

(62) 格子構造を有するFRP床版の 静的曲げ載荷試験

大西 弘志¹・西田 雅之²・清水 則善³・八重樫 功隠⁴

1 正会員 岩手大学准教授 工学部社会環境工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)

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

2 日本エフ・アール・ピー(株) 技術部 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町2-2-13)

E-mail: nishida@nihonfrp.co.jp

3 学生会員 岩手大学大学院 工学研究科社会環境工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)

E-mail: t2512006@iwate-u.ac.jp

4 岩手大学 工学部社会環境工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)

E-mail: t0510061@iwate-u.ac.jp

近年、我が国でも道路橋をFRPで製作することを目標とした研究開発が進められている。しかし、主たる使用材料として考えられているGFRPは弾性率が低く、荷重が作用した状態における変形を制御するのが困難であると考えられている。また、従来開発されてきた橋梁の中でも床版部材の構造は活荷重が作用した際の曲げモーメントに対応することを優先した構造となっているため、既往の研究でコンクリート床版に対して大きな問題となってきたせん断力に対して効率よく対抗できる形状とはなっていない。

そこで、筆者らは床版の耐久性を左右するせん断力への対応を効率よく行うための構造として格子構造に着目した床版を考案した。本研究ではこの新たに考案されたFRP床版の基本的な性能を把握するために静的曲げ試験を実施することとした。

Key Words : GFRP, Road Bridge Deck, Static Loading Test, Flexural Rigidity

1. はじめに

近年、わが国では道路橋の老朽化が問題となっている。老朽化が問題となる一つの目安である、建設後50年を経過した道路橋の比率は平成24年には16%程度であったものが平成34年には40%、平成44年には65%に達すると見込まれている¹⁾(図-1)。このような状況に対応するため、各道路管理団体は道路橋の維持管理の効率化や長期計画の策定などを進めているが、根本的に現況を改善するためには一定の割合で既存構造物を現行の構造物よりも耐久性に優れた構造物に置き換え、維持管理業務等自体を削減する必要がある。このための方策の一つとして、現行の建設材料よりも耐久性に優れた材料により構造物を構成することが考えられるようになっている。このときに使用される材料の候補の一つとして繊維強化樹脂(Fiber Reinforced Plastics: FRP)がある。FRPには中に配置する樹脂の種類によってガラス繊維強化樹脂(GFRP)や炭素繊維強化樹脂(CFRP)などがある。その中でもGFRPはその軽量さや経済性などの面で橋梁に適用しや

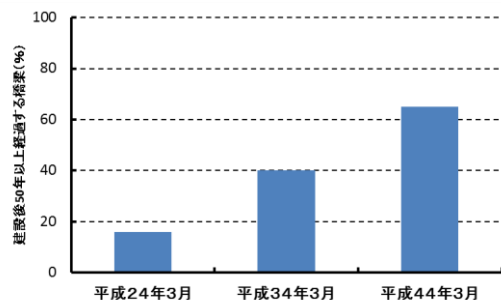


図-1 建設後50年を経過する橋梁の割合¹⁾



図-2 FRP歩道橋の例²⁾

すい材料であると考えられている。しかしながら、GFRPでは歩道橋²⁾に関しては研究や設計指針等の整備が

進んでいるものの、道路橋に関しては十分に研究が進んでいるとは言えない状況にある。特に、道路橋の中でも床版は直接車両等の活荷重を支持する部材であり、かつ荷重条件が厳しい位置にある部材である。GFRPで道路橋を構成するためにはGFRPで作られる床版に荷重を支持するために十分な性能を与えることが必要である。

