

# 鋼製伸縮装置の漏水防止の一試案について

中 村 浩 志<sup>1)</sup>

吉 村 文 達<sup>2)</sup>

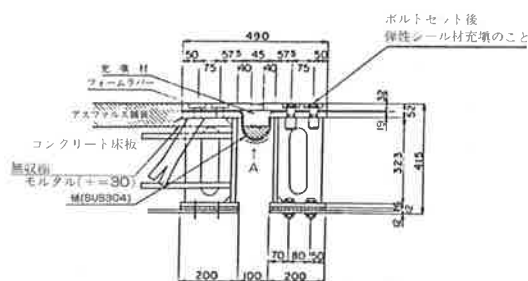
大 西 敏 也<sup>3)</sup>

阪神高速道路の供用区間において、鋼製伸縮装置の水漏れ調査を行うと、非排水構造にもかかわらず樋の外側において水が確認された。この水が橋脚を汚したり、高架下の利用者に被害をおよぼしている。

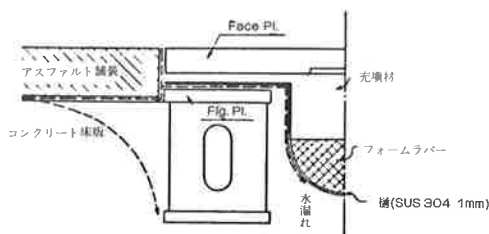
そこで、実物大の試験体を作製し、水漏れ経路の確認と、その止水方法と止水材料を模索するための実験を行った。ここに、設計荷重の繰返し载荷に対しても材料は劣化せず、また、フェースプレート取付ボルトの軸力変動も少ない鋼製伸縮装置の漏水防止法に関する一試案を提案するものである。

## まえがき

非排水型の鋼製伸縮装置の標準タイプは、図一1のとおりである。阪神高速道路の供用区間において、このタイプの伸縮装置の水漏れ調査を行うと、樋外面（A部）に水が確認され、この水が橋脚を汚したり、高架下の利用者に被害をおよぼしている。水漏れ経路として、図一2のような破線の経路が考えられる。そこで、樋の外面にいたる水を止水するための材料と、止水方法を選択するために行った実験の結果をまとめ、漏水防止に関する一試案を提案するものである。



図一1 標準タイプの伸縮装置



図一2 水漏れ経路

## 1. 実験の概要

実験の目的は、鋼製伸縮装置の標準タイプの試験体を製作し、水漏れ経路の確認と、止水材および止水方法を選択することである。実験は、止水材の選択を目的とする前実験と、止水方法を決定する本実験からなっている。

### (1) 前実験

止水に利用できる材料をその形態から大別すると、流動体のも（シール材系とよぶ）と板状のもの（シート材系とよぶ）がある。

シート材系の材料は、ゴムに代表されるように、引張強度・伸び等の長さ方向の物理特性は明確であるが、厚さ方向の特性については十分把握されていない。

厚さ方向の特性に対する試験方法は、JIS K 6385に規定されているが、今回使用しようとする厚さ2mm程度のものについては、何ら測定値も存在しないのが現状である。

そこで、実物大の実験を始める前に、予備段階として以下の実験を行った。

#### 1) 止水材の劣化試験

止水材の厚み方向に設計荷重を動的载荷し、繰返し回数と止水材の物理特性の変化の関係を調べた。

#### 2) ボルト軸力の静的変動

止水材とステンレス板をはさんだボルトに所定のトルク（60kg・m）を導入し、軸力の時間的減衰を測定した。

### (2) 本実験

前実験により決定した止水材を用いた実物大の試

1)設計部次長

2)設計部大阪設計課副課長

3)工事計画部架設計画課

験体を作製し、T-20を想定した設計荷重を繰返し載荷して、水漏れ経路の確認・止水方法の選択・動的載荷時のボルト軸力変動を調査した。

繰返し載荷する前に、袋ナット形式のボルト軸力の静的減衰も調査し、前実験で行った静的減衰試験と比較を行った。以上、実験項目をまとめると、図-3のようになる。

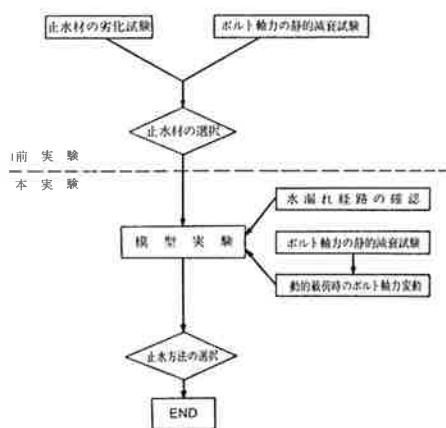


図-3 実験のフローチャート

## 2. 止水材の選択

止水材の必要条件は、クリープ変形をおこさず、耐候性・耐油性があり施工性がよいことである。これらを考慮した止水材としては、前述のシール材系とシート材系の2種類に分けて考えることができる。

