

論文

ハイドロゲル系止水材の床版遊間部への適用に関する接着耐久性

米良日菜\*, 神崎満幸\*\*, 佐藤知明\*\*\*, 原田大樹\*\*\*\*, 角掛久雄\*\*\*\*\*

\*大阪市立大学大学院工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

\*\*工修, DIC 株式会社 堺工場 (〒592-0001 大阪府高石市高砂 1-3)

\*\*\*工博, 阪神高速技術株式会社 (〒550-0005 大阪市西区西本町 1-4-1)

\*\*\*\*工修, 阪神高速技術株式会社 (〒550-0005 大阪市西区西本町 1-4-1)

\*\*\*\*\*工博, 大阪市立大学大学院工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

コンクリート構造物の遊間や目地部において、止水が不十分となるケースが存在する。そこで、変形性能が高くコンクリートへの付着性を有するハイドロゲル系止水材に着目し、橋梁の床版遊間部の止水材としての適用性を検討した。遊間部の変形として考えられる伸縮、せん断および回転の繰返し変形試験の結果、良好な接着耐久性を発揮し、止水性を維持できることが確認できた。

キーワード：ハイドロゲル系止水材, 遊間部, 接着耐久性, 繰返し変形

1. はじめに

コンクリート構造物において止水、防水は必須であるが、遊間や目地部において止水材の劣化等により、その機能が低下しているものが散見される。特に橋梁構造物においては、振動、温度伸縮などの変化に対して、止水材が変形に追従し、かつ接着性能を保持する止水性能の耐久性が求められる。さらに、既設橋梁では遊間幅は 40mm 以下が多く、施工において狭小幅に対する確実な充填性能が求められる。そのため、シート系止水材のみならず、シーリング材による止水のために様々な材料の止水材の検討が行われている<sup>1,2)</sup>。

そこで、柔軟性とコンクリートへの接着性を有するハイドロゲル系止水材（以降、HG 止水材と呼ぶ）に着目した。HG 止水材は浸潤面に対しても接着性を発揮する。さらに、材料は液状であるため、幅の狭い目地部への流し込み充填による効率的な施工が可能であり、短時間で硬化するため作業性にも優れている。硬化後の材料特性としても 500%の伸びに対しても破断せず、0.3MPa の水圧にも漏水しないことが確認されている。現在、漏水の激しいトンネル目地部への試験的な適用が行われている<sup>3)</sup>。

本研究においては、トンネル目地部よりさらに大きな変形が予想される橋梁遊間部への HG 止水材の適用を目指し、遊間部に生じる変化である温度伸縮に伴う単純引張・圧縮変形、活荷重たわみによる遊間部のずれに伴うせん断変形、およびたわみ角に伴う回転変形を想定して繰返し試験を行い、耐久性の検討を行った。

2. 繰返し伸縮変形試験および水密性試験

遊間部および目地部の止水材としての基本性能である温度伸縮に対する耐久性を確認するため、繰返し伸縮変形試験を行い、その試験後に、水密性試験により止水効果の確認を行った。なお、40mm 以下の遊間幅への適用を想定して、実施した。

2.1 試験概要

(1) 繰返し伸縮変形試験

試験の概要を図-1(a), 供試体名称を表-1 に示す。

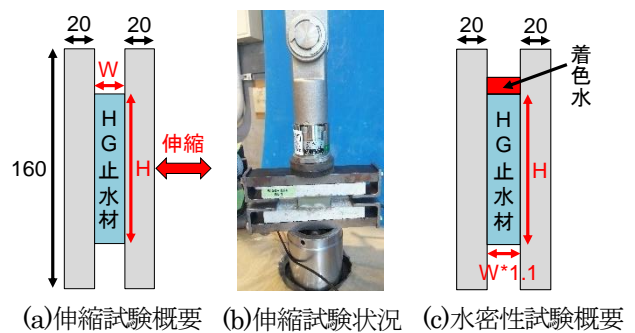


図-1 試験概要

表-1 供試体名称

供試体名	目地幅W(mm)	流し込み深さH(mm)
①W20-H50	20	50
②W20-H100		100
③W40-H50	40	50
④W40-H100		100

