

三次元中空構造ガラス織物を用いた 高耐久性埋設型枠の開発

井上真澄¹・前園真一郎²・高木宣章³・児島孝之³

¹学生会員 工修 立命館大学大学院 理工学研究科総合理工学専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

²学生会員 立命館大学大学院 理工学研究科環境社会工学専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

³正会員 工博 立命館大学教授 理工学部土木工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

本研究では、三次元中空構造ガラス織物を拘束体として用い、膨張ペーストを充填してケミカルプレストレスを導入した厚さ10mmの薄型プレートの製作方法および埋設型枠として実構造物に適用することを想定し、その基本物性について実験検討を行った。また、薄型プレートを埋設型枠として用いたRCはりの静的載荷試験を行い、その曲げせん断性状について検討を行った。その結果、軽量で、ひび割れ強度15N/mm²、曲げ強度70N/mm²の高い強度と高耐久性を有する埋設型枠用薄型プレートの製作が可能であることがわかった。また、埋設型枠用薄型プレートは、後打ちコンクリートとの界面にケイ砂散布処理を施すことで、RCはりの耐力および変形性状を向上させるなどの補強効果も有することを明らかにした。

Key Words : 3D hollow structure glass fabric, permanent formwork, expansive paste, high durability, strengthening

1. はじめに

近年の建設工事においては、省力化・迅速化・経済性の追求が急務とされ、その実現を目指して各種の新しい合理化施工策が提案されてきた。コンクリート工事を例に挙げると、レディーミクストコンクリートの普及、ポンプ施工等に代表されるように実用化に至っている。しかし、コンクリート工事の省力化、スピードアップに最も関係する型枠工については、あまり注目されなかった。型枠の重要性は、土木・建築を問わずコンクリートの品質に大きく影響することから、特に近年問題視されるコンクリートの耐久性確保や複合構造に要求されるコンクリートの寸法精度の観点からも、上述の合理化要請と併せて大きな見直しが必要である¹⁾。さらに建設業界では、年間1億枚にも及ぶラワン合板を型枠材として使用しており、これに代わる代替材、代替工法の研究・開発、あるいはリサイクル資源の有効利用法を確立し普及させることが、今後のコンクリート工事の合理化につながるものと考えられる²⁾。このような観点から開発されたのが、型枠内部コンクリートを外部劣化から防ぐことにより高耐久性を実現し、脱型不要に伴う施工の省力化、そして地球環境保護の観点から資源を有効利用することができる埋設型枠である。

我が国では1980年代中頃から、コンクリート構造物の耐久性向上、工期短縮や省力化、森林資源の保護などを目的として、優れた耐久性と高強度を有するコンクリート製型枠をプレキャスト製品として埋設型枠に適用する研究が行われ、ポリマー含浸コンクリートやレジンコンクリートを用いた薄板がコンクリート製埋設型枠として実用化されている^{3)~5)}。近年の海洋環境下における塩害をはじめとしたコンクリート構造物の早期劣化は深刻な問題であり、耐久性向上技術の開発は重要な課題である。

一方で、ポリマー含浸コンクリートや鋼板などに代わる埋設型枠への適用を目的として、軽量、高強度、耐腐食抵抗性など優れた特性を有する連続繊維補強材を適用した形式^{6)~12)}や、ケミカルプレストレスを導入した新しい構造形式¹³⁾を有する埋設型枠の研究が盛んに行われている。連続繊維補強材の適用は、埋設型枠に軽量化、高強度化、高耐久性を付与させることができる有効な方法である。また、ケミカルプレストレスと併用することにより、ひび割れ抑制効果を期待でき、2方向へのプレストレスの導入ができる利点も有する。過去に提案されている埋設型枠は、コンクリートやモルタル自体の高強度化、高耐久化を図ったものや、部材の内部に補強材を配置する形式が多い。しかし、この場合コンクリート面にひび割れが入った時点で、耐久性が低下する。

表-1 実験要因(シリーズ I)

要因	仕様
繊維の種類	ガラス繊維(E-ガラス)
含浸樹脂	UPE樹脂: オルソフタル酸系 不飽和ポリエステル樹脂
	VE樹脂: ビスフェノール系 エポキシアクリレート樹脂
充填材(種類)	膨張ペースト(8配合)
養生方法	気中養生
試験材齢	10, 28, 91, 180日
供試体寸法	10×300×300mm
試験項目	膨張ひずみ測定
	曲げ強度試験(3等分点載荷)
	引張強度試験

表-2 3D-GFRPの力学的特性

厚み(mm)		10
全繊維目付量(kg/m ²)		1.43
質量(kg/m ³)		3.01
x方向*	引張強度(N/mm ²)	230
	弾性係数(N/mm ²)	14×10 ³
y方向*	引張強度(N/mm ²)	190
	弾性係数(N/mm ²)	9×10 ³

注)*: 図-1参照

また、棒材やメッシュ状の補強材を拘束体としてケミカルプレストレスを導入する場合には、コンクリートの自由膨張面(かぶり部分)の問題から、ケミカルプレストレスの導入量に限界がある。これに対し、高強度な連続繊維で製作した中空構造を有する補強材を拘束体および型枠とし、その中に膨張性材料を充填できれば、高い拘束効果によるケミカルプレストレス効果によりひび割れ発生が抑制される。またひび割れが発生したとしても、補強材の被覆により耐久性を保持できると考えられる。埋設型枠のような薄型部材を対象とした場合、高強度材料の拘束効果を利用して高いレベルのケミカルプレストレスを導入することができれば、高強度化により部材の軽量化が可能となり、施工性が改善される。さらに、埋設型枠と後打ちコンクリートとの構造一体性を確保することができれば、補強材としての付加価値を付与することができると考えられる。

本研究では、三次元中空構造ガラス織物を拘束体として用い、膨張ペーストを充填しケミカルプレストレスを導入した薄型ケミカルプレストレスト板(以下、プレートと称す)の製作方法、埋設型枠に適用するための基本物性および耐久性について実験的検討を行った。さらに、プレートを埋設型枠として用いたRCはりの静的載荷試験を行い、その曲げせん断性状について検討を行った。

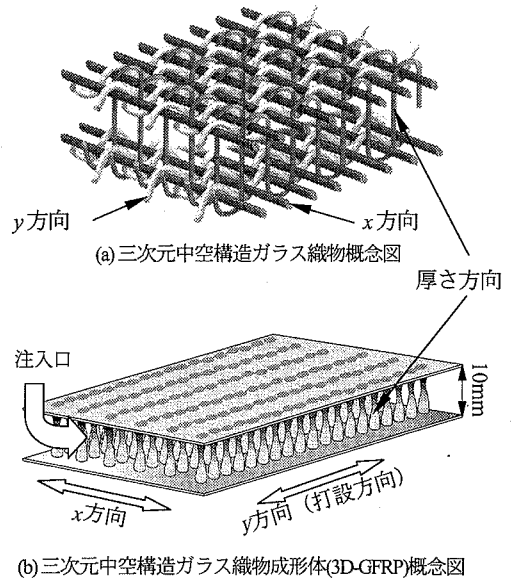


図-1 3D-GFRP 構造概念図

2. プレートの力学的特性

(1) 実験概要

表-1に実験要因を示す。三次元中空構造ガラス織物は、ガラス繊維を使用して、上下2層の高弾性変形平織布と11.3万本/m²の垂直糸が、一体に織り上げられている。本研究では、この織物に熱硬化性樹脂を含浸させた厚さ10mmの超軽量、高曲げ剛性、中空構造といった特長を有する三次元中空構造ガラス織物成形体(以下、3D-GFRPと称す)を用いた埋設型枠用薄板プレートの開発を目的としている。3D-GFRPに膨張ペーストを充填したプレートを導入されるケミカルプレストレスを推定するために、3D-GFRP表面の膨張ひずみの測定を行った。また、プレートを埋設型枠に適用することを想定し、曲げ強度試験と引張強度試験を行った。

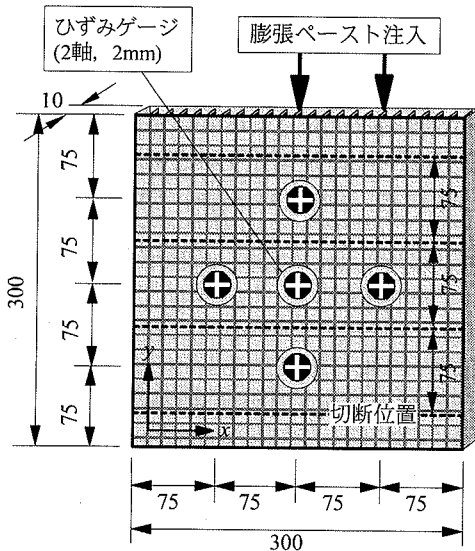
(2) 三次元中空構造ガラス織物成形体

三次元中空構造ガラス織物は、図-1に示すような上下2層(x, y方向繊維)の織物を厚さ方向のガラス繊維で連結したサンドイッチ構造を有するガラス織布である。樹脂含浸前のガラス基布の状態では、柔軟性が高く、賦形性や可動性に優れた材料である。このガラス基布に、熱硬化性樹脂を含浸させると、ガラス織物の持つスプリングバック特性(成形時に絡まりあったガラス繊維が、弾性回復力によって立ち上がる現象)と樹脂の毛細管現象の相互作用により、厚さ方向のガラス繊維が所定の長さまで自然に立ち上がり、中空構造になるのが特徴である。同時に、成形体表面は樹脂で完全被覆された状態となる。

