

コンクリート片はく落防止工法

Method for Anti-spalling of Concrete Pieces

開発本部 一般塗料部 構造物塗料グループ
Heavy Duty Coating Group



里 隆幸
Takayuki SATO



宮下 剛
Tsuyoshi MIYASHITA

要 旨

近年、トンネル内でのコンクリート塊落下事故や高架橋からのコンクリート片はく落事故など、コンクリート構造物の早期劣化の実態が次々と明るみに出て、各構造物管理者はその対策に真剣に取り組み始めている。このようなコンクリート片はく落による第三者被害を未然に防止するために、コンクリート片はく落防止工法を開発した。

本工法は断面修復工法、ひび割れ注入工法および連続繊維を用いたFRP工法で構成され、各々に日本道路公団が制定した試験方法により規格値を十分に上回る優れた性能を示すことが確認された。また、同工法による施工実績は既に30件以上にのぼる。

Abstract

Recently, the early deteriorations of concrete structures have been made public one after another, for example falling accidents of the concrete mass in the tunnel or the exfoliation accidents of the concrete pieces from the elevated bridge. The each structure administrator has begun to tackle the countermeasure seriously.

The method for anti-spalling of concrete pieces was developed in order to escape injury of third person by the concrete pieces exfoliations. Our method is composed of the following three methods: method for section restoration, impregnation method for concrete crack and FRP method using continuous fiber.

We confirmed it showed the excellent performance that sufficiently exceeded standard values of the test method that Japan Highway Public Corp. respectively instituted.

And, this method has been already applied to over 30 concrete structures.

1. はじめに

鉄筋コンクリートの建造技術が我が国に導入されたのはおよそ百年前のことで、その頃に建設されたコンクリート構造物が現在も健全にその機能を維持している。このことは適切な設計と施工で建設されたコンクリート構造物は極めて耐久性が優れていることを実証するものである。しかし、いくら耐久性に優れた構造物といえども、経年的にはその性能が低下し、使用条件に変化があったりすると機能に支障をきたす場合もある。実際、最近になってトンネル内でのコンクリート塊落下事故や高架橋からのコンクリート片はく落事故など、コンクリート構造物の早期劣化の実態が市民生活を脅かすレベルにまできていることが明るみに出て、建設時の施工管理並びに建設後の維持管理の重要性が改めて認識されている。

以上のような背景から、日本道路公団(以下、JHと略記)ではコンクリート片はく落による第三者被害を未然に防止するために、『コンクリート片はく落防止対策マニュアル(平成12年11月)』¹⁾(以下、マニュアルと略記)を制定し、これを適用した対策工事が急ピッチで進められている。

本稿では先ずコンクリート片はく落防止工法を理解する上での予備知識として、コンクリート構造物の劣化要因および劣化の現状について概説し、各構造物管理者のコンクリート片はく落防止対策の取り組み状況を述べる。そして、JHマニュアルの規格に適合する当社のコンクリート片はく落防止工法の概要を報告する。

2. コンクリート構造物の劣化要因および劣化の現状

2-1 コンクリート構造物の劣化要因

コンクリートの品質はそれが置かれる環境や外部からの作用などが原因となる外的要因とコンクリート自体の物性の変化が原因となる内的要因によって次第に低下(劣化)していく。表1にはコンクリート構造物で生じる主な劣化現象を簡単に示したが、実際のコンクリートは個々に独立した要因によって機能が低下することは極めて稀で、一般には外的および内的要因が相乗的に作用したり、複数の要因が同時に作用して劣化が進行するものである。

