

大遊間鋼製伸縮装置の構造検討と伸縮実験

本間 順¹⁾ 廣瀬 智行²⁾ 溝端 智博³⁾ 下川 博史⁴⁾

近年、耐震性向上と走行性向上を期待した多径間の橋梁の採用が増え定着し始めている。しかし、主構造部の多径間化に対し、鋼製フィンガージョイント（以下「鋼製伸縮装置」）については伸縮桁長が長くなったことにより、従来形式をそのまま準用することができない場合がある。

本報告は「大脇高架橋（鋼上部工）東工事」において行った、大遊間鋼製伸縮装置の問題点に対して、構造検討とその確認のために行った実験について報告するものである。

キーワード：鋼製伸縮装置、非排水構造、スリップ防止

まえがき

大脇高架橋（鋼上部工）東工事は第二東名高速道路として発注され、駒井鉄工・日本橋梁共同企業体で受注したものである。本橋は合理化鋼床版を採用した新型橋梁であり、鋼製伸縮装置は伸縮桁長が長いことと固有周期が比較的長いことにより標準温度時ウェブ遊間が 755 mm（フェースプレート厚 97 mm）となる。700 mmを超える場合での鋼製伸縮装置の施工実績がほとんどなく、以下の2項目が問題になった。

①非排水構造充填材（弾性シール材とバックアップ材）の温度伸縮時の追従性

②フェースプレート長が1 mを超えるため、雨天の車両走行性（スリップ）

これらを解決するため、実物大の実験を行い、従来型からの改良案を考案し実橋へ適用した。

1. 非排水構造部実験

1.1 実験概要

非排水構造は昭和 50 年初に採用され、建築用

シーリング材の防水構造をベースとして非排水構造に弾性シール材（アスファルト系防水材）とバックアップ材（フォームラバー材）を併用した構造であった。この構造は種々の実験により材質、充填形状などが改良され現在の形（図-1）となった。しかし従来の実験は標準温度時ウェブ遊間 400 mm程度のもが多く、調べた中では日本道路公団で行われた 600 mmでの実験が最大であった。本工事の鋼製伸縮装置はウェブ遊間が 755 mmであり、そこの非排水構造である充填材（弾性シール材とバックアップ材）の温度伸縮時追従性を確認する必要があると考え、実物大の実験機により検証実験を行うこととした。

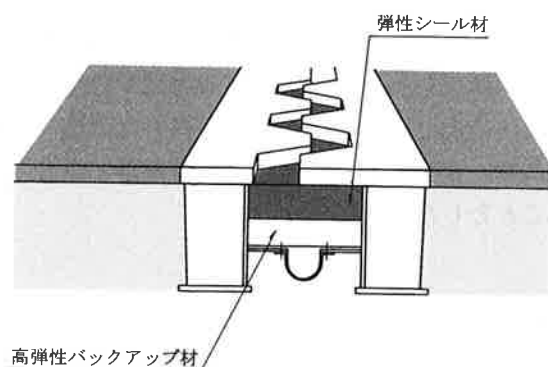


図-1 一般的な充填材構造

1) 橋梁設計部東京設計二課係長 2) 橋梁設計部東京設計二課 3) 橋梁設計部東京設計一課 4) ミカサ金属工業株式会社

一般的に非排水構造部は弾性シール材圧縮時の上がり（1.2 図-2）または引張り時の下がりが問題になる事が多いため、これに着目した実験とした。試験体はバックアップ材の形状、材質および櫛型支持材の形状を変化させ、当初 A～F の 6 タイプにて実験を行うこととした。また実験結果の良好なタイプを耐久性の確認として繰り返し伸縮させる繰り返し挙動実験も行うこととした。実験は本工事を対象としたもの（下記①）に加え、限界を確認するためのもの（下記②）について行った。

- ① 構造で決まる鋼製伸縮装置の限界ウェブ遊間 782.5 mm（SM400 クラスのフェースプレート厚 100 mm）を想定した実験
- ② ①の他にフェースプレートを SM520 クラス（50k 鋼）の限界ウェブ遊間（フェースプレート厚 100 mmウェブ遊間 1,234 mm）を想定した実験

