

## (7) SFRC舗装接着剤接合部の引張強度特性に及ぼす試験条件の影響に関する基礎的検討

宍戸 洸希<sup>1</sup>・村越 潤<sup>2</sup>・小野 秀一<sup>3</sup>・千葉 浩幸<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東京都立大学大学院 都市環境科学研究科 博士前期課程  
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)  
E-mail: shishido-koki@ed.tmu.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京都立大学大学院教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)  
E-mail: murakos@tmu.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 (〒417-0801 静岡県富士市大淵3154)  
E-mail: ono@cmi.or.jp

<sup>4</sup>正会員 鹿島道路株式会社 (〒252-0326 神奈川県相模原市南区新戸982)  
E-mail: chiba@kajimaroad.co.jp

鋼床版橋における疲労き裂に対して、既存のアスファルト舗装を剛性の高い鋼繊維補強コンクリート(SFRC)舗装に置き換える対策工法が適用されている。本工法では舗装とデッキプレート間の接合に接着剤を使用するが、その接合部の強度特性を確認するための試験法として、建研式引張接着試験機による引張接着試験法を準用した方法が提案されている。ただし、試験体の制約上、円形コア周辺の接合部に応力集中が生じ、引張強度への影響が考えられる。本検討では、接着剤接合部を模擬した小型試験体において、コア径、鋼板厚、及びコンクリート強度を試験パラメータとして引張試験を行うとともに、接合部での応力性状についての弾性有限要素解析を行い、試験パラメータの引張強度への影響及び接合部での応力集中係数と引張強度の関係について明らかにした。

**Key Words :** SFRC overlay, orthotropic steel deck, adhesive joint, tensile bond strength

### 1. はじめに

鋼床版の閉断面リブとデッキプレート間の溶接部に発生する疲労き裂への対策として、既存のアスファルト舗装を鋼繊維補強コンクリート(以下、SFRC)舗装に置き換え、デッキプレートと一体化させることで、溶接部及びその周辺の局部変形・応力の低減を図る工法が提案されており、疲労損傷を受けた既設鋼床版に広く適用されている<sup>1,2)</sup>。同工法では、デッキプレートに接着剤を塗布した後、流動状態のコンクリートと鋼材を接着させるという特殊な接合方法を採用しており、接着剤接合部の付着強度の評価が重要となる。そのため、文献[2, 3]では環境作用に対する接合部の耐久性の評価方法として、接着剤接合部を模擬した小型試験体による建研式引張接着試験機を用いた引張接着試験法(以下、コア抜き引張試験法)による評価方法を提示している。

劣化損傷を受けた鉄筋コンクリート床版の上面増厚や、コンクリート部材の断面修復材による被覆など、被着体がコンクリートの場合の接着剤接合部の付着強度を調査するための試験方法としては、一般に被着体まで切り込みを設け、対象箇所には治具を取り付け、建研式引張接着試験機等を用いて、供試体面に対して鉛直方向に引張力を作用させる方法が挙げられる<sup>例えば、4,5)</sup>。これに対して、本工法の接着剤接合は鋼板-SFRC間のため、コアカッター使用の制約上、切り込み深さは鋼板表面までとなり、鋼板の変形により円形コアの接合部に応力集中が発生する。コア径や鋼板厚等に関して、通常、同一の試験条件で試験を実施する場合には強度特性の相対比較は可能であるが、試験法として、これらの試験条件が引張強度特性に与える影響については明らかにしておくことが重要と考えられる。加えて、同試験法により、現場において付着強度を確認する場合には、デッキプレート下面側のリブ

等の取付けによる拘束条件の影響を受ける可能性も考えられる。

本論文では、本工法の接着剤接合部を対象に、コア抜き引張試験法を適用した場合の応力集中の影響に関する基礎的検討として、接合部を模擬した小型試験体を用いて、試験条件が引張強度特性に与える影響について検討した結果を述べる<sup>9)</sup>。具体的には、コア径、鋼板厚、及びコンクリート強度をパラメータとした試験を実施し、これら試験条件が引張強度特性に与える影響を検討するとともに、弾性有限要素解析を行い、試験条件に対する接合部の応力性状を把握し、試験条件毎の引張強度と応力集中係数の関係について分析を行った。

## 2. 試験体

### (1) 試験ケースと使用材料

表-1に試験ケースと試験体数を、表-2にSFRCの配合条件を、表-3に接着剤の性能及び硬化後の材料特性を示す。試験体として、コア径、鋼板厚、及びセメントの種類をパラメータとした。試験体は、2回に分けて製作しており、配合条件に応じてロットI, II, IIIと呼ぶ。また、ロットIでは、2回に分けてコア抜き引張試験を実施しており、材齢によりSFRC等接合部の強度特性が異なるため、試験時の材齢で区分している。超速硬セメントは、ロット

I, IIでは同一仕様としたが、試験時の材齢が異なることにより区分している。なお、ロットIIの超速硬セメントとロットIIIの早強セメントの試験体は同日に製作した。

試験ケース名の○-D○T○は、順にセメント種類(U:超速硬セメント, H:早強セメント)、コア径(mm)、鋼板厚(mm)を表す。著者らは、過年度の試験<sup>例えば、7)</sup>では、コア径100mmを基本とし、鋼板厚は既設鋼床版のデッキプレート厚を対象に12mmとして実施してきた(以下、D100T12:基本ケース)。本検討では応力集中の影響を確認するために、解析結果を踏まえコア径(50~114mm)と鋼板厚(12, 25mm)を組合せて実施した。

