

コンクリート構造物の景観向上技術 の開発に関する共同研究報告書

平成9年3月

建設省土木研究所
材料施工部コンクリート研究室
社団法人セメント協会

Copyright ©1997 by P.W.R.I.

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

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

コンクリート構造物の景観向上技術 の開発に関する共同研究報告書

建設省土木研究所

コンクリート研究室

〃

〃

室 研 究 員 長 河 野 広 隆
菊 森 佳 幹
加 藤 俊 二

社団法人セメント協会

コンクリート景観専門委員会

〃

委 員 長 西 田 耕 一
委員 長代 関 戸 英 範
主 査 川 畑 耕 一
委 員 田 中 敏 嗣
〃 唐 津 啓 一
〃 清 水 明 樹
〃 岸 田 秀 次
〃 佐 藤 甲 敏 宏
〃 中 田 渡 正 之
〃 六 藤 洩 康 夫
〃 佐 藤 涼 裕 一
〃 鈴 木 敏 文 弘
〃 狩 野 田 邦 治
〃 廣 伊 三 浦 宏 一
〃 春 森 日 成 子

常 務 理 事
事 業 部 長
事 業 部 次 長
事業部普及課係長
事業部普及課

要 旨

本報告書はコンクリート構造部に用いられている様々な表面形態を仕上げ法によって分類し、それらについて景観・美観、施工性、経済性等の特徴を述べるものである。また、それらの適用事例を示し、景観に与える影響等を解説した。さらに、コンクリート擁壁についてコンクリート材料の表面形態が景観評価に及ぼす影響を定量的に解析し、コンクリート擁壁についてのイメージ評価構造を明らかにした。その他にこの研究で取り組んでいるエフロレッセンス対策に関する調査と試験フィールドに適用した汚れ防止技術および緑化コンクリートの追跡調査の結果も示すものである。

キーワード：コンクリート、景観、景観評価、表面形態、テクスチャー、汚れ、緑化ポーラスコンクリート

共同研究者名簿

機関・企業名 氏 名 役 職 名

建設省土木研究所

河野 広隆	材料施工部コンクリート研究室	室 長	平成 5 ～ 8
菊森 佳幹	材料施工部コンクリート研究室	研究員	平成 5 ～ 8
加藤 俊二	材料施工部コンクリート研究室		平成 5 ～ 7
狩野 敏也	材料施工部コンクリート研究室	部外研究員	平成 6 ～ 7
古閑 俊一	材料施工部コンクリート研究室	〃	平成 7
梶尾 聡	材料施工部コンクリート研究室	〃	平成 5

(社) セメント協会・コンクリート景観専門委員会

委 員 長	西田 耕一	三菱マテリアル (株)	平成 6 ～ 8
委員長代行	関戸 英範	〃	平成 6 ～ 8
主 査	川畑 耕一	〃	平成 6 ～ 8
員	助清 満昭	〃	平成 5
〃	田中 敏嗣	日本セメント (株)	平成 5 ～ 8
〃	高林 佳孝	日鐵セメント (株)	平成 7 ～ 8
〃	唐津 啓一	〃	平成 6
〃	長沼 浩	〃	平成 5
〃	清水 明	(株) トクヤマ	平成 5 ～ 8
〃	岸田 秀樹	秩父小野田 (株)	平成 5 ～ 8
〃	佐藤 甲次	〃	平成 6
〃	畑 実	秩父セメント (株)	平成 5
		(現・秩父小野田 (株))	
〃	中田 敏宏	宇部興産 (株)	平成 6 ～ 8
〃	佐田 国泰彦	〃	平成 5
〃	六渡 正之助	電気化学工業 (株)	平成 6 ～ 8
〃	近藤 秀之	〃	平成 5
〃	藤渕 康夫	三井鉱山 (株)	平成 5 ～ 8
〃	佐藤 涼一	新日鐵化学 (株)	平成 6 ～ 7
〃	檜 康弘	〃	平成 5, 8
〃	永井 賢文	住友大阪セメント (株)	平成 8
〃	鈴木 裕明	〃	平成 6 ～ 7
〃	山田 尚	住友セメント (株)	平成 5
		(現・住友大阪セメント (株))	
〃	酒木 哲也	大阪セメント (株)	平成 5
		(現・住友大阪セメント (株))	
	板橋 正光	常務理事	平成 8
	廣田 文宏	常務理事	平成 5 ～ 7
	君島 健之	事業部長	平成 5
	伊原 邦治	事業部長	平成 6 ～ 7
	三浦 宏一	事業部長	平成 8
	〃	事業部次長	平成 6 ～ 7
	神田 彰久	事業部普及課長兼出版課長	平成 8
	春日 一成	事業部普及課係長	平成 5 ～ 8
	小宮山 慎一郎	事業部普及課	平成 5
	森 寿子	〃	平成 6 ～ 7
	雨宮 真吾	〃	平成 8

目次

まえがき	1
報告書の構成	2
I コンクリート構造物の景観向上に関する提案	3
1. 研究概要	5
2. コンクリート構造物を景観設計する際の考え方	5
2.1 対象とする構造物	5
2.2 一般的なコンクリート土木構造物の景観上の配慮点	6
2.3 景観設計の基本的な考え方	6
3. コンクリート構造物の景観評価構造の把握	7
3.1 実験概要	7
3.2 景観評価に影響を及ぼす因子とその特徴	9
3.3 景観向上への提案	20
4. コンクリート構造物の表面形態・表面仕上げの分類とその特徴	21
4.1 コンクリートの表面形態および表面仕上げの分類	21
4.2 表面形態の利用法	22
4.3 各表面仕上げの特徴	22
II コンクリート構造物の汚れ対策	27
1. 研究概要	29
2. 汚れの種類と原因	29
2.1 汚れの種類	29
2.2 粉塵による汚れ	31
2.3 カビ・コケ・藻類による汚れ	31
2.4 エフロレッセンス（白華）	32
2.5 施工不良による汚れ	32
3. 構造物の部位と汚れ状況	33
4. 汚れにくくする方法	34
4.1 物質の付着による汚れに対して	34
4.2 エフロレッセンスに対して	34
4.3 施工上の留意点	35
5. 汚れを目立たせない方法	36
5.1 表面仕上げ（テクスチャー）の工夫	36
5.2 水みちの制御	36
5.3 その他	36
6. 汚れに関する実験・調査	37
6.1 コンクリート供試体の汚れ暴露試験	37
6.2 エフロレッセンス対策に関する調査	

III	コンクリート構造物の緑化手法に関する検討	43
1.	研究概要	45
2.	追跡調査概要	45
3.	追跡調査結果	46
3.1	植物の生育状況	46
3.2	耐久性試験	46
4.	追加実験概要	47
5.	追加実験結果	47
5.1	圧縮強度	47
5.2	凍結融解抵抗性試験	47
5.3	空隙率と植物の生育状況	48
6.	まとめ	48
IV	事例写真	49
1.	景観設計の考え方	51
2.	景観評価検討写真	52
3.	景観向上への提案	55
4.	表面テクスチャー事例	56
5.	汚れおよび汚れ対策事例	61
6.	緑化コンクリート	66
	あとがき	67
	参考文献	68

まえがき

公共土木施設は国民生活の基盤となるものであり、常に地域住民や利用者から親しまれ続けられるように、その地域の環境と調和し、時代の流れに耐え得る実用性、耐久性、美観を備えていることが求められる。ところが、高度成長期における公共事業ではもっぱら実用面、経済面が追求され、景観・美観上の配慮がなされることは少なかった。しかし、近年、国民生活の質の向上に伴い、その生活基盤となる公共土木施設にも景観や環境との調和について、より高い品質が求められるようになってきた。

そうした中、各地域で公共事業を通じて地域の景観を向上させようという試みが盛んに行われている。しかし、残念ながら、そうした試みが必ずしも成功しているとはいえない状況にある。設計・計画に携わる技術者の多くが景観に関して正しい知識や技術を身につけていないことがその一因と考えられる。

わが国の場合、公共事業において景観・美観上の配慮がなされるようになってからの歴史はそれほど長くはない。やがて人々の景観についての認識が成熟し、経験の蓄積により技術者の景観に関する技術レベルが上がれば、自ずと景観に関する問題は改善される、現在は試行錯誤を繰り返すいわば過渡的な段階であるという説もある。しかし、ただ試行錯誤を繰り返すよりも、体系的に景観向上のための方策が検討される方が望ましい。

このような背景のもとに、建設省土木研究所と(社)セメント協会は建設省総合技術開発プロジェクト「美しい景観創造技術の開発」の一課題である「景観素材としてのコンクリート材料の開発」で平成5年度から8年度の4年間にわたって共同研究を行ってきた。この研究は、主に材料面からコンクリート構造物の景観を向上させる手法を開発するために行われた。

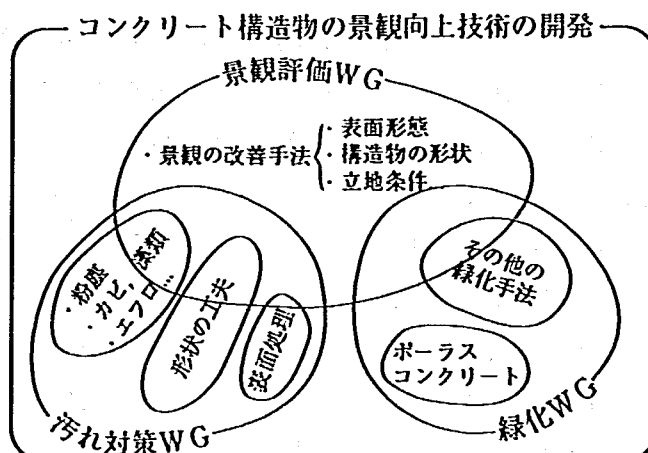
またこの研究では、コンクリート構造物の中でも、大規模橋梁等の地域景観をリードするランドマーク的な構造物の景観を検討するのではなく、どこにでもあるようなごく普通の構造物、例えば道路擁壁等について取り組んできた。ランドマーク的な構造物は、設計・施工に際して十分に景観についての検討がなされる。しかしながら、日常我々が目にする構造物の多くは、景観をほとんど考慮されることなく設計・施工される構造物であろう。このような普通の構造物は身近に数多く存在し、議論の対象になることは少ないが、身近にあるがゆえにこそ地域景観に及ぼしている影響は少なくないと考えられる。したがって、これらの景観をボトムアップすることにより、地域景観向上が図れるものと考えた。

この報告書は、4年間にわたった共同研究の成果のうち主なものを取りまとめたものである。これがコンクリート構造物の設計・施工に関わる方々の参考になり、少しでもコンクリート構造物の景観向上ひいては地域景観のレベルアップに寄与できれば幸いである。

報告書の構成

この共同研究では、右図に示す3つのワーキンググループ（以下、WG）に分かれて研究を進めてきた。それぞれ、景観評価WG、汚れ対策WG、および緑化WGであり、この報告書も各WGに対応した三部から構成されている。

なお、各部で引用した写真は「第Ⅳ部 事例写真」にまとめて掲載した。



第Ⅰ部 コンクリート構造物の景観向上に関する提案

景観評価WGでは、コンクリート構造物の表面形態や汚れ、コンクリート構造物の緑化、立地条件などの景観構成要素が景観評価に及ぼす影響について研究し、またそれらの景観構成要素（主に表面形態）をコントロールすることにより、景観を改善させようという研究に取り組んできた。

ここでは、コンクリート構造物の景観についての基本的な考え方やCG（合成写真）を用いた景観評価の試み、各種表面形態についての基礎的な知識について紹介する。

第Ⅱ部 コンクリート構造物の汚れ対策

汚れ対策WGでは、コンクリート構造物の形状の工夫や表面処理により、汚れを防止・軽減する方法について取り組んだ。また、メンテナンスフリーを原則とする土木構造物の場合、定期的な洗浄等により完全に汚れを抑えることは困難であるので、汚れを目立たなくする方法や、汚れを活用して景観を向上させる方法についても研究した。

ここでは、研究の中で得られた汚れ対策に関する知見をまとめたものを紹介する。

第Ⅲ部 コンクリート構造物の緑化手法に関する検討

緑化WGでは、緑化によるコンクリート構造物の景観向上手法について研究した。また、最近開発されたコンクリートの組織自体に植物を生やすことができる緑化ポラスコンクリートという材料について、その適用性を検討した。

ここでは、緑化ポラスコンクリートの試験施工事例などについて紹介する。

第Ⅰ部

コンクリート構造物の 景観向上に関する提案

第 一 卷

中國經濟史（一）

秦漢至南北朝

1. 研究概要

ここでは、コンクリート構造物の景観についてその特徴や設計の際の基本的な考え方をとりまとめた。

まず、「2.コンクリート構造物を景観設計する際の考え方」で、今回の一連の研究の中で主な対象とした構造物や、基本とした景観設計の考え方について述べる。

この考え方をもとにして、「3.コンクリート構造物の景観評価構造の把握」では、個々の景観要素が景観評価に及ぼす影響について、CGを用いた実験の結果とあわせて解説し、景観向上のためのいくつかの提案を行った。また、「4.コンクリート構造物の表面形態・表面仕上げの分類とその特徴」では、景観向上をはかる際に、比較的容易な手段として検討されやすい表面形態・表面仕上げについて、参考のため特徴や留意点をまとめた。

2. コンクリート構造物を景観設計する際の考え方

2.1 対象とする構造物

景観への配慮のレベルという観点で、土木構造物を考えると、その構成は図-2.1のようなピラミッド状の分布になっていると考えられる。大規模橋梁等のランドマークとなるような構造物は景観面での検討も十分に行われるがその数は少ない。一方、小規模な擁壁等の大部分の構造物は、設計の際に景観を考慮されることはほとんどない。

ランドマークとなるような構造物を設計する際は、景観検討委員会等が設置され、景観についても十分に検討

される。また、そのような地域の景観をリードする構造物をつくることを目的とするならば、個別に景観を考慮して設計されるべきであり、一般論として景観設計の考え方を論じるのは難しいであろう。

一方、どこにでもあるような普通の構造物（例えば道路擁壁など）は数が多く身近にあり、そのために、むしろ日常的に地域景観に及ぼしている影響は大きいとも考えられる。これらの構造物の中に極端に景観面でのレベルが低いものがあると、それが目立ってしまい地域全体の景観レベルが下がる場合もある。こうした普通の構造物にまで特別な景観上の配慮を行うことは、そのコストを考えると現実的ではない。しかし、土木構造物を景観設計する際には、最低限守らなければならないルールが存在するとも言われており、これが守られれば、極端に景観面でのレベルの低い構造物がなくなり、地域景観の向上につながることを期待される。

以上のことから、この研究では特別な景観上の検討を行わない、小規模擁壁のようなごく普通に見られる構造物を対象に、景観設計のルール・定石というべきものに関して考えていくことにした。また、景観向上のための対策については、その容易さから、材料面からのアプローチについて主に考えることにした。

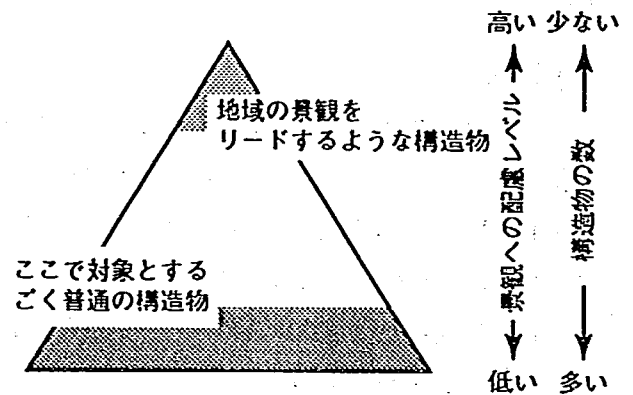


図-2.1 土木構造物の景観上の分布構成

2.2 一般的なコンクリート土木構造物の景観上の配慮点

(1) 公共性・永続性

公共土木施設としてのコンクリート構造物は、不特定多数の人々に利用され、耐用年数も通常は30年以上と長いスパンで設計・使用されるので、高い公共性と永続性を有していなければならない。当然、嗜好性の強いデザインは避けられなければならないし、たとえ設計・竣工当時の人々の大半の同意を得たとしても、長い耐用年数の間に人々の嗜好が変わる可能性が十分考えられることを認識しなければならない。一般的に絵画や色彩など感情的な意味を有するものは個人的な嗜好の差が大きい。それゆえ、擁壁の壁面等に絵画等の意味を有するデザインを施すのは、本来十分な景観設計上の検討を要することであり、安易な決定を下してはならない。

また、コンクリート構造物の場合、年月とともにある程度汚れることは避けられない。メンテナンスフリーが原則である土木構造物では、定期的な洗浄がなされることは少ない。汚れることを前提として設計し、汚れても醜くならない、あるいは醜い汚れが付かないような設計にすべきと考えられる（写真－1.1, 1.2）。

(2) 調和

ランドマークとなるような構造物ならば、その存在を主張し、その地域の景観をリードするという役割が期待されるが、ここで扱う構造物は身近に存在し数も多いので、周辺景観との調和を重視すべきである。写真－1.3は、本来主役となるべき周囲の緑に対して、法枠が目立ってしまっている事例である。一方で、写真－1.4のコンクリート橋は周囲の緑と調和するためにシンプルな形態が採用されている。橋梁の場合、ともすれば目立った構造物を造ってしまいがちであるが、この場合は周囲の緑の方が主役であることをわきまえたデザインとなっている。

2.3 景観設計の基本的な考え方

個人が自由に選択できる自動車や家電製品等の耐久消費財ならば嗜好性を有するデザインでも良いが、不特定多数の人々に長期間にわたって利用される土木構造物は、嗜好性が強いものであってはならないし、一時的な流行をデザインに取り入れるのは望ましくない。

また、汚れや施工不良等により醜くなった構造物では、おおよそ誰が見ても景観上の評価が低く、個人的な評価の差が少ないのに対して、景観上の評価が高い構造物に関しては、個人的な評価の差が大きいという傾向がある。したがって、不特定多数の人々にある程度高く評価されるような景観を持つ構造物を造るのは非常に難しいが、評価が低いものを造らないという方向で景観設計することは十分可能である。

特に、この研究の対象としたごく普通に見られるコンクリート土木構造物の場合は、いいものを造るというスタンスではなく悪いものを造らないという考え方が有効であり、これらの普通の構造物の景観の質を改善（ボトムアップ）することが、地域景観を向上させる効果的な手段の一つであると考えられる。

3. コンクリート構造物の景観評価構造の把握

3.1 実験概要

3.1.1 景観評価の構造

景観評価はコンクリート構造物（景観対象）からそれを見る人（景観主体）が受ける印象であり、景観評価構造とは、景観対象の属性と景観主体が受ける印象の関係（メカニズム）と定義できる。コンクリート構造物の景観を向上させるには、まず既存のコンクリート構造物の景観評価の構造を明らかにしなければならない（図-3.1）。その次に、コンクリート構造物のどこをどのように変えたら景観が向上するかを検討する必要がある。ごく普通のコンクリート構造物の場合は、景観主体の属性が評価に及ぼす影響は小さいと考えられており、本研究のようにボトムアップによる景観向上が地域全体の景観向上に有効であると考えられる。

そこで、表面形態や汚れの状況、緑化など景観評価に影響を及ぼすと思われる要素を操作した合成写真（CG）を用い、官能検査を行って、コンクリート構造物が人々に与える印象の特性を把握することを試みた。

景観評価に影響を及ぼす因子としては、図-3.2に示すように様々なものが考えられるが、ここでは、設計上比較的変更が容易な、構造物表面の属性についてのみ扱った。また、形状が単純であり、景観評価に材料の特性による影響が素直に現れると考えられるコンクリート擁壁を対象にした。

3.1.2 官能検査

表-3.1にコンクリート擁壁の景観を評価する上で主要な要素として検討した項目を示す。官能検査は、被験者が写真を見て、それに対し表-3.2に示した形容詞対に関して+2から-2の5段階で評価することにより行った（図-3.3）。

官能検査に用いた擁壁の写真は、検討要因のみの影響を抽出するため、ベースとなる写真に対し、「汚れ」や「緑化」などの影響因子をCGで合成して作成した。被験者は20~50才代の一般の人で、男女比や年齢構成に偏りがないように抽出した90人とした。なお、複数の機会にわたって実験したデータを用いたので、用いた形容詞対が表-3.2と若干異なっている場合もあるが、その他の実験方法は同じである。

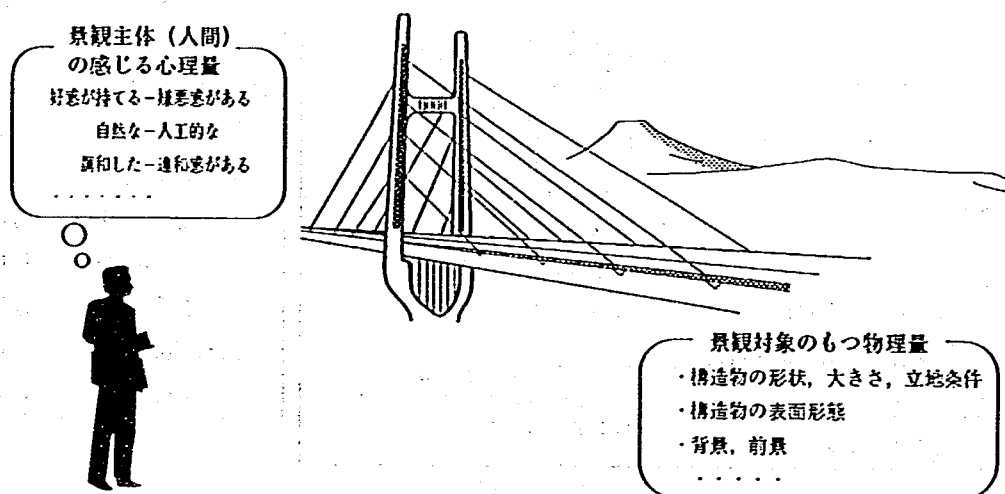


図-3.1 景観評価の構造

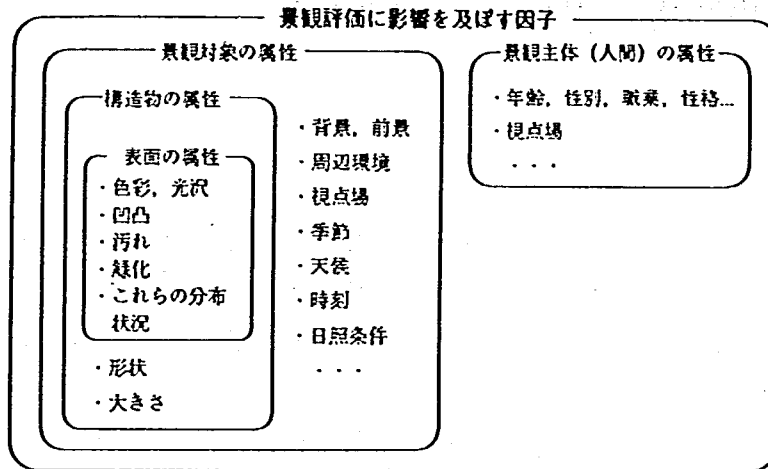


図-3.2 景観評価に影響を及ぼす因子

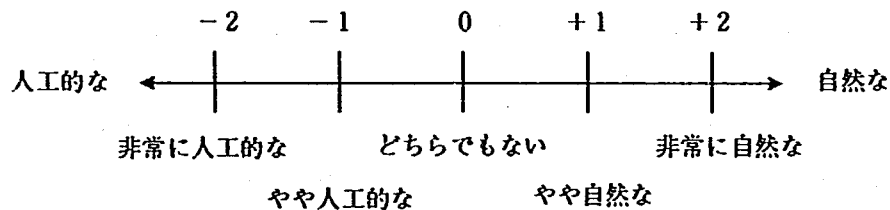


図-3.3 形容詞対による評価説明

表-3.1 景観構成要素

●表面テクスチャー（表面仕上げ） ●平滑仕上げ ●はつり仕上げ ●間地ブロック ●擬石ブロック ●自然石積み ●汚れ ●汚れの分布状況 ●よだれ状 ●均一・全体 ●まだら状 ●グラデーション ○汚れの種類 ○粉塵、藻類 △錆汁 △エフロレッセンス ●汚れ面積 △明度差、色差 ●緑化 ○緑化の方法 ●下端からの緑化 △天端からの緑化 △全体（つた・つる等） ○維持管理状態 ●壁面のテクスチャーとのマッチング	●壁面の絵画 ○維持管理状態（汚れ） ●壁面のテクスチャーとのマッチング ○緑化とのマッチング ○構造物の形状（擁壁） △縦横比 ○横断面形状 △縦断面形状 ○その他一般事例 ○街路樹の影響 ○擬石の繰り返しパターン ○テクスチャー処理で成功している事例 ○汚れて景観が向上している事例 ○緑化で成功している事例 ○役割分担を無視している事例（法枠） △煩雑なもの △稚拙なもの（絵画等） ※ ●：ここで紹介するもの ○：本研究の中で検討したもの △：未検討なもの
--	---

