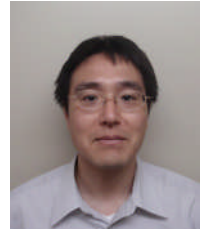


# 塩分吸着剤による高防錆型断面修復工法

New-SSI工法[NETIS登録 KK-100009-A(N-SSI工法)]



※五角 亘<sup>1</sup>・和田 弘<sup>1</sup>・立松 英信<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ライト工業(株) 生産事業本部 リニューアル担当部 (〒102-8236千代田区九段北4-2-35) ※発表者

<sup>2</sup>(株)ジェイアール総研エンジニアリング 本社 (〒185-0034国分寺市光町1-39-23) .

本工法は、塩害により劣化した鉄筋コンクリート構造物に対して塩分吸着剤を用いた高防錆型断面修復工法である。塩害は、海岸付近の飛来塩分や冬季の凍結防止材散布等から供給される外的塩害と、コンクリート製造時の海砂や混和材等の材料から供給される内的塩害がある。

本工法で使用する材料は、塩分吸着剤を添加した数種のポリマーセメントモルタルで構成されており、補修部位の劣化状況に応じて材料の組合せを選択できることを可能にした工法である。ここでは、塩分吸着剤のメカニズムとその効果および工法の特長について記述する。

キーワード 塩害、塩分吸着剤、高防錆型断面修復工法、ポリマーセメントモルタル

## 1. はじめに

一般に、コンクリート中の鉄筋は強アルカリ性環境にあるため、表面にできた不動態皮膜に保護されて錆びることはほとんどない。しかし、中性化が進むとこの皮膜は破壊され、鉄筋の腐食が始まる。また、塩分(CI)が存在すると、もともと皮膜自体の形成が不完全になり、「塩害」と呼ばれる鉄筋腐食を誘発する。この塩害はコンクリート中の鉄筋の腐食が塩化物イオン(CI)の存在により促進され、腐食生成物の体積膨張がコンクリートにひび割れや剥離を引き起こしたり、鉄筋の断面減少などを伴うことにより、構造物の性能が低下し構造物が所定の機能を果たすことができなくなる現象である。このような劣化を促進する塩化物イオンは海洋・海岸付近の飛来塩分や凍結防止剤・融雪剤散布のように構造物の外部環境から供給される場合と、コンクリート製造時に材料から供給される場合とがある。

これらの塩化物イオンの浸透により塩化物イオンを含むコンクリートでは、中性化の進行によってアルカリ性が失われるのみならず、内部に移動・濃集する塩化物イオンの作用も加わって、鉄筋腐食は一段と加速され、鉄筋コンクリート構造物の劣化は重大な問題となっている。

## 2. 塩分吸着剤

本工法は、従来の防錆剤もしくは鉄筋の防錆方法とは

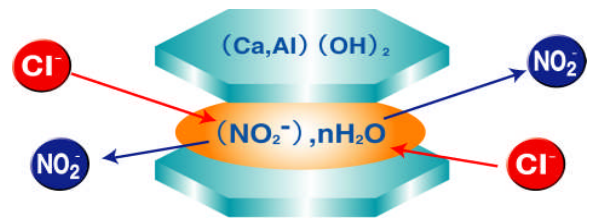


図-1 塩分吸着剤の構造模式図

異なるメカニズムで、塩害に侵されたコンクリート中の鋼材の防錆を図る工法である。

### (1) 塩分吸着剤のメカニズム

本工法で用いる塩分吸着剤<sup>1)</sup>は、図-1に示す構造模式図のように、層状の構造を有するカルシウム・アルミニウム複合水酸化物で、層間に鉄筋腐食抑制効果のある亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)を保持させたものである。海洋・海岸付近の飛来塩分や凍結防止剤・融雪剤散布、海砂などから供給される塩化物イオン(CI)を吸収して、鉄筋・鋼材が腐食しにくい環境に改質する。塩化物イオンを吸着したと同時に、防錆効果の高い亜硝酸イオンを放出するイオン交換機能を有している。

