

短繊維補強コンクリートの直結系軌道への適用

軌道技術研究部 軌道・路盤研究室
副主任研究員 高橋 貴蔵

1. はじめに

軌道の保守作業の低減を目的として、道床にバラストを用いない直結軌道の適用が増加している。例えば、都市部の高架化事業では一般に図1に示すような弾性まくらぎ直結軌道等が用いられている。これら直結軌道のコンクリート道床には鉄筋コンクリートが用いられるが、配筋作業に多くの労力と時間を必要とし、また塩害や中性化によって鉄筋が腐食しないようにする配慮が不可欠である。しかしながら、直結軌道のコンクリート道床は高架橋等に施工されることが多いため、列車荷重によって生じる引張応力は一般のコンクリート構造物に比べて小さく、コンクリートの補強として鉄筋を用いない構造を適用することも可能と考えられる。

近年、コンクリート構造物の分野では、コンクリートのはく落防止や鉄筋コンクリートの性能を増加させる目的で、短繊維補強コンクリートが使用される機会が増加している。短繊維補強コンクリートとは、図2のようにひび割れ間で短繊維が力を伝達する架橋効果によってひび割れ発生後においても曲げ耐力やせん断耐力を維持することが可能な材料である。前記したように、直結軌道のコンクリート道床に作用する引張応力は小さいため、鉄筋による補強を行わなくとも短繊維補強コンクリートのみでコンクリート道床を設計することが可能と考えられる。

以上を踏まえ、直結軌道のコンクリート道床に短繊維補強コンクリートを適用するための検討として、材料試験、コンクリート道床の部材試験を行った結果について報告する。

2. 短繊維補強コンクリートの特性

2.1 短繊維 (PVA) の概要

本報告で用いた短繊維は図3に示すポリビニルア

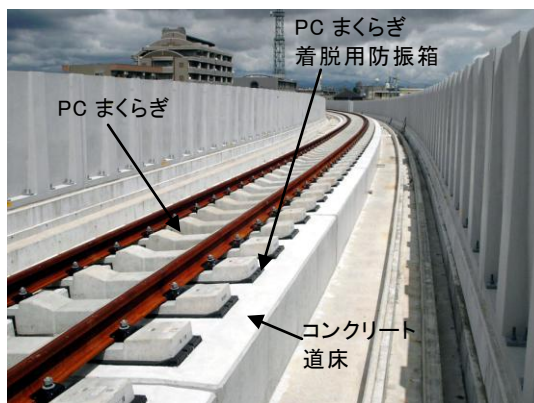


図1 弾性まくらぎ直結軌道

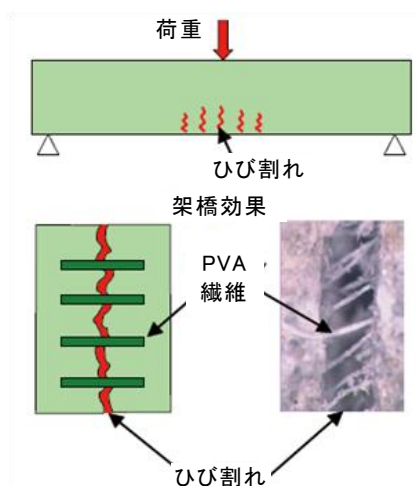


図2 短繊維による架橋効果の概念図



図3 PVA 繊維の外観

ルコール（以下、PVAと略す）繊維である。PVA繊維は親水性に優れているためにコンクリートとの付着が良く、非導電性であることから、軌道回路周辺の軌道部材に用いるのに適した材料といえる。

2. 2 短繊維補強コンクリートの強度特性

短繊維補強コンクリートの強度特性を検討するため、圧縮試験、直接引張試験、曲げ試験および曲げ疲労試験を行った。ここでは曲げ試験および曲げ疲労試験について報告する。これらの試験は、100×100×400mmの寸法の供試体を、図4に示すようにスパンを300mmとする3等分点荷重で行った。短繊維の混入率は曲げ試験において体積比で0～3.0%、曲げ疲労試験においては体積比で2.0%とした。

