# 鋼床版における温水循環式融雪システムの適用

日本道路公団　渡辺陽太　田中真一郎
日本橋梁(株)　正会員　○原田康弘　正会員　川岡靖司
(株)コミヤマ工業　正会員　樋川泰久

## 1．概要

北陸自動車道月浦 IC・C ランプ橋および D ランプ橋（仮称）は，連続鋼床版箱桁橋(3 室箱断面)で，冬季の除雪作業軽減を目的として，鋼床版上に温水循環式融雪装置を設置することとなった(図 1 参照)．通常，鋼床版にはアスファルト舗装が施されているが，本橋の場合，融雪装置の放熱管(22φ)を保護するため，鋼繊維補強コンクリート(以下 SFRC と略す)舗装を採用している．本融雪装置は，土工部やコンクリート橋での適用実績があるものの，たわみ性の比較的大きな鋼床版での使用実績がないうえに，SFRC が損傷して融雪装置に悪影響を与えることが懸念されるため，SFRC に生じる引張応力度に着目して検討を行った．また，FEM 解析により得られた引張応力度より SFRC の設計基準曲げ強度を規定した．なお，鋼床版上に施工する SFRC の挙動や性状については寺田[1)]による研究結果を参考とした．

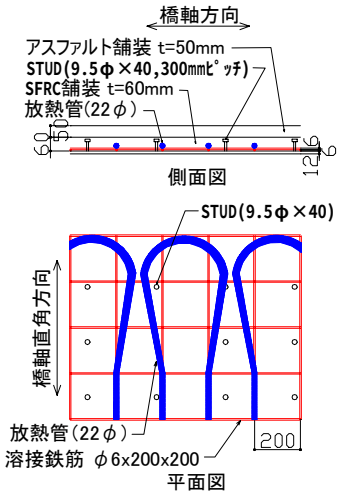


**図 1 融雪装置**

## 2．全体系 FEM 解析

SFRC に発生する引張応力度を把握する目的で，全体系のモデルを作成して FEM 解析を行った．

解析モデルを図 2 に示す．解析モデルは主桁の対称性を利用して CL から GR 側半分のみをモデル化した．鋼床版と SFRC は剛結の条件とし，放熱管による断面欠損は考慮していない．

荷重は，車両の実走行状態を考慮した上で，①主桁腹板直上・②主桁腹板とダイヤフラムの交差部・③ダイヤフラム直上の 3 点に着目して載荷した．荷重強度は，道路橋示方書(平成 8 年 12 月)の T 荷重と，同(昭和 55 年 2 月)の TT-43 荷重を用いた．

FEM 解析の結果，SFRC 表面に発生する引張応力度は最大で 2.97 N/mm$^2$(GR 直上)であることがわかった．

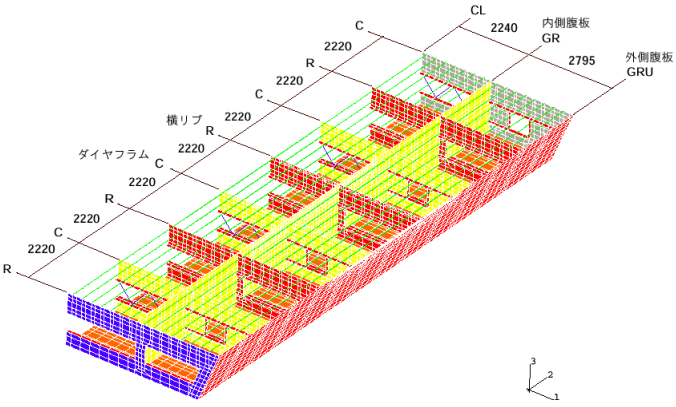


**図 2　全体系 FEM 解析モデル図**

## 3．放熱管周辺の部分 FEM 解析

全体系モデル(床組系に着目)による FEM 解析では，SFRC 全厚を有効とした発生応力を算出したが，厚さ 60mm の SFRC の中には 22φの放熱管が橋軸直角方向に 200mm 間隔で配管されるため，放熱管の断面欠損による影響について図 3 に示す部分モデルを用いて FEM 解析を行った．

解析の結果，放熱管周辺部に発生する引張応力度は，図 4 に示すように最大で 2.42 N/mm$^2$であり，放熱管周辺部に応力集中が発生するものの，応力値は，全体系 FEM で得られた引張応力度(GR 直上 SFRC 表面での最大値 2.97 N/mm$^2$)を超えることはなかった．

キーワード　融雪装置，鋼繊維補強コンクリート，SFRC，FEM 解析，鋼床版
連絡先　〒675-0164　兵庫県加古郡播磨町東新島 3 番地　日本橋梁(株)　TEL 078-941-4042　FAX 078-949-2119

