

(28) 接着接合により断面構成されたGFRP板材の 断面寸法の影響

盛合 将和¹・大西 弘志²・高橋 浩介³・中川原 颯⁴

¹学生会員 岩手大学大学院 総合科学研究科 地域創生専攻 修士課程

(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

E-mail: g0118047@iwate-u.ac.jp

²正会員 岩手大学准教授 理工学部 システム創生工学科

(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

E-mail: onishi@iwate-u.ac.jp

³非会員 北日本機械株式会社 技術部

(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

E-mail: dounagaiMaron@gmail.com

⁴学生会員 岩手大学大学院 総合科学研究科 地域創生専攻 修士課程

(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

E-mail: g0119044@iwate-u.ac.jp

近年、わが国では道路橋を始めとした社会基盤の老朽化が問題となっている。この問題を解決するためには、従来の材料よりも耐久性に優れた GFRP を構造物に適用することが有力な方法の一つとして考えられている。GFRP を土木構造物に適用する場合、その断面構成は複雑になることが多いため、現在の成型技術の中で大量生産に適した引き抜き成型を採用しようとするすると製造設備やコストの制限からその時々で最適な断面を採用できない可能性が十分に存在する。この問題を解決するために、本研究ではそれぞれ別途に製造された GFRP 製の構造要素を接着剤により接合し、複雑な断面を有する板材とすることを考えている。ただし、既往の研究では過大な耐荷力を有する結果となっていたので、多様な要求に対応するための寸法に関する検討を行う事とした。

Key Words: GFRP deck, adhesive joining, cross-section structure

1. はじめに

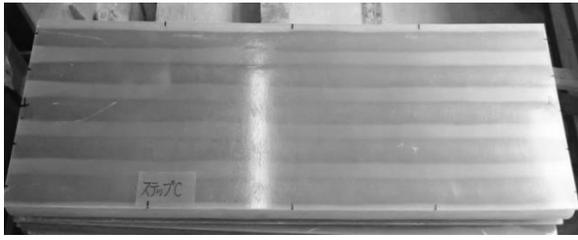
近年、土木構造物の老朽化が問題となっている。供用開始後 50 年を経過した橋梁ではその状況に応じた補修・補強が行われている。土木構造物の老朽化に関する諸問題の解決策の一つとして、劣化した構造物や部材を、より耐久性に優れた新材料で製作された構造物や部材に交換するということが挙げられる。現在、その新材料に FRP が注目されており、著者らはその中でも新設の土木構造物に一般的に使用されている比較的安価な GFRP に着目した。

GFRP 製品の成形方法は用途や形状によって決定しており、成形する手段は多様である。写真-1に引き抜き成型により製造された GFRP の円筒パイプを示す。

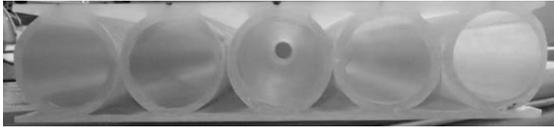


写真-1 GFRP 製パイプ

しかしながら、引き抜き成型のような一つの形状を大量に生産する成型技術であれば安価で生産ができる一方、



(a) 上面写真



(b) 断面写真

写真-2 試験体写真



写真-3 静的載荷試験の様子

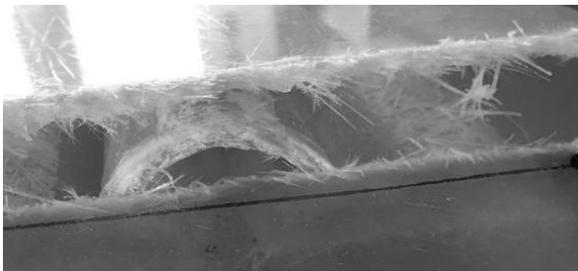
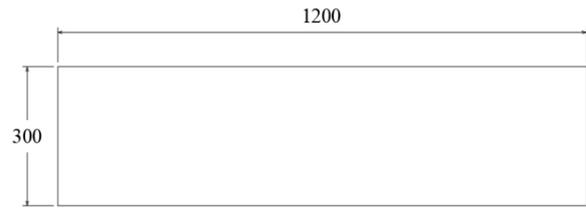