表1 コンクリート構造物で生じる主な劣化現象

分類	劣化の名称	主な現象
化学的劣化	塩害	コンクリート中の鋼材が過酷な海洋環境や凍結防止剤の大量散布、あるいは除塩不足の海砂を用いたことなどが原因で腐食し、鋼材に沿った軸方向ひび割れを生じるとともに、著しい場合には鋼材の孔食による伸び能力の低下あるいは鋼材断面の減少による耐力の低下などを引き起こす現象。
	中性化	セメントの水和により生成する $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaOH 、 KOH 、エトリンガイト、モノサルフェート等のアルカリ性を呈する化合物が大気中の炭酸ガス(CO_2)、酸性雨や酸性土壌との接触、火災等により消費あるいは分解され、その結果、セメント硬化体のアルカリ性が低下する現象。鉄筋腐食の原因となる。
	アルカリ骨材反応	骨材中に含まれるアルカリ反応性鉱物がコンクリートの細孔溶液中のアルカリ金属(K 、 Na)と反応してゲルを生成し、これが吸水膨張してコンクリートにひび割れを生じさせる現象の総称。反応形態には幾つかの種類があるが、我が国で主に問題となっているのはアルカリシリカ反応。
	化学的侵食	酸や塩によるコンクリートの侵食現象の総称。コンクリートはpH3.0以下の強酸性環境下では著しく劣化する。また、硫酸塩環境はエトリンガイトの生成により膨張・崩壊を引き起こす。最近では下水道施設においてバクテリアの作用により硫酸が生成され、これによる劣化も問題化している。
物理的劣化	凍害	コンクリート中の水が凍結すると、そのときに生じる膨張圧が非凍結部の水圧を高める。このような水の凍結と融解が繰り返されることによってコンクリートにスケーリングやフレーキング、ひび割れが生じる現象。主に積雪寒冷地で問題となるが、特に海水の影響を受ける箇所での劣化は著しい。
	すりへり	コンクリートが受けるすりへり作用にはすり磨き作用と突き砕き作用の2種類がある。前者は主に車輛などによる舗装コンクリートの劣化であり、後者には水工構造物におけるキャビテーションや海洋構造物の漂砂による摩擦などがある。
	電食	何らかの原因で外部から鉄筋に流れ込んだ迷走電流がコンクリート中から流れ出る時、その箇所の鉄筋を腐食させる現象。
	ひび割れ	ひび割れは劣化現象の結果としても生じるが、構造上の問題やコンクリートの乾燥収縮等によっても生じる。ひび割れの幅がある大きさ以上になると鉄筋腐食の原因となったり、他の劣化現象を加速させたりすることになる。

2-2 コンクリート構造物の劣化の現状

図1は旧建設省、運輸省、農水省の三省合同による「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」が行った全国のコンクリート構造物の実態調査の内、劣化要因と竣工年代の関係を示したものである(トンネルを除く橋梁や擁壁、カルバートなど2344の構造物が調査対象)。

この調査結果によると、トンネルを除く鉄筋コンクリート構造物の劣化は「コンクリートの品質不良」や「配筋不良」などのいわゆる“施工不良”に起因している場合が多く、塩害やアルカリ骨材反応、凍害などによる劣化は調査対象全体に占める割合としては決して高くない。ところが、(図示はしていないが)劣化がかなり進行しているものに限ってみると、塩害やアルカリ骨材反応、凍害の割合が高くなり、さらに劣化が進行して、直ぐにも補修が必要なも

のに限ると塩害だけになっている。

また、劣化した構造物はある特定の年代に集中することはなく、全体としては古い構造物ほど劣化したものの割合が増加すること、さらに、図2に示すように何らかの補修を行った構造物の割合は供用年数とともに増加し、50年以上供用すると約4割の構造物が補修を受けていることも判明した。²⁾

