

# 学術論文

## 貯水容器及び配管に穴があいても漏れない漏洩防止テープの開発

Leak Isolation Self-Repairing Tape for a Water Storage Vessel and Piping Against Holes

群馬大学工学部 長屋 幸助 Kosuke NAGAYA Member

群馬大学工学部 關口 隆弘 Takahiro SEKIGUCHI

群馬大学工学部 陳 志超 Zhichao CHEN

群馬大学工学部 村上 岩範 Iwanori MURAKAMI

A new type taping for a water storage vessel or piping is presented, in which water leakage is isolated automatically by its self-repairing mechanism against holes. The self-repairing unit (sealant layer) is consisting of three pieces of net with polymer particles inside lattices. Polymer particles, which expand their volume with water, is used for having self-repairing forces. In ordinary tapes, water leaks along the boundary between the tape and the vessel. In order to retain the leak isolation force, this article first discusses a method for making the sealant tape, then develops a method for fixing the sealant to the vessel. The portion of water leakage can be checked on this tape, and the method of detecting the hole or crack portion of the vessel is also presented by using the tape.

**Keywords:** Leak isolation, Tape, Hole, Self-repairing, Vessel, Pipe, Detecting the crack

### 1. 緒言

内部に水の封入される容器または配管は様々な分野で使用されている。それらの多くは鋼で作られているため、腐食は長期間使用する際に重要な問題である。一方原子力発電等で用いられた放射能を含む水の貯水容器には、腐食防止のため、ステンレス鋼が使用されているが、それら容器においても粒界腐食の危険性が存在する。金属疲労や腐食による穴や亀裂の検出には、通常磁気センサーが用いられ、検出された穴やクラック部分は部品交換により修復されている。しかし、容器・配管内の物質が危険物であるときは、亀裂が発生してから、修復したのでは遅すぎるので、亀裂発生前の欠陥検出が必要で、欠陥の検出はかなり難しいものとなる。これらの機器で、もし穴や亀裂が発生してもある程度の期間、内部の液体の漏洩を防止でき、かつ目視等で欠陥が検出できれば、メンテナンスの期間を

延ばすことができ、また安全性も向上できると考えられる。このような観点から、腐食などによる漏洩防止を考えたとき、たとえば、容器あるいは配管上に腐食が無く、かつ変形のし易いゴムとか高分子材料を被服することが考えられる。しかし、この被服が完全でないと、容器・配管と被服の界面から液体が漏れ出すので、熱接着等による完全な接着が望まれるが、容器と配管の接続は現場で行われるので、継ぎ手部分も含めて完全な被服を現場で行うことは難しいため、このような見地からの研究は行われていないように見受けられる。

本研究では、上記のような被服を簡単なテープを用いて現場で施す方法を検討する。すなわち、貯水容器・配管に現場でテープを施し、容器・配管に小さな欠陥ができても内部の液体は流出せず、かつテープ上から目視により欠陥を検出することで、その部分を液体が漏洩する前に交換できる方法を検討する。著者は前研究で穴が空いても自己修復して水を漏らさない遮水シートや、タイヤなどについて、吸水ポリマーの膨潤圧により穴を自己修復する方法を開発した<sup>[1][2]</sup>。本研究では、それらの原理を用いて、腐食や疲労による亀裂や穴に対し、容器や配管にテープをすることで、これらに穴があいても漏水を遮断する方法を開発する。前研究では、シートに貫通穴ができたときに、その穴

◆連絡先：長屋 幸助

〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1  
群馬大学工学部機械システム工学科  
Tel: 0277-30-1563  
E-mail: nagaya@me.gunma-u.ac.jp

から水が吸水ポリマー内に侵入して、ポリマーを膨潤させ、その膨潤圧で漏水を遮断していた。しかし、本問題の場合、容器などの穴から漏水した水はテープングされたテープと容器の界面から漏水するため、これまでの研究における漏水遮断法では、その漏れを遮断することはできない。本研究では、その界面からの水漏れを遮断する方法と、それに基づくテープの構成と製造法を開発する。また、この方法を確認する為の実験的検討を行う。