表-3.2 用いた形容詞対

(+) 形容詞対	(-)
自然な	人工的な
整然とした	雑然とした
快適な	不快な
魅力的な	魅力的でない
潤いのある	潤いのない
男性的な	女性的な
動的な	静的な
近代的な	古風な
落ち着きのある	落ち着きのない
目立っている	目立っていない
親しみのある	よそよそしい
きれいな	汚い
高尚な	稚拙な
調和した	違和感がある
解放感がある	圧迫感がある
好感がもてる	嫌悪感がある

3.2 景観評価に影響を及ぼす因子とその特徴

3.2.1 表面テクスチャー

まず、擁壁の表面テクスチャーの違いが、景観評価に及ぼす影響を検討した。3種類のタイプの異なる背景を用いて、8種類のテクスチャー（表-3.3）の違いをみた（写真-2.1～写真-2.8）。

「好感がもてる－嫌悪感がある」の形容詞対の評価は、図-3.4に示すように、「調和した－調和しない」の形容詞対と同じような傾向を示し、今回対象とした、コンクリート擁壁のような構造物の景観を考える上では、特に構造物と周囲の調和が重要であることが確認された。また、背景Aと背景Bでは、

はつり仕上げや間地ブロック、自然石を用いて仕上げたものが、他の仕上げ方法に比べ周囲と調和しているという評価を得ている。擬石ブロックによるものは、背景による評価の変化が大きい。

次に、形容詞対「自然な－人工的な」の評価結果を、図-3.5に示す。平滑仕上げや規則的な擬石ブロックである擬石Aがかなり人工的な印象を与えている一方、はつり仕上げや間地ブロック、自然石を用いた仕上げが、コンクリートの人工的な印象を多少緩和していることがわかる。形容詞対「解放感がある－圧迫感がある」の場合（図-3.6）でも、はつり仕上げや間地ブロック、自然石仕上げは、平滑仕上げよりも解放感があると評価されており、これらの表面テクスチャーが、コンクリートが通常もっているとされる人工的な印象や圧迫感を緩和しているものと考えられる。

表-3.3 擁壁の表面形態の仕様

凡例	説明
平滑	平滑仕上げ（打放し）
はつり	はつり仕上げ（チップング）
間地A	間地ブロック（斜め45° 積み）
間地B	間地ブロック（斜め45° 積み・化粧タイプ）
擬石A	規則的な擬石ブロック
擬石B	不規則な擬石ブロック
自然石A	明度の高い自然石（花崗岩）
自然石B	明度の低い自然石

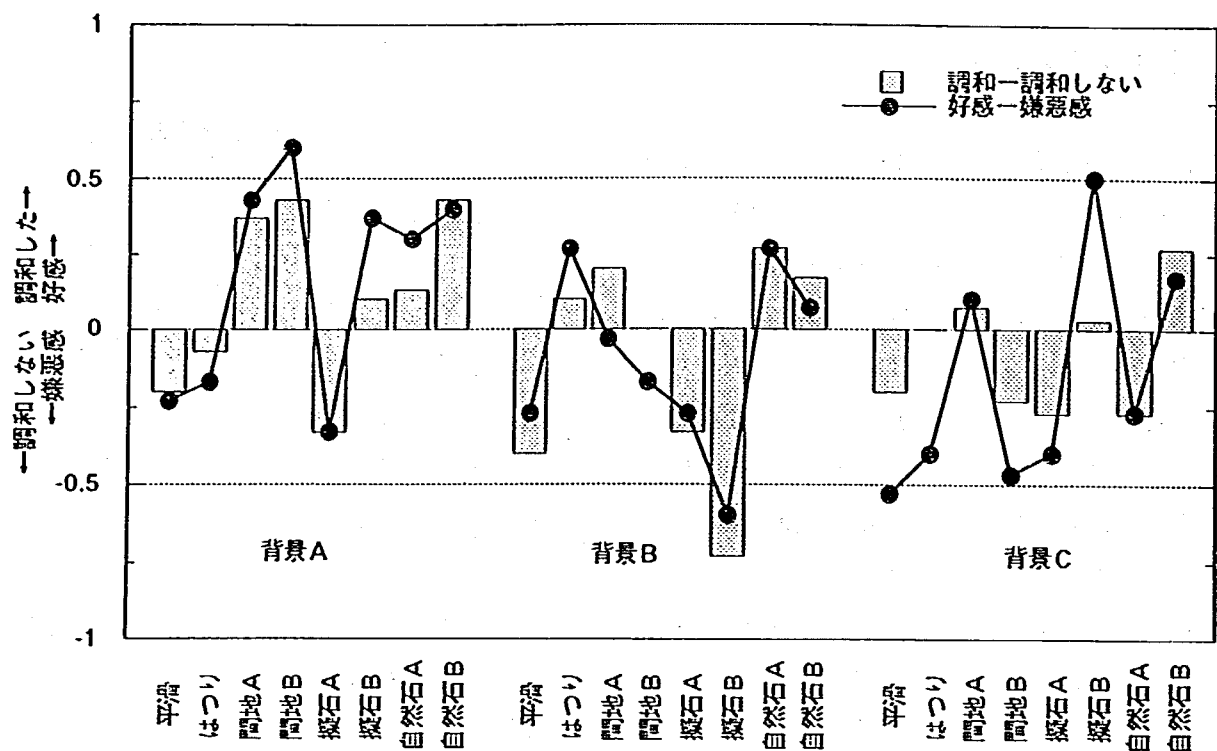


図-3.4 表面テクスチャーの影響 (好感・調和感)

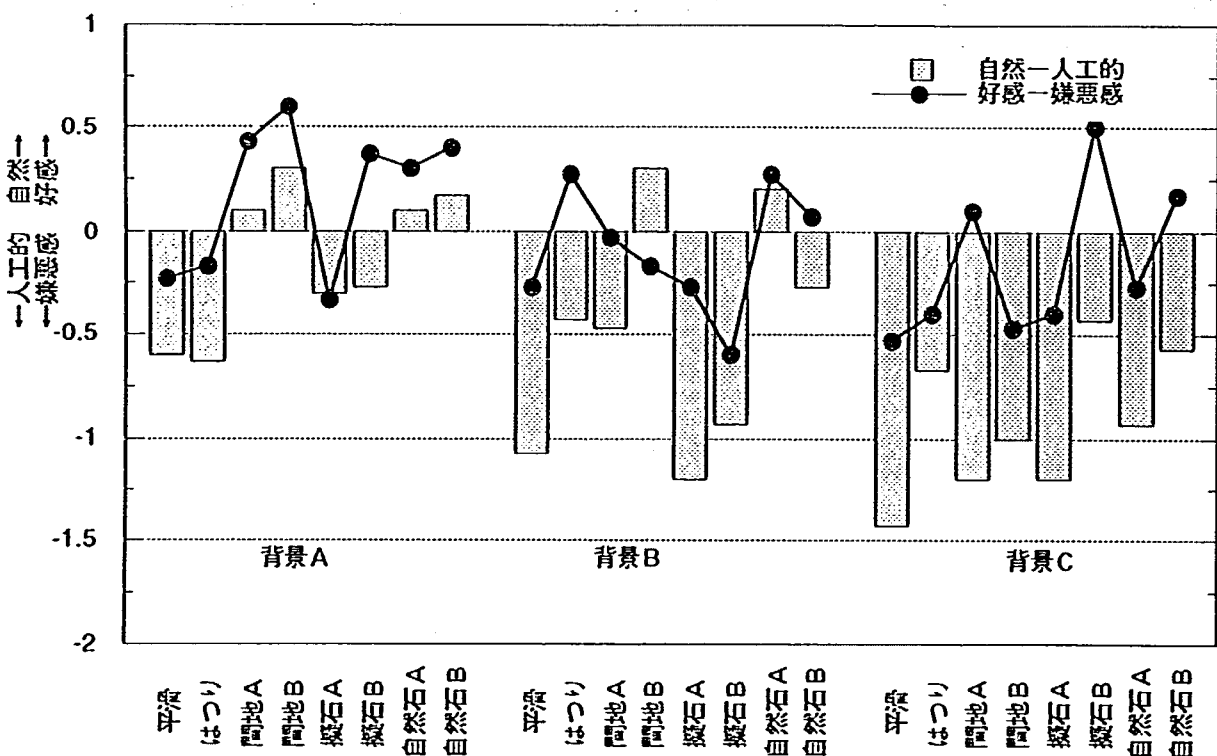


図-3.5 表面テクスチャーの影響 (自然な-人工的な)

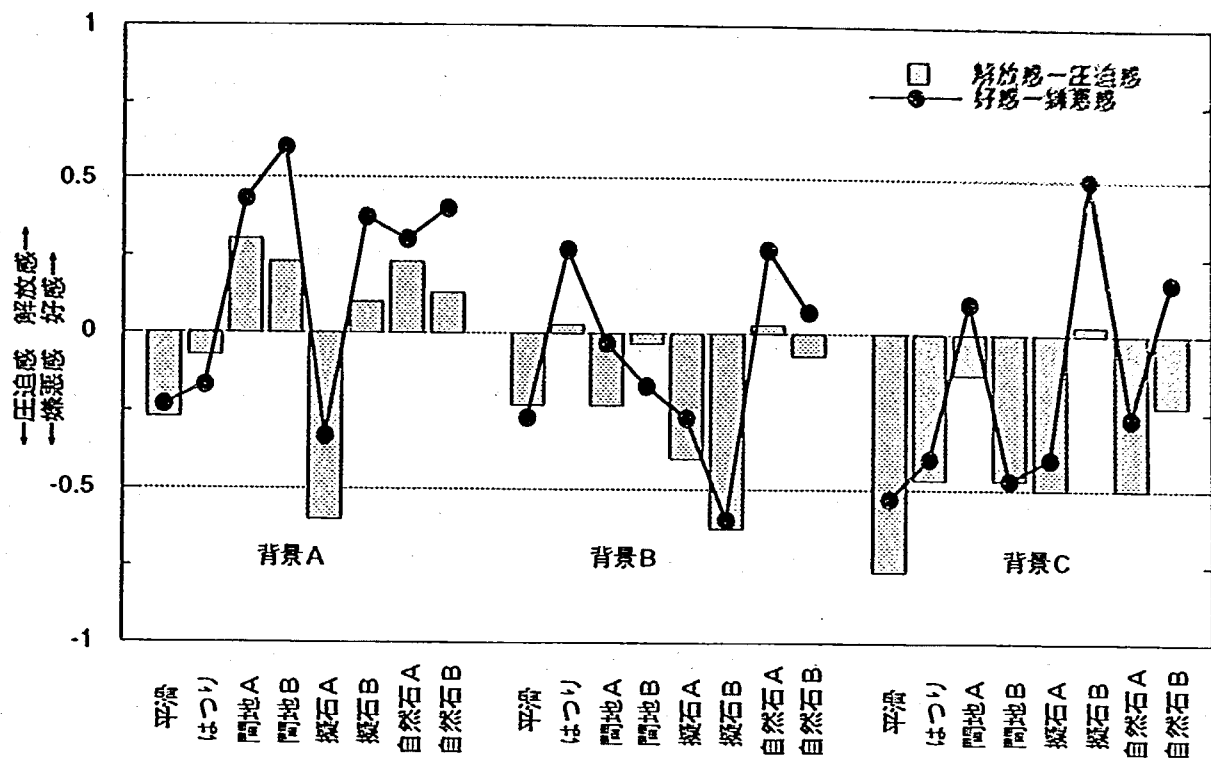


図-3.6 表面テクスチャーの影響 (解放感-圧迫感)

3.2.2 汚れ

最も一般的な粉塵による汚れ（黒ずみ）をとりあげ、汚れ分布状況（均一、よだれ状等）と汚れ面積が景観評価に及ぼす影響を検討した。なお、官能検査に用いた写真を写真-2.9～写真-2.15に示す。

よだれ状汚れの場合の汚れ面積率と形容詞対評価得点の関係を図-3.7に示す。汚れの面積が大きくなると「きれいー汚い」の評価得点はほぼ直線的に低下しており、汚い印象を与えている。また、総合的な景観評価を表すと考えられる「好感が持てるー嫌悪感がある」の得点も、汚れ面積の増加とともに低くなっている。「きれいー汚い」の評価得点の場合ほど低下割合は大きくないが、これは、もともとこの種の構造物が好感を持たれるような性質のものではなかったためであろう。

汚れの分布形状と形容詞対評価得点の関係を図-3.8に示す。これによると、「きれいー汚い」の形容詞対では「よだれ状」>「まだら状」>「均一・全体」>「グラデーション」の順に、汚いと認識されている。汚れ面積率が異なるので一概には比較できないが、よだれ状やまだら状のようにムラのある汚れは、特に汚いという印象を与えている。グラデーション状の汚れの場合は、汚れがない場合と評価得点と同じであり、汚いと感じさせない汚れ方だといえる。

また、「好感がもてるー嫌悪感がある」の形容詞対得点を見ると、グラデーション状の汚れは、汚れのないものに比べても好感を持たれており、このケースについては汚れにより景観が向上しているとさえいえる。

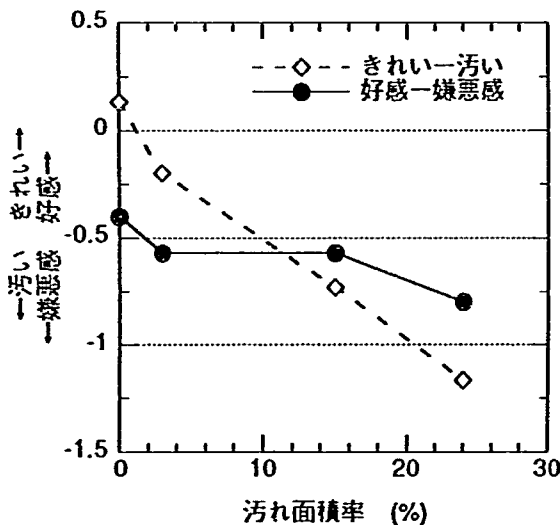


図-3.7 汚れ面積率と評価得点の関係

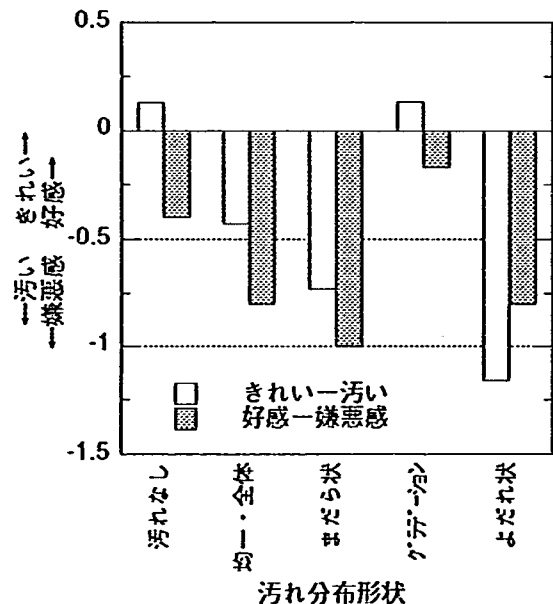


図-3.8 汚れの分布形状と評価得点の関係

3.2.3 緑化

コンクリート構造物を緑化する方法は種々存在する。構造物の天端や下端に植栽する（例えば、屋上の緑化や、足下に花壇を設けるなど）の他、つたやつる草で構造物の表面を覆ってしまう方法も考えられる。最近では、コンクリートそのものに植物を生育させることができる緑化コンクリート（「Ⅲ コンクリート構造物の緑化手法に関する検討」を参照）も考えられている。

ここでは、一般的で維持管理も容易であると思われる擁壁の下端（足下）を緑化する方法を用いた場合の、景観評価への影響について検討した。植物の維持管理状態、壁面の汚れの状態、壁面のテクスチャーとのマッチング等について検討したが、ここではそのうち植栽と壁面のテクスチャーとのマッチングについて紹介する。

官能検査に用いた写真は、表面テクスチャーの影響を調べる際用いた擁壁の足下に、緑化を施したしたもの（写真-2.16～写真-2.19）である。この緑化された擁壁に対する形容詞対「好感がもてる－嫌悪感がある」、「調和した－違和感がある」の評価結果を図-3.9に示す。また、緑化の有無による調和感への影響を図-3.10に示す。用いた形容詞対が若干異なることや複数回にわたる実験であることから、形容詞対評価結果の絶対値を比較することは適当ではない。しかし、傾向として、足下を緑化した場合は平滑仕上げの調和感が高くなっており、擬石ブロックや間地ブロックを用いた場合よりも緑化による景観改善効果が高いといえる。

この理由は2つ考えられる。形容詞対「整然とした－雑然とした」について見ると、図-3.11に示すように、緑化した場合、平滑仕上げ以外の仕上げでは雑然とした印象が大きくなっている。緑化を行うと植栽が目立つことによって景観の主役になりコンクリートの印象を緩和して景観を向上させるが、表面の凹凸が大きいテクスチャーを用いると植栽以上に目立ってしまい、緑化の効果をごろしてしまったことが考えられる。一方、形容詞対「自然な－人工的な」の評価について見ると、緑化した場合、図-3.12に示すように、平滑仕上げ以外の仕上げ方法は全体にやや人工的であると評価されていることがわかる。今回の足下の緑化が維持管理の行き届いた性質のものであるため、人工的な印象を与え、同じように人工的な印象が強い平滑仕上げ以外の表面テクスチャーとは相性が悪かったのではないかと考えられる。

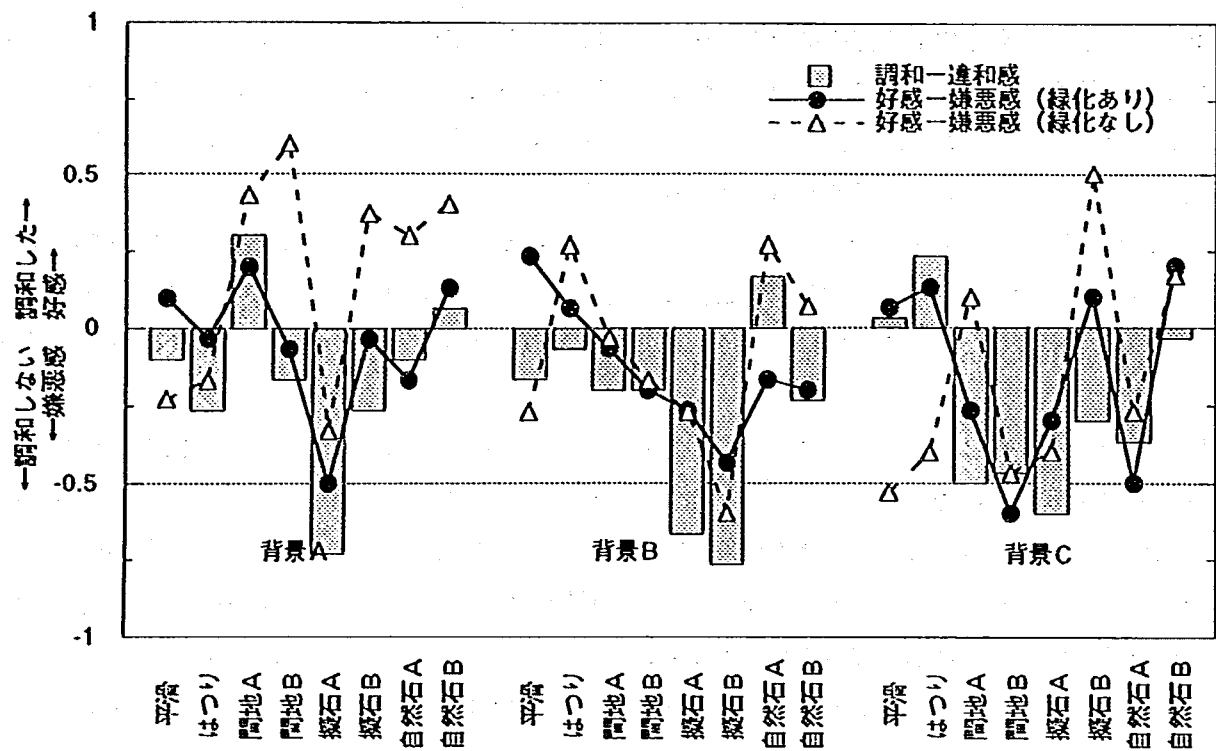


図-3.9 緑化の影響 (好感-嫌悪感)

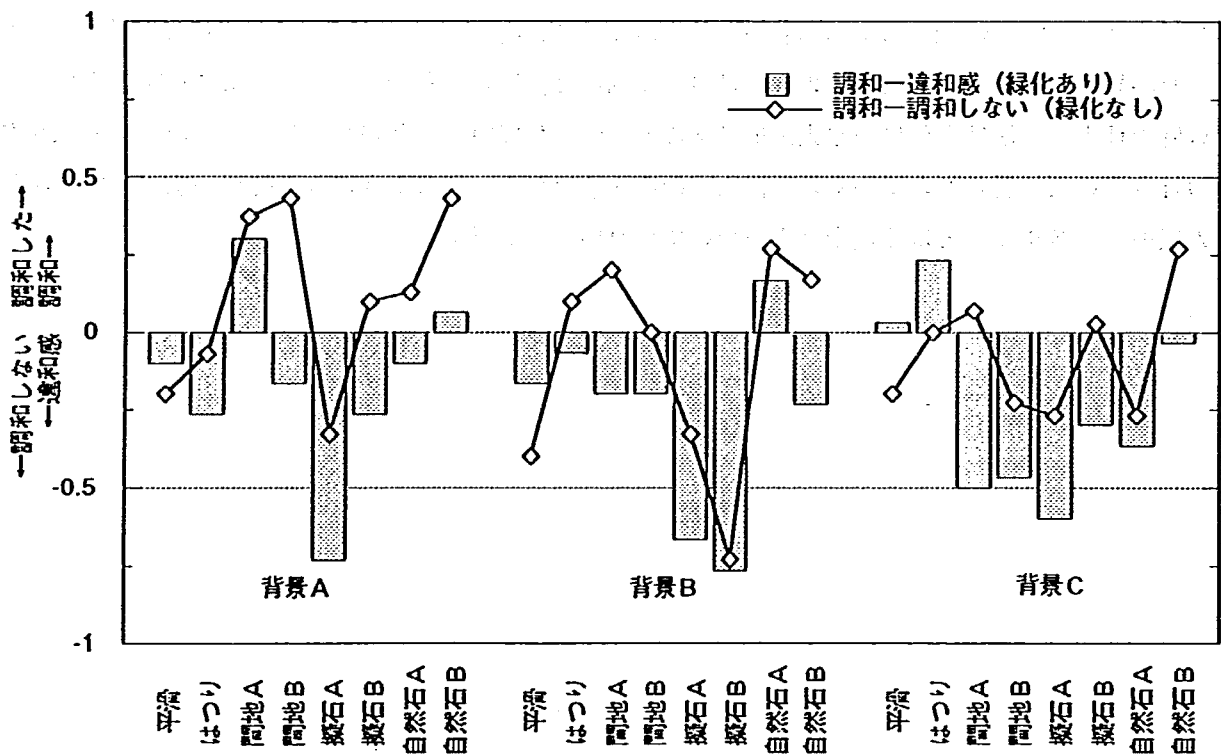


図-3.10 緑化の影響 (擁壁下端の緑化：調和している-違和感がある)

