

高圧注入による漏水止水工法とその適用

瀬野康弘¹・井出進一²・佐藤隆³・吉尾光正⁴

¹正会員 東急建設株式会社 技術研究所土木研究室（〒229-1124 神奈川県相模原市田名3062-1）

² 東急建設株式会社 横浜支店土木部（〒220-6219 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-5）

³ 日本化薬パッサー株式会社（〒202-0023 東京都西東京市新町5-9-15）

⁴ 株式会社日本化学研究所（〒104-0031 東京都中央区京橋1-6-13）

土木RC構造物の耐久性のひとつに漏水問題がある。筆者等は、漏水止水工法の確立を目指して高圧でも注入止水可能な方法に着目し、その適用性の検討を行ってきた。検討した止水工法は、構造物内部の漏水欠陥に向けて削孔した注入孔から疎水性の発泡ウレタン樹脂をピストン式ポンプで注入する工法である。

本論文では、RC構造物中の漏水・注入経路を確認した実験、本工法で注入した場合に構造物に与える影響について検討した実験、地下構造物に適用し注入圧を測定した事例などについて報告する。

キーワード：RC構造物，耐久性，維持管理，漏水，注入止水工法，ウレタン樹脂

1. はじめに

構造物のスクラップアンドビルドの時代からストックメンテナンスの時代に世の中の状況が変化し、特に公共資産である土木構造物では、耐久性向上技術や維持管理技術の開発・確立が重要な課題となってきた。すなわち、コンクリート構造物の調査・診断技術とともに構造物の延命化を図る補修・補強技術の開発・確立が急務となっている。

土木RC構造物の耐久性のひとつに漏水問題があげられる。漏水は鉄筋の腐食のみならず、セメント水和物の溶出¹⁾を引き起こし、構造物の耐久性にとっては重要な問題である。しかし、塩害等の劣化に対する補修に比べ、止水工法の重要性は、認知されつつも決定的なものがなく、半ばあきらめムードの傾向があるような気がしてならない。

筆者等は、止水工法の確立を目指し、ウレタン樹脂を高圧でも注入可能な方法に着目し、その適用性の検討を行ってきた。

本論文では、RC構造物中の漏水経路および注入経路を確認した実験、止水材料が高圧で注入された場合に構造物へ与える影響の程度を検討した実験、実際の地下構造物に適用し注入圧を測定した事例などについて報告する。

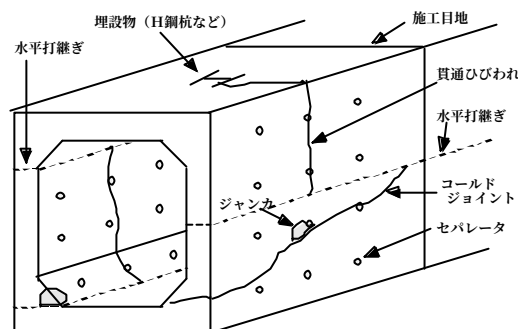


図-1 RCボックスカルバートの漏水欠陥

2. RC構造物の漏水欠陥

土木工事で施工されるボックスカルバートのような大断面を有するRC構造物に発生した漏水を対象とする効果的な止水方法は、現在のところほとんど確立されていないと思われる。すなわち、これまでの止水工法では漏水の出口近傍を塞ぐものが主流であり、この方法では漏水経路を完全に遮断することができず、止水後新たな箇所から漏水が生じる現象(二次漏水)が見受けられることがある。この理由としては、漏水箇所は最も通過しやすい経路(欠陥)を経た後の水の出口であるため、その出口が塞がれても、水は次に通過しやすい経路を経由して別の出口から漏出するためであると考えられる。したがって、構造物に存在する漏水経路となり得る欠陥を知り、その経路を塞ぐことによって有効な止水

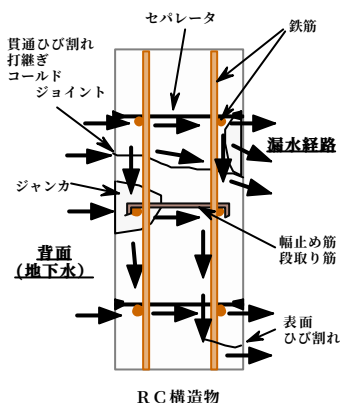


図-2 RC構造物断面内の漏水経路

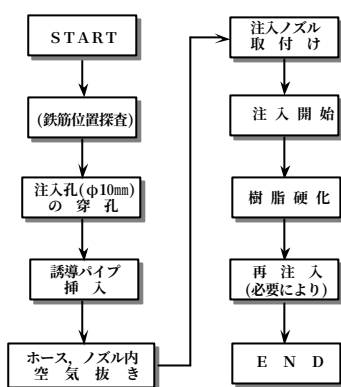


図-3 施工(注入)フロー

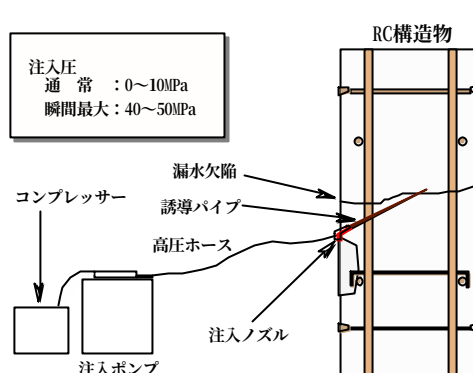


図-4 注入システムの概要

表-1 使用した止水材料

	主 剤	反応促進剤
外 観	褐色透明液体	淡黄色透明液体
比重 (d_{4}^{25})	1.076~1.096	0.940~0.960
粘度 (cps/25°C)	40~60	10~20
構成成分	7-ジアリール酸系可塑性+低毒性MDI (ジフェニルメタンジイソシアネート) + 無毒性ポリオール反応物	7-ジアリール酸系可塑性+低毒性アミン化合物