## 2. 漏洩防止テープングの構造と自己修復の原理

本研究で対象とする液体は水分を含む液体であり、その止水方法はFig.1のように容器・配管に単純なテープングを施したシーラント層により止水するものである。水分を含む液体が吸水ポリマーに触れると、ポリマーは膨張し水分を中心に取り込み拘束を与えない状態では、約400倍の水を吸収する。そこで、小さなブロック内に吸水ポリマーを閉じこめ、ポリマー内に水を吸収させると、ポリマーが膨張し、格子内に膨潤圧が発生する。この膨潤圧より外からポリマーに侵入する水圧が小さければそれ以上ポリマーは膨潤せず、そこで水の侵入を遮断することができる。本研究では、この原理を用いた止水法を検討する。

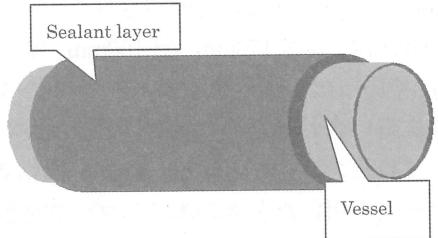


Fig.1 Pressure vessel with a sealant tape

穴のあいた容器・配管からの水の漏洩を止めるため、容器とか配管に粘着性のあるテープを貼り付けると、小さな圧力の水の漏洩は遮断できる。しかし、後述するようにその止水圧は小さすぎて実用上の範囲には無い。このようなテープングで止水するとき、液体はテープと容器・配管の界面より漏洩する。したがって、上記のような膨潤圧による自己修復機能を用いてテープングにより止水する場合は、吸水ポリマーと容器・配管から漏洩する液体を直接接触させる必要がある。

Fig.2はテープの巻かれた容器の軸方向断面の概要図であり、図3はそれを3次元的に示したもので、テー

プはFig.2のように容器の壁面に吸水ポリマーが直接接触するように容器外面に貼り付けられ、必要に応じてテープ外面を紐で固定する。図中の $p_o$ は紐の締め付け力によりテープ外表面に与えられる圧力である。この容器に腐食により穴あるいは亀裂が発生したとき、容器内の液体(水分)が穴から漏れだし、吸水ポリマーに接触すると、ポリマー粒子は水を吸水してゲル状になって膨張する。このとき、ポリマー粒子の動きを格子およびネット等により妨げると、シーラント層内に膨潤圧 $p_b$ が発生し、容器の周りにゲルが押し付けられることにより容器とゲルの界面からの水の漏洩を防

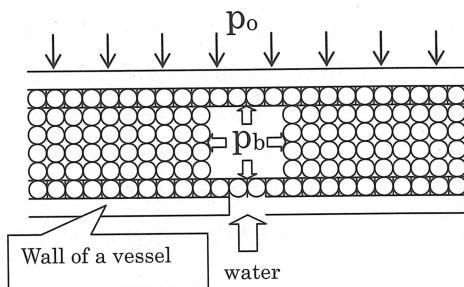


Fig.2 Principle of sealing water

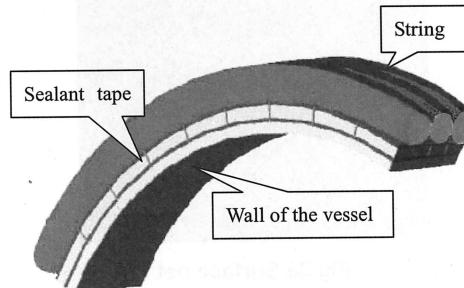


Fig.3 Cross section of a vessel

ぐことができる。

以下本研究では、このような原理に基づくシーラントテープの構成、製作法および容器・配管へのテープの固定法を提案し、穴あるいは亀裂の大きさに対する止水圧を検討する。また、穴あるいは亀裂の発生時に水が吸水ポリマー内に侵入したとき、その欠陥を外部から目視により検出できることも明らかにする。

## 3. シーラントテープの作成法

### 3. 1 シーラントテープの構成

本シーラントテープでは、吸水ポリマーを容器・配管の外壁に直接接觸するように被覆し、膨潤圧を得

るため格子内にポリマーを閉じこめる。とくに、容器・配管と吸水ポリマーの接触面（界面）で水によりゲル状になったポリマーの移動を抑制する等の構成とする必要がある。このとき、まず吸水ポリマーは粉末であるので、テープとして用いるときは粉末のままで使用できない。吸水ポリマーは水を吸収すると、膨張し、粘着力を発現するが、乾燥すると極めて硬い固体状の板となるので、テープとしてはその状態で使用できない。しかし、著者らの研究では、エチレングリコールに水を混入した液体を吸水ポリマーに混入し、圧縮加熱すると、ポリマーはしなやかなゴム状になり、かつ吸水力も有することが分かった。したがって、本研究で用いる流体はエチレングリコールを主成分とするクーラント原液70%と水30%である。このときの流体の凍結温度は-50°C以下であり、寒冷地での使用にも問題がないと考える。また、この混合液を用いたときは、金属の腐食を防止する効果があるので<sup>[3]</sup>、テープを施すことで、容器・配管の外表面からの腐食を防止することもできる。