他方、これまでの道路橋床版の疲労問題に関しては多くの知見が得られているが、そのうちの一つとして図-3に示されるようなRC床版の疲労劣化過程³⁾などが明らかになっている。これらの研究成果の積み重ねの結果として、道路橋床版の疲労問題では曲げモーメントの作用よりせん断力の作用が卓越する傾向にあることがわかっていく。これに対してGFRPで開発されている床版の多くでは床版に作用する曲げモーメントに対して抵抗することに主眼を置いた構成をとっている床版が多くなる傾向にある。このような状況に対し、著者らはせん断力に対する抵抗性の向上や過剰な局部変形の発生を防止できる構造形態としてGFRPによる格子構造に着目して床版を構成することを考案した。ただし、この格子構造を基本とした床版については実験データ等が十分にそろっていないため、今回は格子構造を有する床版の梁モデルを作成し、静的載荷試験を実施した。

2. 実験概要

(1) 供試体概要

供試体には図-4に示す、すべてGFRPで製作された梁試験体を用いた。この供試体の全長は1000mm、全幅は340mmで厚さは106mmである。供試体の格子部分（以後、橋軸方向に配置された部分をウェブ、橋軸直角方向に配置された部分をリブと呼ぶ）はグリッドモールド法で製作されたものであり、この格子部分に上下の平板を接着することにより供試体を形成している。

(2) 試験方法

今回の実験では供試体に対して4点曲げによる載荷を実施した。1. でも触れた様に、床版の性能としてはせん断力が卓越する載荷条件を採用するべきであると考えがちであるが、今回の実験ではその前の段階として基本的な挙動を把握する必要があるとの判断から4点曲げによる載荷を採用している。ただし、中央部分でのめげモーメントをできるだけ大きくしたいとの考えから等曲げ区間は中央の格子部分に当たる110mmの区間としている。支点は支点反力の作用を受けることを考慮して端から2つ目のリブの位置に配置することにした。この結果、今回の供試体の支間は770mmとなっている。