これは、図-2に示すように鉄筋周辺のみならず、補修界面のコンクリートからも鉄筋・鋼材を腐食させる塩化物イオンを吸着して無害化し、防錆効果の高い亜硝酸イ

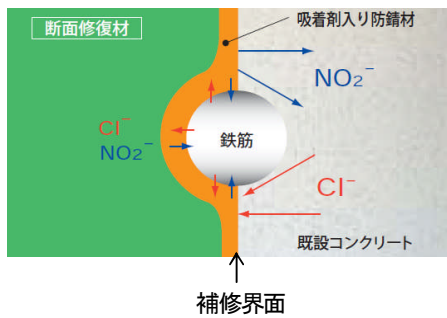


図-2 塩分吸着剤による鉄筋腐食抑止のメカニズム

オンを放出するため、極めて効率的に防錆環境を提供する。また、塩分吸着剤には、塩化物イオンだけでなく、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) や炭酸イオン ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) などの各種マイナスイオンと亜硝酸イオンとをイオン交換する作用もあり、様々な分野での活用が可能である。

## (2) 塩分吸着剤の効果

従来の断面修復材を使用した断面修復の場合、発錆限界値を超えた塩化物イオンを含むコンクリートを除去する必要がある。そのため、鉄筋背面までコンクリートをはつきり取り鉄筋を全面露出させる必要がある。ところが、本工法の場合は塩分吸着剤による塩分イオンの吸着と亜硝酸イオンの放出作用により鉄筋の防錆効果は補修界面から20mm程度の深さまでである<sup>2)</sup>。したがって、鉄筋半周までのはつきり出しで良いことになる。

## 3. New-SSI工法の3大特長

### (1) 鉄筋腐食抑止効果

図-3に示すようなスラブを模擬した大型供試体を海洋環境に暴露し、種々の試験を行った<sup>3)</sup>。腐食した鉄筋について、塩分吸着剤を含む防錆材 (RJ1, RJ2) と一般の防錆材を用いて両者の比較を行った。3年経過後に鉄筋の残存錆の状況を分析した結果を図-4に示す。

分析の結果、一般防錆材の場合は、残存した錆層中には塩化物イオンが存在し、鉄筋の一部は腐食が進行していることが確認された。一方、本工法の場合は、残存した錆層中から塩化物イオンが消滅し、鉄筋の腐食は進行していないことが確認された。このことから補修工事においては、露出鉄筋表面の錆を完全に除去することは不可能であると言われているが、本工法で使用する塩分吸着剤は、除去しきれなかった錆層に残存した塩分をも吸着・無害化して錆の進行を抑止することが確認されている。

