

# コンクリートの表面保護工法 「スケルトン コーティング シリーズ」

相田 雄治<sup>1</sup>・山本 貴士<sup>2</sup>

<sup>1</sup>新光産業株式会社 建設事業部 営業本部

(〒759-0297山口県宇部市大字際波1440番地)

<sup>2</sup>株式会社エムビーエス 代表取締役

(〒755-0067山口県宇部市小串74-3キャメロットビル1F)

[徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 田村隆弘 教授と長岡技術科学大学 環境・建設系 下村匠 准教授の4者共同研究より]



当該工法は、中国地方でこれから先、更に問題視されていくであろうコンクリート構造物の経年劣化等によるコンクリート片のはく落、また構造物の性能低下を表面保護工法の観点から防止するのみならず、製品に色が付いている為、施工後に「中身が見えなくなる」従来技術の問題点を改善した。

製品が透明である為、コンクリート構造物や製品自体を目視で確認、簡単に調査や監視また補修を行う事ができる効率の良い維持管理技術である。本技術の活用により、これからの社会資本整備に欠かすことのできない維持管理に必要なランニングコストを確実に削減する事が可能となり、コンクリート構造物や製品自体の異常も早期発見できる事から、国民の安全で安心した生活の向上が期待できる。

キーワード 橋梁のアセットマネジメント技術、既設構造物（橋梁等）の補修や耐震技術、土木構造物の効率的な点検手法、災害予測や災害被害の軽減、ライフサイクルコストの低減

## 1. はじめに

ここ数年、建設工事を取り巻く環境は著しく変化し厳しさを増している。しかし、必要な社会資本は整備を行う必要があり、その整備においては、経済性を重視しながら良質かつ効率的に行う事が要求される。

前記のような事情の中、高度成長期に大量建設されたコンクリート構造物の老朽化が加速度的に増加する事が予想されている。図-1の道路橋を例にとると、国内の15m以上の橋梁数は約14.6万橋あり、そのうち建設後50年以上経つ割合は、2006年で6%、2016年で20%、2026年で47%にも達すると予測されている。これらの道路橋や、その他のコンクリート構造物は、経済的また環境配慮などの理由から「壊して造る」事は難しくなり、「生かして使う」事が当然とされ、維持管理技術や保全技術の重要性がますます増大していくであろう。

今現在、コンクリート構造物の簡易な点検方法として、最も行われているのが近接目視による点検である。あたりまえだが、日常の管理費用、調査費用としてコストが発生する。これから維持管理が増大して行く事を踏まえると、点検調査システムを強化し確立する必要がある、同時にコスト削減の為、簡素化を行わなければならない。

よって、これに伴う技術が求められることは必然であろう。この様な補修時代が到来する背景から、数ある補修技術の中の一準備として、表面保護工法の施工後でも維持管理が簡単な『スケルトン コーティング』（以下「スケルトン」という。）を開発した。