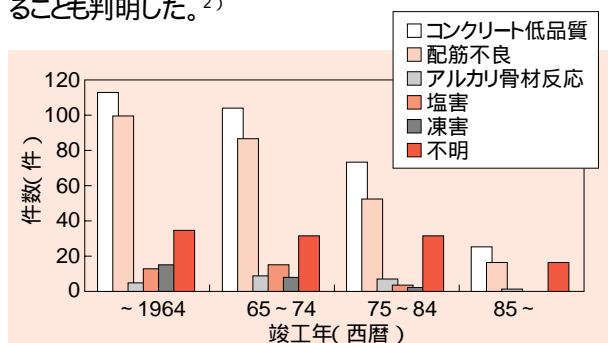


図1 竣工年代別劣化要因

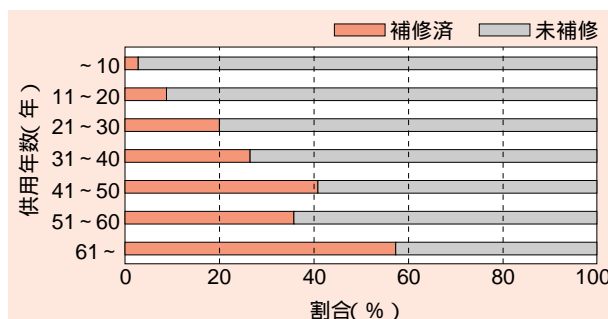


図2 供用年数別の補修割合

3. 構造物管理者のコンクリート片はく落防止対策の取り組み

3-1 各構造物管理者の取り組み状況

コンクリートのはく落事故が相次いだことを受けて、各構造物管理者は一斉にはく落対策に取り組んでいる。表2にはその取り組み状況とともに構造物管理者が制定したはく落防止対策の基準(マニュアル等)を示した。表2からも明らかなように、はく落防止対策の基準には構造物管理者ごとに性能のみを規定している場合と、性能と仕様の両方を規定している場合があるが、一般的には前者の性能規定型の方が各メーカーのはく落防止工法に対する技術的な考え方の違いが現れやすいようである。

3-2 JHはく落防止対策の工程

ここでは、はく落防止対策に比較的早期から取り組んでいるJHを例に、はく落防止対策の流れを概説する。図3はJHのマニュアルに記載されているはく落防止対策の基本的な流れを示したものである。本マニュアルでは連続繊維シート接着などを用いたはく落防止の施工により、コン

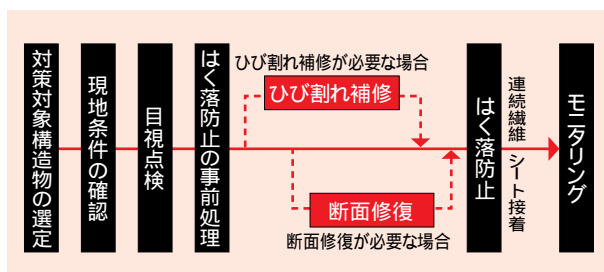


図3 JHコンクリート片はく落防止対策の流れ

表2 各構造物管理者のコンクリート片はく落防止の取り組み

構造物管理者	基準名	規定の区分		取り組みの状況
		仕様	性能	
国土交通省	検討中	-	-	2001年度中に「第三者被害を予防するための橋梁点検要領」の原案を作成
日本道路公団	コンクリート片はく落防止対策マニュアル	-	-	第三者影響度の高いコンクリート片のはく落を未然に防止する対策として、左記マニュアルを策定し、全国に適用
首都高速道路公団	コンクリート塗装及びFRP補修基準(案)	-	-	左記基準(案)に準じたFRP工法によるはく落対策のほか、点検作業の機械化や保守データの蓄積と有効利用を進める一方、古くなった構造物については予防保全の考え方を取り入れ、いまの内に対策を施す“返り作戦”を計画
阪神高速道路公団	コンクリート表面保護要領(案)	-	-	左記要領(案)に準じたはく落対策のほか、高架橋の点検ロボットの開発など、点検業務の効率化によって点検頻度を上げ、劣化の早期発見、早期対策に注力
JR東海	東海道新幹線鉄筋コンクリート構造物維持管理標準	-	-	同構造物には施工、材料、環境面の課題はないものとし、表面被覆およびFRP工法により構造物の長期耐久性の確保を目的とした“予防保全”を考慮
JR東日本	コンクリート構造物の剥離・剥落に関する維持管理マニュアル	-	-	99~2000年度にかけて設置したコンクリート構造物の保守管理に関する委員会にて検討を重ね、方針を決定。武蔵野線で試験施工も実施し、順次はく落危険度の高い構造物から防止対策を計画
JR西日本	コンクリート構造物補修の手引き	-	-	2001年2月に山陽新幹線高架橋の補修計画を発表。全補修対策の内約3割が表面被覆工法

クリート片のはく落を物理的に防止することとしている。また、はく落防止の事前処理として、ウォータージェット工法(WJ工法)を用いて変状部分の除去を行い、同時に健全部分においてははく落防止の施工に必要な表面処理(下地処理)を実施することとしている。

4. 大日本塗料のコンクリート片はく落防止工法

当社においては、かねてよりコンクリート構造物の劣化防止を目的に、当社の高水準の防食技術をベースにした補修材および補修システム(工法名:レジガードシステム)の開発研究に注力してきた。ここでは当社のコンクリート劣化防止材料の中から、JHマニュアルの規格に適合するコンクリート片はく落防止工法を中心に概要を述べる。

