

# 異種地下構造物の接続を考慮した 新たな繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手 の機能性に関する実験的検証

猪子敬之介<sup>1</sup>・清水英征<sup>2</sup>・竹内幹雄<sup>3</sup>・小黒 明<sup>4</sup>・西本安志<sup>5</sup>・小野田忠弘<sup>6</sup>

<sup>1</sup>札幌市建設局土木部創成・駅前整備担当課（〒060-8611 札幌市中央区北1条西2丁目）

E-mail:keinosuke.inoko@city.sapporo.jp

<sup>2</sup>札幌市建設局土木部創成・駅前整備担当課（〒060-8611 札幌市中央区北1条西2丁目）

E-mail:hideyuki.shimizu@city.sapporo.jp

<sup>3</sup>株式会社 日水コン 下水道本部（〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1）

E-mail:oguro\_a@nissuicon.co.jp

<sup>4</sup>株式会社 日水コン 下水道東部本部（〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1）

E-mail:takeuti\_m@nissuicon.co.jp

<sup>5</sup>シバタ工業株式会社 商品企画第2グループ（〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾1058番地）

E-mail:Yasushi\_Nishimoto@sbt.co.jp

<sup>6</sup>シバタ工業株式会社 東京支社 建設環境事業部（〒101-0054 東京都千代田区神田錦町1丁目27番地）

E-mail:Tadahiro\_Onoda@sbt.co.jp

ビルと地下歩道など地震による振動特性が異なる構造物の継手部には、地震発生時に大きな伸縮や沈下にともなう変位差が生じるため、従来の止水板では対応できず、構造物の被害が懸念される。このような従来の止水板で対応できない継手部に対して、高い止水性や耐久性を有する瀝青系混合組成物と耐震用伸縮継手を組み合わせた免震ジョイント工法が検討されている。本文は、この免震ジョイント工法に適用する耐震用伸縮継手について構造検討を行い、新たに「繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手」を提案し、想定される変形追従性や止水性などの機能性実験を実施した結果について述べたものである。

**Key Words :** *coupled defferent structure, Seismic isolation joints, Fiber reinforced rubber, Transformation flattery, Still water function*

## 1. はじめに

高層ビルと地下歩道など地震による振動特性が異なる構造物の接続点には、過去の被災事例<sup>1), 2), 3)</sup>などでも明らかのように、地震発生時に大きな伸縮や沈下にともなう変位差が生じ、常に被害が集中する場所と言える。例えば中越大震災時には、写真-1に示すように、水処理施設の止水板が破断し、管廊内に汚水が流出し機器類の水没・故障を招いた<sup>4)</sup>。

現在、札幌市では、都心再生プロジェクト<sup>5)</sup>として、既設地下鉄南北線をまたぐ上部空間に公共地下歩道を設け、超高層ビルや重要ビルと間口全面にわたる接続が行われており、地震応答解析にて、それらがどのような変形挙動を示すかについて検討されている<sup>6)</sup>。

このような振動特性が異なる構造物の接続点に着目すると、地震発生時に大きな伸縮や沈下にともな

う大変位が生じることが想定され、従来の止水板では対応できない可能性が懸念される。このような従来の止水板で対応できない継手部に対して、機能性、施工性、経済性、修復性の観点から、瀝青系混合組成物免震材<sup>7)</sup>と耐震用伸縮継手を組み合わせた「免震ジョイント工法」が検討されている<sup>6)</sup>。

そこで、耐震用伸縮継手に関して、さらなる機能性や経済性の向上を目指して、新たな耐震用伸縮継手の検討を行った。その結果、著者らは、伸縮可とう性継手の構造を取り入れた、新たな「繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手」を提案した。従来の耐震用伸縮継手が、ゴム単体で構成され、主にゴムの伸び変形を利用したものであるのに対し、提案する構造は、地震時の変形挙動に対して主に幾何学変形にて追従し、ゴムを繊維補強することで、大きな目地幅や地下水圧、瀝青系混合組成物免震材の打設圧に確実に対応できるものである。



(a) 堀之内浄化センターの被害箇所と簡易施設の配置



(b) 水処理施設のずれからの漏水（堀之内浄化センター）  
写真-1 水処理施設の被災事例<sup>4)</sup>

ここでは、新たに提案する「繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手」の機能性の検証として、これを供用した場合の変形追従性や止水性に関する要素実験を実施した結果について報告するものである。