20mm×40mm×160mm のモルタル板 2 枚に HG 止水材を部分的に接着させた供試体を作製した。モルタルの配合は質量比でセメント 1, 砕砂 2.5, 水 0.5 とした。基本的な接着性能を確認することとし、接着面のモルタルは平滑で乾燥状態とした。HG 止水材の寸法をパラメータとし、目地幅  $W$  と流し込み深さ  $H$  をそれぞれ 2 水準設定し、①W20-H50, ②W20-H100, ③W40-H50, ④W40-H100 の 4 種類各 3 体の試験を行った。奥行方向の寸法はモルタルと同じく 40mm で統一している。HG 止水材は施工後、恒温・恒湿装置にて温度 23℃, 湿度 50%程度で 7 日間養生し、その後、試験時まで封函養生とした。なお、本供試体においては、図-1 の奥行方向に流し込みを行った（以降、流し込み面を前面と呼ぶ）。

試験条件を表-2 に示す。伸縮量は目地幅  $W$  の 15/40 を設定した<sup>4)</sup>。40 は年較差 (40℃), 15 は日較差 (15℃) である。繰返し回数は、文献 2) を参考に 100,000 回とし、試験速度は試験機の制御と試験時間を考慮し 2Hz とした。試験前後には静的に繰返し変形を各 3 回行った。室温 20℃前後、湿度 60%前後の環境下で試験を行った。

図-1(b)に示すように下側を固定、上側をピン支持として载荷を行った。以降の試験において、繰返し载荷時の载荷装置は容量±250kN, 変位±75mm の油圧サーボ式試験機を用いた。また、サンプリングは 1 周期 40 点以上となるように計測を行った。

## (2) 水密性試験

試験概要を図-1(c)に示す。モルタルからの剥がれ等の状況をより確実に確認するため、伸縮変形試験後の供試体の目地幅を 10%広げた状態で固定し、①W20-H50 および②W20-H100 には 5ml, ③W40-H50 および④W40-H100 には 10ml の赤インクで着色した水を張った。60 分後、モルタルからの剥がれ、下面からの水漏れの有無を確認した。

## 2.2 試験結果

### (1) 試験後の HG 止水材性状

写真-1 に伸縮変形試験前後の供試体例、写真-2 に水密性試験後の供試体例を示す。写真-1 に示すように試験後は表面の乾燥や収縮が確認できた。止水材の流し込み面とした前面の表層にのみひび割れが確認され、これは本止水材の硬化反応が酸素によって阻害されるためと考えられる。しかし、伸縮変形試験後の目視確認では、12 体いずれも流し込み面の表層以外に HG 止水材にき裂やモルタル接着部での剥離は確認されなかった。水密性試験後も全供試体で下面からの水漏れは発生せず、この方法でも接着部での剥離を確認できなかった。100,000 回の伸縮後も止水機能を維持していたと考えられる。

表-3 にモルタル板 2 枚を含めた供試体全体での試験前後の質量変化を示す。試験後は 5~13g 質量が減少していた。モルタル板を試験時と同程度の温度・湿度条件下で試験時間と同時間静置した結果、質量の減少は 1 枚

表-2 試験条件

伸縮量	繰返し回数		試験速度		計測項目
	動的	静的	動的	静的	
±18.75%	100,000回	動的前後各3回	2Hz	0.12mm/sec	荷重変位

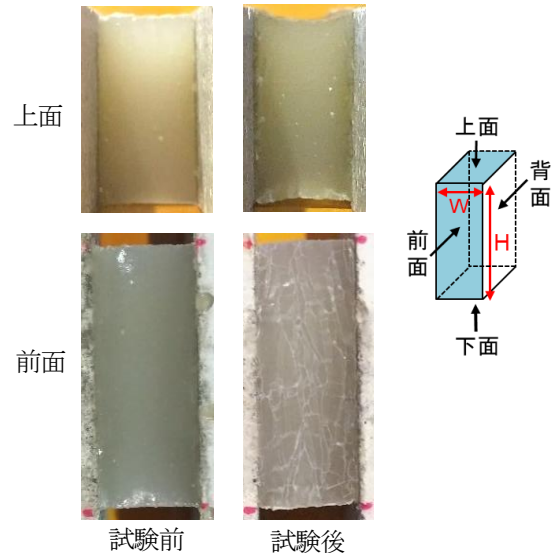


写真-1 伸縮変形試験前後の供試体例(W20-H50)