### (1) シール材系

液状のシール材系の材料の特性を表-1に示す。シール材系の材料としてはいろいろ考えられるが、耐久性・経済性・施工性・止水効果等を考えた場合には、二液混合タイプ（ウレタン系シーリング材）と一液性カートリッジタイプ（ウレタン系シーリング材）の2種類が適している。

しかし、シール材系の欠点として、厚さが均一にできず、養生期間が24時間も必要であること、また、粘着性があるために、一度設置すると再施工が容易でない。以上の理由から、今回の実験においてシール材系の止水材は、対象から除外した。

表-1 シール材系止水材の特性

	特 色	欠 点	備 考
二液混合 シーリング材	流動性があるため、安定した止水効果が得られる。 クリープ変形は小さい。	混合タイプであるため硬化不良を生じる事がある。 流動性があるため本体を汚す場合がある。	
一液性 シーリング材	カートリッジタイプなので作業は容易。	全面塗布は不可能。 体積収縮がある。 高価。	
ベルト状 シーリング材	作業が容易。 貼付後ズレにくい。	クリープ変形しやすく、ボルトのユルミが生じやすい。	

### (2) シート材系

シート材系の止水材としては、防水工事に用いられるもの、管フランジの継手に使用されるもの、あるいは緩衝の目的で軌道に使用される防振ゴム等が考えられる。

#### 1) 加硫ゴム（エチレンプロピレンゴム相当品）

止水材で一番入手が容易なものは、加硫ゴムである。多種類のゴム材のなかで、耐候性耐老化性・耐熱性に優れているエチレンプロピレンゴム（EPT）を実験対象にした。

#### 2) 樹脂系（サンプルシート相当品）

ゴム系の止水材と比較するために樹脂系のものを実験対象にした。

#### 3) 加硫+未加硫ゴム（WH-10相当品）

実際の伸縮装置を調査したところ、フランジと樋のすき間は1mm弱であるため、止水材厚としては2mmを使用する。このため、加硫ゴム1mmと未加硫ゴム1mmを張りあわせたものを実験対象とした。硬度は、40前後の軟らかいものである。

#### 4) ゴムアスシート

防水を目的としたゴムアスシートは、クリープ変形が大きいため実験対象外とした。

#### 5) 石綿+合成ゴム（石綿ジョイントシート相当品）

管フランジの継手等に用いられる石綿ジョイントシートは、物理特性にすぐれているが、最大寸法が3810×3810であるため、伸縮装置の止水材として使用するには、止水材の継目からの漏水が心配である。硬度が90以上あるため、フランジの変形になじまないことが予想される。このため、本実験の対象外にするが、他の止水材との比較という意味で前実験には使用した。

#### 6) ゴム+合成樹脂+人絹（エスライト相当品）

軌道パッドに使用されているこの材料は、緩衝用であるため、金型に制約があるが、前実験の対象とした。

表-2 物理・化学特性

	加硫+未加硫ゴム (WH-10)	樹 脂 系 (サンプルシート)	加 硫 ゴ ム (エチレンプロピレンゴム)
柔 軟 性	◎	○	◎
伸 び	◎	○	○
引 張	○	○	◎
屈 曲	◎	○	◎
耐 熱 性	◎	◎	◎
耐 摩 耗	○	○	○
耐 アルカリ	◎	○	○
耐 酸 性	○	△	○
反 発 弾 性	○	×	○
耐 熱	◎	×	◎
耐 溶 性	△	○	△
密 着	◎	×	△
耐アスファルト性*)	異常なし	80℃で変形	異常なし
価格 (2% 材料費 m <sup>2</sup> 当り)加工費	4500円 1500円	3000円 1500円	6500円 1500円
硬 度**	43	62	58

注) ◎すぐれている ○よい △あまりよくない ×悪い  
\*) 加硫ゴムであれば、150°前後の高温に長時間なら使用できるが、熱による劣化は他の一種とみなせるから、その温度におかれている時間が関係する。  
ここに、60°-80°のストレートアスファルトに4時間浸した結果を表す。  
\*\*) JIS-K-6301に規定されたAタイプ