SFRCには、既設橋への急速施工を想定して超速硬セメントの使用を基本とした。また、コンクリート強度とセメント材料の違いの影響を比較するために、連続した交通規制が可能な場合に使用される早強ポルトランドセメントのケースも対象とした。接着剤には、エポキシ樹脂系接着剤(KSボンド)を使用した。

コア抜き引張試験に際して、SFRCの強度特性を把握するために、φ100mm×200mmの試験体を用いて圧縮強度と割裂引張強度を計測した。表-4に試験結果(各3体の平均値)を示す。

### (2) 製作方法

試験体の製作方法は、実施工を模擬することとし、既往の研究<sup>2),3)</sup>と同一とした。デッキプレート面を模擬し

表-1 試験ケースと試験体数

試験ケース	SFRC		コア径 (mm)	鋼板厚 (mm)	試験 体数	
	セメント	ロット(材齢)				
U-D100T12	超速硬 セメント	I (175日)	100	12	2体	
		I (401日)			2体	
II (553日)		5体				
I (175日)		25		6体		
I (401日)			3体			
U-D100T25		I (175日)	80	12	6体	
		I (401日)			2体	
U-D80T12		II (553日)		25	12	4体
		I (175日)				6体
U-D80T25		I (175日)	50	12	6体	
U-D50T12	I (401日)	25			12	2体
	U-D50T25			I (175日)		60
U-D60T12		II (553日)		70	12	
	U-D70T12	I (401日)	114			12
25				12	3体	
	U-D114T12		144		12	12
U-D114T25				早強 セメント		
	U-D144T12	80	12		4体	
H-D100T12				50	12	4体

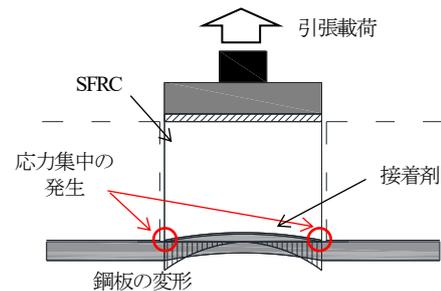


図-1 引張試験による応力集中のイメージ

表-2 SFRCの配合条件

セメントの種類	超速硬		早強
	I	II	III
ロット番号			
設計基準 圧縮強度	24N/mm <sup>2</sup> (3時間)		40N/mm <sup>2</sup> (7日間)
水セメント比 (%)	40.0	38.4	39.8
細骨材率(%)	50.1	53.5	53.9
空気量(%)	3.0±1.5		
スランプ量	5.0±1.5cm		
粗骨材最大寸法	15mm		
鋼繊維使用量	100kg/m <sup>3</sup>		
鋼繊維寸法	φ0.6×30mm (両端フック型)		

表-3 接着剤の性能及び硬化後の材料特性

項目	接着剤 (KSボンド)	
	主 剤	硬化剤
主成分	エポキシ樹脂	脂肪族ポリアミン
外 観	白色ペースト状	青色液状
混合比	主剤：硬化剤=5:1(質量比)	
硬化物比重	1.40±0.20(JIS K 7112)	
圧縮強さ	50 N/mm <sup>2</sup> 以上(JIS K 7181)	
圧縮弾性係数	1.0×10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> 以上(JIS K 7181)	

注) メーカーの技術資料等をもとに作成した。

表-4 SFRCの圧縮強度及び割裂引張強度

試験体	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
超速硬SFRC (ロットI)	28	64.4	—
	71	66.1	6.28
	401	76.2	6.53
超速硬SFRC (ロットII)	28	62.2	—
	553	74.8	6.47
早強SFRC (ロットIII)	28	80.3	—
	553	89.3	9.09

た正方形の鋼板(300×300mm)に素地調整(ブラスト工法)を行い、表面の鉄粉等の汚れを溶剤でふき取ってから型枠を設置し、接着剤を塗布した後、実施にに合わせて75mm厚のSFRCを敷設した。接着剤の塗布量は標準的な使用量1.4kg/m<sup>2</sup>(平均塗布厚1mm相当)とした。SFRCの打設・締固め後、試験体をビニールシートで覆い、材齢28日まで気中養生を行い、その後、試験時まで屋内に保管した。

試験の前日～数日前に、試験ケースの所定のコア径となるコアカッター(刃幅3mm)を用いて鋼板上面に達するまで切込みを入れ、その後、コア表面に接着剤を用いて载荷治具(治具厚：コア径50mm～100mmの場合25mm, 114mm, 140mmの場合40mm)を設置した。载荷治具は、治具と舗装面での応力集中によって治具と舗装面の接着層で破壊が生じないような厚さとした。解析によって、治具厚が着目する接着剤接合部での応力性状に影響を与えないことを確認している。なお、コアカッター使用時には接合面を極力傷つけないように配慮した。

### 3. 試験・解析方法

#### (1) 試験方法

図-2にコア抜き引張試験の概要を、図-3に試験装置の脚と引張载荷位置の関係を示す。市販の建研式引張接着試験機では载荷能力や寸法の制約上、使用困難であったため、別途製作した载荷フレームに、ロードセル、ジャ