注1) 標準混合比は、主剤：反応促進剤=12.5：1(容積比)

注2) 混合液(システム液)の自由発泡倍率は約10倍。

が可能になると思われる。

これまで考えられていた漏水経路としては、図-1に示すような、①貫通ひび割れ、②打継ぎ部、③コールドジョイントなどの施工不良箇所、④セパレータや貫通鋼材等のように構造物を貫通する連続した埋設物周りの空隙が挙げられる。

しかし、上記以外の漏水経路としてコンクリート打設後のブリーディングや沈下によって生じる水平鉄筋下部の空隙²⁾や、鉛直鉄筋に沿ったブリーディングによる空隙も漏水経路(水みち)になる可能性があり、仮に鉄筋に達する表面ひび割れやジャンカが存在するとすれば、図-2に示すような経路で漏水することが予想される。すなわち、コンクリート内部に連続した異物(鉄筋、セパレータ等)が存在し、コンクリート打設にブリーディングや沈下が伴い、乾燥収縮等による表面ひび割れ等が生じる限り、漏水の経路はRC構造物内の至るところに存在すると考えられる。

3. 止水工法の概要

検討した止水工法は、構造物内部の漏水欠陥に向けて削孔した注入孔(φ10mm)に誘導パイプを挿入し、エア駆動型のピストン式ポンプ(最大吐出量：250cc/min)を用いて、注入ノズル、誘導パイプを経由させ疎水性の二液混合型発泡ウレタン樹脂を構造物内部の漏水欠陥に注入する工法である。止水材料や構造物内部の滞留水が構造

物表面に漏出するのを確認しながら注入箇所を決め、場合によっては再注入を行い、構造物内部から順次漏水欠陥を塞いでいく事に特徴がある。

本工法では、構造物の内部から止水を行なうため、貫通ひび割れなどの漏水欠陥はもとより将来的に漏水経路となる恐れのある微細な欠陥にまで止水材料を充填することが可能となる。時として鉄筋そのものを止水材料の注入経路として利用することもある。そのため止水後の二次漏水による再補修も不要となる。また、Vカットやシーリングを行なわないため構造物の美観を損なうこともない。

注入圧はエア駆動のピストン式ポンプを使用しているため、漏水欠陥や注入の状況によって0~50MPa(0~500 kgf/cm²)の間で変化する。通常の漏水ひび割れの場合では0~10MPa程度の注入圧が生じる。

本工法による注入手順を図-3に、注入システムの概要を図-4に、使用した止水材料を表-1示す。

4. 注入経路および注入状況の確認

(1)実験概要

確認実験は、壁および床版厚500mm、長さ10mのほぼ実物大のボックスカルバート試験体を作製し、試験体に注入することにより行った。試験体の断面を図-5に示す。コンクリートはレディーミクストコンクリート(21-12-20, W/C=64.3%, C=255kg/m³, s/a=48.9%)を用い、下床版、壁、上床版の3回に分けて打設した。なおハンチを設けた壁2は壁高中央で打ち継いだ。また、壁1および上床版にはコールドジョイントやジャンカを故意に作製した。なお、標準水中養生を行なった圧縮強度管理供試体の4週強度は25N/mm²であった。

注入は、試験体を9ヶ月以上屋外に放置し乾燥収縮がある程度進んだ後に実施した。なお、注入時には上床版下面や壁面に乾燥収縮による表面ひび割れが数箇所発生していたが、貫通ひび割れは発生していなかった。また

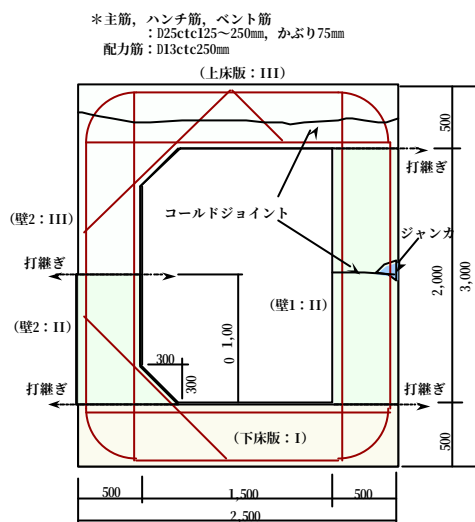


図-5 ボックスカルバート試験体

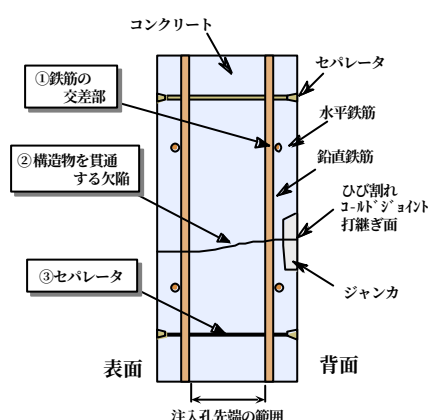


図-6 注入孔のパターン

ジャンカ部は注入前にモルタルにより補修した。

注入孔は図-6に示すように

- ①水平、鉛直、ハンチ筋などの鉄筋の交差部
- ②ひび割れ、コールドジョイント、打継ぎ面などの構造物を貫通する欠陥
- ③構造物を貫通する埋設物

(本実験ではセパレータのみ)

