

報告 グラウト不良により劣化したPC橋の調査と補修

佐々木 慎一*1・塚 孝司*2

要旨：PC橋の主げたに発生したシー스에沿ったひび割れについて、その原因と損傷程度の調査を行った。さらに、調査によって判明したグラウト不良に対する新しい補修工法の検討と施工結果および補修前後での自然電位の変化について報告する。

キーワード：劣化、ひび割れ、腐食、高炉スラグ微粉末、自然電位

1. まえがき

コンクリートは、これまで耐久性に優れた材料であると考えられ、数多くのコンクリート構造物が建設され供用されてきている。しかし近年、コンクリート構造物の早期劣化に関する様々な問題が顕在化し、その耐久性に大きな関心が払われるようになってきた。これまでの調査・研究の結果、コンクリートの品質や構造物を取りまく環境などの要因が耐久性に大きな影響を及ぼすことが明らかになったことから、今後は良質なコンクリート構造物を造るのは勿論のこと、適切な維持管理によってコンクリート構造物の機能を保持し、耐用年数を延ばしていくことが社会資本の効率的運用の面からも必要不可欠となる。

コンクリート構造物の維持管理には、劣化の原因の解明、劣化・損傷の程度と進行速度を把握するための診断技術、および補修・補強などの機能回復技術の両方が要求される。信頼でき、かつ合理的な機能回復技術を実現するためには、実構造物に対する補修事例をデータとして蓄積していく必要がある。そこで本文では、PC橋主げたに発生したひび割れに対して行った劣化調査と補修について報告する。

2. 橋梁概要

表-1 橋梁諸元

補修対象の橋梁諸元を表-1に示す。本橋は、昭和54年に架設されたポストテンション方式のPCTげた橋で、太平洋の海岸線から100mの距離に位置している。

形式	ポステンPC単純けた
橋長(支間割)	105.500 (36.10+31.00+36.10)
幅員(主げた本数)	13.25 (7本)
橋格	1等橋(TL-20)
PC工法(鋼線)	フレシネー工法(12-φ7)
供用開始年月	昭和54年11月

3. 調査

3.1 概要

平成3年度に実施した調査により、主げた側面と底面にシー스에沿った多数のひび割れが発見され、ひび割れからは漏水がみられた。漏水によりコンクリートから遊離した石灰がつらら状になっていたことから、ひび割れ発生からかなりの年月が経過していることが伺えた。北海道では、昭和30年代初期に架設されたPC橋において竣工後間もなくシー스에沿ったひび割れがけた側面や底面に発生している事例がしばしば報告され、調査の結果、グラウトの注入不足によってできたシース内の空隙に浸入した水、あるいは、グラウトから分離した水が冬期に凍結膨張したことが原因と判明している。

*1 北海道開発局 開発土木研究所 材料研究室 研究員(正会員)

*2 北海道開発局 開発土木研究所 材料研究室 室長、工博(正会員)

ここでは、先ず劣化の進行をくい止めるとともに再劣化の発生を防ぐ補修工法を見いだすために、劣化の原因とその程度を明らかにするための調査を行った。

3.2 調査項目および調査箇所

表-2 調査内容

調査項目と内容を表-2に示す。

項目	内容
主げた外観	ひび割れ幅、長さ測定、漏水箇所、錆汁・石灰の滲出箇所の特定
シース内部	ひび割れ箇所を削孔、ボアスコープによりシース内部とPC鋼線腐食状況の調査、水を注入し、シースの導通状態を確認
PC鋼線の定着部	橋面舗装を撤去し、PC鋼線の上縁定着部の状態を確認
自然電位の測定	主げた側面・底面の自然電位分布の測定
ひび割れ幅の変化	コンタクトゲージによるひび割れ幅の変動調査
塩化物イオン	主げたより試料を採取し、コンクリートの塩化物イオン含有量を測定

3.3 調査結果

3.3.1 主げた外観

主げたの典型的なひび割れと漏水状況を写真-1に示す。ひび割れはけた表面にシースに沿って発生しており、その幅は最大で1.4mmであった。また、ひび割れからは漏水がみられ、石灰分が溶出しているのが観察された。ひび割れが発生しているシースは、すべてけた上縁で定着されているシースである。そこで、橋面の舗装を除去し定着部を観察したところ、定着部の後埋めモルタルの状態が悪く、舗装の切削に使用した水がシース内部に浸入していた。以上のことより、シースにはPC鋼線定着部を通して絶えず外部から水が供給されていたといえる。