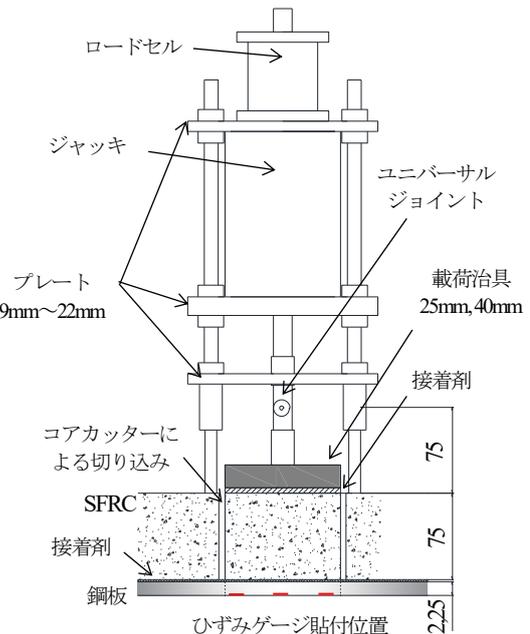


図-2 コア抜き引張試験の試験装置概要

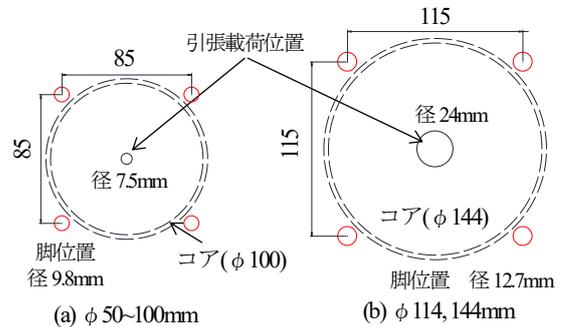


図-3 試験装置の脚と引張载荷位置の関係

ッキを組み込んで試験を実施した。コア径50mm～100mmは市販の建研式引張接着試験機の寸法を参考に脚位置を設定し、コア径114mmと144mmでは、脚位置を調整した载荷フレームを用意した。なお、試験用治具にはユニバーサルジョイントを設け、高さ75mmのコアに曲げが作用しないようにした。

载荷治具を設置した試験体に対して常温(20°C)下で、毎秒0.1N/mm<sup>2</sup>程度の载荷速度で破壊するまで载荷し、破壊時の荷重値を計測した。この荷重値をコア断面積で除した値を引張強度とした。破壊形態に関して、本試験では接着剤とSFRCとの接合部周辺での破壊を想定していたが、試験条件によっては接合部から離れたコンクリート母材での破壊がみられた。このため、SFRC内で破壊した場合を母材破壊、接合部周辺での破壊(接合部破壊)と呼び区別することとした。

また、各試験ケースにおいて、鋼板裏面でコア中心とコアの円周周辺(円周から10mm位置)において、コア径方向に単軸ひずみゲージ(ゲージ長1mm)を貼付し、鋼板裏面での荷重-ひずみ関係の計測を行った。

## (2) 解析方法

2章の試験ケースに対して、載荷時(線形挙動時)の接合部の応力性状を確認するために弾性有限要素解析を実施した。解析ケースは試験ケース(表-1)と同様である。

表-5に解析に使用した材料特性を、図-4に解析モデルの概要(U-D100T12の場合)を示す。SFRCと接着剤の弾性係数とポアソン比は、既往研究<sup>8)</sup>を参考に設定した。治具厚は試験と概ね同様に、コア径50~100mmで20mm、コア径114mm, 144mmで40mmとした。解析には汎用解析ソフトMSC.Marc 2021.1.0を用いた。ソリッド要素でモデル化し、着目部であるコアの接着剤接合部周辺の要素寸法は、高さ方向には1mm、コア断面内には2.5mm~5mm四方とし、20節点六面体要素を使用した。境界条件は、試験装置の脚位置を模擬し、コア径50~100mmではコア中心から60mm位置に、コア径114mm, 144mmでは中心から80mm位置に90度ごとに脚位置を変位固定とした。治具上部中心に集中荷重を接着面積に対する公称応力が1N/mm<sup>2</sup>となるように鉛直方向に載荷し、接合部周辺の鉛直方向の応力性状を求めた。具体的には、図-4(b)に示すように、破壊面が接着剤との境界部分から若干SFRC側の位置であることを踏まえて、試験装置の対角の脚の同一断面上(A-A断面)での接着剤の境界面から高さ方向に1mm上側(SFRC内)の鉛直方向応力に着目した。本文では、径断面の鉛直方向応力の最大値 $\sigma_{max}$ を公称応力(コア断面平均値)で除した値を応力集中係数と呼ぶことにする。また、試験における鋼板裏面ひずみとの比較を行うため、ひずみゲージ貼付位置での表面ひずみを算出した。なお、実際の接着層は後述するように平滑面ではないが、試験ケース毎の応力性状の比較は可能と考えた。

## 4. 試験・解析結果

表-6にコア抜き引張試験結果と解析による応力集中係数を、図-5に試験後の破壊面の状況(接合部破壊)を示す。引張強度の平均値と標準偏差は、接合部破壊が生じた試験体のみを対象に算出した。試験体数の括弧付きは母材破壊となった試験体数(内数)を示す。なお、U-D50T25の標準偏差は、接合部破壊が1体のみのため算出していない。また、接合部破壊は図-5に示すように接着剤層の上部のSFRC母材内で生じている。

表-5 解析に使用した材料特性

要素	厚さ (mm)	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
治具	20,40	200,000	0.3
SFRC	75	40,000	0.2
		30,000	
接着剤	1	4,000	0.2
鋼板	12, 25	200,000	0.3

