

報告

無機系改質剤によるコンクリートのひびわれ補修 に関する基礎的性能評価

笠井 和弘^{※1}, 寺澤 正人^{※2}, 安藤 尚^{※3}, 川村 稔彦^{※4}

要旨：近年、コンクリート構造物が多様化・大型化したことに伴い、温度応力等によるひびわれが多発する傾向にあり、コンクリートの耐久性を低下させる要因がより一層多くなっている。このようなひびわれ・漏水対策として、我々研究グループは無機系のコンクリート改質剤に着目し、その基本的な性能を確認するための実験を行い、数現場にこの材料を適用してきた。本報文は、この無機系コンクリート改質剤の概要、基本的な性能、実施工現場への適用事例等を報告するものである。

キーワード：ひびわれ補修、止水、無機系コンクリート改質剤、耐久性向上

1. はじめに

コンクリートは造形が容易で安価であることから、鉄とともに土木・建築構造物の建設においては欠くことのできない材料であるが、近年、コンクリート構造物が多様化・大型化したことに伴い、温度応力等に起因するひびわれが多発する傾向にあり、この箇所からの炭酸ガスや塩化物イオンの侵入、あるいは漏水による内部鋼材の腐食など、コンクリートの耐久性を低下させる要因がより一層多くなっている。このようなひびわれ・漏水対策として、従来は有機系の材料を用いてひびわれを接着するという考え方で補修がなされていたが、紫外線等による経時劣化やひびわれに対する追従性、これらを収納する容器の廃棄処分等が問題となっていた。そこで、我々研究グループはこれらの問題点を解決すべく無機系コンクリート改質剤に着目し、その基本的な性能を確認するための実験を行い、数現場にこの材料を適用してきた。本報文は、この無機系コンクリート改質剤の概要、基本的な性能を評価するための各種実験、実施工現場への適用事例等を報告するものである。

2. 無機系コンクリート改質剤の概要

2.1 無機系コンクリート改質剤の性状

使用した無機系コンクリート改質剤(以下、商品名 CS-21 と呼称する)はケイ酸塩を主成分とし、これに触媒性活性化学物質を含んだ無色透明の液体である。CS-21 をコンクリートひびわれ部に塗布あるいは注入し、その後散水養生を行うことでコンクリートの深部まで浸透し、未水和のセメントや不安定状態の水和生成物をより安定したCSH系の結晶に変化させることができる材料である。また、このCS-21の反応をさらに促進させる補助剤として同じく無機系の材料であるCC-21を併用した。表-1にCS-21およびCC-21の主な性状をまとめて示す。

表-1 CS-21 および CC-21 の主な性状

	CS-21(主剤)	CC-21(補助剤)
主成分	ケイ酸塩	亜硝酸塩
外観	無色透明	青色透明
臭気	なし	なし
pH値	11.3以上	10.3以上
比重	1.24以上	1.15以上
引火点	真の火災なし	真の火災なし