防水工事において、一般に使用される材料について、物理特性ならびに化学特性を表-2に示す。

### 3. 止水方法の検討

止水方法として、全面防水・部分防水・端部防水などが考えられる。

#### (1) 全面防水

フランジプレートとステンレス樋の間に止水材を全面に設置する方法である(図-4)。



図-4 全面防水

全面防水を行う場合、あらかじめ止水材に孔あけ加工しておく必要がある。

#### (2) 部分防水

セットボルトの前後に止水材を設置する(図-5)。



図-5 部分防水

止水材の設置が容易である。

#### (3) 埋込防水

フランジプレートに溝を設け、棒状の止水材を設置する(図-6)。

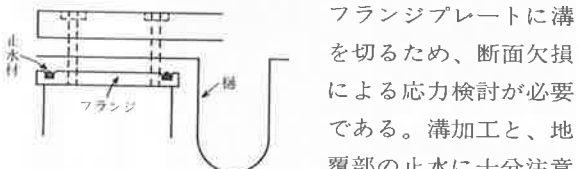


図-6 埋込防水

フランジプレートに溝を切るため、断面欠損による応力検討が必要である。溝加工と、地覆部の止水に十分注意が必要である。

#### (4) 端部防止

フランジ端部で止水する。なお、端部防水は鋼床版に適用できなく、メンテナンスに困難であるため、実験対象外とする(図-7)。

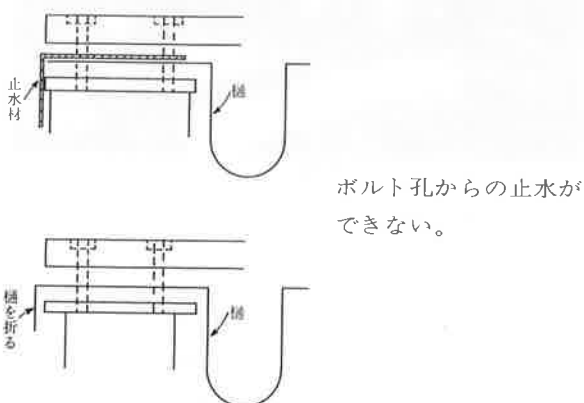


図-7 端部防水

ボルト孔からの止水ができない。

## 4. 実験内容

### (1) 前実験

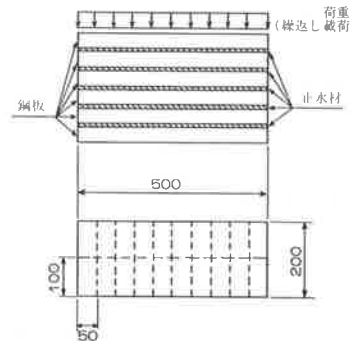
止水材の物理特性とボルト軸力の静的減衰を調べるために前実験を行った。

#### 1) 止水材の劣化試験

実験対象とした止水材を表-3に示す。

本実験に使用する動的載荷装置を用い、止水材の劣化試験を行った。劣化の程度を知る明確な規定がないため、設計荷重を繰返し載荷し初期の状態との変化を比較した。試験項目は、引張強さ・伸び率・荷重-たわみ曲線の3項目である。

200×500の大きさの鋼板の間に実験対象の止水材を挿入して、板厚方向に荷重(16kg/cm<sup>2</sup>)を繰返し



載荷した(図-8)。ある載荷回数ごとにテストピース3片を抜き取り、前記3項目についてそれぞれ試験を行った。載荷に使用する装置は、本実験の項を参照(写真-1)。

図-8 劣化試験の試験体

測定方法は、JIS K 6301に準じ、テンシロン-UTM-500を用い、ダンベル3号、引張り速度500mm/minで行った。

止水材の厚み方向の荷重-たわみ関係を調べる圧縮試験は、JIS K 6385に準拠し、圧縮速度0.2~0.4 mm/minで行った。

表-3 前実験対象の止水材

番号	止水材	相当品
止水材No.1	加硫+未加硫ゴム	WH-10
2	樹脂系	サンブレンシート
3	加硫ゴム	EPT(エチレンプロピレンゴム)
4	石綿+合成ゴム	石綿ジョイントシート
5	ゴム+合成樹脂+人絹	エスライト



写真-1

#### 2) ボルト軸力の静的減衰試験

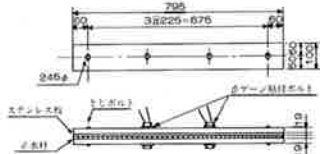
軸力の時間的変動をみるために、止水材をはさんだボルトに所定のトルク(60kg・m)を導入し40日間放置した。その間の軸力の変動を測定し、その後再度締付けを行い、2度締めの効果も調べた(写真-2)。

a) 被締付材

試験片の内容を表-4に示す。

表-4 静的減衰試験の試験片

番号	項目	ステンレス板(1mm厚)	止水材(2mm厚)
テストNo.1		SUS 304	
2		〃	E. P. T
3		〃	サンブレーションシート
4		〃	WH-10
5		〃	石綿ジョイントシート



ステンレス板と止水材の孔径は座金の外径と同じ44φとする。  
図-9 ボルト軸力の静的減衰試験の試験体

b) 軸力測定用ボルト

軸力測定用ボルトの表面に歪ゲージを貼付する。

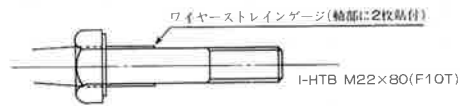


図-10 軸力測定用ボルト

c) 測定方法

試験体に各2本ずつ軸力測定用ボルトを設置し、トルクレンチにて60kg・mのトルクで締付けた。ボルト軸部に貼付した歪ゲージにより、締付後0、5、10、30、60、120分から1日、2日、3日、5日、16日、40日の各経過時間毎に歪を測定した。