4-1 レジガードシステムの工程³⁾

図4に、はく落防止工法の一般的な工程(通常、丸数字が工程順となる)を、表3には各工程に対応するレジガードシステムの商品名を一覧で示した。以下に各工程の内容を概説する。

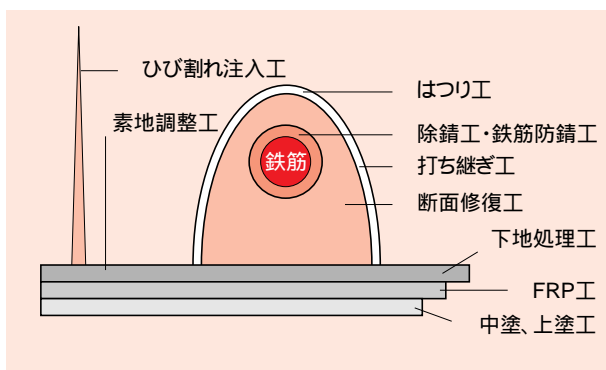


図4 一般的なはく落防止工法の工程

はつり工:浮きや剥離を生じた部分を除去する工程で、原則として次の除錆工が十分にできる程度に鉄筋の腐食部分を全面露出させる。

除錆工・鉄筋防錆工:鉄筋の発錆部分をワイヤーブラシやプラスト法等で除去後、鉄筋防錆剤を塗布する。レジガードACペーストは亜硝酸塩を含有するセメントペースト形鉄筋防錆剤で、防食性および鉄筋に対する付着性が優れており、しかも、通常のエポキシ樹脂

表3 レジガードシステム商品一覧

工程	品名	一般名
	レジガードACジョイナー	エポキシ樹脂鉄筋防錆・打ち継ぎ材
	レジガードACペースト	ポリマーセメント系鉄筋防錆・打ち継ぎ材
	レジガード軽量モルタル	ポリマーセメント系断面修復剤
	レジガードグラウト#100	エポキシ樹脂注入剤(低粘度型)
	レジガードグラウト#200	エポキシ樹脂注入剤(中粘度型)
	レジガードグラウト#300	エポキシ樹脂注入剤(高粘度型)
	レジガードEPプライマー	溶剤形エポキシ樹脂プライマー
	レジガードCFプライマー	無溶剤形エポキシ樹脂プライマー
	レジガードパテSHグレー	エポキシ樹脂パテ
	レジガードボンドJH	エポキシ樹脂パテ・含浸接着剤
	レジガードボンドJR	エポキシ樹脂パテ・含浸接着剤
	レジガードボンド	エポキシ樹脂含浸接着剤
	レジガードS-5000	ポリマーセメント系モルタル
	レジガードS-7000	ポリマーセメント系モルタル
	レジガードCFベース	エポキシ樹脂吹き付けタイル
	レジガード#100中塗	エポキシ樹脂塗料中塗
	レジガード#200中塗	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗
	レジガード#200PB中塗	ポリブタジエン樹脂塗料中塗
	レジガード#200EH中塗	厚膜柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗
	レジガード#300E中塗	厚膜形エポキシ樹脂塗料中塗
	レジガード#100上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗
	レジガード#200上塗	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗
	レジガード#300上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗
	レジガードSFクリーン上塗	汚れ防止形ふっ素樹脂塗料上塗

系鉄筋防錆剤のような塗装箇所と無塗装部分とのマクロセル腐食を生じにくい。

打ち継ぎ工:次工程の断面修復材の付着を確実にものとするために打ち継ぎ材を塗布する。レジガードシステムの場合、打ち継ぎ材は鉄筋防錆の効果も兼ね備えているので工程短縮が図れる。

断面修復工:はつり部分を埋め戻す工程で、断面修復材には母材コンクリートと同程度の強度が求められる。レジガード軽量モルタルは高強度 無収縮性かつ低比重(約1.4)のため、スラヴ等での上向き施工でも落下等の危険性がない。

