <45	5	0	2	0	7
45≦ <50	3	1	0	0	4
計	41	39	38	34	152

※ただし、コアの圧縮強度は、3本の平均とした。

表－5.2 構造物の種類とコア圧縮強度

コアの強度 (N/mm ²)	構造物種類				計
	橋梁下部構造	擁壁	カルバート	河川構造物	
10≦ <15	3	3	0	0	6
15≦ <20	12	5	6	1	24
20≦ <25	17	7	11	5	40
25≦ <30	8	6	10	12	36
30≦ <35	6	2	10	6	24
35≦ <40	3	0	3	5	11
40≦ <45	1	0	5	1	7
45≦ <50	0	1	3	0	4
計	50	24	48	30	152

※ただし、コアの圧縮強度は、3本の平均とした。

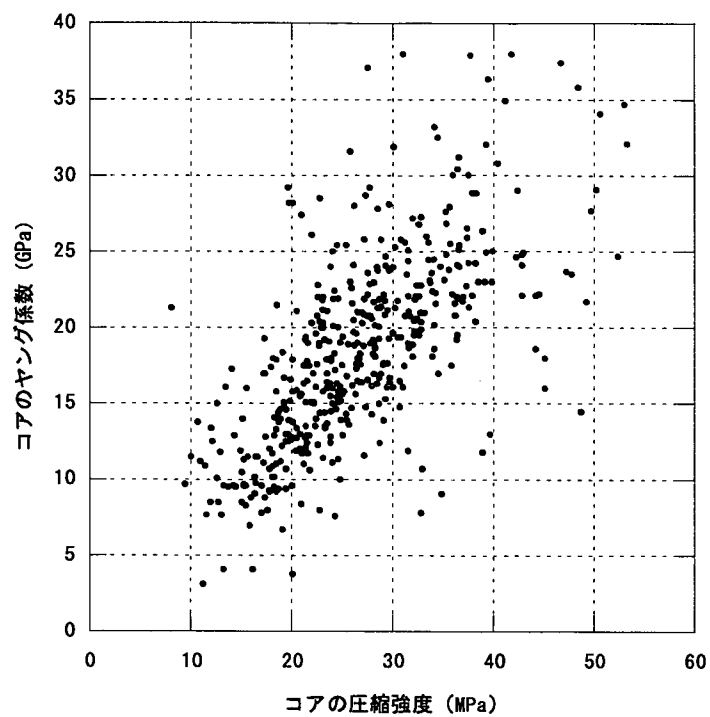


圧縮強度比	竣工年				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
0.9未満	2	1	2	1	6
0.9～1.0	0	0	1	2	3
1.0以上	17	15	20	19	71
不明	22	23	15	12	72
計	41	39	38	34	152

※(圧縮強度比)＝(コアの圧縮強度)／(構造物の設計基準強度)

※ただし、コアの圧縮強度は、3本の平均とした。

図－5.1 構造物の設計基準強度とコアの圧縮強度の関係



コアの強度 (MPa)	ヤング係数の 平均 (GPa)
<15	11.1
15 ≤ <20	12.7
20 ≤ <25	16.4
25 ≤ <30	19.8
30 ≤ <35	21.5
35 ≤ <40	24.4
40 ≤ <45	26.3
45 ≤	27.1

図－5.2 コアの圧縮強度とヤング係数の関係

5.2 密度および吸水率

(1) 24時間吸水後の密度および吸水率

24時間吸水させた状態でのコアの表乾質量、絶乾質量、水中での質量の測定結果から、コアの密度および吸水率を算出した。数値が明らかに異常なデータを除き、有効な測定データは147の構造物で435件得られた。

コアの表乾密度、絶乾密度、吸水率の算出結果を表－5.3および図－5.3～図－5.5に示す。コアの圧縮強度が高ければ、コアの密度が大きく、吸水率は小さくなる傾向が見られる。すなわち、密実な(密度が大きく、吸水率は小さい)コアほどであれば、コンクリートの品質が高い(圧縮強度が高い)ことが確認された。しかし、同一の圧縮強度であっても密度や吸水率の分布する範囲は広く、密度・吸水率試験だけでコアの品質を評価することは困難である。

なお、竣工後の経過年数とコアの絶乾密度の関係を調べたが、コアの絶乾密度と構造物の竣工年の間には特に関係は認められなかった(図－5.6)。吸水率等についても同様であった。

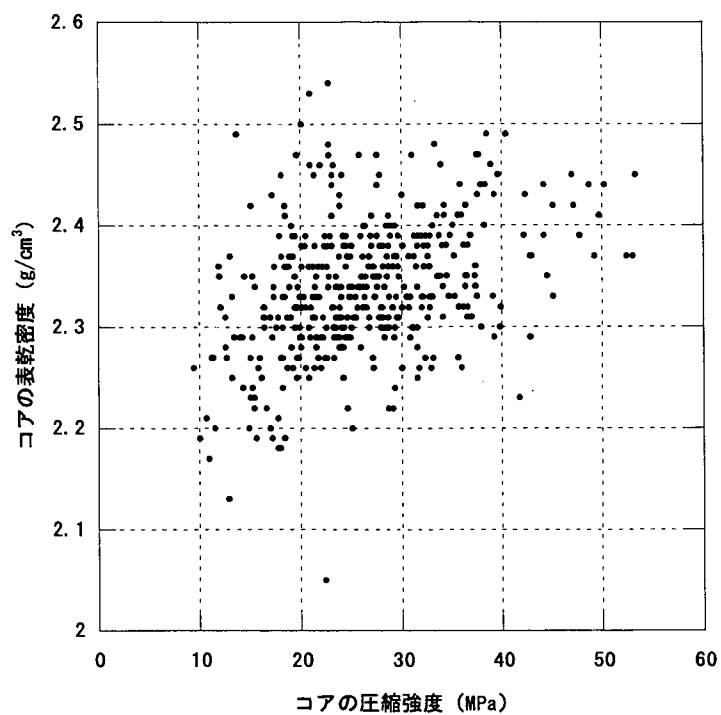
(2) 吸水速度

今回の調査では、吸水途中のコンクリートコアの質量変化を測定し、吸水の速度でコアの品質を評価することを試みた。吸水開始から1時間後にコアの質量を測定した結果を基に、1時間後の吸水率を算出し、コアの圧縮強度と比較した結果を図－5.7に示す。図－5.7のデータの分布は吸水率の絶対値こそ異なるものの図－5.5と酷似している。また、1時間後の吸水率は24時間後の吸水率の約5割から8割の値になっているが、この割合とコアの圧縮強度(コンクリートの品質)との間には、特に関係は認められなかった。

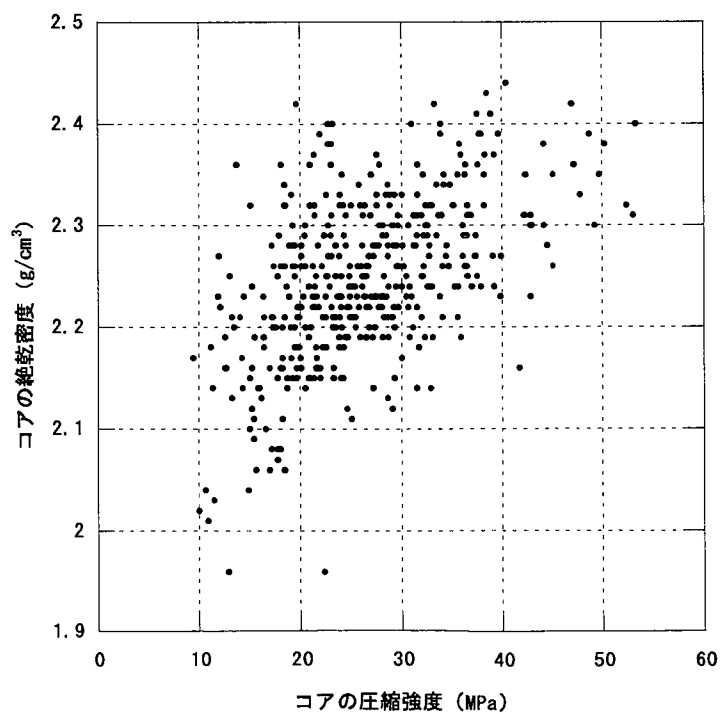
これらの結果から、今回の実験の範囲では、吸水時間を変化させて密度・吸水率を測定することでコンクリートの品質を評価することは困難であると考えられる。

表－5.3 コアの圧縮強度と密度・吸水率の関係

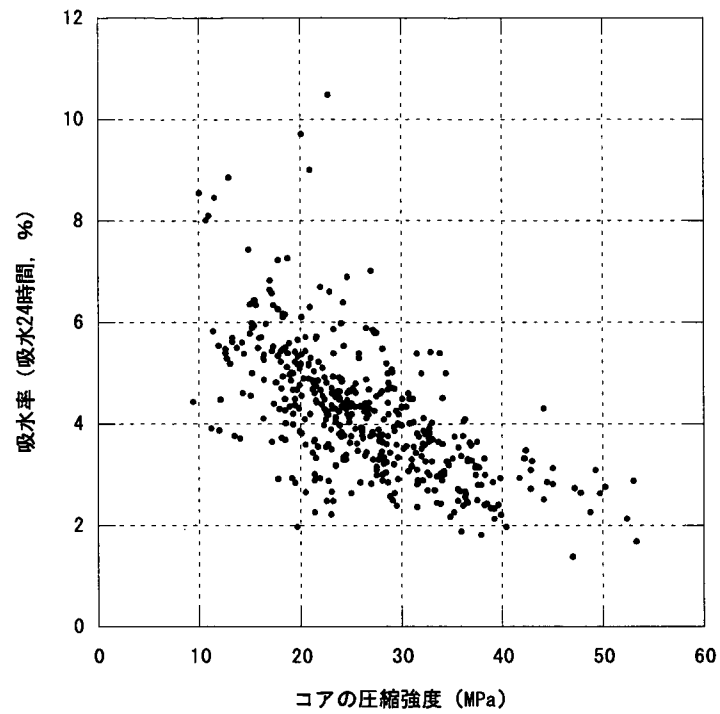
コアの強度 (N/mm ²)	表乾密度の 平均 (g/cm ³)	絶乾密度の 平均 (g/cm ³)	吸水率の 平均 (%)
10 ≤ <15	2.28	2.16	5.78
15 ≤ <20	2.31	2.20	5.12
20 ≤ <25	2.34	2.24	4.53
25 ≤ <30	2.34	2.25	4.01
30 ≤ <35	2.36	2.27	3.63
35 ≤ <40	2.37	2.31	2.89
40 ≤ <45	2.37	2.31	3.02
45 ≤ <50	2.41	2.35	2.51



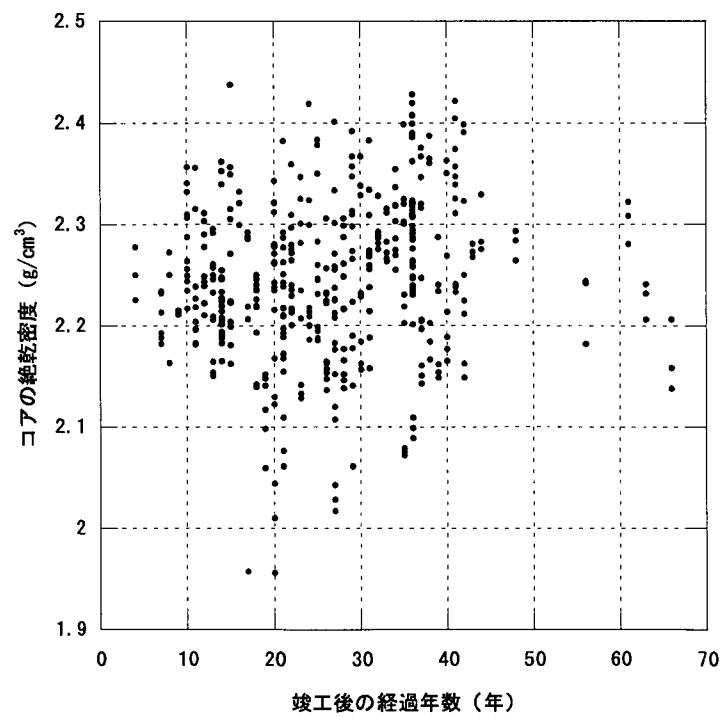
図－5.3 コアの圧縮強度と表乾密度の関係



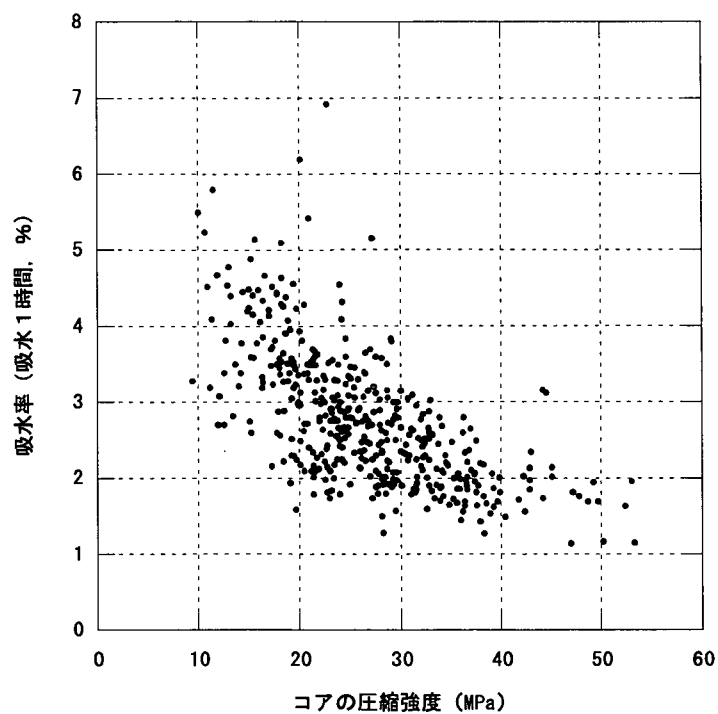
図－5.4 コアの圧縮強度と絶乾密度の関係



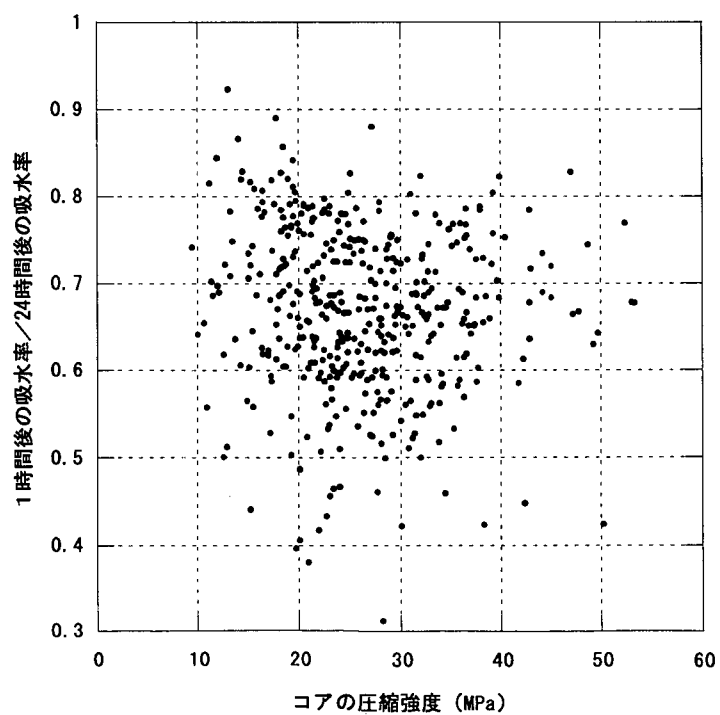
図－5.5 コアの圧縮強度と吸水率(24 時間後)の関係



図－5.6 竣工後の経過年数とコアの絶乾密度の関係



図－5.7 コアの圧縮強度と吸水率(1 時間後)の関係



図－5.8 コアの圧縮強度と吸水速度の関係

5.3 鉄筋のかぶり厚さ

(1) はつり出した鉄筋のかぶり厚さ

コア採取位置付近で鉄筋をはつり出し、かぶり厚さの測定と腐食状況の観察を行った。今回、詳細調査の対象となった構造物のうち、擁壁を中心とした30構造物は無筋構造物であった(表-5.4)。このためはつりによるかぶり厚さのデータが得られたのは122構造物の365箇所であった(1箇所は近くに鉄筋がない部位であった)。

はつり出した箇所でのかぶり厚さの測定結果と腐食状況の観察結果を表-5.5に示す。今回の調査で測定されたかぶり厚さは、50mm～100mm程度のものが多かった(コア採取位置付近で測定を行ったもので、構造物の最小かぶり厚さを測定したものではない)。これは調査対象が橋梁下部構造やカルバートなど比較的かぶりが厚いものが多かったためと考えられる。しかし、中には、かぶり厚さが30mmを下回っていることから、設計よりもかぶりコンクリートが薄いと考えられる事例も5%程度あった。ただし、かぶり厚さと鉄筋の腐食状況の間には明確な関係は認められなかった。

かぶり厚さが比較的大きな事例でも部分的に腐食が見られると報告された事例が少なくなかった。しかし、他の試験結果(中性化深さや塩化物イオン濃度)を見る限りでは、コンクリートの中性化や塩害の進行などの劣化要因が明確な事例はほとんどなかった。すなわち、ここで部分腐食と報告されている事例については、構造物の竣工後に腐食が進んだのではなく、建設時から鉄筋の表面に若干の錆が着いていた場合が多いと考えられる。

(2) 非破壊試験によるかぶり厚さの測定

今回の調査では、コア採取位置を決める際に非破壊試験機器で鉄筋位置を探索した。このとき、かぶり厚さを推定した結果もあわせて記録したので、はつり出して測定した結果と比較して図-5.9に示す(非破壊検査による測定データは、122構造物の364箇所で行われた)。

全体の約3分の2の調査箇所では、非破壊試験によるかぶり厚さの測定結果とはつり出しによる測定結果との差異は、かぶり厚さの1割程度の範囲に収まっていた。ただし、今回の測定結果からは、非破壊で測定されるかぶり厚さは正しい値よりもやや少な目に測定される傾向が見られた。特に実際のかぶりの厚さ(はつりによる測定)が厚くなるほどこの傾向が目立った。また、電磁誘導法(磁気的試験方法、渦流試験方法)の測定結果の方が、電磁波法(レーダー法)による測定結果よりもばらつきが多いようにも見受けられるが、各構造物ごとに測定者が異なることも考慮すると、測定原理による差異かどうかは明確でない。

かぶり厚さの測定精度については特にかぶりコンクリートが薄い構造物や部材で重要になると考えられる。そこで、かぶり厚さが50mm以下の測定箇所における結果に着目して整理した(図-5.10)。その結果72%の箇所では測定誤差が5mm以下と十分な精度で測定されていた。一方、10%の箇所では11mm以上の測定誤差があった。特にかぶり厚さが小さい事例では、非破壊での測定結果がはつり出しによる測定結果と大きく異なっている場合が目立った。

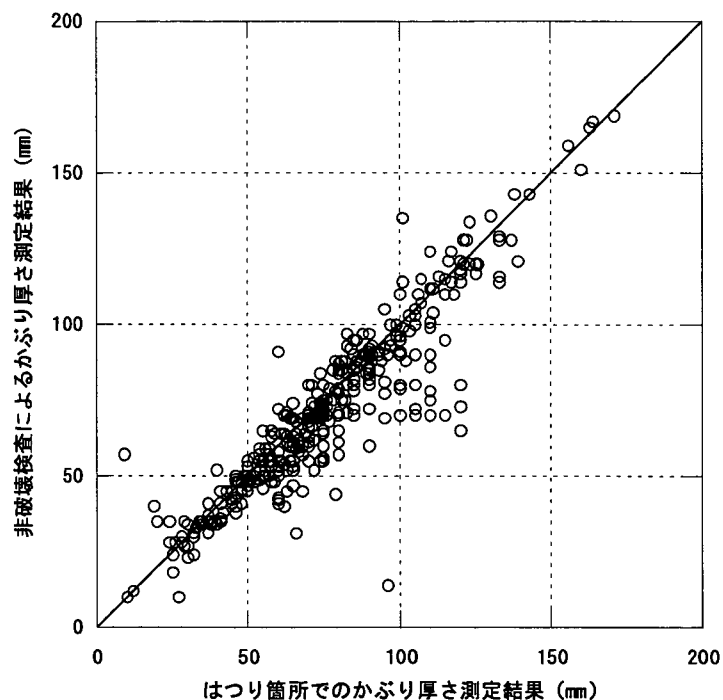
表－5.4 調査した構造物の鉄筋の有無

構造物種類	事例数		計
	鉄筋コンクリート 構造物	無筋コンクリート 構造物	
橋梁下部構造	43	7	50
擁壁	5	19	24
カルバート	45	3	48
河川構造物	29	1	30
計	122	30	152

表－5.5 鉄筋のかぶり厚さと腐食状況(はつり出しによる)

かぶり厚さ (mm)	該当事例数	鉄筋の腐食状況			
		健全	部分腐食	全面腐食	不明
<30	17	15	2	0	0
30≦ < 50	41	29	12	0	0
50≦ < 70	94	85	7	0	2
70≦ <100	132	105	26	0	1
100≦ <130	66	59	7	0	0
130≦ <160	10	8	2	0	0
160≦	5	3	1	0	1
計	365	304	57	0	4

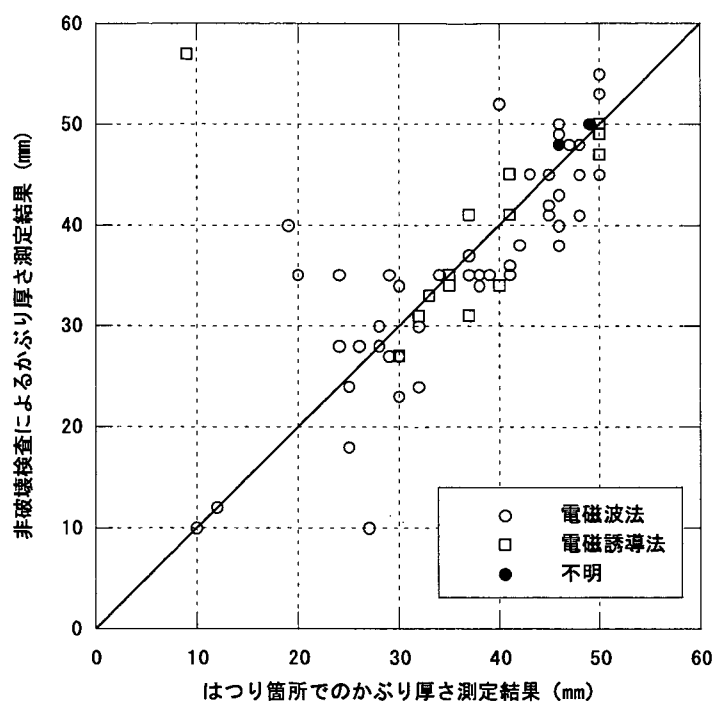
※不明：調査票で鉄筋の腐食状況に関するデータが欠落していたもの
 ※調査票にあった全面的腐食や断面欠損に該当する事例はなかった。



非破壊試験によるかぶり厚さ ／はつり箇所でのかぶり厚さ	かぶり厚さ（はつり）ごとの該当事例数				計
	～50mm	51～70mm	71～100mm	101mm～	
<0.7	1	4	4	8	17
0.7≦ <0.8	3	5	10	3	21
0.8≦ <0.9	9	24	16	7	56
0.9≦ ≦1.1	43	58	89	50	240
1.1< ≦1.2	3	8	9	2	22
1.2< ≦1.3	2	0	0	0	2
1.3<	4	1	0	1	6
計	65	100	128	71	364

非破壊試験によるかぶり厚さ ／はつり箇所でのかぶり厚さ	測定方法ごとの該当事例数			計
	電磁波法	電磁誘導法	測定方法不明	
<0.7	6	11	0	17
0.7≦ <0.8	10	11	0	21
0.8≦ <0.9	32	18	6	56
0.9≦ ≦1.1	152	60	28	240
1.1< ≦1.2	11	9	2	22
1.2< ≦1.3	2	0	0	2
1.3<	3	3	0	6
計	216	112	36	364

図－5.9 非破壊試験とはつりでのかぶり厚さ測定結果の比較



非破壊試験によるかぶり厚さ －はつり箇所でのかぶり厚さ	該当事例数
≤ -11	1
$-10 \leq \leq -6$	9
$-5 \leq \leq -1$	19
0	10
$1 \leq \leq 5$	13
$6 \leq \leq 10$	1
$11 \leq$	5
計	58

図－5.10 非破壊試験とはつりでのかぶり厚さ測定結果の比較
(かぶり厚さが50mm以下の場合)

5.4 中性化深さ

(1) 中性化深さの測定結果

中性化深さは各コア採取位置(コアまたはコア抜き後の孔)で測定した。有効な測定データは、151の構造物で452件得られた。

各箇所での中性化深さと構造物の竣工後の経過年数を比較して図-5.11に示す。図中には、広く用いられている岸谷式による中性化深さの予測結果を併記した。今回の測定結果と岸谷式(図-5.11中の式)による予測結果を比較すると、84%の箇所では水セメント比60%の場合の岸谷式による中性化深さ予測式を下回っていた。また、452件の測定個所のうち中性化深さが30mmを超えていた事例は、11件(2.4%)しかなかった(中性化深さの最大値は50mmであった)。

土木構造物では、鉄筋のかぶり厚さは比較的大きく取られており、コンクリートの中性化が主な原因となって劣化している事例は少ないものと考えられる。なお、中性化残り(かぶり厚さから中性化深さを引いたもの)と鉄筋の腐食状況の関係を、表-5.6に示す。今回の調査結果に関しては、中性化残りと腐食状況の関係は明確ではなく、部分腐食とされている事例で中性化のみが原因となっているものはほとんどないものと考えられる。

(2) 中性化の進行速度

一般的に中性化の進行は経過時間の平方根に比例すると考えられているので、式-5.1に示す中性化速度係数を求めて各事例で中性化の進行速度を評価することにした。

$$A = \frac{C}{\sqrt{t}} \quad (5.1)$$

ただし、A：中性化速度係数(mm/√年)

C：中性化深さ(mm)

t：構造物の竣工後の経過年数(年)

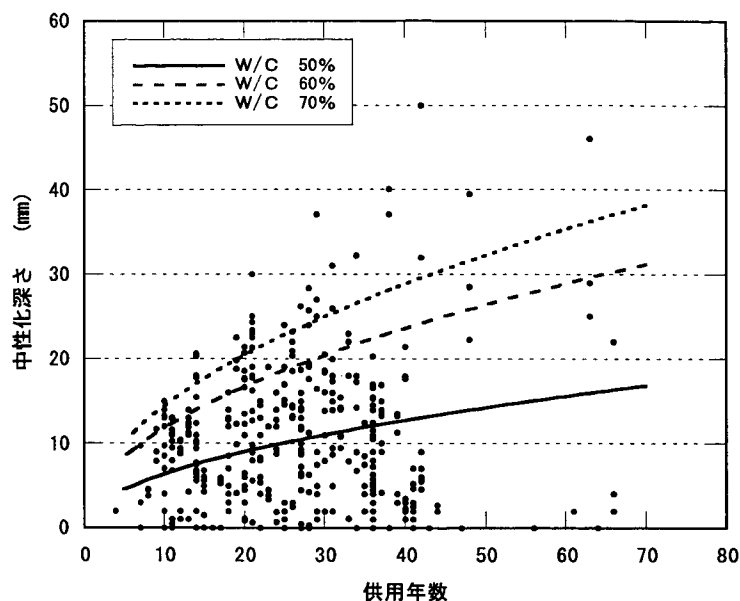
各測定個所での中性化速度係数とコアの圧縮強度の関係を図-5.12に示す。図から、中性化速度係数の最大値とコアの圧縮強度の間に明確な関係が見られ、コンクリートの強度が大きくなるほど中性化速度係数の最大値が小さくなっている(中性化の進行速度が遅いコンクリートとなっている)ことが確認された。なお、全調査箇所の中性化速度係数の平均は1.9mm/√年であった。

岸谷式から予想される中性化速度係数は、例えば水セメント比が50%の場合は2.0となる。これに対し、測定結果から算出された中性化速度係数の分布を見ると、1以下の事例が目立つ(図-5.13)。これらの中性化速度係数が小さい事例には、例えば、コンクリートが著しく乾燥していたり、常に湿っている場合など、中性化が進みにくい周辺環境にある構造物が含まれているものと考えられる。

構造物の竣工年代と中性化速度係数の関係を図-5.14に示す。中性化速度係数の分布は、1965年以降の各年代ではほぼ同様であり、コンクリートの品質や中性化の進行速度には、年代による差異がないものと考えられる。一方、1964年以前の構造物では、中性化速度係数が比較的大きい事例と小さい事例の双方が目

立った。これは、圧縮強度の試験結果(表－5.1)でも明らかになったように、古い年代の構造物にはコンクリートの品質の(各構造物間での)ばらつきが大きいと考えられる。

なお、構造物の種類や周辺環境と中性化速度係数の間には、明確な関係は認められなかった(図－5.15, 図－5.16)。



※図中の曲線は、以下に示す岸谷式¹³⁾による中性化深さの予測値である。

$$t = \frac{0.3 (1.15 + 3x)}{R^2 (x - 0.25)^2} C^2 \quad (x \geq 0.6)$$

$$t = \frac{7.2}{R^2 (4.6x - 1.76)^2} C^2 \quad (x \leq 0.6)$$

ただし、 t : C まで中性化する期間 (年)

x : 水セメント比

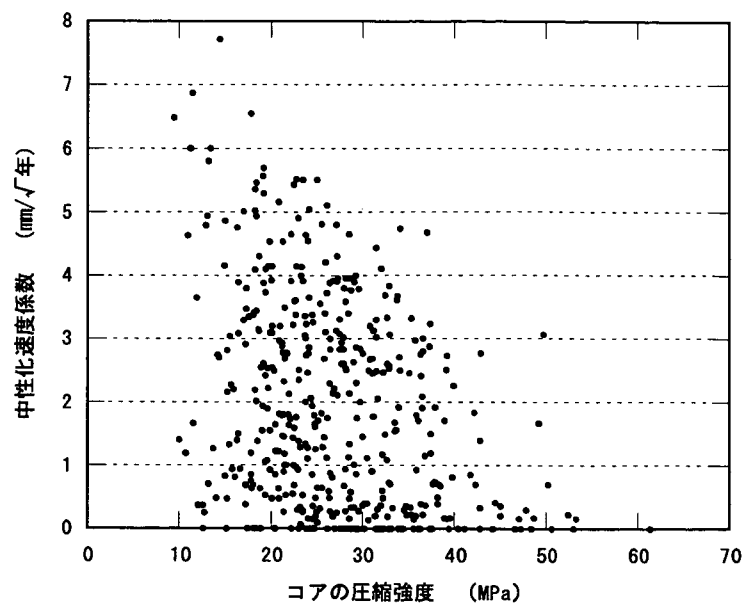
C : 中性化深さ (cm)

R : 中性化比率 (ここでは 1.0 とした)