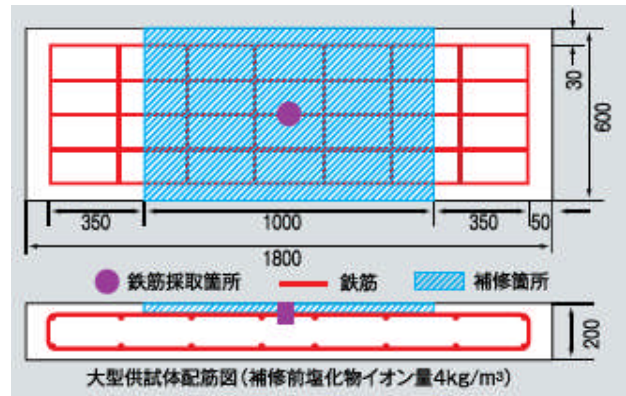


図-3 暴露試験の概要

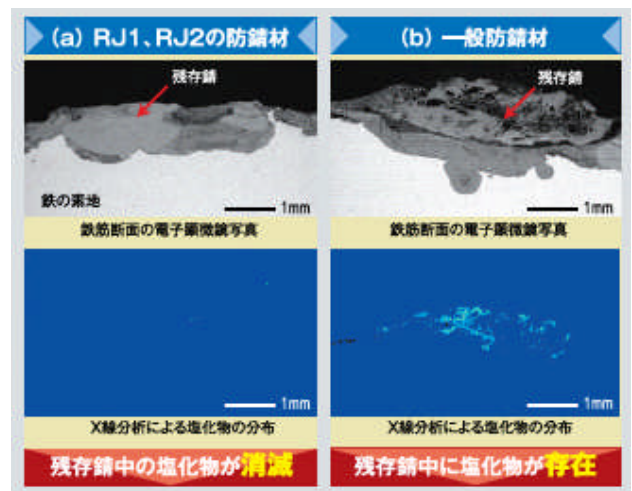


図-4 分析結果

### (2) 塩分吸着剤による防錆効果

海岸沿いの高架橋で飛来塩分および土中から吸い上げた塩分の影響で腐食した鉄筋について塩分吸着剤を含む防錆材と一般の断面修復材で補修を行った<sup>4) 5)</sup>。対象とした構造物の条件を表-1に示す。また、補修箇所を図-5に示す。施工後、補正自然電位を求めて追跡調査 (3ヶ月後, 1, 3, 9年後) を実施した結果を図-5に示す。

追跡調査結果より、補修後9年を経過しても、経年とともに腐食環境から防錆環境に移行し、安定した状態で

あることが確認されている。

表-1 対象構造物の条件

対象構造物	高架橋橋脚
劣化原因	飛来塩分(海岸から約3km)および地中から吸い上げた塩分の影響
塩化物イオン量	約9kg/m <sup>3</sup> (地表高150mm箇所表層部) 約3kg/m <sup>3</sup> (地表高350mm箇所表層部)
鉄筋の腐食状況	腐食度Ⅲ(面錆程度)~Ⅳ(一般断面欠損)
適用仕様	(防錆ペースト+防錆モルタル+断面修復材)

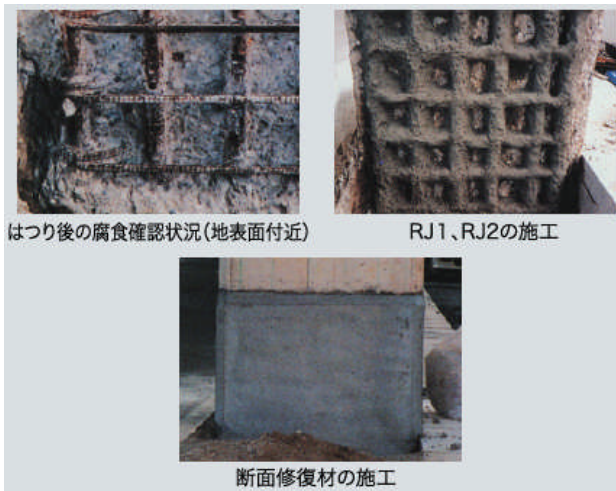


図-5 補修箇所

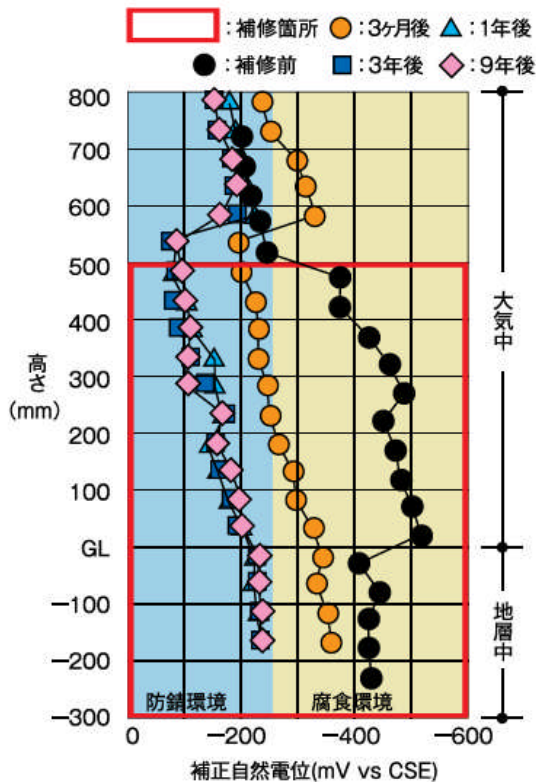


図-6 補正自然電位の追跡調査

(3) 施工の基本パターン

本工法は、一律な補修パターンではなく、目的、構造物部位、含有塩分量、環境等を考慮して、図-3に示すように材料構成を変えた概略4つの基本パターンで対策を講ずるものである。本工法で使用する材料の種類と特徴を表-2に示す。

