

論文名：集中荷重を受ける複合炭素繊維補強コンクリート造円筒殻の耐力

日本建築学会構造系論文集、第 592 号、2005 年 6 月、105 - 112 頁

東海大学大学院生 工修 川崎健二郎 東海大学教授 工博 真下和彦

形状：円筒殻

研究目的：炭素短繊維補強コンクリート(Carbon Fiber Chip Reinforced Concrete; CFCRC)造に対して、新たに炭素繊維シート補強を同時併用した補強形態として、複合炭素繊維補強コンクリート(Composite Carbon Fiber Reinforced Concrete; CCFRC)造シェルを提案し、これによるシェルの耐力と破壊形態を実験的及び数値解析的に検証を行い、基礎的検討を行ったのでその結果を報告する。なお、比較のために、従来の鉄筋コンクリート(RC)造シェルに、炭素繊維シート補強を施した炭素繊維シート補強鉄筋コンクリート(Carbon Fiber Sheet Reinforced Concrete; CFSRC)造シェルの破壊実験および非線形数値解析を実施し、これらの結果と比較検討を行った。加えて、炭素繊維シート補強の貼付領域を変化させて、シェルの耐力に及ぼす効果についても検討を加えた。

A. 試験体形状

コンクリート造円筒殻を対象として、シェル面中央部に静的点荷重が作用した場合に於けるシェルの耐力及びひび割れ形態を実験的に検討する為、CFCRC造1体、CCFRC造2体、RC造1体及びCFSRC造2体で合計6体の小型実験供試体を作製し、破壊実験を行った。尚、Fig.1に本破壊実験で用いた実験供試体並びに載荷位置の図を示す。実験供試体寸法は水平投影面に於いて1120mm(L1) × 1120mm(L3)の正方形とし、ライズ・スパン比を1/5(L2/L1, L2:ライズ)とした。尚、曲率半径812mm、全開角87.1°となる。シェル境界を、縁部材幅及びせいが40mmの縁アーチ及び縁梁により補剛した。Fig.1にモデル図、Fig.2にシート補強状態を示す。

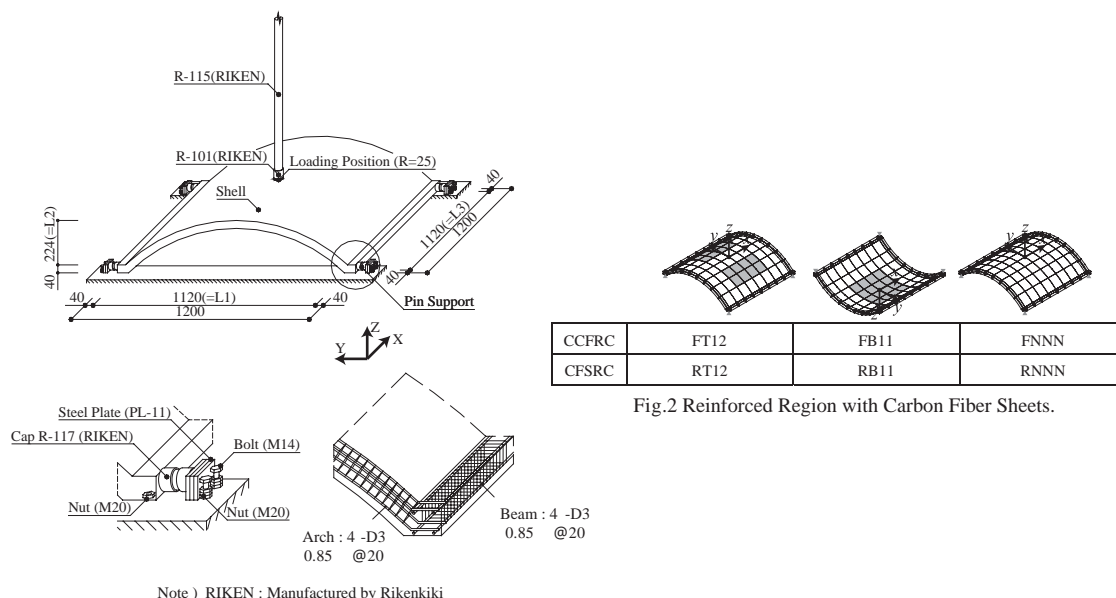


Fig.1 Loading System and Boundary Condition.