## 2. 繊維補強ゴム製耐震伸縮継手の構造

新たに提案する繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手の断面構造を図-1に示す。また、瀝青系混合組成物免震材（商標名アクアファルト）と組み合わせた「免震ジョイント工法」に適用した場合の概要を図-2に示す。

本伸縮継手の性能は、目地幅100mm、設計水圧10m相当、伸縮量±50mm、沈下量100mmである。

図-1より、本構造の第1の特長は、瀝青系混合組成物免震材の型枠としての機能を果たすと同時に、その打設圧に耐えうる繊維材で補強された一次耐圧部と本来の地震発生時の変形に追従しつつ、設計水圧が作用した際でも破断することなく止水機能を発揮できる繊維材で補強された二次耐圧部と機能を分離させたことである。

第2の特長は、それらの分離させたそれぞれの耐圧部を一体化し、地震発生時には、そのレベルにもよるが、最終的に一次耐圧部が破断して、二次耐圧部の幾何学的な変形（たるみ長さ）で対応するものである。よって、二次耐圧部の長さは、図-3で示すように、設計最大伸びと沈下が同時に作用した長さ以上としている。

さらなる第3の特長は、本構造は、強度を補強繊維材にて担保し、ゴム材を止水バリアとしているた

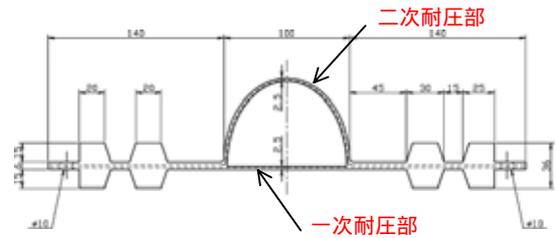


図-1 新たに提案する繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手の断面構造

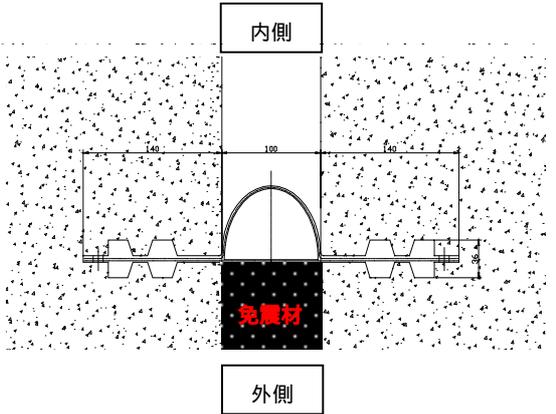


図-2 「免震ジョイント工法」に適用した場合の概要

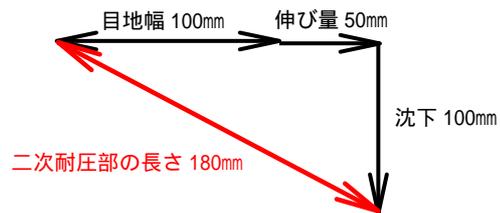


図-3 二次耐圧部の変形長（たるみ長さ）の概念

め、今回の設計条件以外のケースにおいても繊維材の力学特性を選択することで、任意に断面設計を行える可能性があるということである。

また、本継手の埋め込み深さなどは、突起部のゴムの強度やコンクリートからの引抜強度などにより、設計されている。

## 3. 繊維補強ゴム製耐震伸縮継手の変形追従性

### (1) 実験概要

提案する繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手に関して、実際の供用を想定すると、下記のような変形挙動に対して追従する必要があるといえる。

- 1) 想定される伸縮（水平方向）に対する追従性
- 2) 想定される沈下（鉛直方向）に対する追従性
- 3) 伸縮と沈下が同時に作用した場合（水平 + 鉛直）に対する追従性
- 4) せん断方向（横ズレ）に対する追従性