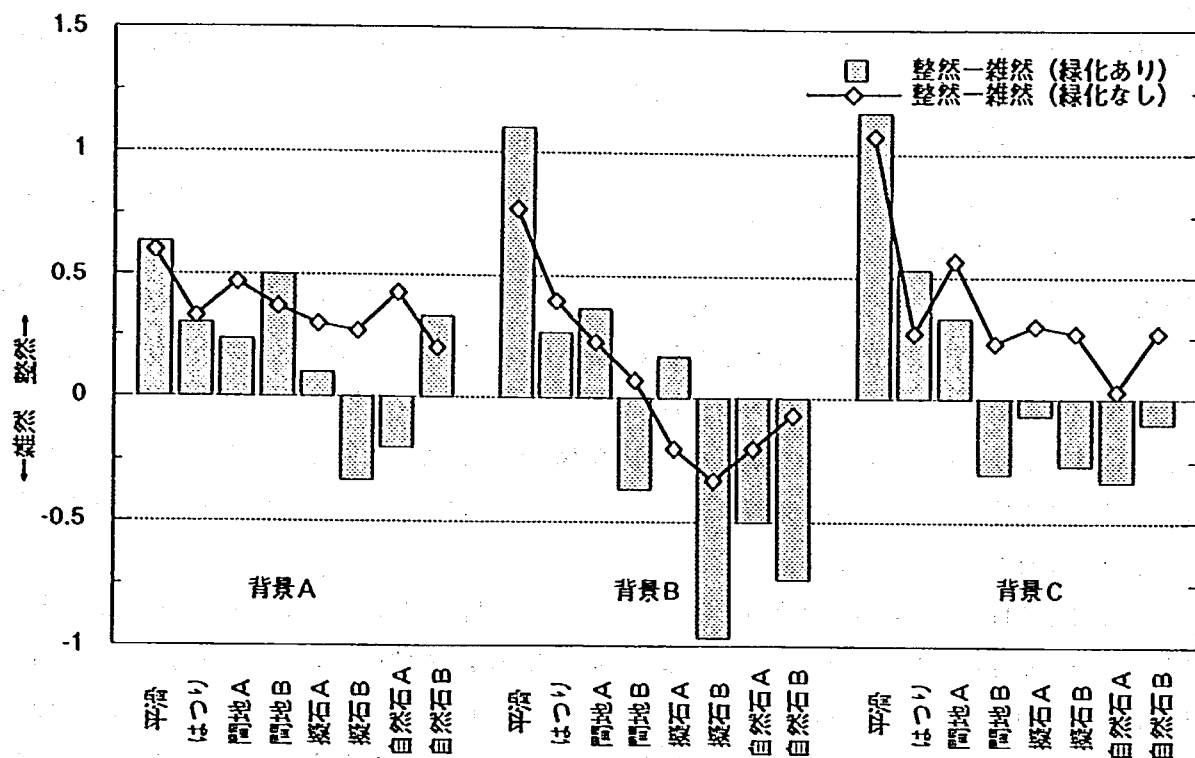


図-3.11 緑化の影響 (擁壁下端の緑化：整然とした—雑然とした)

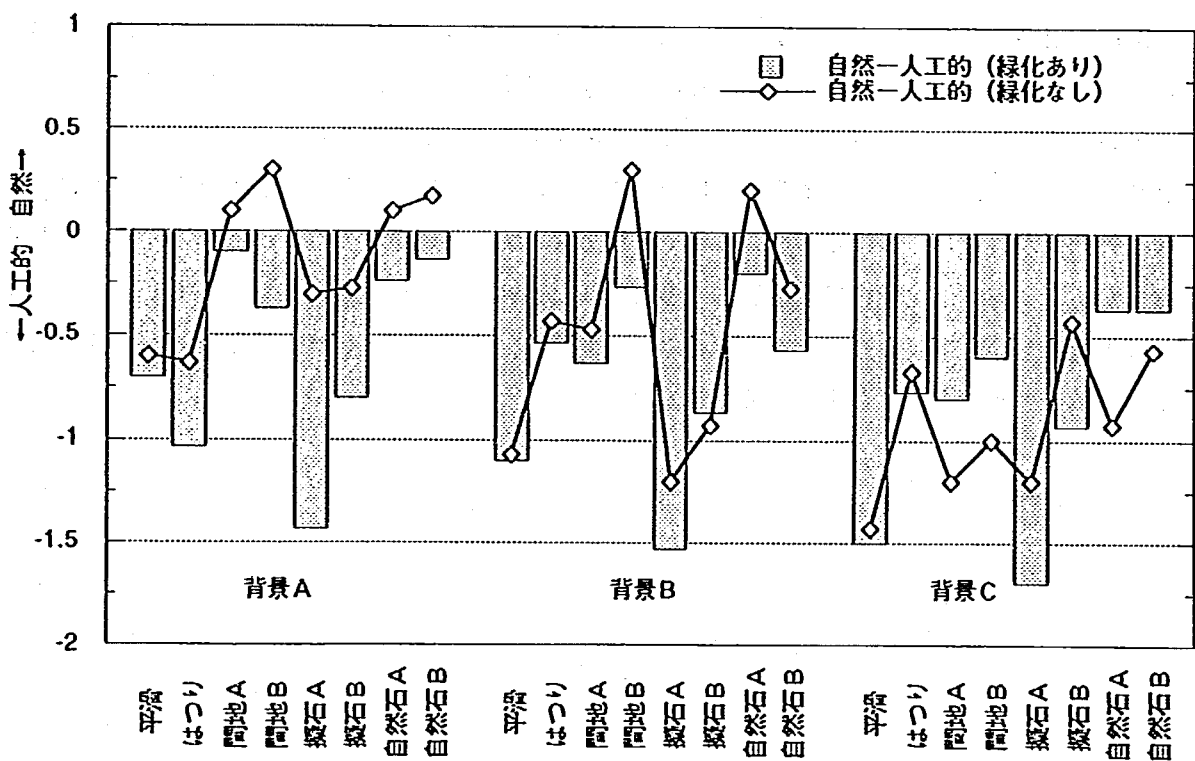


図-3.12 緑化の影響 (擁壁下端の緑化：自然な—人工的な)

3.2.4 絵画

コンクリートの擁壁の壁面に描かれた絵画が、景観上どのような影響を与えているか検討した。最近多くなっているレリーフ状の絵画で、「蝶」と「花」の図柄を用いて検討した。絵画自体は稚拙なものではない。背景は、表面テクスチャーおよび緑化の影響を調べた際に用いた背景Bと背景Cで、擁壁の足下に緑化が施されているものをベースとした。なお、テクスチャーは、平滑・はつり・間地B・擬石Bの4種類を用いた（写真-2.20～写真-2.23）。

形容詞対「好感が持てる－嫌悪感がある」および「調和している－違和感がある」についての結果を図-3.13に示す。この図から、総合的な評価と考えられる好感についての評価結果は、絵画の有無にあまり影響を受けていないことがわかる。同様に、違和感および形容詞対「高尚な－稚拙な」についての評価もまた、絵画の有無にはあまり影響を受けていなかった（図-3.14、図-3.15）。今回の実験に用いた絵画が、それなりのクオリティを持ったものであり景観に悪影響を与えることはなかったものの、景観を大きく改善することもできなかったものと考えられる。

一方、形容詞対「目立っている－目立っていない」の評価では、擬石Bの場合を除き、絵画が加えられたことにより、かなり目立つようになったという結果であった（図-3.16）。また、形容詞対「解放感がある－圧迫感がある」の評価では、絵画によって、多少圧迫感が緩和されていることがわかる（図-3.17）。これらの結果から、壁面の一部に描かれた絵画が目立つことによって、コンクリートの塊としての壁面の印象は緩和されたことが考えられる。

今回の官能検査では、特に絵画を入れたことによる影響は大きくなかったが、このような方法で評価が可能かどうかについては疑問が残った。この検査では、あまり地域的な意味を感じさせないような「蝶」と「花」の図柄を用いたが、仮にそれで圧迫感が緩和されるとしても、日常的に目にする擁壁に地域のコンテキストとまったく無関係な図柄があっても良いものとは考えにくい。一方、より地域的な、メッセージ色の強い図柄を用いた場合には、評価が個人の嗜好に大きく依存することが予想される。

コンクリート構造物に絵画を付与することについては、このようにかならずしも入れたコストに見合うだけの景観改善効果が得られるとは限らないことや汚れを除去する必要がでてくることなどから望ましくないとする意見がある一方で、地域住民も参加して導入された絵画が好評を得ている事例等もあり、一律に評価することは大変難しい。景観設計の考え方でもふれたように、絵画の導入には十分な検討が必要で安易に使用することは慎むべきであることを改めて記しておく。

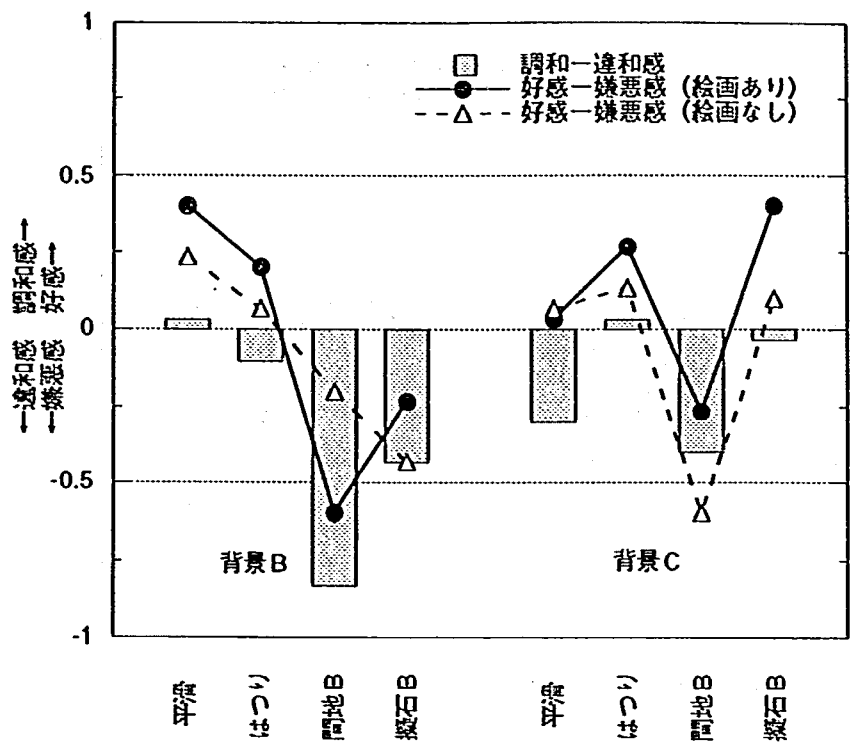


図-3.13 絵画による影響 (好感-嫌悪感)

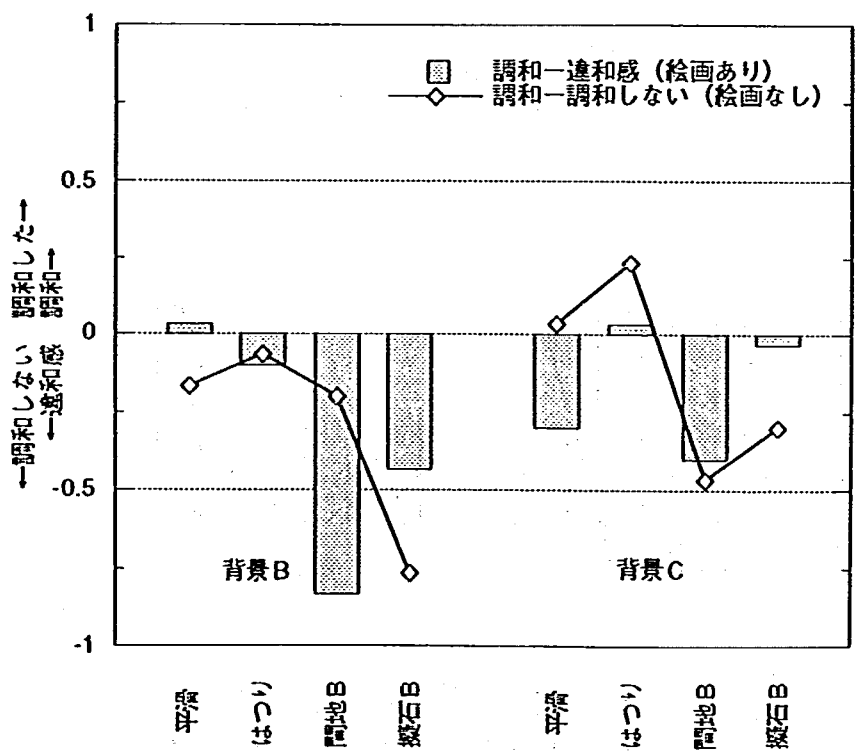


図-3.14 絵画による影響 (調和している-違和感がある)

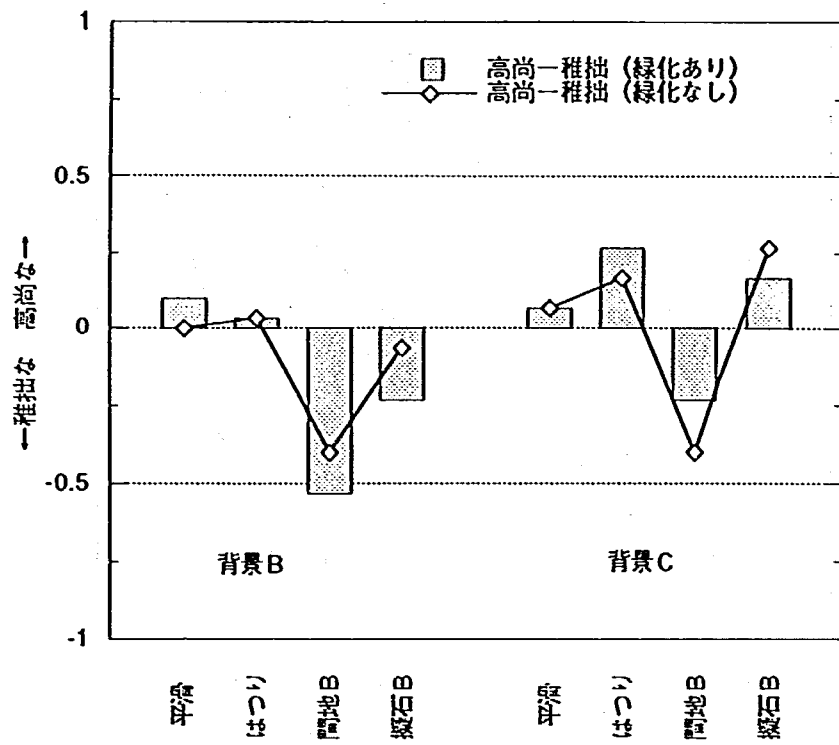


図-3.15 絵画による影響 (高尚な - 稚拙な)

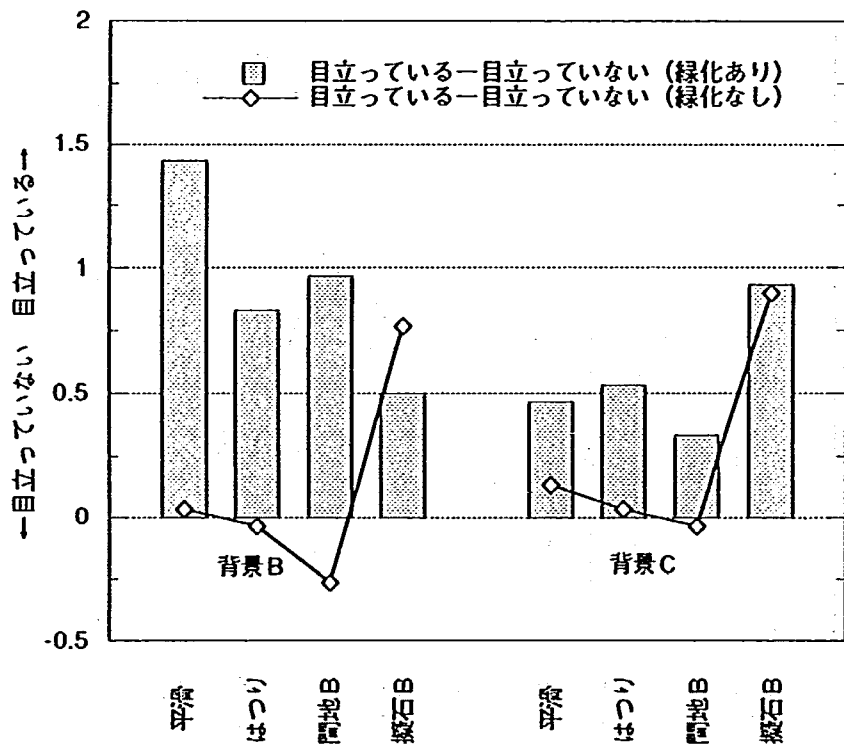
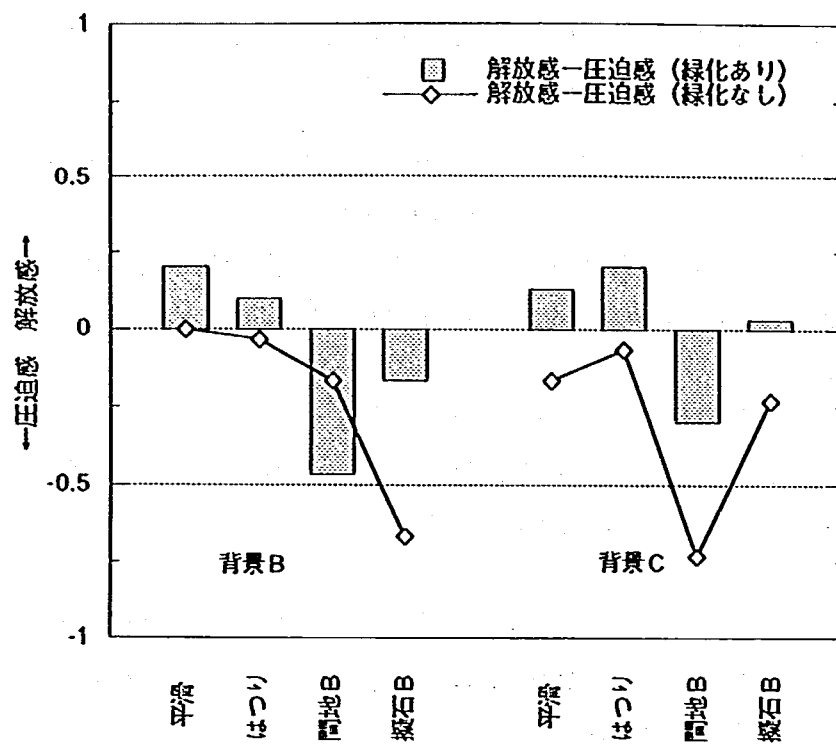


図-3.16 絵画による影響 (目立っている - 目立っていない)



図一 3.17 絵画による影響 (圧迫感-解放感)

3.3 景観向上への提案

官能検査から得られた結果をふまえ、現実のコンクリート構造物の景観向上をめざすと、具体的にどのような留意点があるか、以下に典型的な例を写真を示しながら説明する。

- ①コンクリートの平滑仕上げ面は単調で人工的な印象を与えるので、広大なコンクリート法面等にはなんらかのテクスチャー処理を加えるとよい（写真－3.1, 3.2）。
- ②擬石ブロックは景観改善効果が高い。しかし、使い方を誤ると景観評価が低下する度合いも大きいので注意を要する。また、繰り返しパターンを有する擬石ブロックは、かえって人工的な印象を与えることもある（写真－3.3）。
- ③よだれ状等のムラのある汚れは非常に汚い印象を与えてしまう。その一方、均一またはグラデーション状の汚れの場合には評価の低下割合が比較的小さいので、汚れが避けられない場合には、汚れムラが生じないように構造物のディテールに配慮すべきである（写真－3.4：「Ⅱコンクリート構造物の汚れ対策」を参照）。
- ④コンクリート構造物を緑化すると、植物が「図」になることで景観の主役になりコンクリートの印象が緩和されるので景観評価が向上する。緑化を行う場合は、コンクリートのテクスチャー処理を控え目にし、植物との調和を図るとよい（写真－3.5）。

4. コンクリート構造物の表面形態・表面仕上げの分類とその特徴

4.1 コンクリートの表面形態および表面仕上げの分類

材料面からコンクリート構造物の景観向上を図る手段の一つとして表面形態について検討した。コンクリートの表面形態は構造物の形状や構造形式と異なり、設計上の制約が少ないこともあって表現の自由度が大きい。しかも、景観向上を目指した表面形態を可能にする技術がかなり多く開発されているので、表面形態は設計や計画に携わる人の主張が表現しやすい手段の一つと言える。

そこで、さまざまな表面形態を持つコンクリートの表面仕上げ法を分類し、代表的なものについて事例写真を用いながら、景観・美観上の特徴や適性、あるいは施工性や経済性などの留意点を論じる。

ここで述べる表面形態とは、コンクリート構造物の表面の凹凸、色彩、光沢に加え、コン穴、リブ、スリットなども含むものとする。土木分野のコンクリート構造物の表面形態と表面仕上げはおおよそ図-4.1のように分類される。

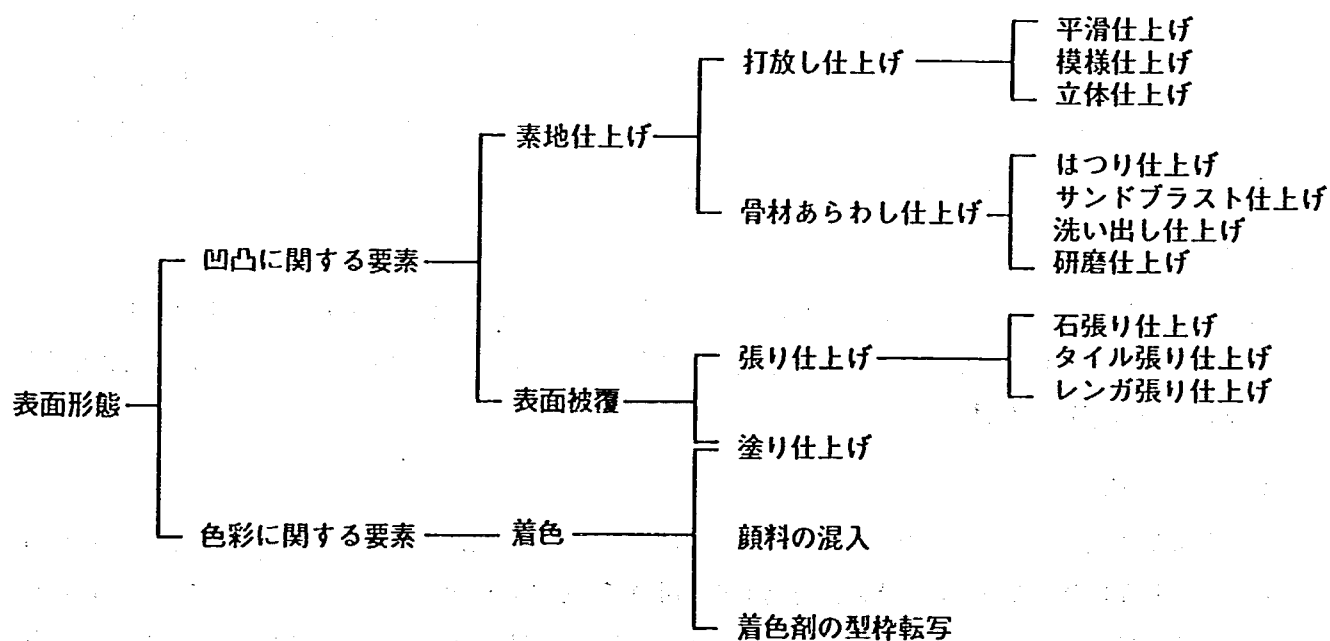


図-4.1 表面形態と表面仕上げの分類

4.2 表面形態の利用法

コンクリートの表面形態は、構造物の存在感や威圧感を緩和あるいは強調させる機能を持ち、周辺環境と構造物を調和させるのに利用できる。また、表面形態の見えかたは、季節や時刻、天候や水によるぬれ具合などによって常に変化しており、この微妙な変化を積極的に活用すれば飽きのこないコンクリート構造物の建造が可能である。

コンクリートの表面形態は、構造設計上の制約は少ないが、構造物と周辺環境との調和を乱すような使い方をしてはならない。例えば、構造物の形状や大きさ、役割などと周辺環境の関係について検討し、構造物がそのシーンの中で目立つべきか、埋没すべきか等に配慮して選択されるべきである。以下に、コンクリートの表面形態のうち三つの特徴について、景観上配慮すべきことを述べる。

(1) 表面の凹凸、ボタン

コンクリート構造物の表面形態は、視点からの距離によって、目立つ凹凸の大きさが異なる。距離が近いと微細な凹凸が目立ち、遠くなるに従い大きな凹凸が目立つようになる。それゆえ、個々の構造物に適した表面の凹凸は、その大きさ、形状、視点からの距離によって自ずと決まってくる。また、2種類の大きさの異なる凹凸・ボタン（ダブルテクスチャーという）を与えると、視点からの距離により印象の変化を与えることができる（写真－4.1、4.2）。