表-3 膨張ペーストの示方配合

配合名	W		SF		単位量 (kg/m ³)					SP* (%)
	(C+SF) (%)	(C+SF) (%)	W	C	SF	EP	Ca			
50-0	50	20	370	592	148	0	987	5		
50-100						100	893			
50-200						200	800			
50-300						300	707			
50-400						400	614			
50-600						600	428			
40-300	40			740	185	300	535			
30-300	30			987	247	300	249			

注) W: 水, C: セメント, SF: シリカフェーム
 EP: 膨張材, Ca: 石灰石微粉末, SP: 高性能 AE 減水剤
 *: 結合材質量(C+SF)に対する割合



※ひずみゲージは両面に貼付 (単位:mm)

図-2 プレート概要図

ため、埋設型枠として用いた場合、外部からの塩化物イオンなどの劣化要因を遮断することが可能である。

(3) 使用材料および膨張ペーストの配合

膨張ペーストは、セメントに普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm³)、シリカフェームにノルウェー産粉体(940-U, 密度: 2.20g/cm³, 比表面積20m²/g, 平均粒径0.15 μm, SiO₂=91.3%), 膨張材にCSA系(＃20, 密度: 2.90g/cm³)、粉体に石灰石微粉末(密度2.70g/cm³, 比表面積4000cm²/g)を、混和剤にはポリカルボン酸系高性能AE減水剤を使用した。

表-2に3D-GFRPの力学的特性を示す。含浸樹脂には、ガラス繊維と相性が良く、作業性に優れるオルソフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂(以下、UPE樹脂と称す)と、耐アルカリ性に優れるビスフェノール系エポキシアクリ

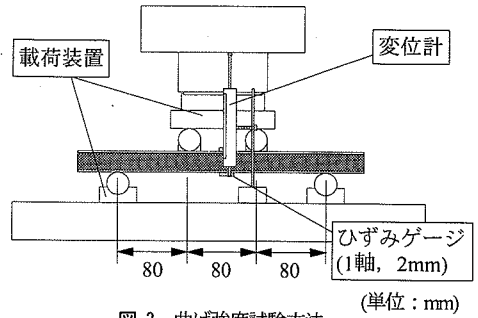


図-3 曲げ強度試験方法

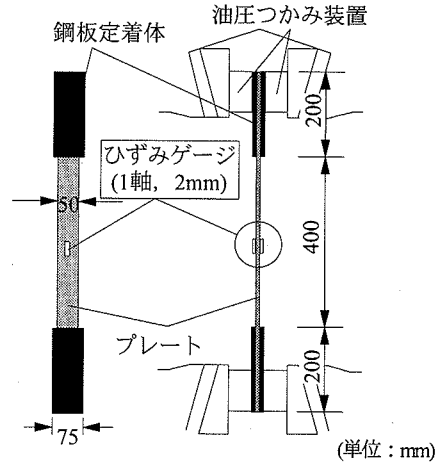


図-4 引張強度試験方法

レート樹脂(通称ビニルエステル樹脂、以下VE樹脂と称す)の2種類を使用した。3D-GFRPの引張強度はx方向で230N/mm²、y方向で190N/mm²であり、x方向繊維の方が強度が高い。三次元中空構造ガラス織物は、ある一定の緊張力でy方向繊維を配向した後、x方向繊維と厚さ方向繊維を織り込んで製作する。この織る際の緊張力がy方向の方が大きいため、y方向繊維の強度はx方向に比べて若干小さい。

表-3に膨張ペーストの配合を示す。水結合材比[W/(C+SF)]を30, 40, 50%の3水準とした。高レベルのケミカルプレストレスを導入することを目的として、単位膨張材量[EP]は結合材質量(C+SF)に対して外割で0~600kg/m³と変化させた6水準を選定した。空気量は1%として配合設計を行った。3D-GFRPの中空部は、厚さ方向繊維が密に織り込まれているため、高い流動性が必要であった。従って、本実験では膨張ペーストが3D-GFRP内に自己充填可能な配合を、混和剤量の調整によって選定した。なお、PCグラウトの流動性試験方法(JSCE-F531-1999)に準じ、JA漏斗を使用して流動性試験を行った結果、膨張ペーストの流下時間は200~250秒であった。

本実験では、部材の高強度化を図ることを目的として、

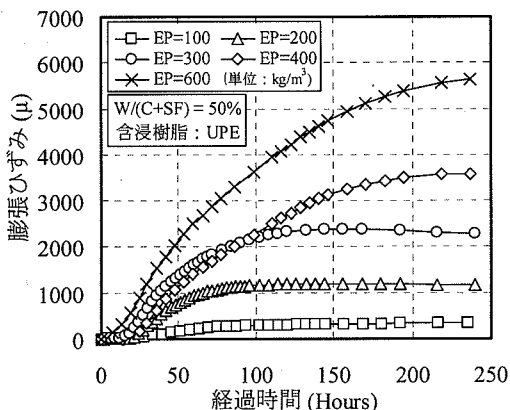


図5 膨張ひずみの経時変化

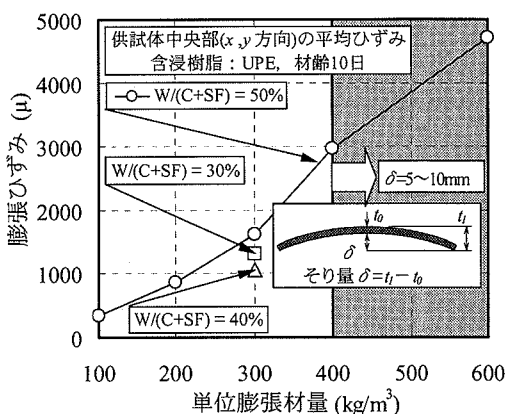


図6 材齢10日までの最大膨張ひずみと単位膨張材量の関係

膨張ペーストにシリカフェームを混入した。シリカフェームを混入することにより、ケミカルプレストレスの導入効果が著しく向上するとの報告¹⁴⁾を参考に、膨張ペーストのシリカフェーム置換率[SF/(C+SF)]は20%一定とした。

(4) 供試体の製作方法および実験方法

図-2に膨張ひずみ計測用プレートの概要図を示す。プレートの製作においては、最初に3D-GFRPを300×300mm(厚さ10mm)に切断し、図-2に示す位置にひずみゲージを貼付する。打設口を除く開口面は、密封状態になるようにエポキシ樹脂で表面処理を行った。その後、専用の漏斗を用いて、テーブルバイプレータ上で振動を与えながら図-1のy方向に膨張ペーストを充填した。プレートに導入されるケミカルプレストレスを把握するために、打設直後より3D-GFRP表面(前後2面)のx方向およびy方向膨張ひずみの経時変化を測定した。プレートは恒温恒湿室内(20±1℃, 90±5%R.H.)で鉛直に立てた状態で養生し、膨張ペースト打設後から所定の荷重試験材齢まで膨張ひずみを測定した。

図-3にプレートの曲げ強度試験方法を示す。曲げ強度試験供試体は、膨張ひずみ計測用プレートをダイヤモンドカッターで所定の供試体寸法(75×300×10mm)に切断して製作した。荷重材齢が28, 91, 180日の3材齢分の供試体については、膨張ペーストの配合を50-200と50-300の2種類のみとした。なお、切断する方向は、3D-GFRPの引張強度がy方向よりx方向の方が大きいことから、曲げ強度試験時にx方向繊維が引張を受けるように切断した。従って、以後示す曲げ強度は、3D-GFRPのx方向繊維が引張を受けた時の曲げ強度と定義する。3軸拘束解放後、2時間以内では力学的特性に及ぼす拘束解放の影

響は少ないと報告¹⁵⁾されているので、曲げ強度試験は切断後2時間以内に荷重試験を行った。曲げ強度試験方法はスパン240mm, 曲げスパン80mmの3等分点荷重, 荷重速度は縁曲げ応力度の増加が毎分3~3.5N/mm²とした。計測項目は支間中央のたわみ, 供試体中央部における圧縮縁および引張縁ひずみとした。

図-4にプレートの引張強度試験方法を示す。引張強度試験に関しては、VE樹脂を使用した3D-GFRPに膨張ペースト50-0と50-300を充填した供試体のみ製作し、試験材齢は10日とした。引張強度試験用供試体は、10×50(y方向)×800(x方向)mmのプレートを製作し、供試体端部にエポキシ樹脂系接着剤で接着した鋼板定着体を、万能試験機の油圧つかみ装置で直接つかんで実施した。荷重速度は毎秒100N, 計測項目は、供試体中央部のひずみとした。