の近傍に誘導パイプの先端が達するように削孔した。なお、注入に際しては、高圧が発生することも予想されることから、かぶりコンクリートを損傷する恐れがあると考えられたため、注入孔の先端はかぶりコンクリートよりも奥に収まるようにした。次に水を注入し、漏出を確認した後、顔料で着色したウレタン樹脂を注入した。

また、注入ノズルにセットした圧力計により注入圧の測定を行った。注入および測定の概要図を図-7に示す。

(2)注入状況

水を注入することにより生じた漏水は、ひび割れ、コールドジョイント、打継ぎ面、セパレータ部から見られたが、それ以外の箇所、すなわち目視確認可能な表面欠陥（従来考えられていた漏水欠陥）以外の箇所からも

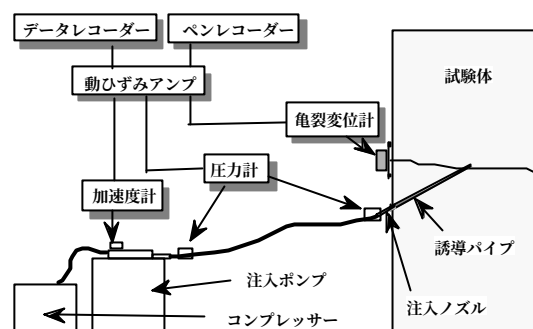


図-7 実験時の注入および測定概要

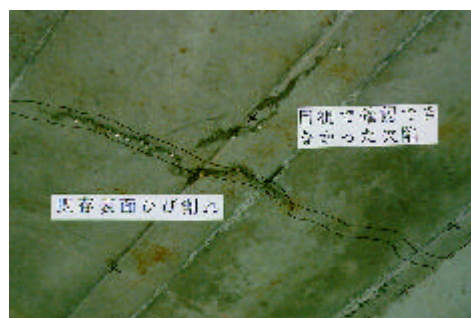


写真-1 潜在欠陥からの漏水状況

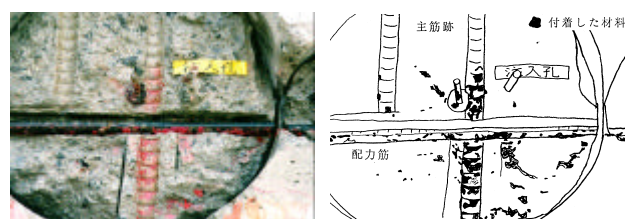


写真-2 注入された材料の試験体内部の状況

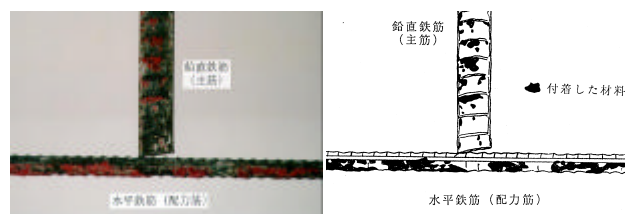


写真-3 鉄筋に付着した注入材料

漏水が認められ、目視では確認できないコンクリート内部の欠陥から水が表面に漏出することが確かめられた（写真-1参照）。このような潜在欠陥が二次漏水の経路および漏水の出口になると考えられる。

写真-2は止水材料注入後、材料の漏出が認められた壁部（注入孔：セパレータ中央、削孔長250mm）のかぶりコンクリートをはつり落した後の状況である。これより材料が鉄筋に沿って注入されていることがわかる。写真-3は写真-2と同じ箇所から切り出した鉄筋の状況であるが、材料は水平鉄筋（配力筋）においては下部に、鉛直鉄筋（主筋）においては全周にわたり注入されていることがわかる。また鉛直鉄筋ではふしの下部に材料が多く集まっていることがわかる。これよりブリーディング等による空隙は、水平鉄筋下部^{2),3)}だけでなく鉛直鉄筋の周