擬岩・擬石は離れて見ると違和感を感じないが、間近に見たり、手で触れると偽物であることがわかってしまい、かえって悪い印象を与えることがある。これらを直に人の手が触れるところに適用する場合は、公園や遊園地等、模倣品であることが許される状況で用いるべきである。公共構造物では、あまり間近から見ることはないような砂防ダム等には適することがある。

(2) 目地、コン穴、型枠継ぎ目等

施工上どうしても必要な凹凸はどのように処理すべきか、予め考えておく必要がある。すなわち、これらの凹凸をデザインとして美しく見せるか、徹底的に目立たないよう処理するか、事前に決めておかなければならない（写真－4.3）。

(3) 色彩、光沢

色彩および光沢の程度は、その構造物の景観上の役割を勘案し、周辺から目立たせるか埋没させるかを考慮して選定しなければならない。また、色見本等を用いて構造物に適用する色を選択する際は、面積の大きさにより色の見え方が異なってくることに注意が必要である。同じ色でも面積が大きいと彩度が高く（鮮やかに）見え、面積が小さいと彩度が低く感じられる。色見本で選択した色を適用すると、予想以上に派手に見えることがある（写真－4.4）。

4.3 各表面仕上げの特徴

各種表面仕上げについての特徴や留意点を次ページからの表－4.1～4.3にまとめた。

表-4.1 各表面仕上げの特徴 (1 / 3)

表面仕上げの分類	説明	特徴・留意点
平滑仕上げ (写真-4.5)	平滑な型枠を用いた素地仕上げ。	- 構造物のボリューム感やフォルムを素直に表現する。 - 不均一な汚れ方になりやすく水仕舞いに注意を要する。 - 橋梁など構造美を有するものに適する。
模様・立体仕上げ (写真-4.6, 4.7)	- 型枠の凹凸をコンクリートに転写する仕上げ法。 ①木目調、割れ肌調等の微細な凹凸を転写したもの、②幾何学的な模様を転写したもの、③擬岩、擬石等の自然材料を模したもの、④自然材料からのモチーフを取り入れたもの、などに分類される。	- コンクリートの表面に凹凸を付けることで様々な印象を与えることができ、意匠性の高い仕上げ法。 - 見る角度や距離、光等によって見え方が異なり、表情に変化がある。 - 自然材料を模したテクスチャー処理を行う場合、数種類の型枠をランダムに組み合わせるなどして繰り返しパターンを避け、不自然な印象を与えないよう注意を要する。 - 微細な凹凸を付ける場合、型枠の継ぎ目の位置などにも配慮するなど、丁寧な施工を要する。 - 橋梁の桁などに用いると非常に不自然な印象を与える場合がある。
はつり仕上げ (写真-4.8~4.10)	コンクリートの硬化後、はつたりたいたりして、表面を粗面にする仕上げ法。	- 表面の骨材が割れて割肌状の骨材断面が露出する特徴的なテクスチャーを有する。 - 表面の凹凸のため汚れの付着が目立ちにくく、穏やかに色に変化する美しいエージングを得やすい。 - はつり深さを設定する際は、構造物の形状、大きさ、目地の深さとの兼ね合いを考慮する。 - はつりによる衝撃で微細なひび割れが生じる可能性があり、その点を考慮に入れて、かぶりや部材の断面寸法を決めなければならない。
サンドブラスト仕上げ (写真-4.11)	コンクリートの硬化後、高圧の圧縮空気 でけい砂を吹きつけ、モルタルや粗骨材の一部を除去し、表面を粗面に仕上げる方法。	- ダストの飛散や騒音等の施工上の制約から、主に二次製品に用いられる。 - 土木分野では主に歩道ブロック等に使用され、粗面仕上げによる落ち着きのあるテクスチャーや滑りにくさなどの利点がある。 - 工場での連続生産により、他の骨材あらし仕上げと比較して大量生産が可能。
洗い出し仕上げ (写真-4.12~4.14)	コンクリート表面のモルタル層を洗い流し、様々な色調や形状をもった骨材（化粧種石）をコンクリートの表面に露出させる化粧仕上げ。	- 原骨材がそのままの形で露出するので、角のない骨材を用いると手触りがよく、公園の遊び場など人の手が触れるところに適する。 - 単一粒度の骨材を用いると、表面に露出する骨材の粒径がそろい、美観上好ましい。

表-4.2 各表面仕上げの特徴(2/3)

表面仕上げの分類	説明	特徴・留意点
研磨仕上げ (写真-4.15, 4.16)	- 硬化したコンクリートの表面を研磨し、骨材の切断面を表面に露出させる。 - 大理石、みかげ石等の自然石を種石とし、自然石を貼り付けたような効果をねらった製品もある。	- 仕上げ面が平滑になり、光沢をもつ。 - 石材の切断面は様々な変化に富み、人工の材料にはない美しさがある。 - 表面が平滑で手触りがよいので、人の肌が直接触れる橋梁の高欄や、コンクリートのベンチ、建築物の内装材などに多く使用される。 - 大理石は風化しやすく屋外使用には適さない。 - 摩耗すると光沢が失われるので、激しい摩擦を受けるところに用いるのは注意を要する。
石張り仕上げ (写真-4.17, 4.18)	- コンクリート表面に比較的サイズの大きい自然石を張りつけた表面仕上げ法。 ①扁平な石材ではほぼ全面を覆ってしまうもの、②ある程度厚みのある石材を埋め込んだもの、③ブロック板の石材を石積み状に張りつけたものの、概ね三種類に分類できる。	- 人工材料には真似のできない自然材料のもつ「本物の魅力」を表現することができる。 - 人工の構造物としての機能を満たしながら、自然的な景観をもつ構造物を建造することが可能である。 - 他の表面仕上げに比べて仕上げに要する厚さを大きくとらなければならない、設計のときから考慮に入れるべきである。 - 表込めモルタルの充填が不十分であると、雨水等が浸入し、エフロレッセンスの析出の原因となるので、入念に充填しなければならない。
タイル張り仕上げ (写真-4.19, 4.20)	構造物の壁面や床面に種々の方法でタイルを張りつけた仕上げ法。	- タイルは他の仕上げ材料にはない鮮やかな色彩や光沢、シャープな形状をもっており、構造物を際立たせるために用いられることが多い。 - タイルは非常に耐久性に富んだ材料で、変色、退色がほとんどない。さらに適切なメンテナンスを行えば、建造物の耐火、耐水、耐候性を向上させることも可能である。
レンガ張り仕上げ (写真-4.21)	- コンクリートの表面にレンガを張りつけた仕上げ法。 - コンクリート製品には、一般に「ブリック」と呼ばれるもので、レンガと同様の形状で薄板状にしたものもある。	- レンガは微妙に形状、色彩が異なるラフな感覚の材料である。また、緩やかにエージングし、時間の経過を感じさせる材料でもあり、石材や木材など自然材料に近い性質をもつ。 - レンガは古びた落ち着いた雰囲気を出すために用いられることが多い。
塗り仕上げ (写真-4.22, 4.24)	- 下地コンクリートを塗材で被覆した仕上げ法。 - 着色とともに塗装自体がある程度の厚みをもち凹凸による意匠性をもたせたものもある。	- 土木分野での塗り仕上げによる表面処理は、主に塩害や中性化対策が目的であり、景観向上を目的として用いられたものは少ない。 - 塗材は粘性や表面張力が大きいので、他の表面仕上げにはない特有のテクスチャーを有するものがある。 - 塗り仕上げを施す場合は、耐候性にも十分注意を払う必要があり、立地条件が厳しい海岸部や温泉地域等では塗装仕様の選定に特に注意を要する。

表－4.3 各表面仕上げの特徴（3 / 3）

表面仕上げの分類	説明	特徴・留意点
顔料の混入 (写真－4.25)	・コンクリートの練り混ぜの際に顔料を混合し、コンクリートに着色する方法。カラーコンクリートあるいは着色コンクリートと呼ばれる。	・仕上げ作業が要らず、施工の手間が少ない。 ・均一に着色し、摩耗を受けて内部が露出しても他の着色仕上げに比べて変色が少ない。 ・打ち継ぎが要るような大きな構造物には適さない。 ・エフロレッセンスにより表面が白くくすんでしまうことがある。
着色剤の 型枠転写 (写真－4.26, 4.27)	・型枠の内側に予め塗布しておいた着色剤をコンクリートへ転写して着色を施す方法。浸透性が高い着色剤を用いるので、ある程度内部まで着色できる。 ・擬岩、擬石模様の型枠とともに用いられることが多い。	・塗り仕上げに比べると、経費的にも工期的にも有利である。 ・専用の型枠と着色剤を使用しなければならないという制約がある。 ・外見では天然石と区別がつかないような、コンクリート製品を作ることができる。 ・ある程度内部まで着色でき、耐凍害性や耐摩耗性が高い。

第Ⅱ部

コンクリート構造物の汚れ対策

第一章

第一章 緒言

1. 研究概要

本研究の目的は美しいコンクリート構造物を作ることであるが、そのひとつとして、醜く汚れているコンクリート構造物の汚れ対策が重要と考えた。汚れ対策には汚れの実態を把握し、それぞれのケースにあわせた対策を立てなければならない。そこで、コンクリート表面の汚れに着目し、種々の汚れについて、どのような特徴があり、どのような対策が考えられるのか整理した。

コンクリート構造物は、基本的にはメンテナンスフリーという考え方から、汚れに対しても洗浄などのメンテナンスを必要としないことが望ましい。そこで、汚れにくくすること、あるいはきたないと感じさせないような汚れ方をさせることが対策のポイントとなる。

ここではまず、「2. 汚れの種類と原因」で、汚れの原因と汚れが生じる環境について、「3. 構造物の部位と汚れ状況」で、雨水の流れ方と構造物の汚れとの関係について述べ、その後「4. 汚れにくくする方法」で、それらの汚れを防ぐ方法をまとめた。また、「5. 汚れを目立たせない方法」では、汚れをデザインに取り込み、汚れてもきたないと感じさせないような事例を紹介した。

「6. 汚れに関する実験・調査」では、汚れ暴露供試体を用いての実験および、エフロレッセンス対策の実態についての調査結果を報告する。

2. 汚れの種類と原因

2.1 汚れの種類

コンクリート表面の経時変化による汚れは、表-2.1に示すように、コンクリート組織自体の変化と物質の付着によるものに大別できる。また、施工不良によるジャンカやコンクリートの色ムラ等は経時変化による汚れではないが、景観を損ねる原因となるので併せて検討した。

コンクリート自体の変化には、ひび割れなどの物理的な変化とエフロレッセンスなどの化学的な変化があり、コンクリートを構成する材料条件や施工条件、構造物の形状といった条件と環境条件が作用しあって発生する。

物質の付着は、移動物質の付着と生物の繁殖によってもたらされる生成物に大別される。移動物質とは空气中を浮遊したり雨水によって運ばれる土粒子、塵芥、すすなどである。生物による汚れは、このような移動物質を養分として発生する藻類やカビ（真菌類）、コケ等の繁殖と死滅によって発生するものである。図

表-2.1 コンクリート構造物の汚れの種類

汚れの原因	分類	内容
コンクリート自体の変化	物理的变化	ひび割れ、表面剥離
	化学的变化	エフロレッセンス、化学物質による退色、変色
物質の付着	移動物質の付着	土粒子、塵芥、すす、金属粉、化学物質
	生物の繁殖	カビ（真菌類）、藻類、地衣類、コケ等
施工の不良	打設面の筋、コンクリートの色ムラ、型枠からの色移り	

ー2.1 にコンクリート構造物の代表的な汚れの発生機構を示す。

なお、荷重や乾燥収縮によるひび割れや凍結融解作用による表面剥離等は、構造物の劣化につながり、景観上の問題以前に構造物の耐久性に関わることであるので、ここでは取り扱わなかった。

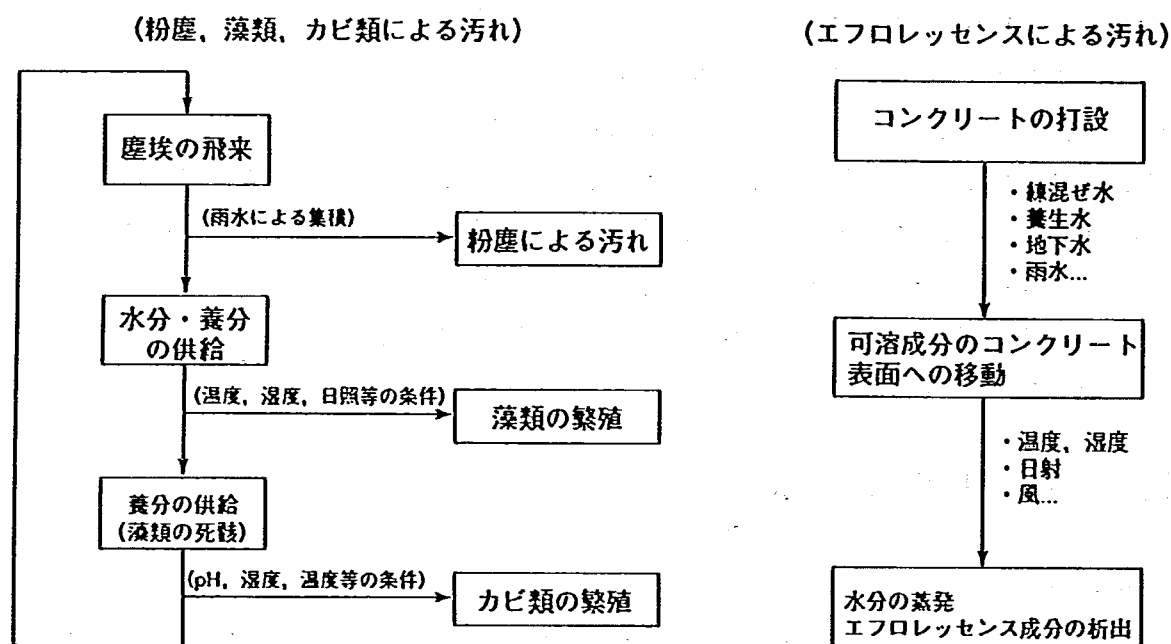


図-2.1 主な汚れの発生機構

表-2.2 汚れ度合いに影響を及ぼす可能性がある要因

環境条件	自然的要因	温度、湿度、降雨・降雪、日照、風など
	社会的要因	交通量、道路・工場などの汚染源からの距離 人為的なもの
構造物の条件	表面	表面粗さ（ミクロ、マクロ） テクスチャー、仕上げ方法 型枠、剥離剤、撥水剤
	材料	水セメント比、空気量、混和剤／材 打設時期（季節）、養生方法／時間、脱型材齢 打設方法、成形方法
	その他	表面の傾斜、方角 構造物の形式・形状 スリット、目地、排水口的位置など

2.2 粉塵による汚れ

大気中には自動車の排ガス、土粒子、花粉、火山灰、煤煙等さまざまな粉塵が浮遊しており、これらを含んだ雨水や風がコンクリート表面に接することで、コンクリート表面が汚れていく。粉塵による汚れには次のような特徴がある。

(1) 表面の粗い、吸水性の大きいものほど汚れやすい。

コンクリート表面への粉塵の付着は、表面の凹凸への引っかかりや表層の吸水による細孔への粉塵の浸入、保持が、原因の一つと考えられており、表面が粗いもの、吸水性の高いものほど汚れやすい。

(2) 雨水の流れが汚れ方に大きな影響を与える。

土粒子など汚れの原因となる粉塵は、雨水の流れによって運ばれてくることが多い。また、濡れた部分は粉塵が付きやすくなる。構造物表面を流れる水の経路（水みち）は通常一定しており、雨水の流れる部分だけが特に汚れていることが多い。逆に、流量によっては雨水の流れている部分だけ汚れが洗い流され、他の部分の汚れが目立ってしまう場合もある。このように、雨水の流れが不均一になると不均一でムラのある汚れ方になり、汚れが目立ってしまうことになる（写真-5.1～5.5）。

なお、粉塵による汚れは、通常黒から茶褐色の色を呈するが、汚れ粒子が鉄錆粒子の場合は、彩度の高い赤褐色を呈する（写真-5.6）。

2.3 カビ・コケ・藻類による汚れ

コンクリート面に繁殖する生物には、真菌類（カビ）、藻類、地衣類およびコケ植物類などがある。これらの生物による汚れは、次のようにして起こると考えられている。

栄養物（特に炭素源）の少ない新鮮なコンクリート面には、直接カビは繁殖できず、初めは光合成により炭水化物を合成できる藻類や地衣類の繁殖が進行する。コンクリート表面に塵芥や雨水等により繁殖に必要な養分（窒素、リンなど）が供給され、温度、湿度等が光合成に適した条件になると、藻類が繁殖する。藻類の増殖は比較的早く、7～10日ぐらいで、汚れが緑色を呈し目立つようになる。ところが乾燥状態になると、藻類は死滅し、黒色に変化する。

この死骸に含まれる糖類やアミノ酸を養分としてカビ類が繁殖する。カビが認識できる程度に繁殖するには、10～15℃では1～2カ月ぐらい、25～27℃では2～3週間ぐらいかかる。カビ類による汚れは黒色～暗紫色を呈する。

コンクリートの生物による汚れは、これらのサイクルを繰り返すことにより次第に進行していくと考えられる。このようにカビ、苔、藻類による汚れは、水や粉塵に含まれる養分の供給によるので、粉塵による汚れと同じような汚れ方をする場合が多い（写真-5.7）。

2.4 エフロレッセンス（白華）

エフロレッセンスとは、モルタルやコンクリート中の可溶成分を含んだ溶液が内部から表面に移動し、水分の蒸発により表面に析出した、あるいは空気中の炭酸ガスと結合して表面に沈着した白色の物質のことをいう。本来はコンクリートの毛細空隙を通して析出したものに限定されるが、広義にはコンクリートのひび割れ部分から析出したものも含むとする解釈もある。後者は単に炭酸カルシウムの析出と呼ぶこともある。エフロレッセンスは「エフロ」あるいは「白華」ともいう。

エフロレッセンスは、一次エフロレッセンス、二次エフロレッセンスの2つに分類される。前者は、練り混ぜ水に溶解したエフロレッセンス成分がコンクリートが乾燥するのに伴いコンクリート表面に析出し、一面白く見えるようになる現象である。特にカラーコンクリートでは、一次エフロレッセンスが発生すると色が白くくすんでしまう（写真－5.8, 5.9）。後者は、雨水や地下水など外部の水が一度乾燥したコンクリートの内部に浸入した後、再び表面に移動して乾燥し、エフロレッセンス成分を残したものである。コンクリート内部を通る水が集中しやすいところでは、つらら状に堆積する（写真－5.10）。しかし、エフロレッセンスの発生は、構造上あるいは耐久性上の問題となるものではない。

2.5 施工不良による汚れ

コンクリート構造物を施工するにあたり十分な管理を怠ると、景観上好ましくない以下のような種々の欠陥を生じやすい。これらは他の汚れとは違い経時変化することがなく、「歴史的な趣」を感じさせることはない。必ずと言っていいほど不快感を与えるものである。

(1) 打設面にできる筋およびコールドジョイント

打設面にできる筋は打設時にコンクリートが横方向に流れるために起きる。コールドジョイントとは新旧コンクリートの打設間隔が長いとき、旧コンクリートが硬化し始め、新旧コンクリートが一体化しなかったときにできる境界面のことである。これらは景観上醜いものである上、構造的にも不安を与えるものである（写真－5.11, 5.12）。

(2) 補修ムラ

補修材とコンクリート構造物の材質の違いにより生じるムラのことである。パッチ状の補修後はコンクリート構造物をみすばらしい感じにさせる（写真－5.13）。

(3) 型枠からの色移り

不適當な型枠を用いるとコンクリート表面が着色する。一般に褐色を呈することが多く、しかもムラがあるため景観上好ましいとは言えない。また、型枠の種類、木目の並び、仕上げの程度が異なるとムラのある汚れ発生の原因となる（写真－5.14, 5.15）。

3. 構造物の部位と汚れ状況

これまでに述べたように、コンクリートが汚れる場合には水分が介在することが多く、雨水のかかり方や表面を流れる水の流れ方に影響をうける。

(1) 垂直壁面の汚れ

垂直面の汚れは、水平・垂直の両方向にムラが生じやすい。

垂直壁面の汚れ具合は、天端から伝わってくる排水の状況に大きく影響される。垂直面上部が盛土であれば土粒子を多く含んだ汚れになり、道路面であれば、道路上の粉塵などによる汚れになる。天端から垂直面を伝わる排水状況のムラによって、水平方向のムラが生ずる。

汚れ物質を含んだ排水は、垂直面上部からコンクリートにしみこみながら流下していき、水分がしみこむ過程でコンクリートの空隙部に汚れが付着する。したがって、通常、鉛直方向では上部ほど汚れやすくなる。

(2) 傾斜面の汚れ

傾斜面では、雨水が平均してかかりやすく、天端からの排水もムラになりにくいため、汚れが平均化しやすい。しかし、雨水がかかりやすい部分では汚れが洗い流されるため、雨水がかかる場所とかからない場所との汚れ方にかなりの差がでてくこともある。また、傾斜角度が変化する場合には、それに応じて雨水のかかり方が変化するため、ムラのある汚れが生じやすくなる。

(3) テクスチャーの違いによる汚れ

汚れ物質の付着のしやすさは、表面の微細な空隙量に影響される。この空隙量は、型枠の材質などに影響される。また、同程度の凹凸でも型枠面かはつり面かの違いで変化するため、汚れ方に差が生じる。

コンクリート表面のテクスチャーの違いは、表面の水の流れ方に影響を与え、ムラのある汚れを作る場合と、ムラを少なくする場合の両方がある。ただし、厳密には、コンクリート自体も不均一な材料であるため、均一に水が表面をながれてもムラのある汚れが生じる場合もある。

(4) その他

これまで述べたように、コンクリート構造物の汚れ方は表面を流れる雨水（排水）の挙動に影響されるため、汚れ方に配慮するためには、水仕舞い（排水処理）が非常に重要である。

一般に水仕舞いとして考えられるのは、排水をコントロールして集中して流したり、コンクリート表面に流れないように工夫することである。排水をコントロールすることが困難な場合には、できるだけ均一に流れるように工夫することが重要になる。

水抜き孔は、構造物の裏面に回った水を排水する機能を有しているため、水抜き孔からの排水により目立った汚れを生じることが多く、配置の際は汚れについても配慮されることが望ましい。

4. 汚れにくくする方法

4.1 物質の付着による汚れに対して

(1) コンクリートの密実化

汚れ物質は、コンクリート表面がぬれていると付着しやすい。また、表面の水分が内部に浸透する際に、コンクリート表面の凹凸に汚れが固定されることになる。このため、吸水・保水率が小さく、表面が平滑なコンクリートを用いることが望ましい。

コンクリート表面の粗さ度合いや吸水性を抑えるためには、水セメント比および単位水量を少なくし、平滑な型枠あるいは透水性型枠などを用いて十分な締固めと養生を行い、表面が長期にわたって密実な状態に保たれるようにする。こうすることによって表層のアルカリ性の保持効果も期待でき、カビ類の繁殖を遅らせることも望める。

(2) 塗装仕上げ材の工夫

仕上げ材は有機系と無機系があるが、一般的に有機系は無機系に比べ粘着性が大きくさらに静電気が発生しやすいため粉塵が付着しやすい。したがってセメント系、シリカ系の無機材を用い、表面を平滑かつ緻密に仕上げるのが有効である。

なお、平成6年8月に東北地方建設局磐城国道工事事務所で、福島県いわき市平上荒川の草木こ道橋の橋台および高欄に汚れ防止技術を適用した事例について、追跡調査を行っている。この事例では、高圧水による洗浄の後、下塗り（下地強化剤）、中塗り（補修跡の隠べい）を施し、無機系の撥水剤を塗布している。汚れ防止効果についてはまだ明確な結論は得られておらず、調査を継続している。

4.2 エフロレッセンスに対して

(1) 材料面の対策

セメントの初期水和を促進させ硬化を早める混和材を混入する、あるいは水セメント比や単位水量を小さくして十分密実なコンクリートにするなどの対策がある。

(2) 防水・撥水性の付与

二次エフロレッセンスを防ぐためには、コンクリート内部への外部の水の浸入を防ぐとよい。そこで防水剤・撥水剤を塗布しコンクリートを被覆する方法がある。また、コンクリート内部に不透水層をつくり、水の移動を妨げる方法もある。