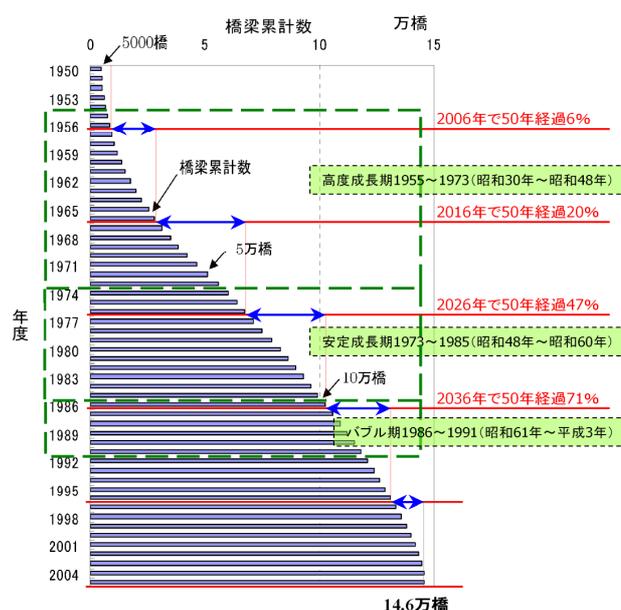


図-1 国内橋梁一年度別累計数・50年経過の割合

## 2. 表面保護工法について

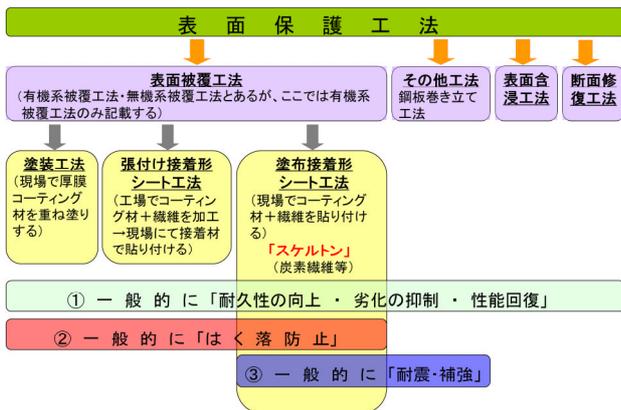


図-2 表面保護工法の簡易分類

表面保護工法の定義を簡潔に述べると、<sup>2)</sup>「コンクリート構造物の表面または表面付近に施された保護的措置」と言う事になる。主として表面被覆工法、表面含浸工法、断面修復工法に区別され、これらを複合的に組み合わせ施工する場合もある。また前記の三つの工法から枝分かれする工法が多数あるが、複雑になるのでここでは説明を控えて頂く。

表面保護工法の分類を簡素化し、主なものだけ図-2にまとめた。表面保護工法の中で一般的に良く知られている炭素繊維は、表面保護工法→表面被覆工法→塗布接着形シート工法に属する。スケルトンもこれに属し、現場にコーティング材や繊維などの材料を持ち込み施工する。この塗布接着形シート工法は、図-2の①②③の全てに該当し、また設計条件に応じて繊維の目付け量 (g/m<sup>2</sup>) やコーティング材の塗布量を変える事により、耐震、補強、はく落防止とそれぞれの用途に応じて対応できる。

## 3. 「スケルトン コーティング」の概要

### (1) 技術の概要

本技術は、2種類あり以下のとおりである。

- ①『スケルトンはく落防災コーティング』.  
はく落防止、補強→ガラス連続繊維シートを1枚使用。
  - ②『スケルトン耐震防災コーティング』.  
耐震→ガラス連続繊維シートを2枚使用。
- ①を(以下「スケはく」という。)、②を(以下「スケ耐震」という。)。また製品サンプルは写真-1を参考。

スケルトンの考え方を次に示す。純粋な水に透明なガラス板を浸けると、もちろん透明に見える。この単純な考え方を利用し、写真-2に挙げる透明特殊コーティング材を、白く見えるガラス連続繊維シートに含浸させ、写真-1のようにモルタル板の砂粒が見える程度まで透明化

に成功した。一見、簡単に思える透明化であるが、コーティング材の塗布量、ガラス連続繊維シートのストランド(1束約1000本)の1本1本における繊維間のクリアランス、繊維1本あたりの太さが透明程度に影響する。

従来技術は、紫外線にあまり強くないコーティング材を使用している。その保護として、施工の最後(トップ)に、写真-3のような紫外線に強い色付きコーティング材を施工してコンクリート表面が見えない。実は写真-3の頂版コンクリートは表面保護で見えないが、至る所に断面修復を行っている。よって、断面修復部分や製品自体が施工後、異常を来たしても気づかず、いざと言う時その役目を果たすか不安である。また異常に気づいたとしても、全ての表面保護を撤去しなければ異常範囲が不明である。その問題を解決し、コンクリートや製品自体の異常部分を、目視により効率良くピンポイントで探す事が可能、またコンクリート構造物の耐震、補強、はく落防止の役目を果たすのが本技術である。