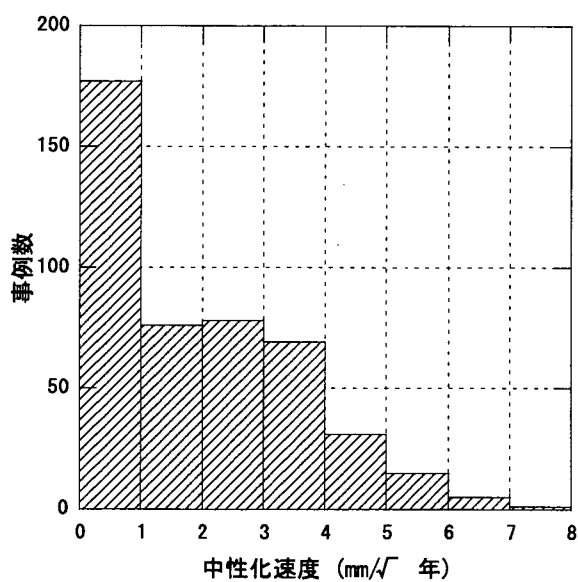
図－5.11 中性化深さの測定結果

表－5.6 中性化残りと鉄筋の腐食状況

中性化残り (mm)	鉄筋の腐食状況				計
	健全	部分腐食	全面腐食	不明	
≤10	7	0	0	0	7
10< ≤20	11	2	0	0	13
20< ≤30	13	8	0	0	21
30< ≤40	23	4	0	0	27
40< ≤50	28	4	0	0	32
50<	219	38	0	4	261
計	301	56	0	4	361

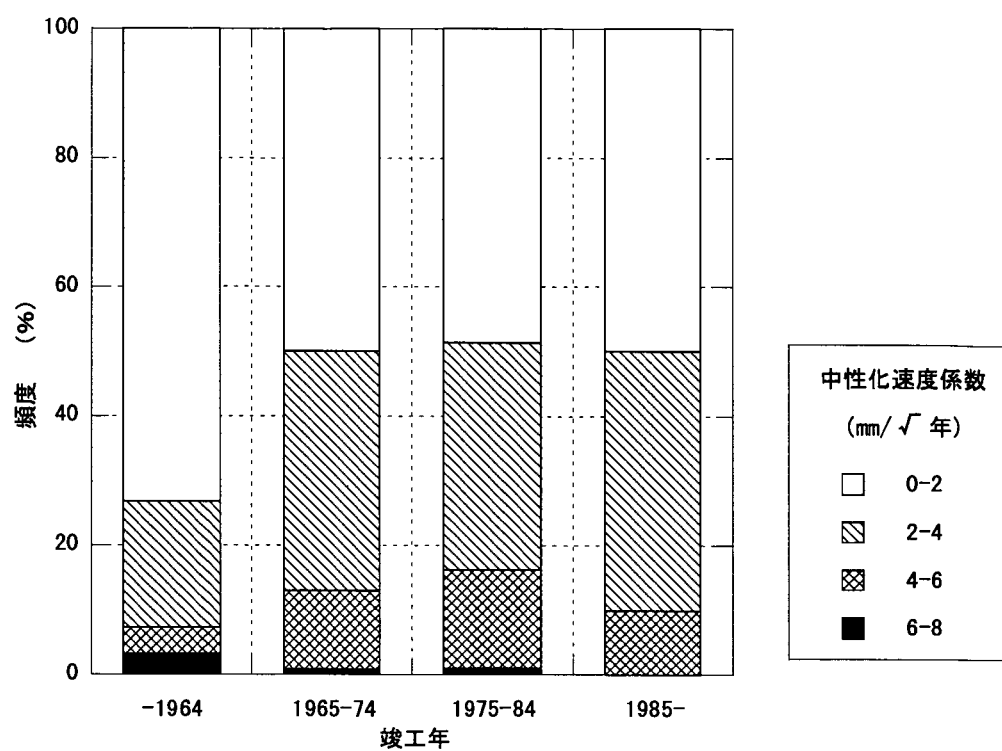


図－5.12 コアの圧縮強度と中性化速度係数の関係



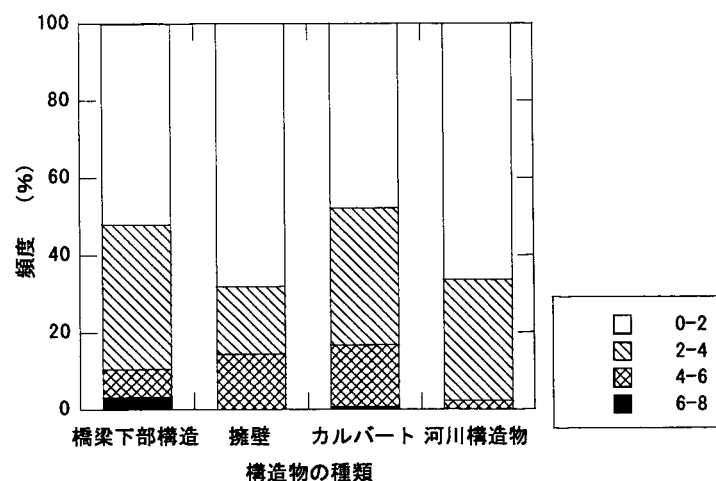
中性化速度係数	該当事例数
$0 \leq < 1$	177
$1 \leq < 2$	76
$2 \leq < 3$	78
$3 \leq < 4$	69
$4 \leq < 5$	31
$5 \leq < 6$	15
$6 \leq < 7$	5
$7 \leq < 8$	1
計	452

図－5.13 中性化速度係数の分布



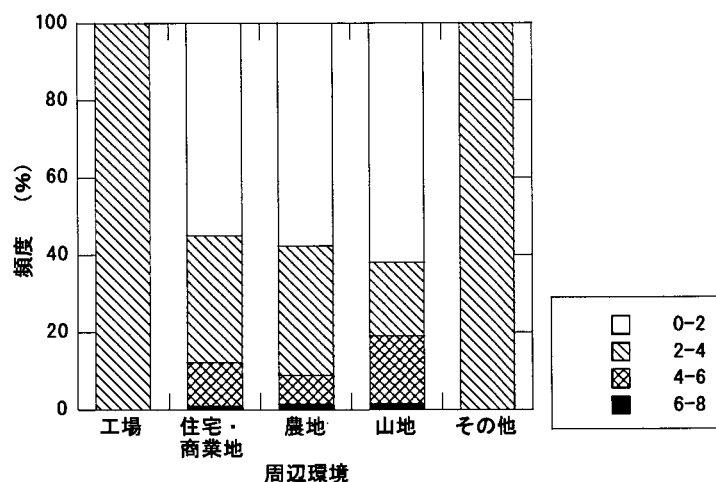
中性化速度係数	竣工年代				計
	~1964	1965~74	1975~84	1985~	
$0 \leq < 2$	90	58	54	51	253
$2 \leq < 4$	24	43	39	41	147
$4 \leq < 6$	5	14	17	10	46
$6 \leq < 8$	4	1	1	0	6
計	123	116	111	102	452

図一 5.14 竣工年と中性化速度係数



中性化速度係数	構造物種類				計
	橋梁下部構造	擁壁	カルバート	河川構造物	
$0 \leq < 2$	78	47	69	5	253
$2 \leq < 4$	56	12	51	41	147
$4 \leq < 6$	11	10	23	10	46
$6 \leq < 8$	5	0	1	0	6
計	150	69	144	102	452

図－5.15 構造物の種類と中性化速度係数



中性化速度係数	周辺環境					計
	工場	住宅・商業地	農地	山地	その他	
$0 \leq < 2$	0	99	115	39	0	253
$2 \leq < 4$	6	59	67	12	3	147
$4 \leq < 6$	0	20	15	11	0	46
$6 \leq < 8$	0	2	3	1	0	6
計	6	180	200	63	3	452

図－5.16 周辺環境と中性化速度係数

5.5 塩化物イオン濃度

(1) 塩化物イオン濃度と鉄筋の腐食状況

塩化物イオン濃度の測定は、各構造物あたり1箇所で行った。採取したコア試料のうち表面から10cmまで部分を2cmおきに切断、粉碎して試料とし、塩化物イオン濃度を測定した。152の構造物で、98件(×深さ方向5箇所)のデータが得られた。濃度の測定結果は、コンクリートの単位体積質量(ここでは、 2300kg/m^3 と仮定した)を掛けて、コンクリートの単位体積あたりに含まれる塩化物イオンの質量を算出し、これを用いて表現した。

152の構造物のうち、調査箇所での鉄筋のかぶり厚さが100mm以下であった100事例について、鉄筋位置付近での塩化物イオン濃度測定結果と鉄筋の腐食状況を比較した。結果を図-5.17に示す。通常、鉄筋の発錆が始まる塩化物イオン濃度は、 $1.2\sim 2.5\text{kg/m}^3$ と考えられている。今回の調査では、塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 以上の事例は11件あったがそのうち約半数の事例では鉄筋の部分的な腐食が認められ、部分腐食が生じている事例の割合が、塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 未満の場合よりも大きくなっていた。一方、塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 未満の事例で、中性化の影響が考えられない事例でも、部分腐食が生じている場合があった。すなわち、部分腐食と報告されている事例については、構造物の竣工後に腐食が進んだのではなく、建設時から鉄筋の表面に若干の錆が着いていた場合も含まれるものと考えられる。

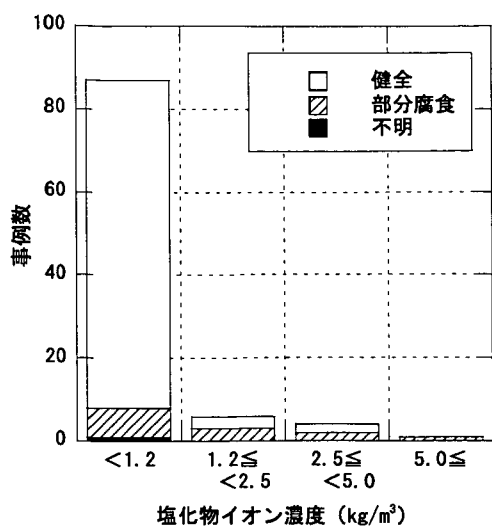
(2) 周辺環境と塩化物イオン濃度

コンクリート中に含まれていた塩化物イオンの由来を調べるため、構造物の海からの距離および周辺での凍結防止剤の散布状況と塩化物イオン濃度(表面から5cmの位置)の関係を調べた。結果を図-5.18、図-5.19に示す。海上や海岸線から100m以内に位置する構造物では、海からの飛来塩分の影響を受けて塩化物イオン濃度が高くなっていることがわかる。しかし、海岸線からの距離が300mより離れており、海からの飛来塩分が考えにくい地域にも、塩化物イオン濃度が高い事例が見られた。

一方、凍結防止剤の散布状況と塩化物イオン濃度の間には、関係は認められなかった。今回、様々な構造物の様々な部位からコアを採取しており、コアの採取箇所が路面に散布された凍結防止剤の影響を受ける箇所であるとは限らないためと考えられる。

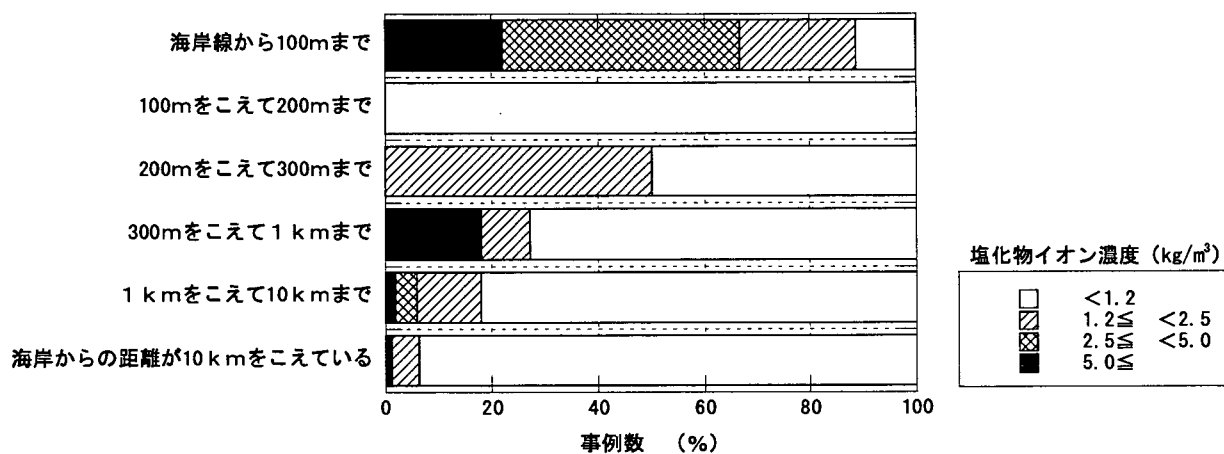
(3) 塩化物イオンの由来について

今回の調査ではコンクリート中に含まれる塩化物イオンの由来について調べるため、表面から深さ10cmまで2cmピッチで5試料の測定を行っている。海からの飛来等のため外部からコンクリート表面に塩分が供給されコンクリート内部に浸入している場合には、表面付近の塩化物イオン濃度が表面から遠い位置での濃度よりも高くなることが予想される。一方、コンクリートの打設時に塩分を含む材料(砂や混和剤)が使用されるといった原因でコンクリート中の塩化物イオン濃度が高くなっている場合には、表面からの距離にかかわらずほぼ等量の塩化物イオン濃度となっていることが予測される。これらの詳細な分析については、次章で行う。



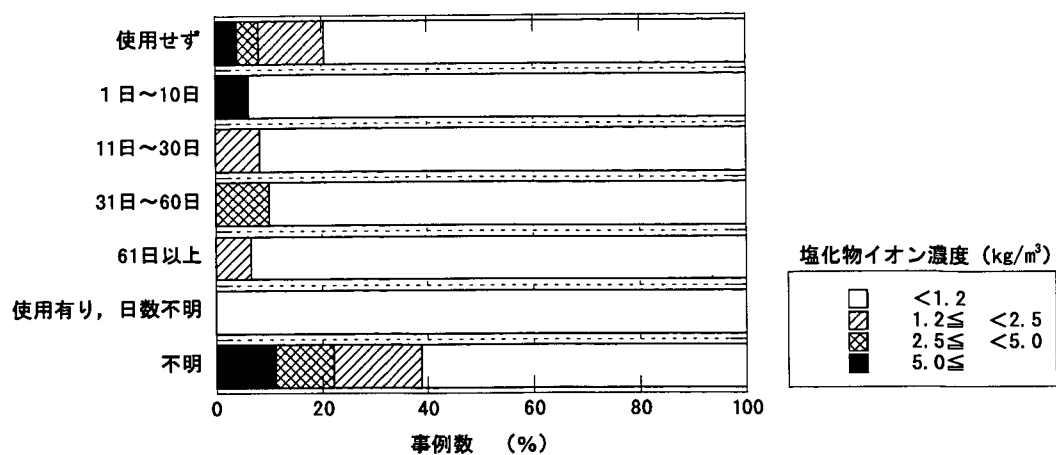
塩化物イオン濃度 (kg/m³)	鉄筋の腐食状況				計
	健全	部分腐食	全面腐食	不明	
<1.2	79	7	0	1	87
1.2 ≤ <2.5	3	3	0	0	6
2.5 ≤ <5.0	2	2	0	0	4
5.0 ≤	0	1	0	0	1
計	84	13	0	1	98

図－5.17 鉄筋近傍での塩化物イオン濃度と鉄筋の腐食状況



海岸線からの距離	塩化物イオン濃度 (kg/m³)				計
	<1.2	1.2 ≤ <2.5	2.5 ≤ <5.0	5.0 ≤	
海岸線から100mまで	1	2	4	2	9
100mをこえて200mまで	1	0	0	0	1
200mをこえて300mまで	1	1	0	0	2
300mをこえて1 kmまで	8	1	0	2	11
1 kmをこえて10kmまで	41	6	2	1	50
海岸からの距離が10kmをこえている	74	4	0	1	79
計	126	14	6	6	152

図－5.18 海岸線からの距離と塩化物イオン濃度(深さ 5 cm)の関係



図－ 5.19 凍結防止剤の散布状況と塩化物イオン濃度(深さ 5 cm)の関係

5.6 詳細調査結果からわかったこと

詳細調査結果をもとに、構造物に用いられているコンクリートの品質について検討した。その結果から、以下のことがわかった。

- ・ コアの圧縮強度は、平均では構造物の竣工年代によらずほとんど一定であった。ただし、古い年代の構造物では、圧縮強度が特に高い事例と特に低い事例の双方があり、事例による違いが大きかった。
- ・ コアの圧縮強度は、平均では設計基準強度の1.36倍であった。
- ・ 設計基準強度が明かな80事例のうち9例では、コアの圧縮強度が設計基準強度を下回った。
- ・ 圧縮強度と密度・吸水率の間に関係があることが確認された。
- ・ かぶり厚さが30mmを下回った事例も5%程度あったが、調査事例の中には著しい腐食を生じている事例はなかった。
- ・ はつり出して測定したかぶり厚さと非破壊試験により測定したかぶり厚さの差は、約2/3の事例では、かぶり厚さの1割程度の範囲に収まっていた。ただし、かぶり厚さが小さい箇所で、両者の差異が大きい事例もあった。
- ・ 非破壊試験によるかぶり厚さ測定の、測定原理による差異は明確ではなかった。
- ・ コンクリートの中性化速度係数の最大値と圧縮強度の間に関係があることが確認された。
- ・ 鉄筋近傍での塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 を超えている事例は11例あった。そのうちの6例では部分的な腐食が見られたが、他の5例では腐食は認められなかった。

【参考文献】

- 11) 太田実：コア強度と標準供試体強度との関係についての既往の資料，「コンクリートの品質管理試験方法」，コンクリートライブラリー第38号，土木学会，pp.75-83，1974.9
- 12) 土木学会：コンクリート標準示方書(昭和61年制定)改訂資料，コンクリートライブラリー第61号，p.230，1986
- 13) 岸谷孝一，西澤紀明他編：中性化，技報堂出版，pp.36-37，1986

6. 考察

6.1 検討した項目と検討目的

本章ではこれまで個別に分析した調査・試験結果を総合的に検討した内容を示す。検討項目は以下の通りである。

(1) 構造物の竣工年代と構造物およびコンクリートの品質

個別に分析した調査・試験結果を竣工年代ごとに整理し、コンクリートの品質等に差異がみられるかどうか検討した。

(2) 書類調査による劣化度判定の妥当性

詳細調査を実施した構造物のコンクリート品質に関するデータを分析し、基本調査(構造物の概要、目視調査)の調査票に基づいた劣化度判定の妥当性について検討した。

(3) 塩化物イオンの見掛けの拡散係数と初期塩分量

コンクリート中の塩化物イオン濃度の分布を分析し、コンクリート中での塩化物イオンの見掛けの拡散係数、コンクリート表面での塩化物イオン濃度、初期塩分量(コンクリートの材料に建設当初から含まれていたと考えられる塩分量)について検討した。

(4) コンクリートの中性化と塩化物イオンの分布

中性化深さと塩化物イオン濃度の分布形状を比較・検討した。

(5) 調査における問題点

今回の調査を通して明らかになった調査方法やデータベース作成時の留意点を整理した。

6.2 構造物の竣工年代と構造物およびコンクリートの品質について

(1) 検討の目的

構造物が建造された時期によって使用された材料や設計に用いられた基準類、施工方法等が異なるため、構造物の竣工年代に応じてコンクリートの品質が異なり、各種の劣化現象の進行速度に違いがあるとする意見がある。構造物の竣工年代によってコンクリートの品質が異なる原因としては表-6.1のような項目が挙げられている。しかし、現状では個々の項目が実構造物の品質や劣化速度を考える上で問題となるのかどうか、またその影響はどの程度なのかという点については必ずしも明確ではない。

本調査の調査項目では、上記の個別の内容については明らかではないが、個別に分析した調査・試験結果を竣工年代ごとに整理し、コンクリートの品質等に差異がみられるかどうか検討した。

(2) 竣工年代とコンクリートの品質

本調査の対象となったコンクリート構造物の設計基準強度には、竣工年代ごとの差異は明確には認められなかった(図-6.1)。したがって、構造物に使用されているコンクリートの呼び強度は、平均的には、竣工年代によらずほぼ一定であると考えられる(無筋コンクリートと鉄筋コンクリートで異なる)。同様に詳細調査で明らかになったコアの圧縮強度試験結果を竣工年代ごとに整理してみると、平均的には、竣工年代によらずほぼ同程度の圧縮強度($20 \sim 30 \text{ N/mm}^2$)を有していることがわかる(表-6.2)。しかし、比較的古い構造物では、圧縮強度が特に高い(コンクリートの品質が高い)事例もみられる一方、圧縮強度が極端に低く設計基準強度を下回っていると考えられる事例も目立つ。

次に、コンクリートの中性化速度係数をみると、1965年以降の3つの年代では、中性化速度係数の分布はほぼ同じである。これに対し、1964年以前に竣工した構造物では中性化速度係数が小さい事例が多くなっている一方、古い構造物では中性化速度係数が特に大きな事例も目立つ(図-6.2)。

すなわち、コンクリートの品質については、新しい年代の構造物ほど一定の品質が確保されており、古い年代の構造物ではコンクリートの品質にばらつきがみられた。

(3) 竣工年代と構造物の状態

基本調査をもとに構造物の劣化度を判定した結果を図-6.3、図-6.4に示す。図から、構造物の竣工年代が古いほど、劣化した構造物の割合が大きくなっていることがわかる。また、同じく基本調査をもとにした構造物の竣工年と補修実施の有無の関係を図-6.5に示す。使用期間の長い構造物ほど何らかの補修が行われている割合が高いことがわかる。

なお、図-6.6に示すように、1986年のアルカリ骨材反応抑制対策以降の構造物には、アルカリ骨材反応による劣化が疑われる構造物は認められず、対策の効果が認められた(塩化物イオン濃度については、6.4節で検討する)。

(4) 検討結果

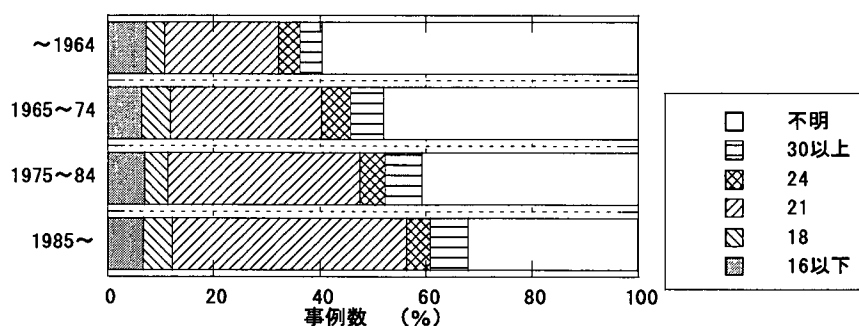
上記の結果をあわせて考えると、今回調査した範囲では、特定の年代でコンクリート構造物の品質が著しく劣っているといったことは考えにくい。すなわち、既存コンクリート構造物の品質については、

- ①竣工年代にかかわらずほぼ一定の水準にあり、建設から長時間を経るにつれほぼ比例して劣化の顕在化等の問題が生じてくる。

②竣工年代が新しい構造物ほどコンクリートの品質が安定していることや、各種の基準類にコンクリートの劣化に関する新たな知見が反映されていることから、劣化が生じる確率が低くなっている。の二つが考えられる。比較的新しい構造物に導入されている各種長寿命化対策の効果を明らかにするには、さらに時間をおいた再度の調査が必要と考えられる。

表－6.1 竣工年代によりコンクリートの品質等が異なる可能性がある項目

竣工年代によりコンクリートの品質等が異なる可能性がある項目	基準類における対応など
塩分の除去が不十分な海砂を使用した鉄筋コンクリート構造物で、塩害が生じている場合がある。	フレッシュコンクリートの塩化物イオン濃度を簡易に測定する技術が確立され（1984）、レディーミクストコンクリートに対して塩分総量規制が実施されるようになった（1986～）。
アルカリ骨材反応について十分に知られていなかった時期に建造されたコンクリート構造物で、アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化が生じている場合がある。	レディーミクストコンクリートに対してアルカリ骨材反応抑制対策が実施されるようになった（1986～）。
年代により床版の最小厚さが異なるが、床版の厚さが小さい構造物では、交通量の増大や車両の大型化に伴い、交通荷重によって橋梁の床版が劣化を生じている事例がある。	床版の最小全厚に関する設計法が変更された（1971など）。
ポンプ圧送による施工が一般的になってから作業時間を短縮するために現場でフレッシュコンクリートに水を加える行為（不法加水）が行われ、コンクリートの品質が損なわれている場合があるとの指摘がある。	国土交通省では、現場打ちのコンクリート構造物の一部で竣工時にテストハンマーを用いた（硬化コンクリートの）強度推定調査を実施している（2001～）
年々良質な骨材の確保が困難になり、単位水量が増大するなどのため、コンクリートの品質が悪くなっているという指摘がある。	混和剤（ＡＥ減水剤等）の開発も進んでおり、左記の影響については必ずしも明確ではない。骨材の品質については地域差が大きい。
近年セメントのブレン値が高くなり、昔のセメントと比較すると、長期にわたる水和反応では劣るとの指摘がある。	左記の影響については十分には明らかにされていない。



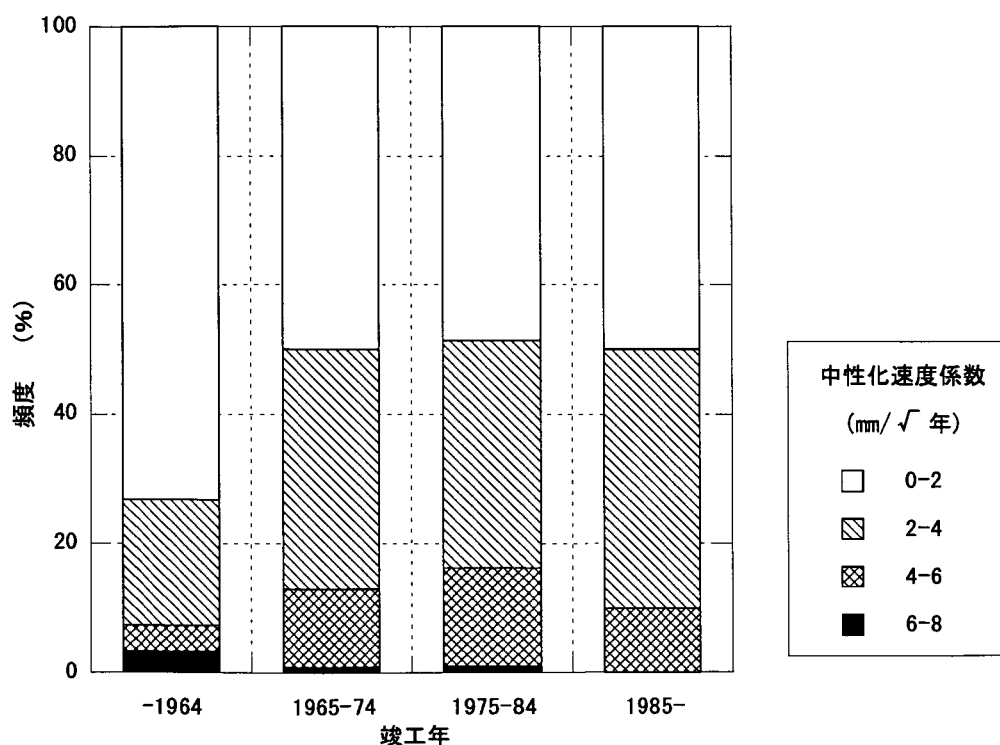
竣工年	設計基準強度							計
	16以下	18	21	24	30	40	50以上	
～1964	35	17	104	20	11	6	3	484
1965～74	35	30	154	30	13	15	6	544
1975～84	38	24	196	26	10	17	11	543
1985～	36	29	232	24	7	22	9	528
計	144	100	686	100	41	60	29	2099

図－6.1 竣工年代と設計基準強度の関係

表－6.2 竣工年とコア圧縮強度

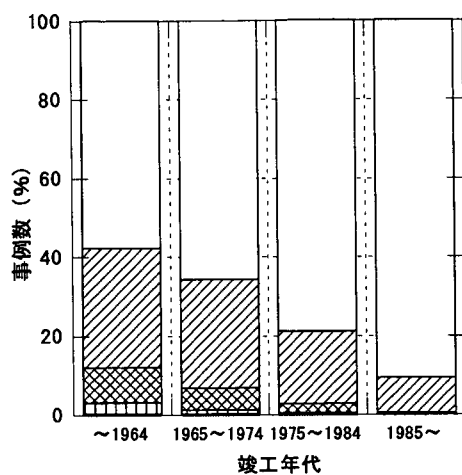
コアの強度 (N/mm ²)	竣工年				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
10 ≤ < 15	3	2	1	0	6
15 ≤ < 20	8	5	5	6	24
20 ≤ < 25	8	11	10	11	40
25 ≤ < 30	6	5	15	10	36
30 ≤ < 35	3	13	5	3	24
35 ≤ < 40	5	2	0	4	11
40 ≤ < 45	5	0	2	0	7
45 ≤ < 50	3	1	0	0	4
計	41	39	38	34	152

※ただし、コアの圧縮強度は、3本の平均とした。

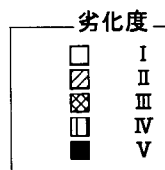


中性化速度係数	竣工年代				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
0 ≤ < 2	90	58	54	51	253
2 ≤ < 4	24	43	39	41	147
4 ≤ < 6	5	14	17	10	46
6 ≤ < 8	4	1	1	0	6
計	123	116	111	102	452

図－6.2 竣工年と中性化速度係数



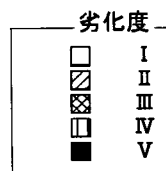
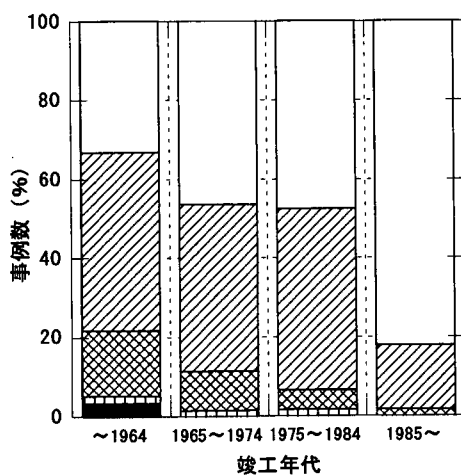
※同一の判定基準に基づく橋梁上部構造、橋梁下部構造、擁壁、カルバート、河川構造物の判定結果を集計した。



トンネル以外の構造物

年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
～1964	1	12	38	128	245	424
1965～1974	1	5	26	130	311	473
1975～1984	1	1	11	89	378	480
1985～	0	0	2	42	422	466
計	3	18	77	389	1356	1843

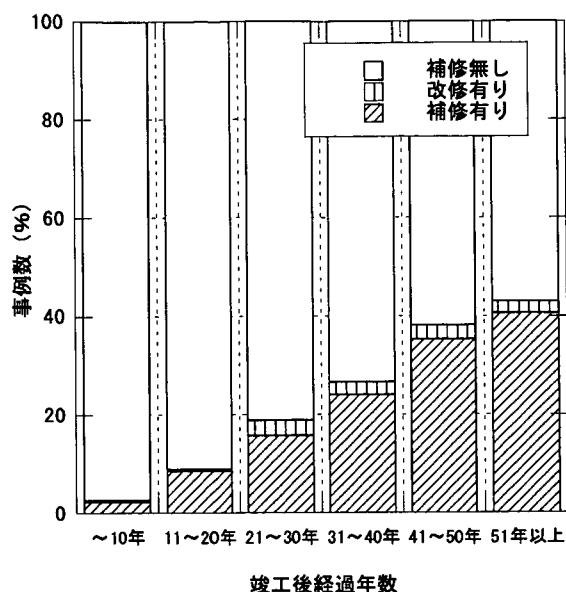
図－6.3 劣化度判定結果(トンネル以外の構造物)