※1 飛鳥建設(株)土木本部 土木設計部 設計第三課 課長

※2 飛鳥建設(株)土木本部 土木設計部 設計第三課 担当課長

※3(株)アストン 専務取締役

※4 日本補修工事(株) 関東支店 支店長

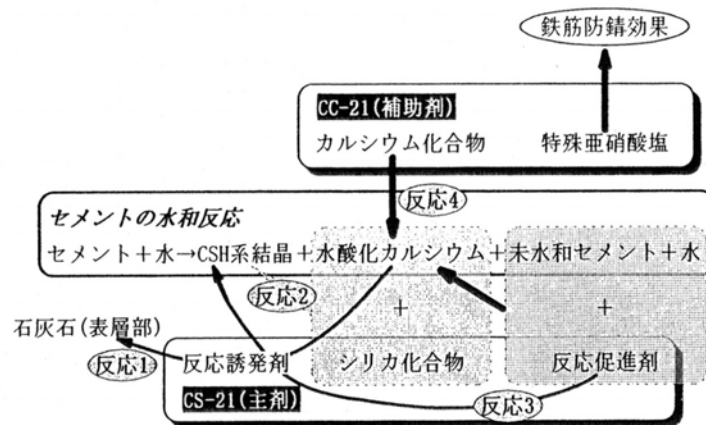


図-1 CS-21 と CC-21 の反応メカニズム

2.2 CS-21 と CC-21 の反応メカニズム

CS-21 と CC-21 の反応メカニズムは図-1 に示すとおりであり、以下の4つの反応から構成されている。

- ・反応1：表層部に石灰石を生成する反応。
- ・反応2：水溶性シリカとコンクリート中のカルシウムにより CSH 系結晶を生成する反応。
- ・反応3：未水和セメントの水和反応を促進させ CSH 系結晶を生成する反応。
- ・反応4：水酸化カルシウムの補充と鉄筋の防錆処理。

2.3 CS-21 の標準工法

CS-21 を用いた標準工法は、ひびわれ幅および漏水の有無によって、概ね表-2 に示す方法で行っている。

表-2 CS-21 を用いた標準工法		
	漏水なし	漏水あり
0.2mm 未満	CC-21 全面塗布 →CS-21 全面塗布	CC-21 注入 →CS-21 注入
0.2mm 以上	CC-21 注入→超微粒子セメント注入 →CS-21 注入	

2.4 CS-21 の用途と特長

CS-21 はこれまで主としてコンクリート構造物の躯体防水、ひびわれ補修・漏水対策として用いられている。その特長を列举すると、以下のとおりである。

○主剤・補助剤とも水溶液タイプのため、微細なひびわれに対しても注入が可能であり、複雑な形状や多少の凹凸に対しても塗布が可能である。また、主剤・補助剤とも水溶液タイプであることから、粉体系の材料に比べて短期間で効果を発揮できる。

○主剤は無色透明の水溶液タイプのため、施工後の外観変化がない。

○施工箇所は、湿潤状態でも施工可能である。

○膜厚が存在しないため材料はく離という概念はなく、安全である。

○補助剤 CC-21 の併用により鉄筋等内部鋼材の腐食対策も同時に施せる。

3. CS-21 の性能評価実験

今回着目した塗布・含浸タイプのコンクリート改質材料に関しては、その性能を評価するための公的な基準類が整備されていないというのが現状である。そこで、独自の方法で本材料をコンクリートのひびわれに適用した場合の止水性やコンクリート表面に塗布した場合の耐久性向上効果を確認した。

性能評価実験の種類と目的を一覧表にまとめて表-3 に示す。

表-3 CS-21 性能評価実験一覧表

実験の種類	実験の主目的
1. ひびわれ止水性確認実験	0.2mm 以上のひびわれに本材料を注入した場合の止水性の確認
2. コンクリート表面引張強度確認実験	0.2mm 未満のひびわれに本材料を塗布した場合のコンクリート表面の引張強度増進効果の確認
3. 反発度法によるコンクリート表面強度確認実験	0.2mm 未満のひびわれに本材料を塗布した場合のコンクリート表面の強度増進効果の確認
4. 細孔分布確認実験	本材料をコンクリート表面に塗布した場合の緻密性の変化の確認
5. 補修曲げ強度確認実験	0.2mm 以上のひびわれに本材料を注入した場合の補強効果の確認
6. 中性化抑制効果確認実験	本材料をコンクリート表面に塗布した場合の中性化抑制効果の確認

以下、これら実験の目的と方法、および結果について述べる。

3.1 ひびわれ止水性確認実験

3.1.1 実験の目的

0.2mm 以上のひびわれが発生している供試体のひびわれを標準的な補修方法「CC-21 注入→超微粒子セメント注入→CS-21 注入」で補修し、その止水効果を確認したものである。

3.1.2 実験の方法

割裂引張りによりひびわれを発生させた円柱供試体(φ100×200)に表-4 中①～⑥に示す組合せの補修を施し、一度散水してから屋内、屋外にそれぞれ放置した。実験は、この補修後 7 日目、28 日目の 2 回について、上面から 50cc の圧力水 (2N/mm²) を注入して 2 日間放置後の落下量を測定することで止水効果を比較した。なお、比較対象として無機粉体系表面塗布タイプの補修方法を 2 銘柄選定した。写真-1 に実験状況を示す。