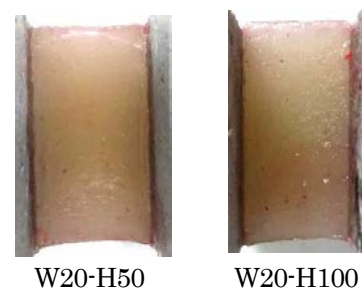


写真-2 水密性試験後の供試体例(着色面)

表-3 試験前後の質量変化

供試体	W20-H50			W20-H100		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
質量変化量(g)	-9.0	-6.3	-7.0	-6.0	-8.2	-6.3
供試体	W40-H50			W40-H100		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
質量変化量(g)	-8.3	-5.9	-6.3	-10.8	-7.6	-12.7

あたり 1~5g であったことから、モルタルだけでなく HG 止水材からも水分が蒸発し質量が減少したと考えられる。このことから、HG 止水材は水分の吸収・乾燥がしやすい材料であると推察される。

### (2) 繰返し伸縮変形時の特性

図-2 に繰返し载荷時の状況例として W20-H50No.2 試験体の最大・最小荷重-繰返し回数関係、図-3 に荷重振幅量-繰返し回数関係を示す。図-2 より静的試験において、動的試験の前後ともに引張側（荷重が正側）において繰返すごとに最大荷重が低下しており、引張抵抗

が低下していた。動的試験においては、初期時は静的試験時より荷重が大きく、その後、引張・圧縮共に荷重が低下しているが、静的試験同様、引張の方が顕著に低下していた。ただし、図-3を見ると10,000回程度で荷重振幅量が安定しており、動的試験前の静的試験時の荷重振幅量に近くなった。剥がれが生じていないことから、変形速度が遅いとより柔軟に変形する特性が確認された。温度伸縮による変化は本静的試験よりも遅いため、目地の繰返し変形による荷重の変化はより小さいと考えられる。本材料は静置した直後はやや硬いが、変形し続けるとある柔らかさで安定する材料であると考えられる。

この様な挙動は他の供試体においても同様の傾向が確認された。そこで、全供試体を比較するため、図-4に荷重振幅量を接着面積で除した応力振幅量と繰返し回数の関係を示す。片対数で示した上の図を見ると、全ての供試体において繰返し回数の増加に伴い対数に比例するように応力が低下している。また、線形で示した下の図より、概ね10,000回以降は一定の値となった。応力がごく小さく床版の挙動には影響しない上、強度低下は見られるものの一定値となることから、安定した接着耐久性が期待できる。

また、目地幅 W が同じ①W20-H50 と②W20-H100、③W40-H50 と④W40-H100 は同程度の応力であった。一方、③W40-H50 および④W40-H100 は①W20-H50 および②W20-H100 と比較して目地幅 W が2倍であるが、概ね10,000回以降は応力が1/2強程度になっていた。モルタルとの接着部は固定され変形しにくいことから、目地幅の大きい、つまり変形しやすい領域が大きい供試体の方が小さな応力を示したと考えられる。

### 3. 繰返しせん断変形試験及び回転変形試験

繰返し伸縮に対しては良好な接着耐久性を確認できた。しかし、遊間部の変形としては温度伸縮の他に、活荷重による桁のたわみによるせん断、そして回転変形が考えられる。目地幅 W が小さいほうが、より大きいせん断ひずみを与えることができ、回転変形時も接着面に与える負荷（応力）を大きくすることができる。また、流し込み深さ H が大きいほうが、上下端部でのより大きい伸縮を与えることができる。そこで、伸縮変形試験で検討した寸法のうち、目地幅 W が小さく流し込み深さ H が大きい W20-H100 を用いて、繰返しせん断変形試験および回転変形試験を行った。供試体の製作方法は伸縮試験と同様とした。

#### 3.1 試験概要

##### (1) 繰返しせん断変形試験

試験概要を図-5(a), (b)に示す。一方のモルタル板を固定し、もう一方のモルタル板に強制変位を与えることにより HG 止水材を繰返しせん断変形した。

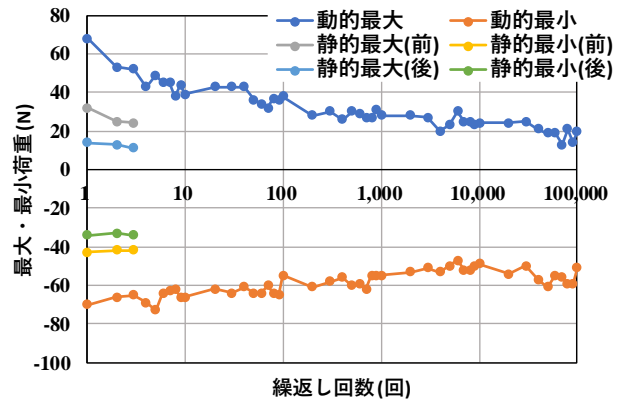


図-2 荷重—繰返し回数関係例(W20-H50No.2)