トンネル

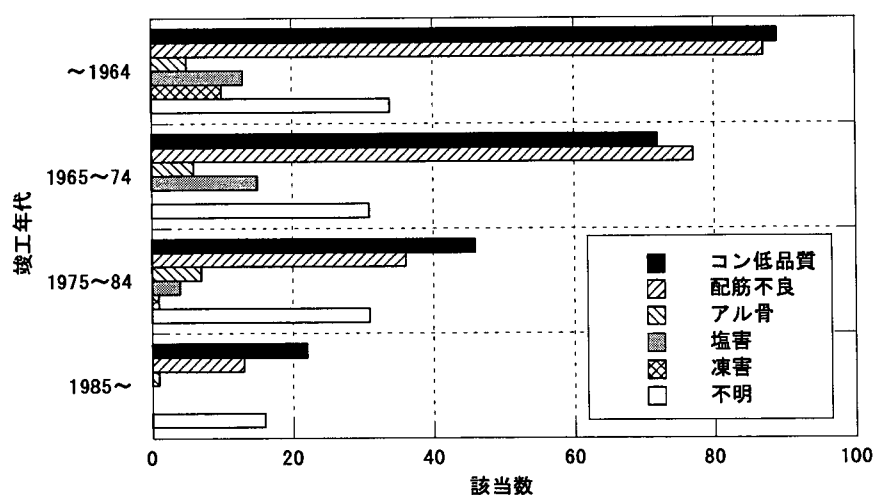
年代	劣化度					計
	V	IV	III	II	I	
～1964	2	1	10	27	20	60
1965～1974	0	1	7	30	33	71
1975～1984	0	1	3	29	30	63
1985～	0	0	1	10	51	62
計	2	3	21	96	134	256

図－6.4 劣化度判定結果(トンネル)



竣工後 経過年数	補修有り	改修有り	補修無し	計
～10	5	1	219	225
11～20	50	2	535	587
21～30	87	18	454	559
31～40	130	14	400	544
41～50	50	4	88	142
51～	17	1	24	42
計	339	40	1720	2099

図－6.5 構造物の竣工年と補修実施の有無



トンネル以外の構造物						
年代	コン低品質	配筋不良	アル骨	塩害	凍害	不明
～1964	89	87	5	13	10	34
1965～74	72	77	6	15	0	31
1975～84	46	36	7	4	1	31
1985～	22	13	1	0	0	16
計	229	213	19	32	11	112

図－6.6 劣化要因の推定結果(トンネル以外の構造物)

6.3 書類調査による劣化度判定の妥当性について

(1) 検討の目的

本報に記した劣化度判定結果は、基本調査として実施され収集された構造物の概要に関するデータおよび目視調査結果(写真・ひび割れ図等)の情報をもとに各構造物の劣化度を推測し判定したものである。しかし、調査票に添付された写真等の資料の量は非常に限られたものであり、情報の不足から構造物の劣化度を適切に評価することが困難であったことも事実である。

例えば、鋼材が連続的に露出して・腐食している箇所があれば、かぶり厚さが確保されていないことは明確である。しかし、写真でコンクリート表面に色むらがあったり、表面に微細なひび割れが生じているなどした場合でも、コンクリートの強度や中性化などの進行速さなどに影響があるかどうかは、確認することはできない。

そこで、施工時に表面の詳細調査を実施した構造物のコンクリート品質に関するデータを分析し、外観からコンクリートの品質の良否を判定することの妥当性について検討した。具体的には、①劣化事例として挙げられた構造物群と健全事例として挙げられた構造物群を比較した。また、②劣化度Ⅳ～Ⅱと判定された構造物群と劣化度Ⅰと判定された構造物群を比較した。さらに、劣化度Ⅳ～Ⅱの構造物のうち、劣化要因として「コンクリート低品質」(や「配筋不良」)が挙げられている構造物群とそうでないものを比較した。

なお、詳細調査の対象構造物を選定するにあたっては、調査期間が限られていたこともあり、コア採取作業の容易さについても十分に留意する必要があった。また、竣工年代についてもほぼ均等になるように留意したが、比較的新しい構造物では劣化を生じている事例の数が少なかった。このような理由から、劣化事例として選択した構造物の全てに明確な劣化が生じているものではない(表-6.3)。また、詳細調査の対象となった構造物の劣化要因の傾向は、基本調査が行われた構造物全体とほぼ同様なものとなっている(表-6.4)。

(2) 劣化度判定結果とコンクリートの品質

劣化度の判定結果とコアの圧縮強度、圧縮強度比の関係を表-6.5、表-6.6に示す。表からは、調査票に基づき劣化していると判定された事例や劣化要因として「コンクリート低品質」が挙げられた構造物群とそうでない構造物群との差異は認められない。同様に、劣化度の判定結果と中性化深さ係数についても関係は認められなかった(表-6.7)。

一方、中性化残りが少ない(20mm以下の場合など)構造物は、そのほとんどが劣化度Ⅱ以上の構造物と判定されていた(表-6.8)。かぶり厚さが小さい構造物は、部分的に鋼材が露出している箇所があるなどして、劣化箇所の存在が写真等からも明らかになるためと考えられる。

すなわち、調査票の記載事項や写真による劣化度判定では、コンクリートそのものの品質を推し量ることは困難であり、構造物の耐久等を評価するためには、コア等の試料を採取して行う調査か、これにかわる非破壊検査手法が必要であることが確認された。

表－6.3 詳細調査の調査数(劣化度別)

劣化度	健全事例				健全事例 小計	劣化事例				劣化事例 小計	計
	橋梁 下部構造	擁壁	カル バート	河川 構造物		橋梁 下部構造	擁壁	カル バート	河川 構造物		
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0	2	1	0	0	3	3
III	0	0	0	0	0	4	2	4	1	11	11
II	1	0	4	2	7	9	2	15	11	37	44
I	22	11	20	13	66	12	8	5	3	28	94
計	23	11	24	15	73	27	13	24	15	79	152

※劣化度については、表－2.5を参照

表－6.4 詳細調査箇所での劣化要因

劣化要因	該当数	
	健全事例	劣化事例
コン低品質	2	24
配筋不良	2	16
アル骨	0	2
塩害	0	2
凍害	0	3
不明	3	12

※劣化要因についての詳細は、表－2.6を参照

表－6.5 劣化度の判定結果とコンクリートの品質(圧縮強度)

コアの強度 (N/mm ²)	事例の種類		劣化度		コン低品質		事例数 (全体)
	損傷事例	健全事例	IV～II	I	該当	非該当	
10 ≤ <15	3	3	1	5	0	6	6
15 ≤ <20	10	14	6	18	3	21	24
20 ≤ <25	26	14	20	20	8	32	40
25 ≤ <30	15	21	8	28	4	32	36
30 ≤ <35	13	11	14	10	6	18	24
35 ≤ <40	5	6	1	10	0	11	11
40 ≤ <45	5	2	5	2	3	4	7
45 ≤ <50	2	2	3	1	0	4	4
計	79	73	58	94	24	128	152

※ただし、コアの圧縮強度は、3本の平均とした。

表－6.6 劣化度の判定結果とコンクリートの品質(圧縮強度比)

圧縮強度比	事例の種類		劣化度		コン低品質		事例数 (全体)
	損傷事例	健全事例	Ⅳ～Ⅱ	Ⅰ	該当	非該当	
0.9未満	2	4	3	3	1	5	6
0.9～1.0	1	2	2	1	1	2	3
1.0以上	38	33	27	44	12	59	71
不明	38	34	26	46	10	62	72
計	79	73	58	94	24	128	152

※(圧縮強度比)＝(コアの圧縮強度)／(構造物の設計基準強度)

※ただし、コアの圧縮強度は、3本の平均とした。

表－6.7 劣化度の判定結果とコンクリートの品質(中性化速度係数)

中性化速度係数 (mm/√year)	事例の種類		劣化度		コン低品質		事例数 (全体)
	損傷事例	健全事例	Ⅳ～Ⅱ	Ⅰ	該当	非該当	
0 ≤ <1	103	74	84	93	47	130	177
1 ≤ <2	35	41	21	55	10	66	76
2 ≤ <3	43	35	26	52	14	64	78
3 ≤ <4	35	34	25	44	4	65	69
4 ≤ <5	14	17	9	22	2	29	31
5 ≤ <6	5	10	7	8	1	14	15
6 ≤ <7	0	5	1	4	0	5	5
7 ≤ <8	1	0	0	1	0	1	1
計	236	216	173	279	78	374	452

表－6.8 劣化度の判定結果と中性化残り

中性化残り (mm)	事例の種類		劣化度		配筋不良		事例数 (全体)
	損傷事例	健全事例	Ⅳ～Ⅱ	Ⅰ	該当	非該当	
≤10	6	1	6	1	6	1	7
10< ≤20	8	5	11	2	7	6	13
20< ≤30	15	6	16	5	6	15	21
30< ≤40	10	17	13	14	4	23	27
40< ≤50	13	19	12	20	6	26	32
50<	136	125	94	167	18	243	261
無筋	48	43	21	70	6	85	91
計	236	216	173	279	53	399	452

※(中性化残り)＝(かぶり厚さ)－(中性化深さ)

6.4 塩化物イオンの見掛けの拡散係数と初期塩分量について

(1) 検討の目的

本節では、①実構造物の硬化コンクリート中で塩化物イオンが拡散する際の速度を明らかにすることと、②塩分を大量に含む材料を使用したために、建設当初から硬化コンクリート中に多量の塩物を含んでいたと考えられる既存構造物の量を推定することを目的として、塩化物イオン濃度の分布から、コンクリート中に含まれる塩化物イオンの見掛けの拡散係数や塩化物イオンの由来について検討した。

塩化物イオンの拡散係数は、海からの飛来塩分の影響を受ける地域など外部からの塩化物イオンの侵入がある構造物で、塩化物イオン濃度の将来予測を行い、構造物の塩害に対する耐久性を評価する上で重要な指標となる。一方、1986年に塩分総量規制等が実施される以前に建設された構造物で、洗浄が十分でない海砂や塩化物を多く含むタイプの混和剤が使用されるなどして、建設当初からコンクリート中に多量の塩化物イオンを含んでいる構造物では将来的に塩害による鉄筋の腐食が生じる可能性があるため、維持管理においてそのことを考慮する必要がある。

(2) コンクリート中の塩化物イオンに対する拡散係数の算出

海からの飛来塩分や凍結防止剤の散布等によりコンクリート表面から塩化物イオンが侵入する場合の塩化物イオン濃度の分布は、式-6.1により表せると考えられている¹⁴⁾。

$$C(x, t) = C_o \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right) + C_i \quad (6.1)$$

ただし、 $C(x, t)$: 表面からの深さ x (cm) の時刻 t (s) における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

C_o : コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

C_i : コンクリート材料に当初から含まれていたと考えられる塩化物イオンの濃度 (kg/m^3)

D : コンクリート中での塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm^2/s)

$\operatorname{erf}()$: 誤差関数

したがって、コア試料から測定した塩化物イオン濃度(表面から2 cmごとに深さ10 cmまで、5試料)の分布が式-6.1の曲線で表される場合には、コンクリート表面からの塩化物イオンの(一方向からの)侵入があると考えられる。そこで、 C_o 、 C_i 、 D を変化させた曲線と塩化物イオン濃度の測定結果を比較して、実構造物におけるコンクリート中での塩化物イオンの見掛けの拡散係数やコンクリート中に当初から含まれていたと考えられる塩化物イオンの濃度(以下、初期塩分量)を推定した。

推定の方法は、次による¹⁵⁾。

①測定データ5点をみて C_i を適当に推定(仮定)した。

②5点の塩化物イオン濃度測定結果のうち任意の2点を通る曲線(式-6.1に基づくもの)を引いた。通過する2点の組合わせを変えて複数の曲線を引いた。

③5点の測定結果と比較的よく合致している曲線を選択し、その曲線で用いられている C_o 、 D を採用した。また、このとき仮定しておいた C_i を採用した。

④③で測定結果とよく合致している曲線が得られない場合には、①の C_i の推定値を変更して曲線を引き直した。やり直しても測定結果と近似している曲線が得られない場合や、塩化物イオン濃度が全体的に低く、均一な場合には、その事例での塩化物イオン濃度の分布は式-6.1では表せず、拡散係数は算出できないものと判断した。なお、事例の取捨選択に当たっては構造物の周辺環境(外部から塩化物イオンが供給される環境にあるかどうか)も考慮した。

今回調査を行った152の構造物のうち、塩化物イオンの分布が式-6.1にほぼ従っていると考えられ、拡散係数や初期塩分量を算出することができた事例は58件*あった。これらの事例については、塩化物イオン濃度の分布形状に基づき、次の4つのグループに分類した。

group A：5つの測定点のほとんど全てが式-6.1で示される曲線上にある事例(23例)。

group B：表面に最も近い測定点では塩化物イオン量がやや少なく、深さ2～4 cmでの測定結果とほぼ同じであるが、他の4点のほとんどは式-6.1で示される曲線上にある事例(7例)。

group C：表面に最も近い測定点では塩化物イオン量が明らかに少なく、深さ2～4 cmでの測定結果より少なくなっているが、他の4点のほとんどは式-6.1で示される曲線上にある事例(23例)。

group D：表面に近い2点の測定点(深さ0～2 cm, 2～4 cm)では塩化物イオン量がやや少ないが、他の3点は式-6.1で示される曲線上にある事例(5例)。

個々の事例における塩化物イオン濃度の分布と式-6.1による近似曲線を図-6.8～図-6.14に示す(なお、表記について図-6.7で説明した)。また、塩化物イオン濃度の分布が式-6.1では表せず、塩化物イオンの侵入が考えにくい、影響が小さいと考えられる場合についても、参考までに塩化物イオン濃度の分布を示した(図-6.15～図-6.22)。

(3) 見掛けの拡散係数の算出結果

見掛けの拡散係数(D)の算出結果を図-6.23に示す。また、拡散係数と圧縮強度を比較した結果を図-6.24に示す。算出された見掛けの拡散係数は構造物によって大きく異なっていた。また、相関関係は必ずしも明確ではないが、圧縮強度が高くなるにつれて見掛けの拡散係数は小さくなる傾向が認められる。

構造物の竣工年代に着目すると、竣工年が1964年以前の古い事例では、他の年代の事例と比較して(圧縮強度が同程度の場合)見掛けの拡散係数が小さく算出される傾向がみられた(図-6.24)。しかし、1965年以降の構造物については、竣工年代による違いはみられなかった。また、塩化物イオン濃度の分布の形状に着目した整理すると、塩化物イオン濃度の分布の形状が整ったgroup Aに分類される事例は、group B～Dに分類される事例と比較すると、見掛けの拡散係数が小さいものが多いようにもみられる。しかし、圧縮強度が比較的高い事例のほとんどがgroup Aに分類されていることもあり、塩化物イオンの見掛けの拡散係数と塩化物イオン濃度の分布形状の関係は明確ではない(図-6.25)。

なお、土木学会のコンクリート標準示方書〔施工編〕¹⁶⁾¹⁷⁾では、見掛けの拡散係数を予測する式が例示されている。例えば水セメント比55%(圧縮強度28MPa程度)のコンクリートであったとすると、見掛けの拡散係数は以下のように予測される。

- ・普通セメント使用： $6.0 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ (2002年制定)， $9.3 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ (平成11年版)
- ・高炉セメント使用： $2.3 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ (2002年制定)， $3.7 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ (平成11年版)

今回調査した構造物のセメント種類は不明であるが、調査結果から推定した見掛けの拡散係数は大部分がこれらの値よりも小さいものとなっていた。

(4) コンクリート表面における塩化物イオン濃度の算出結果

式-6.1から推定されるコンクリート表面における塩化物イオン濃度(C_o)は、外部から塩化物イオンが供給される構造物において、その外来塩分の供給量の目安となる(実構造物における表面の塩化物イオン濃度は、降雨等の影響を受けるので必ずしも一定ではない)。構造物の外部から供給される塩分の由来については、海からの飛来や凍結防止剤の散布などいくつか考えられるが、今回の調査では構造物の種類やその周辺環境、コア採取位置の局所的な環境等が多岐にわたることから、これらを分離して検討することは容易ではない。そこで、構造物の周辺環境を表す指標として、構造物所在地の海岸線からの距離と構造物周辺での凍結防止剤の年間使用日数に着目して整理した。

コンクリート表面での塩化物イオン濃度(C_o)の算出結果と海岸線からの距離、凍結防止剤の使用の関係を図-6.26に示す。データ数が少なく、ばらつきも大きい、海岸線からの距離が大きくなるにつれて C_o の値が小さくなる傾向がみられる。その一方、海岸線からの距離が1 km以上離れていても、 C_o の値が比較的大きい構造物もみられた。例えば、海岸線からの距離が約3 km、および約20 km程度の位置で、 C_o が 10kg/m^3 を超える構造物もあったが、それぞれ海からの塩分の遡上が考えられる河川構造物と、冬季に凍結防止剤の散布が行われる可能性のある構造物(山間部)であり、海岸線からの距離のみでは外来塩分の量が推定できない構造物であった。

海岸線からの距離が1 km以下の構造物については、道路橋示方書¹⁸⁾における地域区分ごとに整理したが、構造物の所在位置の地域区分と C_o との関係は明確ではなかった(図-6.27)。同様に凍結防止剤の使用日数と C_o の関係も明確ではなかった(図-6.28)。先にも述べたように、調査した構造物の種類やコア採取位置の局所的な環境等が多岐にわたるためと考えられる。

(5) 初期塩分量に関する検討

コンクリートの材料(海砂、混和剤等)に含まれていたと考えられる塩分量(初期塩分量)については、次の方法で調べた。

- ①見掛けの拡散係数(D)、コンクリート表面における塩化物イオン濃度(C_o)の算出の際に、 C_i として算出した(58件)。
- ②コンクリート表面から内部までにわたって塩化物イオン濃度がほぼ同量(変動係数で20%以下)で、飛来塩分の影響が少ないと考えられる構造物について、塩化物イオン濃度の平均が初期塩分量であると判断した。同様にコンクリート表面のみ塩化物イオン濃度が高い(または低い)事例についても、残りの4点で塩化物イオン濃度がほぼ同量であれば、4点の平均を初期塩分量であると判断した(41件**)。

この結果、99件の構造物について、初期塩分量を算出することができた。

初期塩分量の推定結果を構造物の竣工年との関係で整理し図-6.29に示す。初期塩分量が多い事例は、1960～80年ごろに集中している。その後、「生コン中の簡易塩分量測定器」の技術評価(1984)がなされ、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートに塩分総量規制が盛り込まれた1986年以降の事例では、初期塩分量の高いものがほとんど認められず、総量規制の効果が認められた(1987年竣工の事例に、初期塩分量が約

0.9kg/m³と多いものが1件だけみられた)。

一方、1985年以前の構造物では、初期塩分量が0.6kg/m³以上と判断された構造物が19件あり、それらの地理的な分布は次のようになっている。

近畿，中国，九州	各4件
沖縄	3件
四国	2件
北海道，関東	各1件

これらの分布をみると瀬戸内海周辺や沖縄県など、コンクリートの細骨材として海砂が使用されている割合が高い地域に集中しており、初期塩分量が多いと推定された事例には、海砂に含まれる塩分の除去が十分でなかった事例が比較的多いものと考えられる。

(6) 検討結果

塩化物イオン濃度の分布から塩化物イオンの見掛けの拡散係数や初期塩分量等について検討した結果、以下の結果が得られた。

- ・ 152件の構造物のうち、外部からの塩化物イオンの侵入があるとして塩化物イオンの見掛けの拡散係数やコンクリート表面での塩分量、初期塩分量を算出できた事例は58件あった。他にも、初期塩分量を推定できた事例が41件あった。
- ・ 塩化物イオンの見掛けの拡散係数の算出結果はばらつきが大きいものの、コアの圧縮強度が高いほど見掛けの拡散係数が小さいことが確認された。算出された見掛けの拡散係数は、土木学会の標準示方書で示されている値よりやや小さいものが多かった。
- ・ 1986年以降の構造物では初期塩分量の高いものがほとんど認められず、コンクリートの塩化物総量規制の効果が認められた。
- ・ コンクリートの塩化物総量規制が実施される以前の構造物では、初期塩分量が0.6kg/m³以上であったと推定される事例が19件みられた。

【見掛けの拡散係数、初期塩分量等の推定に関する補足】

- * これまでに投稿した論文(古賀ほか：「平成11年度実態調査結果に基づく実構造物中のコンクリート品質に関する検討」，セメント・コンクリート論文集，No. 55，pp. 599-606，2002. 2)の執筆時には，Co，Ci，Dが推定できないと判断していたB1005，E1029，G1026の3事例について，今回再度検討した結果，式-6.1によりCo，Ci，Dが推定できるものと変更した。この結果，該当事例が55件から58件と増加した。
- ** これまでに投稿した論文(前掲)の執筆時には初期塩分量の算出ができないものとして除外していた，B2022，C3007，C3013，C3028，C3037，D2014，D3004，D3008，F3017，F3021，F3049，G3028，H4006，H4022，J4003，J4046，K1008の17事例を追加した。初期塩分量が算出できるとしていたG1017，G3018の2事例を除外した。

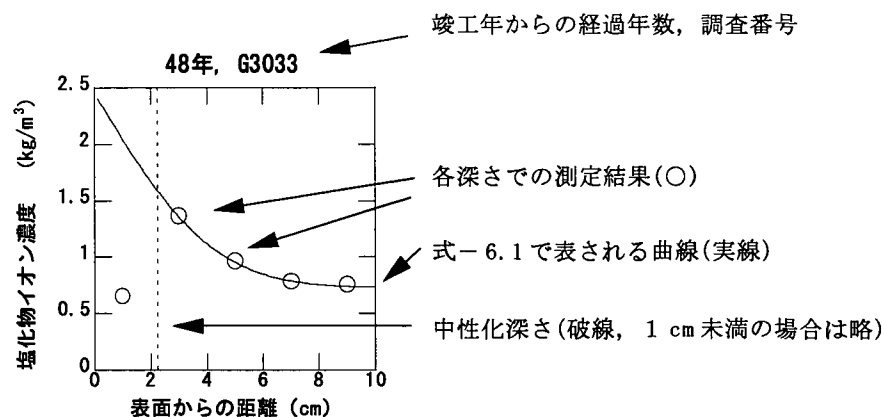


図-6.7 塩化物イオン濃度の分布(一例)

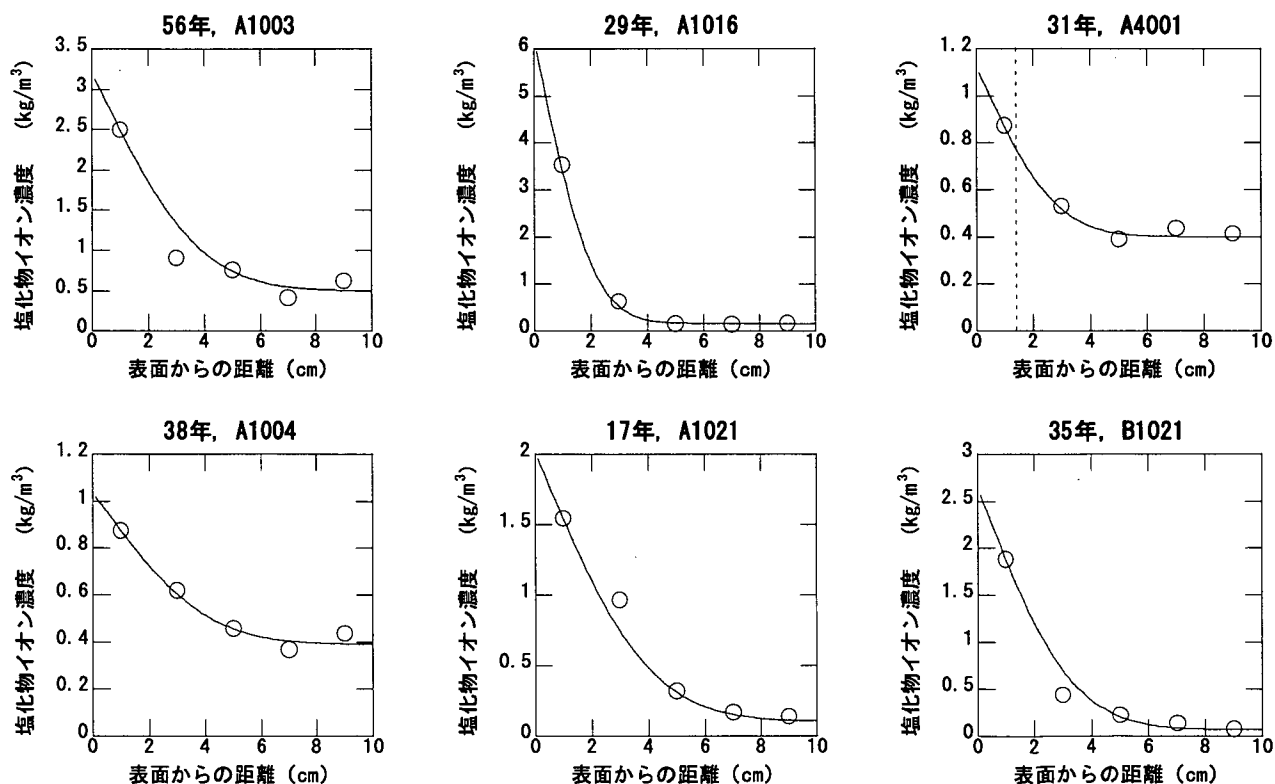


図-6.8 塩化物イオン濃度の分布(group A, 1/3)

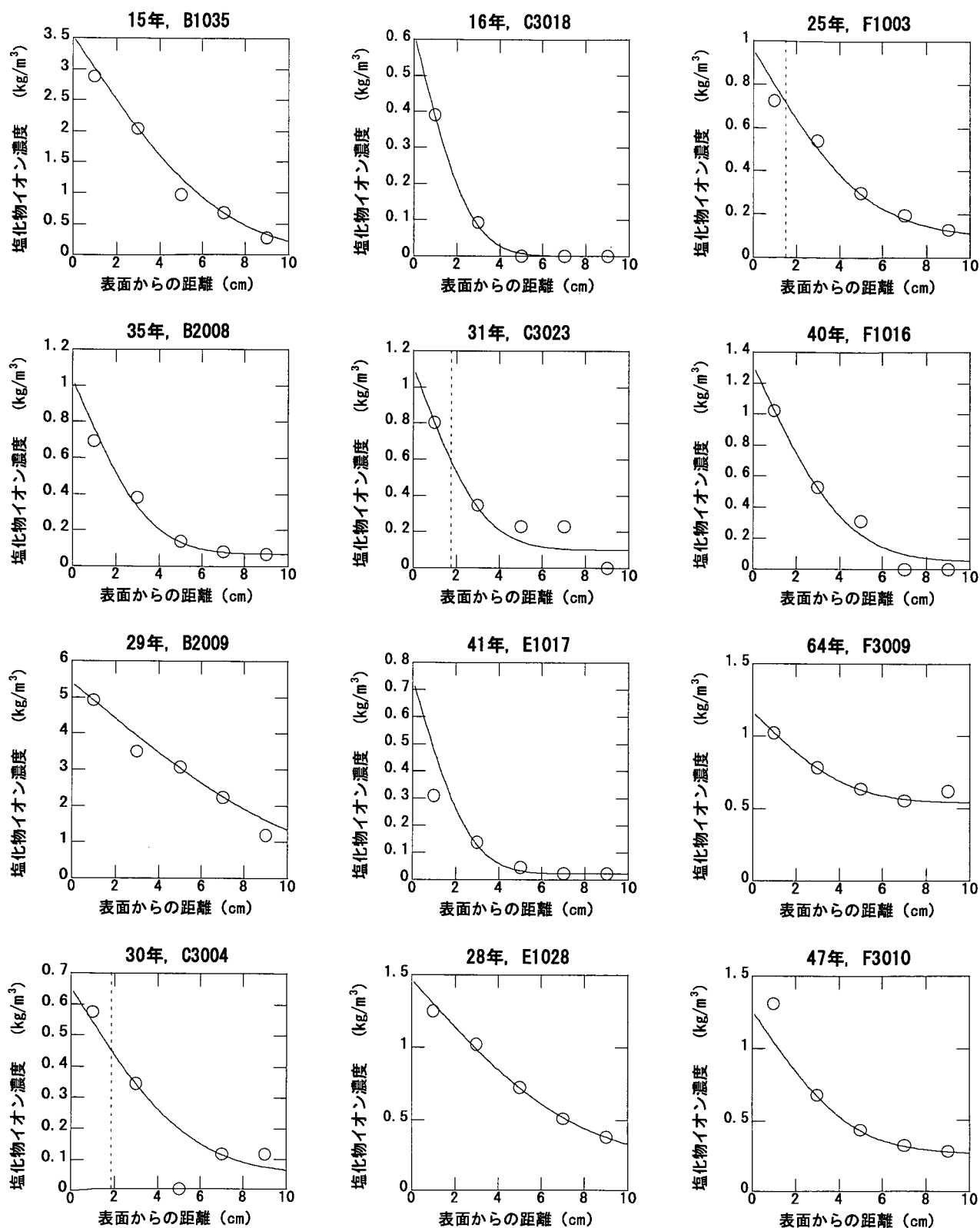


図-6.9 塩化物イオン濃度の分布(group A, 2/3)

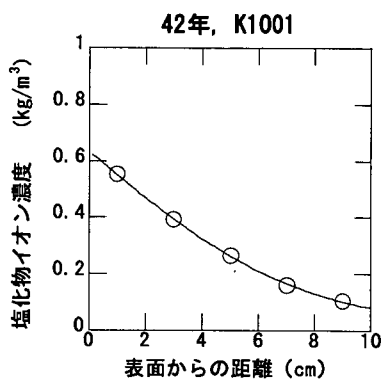
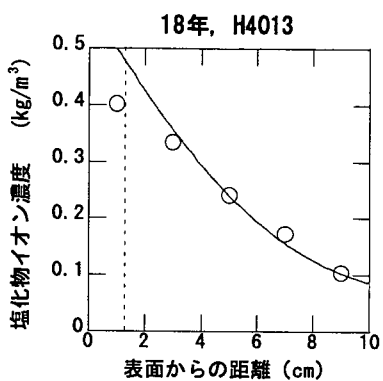
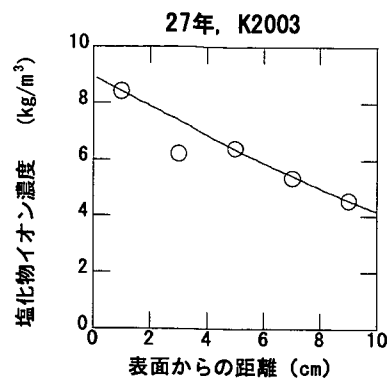
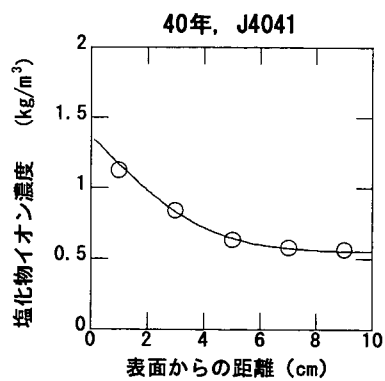
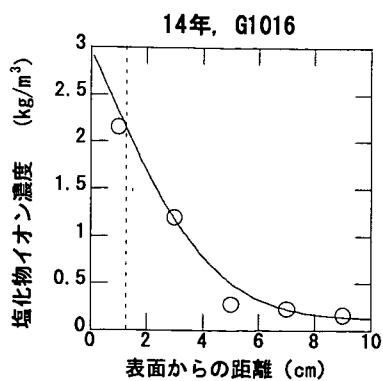


図-6.10 塩化物イオン濃度の分布(group A, 3/3)