ひび割れ注入工:ひび割れ(幅0.2~5mm)からの劣化因子の侵入を防止する目的で樹脂注入を行う。ひび割れ幅が5mm以上の場合は、別途、充てん工法が適用される。

素地調整工:動力工具やプラスト法により付着に有害な物質を完全に除去する工程で、FRP工法の付着性

を決定付ける重要な工程である。

下地処理工: 次のFRP工との付着を確実なものとするためのプライマー工と、被塗面の巣穴と不陸を無くすためのパテ工とからなり、FRP工法の仕上がり外観を左右する工程である。なお、レジガードCFプライマーは低粘度かつ低表面張力で、幅0.2mm未満の微細ひび割れへの含浸性が優れている。

FRP工: 連続繊維シートを含浸接着剤で貼り付ける工程で、含浸接着剤には作業に適した粘性と連続繊維シートへの含浸性および高物性が要求される。なお、写真1には現在実用化されている連続繊維シートの一例を示したが、FRP積層膜の物性(強度、靱性など)はこの連続繊維シートの性質に左右されるところが大きい。

中塗・上塗工: FRP工の保護および美観の付与を目的とした工程で、中塗にはFRP工および上塗との付着性が上塗には長期耐候性が要求される。

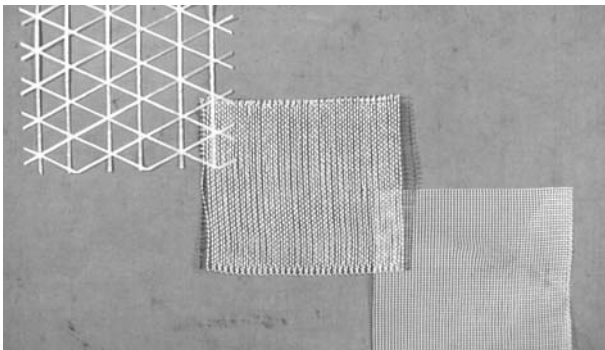


写真1 連続繊維シートの例(左からピニロンメッシュ、ガラスクロス平織#200、同・からみ織#100)

4-2 JHマニュアル規格に適合するレジガードシステムの仕様および性能

表4にレジガードシステムの断面修復仕様を、表5には一例としてJHの性能規格に適合するレジガードシステムのFRP工法の仕様を示した。FRP工法では通常のコンクリート塗装に比べて工程数が多くなるのが一般的であるが、レジガードシステムの場合、パテと含浸接着の性質

表4 レジガード断面修復システム

工程	商品名	施工方法	標準膜厚(μm)
防錆・打継	レジガードACペースト	刷毛	500
断面修復	レジガード軽量モルタル	コテ、ヘラ	-

能を兼ね備えているレジガードボンドJHを用いることで工程短縮が図れる。

表6は表5の仕様に基づくJHの性能規格試験の結果である。この結果から、レジガードシステムは性能規格を十分に満足していることが確認できる。

表5 日本道路公団の性能規格に対する適合仕様

工程	使用材料	施工方法	標準膜厚(μm)
プライマー	レジガードCFプライマー	刷毛、ローラー	-
パテ・含浸接着	レジガードボンドJH	コテ、ヘラ	500以上
貼付	ピニロン三軸メッシュ	コテ、ヘラ	
含浸接着	レジガードボンドJH	ローラー、コテ、ヘラ	1000以上
主材(2回塗)	レジガードCFベース	刷毛、ローラー	
上塗(2回塗)	レジガード#100上塗	刷毛、ローラー	60

表6 レジガードシステムの性能(日本道路公団規格に準ずる)

試験項目	評価基準	試験結果	試験方法
連続繊維シート接着の押抜き試験	1.5kN以上	2.90kN	連続繊維シート接着の押抜き試験方法
ひび割れ含浸材料の試験	2.0N/以上	3.6N/	ひび割れ含浸材料の試験方法

4-3 レジガードFRP工法の施工実績

レジガードシステムは各構造物管理者の規格に適合しており、今日まで多数の施工実績を積み重ねてきた。

表7に一例として、JHにおける施工実績表を、写真2および写真3には実績写真を示した。JHがはく落防止対策

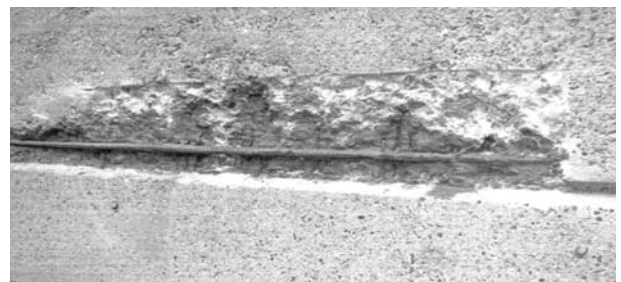


写真2 WJ工法による鉄筋腐食部はつり状況



写真3 ピニロンメッシュシート貼付け工程

表7 日本道路公団におけるはく落防止対策工事実績(平成13年12月末日現在)