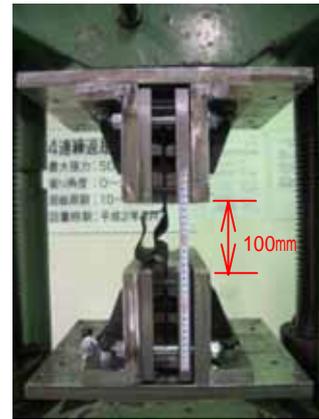


(a) 供試体断面

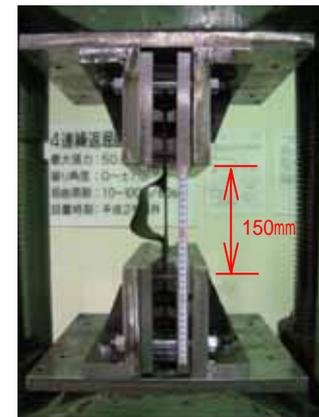


(b) 供試体上面

写真-2 変形追従性実験に用いた供試体



(a) 初期セット時



(b) 50mm 伸び時

写真-3 伸縮追従性実験の状況

そこで、シバタ工業株式会社が所有する300kNアムスラー万能試験機（島津製作所製）に所定の治具を取り付け、それぞれの変形挙動に追従できるかどうかについて検証を行った。

なお、本実験に用いた供試体は、写真-2に示すように、実際の断面構造と同じスケールのもので、長さ150mmに切り出したものとし、いずれの実験でもそれぞれ3ケースずつ実施した。

## (2)伸縮追従性確認実験

本実験は、写真-3(a)のように、目地幅 100mm に相当する間隔を保持した状態で初期セットし、設計伸縮量+50mm（目地幅 150mm）を静的に作用させその追従性について検証を行った。なお、いずれの実験においても、治具の固定部は、実際の供用下と同じく、試験体に押さえつけ力（締め付け力）が作用しないようにしている。

本実験で得られた荷重～変位関係を単位幅あたりの荷重に換算した結果を図-4 に示す。また、設計伸縮量+50mm（目地幅 150mm）が作用した場合の供試体の状況を写真-3(b)に示す。

図-4 および写真-3(b)より、設計伸縮量+50mm（目地幅 150mm）に対しても、供試体接合部の剥がれや突起部の異常も認められず、十分な追従性と耐力を有することが確認できた。

なお、今回の実験では、設計伸縮量+50mm（目地幅150mm）での一次耐圧部の破断は認められなかったが、この破断の有無が設計伸縮量の追従性に影響を与えることはないといえる。

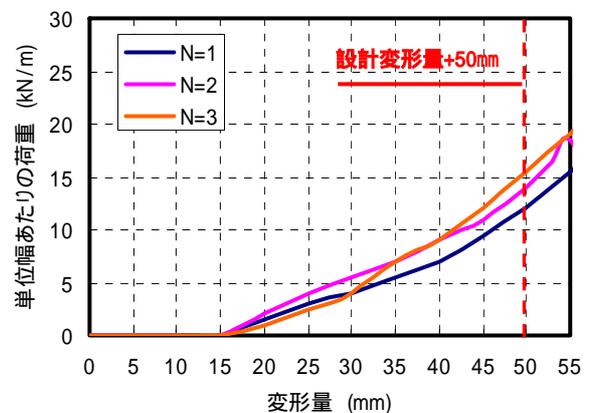


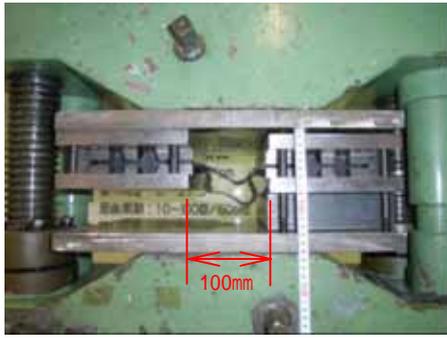
図-4 伸縮追従性実験で得られた荷重～変形量関係

## (3)沈下追従性確認実験

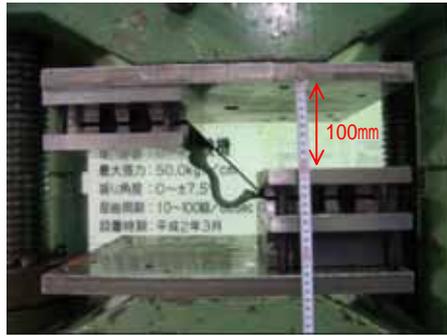
本実験は、写真-4(a)のように、目地幅 100mm に相当する間隔を保持した状態で初期セットし、設計沈下量の 100mm を静的に作用させ、その追従性について検証を行った。