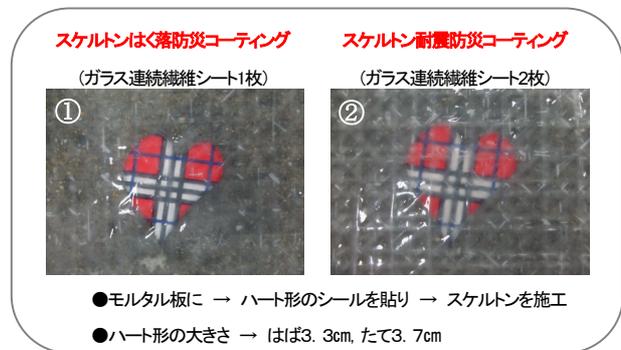


写真-1 スケルトンのサンプル

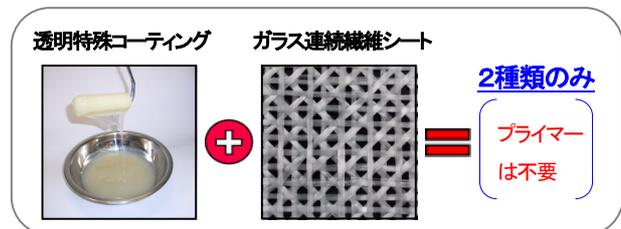


写真-2 スケルトンの材料

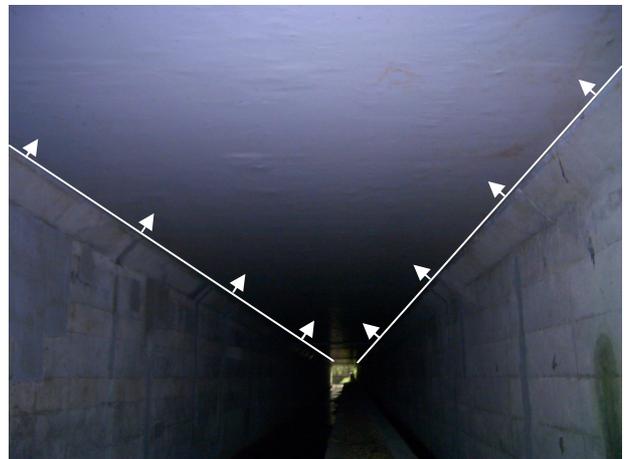
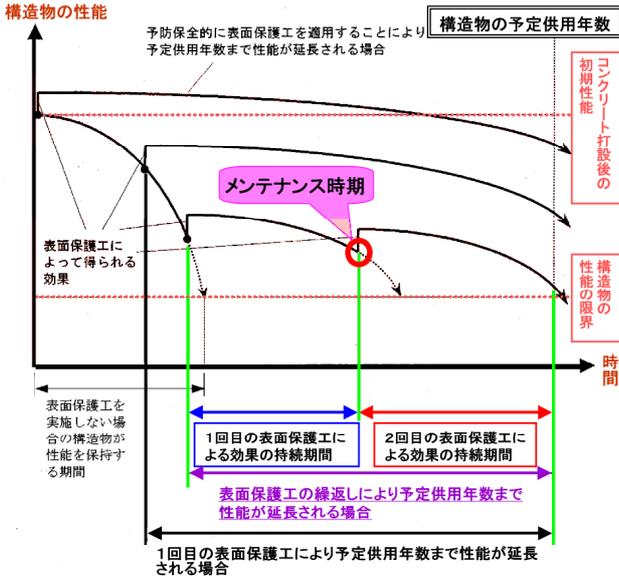


写真-3 従来技術の施工事例ーボックスバルコニー頂版全面施工

## (2) 特徴およびメリット



2) 図-3 表面保護工を適用したコンクリート構造物の性能の概念図

従来技術の中には、繊維シート1枚で高い強度を発揮するもの、はく落防止に限り使用される繊維、通電の有無で採用されるものなどが有り、それぞれのメリットで設計条件、現場条件の用途に応じて施工されている。

3. (1) 技術の概要の中で従来技術について少し触れたように、その殆どは施工後、コンクリート表面や製品自体の劣化状況が確認できない。また、プライマー、コーティング材は2液性が多く現場での混合が必要で、材料数が多いため作業が煩雑で効率落ちる。よって、コンクリート構造物や製品自体に異常を認めた場合は、点検や調査、撤去、復旧に時間が掛かりコストの負担も大きくなる。前記に比べ、本技術の主な特徴およびメリットは、以下のとおりである。

- ①コンクリート表面、また製品劣化が透けて見える。
  - ・ 点検や調査、撤去、復旧が簡単。
  - ・ 異常部分の監視が可能。
  - ・ ランニングコストの抑制。
  - ・ 図-3のメンテナンス時期が目視で判る。
- ②材料が2種類のみ、コーティング材は1液性、プライマー不要。
  - ・ 施工が簡単。
  - ・ 工期が標準施工で、約30%~45%短縮可能。
- ③繊維が軟らかい。
  - ・ ハンチや細かい部分も施工できる。
  - ・ バテ不要。
- ④じん性が向上する。
  - ・ 構造物の粘り強さが増す。
- ⑤コンクリート表面の含水率が、20%まで施工可能。
  - ・ 従来技術の場合、8%前後が多い。