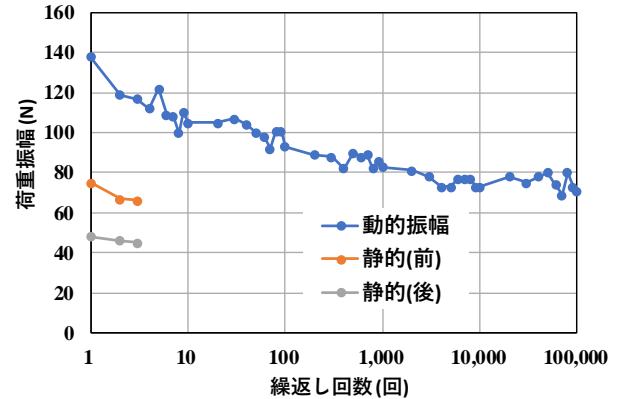


図-3 振幅量—繰返し回数関係例(W20-H50No.2)

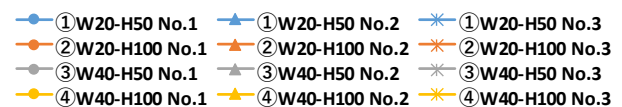
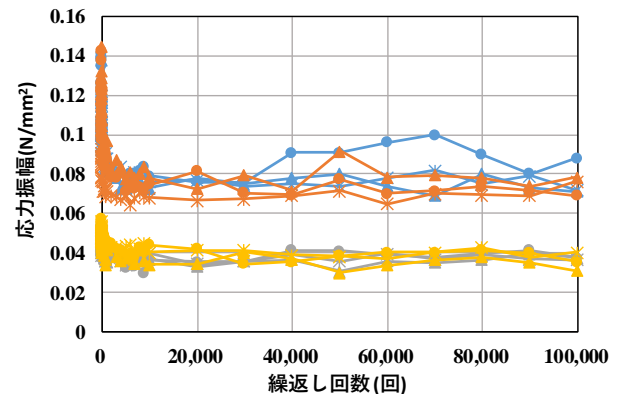
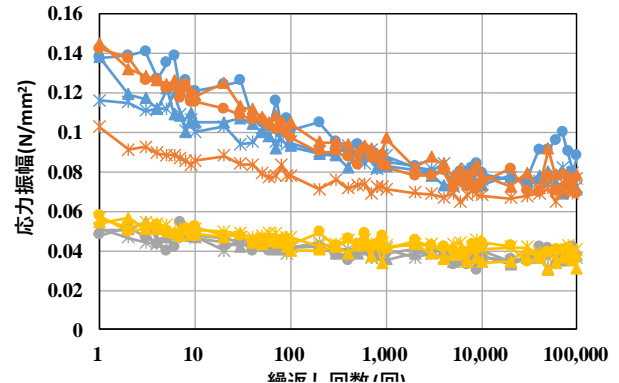


図-4 応力振幅—繰返し回数関係例 (上：片対数表示，下：線形表示)



試験条件を表-4(a)に示す。振幅を±4mm, 10mm に設定し、せん断ひずみが 20%, 50% の 2 条件で試験を行った。振幅 4mm は、施工を想定している中間ヒンジ部を有する実橋梁（支間 36m 程度）においてたわみが大きくなるよう載荷し算定した結果、鉛直方向のたわみが 4mm 程度であったことを参考に設定した（当然、ずれとしては 4mm 生じるわけではないが、最悪を考え設定している）。振幅 10mm は、先行した S20 で接着部の剥がれが確認されなかったため、接着耐久性の限界値や剥離した場合の性状を確認するため過大に設定した。試験体数は各 3 体とした。

