

砂付きの繊維メッシュによるコンクリート構造物の機能向上

住友建設機技術部

正会員 ○中井裕司

日本道路公団静岡建設局

寺田典生

日本道路公団静岡建設局

本間淳史

日本道路公団東北支社

西川孝一

1. はじめに

コンクリートの劣化に対して、点検や補修の頻度が多くなりつつあり、維持管理に要する費用が増大する傾向にある。そこで、より耐久的で、LCCが安価となる構造物を建造する必要がある。日本道路公団では、耐久性の向上を目的として、繊維補強コンクリートの適用を研究している。その一環として、新設の高速道路上の跨道橋や主要幹線道路上の本線橋梁において、橋梁を繊維シートで包み込む工法の試験施工をおこなった。この工法は、初期ひび割れの抑制により耐久性の向上し、将来コンクリートが劣化した場合でも剥落防止効果により、第3者被害を防止する性能を有していると考えている。本稿はこのSandy Aramid Mesh Method 工法 (以下SAMM工法) の概要、力学的な特性と適用事例について報告する。

2. SAMM工法の概要

SAMM工法は図-1に示すように、繊維シートを型枠の内側に張付け、コンクリートを打設することにより、けい砂分のかぶりを有する繊維シートがコンクリート表面近傍に配置されることを特徴としている。コンクリート表面近傍に配置された繊維シートの機能は、コンクリート表面近傍にてひび割れ幅を制御し、将来におけるコンクリートの剥落の防止することにより耐久性を付与することとである。

繊維シート (SAMMシート) は、アラミド繊維束を3方向に組み合わせたもので、片面にけい砂を付着させている (写真-1、表-1)。三角形のメッシュ (3軸メッシュ) の辺長は40mmで、小さな剥落片に相当する500円玉が通過しない大きさになっている。また、この形状は型崩れしない擬似等方性を有しているため、敷設・固定などの施工性に優れている。けい砂は、粒径が2~3mmで3軸メッシュに樹脂にて接着されている。アラミド繊維束は1本が740Nの強度を有し、SAMMシート1mあたりで30kNの耐力になる。アラミド繊維は、防弾チョッキなどに利用されているように、衝撃に強く、切れにくい素材である。

本工法は、要求性能を低コストで実現するために、コンクリート表面近傍だけに補強繊維を高密度で配置されており、コンクリートのその他の性能に大きな影響を与えない利点がある。一方、配筋前の型枠にSAMMシートを敷設するので、各工程における施工管理に十分な配慮が必要となる。

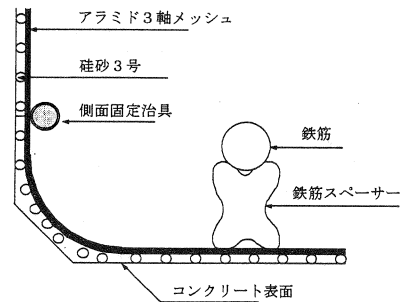


図-1 繊維シートの敷設概要

表-1 繊維シートの品質規格

寸法 (幅)	1240~1260mm
糸条強度	740N/本以上
辺長	40mm
製品質量	400g/m ² 以上
矽砂	3号矽砂

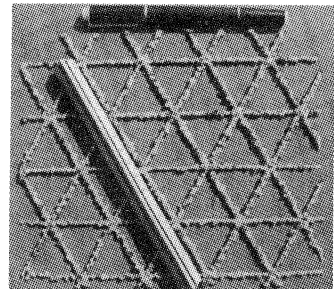


写真-1 SAMMシート (砂付き面)