(5) 実験結果および考察

a) 膨張特性

図-5に水結合材比50%の膨張ペーストを充填した供試体の膨張ひずみの経時変化の1例を示す。膨張ひずみは、計測箇所によって幾分変動する傾向にあったが、拘束解放面近傍であっても均質と見なせる程度のばらつきであった。なお、拘束解放面より最も遠い位置にあたる供試体中央部が最も平均的なひずみを示したことから、以後扱う膨張ひずみに関しては、断りがない限り供試体中央部の2面の平均値として示す。単位膨張材量が300kg/m³以下では、材齢7日程度で最大ひずみに達し、その後は一定値を示した。単位膨張材量400kg/m³では、初期材齢時の膨張ひずみは若干小さい値を示すものの、材齢5日以降は単位膨張材量300kg/m³時よりも大きな値を示した。単位膨張材量600kg/m³では、材齢10日においても増加傾

表-4 曲げ強度試験結果

供試体名*1	ひび割れ強度*3 (N/mm ²)				曲げ強度 (N/mm ²)			
	材齢 10日	材齢 28日	材齢 91日	材齢 180日	材齢 10日	材齢 28日	材齢 91日	材齢 180日
50-30*2	6.52	—	—	—	6.52	—	—	—
UPE-50-0	6.75	—	—	—	68.9	—	—	—
UPE-50-100	6.36	—	—	—	67.8	—	—	—
UPE-50-200	11.6	11.1	12.3	12.2	74.2	75.8	75.4	67.1
VE-50-200	11.0	11.4	12.4	12.8	63.0	63.1	69.2	65.1
UPE-50-300	17.6	18.0	17.9	17.9	73.6	73.7	72.3	69.3
VE-50-300	17.7	20.5	18.3	18.4	71.3	76.5	72.6	76.2
UPE-50-400	20.0	—	—	—	75.0	—	—	—
UPE-50-600	25.3	—	—	—	69.3	—	—	—
UPE-30-300	15.2	—	—	—	78.4	—	—	—
UPE-40-300	15.2	—	—	—	74.3	—	—	—

注)*1: UPE/VE-50[W/(C+SF)(%)]-300[EP (kg/m³)], *2: 無拘束供試体(比較用)

*3: 曲げ応力-下縁ひずみ曲線(図-7)の変曲点から推定

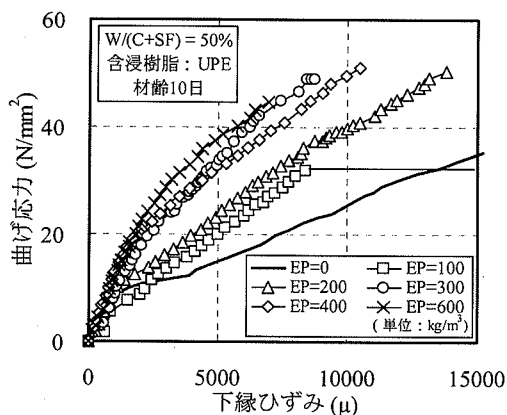


図-7 曲げ応力と下縁ひずみの関係

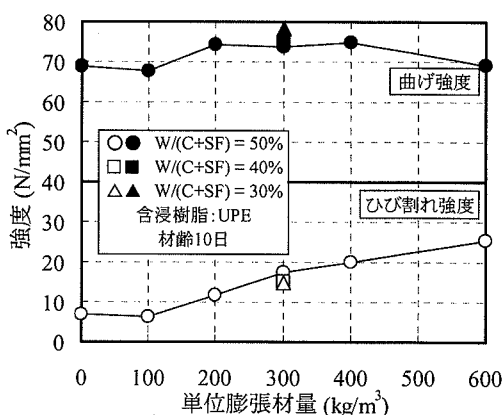


図-8 材齢 10日強度と単位膨張材量の関係

向にあった。

図-6に材齢10日までの最大膨張ひずみと単位膨張材量の関係を示す。水結合材比を50%一定とした場合、単位膨張材量の増加に伴い、膨張ひずみは増加する傾向にあった。しかし、単位膨張材量が400kg/m³以上の供試体では、材齢10日の時点で過膨張による変形が目視で観察され、そのそり量[図-6参照、そり量 $\delta = t_1$ (変形後のみかけのプレート厚さ) - t_0 (プレート厚さ)]は約5~10mmであった。一方、単位膨張材量が300kg/m³以下の供試体ではこのようなそりは全く観察されなかった。過大なそりは型枠としての寸法精度を阻害すると考えられる。従って、本研究では、3D-GFRPに充填する膨張ペーストの単位膨張材量は、300kg/m³以下で選定した。

b) 曲げ特性

表-4に曲げ強度試験結果を、図-7に曲げ応力と下縁ひずみとの関係の1例を示す。本実験の範囲では、力学的特性に及ぼす拘束解放の影響は小さいと考え、以下の考察ではその影響を考慮しなかった。曲げ応力~下縁ひず

み曲線の変曲点で内部ペーストにひび割れが発生し、その後、3D-GFRPの下縁が破断して終局に至った。

図-8に材齢10日における強度と単位膨張材量の関係を示す。ひび割れ強度は、曲げ応力~下縁ひずみ曲線の接線の傾きが急変する点より推定した。単位膨張材量の増加に伴い、ひび割れ強度は増加する傾向にあり、ケミカルプレストレス効果が確認された。破壊後の内部ペーストを観察した結果、ひび割れが分散して発生しており、単位膨張材量が多い供試体ほどその傾向が顕著であった。これは、ケミカルプレストレス効果により、3D-GFRPとペーストの一体性が向上し、ひび割れが抑制されたためであると推察される。単位膨張材量が最も多い50-600供試体のひび割れ強度は、約25N/mm²であった。また、曲げ強度は単位膨張材量を変化させたことによる強度増加の傾向は明確ではないものの、各ケースとも約68~78N/mm²であり、3D-GFRPの補強効果により非常に高い強度となった。CFRP緊張材や鋼材と膨張コンクリート(単位膨張材量50~150kg/m³)を用いてケミカルプレスト

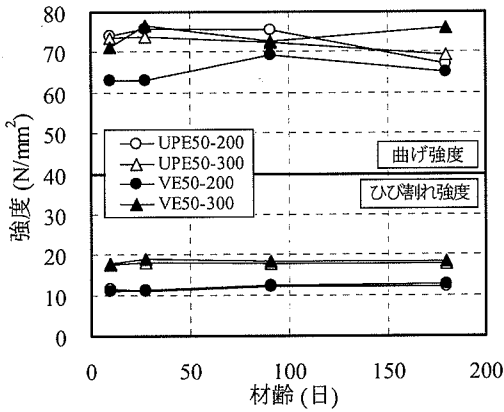


図-9 曲げ強度の経時変化

表-5 引張強度試験結果

	VE50-0	VE50-300
ひび割れ強度*(N/mm ²)	1.66	7.91
引張強度*(N/mm ²)	21.6	23.4
弾性係数 E ₁ (N/mm ²)	12500	13900
弾性係数 E ₂ (N/mm ²)	1320	1400
破断ひずみ(μ)	14300	13500 [1620]

注)*: 強度はプレートの全断面積を用いて計算

[]: x方向膨張ひずみ

E₁: A部(図-10)の傾きよりプレート全断面積を用いて計算

E₂: B部(図-10)の傾きよりプレート全断面積を用いて計算

レスを導入した薄板に関する実験では、その曲げ強度は11~17N/mm²程度あることが報告されている¹⁵⁾¹⁶⁾。本実験で製作したプレートはこれらの既報告と比較しても、非常に高い曲げ強度を有していた。

図-9に材齢10, 28, 91, 180日における曲げ強度の経時変化を示す。3D-GFRPはガラス繊維を使用しているため、セメントペーストを注入した場合、アルカリ劣化による強度低下が危惧される。そこで本研究では、ガラス繊維の含浸樹脂として一般的に用いられるUPE樹脂と耐アルカリ性に優れたVE樹脂を使用して、含浸樹脂が長期曲げ強度に及ぼす影響について検討した。含浸樹脂の種類に関わらず、ひび割れ強度は材齢10日から大きく変化せず、材齢180日に至るまでほぼ一定値を示している。曲げ強度についても、供試体で多少の変動はあるものの、強度の低下は小さく、安定していることが確認できた。今後、さらに長期的な性状を確認する必要がある。

c) 引張特性

表-5に引張強度試験結果を、図-10に引張応力とひずみの関係の1例を示す。プレートは、引張応力~ひずみ曲線の変曲点で内部ペーストにひび割れが発生し、その後3D-GFRPが破断して終局に至った。ひび割れ強度は、