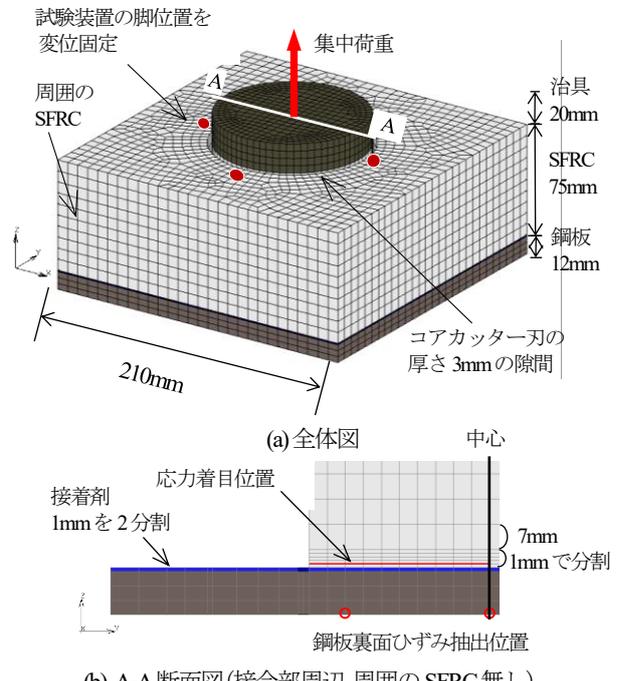


図-4 解析モデルの概要 (D100T12の場合)

表-6 試験結果と応力集中係数

試験・解析 ケース	SFRC		応力集中 係数	試験 体数	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	
	セメント	ロット(材齢)			平均値	標準偏差
U-D100T12	超速硬 セメント	I (175日)	3.17	2	2.03	0.08
		I (401日)		2	2.92	0.14
		II (553日)		5	3.11	0.08
U-D100T25	超速硬 セメント	I (175日)	1.89	6	3.01	0.31
		I (401日)		3	3.38	0.25
U-D80T12	超速硬 セメント	I (175日)	2.46	6	2.44	0.47
		I (401日)		2	3.00	0.03
		II (553日)		4	3.09	0.24
U-D80T25	超速硬 セメント	I (175日)	1.54	6 (3)	3.34	0.19
U-D50T12	超速硬 セメント	I (175日)	1.57	6 (2)	2.73	0.37
		I (401日)		2	3.79	0.60
U-D50T25	超速硬 セメント	I (175日)	1.18	6 (5)	2.49	—
U-D60T12	超速硬 セメント	II (553日)	1.84	4	4.43	0.64
U-D70T12	超速硬 セメント	I (401日)	2.12	6	3.06	0.33
U-D114T12	6			2.75	0.25	
U-D114T25	3			3.90	0.16	
U-D144T12	4			3.05	0.17	
H-D100T12	早強 セメント	III (553日)	3.15	5	2.17	0.21
H-D80T12				4	2.34	0.25
H-D60T12				4	3.14	0.50

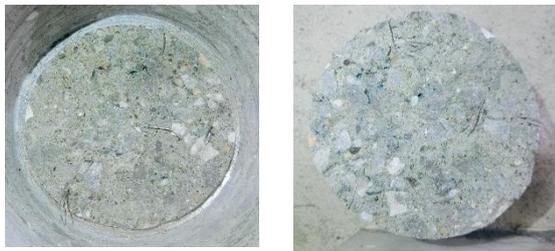


図5 試験体の破壊面の状況  
(U-D100T12, ロットII (材齢553日))

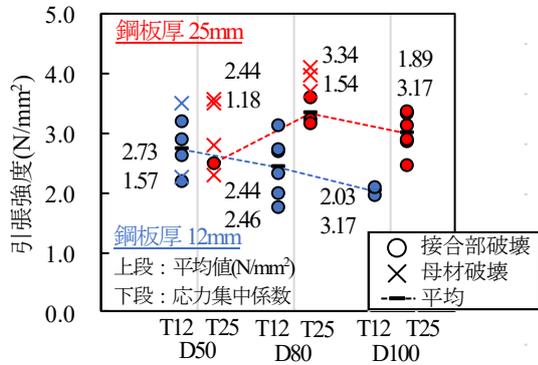


図6 コア径、鋼板厚と引張強度の関係  
(超速硬 SFRC ロットI (材齢175日))

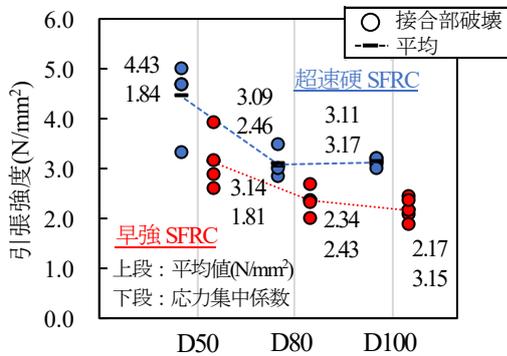


図7 コンクリートと引張強度の関係  
(超速硬 SFRC ロットII, 早強 SFRC (材齢553日))

