

既設地下構造物の漏水対策工法アクアカットの開発

小西 一寛 桜井 邦昭 須藤 賢
(本社土木本部)

小澤 郁夫 入矢 桂史郎
(本社土木本部)

Development of the “AQUA-CUT” Method for Forming an Exterior Waterproof Layer Outside of the Existing Underground Structures

Kazuhiro Konishi Kuniaki Sakurai Ken Sudo
Ikuro Ozawa Keishiro Iriya

Abstract

Recently, a method that injects inorganic material at high pressure into the crack where a water leak occurs has been widely used to repair water leaks in existing underground structures. However, because of age-related deterioration of the injection material and changes in the route of the water leak, leakage often reoccurs within several years. Therefore, it is necessary to develop a more effective waterproofing method. We developed an industrial method that forms a waterproof membrane outside the underground structure by injecting inorganic material from inside the underground structure and aiming the injection material toward the ground outside the structure. Next, to verify the applicability of this industrial method, we performed a full-scale injection experiment using a soil tank that simulated an excavation structure extending underground to a depth of 10 m. Our results confirm the following: (1) A 1.5-m² water-resistant layer can be formed outside the wall by injecting inorganic material at only one place. (2) Water leakage can be decreased to 1% or less by forming the water-resistant layer.

概要

現在、既設地下構造物の漏水対策には、漏水の生じているひび割れ箇所に対し高圧注入する工法が広く用いられている。しかし、注入材料の経年劣化や漏水経路の変化などにより、数年で漏水が再発する 경우가多く、効果的な止水工法の確立が求められている。そこで、地下構造物の内側から背面の地盤に向けて無機系注入材料を注入することで、構造物背面に防水膜を形成する工法を開発した。本工法の適用性を検証するために、地下10mの開削構造物を模擬した実物大の実験土槽を用い検証実験を行った。その結果、(1)1注入孔から壁外側に1.5m平方に防水膜を形成できること、(2)防水膜は、壁面からの漏水量を1/100以下に改善できることを確認した。

1. はじめに

これまで地下構造物の漏水は、止水することができなかったため、排水等のメンテナンス費用が継続的にかかるとともに、構造物の劣化を助長させてきた。一方低成長時代の中で、メンテナンス費用の低減や構造物の耐久性維持のために、地下漏水を減少させることが社会的なニーズとなっている。これまで地下構造物の漏水補修は、ひび割れ等の漏水箇所に直接、ウレタン系の注入材を高圧注入する工法等で行われてきたが、長期に渡り止水性を保持することは困難な場合が多かった。

そこで、Fig. 1に示すような開削地下構造物側壁のひび割れから漏水する地下壁背面に、無機系材料を注入しゲル化させることにより、地下壁と地盤の境界に注入（以下、界面注入と称す）し面状の界面注入体を形成して、外防水膜とするアクアカット工法を提案し、各種模型実験によってその有効性を確認した。特に実用性を検証す

るための実証実験では、コンクリート製大型土槽を作製し、内部の模型地盤は山砂を水締めにより作成し、注入材を側壁背面に低圧注入後にゲル化させることにより、



Fig. 1 アクアカット工法の適用概念
Image of the “AQUA-CUT” Method

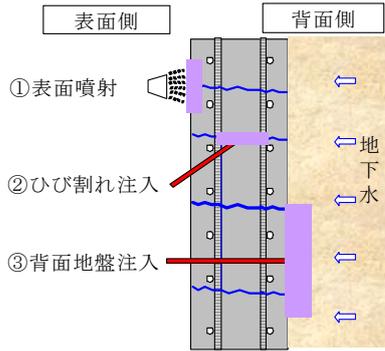


Fig. 2 既設地下構造物の止水方法の模式図
Waterproof Method for Established Underground Structure

界面注入体が側壁背面に広がり、高い止水性が得られることを確認した。

2. 外防水膜形成工法の提案

2.1 従来技術の課題

地下コンクリート構造物の漏水のうち99%以上は、ひび割れ等の止水欠陥から発生しており、漏水を止めるには、透水経路を構造物の①表面、②躯体内、③背面のいずれかで遮る必要がある。現在、既設地下構造物の止水方法として、①表面噴射、②ひび割れ注入、③背面地盤注入が考えられている。その模式図をFig. 2に示す。

これらの止水方法のうち、①の表面噴射方法は、予備試験を行い今回の試験条件では特に効果が得られなかった。②のひび割れに直接注入する方法は、一般的であるが以下のような課題がある。

- 1) 補修前、漏水箇所の特定が必要
- 2) 補修時、狭いひび割れに高圧注入しひび割れ幅が拡大
- 3) 補修後、背圧が上昇し周辺の潜在ひび割れから漏水
- 4) 経年後、膨潤性のウレタン系注入材料が劣化し再漏水