1.2 実験方法

（1）実験機

実験方法は各タイプの試験体を連続挙動確認実験機（ミカサ金属工業株式会社所有）に装着して油圧シリンダーにより両ウェブを強制的に伸縮させた。供試体の長さは幅 1m に設定し、状況観察を行う目的で透明アクリル板を供試体両側面に設置して、さらにシール材、およびバックアップ材に 50 mm 四方に指標線を入れ挙動を確認することとした。

（2）試験体

試験体の形状および特徴を表-1に示す。

本実験では従来からの実績の多い弾性シール材とバックアップ材および支持金具の組合せによる単純な構造を基本とした。圧縮時の上がりと引張り時の下がり防止できるタイプを選定するため、下記を変化させた試験体とした。

- ・バックアップ材の形状
- ・バックアップ材の材質（複合化）
- ・櫛型プレートの形状

（3）実験方法

各タイプを実験機に装着し、油圧シリンダーにて最大ウェブ遊間（引張）と最小ウェブ遊間（圧縮）に伸縮させ、それを 1 ストロークとした。

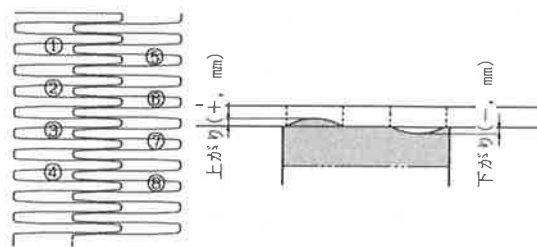


図-2 測定箇所

各タイプ数回伸縮させ良好な結果のものだけを抽出し、引き続き繰り返し挙動実験を行った。繰り返し実験の回数は 100 ストロークとした。

（4）選考方法

選考項目として以下について確認し判定した。

- ・弾性シール材の亀裂、剥離の有無（→目視確認）
- ・充填構造の変形状況確認（→供試体側面より指標線の目視および写真撮影）
- ・フェースプレート下面と弾性シール材表面位置の確認上がり下がり（図-2）（→距離を測定）

1.3 バックアップ材裏面の改造

実験を行っている段階で当初想像していなかったバックアップ材裏面に亀裂発生（写真-1）が認められた。これは、大伸縮量（圧縮）により弾性シール材の面外変形による圧力が通常よりも大きいためと考えられる。これについて段階的に下記の処置を施し対応した。

<改造タイプ A（改）>

バックアップ材裏面に裏面保護材（銀色ナイロン引布）を貼り付ける構造とした。

→はみ出す量は抑えられたが効果は少なかった。

<改造タイプ A（改 I）>

櫛型間に、ある程度硬度のある物質で橋渡しを



写真-1 タイプ A 裏面損傷状況

表-1 試験体一覧表

形 状	特 徴	形 状	特 徴
	タイプ A 支持金具=レベル 高弾性ウレタンをもちいた従来形状		タイプ C 支持金具=レベル 高弾性ウレタンをもちいた従来形状の上面を山形にして、圧縮時の波打ちを防止することを目的とした形状タイプ B より山形数を増やしている
	タイプ A 改 支持金具=レベル 高弾性ウレタンをもちいた従来形状の底部に損傷防止を目的とした裏面保護材(ナイロン引布)を貼付けた形状	タイプ D (高弾)	タイプ D 高弾 支持金具=レベル 高弾性ウレタンと軟質ウレタンを縦層とした複合形状。最大遊間幅で製作し取付を行うため引張時の支持面積を大きく確保できる
	タイプ A 改 II 支持金具=レベル 高弾性ウレタンをもちいた従来形状の底部のはみ出しを抑える目的で高発泡体を装着し、裏面保護材(ハイパログム引布)を貼付けた形状		タイプ E 高弾 支持金具=山形 従来の高弾性ウレタンを山形支持金具に適用した形状。山形頂点の支持点が引張時にスライドすることによる下がり抑止を目的としている
	タイプ B 支持金具=レベル 高弾性ウレタンをもちいた従来形状の上面を山形にして、圧縮時の波打ちを防止することを目的とした形状		タイプ F 高弾 支持金具=山形 高弾性ウレタンとの軟質ウレタンの実績ある複合形状に山形支持金具を適用した形状。山形頂点のスライドによる下がり抑止と圧縮時における変形柔軟性・支持力の目的としている