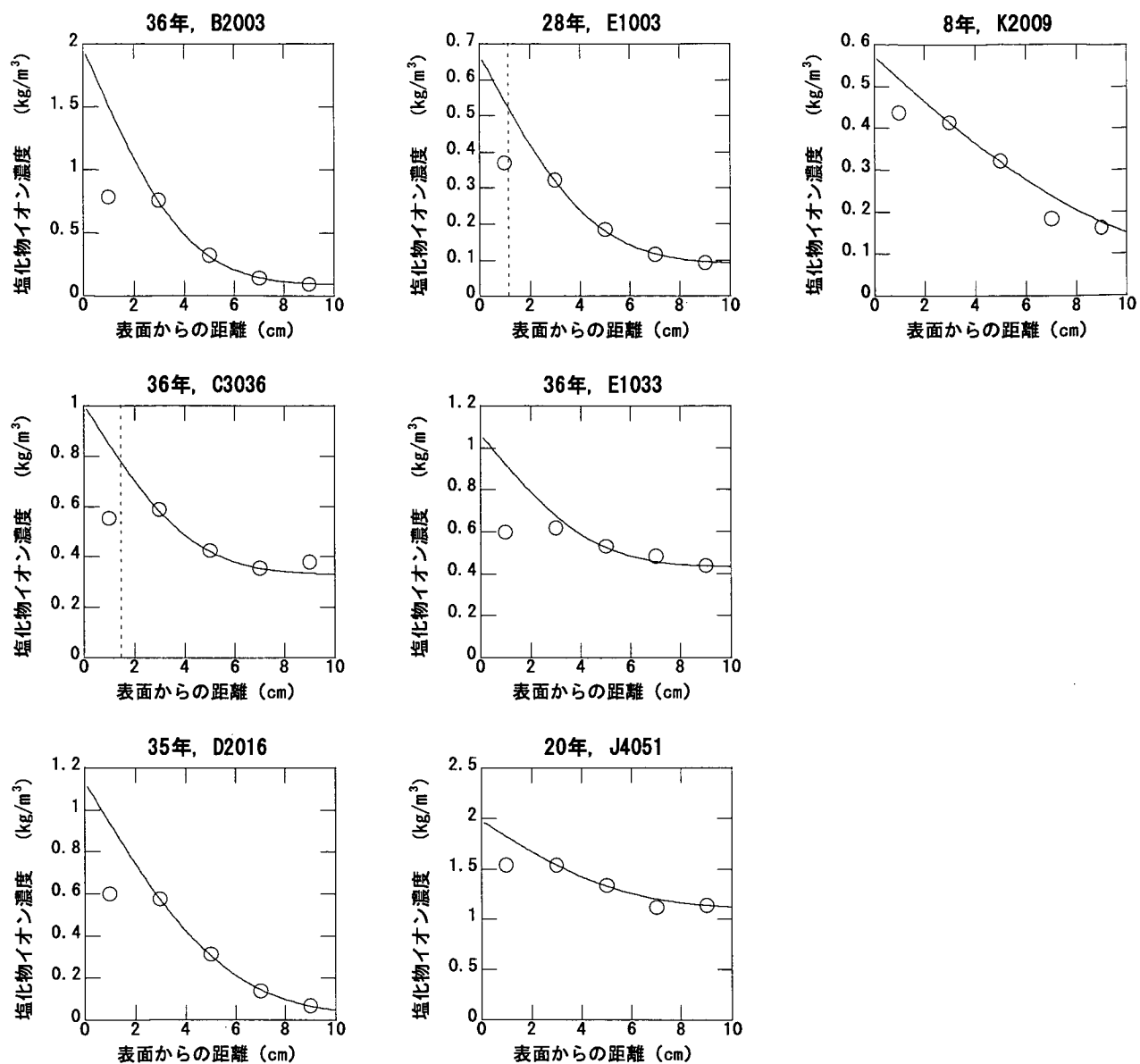


図- 6.11 塩化物イオン濃度の分布 (group B)

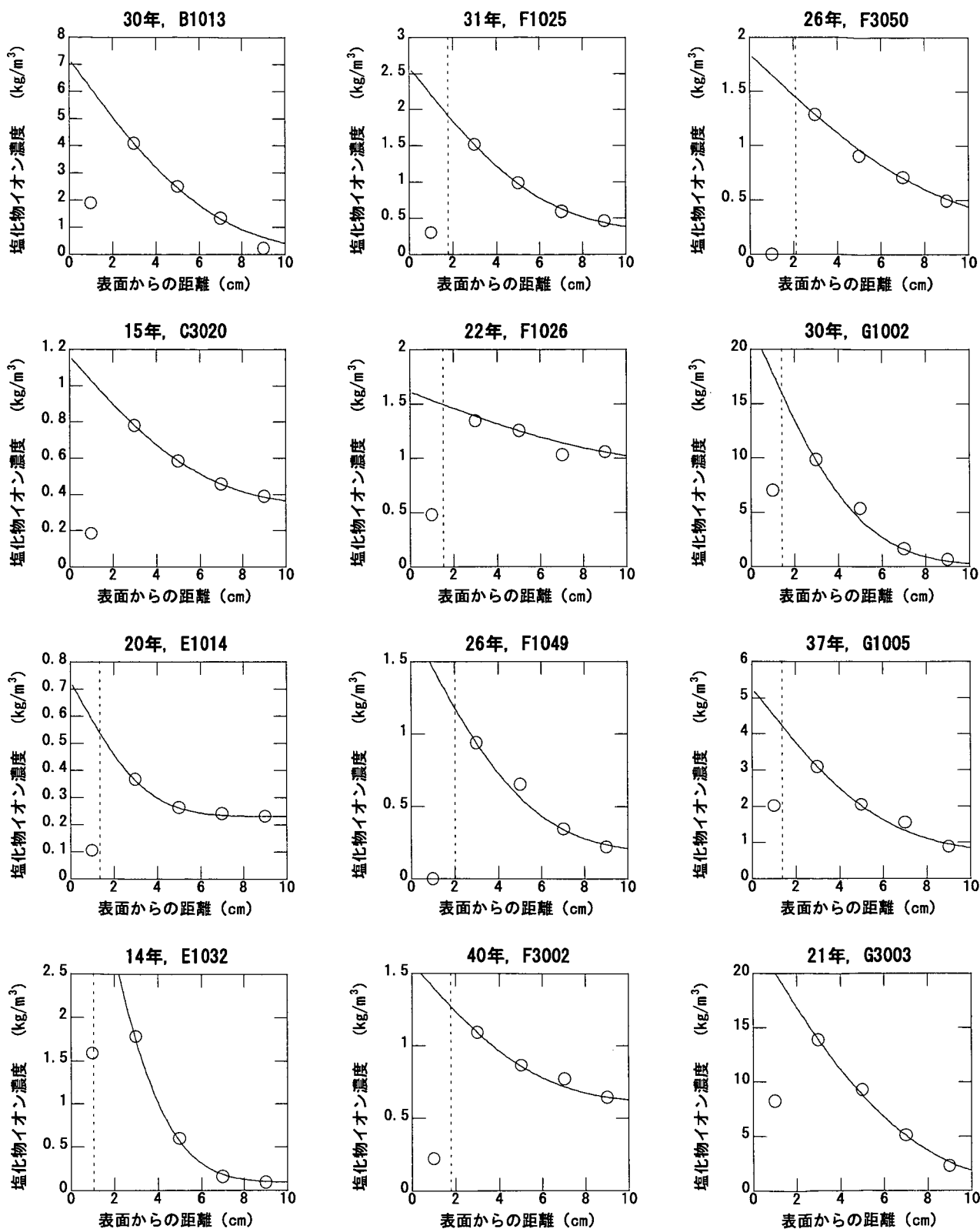


図-6.12 塩化物イオン濃度の分布(group C, 1/2)

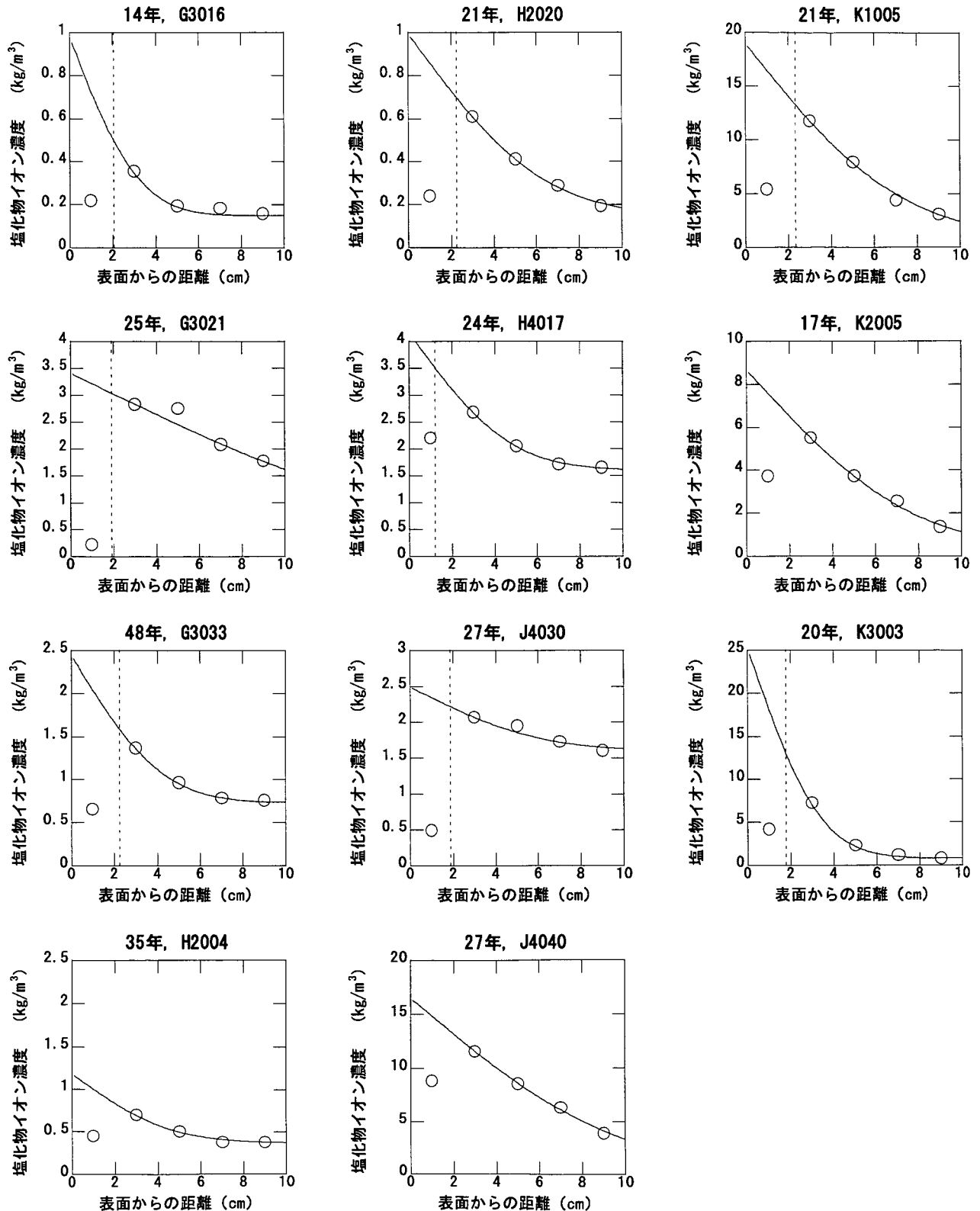
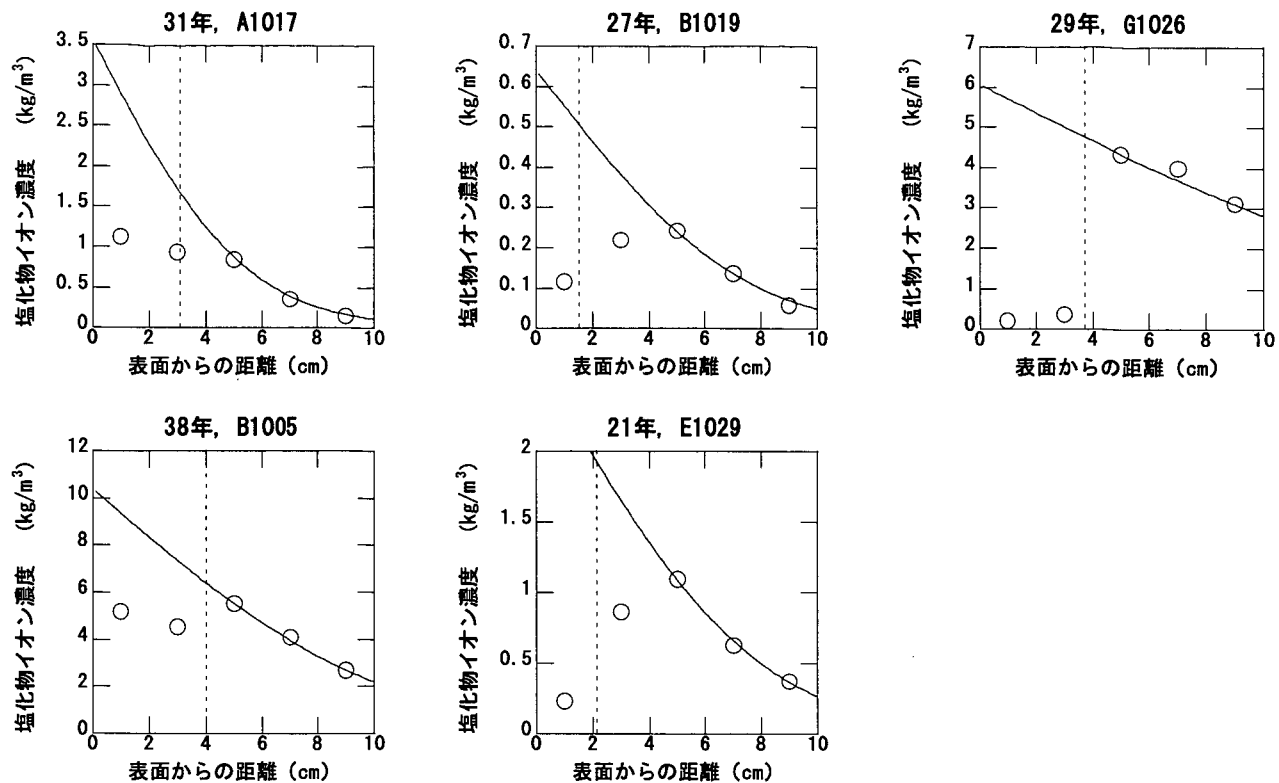


図-6.13 塩化物イオン濃度の分布 (group C, 2/2)



図－6.14 塩化物イオン濃度の分布(group D)

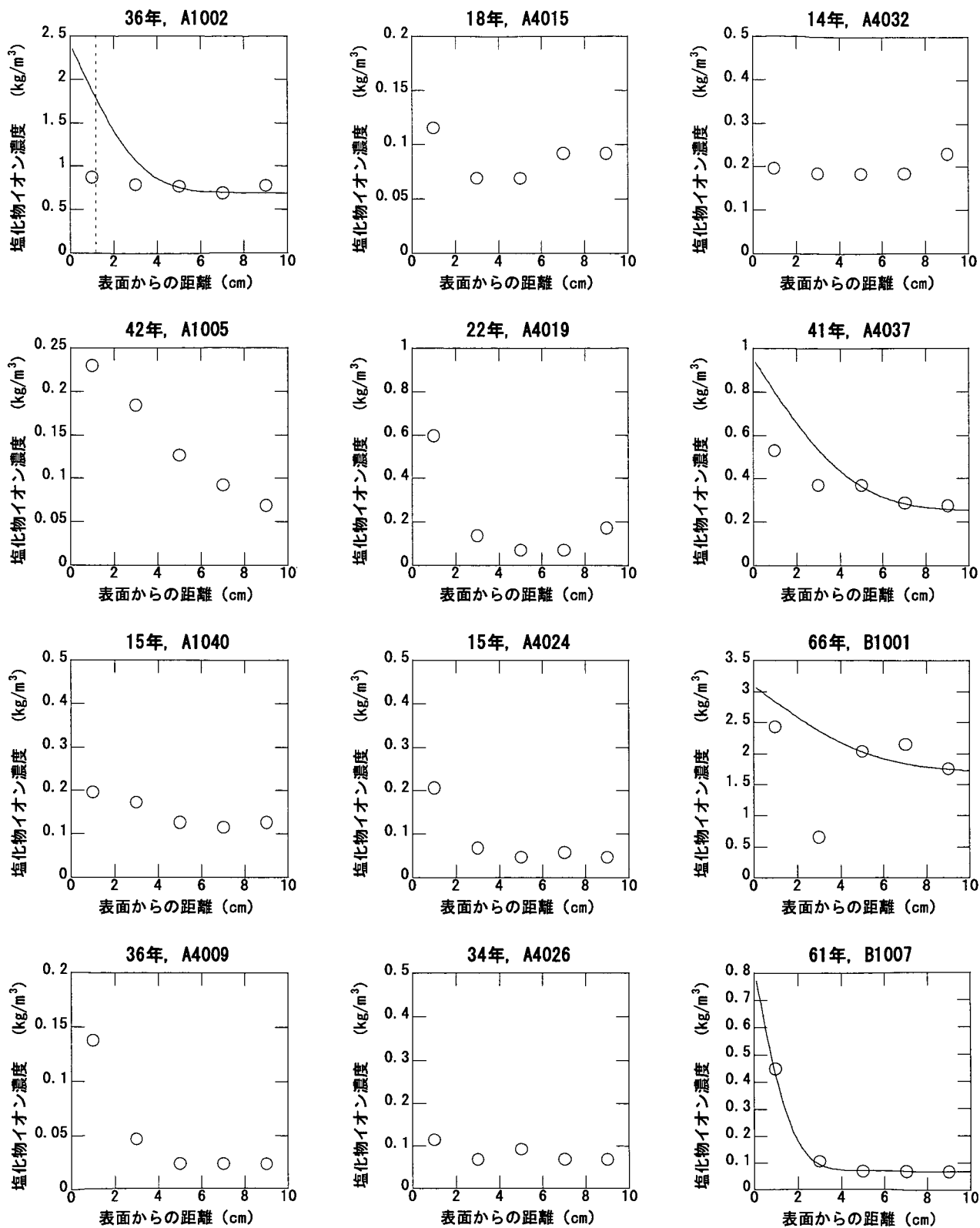


図-6.15 塩化物イオン濃度の分布(式-6.1では十分には説明できない事例, 1/8)

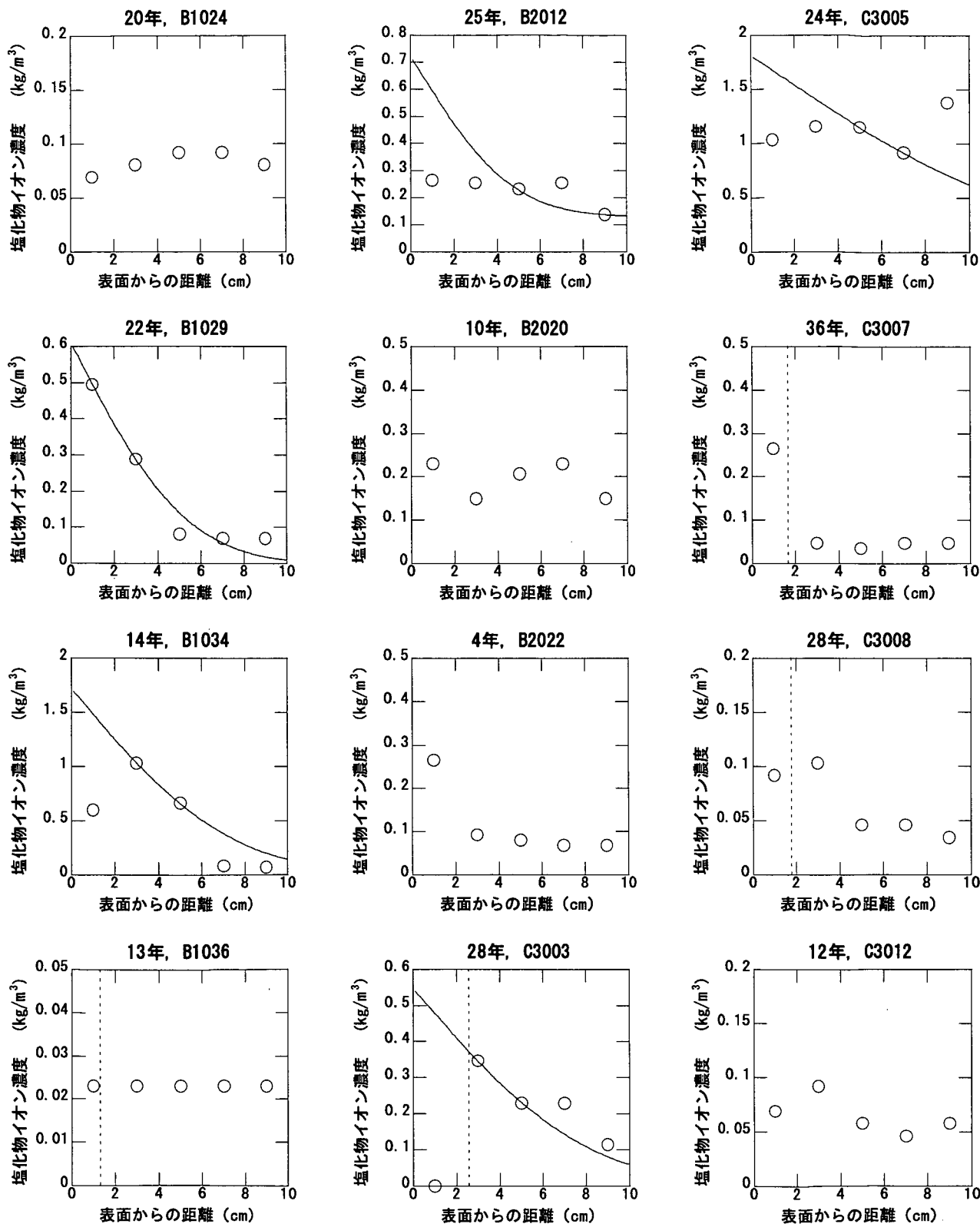


図-6.16 塩化物イオン濃度の分布(式-6.1では十分には説明できない事例, 2/8)

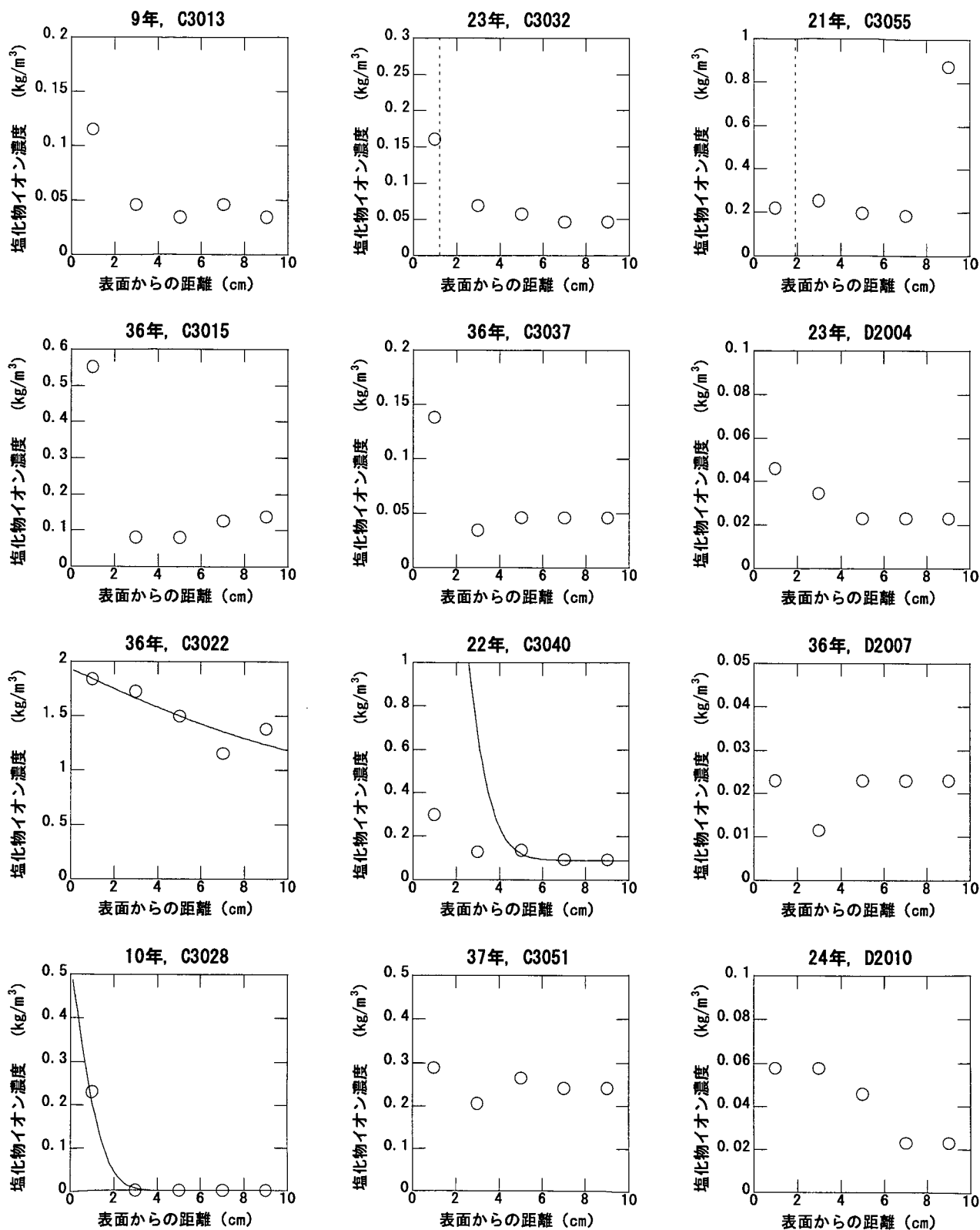


図-6.17 塩化物イオン濃度の分布(式-6.1では十分には説明できない事例, 3/8)

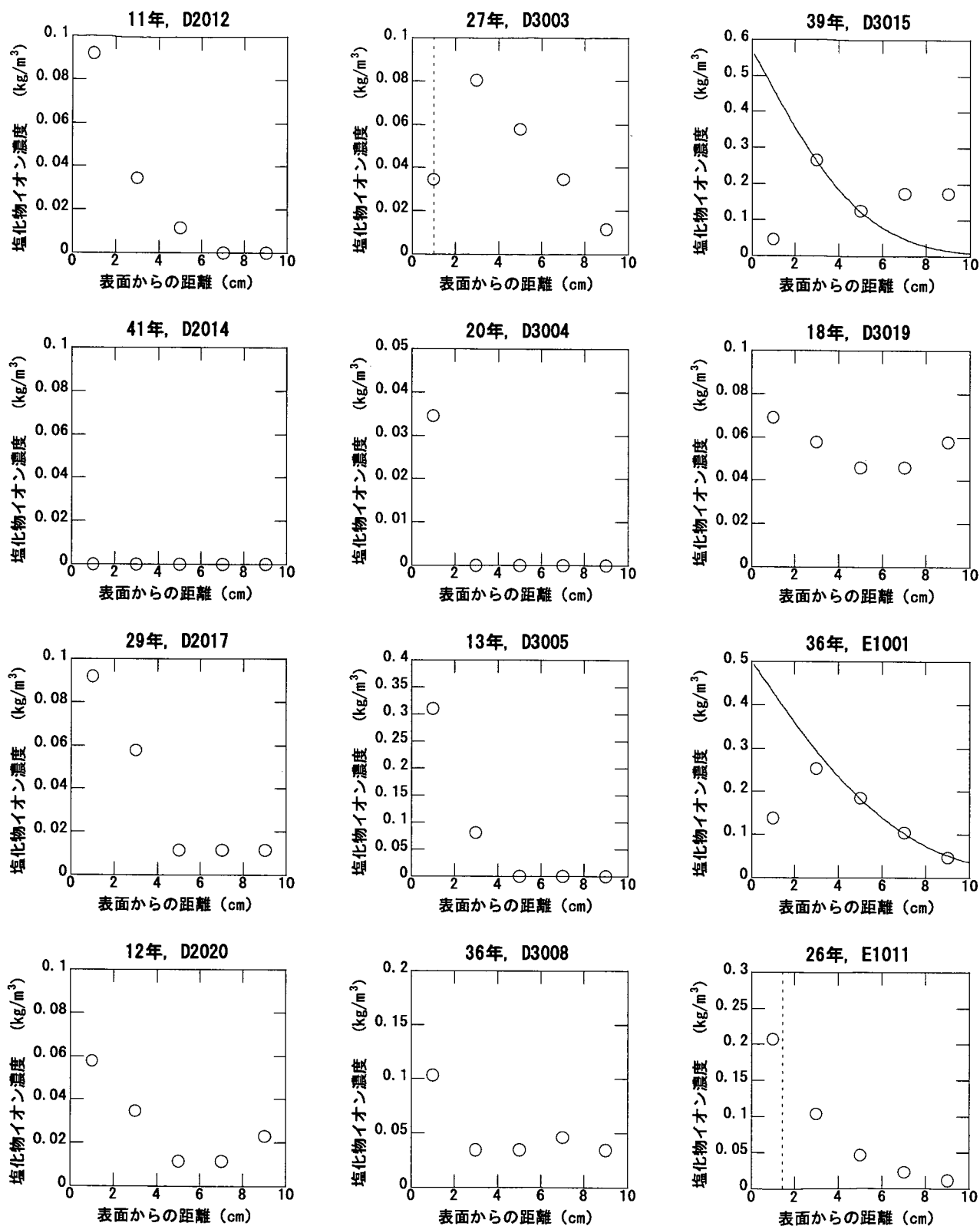


図-6.18 塩化物イオン濃度の分布(式-6.1では十分には説明できない事例, 4/8)

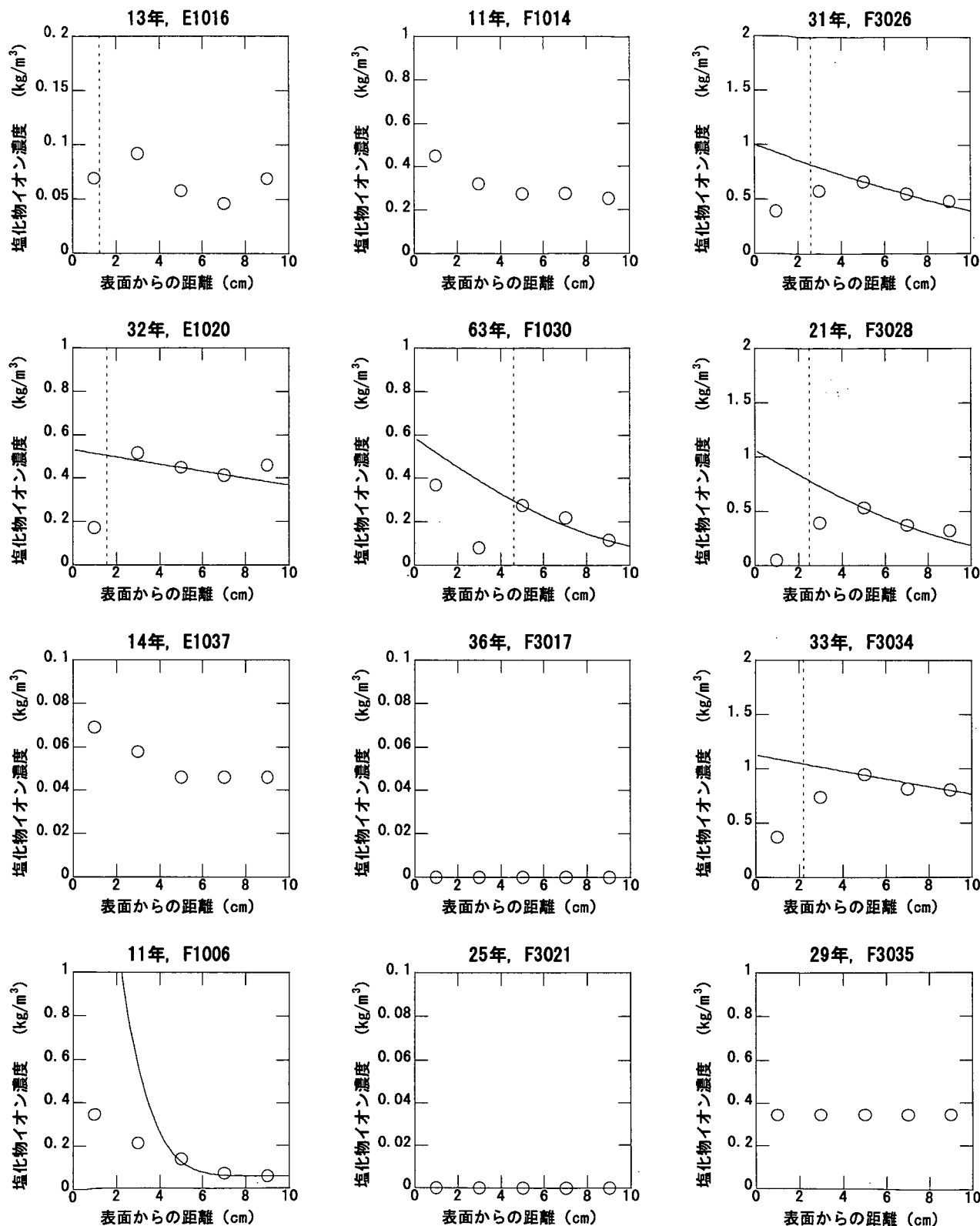


図-6.19 塩化物イオン濃度の分布(式-6.1では十分には説明できない事例, 5/8)

