

鋼製非排水型伸縮装置の改良

大阪第三建設部 設計課 江上輝雄
同 部 同 課 森喜仁

要 約

阪神高速道路公団では、鋼製伸縮装置にはステンレス樋と、それに充填された弾性シール材、およびバックアップ材からなる構造を有する非排水型の伸縮装置を基本的に採用してきた。しかしながら、上部工の長大化および連続化が進むにつれ伸縮装置の伸縮量も大きな値となり、今まで以上に伸縮に追従して止水機能を確保することが必要となる。

そこで今回は、ステンレス樋を有した構造を基本とし、その充填構造について、設計温度範囲内の -10°C 、 0°C 、 20°C 、 50°C の恒温状態で充填材の追従性の確認を行い、さらに、繰り返し実験にて耐久性の確認を行った。その結果、常温（ 20°C ）充填の弾性シール材と圧縮残留歪が少ない高弾性のバックアップ材、そして、今回新たに導入した防塵材から成る新しい充填構造を見出せた。この新しい充填構造を我々は、Seal of Advanced Construction構造（以下、SAC構造と略す。）と名付けた。

さらに、SAC構造の適用範囲について、検討した結果、伸縮装置の遊間が $150\text{mm}\sim 400\text{mm}$ まで適用可能であることが確認できた。

まえがき

阪神高速道路のような都市高速道路は、高架下が数多くの箇所利用され、伸縮装置からの漏水等に対して厳しい条件下にある。したがって、阪神高速道路公団では、維持管理面も考慮して伸縮装置の下に排水用の樋を持たない、いわゆる非排水型の伸縮装置を基本的に採用している。

高速湾岸線は、大阪湾の臨海部を通過するルートであり、そのルート上には河口部や埋め立て地が数多く存在しているため、それらの地域を通過する上部工は、鋼床版連続非合成箱桁が数多く採用されている。このように、上部工の長大化および連続化が進み、伸縮装置の遊間や伸縮量が大きな値となり、これらの伸縮量の値は、阪神高速道路公団設計基準に規定されている値を越える場合

が多い。非排水構造としてステンレス樋を使用する伸縮装置は、非排水性が優れているが大伸縮量に対しては、ステンレス樋の変形性能およびその溶接部の強度に懸念が生じる。したがって、ステンレス樋に充填された材料の伸縮に対する追従性、および構造面での長期間に渡る止水性の確保が益々重要になってくる。

本報告は、ステンレス樋を使用した非排水型伸縮装置の充填材料、および構造について改良を加え、その性能について確認実験を行い、阪神高速道路公団設計基準に規定されている桁遊間を越える場合の鋼製伸縮装置の適用について検討を行った結果を報告するものである。

1 充填材の検討

1-1 検討方針

阪神高速道路公団で採用している鋼製非排水型伸縮装置は、図-1に示すとおりであり、ステンレス樋と弾性シール材およびバックアップ材から構成されている。今回の検討は、構造は現行の構造を基本とし、桁遊間300mm、伸縮量290mmの条件下で、弾性シール材の材質とバックアップ材の材質及び形状について改良を加え、新たに、弾性シール材とフィンガープレートとの間に防塵材を設けることとした。

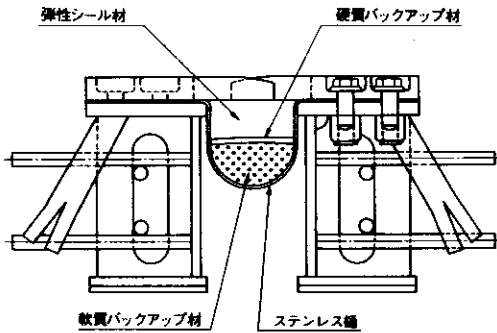


図-1 阪神高速道路公団標準鋼製伸縮装置

表-1 阪神高速道路公団における伸縮装置の適用範囲

伸縮装置の種別	伸縮量 (mm)					200
	10	20	35	50	70	
埋設ジョイント	○	○	○	○	○	○
突合せ型ゴムジョイント	○	○	○	○	○	○
橋脚型ゴムジョイント	○	○	○	○	○	○
鋼フィンガージョイント	○	○	○	○	○	○

1-2 充填材に要求される性能

弾性シール材、およびステンレス樋の中にあつて弾性シール材を支えているバックアップ材、さらに、今回新たに導入した防塵材の設置目的と要求性能をまとめると以下のとおりである。