することが効果的ではないかと考え、バックアップ材底部に高硬度発泡体（ポリ酢酸ビニルが主成分）を装着。その下面に裏面保護材（白色塩ビ引布）を貼り付ける構造とした。

→バックアップ材の面外変形を高硬度発泡体で支持することができた。しかし裏面保護材の接着性、作業性に問題が生じ、かつ裏面保護材の表面上に多少の傷が見られた。

＜改造－タイプ A（改Ⅱ）写真-2＞

裏面保護材を柔軟性があり伸縮追従性・接着性・耐久性に関して白色塩ビ引布より優れている黒色ハイパロンゴム引布に変更した。この材料は表面が活性化しており、すべり抵抗が低いため、（改Ⅰ）で生じた表面損傷にも効果的と判断した。

→裏面保護材の接着性、作業性を改善することができた。表面損傷も改善された。

これらにより、バックアップ材の裏面に（改Ⅱ）の処置が必要であることが分かった。あとで行った SM520 クラスの実験でも問題は生じなかった。

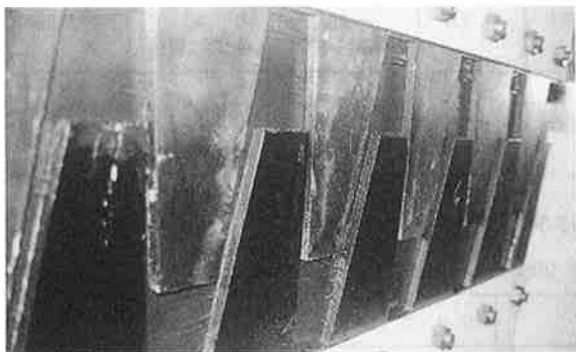


写真-2 改Ⅱ実験後（下面より撮影）

1.4 実験結果

SM400 クラスの実験結果を表-2に示す。結果から損傷がなく、上がり量下がり量が少ないタイプとして、タイプ A とタイプ D が良好な結果を示した。また以下のことについても判明した。

（1）バックアップ材の形状変更

タイプ B, C はバックアップ材の上側を波型にして、圧縮時のシール材「波打ち」防止を期待する構造であったが、引張り時にシール材がバックアップ材の波型部を引き裂く状態となり中央部で破断する結果となった。（写真-3）

（2）単純層系と複合層系

バックアップ材の材質により単純層系（タイプ A）と

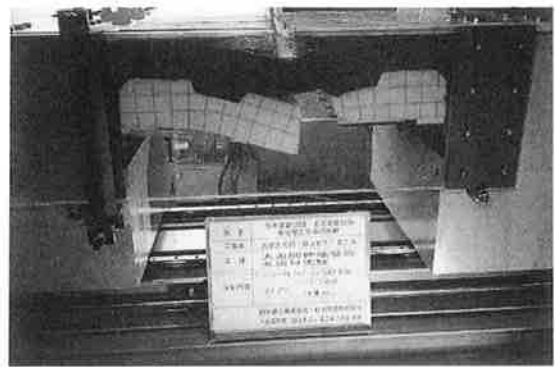


写真-3 タイプB損傷状況

複合層系（タイプ D）に大別し実験を行った。複合層系の特徴を下記に示す。

- ① 単純層系は最大遊間寸法で製作すると、硬度が高いため今回のような大遊間では設置不可能となるが、複合層の場合は柔層を有しているため、最大遊間寸法での製作が可能。
- ② 圧縮時に柔層が柔軟に収縮し自己体積を小さくすることでシール材部の上がりを抑制する。
- ③ 引張り時に支圧面積を広く取れ「下がり」に対して有効に作用する。

これに対し、単純層系は材料物性が均一であることから支持力に無駄が無く均一にシール材を支持できる。また製作が容易である。結果は、目視での確認および数値結果の両方とも差はなかった。しかし、あとで述べる SM520C クラスの実験では差がでる結果となった。

（3）櫛型プレートの形状

タイプ E, F はバックアップ材を支える支持金具を山型とした。これは山型の頂上の支持点が引張り時にスライドをすることにより下がりの抑止を期待する構造であったが、圧縮時におけるバックアップ材の面外変形が櫛型支持プレートに挟まり挙動困難となり逆効果であった。