さらには、最終的に二次耐圧部が破断する変形量まで沈下させ、接合部の剥がれや突起部などに異常が認められないかも合わせて検討した。

本実験で得られた鉛直方向荷重～変位関係を単位幅あたりの荷重に換算した結果を図-5 に示す。また、設計沈下量 100mm が作用した場合の供試体の



(a) 初期セット時



(b) 100mm 沈下時



(c) 二次耐圧部破断時  
写真-4 沈下追従性実験の状況

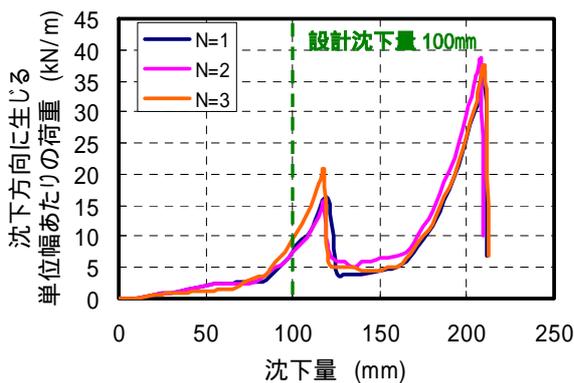
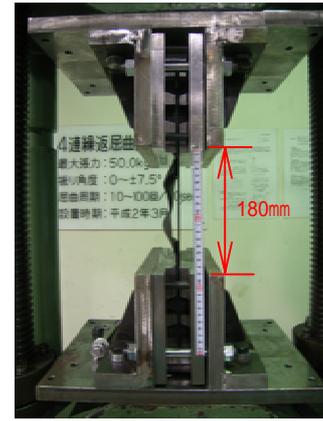


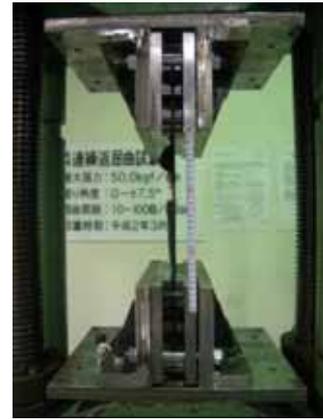
図-5 沈下追従性実験で得られた荷重～変形量関係

状況や二次耐圧部が破断した際の状況などを写真-4(b), (c)に示す。

図-5 より、一次耐圧部が破断した後も沈下させ続けると沈下量 200mm で二次耐圧部が破断したことから、設計沈下量+100mm に対しても十分な追従性と耐力を有することがわかる。また、約 120mm



(a) 目地幅 180mm 時



(b) 二次耐圧部破断時  
写真-5 複合追従性実験の状況

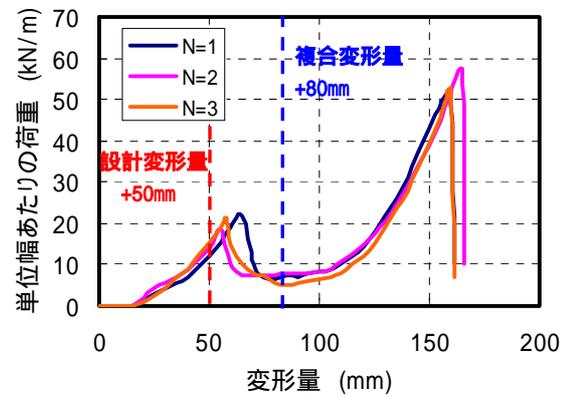


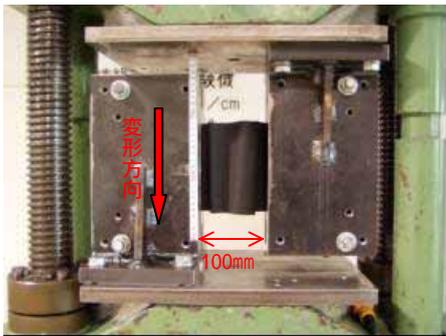
図-6 複合追従性実験で得られた荷重～変形量関係

沈下時に一次耐圧部の内部繊維が破断して荷重が低下するが、繊維材に貼り合せたゴムまでは破断することなく残存している状態となり完全に除荷されず、最終的に約 210mm 沈下時に二次耐圧部が破断した。