Fig.2 Reinforced Region with Carbon Fiber Sheets.

B.配筋状況

各縁部材配筋は、主筋にD3の異形鉄筋を使用し、あばら筋として 0.85mmの鉄線を20mm間隔とした。CFRC造及びCCFRC造の調合はセメント対骨材の重量比を1対1、水セメント比を37%とした。更に、炭素短繊維をセメント重量比に対して4%、その添加剤としてメチルセルロースを0.25%混入した。一方、CFSRC造のシェル面内配筋は 1.2mmの鉄線を20mm間隔で単配筋とした。炭素繊維シートは一層の平織りを採用した。シートは17 μm の束を織り込んであり、その厚さは0.19mmである。このシートを直交二方向、即ちシェルの母線方向と円弧方向となる様、エポキシ樹脂でコンクリート面に接着した。

C.材料定数

材齢は、4週強度としている。Table1 にコンクリート材料定数と板厚を示す。Table 2, 3, 4 に鉄筋、炭素繊維シート、炭素短繊維材料の材料定数を示す。

Table 1 Shell Model.

Model	Label = [1] - [2] - [3] - [4]				Material Properties of Concrete				Shell Thickness [mm]	
	Material Properties	Reinforced Surface	Reinforced Region		Young's Modulus : E [GPa]	Ultimate Compressive Strength : f_c [MPa]	Ultimate Tensile Strength : f_t [MPa]	Poisson's Ratio :	Average	Standard Deviation
			x	y						
FNNN			-	-	26.6	69.2	7.16	0.234	9.37	2.19
FT12	F: Carbon Fiber Chip Reinforced Concrete	N: None	$\pm 1/4$	$\pm 2/4$	22.8	65.7	7.05	0.250	9.65	1.90
FB11			$\pm 1/4$	$\pm 1/4$	27.8	78.3	6.52	0.232	9.23	2.29
RNNN	RReinforced Concrete	T: Top	-	-	26.1	67.4	3.62	0.195	11.6	2.23
RT12			$\pm 1/4$	$\pm 2/4$	22.8	65.7	3.75	0.250	11.8	2.62
RB11			$\pm 1/4$	$\pm 1/4$	22.8	65.7	3.75	0.250	9.33	2.49

Table 2 Material Properties of Steel Bar.

Steel Bar Diameter [mm]	Young's Modulus [GPa]	Yield Strength [MPa]	Ultimate Tensile Strength [MPa]
0.85	186	162	250
1.20	235	364	468
D3	198	334	487

Table 3 Material Properties of Carbon Fiber Sheet.

Type	Texture	Fiber Diameter [μm]	Tensile Strength [GPa]	Tensile Elasticity Modulus [GPa]	Elongation [%]	Density [N / mm^3]	Specific Gravity	Weight [N / mm^2]
TR3110MS	Plain Fabric	17.0	1.12	71.6	1.50	1.03×10^{-5}	1.90	1.96×10^{-6}

Table 4 Material Properties of Carbon Fiber Chip.

Type	Fiber Length (mm)	Fiber Diameter (μm)	Tensile Strength (GPa)	Tensile Elasticity Modulus (GPa)	Elongation (%)	Density (N/mm^3)	Specific Gravity
K661	18.0	17.0	1.77	180	1.00	1.90×10^{-5}	1.90