### (1) 試験条件と引張強度の関係

図-6に超速硬SFRCを使用したロットI(材齢175日)について、引張強度とコア径、鋼板厚の関係を示す。横軸は試験ケースにおけるコア径Dと鋼板厚Tの組合せを示す。D50T25を除き、コア径が小さくなるにつれて引張強度が増加する傾向がみられた。基本ケースのD100T12の引張強度に対して、コア径の異なるD80T12とD50T12ではそれぞれ1.20、1.34倍であった。また、鋼板を厚くしたD80T25とD100T25では、同一コア径の鋼板厚12mmに対して、1.37倍、1.48倍であった。一方、D50T25の場合、6体中5体が母材破壊となり接合部破壊は1体のみであった。これは、後述するが接合部付近の応力集中が軽減され、母材断面内の強度の低い部位に破壊位置が移行したことによる。なお、母材破壊を含む引張強度の平均は2.97N/mm<sup>2</sup>であり、母材破壊は接合部での強度より母材強度が相対的に低い場合に生じると考えられ、D50にお

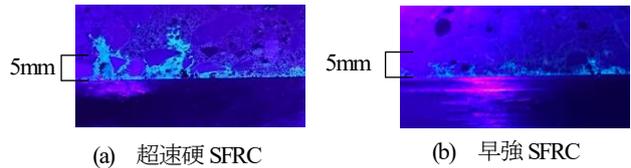


図-8 接合部の状況

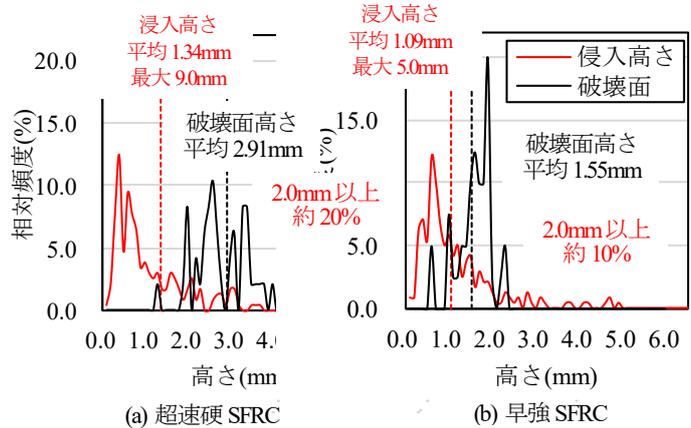


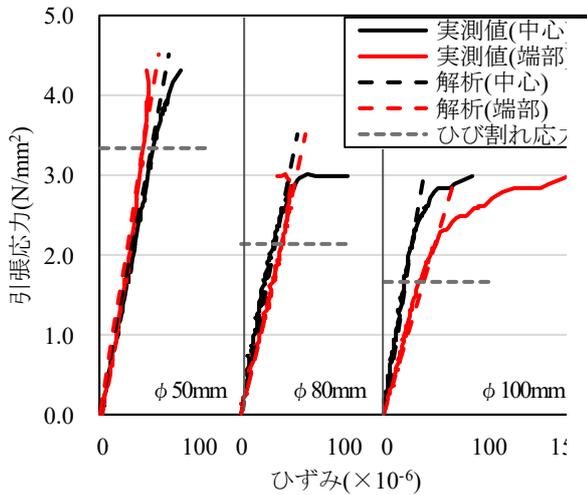
図-9 接着剤の浸入高さと同破壊面の高さの頻度分布  
(超速硬 SFRC ロットII, 早強 SFRC (材齢553日))

いても少なくとも鋼板厚が接合部での引張強度に対して影響を与えていると考えられる。

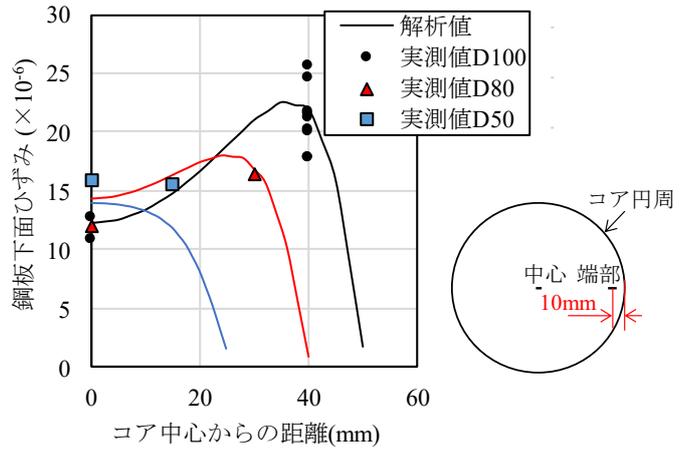
図-7に超速硬SFRCのロットIIと早強SFRCのロットIIIについて、引張強度とコア径の関係を示す。いずれも鋼板厚は12mmである。両コンクリートともに、コア径が小さくなるにつれて引張強度が増加する傾向がみられた。早強SFRCの場合、D100の引張強度に対してD80、D50では、それぞれ1.07倍、1.45倍であった。また、引張強度は超速硬SFRCの方が高く、D100、D80、D60ではそれぞれ1.43倍、1.32倍、1.41倍であった。一方、割裂引張強度(表-4参照)は、早強SFRC(9.09N/mm<sup>2</sup>)では超速硬SFRC(6.47N/mm<sup>2</sup>)に対して1.4倍と高い。本試験ではその破壊面がSFRC内であるため、コンクリートの引張強度に依存するものと考えられたが、SFRC自体の強度が高くても接着剤接合部の引張強度は低い結果であった。すなわち、SFRC材料が異なる場合には、破壊時のコア面の最大引張応力(引張強度と応力集中係数を乗じた値)が必ずしもコンクリートの引張強度と対応するわけではないことが示唆される。この強度差の要因は次項で考察する。その他の材齢を含むいずれのケースにおいても、同様のコア径や鋼板厚と引張強度の関係がみられ、コア径や鋼板厚による鋼板の変形に起因する応力集中が影響していると考えられる。