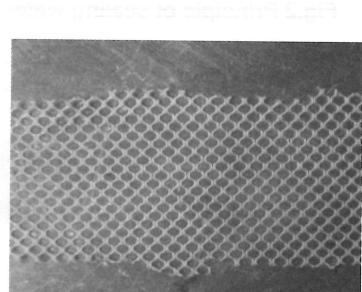


Fig.3a Surface net

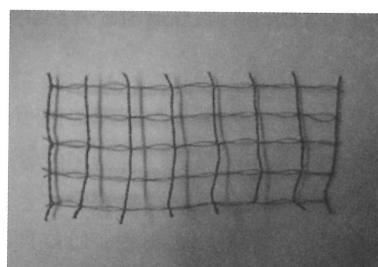


Fig.3b Middle net

一方、ゲルとなったポリマーの移動を妨げる格子はネットを用いることとする。図3aは容器・配管に接する部分（シーラントテープの接着面）のネットであり、この部分では、容器・配管の表面に沿って水圧によりゲルを移動させる大きな力が作用するので、メッシュ

の小さいネットを用いる（メッシ幅=5mm×5mm）。また、テープ中間にもゲルの移動を防ぐためにネットを挿入するが、テープ中間部はゲルの移動拘束力が強く、また、ある程度の格子間隔がある方が大きな膨潤力が得られるので、図3bのようにメッシュは大きくしてある（メッシュ幅=20mm×25mm）。

### 3. 2 シーラントテープの製造手順

本シーラントテープの製作手順をFig.4に示す。テープの製作では、（1）作成するテープと同じ幅で適当な長さの溝を有する金型を作り、型に耐熱性のラップを敷いて、粉末状の吸水ポリマーをラップの上に均等に置き（ポリマー層の厚みは、およそ1.5mm）、その上にネットを置き、ポリマーに前記の流体を均等に吹きかける（Fig.4a）。（2）Fig.4bのようにポリマー粒子と流体の混合物をネットの上に覆い被せる（混合物の厚さは、およそ1mm）。（3）ポリマー粒子と流体の混合物の上に中央ネットを置く（Fig.4c）。（4）Fig.4dのように編み目の大きいネットをポリマー粒子と流体の混合物で覆う（混合物の厚さは、およそ4mm）。（5）ポリマー粒子と流体の混合物をネットで覆い、再び混合物でネットを覆う（Fig.4eで混合物の厚さは、およそ1.5mm）。（6）加圧装置で型を一定の厚みまで圧縮して、加圧装置ごとオーブンで加熱（120°C、45分）する（Fig.4f）。このようにして製造されたシーラントブロックの寸法は、長さ170mm、幅100mm、厚み8mm、重量136gであった。ついで、このシーラントブロックを格子状に縫い合わせた後に粘着性のテープに連続的に接着して長尺のテープとする。Fig.4gは粘着テープに透明テープを用いたときの本テープの完成図を表す。図で透明テープとシーラントブロックは一体として作られているが、シーラントブロックは透明テープから剥がすことができるので、シーラントブロックを連続的に容器外周等に巻き付けるときは、ブロックを透明テープから順次剥がして容器に巻き付ける。