40日間経過した試験体を再度トルクレンチで、初期導入時の軸力まで締付け、その後7日間の軸力変動を測定した。

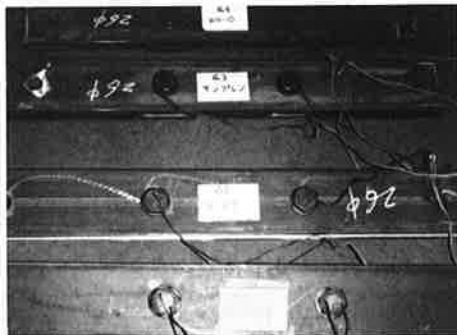


写真-2

(2) 本実験

本実験は、標準タイプの伸縮装置の試験体を使用し、設計荷重の繰返し载荷を行うものである。以下にその方法と試験項目について述べる。

1) 試験体

本実験の試験体は、伸縮装置本体・受台・载荷治具で構成されている。本体は伸縮量50mmの標準タイプのもので、ウェブ高さが異なる以外は標準タイプと同一の構造である。構造寸法は、図-11と図-12に示すとおりである。試験体は2体作製し、Model-1(現状のタイプ・埋込防水)とModel-2(全面防水・部分防水)とした。試験体の製作は、製作要領書に基づき通常の伸縮装置と同一条件で行った(写真-3・4・5)。



写真-3

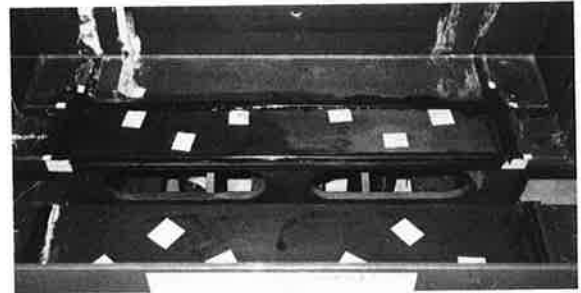


写真-4

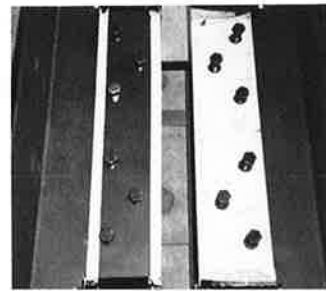


写真-5



写真-6



写真-7

2) 载荷装置

止水材の劣化試験(前実験)と本実験には、大阪市立大学所有の疲労試験機を使用した(写真-6・7)。

能力	静的载荷	: 100ton
	動的载荷	: 50ton
	繰返し速度	: 600RPM(10Hz)
	荷重方向	: 上下



3) 載荷荷重

設計荷重は、阪神高速道路公団・構造物設計基準(第9編、1・9・3設計条件)によると、

輪荷重  $P_l=8.0\text{ton}$

衝撃係数  $i=1.0$

設計荷重  $P = P_l(1+i) = 8.0(1+1.0) = 16.0\text{t}$   
 である。そこで、載荷荷重は設計荷重と同様16.0<sup>t</sup>を用いた。

4) 載荷方法

載荷方法として、下限値0<sup>t</sup>・上限値16<sup>t</sup>を繰返し載荷するのが理想であるが、載荷装置の能力からいって、荷重を0<sup>t</sup>にすることは不可能である。そこで、下限値4<sup>t</sup>・上限値20<sup>t</sup>の片振り載荷とした。図-11の試験体のタンク部分に水を溜めておき、1日放置し漏水のないことを確認後、載荷実験を行った。

繰返し速度は、最大600RPM(10Hz)であるが、載荷フレームや試験体との共振などを防ぐために、250RPM(4.2Hz)とし、1日に約35万回の速度とした。止水材の劣化試験と本実験の繰返し回数は、200万回から300万回を目途とした。

5) 試験項目と測定方法

本実験での試験項目は、

- a) 水漏れ経路の確認
- b) 各止水方法の比較
- c) ボルト軸力の測定

である。

ボルト軸力の測定方法は、所定のトルクを導入したセットボルトを1週間放置し、静的減衰を追跡後、繰返し荷重を載荷し、70万回、140万回、210万回、250万回後のボルト軸部の歪を測定した。

5. 実験結果および考察

前実験ならびに本実験の結果より、最適の止水材と止水方法を考察する。

(1) 止水材の劣化試験(前実験)

止水材の厚み方向に設計荷重を繰返し載荷し、その回数と引張強度・伸びを示したのが図-13である。図-14は、繰返し回数と荷重-たわみ曲線との関係を調べたものである。

実験の対象とした止水材は、WH-10・EPT・サンブレーションシート・エスライト・石綿ジョイントシートの5種類である。石綿ジョイントシートは、硬すぎるためダンベルの試験片が採取できなかったので、引張強度・伸びの試験については行わなかった。

WH-10とEPTについては、繰返し回数と物理特性に変化はあまりない。エスライトは、繰返し回数が増えると引張強度は減少し、伸び率は増加する傾向にある。サンブレーションシートは繰返し回数によってかなり変動し、安定感にやや不安が残る。

