

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

短繊維補強コンクリートにより 鉄道橋りょうのひび割れを抑制する

鉄道橋りょうに発生するひび割れを抑制する目的で、直径1mm以下程度、長さ30～50mm程度の繊維をコンクリートに混入する事例が増加しています。ここでは、短繊維がコンクリートのひび割れを抑制する原理、短繊維補強コンクリートの鉄道橋りょうへの適用事例を紹介するとともに、天然素材である玄武岩由来のバサルト繊維を用いた、新しい短繊維補強コンクリートの開発の取り組みについて概説します。



仁平 達也
Tatsuya Nihei
構造物技術研究部
鋼・複合構造研究室
主任研究員
【専門分野】 複合構造、
コンクリート構造



笹田 航平
Kohei Sasada
構造物技術研究部
鋼・複合構造研究室
研究員
【専門分野】 複合構造、
コンクリート構造

はじめに

コンクリートは鉄道橋りょうに用いられる一般的な材料であり、圧縮力に強く引張力に弱い特徴があります。そのため、鉄道橋りょうには、引張力に強い鉄筋や鉄骨などを用いることで、曲げモーメントなどの作用に対して圧縮力をコンクリートが負担し、引張力を鉄筋や鉄骨が負担する、鉄筋コンクリート構造(図1)や鉄骨鉄筋コンクリート構造が採用されています。

引張力を受けるとコンクリートにはひび割れが発生します。ひび割れから塩化物イオンなどが侵入すると、鉄筋や鉄骨が腐食し橋りょうの耐力が低下する可能性があります。また、ひび割れ幅の大きな箇所は、劣化因子が入り

やすくなるだけでなく、外観上も好ましくありません。

そこで、近年では、引張力を負担しひび割れを抑制することを目的に、直径1mm以下程度、30～50mm程度の短い繊維(短繊維)をコンクリートに混入した、短繊維補強コンクリートが用いられることがあります(図2)。これにより、ひび割れの発生を抑える、ひび割れが発生してもその幅が小さくなるなどの効果が期待できます。以下では、短繊維補強コンクリートについて概説するとともに、鉄道橋りょうへの適用事例、および天然素材を用いた新しい短繊維補強コンクリートの開発の取り組みを紹介します。

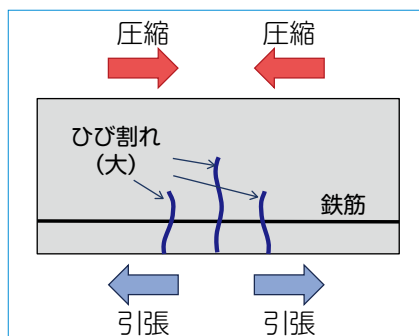


図1 鉄筋コンクリートの原理

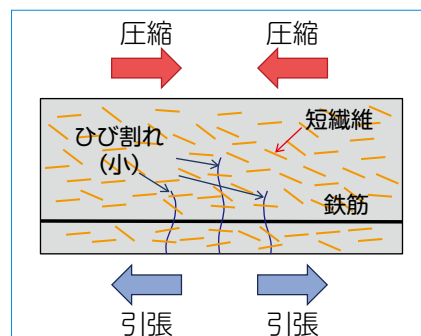


図2 短繊維補強コンクリートのひび割れ抑制の原理



図3 端部が折り曲げられた鋼繊維



図4 エンボス加工されたPP繊維¹⁾



図5 スランプの例

表1 短繊維の概要(数字は一般的な値)

種類	繊維の形状	密度 (g/cm ³)	長さ (mm)	直径 (mm)	混入量 (Vol%)	使用目的 (適用構造物)
鋼繊維	端部折曲げなど	7.8	30~50	0.5~0.9	1.0~1.5	ひび割れ抑制 (橋りょう)
有機繊維 (PP, PVA など)	表面凹凸	0.9~1.3			0.3~0.5	はく落防止 (トンネル)
			6~20	0.3~0.6	0.03~0.05	はく落防止 (橋りょう)

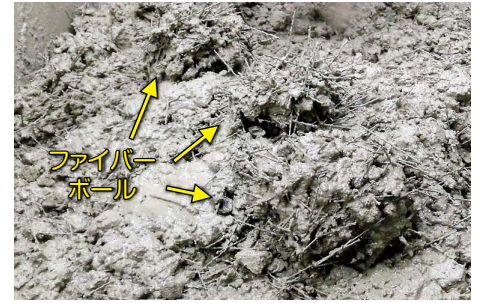


図6 ファイバーボールの例

短繊維補強コンクリートとは

コンクリートに混入する繊維(短繊維)は、使用する目的に応じてその形状が異なりますが、一般的に、長さは10mm~50mm程度、直径は数10 μ m~1mm程度となります。短繊維は主として、鉄を主成分とする鋼繊維(図3)と、服や網などに用いられている、ポリビニルアルコール(PVA)、ポリプロピレン(PP)や、アラミドなどの有機繊維に分類されます(表1)。鋼繊維は、鉄筋と同じ材料であり、コンクリートと比べて重く、硬さの指標であるヤング係数が高く変形しにくい特徴があります。一方、有機繊維はコンクリートと比べて軽く、ヤング係数が低いため変形しやすい特徴があります。