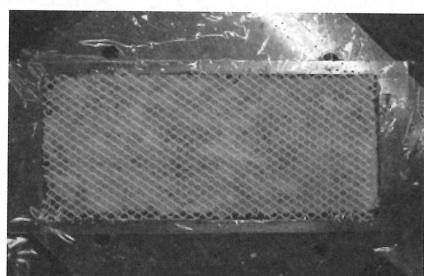


Fig.4a Process 1 of making a sealant



Fig.4b Procedure 2 of making sealant

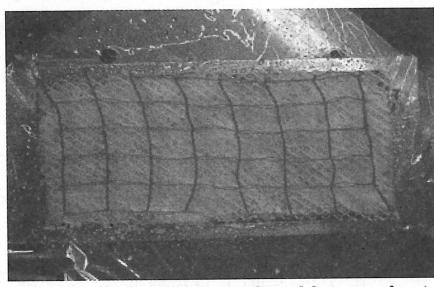


Fig.4c Procedure 3 of making sealant

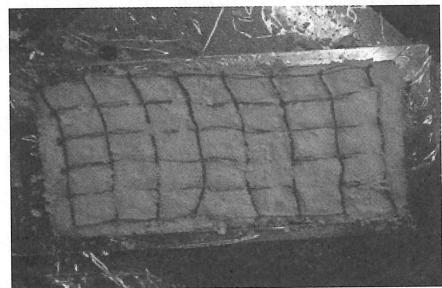


Fig.4d Procedure 4 of making sealant

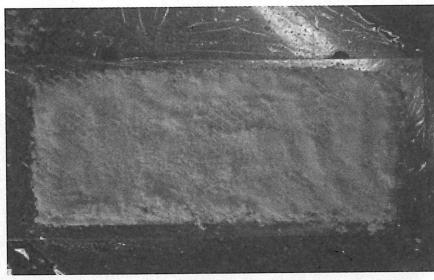


Fig.4e Procedure 5 of making sealant

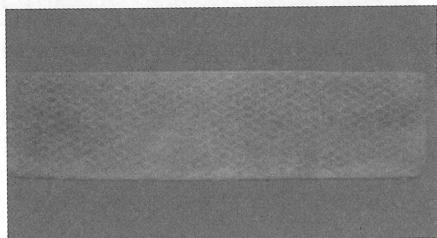


Fig.4f Sealant tape

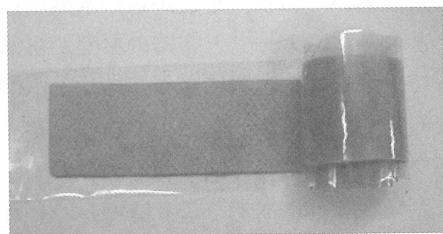


Fig.4g Sealant tape with a clear tape

このとき、シーラントには粘着性があるので、容器に接着させながら巻き付けることができる。シーラントを巻き付けた後にその上から粘着テープを用いてシーラント層を容器に等に固定する。なお、粘着テープに透明テープを用いると、容器等からの水漏れを目視で観察することができる（後述）。

#### 4. シーラントテープの止水特性

##### 4. 1 実験装置

本研究で用いた実験装置は図5に示すようなもので、太いパイプの両端にねじを切り、片側は穴のないフランジを、反対側にはねじ穴のあいたフランジを取り付け、そのねじ穴に圧力計とコックの取り付けられたパイプを取り付け、その端を手動水圧ポンプに結合した。このときのフランジ間の長さは190mmであり、容器内径は105mmである。この装置の水圧ポンプで水をパイプ内に注入すると、圧力計に容器内の水圧が表示され、その状態でコックを閉じると、圧力が一定に保たれる。すなわち、容器からの水の流出がなければ、圧力は一定であり、もし穴からの水の流出があれば、圧力が低下するので、これにより水の漏洩を検出することができる。

容器・配管では、しばしば応力腐食割れがおこることから、亀裂に対する防護は重要と思われる。そこで、上記容器に割れを模擬して貫通スリットを設けた。このときのスリットの長さは30mmであり、幅は1mmである（Fig.5参照）。

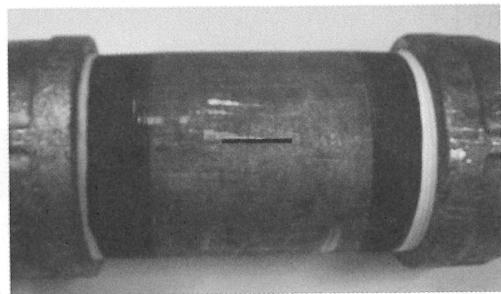


Fig.5 Vessel with a slit

容器に穴があいており、そこからの水漏れをテープで止めたとき、水はテープと容器の界面から漏れる。したがって、テープを容器にきつく巻くと水漏れもしにくくなる。しかし、テープを手できつく巻くのには限界があり、さらにテープに伸びがあるので、テープのみで大きな水圧を止水することは難しいと考えられる。そこで、本研究ではテープ巻きのみの場合と、テープの上をさらに紐で巻いた場合について検討する。