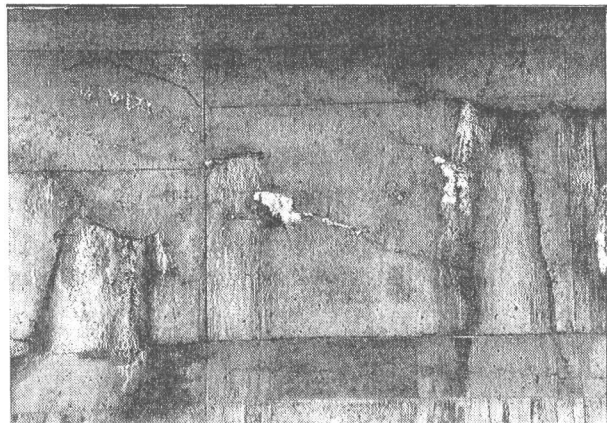


写真-1 主げた外観状況

3.3.2 シース内部の状況

ひび割れ位置でのシース内部の状態を調査した結果、シース内が完全に空洞である箇所や、一部グラウトが充填されている箇所など、グラウトの不良が明らかであった。これらは、注入時の材料分離によるものと思われた。シース内部の状況を写真-2に示す。穿孔時に多量の水がシースから流出したことから、ひび割れの原因はシースに溜まっている水が冬期間凍結膨張したことと考えられる。

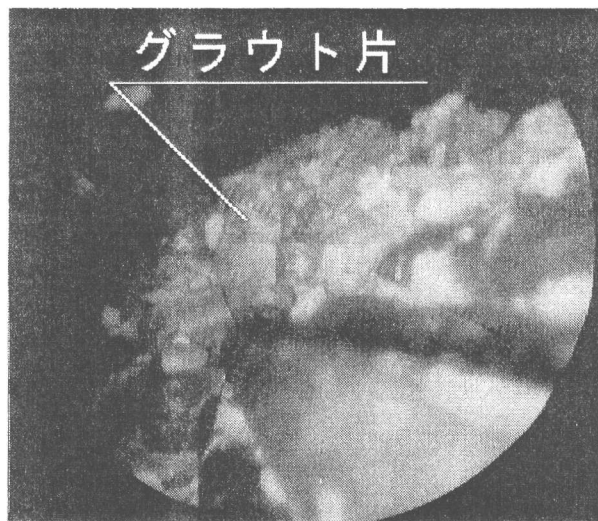


写真-2 シース内部の状況

3.3.3 ひび割れ幅変化

ひび割れ幅の測定は、12月から翌年4月まで各月1回行った。その変化量は最大で0.009mmと少なく、ひび割れの状態は比較的安定していた。

3.3.4 内部鋼材の腐食とコンクリート中の塩化物イオン

グラウトが全く充填されていないシースにおいても、多量の水で常時シース内部が満たされていたと思われる箇所ではP C鋼線の腐食は極めて僅かであった。しかし、4カ月後に再度確認したところ、写真-3のように腐食の進行が認められた。海側のけたのコンクリート表面から2cmまでの塩化物イオン含有量は、平均で $1.5\text{kg}/\text{m}^3$ となっており、本橋が飛来塩分の影響を受けていることが改めて認識された。

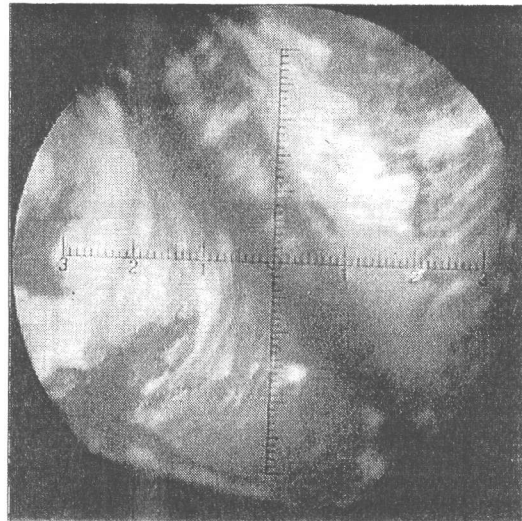


写真-3 P C鋼線の腐食の進行

4. 補修

4.1 補修工法と材料

調査の結果、本橋の劣化の主因はグラウト不良によるものであり、今後長期間の供用に耐える抜本的な方法としてグラウトの再注入による補修を行うこととした。内視鏡によってシース内部を調査した結果、空洞・空隙の状況は一樣ではなく、シース全長に亘ってグラウト充填状況を把握することは現在の非破壊検査技術では困難なことから、多様な空隙状態に対応できる注入材を考える必要がある。シース注入材として要求される性能は①流動性・充填性に富むこと、②材料分離抵抗性があること、③無収縮であること、④付着性が良好であることなどが考えられるが、実構造物への施工では、施工後にこれらを確認する方法がないため実物大のシースを用いた実験を行った。