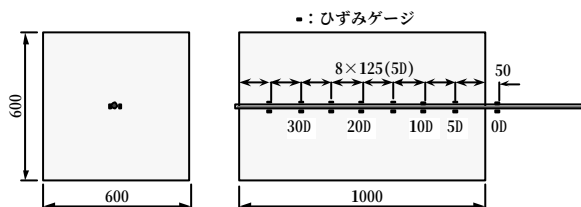


図-8 水平供試体

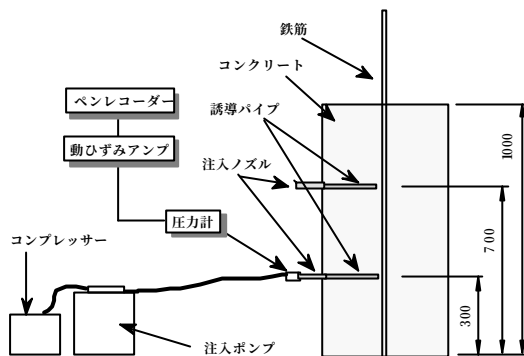


図-10 付着供試体への注入概要

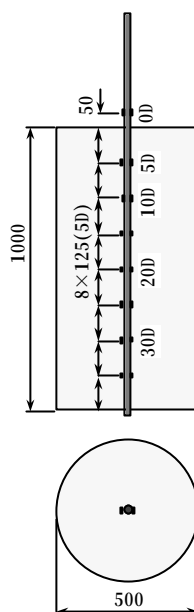


図-9 鉛直供試体

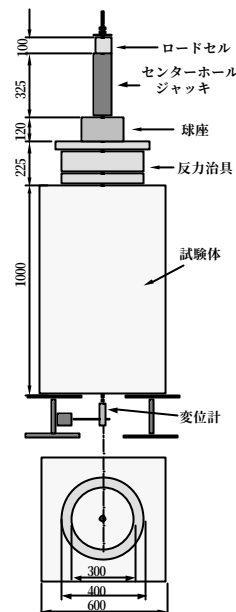


図-11 荷重試験装置

囲にも生じる場合のあることが確かめられた。なお、他の注入箇所においてもほぼ同様の現象が見られた。

また、充填されたウレタン樹脂の状態は、発泡体ではなく、硬い固化体であった。

5. 適用性の検討

先の確認実験においては、ボックスカルバート試験体から採取したコアより0.04mm以下の微細な空隙にも材料が充填されることも確認された。したがって、微細ひび割れのみならずセパレータや鉄筋周りにまで注入可能な本工法は、構造物内に存在する漏水経路および漏水経路となる潜在欠陥を塞ぐことが可能になり、高い止水効果が得られると思われる。

本工法では材料の注入時に高圧が発生することもあるため、かぶりコンクリートを損傷する恐れがあると思われる。しかし、ボックスカルバート試験体での注入時にかぶりコンクリートの浮きや剥落等の現象は認められず、ジャンカ補修部近傍での注入においても補修箇所の浮き・剥落等は認められなかった。この理由としては、注入経路内での圧力損失が大きいことが考えられる。

本工法を採用するに当たって確認しておくべき課題として鉄筋の付着力低下の問題がある。すなわち、本工法では高圧で止水材料を注入することもあるため、鉄筋とコンクリートの健全な付着を切って材料が入り込んで行くことが考えられ、この場合には、鉄筋の付着力が低下することが懸念される。

また、注入後の材料がコンクリート強度や接着強度に及ぼす影響も把握しておく必要がある。さらに、注入時

に発生する注入圧と注入量の把握も施工計画を立てるに当たって重要な項目である。

以下に、上記3課題について検討した結果について述べる。

(1) 付着強度試験

a) 試験概要

付着強度の試験(以下付着試験)法は土木学会に規定されている方法(JSCE-G503)等があるが、これらの方法では供試体寸法が小さいため、削孔を伴う本工法の適用が困難であることや、実規模レベルでの評価をする必要があると考え、今回の実験においては、マッシュな供試体を用いる山尾等の方法⁴⁾を参考にした。

供試体は、鉄筋を水平に1本配置したもの(図-8参照)と鉛直に1本配置したもの(図-9参照)をそれぞれ2体作製した。鉄筋には、あらかじめ5D(D:鉄筋径)の間隔で両面にひずみゲージ(ゲージ長:5mm)を貼付けたねじふし鉄筋(D25, SD345, 支圧面積係数5.2%)を使用した。コンクリートは、レディーミクストコンクリート(24-12-20, W/C=57%, C=288kg/m³, s/a=47.3%)を用いた。供試体はコンクリート打設後材齢1週まで湿空養生とし、その後は気中養生とした。ウレタン樹脂は、材齢2週以降に各供試体の1体に鉄筋手前まで削孔した2箇所の注入孔(図-10参照)から注入した。この時、注入ノズル手前での注入圧力は、注入開始直後に瞬間最大で約30MPaが測定されたが、材料が定常で注入されている状態では10MPa以下であった。

付着試験は材齢4週以降に実施した。載荷は、載荷端コンクリートの外側の鉄筋(0D)を対象に貼付けた2枚のひずみゲージの平均値によって荷重を制御し、0、

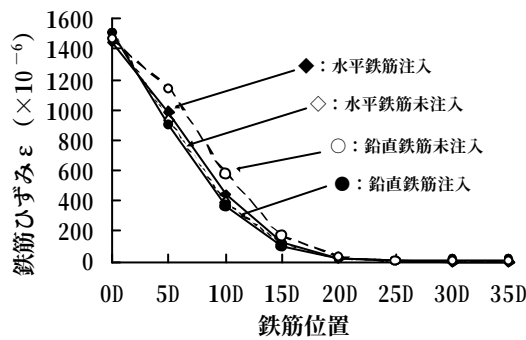


図-12 各付着試験体のひずみ分布

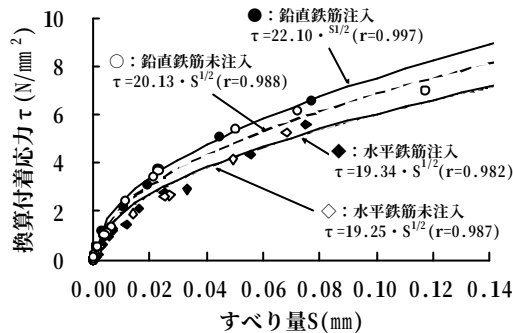


図-13 τ-S関係の比較(30N/mm²換算)

500, 1000, 1500 μ を目標にして、载荷・除荷を繰り返した。载荷試験装置の概要を図-11に示す。

なお、標準水中養生を行った圧縮強度管理供試体の4週強度は30N/mm²、付着供試体と同一条件で養生した圧縮強度用供試体の各付着試験時の圧縮強度は水平供試体試験時で31.1N/mm²、鉛直供試体試験時で25.2N/mm²であった。

b) 試験結果

付着試験終了後、供試体から鉄筋を取り出して材料の注入状況を観察したところ、注入材料が鉄筋に膜状に付着していた。また、水平鉄筋は鉄筋下部に、鉛直鉄筋はふしの下部に注入材料が多く付着していた。