#### 4. 2 従来のテープの止水性能

まず、市販されている粘着テープの止水性能をFig.5の実験装置を用いて調べてみた。実験は表1に示される六つの場合について行われた。すなわち、透明ビニールテープのみの場合(TC1)、透明ビニールテープの上を紐で隙間なく巻いた場合(TC2)、布製粘着テープのみの場合(TG1)、布製テープの上から紐を隙間なく巻いた場合(TG2)、ブチルゴムテープのみの場合(TB1)およびブチルゴムテープの上を紐で隙間なく巻いた場合(TG2)である。なお、紐を巻くとき(手巻き)の張力はおよそ150Nであった。実験により得られたこれらのテープの止水特性を図6に示す。ブチルゴムテープの上を紐で密巻きにした場合(TB2)は約0.15MPaの止水特性があるが、他の場合はいずれも0.05MPa程度の止水特性であり、実用上の止水圧としては不十分であることがわかる。

Table.1 Notations and experimental conditions

Notation	Experimental condition
TC1	Transferences tape only
TC2	Transferences tape with completely banded string.
TG1	Cloth tape only
TG2	Cloth tape with completely banded string
TB1	Butyl rubber tape only (thickness=1mm)
TB2	Butyl rubber tape with completely banded string

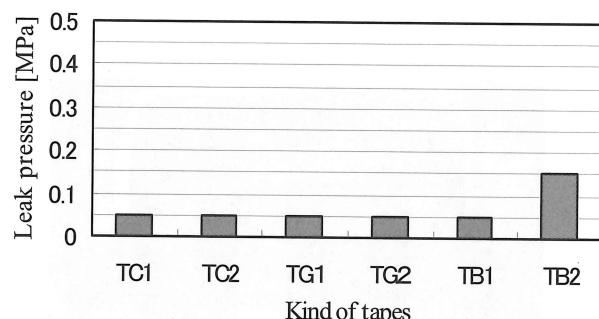


Fig.6 Sealing pressure for various ordinary tapes

#### 4. 3 本シーラントテープの止水特性

本シーラントテープの止水実験でもFig.5の容器のスリットを塞ぐように上記シーラントテープを貼り付け、その上から透明ビニールテープを巻き付けた。また、テープの上からさらに紐を巻き付けたとき(Fig.7参照)についても実験を行った。まず特別の場合として、シーラントテープにネットをまったく用いず吸水ポリマーだけで作られたシーラントテープでスリットをふさぎ、紐を隙間なく巻いたとき(Cr)について実験を行った。その結果をFig.8に示す。図からこの場合はゲル化した吸水ポリマーが容器とテープの界面で容易に動くため、ほとんどシール効果が無く、通常のテープと同じ0.05MPa程度の止水圧しか得られないことが分かる。すなわち、吸水ポリマーで止水するためには容器との界面で吸水ポリマーを動かなくする手段が必要であることがわかる。また、本シーラントテープでは、テープ格子内で発生した膨潤圧でゲルを容器に押し付けてシールするものであるので、テープの膨張を拘束する必要がある。したがって、テープに拘束を与えない場合(Fig.8のC5)の止水圧は0.05MPaと、極めて低くなる。

そこで、上記で示した製作法によりテープを製作し、紐の間隔を変えた実験を行った。Table 1はその条件を示したものであり、CrとC5は上記のような特別の場合で、本開発のテープではない。表中C1は本シーラントテープを用い、紐で隙間無く巻いた場合(密巻)を、C2は紐の間隔を5mmとした場合、C3は紐の間隔を1cmとした場合を、C4は本シーラントテープを透明テープだけで巻いた場合(紐無し)をそれぞれ表す。これらのテープに対する止水圧をFig.8に示す。

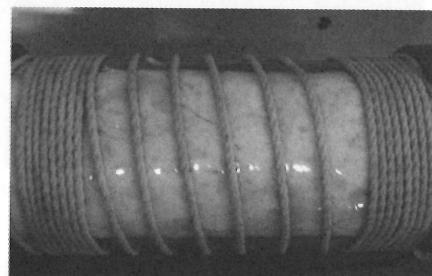


Fig.7 Banding by the string around the sealant

まず、本テープを透明テープだけで巻いた場合(C4)は、0.15MPaの止水特性があることが分かる。すなわち、圧力の小さい貯水タンクなどのシールには、これでも十分と思われる。一方、本テープの上から紐を密