そこで、③の背面地盤注入方法^{1)~5)}により、透水経路上流側の構造物外側に外防水層を形成することを目的として、高さ1.0m×幅2.0m×奥行き0.6mの鋼製の中型土槽を用い予備注入試験を実施した。まず、地盤に浸透注入させるために、注入材は超微粒子セメントミルク⁶⁾を用い、注入孔から側壁背面と砂地盤の境界に、注入速度2L/分で20L注入した。その結果、Photo 1に示すように半球状の浸透注入体が形成されたが、湧水量は1/2~1/3にしか減少しなかった。その理由は、Fig. 3に示すように、注入体が凸凹で注入範囲が狭く一様でなく、かつ壁面に十分に密着していないためと考えられた。

2.2 新技術の提案

2.1の予備注入試験では浸透性の優れた注入材を用いたが、注入後短時間にゲル化することにより、Fig. 4に示すように、注入材は砂地盤に浸透することなく、壁背面を効率よく覆えるのではないかと考えた⁷⁾。

そこで、止水材の注入速度を2L/分とし、ゲルタイムを



Photo 1 半球状の浸透注入体
Hemispheroid Formed Infiltration Injection Method

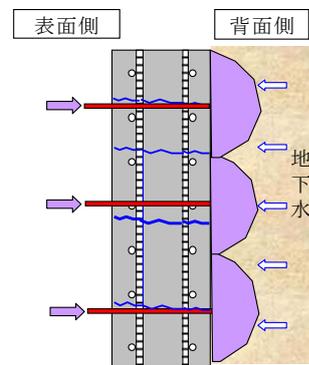


Fig. 3 浸透注入体による止水概念
Image of Waterproof by Infiltration Injection Method

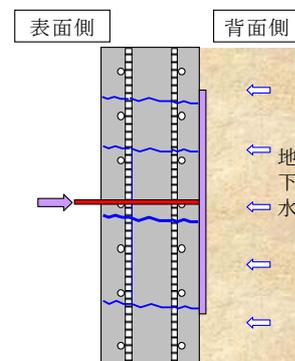


Fig. 4 界面注入体による止水概念
Image of Waterproof by Interface Injection Method

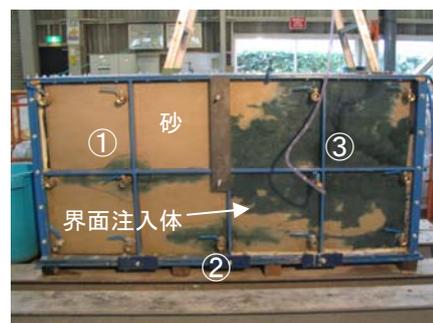


Photo 2 ゲルタイムの予備注入試験
Parameter Experiment for Gel-time

Table 1 中型注入試験の条件一覧
Examination Factor of Injection Test
Used Medium Soil Tank

ケース	壁面条件	土水圧条件	地盤条件	注入条件
1	アクリル板	無視	振動締固め	1回(2次)
2	コンクリート壁	無視	振動締固め	1回(2次)
3	コンクリート壁	考慮	振動締固め	1回(2次)
4	コンクリート壁	考慮	投入水締め	1回(2次)
5	コンクリート壁	考慮	投入水締め	1次+2次

Table 2 中型注入試験の注入材の配合
Mix Proportion of Injection Materials
for Injection Test Used Medium Soil Tank

	使用材料	1次注入	2次注入
A液 (0.5m ³)	超微粒子セメント	11kg	225kg
	セメント分散剤	0.34kg	6.75kg
	水	496kg	419kg
B液 (0.5m ³)	液体急硬材	285kg	285kg
	ゲルタイム調整剤	—	4.5kg
	水	250kg	248kg

パラメータとし160秒, 34秒, 10秒に変えて, 注入量を20Lとする注入試験を実施した。アクリル板背面に注入された状況を, Photo 2に示す。

ゲルタイム160秒の注入材は土槽左中段①から注入したが, アクリル板背面に広がらなかった。ゲルタイム34秒の注入材も土槽中央下段②から注入したが, アクリル板背面に広がらず, 注入は8Lで終了した。ところが, ゲルタイム10秒の注入材は土槽右中段③から注入し, アクリル板背面に徐々に広がるのが視認された。注入後に土砂を撤去して注入状況を観察した結果, ゲルタイム160秒と34秒の注入材は土砂に浸透注入ないし脈状注入していたのに対し, ゲルタイム10秒の注入材は深く浸透せず, 土砂とアクリル板間に界面注入体が形成されていた。

以上のように, ゲルタイム10秒程度の注入材を注入すると, 砂地盤に浸透せず, アクリル板背面に沿って注入されたことから, この注入材を漏水する壁の背面に注入することにより, 以下の特徴を持つ外防水膜を形成できると推定した。