（4）繰り返し挙動実験

（1）～（3）を総合的に考えタイプ A とタイプ D に絞込み、最終試験である繰り返し挙動実験を行った。100 回の繰り返し挙動実験においてもタイプ A とタイプ D とともに、問題が生じることなく良好な結果となった。（表-3）

これらを考えると、この 2 タイプで差がないため製作性（経済性）が良い単純層系タイプ A で充分と判断し、本橋で採用することとなった。

表-2 タイプ選定実験結果

タイプ	バックアップ材 構成	バックアップ 底面補強	バックアップ材 裏面保護材	フィンガー 遊間部 盛上がり 平均(mm)	フィンガー 遊間部 下がり 平均(mm)	シール 下がり 最大(mm)	バックアップ 底面損傷	その他	評価
A	・高弾性単体	・なし	・なし	+ 17.9	- 16.7	- 23.0 引張時センター	大 歯型に裂傷		×
A改	・高弾性単体	・なし	・裏面全面に ナイロン引布 貼付	+ 17.5	- 16.0	- 21.0 引張時センター	中 保護材+B P		×
A改Ⅱ	・高弾性単体	・底面一部に 高硬度発砲体設置	・裏面全面に 塩ビ引布貼 付	+ 18.0	- 16.0	- 19.5 引張時センター	なし		◎
B	・高弾性単体	・なし	・なし	バックアップ 破損 —	バックアップ 破損 —	—	大 裂断		×
C	・高弾性単体	・なし	・なし	+ 20.8	- 20.7	- 27.0 引張時遊間	大 歯型に裂傷		×
D高弾	・高弾性と軟 質の複合体	・底面一部に 高硬度発砲体設置	・裏面一部に 塩ビ引布貼 付	+ 17.3	- 17.5	- 19.5 引張時遊間	なし		○
E高弾	・高弾性単体	・底面凸部全面に軟質 ウレタン設置 (凹み防止を兼ねる)	・裏面全面に ナイロン引布 貼付	+ 17.1	- 7.5	- 20.0 引張時谷部	大 歯型に裂傷	挙動前 下がり 大	×
F高弾	・高弾性と軟 質の複合体	・底面凸部全面にポリ エチレンフォーム設置 (凹み防止を兼ねる)	・裏面全面に ナイロン引布 貼付	櫛形に 挟まる —	- 8.5	- 27.0 引張時谷部	大 櫛に挟まる		×

表-3 繰り返し伸縮耐久実験結果

A (改Ⅱ) 50 回 (mm)			A (改Ⅱ) 100 回 (mm)		
	フィンガー遊間部平均	フィンガーラップ部平均		フィンガー遊間部平均	フィンガーラップ部平均
挙動前*1	- 0.3(- 1.5)	±0(±0)	引張時	- 16.4(- 19.0)	- 10.8(- 11.0)
引張時	- 14.8(- 16.5)	- 8.0(- 8.0)	圧縮時	+ 21.6(+ 22.5)	+ 2.0(+ 2.0)
圧縮時	+ 21.8(+ 23.0)	+ 1.6(+ 2.0)	挙動後	- 0.6(- 1.0)	- 0.5(- 1.0)
D (高弾) 50 回 (mm)			D (高弾) 100 回 (mm)		
	フィンガー遊間部平均	フィンガーラップ部平均		フィンガー遊間部平均	フィンガーラップ部平均
挙動前*1	- 0.9(- 1.5)	- 1.0(- 1.0)	引張時	- 19.9(- 21.5)	- 16.3(- 17.0)
引張時	- 20.0(- 22.0)	- 15.5(- 16.0)	圧縮時	+ 16.8(+ 17.5)	+ 2.4(+ 3.5)
圧縮時	+ 17.3(+ 18.0)	+ 2.8(+ 3.0)	挙動後	- 3.2(- 5.0)	- 0.5(- 0.5)

注：() 内は最大を示す。
* 1 = 初回時の数値を示す。

1.5 SM520クラスの実験

SM520 クラスの実験はフェース厚 100 mmを想定した標準温度時遊間 1,234 mmを実験体とした。SM400 クラスで良好であったタイプ A, D を同様の実験にて確認することとした。(写真-4)

