

ポリウレタンの発泡膨張圧によるコンクリートひび割れ部への注入充填性に関する研究

小 野 正
(技術研究所)
三 浦 寛
(建築本部)

§ 1. はじめに

近年、地下構造物が積極的に建設されており、この傾向は今後益々増加するものと考えられる。この地下構造物の建設に当たっては、念入りなコンクリート工事によって漏水の生じないコンクリート構造物を目指しているが、構造物の大規模化あるいはコンクリートの性質および施工方法などから、ひび割れ、打ち継ぎおよび貫通管廻りの隙間などの不連続部の発生は避け難い問題である。これらの不連続部からの漏水を防止するために、新築工事ではメンブレン防水、打ち継ぎ部の止水処理および防水コンクリートの打設などの防水措置が施されているが、地下防水は施工環境および使用環境の条件が厳しく、漏水故障が少なくない。この補修対策として、従来では排水パイプと急結セメントによる止水、排水樋・排水溝の設置による対策などが行なわれていたが、信頼性、耐久性、施工性、美観および経済性などの点で必ずしも充分ではない。また、地下構造物の漏水部は湿潤で、水圧が作用しているために、止水材料の接着および硬化の面で極めて過酷な使用条件である。これが、簡便でかつ確実な補修材料・工法の確立が強く望まれていながら、その技術確立を阻んでいる大きな理由となっている。

このような背景から、筆者らは1液型水架橋ポリウレタン(以下、ポリウレタンと略す)を用いた止水工法(通称:ピングラウト工法)を開発した¹⁾。本研究は、当工法のコンクリート構造物のひび割れ部への注入充填性状を明らかにすることを意図して行なったものである。

§ 2. 研究の目的

2.1 本研究の目的

本研究で取り上げた止水工法の原理は、イソシアネートが水と反応してポリウレタンになってゆく化学反応の過程で炭酸ガスを出して発泡するが、このときの発泡膨

張圧を利用し、漏水経路となっているコンクリートひび割れ部などにポリウレタンを注入充填して止水するものである。

この止水工法が実地の使用で止水性能を発揮するにはまず、ポリウレタンの発泡膨張圧によって漏水経路となっているひび割れに注入充填でき、そこで湿潤コンクリート面と良く接着し、水密性を回復させる必要がある。さらに、長期間の使用環境条件に耐えて水密性を維持する耐久性が備わっていなければならない。しかし、当止水工法は従来にない新しい発想に基づいた開発間もないものであり、このような性能が適切に把握されている訳ではない。特に、地下構造物の多様な漏水現象を的確に止水するためには、注入充填性に及ぼす諸要因の影響を適切に把握する研究は重要な意味を持っている。

筆者らは、当止水工法の諸性能を的確に把握する観点から研究を進めてきた²⁾³⁾⁴⁾。本研究は、ポリウレタンの発泡膨張圧を樹脂注入の充填圧力に利用した止水工法の注入充填性を重点的に検討するとともに、水密回復性および湿潤コンクリートとの接着性も併せて検討することを目的としたものである。

2.2 既往の研究

地下階の漏水部の止水工法、あるいは止水材を取り上げた研究は非常に少なく、幾つかの研究があるに過ぎない。伊沢、迫らは珪酸カルシウムゲルで止水する工法について、人工的にコンクリート水槽に亀裂・豆板・打ち継ぎ等を設けて試験し、経時的な漏水量の変化を実測した結果から、止水効果を明らかにしている⁵⁾。一方、上村、小西、橋高、小林らは、コンクリートひび割れ部へのエポキシ樹脂注入工法の充填程度に影響を及ぼすひび割れ幅、注入圧、樹脂粘度について実験的に検討し、樹脂の注入速度とひび割れ幅、注入圧、樹脂粘度との関係を明らかにしている⁶⁾。しかし、いずれも人為的に注入圧を付与したり、ポリウレタン以外の止水材および補修材を用いており、ポリウレタンが漏水部の水と反応して

発泡するときの膨張圧で樹脂注入するものではない。また、寺内、桜本らはコンクリート打ち継ぎ部に3種類の止水材を装填し、最大5 kgf/cm²の水圧で水密試験を行なって漏水量を測定し、止水板の種類によって止水性能に著しい差が生じることを指摘している⁷⁾。しかし、この止水板による止水工法は、新築工事に適した工法であり、漏水の補修工法としては不適当である。

このように、即往の研究においてポリウレタン自身の発泡膨張圧で樹脂注入する止水工法の注入充填性、あるいは施工後の水密回復性などを検討するのに参考になる研究例は殆どない。

2.3 本研究の項目

地下構造物の漏水故障は幾多となくあるにもかかわらず、その止水技術に係わる研究が立ち遅れている。その理由として、このような部位では常時水がしみ出てくる被圧水下の漏水であり、まず使用環境が苛酷であるために材料・工法の研究開発を半ばあきらめていることが考えられるが、同時に止水工法の性能を的確に評価する試験方法が確立していないことがあり、このために研究が遅れているものと考ええる。特に、ポリウレタンの発泡膨張圧を利用した止水工法の注入充填性および水密回復性を検討する上で参考になる研究例が殆どない背後には、様々な止水工法の注入充填性および水密回復性を一貫して性能評価する試験方法が確立していないことが大きな理由になっていると考える。