- 1) 壁と地盤の境界に無機系材料を低圧で注入
- 2) 地下壁背面に密着して薄く広い注入体を形成
- 3) 止水欠陥を特定せず壁内側から背面に防水膜を被覆

3. 界面注入現象の確認試験

3.1 試験概要

最初に, 界面注入現象が生じることを視認するため, 最初に, 土槽の中央から注入して界面への広がりを目視可能なアクリル板を用いたケース1の注入試験を実施する。次に, 界面注入現象が現実に近い試験条件でも再現できることを確認するため, ケース2~5の試験を実施する。中型注入試験の試験条件一覧をTable 1に示す。

注入する中型土槽は高さ1.0m×幅2.0m×奥行き0.6mとし,

0.5mピッチの格子点に湧水量測定孔を設置した。注入材は, 注入直後にゲル化させA,B液を等量混合するものとした。注入材の配合をTable 2に示す。

3.2 鋼製土槽を用いた界面注入現象確認試験(ケース1)

3.2.1 試験目的 注入状況を目視可能なように, 注入面は透明で厚さ2cmのアクリル板とする中型鋼製土槽を用いて, ケース1の中型注入試験を実施した。

3.2.2 試験条件と試験結果 模型地盤は, 7号硅砂を厚さ5cm毎に敷均し振動締固める作業を繰り返し, 厚さ1mの模型地盤を作製後に, 底部から浸水した。土槽内の水位は模型地盤上面とし, 注入前後にアクリル板に設けた観測孔からの湧水量を測定した。

アクリル板の中央孔から, ゲルタイムを10秒, 注入速度を2L/分として注入材を注入した結果, Photo 3,4に示すように, 注入1分後にはアクリル板背面に界面状に広がり,



Photo 3 注入開始後1分が経過した注入試験(ケース1)
Situation of One Minute after the Injection Begins (case1)



Photo 4 注入開始後5分が経過した注入試験(ケース1)
Situation of Five Minutes after the Injection Begins (Case1)

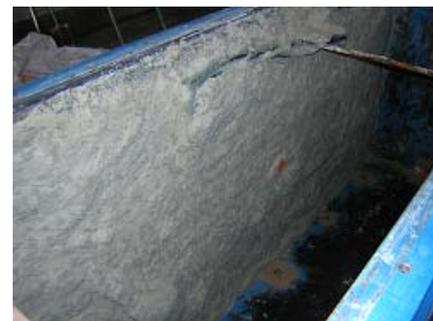


Photo 5 アクリル板背面の注入状況(ケース1)
Situation of Inside Soil Tank After Injection Ends (Case1)

10L注入された5分後には約1m²まで広がった。注入3日後に内部土砂を掘削した背面の注入状況を、Photo 5に示す。界面注入体は2.0m×1.0mの亚克力板背面と地盤間全体に広く形成されており、注入後の湧水量は、注入前と比較して数十分の一に減少した。

以上のことから、注入材を低圧注入後にゲル化させることにより、界面注入が生じることを確認した。

3.3 コンクリート製土槽を用いた再現性確認試験

3.3.1 試験目的 界面注入現象が実地盤に近い環境下でも再現可能なことを確認するために、Table 1に示すケース2からケース5の中型注入試験を実施した。

3.3.2 試験条件と試験結果

(1) 壁面条件 (ケース2) ケース1の鋼製土槽を用いた中型注入試験は、注入面が亚克力板と地盤の界面であり、壁面抵抗が少なく界面注入体が形成され易い可能性があったため、鋼製土槽と同一内空寸法(高さ1.0m×幅2.0m×奥行き0.6m)のコンクリート製土槽を作製し注入試験を実施した。13Lを注入した結果、Photo 6に示すように、注入壁背面に界面注入体が薄く広がることが確認された。また、1m離れた左右の2孔から注入したが、中間の界面注入体は重なり具合も良好なことがわかった。

(2) 土水圧条件 (ケース3) ケース2までの注入試験は、土被りが少なく界面注入体が形成され易い可能性があったため、深さ10m程度の土被り圧を土槽上部蓋のボルトの締付力を利用して導入した。12Lを注入した結果、Photo 7に示すように注入壁背面において界面注入体の広がりが確認された。

また、厚さ100mmのコンクリート製土槽の作製時に、100mm×150mm×厚さ0.2mmの鋼板を3枚重ねたものを壁型枠内に鉛直方向で3段×2列に埋設し、コンクリートの打込後に引き抜いて模擬ひび割れを設けた。注入前には模擬ひび割れから漏水したが、近傍に注入すると漏水は止まった。さらに内部土砂を掘削すると、Photo 7左側の白破線内に示すように、壁背面に存在した円筒形状の砂の流失跡にも注入されているのが観察された。