付着応力の算出は、(1)式により行なった。

$$\tau = (E_s \cdot D / 4) \cdot (d\varepsilon / dx) \quad (1)$$

ここに τ : 付着応力

E_s : 鉄筋のヤング係数($E_s=194\text{kN/mm}^2$)

D : 鉄筋径(公称直径:25.4mm)

$d\varepsilon / dx$: ひずみ分布曲線の傾き

鉄筋に沿った任意の位置のすべり量(S)は、自由端から着目点までの鉄筋ひずみの積分値に自由端すべりを加えたものとして算出した、ただし、自由端でのすべり量の測定値はすべての供試体でゼロであった。0Dの位置の鉄筋ひずみがおよそ1500 μ の時の各供試体のひずみ分布を図-12に示す。

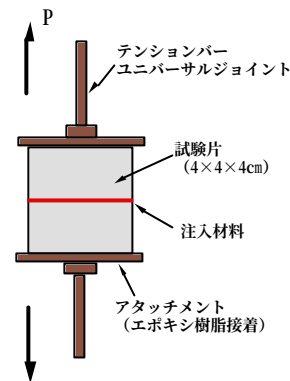


図-14 接着試験方法

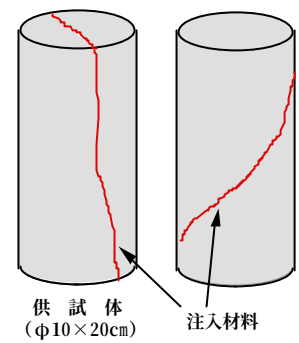


図-15 圧縮試験用供試体

図-13は水平供試体と鉛直供試体の圧縮強度を30 N/mm²に換算した場合の付着応力とすべり量の関係(τ-S関係)を示したものである。このとき、付着応力の換算は、既往の報告^{4),5)}より圧縮強度の2/3乗に比例するとした。なお5Dの位置での鉄筋ひずみは、载荷によるコンクリートのせん断破壊の影響を受けることから、データ整理においては、10D~35Dの6測点の値を用いた。また、図中には比較のため $\tau = \alpha \cdot S^{1/2}$ (α :係数)で回帰した曲線をあわせて示した。

図-13より高压注入により材料が鉄筋周りに注入されても、注入しない場合と同等以上の付着応力が得られ、高压注入による付着応力の低下がないことがわかる。これは、異径鉄筋の付着応力は、鉄筋のふしの支圧抵抗力の影響が強いことが主な理由と考えられる。また、従来から言われているように、水平鉄筋の付着応力は、鉛直鉄筋に比べて小さいことも確認できる。

(2) 接着・圧縮強度試験

a) 試験概要

接着強度および圧縮強度試験用の供試体は、先に報告したほぼ実物大のボックスカルバート試験体に注入を実施した箇所からコアを採取し、所定の大きさに整形して作製した。コアの採取は注入後約1ヶ月後に行ない、その後ただちに試験を実施した。また、一部の供試体については1年以上水中で保存した後、試験を行なった。

接着強度試験は、図-14に示すように注入部を含むように採取したコアを注入面が中央に位置するようにカッティングして供試体を作製し直接引張による方法で行なった。

圧縮強度試験は、材料が注入されたひび割れ部を含み、注入面が载荷面に対して平行にならないように採取したコアをカッティングして圧縮強度試験用の供試体(図-15)を作製し、JIS A 1107に準じて行なった。

なお、接着強度・圧縮強度とも比較のために材料が注入されていない箇所(健全部)からもコアを採取し、試験を実施した。ただし、健全部の接着強度は割裂試験(JIS A 1113)により引張強度を求め、注入部と比較した。

表-2 接着・圧縮強度試験結果

試験項目	試験時期	試験結果 ^(注1)	
		ひび割れ注入部	健全部 ^(注2)
接着強度 (N/mm ²)	注入1ヶ月後	0.5~2.2(1.1)	1.9~2.4(2.1)
	水中保存後	0.3~1.0(0.6)	2.0~2.5(2.2)
圧縮強度 (N/mm ²)	注入1ヶ月後	25.7~30.4(27.5)	25.3~28.2(27.0)
	水中保存後	29.3~32.7(30.8)	30.7~35.3(32.2)
弾性係数 (kN/mm ²)	注入1ヶ月後	20.5~24.7(23.2)	21.8~26.2(24.1)
	水中保存後	21.0~27.4(24.5)	26.4~29.2(27.5)

注1) 括弧内の数値は平均値 (n=3~4)
注2) 健全部の接着強度は、割製試験結果

b) 試験結果

表-2に試験結果をまとめて示す。

ひび割れ部での接着強度は母材コンクリートの引張強度の約1/2~1/4程度であった。コアリングやカッティングの影響、および注入材料が発泡ウレタン樹脂であることからひび割れ部での接着強度はほとんど期待できないと思われたが、予想以上に接着強度が得られていた。これは、ひび割れ面の凹凸部に材料が充填されたことによる物理的な引っ掛かりによる効果(アンカー効果)による影響が大きいこと、拘束された状態で硬化したウレタン樹脂が完全な自由発泡体でなかったことなどによるものと思われる。