3.1.3 実験結果

実験結果を図-2 に示す。「CC-21+CS-21」(①, ②)の組合せにおいては、止水効果の遅延性が確認された。この結果から、液体状の薬剤の組合せだけではひびわれの空隙を CSH 系の結晶で埋めるまでにある程度の日数を要することが伺える。また、「超微粒子セメントのみ」(⑤, ⑥)を用いた補修方法は、即効性があるも

表-4 補修工法の組合せ

	補修方法	ひびわれ幅	放置箇所
①	CC+CS	0.2mm	屋外
②		0.2mm	屋内
③	CC+超微粒子 C+CS	0.4mm	屋外
④		0.4mm	屋内
⑤	超微粒子 C のみ	0.5mm	屋外
⑥		0.4mm	屋内
⑦	A 社製	0.3mm	屋外
⑧		0.3mm	屋内
⑨	B 社製	0.4mm	屋外
⑩		0.2mm	屋内

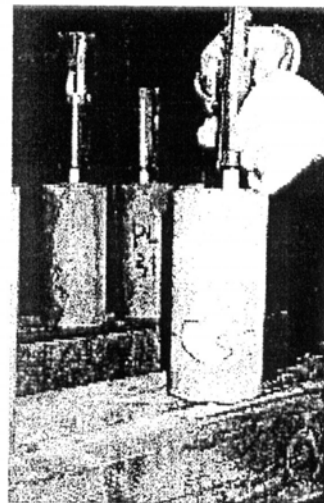


写真-1 止水性確認実験状況

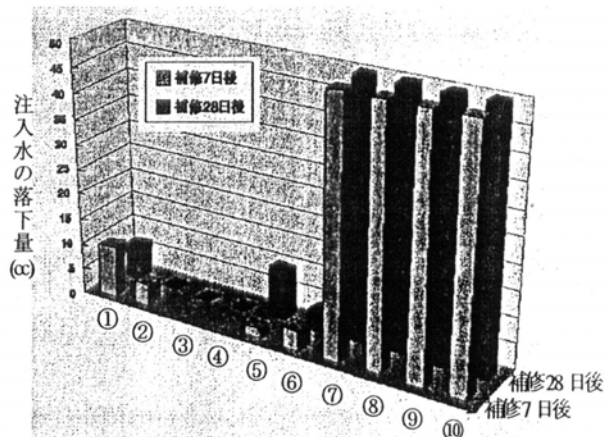


図-2 止水性効果確認実験の結果

のの長期にわたる止水性が同等かまたは低下している。これは、水分の補給がなかった屋内で低下が著しいことから収縮による微小な空隙が発生したためと思われる。一方、0.2mm 以上のひびわれに対する標準工法「CC-21+超微粒子

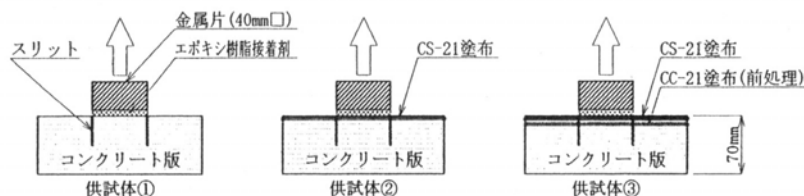


図-3 引張強度実験の供試体概要図

セメント+CS-21」(③, ④)による補修は上記の各々の欠点を補完し、止水に対する即効性を持ち、かつ経時劣化も生じにくくなっていることが確認できた。なお、比較対象とした2銘柄はいずれも入念な施工を行ったにも係わらずピンホールができてしまい、その箇所からの漏水があったために図-2のような結果になったものである。

