

リフレッシュ・シャワー工法の開発 (既設鉄道橋における床版防水工法)

Water-proof System for Reinforced Concrete Slabs of Rail-Road Bridges

辻子 雅 則^{*1}

Masanori Tsujiko

【要旨】

鉄道高架橋に対する防水工法は、本来、上面から施工すべきことは理解されているものの、供用中のバラスト道床鉄道橋で漏水が発生した場合、バラストの撤去・復旧等その施工が困難であるため、床版下面から補修が行われてきた。しかしながら、下面防水は上部からの浸水を許したままであり、その排水が困難となることからコンクリートの含水率を高め、繰り返し荷重による疲労劣化の促進や凍害の助長等、構造物の耐久性に悪影響をおよぼす可能性がある。本工法は、床版上面から行う漏水補修工法であり、バラストを除去することなく、軌道上から浸透型防水剤を散布するだけで床版防水を施す、極めて合理的な工法である。

本報告は、室内実験 → 実証実験 → 実施工の一連のリフレッシュ・シャワー工法開発過程および成果について、概要を取りまとめたものである。

【キーワード】 鉄道高架橋 床版防水工法 バラスト道床 浸透型防水剤

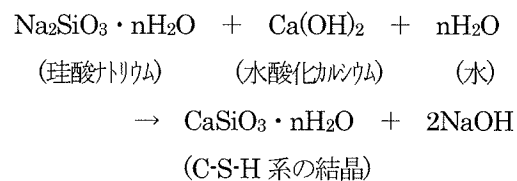
1. はじめに

「リフレッシュ・シャワー工法」は、大学と民間企業との研究組織である EE 産学連携研究会(リーダー: 京都大学小野教授)の床版防水ワーキングにおいて共同開発し、特許を申請した工法であり、既設鉄道高架橋のバラスト上から浸透型防水剤 (CS-21/RS 等) を散布するのみで、床版からの漏水を著しく低減できる方法である。

床版の防水機能は、「シート防水」または「塗膜防水」によって付与されるのが一般的であるが、近年になって無機系の浸透型防水剤をコンクリートの表面に散布することにより防水機能を付与する工法が開発されてきており、屋上やバルコニーといった建築分野で広く利用されてきている。

浸透型防水剤は、珪酸ナトリウムを主成分とし、セメントの水和反応を活性化し促進させる触媒的性質を有した無色透明の液体である。硬化したコンクリートに散布された浸透型防水剤は、水分の移動に伴ってコンクリート表面やひび割れからコンクリート内部に浸透し、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コンクリートの空隙を充填する。また、この反応は短期間で収束するものではなく、水分と未水和のセメントが存在する限り継続するものである。以下に、反応の化学式を示す。



2. リフレッシュ・シャワー工法の概要

リフレッシュ・シャワー工法の施工手順は、以下のとおりである。

① 1次散水: バラストに浸透型防水剤が吸着されることなく床版に到達させるため、バラストの状態を湿潤状態とする。

(散水量は、バラストが乾燥している場合、1m²

1. 大阪支店 土木部

当り 10~15kg を標準としている.)

②浸透型防水剤散布：所定量の浸透型防水剤 (CS-21/RS) を、対象範囲のバラスト上にジョウロ等の噴霧器により散布する。

(浸透型防水剤の散布量は、ひび割れからの漏水のように床版中央部に対して対策を実施する場合は、散布対象面積 1m² 当り 0.50kg を、また、壁高欄と床版の打ち継目からの漏水のような水平打ち継目に対して対策を実施する場合には、1m 当り 0.45kg を散布することを標準としている.)

③2次散水：バラスト表面に付着した浸透型防水剤を洗い流すと同時に、散布された浸透型防水剤のバラスト内の流下を促進する。

(散水量は、浸透型防水剤と同量の 1m² 当り 0.50kg および 1m 当り 0.45kg を標準としている.)