また、供試体接合部の剥がれや突起部の剥がれなどは全く確認されず、突起の形状や強度などは問題ないと判断される。

#### (4) 複合追従性確認実験

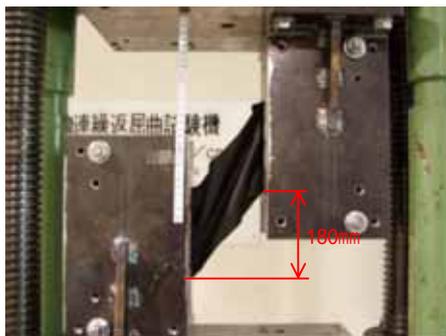
本実験は、写真-3(a)のように、目地幅 100mm に相当する間隔を保持した状態で初期セットし、先の



(a) 初期セット時



(b) 100mm 沈下時



(c) 二次耐圧部破断時  
写真-6 せん断追従性実験の状況

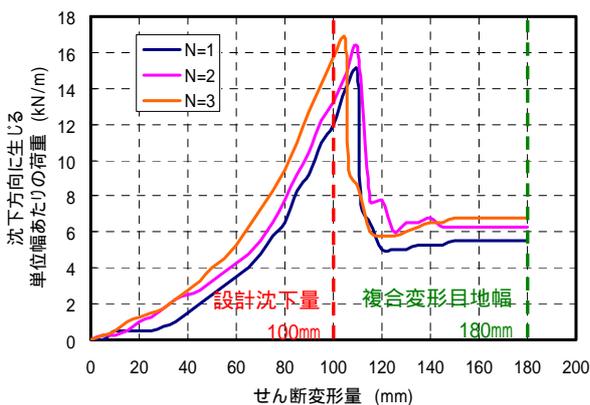


図-7 せん断追従性実験で得られた荷重～変形量関係

伸縮追従性確認実験で作用させた設計伸び量 50mm 以降も、伸縮と沈下が同時に作用した場合（水平＋鉛直）を想定した目地幅 180mm（伸び量では 80mm）以上を作用させ、最終的に二次耐圧部が破

断するまで引張荷し、その追従性を確認した。同時に、本伸縮継手の一次耐圧部に作用するアクアファルトの打設圧、二次耐圧部に作用する設計水圧（10m 相当）に対して設計強度を満足できるか検証するとともに、設計検討した突起部の妥当性についても検証した。

本実験で得られた荷重～変位関係を単位幅あたりの荷重に換算した結果を図-6 に示す。また、目地幅 180mm（伸び量では 80mm）変形時や二次耐圧部が破断した終局状態での状況を写真-5(a), (b) に示す。

図-6 および写真-5 より、一次耐圧部の破断強度は、アクアファルト打設時に作用する張力 7.06kN/m に対しても十分な強度を有するとともに、一次耐圧部破断後も伸縮と沈下を考慮した複合目地幅 180mm（伸び量では 80mm）が作用しても十分な追従性を有することがわかる。さらに、変形が進行しても目地幅 180mm（伸び量では 80mm）で設計水圧 0.098MPa が作用した際に膜材に働く力 16.17kN/m やそれに相当する変形にも十分耐えうることが確認できた。また、供試体接合部の剥がれや突起部の剥がれなどは全く確認されず、突起の形状や強度などは問題ないと判断される。

#### (5)せん断追従性確認実験

本実験は、写真-6(a)のように、目地幅100mmに相当する間隔を保持した状態で初期セットし、設計沈下量100mmから水平方向の伸びと鉛直方向の沈下が同時に作用した場合を想定した目地幅に相当する最大180mmまでをせん断変形させ、その追従性について検証を行った。

本実験で得られた荷重～変位関係を単位幅あたりの荷重に換算した結果を図-7 に示す。また、設計沈下量 100mm や水平方向の伸びと鉛直方向の沈下が同時に作用した場合を想定した目地幅に相当する最大 180mm が作用した場合の供試体の状況を写真-6(b), (c) に示す。