変形の繰返し回数は 1 時間に 1 回自動車荷重による大きいたわみが発生すると想定し、365 日×24 時間×10 年=87600 回のさらに 2.3 倍の安全率を考慮し 200,000 回とした。試験速度は、試験機の安定した制御が可能かつ 2 種の供試体の変形速度が概ね一定になるよう設定した。プレ試験において実際のモルタル間のずれ量が機械変位と相違ないことを確認した上で、計測項目は荷重、変位とした。変位を HG 止水材の幅 20mm で除することによりせん断ひずみを算出することとした。

### (2) 繰返し回転変形試験

試験概要を図-5(c), (d)に示す。一方のモルタル板を固定し、固定した方を上下に振動させることで、もう一方のモルタル板を固定している治具の下端が水平に移動することにより回転し、HG 止水材を曲げ変形させることで回転を与えている。治具の仕様上、上側の伸張変位の方が大きくなるため、設計回転角は上側を基準とし、上側が伸びる方向の変形および回転を正として表現する。

試験条件を表-4(b)に示す。設計回転角が±5%, 10% になるよう、載荷装置の上下振幅を±2mm, 4mm に設定した。伸縮変形試験において W20-H100 は±3.75mm の伸縮を行ったため、回転変形の上側端部が同程度の変形量となるように回転角 5% とした。回転角 10% は、先行した R5 で接着部の剥がれが確認されなかったため、接着耐久性の限界値や剥離した場合の性状を確認するため過大に設定した。ただし、想定した実橋梁では回転変形の影響はほとんどないと考えられる。せん断変形試験時と同様の算定を行った結果、中間ヒンジ部におけるたわみ角は 0.1% 程度と非常に小さかった。

計測項目は荷重、機械変位、上水平変位、下水平変位の他、治具の仕様状、回転だけでなくせん断変形も生じる複合変形の試験となるため、モルタル板間のずれも計測した。上水平変位と下水平変位の差を変位計間の距離 100mm で除することにより回転角を、ずれ変位を HG 止水材の幅 20mm で除することによりせん断ひずみを算出することとした。

## 3.2 試験結果

### (1) 繰返しせん断変形試験

写真-3 にせん断変形の大きな S50 の試験前後の供試

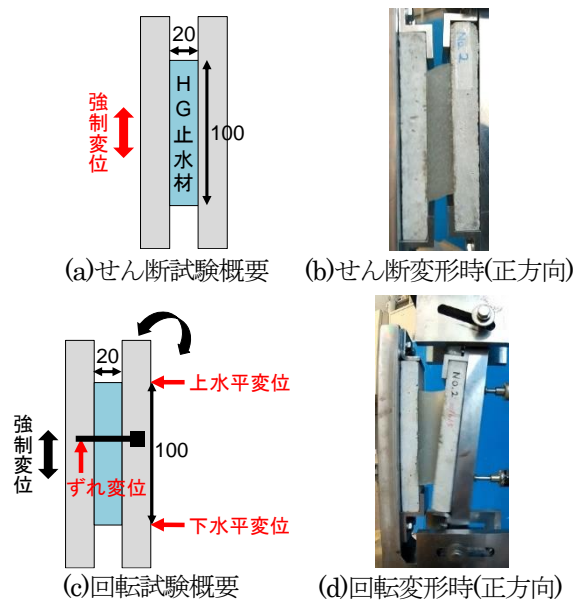


図-5 試験概要

表-4 試験条件

(a) せん断変形試験

供試体名	せん断ひずみ	設定振幅	試験速度	計測項目
S20	20%	4mm	2.5Hz	荷重, 変位
S50	50%	10mm	1.25Hz	

(b) 回転変形試験

供試体名	設計回転角	設定振幅	試験速度	計測項目
R5	5%	2mm	2.5Hz	荷重 機械変位 上水平変位 下水平変位 ずれ変位
R10	10%	4mm	1.25Hz	