このような背景から、筆者らは注入充填性状を目視確認しながら試験できる「板ガラス間の隙間を利用した注入充填試験」と、実地の地下構造物の止水工事条件を模した「被圧水コンクリートひび割れ部の注入施工試験」について実施することにした。この2種類の試験における研究項目は、以下のとおりである。

(1)板ガラス間の隙間を利用した注入充填試験

- a) 発泡膨張圧による注入充填の基本パターンの把握
- b) 試作注入試験装置による注入充填試験の実施
- c) 板ガラス間の隙間を利用した注入試験方法の提案

(2)被圧水コンクリートひび割れ部への注入施工試験

- a) 被圧水下における施工性の調査
- b) 被圧水下での充填性、水密回復性および湿潤面への接着性の調査
- c) 板ガラス製試作装置とコンクリート試験体の結果の比較
- d) 被圧水下における性能確認方法の提案

§ 3. 板ガラス間の隙間を利用した注入充填試験

3.1 試験の目的

コンクリート構造物のひび割れに相当する隙間を重ね合わせた板ガラスの間に作り、注入充填状況が目視確認できるようにするとともに、隙間幅の調整および発泡膨張圧の測定ができるような注入充填装置を試作して注入充填試験を行なった。

当工法の注入充填性に及ぼす条件として、水とポリウレタンの混合状態、隙間幅および流水などが考えられ、試験ではこれらの条件の影響を確認することを目的にした。

3.2 試験計画

3.2.1 試験材料

試験に用いた止水材料は、ポリエーテルと芳香族ポリイソシアネートを主原料とし、分子末端にイソシアネート基を有する1成分水架橋型のポリウレタンである。ポリウレタンの主要な性状を表-1に、またポリウレタン発泡体の基本的性質を表-2に示す。

3.2.2 注入試験装置の試作

試作した注入試験装置の構成例を、図-1および写真-1に示す。この装置は、注入充填状況が目視確認でき

項 目	性 質
外 観	暗褐色液体
粘 度 (25℃)	2,500~3,000(cPS)
比 重	1.15
アミン当量	225~245
発泡開始時間(20℃)*)	2~20(分)
消 防 法	危険物第4種第4石油類

*) 2分: 水とポリウレタンを攪拌した場合
20分: 水とポリウレタンを攪拌しない場合

表-1 ポリウレタンの基本的性質

項 目	性 質*)
発泡体のみかけ密度	0.08 (g/cm ³)
独立気泡率	81.9 (%)
圧 縮 強 さ	2.95 (kgf/cm ²)
曲 げ 強 さ	6.53 (kgf/cm ²)
引 張 り 強 さ	7.12 (kgf/cm ²)
吸 水 率	0.30 (%)

*) ポリウレタンと水の反応基の割合(NCO/OH)をほぼ1に設定した場合のポリウレタンと水の混合比100:4.4のデータ

表-2 ポリウレタン発泡体の基本的性質

るように厚さ15mm、幅320mm、長さ1,000mmの透明板ガラス3枚の間に、指定の隙間幅になるようにスペーサを挟み込んだ透明なポリエステルチューブを入れ、板ガラスの上下にL型およびC型アルミニウム合金押出材を当てて固定したものである。ポリエステルチューブの一端には、試験用のポリウレタンをセットして固定する治具、発泡膨張圧を測定する圧力センサ（超小型圧力変換器PS-M260：株式会社電業）およびその記録計を備え、他端は水頭が作れるようになっている。

3.2.3 試験条件

注入充填性に及ぼすポリウレタンと水の混合状態、隙間幅および流水の影響を調べるために、表3の試験条件によって注入充填試験を実施した。



図1 試験装置の構成

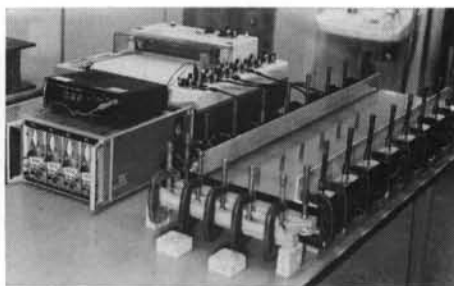


写真1 試験装置の外観

検討項目	水とポリウレタンの混合状態	隙間幅 (mm)	静水または流水**)	ポリウレタン量 (g)	背面圧 (mm Aq)
混合状態の影響	・混合	1	静水	70	150
	・ネット状ホース*)				
隙間幅の影響	・混合せず	1, 0.5	静水	120	150
	・混合せず	0.1, 0.05			
流水の影響	・混合せず	1	流水	120	150

*) 装置の閉塞側にセットしたネット状ホース内に実施工と同じくガンでポリウレタンを充填し、自然に混合した状態

**) 静水は、隙間内の水が動かない。流水は、50mmの開口から約0.8l/分の流れがある

表3 試験条件

3.2.4 試験方法

試験は、板ガラスに挟まれたポリエステルチューブの隙間に、指定の隙間幅が確保できる薄片のスペーサをセットし、水を充填してからC型クランプで固定した。一方のチューブ端にポリウレタンを入れて閉塞してから、他方のチューブ端に指定の背面圧になるように水頭を作り、時間の経過に従う閉塞側のポリウレタンの発泡膨張圧を測定するとともに、ポリウレタンの隙間内への注入充填状況の目視観察と充填深さの記録を行なった。