### (2) 接合部の状況

図-8に試験後の接合部の状況を、図-9に接着剤のSFRCへの浸入高さと同破壊面高さの頻度分布の例を示す。試験後の試験体1体をコア径方向に1/4に切断して、破壊面高

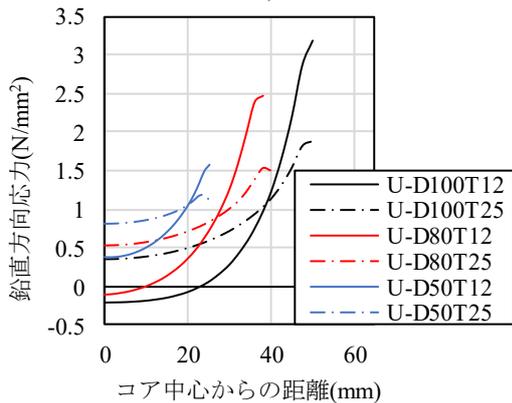


(a) 引張応力—鋼板裏面のひずみ関係



(b) 鋼板裏面のひずみ分布

図-10 超速硬 SFRC、鋼板厚 12mm での鋼板裏面ひずみ の実測値と解析値の例 (D50, D100 : ロット I (材齢 401 日), D80 : ロット II (材齢 553 日))



さはコア内部の断面，浸入高さはコア以外の未試験部分の断面にて計測した。浸入高さは，紫外線を照射し鋼板面からの高さを鋼板に沿って1mm間隔で計測した。ここでは，骨材を巻き込むような場合にも，最もSFRC側に浸入している点を計測した。図-9は接着剤の浸入高さでは240，破壊面高さでは40のデータ数から0.1mm間隔の相対頻度分布とした。

図-8は未試験部分断面での調査結果であるが，超速硬SFRCと早強SFRCでは接着層の形成状況が異なっていた。超速硬SFRCの方が接着剤がSFRC内に浸入している様子がうかがえ，また，接着剤が界面周辺の骨材を巻き込むような箇所が一部でみられた。図-9からも，浸入高さの最大値や，例えば2mm以上の相対頻度からもその傾向はうかがえる。また，未試験部分の接着層厚の十点平均粗さRz (JIS B 0601-1994) を求めると，超速硬SFRCでは7.63mm，早強SFRCでは4.45mmであった。一方，破壊面は，超速硬SFRCの方が高くSFRC側で破壊していることがわかる。以上のように接着層の形成状況の相違が破壊形態や引張強度(接着剤の浸入によるアンカー効果等)に影響を与えた可能性があり，その要因としてSFRC・接

着剤の硬化過程の相違等が考えられる。

### (3) 接合部の応力性状

図-10にU-D100T12, U-D80T12, U-D50T12を対象に，引張応力(=載荷荷重/コア断面積)と鋼板裏面ひずみの関係と，引張応力1N/mm<sup>2</sup>(弾性挙動内)での鋼板裏面のひずみ分布について，試験値と解析値を比較して示す。図(a)中の水平の破線は，参考までに応力着目位置の最大応力となる位置での引張応力が超速硬SFRCのひび割れ発生応力に達する場合の値を示す。ここで，SFRCのひび割れ発生時の引張応力は引張強度との相関が高く<sup>9)</sup>，割裂引張強度(D100, D50では6.53N/mm<sup>2</sup>，D80では6.47N/mm<sup>2</sup>)の0.8倍(D100, D50: 5.22N/mm<sup>2</sup>, D80: 5.18N/mm<sup>2</sup>)とした<sup>9)</sup>。応力—ひずみ関係の初期勾配は試験値と解析値で概ね一致している。また，図(b)の鋼板裏面のひずみ分布に関して，試験値のばらつきは大きいものの，コア径方向の分布傾向は概ね一致することを確認しており，解析モデルが線形挙動内での接合部の挙動を再現できているものと考えられる。

また，図-11に超速硬SFRCの場合のコア径50mm, 80mm, 100mmでの接合部における直径方向の鉛直方向応力分布を示す。コアの円周周辺に最大応力が発生しており，同一鋼板厚の場合，コア径が大きくなるにつれ端部での最大応力が大きくなっている。また，鋼板厚12, 25mmを比較すると，コア径が小さくなると鋼板厚の違いによる最大応力の差は小さくなるが，いずれのコア径においても鋼板厚12mmのほうが最大応力が大きくなっている。図-10(a)の鋼板裏面での非線形挙動を踏まえると，破壊に至るまで接合部周辺の端部からひび割れが生じたものと考えられる。