3.2 コンクリート表面引張強度確認実験

3.2.1 実験の目的

コンクリート表面にCS-21を塗布した場合のコンクリート表面の引張強度増進効果を把握することを目的として行ったものである。

3.2.2 実験の方法

供試体は以下の3種類を作製した。

供試体①…無処理。

供試体②…母材コンクリート材令28日にてCS-21を表面塗布(0.2kg/m^2)したもの。

供試体③…母材コンクリート材令21日にて補助剤CC-21を表面塗布(前処理)し、7日後にCS-21をCC-21上に塗布(0.2kg/m^2)したもの。

強度試験は母材コンクリート材令28日を材令0日として、塗布後材令7日および28日に金属片を供試体表面にエポキシ樹脂で接着し、建研式引張試験機にて引張荷重を各供試体(試験数3体)に載荷した。図-3に供試体の概要図、写真-2に実験状況を示す。

3.2.3 実験結果

表面引張強度平均値の実験結果を図-4、これを実験結果に対する強度比率で整理した結果を図-5に示す。これらの図から、CS-21やCC-21を塗布することによって、コンクリート表面の

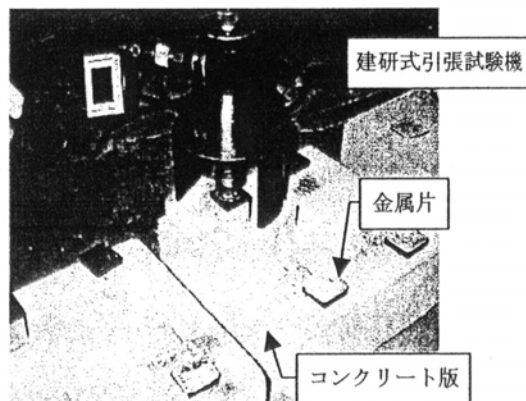


写真-2 引張強度実験状況

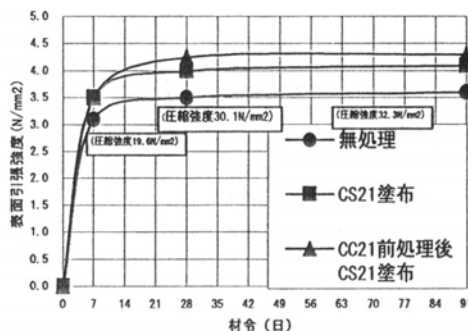


図-4 表面引張強度の試験結果

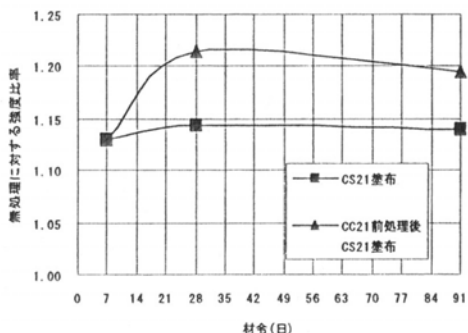


図-5 表面引張強度の比率

引張強度が 15～20%程度改善されていることがわかる。なお、引張破断面は、いずれも母材コンクリート表面から 5～10mm 程度の位置であった。

3.3 反発度法によるコンクリート表面強度確認実験

3.3.1 実験の目的

いわゆるヘアクラックと称される微細なひびわれを、標準補修工法で補修した場合のコンクリート表面強度の増進を反発度法により確認したものである。

3.3.2 実験の方法

0.2mm 未満のひびわれが発生している既存擁壁について、未補修箇所と標準工法「CC-21 全面塗布→CS-21 全面塗布」で補修した近傍の補修箇所の各 16 点をシュミットハンマで打撃し、その反発度による強度比較を行った。

3.3.3 実験結果

表-5 に実験結果を示す。CC-21 および CS-21 を全面塗布することによりコンクリート表面が改質され、施工後 2 週間で 11～46%程度の表面強度増進を図ることができている。これは、CC-21 および CS-21 により微細なひびわれ内に CSH 系の結晶が生成され、シュミットハンマの打撃力が逃げなくなったためと推察される。

3.4 細孔分布確認実験

3.4.1 実験の目的

CS-21 をコンクリートのモルタル部分に塗布することにより、モルタル部分の緻密性の変化を確認することを目的として細孔分布の測定を行ったものである。

3.4.2 実験の方法

補修施工前(未処理)および補修(CS-21 0.2kg/m²塗布→乾燥後散水 1 回)施工後 10 日間が経過した供試体を採取し、水銀ポロシメータによって細孔分布を測定した。