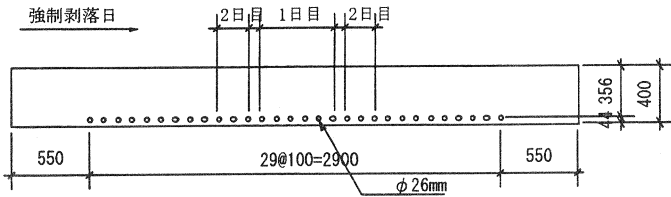
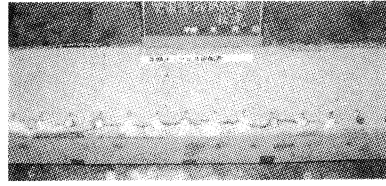


図-2 剥落試験の供試体寸法図



(a) SAMMシートを配した供試体



(b) 基準供試体

写真-2 静的破砕材による強制剥落試験結果 (破砕材投入後 40 時)

3. 剥落防止性能

剥落防止性能は、補強繊維の形状(長繊維・短繊維)・や量、引張強度、付着強度、伸度、屈曲性能、コンクリートの引張強度、タフネスなどに左右されると考えられ、剥落防止の要求性能を満足する繊維補強コンクリート工法の可能な組み合わせは、多数あると思われる。ここでは、過酷な条件で、端的にコンクリートの剥落を防止する性能を評価することを目的とした実験を行った。

実験方法を図-2に示す。圧縮強度 41N/mm^2 のコンクリートを用いた桁高 400mm 幅 200mm の RC 供試体を用い、 45mm のかぶりコンクリートに対して、鉄筋の膨張を想定し静的破砕材を用いて膨張圧を与えた。静的破砕材は、 $\text{CTC}=100\text{mm}$ ピッチの貫通した $\phi 26\text{mm}$ 孔に注入した。

SAMMシートのない基準供試体は、著しい剥落が生じたが、繊維シートを3面に配した供試体には剥落は生じず、ひび割れ幅も制御した。SAMMシートを配置することにより、剥落防止性能が著しく向上することがわかる。

4. 諸試験

SAMM工法は、優れた剥落防止性能を有することが確認できたので、剥落防止機構を明らかにするために、押抜き試験、曲げ試験、軸引張試験、軸圧縮試験を行った。これらの試験により、SAMM工法はSAMMシートの強度、伸び性能、屈曲性能、付着性能を用いて、剥落防止とひび割れ幅の制御に有効であることがわかった。

4.1 押抜き試験

SAMMシート配置の有無をパラメーターとした押抜き試験を実施した。供試体は、図-3に示すように、高さ 250mm 、平面寸法 $700 \times 500\text{mm}$ のコンクリート平板に、 $\phi 100\text{mm}$ のコアボーリング器で深さ 200mm まで削孔をし、かぶりコンクリート相当の深さ 50mm を残したものを、パラメーターごとに3体用意した。このコンクリート平板は、実物大の施工性試験の高欄部分から切り出したものであり、コンクリートの圧縮強度は 32.5N/mm^2 であった。荷重は、幅 500mm の支持線をもちいてスパン 500mm で単純支持し、供試体に設けた $\phi 100\text{mm}$ のコアの上部からアムスラー試験機で単調におこなった。

荷重荷重と押し抜き部の底面変位の関係を図-4に示す。SAMMシートを用いない供試体は、押し抜き部の変位 1mm 程度で初ひび割れが発生し、 1.5mm 程度で全面の押し抜きひび割れが観察され、 2mm から 4mm で耐力を失った。一方、SAMMシートを用いた供試体は、 2.5mm 程度で初ひび割れが発生し、 5mm 程度で基準供試体より大きい範囲で押し抜きひび割れが観察された。その後、押し抜きひび割れ部がヒンジ化し、変形モードが曲げ変形に遷移し、押し抜きひび割れの内側で荷重コアの周辺で曲げひび割れが卓越しだした(写真-3)。変位 50mm 程度で、シートが破断を始め、変位 200mm 程度で押し抜き耐力を失った。