図-14より、WH-10とサンブレーションシートは繰返

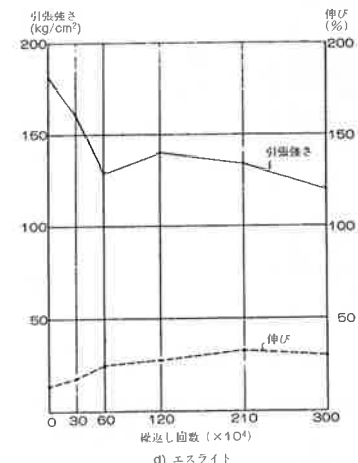
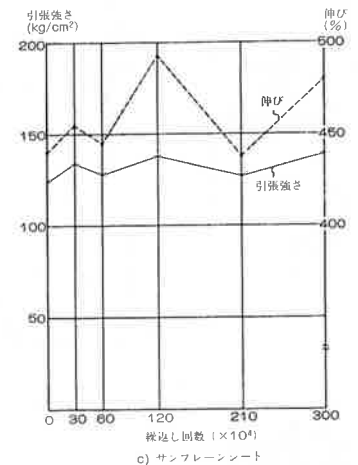
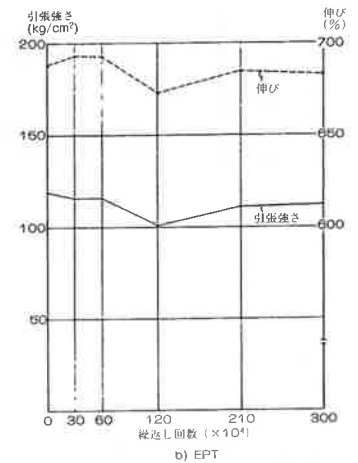
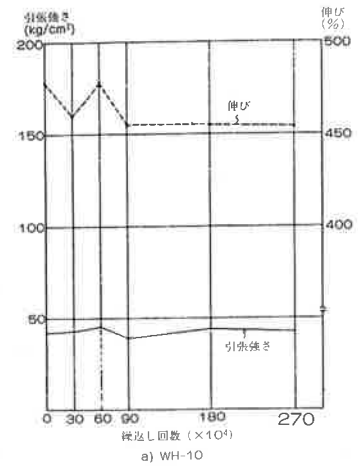


図-13 引張強さ・伸びと繰返し回数との関係

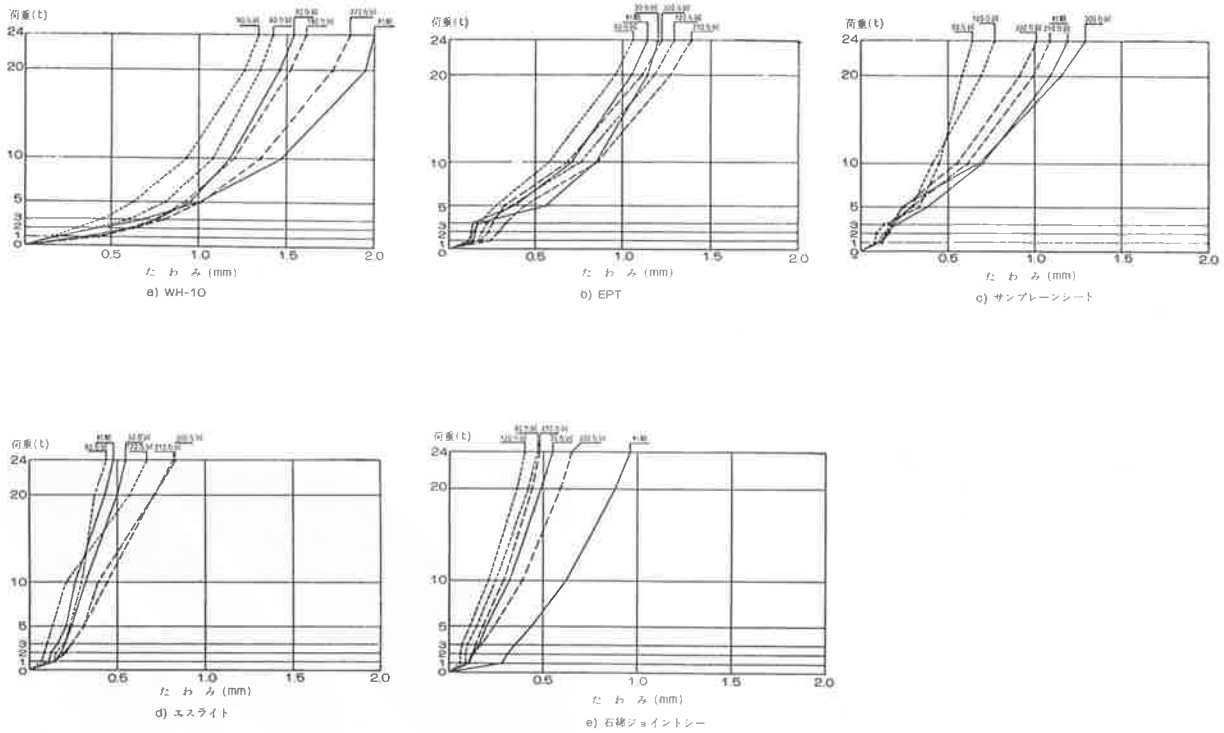


図-14 荷重-たわみ曲線

し回数によりかなり変動するが、EPTとエスライトと石綿ジョイントシートは安定している。石綿ジョイントシートの硬度は90であり、物理特性もすぐれているが、あまりにも硬すぎるためフランジと樋のすき間をつめて止水する効果は、あまり期待できないように思われる。

