

[84] SFRC合成鋼床版の研究

正会員 ○寺田 博 昌 (㈱横河橋梁製作所 研究所)
 正会員 小山 清 一 (住友金属工業㈱ 中 研)
 松本 好 生 (㈱横河橋梁製作所 研究所)
 有原 隆 雄 (㈱横河橋梁製作所 研究所)

1. まえがき

通常、鋼床版上面には、アスファルト系の舗装が施工される。アスファルトは舗装材として、比較的廉価であり、施工性にもすぐれていて、一般道路におけるように、均一な路盤・路床上に施工される場合は問題はない。しかし、鋼床版の場合、その各部位により面外剛性が異なるし、撓み易いこと、鋼板とアスファルトの附着性が良いとは言えないこと、などの理由により、ひび割れ・縦流れ・わだち掘れ・剝離といった問題が生じやすい。また、寒冷地においては、冬期にスパイクタイヤやタイヤチェーンによるアスファルトの摩耗も大きな問題である。こういった問題のあるアスファルトの代わりに、SFRCを鋼床版の舗装に適用することを考えた。この構造とすることにより、以下のような利点を挙げるができる。

- ① 舗装材としてSFRCは、すぐれた特性を有しており、舗装の耐久性向上が期待できる。
- ② ずれ止めを介してSFRCと鋼床版を一体とすれば、合成構造となり、鋼床版断面の減少も可能となる。
- ③ 合成作用により、鋼床版の面外剛性が向上し、車両走行性の改善が計られる。

その反面、実構造への適用に際しては、経済性の面から、極力SFRCが薄いこと、輪荷重直接載荷により作用する引張応力に鋼床版の一部として耐えられること、実施工時にポンプ圧送ができるワーカビリティを有するSFRCであることが条件となる。本報告では、これらの条件を考慮の上、実橋に適用すべく行なつてきている一連の実験のうち、合成挙動についての実験の一部と、乾燥収縮の検討について述べる。

2. 実験概要

2-1 合成挙動確認試験

(1) 静的試験

鋼床版とSFRCの合成挙動を確認するため、縦横リブ付きの供試体を用い、静的載荷試験を行なつた。供試体の一般図を図-1に示す。構造は、各横リブ位置を支点とした2径間連続桁で、荷重は、各径間の中央部にそれぞれ、設計輪帯幅200×500の分布荷重である。SFRCの厚さは5mmで、鋼繊維は1.5%デツキプレート上には8φ×40のスタッドジベルを溶植した。

供試体2体のうち1体は、デツキプレート厚12mm、縦リブ断面150×14であり、他の1体はそれぞれ10mm、140×12である。表-1にSFRCの配合例を示す。供試体は、SFRC打設後1日気中、2週水中養生し、実験に供した。

(2) 動的試験

合成されたSFRCの曲げ引張によるひびわれ挙動と、ひびわれ発生後の繰返し荷重による開口進展性状を知るため、モデル化した合成梁で疲労試験を行なつた。試験方法としては、供試体に一点集中荷重を静的載荷し、SFRCに表面ひびわれを発生させ

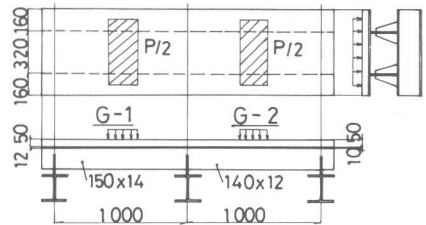


図-1 鋼床版供試体

表-1 コンクリートの配合

Air (%)	S/A (%)	W/C (%)	St. (cm)	単位量 (kg/m ³)					
				W	C	S	G	AE	CSA
4.8	70	60	9.0	216	330	110	473	0.9	30

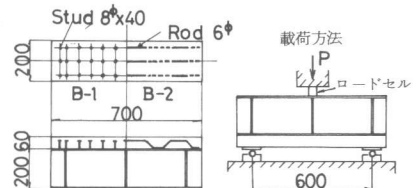


図-2 疲労試験供試体

その状態より、繰返し荷重を与え、ひびわれ幅の進展状況を確認した。この試験では、ずれ止めとして、スタッド(8φ×40)と折曲げ鉄筋(6φ)の2種類を用いている。折曲げ鉄筋は、ずれ止めとしての機能と引張鉄筋としての機能を期待したものである。SFRRCの配合は、 $W/C = 50\%$ 、 $S/A = 70\%$ 、膨張材量を 40 kg/m^3 混入している。また、SFRRC厚は、60mmである。図-2に供試体の一般図と載荷方法を示す。