4.1.1 実験概要

補修材の一つとしてエポキシ樹脂系のものがあるが、シース内部に水分が残っていることなどからその付着性に懸念があったため、使用の対象から除外した。本実験では、高炉スラグ超微粉末を主成分とするひび割れ補修用注入材を2種類選び、種々の配合による検討を行った。また、実験に用いたシースはグラウト未注入とグラウト注入不足の状態の2ケースを想定した。グラウト注入不足の状態を再現するため、あらかじめ断面の5~8割程のグラウトを入れ、硬化後、振動を与えて内部に空隙およびクラックを導入する方法を採った（以下このケースを不完全グラウトと呼ぶ）。

4.1.2 使用材料の配合および物理特性

表-3 補修材の配合

配合記号	主材 (kg)	水 (ℓ)	W/C (%)	無収縮剤 (ℓ)	その他の混和剤 (ℓ)	比重
A	1.2	0.602	50	0.024	0.012*3	1.81
B 1	1.13	0.620	55	0.023		1.75
B 2	1.01	0.659	65	0.020	0.152*4	1.67
B 3	1.13	0.620	55	0.023		1.75

*3: 遅延型減水剤

*4: ポリマー

材料の配合および実験時の特性を表-3、4に各々示す。注入材Aは平均粒径 $8\mu\text{m}$ 、Bは平均粒径 $2.8\mu\text{m}$ である。配合B3は、標準で使用する無収縮剤に加えて市販のコンクリート用収縮低減剤を3%添加した。

表-4 補修材の物理特性

配合記号	JAロートフロー (秒)	フリースィング率 (%)	曲げ強さ(kgf/cm ²)		圧縮強度(kgf/cm ²)	
			3日	7日	3日	7日
A	13.5	0	34	39	173	310
B1	14.2	0	40	42	230	345
B2	13.6	0	32	45	186	298
B3	14.8	0	53	65	260	381

4.1.3 実験条件

実験用シースは実橋のシースと同一の設置条件となるよう考慮して、L=9000mm、 ϕ 45mmのシース内に ϕ 7mm×12本のPC鋼線を配置し、シースの端部の勾配を最大 24° となるように固定した。注入実験は表-5に示すI～VIの6ケースとした。充填状態の調査は、シースを1mごとに切断したもので行った。

表-5 実験条件

		シースの状態	
		グラウト未注 入	不完全グラウト
配 合	A	I	II
	B1	III	
	B2	IV	V
	B3	VI	

4.1.4 実験結果

(1) 流動性

実験に用いた注入材は、両者とも流動性が高いため僅かな隙間があれば充填される。しかし、その高流動性のためシースの低い部分、すなわちシースの中央部から全体へと充填されていく傾向がみられた。このことから、シース両端部への注入には所定の注入圧の確保とシース内の空気を確実に抜くことが必要である。

(2) 充填性

ケースIIおよびVのシース断面を写真-4に示す。この結果から、グラウトのひび割れや空隙に充填されることが確認された。

(3) 材料不分離性

注入材A、Bともにスラグが配合されているため、硬化後の外観は濃緑色である。しかし、注入材Aを使用した場合には、材料分離による白墨状の硬化物が多くみられた。注入材Aはシースに注入した場合、材料分離が発生する傾向にあると考えられる。これに対して、注入材Bでは、ほとんど分離がみられなかった。

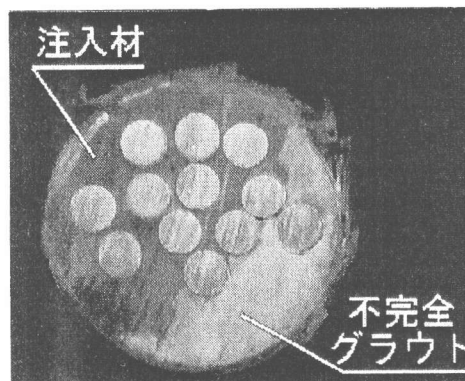


写真-4 不完全グラウトへの充填状況

ケースI、IIおよびIVでは、シース上面に水が滞留していた痕跡と思われるものが認められた。材料の注入前に内部の導水状況を確認するうえで水を注入したが、これはその水が残っていたものなのか、または注入材から分離したものかは解らなかった。