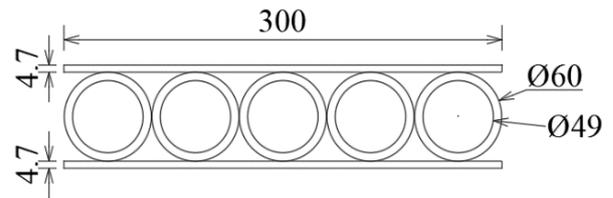
写真-4 破壊状況

土木構造物のような複雑な形状を成形するにはその製品専用の型枠を一つ一つ準備しなければならない為、製造設備やコストの制限を考慮すると、その時々で最適な断面を採用できない可能性が十分に存在するため、その点からコストがかかってしまう¹⁾³⁾。

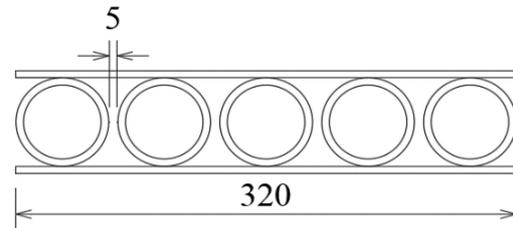
そこで本研究では、筒状や板状のような簡易的な構造要素をそれぞれ別途に制作し、それらを接着接合を活用することで複雑な板材を構築する方法を考えた⁴⁾。既往の研究における板材の寸法では過大な耐荷力を有する結果となっている⁵⁾。本研究では断面構造をはじめとした寸法の異なる板材を製作し、その性能を静的載荷試験によって確認した。



(a) 上面図 (type-A,B)



(b) 断面図 (type-A,B)



(c) 断面図 (type-C)

図-1 試験体寸法 単位:mm

表-1 静的載荷試験結果

試験片No	最大荷重(kN)	最大変位(mm)	ヤング係数($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)
type-A	76.6	61.3	1.32
type-B	83.3	68.4	1.29
type-C	82.3	55.7	1.50

2. 既往の研究⁵⁾

(1) 試験概要

既往の研究で用いた試験体は別々に製作した平板と円筒パイプを接着接合により組み立てて製作し、試験体内の平板とパイプの接着・配置を変化させた場合の耐荷力を静的載荷試験によって確認した。接着接合を用いた試験体の外観を写真-2に示す。また、試験体寸法を図-1に示す。共通して平板とパイプは接着接合をし、パイプ同士を接触させて接着接合したものを type-A、パイプ同士を接着させていないものを type-B、パイプとパイプの間に 5mm ほどの間隙を設けたものを type-C とした。