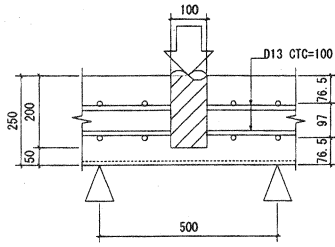
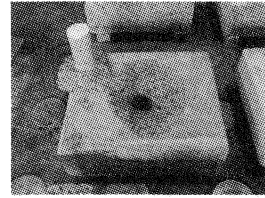
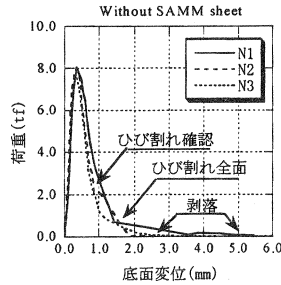
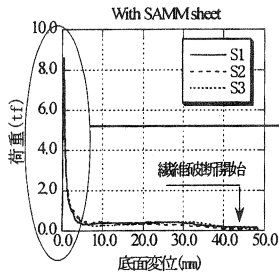


図-3 試験概要



(a) 基準供試体



拡大

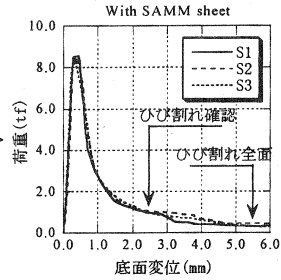
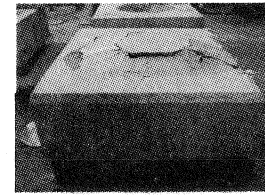


図-4 押し抜き試験の荷重と変位の関係



(b) SAMM シート供試体

写真-3 押し抜き試験結果

この結果から、SAMMシートの有無により、最大押し抜き耐力以降の軟化領域でのひび割れ性状や残存耐力のありさまが異なり、シートを有する場合、完全な押し抜きひび割れを形成してから、シートが破断するまで残存耐力は少ないものの、大きな変形性能を有し、押し抜きによる剥落変位量は、50倍から100倍に増加する。また、最大耐力も10%程度の増分が認められた。これは、アラミド繊維の強度と伸度を十分使いきり破断したこと、その破断部の応力増分に見合うコンクリートとの付着強度を有していたと判断できる。

4.2 曲げじん性試験

かぶり部分に相当する小断面にSAMMシートを用い場合の曲げじん性と、SAMMシートの重ね継手長を評価する目的で、圧縮強度 42.5N/mm^2 のコンクリートを用いて、コンクリート標準示方書「基準編」の「鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法 (JSCE-G552-1983)」を行った。

試験のパラメーターは、SAMMシートを1枚もしくは2枚重ねに敷設したものと、1枚で重ね継手長を6cm、12cmもしくは18cmとしたものとした。供試体数は各3体である。結果、曲げ強度はパラメーター間で大きな差は生じなかった。一方、曲げじん性係数は、継手なしのSAMMシート1枚の供試体が 1.09N/mm^2 で、継手なしのSAMMシート2枚の供試体が 1.68N/mm^2 であった。重ね継手長を6cmおよび12cmとした場合がシート1枚の場合とほぼ等しく、重ね継手長を18cmとした場合がシート2枚の場合とほぼ等しくなった。

この結果から、繊維量の増加に従いじん性係数が増加すること、重ね継手を有する場合、ひび割れの生じた位置でじん性係数が決定されることがわかった。この供試体サイズ(100 ×

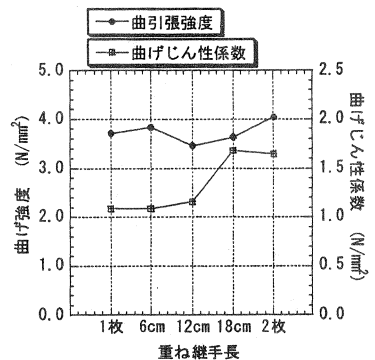


図-5 曲げじん性試験結果

100mm)における1枚のSAMMシートの体積混入率は0.007%である。一般に体積混入率1%程度の鋼繊維コンクリートのじん性係数は 6N/mm^2 程度であることから、本工法は効率の良い補強効果を示している。