3.3 試験結果とその検討

3.3.1 注入充填状況の基本パターン

経時的なポリウレタンの隙間への広がり具合を示す等深線図の一例を図2に、また発泡膨張圧と注入充填深さの測定結果の一例を図3に示す。

ポリウレタンの注入充填のパターンは、まず局所的な発泡が進むことによって発泡膨張圧が発現し、それに伴い未反応なポリウレタンが隙間へ噴出し始める。次第に発泡膨張圧が上昇し、一段と噴出が激しくなる。発泡膨張圧は、数kgf/cm²～10数kgf/cm²まで上昇した後に横ばいとなり、その前後から噴出・停止を繰り返し、次第に停止時間を長くしながら注入充填を終結する。

3.3.2 ポリウレタンと水の混合状態と注入充填性

図4は、ポリウレタンと水の混合状態を変えた試験結果を経過時間と充填深さの関係で示したものである。ポリウレタンの注入充填が終結するまでの時間は混合し

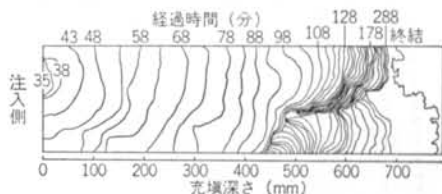


図2 注入充填の等深線図（隙間幅の影響の試験：隙間幅0.5mmの一例）

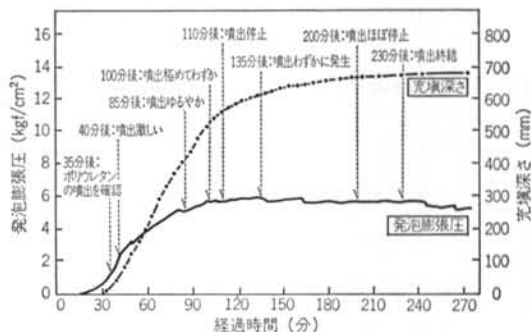
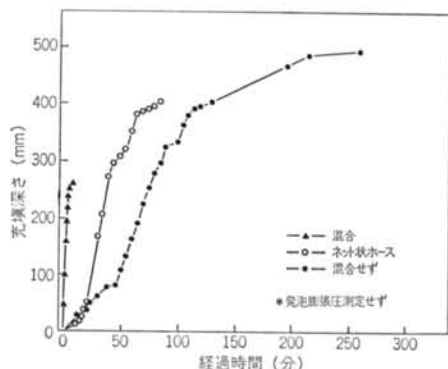


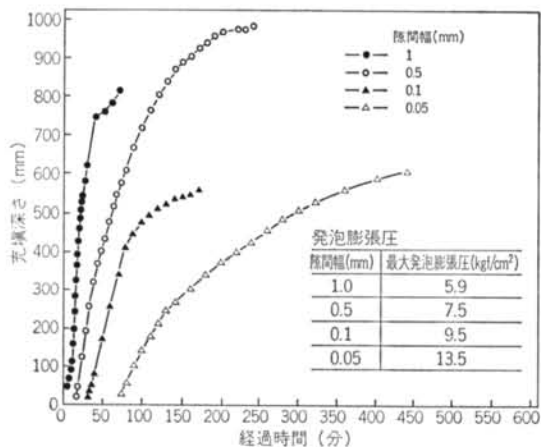
図3 経過時間と発泡膨張圧および充填深さの関係

た場合には早く、混合しない場合には長時間を要し、ネット状ホース内に充填した場合には両者の中間となる。また、充填深さは混合しない場合が最も深くまで充填され、混合した場合に最も浅く、ネット状ホースを使用した場合には前二者の中間である。これは、ポリウレタンと水の混合状態によって発泡・硬化の速度が異なり、良く混合するほど速くなり、注入充填が終結するまでの時間が短く、しかも充填は浅くなる。

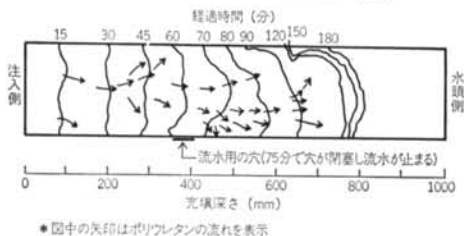
この結果から、ひび割れの隅々まで充填するには、時間を掛けてゆっくり充填する必要があると判断される。



図—4 経過時間と充填深さの関係（混合状態の影響）



図—5 経過時間と充填深さの関係（隙間幅の影響）



図—6 注入充填の等深線図（流水の影響）

3.3.3 隙間幅と注入充填性

図—5は、隙間幅の異なる試験結果の経過時間と充填深さの関係を示し、発泡膨張圧の最大値を併記したものである。

図から、隙間幅が狭くなるに従って大きな発泡膨張圧が必要となり、隙間内への充填開始まで、および充填終結までの時間が長くなる傾向にある。また、本試験条件においては0.05mm程度までの隙間幅ならば十分に充填できる。