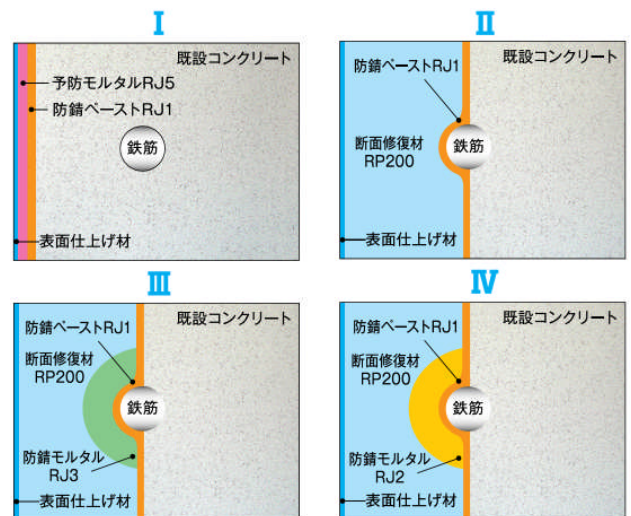
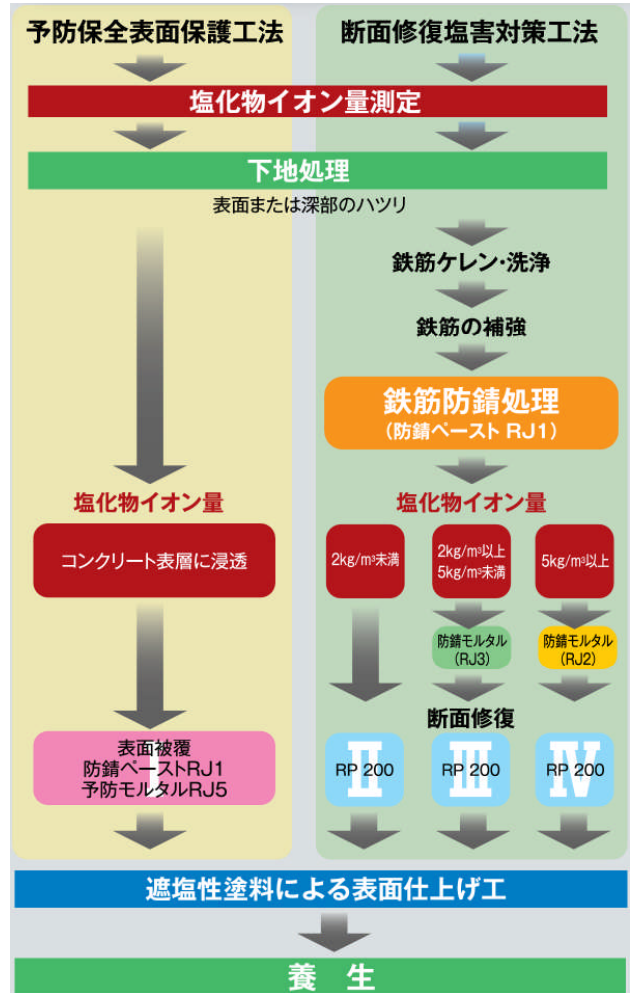


図-7 施工の基本パターン



表-2 使用材料の種類と特徴

製品名	目的・特徴
防錆ペースト RJ1	鉄筋の防錆処理と保護。躯体の地下調整。塩分吸着剤添加率 <b>20%</b> 以上。
防錆モルタル RJ2	鉄筋の防錆処理と保護（防錆ペースト RJ1 の性能の補完）。塩分吸着剤添加率 <b>15%</b> 以上。
防錆モルタル RJ3	鉄筋の防錆処理と保護（防錆ペースト RJ1 の性能の補完）。塩分吸着剤添加率 <b>10%</b> 以上。
予防モルタル RJ5	躯体表面の劣化因子の吸着。予防保全的に利用する。塩分吸着剤添加率 <b>2%</b> 以上。
遮塩モルタル RP200	復旧断面への劣化因子の侵入抑制と断面修復。塩分吸着剤添加率 <b>1%</b> 以上。
撥水・透湿性塗料 RC 下塗材 エコシリカ 21C4000-SR	劣化因子の遮断、美装、汚れ防止。透湿・撥水性塗膜材。