4.3 軸引張試験

PRC構造の場合、使用状態における1つの限界状態の指標としてひび割れ幅の制限がある。SAMMシートを配置した部材のひび割れ幅の低減が定量化できれば、今後、経済的な緊張材および補強鉄筋の配置が可能となる。本実験では、かぶり、コンクリートの有効断面積、コンクリートの引張強度を一定として、鉄筋径とSAMMシートの有無をパラメーターとした軸引張試験を実施した(表-2)。

軸引張試験は、図-6に示すように異形鉄筋を中心に1本配した断面 100×100 、長さ 1000mm の供試体を用いて行った、なお、SAMMシートのひずみ計測を明確にするために、実験に先立ち供試体軸方向の中央に初期割れひび割れを導入した。コンクリートは圧縮強度が 45.4N/mm^2 、鉄筋は降伏強度が約 375N/mm^2 、SAMMシートは両面に砂を付けたものを用いた。図-6に計測方法も示す。載荷パターンは、新たなひび割れを確認後、除荷を行い、ひび割れを跨ぐようにパイゲージを設置し、漸増載荷する。この

表-2 実験水準

No.	鉄筋径	SAMMシート
16-0	D16	なし
19-0	D19	なし
22-0	D22	なし
16-1	D16	表裏 各1枚
19-1	D19	表裏 各1枚
22-1	D22	表裏 各1枚
16-2	D16	表裏 各2枚
19-2	D19	表裏 各2枚
22-2	D22	表裏 各2枚
19-3	D19	表裏 各3枚