## (3) 適用構造物

本技術の主な適用構造物は、以下のとおりである。

- ①橋桁、橋脚、橋台。
- ②ボックスカルバート、トンネル。
- ③建築建物。
- ④その他コンクリート構造物、モルタル工作物。
- ⑤従来色付きコーティングの点検窓。

(例) コンクリート表面が見えない炭素繊維の壁の一部分のみに、スケルトンの窓を設けて構造物を監視する。

## (4) 構造および施工手順

本技術の標準構造は、以下の図-4 および図-5 のとおりである。施工手順は図-6を参照の事。図-4、図-5は、あくまで標準施工の場合であり、コンクリート素地の状態、施工部位によりコーティング材塗布量が異なる。図-6においては、品質維持の為、乾燥を設けている点に注意して頂きたい。

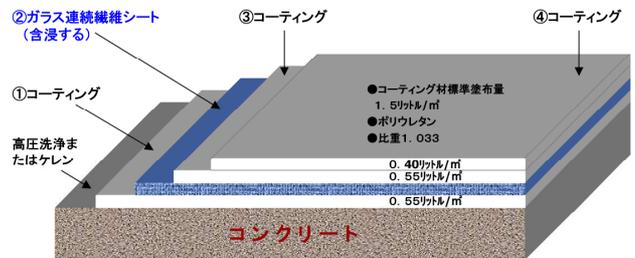


図-4 スケルトンはく落防災コーティングの標準断面図

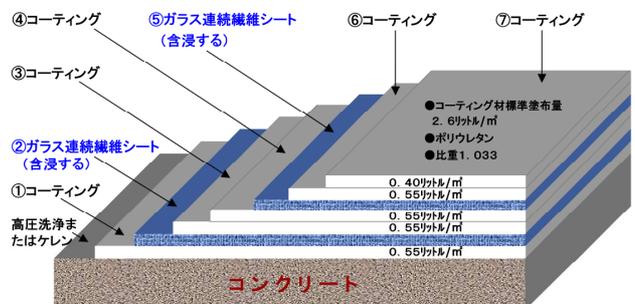


図-5 スケルトン耐震防災コーティングの標準断面図

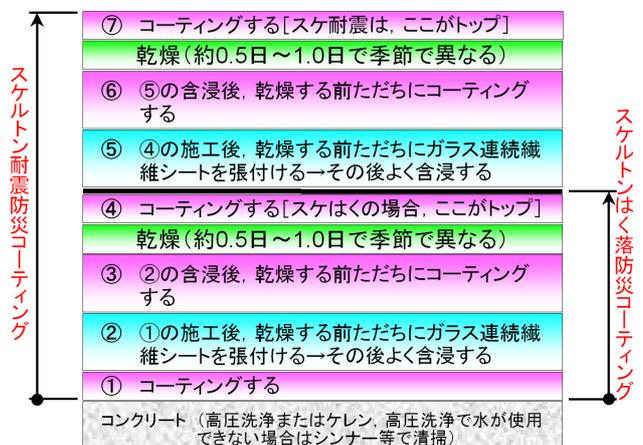


図-6 スケルトン施工手順

(5) 施工事例

販売開始から約1年6ヶ月のため件数は少ないが、スケはくはの主な施工事例は以下のとおりである。また現在、スケ耐震についての施工事例は無い。

- ① 工事名 山陽維持工事 (国土交通省) .
- 工事場所 山口県山陽小野田市市内.
- 工期 平成20年12月～平成21年1月.
- 施工面積 約98 m<sup>2</sup>.



写真4 跨線橋【既設】一スケはく

- ② 工事名 第二京阪道路杉高架橋東 (PC上部工) 工事 (西日本高速道路株式会社) .
- 工事場所 大阪府枚方市市内.
- 工期 平成21年6月～平成21年7月.
- 施工面積 約614 m<sup>2</sup>.