3.3.4 流水と注入充填性

図—6は、ポリエステルチューブの一部に長さ50mmの穴をあけ、そこから約0.8 l/分の流水が生じるようにして行なった結果である。

図における等深線の傾斜を見る限り、穴付近の流水の激しい部分においても、他の部分と同じように注入充填されていることが分かる。

また、肉眼による観察では流水のためにポリウレタンが流失してしまうような現象は認められず、ポリウレタンが穴を閉塞した時点で穴からの漏水は止まり、その後ではポリウレタン自身が少しずつ漏洩は続けながらも、この影響を殆ど受けずに隙間内に充填できる。

これらのことから、0.8 l/分程度の局所的な流水が生じる状況下での注入充填も十分に可能である。

3.4 検討結果のまとめ

板ガラスを組み立てた試験装置を用いて注入充填試験を行ない、ポリウレタンの発泡膨張圧を注入圧とした止水工法の注入充填性について、本章で検討した結果を以下にまとめて示す。

(1)透視が可能で、かつ発泡膨張圧が測定できる透視型注入試験装置の試作によって、発泡膨張圧による注入充填の基本パターンが把握できた。

(2)ポリウレタンと水を良く混合した場合に比べ、全く混合しない場合の方が注入充填が終結するまでの時間が長く、しかも深くまで充填できる。

(3)隙間が狭くなるに従って大きな発泡膨張圧が必要となり、充填開始までおよび充填終結までの時間が長くなる傾向を示す。また、本試作装置では0.05mm程度までの隙間なら十分に注入充填できる。

(4)約0.8 l/分の流水下においても注入充填は可能である。

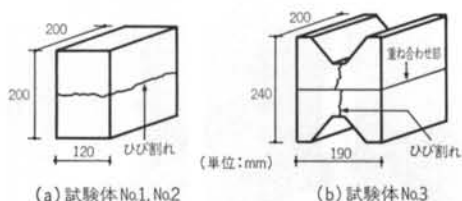
(5)試作した透視型注入試験装置は注入充填圧が測定でき、併せて止水材の注入充填状況が容易に目視確認できるので、種々の注入止水工法の注入充填性を検討する上で有効な試験方法である。

§ 4. 被圧水コンクリートひび割れ部の注入 施工試験

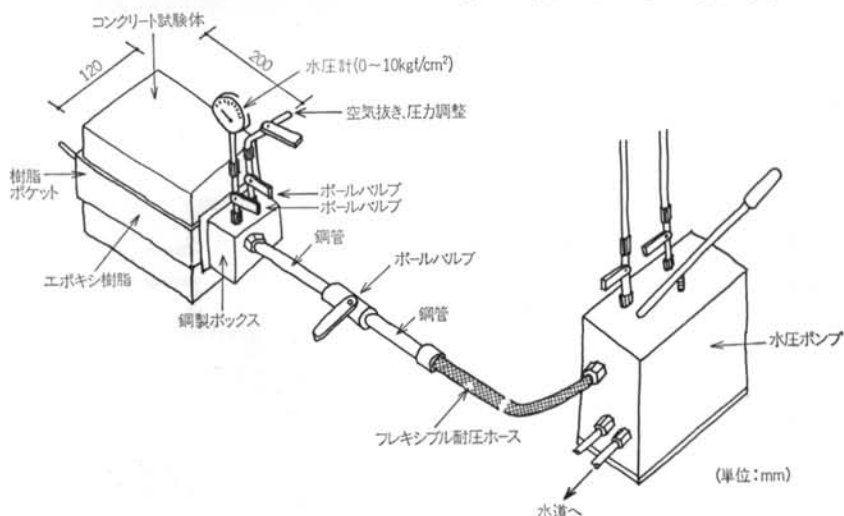
4.1 試験の目的

§ 3. では、板ガラスを用いた透視型注入試験装置を試作し、注入充填性に及ぼす諸要因の影響について検討した。このような試験的検討によって、ポリウレタンの発泡膨張圧による注入充填性状を明らかにすることができた。しかし、作用させた水圧が小さく、またコンクリートひび割れ部における施工性、水密回復性、充填性および湿潤面への接着性などの性能を試験することができない。一方、実地のコンクリート構造物においては、注入施工後の水密回復性、充填性および湿潤コンクリート面との接着性などを試験的に確認することが困難である。

このような状況にかんがみ、ここでは地下構造物などと同様に比較的大きな被圧水下で絶えず漏水しているコンクリートひび割れ部を作製し、標準的な施工方法で注入施工を行ない、被圧水下における注入施工性、注入後の水密回復性、ひび割れへの充填性および湿潤コンクリート面への接着性を確認することを目的とした。



図一七 ひび割れ部の注入試験に用いたコンクリート (単位: mm)



図一八 試験装置の構成

4.2 試験方法

4.2.1 試験に用いたコンクリート

試験に用いたコンクリートは、図一七に示すように中央にひび割れの入っているもの (No 1, No 2) とひび割れの入っているもの同士を重ね合わせたもの (No 3) の3体である。