2-2 乾燥収縮に対する検討

合成挙動確認供試体(図-1)とほぼ類似の供試体に、膨張材を混入しないSFRRCを打設し、所定養生後、室内放置したところ、材令80日段階で、図-3に示すようなひびわれが発見された。このひびわれの原因として、SFRRC打設直後の沈降により、ずれ止め直上のSFRRC表面に局部的な沈下ひびわれが生じ、このひびわれが、乾燥収縮ひずみにより拡大したと考えられた。沈下ひびわれについては、ずれ止め形状の改善および打設後の沈降がある程度進行した時点で表面を再仕上げすることにより、防止できることが確認されたが、乾燥収縮ひびわれについては、膨張材を混入することにより防止することを考え、膨張材量と乾燥収縮ひずみの関係を種々のモデルで検討した。

3. 実験結果と考察

3-1 合成挙動

図-4に負の曲げモーメントが作用する中間支点断面についてSFRRC表面と縦リブ下端のひずみ線図を示す。また、断面のひずみの分布形状を中間支点と支間中央について示したのが図-5である。測定には、 $G.L = 30 \text{ mm}$ のひずみゲージを用いている。

これらの図より、SFRRCは、荷重12ton程度までは、ほぼ弾性挙動を示すが、荷重の増大とともに、急激にひずみが増大する。SFRRCのひずみの変化により、鋼床版縦リブのひずみも影響を受け、それまでの直線勾配より、きつい勾配に変化している。

これは、SFRRCの表面に微細なクラックが発生して抵抗断面が減少し、全断面の中立軸がリブ側へ移行したためと考えられる。

ただし、この荷重段階($P = 12 \text{ ton}$)では、可視クラックは見られていない。ひずみゲージと別に、 $G.L = 100 \text{ mm}$ のコンタクトゲージで、残留クラックの測定を行なったが、残留クラック幅が 0.01 mm になった荷重段階はG-1供試体で $P = 20 \text{ ton}$ 、G-2供試体で $P = 16 \text{ ton}$ であった。

断面のひずみ分布は、 $P = 12 \text{ ton}$ までは、中間支点、支間中央とも、ほぼ三角形分布をしており、十分な合成作用が得られていると言える。

次に、荷重直下の縦リブ間たわみについて述べる。表-2は、荷重段階10ton(各支間に5ton)でのリブ間たわみと、計算値を示している。なお、供試体G-0は、合成鋼床版と比較するために行なった、鋼断面のみからなる供試体である。また、SFRRCを鋼に換算するに当たっては、ヤング係数比を $n = 7$ としている。

デッキプレートは、5cmのSFRRCと一体となることにより、板厚が約3.4倍となり、面外剛性は約30倍になる。デッキプレート厚の違い($G-1 = 12 \text{ mm}$ 、 $G-2 = 10 \text{ mm}$)は、合成作用が得られれば、板剛性には、ほとんど影響せず、10mmで十分あると言える。

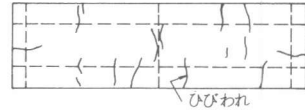


図-3 鋼床版供試体のひびわれ

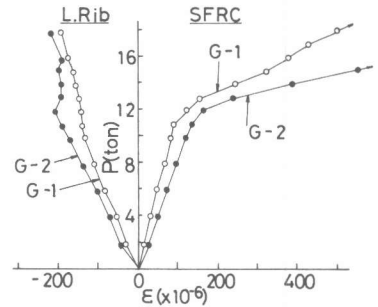


図-4 中間支点上のひずみ

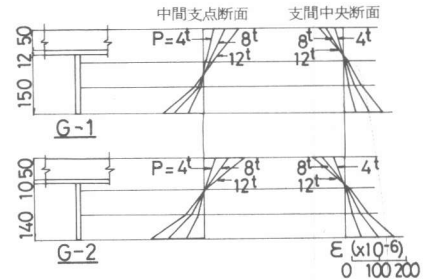
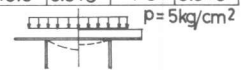


図-5 中間・支間断面のひずみ分布

表-2 リブ間板のたわみ

供試体	換算厚	実測値	比率	計算値
G-0	12mm	0.55mm	1	0.58mm
G-1	41.4	0.017	1/32	0.014
G-2	40.6	0.018	1/31	0.016



3-2 SFRCのひびわれ挙動(動的試験)

動的載荷には、ローゼンハウゼン型疲労試験機(動的最大荷重40 ton)を、クラック幅の測定には、G.L=100 mmのコンタクトゲージを用いた。動的試験結果の一部を図-6, 7に示す。

図-6は、静的載荷により供試体中央断面のSFRCに約0.014 mmのクラック(静的最大荷重3.7 ton)を生じさせた供試体の疲労試験結果で、第一段階として3.7 ton~1.7 tonの荷重振幅で一定回数繰返し載荷し、その後、上限荷重を4.2 ton, 4.7 tonと増加させたものである。また、図-7は、約200万回の繰返し載荷後、静的に20 tonまでサイクリックに載荷し、載荷時のクラック幅と、除荷時の残留クラック幅をプロットしたものである。