写真5 高架橋【新設】一スケはく

③ その他施工事例

写真-6は、既設橋台側面にひび割れが発生し断面修復を行った。しかし、乾燥収縮が原因と見られるひび割れが再び発生した。数年の監視の中、毎年点検が必要との事でスケはくを施工した。

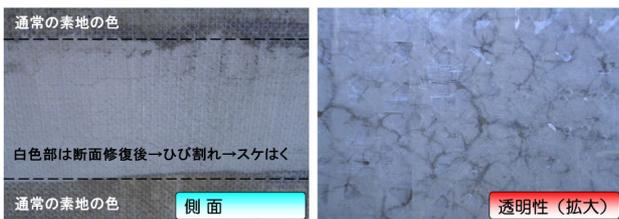


写真6 橋台【既設】一スケはく

写真-7は、コンクリートの中性化、過酷環境（腐食しやすい）または繰返しの振動や荷重、地震時の大きな水平力作用が原因で橋台における沓座部の無収縮モルタルや台座コンクリートの劣化、ひび割れが最近報告されている。この施工は、その劣化の抑制および付着による拘束力を期待した施工である。

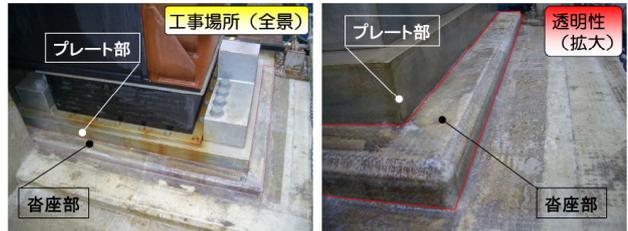


写真-7 橋台沓座【既設】一スケはく

4. 実証試験

ポリウレタンの透明特殊コーティング材とガラス連続繊維シートを組み合わせにより、高性能で透明な表面保護工法を開発した。ここでは要求性能に伴い、その性能を把握する基礎的な試験から、実用性を確認する為の試験を行った結果をまとめる。

また表-1の一部において、参考とする試験方法および基準値は、<sup>23)4)5)</sup>土木学会、<sup>6)7)</sup>(東・中・西)日本高速道路株式会社、西日本旅客鉄道株式会社、東日本旅客鉄道株式会社、日本工業規格に準じた。

(1) 試験項目

試験項目における1項目の2行目以降は供試体寸法を表す	
① 押抜き試験 L600×W400×t60mm	⑪ 外観
② 付着試験 □70×t20mm	⑫ 促進耐候性後の外観
③ ひび割れ追従性試験 L120×W40×t10mm	⑬ 耐アルカリ性試験後の外観
④ 梁の曲げ・せん断試験 L2300×W150×H250mm	⑭ 耐アルカリ性試験後の付着試験
⑤ 柱の耐力試験(スケ耐震のみ) [下部]L1200×W1800×H700mm [柱部]W500×W500×H1600mm	⑮ 接着試験 □300×t60mm
⑥ 中性化抵抗性	⑯ 引張試験(スケはくのみ) L220×W20mm
⑦ 酸素透過阻止性	⑰ ねじり耐力試験 W950×W1150(□150mm)
⑧ 水遮断性	⑱ 衝撃試験(スケはくのみ) L1000×W320×t55mm
⑨ 水蒸気透過性	⑲ 爆発試験(スケはくのみ) L1000×W440×t70mm
⑩ 遮塩性	

表-1 試験項目

(2) 試験方法および結果

供試体名	コーティング材名	繊維名	繊維枚数
スケルトンはく落防災コーティング	デカサンクリアグレイズ	ガラス連続繊維	1枚
B繊維(はく落防止)	デカサンクリアグレイズ	B繊維	1枚
スケルトン耐震防災コーティング	デカサンクリアグレイズ	ガラス連続繊維	2枚
A繊維(耐震)	エポキシ樹脂	A繊維	1枚

表-2 コーティング材および繊維の組合せ種類

表-1の①～⑱の中で、本書では①～⑭について記載する。なお①～⑤、⑱～⑳は、徳山工業高等専門学校（以下「徳山高専」という。）土木建築工学科 田村隆弘 教授の指導監視で試験を行い、⑥～⑭は、第三者試験機関に依頼した。試験を行った主な供試体について、コーティング材および繊維の組合せ種類は表-2のとおりである。

**a) ①押抜き試験、②付着試験、③ひび割れ追従性試験**

①押抜き試験方法は、<sup>2)3)</sup>土木学会より、<sup>6)</sup>（東・中・西）日本高速道路株式会社の試験方法JHS 424と同じと理解する。なお今回の試験は<sup>6)</sup>に定められている中で、試験室の温湿度は標準（JIS K 7100の標準温度状態2級 [23℃±2℃] および標準湿度状態2級 [50±10%] とする）で行う事にしたが、そのような雰囲気試験室が無かった為、標準に出来るだけ近くなるよう試験を行った。