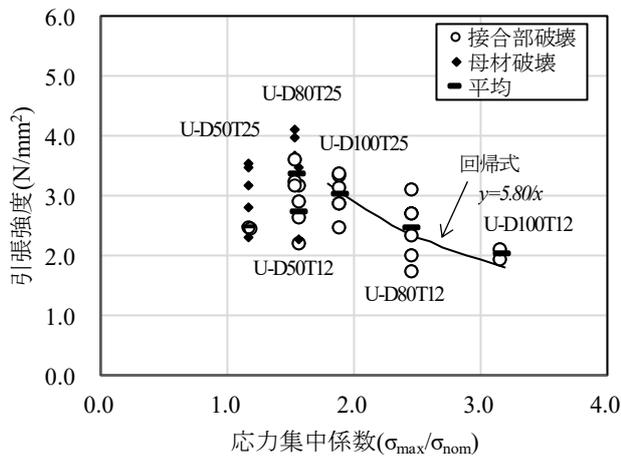


図-12 引張強度と応力集中係数の関係  
(超速硬 SFRC ロット I (材齢 175 日))

### 5. 引張強度と応力集中係数の関係

図-12に超速硬SFRCロットI(材齢175日)での引張強度試験値(-印は同一試験ケースの平均値)と解析による応力集中係数の関係を示す。図中には、引張強度に応力集中係数を乗じた値が一定になると仮定(コア円周周辺の最大応力が一定値に達した場合に引張強度に達すると仮定)した場合の回帰式を示している。ここで、母材破壊(図中の◆印)の生じたケース(D50T12, D50T25, D80T25)については、接合部破壊のデータも含めて回帰式には考慮していない。各ケースのデータのばらつきは大きいが生じたケース(D50T12, D50T25, D80T25)については、接合部破壊のデータも含めて回帰式には考慮していない。各ケースのデータのばらつきは大きいが生じたケース(D50T12, D50T25, D80T25)については、接合部破壊のデータも含めて回帰式には考慮していない。各ケースのデータのばらつきは大きいが生じたケース(D50T12, D50T25, D80T25)については、接合部破壊のデータも含めて回帰式には考慮していない。

図-13に超速硬SFRC(ロットII)と早強SFRCのロットIII(材齢553日)での引張強度試験値(-印は同一試験ケースの平均値)と応力集中係数の関係を示す。図中には、図-12と同様に引張強度に応力集中係数を乗じた値が一定になると仮定した場合の回帰式を示している。超速硬SFRCと早強SFRCともに、前述のとおり使用したセメントごとに引張強度の差はみられるが、両者ともに応力集中係数が大きくなるにつれて引張強度が低下する傾向が確認された。

そこで、応力集中の影響を評価するために、ロットごとに各試験ケースの引張強度を基本ケースのD100T12の引張強度の平均値で無次元化して整理することとした。図-14に母材破壊が発生していない全ケースについて無

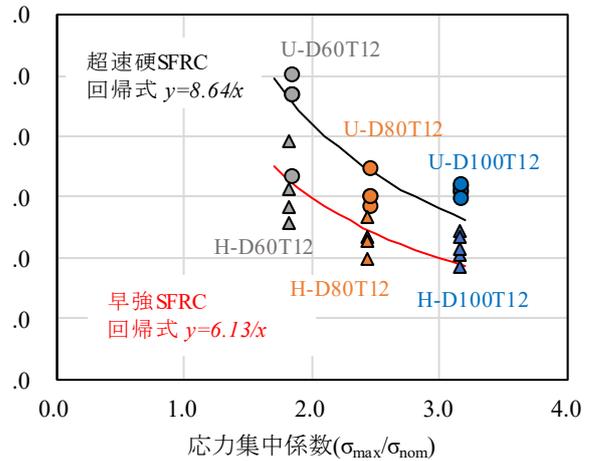


図-13 引張強度と応力集中係数の関係  
(超速硬 SFRC ロット II (材齢 553 日)・早強 SFRC)

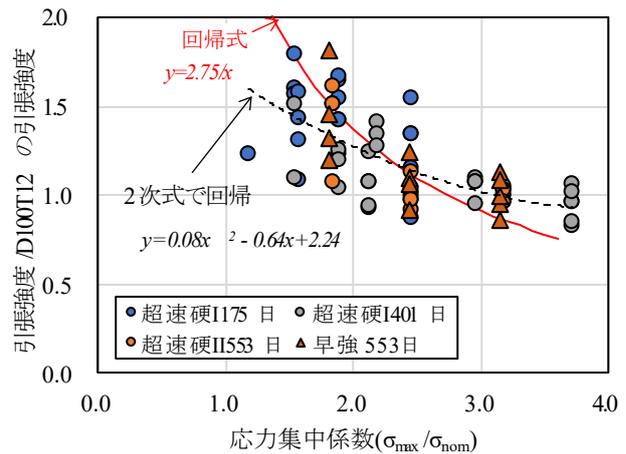


図-14 D100T12の強度で無次元化した引張強度と応力集中係数の関係

次元化した引張強度と応力集中係数の関係を示す。図中には、図-12,13と同様の回帰式(実線)を示すが、各ロットでは無次元化した引張強度と応力集中係数を乗じた値(平均値)が概ね同程度の値(2.72~2.82)となっている。SFRCの使用材料や試験時材齢が異なっても、応力集中係数に対して同様の傾向となり、応力集中係数との関係性がみられることが確認された。ただし、ばらつきが大きく、全ケースで2次式(破線)で回帰すると実線の回帰式の傾きより緩やかな傾向である。コンクリートの引張破壊メカニズムに関する既往研究(例えば、10)を踏まえると、接合部の引張強度に対して応力集中係数の影響はみられるものの、他の種々の要因が破壊メカニズムに及ぼす影響も評価する必要があり今後の課題と考える。