上記のように、リフレッシュ・シャワー工法は極めて簡易な手順で実施できる工法であるが、ポイントは確実に床版の損傷箇所に浸透型防水剤を送り込むことにある。

従って、床版の勾配や排水溝および防水処理の有無のような構造的な特性、ジャンカやひび割れ等の損傷箇所の状態、漏水経路を把握したうえで、浸透型防水剤の散布場所および散布量を決定することが重要である。

3. 室内実験

室内実験は、次の2段階に分けて実施した。

STEP1：室内漏水実験

バラスト上から散布した浸透型防水剤が床版に到達し、ひび割れからの漏水を低減することが可能かどうかの基本性能を確認するための実験。

STEP2：室内加振実験

鉄道橋床版は、列車振動が絶えず負荷される過酷な使用状況にあるが、そのような使用環境における漏水低減効果の持続性を確認するための実験。

以下に実験の概要と結果を示す。

3.1 室内漏水実験

(1) 実験装置

ひび割れの発生した床版については、φ150mm ×

H300mm の円柱供試体(圧縮強度=30N/mm²)を割裂により二分した後、再度組立・締付けを行い、側面のひび割れをコーキング材で止水することにより再現した。

バラスト道床については、透明の円筒内に t=500mm の高さまで碎石を詰込み、円柱供試体の上部にセットすることにより模擬した。ただし、使用した碎石の寸法は、円筒の内径が 140mm であることから、実状に近い実績率を確保するため 40mm 以下とした。

室内漏水実験に使用した実験装置の概要を図-1 に示す。また、写真-1 に組立・締付け後の供試体の状況を示す。締付け後のひび割れの幅は、0.2~0.3mm 程度であった。

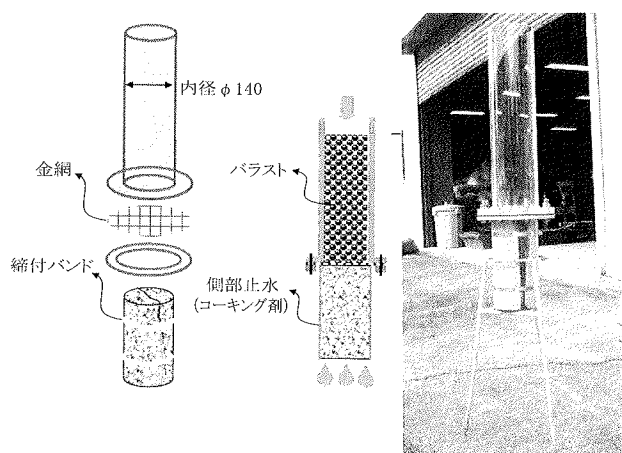


図-1 室内漏水実験装置

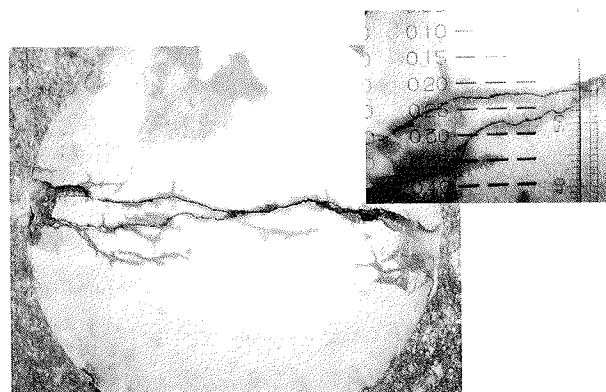


写真-1 円柱供試体上面のひび割れ状況

(2) 実験方法

室内漏水実験は、前述の(1)のようにして再現した模擬床版円柱供試体の各々の漏水量を測定し、漏水量の大小により各供試体を3つの漏水規模にグループ分けを行い、各漏水規模に対するの漏水低減効果の確認を行った。

漏水規模は、以下の3水準とした。

漏水規模(小) : 5~10g/分 (1滴/数秒)

(実際の床版からの漏水とほぼ同じ状況)

漏水規模(中) : 10~20g/分 (約1滴/秒)

(かなり激しい漏水状況)

漏水規模(大) : 20~40g/分 (数滴/秒)

(極めて激しい漏水状況)