②付着試験方法は、<sup>4)</sup>土木学会JSCE-K 531と<sup>6)</sup>（東・中・西）日本高速道路株式会社JHS 417 4.6の内容から、③ひび割れ追従性試験方法は、<sup>4)</sup>JSCE-K 532と<sup>6)</sup>JHS 417 4.7の内容から、<sup>4)</sup>JSCEに記載している「標準状態試験体」、<sup>6)</sup>JHSに記載している「標準養生後常温時」は、ほぼ同じ内容なので試験としては同じ扱いとする。なお今回の試験は②、③とも、標準（コーティング材塗布後23℃±2℃、湿度50±5%で28日間養生した後に試験する）で行う事にしたが、養生設備が無かった為、標準に出来るだけ近くなるよう養生を行った。

②および③は試験値バラツキが有り、念のため徳山高専と第三者試験機関の両方で試験を行い、低い試験値であった徳山高専を採用した。また表-3の試験値は、①、③は3体の平均、②は5体の平均とした。

試験項目	試験条件	基準値	はく落防止		耐震	
			スケはく	B繊維	スケ耐震	A繊維 (二方向 10t/10t)
① 押抜き試験	試験室の温湿度【標準】	1.5kN以上	5.98	2.47	11.30	8.33
② 付着試験	塗布後の養生温湿度【標準】	1.0N/mm <sup>2</sup> 以上	1.98	1.74	1.89	1.65
③ ひび割れ追従性試験	塗布後の養生温湿度【標準】	(低追従)0.15~0.40mm未満、(中追従)0.40~1.00mm未満、(高追従)1.00mm以上	0.45 (暫定値) ↓	0.80 (暫定値) ↓	0.65 (暫定値) ↓	2.19 (暫定値) ↓

※徳山高専での試験値だが、繊維シートが破断する前にモルタル供試体が破壊され試験途中で中断となった。よって、この試験値は暫定値である。また、この試験を第三者試験機関に依頼したが、前記と同じ現象が発生したとの事、報告書には「試験不可-塗膜が破断する前に基板が破壊されたことによる」と記載あり。

表-3 【試験結果】①押抜き、②付着、③ひび割れ追従性

**b) ④梁の曲げ・せん断試験**

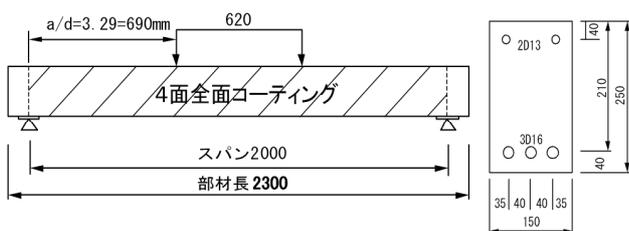


図-7 供試体寸法と施工範囲



写真-8 試験実例 [はく落用繊維]

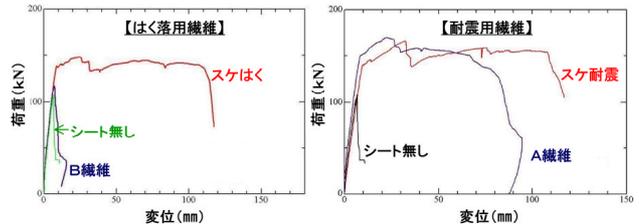


図-8 荷重-変位曲線 [各繊維]

	はく落防止		耐震		シート無し
	スケはく	B繊維	スケ耐震	A繊維 (二方向 10t/10t)	
最大荷重 (kN)					
④梁の曲げ・せん断試験	150.5	112.9	167.0	170.1	108.3
破壊モード	曲げ破壊	せん断破壊	曲げ破壊	曲げ破壊	せん断破壊
供試体数	3体	3体	3体	1体	1体
スパン比	a/d=690mm÷210mm=3.285≒3.29				

表-4 【試験結果】④梁の曲げ・せん断試験

図-7の供試体を製作し、写真-8の試験を行った。試験値は表-4を参考して頂きたい。なお表-4の試験値は、表-4に記載している供試体数の平均とする。また図-8のスケはく、B繊維、スケ耐震については、代表供試体の試験結果を記載している。