(1) 弾性シール材

弾性シール材は止水目的で設置され、非排水構造を成り立たせる上で重要である。そこで、大きな許容伸縮率が求められるとともに、特に低温下での良好な伸び物性が要求される。また、自然環境下で長期間に渡り止水機能を維持するために、耐候性、耐熱性、耐水性に優れ、良好な物性維持が必要である。さらに、常温で施工でき、セルフレベリングタイプであることが要求される。

(2) バックアップ材

バックアップ材は、弾性シール材の二面接着の確保、および充填形状の調整等を目的として設置されるが、重要なことは圧縮時の弾性シール材の変形を吸収することである。そこで、圧縮時に弾性シールを支持し、バックアップ材に座屈変形を生じさせない物性と形状を有していなければならない。また、高温下での圧縮や低温下での引っ張りに対しても、常に弾性シール材を支持する機能を有していなければならない。

(3) 防塵材

弾性シール材とフィンガープレートとの接触を遮断し、弾性シール材のフィンガープレートによる損傷を防ぐ目的で設置される。設置箇所が直射日光等自然環境下に直接長期間さらされることから、耐候性、耐寒性、耐水性に優れなければならない。また、伸縮に対する追従性が良好で、圧縮時に弾性シール材の体積変化を吸収できる性能、いわゆる自己体積変化性能を有していなければならない。さらに、ステンレスとの接着性が良好であり、常温遊間で設置するため、圧縮変形が容易に行え、作業性が良好でなければならないことが要求される。

1-3 実験に使用した充填材

1-3-1 弾性シール材

今回使用した弾性シール材は、液状の主剤と硬化剤との硬化反応によりポリマー化してゴム状弾性体となる。主剤中のポリブタジエンは耐寒性に

優れ、また、疎水性のため、耐水性、耐薬品性に優れている。一方、硬化剤中のポリエーテルは、イソシアネートとのプレポリマー化が容易で硬化剤中の架橋密度を任意に調節できる。したがって、今回使用した弾性シール材は、 -20°C の低温下で従来の弾性シール材に比べ、2倍以上の許容伸縮率を有し、 $\pm 50\%$ もの大きな伸縮率においても上記の要求性能を十分有していると考えられる。

1-3-2 バックアップ材

バックアップ材は、自己体積変化性を有し、かつ圧縮復元性が要求される。今回の検討では、従来から用いられているポリエチレンフォームと、上記の要求性能を満足していると考えられるポリウレタンフォームを使用した。ポリエチレンフォームは、一般に耐熱性が低く、特に圧縮加熱後の復元性に劣る。ポリウレタンフォームは、耐熱性に優れ、圧縮加熱後の復元性に優れている。さらに、今回の検討に使用したポリウレタンフォームのバックアップ材は、クッション性の良いポリエーテル型であり、特に高弾性で圧縮残留歪が小さい性能を有すると考えられる。

1-3-3 防塵材

防塵材は、バックアップ材と同様に自己体積変化性と耐水性、耐候性が要求されるため、以下の材料を使用した。圧縮復元性に優れる材料としてウレタンフォームを、耐候性に優れる材料としてポリウレタンに樹脂等を含浸させた材料と、合成ゴムEPDM (ethylene-propylene-diene terpolymers) 発泡体を使用した。

また、防塵材の表面に設置する表面保護材として、伸縮性は無いが機械的強度に優れるアラミド繊維と、伸縮性に優れたウレタンフィルムおよび弾性シール材を使用した。

2 予備実験

2-1 実験概要

実験は、まず図-2に示すタイプA供試体を使用した弾性シール材の挙動確認実験を行い、次にバックアップ材および防塵材の最適な材質と形状を確認するためにバックアップ材と防塵材の材質

形状選定実験を行った。

弾性シール材の挙動確認実験では、まず恒温実験を行い、その後同じ供試体を使用して繰り返し実験を行った。恒温実験は、各季節の温度条件を恒温実験室で人工的に設定し、充填材の追従性の確認を行う実験である。繰り返し実験は、繰り返し実験機を用いて自動伸縮させ、充填材の耐久性の確認を行う実験である。

バックアップ材と防塵材の材質形状選定実験は各々に要求される性能を有していると考えられる材料を選定し、それらの材料を使用して繰り返し実験を行い、最適な材質および形状の確認を行った。