静的載荷試験の様子を写真-3に示す。試験体に対して

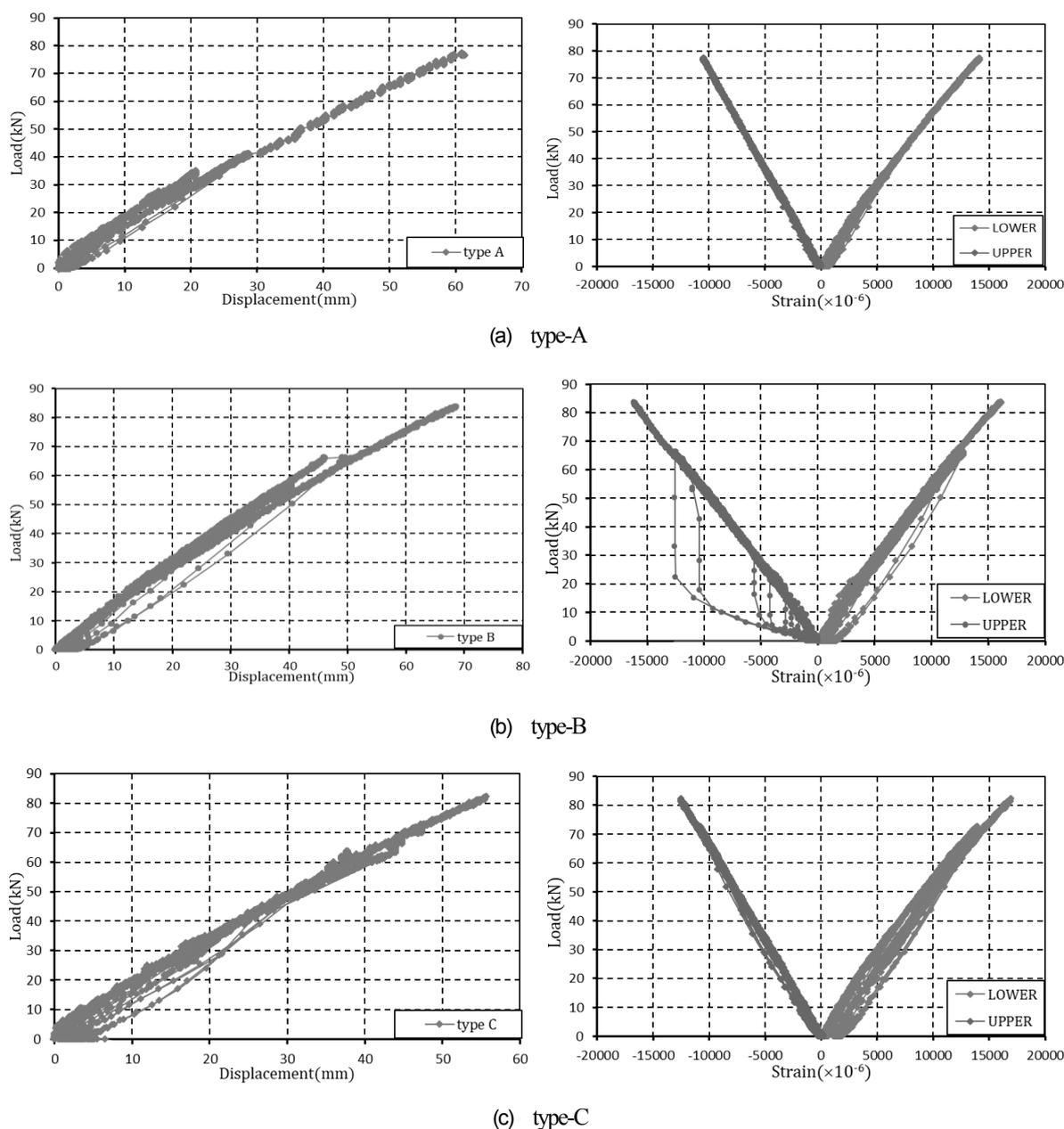


図-2 試験結果(左: 荷重 - 変位関係, 右: 荷重 - ひずみ関係)

4点曲げによる荷重試験を実施した。試験時の支間長は11000mm, 荷重点は両支点から400mmの位置とし, 等曲げ区間長を300mmとした。

(2) 試験結果と考察

type-B の破壊状況を写真4に示す。試験中, 荷重を大きくするにつれて, 接着剤が剥がれる音がしていき, 最大荷重の時に大きな音と共に破壊した。接着剤が剥がれる音はしていたが, 最大荷重に至るまでに目視観察による破壊は確認できなかった。type-B と type-C は平板の破壊位置とパイプの破壊位置が10cmほどずれていた。

本試験における, 各試験体の荷重-変位関係を図-2に示す。また, 各試験体の最大荷重と最大変位, 荷重-変位関係から得られるヤング係数を表-1に示す。type-A と

type-B の結果より, パイプ同士を接着させることによる曲げ耐力の大きな向上は確認できなかった。type-C は最大荷重が type-A より大きく, type-B とほぼ同等の値を示しているが, 最大変位は最も小さい値を示した。これは, パイプ同士に間隙を設けることによって, 荷重を受ける面積が大きくなったためだと考えられる。また type-A と type-B のヤング係数の値から, 接着剤によるヤング係数の大きな向上は確認できなかった。

type-A-type-C の試験体中央の圧縮側, 引張側における荷重とひずみの関係を図-2に示す。type-B は圧縮側, 引張側のひずみがほぼ対象に生じている。一方で, type-A, type-C では引張側の方が大きなひずみを示していることがわかる。この原因として, 荷重をかけていくにつれて, 引張側の平板とパイプの接着が弱まってしまったためだ