4.2.2 試験装置

被圧水下での注入施工を行なうために、図一八に示すようにコンクリート試験体に水圧負荷装置を連結し、所定の水圧でひび割れ部から漏水させた。

4.2.3 試験の手順と方法

実地の止水工事の要領でコンクリート試験体の漏水部を止水した後、水密試験および引張接着試験などを実施した。これらの手順と方法を以下に示す。

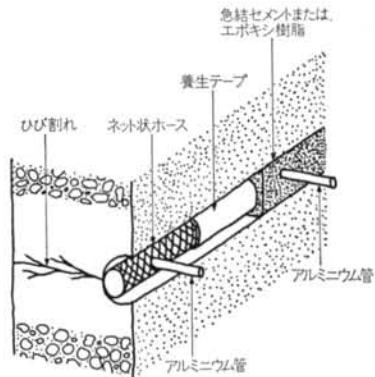
(1)試験準備：コンクリート試験体のひび割れ部に漏水を生じさせるために、所定の加工を加えた鋼製ボックスを接着固定するとともに、ポリウレタン注入面以外のひび割れをエポキシ樹脂でシールした。

(2)ひび割れ部の研り：漏水しているひび割れに沿ってコンクリートを幅約4cm、深さ約3cmの溝状に研り取った。

(3)注入施工前の漏水試験：0.5, 1.0, 1.5, 2.0kgf/cm²の各水圧で0.5～3分間のひび割れ部からの漏水量を測定し、ひび割れ部1cm幅の1分間当たりの漏水量 (ml/cm・min) を求めた。

(4)ポリウレタン注入空洞の作製：図一九および写真一に示すように、溝状に研り落とした部分に直径10mmのネット状ホースを設置し、そこにアルミニウム管 (1試験体に2本) を差し込んだ後、急結セメントで塞ぎ、さ

らにエポキシ樹脂を塗覆して補強した。これらの作業は $1.5 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ の水圧で、漏水している状況下で実施した。



図—9 ポリウレタン注入空洞の概略図



写真—2 試験体No.3の漏水下におけるポリウレタン注入空洞の作製状況

試験体No.	作製時	注入時	注入後
1	2.0	2.0	2.0
2	2.0	0	2.0
3	1.5	2.0	2.5

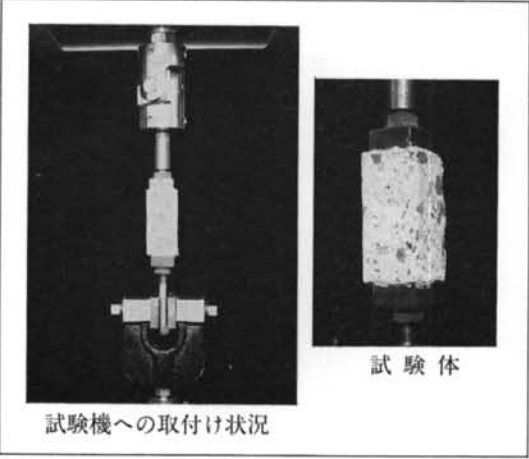
表—4 注入施工の各作業時の水圧 (単位: kgf/cm^2)

(5)ポリウレタンの注入施工：所定の圧力で漏水させながら、グリスポンプあるいはカートリッジガンを用いてポリウレタンを注入空洞に充填し、その後ポリウレタンの発泡反応が終結するのに要する数時間は、試験体の異常および所定水圧の負荷状態を監視した。その後、水圧を作用させている側の3個のボールバルブを閉め、注入施工を終了させた。なお、注入空洞の作製時、注入時および注入後の各段階における水圧を表—4に示す。

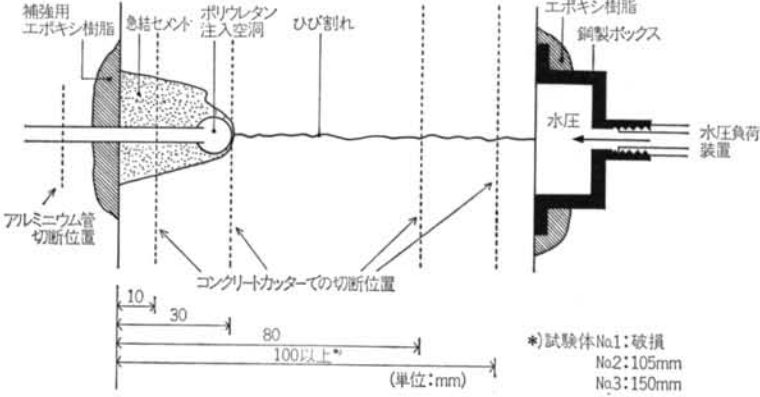
(6)施工後の水密試験：施工後3～5日経過してから、

要 因	条 件
水の圧力 (kgf/cm^2)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5
試験時間または漏水量の測定時間 (分)	漏水なし 5
	漏水量少ない場合 3
	漏水量中間の場合 1
	漏水量多い場合 0.5