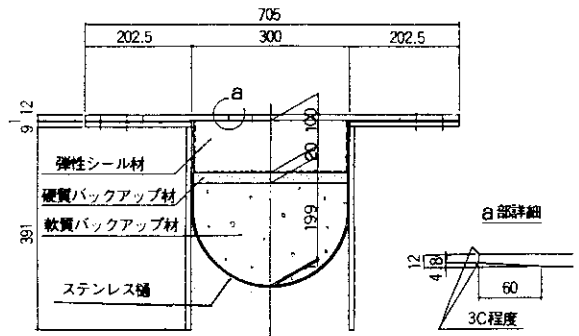


図-2 タイプA供試体

表-2 使用した弾性シール材の名称と成分

名称	成分
ボンドシール NAP	主 剤=水酸基末端ポリブタジエン 硬化剤=イソシアネートプレポリマー

2-2 弾性シール材の挙動確認実験

2-2-1 実験方法

まず恒温実験は、実験装置を恒温室に入れ、設計温度範囲内の -10°C 、 0°C 、 20°C 、 50°C の観察点毎に温度設定及び遊間設定を行い、そこで1日当たりの伸縮量を加えて、実況に近い状態を再現し、充填材の追従性の観察を行った。供試体の各観察点における伸縮回数は10回とし、各観察点毎にその季節の温度条件を設定して、主に初期挙動

の段階で観察を行った。観察項目として弾性シール材の盛り上がり、盛り下がりの測定、およびバックアップ材の端部断面厚みの測定を行った。

次に恒温実験を終了した供試体を使用して繰り返し実験を行い、弾性シール材およびバックアップ材の耐久性の確認を行った。繰り返し回数は、最大圧縮遊間から最大引張り遊間までの移動が1日で生じると仮定して、約10年相当分の3650回とした。観察項目として弾性シール材の盛り上がり、盛り下がりの測定、およびバックアップ材の端部断面厚みの測定を行った。

2-2-2 実験結果

従来の弾性シール材に比べて、引張りに対して優れているボンドシールNAPを弾性シール材に用いた結果、 -10°C における最大67%の引張りおよび $+50^{\circ}\text{C}$ における50%の圧縮に対し、十分な追従性を示した。繰り返し実験の結果においても、剥離、亀裂等の異常は発生せず、弾性シール材は常温充填における各温度条件下の $\pm 50\%$ の伸縮に対し、追従可能な性能を有していた。写真-1に示すように恒温実験において、上部の硬質バックアップ材が、圧縮時に下方の軟質バックアップ材側に大きく座屈し永久変形が生じていた。この原因は、バックアップ材の材料として加熱圧縮後の復元性に劣るポリエチレンフォームを使用していたためであると考えられる。

以上のことから、伸縮に対する追従性の優れる

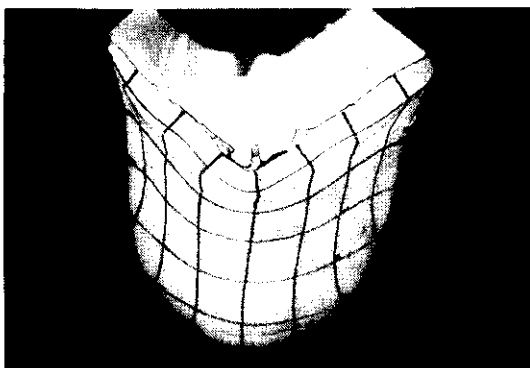


写真-1 タイプA実験終了後のバックアップ材

弾性シール材を使用しても、現行の構造では、弾性シール材の座屈変形や下がりの発生は避けられないことがわかった。

2-3 バックアップ材と防塵材の材質形状選定実験

2-3-1 実験方法

バックアップ材の材質形状選定実験は、バックアップ材に要求される性能から表-3に示す材料を選定し、図-3に示す単純2層式と上面円弧型の基本形状供試体を用いて実験を行った。実験に用いた供試体の形状は、図-4のとおりであり、弾性シール材上に30mmの隙間を防塵材の装着を想定して設けた。実験は、最大圧縮遊間から最大引張り遊間までの移動を1回とし、10回の伸縮を加えて全体の変形を観察した。観察項目として実験前、初回圧縮時、初回引張り時、実験終了後におけるバックアップ材の盛り上がり、盛り下がり、および単部断面厚みの測定を行った。