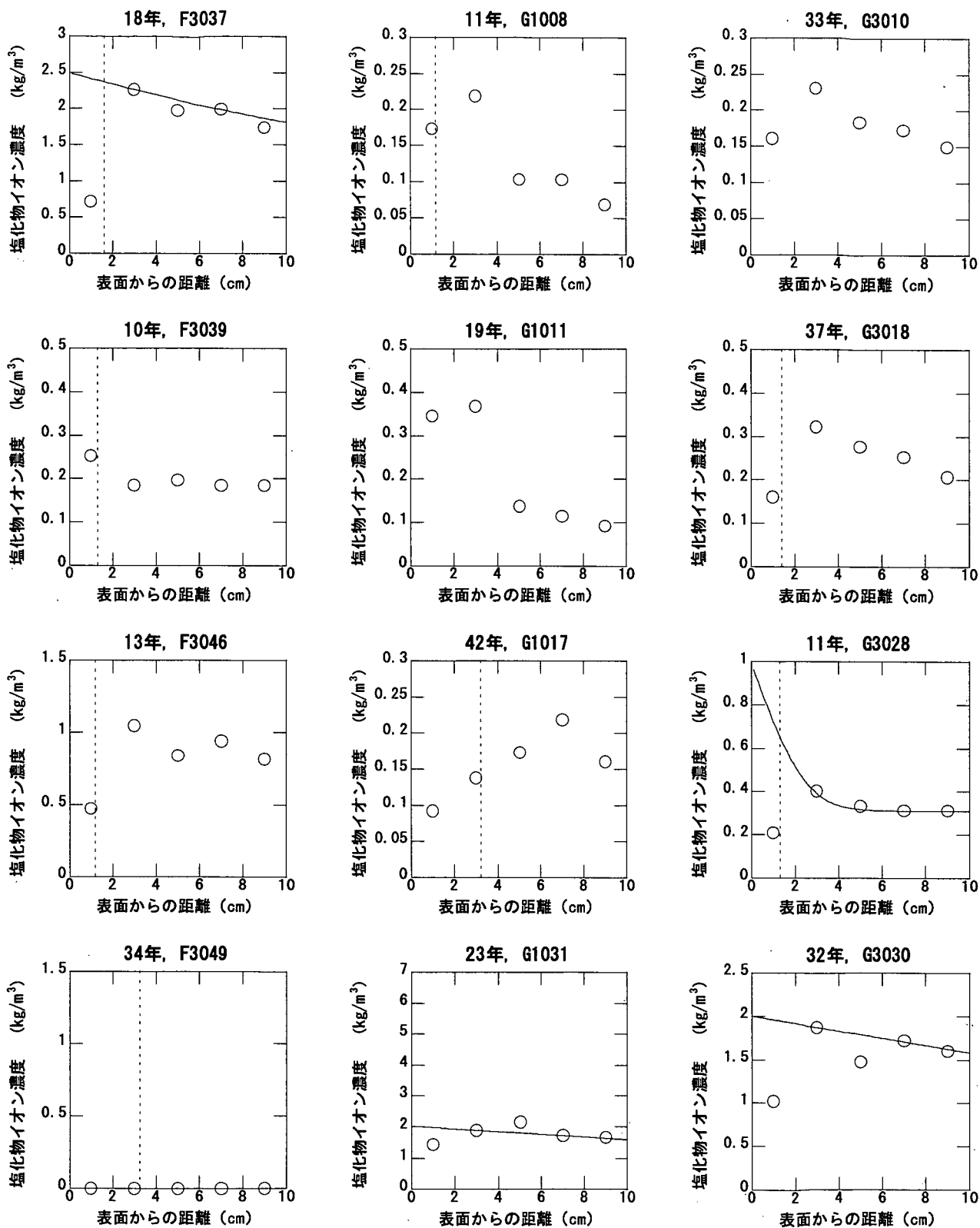


図-6.20 塩化物イオン濃度の分布(式-6.1では十分には説明できない事例, 6/8)

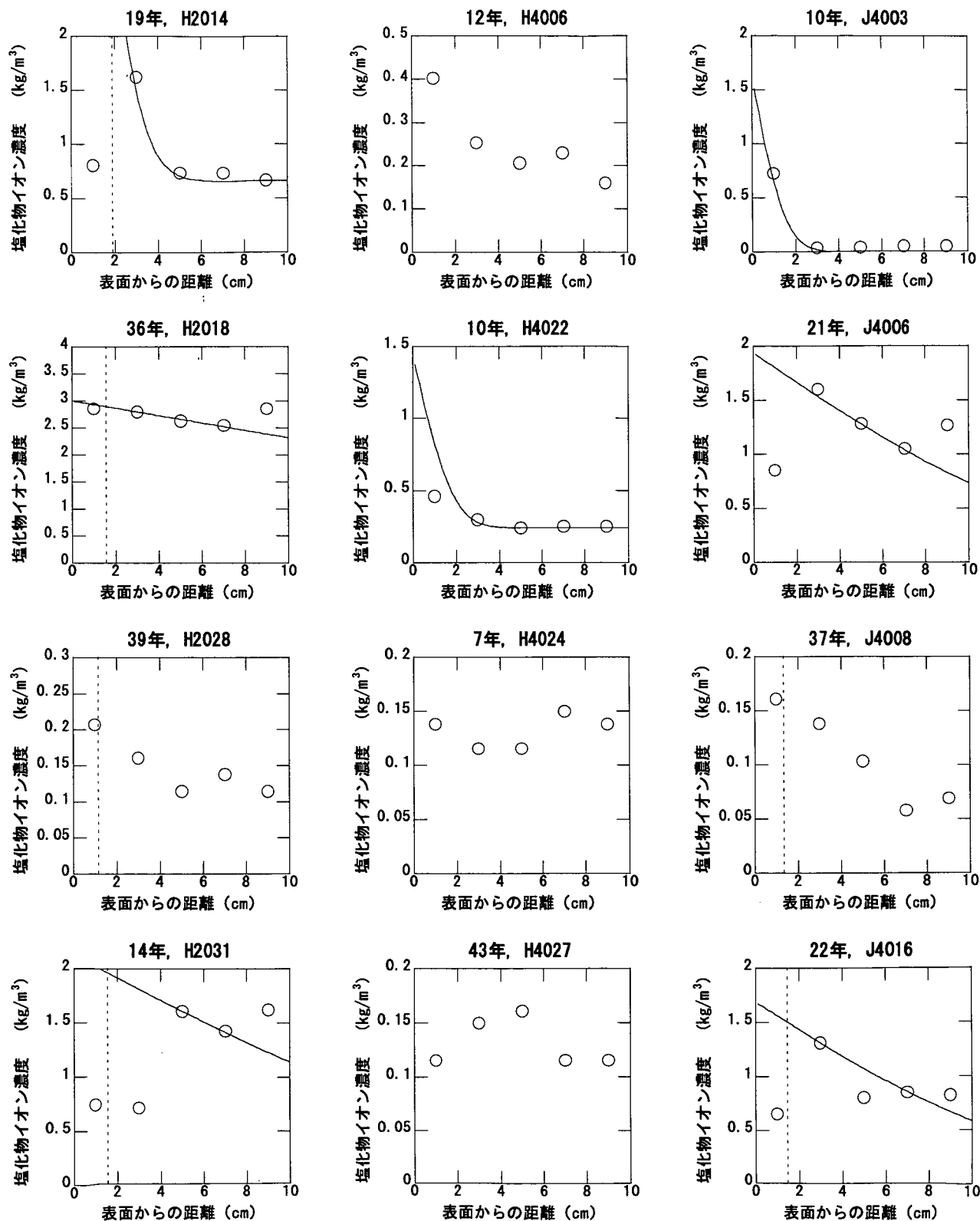


図-6.21 塩化物イオン濃度の分布(式-6.1では十分には説明できない事例, 7/8)

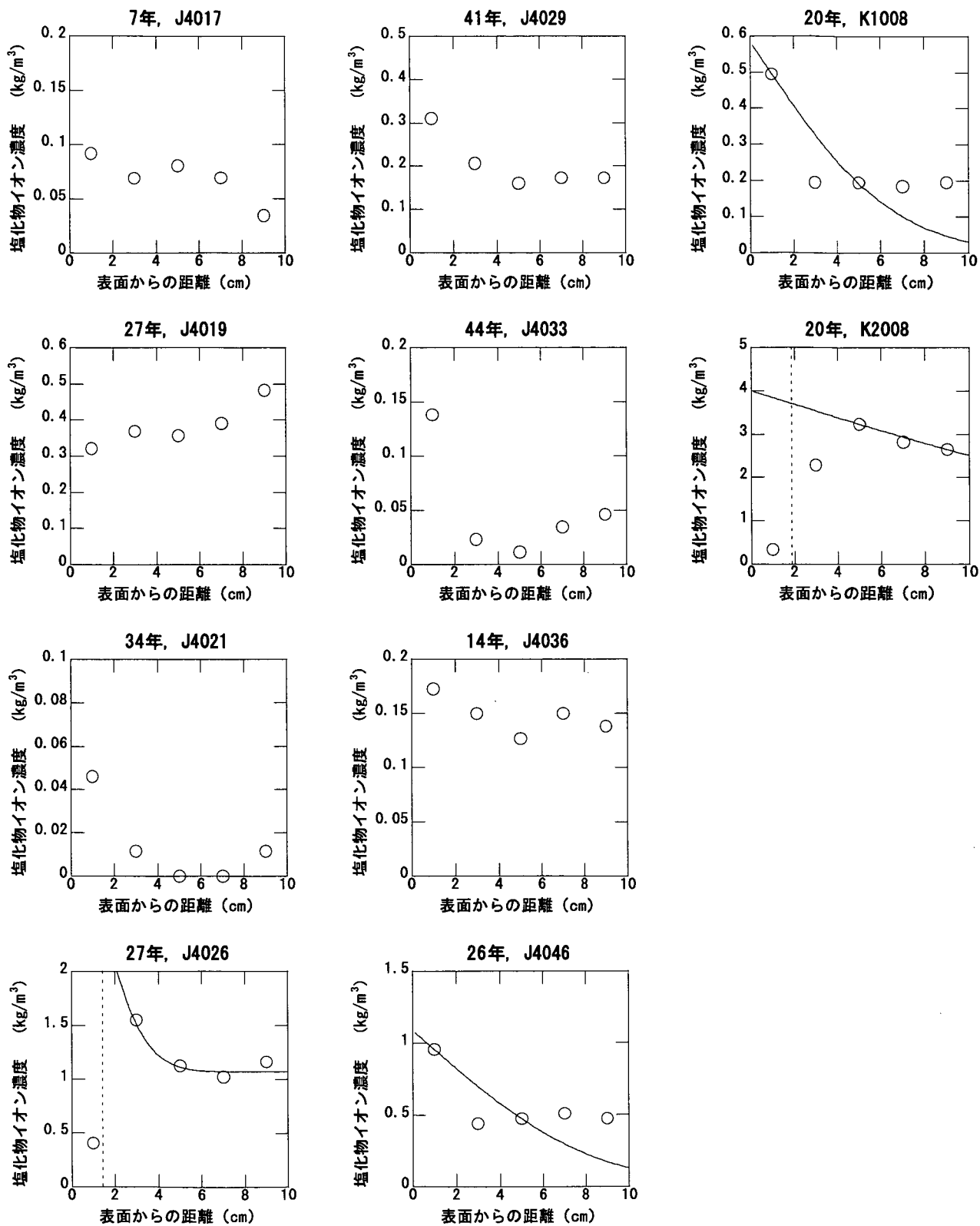
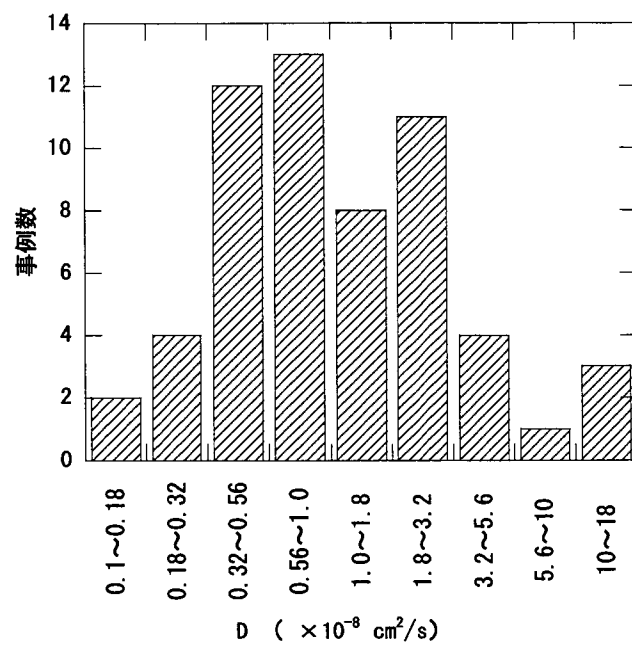
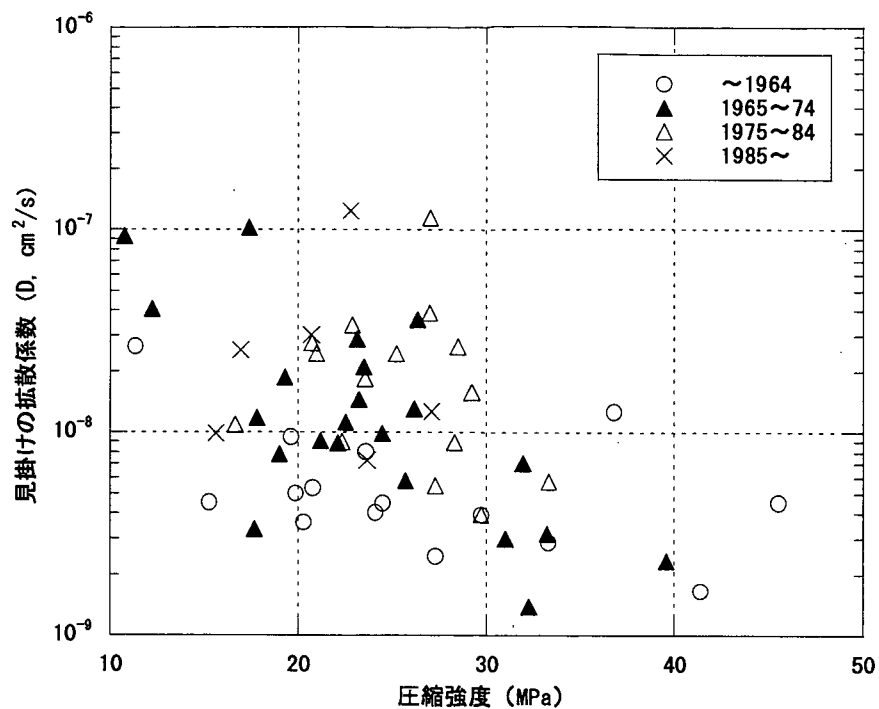


図-6.22 塩化物イオン濃度の分布(式-6.1では十分には説明できない事例, 8/8)

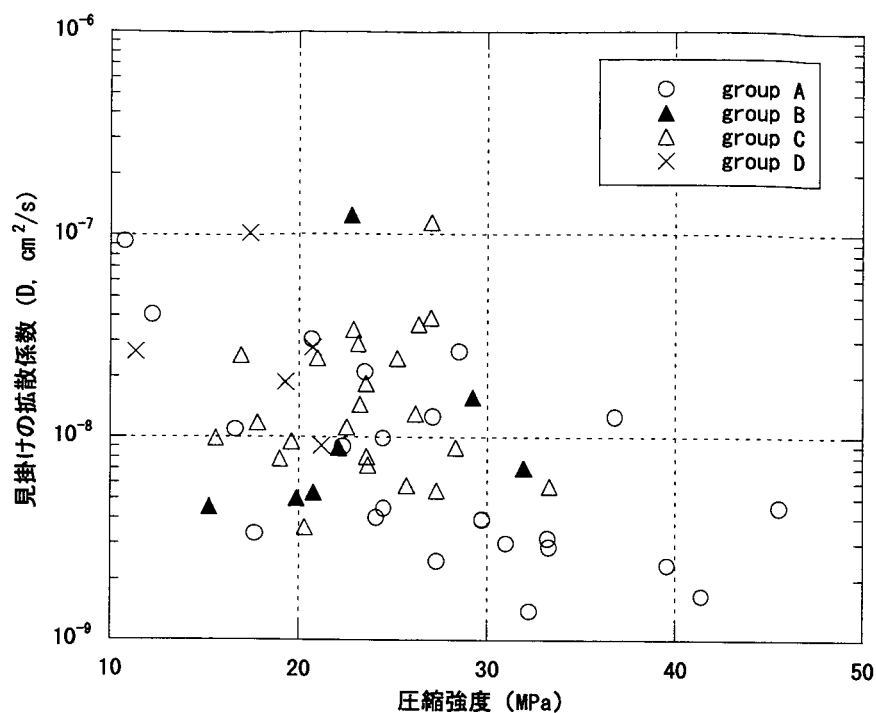


図－6.23 塩化物イオンの見掛けの拡散係数



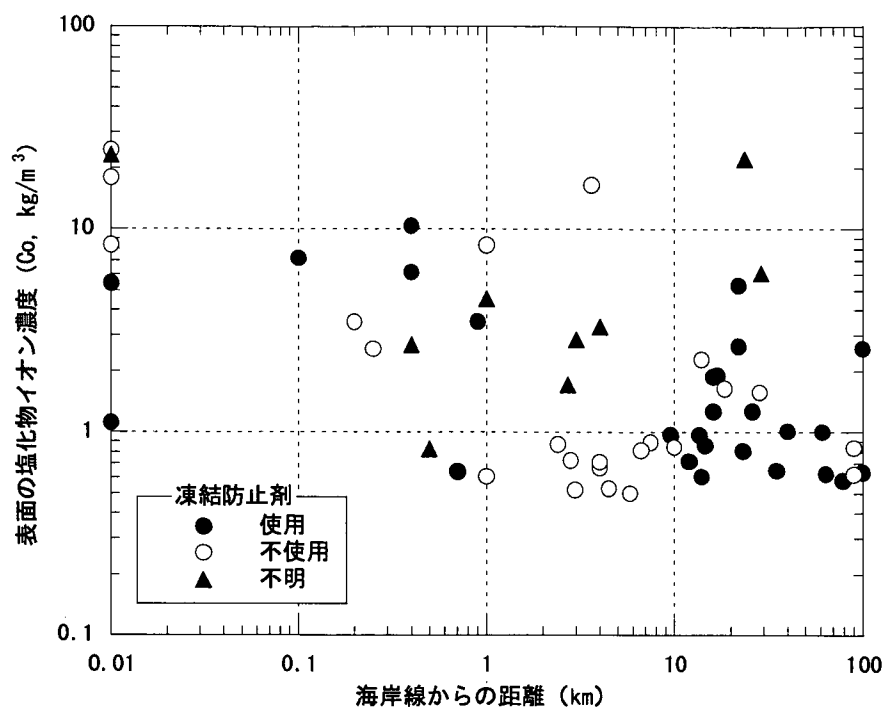
見掛けの拡散係数 ($D, \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$)	竣工年				計
	～1964	1965～74	1975～84	1985～	
0.10 ～ 0.18	1	1	0	0	2
0.18 ～ 0.32	3	1	0	0	4
0.32 ～ 0.56	9	1	2	0	12
0.56 ～ 1.0	4	4	3	2	13
1.0 ～ 1.8	1	5	1	1	8
1.8 ～ 3.2	1	3	5	2	11
3.2 ～ 5.6	0	2	2	0	4
5.6 ～ 10	0	1	0	0	1
10 ～ 18	0	2	0	1	3
計	19	20	13	6	58

図－6.24 塩化物イオンの見掛けの拡散係数とコアの圧縮強度の関係(年代別)



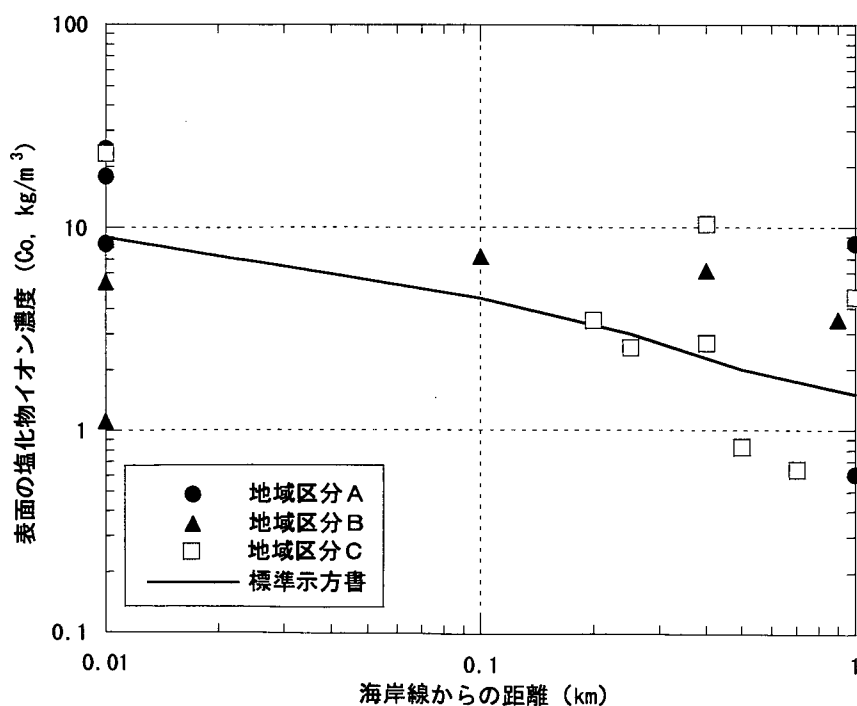
見掛けの拡散係数 ($D, \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$)	分布形状ごとの該当数				計
	group A	group B	group C	group D	
0.10 ~ 0.18	2	0	0	0	2
0.18 ~ 0.32	4	0	0	0	4
0.32 ~ 0.56	7	3	2	0	12
0.56 ~ 1.0	2	2	8	1	13
1.0 ~ 1.8	3	1	4	0	8
1.8 ~ 3.2	3	0	5	3	11
3.2 ~ 5.6	1	0	3	0	4
5.6 ~ 10	1	0	0	0	1
10 ~ 18	0	1	1	1	3
計	23	7	23	5	58

図－6.25 塩化物イオンの見掛けの拡散係数とコアの圧縮強度の関係(濃度分布の形状別)

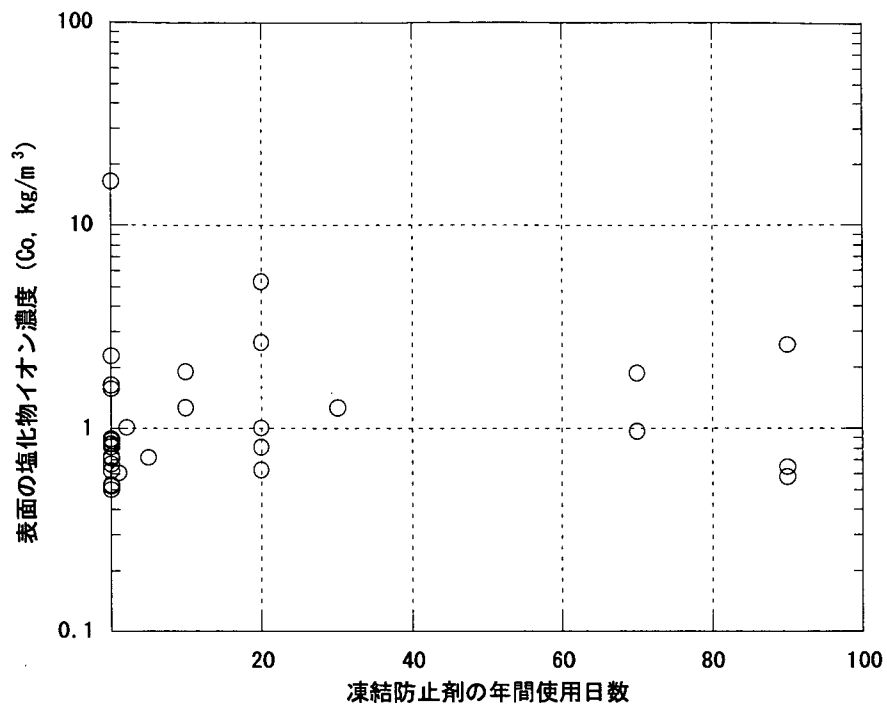


※便宜上, 海上及び海岸線に位置する構造物を海岸線からの距離0.01kmとして取り扱った。
また, 海岸線からの距離が100kmを超える事例については, 海岸線からの距離100kmとして取り扱った。

図－6.26 海岸線からの距離と表面の塩化物イオン濃度の関係

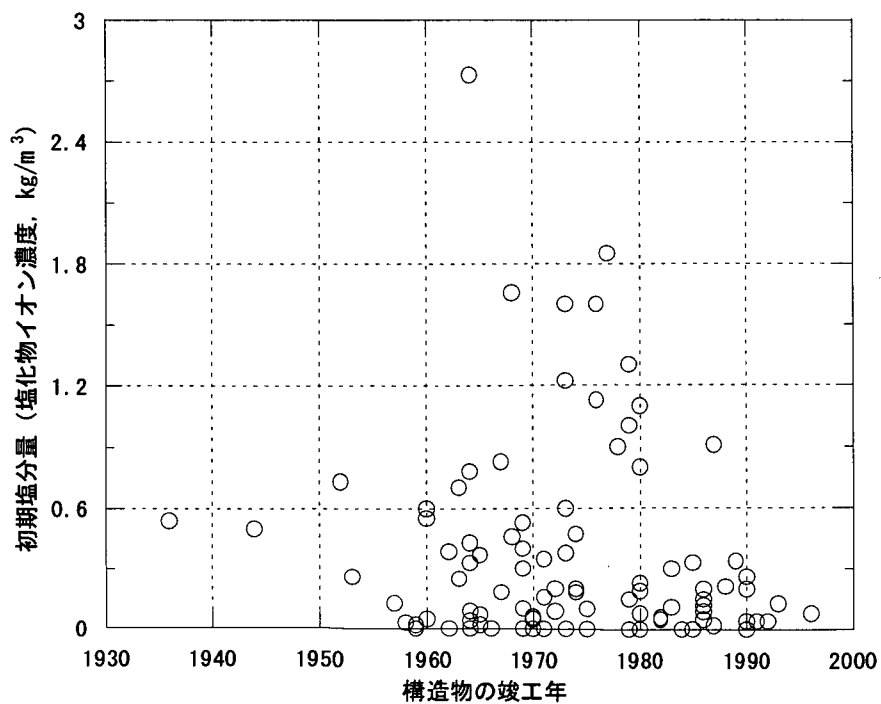


図－6.27 地域区分と表面の塩化物イオン濃度の関係



※海からの飛来塩分の影響を除くため、海岸線からの距離が1 kmを超える事例のみ図示した。

図－6.28 凍結防止剤の年間使用日数と表面の塩化物イオン濃度の関係



図－6.29 初期塩分量の推定結果

6.5 コンクリートの中性化と塩化物イオンの分布について

(1) 検討の目的

実験室での促進中性化を行った実験結果などから、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し炭酸化反応を起こすと、コンクリート中にフリーデル氏塩として固定されていた塩化物が分解され、未炭酸化部分に移動・濃縮し、鋼材の腐食に影響を与える可能性があると考えられている。しかし、実際の構造物がおかれる環境における炭酸化による塩化物イオンの移動・濃縮現象の進行速度や、鋼材の腐食に対する影響については、十分には明らかになっていない¹⁹⁾。

今回の調査では、同一の試料で中性化深さの測定と塩化物イオン濃度測定を行っているので、両者の関係に着目して整理した。

(2) 中性化深さと塩化物イオンの分布

前節で、塩化物イオン濃度の分布を式-6.1で表すことができ拡散係数や初期塩分量を算出することができた58事例について、中性化深さと塩化物イオン濃度の分布形状の関係をみた(図-6.30)。コアの塩分濃度分布と中性化深さの間には明確な関係があり、中性化深さが20mmよりも大きかった10事例は、塩化物イオンの濃度の分布形状がgroup Cまたはgroup Dに属し、中性化している表面から2 cmまでの塩化物イオン濃度がコンクリート内部の塩化物イオン濃度よりも明らかに小さくなっている。中性化深さが20mm以下の事例でも、中性化深さが比較的大きい事例ほど、表面付近の塩化物イオン濃度が低下している場合が多くなっている。

なお、これらの事例では、塩化物イオン濃度の測定結果が2 cm間隔で5点と限られていることもあり、表面付近の塩化物イオン濃度が低下していることは確認できたが、塩化物イオンの濃縮によって著しく塩化物イオン濃度が高くなっているとみられる事例は明確には出来なかった。

次に、前節で、外部からの塩分の侵入の影響が小さく、コンクリート内部で塩化物イオン濃度がほぼ一定となっており、初期塩分量が推定できると判断できた事例は41あった。このうち初期塩分量が 0.3kg/m^3 以上であると推定されたのは15事例であった。これらの事例を中性化深さで分類すると次のようになる。これらの事例の塩化物イオン濃度分布を図-6.31～図-6.33に再掲する。

- ・ 中性化深さが20mmを超えて30mm以内(図-6.31) : F3026, F3034 の2事例
- ・ 中性化深さが10mmを超えて20mm以内(図-6.32) : A1002, E1020, F3046, G3028, H2018, J4026 の6事例
- ・ 中性化深さが10mm以内(図-6.33) : C3005, F3035, G1031, G3030, J4006, J4019, J4046 の7事例(ただし、中性化深さが0mmの事例はなかった)

中性化深さが20mmを超えている2事例は、表面からの深さが4～6 cmの位置で最も塩化物イオン濃度が高くなっており、表面付近では塩化物イオン濃度が低くなっている。また、中性化深さが10mmを超えて20mm以内の6事例に含まれるE1020, F3046, G3028, J4026の4事例では、表面付近で塩化物イオン濃度が最も低く、深さ2～4 cmの位置で塩化物イオン濃度が最も高くなっている。これらの事例では、炭酸化が原因で塩化物イオンの移動・濃縮が起こっている可能性がある。