※繰返し回数はともに 200,000 回

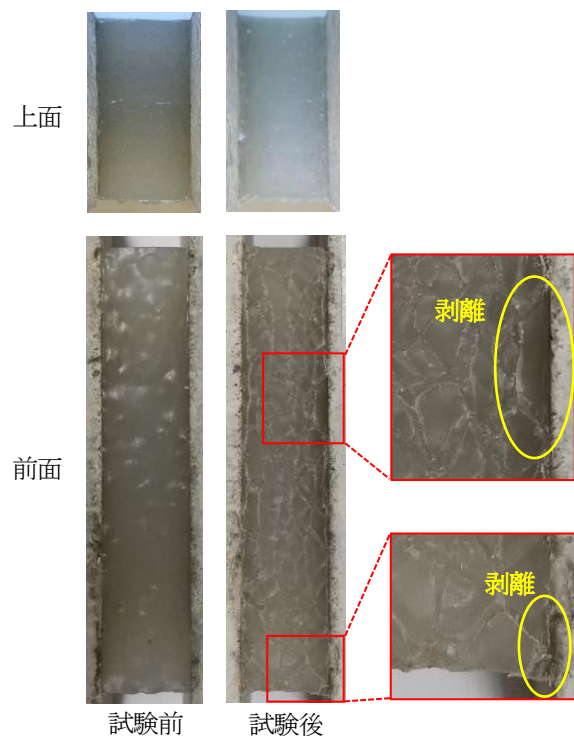


写真-3 せん断変形試験前後の供試体例(S50No.2)

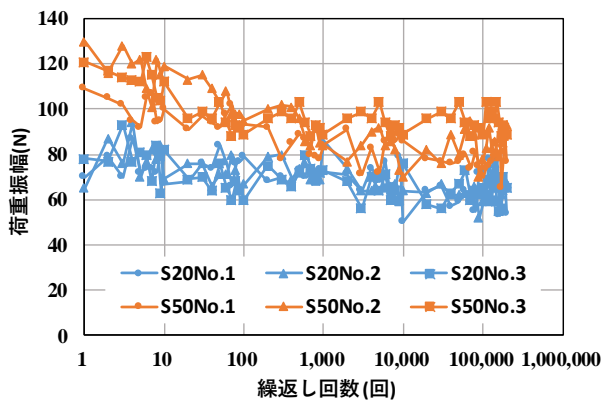


図-6 荷重振幅量—繰返し回数関係

体例を示す。S20においては、3体いずれもモルタル接着部での剥離は確認されなかった。一方S50においては、3体いずれも前面（流し込み面）において、表面の一部のみであるが接着部の剥離が確認できた。伸縮試験時と同様、前面の表層にのみひび割れが確認され、また前面以外には剥離が確認されなかったことから、接着部付近のひび割れが剥離に影響したと考えられる。ひび割れは酸素の影響を受ける表層にのみ発生するため、剥離も一部分にとどまっており、止水材としての機能は維持できていると言える。

図-6 に荷重振幅量—繰返し回数関係を示す。伸縮試験同様に、全ての供試体において繰返し回数の増加に伴い荷重低下するが、概ね10,000回以降は一定の値となる傾向が見られた。S20とS50が同様の傾向であることから、S50で確認された剥離は挙動に影響しない程度であったと言える。ただし、せん断変形が2.5倍程度に対して荷重は1.5倍程度となり、せん断ひずみ20%程度以降では剛性が低下する材料であると考えられる。

### (2) 繰返し回転変形試験

写真-4に回転変形の大きなR10の試験前後の供試体例を示す。R5においては、3体いずれもモルタル接着部での剥離は確認されなかった。R10においては、3体いずれも回転による伸張変位が大きい上面においてのみ、接着部の剥離が確認できた。

図-7にR5No.2およびR10No.2試験体の回転角—せん断ひずみ関係を示す。R5は試験開始時回転角-4.0～+5.0%程度であったが、徐々に正方向へシフトし200,000回終了時は-3.5～+6.0%程度となった。このシフトは、回転する治具の方を制御した試験法ではないため、水平方向に移動するピン・ローラーの滑りが一定ではないことが起因していると考えられる。回転角のシフトの影響を受け、せん断ひずみも-8.0～+10.0%程度から-6.0～+12.0%程度へシフトした。R10も同様に回転角-8.0～+10.5%程度から-8.5～+9.5%程度へ、せん断ひずみ-17.0～+19.0%程度から-18.5～+17.5%程度へシフトした。せん断変形試験の結果よりせん断ひずみ20%程度の繰返しでは接着性に影響しないため、R10は加えて作用している回転変形の作用により剥離したと言える。