3.4.3 実験結果

図-6 は補修施工前(未処理)および補修施工後の細孔分布を比較したものである。施工前と

表-5 シュミットハンマによる圧縮強度の比較

未補修箇所測定値		補修箇所測定値		比率
測定 No.	圧縮強度換算	測定 No.	圧縮強度換算	
No. 1	29.5N/mm ²	No. 6	36.6N/mm ²	1.24
No. 2	32.1N/mm ²	No. 7	35.5N/mm ²	1.11
No. 3	26.3N/mm ²	No. 8	38.4N/mm ²	1.46
No. 4	28.8N/mm ²	No. 9	40.0N/mm ²	1.39
No. 5	29.9N/mm ²	No. 10	34.9N/mm ²	1.17
平均	29.3N/mm ²	平均	37.1N/mm ²	1.26

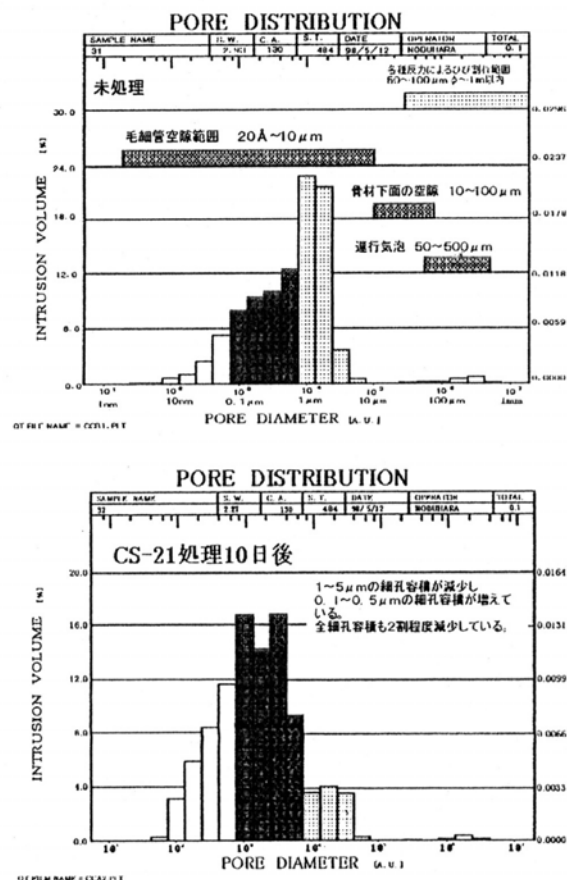


図-6 細孔分布比較図

比較すると $\phi 1 \mu\text{m}$ 近傍の空隙が減少し、 $\phi 0.1 \mu\text{m}$ 付近の空隙が増加する傾向となっている。これは、 $\phi 1 \mu\text{m}$ というより大きな空隙中に CSH 系結晶ができることにより細孔分布が 1 オーダー低い方向へシフトしたためであると思われる、これらによってコンクリート表面の反発度や引張強度が向上しているものと考えられる。

3.5 補修曲げ強度確認実験

3.5.1 実験の目的

一般に、無機系材料は引張力に劣ることなどから補強効果が乏しい^りとされているが、本実験はひびわれ補修を行った場合の曲げ強度の回復状況を確認したものである。

3.5.2 実験の方法

10cm×10cm×40cm の無筋コンクリート供試体(3体)を用いて、母材コンクリートの材令28日に純曲げ載荷(補修前載荷)を行って曲げひびわれ(供試体下面ひびわれ幅0.3mm)を発生させ、ひびわれ幅0.2mm以上の場合の標準工法「CC-21注入→超微粒子セメント注入→CS-21注入」で補修を実施した後、母材コンクリート材令56日(補修後28日)にて再度純曲げ載荷(補修後載荷)を行って曲げ強度を測定した。図-7に実験概要図を示す。