**C) ⑤柱の耐力試験 (々耐震のみ)**

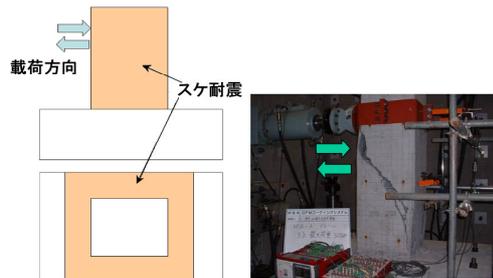


図-9・写真-9 載荷方法とスケ耐震の施工範囲

試験値	最大荷重 (kN)	最大荷重での変位 (mm)		最大荷重のサイクル回数 (回)
		上部	下部	
シート無し	313.7	16.49	9.93	2 (3回目は2回目の最大荷重を超えず破壊)
スケ耐震	344.1	36.17	19.77	4 (4回目で試験機の能力を超えて試験中止)

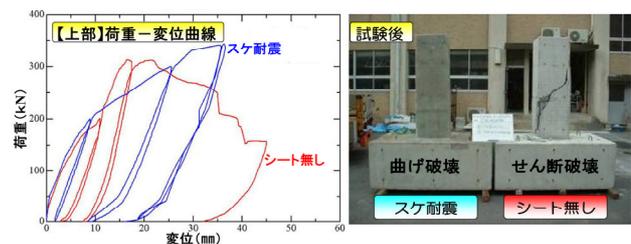


表-5・図-10・写真-10 【試験結果】⑤柱の耐力試験

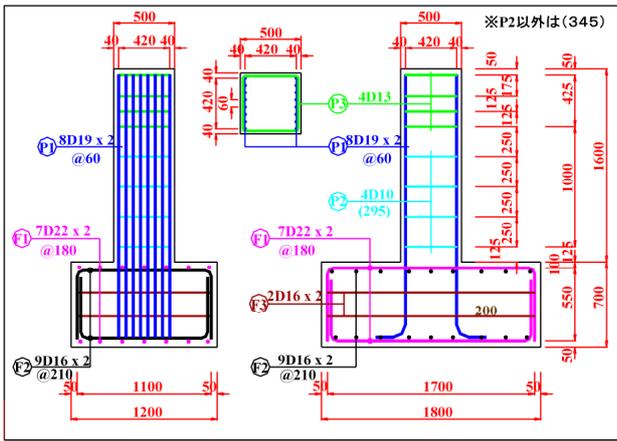


図-11 供試体寸法

図-11の供試体を製作し、図-9・写真-9のように荷重を行い試験を行った。試験結果は表-5・図-10・写真-10を参考して頂きたい。なお表-5の試験値は、シート無し、スケ耐震それぞれ1供試体の試験値である。

d) ⑥中性化抵抗性 ～ ⑭耐アルカリ性試験後の付着試験

試験設備が無かった為、第三者試験機関に依頼した。また試験方法および基準値は、表-6のとおりとする。

試験項目	基準値	試験値		試験方法
		スケはく	スケ耐震	
⑥ 中性化抵抗性	28日間0.0mm	0.0	0.0	30°C、RH.60%、CO <sub>2</sub> 5% (28日間促進、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧)
⑦ 酸素透過阻止性	1.5 × 10 <sup>-2</sup> mg/cm <sup>2</sup> ・day以下	試験機の検出限界(3.7 × 10 <sup>-4</sup> )	試験機の検出限界(3.7 × 10 <sup>-4</sup> )	製科研式改良(製品科学研究所)試験片にモルタル使用
⑧ 水遮断性	0.05g以下	0.00	0.02	JIS A 1404改良(加圧時間6時間とする)
⑨ 水蒸気透過性	0.03mg/cm <sup>2</sup> ・day以下	1.85	1.33	JIS A 1171 7.11(放湿とする)
⑩ 遮塩性	2.5 × 10 <sup>-3</sup> mg/cm <sup>2</sup> ・day以下	試験機の検出限界(0.7 × 10 <sup>-3</sup> )	試験機の検出限界(0.7 × 10 <sup>-3</sup> )	JIS K 5400 8.18引用文献
⑪ 外観	I参考	0(S0) II参考	0(S0) II参考	JIS K 5600-8-1:1999
I【基準値について】0(変化なし)～5(変化大)の等級で表記(日本工業規格JISに準ずる)				
II【試験値について】左の0は劣化程度の等級で、0～5に数値が上がるほど外観変化欠陥が大きい事を表す。よって、今回試験は0なので「無変化」。(S0)のSは、サイズのSの事。(S0)の0は欠陥の大きさを、0～5の等級があり、下がるほど良く0は「10倍に拡大しても欠陥が視認できない」事を表す。				
⑫ 促進耐候性後の外観	300h:異常がないこと III参考	3,000時間異常を認めない	3,000時間異常を認めない	JISCE-K 511-1999(サンライズコンクリート) 表面被覆材の耐候性試験方法
III【基準値について】土木学会JSCEは1,000時間が標準で、2,000時間が高耐久				
⑬ 耐アルカリ性試験後の外観	30day異常がないこと	異常を認めない	異常を認めない	JIS K 5600-6-1、飽和水酸化カルシウム使用
⑭ 耐アルカリ性試験後の付着試験	0.7N/mm <sup>2</sup> 以上 IV参考	1.1	1.5	耐アルJIS K 5600-6-1 付着 JIS A 6909:2003 7.9
IV【基準値について】JISに基準値がない為、東日本旅客鉄道社に準ずる				