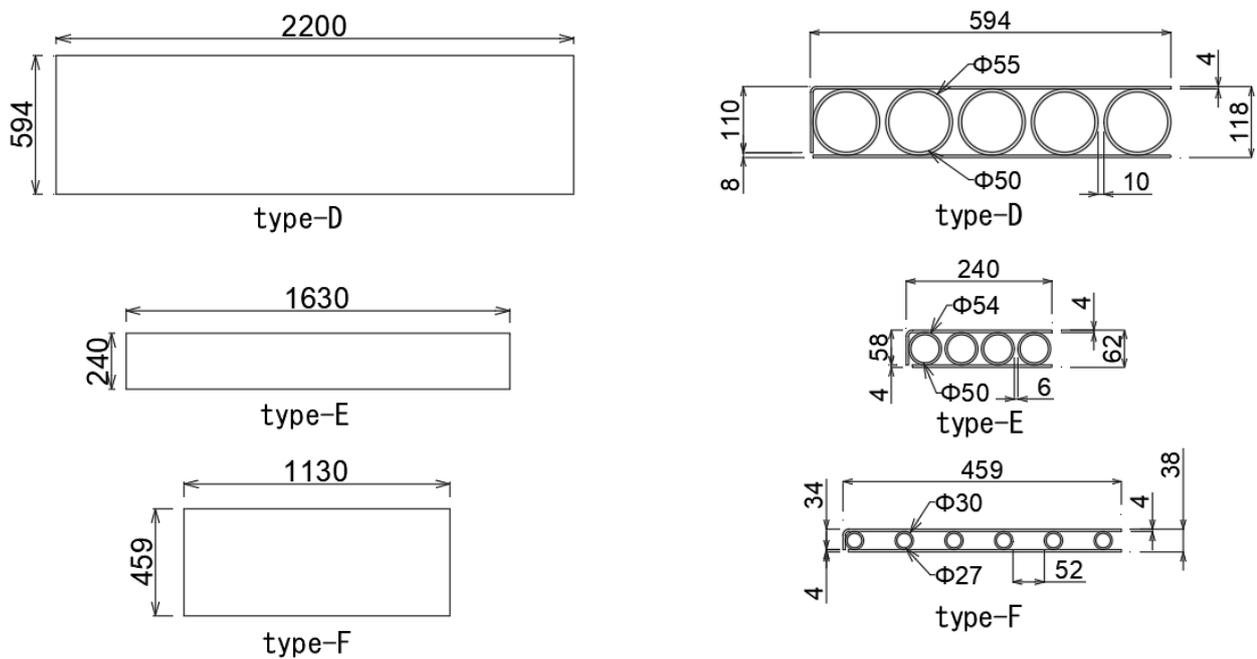


図-3 試験体寸法(左：上面図，右：断面図) 単位：mm

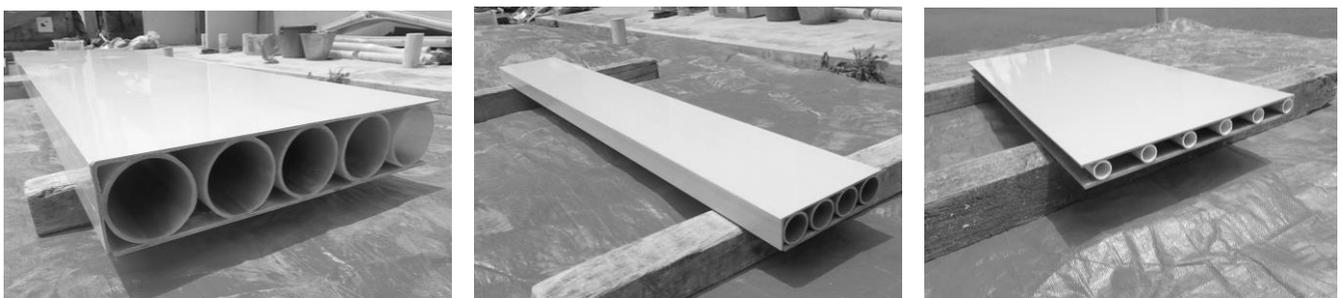


写真-5 試験体写真(左：type-D，中心：type-E，右：type-F)

と考えられる。type-B の最大ひずみは圧縮側，引張側共に約 16000×10^{-6} となっているが，type-A は圧縮側の最大ひずみが約 10000×10^{-6} ，引張側が約 14000×10^{-6} ，type-C では，最大ひずみが約 12000×10^{-6} ， 17000×10^{-6} となっている。type-A と type-C を比較すると，たわみは type-A の方が大きい，ひずみは type-C の方が大きい値を示している。これは type-C に間隙があることにより，最大応力部で円筒パイプが潰れ，中央部が大きくひずんだためだと考えられる。

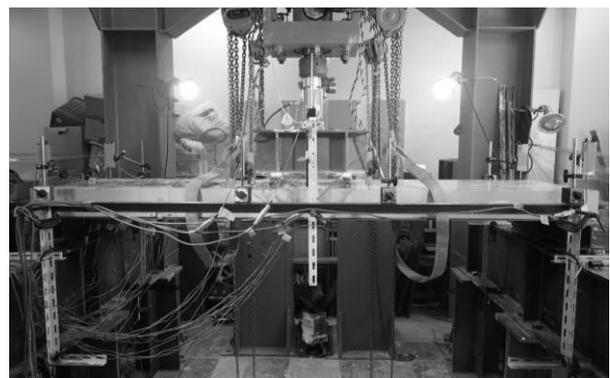


写真-6 type-D の試験状況

3. 断面寸法の異なる GFRP 板材の静的荷重試験

(1) 試験体概要

接着接合を用いた試験体を図-3 に示す。また，試験体の外観を写真-5 に示す。本試験で用いた試験体は既往の研究と同様に，接着接合を用いて各部材を組み合わせ製作している。本研究では，現場で最適となる複雑な部材寸法を，接着接合を用いて簡単に製作することで現在の