圧縮強度に関しては材料が注入され、また、供試体在水中に浸漬されていても健全部(未注入部)のコンクリートとほぼ同等の強度が得られた。

(3) 注入圧および注入量の測定

a) ボックスカルバート試験体

実物大ボックスカルバート試験体への注入時に測定した注入圧と注入量の変化の状況を一例として図-16に示す。図中には、材料の漏出状況なども合わせて示した。なお注入孔は、ひび割れ近傍の上ハンチ壁内側主筋と上床版下側主筋交差部(削孔長400mm)をめがけて削孔している。

この図より以下のことがわかる。

- ①注入圧は注入開始時および注入速度上昇時に急増する。
- ②注入速度が一定であれば、注入圧はほとんど変化しない。
- ③材料が漏出した時に圧力は低下する傾向がある。
- ④圧力の最大値は約15MPaであった。

図-17は図-16と同じ注入箇所における注入時の表面ひび割れ幅の挙動を注入圧の変化の状況とあわせて示したものである。図によれば、注入材料の漏出によりひび割れは開くが、その開きは大きくなく0.015mm程度である。再注入時には注入圧の増加により再び同じ箇所から材料が漏出すると0.045mm程度まで開くが、注入を停止することにより、0.01mmほど閉じるようである。

結果的に表面ひび割れ幅はわずかながら大きくなる

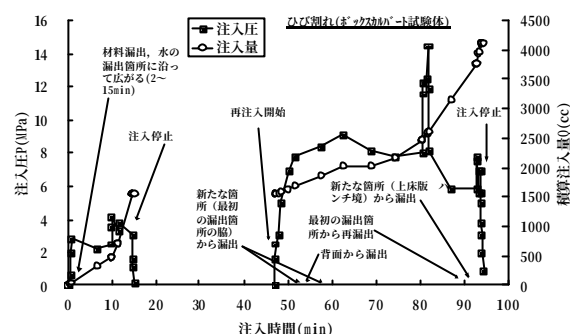


図-16 注入圧と注入量の変化の状況

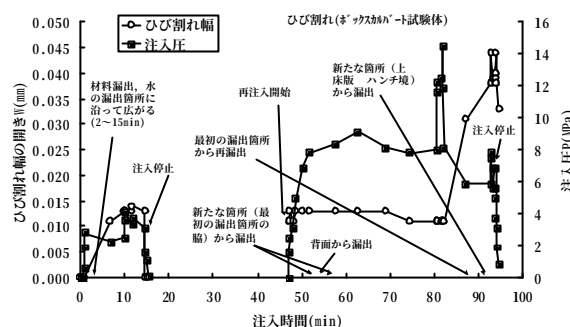


図-17 注入に伴う表面ひび割れ幅の変化

が、止水材料は完全に充填されており、接着強度もある程度期待できることから、本注入が構造物の耐力を損うほどの損傷を与えることはないと思われる。

b) 実構造物

図-18から図-21に実構造物(ボックスカルバート)において測定した注入圧と注入量の変化の状況を示す。ただし、漏水欠陥を止水するためには注入孔を何箇所も削孔するが、ここに示した図は1つの注入孔における測定結果の例で、総注入量は1つの漏水欠陥を止水するために要した材料の量ではない。

なお、注入圧・注入量の測定は、高圧がかかること、流量の被測定体がウレタン樹脂であることを考慮し、圧力計にはひずみゲージ式変換タイプの圧力計(バルコム社製)、流量計にはギアメータ式流量計(日本フローコントロール社製)、ロガーにはコンパクトで高速サンプリング可能なロガー(ジェイエムエス社製)を採用した。

図-18から図-20は、コンクリート打設後約1年経過した竣工前のボックスカルバート側壁に生じた漏水ひび割れ、および施工目地部に注入した場合の結果である。図-18および図-20の注入圧の経時変化図より注入開始時に10MPa前後の高圧が生じている事がわかる。また、図-19は再注入を翌日に実施した時の測定例であるが、再注入開始時に20MPaを超える高圧が生じている事がわかる。前者においては削孔によるコンクリートの切粉を、後者においては前日に注入され硬化した材料を新しい注入材料が押し除ける際に生じているも