表—5 注入施工後の水密試験の条件



写真—3 引張接着試験の状況



図—10 試験体を切断しながら水密試験を行なった位置

図—10に示すように、注入用アルミニウム管を切断した後、さらにコンクリート表面から10、30、80および100mm以上の各位置のコンクリートをコンクリートカッターで切断した後の各々の段階で、(3)の漏水試験と同様の方法によって、表—5の条件で水密回復性を調べた。

(7)注入充填状況の観察と引張接着試験：切断面の注入充填状況を確認し、充填されている場合は50倍に拡大してひび割れ幅を測定した。その後、写真—3のようにポリウレタン充填部が50×50mmになるような角柱に切断

試験体No. 水圧(kgf/cm ²)	1	2	3
0.5	0.9	50.0	58.5
1.0	1.9	75.6	98.9
1.5	3.1	93.7	124.9
2.0	4.6	109.9	*

(単位：ml/cm・min)

*：漏水量が多く、水圧が上がらないために中止した

表—6 注入施工前の漏水試験結果

施工の段階	試験体No. 1	試験体No. 2	試験体No. 3
漏水状況 [*]	ひび割れから水がしみ出す(少量)	ひび割れから水が吹き出す	ひび割れから水が吹き出す
ポリウレタン注入空洞の作製	水がしみ出していたが、急結セメントで樹脂ポケットの作製が支障なくできた	水が吹き出していたが、お湯で溶いた急結セメントで樹脂ポケットの作製が支障なくできた	同 左
補 強	エポキシ樹脂を急結セメントの上に塗り重ねて補強した	同 左	同 左
ポリウレタンの注入充填	漏水があったが注入充填は支障なくできた	注入充填は支障なくできた	漏水が激しかったので、アルミニウム管を閉じて漏水量を少なくして注入充填を行なった
注入充填後	約10分後に樹脂ポケットの端部が破損し漏水が生じたが、数時間後にポリウレタンが充填され漏水は停止した	外観上の異状は認められなかった	注入直後からひび割れ部で漏水がはじまる。この漏水は2時間30分程度経過した後に停止した

^{*}：表—6の漏水試験の結果を参照

表—7 注入施工の記録

し、精密万能試験機を用いて速度1mm/minで引張接着試験を行ない、接着強度および破壊状況を調べた。

4.3 試験結果とその検討

4.3.1 漏水試験の結果

注入施工前の漏水試験の結果を表—6に示す。試験結果の一例として、水圧1kgf/cm²における漏水量を見ると試験体No.1が1.9、No.2が75.6、No.3が98.9ml/cm・minであり、No.1に比べNo.2およびNo.3の漏水が激しかった。

4.3.2 注入施工性の検討

実地の被圧水下での止水工事を模した注入施工試験の記録は表—7のとおりであり、次の事項が確認できた。

(1)激しく漏水している状況下での注入施工の準備において、急結セメントを温水で練るなどの工夫によって支障なく実施することができる。

(2)2kgf/cm²程度の水圧が作用していてもポリウレタンの注入充填は可能である。

(3)注入充填後に生じている漏水は写真—4に示すようにポリウレタンが充填されることによって止水できる。

4.3.3 水密試験結果

注入施工後の水密試験の結果は表—8および表—9に示すとおりであり、次の事項が明らかである。

(1)No.1の試験体は、表面から10mmの位置のコンクリートを切断した時点で2.5kgf/cm²の水圧に耐えた。表面から30mmの位置を切断中に試験体は破損したが、ポリウレタンは深部まで充填されていた。

(2)No.2およびNo.3の試験体は、表面から80mmの位置のコンクリートを切断した後も2.5kgf/cm²の水圧に耐える水密性が確保できた。No.2の試験体は、105mmの位置を切断した時点で一部に未充填部が認められ、漏水が生じた。No.3の試験体は、表面から150mmの位置を切断した後の水密試験で、エポキシ樹脂シール部からわずかな水の浸出が確認されたが、ひび割れ部からの漏水は認め



写真—4 漏水部にポリウレタンが充填されて止水された状況

試験体 No.	水 圧 (kgf/cm ²)	各位置切断後の水密回復 結果					備 考
		ア 管 ル ミ ニ ウ ム 断	10mm	30mm	80mm	2mm	
1	0.5	○	○				試験体の破損 同左 同左 30mmの位置を切断のときに鉄筋に当たり、無理に切断しようとして試験体を破損してしまった
	1	○	○				
	1.5	○	○				
	2	○	○				
	2.5	○	○				
2	0.5	○	○	○	○	<105mm> 15.5	105mmの位置では1箇所未充填部があり、水が噴出した
	1	○	○	○	○	23.0	
	1.5	○	○	○	○	27.5	
	2	○	○	○	○	33.8	
	2.5	○	○	○	○	37.8	
3	0.5	○	○	○	○	<150mm> ①	—
	1	○	○	○	○	①	
	1.5	○	○	○	○	①	
	2	○	○	○	○	①	
	2.5	○	○	○	①	①0.004	

(注) ○印は漏水しないことを意味する
 ①印はエポキシ樹脂によるシール部から水の浸出が生じコンクリートの一部が濡れ色になったことを意味する
 表中の数値は漏水量 (ml/cm・min) を示す