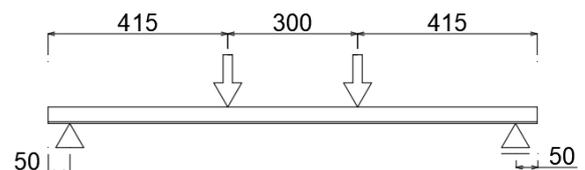
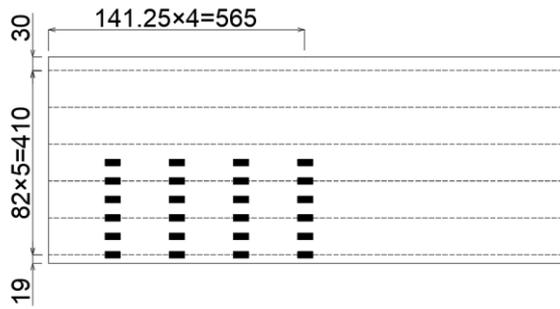
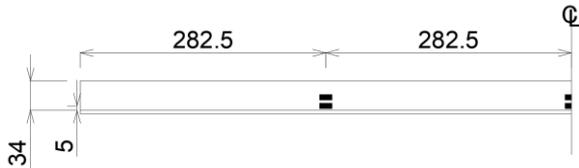


図-4 type-F の荷重位置 単位：mm



(a) 上面図



(b) 側面図(側材側)

図-5 type-Fのひずみゲージ位置図 単位：mm

製造設備に係る課題の解消を目的としていることから、既往の研究と比較し、本試験では断面形状並びに全体の寸法を変化させた3種の試験体を準備した。共通して平板とパイプは接着接合を施し、パイプ同士の間には間隙を設けている。また、軸方向の断面において、片側上面の平板から下面の平板に向かって垂れている側面の板(以下、側材とする)も設けている。部材軸方向幅の大きい順に type-D, type-E, type-F としており、各々のパイプ本数は5本、4本、6本、断面二次モーメントは 0.27cm^4 、 0.024cm^4 、 0.0122cm^4 となっている。

(2) 試験体内容

試験体設置の様子を写真-6に示す。また、荷重位置を図-4に示す。本研究では、試験体に対して4点曲げ荷重試験を実施した。荷重方法には繰り返し漸増荷重を適用している。荷重点の位置は試験体ごとに異なるが、全ての試験体において等曲げ区間長を300mmとしている。

全ての試験体に共通してひずみゲージを図-5のように貼付している。本研究では試験体の対称性を生かし、試験体の圧縮側平板表面及び引張側平板表面の1/4の範囲に、側面の1/2の範囲にひずみゲージを貼付している。また図-5に示す点線はパイプと平板の接点となる箇所であり、ひずみゲージはその点とパイプ間中央に貼付している。

変位計は既往の研究と同様に、支点、荷重点付近、支間中央の変位を測定するため図-6のように設置している。

(3) 破壊状況

各試験体の破壊状況を写真-7に示す。全ての試験体において、荷重点付近の側材の表面上に(a)のような亀裂が発生し繊維がむき出しとなって破壊した。type-D と type-E は

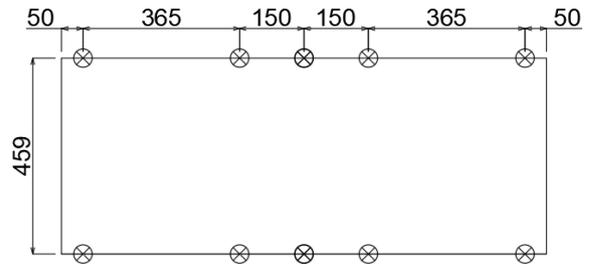
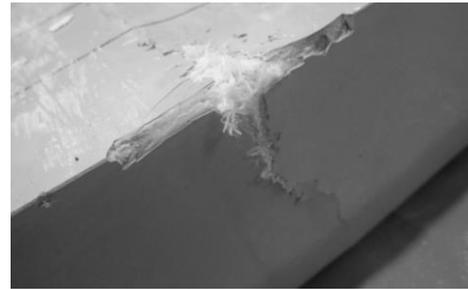
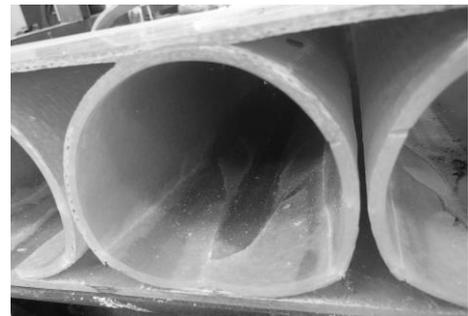