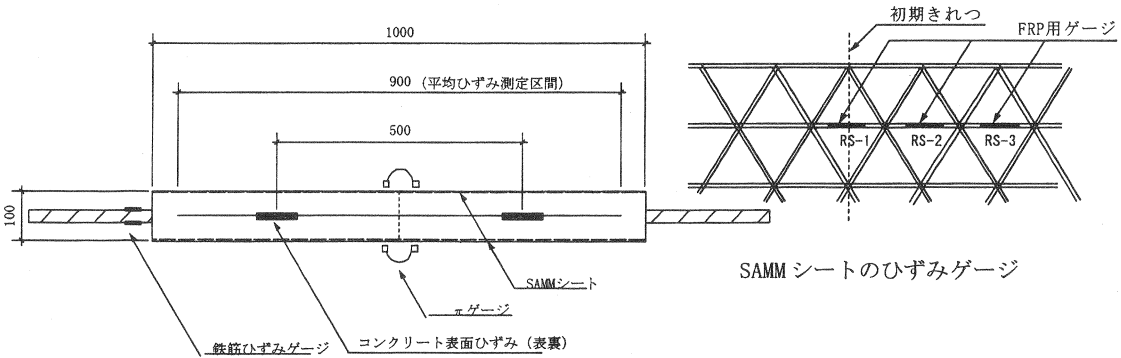


図-6 軸引張供試体の概要

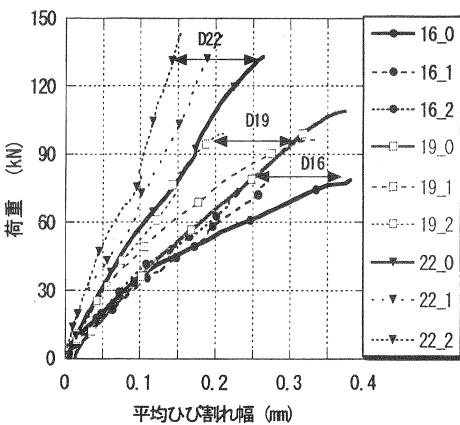


図-7 荷重と平均ひび割れの関係

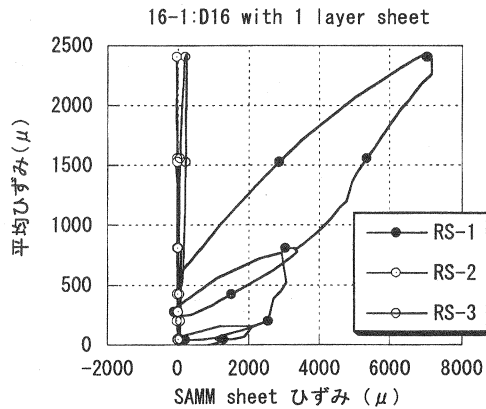


図-8 平均ひずみとSAMMシートのひずみの関係

繰り返しは第5ひび割れまでとした。第5ひび割れ後は、単調に漸増载荷を行い、平均ひずみが鉄筋の降伏ひずみの3倍まで载荷するものとした。

各供試体の荷重と平均ひび割れ幅の関係を図-7に示す。この図から、用いた鉄筋の径が太くなるに従い同一の荷重に対してひび割れ幅が狭くなること、SAMMシートを用いた場合、シート枚数が増えるに従いひび割れ幅が狭くなる傾向を有していることがわかる。

初期割裂ひび割れを入れた近傍の供試体の平均ひずみとSAMMシートのひずみ分布の代表例を図-8に示す。他の供試体もほぼ同様の傾向を有している。ひび割れ上の測点RS-1でひずみ変化が生じ、その量は平均ひずみの2~3倍程度である。ひび割れから40mmはなれた測点RS-2ではほとんどひずみ変化は生じていない。つまり、SAMMシートは非常に短い範囲で付着しており、コンクリートにその力を伝えていることがわかる。この力がひび割れ幅を制御していると考えられる。

実験は、鉄筋の降伏荷重までで評価されており、使用状態におけるひび割れ制御性能については定量化できないのが現状であるが、ひび割れが生じた段階でSAMMシートにひずみが生じるために、定性的にひび割れ幅を減ずる働きがSAMM工法にあると考えられる。

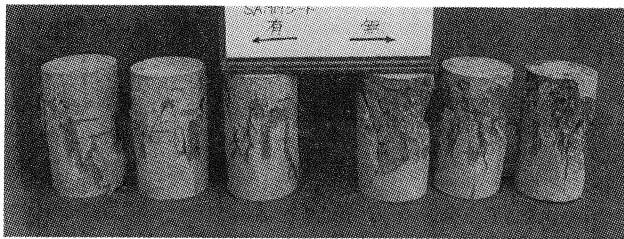
4.4 軸圧縮試験

SAMMシートをコンクリートの圧縮縁に配置した場合の圧縮性状を調べる目的で、 $\phi 150\text{mm}$ 、 $h=300\text{mm}$ の圧縮試験を行った。用いたコンクリートは、設計基準強度 50N/mm^2 の早強コンクリートである。SAMMシートを用いた供試体は、円周方向にシートを1重に配置した。圧縮試験は、気中養生した供試体を用いて材令5日でおこなった。

圧縮試験結果を表-3に、供試体の破壊性状を写真-4に示す。圧縮性状は、SAMMシートを配置することにより、①圧縮強度と終局ひずみが約10%増大し、②弾性係数が約2%減少した。①はSAMMシートによる拘束による効果と考えられ、②はSAMMシートによる圧縮断面積の減少によるものと考えられる。SAMMシートを圧縮縁に配置することにより、非常に少ない繊維量の拘束で、部材の耐荷性状は改善され、脆性的な圧縮破壊を抑えることが出来ると思われる。