(3) 地盤条件(ケース4) ケース3までの注入試験は、7号硅砂を振動により十分に締め固めた地盤であり、1回の注入により界面注入できたが、地盤の間隙が少なく(間隙率38%程度)界面に注入され易い可能性があった。そこで、開削埋戻し地盤を模擬した比較的間隙の多い水締め砂層(間隙率50%程度)に変更し、注入試験を実施した。

12Lを注入した結果、Photo 8に示すように、界面注入はされたが、地盤を壁面に垂直な十文字状に割裂した脈状注入(以下、割裂注入と称す)も観察され、間隙の多い地盤に対して1回の注入では、注入ロスが多くなる可能性が高くなると考えられた。

(4) 注入条件(ケース5) そこでまず、1次注入としてゲルタイムの比較的長い注入材を浸透注入し、間隙の多い地盤を間隙の少ない地盤に改良することにした。その後はこれまでと同様に、2次注入としてゲルタイムの短い



Photo 6 コンクリート製土槽を用いた注入試験(ケース2)
Situation of Injection Test
Used Medium Soil Tank Made by Concrete (Case2)



Photo 7 土水圧を考慮した注入試験(ケース3)
Situation of Injection Test Used Medium Soil Tank
Considered Soil and Water Load (Case3)

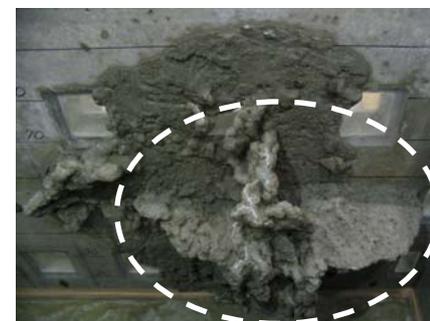


Photo 8 埋戻し地盤を考慮した注入試験(ケース4)
Situation of Injection Test Used Medium Soil Tank
Modeling The Backfill Ground (Case4)



Photo 9 1次+2次注入した注入試験(ケース5)
Situation of Injection Test does the First Injection
and the Second Injection (Case5)

注入材を注入直後にゲル化させることにより、割裂注入ではなく界面注入させるようにした。試験では、ゲルタイム約2分の1次注入材を20L先行注入後、翌日にゲルタイム約10秒の2次注入材を同量注入した結果、Photo 9に示すように、振動締固めた地盤と同様に2次注入体が壁背面に広く注入されているのが確認された。

以上のことから、実地盤に近い地盤条件下の注入試験においても、界面注入現象は再現され、実際の地下構造物においても起こり得ることを確認できた。

4. 外防水膜形成の実証実験

4.1 実験概要

界面注入体の広がり範囲およびその止水性を確認するために、大型土槽を構築して、外防水膜形成の実証実験を行った。大型注入実験の手順を、Fig. 5に示す。

4.2 実験方法

4.2.1 地盤条件 実験対象は、実地下構造物の外側に直接砂質土を埋め戻し水締めするGL-6～-10mの開削構造物を模擬した。

(1) 土槽の構築 RC製大型土槽の内空寸法は、Fig. 6に示すように高さ4.0m×幅3.2m×奥行き1.7mで、側壁厚さは0.3mとした。側壁内には、注入および湧水量観測孔としてφ25mmの鋼管を0.5m間隔の格子点に予め貫通して埋設し、外面には開閉弁を設置した。観測孔は、鉛直方向に8段、水平方向に南・北壁で各7列、東・西壁で各3列を設置した。

(2) 模型地盤の作製 大型土槽の底版内には給排水管を埋設し、底版上には砕石を敷設し内部に給排水時の整流板を設置した。模型地盤は、山砂を1m投入毎に土層下部から天端まで給水後、排水することにより水締めを行い、これを4回繰り返して高さ4mの模型地盤を作製した。

土槽下部において、地下10mの土水圧環境を模擬するため、Fig. 6に示すように、厚さ4mの模型地盤上には残り6mの土被り重量に相当する敷鉄板を載せた。また、地表面下2mに地下水位があるものと仮定して、敷鉄板を覆える蓋を被せた後に内部を水で満たし、内部水位を土層天端から4m上方に保持する上部給水タンクを設置した。

(3) 模型地盤に使用した土の性質 模型地盤に使用した土砂は、Fig. 7に示すように砂分を94%含む山砂であり、水締めにより作製した模型地盤の乾燥密度は1.56g/cm³、間隙率は43%、相対密度は63.4%であった。

(4) 注入前湧水量 止水性の確認は、壁面に設けた0.5m間隔の格子点8段×7列に設置した観測孔において、注入前後の湧水量を測定することにより行った。注入前の湧水量は、1孔あたり1000cm³/分前後であった。