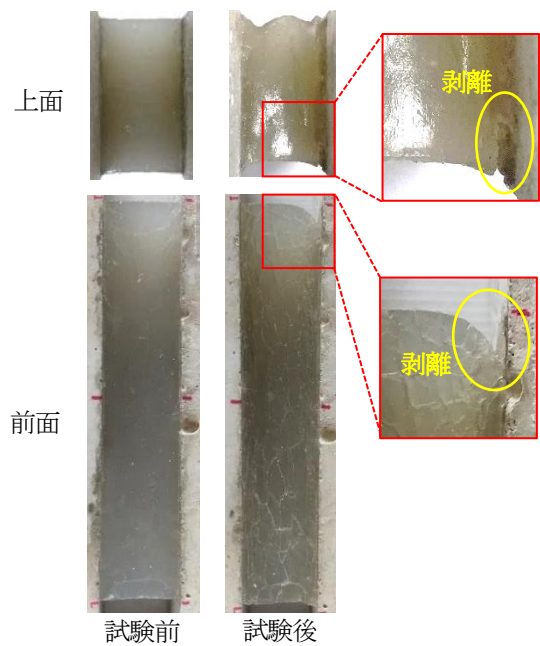
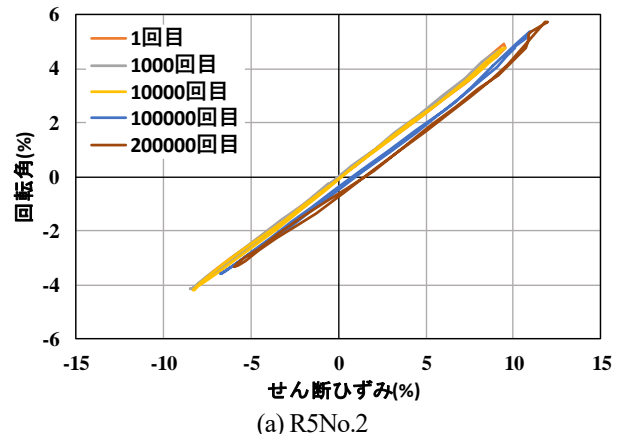
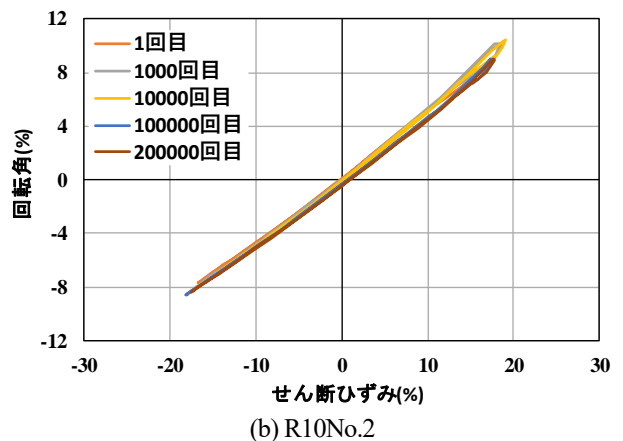


写真-4 回転変形試験前後の供試体例(R10No.2)



(a) R5No.2



(b) R10No.2

図-7 回転角—せん断ひずみ関係例

図-8に引張を正としてR5No.2およびR10No.2試験体の上水平変位—繰返し回数関係を示す。回転角と同様シフトは見られるが、総じて引張側の方が大きな値を示しており、全体として引っ張る形で回転していたことがわかる。R5においては概ね-2.5～+3.5mm、R10においては概ね-5.0～+9.5mmであった。