表-1に実験要因の組合せを、表-2に各浸透型防水剤の散布量を、写真-2, 3に実験状況の写真を示す。

なお、各浸透型防水剤の散布量については、各メーカーの推奨量とした。

表-1 要因の組合せ

要因	数量
浸透型防水剤	5種類(4社)
漏水規模	3水準 (小, 中, 大)
1ケース当り 供試体本数	2本/1ケース (漏水規模: 小のみ1本)

表-2 浸透型防水剤の散布量

	浸透型防水剤	散布量 (kg/m ² 換算)
1	A社(CS-21/RS)	1.4
2	B社-①(RCガデックス建築用)	4.3~13.0
3	B社-②(RCガデックス土木用)	4.3~13.0
4	C社(オセラコート)	0.9
5	D社(ハイトロール)	1.0~1.3



写真-2 浸透型防水剤散布状況



写真-3 試験体上面水位状況

(注)浸透型防水剤散布量について

2.リフレッシュ・シャワー工法の概要に示す散布量に比較して、室内実験における散布量が著しく多いように思われるが、これは、ひび割れ部分の面積を考慮して散布量を算定したことによるものである。円柱供試体の上面面積は177cm²であるが、ひび割れ部分の面積は15cm×30cm=450cm²となる。従って、浸透型防水剤の散布量は、627cm²を対象として算出しているため、上面面積に対する散布量としては、表-2に示す数量となっている。

(注)漏水量測定方法について

写真-3に示す漏水量の測定状況であるが、時間の経過とともに漏水により供試体上面の水は減少するが、加水することにより水位を保持し、定水位で試験を実施している。

(3) 実験結果

図-2~4に漏水規模別の漏水量と経日変化の状況を示す。

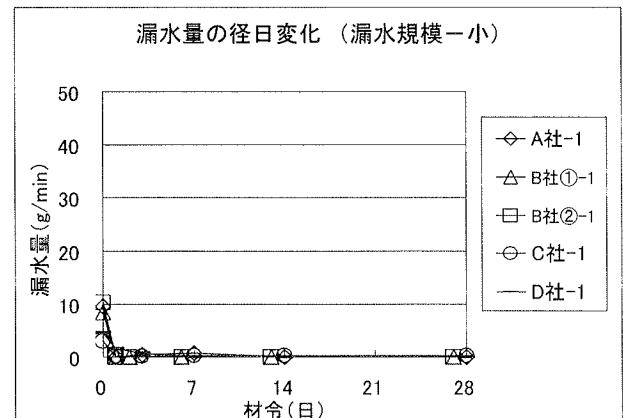


図-2 漏水規模: 小の実験結果

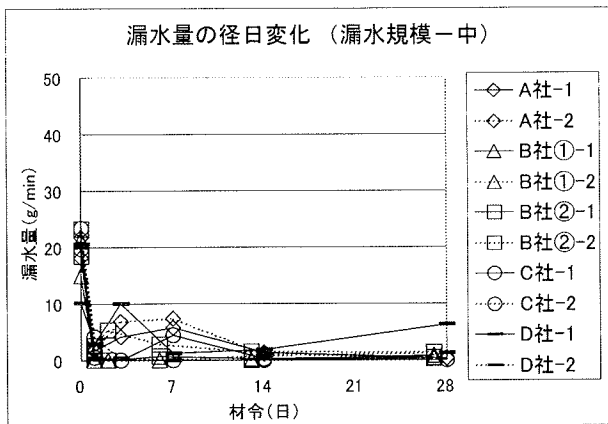


図-3 漏水規模：中の実験結果

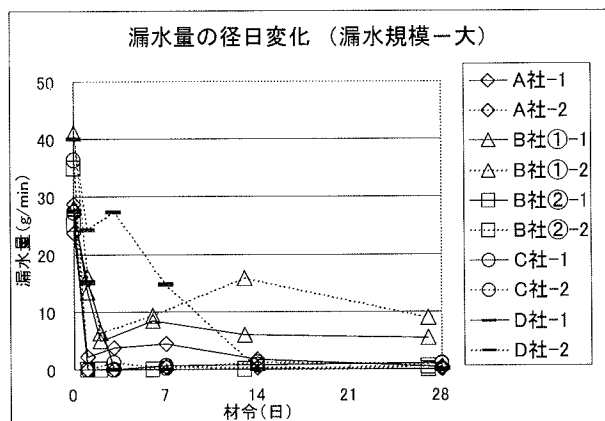


図-4 漏水規模：大の実験結果

漏水規模：小では、浸透型防水剤散布3日後において、5種類全ての浸透型防水剤で止水効果が確認されている。また、漏水規模：中および大に関しては、材令14日後で止水効果が確認されており、一部止水に至らなかった材料も見受けられるが、大幅に漏水量が低減される結果が得られた。