3.5.3 実験結果

図-8に実験結果を示す。ひびわれ補修後の載荷においてはいずれの供試体においてもひびわれ補修面にて再度ひびわれを生じた。平均曲げ強度は2.16N/mm²(補修前載荷時における平均母材コンクリート平均曲げ強度2.70N/mm²の80%、超微粒子セメントのみ使用の場合の1.54倍)であり、無機系材料の組合せとしては比較的高い補修強度があると思われる。しかし、母材の強度まで回復させるという補強の定義を満足できるものではないため、本材料は引張力に対する強度の回復ではなく防水や止水を目的とした場所への使用が適当だと思われる。

3.6 中性化抑制効果確認実験

3.6.1 実験の目的

CS-21はpH値が11.3以上とアルカリ性が強いこと、また、前述の細孔分布の実験等より、CS-21がコンクリート表面の緻密化にも寄与していることが明らかである。そこで、コンクリート表面にCS-21を塗布した場合の中性化抑制効果の有無を確認することを目的として行ったものである。

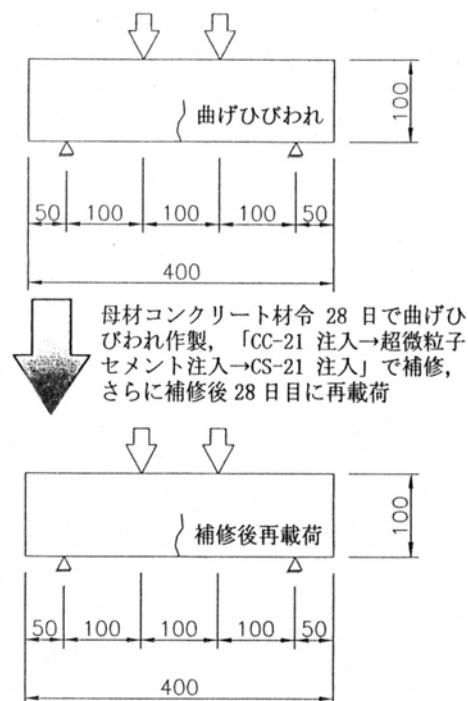


図-7 実験概要図

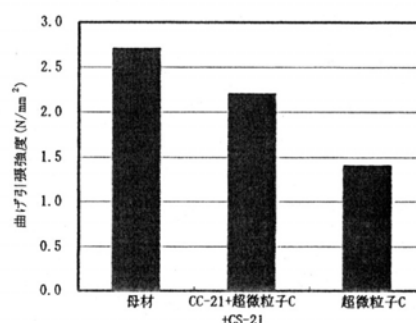


図-8 曲げひびわれ補修後の曲げ引張強度

3.6.2 実験方法

φ100×200のコンクリート円柱供試体の表面にCS-21を塗布したものと未処理の供試体を、温度40℃、相対湿度60%、炭酸ガス濃度5%の環境下で6ヶ月間放置した後に割裂し、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧して中性化深さを計測した。

3.6.3 実験結果

写真-3に示すように、CS-21を塗布した供試

体の中性化深さは 3cm, 未処理の供試体のそれは 7.5cm であり, CS-21 のコンクリート表面塗布により中性化抑制効果があることが確認された。

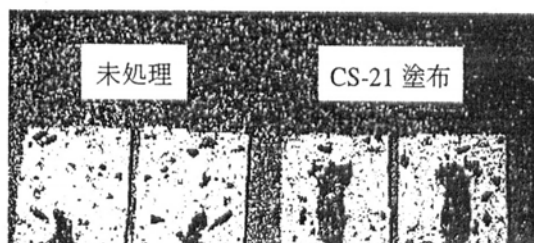


写真-3 中性化抑制効果確認実験の結果

4. 実現場への適用事例

このように CS-21 および CC-21 による止水性能の評価と耐久性向上効果があることを確認した上で, 本材料を数現場に適用してきた。このうちの一例を紹介する。

4.1 現場の概要

本現場は某マンション新築工事の地下駐車場の側壁部分で, 底版の外部拘束および乾燥収縮によるものと思われる 0.2~0.3mm 幅のひびわれが鉛直方向に入り, その箇所から漏水していたものである。

4.2 状況写真

写真-4 は補修前の状況であり, ほぼ 2~3m 間隔に発生しているひびわれに沿って漏水が発生していた。写真-5 はひびわれ部に低圧で CS-21 を注入している状況, 写真-6 はひびわれ補修 1 週間後の状況である。