表—8 注入施工後の水密試験の結果

切断位置 (mm)	10	30	80	150	150
水 圧 (kgf/cm ²)	2.5	2.5	2.5	1.0	2.5
水密試験 の状況					
結果	漏水なし	漏水なし	上部エポキシ樹脂 シール部から漏水 ひび割れからの 漏水はなし	同左	同左

表—9 注入施工後の水密試験の状況 (試験体No.3 の場合)

られなかった。

これらの結果から、2kgf/cm² 程度の水圧を伴って漏水しているひび割れ部に注入施工を行なっても、充分な水密性が確保できると判断される。

4.3.4 注入充填状況の観察結果

注入充填状況の写真とひび割れ幅の測定結果を対応させた代表例を、図—11～13に示す。これらの図から、以下の事項が考察できる。

(1)被圧水下で注入施工しても、ポリウレタンの発泡膨張圧によってひび割れの隅々まで良く充填され、0.03～0.06mm程度の狭いひび割れにも注入充填が可能である。漏水の生じうる最小ひび割れ幅は0.03～0.05mmといわれている⁸⁾⁹⁾が、このようなひび割れに注入充填することが可能と判断される。

(2)透視型注入試験装置で注入充填した最小の隙間幅(0.05mm)と、被圧水下コンクリート試験体で確認した微細なひび割れ幅(0.03～0.05mm)は一致している。したがって、試作した透視型注入試験装置によって注入充填性を試験的に検討することは有効であると判断される。

4.3.5 引張接着試験の結果

引張接着試験の結果を表—10に示す。表には参考までに、被圧水がない状態で注入施工した試験体の引張接着試験の結果を併記した。

被圧水が作用し、多量の水分がある中に注入充填されたポリウレタンとコンクリート面との接着性について考

察した結果は、以下のとおりである。

(1)ポリウレタンがコンクリート面から全面的に剝離して破壊したものではなく、大部分がコンクリートの母材破断であった。

(2)接着強度の平均値は、いずれの試験体とも 11kgf/cm^2 程度であった。中には kgf/cm^2 以下の小さな値も見られたが、これは図-11~13からも推察できるように、幅の狭いひび割れが複数入っていたためではないかと考える。

以上のように、多量の漏水がある被圧水下で施工した場合にも良好に接着しているが、これはポリウレタンが水架橋型のために、湿潤コンクリートとの接着が優れているためと推察される。

4.4 検討結果のまとめ

実地の止水工事を模した注入施工試験を実施し、絶えず漏水している箇所への施工性、水密性の回復、ひび割れ部への注入充填状況および湿潤コンクリートとの接着性について、検討した結果をまとめて以下に示す。

(1) 2kgf/cm^2 程度の水圧が作用し、激しく漏水している中でも注入施工の準備、ポリウレタンの注入充填は可能である。

(2)被圧水下で施工を行なっても、ポリウレタンの発泡膨張圧によって微細なひび割れの深部まで注入充填することができ、しかも湿潤コンクリートとも良く接着して水密性を回復できる。

(3)§ 3. と本章の注入充填結果とを対比すると、試作した透視型注入試験装置は注入充填性を試験的に検討する装置として有効である。

(4)被圧水下のコンクリート試験体を用いた本報の試験は、実地の施工では確認し難い水密性の定量的評価、注入充填状況の確認および接着性の測定などを一貫して実施することができ、注入止水工法の総合的な性能評価方法として有効である。

§ 5. おわりに

本研究は、ポリウレタンの発泡膨張圧を利用して樹脂注入する止水工法の注入充填性および水密回復性などを明らかにする目的で、試作した透視型注入試験装置を用いた注入充填試験および被圧水下で絶えず漏水しているコンクリート試験体への注入施工試験を行ない、試験方

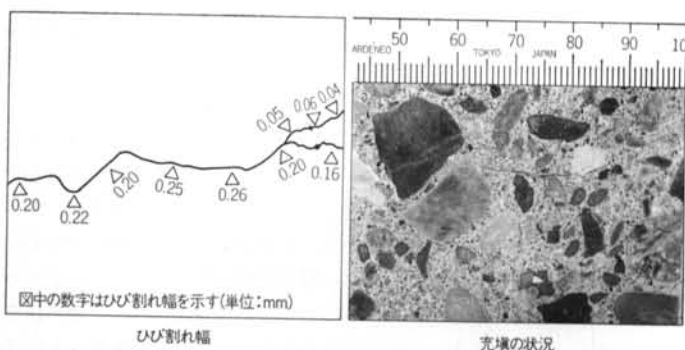


図-11 注入充填の状況(試験体No.2, 105mmの位置の切断面)

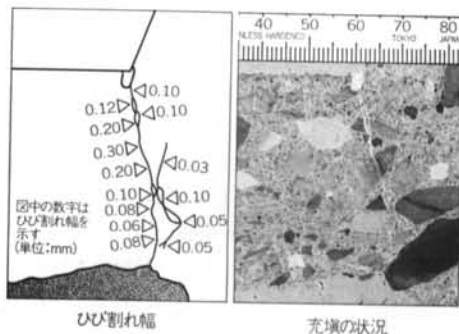


図-12 注入充填の状況(試験体No.3, 30mmの位置の切断面)