また、断面修復仕様は、遮塩性の断面修復材を組み合わせることによって、外部から侵入する塩分などの有害成分を表面でトラップし、内部に侵入するのを防止する。このため、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を長期に亘って維持することができる。

#### 4. 他工法との比較

本工法は、断面修復工法による塩害対策工法である。したがって、比較対象とする工法も断面修復工法とする。比較対象に用いる材料は、一般のポリマーセメント系断面修復材に亜硝酸リチウム防錆材（40%水溶液）を所定量混入したものである。この断面修復材を使用して断面修復を行う工法（以下A工法と称す）により比較検討を行う。

##### (1) 条件設定

設定した条件を表-3および図-8に示す。図-8は、中央部より上側はA工法、下側は本工法（New-SSI工法）について示している。はつり厚さについて、本工法については、塩分吸着剤の効果によって主鉄筋の半周までははつり厚さとし、A工法については、主鉄筋背面を粗骨材寸法程度はつることとし、ここでは、主鉄筋の中心から30mm程度と設定した。なお、断面修復工のみの比較をしたいため、はつり工および表面仕上げ工は含まないこととした。

##### (2) 亜硝酸リチウム防錆材混入量

A工法に混入する亜硝酸リチウム防錆材は塩化物イオ

ン量 (kg/m<sup>3</sup>) により次式より算出することができる。

$$\alpha = (52.9 / 35.5) / 0.40 \times \text{Cl}^- [\text{kg/m}^3] \quad (1)$$

ここに、 $\alpha$ ：亜硝酸リチウム防錆材混入量 (kg/m<sup>3</sup>)

52.9：LiNO<sub>2</sub>の分子量

35.5：Cl<sup>-</sup>の分子量

0.40：亜硝酸リチウム防錆材の水溶液濃度40%

Cl<sup>-</sup>：コンクリート中の塩化物イオン量(kg/m<sup>3</sup>)である。

表-3 設定条件

	New-SSI工法	A工法
はつり厚さ t	50mm	80mm
既設コンクリート中の塩化物イオン量	1.2 kg/m <sup>3</sup> ~10.0 kg/m <sup>3</sup>	
はつり工	含まず	
表面仕上げ工	含まず	