4.3 施工完了後の状況

本現場においては, 補修後約 1 週間で止水の効果が現れ, 竣工後 1 年半(入居後 1 年)が経過しているが, その後のクレームはない。

5. まとめ

無機系のコンクリート改質剤 CS-21 と補助剤 CC-21 により補修あるいはこれらを塗布した供試体レベルでの各種実験から, 以下の結論が得

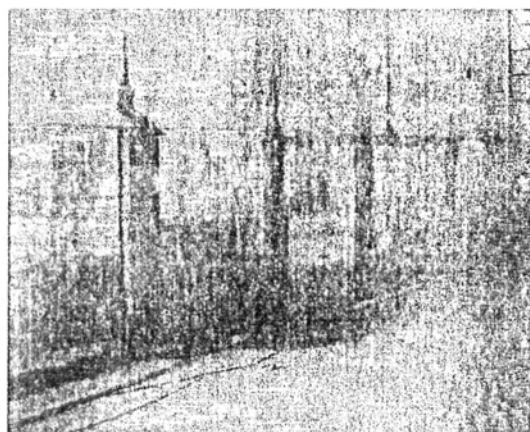


写真-4 補修前のひびわれからの漏水状況

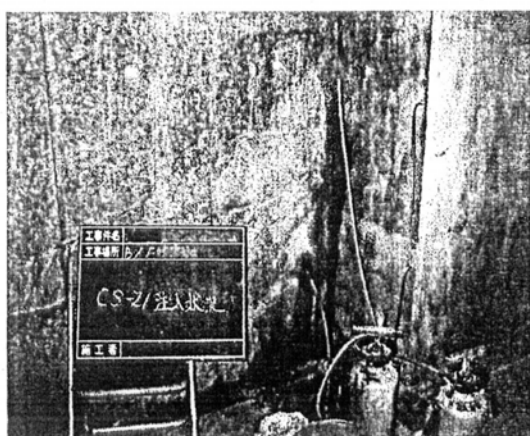


写真-5 CS-21 注入状況

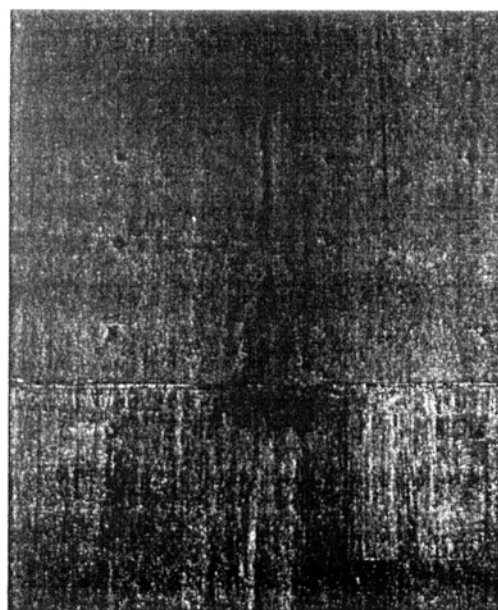


写真-6 補修完了後の状況

られた。

①無機系コンクリート改質剤である CS-21 は、補助剤である CC-21 と超微粒子セメントを併用することにより、短期および長期の止水性を確保できる。

②CS-21 や CC-21 をコンクリート表面に塗布することで、コンクリート表層部の圧縮強度を 11～46%程度、引張強度を 15～20%程度高めることができる。

③CS-21 をコンクリート表面に塗布することでコンクリート表層部は緻密化され、中性化抑制などの耐久性向上に寄与する。

④ただし、補修後の強度は現状では母材までの強度回復は難しいため、防水・漏水対策、気密性の確保といった補修を目的とする箇所に適用すべき材料である。

なお、本材料は商品化されてから比較的歴史の浅い材料であり、今後も補修完了後の定期的な観察を続ける所存である。

参考文献

- 1) 無機系補修材料の注入性に関する基礎的研究
(飯坂，鷺見，梅原)，土木学会論文集
No. 599/V-40, 49-57, 1998. 8