タイプ D の構造は圧縮時、および引張時に各々の層に想定した働きを期待した構造であり、当初理想的な構造と考えたが SM400 クラスの実験結果に差は出なかった。しかし標準温度時のウェブ遊間が 1,234 mmの鋼製伸縮では最大遊間と最小遊

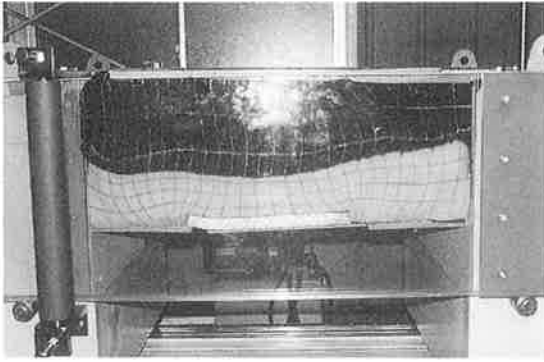


写真-4 SM520クラス実験状況

間での差が 726 mm にもなるため最大遊間寸法での製作が可能なタイプ D は、引張り時の最大ウェブ遊間時の支持面積が大きくなり、有利な結果になると考えられた。

実験結果は以下のような結果となった。

①バックアップ材（引張時）

タイプ A の最大遊間時の下がりにバラツキが認められた。これはバックアップ材とウェブ間の隙間が大きくなりシール材を支持していない箇所があるためである。これに対しタイプ D は支持面積が広いためバラツキは発生しなかった。

②バックアップ材（圧縮時）

最小遊間時の盛り上り量は SM400 クラスとほぼ同値となり問題になる数値ではなかった。

③支持金具

圧縮時に充填材を支持している櫛型金具がやや反り返る現象が見られた。圧縮による相当な面外力が働いていると思われる。本実験では板厚を 9 mm としたが、このクラスを実橋で使用する場合には板厚の検討が必要であると思われる。

④弾性シール材の追従性

一般的にシール材の不具合は両ウェブとの接着部からの剥離亀裂であるが、今回は認められなかった。ただし、高圧縮力によるフェースプレートとの摩擦裂傷が認められた。またバックアップ材との境界面での層間剥離も認められた。これは SM400 クラスでは認められなかったため、ある程度のウェブ遊間量を超える場合は何らかの対策が必要である。

以上により SM520 クラスの場合は下記のように考えられる。

①バックアップ材は引張り時に支持面積が大きいタイプ D を使用することで、対応できる。

②弾性シール材は摩擦による裂傷、層間剥離が問題になる（1,000 mm 程度が限界と推測）。

③支持金具は SM400 クラスより剛性の高い支持金具を使用すれば対応できる。

これらから現状の構造では弾性シール材の限界により 1,000 mm 程度が限界と推測され、それ以上の場合は材料、構造および形式を変更する必要があると考えられる。

2. スリップ防止実験

2.1 実験概要

前述のとおり、本橋の場合ウェブ遊間 755 mm となり、フェースプレートの幅（橋軸方向）が 1,700 mm となる。このため、雨天時の車両のスリップが懸念された。

現在、いくつかのスリップ防止対策が提案、実施されているが、決定的な構造はないようである。下記に代表的な既往の構造を示す。

（1）横溝形式

閑空の連絡橋など採用実績があり、スリップ防止には効果があると考えられているが、カーブの途中などに発生する横方向の慣性力には抵抗が少ないと考えられる。（本橋は 700R を有する。）

（2）樹脂系塗布

床版増し厚工法などのフェースプレートの嵩上げでの実績があるが耐久性に疑問が残る。

これらを踏まえ下記に着目し検討を行った。

- ・高速道路上であるため、相応の摩擦力が必要。
- ・カーブの途中（横方向の慣性力）でも十分に摩擦力がある。（→全方向性）
- ・耐久性が必要

上記 3 点が必須と考えられるが、これらに対して明確な基準がなく定量的に判断するのは困難であった。このため以下に示す相対的な評価により判断とすることとした。実験は新たに提案するタイプと、通常タイプ（鉄板+内面塗装）、既存タイプ（横溝）について行い、それを比較検討した。