図5に曲げ荷重と中央変位の関係を示す。基本的に、短繊維混入率の増加に伴いひび割れ発生以降において高い荷重を保持し、曲げ靱性が向上することがわかった。

図6に繰返し荷重と曲げ疲労寿命の関係を示す。図6には直接引張試験によって測定した引張軟化曲線（引張応力と開口幅の関係）を用いて算出した曲げ疲労寿命の計算値も併せて示してある。試験結果より、短繊維補強コンクリートの曲げ疲労寿命は繰返し荷重の低下と共に指数的に増大する傾向にあることがわかった。また、疲労寿命の計算値は試験結果を精度よく表わすことができることがわかった。

3. コンクリート道床への適用

3. 1 試験概要

直結軌道のコンクリート道床に対する短繊維補強コンクリートの適用の検討は、図7に示すように箱抜き部に対する横圧の静的荷重試験と繰返し荷重試験によって行った。今回対象としたまくらぎ直結軌道は、鉄筋コンクリート構造として設計されたD型弾性まくらぎ直結軌道である。PVA繊維を体積比で2.0%混入した短繊維補強コンクリートで供試体を2体作成し、図8に示すように、コンクリート道床の部分供試体を垂直に立てて荷重を行った。

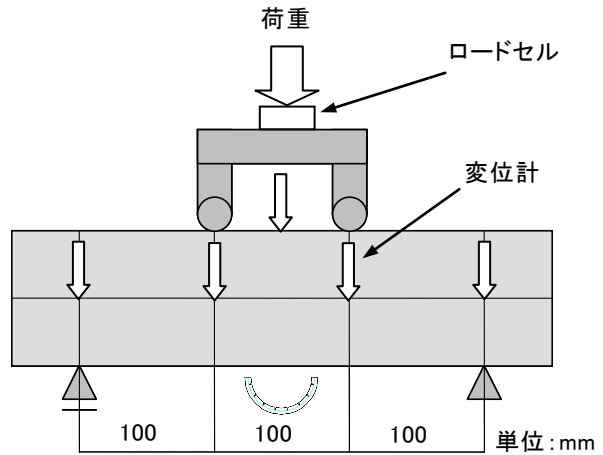


図4 曲げ試験概略図

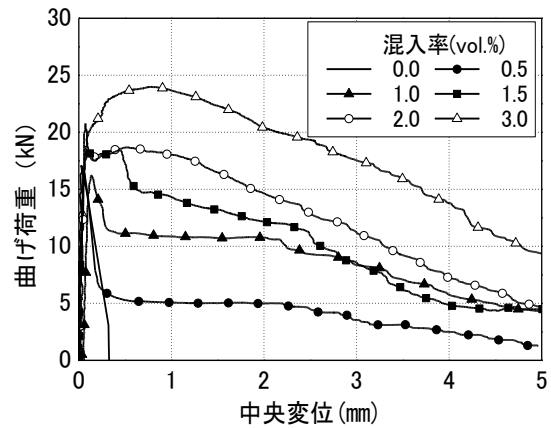


図5 曲げ荷重－中央変位

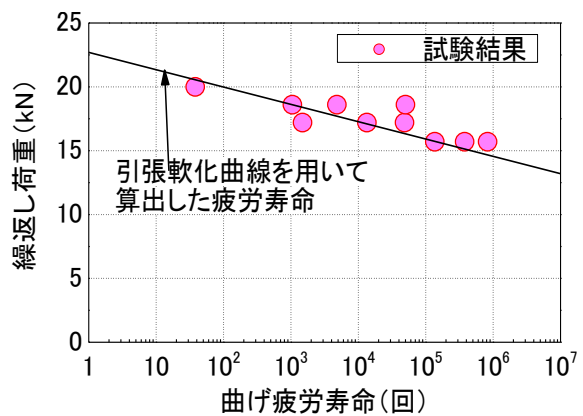


図6 繰返し荷重－曲げ疲労寿命

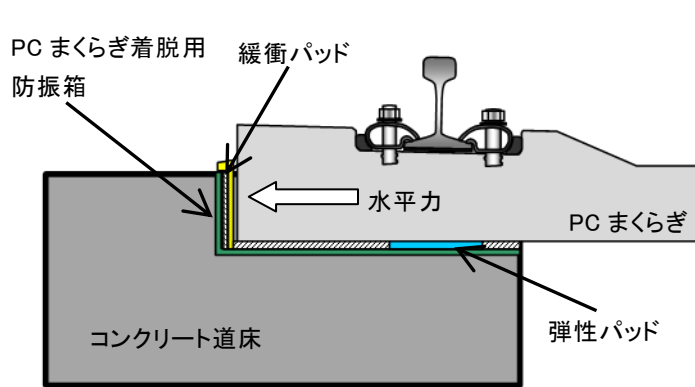


図7 コンクリート道床の断面図

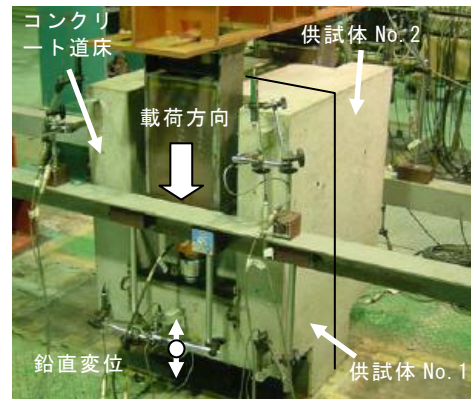


図8 試験状況

3. 2 静的载荷試験結果

荷重と载荷軸上のコンクリート道床変位の関係を図9に示す。また、コンクリート道床の破壊状況を図10に示す。コンクリート道床には、荷重110kNで载荷点直下に曲げひび割れが生じ、荷重200kNで隅角部にせん断ひび割れが生じた。最終的には図10に示すようにせん断ひび割れが進展し、供試体No.1は275kN、No.2は306kNで終局に至った。