これらの図より、ずれ止めとしてスタッドを用いた場合も、折曲げ筋を用いた場合も、クラック幅の拡大は僅かであり、200万回の繰返し載荷後のクラック幅は、初期値0.014 mmの約3倍の0.04 mm程度であることが分かる。

これは、十分にずれ止めが配置された合成構造であるため、クラック発生後も、荷重は鋼断面で受け持たれることと、SFRCはスタッドあるいは折曲げ筋により、ずれ変形が拘束されるので、梁フランジとしての曲げ曲率分のみのクラック開口で収まるためと考えられる。

図-7の試験は、折曲げ筋の効果を知らずに行なつたものであるが、載荷時のクラック幅、除荷時の残留クラック幅とも、スタッドと折曲げ筋の有意差は見られず、折曲げ筋の引張鉄筋としての作用は、あまり期待できないと言えよう。

なお、折曲げ筋については、合成断面に正の曲げモーメントが作用するとき、浮き上がり止めを防止する機能を有さないことが別の実験シリーズの結果より、明らかになつた。図-8に、疲労試験供試体とほぼ同一断面の合成梁に、一点集中荷重を作用させ、支間中央部の鋼断面上フランジとSFRCの浮き上がり状況を調べた結果を示す。この図から明らかなように、折曲げ筋を用いた場合、低荷重段階からSFRCと鋼上フランジとは剝離し、十分な合成効果が得られないことが分かる。

3-3 乾燥収縮ひびわれ防止の検討

乾燥収縮ひびわれ防止のために、膨張材を混入することを考えたが、乾燥収縮に及ぼす膨張材量の影響を調べるため、前出の表-1の配合を基準に、膨張材混入量を、0, 30, 40, 50 kg/m³の4段階、および、比較のためSF=0, 膨張材量40 kg/m³とした配合により、乾燥収縮ひずみの測定と、強度試験を行なつた。

強度試験は、圧縮(100φ×200)と曲げ(100×100×400)とし、同一配合の供試体をそれぞれ3体作製し、試験に供した。養生は、打設後24時間で脱型し、20±2℃の水中養生とした。試験材令は、いずれも28日である。