2.2 実験方法

（1）試験体

試験体として 5 体を作成した。（図-3）

〈タイプ A〉表面に内面塗装、相対的な判断用

〈タイプ B〉閑空の連絡橋などで使用された横溝タイプ、相対的な判断用

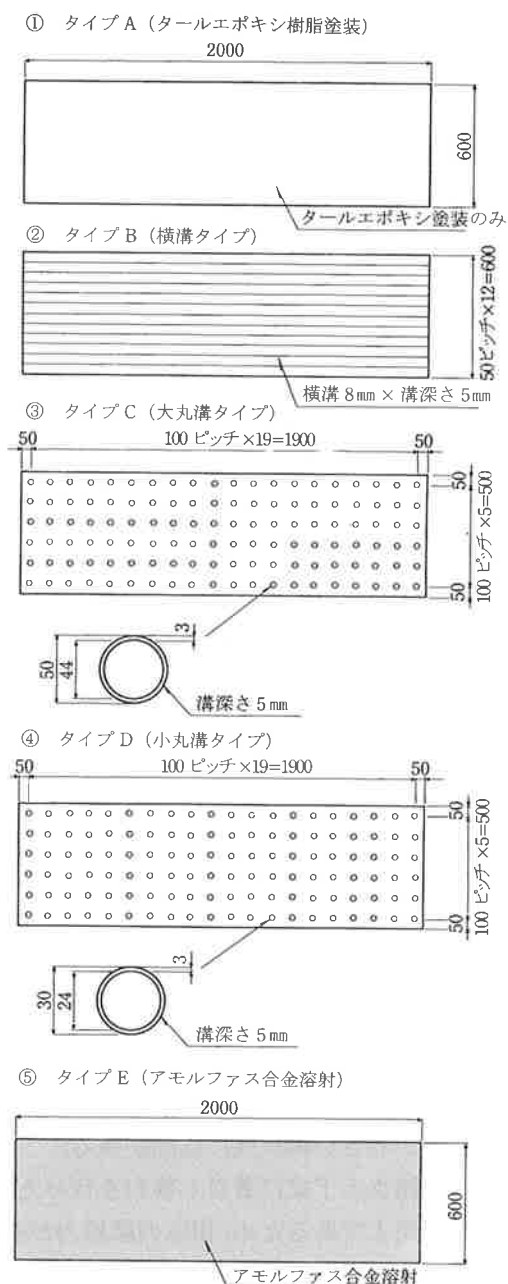


図-3 スリップ防止試験体

〈タイプ C〉 横溝の発展型で全方向のグリップ力を期待して丸溝 50 φを 100 ピッチでフェースプレート上面に施したタイプ

〈タイプ D〉 タイプ C の溝径を 30 φにしたタイプ

〈タイプ E〉 フェースプレート上面にアモルファス合金（以下；合金溶射）を常温溶射したタイプ

(2) 実験方法

実験手順を下記に示す。

① 2,000 mm×600 mmの鉄板に前述の 5 タイプの

スリップ防止を施す。

②試験体に散水し、雨天時の状況を再現する。

③試験体の上に乗用車の駆動輪を配置する。

④ギアをドライブモードに入れ、合図と同時に乗用車をスロットル全開で発進させる。

⑤スリップの有無・変位を高画質ビデオで撮影する。タイヤに印を付けておく。

⑥ビデオをスロー再生させ空転の大小を判定する。

2.3 実験結果

実験の結果、タイプ E 以外はタイヤが空転し、スリップした。一方タイプ E の合金溶射は加速時に確実にグリップが働きスリップ抑止効果が高いことが分かった。さらにタイプ E のみ機械油を散布して実験を行ったが、スリップはしなかった。