4.3 施工上の留意点

(1) 打設面にできる筋およびコールドジョイント

- ・コンクリートを横方向に流さない
- ・打継ぎ面の新旧コンクリート境界面にバイブレーターを入れてよく締め固める。
- ・打継ぎ時間間隔が長くなりすぎないように、計画的な打設を行う。

(2) 補修ムラ

- ・構造物のコンクリートとなるべく同質の補修材を用いる

補修の原因となる施工不良部や劣化部を作らないことが何より重要だが、やむを得ず補修する場合には、なるべく原構造物と同質の補修材を用い、補修部分がなるべく目立たないようにすることが重要である。また、補修の際は周辺の汚れの原因となるものを十分除去する必要がある。

(3) 型枠からコンクリートへの色移り

- ・汚れのつきにくい型枠材料を用いる

型枠からコンクリートへの色移りは、特に合板型枠を使用した際に生じやすい。汚れの付きにくい型枠材料を用いることが大切である。

- ・離型剤を用いる場合は塗布量を多くしすぎない

脱型する際、離型剤の塗布量が多すぎるとコンクリートの表面にシミが残ることがあるので、これにも注意が必要である。また、型枠の隙間からセメントペーストが漏れると砂筋が残るので、型枠の組み立ては綿密に行わなければならない。

5. 汚れを目立たせない方法

これまで、汚れにより構造物の景観が低下することを防ぐために、汚れにくくする方法をまとめた。しかし、コンクリート構造物のデザインや周辺環境、構造物の歴史的価値などによっては、汚れによる色調変化が、構造物を落ち着いた雰囲気になせ、景観を向上させることも考えられる。ここでは、汚れをうまくデザインに取り込んだ事例をいくつか紹介する。

5.1 表面仕上げ（テクスチャー）の工夫

はつり仕上げや洗い出し仕上げなど表面に凹凸のある仕上げを施すと、粉塵は主として長期間湿潤状態にある凹部に沈積・付着する。しかし、この凹部の汚れは表面仕上げによる陰影に同化して、汚れと認識されにくくなる。仕上げ面の凹凸の度合いによっては、擁壁上部から下部にかけて粉塵の付着量が連続的に変化し、グラデーション状に汚れることもある。この種の汚れは、見る側に自然な印象を与え、きたないという印象につながりにくい（写真－5.16, 5.17）。

5.2 水みちの制御

雨水の流れは粉塵の付着や藻類などの繁殖と密接な関係があり、不均一な汚れが生じないように排水の設計上の工夫が必要である。不規則な形で水が流れることにより汚れ方にムラがあると、汚れている部分と汚れていない部分の境界が目立つことになる。水みちをつけてやることで汚れる場所をコントロールすると、汚れを目立たせないデザインが可能である。

例えば、構造物上端から雨水が流下しないように天端に勾配をつけたり、スリット、樋を設けるといった対策が考えられる。また、表面に深い突起物があると風雨の当たり方にムラができ、汚れが目立つようになるため注意が必要である。

水抜き孔の下部は、裏面から流れ出る土壌などにより汚れやすい。水抜き孔の配列に配慮したり、流れ出る水の流れを制御することで、ムラのある汚れの発生を抑えることができる（写真－5.18～5.24）。

5.3 その他

(1) 着色剤の利用

コンクリートに着色剤を練りこんだり、着色剤転写型枠を使用した着色コンクリートは、施工当初から長年エージングされたかのような風合いにすることができ、少々の汚れは目立たなくなる。

(2) 植物の利用

壁面に緑の蔦を這わすことにより、塵芥やカビ・藻類等による汚れを蔦の陰影と同化させて覆い隠すことができる。また、植物にはコンクリート素材の重圧感を緩和する効果もある。

(3) 汚れを利用したデザイン

比較的汚れやすい部分と、汚れにくい部分のコンクリートの色調の差を積極的に利用したデザインもある。写真－5.25～5.27に、擁壁と橋梁の事例を示す。

6. 汚れに関する実験・調査

6.1 コンクリート供試体の汚れ暴露試験

コンクリートの汚れはコンクリート構造物の景観を低下させる原因の一つになっており、特に打放しのまま用いられる土木構造物では問題になることが多い。コンクリートの汚れに影響を与える因子としては様々な環境条件、材料の配合、表面性状等が考えられるが、それらの影響を確認するためにコンクリート供試体の暴露試験を行った。暴露開始から1年後までの結果を報告する。

6.1.1 試験概要

試験に用いた供試体は雨水の影響を調べるため側面の半分は天端からの雨水が流れないように、残りの半分は集中して流れるように水切りをつけた。型枠に合板を用いたものについては木目を水平方向に統一した。供試体は脱型後、コンクリート表面の色彩を安定させるため2週間屋内で保管し、その後土木研究所構内に側面がそれぞれ東西南北を向くように設置した。これらの供試体の天端からの雨水がかからないようにした側面について、定期的に色彩を13点ずつ（各点3回）測定範囲直径5mmの色彩色差計を用いて測定した。

暴露供試体の材料および表面性状に関する仕様は図-6.1および表-6.1、6.2のとおりとした。なお粗面EPLとは平滑な発砲スチロールにワイヤーブラシで深さ1mm前後の傷を全面につけたものである。

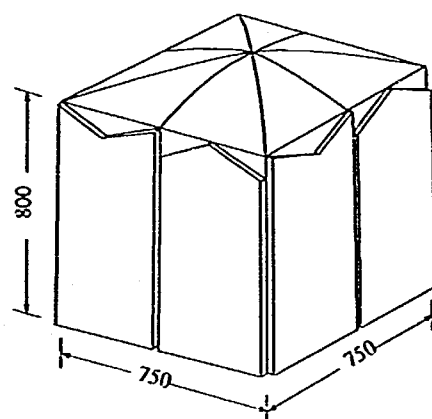


図-6.1 暴露供試体図

表-6.1 コンクリートの配合

項目	仕様
水セメント比	40, 60, 70%の3種類
空気量	5 ± 1 %
スランプ	8 ± 1 cm
セメント	普通ポルトランドセメント
最大粗骨材寸法	20mm (砕石)

表-6.2 暴露供試体の仕様

No.	W/C	型枠	脱型材齢	着目点
1	60%	樹脂コーティング合板	3日	型枠材
2	60%	メタルフォーム	〃	
3	60%	コンクリート用型枠合板	〃	
4	60%	粗面EPL	〃	
5	40%	メタルフォーム	〃	W/C
6	70%	〃	〃	
7	60%	メタルフォーム	1日	脱型材齢
8	60%	〃	7日	

6.1.2 試験結果

汚れの評価には人間の感性と有意な相関があると考えられるY刺激値の変化率を用いた。Y刺激値の変化率は式(6・1)で表され、この値が大きいほど明度が低い方に汚れていることになる。本来ならば汚れの評価には色変化のばらつきを考慮すべきであるが、ここでは材料そのものの汚れ特性を把握することを目的としたので、すべての測定点の平均値を用いた。

$$Y \text{ 刺激値変化率} : \frac{Y_0 - Y}{Y_0} \quad (6 \cdot 1)$$

各供試体のY刺激値変化率を図-6.2に示す。暴露開始から150日前後までは乾燥やエフロレッセンスの析出等のコンクリート自体の色調変化のためY刺激値変化率が激しく変化しているが、その後はコンクリート自体の変化は小さくなり粉塵等の外部要因による色調変化が多くなっていくものと思われる。

図-6.3に型枠の種類とY刺激値変化率の関係を示す。横軸は右の方にあるものほど粗面く、コンクリートの表面の凹凸も大きい。いずれの型枠も初期段階ではY刺激値が大きくなり、次に小さくなっている。変化幅もほぼ同じであることがわかる。

図-6.4に水セメント比とY刺激値変化率の関係を示す。型枠はすべてメタルフォームを用いている。水セメント比が60および70%のものについてはほぼ安定しているが、40%と小さいものについては材齢が進むにつれてY刺激値変化率が小さくなる、つまり明度が高くなる方に变化している。これは水セメント比が大きいものは初期の段階でY刺激値変化率が安定し、打設後2週間の屋内保管期間に初期の色変化が終了してしまい、測定値にはY刺激値変化率の変化が反映されなかったのに対し、40%のものは遅くまで色の変化が続いたためであると考えられる。

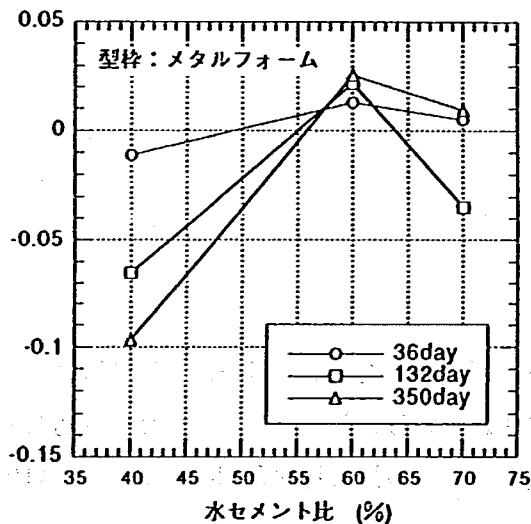


図-6.4 水セメント比とY刺激値変化の関係

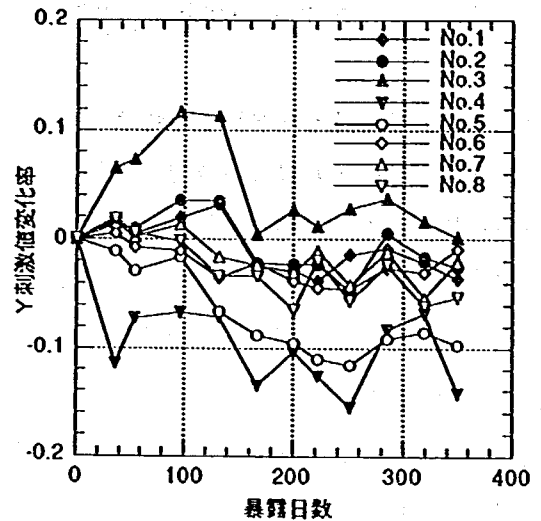


図-6.2 Y刺激値変化率の経時変化

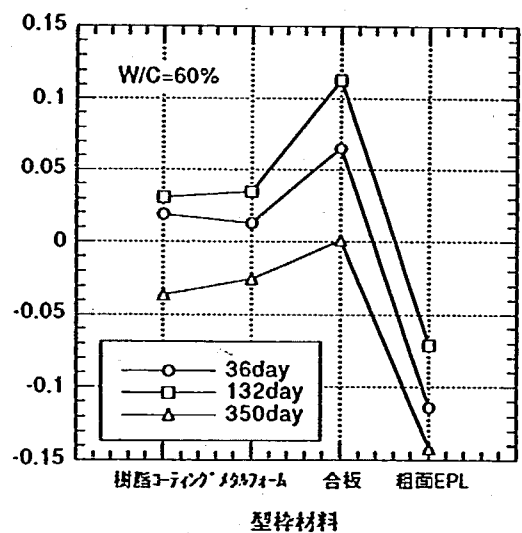


図-6.3 型枠の種類とY刺激値変化の関係

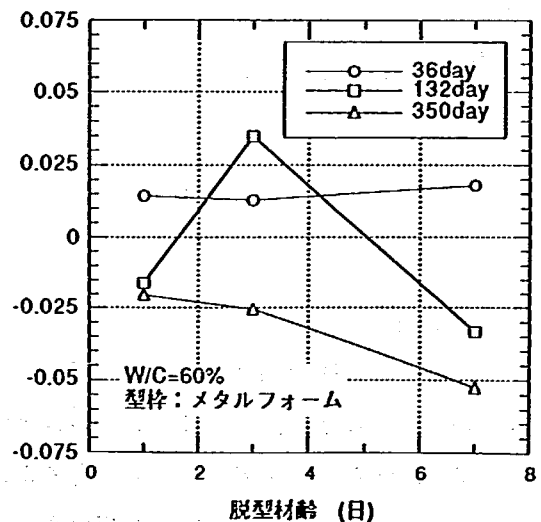


図-6.5 脱型材齢とY刺激値変化率の関係

図一6.5に脱型材齢とY刺激値変化率の関係を示す。水セメント比と同様にして脱型材齢が遅くなるほど色調が長期にわたって変化し、Y刺激値は小さくなる方向に変化する傾向にある。

6.1.3 汚れ暴露試験についてのまとめ

コンクリートの屋外暴露試験を行い以下のことが判明した。

- ①暴露開始1年という短い期間において粉塵等の外部的な汚れ促進因子の影響が小さい場合には、コンクリート表面の色調変化はコンクリート自体の変色によるものが支配的である。
- ②その条件において、型枠材質によるコンクリートの色調の差はあったが、材齢36日以降のY刺激値変化の変化傾向は同じであった。
- ③水セメント比が小さい場合には、大きい場合よりも色彩の変化は長く続く。
- ④同様に、脱型材齢を遅くした場合にも同じことが言える。

6.2 エフロレッセンス対策に関する調査

6.2.1 調査概要

エフロレッセンス対策の実態を把握するためにセメント会社12社ならびにコンクリート製品会社89社に対してアンケート調査を行った。なお、以下生コン（現場打コンクリート）についてはセメント会社が回答したものであり、コンクリート製品に関してはコンクリート製品会社からの回答によるものである。

6.2.2 エフロレッセンスの発生に伴う問い合わせ・クレームの件数

エフロレッセンスの発生に伴う問い合わせ・クレームを発生部位ごとに分類し、回答の多かった順に表一6.3に示す。アンケート調査によると、セメント会社12社中10社が生コンのエフロレッセンスの発生に伴う問い合わせ・クレームを受けている。エフロレッセンスの発生に伴う問い合わせ・クレームは壁部に発生したものが圧倒的に多い。また、コンクリート製品については即時脱型を行う製品に件数が多く、特に景観性が重視される製品では、エフロレッセンスが品質上の問題として重要視されているように見受けられる。

表一6.3 エフロレッセンスに関する問い合わせ・クレームの事例

生コンの事例	コンクリート製品の事例
1. 擁壁.....8件 (防波堤1件, トンネル壁1件を含む)	1. 積みブロック.....24件
2. 建築物外壁.....8件 (基礎1件, 屋上1件を含む)	2. インターロッキングブロック.....16件
3. その他.....7件	3. 平板.....8件
	4. 化粧ブロック.....7件
	5. L型ブロック, U字溝.....5件
	6. タイル目地部.....5件
	7. その他.....43件

6.2.3 エフロレッセンスの発生事例

エフロレッセンスが発生したときの条件を季節、環境、発生した時期（材齢）について取りまとめた結果を、表－6.4に示す。また、コンクリート製品については、エフロレッセンス発生事例が多かったインターロッキングブロックと積みブロックについて、表－6.5、表－6.6に示す。

エフロレッセンスが発生した季節は、生コン・コンクリート製品（インターロッキングブロックと積みブロック）のいずれも冬期で、環境条件としては雨がかったことが挙げられている。

エフロレッセンスが発生した時期については、生コンの場合、脱型数日後がほとんどであるのに対し、コンクリート製品では広範囲の材齢でエフロレッセンスの発生が問題になっている。

表－6.4 生コンのエフロレッセンスの発生条件

季節	環境	発生時期
1. 冬期.....17件	1. 降雨（雪）.....5件	1. 脱型後数日.....17件
2. 春期.....2件	2. 風当たり.....3件	2. 打設後1年.....1件
3. 梅雨期.....2件	3. 北側.....2件	3. 無回答.....5件
4. 夏期.....1件	4. 湧水.....1件	

表－6.5 インターロッキングブロックのエフロレッセンスの発生条件

事例 No.	環境	発生時期
1	養生時または養生直後	
2		
3	ストック時 雨がかり	ストック時
4		
5		
6		
7	施工直後 雨がかり	施工後
8		
9		
10		
11	冬期	
12		
13	冬期 水はけの悪い場所	
14		
15	無回答	
16		
17		

表－6.6 積みブロックのエフロレッセンスの発生条件

事例 No.	環境	発生時期
1	雨がかり	3 日以内
2	冬期	
3	雨がかり	
4	雨がかり	4 日～7 日
5		
6	冬期雨がかり	
7	雨がかり	7 日～1 カ月
8		
9		
10		
11		
12		
13	雨がかり	1 カ月以上
14		
15		
16	無回答	
17		

6.2.4 エフロレッセンス対策

(1) 事前対策

回答にあった事前対策を表-6.7に示す。

(2) 事後対策

エフロレッセンスが発生した事例に対し、約半数は事後処理が実施されていた。事後処理の方法としては水または酸による洗浄が大部分を占めているが、施工後のエフロレッセンスに対しては酸洗浄以外にはつり、研掃、防水・撥水剤を塗布するとの回答もあった。

表-6.7 主なエフロレッセンスの事前対策

配合・打設時	・水セメント比を小さくする。 ・単位水量を小さくする。 ・細骨材粒度を選定する。 ・早強性混和剤を使用する。 ・エフロレッセンス防止剤を使用する。 ・バイブレーターを十分にかける。
養生時	「生コン」 ・脱型時期の延期 ・脱型後のシート養生 「コンクリート製品」 ・蒸気養生時間の延長 ・ストックヤードでの雨・風対策

6.2.5 エフロレッセンス防止剤の使用状況

コンクリート製品会社 89社でのエフロレッセンス防止剤の使用状況を表-6.8に示す。エフロレッセンス防止剤については、現在使用中のコンクリート製品会社では「効果大」または「ある程度ある」と回答しているのに対し、現在使用していないコンクリート製品会社ではその効果を認めていないとの回答が多く、評価が分かれる結果となった。

表-6.8 エフロレッセンス防止剤の使用状況

使用実績	エフロレッセンス防止剤の評価
現在使用中 24社 (27%)	効果大、ある程度ある.....16社 (67%) あまりない、効果なし.....6社 (25%) 不 明.....2社 (8%)
過去に使用（現在せず） 26社 (29%)	効果大、ある程度ある.....3社 (12%) あまりない、効果なし.....21社 (80%) 不 明.....2社 (8%)
使用実績なし 39社 (44%)	

謝辞

本報告書作成にあたり、写真ならびに資料の提供等をはじめ、有益なるご助言をいただきました東京都立大学 橋高義典氏、清水建設（株）畑山義人氏、大成建設（株）関文夫氏ならびにバシフィックコンサルタンツ（株）青木聡氏に厚く感謝の意を表します。

第Ⅲ部

コンクリート構造物の 緑化手法に関する検討

THE

CHURCH OF THE

CHURCH OF THE

1. 研究概要

緑化手法の一つに、ポーラスコンクリートを緑化基盤として使用した緑化コンクリートがある。これまでコンクリート構造物の緑化というと、構造物周辺に植物を生育させ、構造物の一部を覆う方法が主であったのに対し、直接コンクリートに植物を生育させることができるという点で、画期的な技術である。この緑化コンクリートは開発途上の技術であり、耐久性や植物の生育条件などの知見がほとんど得られていない。そこで、平成6年5月に茨城県渡里地区那珂川築堤に82平方メートルにわたって試験施工された事例の追跡調査を通じて、データの蓄積を行った。なお、本試験では芝草を中心に調査を実施した。

また、主としてポーラスコンクリートの材料面の特性（強度、耐久性等）を把握するため追加実験を行った。ここでは、この緑化コンクリートを用いた試験施工、および追加実験の結果を紹介する。

2. 追跡調査概要

ここでとりあげる緑化コンクリートは、図-2.1のようにポーラスコンクリート（連続空隙硬化体）をベースとしてその空隙内に保水材・肥料・種子を充填した構造を持っている。ポーラスコンクリートの空隙は、保水材・肥料・種子の充填空間であると同時に根の成長空間でもある。

試験施工は、関東地方建設局霞ヶ浦導水工事事務所の協力で、平成6年5月に茨城県渡里地区那珂築堤の高水護岸部で行った。施工箇所の傾斜は1/2（約27°）、ポーラスコンクリート部の厚さは10cmで、その下に5cmの土壌改良土（培養土）の層を設けてある（図-2.2）。なお、試験施工に用いたポーラスコンクリートブロックは、空隙率30%以上、圧縮強度10N/mm²以上のものである。

追跡調査は施工後1カ月から26カ月後まで、目視にて植物の生育状況を観察を行ってきた。この間、散水、追肥等は一切行なっておらず、河川管理のため野焼きおよび草刈り等も従来と同条件にて実施した。また、耐久性調査として、施工後のポーラスコンクリートの劣化状況について抜き取り調査を行い確認した。

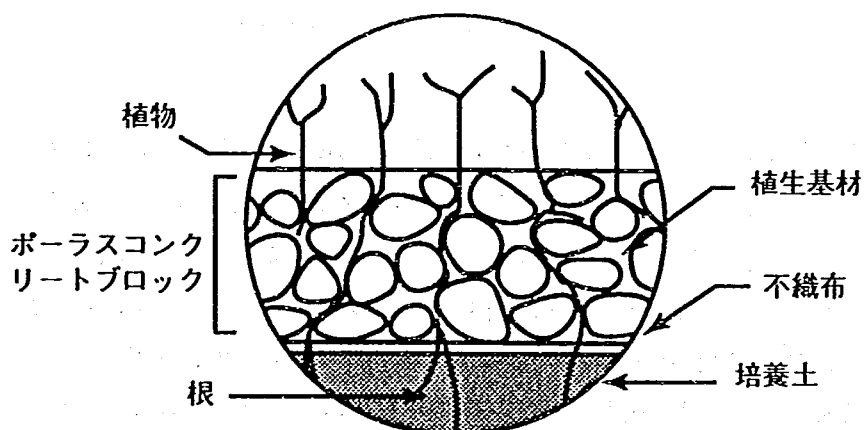


図-2.1 緑化コンクリートの構成

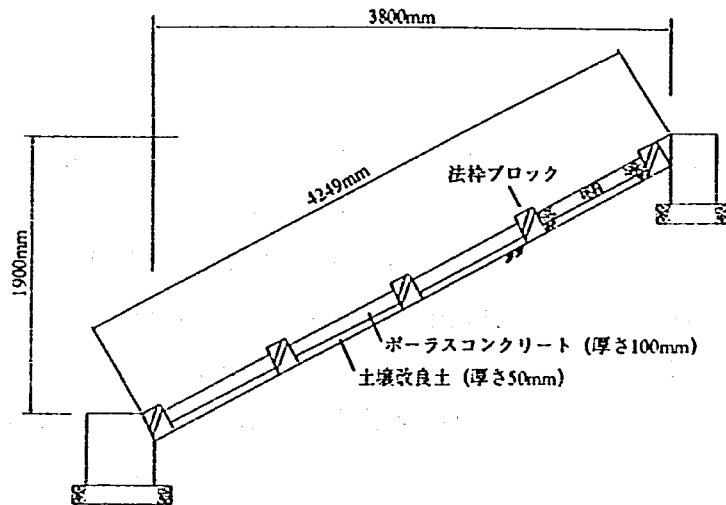


図-2.2 試験施工状況

3. 追跡調査結果

3.1 植物の生育状況

試験施工に使用した緑化コンクリートの空隙部には保水材と肥料・種子を充填し、肥料は、約2年間程度の植物の生育を補う栄養分を充填した。種子は、ケンタッキーブルーグラス、チューイングフェスク、パミューダグラスの3種類をそれぞれ2.5:3:2の割合で混合した。

施工年度は猛暑に見舞われ一部が枯れるなど厳しい環境条件下であったが、芝草の生育を確認した。施工後1カ月でコンクリート表面上に1~2cm程度の芝草の生育が確認され、施工後3カ月では芝草の生育が40~60cm程度になり、コンクリート表面を覆っている。その後、施工後26カ月には芝草が衰退し、自然の植物が生息していることを確認した。芝草が衰退し、自然の植物が生息する原因としては、野焼き及び草刈り等により表面の植生基材が露出し、飛来した自然植物の種子が付着することが考えられる。しかし、芝草が繁茂している状態であれば、飛来した種子は芝草の葉などに付着し、植生基材への付着は少なく、芝草の衰退までにより時間がかかることも考えられる(写真-6.1~写真-6.4)。

3.2 耐久性試験

ポーラスコンクリートの劣化について調べるため、施工後26カ月のポーラスコンクリートからコア(φ10×10cm, 写真-6.5)を抜き取り、圧縮強度とポーラスコンクリート底面の土壌の分析を合わせて調査した。圧縮強度試験の比較用として、施工時から20℃の恒温室に保存していた同一製品を用いた。それぞれ8本ずつの供試体について圧縮強度試験を行ったが、施工したものの平均強度も、保存しておいたものの平均強度も12.6 N/mm²であり、26カ月後の圧縮強度では両供試体の差は見られず、劣化は認められなかった。