図-6 type-Fの変位計設置位置図 単位：mm



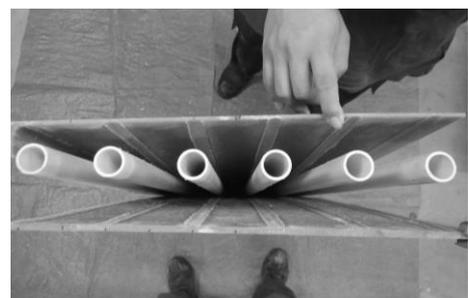
(a) type-D側材表面



(b) type-Dパイプ端部



(c) type-E側面



(d) type-F試験体端部

写真-7 type-Dの試験状況

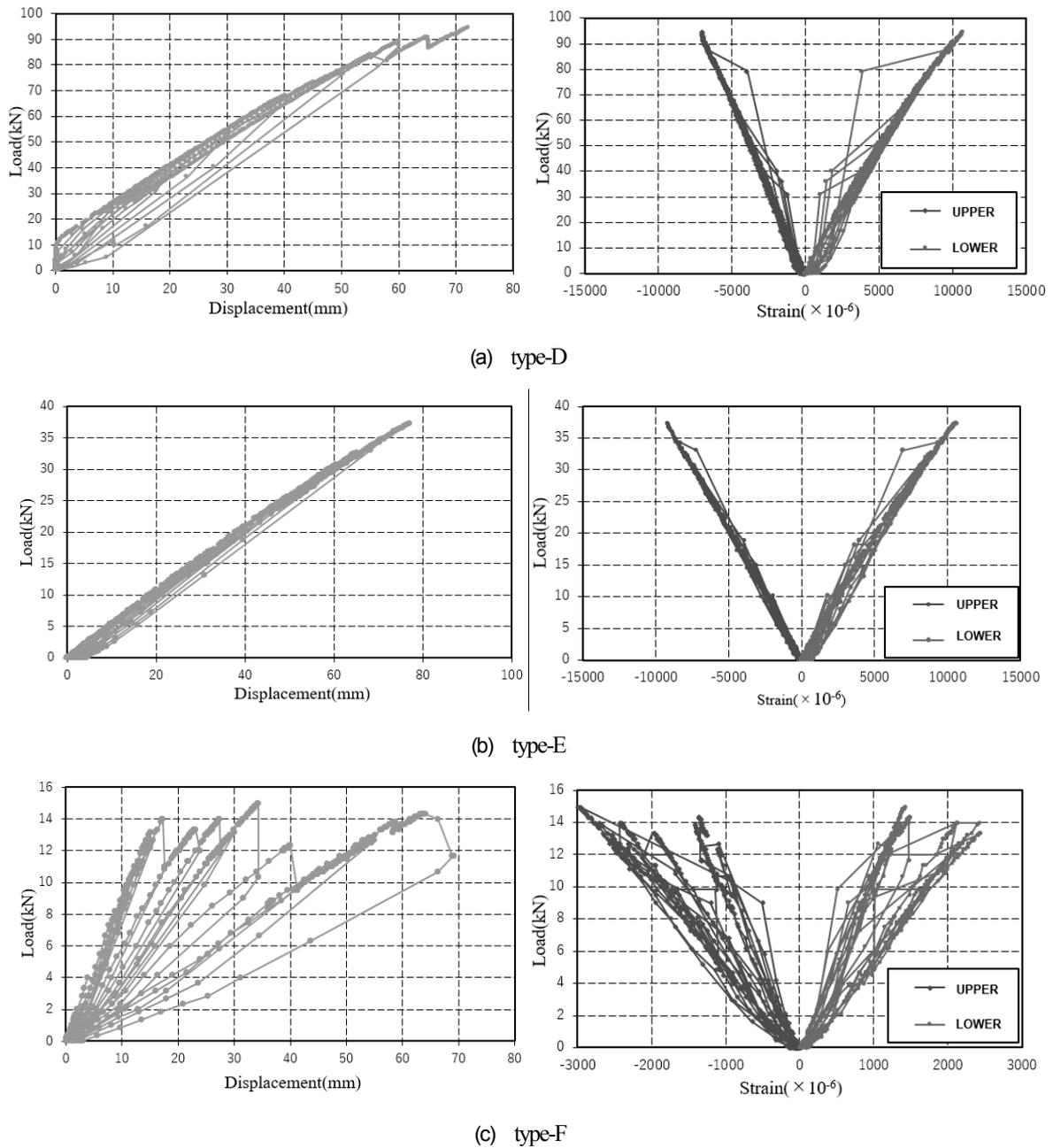


図-7 試験結果(左：荷重 - 変位関係, 右：荷重 - ひずみ関係)

パイプに亀裂が入り、また側材の付いていない側面においてパイプと平板が剥がれ、板材が湾曲するように破壊している((b), (c)). type-Fは試験体内部で側材側のパイプが屈曲している所を目視により確認し破壊を迎えた。また、一方の試験体端部片側から载荷点の亀裂付近まで、(d)のようにパイプと板材が完全に剥がれていた。各試験体の破壊時の様子はtype-A~Cと同様に、接着剤が剥がれる音と並行し、最大荷重を迎え破壊に至った。

(4) 試験結果と考察

a) 荷重 - 変位関係

各試験体の荷重 - 変位関係を図-7左側に示す。また、各試験体の最大荷重と最大変位、荷重-変位関係から得

表-2 静的载荷試験結果

試験体	最大荷重(kN)	最大変位(mm)	ヤング係数($\times 10^4$ N/mm ²)
type-D	94.5	72.2	1.80
type-E	37.3	77.0	2.83
type-F	15.0	69.1	1.46