短繊維が主として引張力を負担するのは、コンクリートのひび割れを短繊維がまたぐ(架橋する)ときです。そのため、短繊維とコンクリートの間で力を有効に伝えるために、コンクリートとの一体性を高める必要があります。そこで、鋼繊維は、たとえば、端部を折り曲げる、有機繊維は、製作時の加工の容易さから、繊維の表面に凹凸をつける(エンボス加工)(図4)など、

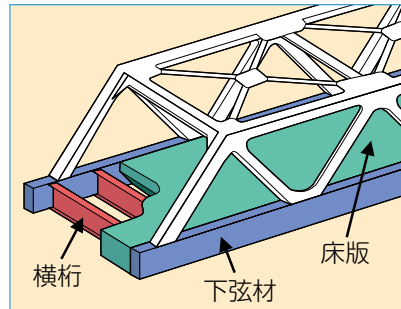


図7 鉄道橋りょうの床版(鉄骨鉄筋コンクリート床版)

製品ごとにさまざまな形状を有しています。また、ひび割れ発生時に架橋する繊維の本数が多いとより多くの引張力を負担することができます。これらのことから繊維の形状、およびコンクリート内の短繊維の量は、短繊維補強コンクリートの性能に大きな影響を及ぼすこととなります。

しかしながら、短繊維補強コンクリートが性能を発揮するためには、適切に施工される必要があります。そのため、ポンプ圧送し構造物に打ち込む際には、ポンプ内で短繊維補強コンクリートが閉塞せず、打ち込み時に短繊維がコンクリート中で分散することが前提となります。そこで、施工する際は、コンクリートの流動性を評価する慣習



図8 合成連続桁の負曲げ区間

的な指標であるスランプ(図5)の適正值(12cm程度以上)を確保し、短繊維同士が絡まって生じるファイバーボール(図6)の発生を避ける必要があります。

短繊維補強コンクリートの適用例

前述したように、短繊維補強コンクリートを構造物に用いる場合、使用する目的に応じて繊維の種類や量が異なります。以下にその適用例を示します。鉄道橋りょうの場合、ひび割れ防止を目的として、床版²⁾(図7)や連続桁の負曲げ区間³⁾(図8)に用いられることがあります。鋼繊維がおもに用いられ、混入量は1.0Vol%(Vol%=全体積に占める短繊維の容積の割合)程度となります。

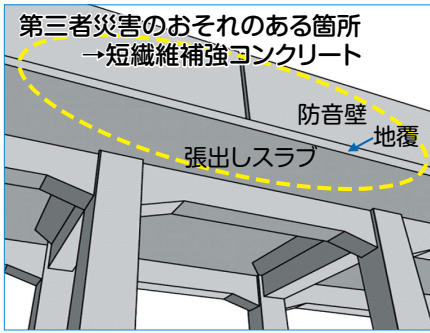


図9 ラーメン高架橋の片持ちスラブと地覆



図12 载荷試験の様子

それ以外にも、落下したコンクリートが通行者や自動車などに当たるなど、第三者災害の恐れがある、ラーメン高架橋の片持ちスラブや地覆など(図9)に用いられることがあります。この場合、鋼材腐食などで浮きが発生したコンクリートが直ちにはく落しないことなどを目的に、混入量0.05Vol%程度の有機繊維がおもに用いられています。これらの短繊維補強コンクリートの圧縮強度は30~50N/mm²程度ですが、圧縮強度が100N/mm²を超えるコンクリートに短繊維を混入した、超高強度繊維補強コンクリートも提案されており、鉄道橋りょうに採用された事例があります。

鉄道構造物以外では、道路橋の車両重量などを負担する床版に、ひび割れ抑制の目的で鋼繊維が用いられることがあります。また、道路トンネルの覆工に、はく落防止の目的で鋼繊維や有機繊維が使用されることがあります。