4.2.2 注入条件 注入は、1次注入として間隙に間詰めした後、2次注入として界面に注入を行うことにした。界面注入の実験範囲は南・北壁とし、水平・鉛直方向に1.5m間隔で配置した4孔から、1次、2次注入を行った。

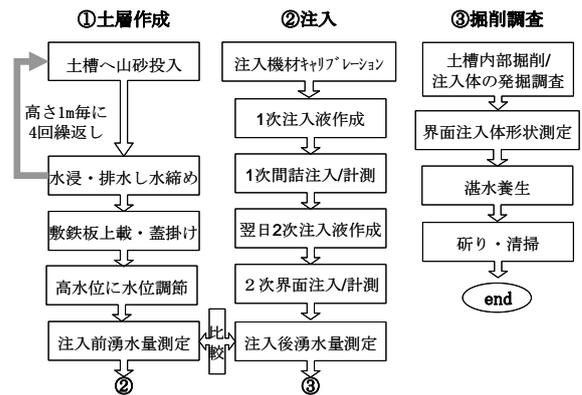


Fig. 5 大型注入実験の手順
Flow of Full-scale Injection Test

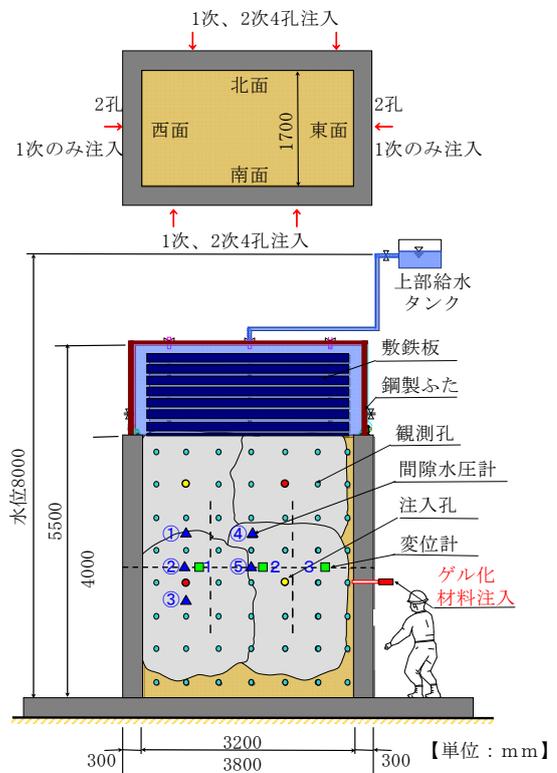


Fig. 6 大型注入土槽の構造概要
Outline of Full-scale Soil Tank

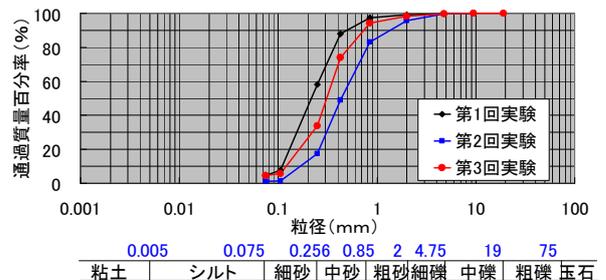


Fig.7 埋戻し砂の粒径加積曲線
Grain Size Accumulation Curve of Backfill Sand

Table 3 大型注入実験の注入材の配合
Mix Proportion of Injection Materials
for Injection Test Used Full-scale Soil Tank

		1次注入	2次注入
A液 (0.5m ³)	超微粒子セメント	15kg	225kg
	セメント分散剤	0.45kg	3.38kg
	水	495kg	422kg
B液 (0.5m ³)	液体急硬材	285kg	285kg
	ゲルタイム調整剤	—	5kg
	水	250kg	248kg

Table 4 注入の標準仕様
Experimental Standard Conditions

	1次注入	2次注入
概要	間隙の多い地盤に間詰注入するため、ゲルタイムの長い注入材を浸透注入	壁と地盤間の界面に注入させるため、ゲルタイムの短い注入材を界面注入
注入範囲	地下壁背面地盤	壁と地盤の境界面
ゲルタイム	2~3分	10±2秒
注入量	250L/孔	50L/孔
注入速度	6L/分	2L/分
注入時間	42分	25分