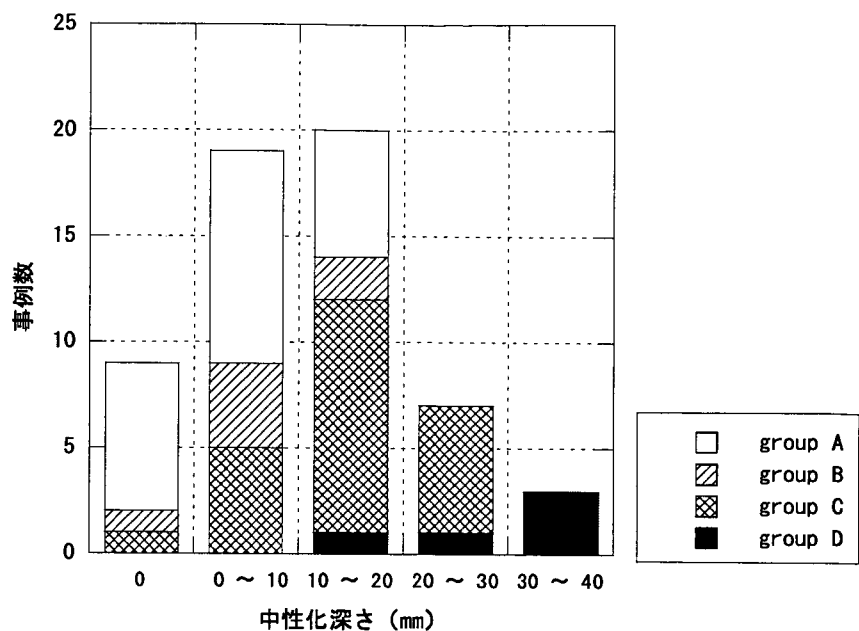
一方、中性化深さが比較的小さいG1031(中性化深さ3.4mm), G3030(中性化深さ9.5mm), J4006(中性化深

さ 3.0mm)の3事例でも、コンクリート表面の塩化物イオン濃度が小さく内部に塩化物イオン濃度のピークがあるような塩化物イオン濃度の分布がみられた。したがって、上記のような塩化物イオン濃度の分布を示す原因が、コンクリートの炭酸化以外にあることも考えられる。

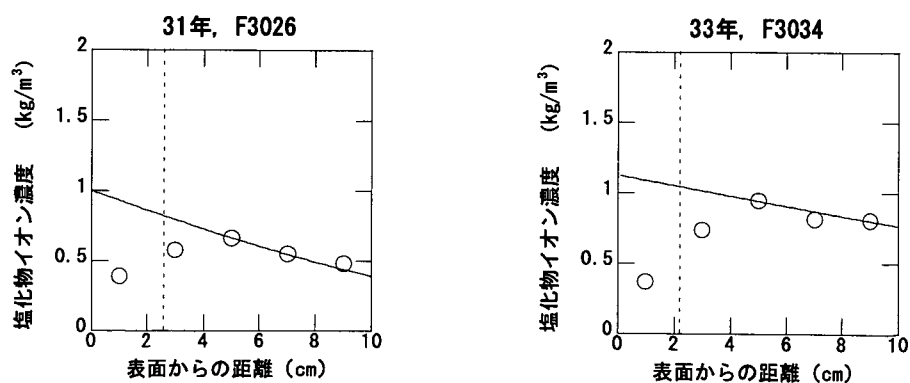
(3) 検討結果

コアの中性化深さと塩化物イオン濃度の分布を比較した結果、以下の結果が得られた。

- ・ 外部から塩化物イオンが侵入しているとみられる 58 事例について検討した結果、中性化深さが 20mm を超える事例では10事例全てでコンクリート表面付近の塩化物イオン濃度の低下がみられるなど、中性化深さと塩化物イオン濃度の分布に関係があった。
- ・ コンクリート中に建設当初から塩分が含まれていたとみられる 15 事例について検討した結果、中性化深さが比較的大きい(10mmを超える)事例では、塩化物イオンの移動・濃縮が起こっているようにみえる塩化物イオン濃度分布を示した事例が 8 事例中 6 事例と多かった。
- ・ 一方、中性化深さが比較的小さい(10mm以下)の事例でも、塩化物イオンの移動・濃縮が起こっているようにみえる濃度分布を示した事例があり(7事例中3事例)、このような塩化物イオン濃度分布を示す原因は、必ずしも明確ではない。



図－ 6. 30 中酸化深さと塩化物イオン濃度の分布形状の関係



図－ 6. 31 初期塩分事例の塩化物イオン濃度(中酸化深さ 20 ～ 30mm)

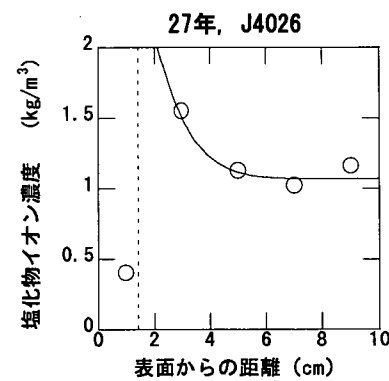
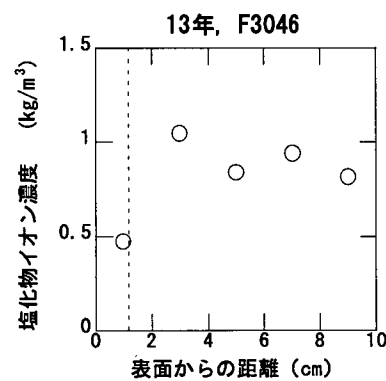
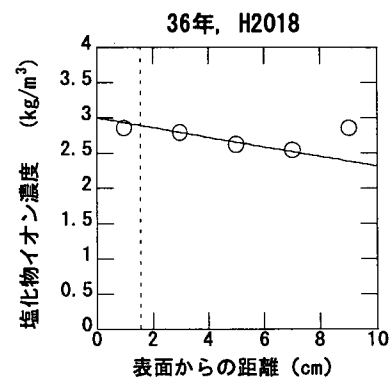
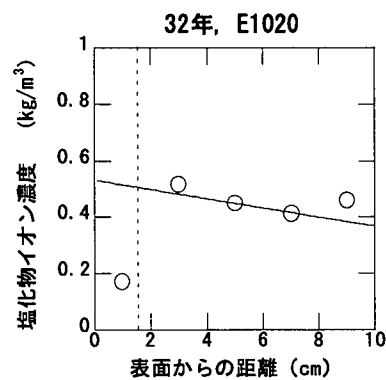
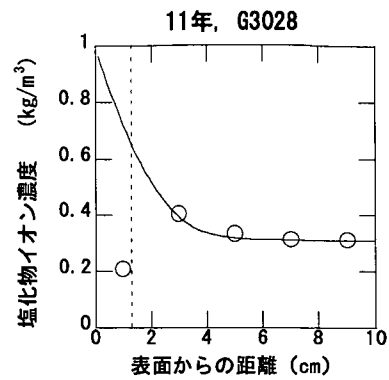
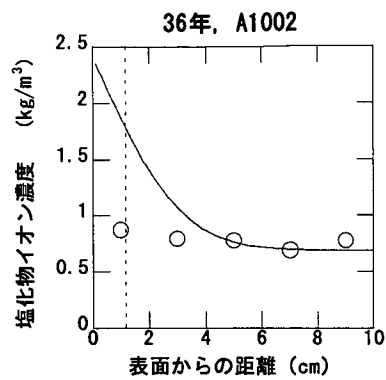


図-6.32 初期塩分事例の塩化物イオン濃度(中性化深さ10~20mm)

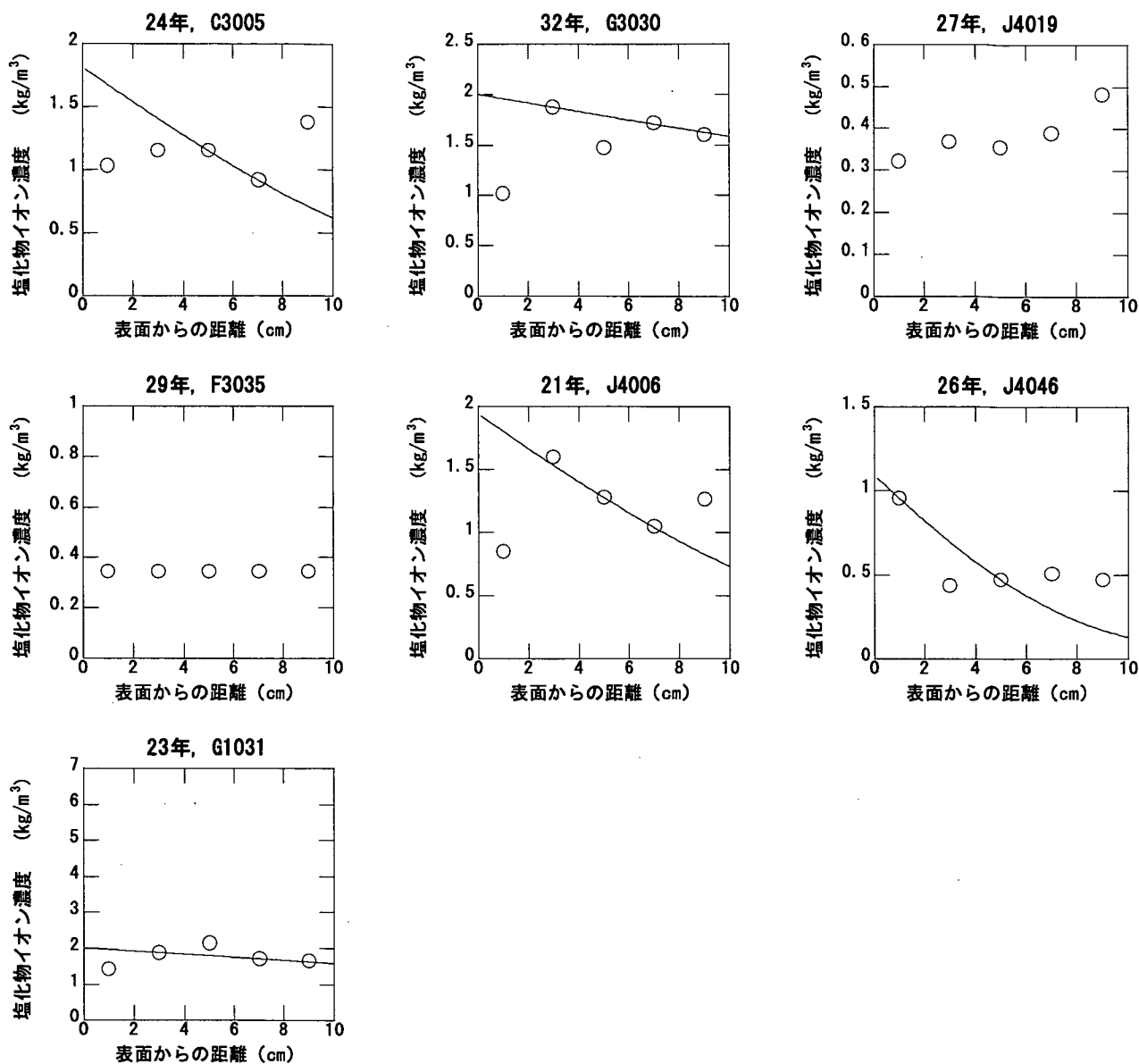


図-6.33 初期塩分事例の塩化物イオン濃度(中性化深さ0～10mm)

6.6 調査における反省点

参考のため、今回のコンクリート構造物実態調査において問題となった点や、今後改良する余地がある点について簡単に整理した。

(1) 調査方法に関する反省点

①豆板(ジャンカ)、コールドジョイントについて

豆板(ジャンカ)の有無について目視調査時に調べたが、コンクリート表面の空気泡や流水の作用を受けて粗骨材が露出している箇所など施工不良ではないものを豆板とする、誤った報告がなされている場合があった。同様に、調査票に添付されたひび割れ図等で、施工時の計画的な打ち継ぎ目と思われる箇所についてコールドジョイントとする、誤った報告がなされている場合があった。

これらの用語については、調査票に説明を加えるなど、考慮する必要がある。

※豆板(ジャンカ)：打ち込んだコンクリートの一部に粗骨材が多く集まって出来た空隙の多い欠陥部分(写真－6.1)で、打設時の材料分離や締固め不良等のために生じる。型枠面に出た気泡跡(写真－6.2)や、竣工後に受けた流水による摩耗や凍結融解作用のため表面に粗骨材が露出している事例(写真－6.3)は、豆板とは区別する必要がある。表面気泡や摩耗により生じる粗骨材の露出などは、程度にもよるが有害性が低く、豆板とは異なり避けにくいものである。

※コールドジョイント：何らかの理由で打込みが遅れたり中断した場合に、すでに打ち込まれたコンクリートが凝結し始め、新たに打ち込まれたコンクリートとの間に継目が生じたものである(写真－6.4)。従って、計画的に設けられた施工継目は、コールドジョイントとは区別する必要がある。

②劣化箇所の写真について

ひび割れなどの劣化箇所で局部的な拡大された写真しかなく、ひび割れの発生している箇所や方向、長さなどが不明確で、劣化要因や劣化程度の調査としては有効でない場合があった。

ひび割れ幅が小さい場合は写真には明確には映らないので、構造物本体にチョークでマーキングしたり、写真のプリントにひび割れ箇所を描き入れるなどするとよい。損傷状況が比較的わかりやすい写真の例として、写真－6.5、写真－6.6を掲載した。他にも、劣化状況が比較的わかりやすい事例を添付CDで紹介した。

③中性化深さの測定について

中性化深さの測定については、今回は、コアの表面やコア抜き後の孔、鉄筋をはつりだした箇所などで行った。しかし、コアを用いた密度・吸水率の試験を行う必要がなければ、圧縮試験後のコア試料を割裂し、断面で試験を行う方法が確実で良いものと思われる。

④コンクリートコアの密度および吸水率の測定について

コアの密度や吸水率の調査では、質量の測定データを元に密度・吸水率の算出を行う必要があるが、調査者が計算を誤っていた事例が少なくなかった。このように測定装置で得られる数値を元に計算を行う必要がある調査項目(今回は実施していないが、テストハンマーを用いた反発度測定など)については、面倒でも生の測定データを併記してもらう方法が有効であると考えられる。

(2) データの記録・整理に関する反省点

① 記入について

調査担当者に負担をかけないために調査票は可能な限り簡単なものとすべきである。今回使用した調査票についても、例えば、住所の記入欄に都道府県の文字をあらかじめ入れておく、桁数が予想できる試験結果(圧縮強度やヤング係数など)については桁数分の□を入れておくなど、細かな改良を施すことで、調査担当者の誤記を減少させることが出来るものと思われる。

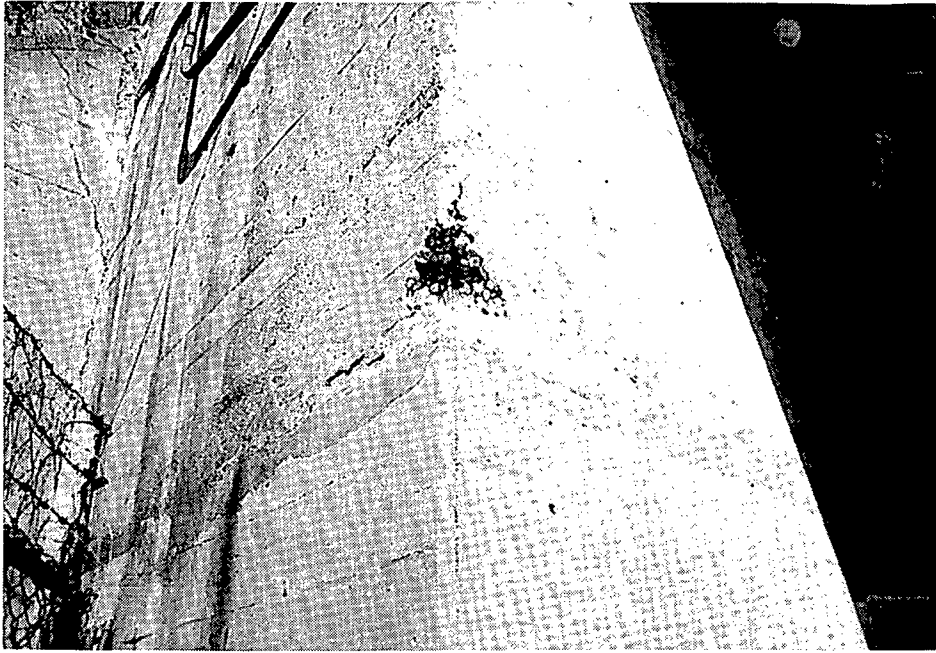
② データ入力について

今回の調査では、調査担当者が調査票を再作成した際に調査項目の見落としが生じた場合もあった。調査票については、省力化のほか誤記を防ぐためにも電子ファイル化したものを用意することが望ましい。調査担当者自身がデータベースソフトを用いた調査票に結果を記入するのが理想的だが、現状ではデータベースソフトの使用法に精通した人材に限られるので、ワードプロセッサや表計算ソフトを活用するのが現実的なものと思われる。

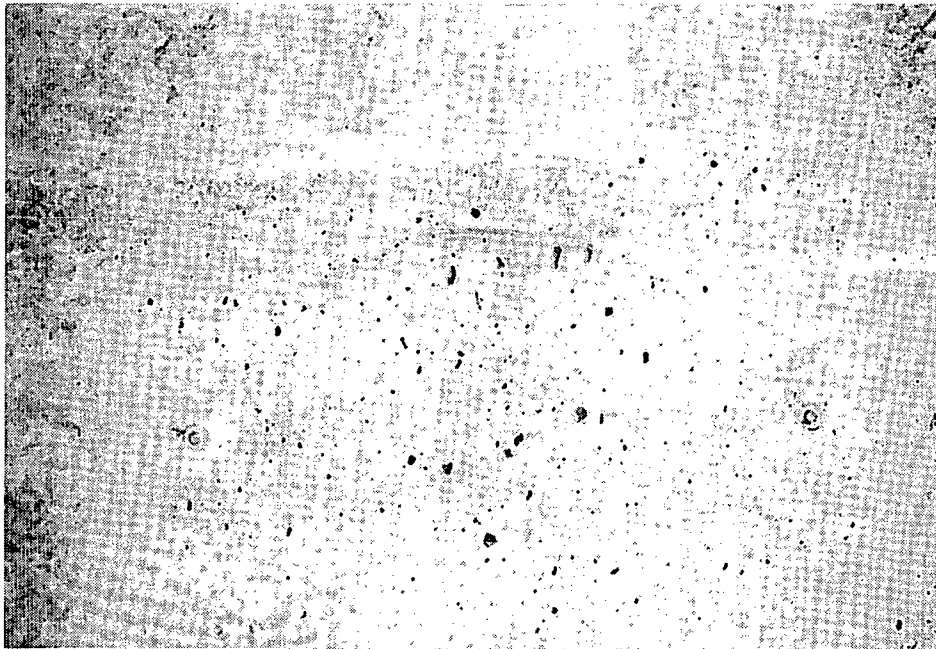
こうした問題の改善のためには、構造物データベースの統一的なフォーマットの作成や、データベースの管理を行う人材の養成が必要なものと思われる。データベースへの記録にあたっては、コンクリート構造物に対する専門的な知識が必要な場合があるので、構造物の点検・診断を行う技術者の教育プログラムに電算機やデータベースソフトの使用に関する基礎的な知識を含めることが望ましい。

【参考文献】

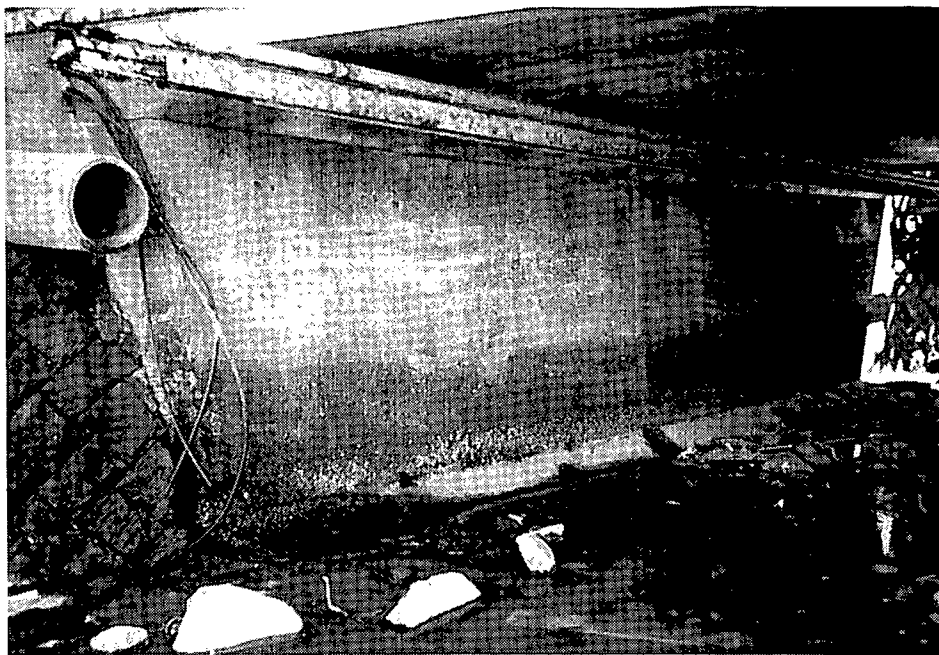
- 14) 土木学会：2002年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕，pp. 24-25，2002. 3
- 15) 建設省土木研究所，(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：「ミニマムメンテナンスPC橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅱ)ーコンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討ー」，共同研究報告書第258号，p. 35，2000. 12
- 16) 土木学会：2002年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕，p. 80，2002. 3
- 17) 土木学会：平成11年版コンクリート標準示方書〔施工編〕ー耐久性照査型ー，pp. 61-62，2000. 1
- 18) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編，pp. 172-173，2002. 3
- 19) 土木学会：2002年版コンクリート標準示方書改訂資料，コンクリートライブラリー108，pp. 78-79，2002. 3



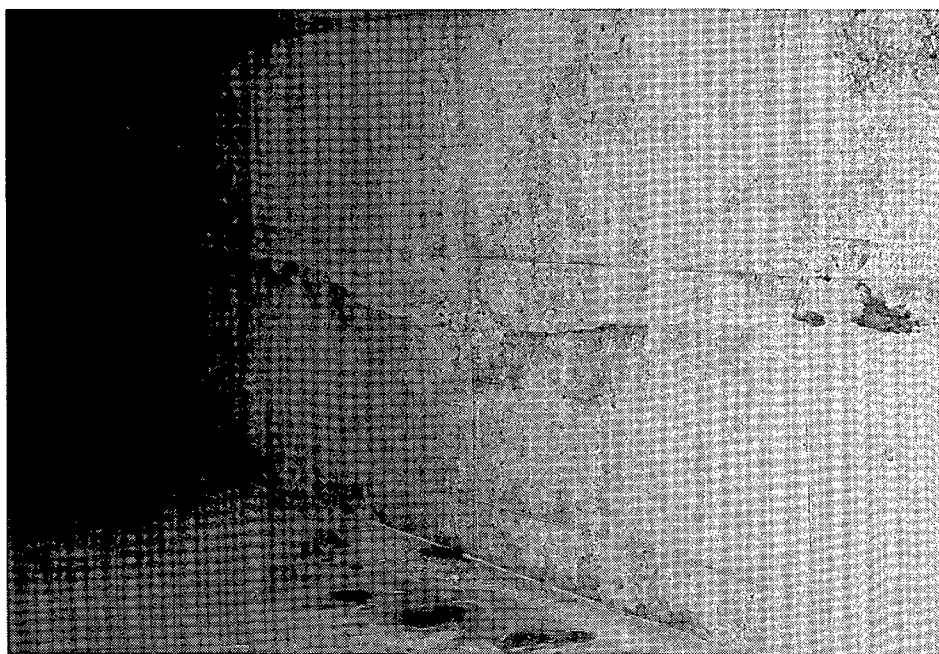
写真－6.1 豆板



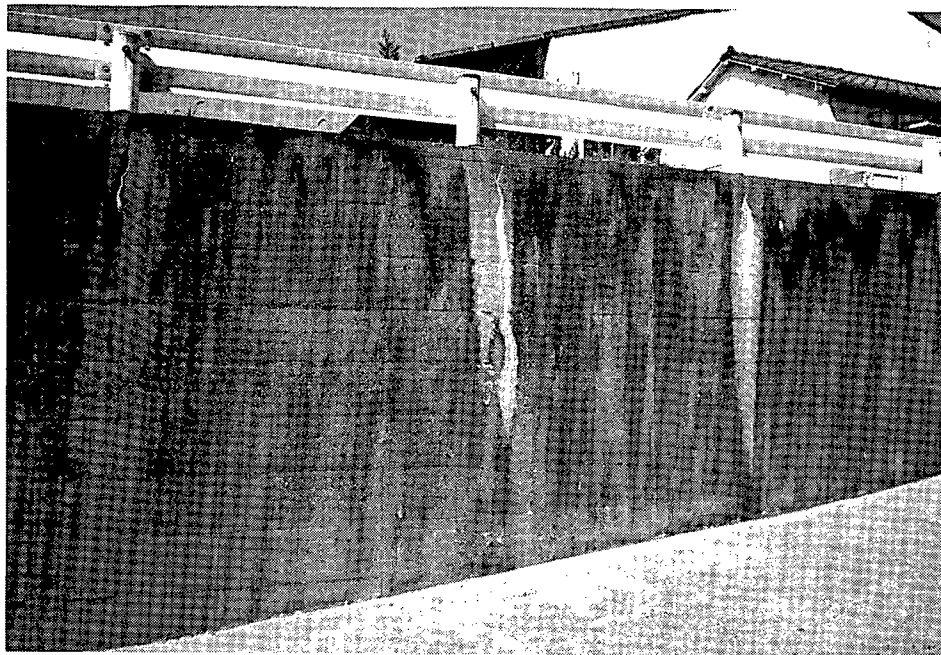
写真－6.2 コンクリート表面の空気泡跡



写真－6.3 流水による摩耗

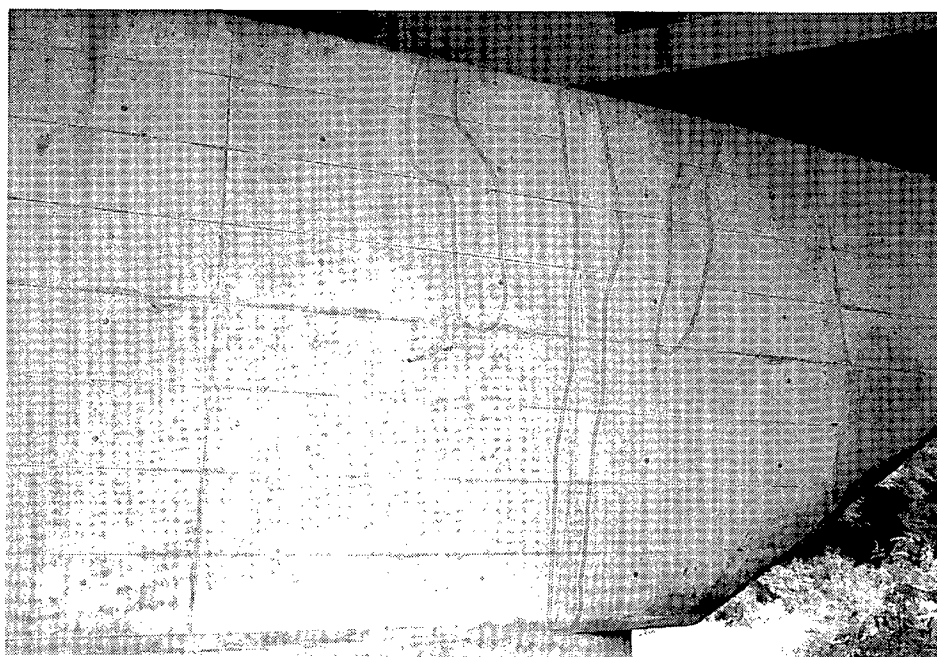


写真－6.4 コールドジョイント



写真－6.5 写真事例(その1)

※ガードレールの支柱がある場所にひび割れが発生している事例。数本のひび割れが映っていることで発生状況がわかりやすくなっている。



写真－6.6 写真事例(その2)

※橋脚にひび割れがみられる事例。損傷部位がわかりやすい。ひび割れ幅が小さいので、写真(プリント)にマジックでマーキングを施している。

7. まとめ

既設コンクリート構造物の健全度に関する実態調査から明らかになったことのうち、主要な点を以下に示す。

- ① 構造物の目視調査結果を用いた劣化度判定の結果では、今後、補修等を視野に入れて点検や管理を行うことが必要な構造物(劣化度Ⅲ以上)が約5%あった。
- ② 劣化の兆候が確認されたり、補修を経験したコンクリート構造物の割合は、時間の経過とともに比例的に増加する傾向にあった。特定の年代に竣工した構造物が早期に劣化するといった傾向は見られなかった。
- ③ 全ての構造物が経年とともに劣化するわけではなく、竣工後35年以上が経過した構造物でもその半数以上は劣化の兆候が認められなかった。
- ④ 圧縮強度や中性化速度係数の算出結果から、今回調査した範囲では、コンクリートの品質は年代にかかわらずほぼ同一であると推測された。ただし、古い構造物では、コンクリートの品質が良い事例と悪い事例の双方が目立ち、品質の良否のばらつきが大きいものと考えられる。
- ⑤ 構造物の劣化要因としては施工に起因するものが大部分を占めており、コンクリートの打込みや養生、かぶりの確保等を確実に進めていくことが重要である。一方、劣化が著しい構造物としては、塩害やアルカリ骨材反応など、コンクリート材料そのものや周辺環境に起因するものが見立った。
- ⑥ 1986年に制定されたアルカリ骨材反応抑制対策実施以降の構造物で、アルカリ骨材反応による劣化が疑われる構造物は認められなかった。
- ⑦ 1986年に制定されたフレッシュコンクリート中の塩分総量規制以降は、初期塩分量(コンクリート材料等に含まれていたと考えられる塩分量)が多い事例がほとんど認められなくなり、塩分総量規制の効果が確認された。ただし、対策以前の70年代、80年代に建設された構造物には、竣工時からコンクリート中に多量の塩分を含んでいると考えられる事例があり、今後の維持管理において考慮する必要がある。
- ⑧ 炭酸化による塩化物イオンの濃縮については、今回の調査結果からは明確にはできなかった。ただし、中性化深さの大きい構造物では表面付近の塩化物イオン濃度が小さいことから、炭酸化がコンクリート中の塩化物イオン濃度の分布に何らかの影響を与えていることは確認された。

上記の他に、実構造物から採取したコアの圧縮強度とヤング係数の関係、コアの圧縮強度と密度・吸水率の関係、実構造物における中性化速度係数の分布、塩化物イオンの見掛けの拡散係数の分布など、今後、コンクリート構造物の健全度診断や劣化予測を行っていくに際して参考となる貴重なデータが多数得られた。

謝 辞

本報告書は、旧建設省、旧運輸省、農林水産省が共同で設置した「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」での検討のため、旧建設省の各地方建設局、および北海道開発局、沖縄総合事務局において既存構造物の健全度の実態を調査した結果をまとめたものです。本調査にご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

－関連資料－

- ・土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言(平成12年3月)
- ・土木コンクリート構造物の品質確保について(国官技第61号, 平成13年3月29日)
- ・「土木コンクリート構造物の品質確保について」の運用について(国コ企第2号, 平成13年3月29日)
- ・貼付CD

土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言

平成 1 2 年 3 月

建設省
運輸省
農林水産省

土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言について

平成12年3月28日

建設省

運輸省

農林水産省

1. 委員会設置趣旨

コンクリート構造物は、住宅・社会資本を形成する主要な構成要素である。

このような、コンクリート構造物について、信頼性を損ねかねない事例が発生しており、従前以上に適切な建設・維持・管理を行っていく必要がある。また、一方でコンクリート標準示方書の性能規定化が進められるなど、コンクリートの品質向上に係わる新しい取り組みがされている。