従って、本実験結果より、既設鉄道高架橋床版のひび割れからの漏水低減に対して、本工法の有効性が確認されたものと判断された。

3.2 室内加振実験

3.1 室内漏水実験より静的な条件における基本的な漏水低減効果が確認された。しかし、鉄道高架橋は継続的に列車振動を受けることより、得られた漏水低減効果が列車振動に対して持続できることを確認するために、室内加振実験を実施した。

(1) 実験装置

実験装置は、RCD工法（重力式コンクリートダムの一の施工方法の一つ）のコンクリートの品質管理に使用される小型VC試験機を改造して使用した。

試験方法の概念を図-5に、試験体のセット状況および試験状況を写真-4、5に示す。

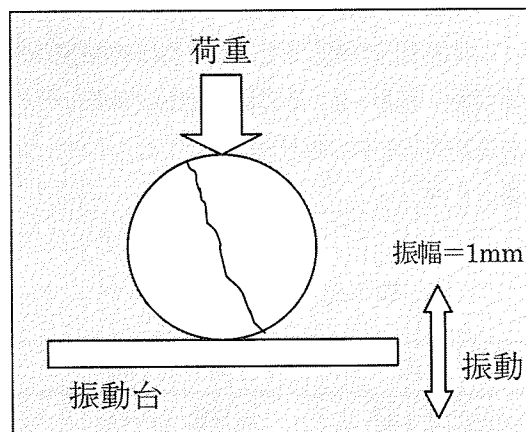


図-5 試験方法概念図

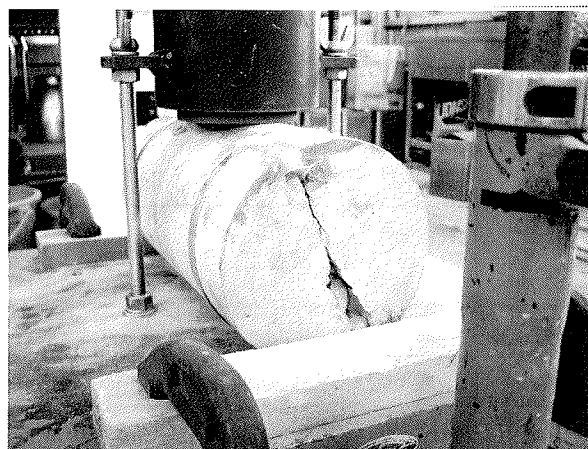


写真-4 試験体セット状況

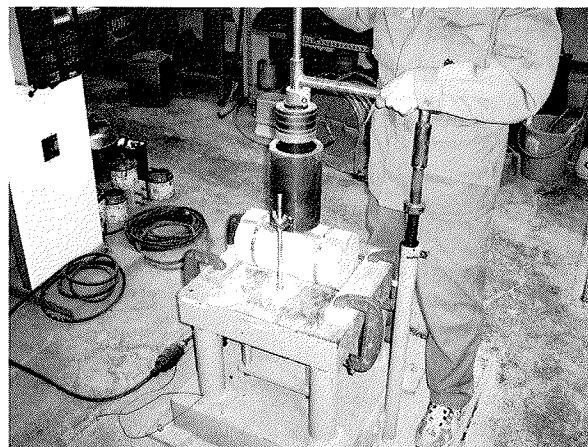


写真-5 室内加振試験状況

(2) 実験方法および結果

室内加振実験は、材令 28 日まで室内漏水実験を実施した各試験体に前述の試験装置により振動を加えた後、同様の方法により漏水測定を実施し、漏水量の増減により漏水低減効果の持続性を判定した。