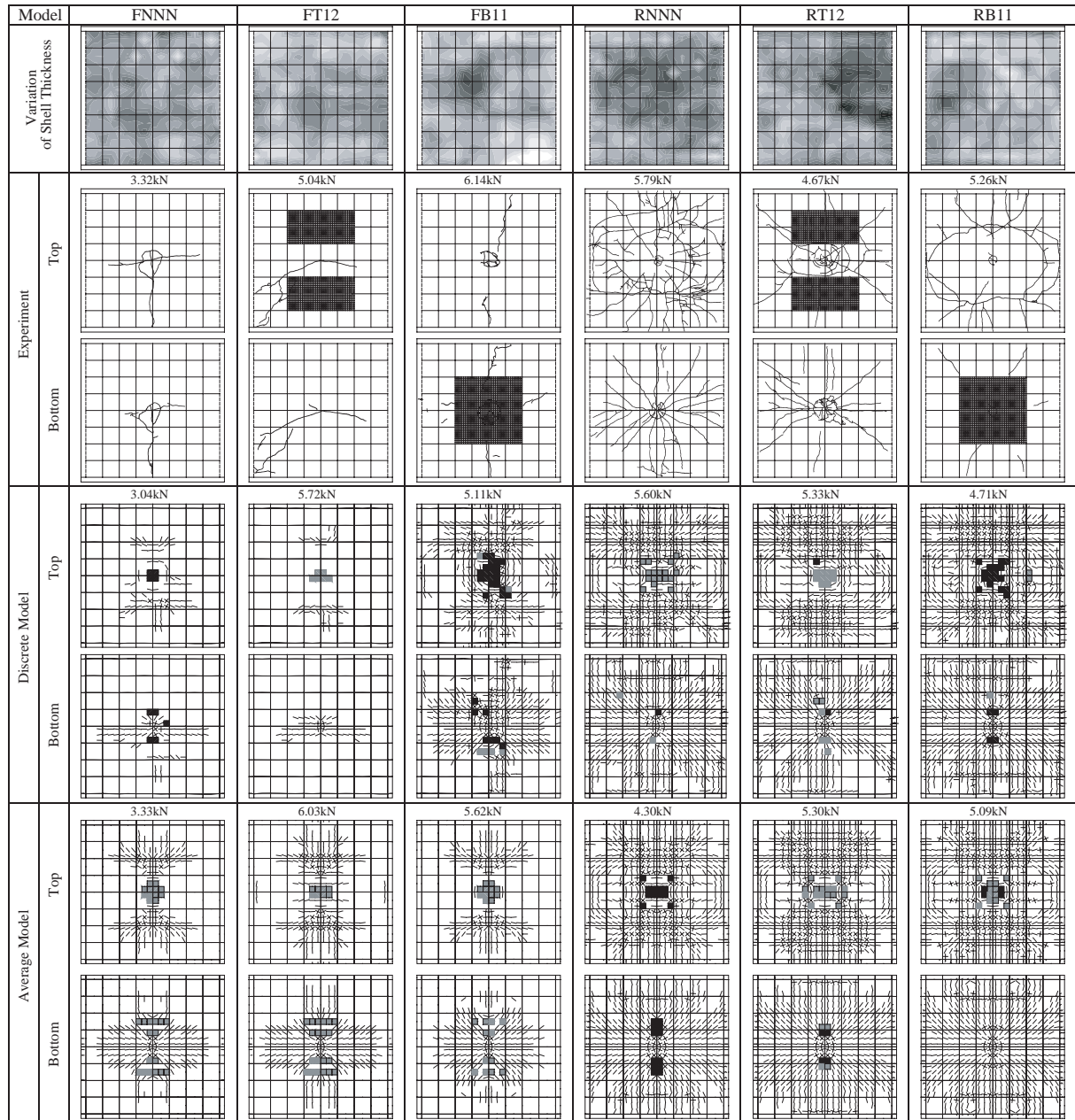
D.加力方法

荷重載荷は油圧式のロードセルを用いて、接地面積 1963.5mm²(直径 50mm)の鉛直方向集中荷重とし、シェル面中央部が破壊に至るまで載荷を行った。尚、荷重の伝達は厚さ 5mm のゴム板を介して行った。載荷状態は、「A.試験体形状」の Fig.1 に示した通りである。

E.支持条件

シェルの支持条件は隅角部4点ピン支持とし、「A.試験体形状」のFig.1に示した通りである。

F.ひび割れ (Discrete.は、板厚変動を考慮した数値解、Average.は、平均板厚モデル数値解を示す。)



Shell Thickness Pattern.



Concrete Crashed Pattern.