年度	発注元	工事名称	面積 (㎡)
平成12年度	金沢管理所	金沢高架橋保全工事(神野町)	1,214
	金沢管理所	金沢高架橋保全工事(千木町)	1,170
	金沢管理所	金沢管内道路保全工事(小松長崎橋)	610
	金沢管理所	金沢管内道路保全工事(美川加島橋)	1,200
	金沢管理所	金沢管内道路保全工事(百坂橋)	630
	金沢管理所	金沢管内道路保全工事 (清水谷第2トンネル)	825
	金沢管理所	金沢管内道路保全工事 (清水谷スノーシェット)	971
	谷和原管理事務所	谷和原管内道路保全工事	4,500
	金沢管理所	金沢管内道路保全工事 (清水谷第1,第2トンネル)	491
	金沢管理所	金沢管内道路保全工事(加賀橋)	576
	水戸管理事務所	久慈川高架橋剥落防止工事	400
平成13年度	広島管理事務所	広島呉道路横浜高架橋 コンクリート構造物補修工事	6,500
	八王子管理事務所	底沢大橋剥落防止工事	140
	金沢管理所	金沢高架橋 (コンクリート片剥落防止工事)	1,727
	茨木管理事務所	山科川橋剥落防止工事	900
	宇都宮管理事務所	宇都宮地区剥落防止工事 (佐野ICランプ橋他)	10,000
	福井管理事務所	杉崎玄正島橋剥落防止工事	1,200
	袋井管理事務所	久能橋(PC上部工)補強工事	2,700
	彦根管理事務所	名神、鳥郷橋橋梁下面補修工事	3,835
	関西支社	名神高速道路国道1号線 橋梁下面補修工事	2,900
	関西支社	名神高速道路小曾根高架橋 橋梁下面補修工事	4,000
	関西支社	中国自動車道本位田高架橋 橋梁下面補修工事	5,200
	関西支社	阪和自動車道松島高架橋 橋梁下面補修工事	8,300
	関西支社	第2名神道路玉津IC橋 橋梁下面補修工事	1,500
	関西支社	京都縦貫道重利高架橋 橋梁下面補修工事	1,200
	関西支社	近畿道一津谷高架橋補強工事	1,900
	関西支社	舞鶴道伊佐津川橋梁下面補修工事	2,300
	市原管理事務所	京葉道路星久喜高架橋	4,700
	千葉管理事務所	東金道路コンクリート構造物補修工事	6,500
	清水管理事務所	東名八木間高架橋 コンクリート構造物補修工事	1,700
	八王子管理事務所	中央高速日野高架橋他21橋	4,000
	小田原管理事務所	西湘バイパス金波橋 コンクリート構造物補修工事	1,870

マニュアルを制定してから僅か1年あまりで、既に30件以上の施工実績を数え、各ユーザーからその性能、仕上がりが外観に関して極めて高い評価を得ている。

5. おわりに

著名なコンクリート工学の専門家⁴⁾がその著書¹⁾の中で「コンクリート構造物が一斉に壊れはじめる時期が2005～2010年頃までにやってくる可能性が高い」と指摘している。現代社会においてコンクリート構造物は私たちの生活や経済活動にとって欠くことのできない重要な社会資本ストックである。コンクリート構造物の早期劣化問題に対して我々塗料産業に従事する者が果たせる役割は決して少なくないと考えている。

引用文献

- 1) 日本道路公団技術部構造技術課: コンクリート片はく落防止対策マニュアル(2000)
- 2) 建設省 運輸省 農林水産省: コンクリート構造物耐久性検討委員会資料(2000)
- 3) 里隆幸: 塗装技術, 4, 61(2000)
- 4) 小林一輔: 「コンクリートが危ない」岩波新書(1999)