巻きで巻いた場合は、約0.4MPaの止水圧があり、紐の間隔を大きくするにつれて止水圧も減少することが認められる。0.4MPaの止水圧は水道などの比較的高圧の配管に使用できる領域である。

## 5. 本シーラントテープによる欠陥検出

本テープでは、貯水容器・配管に割れあるいは穴があいた場合にそこから水漏れを起こし、シーラント層のポリマーを膨潤させ、その膨潤圧で止水するが、そのとき水漏れのある部分のシーラント層の色に変化が起きる。したがって、本シーラントテープの外側に巻くテープを透明なテープとすると、テープ外面から欠陥の発生を確認できる。

色が現れることになる。このような色の変化を外観検査で検出し、テープが止水効果を有する小さな穴のうちにその部分の補修を行えば、欠陥が仮に発生しても危険な流体が外部に漏れ出す前に対策を行うことができると考えられる。しかし、本テープの止水圧は水道圧程度までであり、高い圧力を受ける圧力タンク・高圧送水管には適用できない。



Fig.9 Color change of the water leak portions

Table.2 Notations and experimental conditions

	Experimental condition
Cr	Sealant tape without net with completely banded string
C1	Present tape with completely banded string
C2	Present tape with 5mm-interval banded string
C3	Present tape with 10mm-interval banded string
C4	Present tape banded by transferences tape only
C5	Present tape only

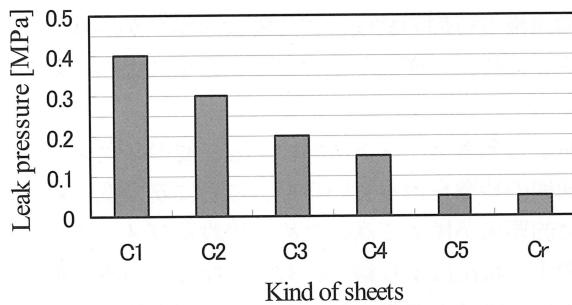


Fig.8 Sealing pressure for the tape using the polymer sealant

本テープでは、エチレングリコールを主成分とするクーラント液と水の混合液を吸水ポリマーに少量混入して粉末状の吸水ポリマーに粘着力を発現させている。したがって、テープは薄い緑色をしている。そこに水が侵入すると、その部分が変色する。Fig.9はその様相を示した写真である。写真で色が黒く斑点状に変色しているところが水漏れを起こしているところである。ここでは写真を白黒としているので、その違いがモノクロになっているが、実際には緑色の部分が変色して現れる。もし、容器内部の液体に色がある場合はその

## 6. 結 言

本研究では、疲労や腐食によって出来た穴や亀裂による漏洩を防ぐためのシーラントテープを開発し、その性能試験を行った。その内容を要約すると

- (1) 吸水ポリマーの特性を利用し、漏洩防止用シーラントテープを開発した。得られたテープは、ゴムテープのように弾力があり、かつ粘着力があるので、管の表面周りに容易に接着させることができる。
- (2) 容器の欠陥の一例として、クラックを模擬したスリットを有するパイプで止水実験を行ったところ、シーラントテープと市販テープだけで巻かれるときの止水圧はおよそ0.15MPaであり、また、その上を紐で完全に巻かれた場合はおよそ0.4MPaまで止水できることが分かった。
- (3) シーラントテープ表面からの外観検査で容器・配管の欠陥発生を検出できることを明らかにした。

## 参考文献

- [1] 長屋幸助、超宇、和田誠、金田祐次、安藤嘉則、村上岩範、穴が空いても漏れない遮水シートの開発、機械学会論文集、69-678(2003),pp545-553.
- [2] 長屋幸助、井開重男、千葉学、超旭京、穴が空いても自己修復するタイヤの開発、機械学会論文集、71-708(2005),pp2635-2642.
- [3] 長屋幸助、和田誠、新井幸広、村上岩範、穴が空いてもクラックができても漏れない容器の開発、保全学(保全学会)、4-3(2005),pp31-36.

(平成18年10月25日)