このような状況を踏まえ、コンクリートの信頼性を確保し、より良い住宅・社会資本を提供することを目的として、特に、コンクリートの耐久性を維持し、向上する観点からコンクリートの製造から施工までの建設プロセス及び維持管理の今後のあり方についての検討を行うため委員会を設置した。

2. 検討経緯

平成11年8月30日	「コンクリート構造物耐久性検討委員会」設置の公表
平成11年9月8日	「第1回土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」開催
平成11年12月10日	「第2回土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」開催
平成12年3月21日	「第3回土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」開催

土木コンクリート構造物耐久性検討委員会名簿

委員長 委員

町田 篤彦	埼玉大学工学部建設工学科教授
青山 咸康	京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻教授
魚本 健人	東京大学国際産学共同研究センター教授
小澤 一雅	東京大学大学院新領域創成科学研究科助教授
関 博	早稲田大学理工学部土木工学科教授
檜貝 勇	山梨大学工学部土木環境工学科教授
宮川 豊章	京都大学大学院工学研究科土木工学専攻教授

佐藤 勉	(財) 鉄道総合技術研究所構造物技術開発事業部 コンクリート構造グループ主幹技師
橋場 盛	(社) 建設コンサルタント協会技術部会技術委員会 道路構造物専門委員会委員
宇賀神 尊信	(社) セメント協会・研究所コンクリート研究 グループリーダー
今泉 正次	(社) 日本埋立浚渫協会技術委員会専門委員
松村 英樹	日本構造物診断技術協会技術委員会委員
小野 武彦	(社) 日本土木工業協会土木工事技術委員会 コンクリート専門部会長
鈴木 素彦	(社) PC建設業協会技術委員会委員長
佐藤 健	全国生コンクリート工業組合連合会技術部長

行政委員

久能木 慶治	通商産業省生活産業局窯業室長
佐藤 信秋	建設省大臣官房技術審議官
望月 常好	建設省大臣官房技術調査室長
田中 康順	建設省建設経済局建設機械課長
渡辺 和足	建設省河川局河川計画課長
谷口 博昭	建設省道路局企画課長
藤本 聡	建設省土木研究所建設マネジメント研究官
河野 広隆	建設省土木研究所コンクリート研究室長
藤森 泰明	運輸省大臣官房技術審議官
藤田 武彦	運輸省運輸政策局公共事業調査室長
野竹 和夫	運輸省鉄道局施設課長
田端 竹千穂	運輸省港湾局技術課長
岩見 宜治	運輸省航空局飛行場部建設課長
福手 勤	運輸省港湾研究所計画設計基準部長
中條 康朗	農林水産省建設部設計課長
長束 勇	農林水産省農業工学研究所造構部土地質研究室長
梅原 俊夫	日本鉄道建設公団設計技術室長
富澤 修次	首都高速道路公団工務部次長
多久和 勇	日本道路公団試験研究所橋梁研究主幹

土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言について

平成 12 年 3 月 28 日

土木コンクリート構造物耐久性検討委員会

建設省、運輸省、農林水産省が共同して設置した「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」は、下記の提言を行った。

提言の要旨

(基本的な考え方)

コンクリート構造物は、住宅・社会資本を形成する主要な構成要素として、そのストック量は膨大なものになっている。このようなコンクリート構造物について、耐久性を確保することは、剥落による第三者被害の防止に有効なだけではなく、ライフサイクルを通じた費用の最小化のために重要であるとの認識に立ち、コンクリート構造物の建設システムや維持管理システムのあり方について、以下の提言を行った。

(具体的な提言)

1. コンクリートの剥落の事例を契機に実態調査も含め、コンクリート構造物全般の課題について検討した。実態調査では、著しい劣化により耐荷力が問題となる構造物はなかったが、劣化が認められ、追跡調査を必要とする程度(劣化度Ⅲ)以上に劣化している構造物が 5 % あり、劣化は経年による影響が最も大きいことが分かった。
2. 第三者被害を防止し、耐久性を確保・向上するためには、設計・施工・維持管理において十分な対応をすべきである。
3. 土木学会の「コンクリート標準示方書－施工編」(平成 12 年 1 月)は、耐久性を確保した設計施工の基本的な考え方や方策を提示している。これを実際の構造物の設計・施工に活かすため、基準類やマニュアルの整備を推進する。
4. 構造物の重要度に応じて設定した耐用年数の下で、要求性能を満足するよう材料選定、配合、設計、施工方法、維持管理を計画することを基本とすべきである。

5. 耐久性の要求性能に対応した水セメントの制限値を明示するとともに、施工段階で水分量確認を行い、耐久性の確保を図る。そのための水分量試験方法を開発することが必要である。
6. 施工においては、要求された品質水準を確実に満足するための品質管理システムを充実する。また、鉄筋かぶりや強度の確認の充実のため、非破壊検査法を活用した検査システムを開発することが必要である。
7. 劣化の兆候のある構造物や部位を効率的に見出し、安全性を確保する点検システムを構築することが重要である。このためには定期的な点検において、近接目視等により変状を把握し、展開図等で記録を残すことが有効である。
8. 維持管理のためには、建設、点検、補修・補強に関する記録を適切に保存することが重要であり、構造物毎の台帳をデータベース化することが望ましい。
9. 基準類の性能規定化、水分量試験方法、非破壊試験技術、補修・補強技術などについて、新しい技術の研究・開発に取り組み、実用化を図ることが望まれる。

土木コンクリート構造物の耐久性維持・向上等に関する提言

1. 基本認識

(委員会の設置)

コンクリート構造物は、安全性や経済性の面で優れた特性を有するため、住宅・社会資本を形成する主要な構成要素であり、そのストック量は膨大なものになっている。このようなコンクリート構造物について信頼性を損ねかねない事例が発生したことも踏まえ、改めて耐久性を維持・向上する観点から検討し、構造物の建設システム及び維持管理の今後のあり方について提言するため、建設省、運輸省、農林水産省が共同して「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」を設置した。

コンクリート構造物は、橋梁、トンネル、防波堤、擁壁、河川構造物、水路等多様な形態があるが、本委員会はコンクリート構造物に共通の直面する課題について提言することを主眼としている。

(コンクリート構造物の性状と課題)

コンクリート構造物は、設計、セメントやコンクリート及び鋼材などの材料、さらに施工や維持管理、外的環境の影響等を受けて品質が変化する。このため、同一形式の構造物の間だけでなく、同一構造物内でも品質レベルに差ができる性状を有している。このような性状を克服して要求水準を満足するよう様々な努力が傾注されてきた。過去には塩害やアルカリ骨材反応等の課題についての対応がなされてきており、今回はコンクリート構造物の耐久性の確保とコンクリートの剥落による第三者被害の防止が課題となっている。

コンクリートの剥落は、直ちにコンクリート構造物全体の機能の喪失を意味している訳ではないが、第三者被害を防止する観点でその対策に取り組まなければならない。さらに、耐久性のあるコンクリート構造物とすることは、剥落による被害の防止に有効だけでなく、ライフサイクルを通した費用の最小化、ひいては社会コストの最小化と便益の最大化のために重要なことである。

このような課題に対応するため、委員会では構造物の状況把握のために全国的な実態調査を行い、建設システムや維持管理システムについてレビューし、コンクリート構造物の耐久性の確保とコンクリートの剥落による第三者被害の防止について、今後のあり方の検討を行った。

(対応の基本的方向)

コンクリート構造物の耐久性を維持することは、供用期間を通して構造物への要求性能を基本的に満足することを意味するが、その評価は容易ではない。このため体系化が遅れ、強度を指標として間接的に耐久性の照査が行われてきた。これに対し、土木学会は耐久性照査を体系的に取り扱った「コンクリート標準示方書〔施工編〕」を平成12年1月に発行した。耐久性確保の基本的考え方や方策は、この示方書に盛り込まれているが、それを実際の構造物に反映するためには、関係する設計・施工や施設管理の基準類を構造物の種類毎に特化した性能規定とするとともに、具体的方法を含めて技術者や技能者

など実務に携わる人々に浸透させることが必要である。

第三者被害を防止する観点では、特に鉄道や道路の上に位置する既存の構造物についての的確に点検や診断(劣化機構の推定、評価及び判定)を行い、必要に応じて補修・補強を行うことが重要である。トンネルについては、平成12年2月に出された運輸省の「トンネル安全問題検討会」の結論や現在検討が行われている「道路トンネル耐久性検討委員会」などの委員会の知見を活かして他のコンクリート構造物のについても対応することが必要である。

以上の認識に基づき、コンクリート構造物の信頼性を確保するためには、次の現状認識を踏まえ、構造物の安全性とともに、第三者被害の防止を含めた総合的な耐久性を確保するための方策について、コンクリート構造物の共通事項を検討し、提言を行う。

2. 現状認識

(1) コンクリート構造物の現状認識の総論(参考：解説資料-1)

全国のコンクリート構造物の現状に対し実態調査した結果、次のことが言える。

今回の目視調査では、劣化度Ⅲ(劣化が認められ、追跡調査を必要とする程度)以上の構造物が約5%であった。これらは、補修等を視野に入れて点検や監視を必要とするレベルにある。なお、劣化度Ⅴ(劣化が著しく、直ちに補修を必要とする程度)とされた5例については、1例は補修中、4例は補修計画中である。また、劣化度Ⅴと判定された事例についても耐荷力には問題がなかった。

コンクリート構造物の劣化は、経年による影響が最も大きく、特定の年代に竣工した構造物が早期に劣化するといった傾向は見られなかった。ただし、時間の経過とともに全ての構造物が一様に劣化するわけではなく、竣工後35年以上経過した(1964年以前の)構造物でも、その内60%の構造物は劣化の兆候が認められなかった。

経年劣化以外の劣化原因としては、「コンクリート低品質(豆板、コールドジョイント、遊離石灰、ひび割れ等が顕著なもの)」と「配筋不良(鋼材の露出、錆汁が認められるもの)」に起因するものが比較的多く、塩害やアルカリ骨材反応に起因する劣化事例は、多くはなかった。

「コンクリート低品質」については、コンクリートの打込み・締固め・養生の不足等の施工不良、また「配筋不良」については、施工上の問題の他、過密配筋による鉄筋組み立てが困難な配筋等、基準・設計上の問題点が遠因となるものも含まれる。なお、近年は「コンクリート低品質」や「配筋不良」の減少傾向にあり、1976年以降のスペーサー間隔や個数を定めたかぶりの確保対策の効果もあると考えられる。損傷のある構造物は中性化残り(かぶりのうちで中性化していない部分)が少なく、かぶりの確保が鉄筋の錆や中性化等の劣化に対して重要な対策の1つであることが分かった。

塩害やアルカリ骨材反応については、1986年の対策以降はこれらに起因する劣化事例はなかった。

が、対策前の構造物には初期塩分が多いと考えられるものがあった。

中性化については、その深さの進行程度は従来の予測式の範囲に収まっていた。また、中性化速度係数は、圧縮強度の低いコンクリートは中性化速度係数が大きいものから小さいものまで分布幅が大きく、圧縮強度が高くなるにつれ分布幅が小さくなり、中性化速度係数は小さい値に集中する傾向にあった。

コア圧縮強度については、平均で設計基準強度の1.35倍であり、十分な強度が確保されていた。なお、構造物としての耐荷力は満足しているものの、約7%は低下を考慮しても低めの強度であった。

補修の実施と供用年数の関係の1次回帰によると、50年で約半数の構造物が第三者被害等を防止することなどのために何らかの補修を必要とすると言える。また、補修歴のある構造物の方が劣化が進行する傾向があり、耐久性が確保され補修を要しないことが、トータルコストの縮減につながると言える。

コンクリート構造物の実態調査と併せてレディーミクストコンクリートの実態調査を実施したが、この結果、レディーミクストコンクリートはスランプ、空気量及び強度において所要の要求品質を確保していることが確認された。

(2)コンクリート構造物の劣化対応について(参考：解説資料-2)

1)塩害

- ・塩害(初期塩分)としての「海砂問題」は、1974年に顕在化し、同年から海砂の塩分量が規制され、さらに1986年からコンクリートの塩分総量が規制されて、それ以降、塩害(初期塩分)の事例は無くなっており、規制の効果が見られる。

なお、1984年の調査では、近畿・中国地方に初期塩分による損傷事例が見られた。

- ・塩害(外的塩分)としての「飛来塩分による塩害」は、1981年に顕在化し、1984年には「道路橋の塩害対策指針(案)」が制定され、設計、施工に反映されている。

なお、1984年の調査では、北海道から北陸の日本海側、沖縄及び九州の海岸部に外的塩分による損傷事例が見られた。

- ・塩害(外的塩分)の事例は、海岸からの距離との関係が明確に見られている。今後も外的塩分による塩害の懸念は残ると考えられ、注意して行く必要がある。

また、近年、床版に防水シートを設置する等の対応が採られ始めているが、凍結防止剤(融雪剤)の散布によるRC床版、排水路等の塩害が懸念されている。

2)アルカリ骨材反応

- ・アルカリ骨材反応は、1982年に西日本において顕在化し、1984年に骨材の取扱いについての通達が出され、さらに1986年にアルカリ骨材反応対策が制定された。なお、1984年の調査では、大阪、兵庫、広島、山口、香川の各県においてアルカリ骨材反応の事例が認められた。

- ・対策後に建造された構造物には、アルカリ骨材反応に対する懸念は少なくなっているが、良品の骨材が減少しているとの指摘があることから、骨材品質動向の確認が必要である。また、海からの飛来塩分が多い地域や凍結防止剤の散布量が多い地域では、ナトリウムによるコンクリート中のアルカリ分増大が指摘されており、注意していく必要がある。

3) 中性化

- ・土木構造物のかぶりは大きい場合が一般的に多いが、劣化度 ii (劣化の兆候が認められる程度) 以上の劣化が見られるものは、中性化残り少ない傾向にあることが認められた。
- ・コア抜き調査においては、中性化が鉄筋に達していた例は 1 例のみであった。

4) 凍害

- ・1950年にAE剤がレディーミクストコンクリートに使用されて、コンクリート中に4～5%の空気運行を行うようになり、1978年からJISレディーミクストコンクリートは、AEコンクリートが標準となって以降、JISレディーミクストコンクリートを用いた構造物には顕著な凍害の事例は報告されていない。

5) 化学的コンクリート腐食

- ・1990年に「つらら(酸性雨)問題」が提起されたが、1992年に建設省総合技術開発プロジェクトでコンクリート構造物に及ぼす酸性雨の影響に関する調査が行われ、pH4程度の酸性水ではコンクリートの中性化を促進する効果は認められないという結果が出された。また、既存構造物においても、現在までのところ深刻な被害例は報告されていない。
- ・下水構造物等で硫酸イオンが含まれる等の特殊環境にあるコンクリート構造物は、別途の対応を講じる必要がある。

6) 疲労

- ・自動車の大型化・交通量の増大等によりRC床版にひび割れが生じ、疲労によって損傷・剥落の問題が生じたが、1967年から、配筋量及び床版厚さを増し、鉄筋の許容応力度を小さくする対応策が取られた。これにより、RC床版の疲労による損傷の問題は改善されている。

7) 温度ひび割れ

- ・マスコンクリートの温度ひび割れに対しては、1986年に基準が規定された。
- ・温度ひび割れを防止するために、使用水や骨材の温度を下げる、パイプクーリング等によりコンクリートの温度を下げる、ひび割れ制御鉄筋やひび割れ誘発目地を配置する等の必要な対応がとられるようになっている。

3. 建設・維持管理のあり方に関する提言

(総論)

耐久性のあるコンクリート構造物は、適切な材料選定、設計、施工の実施により実現できる。一方、建設に当たっては経済性や効率性も重要な要素であり、適度な要求により合理性を欠くことなく、この

「適切さ」を確保することが肝要である。

「適切さ」を確保しながら耐久性を向上する観点に立って建設システムの現状を見た場合、耐用年数を明確にした設計法の採用、強度による耐久性の間接管理から耐久性照査に基づく配合決定、特に水セメント比の管理の充実及びかぶりの確保、品質管理等の適切な施工管理の遵守、検査システムの充実、建設に関する記録の保存が重要な点である。

一方、コンクリート構造物を長期的に使用するには、適切な維持管理が必要である。しかしながら、コンクリート構造物は膨大な量になっており、品質のばらつきが大きい性状を有する構造物であることから、効率的な点検、合理的な診断に基づき、適切に補修・補強するシステムの構築が必要である。

特に、コンクリートの剥落に対しては、第三者被害の防止の観点を入れた点検システムとすることが必要である。すなわち、鉄道や道路の上に位置する構造物については、重点的に点検するほか、剥落の危険度の判定を含んだ診断手法の確立や剥落防止のための合理的な保全工法を開発することが必要である。

3-1 新設構造物

(1) 性能規定化について

性能規定化は、構造物への要求性能を明示した規定に基準類を改めることであり、社会への説明性の向上や多様な構造・工法の採用促進の効果が期待されている。また、国際的にも性能規定化の流れにある。

一方、従来の仕様型規定は、わかり易く大量生産に向けた記述表現形式である。今後は、性能規定を上位規定として適合仕様規定群からなる基準体系に移る方向である。

コンクリート構造物の分野でも性能規定化の方向にあり、土木学会の「コンクリート標準示方書―施工編」においては、性能規定化の考え方で耐久性照査法が示された。(参考：解説資料-3)

この示方書は、耐久性を確保する建設システムの基本的な考え方や方策を示しており、今後はこれを実際の構造物の設計・施工に生かすため、以下のことを実施すべきである。

- ①関係する設計・施工や施設管理の基準類を構造物の種類に応じた性能規定とするとともに、技術の進歩を基準類に具体的に取り込み、体系化する。
- ②具体的方法を含めて技術者や技能者など実務に携わる人に浸透させるため、下位基準類やマニュアルを整備するとともに、技術力向上を図る。
- ③考え方の普及や基準類整備のため、土木学会示方書に基づくモデル設計やモデル工事を実施する。

性能規定化は、建設時以上に補修・補強に対して有効である。すなわち、補修・補強時は、構造物の劣化状況に応じた対応や、より多様な技術の活用が必要となるからである。

(2) 耐久性照査について

いくつかの劣化要因に関しては、設計と劣化の進行の関係がある程度明らかになり、耐久性照査が行えるようになってきた。

耐久性照査に当たっては、まず耐用年数を明確にすることが必要である。耐用年数の明確化は、説明性向上の観点でも推奨できる。

耐用年数は構造物への社会の期待度、構造物の重要性、ライフサイクルコスト等を勘案して決定されるものであるが、当面は構造物の特性に応じて30～100年とすることが妥当と考えられる。

なお、耐用年数とは、設計時に想定した使用環境で維持管理が行われた際に、構造物がその環境において、要求性能を基本的に全て満足しなければならない期間として設計時に想定する年数であり、この期間を過ぎたからといって当該構造物が直ちに更新を必要とするような状態に陥るわけではない。

また、コンクリート構造物の品質に影響する各要素の品質要求レベルの向上や管理の厳格化により、耐久性の向上を図ることができるが、一方で過度になると効率性や経済性が低下する。耐用年数の明示は構造物の重要度に応じた合理的な品質要求レベル等の設定を基本としている。

(3) 設計について

設計については、以下の改善をすべきである。

- ①性能規定化した基準値の整備や設計手法を普及するとともに、設計照査の能力向上を図る。
- ②構造物の設計耐久年数を設置し、使用材料の選定、鋼材のかぶりやコンクリートの水セメント比の決定等、耐久性の要求性能に応じた設計を行うとともに、施工性や維持管理についても設計時に考慮する。また、設計強度以外に設計段階で想定した粗骨材最大寸法、水セメント比などを明記する。
- ③構造形式の多様化や耐震性向上のため、配筋が極めて複雑となる設計が多くなっている。一方、コンクリートの打ち込み、締め固め、レイトランス処理等の施工に配慮した配筋図等の図面作成が必ずしも行われていないという指摘があった。このように複雑な配筋に対しては、鉄筋の組み立て順序やコンクリートの打ち込み方法等を考えた配筋図とする。
- ④第三者被害防止のためには、コンクリートの劣化による剥落について、事例の蓄積・原因究明を行い、設計にフィードバックする。なお、高架橋における自然剥落は、スラブ、張出し部、壁高欄で多く、トンネルでは、アーチ部の打ち継ぎ目周辺に多くの変状が見られたとの報告がある。

(4) 水量について(参考：解説資料－4)

コンクリート構造物の耐久性に関して、コンクリート中のセメント量の確保と水分量の制限により、密実さを増すことは、重要な要素である。

強度を指標する場合も強度管理を通して水セメント比が制限されてきたが、セメントの性能向上などにより、水セメント比が高くても所定の強度を実現することが可能となってきた。例えば、昔の粒子の粗いセメントは、コンクリート中の微小ひび割れの自癒作用に必要な未水和セメントが残るため耐久性が良好であったが、最近のセメントは材令28日強度を目標とする早期強度の発現を重視した性能

要求に適したものとなっており、結果的に耐久性が低下している恐れがあるという指摘もある。

よって、耐久性の要求性能に対応して水セメント比の制限値を明示することが必要である。

耐久性照査に基づかない設計に対する当面の対応として、「一般の環境条件の場合」の水セメント比は、構造物の特性を勘案しつつ下記のような制限値とすることが望ましい。

○無筋コンクリート：65～60%以下を原則とする。

○鉄筋コンクリート：60～55%以下を原則とする。

○プレストレストコンクリート：55～45%以下を原則とする。

水セメント比の低減方法としては、セメント量を確保して水量を減ずる方法と水量を175kg/m³以下としてセメント量を増す方法が考えられる。

水量を減ずる場合は、ジャンカの発生を防止するためバイブレーターの適切な使用など施工管理の確実性を増すとともに、必要に応じて高性能AE減水剤などの使用を検討する。

セメント量を増加する場合は、現状のセメント量を使用すると、コンクリートの設計基準強度が大幅に上回る恐れもある。このため、単位セメント量の増加に対応して、所定の強度を満たすセメントの開発や、このようなセメントの規格を整備することも必要となる。ただしこの場合には初期の強度の発現に留意した養生が重要となる。

いずれの方法にしても、要求する強度や水セメント比の下で経済性を重視した材料や設計・施工方法の研究開発が必要である。

水セメント比を明示することに伴い、配合表に加えて施工段階での水分量確認を行うことで、耐久性に密接に関係する水セメント比を直接管理でき、構造物としての耐久性の信頼性が向上する。

なお、現状では十分な精度を持って水分量を計測できる機器がないため、簡便かつ精度の高い試験方法を開発することが必要である。

(5) 使用材料について

1) 新材料

多様な材料により構成されるコンクリート構造物では、性能規定化により新しい材料の利用が期待できる。また、セメントなどにおいては、他産業等の廃棄物を再利用することにより循環型社会の構築に貢献することが期待されている。このような中、材料に含まれる成分の多様化に対して、耐久性や環境への影響について検討しつつ新材料を活用することが必要である。

2) セメント、混和材料

早期に強度を発現するセメントより、耐久性の要求性能に応じたセメントが必要となっている。すなわち、耐久性から決まる水セメント比の下で所定の強度が得られるセメントや混和材料の開発を促進する。

3)骨材

- ①骨材資源の減少に伴い、骨材の形状、粒度分布、堅さ等の品質は低下する傾向にある。特に近畿以西では、海砂の採取規制により低品質の骨材が出回る恐れがあり、対応の検討が必要となっている。また、微粒骨材量の管理も重要となる。したがって、骨材の量の他に品質の状況を把握するとともに、人工骨材や再生骨材を含めた骨材の品質区分を明確にし、耐久性の要求性能に応じた使用方法等について検討する。また、新しい代替骨材を開発することが必要である。
- ②飛来塩分や凍結防止剤(融雪剤)の影響を受ける構造物に対しては、骨材のアルカリ反応性試験等に重点を置いて確認することが必要である。

4)コンクリートの配合

耐久性の要求性能に応じた水セメント比の制限値を基準等に明示する。

5)レディーミクストコンクリート

工場の骨材置き場の管理、計量管理等の品質管理に関して、必ずしも十分な状態ではない工場もあり、工場の技術力には差があるという指摘があった。

したがって、レディーミクストコンクリートについては、現在行われている JIS マーク表示認定制度や全国統一品質管理監査制度をはじめ、様々な取り組みにより品質向上の努力がなされているが、更に品質を向上させるために、次の事項を実施することが望まれる。

○工場では、次の事項について積極的に実施を進める。

- ・購入骨材の要求品質の明示、品質確認・管理(細骨材表面水率等)の徹底
- ・計量自動印字記録装置による計量管理の促進
- ・強度の早期判定の確立

○運搬車のドラム内の固結落しや運搬車への適量積載を徹底する。

○JIS工場については、従来より行われている公示検査や立入検査に加えて試買検査(通産省による抜き取り検査)を実施する。

○従来の JIS 工場や全国統一品質管理監査に合格した工場等、品質確保体制や設備状況の整った工場のレディーミクストコンクリートを使用する。

6)鋼材等

必要に応じて、耐久性の高い材料(例えば、エポキシ樹脂塗装鉄筋、プレグラウト P C 鋼材等)を採用する。場合によっては連続繊維補強材の使用も考える。

(6)施工について

調査結果から、コンクリート劣化原因は、施工に起因するものが比較的多いことが分かった。施工不良には、単に施工のみでだけでなく、仕様や設計が遠因となるものも含まれる。また、分業化により責任分担が不明確になっていることも確認された。

現場では、交通渋滞による運搬時間の超過等によるレディーミクストコンクリートの品質不良、型枠のはらみだし、コンクリートポンプの閉塞等、施工現場における様々なトラブルを現場責任者は経験し

ていることが確認された。

これらの課題の改善のためには、以下のような対応が必要である。

- ①施工に先立って設計照査を行い、組み立て不可能な配筋図等の設計上の不備を発見したときは、設計へのフィードバックを徹底して行う。また、施工に対応したひび割れ照査を行い、必要に応じてコンクリートの配合や施工方法の見直し、あるいはひび割れ制御鉄筋の配置等を行う。
- ②施工の不具合に関する資料を収集して、基準や仕様書等に反映させる仕組みを作る。
- ③元請においては、要求された品質水準を確実に満足するよう品質管理システムを構築することが必要である。このためには、諸マニュアルの活用や社内教育等により施工技術者の技術力向上を図る他、社内検査の充実・徹底を図ることが必要である。
- ④レディーミクストコンクリートの製造・運搬、コンクリートのポンプ打設、鉄筋圧接等の施工の分業化に対して、契約書等により責任分担を明確にすることや、コンクリート技士あるいは主任技士を配置すること、鉄筋圧接においては優良圧接業者を使用すること、さらにはトレーサビリティを確保することが必要である。
- ⑤施工における品質管理システムの明確化やトレーサビリティ確保方策としてISO9000 s 取得業者の活用が考えられる。
- ⑥鉄筋のかぶりの確保は、鉄筋の腐食防止、ひいては構造物の耐久性にとって非常に大切な要素であり、スペーサーの配置など、今後も十分な施工管理が必要である。
- ⑦コンクリートポンプによる打ち込みに当たっては、ポンプの圧送能力と締め固め作業員の処理能力とのバランスを保ち、また、打ち込み中に鉄筋の変位や型枠の変形等に対処できるように、施工管理を行う。
- ⑧コンクリート初期欠陥を防止するための養生及び脱型時期等について、検討が必要となっている。また、脱型直後に不適切な補修が行われた箇所は、その後剥落するおそれがあるので、適切な補修がおこなわれるよう注意することが必要である。
- ⑨重要構造物について、打設前の水分量確認のための試験を導入する。また、そのための水分量計測機器の開発を促進する。(参考：解説資料－4)
- ⑩多様化した構造物を合理的に施工するため、必要に応じて流動化コンクリート、高流動コンクリート等の有用な特殊コンクリートの活用を検討すべきである。なお、これらの施工に当たっては技術の習熟が不可欠である。
- ⑪繊維補強コンクリートはひび割れや剥落防止の効果が期待できるが、施工性改良、経済性向上に向けての研究開発が必要である。
- ⑫PCグラウトは、完全な充填が困難な場合もあるため、グラウト材料の改良や注入方法の改良、及びプレグラウト方式や外ケーブル方式の採用などの工夫が必要となっている。
- ⑬工事の平準化や適切な発注時期・工期の設定を一層推進し、施工不良等が生じないための環境整備を行う。

(7) 工事検査について

発注者は、完成した構造物が要求性能を満足していることを確認できればよく、また、施工の自主性確保の面からも完成検査を中心とした検査を行うことが基本となる。しかしながら、コンクリート構造物は、完成時のみで要求性能の満足性を確認することが困難であるため、施工中の要所における段階検査も必要となる。また、施工責任を明確にするために必要に応じて瑕疵担保期間の終了前にも検査を行い、不具合があれば適切な処置を講ずることが有効である。

これらの課題の改善のためには、以下のような対応が必要である。

- ①検査は抜き取りであるため、要所を押さえた検査システムとすることが重要であり、構造物の重要度に応じて頻度や方法を定めたマニュアル類を整備することが必要である。
- ②完成検査においては、出来事の確認や書類での品質確認に加えて、かぶりと強度検査の充実を検討すべきである。かぶりに対しては、非破壊検査を用いることになるが、十分な精度を有する検査機器がない現状であるため、検査機器の開発や、はつり検査などを組み合わせた検査システムを確立することが必要となっている。一方、強度検査の面では、反発硬度法(テストハンマーを用いる方法)等の活用も考慮した検査システムを構築することを推奨する。
- ③段階検査としては、配筋検査におけるかぶりの確認を徹底するとともに、骨材の品質やコンクリートの配合、圧縮強度試験結果などを確認しておくことが必要である。また、重要構造物については、水分量の確認を行うことを推奨する。さらに、型枠脱型直後のコンクリートの状態確認を段階検査項目として追加することにより、施工段階における品質向上が期待できる。
- ④適切な検査を行える技術者が確保されていない場合は、第三者機関の活用を図るべきである。
- ⑤竣工図面、使用材料の品質、施工管理の記録、担当技術者等の情報は、維持管理に重要な資料となるので、保存活用する情報として、データベース化を図ることが必要である。なお、データの保存は構造物の供用期間に対応したものとする。(参考：蛍雪資料-5)
- ⑥重要な構造物については、顕彰の観点からもプレートを構造物に取り付ける。これには、設計及び施工会社名や管理責任者氏名、適用基準、設計強度、コンクリートの配合などの情報も記するのがよい。

3-2 維持管理(既設構造物)

(1) 点検について

今後、供用年数が長期にわたるコンクリート構造物が多くなる中、適切な維持管理のためには、効率的な点検システムの構築が重要な課題となってくる。すなわち、ほとんどのコンクリート構造物は十分な耐久性を有しており、その全体数と比較すると劣化が課題となる構造物は少数である。そこで、劣化の兆候がある構造物や部位を効率的に見だし、これらについては詳細な調査を行って安全性を確保するような点検システムを構築することが必要である。

各々の施設管理者においては、以下のような点を踏まえて具体的なマニュアルを整備することが望まれる。

1) 点検の内容

点検システムにおいては、構造物の変状の情報から、劣化等により要求性能を満たさない構造物や部位の抽出が的確に実施されなければならない。

劣化に関する変状の情報としては、ひび割れの大きさや密度・形状、剥離・剥落、ジャンカ、コールドジョイント、鋼材の腐食、漏水、遊離石灰などがある。特に第三者被害防止の観点では、剥離・剥落や閉合型のひび割れの変状が見られる箇所の情報が重要である。(参考：解説資料－6)

2) 点検の方法

点検の方法としては、目視や打音検査、その他の機器を用いた検査手法があるが、それぞれに特徴があり、目的の達成度や効率性を考えて適切に組み合わせることが必要となる。

目視は簡便かつ総合的に変状を判断できる基本的な点検方法であるが、点検者の能力に左右され、記録が残し難く、詳細に調査するには時間を要するといった欠点がある。これを補うためには、不足する点検専門技術者を早期に育成し活用することが必要である。また、変状の程度をビジュアルに理解できるマニュアルの整備やデジタルカメラ等による記録を行うようにするとよい。