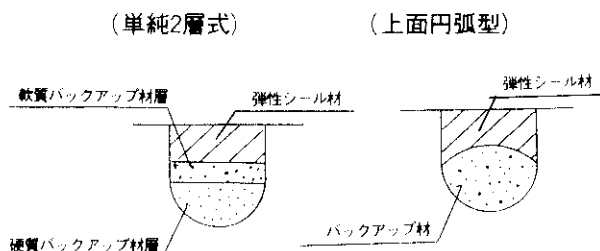


図-3 バックアップ材の基本形状

表-3 使用したバックアップ材の名称と成分

名 称	成 分
サンベルカ C-3000	ポリエチレン
オブセル LC-300#2	ポリエチレン
エアロンフォーム KD	ポリゴエーテル系ポリウレタン
エアロンフォーム RA	ポリゴエーテル系ポリウレタン
エアロンフォーム ZF	ポリゴエーテル系ポリウレタン

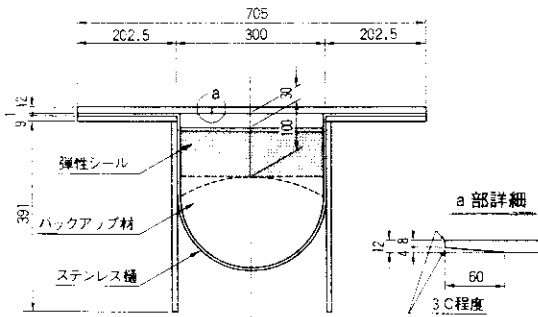


図-4 バックアップ材材質形状選定実験供試体

防塵材の材質形状選定実験は、防塵材に要求される性能から表-4に示すフォーム材料を選定し、

表-4 使用した防塵剤のフォームの名称と成分

名 称	成 分
エアロンフォーム ZF	ポリエーテル系ポリウレタン
エアロンフォーム NH	ポリエーテル系ポリウレタン
コンプリバンド	ウレタンフォームに濃青質を含浸
コンプリフォーム	ウレタンフォームにゴム質を含浸
コンプリゴム	合成ゴムEPDM発泡体
エプトシーラー No685	合成ゴムEPDM発泡体

さらに、エアロンフォームのZFとNHはウレタンフォームであるため、直接外部に露出されると耐候性が劣ることから表-5の表面保護材を選定し併用した。供試体の形状は表-6のとおりであり、バックアップ材は、バックアップ材の材質形状選定実験で選定された材質形状のものを使用した。実験要領はバックアップ材の実験要領と同様であ

表-5 使用した防塵剤の表面保護材の名称と成分

名 称	成 分
テクノーラ マイクロフト	アラミド繊維
ポリウレタンエラストマー-DUS214-CDB	ポリウレタン
ボンドシールNAP	ポリブタジエン

る。観察項目は、施工性、バックアップ材との接着性、圧縮時の体積変化と形状、動的追従性、耐候性であった。

表-6 防塵材試験体の形状

形 状	使用材料	厚み (t)
保護材付きフォーム材	・フォーム材 ・エアロンフォームZF ・エアロンフォームNH ・表面保護材 ・アラミド繊維 ・ボンドシールNAP	30mm
各種フォーム材	・コンプリバンド	30mm
	・コンプリフォーム	60mm
やや硬めEPDM やや軟らかめEPDM	・コンプリゴム ・エプトシーラー No685	60mm
	・コンプリゴム+ エプトシーラー No685	60mm

2-3-2 実験結果

バックアップ材の実験結果では、上面に30mmの隙間があることから、弾性シール材の座屈は認められなかった。表-7に示すように、前述のバックアップ材の要求性能を満足するのは、2番、5番、6番である。5番と6番は、実験結果にあまり大きな差がないものの、硬質バックアップ材が多く軟質バックアップ材が少ない5番の方が、弾性シール材の支持機能を長期間確保できると判断して、5番を単純2層式の代表とした。さらに、2番と5番について防塵材としてコンプリゴム(厚さ60mm)を装着した実験結果では、5番の供