### 6. 結論

鋼床版上のSFRC舗装における接着剤接合部を対象として、接合部を模擬した小型試験体を用いた建研式引張

接着試験機によるコア抜き引張試験と弾性有限要素解析を行い、接合部の引張強度特性と、強度への試験条件の影響について検討した。以下に、得られた主な結果をまとめる。

- 1) 試験条件として、コア径と鋼板厚が接合部の引張強度に影響を与えることを確認した。引張強度は、同一鋼板厚の場合、コア径の増加(コア径: 50~144mmの範囲)とともに低下し、同一コア径の場合、鋼板厚12mmでは25mmに対して低下する傾向にあることを確認した。また、コンクリートの割裂引張強度が大きい早強SFRCの引張強度は、超速硬SFRCに対して約0.7倍であり、SFRC材料が異なる場合には、接合部での引張強度は、必ずしもコンクリートの割裂引張強度に依存しないことが確認された。
- 2) 接合部の応力性状に関して、いずれの試験条件においてもコア円周部に応力集中が生じており、同一鋼板厚の場合にはコア径の増加とともに応力集中係数が増加し、同一コア径の場合には鋼板厚12mmでは25mmに対して応力集中係数が増加することが確認された。また、試験時の鋼板裏面でのひずみの非線形挙動より、破壊に至るまでSFRCの端部近傍からひび割れが生じたものと推測される。
- 3) 接合部の引張強度は、コア径、鋼板厚による応力集中係数が大きくなるほど低下する傾向がみられた。また、応力集中係数の小さい(1.57以下)、試験ケースD50T12, D50T 25, D80T25では、接合部から高さ方向に離れたSFRC内での母材破壊となる割合が大きくなる傾向がみられた。

本論文で示すような小型試験体を用いて、建研式引張接着試験機によりSFRC舗装の接着剤接合部の引張強度を調べる場合には、その引張強度については、コア径、鋼板厚等の応力集中の影響を受けた結果である点に留意する必要がある。また、実橋でコア抜き引張試験を実施する場合には、デッキプレートの厚さや下面に取り付く部材の拘束条件によって応力性状が異なることになるた

め、試験条件に留意する必要がある。

謝辞: 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K04326 の補助を受けて実施した。ここに記して感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 土木学会: 鋼構造シリーズ 19 鋼床版の疲労, pp.63-75, 2010.12.
- 2) (独)土木研究所ほか: 鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究(その2・3・4) 報告書-SFRC 舗装による既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル(案)-, 土木研究所共同研究報告書 No.395, 2009.10.
- 3) 村越潤, 木ノ本剛, 春日井俊博, 児玉孝喜, 辻井豪: 既設鋼床版の SFRC 舗装による補強工法と耐久性評価に関する実験的検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, No.3, pp.416-428, 2013.9.
- 4) 片平博, 渡辺博志, 山田宏, 渡辺健治: 付着面の条件や養生条件が断面修復材の付着強度に与える影響, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート協会, Vol.35, No.1, pp.1663-1668, 2013.3.
- 5) 八谷好高, 水上純一, 坪川将丈, 江崎徹, 野田悦郎, 中丸貢, 東滋夫: 空港コンクリート舗装の薄層付着オーバーレイに関する研究, 国土技術政策総合研究所研究報告 No.30, 2006.9.
- 6) 穴戸洗希, 村越潤, 小野秀一, 佐々木良輔, 千葉浩幸: SFRC 舗装接着剤接合部の引張試験における試験体形状の影響に関する基礎的検討, 土木学会第 76 回年次学術講演会概要集, I-203, 2021.9.
- 7) 穴戸洗希, 村越潤, 小野秀一, 佐々木良輔, 千葉浩幸: 鋼床版 SFRC 舗装接着剤接合部の劣化特性に関する実験的検討, 鋼構造年次論文報告集, Vol.28, pp.167-176, 2020.11.
- 8) 松本稔将, 村越潤, 堀井久一, 小野秀一: 鋼床版 SFRC 舗装の接合に使用するエポキシ接着剤の環境負荷後の材料特性に関する実験的検討, 鋼構造論文集, 日本鋼構造協会, Vol.27, No.105, pp.77-88, 2020.3.
- 9) (独)土木研究所ほか: 鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究(その4) 報告書-SFRC の基本物性と接着剤接合部における強度特性に関する検討-, 土木研究所共同研究報告書 No.413, 2011.2.
- 10) 上田稔, 長谷部宣男, 佐藤正俊: コンクリートの引張破壊メカニズムと引張強度の破壊力学的研究, 土木学会論文集, No.466/V-19, pp.69-78, 1993.5.

(Received September 10, 2021)

## EFFECTS OF TEST CONDITIONS ON TENSILE STRENGTH CHARACTERISTICS OF ADHESIVE JOINT IN SFRC OVERLAY

Koki SHISHIDO, Jun MURAKOSHI, Shuichi ONO and Hiroyuki CHIBA

As an effective measure to prevent the fatigue cracks at welded joints of existing orthotropic steel decks, steel fiber reinforced concrete (SFRC) overlays have been widely used. In the evaluation of the adhesive joints, a tensile strength test with the Kenken-type adhesive strength tester has been applied, while stress concentration occurs around the adhesive joint. For the purpose of clarify the effect of test conditions on tensile strength, tensile strength tests of the adhesive joints were carried out using small size specimens with different test conditions and the stress properties were analyzed by FE analysis. This paper reports the test results and discusses the relationship between the stress concentration factor and the tensile strength.