打音検査は、剥落や浮きの発見に有効であるばかりでなく、第三者被害の防止、予防処置としても有効である。しかしながら、定性判断に止まることや記録に残し難いといったことの他に、労力と時間を要する手法である。

反発硬度法(テストハンマーを用いる方法)は、精度は劣るが簡便にコンクリート強度を推定できる方法である。実態調査では、劣化度とコンクリート強度に強い相関を見出し難い現状にあるため、精度に配慮しつつ適宜反発硬度法(テストハンマーを用いる方法)による点検を加えるとよい。

検査機器の使用は、定量評価が出来る、記録できるという長所がある反面、単機能であり、高価であるという短所があることから、これを補う点検機器の開発が必要である。

また、橋梁背面や高所を点検する機器や、道路や鉄道の交通規制を短縮する点検技術が必要となっている。さらに、重要構造物については、あらかじめ管理用通路や計測装置などを設置して、点検の効率化を図ることも必要である。

3) 点検の種類と頻度

点検には、通常行う日常的な点検と一定期間毎に行う定期的な点検、対応を検討するための詳細な点検、地震後等の臨時に行う点検及びこれらの中間的な点検がある。

コンクリート構造物の劣化は、経年による影響が大きく、長期間を要して進行することから、変状を効率的に把握できる頻度で点検を実施することが肝要である。すなわち、定期的な点検の充実を図ることが有効である。

定期的な点検は、同じ精度で実施結果を比較できることが重要である。よって、定期的な点検では、専門技術者の近接目視や打音検査による定性判断に加えて、定量判断データを得られることが

必要であり、機器を用いた点検も行うようにするとよい。

日常的な点検では、目視を主体とした全般的な異常の把握に努める。

定期的な点検や日常的な点検で変状が発見された場合は、コア採取や非破壊検査等による詳細な点検を行い劣化診断をして対応する。この場合において、適切な措置を講じるためには、その有害性の程度に応じて管理の責任者に伝達するしくみを構築することが重要である。

このような点検システムにおいては、最初の定期的な点検で展開図等に記録することが特に重要である。また、その後の定期的な点検の頻度は、5～10年に1回程度と想定される。この考え方を基本としつつ、中間年で目視や打音検査を行い近接目視の周期を20年程度に延長する等、構造物の特性に応じた点検頻度や方法を点検要領として定めると良い。また、必要に応じて、瑕疵担保期間終了前に定期的な点検を実施することが有効である。(参考：解説資料－7)

4) 点検の重点箇所

以下のような構造物や部位については、重点的に点検を行うことが必要である。

- ・過去にアルカリ骨材反応や塩害が見られ抜本的対策がとられていない構造物。
- ・過去に対症的補修が行われた構造物。
- ・飛来塩分や凍結防止剤(融雪剤)の影響、凍害等を受ける構造物や部位。
- ・剥落により第三者被害を生じさせる恐れがある部位。
- ・定期的な点検等により変状が見られ監視対象となった構造物や部位。

5) 記録の保存

維持管理のためには、点検の記録を適切に保存することが重要であり、構造物毎の台帳をデータベース化することが望ましい。特に、定期的な点検では、変状の内容、位置等の情報を視覚的に展開図等で記録することが必要である。また、変状がビジュアルに確認できる記録を保存することが有効である。そして、補修・補強履歴を残すことも重要である。なお、記録の保存期間としては、構造物の供用期間に対応したものとする必要がある。(参考：解説資料－7)

(2) 補修・補強について

既設構造物のストックが増える中、適切な補修・補強を行うことが重要となる。特に、要求される耐久性の限界に至る前に予防保全処置を講じ、長寿命化を図ることは、安全性の確保のみならずライフサイクルコスト低減の面からも重要である。

適切な補修・補強を実施するためには、以下のような対応が必要である。

- ① 構造物は、形式が多様であるだけでなく、それぞれの周辺環境および健全度が異なるため、要求性能に沿って構造物の状況に適した補修・補強方法を採用することが有効である。このためには、基準類の性能規定化と健全度の診断手法の確立、及びそれらに基づく補修・補強の設計法の開発が必要である。
- ② 損傷度や損傷原因と補修・補強方法の関連づけ、補修・補強と更新の判定基準、補修・補強度の照査・評価方法、補修・補強の優先度評価などについて確立することが必要である。

- ③現場で補修・補強を的確に行うには、損傷事例に則して、その原因と補修・補強の事例からなる手引きの整備が有効である。
- ④耐久性の維持向上のための補修・補強方法の開発だけでなく、コンクリートの剥落による第三者被害の防止を目的とする経済的な補修工法の開発も必要である。

3-3 技術開発

コンクリート構造物の耐久性の向上に関する諸課題を解決するためには、産・学・官が連携しつつ、以下のような新しい技術の研究・開発に取り組み、実用化を図ることが望まれる。

1) 基準類及び設計法

- ①基準類の性能規定化及び国際整合それらに基づく設計法の開発。
- ②耐久性能評価技術の確立。
- ③ライフサイクルコスト評価を採り入れた設計法の開発。

2) 材料等

- ①耐久性から決まる水セメント比の下で所定の強度が得られるセメントや混和材料の開発。
- ②骨材資源の減少に対応できる技術の開発(代替骨材、再生骨材等)。
- ③錆びにくく耐久性の高い鋼材等の開発及び低コスト化。

3) 施工・品質管理技術

- ①簡便かつ精度の高い水分量試験方法の開発。
- ②施工性を改良した繊維補強コンクリートの開発。

4) 非破壊検査技術(参考：解説資料-8)

工事検査や点検のための効率的な非破壊検査機器及びそれらの複合法を含めて検査機器を活用した検査・点検システムの開発及び低コスト化。

[非破壊検査の適用例]

必要な測定項目	測定方法・機器
鉄筋位置	レーダー、電磁誘導法、X線
鉄筋腐食	自然電位法、分極抵抗法
コンクリート強度	ブルアウト、反発硬度法
ひび割れ	ラインセンサカメラ、レーザー、可視カメラ
剥離	熱赤外線、超音波
コンクリート中や背面の空洞	電磁波、超音波、弾性波、音響弾性波
変状・変位の監視	ひずみ計、光ファイバーの活用

5)補修・補強技術等

- ①構造物の健全度または劣化度の診断・評価技術の確立。
- ②補修・補強方法の照査及び評価、設計方法の確立。
- ③耐久性向上のための新しい補修・補強技術の開発。
- ④コンクリートの剥落による第三者被害の防止を目的とする経済的な補修工法の開発。

以上

解説資料

解説資料－1 コンクリート構造物の実態調査結果(省略)

解説資料－2 社会情勢と対策の経緯

解説資料－3 耐久性照査に基づく設計・施工手順(省略)

解説資料－4 コンクリートの水セメント比及び水分量管理に関する資料(省略)

解説資料－5 維持管理に必要な工事記録(省略)

解説資料－6 剥落防止に関する点検資料(省略)

解説資料－7 点検及び補修・補強記録(省略)

解説資料－8 非破壊検査法に関する資料(省略)

解説資料－２（社会情勢と対策の経緯）

コンクリートは、ローマンセメントの時代を入れれば、２０００年、近代のポルトランドセメントになって１５０年以上の歴史を有し、コンクリート構造物として長年にわたり実証され、広く用いられてきた。

我が国のコンクリート構造物においては、経済の発展に伴ってストック量が増えてきたが、その過程では、新たな課題も発生しており、それに対する基準の整備が進められつつ現在に至っている。

表解-2.1に１９３０年代～１９９０年代について、コンクリート構造物における問題とそれに対する基準類の整備の経緯を示す。

表解-2.1(1) コンクリート構造物に対しての問題点と対策の動向(基準等の動向も含む) その1 : 1930～1960年代

年 代	1930 年代	1940 年代	1950 年代	1960 年代
基準類	1931 : ・土木学会「RC 示方書」制定	1947 : ・国鉄「土木工事標準示方書」制定	1950 : ・JISR5210「ポルトランドセメント」制定 1953 : ・JISA5308「レディーミクストコンクリート」制定 1955 : ・土木学会「PC 設計・施工指針」制定 ・国鉄「土木構造物設計基準(案)(無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリート)」制定	1964 : ・建設省「RC 道路橋設計示方書」制定 1966 : ・建設省「河川砂利基本対策要領」策定 1968 : ・砂利採取法公布 ・建設省「PC 道路橋示方書」策定 1969 : ・JISR5210「ポルトランドセメント」(三酸化硫黄含有量の限度引上げ) ・国鉄「土木工事標準示方書」改訂
使用材料 セメント 骨材 混和剤 生コン		1949 : (50 年前) ・初の生コン工場	1950 : ・AE 剤の生産開始、生コンクリートに使用	1963 : ・SP 剤の火入れ ・初の生コン協同組合東京に誕生 1965 : ・生コン JIS マーク指定品目 1966 : ・河川砂利の規制 1969 : ・・・このころから海砂が多く使用され始めた。・・・ 1968 : ・全国生コン協同組合連合会発足 (共同受注・共同販売)
施 工		1948 : ・土木工業会発足	1954 : ・メタルフォームの全面導入 1955 : ・PC 工業協会発足	1960 : ・コンクリートポンプ 実用化 1961 : ...このころ分業化始まる。... ・内部振動機 JIS 化 ・(社)日本圧接協会発足 ・名古屋でポンプ 圧送業開始 1964 : ・コンクリートポンプ 車開発 ・ポンプ 圧送工法普及 1969 : ・建設省土木施工管理技士制度発足
設 計			1957 : ・技術士法公布	1964 : ・建設省「RC 道路橋示方書」 床版配力鉄筋(主筋の 1/4 以上) 橋軸方向にひび割れ 1967 : ・建設省 RC 床版通達 配力鉄筋量(主筋の 70%) 1968 : ・建設省 RC 床版通達 最小床版厚 $31+9 \geq 16\text{cm}$ 鉄筋の許容応力度 1400kgf/cm^2
社会情勢			1951 : ・長生橋(日本初の PC 橋) 1956 : ・道路公団設立 1959 : ・首都公団設立	1960 : ・所得倍増論 1962 : ・水資源公団・鉄道公団・阪神公団設立 1964 : ・東海道新幹線(東京～新大阪間)開通 ・東京オリンピック大会開催 1965 : ・名神高速道路全通
その他				

表解-2.1(2) コンクリート構造物に対しての問題点と対策の動向(基準等の動向も含む) その2 : 1970年代

年 代	1970年代	
基準類	1970 : ・国鉄「建造物設計標準 鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物」制定 1972 : ・土木学会「コンクリートポンプ 施工指針(案)」制定 1974 : ・土木学会「RC 示方書」改訂 AEコンクリートが望ましい 海砂塩分量 : 一般の RC・NaCl に換算して 0.1% 以下	1977 : ・建設省「コンクリートに使用される細骨材に塩分が含まれる場合の取り扱いについて」通達 ・土木学会「RC 示方書」改訂 海砂塩分量一般の RC 塩素イオン重量では 0.06% 以下(実質変更なし) 1978 : ・建設省「土木工事に係わるコンクリート細骨材としての海砂の使用について」通達 ・建設省「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」改訂 AEコンクリートを標準。 できるだけ海砂を使用しない。やむを得ない場合は土木学会の規制値。 かぶり : 最も厳しい環境下での土木学会の従来規制値以上。 施工精度の規定 ・土木学会「PC 標準示方書」改訂 海砂の塩分 プレソ : NaCl 換算 0.03% 以下(塩素イオン 0.02% 以下) その他 : NaCl 換算 0.1% 以下(塩素イオン 0.06% 以下) ・JISA5308「レディミキストコンクリート」 AEコンクリートを標準化 海砂塩分量規制 1979 : ・運輸省「港湾施設の技術上の基準」改訂
使用材料 セメント 骨材 混和剤 生コン	1973 : ・骨材不足深刻 1974 : ・海砂問題顕在化 1973 : ・関東中央生コン工業組合設立	1975 : ・全国生コン工業組合連合会発足 1978 : ・関東中央生コン工組第1回品質監査実施 1979 : ・NSP キルン操業開始
施 工	1971 : ・コンクリート技士・主任技士制度発足	
設 計	1971 : ・建設省 RC 床版通達 最小床版厚 $31+11 \geq 16\text{cm}$ 配力鉄筋量(主鉄筋の約 8 割以上)	1978 : ・「道示Ⅲコンクリート橋編」設計内容充実(最小かぶり : 一般の場合の +1cm 以上、等) ・建設省 RC 床版通達 床版コンクリートの品質規定 鉄筋の許容応力度 1200kgf/cm^2 床版に防水層を設けるのが望ましい
社会情勢	1970 : ・本四公団設立 ・大阪万博開催 1972 : ・山陽新幹線(新大阪～岡山間)開通 ・日本列島改造計画発表 1974 : ・ゼロ成長	1975 : ・山陽新幹線(岡山～博多間)開通 1976 : ・沖縄海洋博開催
その他		

表解 -2.1 (3) コンクリート構造物に対しての問題点と対策の動向(基準等の動向も含む) その3 : 1980 年代

年 代	1980 年代	
基準類	1981 : ・建設省総プロで「コンクリートの塩化物総量規制」研究開始 ・国鉄「土木工事標準示方書」改訂 1982 : ・JISA6204「コンクリート用化学混和剤」制定 1983 : ・建設省道路局「コンクリート橋の塩害対策について」事務連絡 (1982 : 塩害実態調査実施) ・土木学会「流動化コンクリート施工指針(案)」制定 ・国鉄「建造物設計標準 鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物」改訂 1984 : ・建設省「生コン中の簡易塩分量測定器」技術評価。技調発第 260 号「土木工事に係るコンクリート用骨材の取り扱いについて(アルカリ骨材反応)」 ・建設省「道路橋の塩害対策指針(案)」制定	1985 : ・建設省総プロの課題として「コンクリートの耐久性向上技術の開発」実施 1986 : ・建設省・運輸省「コンクリートの塩分総量規制・アル骨暫定対策」通達 ・土木学会「コンクリート標準示方書」改訂 RC と PC 一本化 海砂注意事項(アル骨反応を促進させる) アルカリ骨材反応の化学安定性について記述 塩素イオン重量で 0.2kg/m³ 以上の混和剤使用禁止 塩分総量規制 : 一般...0.6kg/m³ 以下、耐久性...0.3kg/m³ 以下 温度ひび割れ、海洋コンクリート構造物の耐久性規定 PC 圧入注入解説補完 ・JISR5210「ポルトランドセメント」「低アルカリセメント」新設 ・JISA5308「レディミクストコンクリート」塩分総量規制・アル骨反応抑制対策方法及び試験法 1987 : ・道路公団 塩分総量規制 (0.3kg/m³ 以下) 海砂塩分量 (0.04% 以下) (ブレンへの使用禁止) ・国鉄「土木工事標準示方書」改訂 ・「港湾の施設の技術上の基準」改訂 1988 : ・運輸省コンクリート耐久性向上策等について通達 1989 : ・土木学会「コンクリート構造物の耐久性設計指針(案)」制定
使用材料 セメント 骨材 混和剤 生コン	1980 : ・海砂塩分量 0.1% 以下の除塩を達成させることにする。 1981 : ...この頃飛来塩分による塩害が顕在化... ・(建築)海砂塩分量 0.04% 以下に除塩可能に 1983 : ・NHKTV「国道 7 号線の塩害」放映 ・NHKTV「土木学会全国大会研究討論会にてアル骨反応問題」放映 ・セメント協会「アル骨材反応について見解」	1984 : ・NHK、コンクリートクライシス放映 ・読売、阪高のアルカリ骨材反応について報道 ・朝日・毎日、山陽新幹線のアル骨について報道 1987 : ・無塩化タイプの混和剤そろそろ。(0.3kg/m³ 以下の規制対応可能に)
施 工	1984 : ・「塩害対策指針(案)」スペーサーの必要数明記	1986 : ・土木学会「コンクリート標準示方書」(スペーサーは原則としてコンクリート又はモルタル製)
設 計	1983 : ・国鉄「建造物設計標準」 ひび割れを考慮する場合の鉄筋の許容応力度の規定 1984 : ・「塩害対策指針(案)」 塩害に対する最小かぶり値、最大水セメント比の値(コンクリートの設計基準強度の値)	1986 : ・土木学会「コンクリート標準示方書」(コンクリート強度に応じた最小かぶり値規定)
設 計	1982 : ・東北新幹線(盛岡～大宮間)、上越新幹線(新潟～大宮間)開通 ・九州横断自動車道、東北自動車道全通	1986 : ・東北自動車道全通 1988 : ・常磐自動車道開通
その他		

表解-2.1(4) コンクリート構造物に対しての問題点と対策の動向(基準等の動向も含む) その4 : 1990年代

年 代	1990年代
基準類	1990 : - 建設省「道路橋示方書」改訂 共通編：海砂については1978年「道示Ⅲ」と同様／アル骨対策については1986年建設省通達と同様。 コンクリート橋編：塩分総量規制については1986年建設省通達と同様。 1991 : - 土木学会「コンクリート標準示方書」改訂：海砂・・・NaCl 換算で 0.03% 以下(塩素イオンで 0.02% 以下) 塩分総量規制・・・一部 0.6kg/m³ 以下→ 0.3kg/m³ 以下 耐凍害性をもとに AEコンクリートの最大水セメント比 70% → 65% - 運輸省「鉄道構造物等設計標準 コンクリート構造物」制定 1992 : - 運輸省「港湾の施設の技術上の基準」一部改正 1995 : - 土木学会「コンクリート構造物の維持管理指針(案)」制定 1996 : - 建設省「道路橋示方書」改訂 塩分総量規制・・・0.3kg/m³ 以下、海砂塩分量(フレン)・・・NaCl 換算 0.03% 以下(塩素イオンで 0.02% 以下) - 土木学会「コンクリート標準示方書」改訂 コンクリートの品質として耐久性の重要性を明記(PCグラウトにノンブリーディングタイプ 推奨) - JISA5308「レディミクストコンクリート」 塩分総量規制・・・0.3kg/m³ 以下、海砂塩分量・・・NaCl 換算 0.04% 以下(フレンは 0.02% 以下) 1999 : - 運輸省「港湾の施設の技術上の基準」改訂
使用材料 セメント 骨材 混和剤 生コン	1990 : - つら問題提起 「酸性雨によるコンクリート劣化」 1992 : - 建設省「コンクリート構造物に及ぼす酸性雨の影響に関する調査」
施 工	1993 : - PC 技士制度制定 1999 : - 山陽新幹線トンネル内コンクリート塊落下
設計	1991 : - 運輸省「鉄道構造物等設計標準」設定 限界状態設計法の採用、ひび割れ幅の規定 1996 : - 建設省「道路橋示方書」改訂：靱性に配慮した配筋)
社会情勢	1990 : - バブル崩壊 1994 : - 関西新空港開港 1995 : - 阪神淡路大震災 1997 : - 北陸新幹線(高崎～長野間)開通
その他	

各地方整備局企画部長 あて

大臣官房技術調査課長

土木コンクリート構造物の品質確保について

土木コンクリート構造物の耐久性を向上させる観点から、コンクリートの品質確保に関し、下記より実施することにしたので通知する。

記

- 1 土木コンクリート構造物の耐久性を向上させるため、一般の環境条件の場合のコンクリート構造物に使用するコンクリートの水セメント比は、鉄筋コンクリートについては55%以下、無筋コンクリートについては60%以下とすること。
- 2 鉄筋のかぶりを確保するため、スペーサーを設置するものとする。スペーサーは、構造物の側面については原則1m²につき2個以上、構造物の底面については原則1m²につき4個以上設置すること。
- 3-1 重要なコンクリート構造物の適切な施工を確認するため、コンクリート構造物の施工完了後に、テストハンマーによる材齢28日強度の推定調査を請負者に実施させるものとし、調査結果を提出させること。
- 3-2 テストハンマーによる強度推定調査の結果が、所定の強度が得られない場合については、請負者に原位置のコアを採取し、圧縮強度試験を実施させるものとし、試験結果を提出させること。

3-3 上記4による圧縮強度試験結果が所定の強度が得られない場合等の対応方法については、各地方整備局技術管理課等に相談すること。

4 工事完成後の維持管理にあたっての基礎資料とするため、重要構造物についてはひび割れ発生状況の調査を請負者に実施させるものとし、調査結果を完成検査時に提出させること。

5 工事関係技術者と技能者の責任と自覚・社会的貢献意識を高揚し、また、将来の維持管理補修の効率化を図るため、当該工事関係者、構造物の諸元等を表示する銘板の設置を推進すること。

6 適用

この要領は、平成13年4月1日以降に発生する工事に適用する。

平成13年3月29日

各地方整備局技術調整管理官 あて

大臣官房技術調査課

建設コスト管理企画室長

「土木コンクリート構造物の品質確保について」の運用について

「土木コンクリート構造物の品質確保について」(平成13年3月29日付け国官技第61号、以下「課長通達」という。)の運用について定めたので、下記のとおり取り扱われたい。

記

- 1 課長通達で定めたコンクリートの水セメント比の上限値は、特記仕様書に明示すること。
水セメント比については、請負者が作成した示方配合表により確認すること。
なお、水セメント比を減じることにより施工性が著しく低下する場合は、必要に応じて、高性能減水剤の使用等を検討すること。

- 2 スペーサーの個数については、鉄筋組立て完了時の段階確認時に確認すること。

- 3-1 テストハンマーによる強度推定調査は、以下に基づき実施すること。

(1)適用範囲

強度確認調査の対象工種については、高さが5m以上の鉄筋コンクリート擁壁(ただしプレキャスト製品は除く。)、内空断面積が 2.5 m^2 以上の鉄筋コンクリートカルバート類、橋梁上・下部工(但しPCは除く。)、トンネル及び高さが3m以上の堰・水門・樋門とする。

(2) 調査頻度

- 1) 調査頻度は、鉄筋コンクリート擁壁及びカルバート類については目地間、トンネルについては1打設部分、その他の構造物については強度が同じブロックを1構造物の単位とし、各単位につき3カ所の調査を実施すること。
- 2) 調査の結果、所定の強度が得られない場合については、その箇所の周辺において、再調査を5カ所実施すること。

(3) 測定

1) 測定方法

「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法(J S C E - G 5 0 4)」により実施すること。
(「コンクリート標準示方書(規準編)」に掲載。)

2) 測定時期

測定は、足場が存置されている間に実施することが望ましい。

3) 測定の立ち会い

監督職員等及び受注者が立ち会いのうえ、テストハンマー強推定調査を実施するものとする。
立ち会いの頻度については、30%程度とすること。

4) 調査の報告

構造物毎に別添様式-1により調査票を作成し、完成検査時に提出させること。

3-2 圧縮強度試験の実施

4-1において実施したテストハンマーによる強度推定調査の再調査の平均強度が所定の強度が得られない場合、もしくは1カ所の強度が設計強度の85%を下回った場合は、以下によること。

(1) コアの採取

所定の強度が得られない箇所の付近において、原位置のコアを採取するものとし、採取位置については監督職員と協議を行い実施するものとする。

また、コア採取位置、供試体の抜き取り寸法等の決定に際しては、設置された鉄筋を損傷させないよう十分な検討を行うこと。

(2) 圧縮強度試験

1) 試験方法

「コンクリートからのコア及びはりの切取り方法並びに強度試験法(JIS A 1107)」により実施すること。

2) 圧縮強度試験の立ち会い

監督職員等及び受注者が立ち会いのうえ、圧縮強度試験を実施するものとする。

3) 試験の報告

構造物毎に別添様式-1により調査票を作成させること。

3-3 圧縮強度試験結果が所定の強度を得られなかった場合等の対応

圧縮強度試験の平均強度が所定の強度が得られない場合、もしくは1カ所の強度が設計強度の85%を下回った場合は、各地方整備局技術管理課等に相談するとともに、必要に応じ技術事務所及び土木研究所等に相談すること。

3-4 4-1に係る調査に要する費用は別途積み上げ計上すること。

4-1 工事完成後の維持管理等の基礎資料とするためのひび割れ発生状況の調査の実施は以下によること。

(1)適用範囲

ひび割れ発生状況調査の対象工種については、高さが5m以上の鉄筋コンクリート擁壁(ただしプレキャスト製品は除く。)内空断面積が25m²以上の鉄筋コンクリートカルバート類、橋梁上・下部工(ただしPCは除く。)及び高さが3m以上の堰・水門・樋門とする。

(2)調査方法

1)0.2mm以上のひび割れ幅について、展開図を作成するものとし、展開図に対応する写真についても提出させること。

2)ひび割れ等変状の認められた部分のマーキングを実施させること。

(3)調査時期

調査は、足場が存置されている間に実施することが望ましい。

(4)調査の報告

構造物毎に別添様式-2により調査票を作成し、完成検査時に提出させること。

(5)調査結果の評価

調査結果の評価に当たっては、別添の「ひび割れ調査結果の評価に関する留意事項」を参考にするこ
と。

4-2 5に係る調査に要する費用は別途積み上げ計上すること。

5 コンクリート構造物の銘板の設置に当たっては以下によること。

(1)銘板の表示内容等については、地方整備局において定めるものとする。

(2)銘板に要する費用は別途積み上げ計上すること。

(3)設置施設は、主に重要構造物を対象とする。

テストハンマーによる強度推定調査票(１)

工事名	
請負者名	
構造物名	(工種・種別・細別等構造物が判断出来る名称)
現場代理人名	
主任技術者名	
監理技術者名	
測定者名	

位置	測定NO		
構造物形式			
構造物寸法			
竣工年月日			
適用仕様書			
コンクリートの種類			
コンクリートの設計基準強度	N/mm ²	コンクリートの呼び強度	N/mm ²
海岸からの距離	海上、海岸沿い、海岸から k m		
周辺環境①	工場、住宅・商業地、農地、山地、その他()		
周辺環境②	普通地、雪寒地、その他()		
直下周辺環境	河川・海、道路、その他()		
構造物位置図(1/50000を標準とする) 添付しない場合は (別添資料－〇参照)と記入し、資料提出			

テストハンマーによる強度推定調査票(2)

構造物名 (工種・種別・細別等構造物が判断出来る名称)

一般図、立面図等

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

テストハンマーによる強度推定調査票(3)

構造物名 (工種・種別・細別等構造物が判断出来る名称)

全景写真

添付しない場合は
(別添資料一〇参照)と記入し、
資料提出

テストハンマーによる強度推定調査票(4)

構造物名 (工種・種別・細別等構造物が判断出来る名称)

調査箇所	①	②	③	④	⑤
推定強度 (N/mm ²)					
反発硬度					
打撃方向 (補正值)	()	()	()	()	()
乾燥状態 (補正值)	・乾燥 ・湿っている ・濡れている ()	・乾燥 ・湿っている ・濡れている ()	・乾燥 ・湿っている ・濡れている ()	・乾燥 ・湿っている ・濡れている ()	・乾燥 ・湿っている ・濡れている ()
材 齢	日 ()	日 ()	日 ()	日 ()	日 ()
推定強度結果の最大値					N/mm ²
推定強度結果の最小値					N/mm ²
推定強度結果の最大値と最小値の差					N/mm ²

テストハンマーによる強度推定調査票(5)

構造物名 (工種・種別・細別等構造物が判断出来る名称)

強度測定箇所

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

テストハンマーによる強度推定調査票(6)

ーコア採取による圧縮強度試験ー

コンクリートの圧縮試験結果

材齢 28 日圧縮強度試験	1 本目の試験結果	
同	2 本目の試験結果	
同	3 本目の試験結果	
同	3 本の平均値	
[備 考]		

ひび割れ調査票（１）

工事名	
請負者名	
構造物名	(工種・種別・細別等構造物が判断出来る名称)
現場代理人名	
主任技術者名	
監理技術者名	
測定者名	

位置	測定NO		
構造物形式			
構造物寸法			
竣工年月日			
適用仕様書			
コンクリートの種類			
コンクリートの設計基準強度	N /mm ²	コンクリートの呼び強度	N /mm ²
海岸からの距離	海上、海岸沿い、海岸から k m		
周辺環境①	工場、住宅・商業地、農地、山地、その他()		
周辺環境②	普通地、雪寒地、その他()		
直下周辺環境	河川・海、道路、その他()		
構造物位置図(1／5 0 0 0 0を標準とする) 添付しない場合は (別添資料－○参照)と記入し、資料提出			

ひび割れ調査票(2)

構造物一般図

添付しない場合は
(別添資料一〇参照)と記入し、
資料提出

ひび割れ調査票(3)

ひび割れ	有、無	本数：1～2本、3～5本、多数
		ひび割れ総延長 約 m
		最大ひび割れ幅(○で囲む) 0.2mm 以下、0.3mm 以下、 0.4mm 以下、0.5mm 以下、 0.6mm 以下、0.8mm 以下、 _____ mm
		発生時期(○で囲む) 数時間～1日、数日、数10日以上、不明
		規則性：有、無
		形態：網状、表層、貫通、表層 or 貫通
		方向：主鉄筋方向、直角方向、両方向、 鉄筋とは無関係

ひび割れ調査票(4)

ひび割れ発生状況のスケッチ図

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

ひび割れ調査票(5)

構造物名 (工種・種別・細別等構造物が判断出来る名称)

ひび割れ発生箇所の写真

添付しない場合は
(別添資料－○参照)と記入し、
資料提出

(別添)

ひび割れ調査結果の評価に関する留意事項

【原因の推定方法】

原因の推定方法については、「コンクリートのひび割れ調査、補修、補強指針」(日本コンクリート工学協会)で詳しく述べられており、これを参考にすると良い。ひび割れの発生パターン(発生時期、規則性、形態)・コンクリート変形要因(収縮性、膨張性、その他)・配合(富配合、貧配合)・気象条件(気温、湿度)を総合的に判断して、原因を推定することができる。

また、「コンクリート標準示方書[維持管理編]」(土木学会)においても、ひびわれの発生原因の推定等について記述されているので、参考にされたい。

【判断基準】

補修の要否に関するひびわれ幅については「コンクリートのひび割れ調査、補修、補強指針」に記載されている(表-1)。施工時に発生する初期欠陥の例については、「コンクリート標準示方書[維持管理編]」に示されている(図-1, 省略*)。

実際の運用にあたっては、対象とする構造物や環境条件により、補修・補強の要否の判断基準は異なる。完成時に発生しているひびわれは、すべてが問題となるひびわれではない。例えば、ボックスカルバートなどに発生する水和熱によるひびわれに関しては、ボックスカルバートの形状から発生することを避けられないひびわれであるが、機能上何ら問題は無い。

判断に困ったとき等、必要に応じて技術事務所、土木研究所等の対応窓口に相談重要である。

* 図-1として、土木学会「2001年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編]解説図4.2.1(p.26)」が引用されている。

表－1 補修の要否に関するひび割れ幅の限度

環境 その他の要因 区分		耐久性からみた場合			防水性からみた場合
		きびしい	中間	ゆるやか	－
(A) 補修を必要とするひび割れ幅(mm)	大	0.4以上	0.4以上	0.6以上	0.2以上
	中	0.4以上	0.6以上	0.8以上	0.2以上
	小	0.6以上	0.8以上	1.0以上	0.2以上
(B) 補修を必要としないひび割れ幅(mm)	大	0.1以下	0.2以下	0.2以下	0.05以下
	中	0.1以下	0.2以下	0.3以下	0.05以下
	小	0.2以下	0.3以下	0.3以下	0.05以下

注：1)その他の要因(大、中、小)とは、コンクリート構造物の耐久性及び防水性に及ぼす有害性の程度を示し、下記の要因の影響を総合して定める。

ひび割れの深さ・パターン、かぶり厚さ、コンクリート表面被覆の有無、材料・配(調)合、打継ぎなど。

2)主として鉄筋の錆の発生条件の観点からみた環境条件。