芝草の根の生育状況については、抜き取ったコアより芝草の根がポーラスコンクリートを通り抜け、地山に根を張っていることを確認した。この時の土壌のpHは7.5~7.8程度とわずかにアルカリ性を示した。施工時には肥料層としてほぼ中性の培養土を用いており、26カ月間でポーラスコンクリートよりアルカリ成分が溶出したことが考えられる。

4. 追加実験概要

追加実験として、連続空隙構造をもつポーラスコンクリートの空隙率と圧縮強度との関係について検討した。また、30%の空隙率を持つポーラスコンクリートの凍結融解抵抗性試験も行い、長期的な耐久性についての確認を行った。さらにポーラスコンクリート内での植物の生育環境の確認のため、ポーラスコンクリートの空隙率を変えて、空隙率と植物の生育状況との関係を確認した。これら追加実験に用いた配合を表-4.1に示す。

表-4.1 追加実験に用いた配合

配合 No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					空隙率 (%)
			C	W	G	S	混和剤	
1	20	0.00	241	49	1540	0	5.21	30
2		5.00			1461	81		26
3		9.99			1373	171		24
4		15.01			1274	272		19
5		20.00			1164	385		15

5. 追加実験結果

5.1 圧縮強度

連続空隙構造を持つポーラスコンクリートの空隙特性と圧縮強度との関係について実験を行った。水セメント比を一定とし、空隙率を5種類に変化させている。

実験の結果を図-5.1に示す。水セメント比を一定とした場合、空隙率が小さくなるに従って圧縮強度が増加する傾向が得られた。

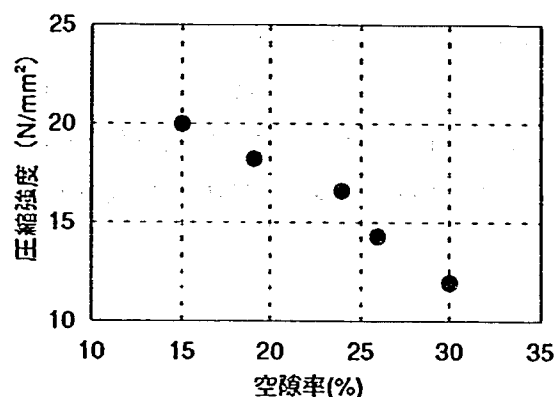


図-5.1 空隙率と圧縮強度の関係

5.2 凍結融解抵抗性試験

表-4.1のNo. 1の配合（空隙率30%）を用いて、10×10×40 cmの供試体を作成し、空中急速凍結-水中急速融解と空中急速凍結-空中急速融解の二つの条件下で、凍結融解サイクル数とポーラスコンクリートの劣化（相対動弾性係数の変化）の関係を試験した。

空中急速凍結-水中急速融解では、約200サイクル前程度から相対動弾性係数の若干の低下が認められた。空中急速凍結-空中急速融解の条件では、300サイクルまで相対動弾性係数の低下は認められなかった。ただし、既往の研究報告では、空中急速融解の場合はほぼ同等の報告がなされているが、水中急速融解の場合には、100サイクル以前からの低下が報告されている事例もある。

5.3 空隙率と植物の生育状況

空隙率を変化させたポーラスコンクリートに保水材（ピートモス、パーライト）を充填した上で、表面に客土した供試体を用いて試験した。バミューダグラスの種子を供試体当たり 1.8 g 使用し、室内温度は 12～25℃、1 週間に 1 回 20 分間の灌水を自動的に繰り返した。ポーラスコンクリートの下には骨材を敷いた状態で試験した。

すべての供試体について、約 3 週間後発芽が認められたが、日を経つにつれ 15%、19% の空隙率の供試体では枯死し、6 カ月後では空隙率の大きいもののほど、植物の生育が良好であることが観察された（写真 6.6）。空隙率が小さい供試体で生育状況が悪かったのは、保水材の充填量が少なく、ポーラスコンクリート内で十分な保水ができなかったためと考えられる。

6. まとめ

追跡調査を通じて、試験施工に用いられたポーラスコンクリートでの芝草の生育、ならびに周囲の植生への遷移を確認した。

追加実験の結果では、ポーラスコンクリートを使用した緑化コンクリートで植物の生育を維持するには、少なくとも 25% 以上の連続空隙率を確保する必要性が明らかになった。また、空隙率の大きいポーラスコンクリートほど植物の生育には適しているものの、空隙の増加とともに強度が低下してしまうことも確認された。

なお、この空隙に充填する材料は、植物に適した土壌に近いもので空隙内での保水能力及び地山からの吸水能力を持つことが不可欠である。さらに、充填材料内の密度（気相 30% が必要）についても考慮しなければならない。また、植物は使用される場所の環境に適応できるものを選定することが必要である。施工時期については植物の種類によって差があるものの、一般的に発芽に適した春及び秋で平均気温が 10～25℃ の時期が適している。夏および冬には保護が必要である。