表-7 バックアップ材材質形状選定実験結果

項目 番号	断面形状	圧縮時の状態	予備後のシール材の「下がり」		項目 番号	断面形状	圧縮時の状態	予備後のシール材の「下がり」	
			フィンガー中央部	フィンガー端部				フィンガー中央部	フィンガー端部
従来形			-6.0mm	-1.2mm	6番			-2.0mm	-1.2mm
1番			+0.8mm	+1.5mm	8-1番			+0.8mm	+1.5mm
2番			+1.1mm	+1.1mm	8-2番			+1.1mm	+1.1mm
4-1番			-2.8mm	-0.7mm	9番			-2.8mm	-0.7mm
4-2番			-3.3mm	-2.4mm	10番			-3.3mm	-2.4mm
5番			-1.0mm	+0.3mm					

試体に圧縮時に弾性シール材の座屈が生じていたが、2番の供試体は弾性シール材の座屈は生じていなかった。したがって、最適なバックアップ材の材質および形状として2番を選定した。

防塵材の実験結果では、ウレタンフォームはその弾力性が欠点となり、施工性が悪く、波型の変形を起こした。コンプリバンドは、低温時に含浸させている瀝青質が硬くなり、追従性が悪くなった。厚さ60mmのシリーズの中で、コンプリフォームは圧縮時の追従性が劣るが、他の3供試体は伸縮に対しては柔軟に追従していた。しかし、耐磨耗性と弾性シール材の体質変化を柔軟に吸収できることを考慮すると、厚さ60mmのEPDM複合体

(コンプリゴム+エプトシーラー) が優れていると判断されるので、このタイプを選定した。

3 確認実験

3-1 実験概要

予備実験および、バックアップ材と防塵材の材質形状選定実験の結果に基づいて作成された図-5に示すタイプB供試体を使用し、恒温実験と繰り返し実験を行い、追従性と耐久性の確認を行った。

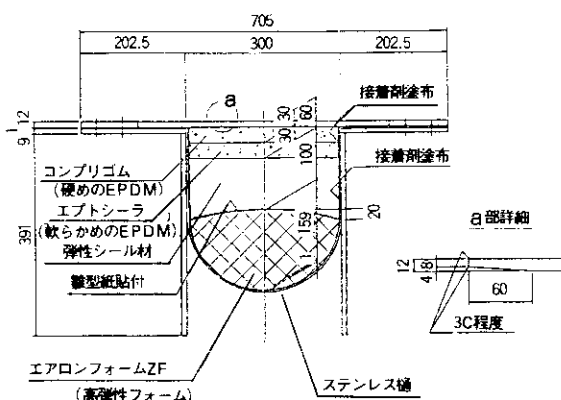


図-5 タイプB供試体

3-2 実験方法

恒温実験の主な観察項目は、低温引張り状態での追従性の確認と加熱圧縮除荷時の復元性の確認である。したがって、実験方法は基本的には予備実験と同じであるが、観察時点での繰り返し伸縮は行わず、また防塵材が雨水等の影響で冬場に凍結し、剥離、亀裂等が発生する事を想定し、実験前に水を十分含浸させたうえで、 -10°C の温度環境下で60時間凍結させ、引張りを加えた。

次に、予備実験と同様に恒温実験を終了した供試体を使用し、弾性シール材、バックアップ材および防塵材の耐久性の確認を行うために繰り返し実験を行った。実験方法は、予備実験と同じであるが、繰り返し回数は、従来行われてきた繰り返し実験結果から、充填材の盛り上がり、盛り下がり、および異常の有無について、1000回終了時と3650回終了時を比較すると、実験結果にあまり大きな差が見られないことから、この繰り返し実験では繰り返し回数を1000回とした。また、900回終了時に土砂の投入を行い、充填材表面の磨耗状況や回り具合を観察した。土砂は、高速道路上であることを考慮して8号珪砂を使用した。

3-3 実験結果

恒温実験の結果、 -10°C における引張り時および $+50^{\circ}\text{C}$ における圧縮時に弾性シール材には剥離、亀裂を生じていなかった。

バックアップ材についても、圧縮時に座屈は生じておらず、圧縮除荷後においても、熱影響によ

る残留歪や型崩れはなかった。引張り時についても全く問題はなかった。

防塵材は、圧縮時に弾性シール材の体積変化を吸収しており、圧縮除荷後の防塵材の厚みは、バックアップ材と同様大きな変化はなかった。 -10°C の状態では防塵材に多量の水を含浸させ、凍結させた状態で行った引張り実験では、接着面および材料に剥離、亀裂は生じていなかった。