表-6 【試験結果】⑥～⑭

5. 結論

各団体から複合的に採用した表-3の①～③、表-6の⑥～⑭全てではく落防止要求性能の基準値を満たしていた。注目する点は、<sup>2)</sup>土木学会の規準値で1000時間で標準、2000時間で高耐久の促進耐候性を、3000時間においてクリアしている点だ。また外部からの水は遮断でき、特に構造物新設時に必要な内部水蒸気を外部に放出する機能を備えている性能も注目したい。④梁の曲げ・せん断試験では、図-8よりスケ耐震はもちろんの事、スケはくについても、はく落防止専用のB繊維がせん断破壊に成っ

たのに対し曲げ破壊となり、はく落防止のみならず補強効果が有る事が実証できた。また、この試験によりスケ耐震はA繊維より変位が大きい事から、じん性が向上する事が期待できる。4. (2) C)の⑤柱の耐力試験はスケ耐震のみの試験である。試験結果と<sup>5)</sup>土木学会の炭素繊維シートで補強された部材の設計じん性率の算定式(単柱式道路橋RC橋脚の基部を想定した照査)を基に、徳山高専 土木建築工学科 田村隆弘 教授に耐震効果があるか算定を依頼した。算定式が複雑で長文になる為、ここでは結果のみを記載し説明は省略する。

$$\text{じん性率は } \mu_{jd} = 5.74 \leq 10$$

$$\text{じん性能は } \gamma_i \cdot \mu_{rd} / \mu_{jd} = 0.94 < 1.0$$

となり、所要の安全度を保有している。

これまで行ったスケルトン及びそれ以外の繊維と塗料の多くの組み合わせの基礎的、実用性試験の結果から、スケルトンの性能はコンクリートのはく落に対して十分に耐えうるものであり、また耐震性能についても部材レベルの試験結果から、A繊維より劣るが十分に寄与するものであることを確認できた。またスケルトンのメリットである透明技術「中身が見える」は、これまでの見えない従来技術と比べ、施工後の点検調査において簡素化をもたらす技術に成るのではないだろうか。

謝辞：本研究の実施にあたり、徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 田村隆弘 教授と長岡技術科学大学 環境・建設系 下村匠 准教授、および学生の方々には2年6ヶ月の間、約400体以上の試験について、試験方法、実証試験、報告書作成、結果の解釈など御指導および御尽力を頂いた。また経済産業省 中国経済産業局様から開発資金の助成と、研究の進め方についてアドバイスを頂いた。各皆様に心から深く感謝いたします。最後に、建設分野の数ある技術の一つとして、微力ながら社会貢献に参加させて頂いている事に対し、ありがたく思う。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路橋の予防保全に向けた有識者会議(第1回)資料2平成19年10月24日
- 2) 土木学会：119 コンクリートライブラー表面保護工法設計施工指針(案)と[工種別マニュアル編]平成17年4月26日
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書[規準編]土木学会規準および関連規準平成17年3月
- 5) 土木学会：101 コンクリートライブラー連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針平成13年7月20日
- 6) (東・中・西)日本高速道路株式会社：試験方法第4編構造関係試験方法平成18年10月
- 7) (東・中・西)日本高速道路株式会社：構造物施工管理要領平成20年8月