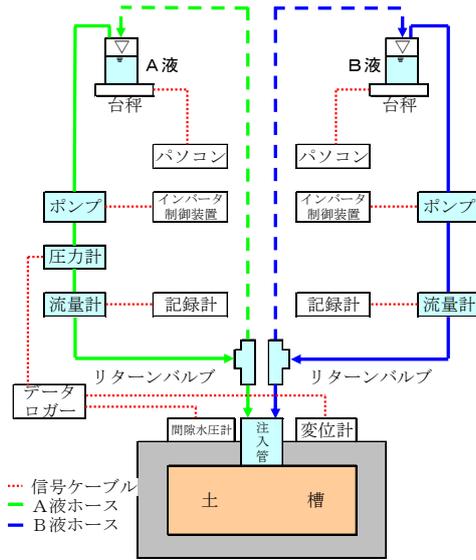


Fig. 8 注入システム

Injection System Test Used Full-scale Soil Tank

(1) 注入材料 Table 3に示す注入材A,B2液の粘度は2~5mPa・s程度で水とほぼ同じであり、等量混合する1次、2次注入材の粘性は注入直後に小さく、浸透注入し易いと考えられる。これに対して、1次注入材は混合後約2分、2次注入材は約10秒でゲル化することから、浸透注入し難くなり横方向に回避し界面注入すると考えられる。

(2) 注入システム 大型注入実験における界面注入の注入システムを、Fig. 8に示す。界面注入材はゲルタイムが約10秒と短いので、2ショット方式(A,B液を注入管先端部で合流混合させる注入方式)とした。

(3) 注入仕様 注入の標準仕様をTable 4に示す。掘削後に注入範囲を明確にするため、2次注入は南北壁のみとしたが、東西壁背面へ偏って注入されることを避けるために、1次注入は全ての壁面に対して行った。

1次注入の翌日に行った南北壁への2次注入は、Fig. 6に示すように1.5m間隔の4孔とし、側壁外面に向かって左上から時計回りに順次注入した。なお、注入範囲を識別するために、左上および右下注入孔には黄色、右上および左下注入孔には赤色の色粉をA液に混ぜて注入した。なお、1孔当たりの注入量は、1次が250L、2次は南壁の50Lに対し、北壁では70Lに増量し、注入の広がり方を比較することにした。

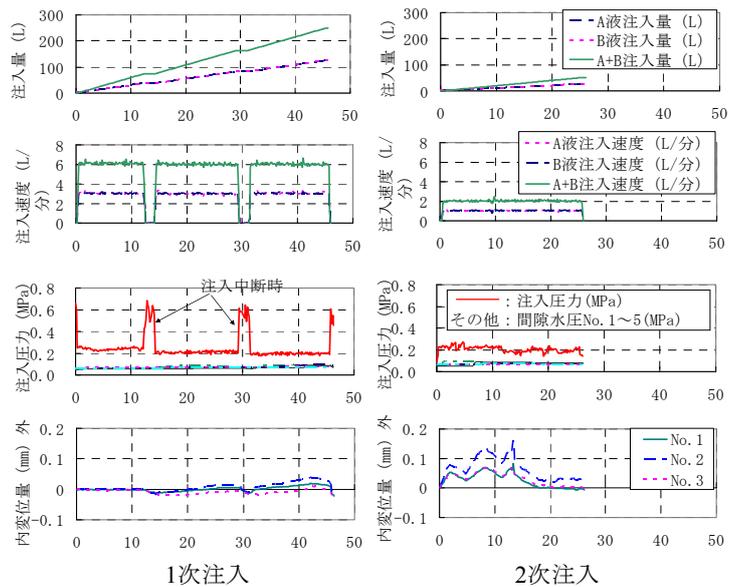


Fig. 9 土槽南壁上部注入孔の1,2次注入データ例

Sample of Injection Data
that the First Injection and the Second Injection

4.3 実験結果

4.3.1 注入データ 大型注入実験の1次・2次注入データの例を、Fig. 9に示す。同図左側が1次、右側が2次注入である。注入速度は1次が6L/分、2次が2L/分とし、注入時間は中断を除くと1次が42分、2次が25分であった。注入圧力は0.2~0.25MPaと低圧で安定していたため、側壁中段の背面に生じた間隙水圧の上昇は0.1MPa以下、側壁中段の面外変位量も0.15mm以下であり、地下壁に対して界面注入の影響は少ないことが確かめられた。

なお、別途実施した大型注入実験では、注入前に側壁中段の7観測孔から各々50cm³/分漏水させながら、0.5m下の注入孔から注入した。その結果、注入孔近傍の観測孔から順次漏水量が減少し、注入終了時には7観測孔全ての漏水がほぼ止水したのが観察された。

4.3.2 注入後湧水量 注入後の湧水量の測定結果を、Fig. 10に示す。壁面に0.5m間隔に設けた観測孔において、測定された注入孔近傍の湧水量は、注入前の1000cm³/分前後から、注入後には1/100以下に減少した。なお、注入後湧水量は、南北壁に対し東西壁が同様に減少しなかつ