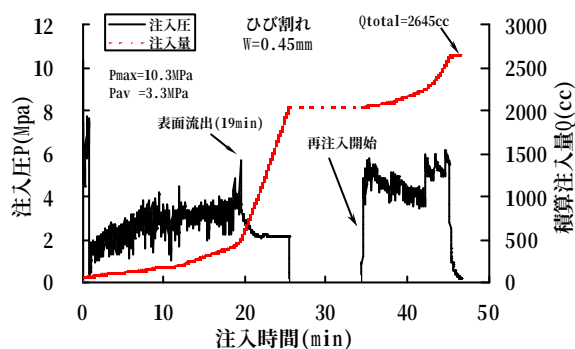


図-18 注入圧と注入量の変化（ひび割れ部）

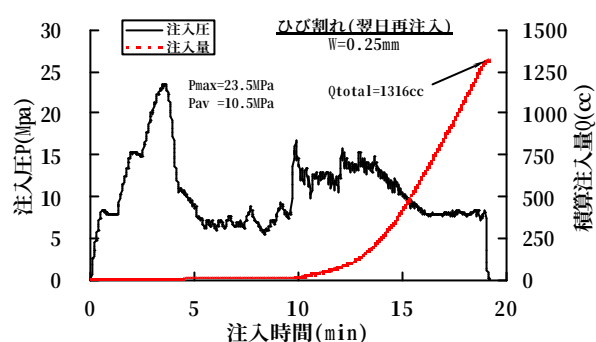


図-19 注入圧と注入量の変化（ひび割れ部再注入）

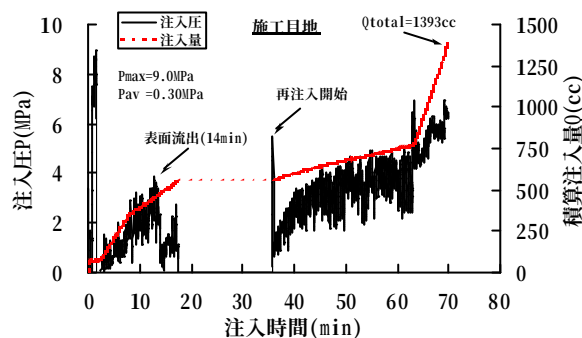


図-20 注入圧と注入量の変化（施工目地部）

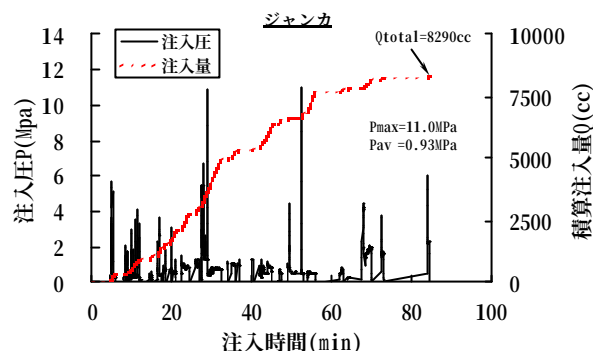


図-21 注入圧と注入量の変化（ジャンカ部）

のであると推察される。その後、材料が内部で圧力解放され漏水欠陥となっている空隙に注入され始めると注入圧は急激に低下する。次いで注入圧は徐々に高くなり（均衡を保ちながら注入されている状態）、ある時点で再び圧力が急激に低下する現象が生じる。これは表面に材料が出てくる時期とほぼ一致する。表面に材料が出てこないにもかかわらず注入圧が急激に低下する場合は、背面に材料が出ているか、構造物内部の別の漏水欠陥に材料が充填され始めたことを示唆していると考えられる。

なお、新設のボックスカルバート側壁で測定した圧力の平均値は5.4MPa、最大注入圧の平均値は13.8MPa、注入孔1箇所当りの平均注入量は1624ccであった（測定箇所数n=21）。

図-21は築後約30年を経過したボックスカルバート側壁にあるジャンカ部に注入した場合の結果である。この場合はひび割れや打継ぎとは異なり不規則な圧力挙動を示していることがわかる。また、注入量は他の漏水欠陥に比べかなり多くなっていることもわかる。

(4) 注入量に関する考察

エポキシ樹脂注入工法の中には、欠陥の容積イコール注入量として予測しているものもあるが、実際の漏水欠陥の容積を定量的に把握するのが困難であること、本工法に使用する材料が発泡性であること、漏水欠陥と交差する鉄筋やセパレータに沿ってできるわずかな間隙にも材料が充填されること、材料の流出状況を確認しながら

注入を管理することが本工法の特徴であることなどの理由により、理論的に注入量を予測するのは困難である。

仮に各漏水欠陥ごとあるいは構造物ごとにある係数を当てはめることができ、統計的に処理できるならば、注入に必要な材料の量を事前に予測することも可能と考えられる。そこで、注入量を各構造物諸元や漏水欠陥数量で除した値を注入量に関する係数と定義し（各係数については表-3および表-4を参照）、注入を実施した構造物のうちデータ収集ができた構造物（ボックスカルバート側壁）について注入量データの整理を行なった。

データ収集を行なった構造物は、①新設ボックスカルバート（コンクリート打設後1年、壁厚900mm）、②新設ボックスカルバート（コンクリート打設後1年、壁厚800mm）、③既設鉄道ボックスカルバート（竣工後約30年、壁厚500mm）、④新設電力ボックスカルバート（コンクリート打設後2年、壁厚300mm）の4構造物である。

整理結果を表-3および表-4に示す。また、構造物の部材厚（壁厚）や構造物の築造年数（またはコンクリート打設後の年数）と各係数の関係を図-22および図-23に示す。

これらの図表より以下のことがわかる。

i) 側壁長さに関する注入量係数(図の○印)は、新設ボックスカルバート①、②の値が新設ボックスカルバート④の値より大きくなっている。これは後者の漏水欠陥がひび割れだけであったのに対し、前者の注入量にはひび割れ以外の打継ぎ、ジャンカなどの漏水欠陥に注入した量が含まれているためと考えら

表-3 漏水欠陥単独で評価した場合の注入量分析結果

調査対象 構造物	築年数	漏水欠陥	単位当りの 注入量 ^{注1)}	単位壁厚当りの 注入量 ^{注2)}
ボックスカルバート 側壁（壁厚50cm）	約30年	ひび割れ	3.57(kg/m)	7.15(kg/m/m)
		打継ぎ	2.86(kg/m)	5.71(kg/m/m)
		ジャンカ	36.3(kg/m ²)	72.5(kg/m ² /m)
ボックスカルバート 側壁（壁厚30cm）	約2年	ひび割れ	2.17(kg/m)	7.25(kg/m/m)

注1) 注入量を漏水欠陥の長さ（面積）で除した値。総注入量/漏水欠陥延長（漏水欠陥表面積）
 注2) 単位当りの注入量を構造物の壁厚で除した値。総注入量/漏水欠陥断面総面積