(2) ボルト軸力の減衰試験 (前実験)

ボルト締付け後、経過時間毎にひずみを測定し、40日後に再締付けしたのが図-15である。止水材の硬度と軸力減衰は比例し、柔らかい材料ほど軸力変動は大きい。ステンレス板のみはさんだ供試体の軸力変動は数%ぐらいで、通常の鋼板のものと変らない。

再締付けを行うと、ボルト軸力の減衰は改善される。そのため、伸縮装置のセットボルトを締付け、

2日以上放置し再締付けすればよいものと思われる。

ボルトを締付けた場合、その軸力の影響がおよぶ範囲は、ワッシャー径の1~2倍であると言われている。そこで、実験にはワッシャー径の44φと同じ孔を止水材にあけた。

(3) 水漏れ経路の確認

現状の伸縮装置と埋込防水とを組合せたのがModel-1であり、止水材にEPTを使用し、部分防水と全面防水を施したのがModel-2である。Model-1の現状タイプにおいて、水漏れが確認されたが、他の止水方法には確認されなかった(写真-8)。各モデルにおいて、一方のタンクに赤インク、他方に青インクを混入した。また、ボルト部にはタンクに入れたインクと異なる色のインクを入れて、ボルト部か

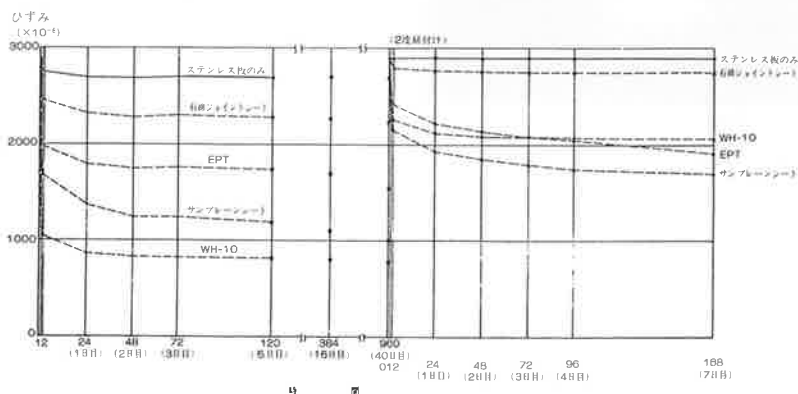


図-15 止水材をはさんだボルト軸の時間的変動

らの水漏れも調査した。Model-1 と Model-2 と  
も、Face Pl. と樋の間から樋内部に入る赤・青の両  
インクが確認されたが、ボルト部からの水漏れはな  
かった。

実際に施工された伸縮装置において、フランジと  
樋のすき間は調査したところ 1 mm 弱である。試験体  
においては、0.05mm くらいのわずかなすき間であ  
ったが、水漏れは起った。実橋において、桁端に水が  
あれば予想していた通りに、伸縮装置のフランジと  
樋のすき間から漏水があるものと思われる。

Model-1 と Model-2 の漏水状態(フランジ上面)  
を図示すると図-16 のようになる。

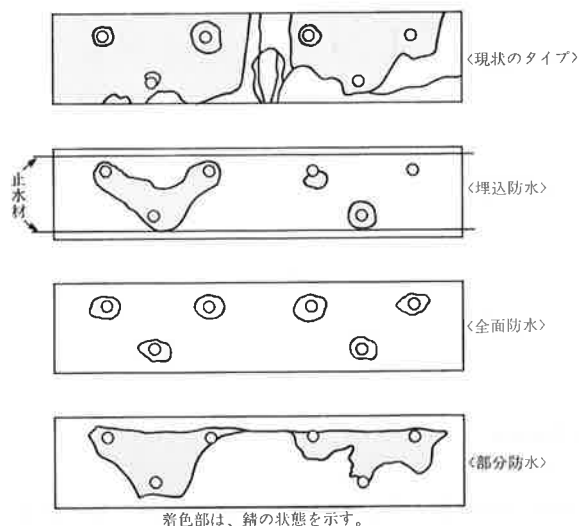


図-16 漏水状態

埋込防水に使用した棒状の止水材は、入手が容易  
なネオプレングムであったが、耐候性に不安がある  
ため、EPTの方が適しているものと思われる。実験  
に採用した溝の形状は、深さ7mm・幅12mmで、ネオ  
プレングム10φの丸棒との組合せであった。この組  
合せでは、止水に不安があるため溝とゴムの中にシ  
ール材(シーラント)を注入した。