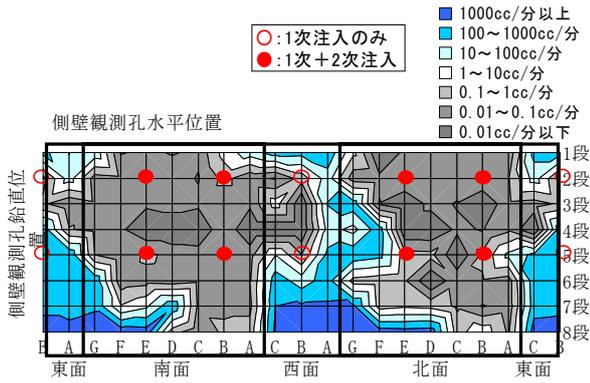


Fig. 10 注入後湧水量の側壁分布展開
Determination Result of Amount of Spring Water in Sidewall



Photo 10 1次注入体の露頭状況
Externals of Infiltration Layer Formed the First Injection



Photo 11 南壁における界面注入体の露頭状況
Externals of Interface Layer Formed the Second Injection

た理由は、南北壁には1次、2次注入したが、東西壁には1次注入のみとしたためと考えられる。

4.3.3 注入体形状

(1) 注入体の形成状況 土槽内部の土砂を中央から掘削すると、Photo 10に示すように土槽側壁近傍の厚さ0.3~0.5mの地盤は、比較的湿り気と強さがあり、ほぼ鉛直に掘れ掘削痕が残ることから、1次注入材が地盤に浸透し形成された浸透注入体と考えられた。浸透注入体は、さらに掘削しても壁面間際まで存在することから、界面注入体は薄く平坦であることが示唆された。界面注入体は、Photo 11に示すように壁面に密着し、隣接する界面注入体との重なり具合も良好だった。また、1.5m間隔の4注入孔で囲まれた範囲には、未注入域は見られず、全面に

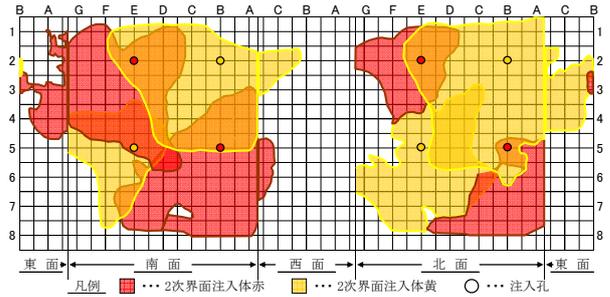


Fig. 11 界面注入体のスケッチ
Sketch of Interface Layer

Table 5 界面注入体の換算注入形状
Conversion Shape of Interface Layer

注入順序	南壁				北壁				平均
	1	2	3	4	1	2	3	4	
壁注入場所	右上	左上	左下	右下	右上	左上	左下	右下	
注入面積 m^2	4.58	4.27	2.11	4.29	5.96	1.73	3.35	1.82	3.51
注入半径m	1.21	1.17	0.82	1.17	1.38	0.74	1.03	0.76	1.03
注入平方m	2.14	2.07	1.45	2.07	2.44	1.32	1.83	1.35	1.83

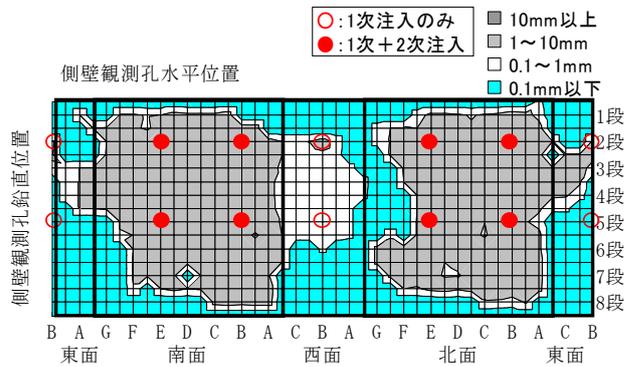


Fig. 12 界面注入体厚さの側壁分布展開
Determination Result of Thickness of Interface Layer in Sidewall

界面注入されていた。

(2) 界面注入範囲 注入範囲を識別するために、色分けして注入した4孔の界面注入範囲のスケッチをFig. 11、各注入面積から換算した注入形状をTable 5に示す。それによると、1注入孔当たりの注入面積は平均 $3.5m^2$ であり、円形に換算すると注入半径は平均1.03m、正方形に換算すると1辺の長さは平均1.83mになる。したがって、1.5m間隔の側壁注入孔から水締め砂地盤に1次、2次注入すれば、注入領域全面に注入されると考えられる。

なお、2次注入量は、土槽南壁の50Lから北壁では70Lに増やしたが、上部注入孔の土被りが0.75mと浅く、南北壁とも注入材が模型地盤上方に噴出したため、注入形状に有意な差異は認められなかった。

(3) 界面注入厚さ 露頭した界面注入体の厚さは、側壁内面の0.25m間隔の格子点において膜厚計で測定し、結果をFig. 12に示す。界面注入体の厚さは、0.1~10mmと平坦に注入されていることがわかった。また、1注入孔