加振（载荷）回数＝20Hz×30min
＝36,000 回

（8 両編成車両が 5 分に 1 回通過するとした場合、約 5 日間の走行回数に相当）

実験結果は、いずれの漏水規模の試験体においても、加振前後での漏水量の増減は見られず、優れた漏水低減効果の持続性を有しているものと判断された。

4. 実証実験

3.室内実験より、本工法がバラスト軌道鉄道高架橋の漏水対策工として、大幅な漏水低減効果と優れた持続性を有することが確認された。

しかし、実際の施工環境を想定した場合、

- ①長年の列車荷重により底部のバラストが粉碎され、浸透型防水剤が床版まで到達できない可能性はないか。
- ②室内実験では静的環境で反応が進行したが、浸透型防水剤の反応過程において振動を受ける場合においても、十分な漏水低減効果が得られるのか。
- ③レールの不陸をとるための切削による鉄粉が何らかの影響を与える可能性はないか。

等の様々な不確定要因が考えられることより、実際の現場において効果を確認するため、JR西日本をはじめ在阪民鉄 5 社に対してプレゼンテーションを行い試験ヤードの提供をお願いした。

その結果、民鉄 2 社の協力により駅部と橋梁部において実証実験を実施する機会を得たので、以下にその結果を述べる。

4.1 駅部の場合

対象構造物は、昭和 7 年に供用が開始された構造物であり、漏水経路は、床版と壁高欄の水平打ち継目からのものであると考えられた。なお、実証実験は、2005 年 2 月に実施している。