気泡は、そのほとんどが径1mmほどのものであり、ケースI、IVでのケーブル上面に多くみられた。注入材B3の配合を使用したケースには気泡がみられなかった。

(4) 付着性

注入材B 2には、シーすとの付着を改善するためにポリマーを添加したが、シーすを解体した直後の状態からは、シーす表面のごく一部に注入材B 2の付着があった程度で、注入材B 1およびB 3を用いたものと比較して大きな違いは認められなかった。

(5) 注入上の問題

実験の結果、すべてのシーすの両端部には、写真-5にみられるような大きな空隙がみられた。これは、注入中にシーす加工部より内部の注入材が漏れたことによる注入圧の不足が原因と考えられる。また、排気口より内部の空気が完全に抜け切らなかったことも関係していると思われた。実橋においてひび割れから水が漏出していることを考えると、同様なことが実施工においても発生する可能性のあることが示唆された。したがって、より充填効果を高めるためにも、ひび割れをシールするなどの対策が必要である。

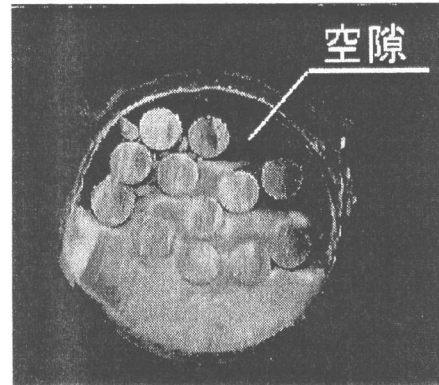


写真-5 シース端部の空隙

4.2 施工

実験による検討結果より、注入材Bの3種類の配合の比較では顕著な違いはなかったが、気泡のみられなかったB 3が最も使用に適していると判断した。施工方法としては、漏水箇所をシールすることに加えて、シーすの削孔調査で内部に滞留していた水を排出したことにより、P C鋼線とシーすの腐食の進行が認められたため、短期間に注入を完了することを考慮に入れ、次のようグラウトの注入を行った。

(a) 主げた腹部を削孔し、そこから図-1示すように、注入パイプ①を取り付け、さらに、シーすの両方向へビニールまたはアルミ製の空気抜きパイプ②③を挿入する。同様の方法でシーす1本あたり4~6箇所設け、注入・排出孔とする。

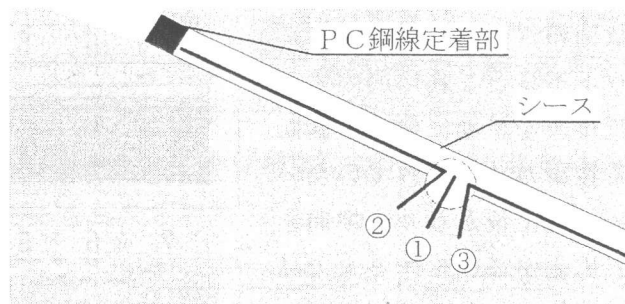


図-1 注入パイプ取り付け図

(b) 各々の注入・排出孔間の導通を確認するため通水し、同時にシーす内のグラウト片などを排出する。この

際、けた表面のひび割れから漏水が認められる場合は、急結止水材にてシールする。

(c) 注入孔のパイプ①から注入を行い、注入区間の反対側の孔（排出孔）のパイプ①および注入孔のパイプ②③からの注入材の流出を確認して閉栓する。そのまま3~5kgf/cm²の注入圧をしばらく保持し、圧力漏れがないことを確認して注入パイプ①を閉栓し、注入を完了する。

5. 補修による自然電位の変化

5.1 補修前の自然電位

図-2にけた腹部のひび割れ状況と自然電位分布を示す。No. 3シーす上のひび割れ上で特に等電位線の間隔が狭くなっている。自然電位の絶対値はコンクリートの品質や測定時の水分含有量などの状態によって影響を受けるが、最も電位の低い部分は周辺部と比べて250mV以上卑となっており、鋼材の腐食が発生していることが予測された。この部分のコンクリートをはつ