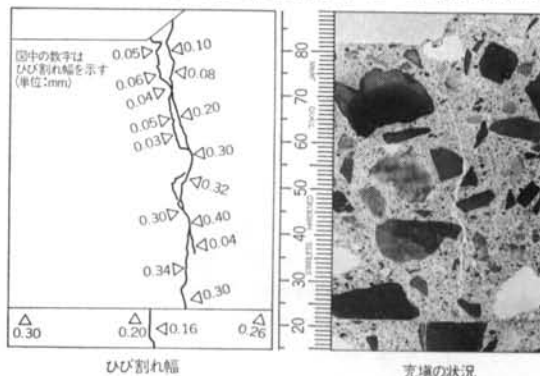


図-13 注入充填の状況(試験体No.3, 150mmの位置の切断面)

試験体No.	試験体数	引張強度 (kgf/cm^2)				破壊状況 ^{*)} (%)		備考
		最小値	最大値	平均値	標準偏差	A	B	
1	—	—	—	—	—	—	—	破損のため試験できず
2	3	1.3	17.6	11.70	9.03	95	5	—
3	5	3.4	16.0	11.04	6.66	99	1	—
参考	10	4.3	18.2	11.15	4.57	76	24	水圧なしで施工

^{*)} A: コンクリートの母材破断

B: ポリウレタン硬化物が露出した状態の破断

表-10 引張接着試験の結果

法の検討も含めて試験的研究を実施したものである。その結果、以下に示す事項を明らかにすることができた。

(1)注入充填状況が目視でき、ポリウレタンの発泡膨張圧が測定できる透視型注入試験装置の試作によって、発泡膨張圧による注入充填の基本パターンが把握できた(3.3.1参照)。

(2)発泡膨張圧による注入充填について、ポリウレタンと水の混合状態、隙間幅、および流水の影響を明らかにした(3.3.2~3.3.4参照)。

(3)被圧水下で激しく漏水している中でも注入施工の準備およびポリウレタンの注入施工ができる(3.3.2参照)。

(4)ポリウレタンの発泡膨張圧で微細なひび割れ(0.03~0.05mm)に注入充填でき、しかも湿潤コンクリートと良く接着し水密性が回復できる(4.3.3~4.3.5参照)。

(5)注入充填性を検討する装置として試作した透視型注入試験装置は、微細なひび割れへの注入充填の再現性もあり、有効である(3.4および4.3.4参照)。

(6)注入充填性以外の性能を含めた総合的な性能評価方法として、被圧水下のコンクリート試験体を用いた試験

は実地の施工では確認し難い水密回復性の定量的評価、注入充填性状の確認および接着性の測定などを一貫して実施することができ、有効である(4.4参照)。

なお、本研究ではポリウレタンの発泡膨張圧で樹脂注入する止水工法の注入充填性、水密回復性および湿潤コンクリートへの接着性について検討したものであり、長期使用時の耐久性あるいは他の止水工法の評価方法としての適応性の検討には及んでいない。これらの点の究明は今後の研究課題である。

謝辞 本研究は、ピングラウト工法が昭和62年度建設省技術評価制度「コンクリート構造物の漏水部止水工法の開発」の評価を受けるために、当社技術開発本部のプロジェクトとして進めてきた研究成果の一部である。本研究をまとめるに当たり、技術研究所の丸一俊雄工学博士から貴重な御助言を頂いた。また、本研究の試験では、建築本部技術部石川匡氏およびピングラウト協議会技術委員会の皆様の御協力を頂いた。末筆ながら、皆様に深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 沢出, 三浦: “ピングラウト工法—新しい考えにもとづく注入止水工法—” 施工 No. 258 (1987年4月)
- 2) 三浦, 沢出, 小野, 奈須, 荒木: “ポリウレタンの発泡圧によるコンクリートひび割れ部の止水工法(その1: 注入充填状況の可視化と2, 3の実験結果)” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1988年10月)
- 3) 三浦, 小野, 沢出, 奈須, 荒木: “ポリウレタンの発泡圧によるコンクリートひび割れ部の止水工法(その2: 漏水しているひび割れへの注入実験)” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1989年10月)
- 4) 小野, 沢出, 三浦: “ポリウレタン系止水材によるコンクリートひび割れ部の止水工法(その1: 注入充填性, 接着性及び水密性について)” 第43回セメント技術大会講演集(1989年)
- 5) 伊沢孝一, 迫 英介: “浸入水への薬液添加による地下外壁止水工法” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1988年10月)
- 6) 上村, 小西, 橋高, 小林: “鉄筋コンクリート造のひび割れ補修に関する研究(その1: 樹脂の注入程度の数式化)” 日本建築学会大会学術講演梗概集(1987年10月)
- 7) 寺内 伸, 桜本文敏: “止水板の止水性能に関する研究” 鹿島建設技術研究所年報 第35号(1987年)
- 8) 中西正俊: “きれつ発生に伴う諸問題(2)水密性・気密性の低下” 建築雑誌 Vol. 94, No. 1155 (1979年9月)
- 9) 日本建築学会編: “RC造ひび割れ対策指針案” 日本建築学会(1978年2月)