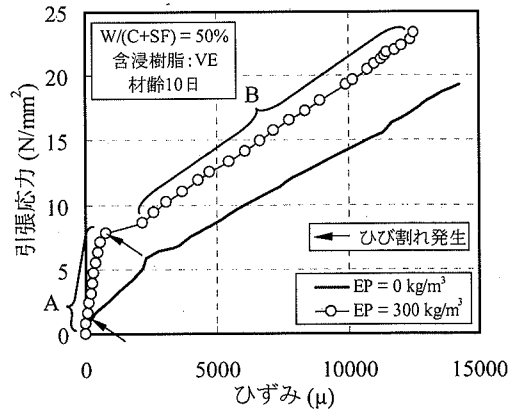


図-10 引張応力とひずみの関係

表-6 コンクリートの示方配合(遮塩性試験)

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤* (cc/m ³)	
		W	C	S	G	AE 減水剤	AE 助剤
70	48	176	250	882	988	2500	1250

注)*: AE減水剤は25%溶液, AE助剤は1%溶液を使用

配合50-300が7.91N/mm²、配合50-0が1.66N/mm²となり、ケミカルプレストレスの導入効果により約5倍のひび割れ強度が得られた。プレートの引張強度は、配合による大きな差は見られず、約22N/mm²と高い強度を示した。また、プレート破壊時の3D-GFRP表面の破断ひずみは、養生時におけるx方向膨張ひずみと引張試験時の引張ひずみを合計すると約14000μであり、表-2に示す3D-GFRPの引張特性値から計算した終局ひずみ(16400μ=引張強度/弾性係数)に比較的近い値を示した。3D-GFRPはプレートの補強材として、その引張強度を十分発揮しているものと考えられる。

3. プレートの耐久性

(1) 実験概要

プレートを埋設型枠としてコンクリート構造物に適用し、高耐久性を付与することを目的として、埋設型枠の耐候性および遮塩性について検討を行った。

a) 耐候性試験

埋設型枠は常に外部から日射を受ける環境下での供用が想定され、プレートの耐候性を十分に把握する必要がある。本実験では、樹脂で含浸成形した3D-GFRPの耐候性による劣化が最も危惧されたため、3D-GFRPのみを日射環境下に長期間暴露し、目視観察と膨張ペーストを充填したプレートの曲げ強度の経時変化から耐候性を評価

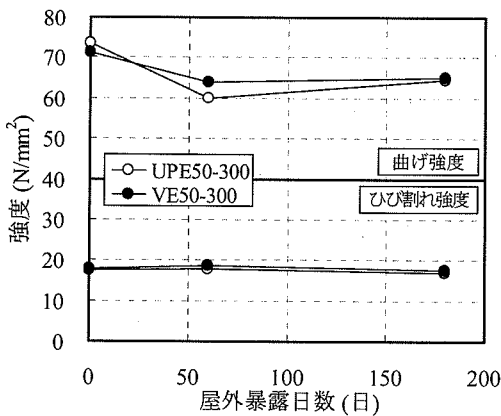


図-11 プレートの耐水性

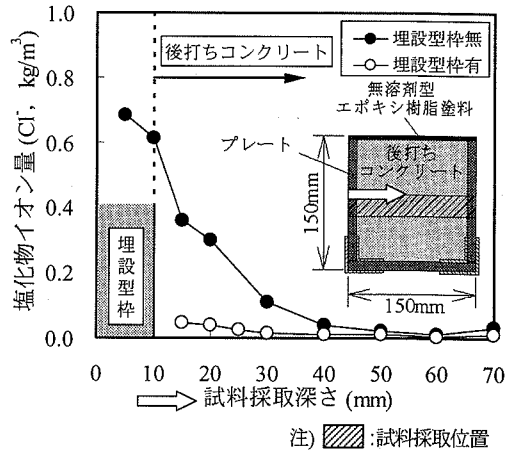


図-12 プレートの遮塩性

した。試験には、UPE樹脂およびVE樹脂を含浸樹脂とした10×300×300mmの3D-GFRPを使用した。日射環境下において所定の期間(2, 6ヶ月)暴露した時点で、膨張ペースト(配合50-300)を充填し、材齢10日において図-3に示す曲げ強度試験を行った。

b) 遮塩性試験

高耐久性埋設型枠としては、海洋環境下における塩化物イオンの浸透抑制、耐海水性等が必要となる。そこで、プレートの遮塩性を確認するため、図-12に示すように埋設型枠用プレートを無筋コンクリートの表層に埋設した供試体(150×150×530mm)を製作した。後打ちコンクリートの打設面には無溶剤型エポキシ樹脂塗料により表面処理を施し、後打ちコンクリートを埋設型枠とエポキシ樹脂により完全密封状態とした。材齢28日から供試体を人工海水に2ヶ月間浸漬した後、供試体の浸漬面からコンクリートドリルによりコンクリート片を採取した。コンクリート表面より深さ5~10mm毎にドリルによって0.15mm以下の試料を採取した。試験は、「硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法(JCI-SCS)」に準じ、風乾試料を蒸留水により希釈、煮沸、冷却した後、市販の塩分計による簡易測定法により塩化物イオン量を測定した。

(2) 使用材料

3D-GFRPに充填する膨張ペーストの使用材料は、2章3節で述べたものと同様である。

遮塩性試験で使用したコンクリートは、セメントに普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm³)を、細骨材には野洲川産川砂(密度: 2.61g/cm³, FM=2.65)、粗骨材に高槻産硬質砂岩碎石(密度: 2.68g/cm³, FM=6.89, MS=20mm)を使用した。コンクリートの設計基準強度は24N/mm²とし、目標スランプは7.5±1cm、目標空気量は4±1%とし

た。表-6にコンクリートの示方配合を示す。

(3) 実験結果および考察

a) 耐水性

図-11に曲げ強度と屋外暴露期間の関係を示す。ひび割れ強度に関しては、屋外暴露期間に関わらずほぼ一定値を示した。一方、曲げ強度は、暴露期間60日において若干の強度低下を示すものの、その後大きな変化は観察されなかった。本実験では、3D-GFRP自体の耐水性は確認できたが、プレートとして膨張ペーストを充填した場合の耐水性の検討も今後必要である。

b) 遮塩性

図-12に遮塩性試験結果を示す。埋設型枠を使用していない供試体は、供試体表面より塩化物イオンが浸入している。それに対して、埋設型枠を用いた供試体では、埋設型枠表面からの塩化物イオンの浸入量が極めて小さい。浸漬後2ヶ月の時点では、3D-GFRPを用いた埋設型枠は優れた遮塩性を有していた。しかし、浸漬期間が短く遮塩性の評価としては不十分であるため、さらに長期的な計測が必要である。

4. プレートを埋設型枠に適用したRCはりの曲げせん断性状

(1) 実験概要

プレートを埋設型枠に適用したRCはりを作成し、その曲げおよびせん断性状について実験的検討を行った。表-7に供試体名および要因を示す。プレートの拘束体には、耐アルカリ性に優れたVE樹脂を用いた3D-GFRPを、充填材には2章の実験結果より最適な配合として選定した膨張ペースト(配合50-300)を使用した。また、埋設型

表-7 供試体名および要因

埋設型枠用プレート			
3D-GFRP 含浸樹脂		ビスフェノール系エポキシアクリレート樹脂 [VE樹脂]	
膨張ペーストの配合		50-300 [W/(C+SF)]=50%, EP=300kg/m ³	
プレートと後打ちコンクリートの界面処理方法		粒径 2~3mmのケイ砂散布処理	
埋設型枠 RC はり			
供試体名	設計破壊形式	荷重条件 (a/d)	埋設型枠配置タイプ
F-3.6	曲げ破壊 先行型 (F)	3.6	無
F-3.6A			タイプ A
F-3.6B			タイプ B
S-3.	せん断破壊 先行型 (S)	3.0	無
S-3.6B		3.6	タイプ B
S-3.0B		3.0	
S-2.0B		2.0	

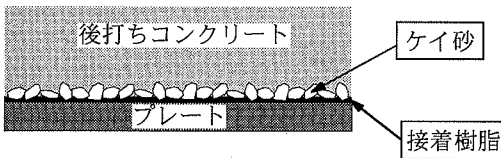
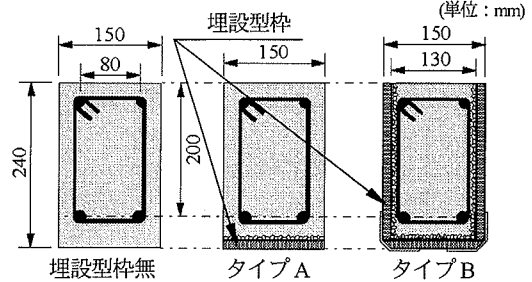


図-13 プレートと後打ちコンクリート間の界面処理状況

表-8 ガラス繊維補強材の力学的特性

種類	目付量 (g/m ²)	厚さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
ガラスチョップ ストランドマット	450	0.8~ 1.2	60~90	6×10 ³ ~9×10 ³
ガラスロービング クロス	580	0.5~ 0.7	200~250	18×10 ³ ~20×10 ³

表-9 プレートの力学的特性

荷重時材齢	材齢 42 日
膨張ひずみ (μ) *1	1450
圧縮強度 (N/mm ²)	72.7
曲げひび割れ強度 (N/mm ²) *2	15.3
曲げ強度 (N/mm ²)	67.5
引張ひび割れ強度 (N/mm ²) *3	7.91
引張強度 (N/mm ²)	23.4
破壊ひずみ (μ)	13500