乾燥収縮測定用供試体は、曲げ供試体と同一寸法で、各配合につき3体作製し、JIS A 1125に準じて試

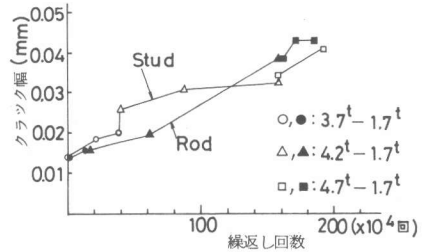


図-6 繰返し回数とクラック幅

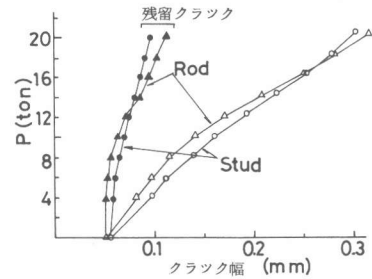


図-7 クラック幅と残留クラック

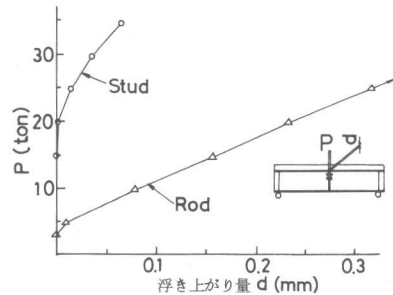


図-8 ずれ止め形状と浮き上がり量

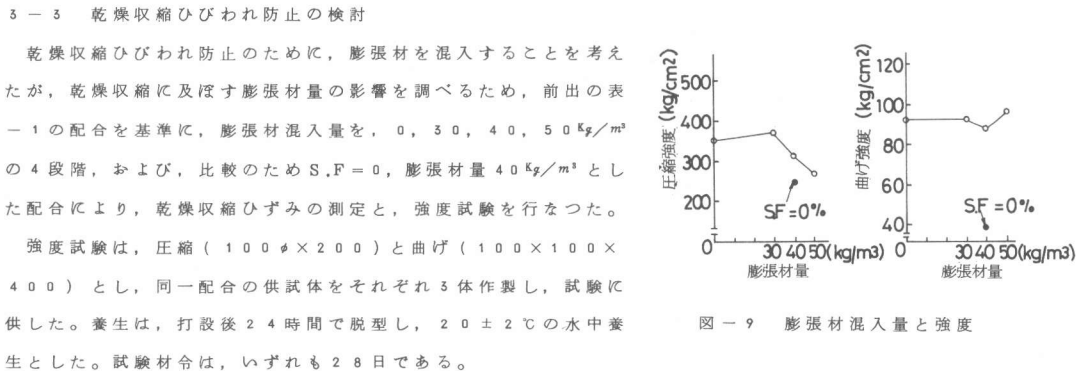


図-9 膨張材混入量と強度

験を行なった。膨張材混入量とSFRCの強度の関係を図-9に各配合SFRCの膨張および乾燥収縮ひずみの経時変化の状況を図-10に示す。

図-9より明らかなように、膨張材混入量が 30 kg/m^3 以上となると、SFRCの圧縮強度は、徐々に低下する。ただし、曲げ強度は、膨張材混入量の影響を大して受けない。圧縮強度に比べ、曲げ強度の変化が少ないのは、膨張材によりSFRCにプレストレスが導入させたり、SFとセメントペーストとの附着がよくなるためと考えられる。また、図-10からは次のようなことが分かる。

SFRCの水中養生中の膨張量は、膨張材混入量に応じて増大する。ただし、両者は比例関係でなく、混入量が 50 kg/m^3 になると膨張量は著しく増大する。

気中養生に移行後は、膨張材混入量に関係なく、ほぼ類似の収縮性状を示す。

したがって、最終収縮量は、膨張材を混入しない場合の 800×10^{-6} に対し、 50 kg/m^3 混入した場合には、 100×10^{-6} と約 $1/8$ になる。

次に合成構造とした場合の乾燥収縮について述べる。

図-11は、疲労試験供試体を用い、鋼断面のひずみからSFRCに作用している乾燥収縮応力を算出したものである。膨張材混入量は 50 kg/m^3 と 40 kg/m^3 である。SFRCの応力計算に当っては、クリープを考慮してヤング係数比を2.1としている。

図より、気中養生に移った当初には、膨張の影響が残りに、鋼断面には負の曲げモーメントが作用しているが、乾燥収縮の進行とともに、正の曲げモーメントに移行する。同時にSFRCには、引張応力が作用し、材令80日では、約 $20 \sim 25 \text{ kg/cm}^2$ の引張応力が残留する。膨張材量による乾燥収縮応力の差は、僅かである。図-12には、これらの断面内応力分布を示しておく。

4. むすび

SFRCと鋼床版を一体化したSFRC合成鋼床版に関する実験より、次のことが明らかになったと考える。

- (1) 合成鋼床版に輪荷重を載荷した場合、ほぼ設計輪荷重までは、合成挙動を示す。
- (2) リブ間の板の剛性は、SFRCの存在により、約3.0倍増加する。この場合、デッキプレート厚が 12 mm でも 10 mm でも有意差はない。
- (3) SFRCに引張応力が作用し、クラックが発生しても、クラックの進行は非常に僅かであり、使用上問題ないと言える。
- (4) 合成作用を得るためのずれ止めとしては、スタッドが望ましい。折曲げ筋では、浮き上がりが生じる。
- (5) 乾燥収縮ひびわれを防止するため、膨張材を用いることを考えた。膨張材を単位量で 50 kg/m^3 (混入率 = 14%) 混入することにより、乾燥収縮ひずみは、無混入の場合と比べ、約 $1/8$ になる。
- (6) この場合、SFRCに作用する乾燥収縮応力は、 $20 \sim 25 \text{ kg/cm}^2$ の引張応力である。

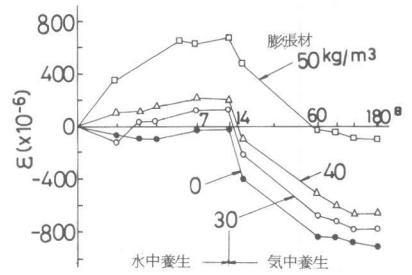
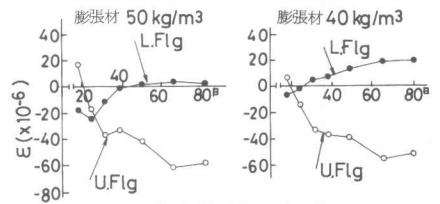
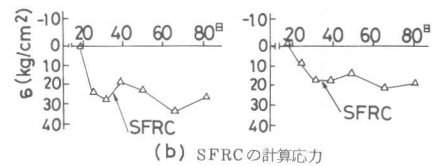


図-10 膨張材量と膨張・収縮ひずみ



(a) 鋼断面の実測ひずみ



(b) SFRCの計算応力

図-11 ひずみ・応力の経時変化

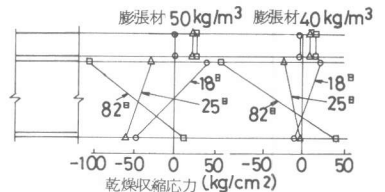


図-12 乾燥収縮応力の断面分布