謝辞

この研究に際して多大なご協力をいただきました関東地方建設局霞ヶ浦導水工事事務所の方々に深く感謝いたします。

第Ⅳ部

事例写真

1. 景観設計の考え方



写真-1.1

コンクリート擁壁に描かれ、ライトアップされた絵画。数十年後、この絵画はどのような評価を受けるであろうか。

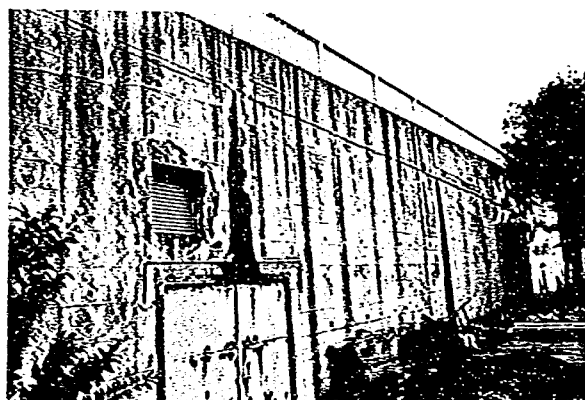


写真-1.2

天端や目地の部分にムラのある汚れが目立つ構造物。

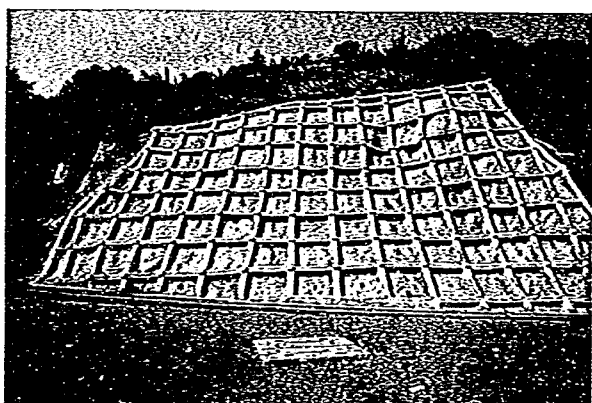


写真-1.3

周囲の緑に埋没すべき法面が、法枠コンクリートのためにめだっている。



写真-1.4

公園内に架けられた橋梁。シンプルな形と抑制された色調で周囲の緑との調和をはかっている。



写真-1.5

街路樹が法面の印象を緩和している事例。

2. 景観評価検討写真



写真-2.1
平滑-背景A

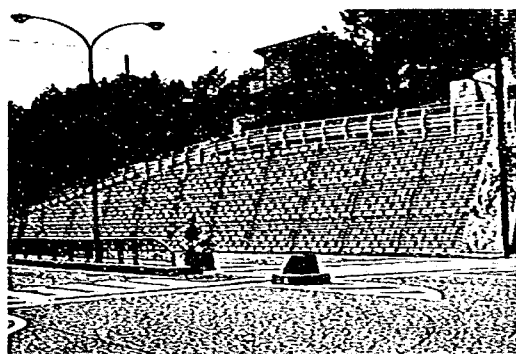


写真-2.5
桜石A-背景B



写真-2.2
はつり-背景A

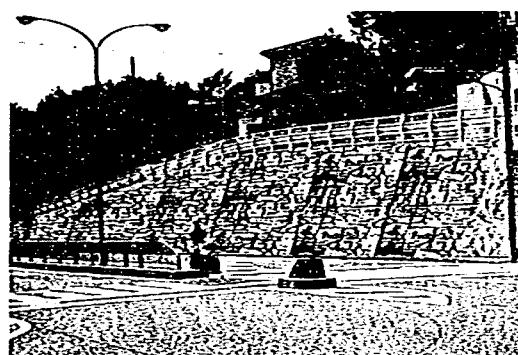


写真-2.6
桜石B-背景B

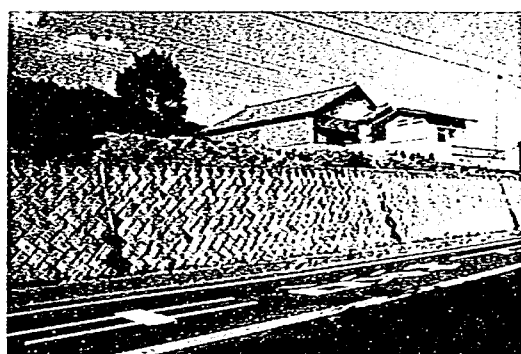


写真-2.3
間地A-背景A

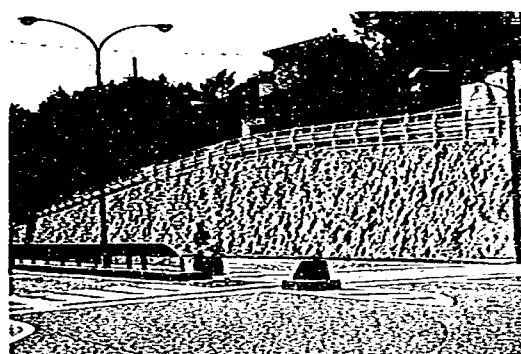


写真-2.7
自然石A-背景B

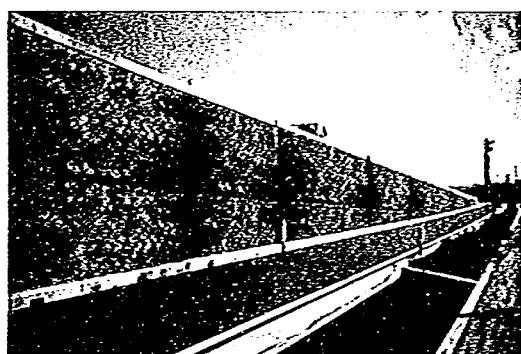


写真-2.4
間地B-背景C

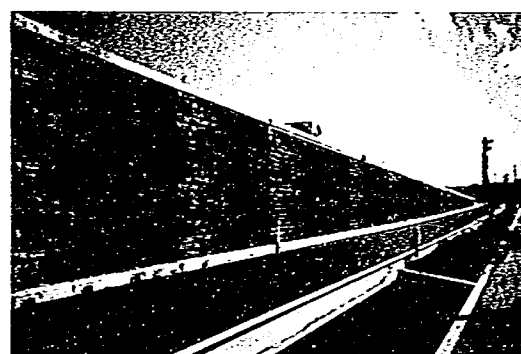


写真-2.8
自然石B-背景C

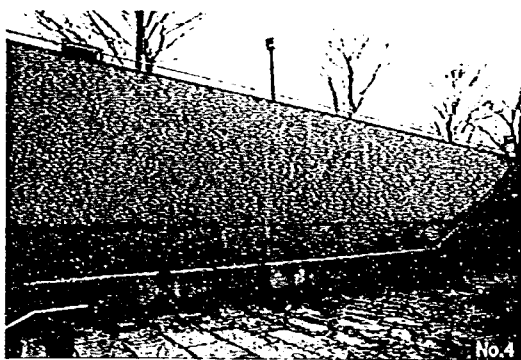


写真-2.9
汚れなしの状態

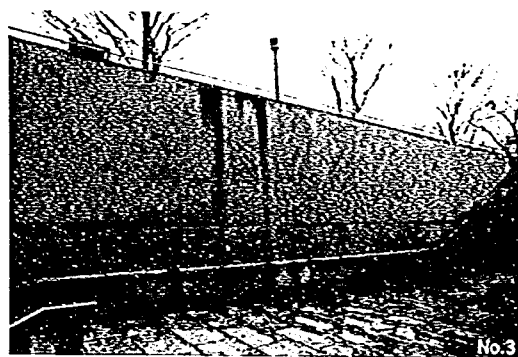


写真-2.10
よだれ状汚れ-汚れ面積率3%

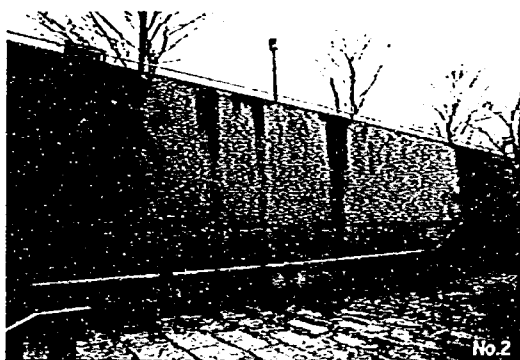


写真-2.11
よだれ状汚れ-汚れ面積率15%



写真-2.12
よだれ状汚れ-汚れ面積率24%



写真-2.13
均一に全体が汚れた状態



写真-2.14
まだら状の汚れ



写真-2.15
グラデーション状の汚れ

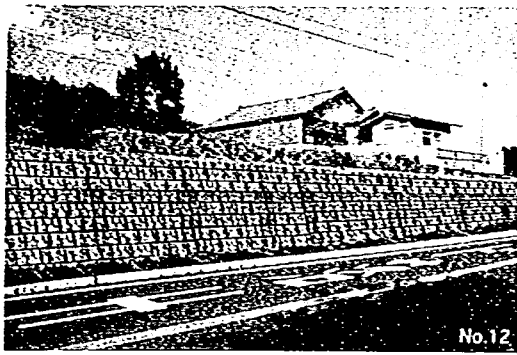


写真-2.16
擬石A-背景A-緑化あり

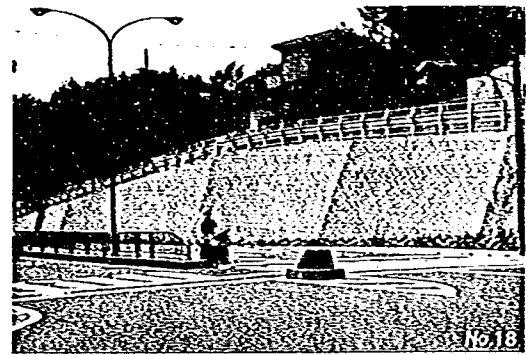


写真-2.17
間地A-背景B-緑化あり



写真-2.18
自然石A-背景A-緑化あり

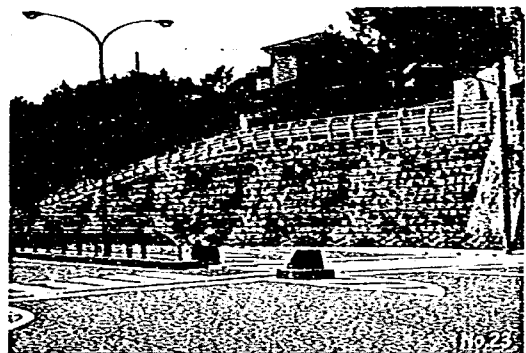


写真-2.19
自然石B-背景B-緑化あり

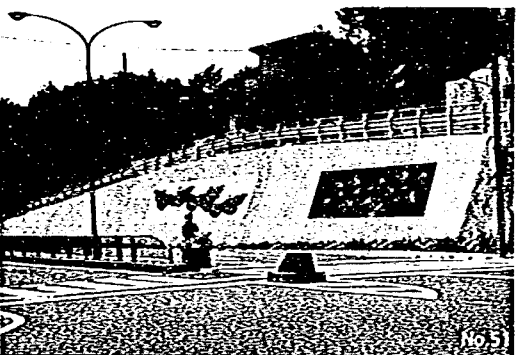


写真-2.20
平滑-背景B-緑化あり-絵画あり

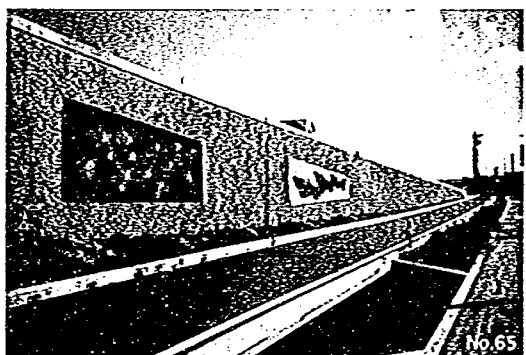


写真-2.21
はつり-背景C-緑化あり-絵画あり

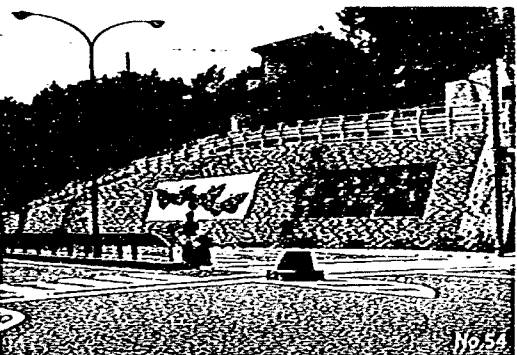


写真-2.22
間地B-背景B-緑化あり-絵画あり

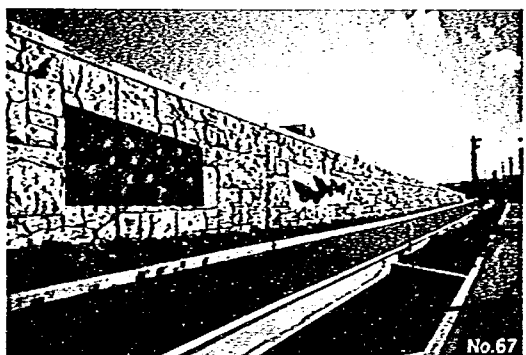


写真-2.23
擬石B-背景C-緑化あり-絵画あり

3. 景観向上への提案

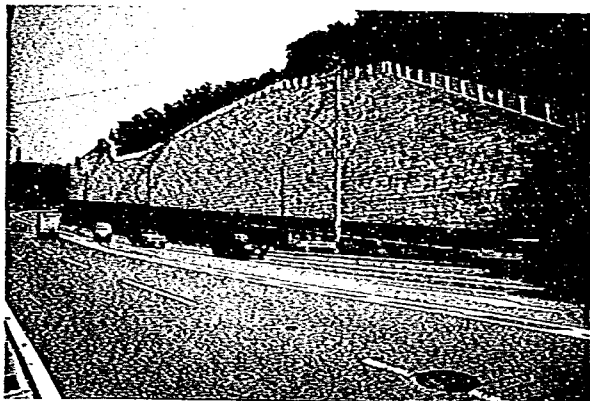


写真-3.1

程よいテクスチャー処理を施すことにより、単調で圧迫感を与えがちなコンクリート法面の印象を改善している。

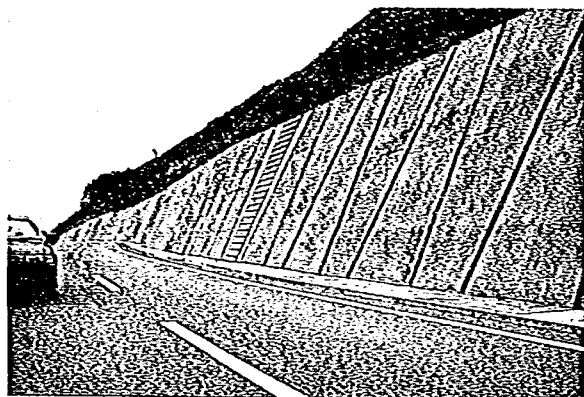


写真-3.2

横に長く続く擁壁は単調になりがちだが、この事例では、斜めの目地と微妙な凹凸によるテクスチャーにより、小気味よいリズム感や落ち着きが醸し出されている。



写真-3.3

繰り返しパターンの擬石ブロックが、人工的な印象を強くしている。

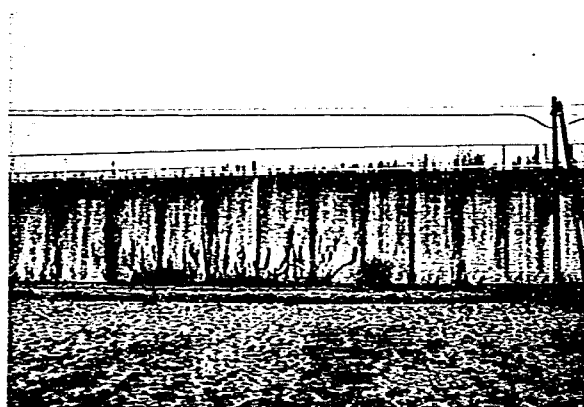


写真-3.4

よだれ状の汚れが生じたコンクリート擁壁。ムラのある汚れが景観評価を低くしている。



写真-3.5

凹凸が大きく、彩度も高いテクスチャーのため、街路樹に対して擁壁面が目立ちすぎている。

4. 表面テクスチャー事例

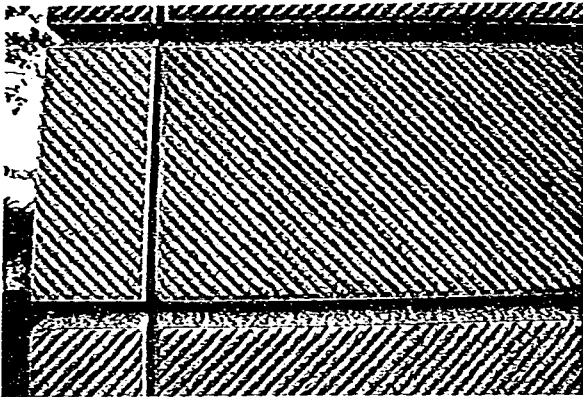


写真-4.1

ダブルテクスチャーを用いた事例。近くでは一層ごとに向きの異なる斜めの溝が目立つ。

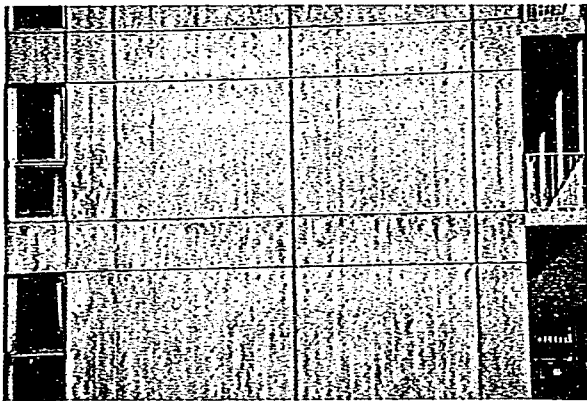


写真-4.3

平滑仕上げでは目地やコーン穴がデザイン上のポイントとなる。

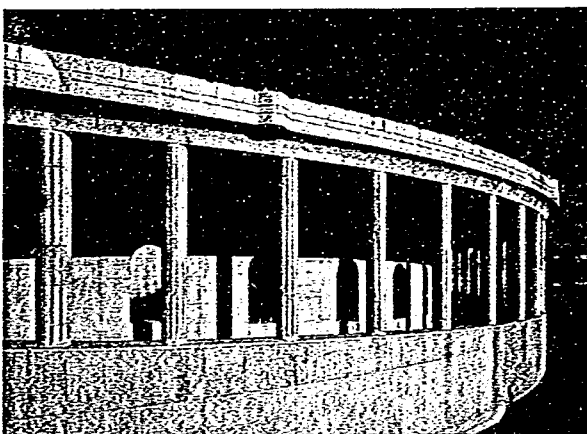


写真-4.4

コンクリート表面の微妙なテクスチャーとわずかな着色が落ち着いたある景観を生んでいる事例。公共土木施設の景観は目立つことが目的ではない。



写真-4.2

写真-4.1の構造物。遠くから見ると水平の溝が目立つ。また、斜めの溝の向きの違いから、水平の溝で区切られた各層は縞模様になっている。

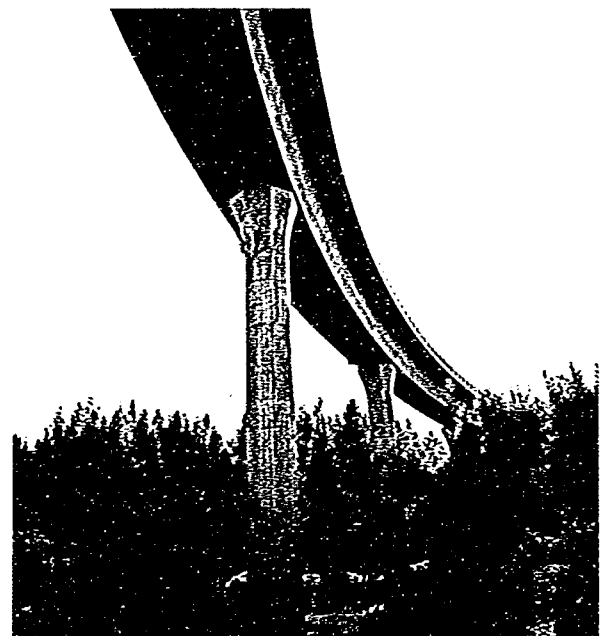


写真-4.5

構造美を誇るスレンダーな橋梁等には、テクスチャー処理は無用である。平滑仕上げが最もよい。

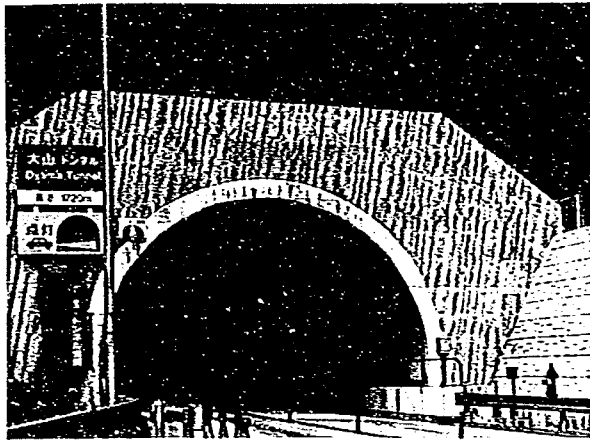


写真-4.6

背景の岩石を模したテクスチャーを用い、周辺と調和させたトンネルの坑口。一方、右横の擁壁のテクスチャーは人工的な印象を与えている。

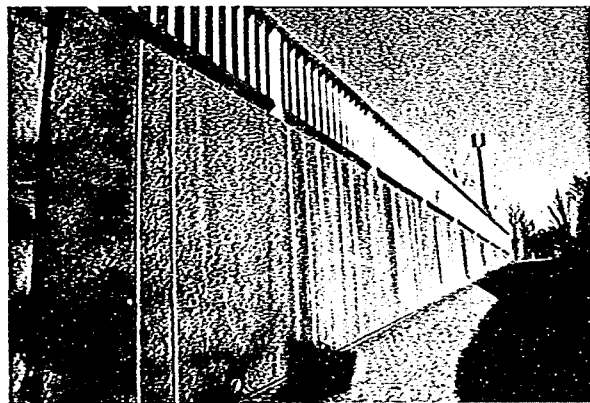


写真-4.8

はつり仕上げを施した擁壁。天端からの雨水で汚れている。平滑仕上げであればもっと汚れが目立っていたものと思われる。

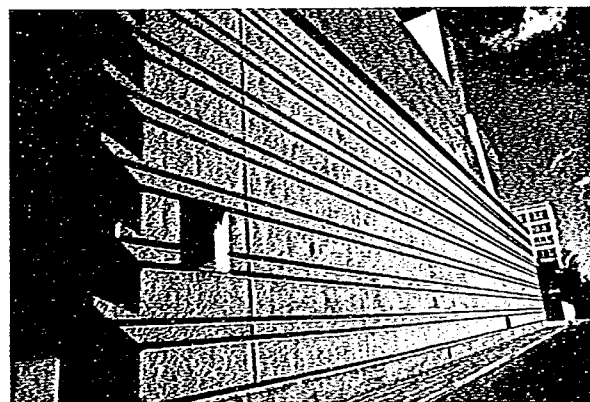


写真-4.9

はつり仕上げを施した化粧型枠を用いた建築物の事例。はつり深さは浅い。

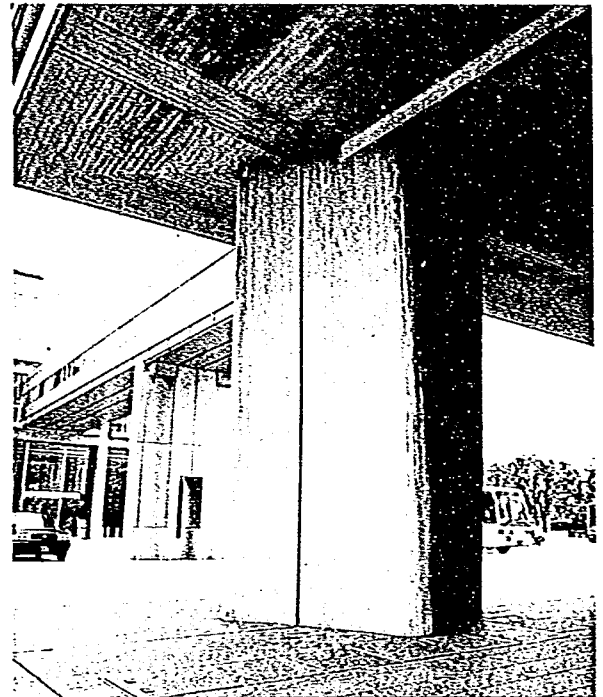


写真-4.7

型枠の木目がコンクリートに転写されている事例。

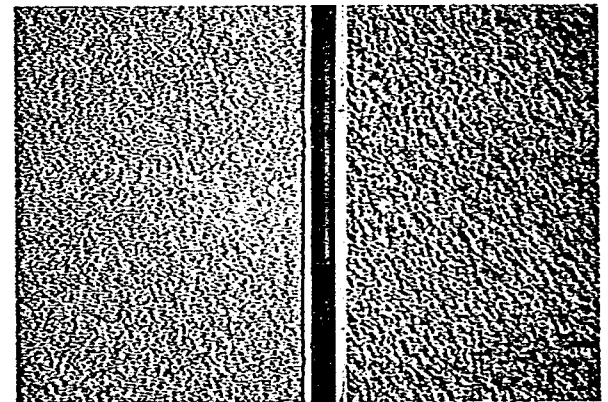


写真-4.10

はつり深さの違い。目地の左側ははつり深さが2cm、右側は4cmのはつり仕上げである。

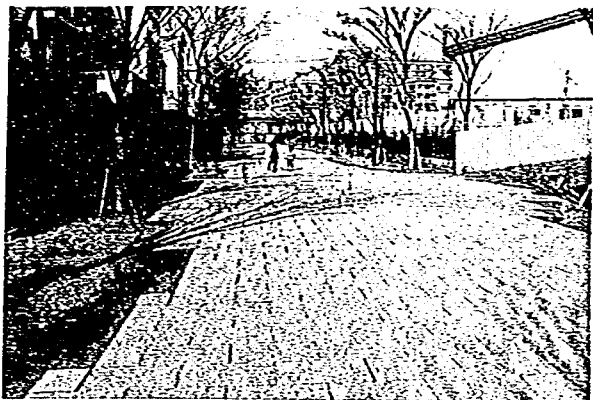


写真-4.11

サンドブラスト仕上げの歩道ブロックを使用した事例。



写真-4.12

公園内の子供の遊び場。洗い出し仕上げは石の肌触りを持ち、直接手に触れるところに適する。

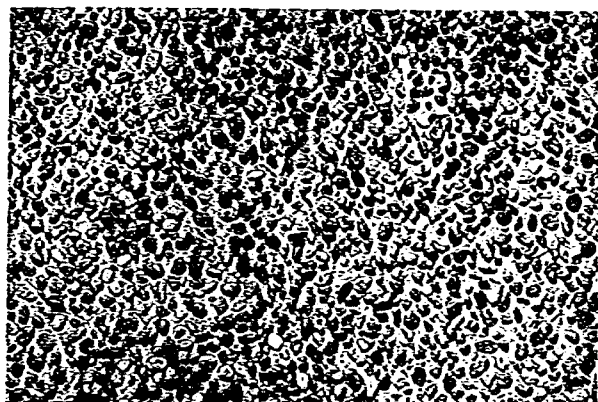


写真-4.13

写真-4.12のクローズアップ。表面に露出している骨材の粒径がそろい、かつ色彩にも富んでいる。



写真-4.14

公園の噴水、通路、遊歩道に洗い出し仕上げを使用した事例。水に濡れた骨材はつやが出るので、水辺に適している。



写真-4.15

研磨仕上げを用いた建築の床材。一見石材の雰囲気を持つ。

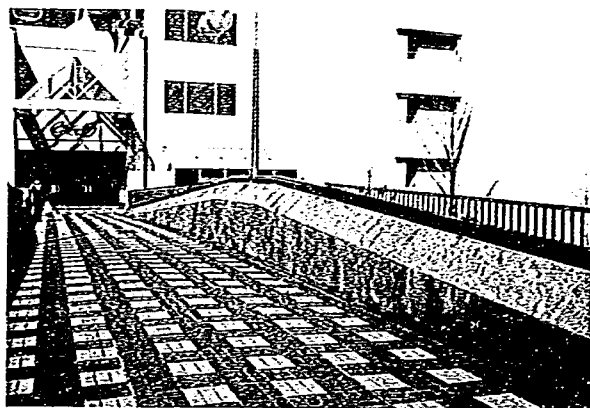


写真-4.16

歩道橋の高欄に現場施工の研磨仕上げを用いた事例。研磨仕上げは滑らかな表面をもつので、この事例のように直接人の手に触れるところに適する。

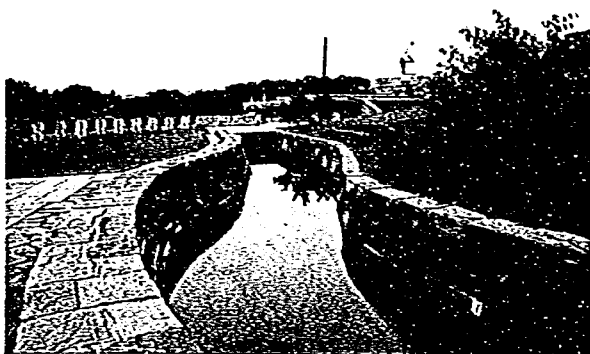


写真-4.17

石張り仕上げを施した水路。石材の縦横比や大きさを変えて自然な感じを出している。



写真-4.18

プレキャストブロックの橋に石張り仕上げを施した事例。ブロック状の石材を石積み風に張りつけている。

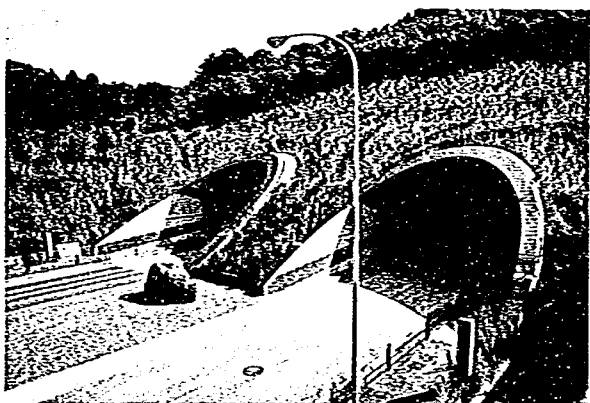


写真-4.19

背景の鮮やかな緑、澄んだ空にタイル張り仕上げによる青いラインが映え、トンネル坑口の輪郭を際立たせている。光沢を持った鮮やかな色合いはタイルの特徴である。



写真-4.20

河川護岸の法面にタイルで絵画を描いた事例。技術的には素晴らしいが、周囲との調和という点では疑問も残る。

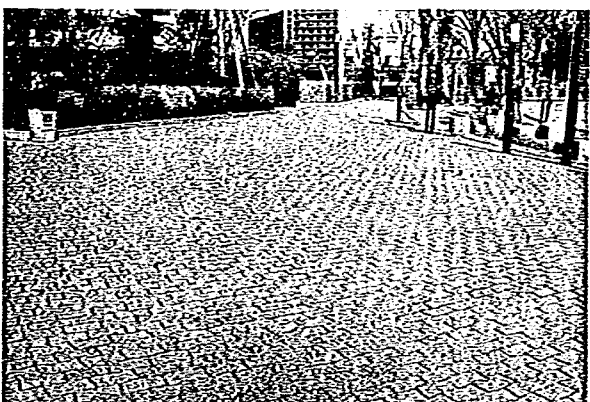


写真-4.21

レンガを公園の広場に用いた事例。レンガには適度な色や形状のバラツキがあり、平面の単調さを抑えている。

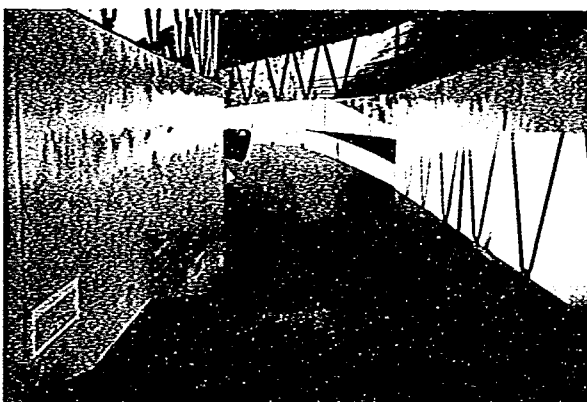


写真-4.22

平滑でつやのある塗り仕上げ。落書き防止用塗料を用いてある。公共施設には適するであろう。

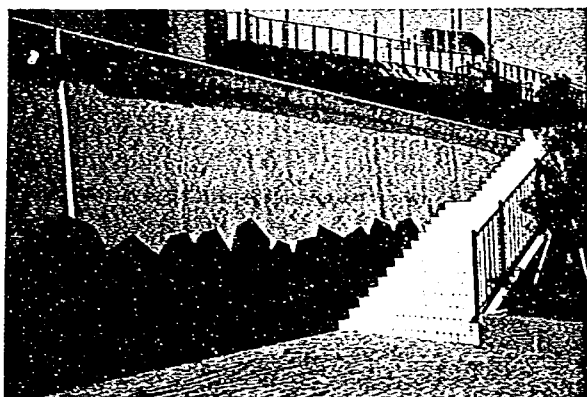


写真-4.23

意匠性の高い塗り仕上げを施した擁壁。白い部分は塗装厚が薄く、コンクリートの凹凸があらわれてしまっている。

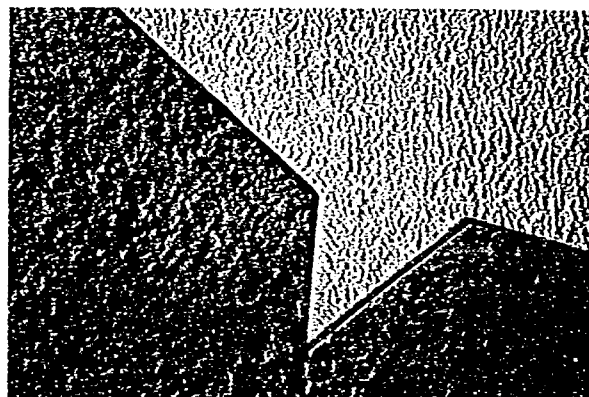


写真-4.24

写真-4.23のクローズアップ。白い塗装と黒い塗装では塗装厚が違うことがわかる。黒部分は凸部処理模様であり、凸部が平らに潰れているのがわかる。

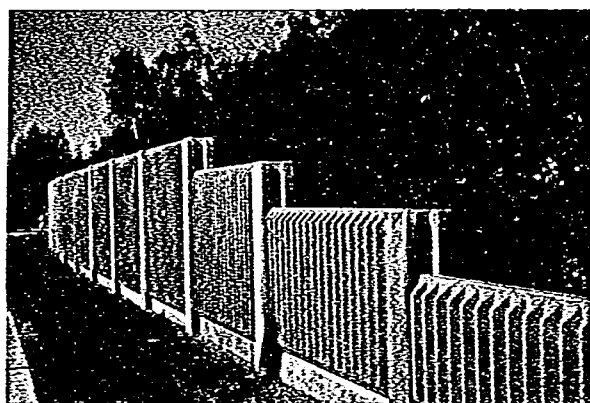


写真-4.25

顔料の混入によって着色された道路の防音壁。体積に対し、表面積が大きい構造物に対しては経済的である。



写真-4.26

擬石に着色剤の型枠転写を用いた事例。天然石とほとんど区別がつかない。着色剤の型枠転写は擬石等の二次製品に多く用いられる。



写真-4.27

最初からエージングしたかのような色合いを見せる擬石風擁壁。この色なら汚れも目立たないであろう。

5. 汚れおよび汚れ対策事例

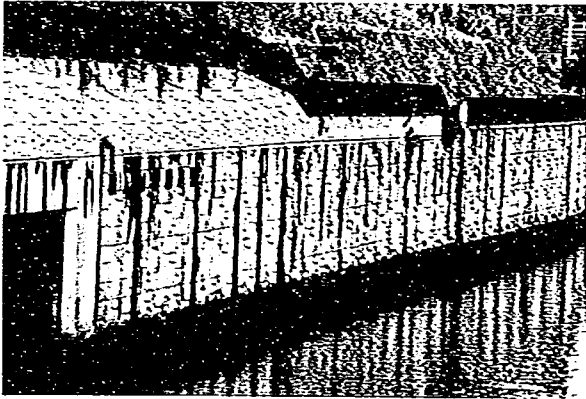


写真-5.1

擁壁の切れ目から泥分を含んだ水が壁面を伝わり、汚れが付着した事例。

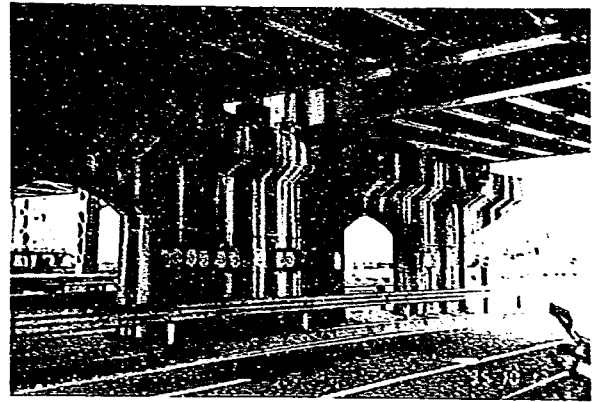


写真-5.2

JR高架橋下の橋脚で、雨水等による水が壁面を伝わり落ち汚れが付着している。エフロレッセンスと思われる汚れもある。

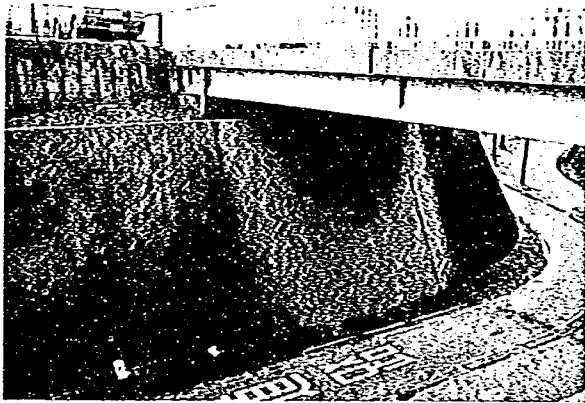


写真-5.3

橋桁の影になっている部分は雨水がかかりにくく汚れにくい。そのため、かえて他の部分の汚れが目立っている。

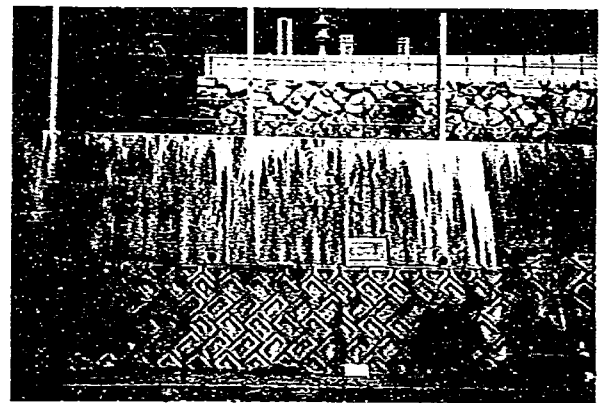


写真-5.4

擁壁天端からの雨水により、部分的に汚れが洗い流されて生じた「逆よだれ状汚れ」。

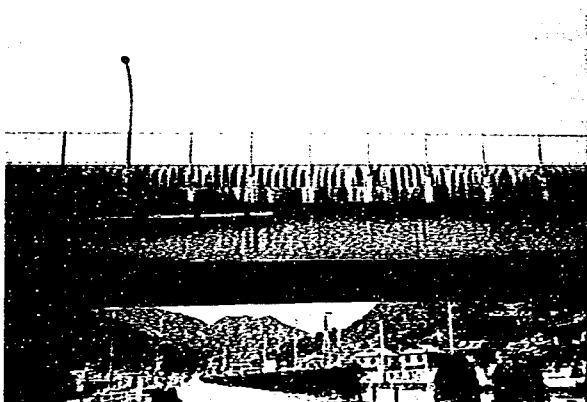


写真-5.5

高架橋側壁に付着した自動車の排気ガスによる汚れが、雨水が流れる部分のみ洗い流され、まだら状の汚れとなっている事例。

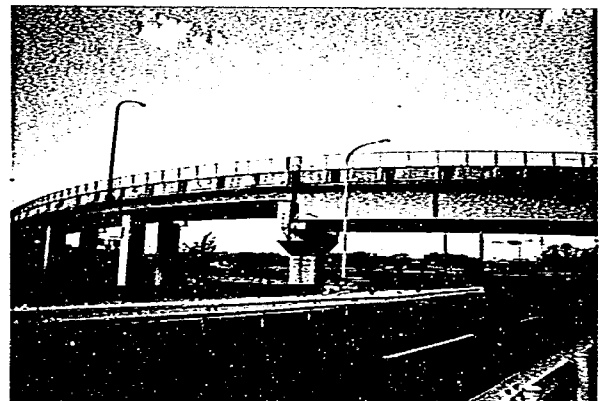


写真-5.6

錆による汚れが目立っている事例。