図-7 および写真-6 より、設計沈下量 100mm に対しても、供試体接合の剥がれや突起部の異常も認められず、十分な追従性と耐力を有することが確認できた。さらには、せん断変形 100mm を過ぎた時点で一次耐圧部の埋設繊維の破断が生じ、その後も二次耐圧部が変形に追従し、最大 180mm のせん断変形量に対しても十分な追従性が確認でき、実験後の供試体からも突起部などの異常は認められなかった。

よって、せん断方向の変形に対しても十分な追従性を確保できると判断できる。

## 4. 繊維補強ゴム製耐震伸縮継手の止水性

### (1)実験概要

本伸縮継手の重要機能である止水性を検証するために、最も外力が作用すると想定されるケース（伸縮と沈下が同時に発生した最大目地幅 180 mm）に



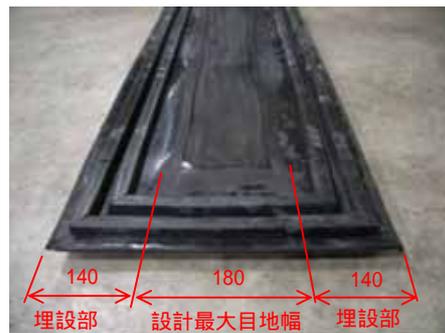
(a) 止水実験型枠



(a) 供試体の全景



(b) 下枠への供試体の設置



(b) 供試体の端部拡大  
写真-8 止水実験供試体



(c) 水圧载荷前の状態  
写真-7 せん断追従性実験の状況

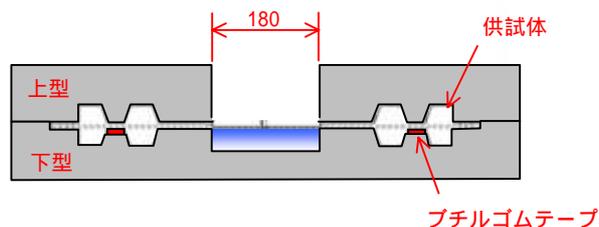


図-8 ブチルゴムテープの挿入位置

所定の設計水圧 (0.1MPa) を作用させ、止水性が満足できるかどうかについて検証した。

本実験は、写真-7 (a)に示すようなコンクリートで成型した型枠を準備し、そこに、写真-7(b)に示すように供試体を設置した後に上型をボルトにて締結し、写真-7(c)に示すように実際の供用状況を模擬した。その後、水圧ポンプにて所定水圧を 24 時間载荷し、漏水の有無を確認した。

なお、供用下での止水性を評価することを目的としているため、上下型枠をセットしボルト締結時には、供試体に押え力などが作用しないように設定している。

## (2) 供試体

本実験に用いた供試体は、実規模スケールの断面において、一次耐圧部が破断し、かつ、沈下と伸縮が同時に作用した場合を想定した目地幅 180mm と

なった際に、所定の設計水圧 0.1MPa を作用できるように予め成型したものである。その供試体を写真-8(a)に示す。これは、この条件において、膜材に作用する張力が最大となるためである。また、供試体には、写真-8(b)に示すように突起を全周に設け、全周において止水性を検証できるような構造とした。

ここで、本伸縮継手の止水機能は、伸縮継手のコンクリート埋設部の浸透距離に加え、水圧によって発生する供試体 (伸縮継手) の開放部の張力によって、コンクリート埋設部にも引張力が作用し、継手の突起部がコンクリート面に押しあてられることによって発揮される。

本実験では、型枠の制約上、本来の浸透距離の半分しか確保されていない上、下枠仕上がり面に不陸が発生していることを考慮して、ボルト締結時に供試体に押圧力が作用しない程度の極めて低粘度のブチルゴムテープを図-8 の位置に設置した。



写真-9 止水試験（水圧載荷時）の状況

### (3)結果

型枠内にセットし、所定の設計水圧（0.1MPa）を作用させた際の状況を写真-9 に示す。最大設計目地幅 180mm に相当する空間部分で二次耐圧部が膨らみ、膜張力が作用していることがわかる。なおこの際、初期セット時の上下型枠の隙間と水圧載荷後の隙間とに相違がないことを確認している。