られるヤング係数を表-2に示す。本試験においても最大荷重に至るまでに塑性変形は確認できなかった。断面寸法の大きい順に最大荷重が大きな値を示しているが、最大変位はtype-Eが最も大きな値を示している。これはtype-Dのパイプが载荷に伴い、type-Eよりも比較的大きな亀裂を生じていたことから、断面欠損により最大変位が低下したのだと考えられる。またtype-Fは繰り返し載

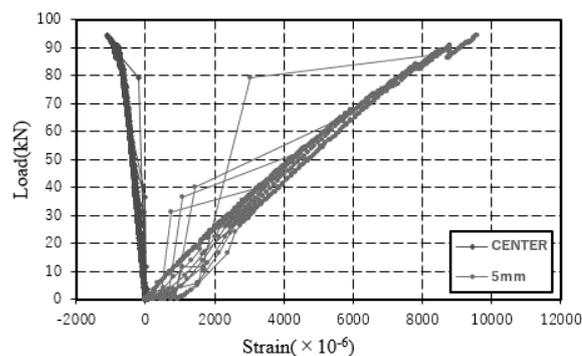
荷に伴い、14kN 付近における変位量が増加しており、試験体破壊時には最大変位時のヤング係数から約 51%ほど低下しているため、剛性が低下していることがわかる。これは試験体が荷重に応じて、端部の板材とパイプが完全に剥がれた影響によるものと考えられる。

b)荷重 - ひずみ関係

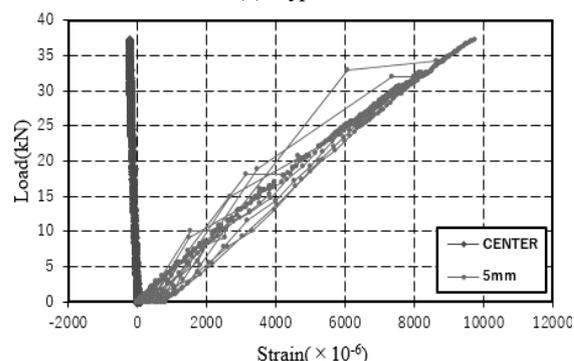
type-D-type-F の試験体中央の圧縮側、引張側における荷重とひずみの関係を図-7 に示す。type-D と type-E は既往の研究と同様に、間隙がある試験体において引張側の方が大きなひずみを示している。type-F が例外であり、かつ圧縮側と引張側のひずみの値が小さくなっているのは、破壊状況の違いによる影響だと考えられる。次に、type-E の最大荷重は type-D よりも低いものの、圧縮側のひずみは type-E の方が大きく、引張側のひずみはおおよそ同じ値を示している。これは最大変位の大きさの違いによる影響だと考えられる。