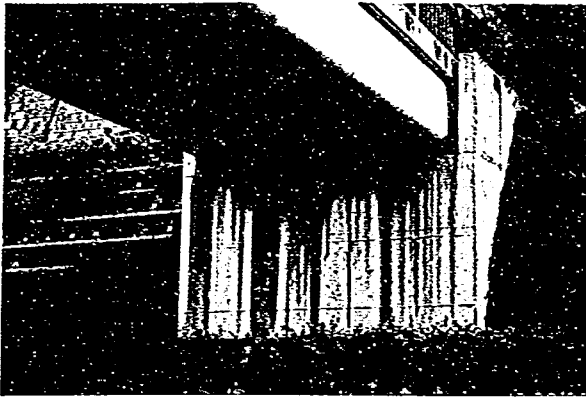


写真-5.7

雨水がコンクリート壁面を伝わり落ちている歩道橋の橋脚。長時間の間に藻類が発生している。

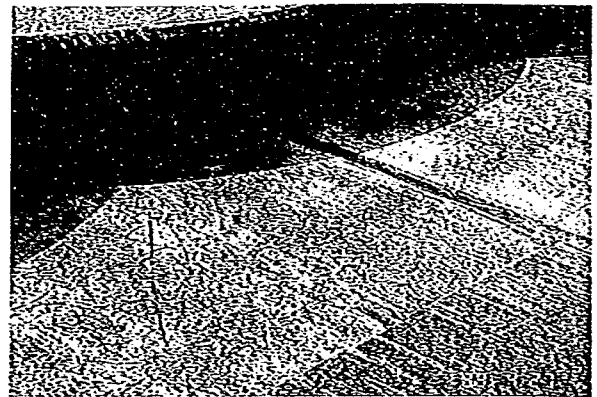


写真-5.8

一次エフロレッセンスが発生しているケース。カラーコンクリートの場合エフロレッセンスが目立ちやすい。

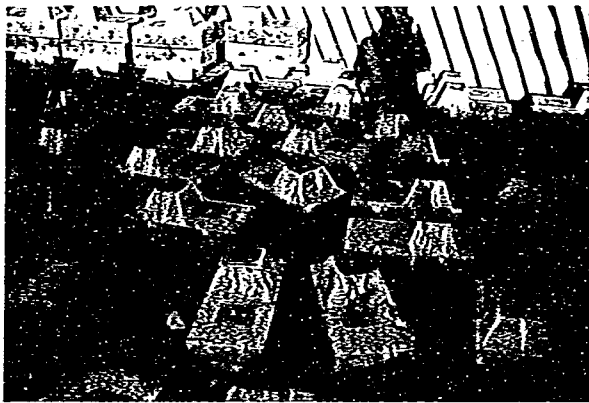


写真-5.9

ストックヤードでの保管期にエフロレッセンスが発生した事例。

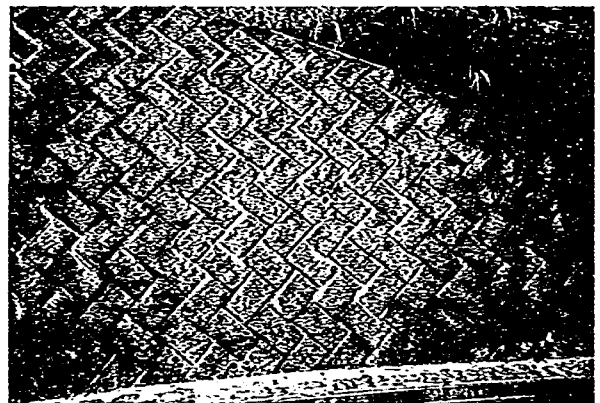


写真-5.10

擁壁のコンクリートブロックの隙間から炭酸カルシウムが析出している事例。

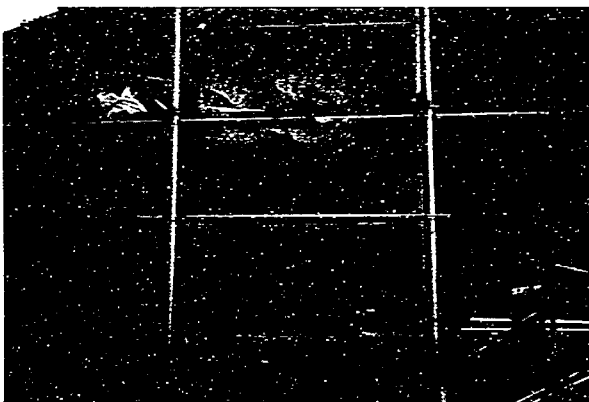


写真-5.11

コンクリートの打設面に斜めの筋ができてしまった事例コールドジョイント

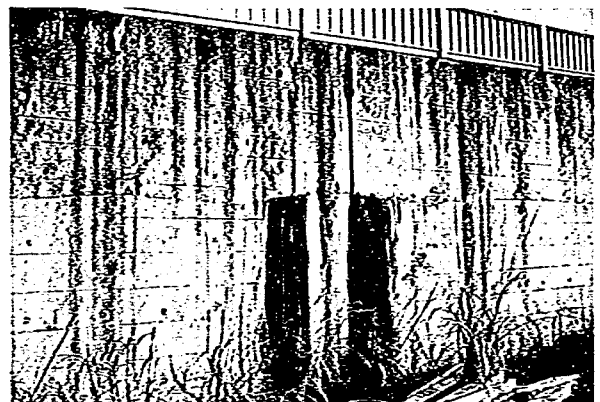


写真-5.12

コンクリート擁壁のコールドジョイント。コールドジョイントの隙間から水が流れたためよだれ状の汚れが生じている。

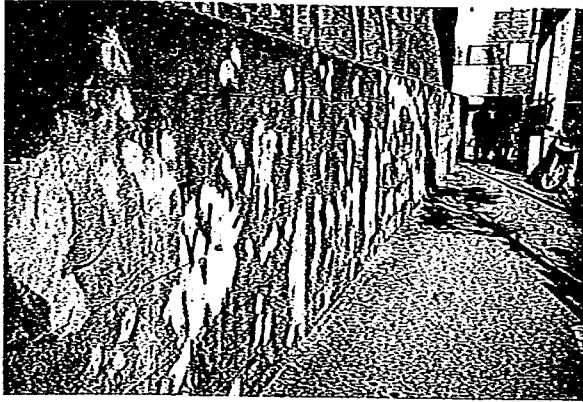


写真-5.13

コンクリートブロック塀の補修ムラ。色の違いが明瞭である。

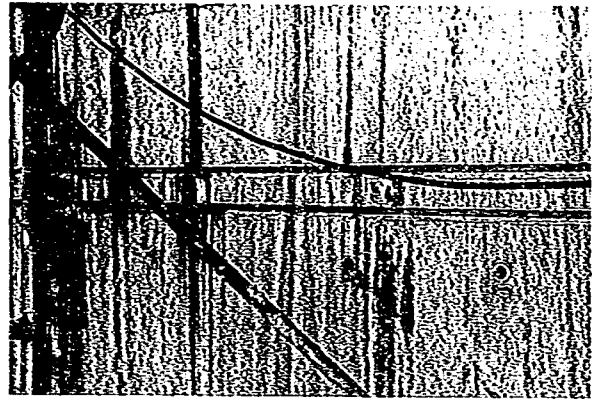


写真-5.14

型枠から色が移った事例。

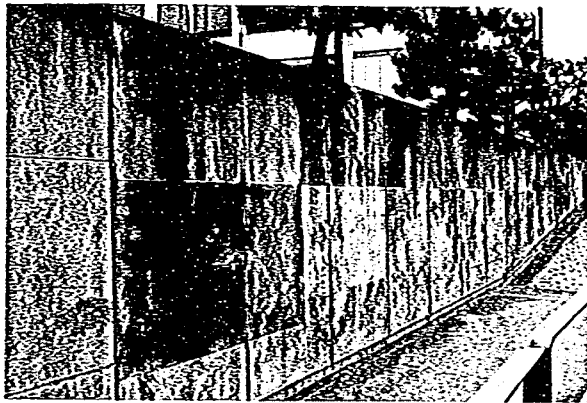


写真-5.15

型枠の木目方向の違いが、汚れ方に影響を与えてしまった事例。



写真-5.16

表面の凹凸が大きいテクスチャーを用いると、汚れが目立ちにくい。

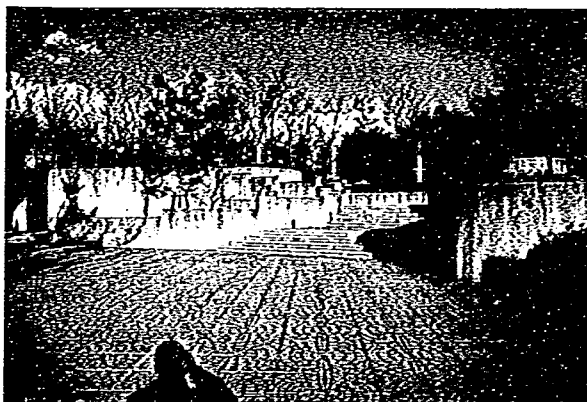


写真-5.17

はつり仕上げが施されている事例。上部からグラデーション状に汚れている。

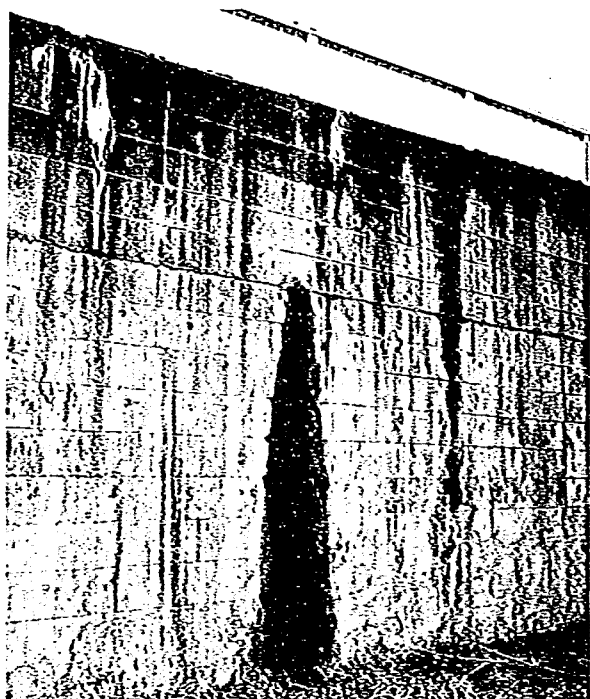


写真-5.18
水抜き孔からの排水による汚れ。

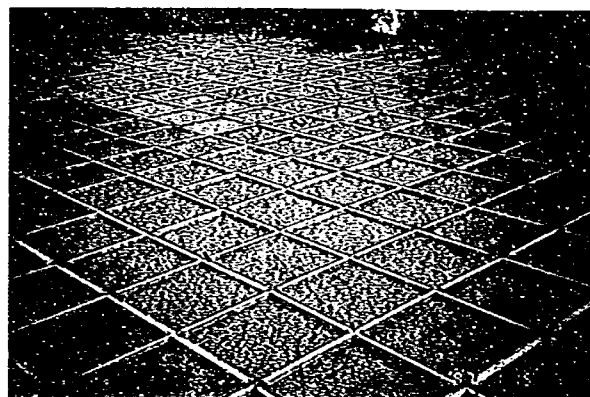


写真-5.19
水抜き孔の配置を工夫した事例。

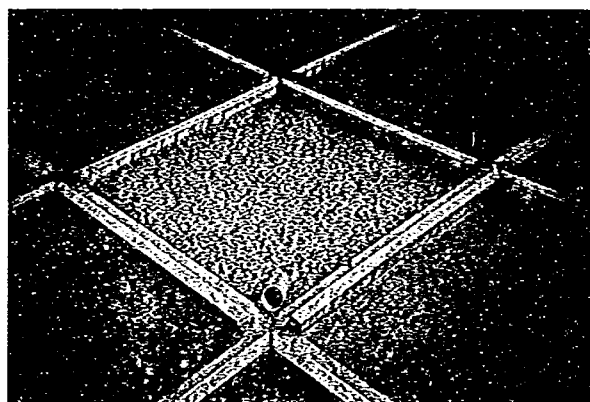


写真-5.20
写真-5.19のクローズアップ。



写真-5.21
水抜き孔を一行に配置した事例。



写真-5.22
笠木の部分で雨水の流下を抑えている事例。

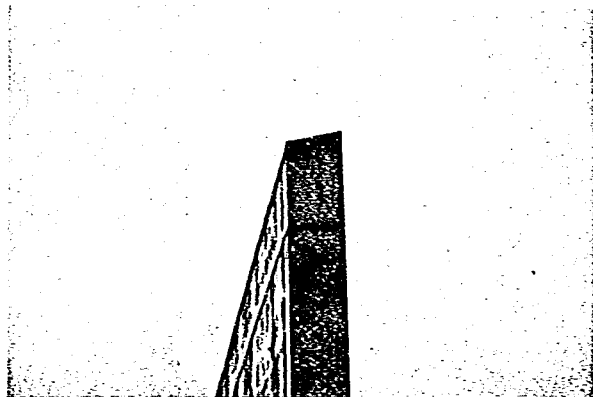


写真-5.23

天端に勾配をつけることで排水のコントロールを行っている事例。

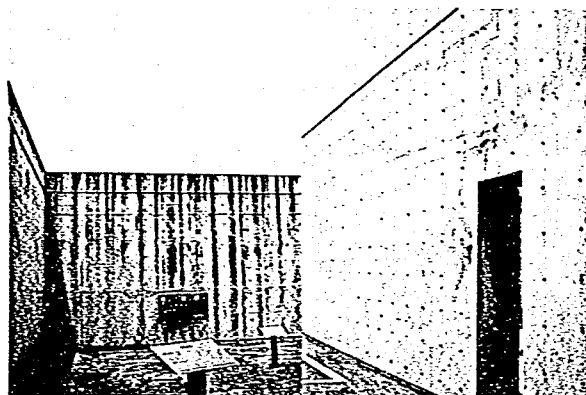


写真-5.24

写真-5.23の壁面。勾配内側(写真左)の雨水が流れる面は汚れているが、人目に触れやすい面は(写真右)はきれいにたもたれている。

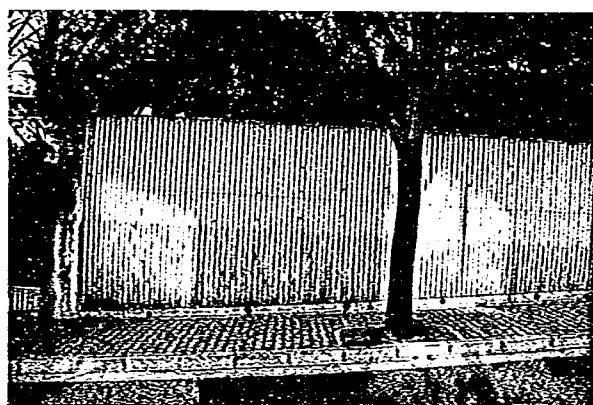


写真-5.25

汚れをデザインに取り込んだ事例。雨水の流れる溝の部分が汚れることで、壁面の陰影のデザインが強調される。



写真-5.26

壁面の傾きや微妙な平滑度の違いが汚れ方の違いを生じ、それが橋梁のデザインの一部となっている事例。

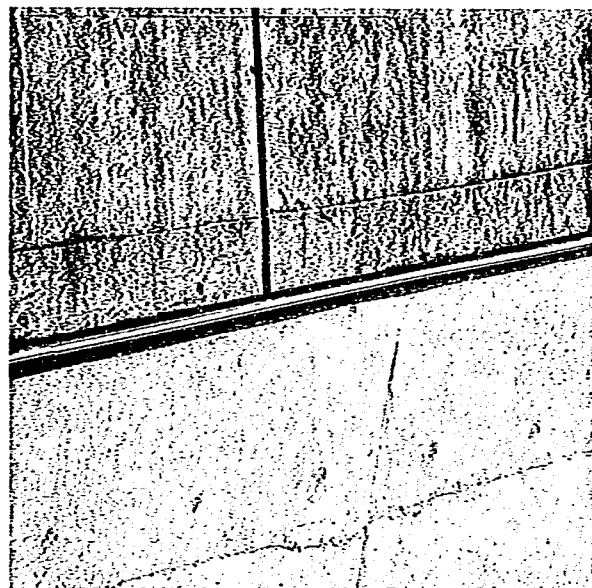


写真-5.27

写真-5.26のクローズアップ。

6. 緑化コンクリート

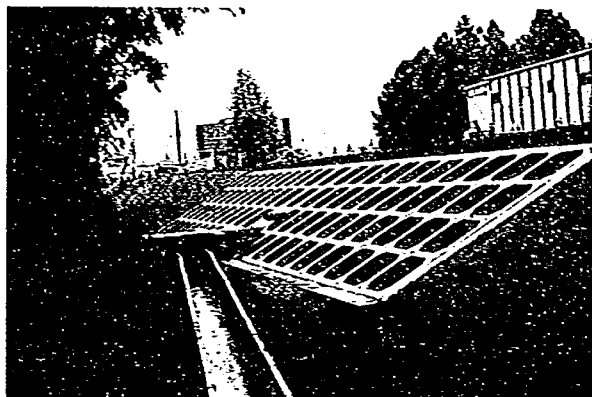


写真-6.1
緑化コンクリート施工後 1カ月の状況。



写真-6.2
施工後 3カ月の状況。

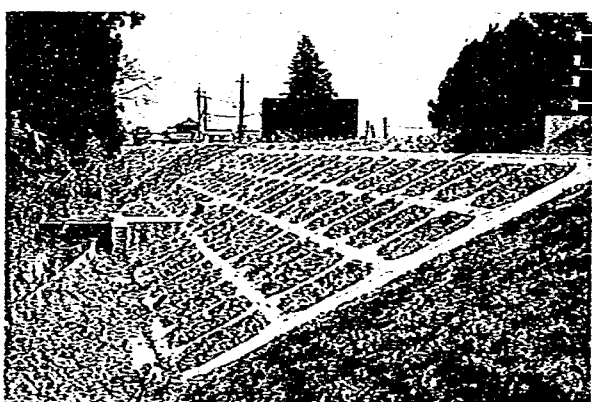


写真-6.3
施工後 22カ月の状況。枯れた草が刈り取られている。

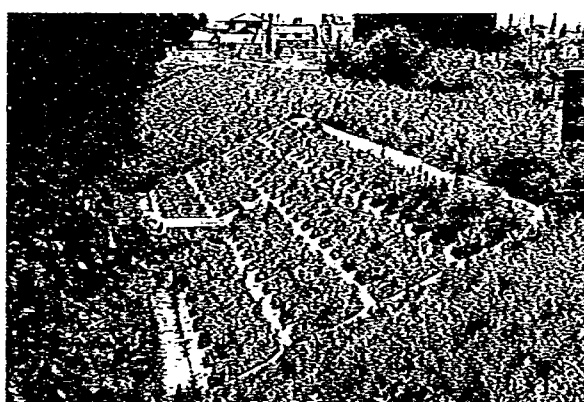


写真-6.4
施工後 26カ月の状況。周囲に自生している植物への遷移が見られる。



写真-6.5
抜き取ったポーラスコンクリートのコア。

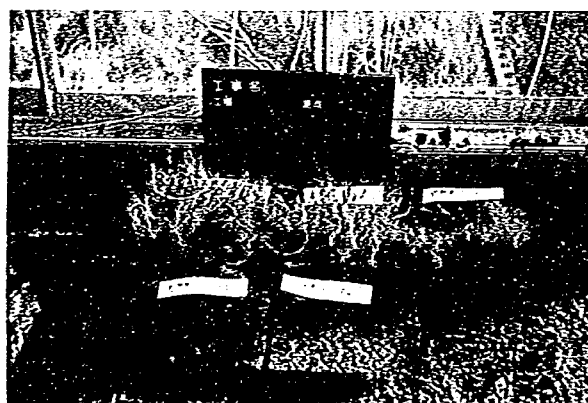


写真-6.6
空隙率と植物の生育状況(追加実験)。

あとがき

この報告書は、4年間にわたる総プロ「美しい景観創造技術の開発」の一課題である「景観素材としてのコンクリート材料の開発」で行った共同研究の成果を取りまとめたものである。コンクリート構造物の景観については、これまでも多くの研究者が取り組んできており、学協会でもとりまとめに向けて検討がなされてきている。しかしながら、構造計算のような明確な指針・マニュアルにはなっていない。これは、景観を構成する要素が複雑で、しかも人間の感性という定量化の難しい評価項目を含んでいるためであろう。しかも、本来自由度の高いものであるべきものであるため、指針化・マニュアル化は景観設計にはなじまないとする意見さえある。

そこで、ここでは景観を阻害するコンクリート構造物を少なくするという観点から、限られた構造物を対象に、限られた項目について検討を行った。ここで得られた結果のみで景観が大きく進歩するわけではない。しかし、ここで扱った各種表面テクスチャーの特性や汚れ対策は、コンクリート構造物の景観を考える上では当然配慮すべき基本的な内容であり、これに従うことは決して難しいことではない。景観を向上させるには、派手なものや目立つものを造ることではなく、技術者が景観に対する意識を持ち少しずつ改善を加えていくことこそが重要であり、その際に本書が少しでも手助けとなれば幸いである。

景観は人間の感性に関するものであり、真に景観を向上させるためには、心理的な余裕と時間による熟成のようなものが必要であると考えます。このため、今後ともソフト・ハード両面で、景観向上のための検討を継続していくことが必要であることはいうまでもない。

この共同研究を実施するに当たり、各方面の方々にご協力いただいた。ここに改めて、感謝の意を表したい。

参考文献

第1部 コンクリート構造物の景観向上に関する提案

コンクリート構造物の景観設計の考え方について

- 1)土木学会コンクリート委員会：「コンクリート構造のエッセティックス」（コンクリートライブラリー 第83号），土木学会，1995

コンクリート構造物の景観評価について

- 2)岡島達雄：「縞パターンの特クトル分析と心理効果」，日本建築学会構造系論文報告集 第356号，pp.16-23，1985
- 3)岡本亨久ほか：「緑化が斜面コンクリート構造物の景観評価に及ぼす影響」，第48回セメント技術大会講演集，pp.772-777，1994
- 4)佐藤誠治ほか：「景観シミュレーションを用いた景観評価に関する研究」，大分大学工学部研究報告 第24号，pp.79-84，1991
- 5)土橋正彦ほか：「計量心理学的手法を用いた景観評価の信頼性に関する考察」，土木学会年次学術講演会梗概集，pp.176-177，1993
- 6)船越徹：建築の景観，景観・コンクリートに関するシンポジウム，pp.1-20，1991

コンクリート構造物の表面形態・表面仕上げについて

- 7)北陸建設弘済会：'95景観創造に貢献する建設資材便覧
- 8)芦原義信：「外部空間の設計」，彰国社，1975
- 9)「打放しコンクリートの空間デザイン手法」，建築技術増刊No.519Vol.2，1993. 8
- 10)全国タイル工業協会：エクステリアタイル事例集
- 11)笠井芳夫，小林正凡：「セメント・コンクリート用混和材料」，技術書院，1986
- 12)建設省関東地方建設局：「シビックデザイン導入手法に関する調査報告書」，1991
- 13)建設省土木研究所，セメント協会：「景観素材としてのコンクリート材料の開発に関する共同研究報告書(2)」，1995
- 14)産業調査会：建築材料実用マニュアル
- 15)コンクリート構造物の緑化設計法研究委員会：コンクリート構造物の緑化に関するシンポジウム，日本コンクリート工学協会，1993
- 16)コンクリート構造物表面形態研究委員会：コンクリート構造物の表面形態と景観に関するシンポジウム，日本コンクリート工学協会，1993
- 17)近藤高規：「カラーコンクリートの着色技術の現状と課題」，コンクリート工学，pp.24-32，1994

- 18)篠原修：新体系土木工学59 土木景観計画，土木学会，1982
- 19)全国タイル工業協会：タイル手帳
- 20)田村幸久：「嫌われない擁壁のデザイン」，道路とコンクリートNo.92，pp.20-30，1991
- 21)道路環境研究所・道路景観研究会：「道路景観整備マニュアル」，大成出版，1988
- 22)「特集・RC打放し監理術」，建築知識 1989年7月
- 23)「特集・型枠施工“困ったときのノウハウ集”」，建築技術vol.538，1995年2月
- 24)「特集・環境デザイン97」，日経コンストラクション，1997年7月25日，日経BP社
- 25)「特集・コンクリートの肌地仕上げ」，建築技術No.214，1969年6月
- 26)「特集・塗装仕上げ完璧百科」，建築知識 1993年9月
- 27)土木学会誌，1988年10月
- 28)土木学会誌別冊増刊 構造デザイン，1992年3月
- 29)日経コンストラクション 1994年8月12日，日経BP社，pp.57-59
- 30)プレストレストコンクリートVol.36 No. 6，プレストレストコンクリート技術協会，1994.11
- 31)北海道開発技術センター：「シビックデザインの研究2」
- 32)向井毅ほか：コンクリート工学ブックス5 耐久性と美装性向上を考慮したコンクリート構造物の仕上げ，日本コンクリート工学協会，1986

第II部 コンクリート構造物の汚れ対策

- 33)仕入豊和，地濃茂雄：「コンクリート表面の汚れとその対策」，コンクリート工学vol.24，No. 7，1986
- 34)仕入豊和，地濃茂雄，橋高義典：「コンクリート壁面の汚れ」，セメント・コンクリートNo.461，1985
- 35)池永ほか：「外壁の汚れの見え方に及ぼす観察距離の影響に関する研究」，日本建築学会構造系論文集 第465号 1994年11月
- 36)エフロレッセンスーそのメカニズムと対処療法：月刊建築仕上技術1994年8月，pp.36-57
- 37)建設省土木研究所，セメント協会：「景観素材としてのコンクリートの開発に関する共同研究報告書(1)」，1994
- 38)建設省土木研究所，セメント協会：「コンクリート構造物の景観向上技術の開発に関する共同研究報告書」，1997
- 39)近藤重之助：「材料設計試験方法4 ほこりによる汚染および除染試験法」，建築技術，1970年1月
- 40)賓迫晏：「セメント化学雑論」，セメント・コンクリートNo.409，1981

第III部 コンクリート構造物の緑化手法に関する検討

- 41)建設省土木研究所，セメント協会：「コンクリート構造物の景観向上技術の開発に関する共同研究報告書」，1997
- 42)コンクリート構造物の緑化設計法研究委員会：コンクリート構造物の緑化に関するシンポジウム，日本コンクリート工学協会，1993
- 43)「特集・緑化とコンクリート」，コンクリート工学 vol.32 No.11，1994