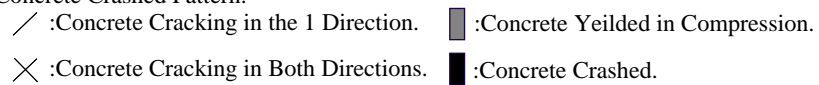


Fig.3 Cracking Pattern

G. 荷重-変形関係

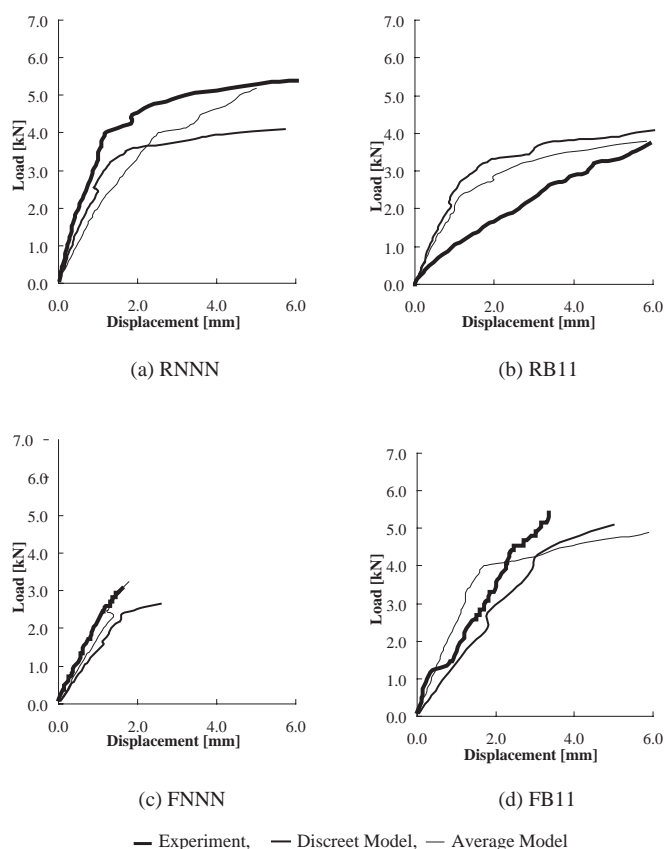


Fig.4 Displacement vs. Load Curve.

形が把握できていないこと及びシート無しのタイプRNNNの板厚が厚いこと等より、明確な特徴は確認できないが、炭素短繊維コンクリート造のFNNNと複合炭素繊維補強コンクリート造のFB11との比較において、明確に弾性範囲の増大と変形能力の増大が確認される。

H. まとめ

コンクリート表面へのシート貼り付け補強により、力の流れのメカニズムとしては、シェル面のコンクリート引張強度が強化され、初ひび割れ荷重の上昇、即ち弾性域の上昇をもたらし、結果としてひび割れ抑止と終局耐力の上昇効果がもたらされる。これらの傾向は、複合炭素繊維補強コンクリート造の荷重変位曲線、破壊実験のひび割れ形態、並びに破壊実験及び数値解析の終局耐力より確認されている。今後、繊維シート貼り付け面の規模や鉄筋比を変化させた破壊実験並びにより詳細な数値モデルの構築等により、更に精密な効果が抽出できるものと期待される。その応用として、損傷を受けたシェルの修復や脆性的な破壊の防止、よりシェル面の均質な補強等への発展が期待される。

同図は載荷点直下の鉛直方向変位を示している。また、数値解析は平均及び個別板厚モデルの双方を掲載している。同図(b)の実験値は、機械式ダイヤルゲージとマグネットスタンドの取り付け部ネジの不具合により剛性が低く評価されている。同計算値は、同図(a)より低い耐力を示しており、これはRNNNの平均板厚がRB11より厚いことに起因していると考えられる。同図よりシート補強の無いRNNN及びFNNNの実験結果に対して、個別板厚モデルは、平均板厚モデルと同等またはそれ以上の良い対応を示している。しかし、シート補強を行った場合に、上述の理由でRB11は実験値との直接の比較が困難であるが、FB11は、初期剛性において、個別板厚モデルと比較して、平均板厚モデルが多少良い対応を示している。今回の破壊実験から、鉄筋コンクリート造に関しては、シート補強のタイプRB11の変形