表-3 圧縮試験結果

with SAMM sheet				Without SAMM sheet			
	圧縮強度 N/mm^2	弾性係数 N/mm^2	終局歪 (μ)		圧縮強度 N/mm^2	弾性係数 N/mm^2	終局歪 (μ)
1	46.3	3.12E+04	2661	1	42.5	3.14E+04	2256
2	46.6	3.13E+04	2645	2	42.8	3.22E+04	2358
3	47.9	3.15E+04	2930	3	43.5	3.26E+04	2743
平均	46.9	3.14E+04	2745	平均	42.9	3.21E+04	2452



with SAMM sheet

without SAMM sheet

写真-4 圧縮試験の結果

5. 適用事例

日本道路公団では、平成12年4月より砂付き3軸アラミドメッシュシートを用いた剥落防止工法の試験施工を開始し、平成12年度内に11現場15橋、約18000m²のSAMMシートを使用した。平成13年度においても3万m²程度の使用が見込まれている。その他の公共工事においても使用され始めており、今後、重要交差条件を有する新設構造物の要求性能は、耐久性の向上とともに剥落防止性能を付加することになると思われる。

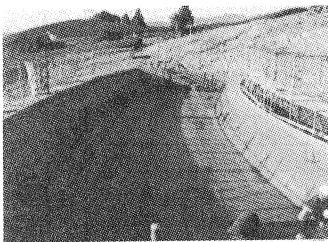
SAMM工法を適用した事例を写真-5に示す。50mロールのSAMMシートを型枠上に敷設・固定し、鉄筋・PC鋼材を配置し、コンクリートを打設する手順となる。当然のことであるが、各施工段階で入念な施工が要求され、構造物の初期欠陥があつては本来の機能を発揮できなくなる。SAMMシートはコンクリート表面から3～5mm程度の位置に存在することになる。コンクリートの表面は、ほとんど一般の仕上がりと同じと変わらない。

6. まとめ

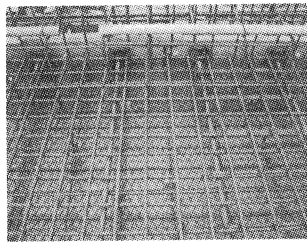
SAMM工法の性能と適用事例について述べた。SAMM工法は、コンクリート構造物への耐久性の向上と剥落防止性能の付与が第一義であるが、軸引張試験結果や軸圧縮試験結果に見られるように、コンクリート構造物の力学的性能の向上も見受けられる。今後、コンクリート構造物のひび割れ制御などの性能についても明らかにしていく所存である。

7. 謝辞

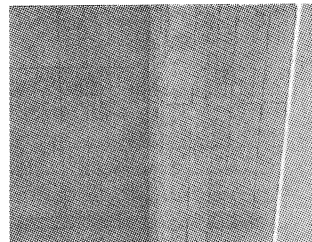
SAMM工法は、平成11年12月から開発をはじめ、平成12年4月に試験施工を始めた。関係各位の創意工夫により、工法の改良・改善を進めながらの試験施工であった。本工法がコンクリート構造物の信頼性を取り戻す一助になることを期待する。なお、日本道路公団では一連の繊維補強コンクリートの試験施工結果を今秋より再評価する予定である。



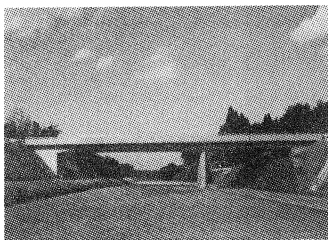
IC 橋におけるシートの敷設



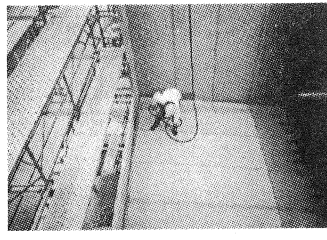
打設直前の張出し床版



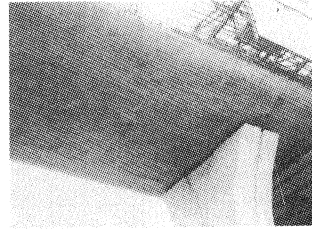
2 種桁橋における仕上がり



跨高速道路橋の完成写真



張出し施工柱頭部の施工状況
写真-5 SAMM 工法の適用事例



移動式支保工施工への適用