注) *1: プレート表面の x 方向と y 方向の平均値

*2: 曲げ強度試験の σ - ϵ 曲線より推定

*3: 引張強度試験の σ - ϵ 曲線より推定

表-10 コンクリートの力学的特性

荷重時材齢	材齢 14 日
圧縮強度 (N/mm ²)	32.7
弾性係数 (N/mm ²)	28300
引張強度 (N/mm ²)	2.81
曲げ強度 (N/mm ²)	3.75

枠をコンクリート構造部材の一部、つまりかぶりとしてその機能を発揮させるには、プレートと後打ちコンクリートの構造一体性の確保が重要となる。そこで本研究では、プレートと後打ちコンクリート間の界面処理方法としては、図-13に示すような粒径2~3mmのケイ砂散布処理とした¹⁷⁾。

表-7には、埋設型枠の配置断面図も同時に示す。曲げ破壊先行型供試体は、埋設型枠をはり底面のみに適用したタイプAと後打ちコンクリート打設面を除く全面に適用したタイプB、そして比較用普通RCはりを含めて3体製作した。一方、せん断破壊先行型供試体は、タイプBのみの仕様で比較用普通RCはりを含めて4体製作し、せん断スパン有効高さ比 (a/d)を2.0, 3.0, 3.6と変化させた。

(2) 使用材料および配合

3D-GFRPに充填する膨張ペーストの使用材料は、2章3節に述べたものと、また、コンクリートの使用材料は、セメントに早強ポルトランドセメント(密度: 3.14g/cm³)を使用した以外は、3章2節に述べたものと同一である。表-8にタイプBの埋設型枠の製作(接合部の補強)に使用したガラス繊維補強材(ガラスロービングクロスとガラスチョップストランドマット)の力学的特性を示す。

3D-GFRPに充填する膨張ペーストの配合は、水結合材

比[W/(C+SF)]を50%、シリカフェーム置換率[SF/(C+SF)]を20%、単位膨張材量を300kg/m³とした。表-9に荷重試験時におけるプレートの力学的特性を示す。なお、圧縮強度は、図-2に示すプレートを20×20mm(厚さ10mm)に切

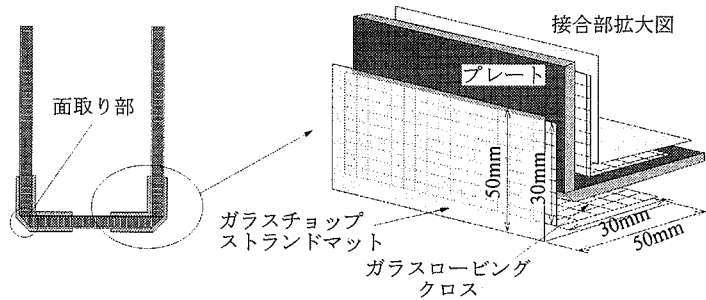


図-14 埋設型FRP接合部の補強状況

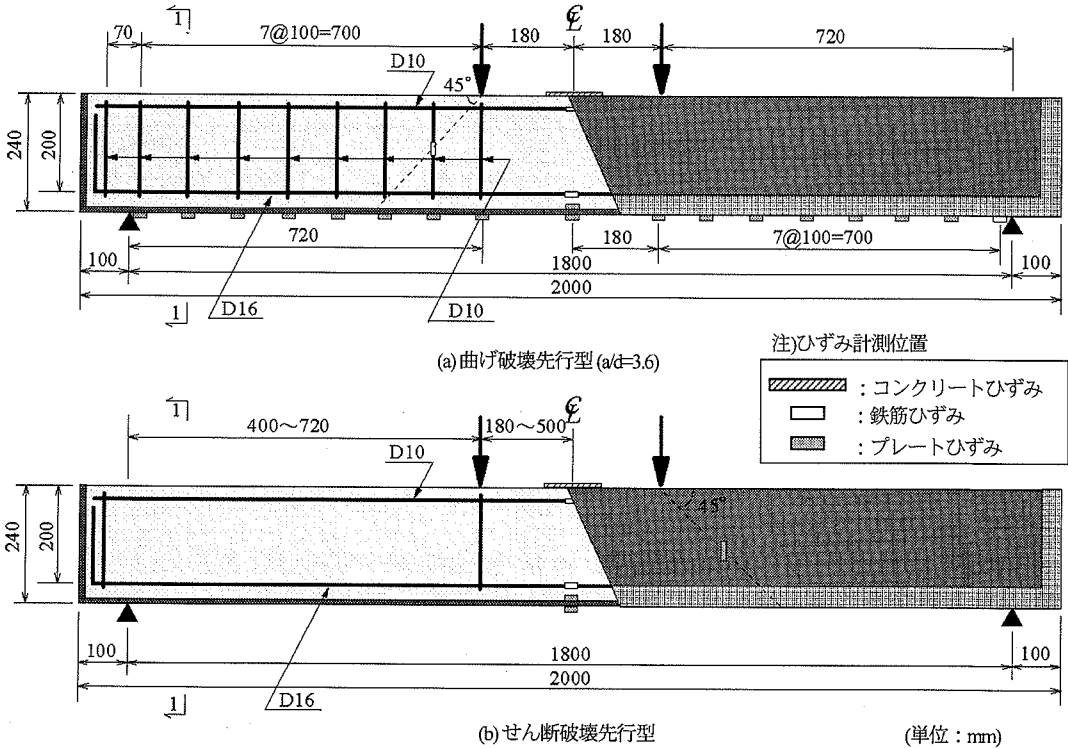


図-15 埋設型FRP RCはり供試体概要

断し、図-1のx方向に荷重した場合の強度である。後打ちコンクリートは、設計基準強度を 27N/mm^2 とし、目標スランプは $7.5 \pm 1\text{cm}$ 、空気量は $4 \pm 1\%$ とした。表-10に荷重試験時におけるコンクリートの力学的特性を示す。

(3) 埋設型FRP RCはり供試体の製作方法

タイプBの埋設型FRP製作手順を以下に述べる。まず、所定の寸法に3D-GFRPを切断し、膨張ペーストを充填する。1日恒湿恒温室内($20 \pm 1^\circ\text{C}$, $90 \pm 5\%\text{RH}$)で養生した後、図-14に示すように、プレートを仮組みし、型枠内外面の接合部をガラスローピングクロス、ガラスチョップストランドマットの順にVE樹脂を含浸させながら接着補強する。なお、型枠底面のコーナー部にあたるプレ

ート端部は、接着作業性の改善と荷重時の応力集中を防ぐために、予め面取りを施した。その後、所定量のケイ砂(粒径 $2 \sim 3\text{mm}$)を型枠内面にVE樹脂を用いて接着した。埋設型FRPの製作後は、室内で21日間気中養生した。

図-15に埋設型FRP RCはり供試体の概要と荷重条件を示す。埋設型FRPの養生終了後、型枠内に鉄筋を配置し、コンクリートを打込んだ。その後、材齢14日で荷重試験を実施した。供試体寸法は、埋設型FRPを含めた外寸で、 $150 \times 240 \times 2000\text{mm}$ とし、引張鉄筋には、 $D16(\text{SD}345, f_t=383\text{N/mm}^2, f_c=591\text{N/mm}^2)$ を2本配置した。有効高さは 200mm 、引張鉄筋比は 1.32% である。曲げ破壊先行型供試体は、せん断破壊が先行しないように、スターラップに $D10(\text{SD}345, f_t=361\text{N/mm}^2, f_c=519\text{N/mm}^2)$ を 100mm 間隔

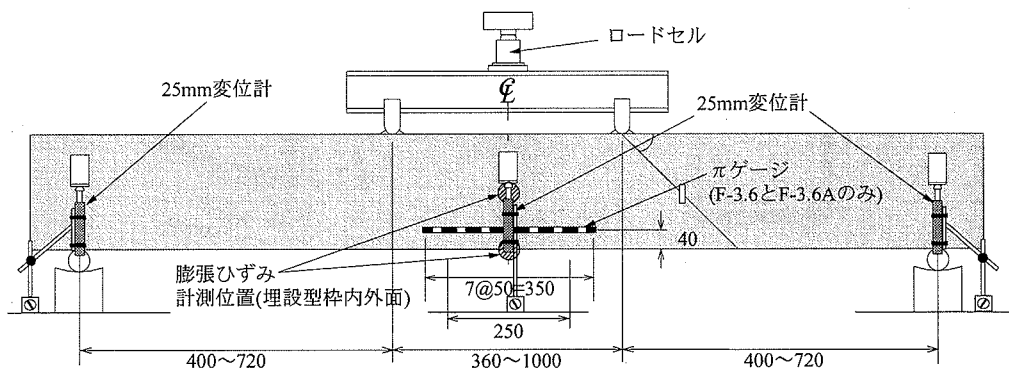


図-16 計測概要

(単位: mm)