また、24 時間経過時に漏水は確認されなかった。よって、長期間の確認が必要であるが、止水性という重要な要求特性を満足できうる構造であることが確認された。

## 5. おわりに

耐震用伸縮継手に関して、さらなる機能性や経済性の向上を目指して、新たに「繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手」を提案した。この「繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手」の機能性の検証として、これを供用した場合の変形追従性や止水性に関する要素実験を実施した。その結果、得られた知見を要約すると以下の通りである。

- 1) 機能性や経済性の向上を可能とする新たな繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手を提案した。その特長は、瀝青系混合組成物免震材の型枠としての機能を発揮する一次耐圧部と設計水圧が作用した際でも止水機能を発揮できる繊維材で補強された二次耐圧部に機能を分離させ一体化したこと、二次耐圧部の幾何学変形を利用したこと、繊維材の選択による設計自由度が大きいことなどである。
- 2) 繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手の供用を想定した伸縮（水平方向）、沈下（鉛直方向）、

伸縮と沈下が同時に作用した場合（水平 + 鉛直）、せん断方向（横ズレ）に対する追従性を実験的に検証した結果、いずれの変形挙動に対しても十分な追従性を有することを確認した。

- 3) 本伸縮継手の重要機能である止水性を検証するために、最も外力が作用すると想定されるケース（伸縮と沈下が同時に発生した最大目地幅 180 mm）に所定の設計水圧（0.1MPa）を 24 時間作用させ、止水性が満足できるかどうかについて検証した結果、漏水は確認されず、止水性という重要な要求特性を満足できうる構造であることが確認された。

今後は、より供用下に近いかたちでの本継手の長期止水試験を実施するとともに、瀝青系混合組成物免震材と組み合わせた「免震ジョイント工法」への適用性についても検討していくものである。

謝辞：本文を報告するにあたり、新たに提案した「繊維補強ゴム製耐震用伸縮継手」の構造検討および変形追従性や止水性に関する機能性実験に関しまして、北海道大学大学院工学研究科・林川俊郎教授、弘前大学大学院理工学研究科・有賀義明教授には、適切なお指導、ご助言を頂戴いたしました。心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 田村重四郎, 伯野元彦, 家村浩和, 竹内幹雄: 1985 年メキシコ地震の震害, 土木学会誌 1986-5, Vol71, pp.79-85.
- 2) 竹内幹雄, 岩橋敬広, 佐俣千載: 兵庫県南部地震における都市トンネルの被害と特徴, 土木学会第1回免震・制震コロキウム講演論文集, pp.163-170., 1996.
- 3) 土木学会「巨大地震災害への対応特別委員会」パイプラインWG: パイプラインWG報告書, 2006.
- 4) 新潟県土木部都市局下水道課: 「下水道災害復旧の記録 新潟県中越地震」, 2005.03.
- 5) 札幌市建設局土木部創成・駅前整備課: 札幌駅前通地下歩行区空間事業計画概要
- 6) 坂倉淑文, 清水英征, 猪子敬之介他: 札幌市駅前通公共地下道と沿道超高層ビルの接続について, 第29回土木学会地震工学論文集, pp.1160-1167., 2007
- 7) 竹内幹雄, 亀田茂他: 地下構造物に適用するアスファルト系免震材の特性, 土木学会論文集No.658/VI-48, pp.93-106., 2000.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON PROPERTIES  
OF SEISMIC ISOLATION JOINTS MADE OF FIBER REINFORCED RUBBER  
CONSIDERD JONTS OF DEFFERENT UNDERGROUND STRUCTURE

Keinosuke INOKO, Hideyuki Shimizu, Mikio TAKEUCHI, Akira OGURO  
Yasushi Nishimoto and Tadahiro ONODA

The coupling of the underground structure of different vibration characteristic occurs the damage by earthquake. There is a possibility that the usual isolation joints dose not function, because these coupling of the structure of different vibration characteristic, that is, structural change points occurs big displacement by subsidence and expansion. Therefore, the new coupled the structure of different system which put asphalt-based material for the seismic isolation applied and seismic isolation joints together is examined.

We examined seismic isolation joints apleid the new coupled the structure of different system, and proposed the new seismic isolation joints made of fiber reinforced rubber.

This paper presents study results on functional experiment of new seismic isolation joints made of fiber reinforced rubber.