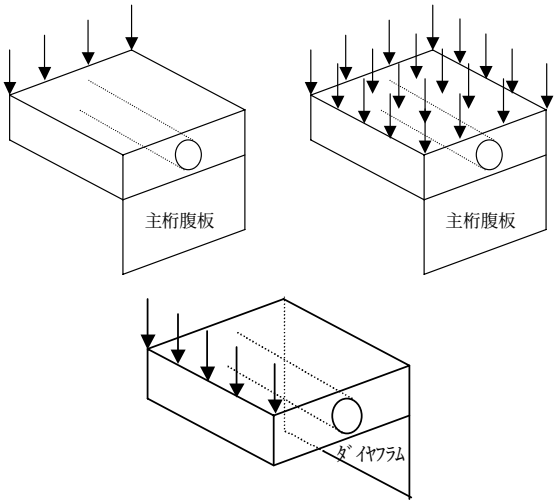


**図 3 部分 FEM 解析モデル図**

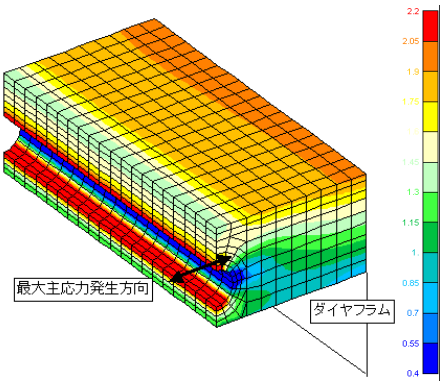


**図 4　部分 FEM 解析結果**

## 4．SFRC の設計基準強度の規定

鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)(昭和 58 年 3 月 土木学会)により，許容曲げ引張応力度($\sigma_{ba}$)は以下のように定式化されている．

$\sigma_{ba} \leqq \sigma_{bk}/4$($\sigma_{bk}$：コンクリートの設計基準曲げ強度)

$\leqq \sigma_b/2$($\sigma_b$：コンクリートの曲げ靱性係数)

一方，上信越自動車道日暮山トンネル工事[2)]においては，曲げ試験における設計荷重に対するひび割れ発生荷重比を調査したところ，安全率は 1.54～1.03 程度となっているため，安全率を 2 として設計が行われている．この安全率の考え方の背景として，上記指針(案)が制定されてから約 10 年が経過しており，鋼繊維の品質，ミキサーの性能等の面で長足の進歩があり，この材料の特長を充分有効に活用することが可能となったことがあげられている．

FEM 解析により SFRC の最大引張応力度は 2.97N/mm$^2$ であることから，上信越自動車道日暮山トンネル工事と同様に安全率を 2 として，鋼繊維補強コンクリートの設計基準曲げ強度を以下のように規定した．

$\sigma_{bk} \geqq 2.97 \times 2 = 5.94$ N/mm$^2$

(曲げ強度，曲げタフネスの両方を満足すること)

## 5．SFRC の配合設計と現場施工試験

上述の設計基準曲げ強度を満足する SFRC の配合設計について試験練りおよび施工試験を行った．なお，鋼床版桁の架設後，降雪までに SFRC の施工を行う必要があったため，早強コンクリートを使用している．

試験練りでは，鋼繊維の混入率を 1.0，1.5%の 2 通り，W/C 比を 40，45，50%の 3 通りでそれぞれスランプ，曲げ強度を測定した．結果を表 1 に示す．表より鋼繊維の混入率が多いほど，また W/C 比が小さいほど曲げ強度は増加する傾向にあった．

試験練りでは，いずれのケースにおいても設計基準曲げ強度を満足しているため，現場での施工性を考慮して鋼繊維の混入率 1.0%，W/C 比 40%，スランプ 21cm（鋼繊維混入後）を採用した(表 2)．

上記の配合により SFRC を作成し，施工試験を行った．結果として路面の横断勾配 6%での施工性が確保できること，放熱管廻りに SFRC が十分廻っていること，洗い分析試験で鋼繊維混入率が所定の値以上であることを確認した．

**表 1 SFRC 試験練り結果**

| 鋼繊維混入率(%) | W/C (%) | スランプ(cm) 混入前 | スランプ(cm) 混入後 | 曲げ強度$\sigma_7$ (N/mm$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 1.0 | 50 | 23.0 | 14.5 | 6.29 |
| | 45 | 23.5 | 16.0 | 7.29 |
| | 40 | 24.5 | 19.5 | 7.62 |
| 1.5 | 50 | 23.0 | 9.0 | 6.79 |
| | 45 | 23.5 | 10.5 | 7.35 |
| | 40 | 24.5 | 13.5 | 9.32 |

※早強コンクリート使用のため 7 日強度を測定した

**表 2 SFRC 現場施工試験**

| スランプ(cm) 混入前 | スランプ(cm) 混入後 | σ | 圧縮強度 (N/mm$^2$) | 曲げ強度 (N/mm$^2$) | 曲げﾀﾌﾈｽ (N/mm$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 26.0 | 21.0 | $\sigma_7$ | 48.4 | 9.15 | 6.95 |
| | | $\sigma_{28}$ | 51.8 | 10.80 | 8.95 |

### 参考文献

1)寺田博昌：鋼繊維補強コンクリートを用いた合成鋼床版の開発研究，博士学位論文，昭和 61 年 10 月

2)SFRC 構造設計施工研究会：鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル(トンネル編)，鋼材倶楽部，pp168-172，1995.7