D型弾性まくらぎ直結軌道用コンクリート道床箱抜き部1箇所に作用するせん断力は、破壊の照査で31.3kN、疲労破壊の照査で11.1kNとなる。したがって、破壊照査時のせん断力31.3kNは、破壊面が形成されるせん断ひび割れの発生荷重の15%、最大荷重の11%程度であり、十分な耐力を有していることがわかった。

3. 3 繰返し载荷試験結果

短繊維補強コンクリートをコンクリート道床に用いる場合は、繰返し作用する列車荷重によってひび割れが発生しないように設計する必要がある。ただし、今回実施した繰返し载荷試験では、短繊維補強コンクリートを用いたコンクリート道床の疲労特性を確認するために、繰返し载荷荷重の上限値を静的载荷試験における最大荷重の約半分である145kNとした。この荷重は、静的载荷試験における曲げひび割れ荷重の約1.3倍で、疲労破壊の照査に用いるせん断力11.1kNの約13倍に相当する。

繰返し载荷試験による载荷軸上のコンクリート道床変位と繰返し回数との関係を図11に示す。繰返し回数10万回で供試体No.1側のせん断ひび割れの開口幅が拡大して载荷荷重が不均等になり、最終的に破壊した回数は208万回であった。本試験の結果より、設計荷重の約13倍の荷重を10万回以上繰返し载荷してもひび割れが急激に進展しないことがわかった。なお、仮に設計荷重で

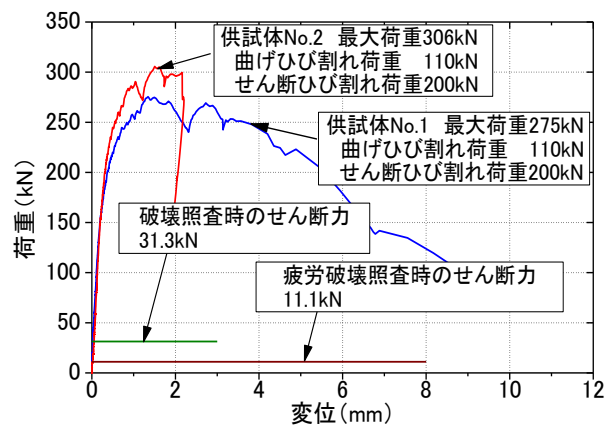


図9 荷重—鉛直変位



図10 破壊状況

ある 11.1kN で繰返し載荷試験を行った場合、曲げひび割れやせん断ひび割れがコンクリート道床に生じないことから、疲労破壊は発生しないと考えられる。

以上の静的および繰返し載荷試験の結果から、短繊維補強コンクリートを用いることでD型弾性まくらぎ直結軌道のコンクリート道床をよりスリム化できる可能性があると考えられる。