表-11 静的荷重試験結果

供試体名	実験値 (kN)					計算値 (kN)			
	P_{σ}	P_y	P_{σ}	P_u	破壊形式	P_{mu}	P_u/P_{mu}	P_{wu}	P_u/P_{wu}
F-3.6	17.2	74.0	—	87.0	曲げ破壊	76.8	1.13	218	—
F-3.6A	24.5	86.7	—	99.7(1.15)	底面プレート破断→曲げ破壊	93.3	1.07	218	—
F-3.6B	35.1	108	—	142(1.63)	底面プレート破断→曲げ破壊	137	1.04	388	—
S-3.0	19.6	—	81.9	81.9	斜め引張破壊	92.2	—	76.6	1.07
S-3.6B	—	108	—	142	底面プレート破断→曲げ破壊	137	1.04	241	—
S-3.0B	—	132	—	168	底面プレート破断→曲げ破壊	164	1.02	246	—
S-2.0B	—	—	123	126[1.54]	側面プレート剥離→せん断引張破壊	246	—	258	0.49

注) P_{σ} : 曲げひび割れ発生荷重, P_y : 降伏荷重, P_{σ} : 斜めひび割れ発生荷重, P_u : 最大荷重

P_{mu} : 計算曲げ耐力, P_{wu} : 計算せん断耐力, (): F-3.6の耐力に対する比率, []: S-3.0の耐力に対する比率

で配置した。比較用として断面寸法と補強筋量が同一の普通RCはりを曲げ破壊用・せん断破壊用に各々1体ずつ製作した。

(4) 荷重方法および計測項目

図-16に計測概要を示す。荷重条件は、曲げ破壊先行型供試体の場合、支点間距離1800mm、曲げスパン360mm、せん断スパン有効高さ比(a/d)3.6で一定の対称2点集中荷重とした。一方、せん断破壊先行型供試体の場合は、支点間距離1800mm、曲げスパン1000、600、360mm、せん断スパン有効高さ比(a/d)2.0、3.0、3.6の対称2点集中荷重とした。比較用の普通RCはりについては、a/dを3.0とした。荷重速度は毎秒1kNとした。

計測項目は、図-15および図-16に示すように、スパン中央圧縮縁のコンクリートひずみ、スパン中央の圧縮および引張鉄筋ひずみ、型枠底面の曲げ引張方向のプレートひずみ、スパン中央たわみである。なお、タイプB供試体はスパン中央の埋設型枠表面のひずみ分布、曲げ破壊先行型供試体のF-3.6およびF-3.6A供試体は曲げスパン内の引張鉄筋位置におけるひび割れ幅、せん断破壊先行型供試体はせん断スパン内の埋設型枠側面のひずみも計測した。プレートの膨張ひずみは、底面と側面の埋設型

枠中央部の内外面において、膨張ペースト充填直後から荷重直前まで継続的に計測した。

(5) 実験結果および考察

a) 破壊性状

表-11に静的荷重試験結果を示す。曲げ破壊先行型の比較用F-3.6供試体は、引張鉄筋降伏後、曲げスパン圧縮部コンクリートが圧壊して終局に至った。埋設型枠用プレートをを用いたF-3.6AおよびF-3.6B供試体は、ともにはり中央部底面のプレートが破断し、その後コンクリートが圧壊して終局に至った。これら2体のRCはりでは、終局時まで埋設型枠の接合補強部の損傷は観察されなかった。

せん断破壊先行型の比較用S-3.0供試体は斜め引張破壊であった。S-3.6BおよびS-3.0B供試体はせん断破壊せず、引張鉄筋降伏後、はり中央部底面のプレートが破断した後、圧縮部コンクリートが圧壊した。これらの供試体は、曲げ破壊した供試体と同様に、終局時まで埋設型枠の接合補強部の損傷は観察されなかった。それに対し、S-2.0B供試体は、はり側面に用いたプレートが端板プレートとの接合補強部でガラス繊維補強材の破断が生じ、供試体上縁端部から荷重点に向かって剥離が生じた。a/dが小さくせん断破壊が卓越するような場合には、側

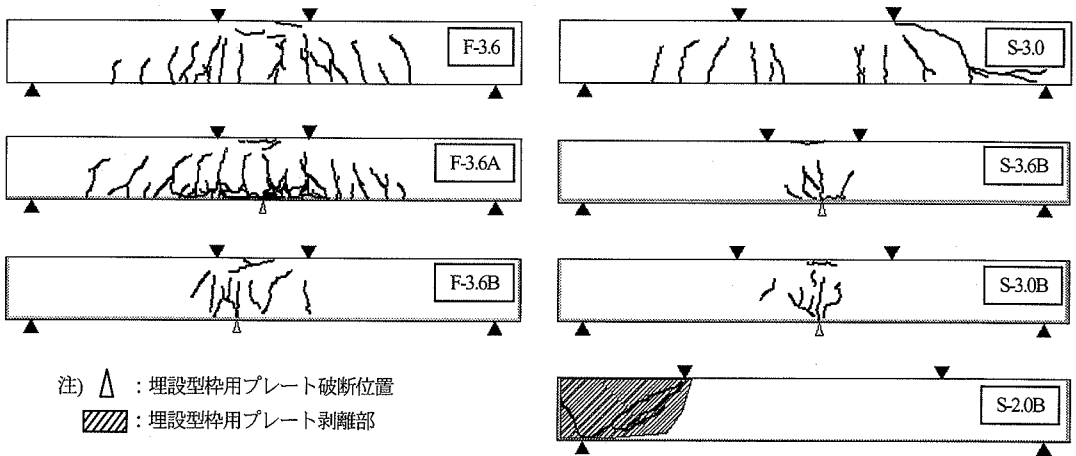


図-17 ひび割れ状況図

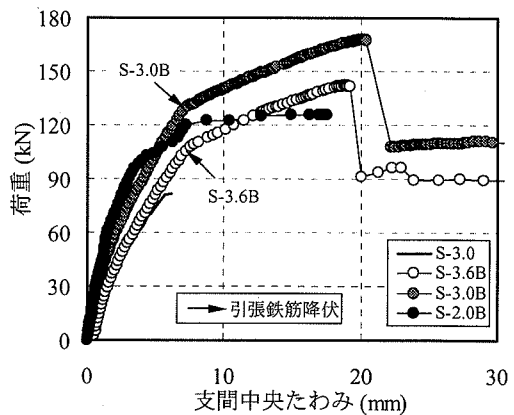
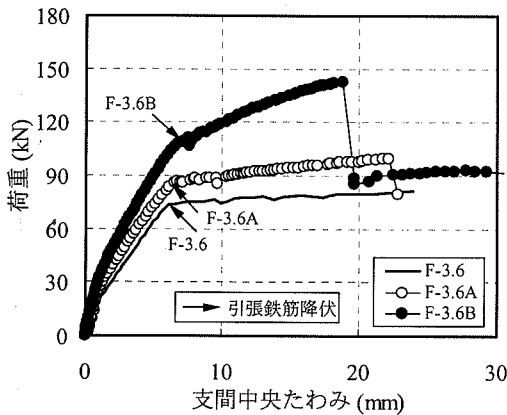


図-18 荷重と支間中央たわみの関係

面プレートと端板プレートとの接合面を十分に補強する必要があると考えられる。

図-17に各供試体の載荷終了時におけるひび割れ状況図を示す。埋設型枠の配置タイプBの供試体は、載荷試験終了後、埋設型枠を取り除いてひび割れ状況を観察した。曲げ破壊したF-3.6B、S-3.6B、S-3.0B供試体は、せん断スパンにはひび割れが観察されず、曲げスパンのプレート破断位置付近に大きな曲げひび割れが集中して発生していることを確認した。せん断破壊したS-2.0B供試体は、後打ちRCはりがせん断引張破壊を生じていた。また、プレートが破断した付近のプレートとコンクリートとの附着性状を確認したところ、プレートのケイ砂散布処理を施した界面にコンクリート塊が附着していることが確認できた。

b) 変形状

図-18に荷重と支間中央たわみの関係を示す。曲げ破壊先行型の埋設型枠を用いた供試体は、普通RCはりの

F-3.6供試体に比較して、曲げひび割れ発生荷重および降伏荷重が増加した。また、曲げひび割れ発生以降の曲げ剛性が大きくなり、引張鉄筋降伏以降も荷重が増加した。特に、埋設型枠をはり底面と側面に用いたF-3.6B供試体は、引張鉄筋降伏以降の荷重増分が大きく、埋設型枠による曲げ補強効果が確認できる。一方、せん断破壊先行型におけるS-3.6BおよびS-3.0B供試体は、曲げ破壊先行型のF-3.6B供試体とほぼ同様の変形状を示した。a/dの等しいS-3.0供試体とS-3.0B供試体を比較すると、埋設型枠を使用することによる供試体の剛性および変形状の向上が著しい。本実験のa/d=3.0~3.6の範囲においては、せん断破壊するRCはりへ埋設型枠の配置によるせん断補強効果により、曲げ破壊に移行したものと考えられる。

a/dが最も小さいS-2.0B供試体は、引張鉄筋降伏前に、プレートの剥離に伴い供試体の変形が急激に大きくなり、その後荷重の増加は小さく、変位のみが増加して終局に至った。最終的にはせん断破壊したものの、破壊に至る