また、土木構造物以外では、高温時に繊維が溶解してコンクリート中に空隙をつくることを目的に、建築構造物の柱に有機繊維を混入することがあり



図10 鉄道トンネルのバサルト繊維の適用例(プレート)²⁾

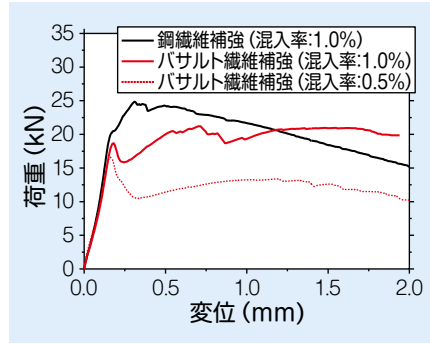


図13 得られる荷重-変位関係の例

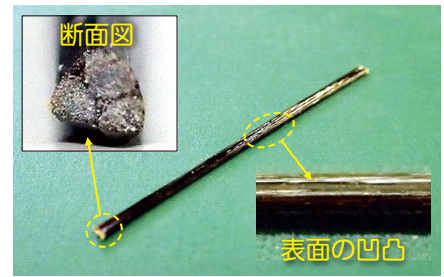


図11 開発したバサルト繊維⁵⁾

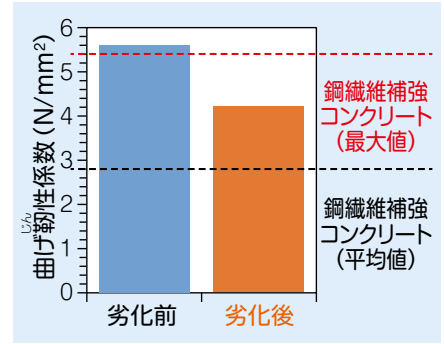


図14 曲げ_引靱性係数

ます。これは、建物の自重を支える高いコンクリート圧縮強度の柱が、火災時に爆発的に破壊することを防止するために用いられています。

以上のように、短繊維補強コンクリートは、鉄道橋りょうに限らず、目的や用途に応じてさまざまな構造物で用いられています。今後も適用例が増加していくことが想定されます。

新しい短繊維補強コンクリート開発の取り組み

鉄道橋りょうのひび割れを抑制する目的で用いられている鋼繊維ですが、さびの発生により美観の低下などを引き起こす可能性があります。これを解決するために、新たに開発している短繊維補強コンクリートについて紹介します。本開発は、戸田建設株式会社と共同で行っています。

着目したのはバサルト繊維です。バサルト(Basalt)は玄武岩を意味し、天然素材の新材料、無機繊維です。この繊維は、耐熱性能に優れ防火服などに用いられるほか、耐磁性能に優れ電磁波を保護する製品などに用いられてい

ます。鉄道構造物においては、プレート状に加工し、トンネル覆工の補強材として採用された事例⁴⁾(図10)があります。

バサルト繊維の原糸は、玄武岩を高温で溶解し、直径10μm程度です。これについて、コンクリートとの一体性を高め、短繊維補強コンクリートとして力学的な性能が向上することを目的に、試行錯誤的な検討を重ねました。その結果、開発した繊維を、長さ40mm、ひび割れ抑制で実績のある鋼繊維と同等程度の、直径0.9mm程度の形状としました。また、コンクリートとの一体性を高める観点から、有機繊維と同様に、表面に凹凸をもたせるために、原糸を束ねた3本をねじりつつ、製作することとしました(図11)。

開発したバサルト短繊維(開発品)は原料が玄武岩であり、コンクリート中の骨材とヤング係数、伸び率、および密度が同程度となり、そのため、バサルト短繊維補強コンクリートは、線状の石が混入されたコンクリートをイメージすることができます。線状の石は折れやすいため、繊維を束ねる接着