写真-8

#### (4) ボルト軸力の動的変動と止水方法

図-17と18は、それぞれ本実験におけるボルト軸  
力の動的・静的変動を示している。ボルト軸力の静  
的減衰は前実験において用いた摩擦接合用高力六角  
ナットにくらべて、本実験のような標準タイプの伸  
縮継手の袋ナット形式では変動が大きい。

止水材(EPT)を挿入すると、前実験のように軸  
力導入と同時に減衰が起り、全面防水では30%近く

また、部分防水では40%以上の低下がある。部分防  
水は、セットボルトの外側に止水材を設置している  
ため、フランジ上の樋が湾曲して止水材が外側に押  
し出されるようになり、軸力の減衰が全面防水に比  
較して大きくなったものと思われる。

本実験の対象とした部分防水・全面防水・埋込防  
水の3種類において、止水効果の差はあまりみられ  
なかった。しかし、部分防水において実験終了後樋  
を開けると、2本のベルト状の止水材間にボルト部  
からの水漏れが確認された(写真-9)。セットボ  
ルトの軸力変動・止水効果の不安などを考慮すると、  
部分防水はあまり好ましくないように思われる。



写真-9

ボルト軸力の変動と止水方法についてまとめると  
表-5 のようになる。

表-5 ボルト軸力の変動と止水効果

項目	止水方法	現状の伸縮	埋込防水	全面防水	部分防水
	軸力 の 減衰	静的	13~13%	10~11%	22~23%
動的		6~7%	7~8%	7~8%	6~7%
止水効果		水漏れ	問題なし	問題なし	ボルト部からの漏水の可能性あり
評 価			止水効果・ボルト軸力の変動ともに問題はない。フランジプレートに設ける溝により、応力の検討が必要である。また、地覆の立上りの止水は、注意して施工する必要がある。	止水方法には、問題はないが、軸力の変動が現状のものより大きい。そのための対策が必要である。止水材には、ボルト位置に穴明け加工が必要である。	ボルト軸力の減衰も大きく、止水にも不安がある。

#### 7. まとめ

前実験と本実験を行って次のような結論が得られ  
た。止水材は物理・化学特性、入手難易度を考慮す  
ると EPT (エチレンプロピレングム) が適している。  
止水方法としては、全面防水と埋込み防水が適して  
いるものと思われる。全面防水は止水効果はあるが、  
長期間におよぶボルト軸力の変動が把握されていな  
いので、軸力減衰の防止対策が必要である。この軸  
力減衰は、止水材のクリープ変形によるものと思わ  
れる。一例として、図-19に示すように止水材の厚  
みは 2 mm であるが、65φのボルト孔を開けその位置  
に 65φのステンレス板 (SUS304厚み 1 mm) を設置  
すると、止水材に作用する応力が軽減でき、クリー  
プ変形も小さくなるものと思われる。