4. 新型式軌道への適用

直結軌道のコンクリート道床に対する検討結果を踏まえ、鉄道総研で開発を行った図12に示す新型式軌道¹⁾に短繊維補強コンクリートを適用することとした。図13に日野土木実験所に施工した試験軌道を示す。施工では短繊維補強コンクリートの流動性をスランプフロー（スランプ試験によるコンクリートの広がり直径）で50cm以上に管理することで、厚さ100mmの狭隘箇所に対して問題なく打設できることを確認した。また、完成した試験軌道に対して250kNの軸重を載荷した結果、上部路盤に生じる引張ひずみの最大値は 6×10^{-6} 程度と非常に小さな値であり、常時の列車荷重ではひび割れが発生しないことを確認した。

5. まとめ

短繊維補強コンクリートを直結軌道に適用するため、短繊維補強コンクリートの強度特性を検討した結果、コンクリートに混入する短繊維を増加することで曲げ靱性が増加すること、繰返し荷重の低下に対して曲げ疲労寿命が指数的に増大し、引張軟化曲線を用いて曲げ疲労寿命を推定できることを確認した。また、短繊維補強コンクリート製のコンクリート道床を模擬した供試体に対する試験により、設計上必要とされる耐力を有していることを確認し、よりスリム化できる可能性があることがわかった。さらに、上部路盤に短繊維補強コンクリートを用いる新型式軌道の試験施工を行い、短繊維補強コンクリートに対する施工性と軌道構造としての性能を確認した。

今後は、現地施工を対象とするコンクリート道床のみならず、軌道スラブ等のプレキャスト部材への適用拡大を進めていきたい。

参考文献

- 1)吉田眞，石田誠：省保守と低騒音に対応した新型式軌道構造，JREA，Vol.5，No.1，2011

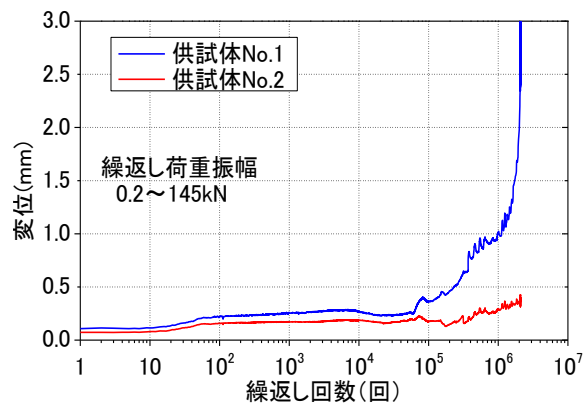


図 11 変位-繰返し回数

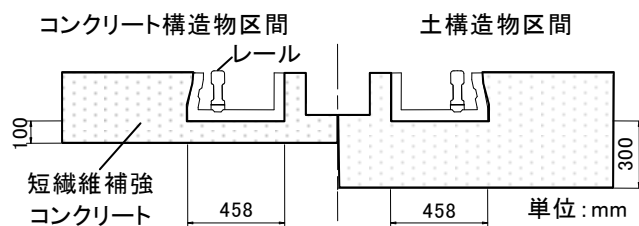


図 12 新型式軌道の断面

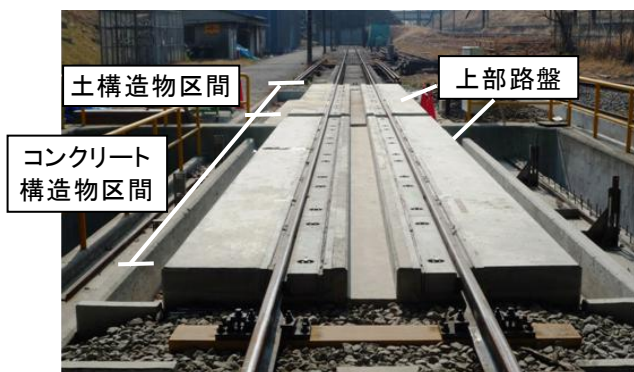


図 13 新型式軌道の試験施工状況