図-5 に対象構造物の断面図を、写真-6 に対策工未施工時の漏水状況を示す。また、写真-7、8 にリフレ

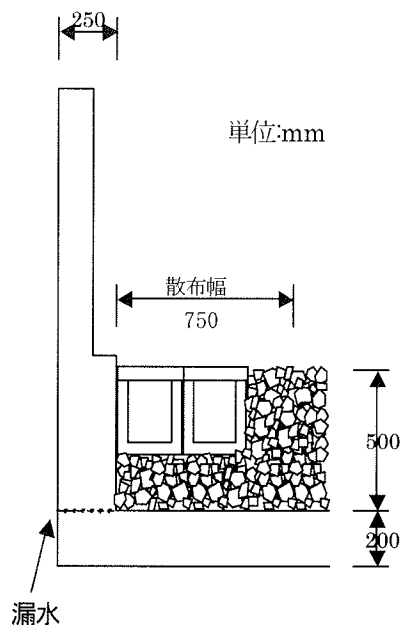


図-5 対象構造物の断面図

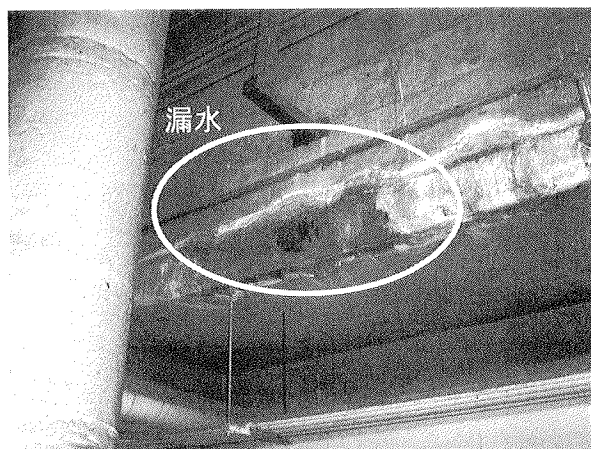


写真-6 対策工未施工時の漏水状況



写真-7 浸透型防水剤 (CS-21/RS) 散布状況

ッシュ・シャワー工法の施工状況および施工後の漏水状況を示す。

散水および浸透型防水剤の散布量は、施工対象面積＝3.675m²に対して、以下の量を散布した。

- ・1次散水：16.4kg/m²
- ・浸透型防水剤散布：0.9kg/m²
- ・2次散水：0.9kg/m²

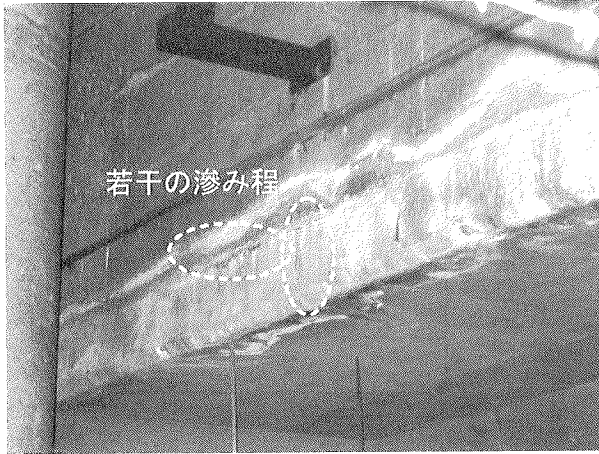


写真-8 リフレッシュ・シャワー工法施工後の漏水状況

写真-8は、施工後13日が経過した時の降雨時の写真であるが、漏水はほとんど認められず、若干のしみを呈する程度にまで漏水が低減されている。

また、施工後1年以上を経過した現在においても、上記の漏水低減効果は継続されている状況にある。

4.2 橋梁部の場合

対象構造物は、約2年前に供用を開始した比較的新しい構造物であり、漏水経路は、床版に発生したひび割れからのものと考えられた。なお、実証実験は、2005年4月に実施している。

図-6に対象構造物の断面図を、写真-9に対策工未施工時の漏水状況を示す。また、写真-10, 11にリフレッシュ・シャワー工法の施工状況および施工後の漏水状況を示す。