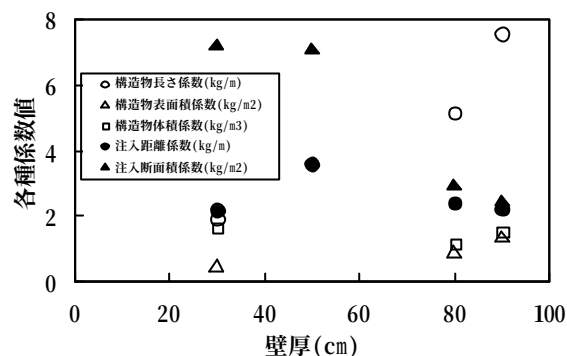


図-22 部材厚さと各種係数値の関係

れる。

- ii) 側壁表面積に関する注入量係数(図の△印)や、側壁体積に関する注入量係数(図の□印)には、構造物間では大きな相違が見られない。
- iii) 注入長さ(ひび割れ長さ・施工目地長さ)に関する注入量係数(図の●印)は、既設ボックスカルバート③が新設間もないボックスカルバート①、②、④に比べ、やや大きな値を示している。
- iv) 注入断面積に関する注入量係数(図の▲印)は、築造年数による影響は不明確であるが、壁厚の薄い構造物③、④の方が大きな値を示している。

以上より注入量に関する各係数は、構造物の築造年数や構造物部材厚さなどをパラメータとして評価できる可能性が示された。

一般的な土木構造物としては、注入距離係数として2～4kg/m程度の範囲内にあり、部材厚が薄く、築造年数の古い構造物ほど係数は大きくなるようである。

6. まとめ

本工法に関する一連の検討により、以下のことが確認された。

- ①高圧でも注入可能な本工法では、鉄筋やセパレータ周り、および将来漏経路となり得る潜在欠陥へのウレタン樹脂の充填注入が可能である。
- ②注入後の鉄筋の付着力やコンクリートの圧縮強度は、注入しない場合とほぼ同等以上であり、ひび割れ部の接着強度についてもある程度期待できる。

表-4 構造物(側壁)全体で評価した場合の注入量分析結果

注入量係数	構造物	①ボックスカルバート側壁（壁厚90cm） 打設後約1年	②ボックスカルバート側壁（壁厚80cm） 打設後約1年	③ボックスカルバート側壁（壁厚50cm） 築約30年	④ボックスカルバート側壁（壁厚30cm） 打設後約2年
		構造物長さ係数	構造物表面積係数	構造物体積係数	注入距離係数
構造物長さ係数	側壁単位長さ当りの注入量 総注入量/側壁延長(kg/m)	7.58	5.12	—	1.89
構造物表面積係数	側壁単位表面積当りの注入量 総注入量/側壁表面積(kg/m ²)	1.38	0.91	—	0.498
構造物体積係数	側壁単位体積当りの注入量 総注入量/側壁体積(kg/m ³)	1.53	1.14	—	1.66
注入距離係数	注入欠陥単位長さ当りの注入量 総注入量/注入延長(kg/m)	2.22	2.39	3.57	2.17
注入断面係数	注入欠陥単位断面当りの注入量 総注入量/注入断面積(kg/m ²)	2.46	2.98	7.15	7.25

注) ①、②は、すべての漏水欠陥含む。③、④は、漏水ひび割れのみ

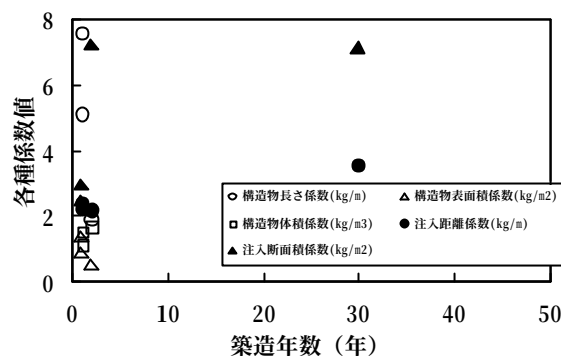


図-23 築造年数と各種係数値の関係

- ③注入時に高圧が発生しても構造物に重大な損傷を与えることはない。

- ④単位諸量当りの注入量は、部材厚が薄く、築造年数の古い構造物ほど多くなる傾向がある。

本注入止水工法の実績は100件を超え、GL-50mの立坑、プレキャスト製ボックスカルバートの一般接合部からの漏水に対しても適用可能なことが確認され、再補修もなく現在に至っている。本工法に補助的な工法を併用することで、さらに効果の高い止水や、適用範囲の拡大も期待できると考えている。最後に、本報告が、漏水で悩んでおられる方々の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 古澤靖彦:カルシウムの溶出によるコンクリート劣化とモデル化に関する研究動向, コンクリート工学 Vol.35, No.12, pp.29-32, 1997.12
- 2) T.U.Mohammed ほか: 耐久的なRC構造物とするための設計上の課題について, コンクリート工学 Vol.38, No.11, pp.36-41, 2000.11
- 3) 上村克郎ほか: 水平鉄筋下部空隙への樹脂注入方法に関する研究, 日本建築学会大会講演梗概集 A, pp.181-182, 1988.10
- 4) 山尾芳秀ほか: 付着応力-すべり関係に関する実験的研究, 土木学会論文集 第343号, pp.219-228, 1984.3
- 5) 島弘ほか: マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係, 土木学会論文集 第378号/V-6, pp.165-174, 1987.2