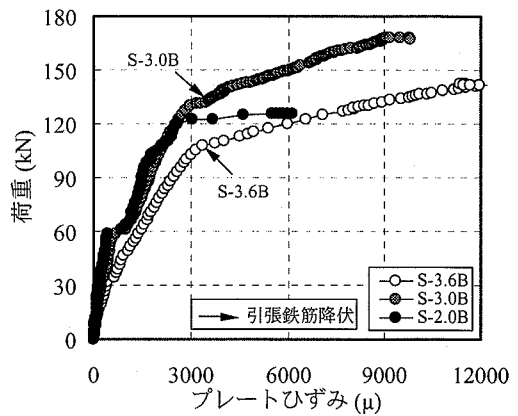
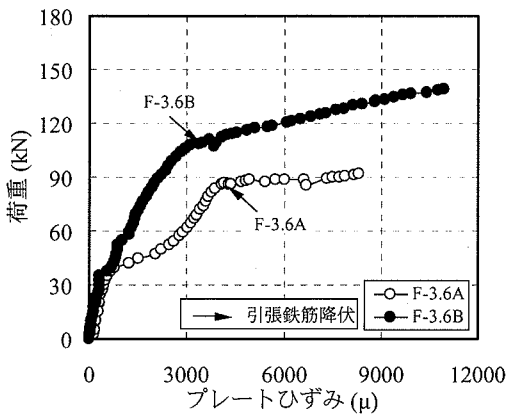


図-19 荷重とプレート支間中央ひずみの関係

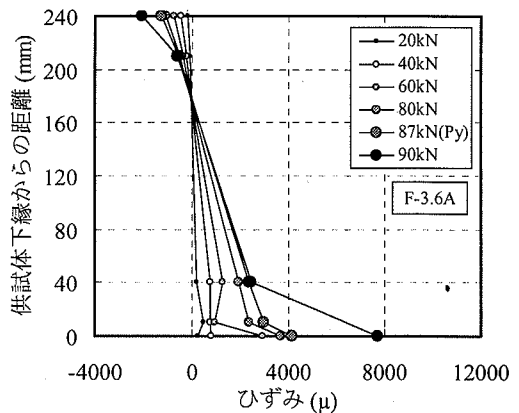
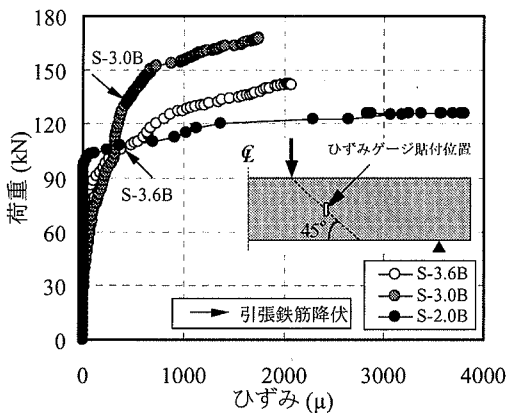


図-20 荷重とせん断スパンにおける側面プレートひずみの関係

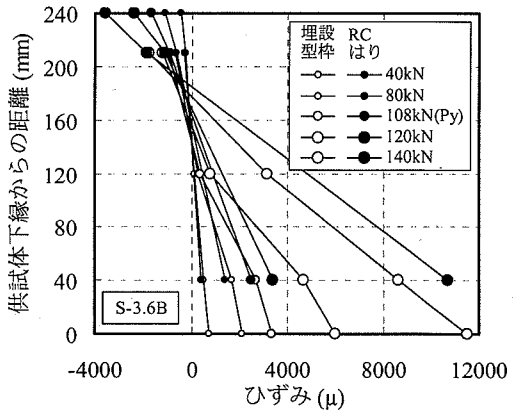


図-21 断面ひずみ分布

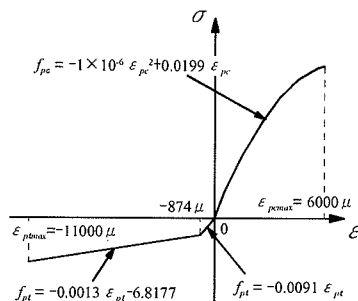
までの挙動は、曲げ破壊するRCはりと同様変形量が大きく、じん性的な挙動を示すことが確認できた。

c) 埋設型枠(プレート)ひずみ

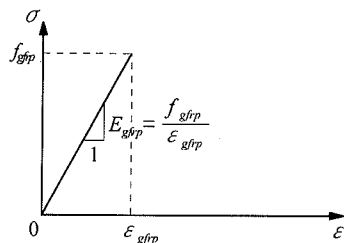
図-19に荷重と曲げスパン中央部の底面に埋設したプレートひずみの関係を示す。曲げひび割れ発生直後、ひずみ曲線が変化している部分がある。これはプレート内部の膨張ペーストにひび割れが発生した時点であると考えられる。せん断破壊したS-2.0B供試体を除き、各供試体とも引張鉄筋が降伏するまで荷重の増加とともにほぼ一定の割合で増加した。引張鉄筋降伏後のプレートひずみも、最大荷重に至るまでほぼ一定の割合で急激に増加している。これは、プレートが破断する直前までコンクリートとプレート間の付着が良好であったことを示しており、プレートが引張鉄筋降伏後も有効に載荷荷重に抵抗することが確認できた。

図-20に荷重とせん断スパンにおける側面プレートのひずみの関係を示す。S-3.6BおよびS-3.0B供試体は、載荷初期段階ではひずみの増分は小さいが、引張鉄筋降

伏以降その変化量が大きくなっており、せん断力を効果的に負担していることが確認できる。一方、せん断引張破壊したS-2.0B供試体は、載荷開始からひずみの変化はほとんどみられないが、荷重が100kN付近で急激にひずみが増加した。これは、斜めひび割れの発生によって、せん断変形が大きくなったことに起因するものと考えられる。



(a)プレート



(b)ガラス繊維補強材

図-22 埋設型枠の応力～ひずみモデル

d) 断面ひずみ分布

図-21に供試体中央部における断面ひずみ分布の1例を示す。はり底面のみ埋設型枠を埋設したF-3.6A供試体は、引張鉄筋降伏前の荷重レベルからプレート面で若干のひずみ差が生じている。S-3.6B供試体では、埋設型枠用プレート表面ひずみと後打ちコンクリート上縁圧縮ひずみおよび鉄筋ひずみから、埋設型枠と後打ちRCはりの断面ひずみ分布を比較した。曲げ破壊したS-3.6B供試体の断面ひずみ分布は、引張鉄筋降伏以降も埋設型枠表面と後打ちRCはりのひずみ分布が概ね一致しており、終局に至るまで一体となって挙動していることが確認できる。F-3.6B、S-3.0B供試体も同様の傾向を示した。

e) 耐力の計算

表-11に各供試体の終局耐力の実験値と計算結果を示す。曲げ破壊先行型で埋設型枠を設置した供試体は、埋設型枠の配置タイプに関わらず、普通RCはりの耐力を上回った。特にF-3.6B供試体はF-3.6供試体に対して約1.6倍の値を示しており、高い曲げ補強効果が認められた。せん断破壊先行型においても、プレートがせん断補強材として効果的にせん断力を負担したため、せん断耐力が増加し、曲げ破壊に移行した。特にa/d=3.0の場合、埋設型枠を用いることで約2倍の耐力増加を示した。

埋設型枠を用いたRCはりの曲げ耐力は、曲げ破壊した供試体が全てはり底面のプレートが破断して終局に至ったことを考慮し、RCはり断面内の圧縮合力と引張合力の釣り合いから断面分割法により、以下の仮定を用いて曲げ耐力を計算した。

- 1) 供試体断面を部材高さ方向に2.5mm間隔の96分割する。
- 2) プレートは破断に至るまではり底面および側面に完全接着しており、縦ひずみは部材断面中立軸からの距離に比例する。(平面保持の仮定)
- 3) コンクリートの引張強度は無視する。
- 4) コンクリートおよび鉄筋の応力～ひずみ関係は、土木学会コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕¹⁸⁾に規定されているモデルを用いる。プレートの引張応力～ひずみ関係は、2章の引張強度試験結果を参考に、直図-22に示すように圧縮強度試験から得られた応力～ひずみ関係を近似した2次曲線モデルを使用した。
なお、図中の記号は以下に示すとおりである。
f_{pc}: プレート圧縮応力, ε_{pc}: プレート圧縮ひずみ,
ε_{pcmax}: プレート最大圧縮ひずみ,
f_{pt}: プレート引張応力, ε_{pt}: プレート引張ひずみ,
ε_{ptmax}: プレート破断ひずみ
- 5) 埋設型枠を用いた供試体は、底面に用いたプレート下縁ひずみが破断ひずみに達した時点を終局ひずみとして曲げ耐力を計算する。はり載荷試験結果を参考に、プレート下縁の破断ひずみ ε_{pcmax} は、11000 μと仮定する。