c)側材の荷重 - ひずみ関係

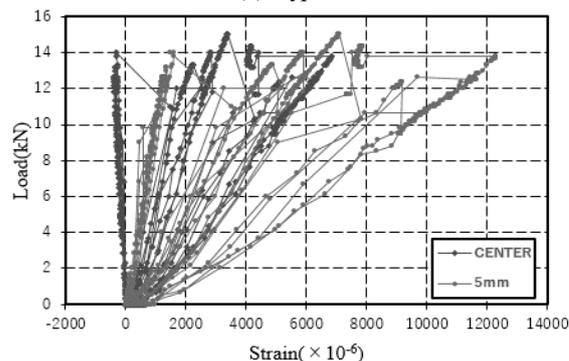
type-D-type-F の支間中央における側材の荷重とひずみの関係を図-8 に示す。側材の中心と下縁から上方に 5mm 離れた点のひずみを測定し、荷重に伴う側材のひずみ分布を確認した。各試験体において荷重の増加に伴い、中心ではおおよそ 0 に近い値を示しているが、下縁のひずみは増加している。これより、側材の引張側も板材の引張側の中心と同様なひずみの値を示すことがわかる。また、type-F は試験体中央の引張側の最大ひずみが約 2400×10^6 であるのに対して、側材下縁の最大ひずみが約 12000×10^6 となっている。これより、type-F 試験体中央のひずみは、荷重時に平板とパイプ剥がれたことにより、低下したのだと考えられる。



(a) type-D



(b) type-E



(c) type-F

図-8 側材表面の荷重 - 変位関係

6. 結論

土木構造物の老朽化に関する諸問題の解決策するため、劣化した構造物や部材を、より耐久性に優れた新材料で製作された構造物や部材に交換するということが注目されており、GFRP を適用する構造に注目した。

既往の研究では、接着接合による耐力の向上が見られないことが分かった。本研究では、断面寸法の異なる板材を同様に接着接合を用いて製作し、断面寸法が及ぼす力学的性能の影響を静的荷重試験によって確認した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 板材の荷重試験において、繰り返し荷重を行ったが、最大荷重を加え破壊に至るまでの間に塑性変形はみられない。
- (2) 断面寸法の大きい順に最大荷重が大きな値を示すため耐荷力は大きくなるが、断面が欠損した際にはたわみ量が低下する可能性がある。

- (3) 側面の板材において、中心のひずみはあまり発生しないが、引張ひずみは板材の引張側中央部とおおよそ同じ値を示すことがわかる。

参考文献

- 1) 橋本国太郎, Lee EngMing, 杉浦邦征, 西崎到, 日比英輝: 鋼・GFRP 合成桁の曲げ挙動に関する研究, 2014.
- 2) 大西弘志, 山本竜一, 岩崎正二, 出戸秀明, 西田雅之: ハンドレイアップ型材で構成した GFRP 梁の曲げ強度, 2015.
- 3) 小林憲治, 日野伸一, 青野雄太, 山口浩平, 岡俊蔵, 林耕四郎: GFRP 引抜き成形 I 形断面はりの材料力学特性および曲げせん断挙動に関する実験的研究, 2008.
- 4) 土木学会: 複合構造レポート 09, FRP 部材の接合および鋼と FRP の接着接合に関する先端技術, 丸善出版, 2013.

- 5) 高橋浩介, 大西弘志, 栗田真輝 : 接着剤を用いた GFRP 小型歩道橋の開発, 2108

(Received August 30, 2019)

THE INFLUENCES OF DIMENSIONS ON THE FLEXURAL STRENGTH OF GFRP SLABS MADE BY ADHESION

Masakazu MORIAI, Hiroshi ONISHI, Kousuke TAKAHASHI
and Hayato NAKAGAWARA

In recent years, the aging of bridges is a problem. As a resolution about aging bridges, deteriorated structures and members are changed to structures and members manufactured in more durable materials. So, we focused on GFRP (FRP with glass fiber) as new material in this method.

GFRP has problems that it is difficult to mold a complicated member and the manufacturing cost is high. Therefore, in order to solve this problem, in the past research, we fabricated a plate material combining a cylindrical pipe and a flat plate, which is comparatively easy to form parts and is inexpensive in production, by using adhesive bonding. Then, a static loading test was carried out. In this research, we aim to verify the cross sectional shape of the board.