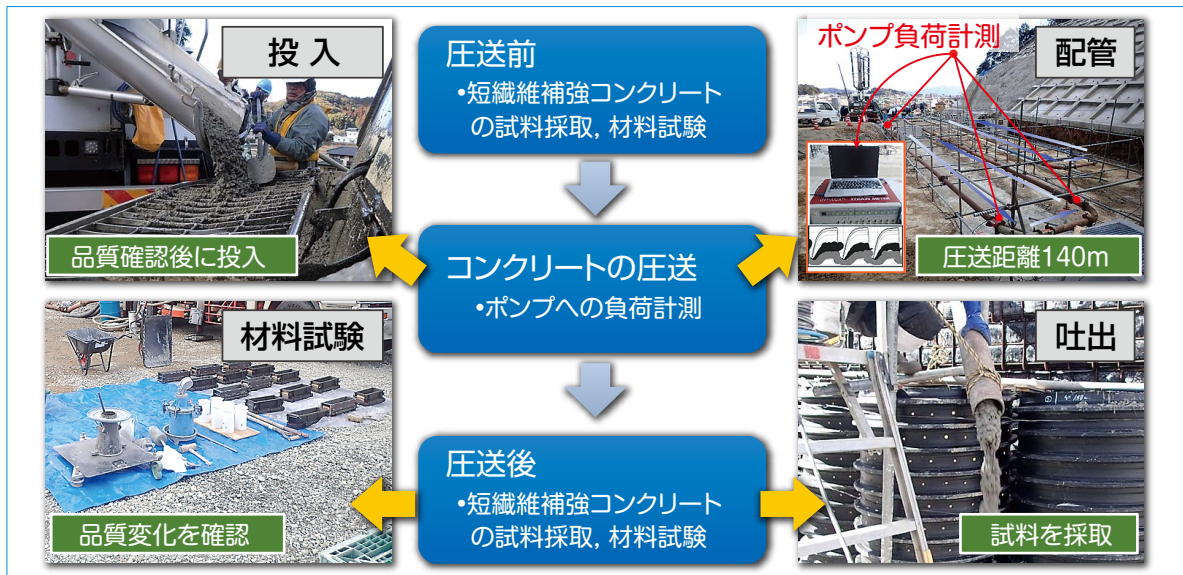


図15 ポンプ圧送試験の状況

材の効果もあるコーティング材により、これを補強し、折れにくくしました。

これに加えて、バサルト繊維の原糸はアルカリ環境下において溶解する可能性があるため、バサルト短繊維がコンクリート中に混入する場合には、高い耐アルカリ性を有する必要があります。そこで、開発品のコーティング材は、耐アルカリ性に優れたエポキシ樹脂を用いることとしました。

短繊維補強コンクリートがひび割れを抑制する効果は、載荷試験(図12)の変位2mmまでの荷重-変位関係(図13)で囲まれる面積から得られる、曲げ靱性係数という指標で評価することができます。この値が高いほど、ひび割れ抑制効果が高い短繊維補強コンクリートとなります。開発品の短繊維補強コンクリートについて、鉄道橋りょうにおいて実績のある短繊維補強コンクリートの配合(水セメント比50%, 繊維混入量1.0Vol%)で検討した結果、市販の鋼繊維を混入した鋼繊維補強コンクリートの最大値程度の性質を有することを確認しています。

しかしながら、実鉄道橋で用いることを想定すると、供用期間中の性能の変化を踏まえた評価が必要であると考えます。そこで、高温・高アルカリ環

境下での短繊維の促進劣化試験を実施し、供用期間中の開発品の短繊維補強コンクリートの性能を推定しました。その結果、開発品が供用期間中にコンクリート内にあっても、アルカリによる劣化の影響は小さく、曲げ靱性係数は、市販の鋼繊維補強コンクリートの平均値程度である⁵⁾(図14)ことを確認しました。

また、実際の施工を想定して、開発品の短繊維補強コンクリートのポンプ圧送試験(図15)や実構造物の配筋を想定した打ち込み試験を行いました。その結果、ポンプの閉塞がないこと、圧送前後でスランプ値の変化が小さいこと、ファイバーボールの発生がないこと、およびバイブレーターによる締め固めを行っても繊維の分散性に問題がないことなどを確認し、施工上問題ないことがわかりました。

おわりに

鉄道橋りょうのひび割れの抑制を目的とした短繊維補強コンクリートの概説、およびバサルト短繊維補強コンクリートの開発の取り組みなどについて紹介しました。

コンクリート構造物は、作用や環境など、供用期間中にさまざまな影響を

受けています。そのため、時間軸の影響を踏まえた性能評価手法が近年提案されつつあります。短繊維補強コンクリートも同様であり、供用中の繊維の劣化などを踏まえて性能を評価することが重要であると考えています。今後も、これを念頭に置きながら、短繊維補強コンクリートの普及のために、さらなる検討を進めていきます。[RRR]

文献

- 1) 田中徹, 高木努: ポリプロピレン短繊維の表面加工に関する基礎実験, 土木学会第62回年次学術講演会, 5-208, 2007
- 2) 矢島秀治, 市川篤司, 村田清満, 北園茂喜: SRC床版床組構造の鋼鉄道下路トラス橋への適用に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.731, 1-63, pp.283-298, 2003
- 3) 保坂鐵丈, 山田高裕, 中野幹一郎: 鋼繊維軽量コンクリートを用いた連続合成鉄道橋 阿佐線・物部川橋りょう, コンクリート工学, Vol.38, No.6, pp.24-30, 2000
- 4) 田中徹, 岡野法之, 小島芳之: バサルト繊維補強プレート帯板接着工法の開発と現場適用, 土木学会第67回年次学術講演会, VI-333, 2012
- 5) 笹田航平, 仁平達也, 田中徹, 井戸康浩: 耐アルカリ性に優れた短繊維補強コンクリート用バサルト繊維の開発, 第24回鉄道技術・政策連合シンポジウム, S2-3-6, 2017