- 6) はり側面にも埋設型枠を用いたタイプB供試体は、側面のプレートも曲げに抵抗する。また、埋設型枠のコーナー部の補強に使用したガラス繊維補強材は、図-22に示すように曲げ引張方向の補強材として考慮する。

- 7) 埋設型枠を用いていないRCはりには、終局圧縮ひずみ(ε'_{cu})を3500 μとして曲げ耐力を計算する。

曲げ破壊した埋設型枠供試体は、実験値と計算値の比率が1.02～1.07であり、実験結果と高い整合性が得られた。埋設型枠を用いたRCはりの曲げ耐力は、埋設型枠の破断がコンクリートの圧壊に先行して破壊に至る場合、平面保持の仮定に基づき断面分割法を用いて十分評価できるものと考えられる。

一方、せん断耐力の計算については、式(4.1)～(4.4)を使用した。はり側面に用いたプレートがせん断補強材としてスターラップなどと同様にせん断力に抵抗するものと仮定した。

$$V = V_c + V_w \quad (4.1)$$

ここで、V: せん断耐力

V_c: せん断補強鋼材を用いない棒部材のせん断力

$$V_c = 0.20 \beta_d \beta_p (f'_c)^{1/3} \cdot \{0.75 + 1.4/(a/d)\} \cdot b_w d \quad (4.2)$$

$$\beta_d = (1/d)^{1/4} \quad (d: \text{m}), \quad d: \text{有効高}, \quad \beta_p = (100 p_w)^{1/3}$$

f_c : コンクリートの圧縮強度, a : せん断スパン長さ
 b_w : はりの断面幅, $p_w = A_s / (b_w \cdot d)$
 A_s : 引張鉄筋の断面積
 V_w : せん断補強材により受け持たれるせん断耐力

$$V_w = (p_w \cdot \sigma_w) \cdot b_w \cdot z \quad (4.3)$$

$$\left. \begin{aligned} p_w &= p_s + p_p = 2 \cdot A_{sw} / (b_w \cdot s) + 2 \cdot b_p / b_w \\ p_w \cdot \sigma_w &= p_s \cdot \sigma_s + p_p \cdot \sigma_p \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

z : $d/1.15$, p_s : スターラップのせん断補強比
 p_p : プレートのせん断補強比
 A_{sw} : スターラップ1本の断面積, s : スターラップ間隔
 b_p : プレートの厚さ, σ_s : スターラップの降伏強度
 σ_p : プレートの引張強度

スターラップを用いないせん断破壊先行型供試体の場合, 埋設型枠を使用しないRCはりではせん断破壊するが, 埋設型枠用いると, 側面プレートがせん断補強材としてせん断耐力に抵抗するため, 2体のはりが曲げ破壊に移行した。計算結果においても, 曲げ耐力よりせん断耐力の方が大きくなっている。一方, せん断破壊したa/dが最も小さいS-2.0B供試体は, 実験値が計算値を大きく下回った。これは, せん断スパンにおいて側面プレートの剥離が先行して破壊に至ったためと考えられる。

5. 結論

本研究では, 三次元中空構造ガラス織物を用いた薄型プレートを埋設型枠へ適用することを目的として, プレートの基本物性と耐久性について検討を行った。また, プレートを埋設型枠に適用したRCはりを製作し, その曲げせん断性状について検討を行った。本研究より明らかになった点を以下に示す。

- (1) 三次元中空構造ガラス織物を拘束体として, 膨張ペーストに適切な配合を選定することにより, ひび割れ強度と曲げ強度を大きく改善した薄型プレートの製作が可能である。
- (2) 今回の暴露試験の範囲においては, 三次元中空構造ガラス織物を使用した薄型プレートは耐候性, 遮塩性に対して優れた抵抗性を有している。
- (3) プレートを埋設型枠に適用したRCはりは, これを使用していない通常のRCはりに比較して曲げ剛性や耐力が増加し, プレートの曲げ補強効果が認められた。また, せん断スパン有効高さ比(a/d)が3.0~3.6の範囲では, プレートのせん断補強効果も認められた。
- (4) プレートを埋設型枠に適用したRCはりの曲げ耐力は, 平面保持の仮定に基づき, 断面分割法により十

分評価が可能である。

今後, 耐久性に関しては, 耐アルカリ性の検討も含め長期的な性状の確認と, 埋設型枠の継目付近の遮塩性について検討が必要である。

謝辞: 本研究で使用した三次元中空構造ガラス織物は蝶理(株)より, ガラスロービングクロス, ガラスチョップストランドマットは, サカイ産業(株)より提供して頂きました。アイティシー(株)菅田豊氏, サカイ産業(株)酒井麓郎氏, 東レ(株)鈴木研二氏には, 本研究の遂行にあたり, 貴重なご意見を賜りました。また, 実験に際しては, 立命館大学大学院理工学研究科環境社会工学専攻の諏訪総氏, 近藤哲也氏にご協力頂きました。ここに記して, 厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長瀧重義: 建設工事の合理化と型枠, セメント・コンクリート, No.582, pp.4-5, 1995.
- 2) 小野武彦: 合板型枠の使用の削減, コンクリート工学, Vol.35, No.3, pp.70-77, 1997.
- 3) 内藤隆史, 松岡康訓, 新藤竹文, 小沢満三, 鶴田健: ポリマー含浸コンクリートによる高耐久性埋設型枠の開発, 土木学会論文集, No.435/VI-15, pp.21-23, 1991.
- 4) 山崎竹博, 出光 隆, 丸山 巖, 渡辺 明: ポリマーコンクリート埋設型枠を用いたRC部材の温泉地暴露試験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.1, 1991.
- 5) 坂井俊治, 小野 定, 大和竹史, 楠 貞則: レジンコンクリート永久型枠を用いたRC素材の荷荷性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, 1995.
- 6) 廣田孝夫, 大即信明, 守分教郎, 羽淵貴士: CFRPで補強されたプレキャスト版を永久型枠として用いた梁の曲げ特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.2, pp.789-794, 1991.
- 7) 堀井克章, 河野 清, 佐々木啓次: 連続繊維ネットとポリマー混和材を用いたモルタル板の諸性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.1, 1993.
- 8) 川口修宏, 森内誠司, 河野 清, 堀井克章: ガラス繊維とポリマーを用いた埋設型わくの基礎的性質とコンクリートとの付着性状, 第48回セメント技術大会講演集, pp.894-899, 1994.
- 9) 堀井克章, 河野 清, 筒崎 卓: 各種砂を用いた永久型枠用繊維補強ポリマーセメントモルタルの性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.83-88, 1995.
- 10) 小柳光生, 中根 淳, 関根正孝: 梁部材に使用する打込み型枠の一体性に関する実験報告, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, 1995.
- 11) 小柳光生, 中根 淳, 吉岡研三, 小林 謙: 打込み型枠を用い

- た合成梁構造の実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, 1997.
- 12) 佐藤裕一, 藤井鉄男, 瀬戸順考, 藤井 栄: 連続繊維メッシュ補強モルタル板を打込み型枠としたRC梁の曲げせん断性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.1261-1266, 1998.
- 13) 山崎竹博, 出光隆, 渡辺明: 高膨張コンクリートPC薄板のプレストレス導入に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, pp.1173-1178, 1997.
- 14) 加藤弘義, 高木宣章, 宮川豊章, 藤井 学: 膨張材を混入したシリカフェームコンクリートの特性について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.12, No.1, pp.111-116, 1990.
- 15) 国分正胤, 小林正凡, 長滝重義, 岡村 甫, 町田篤彦: 膨張性セメント混和材を用いたコンクリートの標準試験方法に関する研究, 土木学会論文報告集, No.225, pp.93-99, 1974.
- 16) 呉 承寧, 佐藤重一, 手塚正道, 今井昌文: 高膨張コンクリートを用いたケミカルPC板に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.709-714, 1998.
- 17) 井上真澄, 前園真一郎, 諏訪 聡, 高木宣章, 児島孝之: 三次元中空構造ガラス織物を用いた埋設型枠用薄板の曲げ特性, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, V-337, pp.673-674, 2002.
- 18) 土木学会: 2002年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編], pp.19-45, 2002.

(2003.10 受付)

DEVELOPMENT OF HIGHLY DURABLE PERMANENT FORMWORK MADE OF THREE-DIMENSIONAL HOLLOW STRUCTURE GLASS FABRIC

Masumi INOUE, Shinichiro MAEZONO, Nobuaki TAKAGI and Takayuki KOJIMA

In this study, the fundamental properties and mechanical behaviors of thin plate units of the 10mm thickness using a three-dimensional hollow structure glass fabric and expansive paste were examined. This plate unit has cracking strength of 15 N/mm², flexural strength of 70 N/mm², and high-durability.

This plate unit was used as highly durable permanent formwork of RC beam, and then the loading tests of RC beams were carried out. The ultimate load and stiffness of RC beams which applied the plate as permanent formwork were improved by using the silica sand spraying between concrete and plate.