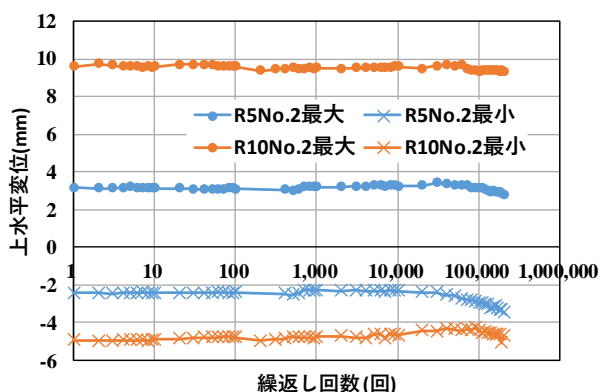


図-8 上水平変位—繰返し回数関係例

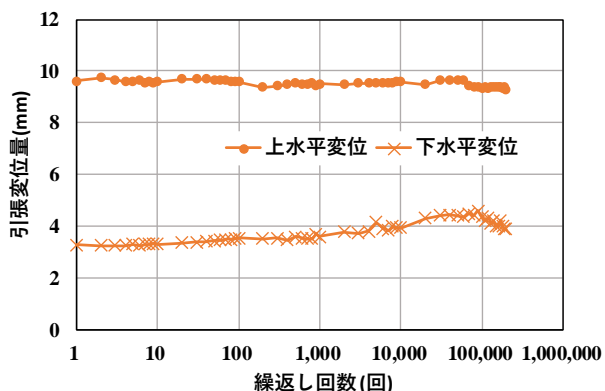


図-9 最大引張変位—繰返し回数関係例(R10No.2)

図-9にR10試験体の上水平変位および下水平変位の最大引張変位—繰返し回数関係例を示す。R10においては、下側の引張変位が単純伸縮時の変位より大きい4.0mm程度の繰返しとなっているが、剥離は生じなかった。一方、上側において、9.5mm程度の繰返しによって、写真-4に示すように一部に剥離が生じていた。せん断変形分を含めても、HG止水材幅が20mm以上ならば、20%までの伸張繰返しであれば剥離しないと考えることができる。さらに、50%までの伸張繰返しであっても、局所的に剥離は生じても、止水効果は保持されることが考えられる。

#### 4. まとめ

HG止水材の橋梁遊間部への適用性を検討するため、繰返し変形試験を行った。得られた結論を以下に記す。

HG止水材の性質について、

- 1) 水分の吸収・乾燥が生じやすい。特に気泡が生じやすい流し込み面では乾燥によるひび割れが生じやすいが、表層のみに生じ、全体への影響はほぼない。
- 2) 柔軟性が高く、変形に対して生じる抵抗性（応力）は床板挙動に影響しない程度の小さいものである。
- 3) 変形速度が小さければ、より柔軟に変形する。
- 4) 繰返し変形により剛性が低下するが、ある一定値に収束する。

温度伸縮を考慮した繰返し伸縮変形試験について、

- 5) HG止水材の寸法に関わらず、100,000回の伸縮繰返しに対しては接着部に損傷はなく、良好な接着耐久性を示し、かつ止水耐久性も確認できた。
- 6) 目地幅が強度に影響し、目地幅が大きいほど小さい応力を示す。

繰返しせん断変形試験・回轉變形試験について、

- 7) せん断ひずみ20%の繰返しせん断変形に対しては接着部に損傷は見られず、良好な接着耐久性を示す。
- 8) せん断ひずみ50%の繰返しせん断変形に対しては流し込み面で接着部の剥離が局所的に生じるが、止水材としての耐久性は確認できた。
- 9) 回転角5%の繰返し回轉變形に対しては接着部に損傷は見られず、良好な接着耐久性を示す。
- 10) 回転角10%の繰返し回轉變形に対しては最大伸張が生じる箇所で局所的に接着部に剥離が生じるが、止水材としての耐久性は確認できた。
- 11) 以上より、HG止水材幅が20mm以上ならば、20%程度までの伸縮繰返しであれば損傷は発生せず、50%程度なら、一部剥離は生じるが、止水効果は確保できる。そのため、実橋梁における目地変形の範囲内では良好な接着耐久性を示し、止水材としての機能を発揮できると考えられる。
- 12) 今後の課題として、実施工および施工後の環境は様々であるため、これらを踏まえた条件での検討も行う必要がある。

#### 謝辞

本実験において、材料の提供から施工についてご指導頂くとともに有益なご助言を頂いたDIC株式会社 西村紀夫氏、山崎理恵氏に感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 藤原, 加藤, 新堀: 高架橋目地部における止水工に関する研究, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, V-609, pp.1215-1216, 2002
- 2) 三宅, 中村, 新名, 青木, 松下: 道路橋における止水・防水を目的としたシリコン系弾性シーリング材の適用に関する検討, 土木学会学術講演会講演概要集, V-274, pp.547-548, 2018
- 3) 角, 上見, 吉田: お客様目線の効率的・効果的な維持管理を目指して—阪神高速技術(株)の取り組み—, 土木施工, Vol.59, No.7, pp.131-134, 2018
- 4) 東日本高速道路会社, 中日本高速道路会社, 西日本高速道路会社: NEXCO試験方法 第4編 構造関係試験方法, pp.77-80, 2013

(2020年7月17日受付)