合金を溶射した加工面の凹凸は非常に緻密で硬く、ザラザラしているのが手で触って分かる状態である。さらにスリップ防止の方向性を問わないことも長所といえる。

以上によりタイプ E のアモルファス合金を溶射したタイプが最良の結果となった。

2.4 アモルファス合金溶射の問題点

合金溶射（写真-5, 6）が実験結果において最良の結果となったが、下記の問題が考えられた。



写真-5 アモルファス合金溶射状況

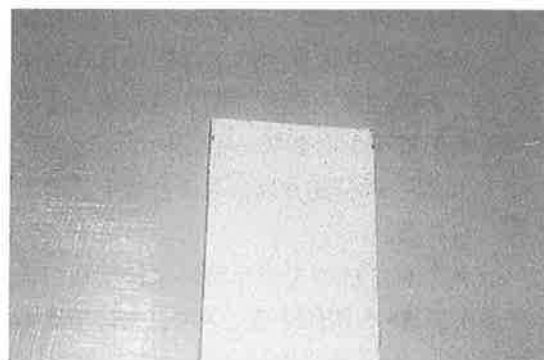


写真-6 溶射完了

- ①密着力→タイヤにより摩耗し、はがれることが懸念される。
- ②耐摩耗性→上記①同様にタイヤにより摩耗が懸念される。
- ③耐腐食性→フェースプレート上面は路床となり雨水などを直接かかる部位であるため腐食が懸念される。

上記に対して下記の試験体にて JIS 規格の各実験を行った。

- a. 一般鋼 (SS400 材)
- b. タールエポキシ樹脂
- c. US420J 金属溶射
- d. アモルファス合金溶射

①、②に関しては JIS H8664 肉盛溶射 (鋼) 製品試験③は JIS Z 2371 塩水噴霧試験を行い大阪府立産業技術研究所とコーケンテクノ株式会社にて検証を行った。

塗装と金属溶射を比較することが的確な判定法とは考えにくい、金属溶射は橋梁の部位ではあまり使用されないため、明確な基準がない。このため、妥当性を判断することにはならないが、相対比較により目安にはなると考え実験を行った。

結果①、②に関してはタールエポキシ樹脂の 20 倍程度の強度となった。③の耐腐食性はタールエポキシと同等の結果となり、伸縮装置に使用しても問題ないと考え本橋に採用することとなった。

④現場施工性

現場での補修または、既設の伸縮装置に施工できるかどうかに関しては、今後携帯性のある機器の開発などにより対応できると考えている。

3. 考 察

今回の実験にて得られた結果を以下にまとめる。

- ① SM400 クラスの伸縮装置 (ウェブ遊間 782.5 mm) では基本構造は従来の充填構造 (弾性シール材、高弾性バックアップ材) を適用できるが、バックアップ材下面の損傷防止に橋渡し材 (高硬度発泡体) および、裏面保護材 (黒色ハイパロンゴム引布) が必要である。
- ② SM520 クラスの伸縮装置 (ウェブ遊間 1,234 mm) では圧縮時の弾性シール材に不具合が生じるため、弾性シール材を改造するか、根本的な構造変更をする必要がある。しかし、1,000 mm程度のウェブ遊間であれば、適用が可能と

思われる。(別途検証実験が必要である。)

- ③ 滑り止め加工を施す場合は、アモルファス金属の溶射加工が効果的である。

4. 今後の課題

充填材について SM520 クラスで伸縮装置を計画する場合は充填材の限界が 1,000 mm程度と推測される。このため、それ以上の伸縮装置を計画する場合は材料・構造・支持形式などについて従来とは異なる手法を用いて止水層の耐久性の向上を図ることが必要と思われる。

スリップ防止実験においては、定量的な規定や基準が無い、今回は相対的な比較にとどめた。今後スリップに関する定量的な把握をする必要があると考えられる。

合金溶射の課題は実橋で使用した場合の耐久性とテーブルテストの結果と同等の結果が得ること、現場施工用の機器を開発することである。この課題を解決できれば、維持補修だけでなく既設伸縮装置への適用などが考えられ、雨天時の事故数の軽減が期待できる。

おわりに

今回実験を行った 700 mmを超える伸縮装置に関しては使用実績が少ないため、他の問題が潜在的に隠れている可能性があるが、追跡調査することで問題を解決していきたいと考えている。また本橋以外に同路線 (第二東名) 内などで、本実験により充填材およびスリップ防止加工を採用予定としている工区があると聞いているので、併せて注目していきたい。

最後に実験を行うにあたり、多大なご指導ご協力を賜りました日本道路公団中部支社ならびに名古屋工事事務所、ミカサ金属工業株式会社の方々をはじめ、関係各位に誌面をお借りして深く感謝の意を表します。