当たりの注入面積は 3.5m^2 であり、2次注入量を50Lとすると、平均厚さは14mmと算定されるが、その差は注入ロス、脱水、一部逸走等と考えられる。

(4) 界面注入厚さと注入後湧水量の関係 Fig. 10に示す注入後に測定した湧水量の側壁分布と、Fig. 12に示す掘削後に測定した界面注入体厚さの側壁分布を対比すると、前者の湧水量が減少した灰色範囲と後者の界面注入された灰色範囲はほぼ一致した。

そこで、壁外面の0.5m間隔に設けた観測孔において測定した注入後湧水量と、壁内面で測定した界面注入体厚さを対比して、Fig. 13に示す。注入前は湧水量が $1000\text{cm}^3/\text{分}$ 前後に対し、注入後に注入領域では、界面注入厚さが1mmオーダーとなり、かつ湧水量も $0.1\text{cm}^3/\text{分}$ オーダーに減少したことがわかり、両者には強い相関性が確認された⁸⁾。

したがって、大型土槽内に山砂を水締めした模型地盤に側壁から1.5m間隔に界面注入することにより、厚さ1mm程度の止水性の高い界面注入体が注入領域に広がり、ほぼ止水されたのが確認された。

5. まとめ

既設地下構造物の漏水対策として、大型土槽に砂を水締めして行った界面注入の大型実証実験により、以下のことが明らかになった。

- 1) 注入中、壁背面の間隙水圧は 0.1MPa 、壁変位量は 0.15mm 以下であり、構造物への影響は小さい。
- 2) 界面注入体は壁に密着し、隣接注入体との重合も良好であり、重合部の止水性も期待される。
- 3) 1.5m間隔に50Lを2次注入すれば、1孔あたりの界面注入範囲は正方形に換算すると1辺平均 1.83m まで広がり、壁全面を被覆可能と考えられる。
- 4) 界面注入厚さは1mmオーダーと平坦で、注入範囲の止水性をほぼ一定にでき、湧水量は注入前の $1/100$ 以下に減少した。

以上のことから、地下10mの地下壁の背面に水締めした埋戻砂地盤に対して、強度発現とゲルタイムを調整した注入材を2回に分けて低压注入すると、止水性の高い界面注入体を地下壁の背面に広範囲に形成できることを確認した。

したがって、本外防水膜形成工法アクアカットは、既設地下構造物の内側からゲル化材料を、壁背面に1.5m間隔に1次+2次注入することにより、壁と埋戻し砂地盤との境界に、止水性の高い外防水膜を後施工により形成でき、地下漏水対策として有効と考えられる。

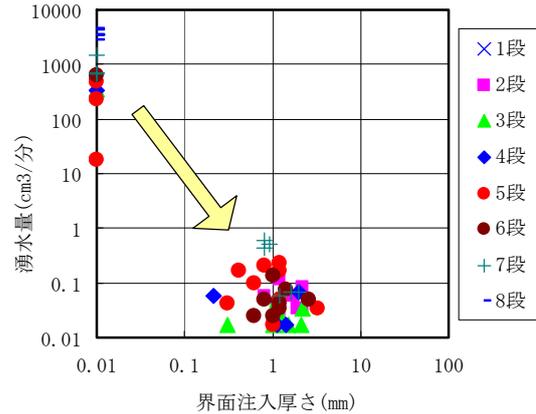


Fig. 13 界面注入厚さと湧水量の関係
Relationship of Thickness of Interface Layer and Amount of Spring Water in Sidewall

謝辞

本工法は、無機注入材料メーカーの太平洋マテリアル(株)、注入施工専門業者の榊大阪防水建設社と共同開発したものである。関係各位に謝意を表わします。

参考文献

- 1) 土質工学会編：現場技術者のための土と基礎シリーズ9 薬液注入工法の調査・設計から施工まで，土質工学会，(1985)
- 2) 柴崎光弘，他：最新・薬液注入工法の設計と施工，山海堂，(1985)
- 3) 草野一人：薬液注入工法ハンドブック，吉井書店，(1987)
- 4) 日本グラウト協会編：新訂正しい薬液注入工法，相模書房，(2007)
- 5) 米倉亮三，他：恒久グラウト・本設注入工法，山海堂，(2007)
- 6) 吉田了三，他：超微粒子セメントの砂質地盤への浸透性と止水性に関する実験，地盤工学研究発表会講演集，Vol.43，pp.677～678，(2008)
- 7) 小西一寛，他：既設地下構造物の外防水膜形成工法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，pp.2203～2208，(2009)
- 8) 小西一寛，他：開削構造物背面に後注入した界面注入体の止水性能について，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.64，VI-169，pp.337～338，(2009)