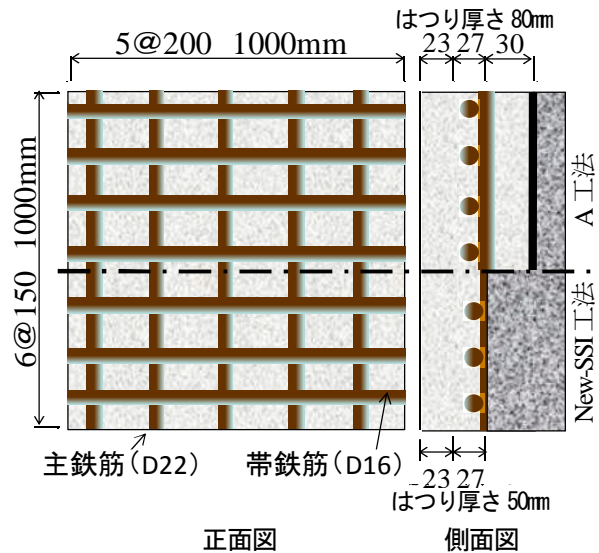


図-8 条件概略図

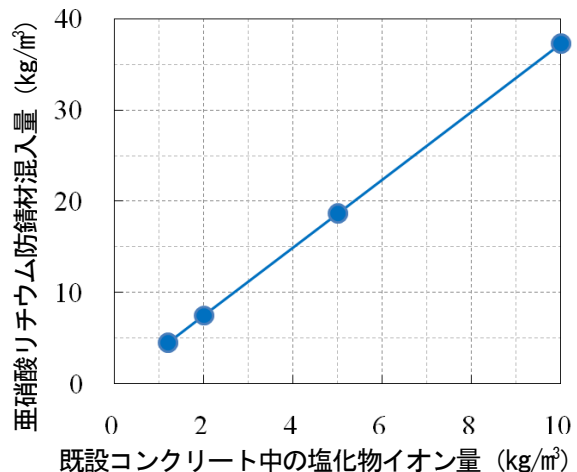


図-9 亜硝酸リチウム防錆材混入量

表-4 工法比較表

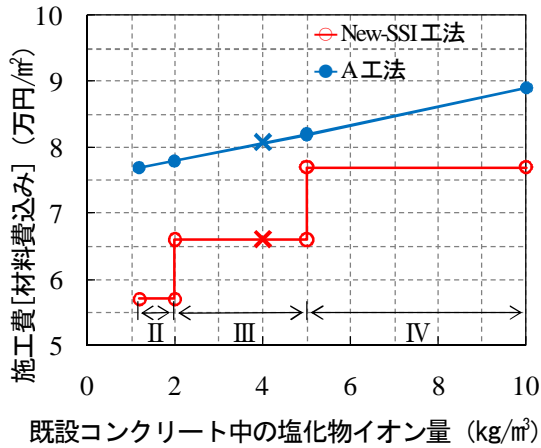


図-10 施工費比較

既設コンクリート中の塩化物イオン量に対する(1)式より算出した亜硝酸リチウム防錆材混入量の関係を図-9に示す。

(3)工法の比較

本工法とA工法における施工費の比較を図-10に示す。既設コンクリート中の塩化物イオン量1.2kg/m³～10.0kg/m³の全範囲において、本工法の方が安価に施工できる。

次に、代表的な条件として、既設コンクリート中の塩化物イオン量が4.0kg/m³における比較表を表-4に示す。

施工性においても、本工法の方が工程短縮でき優位な結果となっている。

今回の比較では、はつり工の施工費、工程は考慮していないが、塩分吸着剤の効果により、コンクリートのはつり量が減少することから、はつりの作業量、産廃量および断面修復材の使用量が減少し、環境・経済性はもちろん大幅な工程短縮が期待できる。

5. まとめ

以下に本工法の効果についてまとめる。

	New-SSI工法	A工法
工法概要		
設計条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋周辺の塩化物イオン量が4kg/m³</li> <li>断面修復厚さt=50mm</li> <li>はつり工および表面仕上げ工は含まず</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋周辺の塩化物イオン量が4kg/m³</li> <li>断面修復厚さt=80mm</li> <li>はつり工および表面仕上げ工は含まず</li> </ul>
経済性	66,000円/m	81,000円/m
工期	0.36日/m	0.43日/m
適用範囲	材料の組合せにより補修界面の塩化物イオン量が1.2～10kg/m³までの範囲で使用可能である	補修界面の塩化物イオン量が1.2kg/m³以上から
周辺環境、景観、リサイクルなど	コンクリートはつりの際、鉄筋全面をはつり出す必要がないため、類似工法に比べコンクリート破の排出量が37.5%削減可能となる。	コンクリートはつりの際、鉄筋全面をはつり出す必要があり、コンクリート破を排出する。

1. 塩分吸着剤により、既設コンクリートおよび鉄筋周辺の塩化物イオンを吸着し、亜硝酸イオンを放出することで、腐食環境を防錆環境に改善できる。
2. 補修界面から20mm程度は塩分吸着剤の効果があるためはつり量が低減でき、工程が短縮できる。
3. はつり量が低減できるため、A工法と比較して施工費が安価になる。

参考文献

- 1) 立松英信, 「塩分吸着剤による鉄筋の防錆」, リテック, Vol.4, 2000年, pp.28-31
- 2) 佐々木孝彦, 飯島 亨, 立松英信, 大城 武, 「塩分吸着剤を用いて補修した供試体の鉄筋腐食性状」, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, 2001年7月, pp.379-384
- 3) 佐々木孝彦, 飯島 亨, 工藤輝大, 山田 優, 「塩害により劣化したRC部材の補修 —塩化物ネストが生成した鉄筋について—」, 建設用原材料, Vol.14, No.1, 2005年, pp.9-18
- 4) 高田 潤, 佐々木孝彦, 飯島 亨, 立松英信, 松田芳範, 「塩化物イオン吸着剤を活用した塩害対策工法とその効果」, コンクリート構造物のリハビリテーションに関するシンポジウム論文集, 1998年, pp.87-92
- 5) 佐々木孝彦, 松田芳範, 工藤輝大, 「塩分吸着剤添加防錆材を用いる塩害対策の実構造物への適用事例」, 土木学会第61回年次学術講演会, 2006年9月