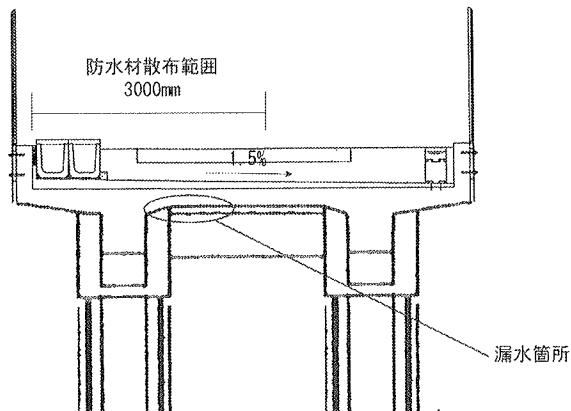


図-6 対象構造物の断面図

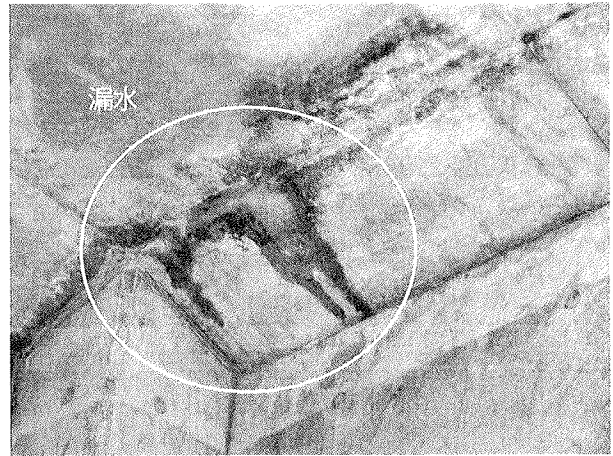


写真-9 対策工未施工時の漏水状況

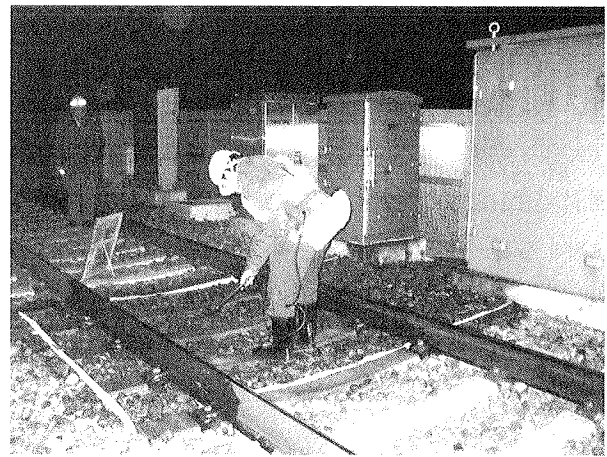


写真-10 浸透型防水剤(CS-21/RS)散布状況

散水および浸透型防水剤の散布量は、施工対象面積＝7.0m²に対して、以下の量を散布した。

- ・1次散水：10.0kg/m²
- ・浸透型防水剤散布：0.5kg/m²
- ・2次散水：0.5kg/m²

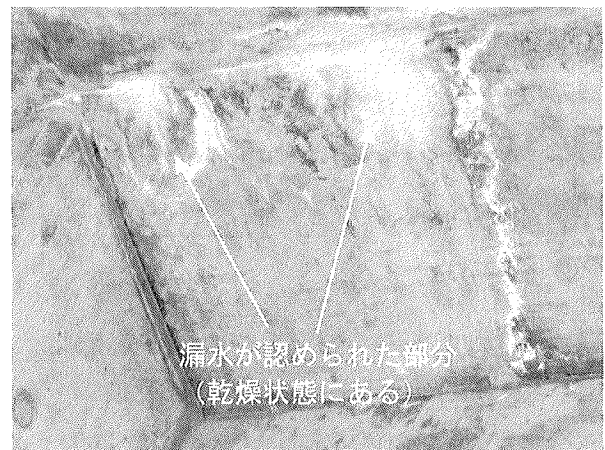


写真-11 リフレッシュ・シャワー工法施工後の漏水状況

写真-11は、施工後17日が経過した時の降雨時の写真であるが、エフロレッセンスの析出が認められるもの

の漏水は無く、乾燥した状態を呈している。

また、施工後1年以上を経過した現在においても、上記の漏水低減効果は継続されている状況にある。

5. 実施工

前述の室内実験および実証実験の結果を経て、平成17年(2005年)10月、愛知環状鉄道(株)新豊田駅構内において実施工の機会を得るに至った。

また、リフレッシュ・シャワー工法は、一度に大量の面積を施工することが可能な工法であるが、実際に大量の面積を施工する初めてのケースであることから、歩掛りの把握としても大切なデータ収集の機会であった。

以下に、当該工事の概要を示す。

5.1 工事概要

- ・ 工事名称：愛知環状鉄道 新豊田構内第3中豊田高架橋防水工事
- ・ 施工面積：1,712m²(試験施工分200m²を含む)
 $200\text{m}(\text{施工延長}) \times 8.56\text{m}(\text{幅}) = 1,712\text{m}^2$
(施工範囲：新豊田駅構内全体)
- ・ CS-21/RS 散布量：856kg(試験施工分100kgを含む)
 $0.5\text{kg}/\text{m}^2 \times 1,712\text{m}^2 = 856\text{kg}$
- ・ 実施工期間：平成17年10月17日(月)～10月20日(木)
散布日数：3日間(夜勤)

5.2 施工概要

- ・ 施工単位と散布要領

1 施工単位=20m²

(幅:8.56m×長さ:2.34m=20.0m²)

施工範囲にカラーコーンおよびコーンバーにより上記の施工単位を明示する。



CS-21/RS:10kgを散布(0.5kg/m²)する。

5kg/缶×2缶=10kg

- ・ 施工状況

写真-12～14に施工状況写真を示す。

- ・ 施工実績(施工数量の実績)

当初計画では、施工時間(1:00～5:00)および散水ストック可能量(1次散水量:1t/100m²)より、1日施工量として2班体制(3人/班)で400～450m²/日を想定し