り、内部を観察したところ写真-6に示すような腐食状況となっていた。

5.2 補修後の自然電位

補修1年後と2年後の電位分布を図-3と4に各々示す。電位の絶対値は貴へ移行し、全体的に電位差も少ない。この自然電位の変化が補修により内部の鋼材が不動態化したことによるのか、補修によってコンクリートの状態が急激に変化したことによる一時的なものか、今後継続調査を行う。

6. まとめ

本事例は、架設時のグラウトの充填不足あるいは低品質のグラウトの使用によるシース内部の空洞・空隙という欠陥に、気象条件などの環境因子が作用してひび割れ、鋼材の腐食といった劣化が発生したものである。北海道では、これと同様の劣化・損傷事例が過去にも数例報告されているが、グラウト不良とこれに起因する劣化現象を早期に発見、診断する技術が確立されていないため、竣工後かなりの期間を経て劣化が顕在化するまで見過ごされてきたのが現状である。

本橋では、今後の供用年数を考慮すると長期間に亘って効果が期待できる補修を行う

必要があったことから、シースへのグラウト再注入という方法を採用した。しかし、この方法による施工事例は少なく、一部グラウトが充填されている箇所への再注入という困難な面もあったが、実験により材料と施工方法を決定したことで適切な補修を施すことができた。補修効果の確認と再劣化を監視する目的で自然電位分布の調査を行ってきた結果、現時点では問題はないが、今後さらに調査を継続する必要があると考える。

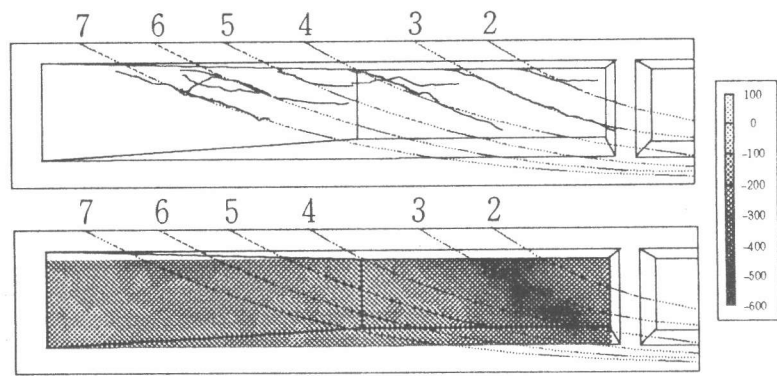


図-2 主げた表面のひび割れと補修前の自然電位分布

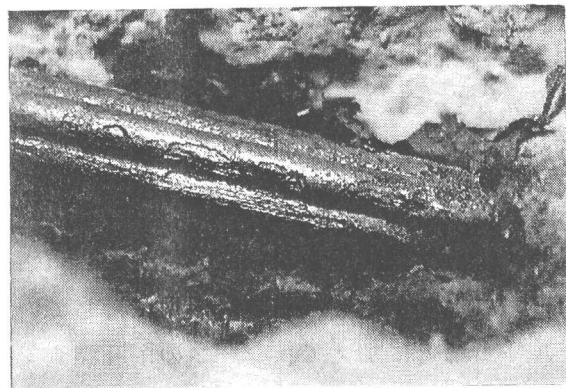


写真-6 PC鋼線の腐食状況

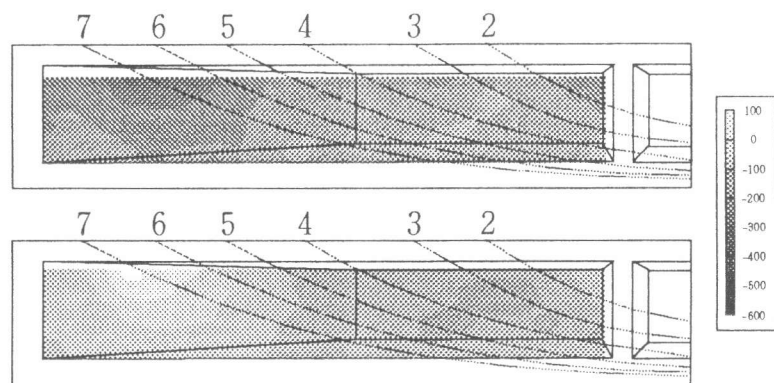


図-3 補修1年後（上図）と2年後（下図）の自然電位分布