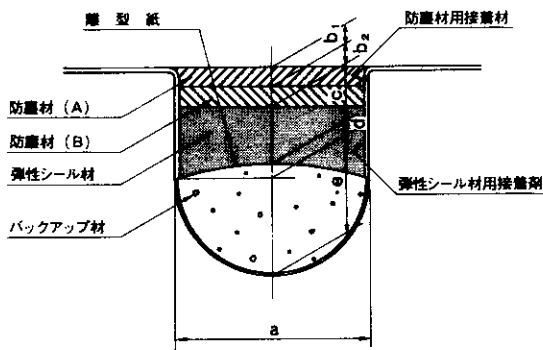
恒温実験終了後の繰り返し実験の結果、弾性シール材の接着面および材料に、剥離、亀裂は生じていなかった。900回繰り返し終了時に土砂を投入したが、弾性シール材と上面防塵材の間に、土砂の侵入は認められず、防塵材に表面からわずかに 1mm 入り込んだだけであった。バックアップ材、防塵材とも、繰り返し実験終了後に軽微な残留歪が認められただけで座屈はしていなかった。

以上の結果から、伸縮に対する追従性に優れる弾性シール材と圧縮残留歪の小さい高弾性ポリウレタンフォーム、および耐候性に優れるEPDM複合体の防塵材から構成されるタイプB供試体の構造は、現行の充填構造を大きく改善した構造であり、中～大伸縮量に対応する鋼製非排水型伸縮装置の耐久性を大幅に向上させた。

4 新型充填構造の適用条件の検討

タイプB供試体の充填構造を、Seal of Advanced Construction構造（以下SAC構造と略す。）と呼ぶ。SAC構造は、防塵材、弾性シール材、バックアップ材からなり、この構造が現行構造と最も異なる点は、弾性シール材とフィンガープレート間に防塵材の層を設けたことである。

実験結果から、今回の供試体の弾性シール材の圧縮率および引張り率は、 $\pm 55\%$ から $\pm 60\%$ が限界と考えられることから、数%の余裕をもたせ、SAC構造の圧縮率および引張り率を $\pm 50\%$ とする。したがって、適用可能遊間は下限については特に制限はないが、 50mm から 125mm までの小さい遊間のものは、現行構造でもあまり問題が生じていないことを考慮し、 150mm を下限とした。上限については、本構造のスケールアップでかなりの遊間



a	b ₁	b ₂	c	d	e
150	30	—	50	10	60
200	30	20	65	15	70
250	30	30	85	20	85
300	30	30	100	20	120
(300)	(30)	(30)	(100)	(20)	(170)
(400)	(30)	(30)	(100)	(20)	(220)

図-6 SAC構造図

まで再現可能であると考えられが、ステンレス樋が大型化するにつれ、樋端部における溶接部の耐久性に問題が生じる可能性があるため、上限の遊間を400mmとした。

以上の検討から、SAC構造の適用条件を以下のとおりとした。

(1)適用可能ステンレス樋遊間 (a)

$$(a) = 150\text{mm} \sim 400\text{mm}$$

(2)可能圧縮率及び引張り率 (T)

$$(T) \leq \pm 50$$

$$\text{圧縮率 (T)} = +\Delta l / a、$$

$$\text{引張り率 (T)} = -\Delta l / a$$

a : 充填時ステンレス樋遊間 (標準ステンレス樋遊間)

Δl : 充填時ステンレス樋遊間からの移動量

あとがき

今回の実験で確認されたSAC構造は、中～大伸縮量の鋼製非排水型伸縮装置に適するのはもちろん、阪神高速道路公団設計基準に示される、伸縮遊間についても有効である。また、既供用部において、過大な圧縮により損傷が生じている現行型の鋼製非排水型伸縮装置の補修にも、適用可能で

ある。

最後に、本実験に進めるにあたりご協力を頂いた、東海岸工区JV.、中井商工(株)、コニシ(株)の関係者に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団：構造物設計基準第4部
平成元年12月
- 2) 阪神高速道路公団：付属構造物標準図集
平成2年5月
- 3) 東海岸工区JV.：非排水型伸縮装置におけるSAC構造に関する実験報告書
平成2年6月