ており、実働4日間を予定していた。

しかし、施工前日および当日の降雨により、1次散水および2次散水を省略および低減することが可能となったため、以下のような施工実績が得られた。

第一日目(10/17)：900m²

第二日目(10/18)：500m²

第三日目(10/19)：300m²

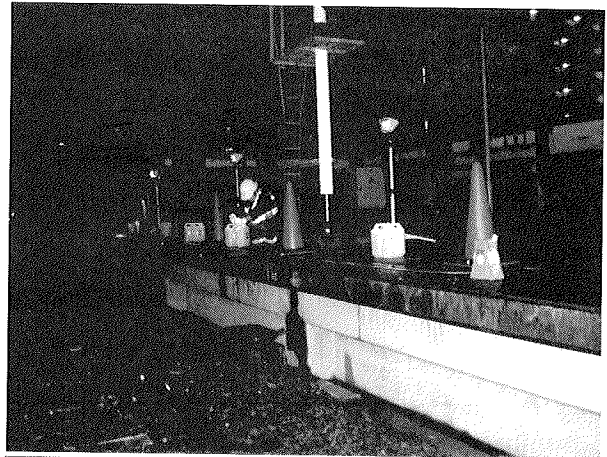


写真-12 CS-21/RSの配付状況



写真-13 施工区画の明示状況

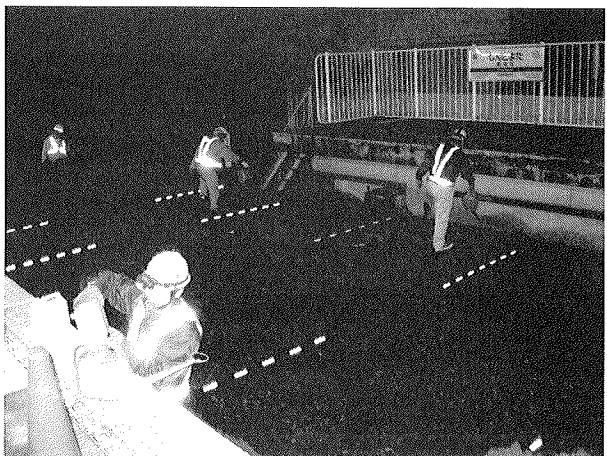


写真-14 CS-21/RSの散布状況

当該工事は、施工完了後現在まで半年余りが経過しているが、特に問題なく漏水の低減効果が継続している状況にある。

6. おわりに

室内実験、実証実験、実施工をとおして、リフレッシュ・シャワー工法がバラスト軌道の既設鉄道橋の床版防水工法として非常に有効であることが確認された。

コンクリート構造物の延命化技術、合理的な補修・補強技術が幅広く求められている現在において、本工法は、優れた施工性、経済性、安全性をもとに活用されるとともに、本工法の発想は、鉄道橋にとどまることなく幅広く展開が可能な補修技術であると考えている。

なお、本報告では紙面の都合により、本工法開発の経

緯の概要を紹介することとどめているが、別冊として取りまとめた「リフレッシュ・シャワー工法の手引き」および「愛知環状鉄道新豊田駅 リフレッシュ・シャワー工法施工記録」を参照していただくことにより、より具体的な施工技術の展開につながるものと考えている。

最後になりましたが、本工法の実証実験ならびに実施工を行うに当たり、現場を提供していただきました鉄道事業者の方々に、心から感謝申し上げます。

(リフレッシュ・シャワー工法共同開発者)

京都大学、飛島建設、鴻池組、アストン、大阪防水建設社、プロシード、IDT 日板、三菱化学産資の 8 社である。なお、日本躯体防水(RC ガーデックス)に関しては、室内実験段階では共同開発者として床版防水ワーキングに参加していたが、実証実験以降脱会している。

Summary Though waterproofing repair for elevated railway bridges should fundamentally be applied from the top surfaces, it has been carried out from the bottom surfaces, because it is difficult to remove and re-lay ballast on railway bridges in service in the event of leakage. However, waterproofing from the bottom leaves water seepage from the top untreated, thereby adversely affecting the durability of the structure by accelerating the fatigue deterioration under repeated loading and frost damage due to the water content of concrete increased by undrained water. The leakage repair method proposed herein is carried out from the top side of the slab without removing ballast. It is a highly reasonable method comprising waterproofing of the slab only by sprinkling a permeating-type waterproofing agent from above the track.

This paper summarizes the process of development of the system including laboratory testing, verification testing, and actual application, as well as the results of application.

【Keywords】 elevated railway bridge, slab waterproofing, ballast, permeating-type waterproofing agent