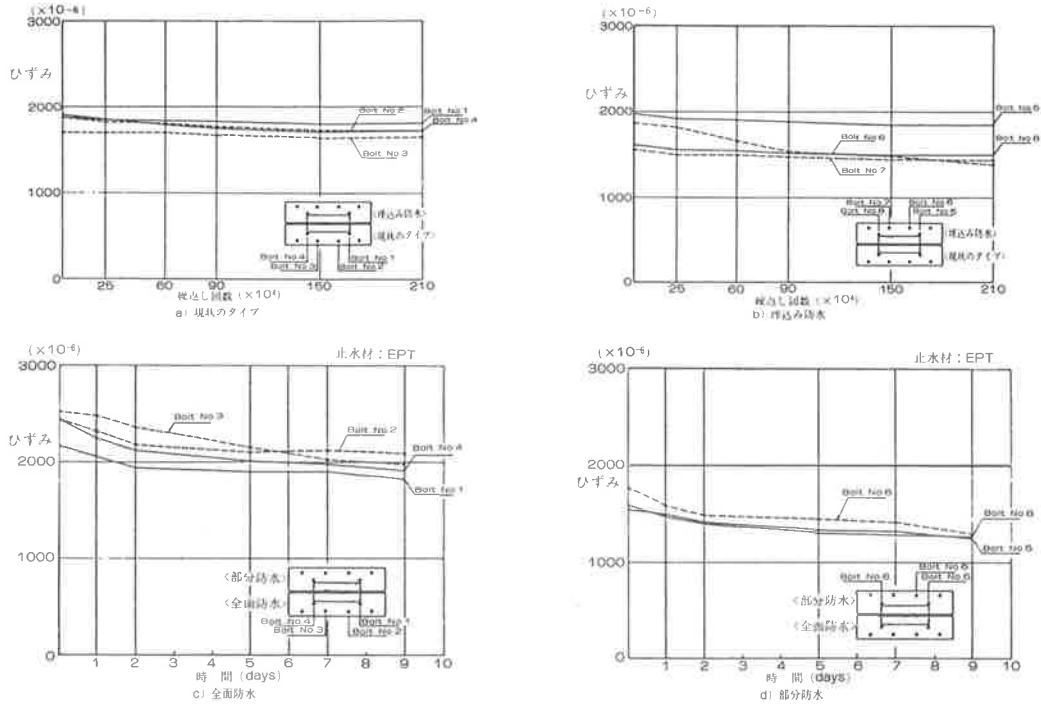


図-17 ボルト軸力の時間的減衰（本実験）

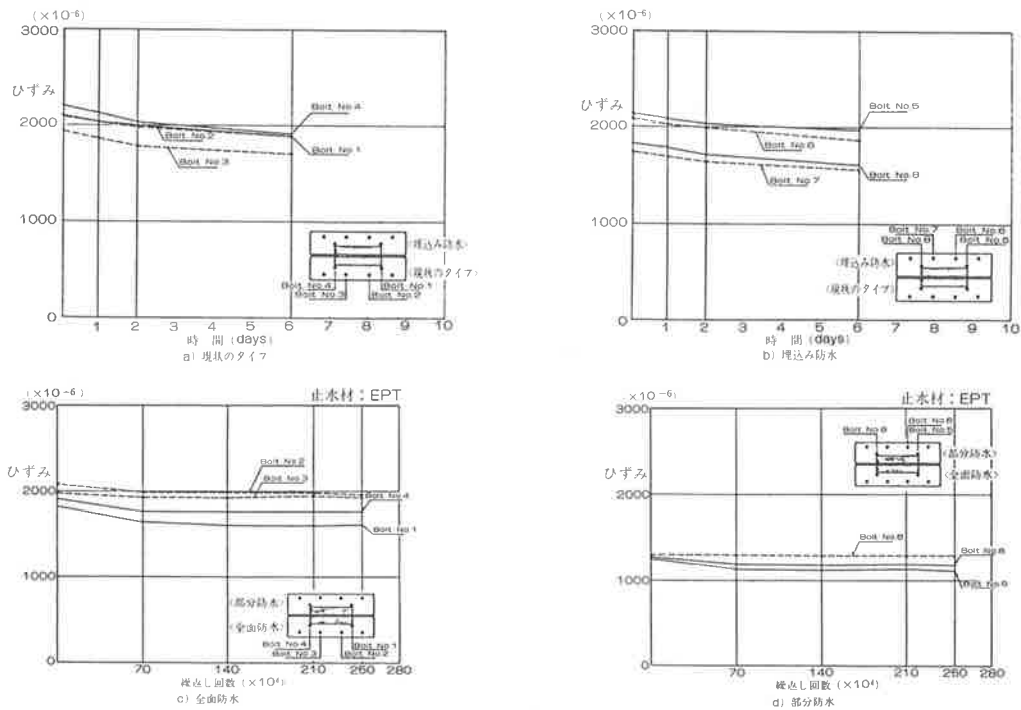


図-18 荷重載荷時のボルト軸力変動（本実験）

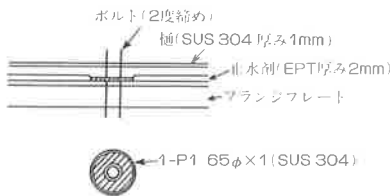


図-19 軸力減衰防止対策の一例

フランジプレートに溝を切り、そこに棒状の止水材を挿入する埋込防水は、一般部において問題はないが、地覆の立上り部は入念な施工が必要である。また、溝を切ると断面欠損になるため、溝の位置に

は十分な配慮が必要である。

今後の課題として

- i) 止水材をはさむと確かに防止効果はあるが、その止水された水の排除法も考慮せねばならない。
- ii) 標準タイプの伸縮装置は、フェイスプレートをセットボルトと袋ナットで取付ける構造であるが、袋ナットをフランジに溶接するため溶接により袋ナットのネジ部が変形を受ける。このため、所定のトルクを導入してもボルト軸力にかなりバラツキが生じるものと思われる。
- iii) コンクリート床版用の伸縮装置を中心に述べて

きたが、鋼床版に適用する場合、高さ調整用の  
フィラープレートとデッキプレートは溶接し、  
フィラープレートの板厚が変化する場合は、そ  
の間にシール材を施工する必要がある。

#### あとがき

本報告は、阪神高速道路公団より受注した鋼製伸縮装置の止水方法に関する実験業務で行った実験をまとめたものである。伸縮装置の漏水防止という点に注目したものであるが、この実験では現状タイプの漏水の可能性は確認できたものの、漏水問題をすべて解決したわけではない。今後もこのような方面での対策が要求され、なお一層の改善が必要である

と思われる。

実験の計画当初から御指導、御協力いただいた阪神高速道路公団大阪第一建設部の井阪課長・古田係長・中村主査ならびに設計課の方々に、また、実験を行うにあたり、貴重な助言と協力を得た中井商工(株)、早川ゴム(株)、日鉄ボルテン(株)、(財)化学品検査協会、ならびに大阪市立大学の中井教授と橋梁研究室の各位に深謝する次第である。

#### 参考文献

- 1) 山田準吉：ゴム、大日本図書、PP137～138
- 2) 山本 晃：ねじ締結の理論と計算、養賢堂、PP60～66