今回の実験で測定した項目は荷重、変位、ひずみであ

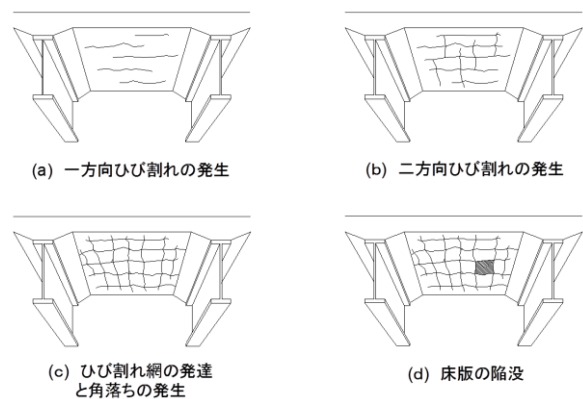


図-3 RC床版における疲労破壊過程³⁾

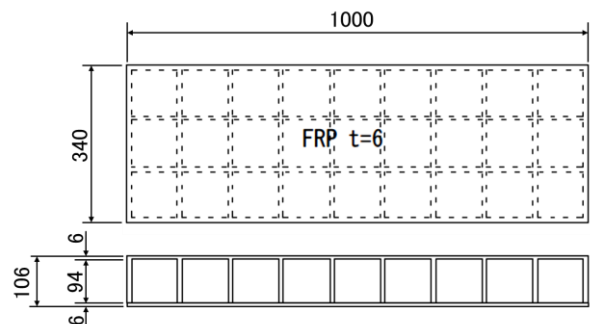


図-4 供試体寸法

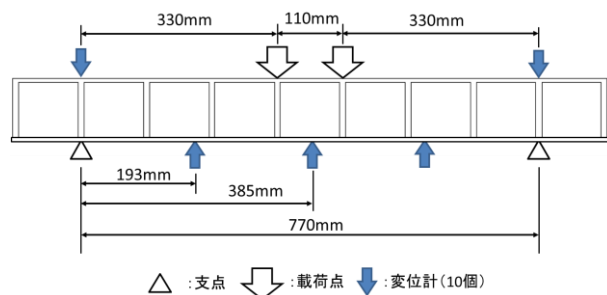


図-5 載荷方法と変位計配置

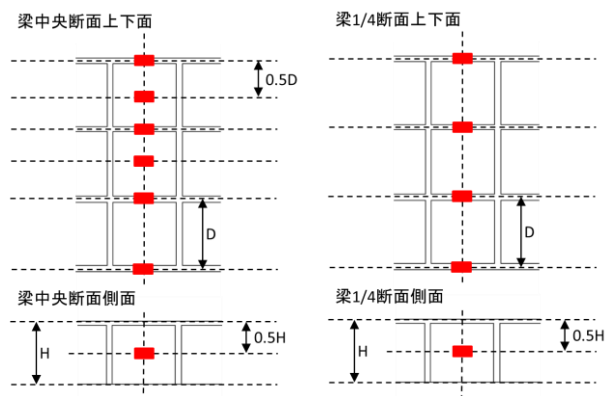


図-6 ひずみゲージの配置

る。変位に関しては図-5に示すように、供試体の支点、支間中央、1/4支間の部位で供試体の橋軸方向中央線に沿って変位計を配置して計測している。実験結果で示す変異に関しては支点での変位を補正した値を示している。ひずみに関してはひずみゲージを図-6に示す位置に配置して計測した。

今回の実験では2体の試験体に対し、1体目は単調載荷により破壊まで載荷を実施した。2体目に対しては、1体目で支間中央断面下面中央のひずみゲージが 2000μ のひずみを示した40kNを単位とした繰り返し載荷を実施している。

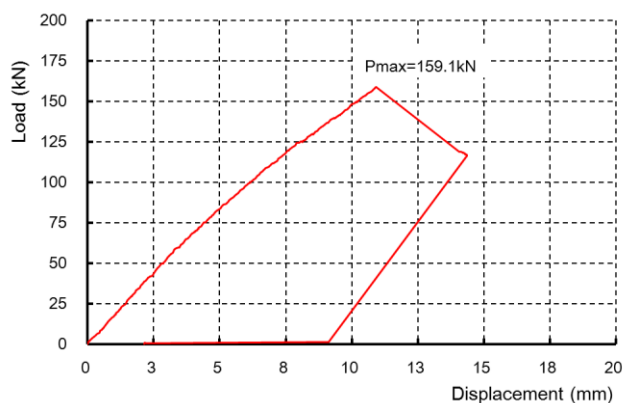
3. 実験結果と考察

(1) P- δ 関係とたわみの分布状況

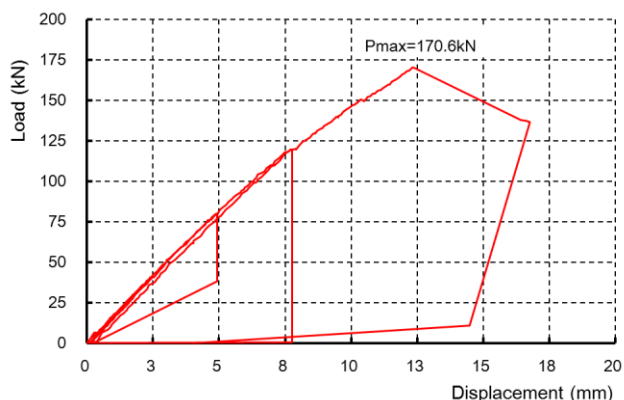
今回の実験で得られたP- δ 曲線を図-7に示す。本研究で使用した供試体の内、単調載荷で試験した供試体では159.1kN、繰り返し載荷で試験した供試体は170.6kNの最大荷重を確認することができた。繰り返し載荷では試験の各段階における供試体の曲げ剛性の変化を確認することができることを期待していたが、どの段階の載荷においても曲線は同じところを辿っており、大きな剛性の変化は確認できなかった。また、それぞれの試験時に確認できたたわみの分布状況を図-8に示す。たわみの分布形状はほぼ対称形を示しているが、図-8(a)では578mmの位置のたわみが193mmのたわみよりも少し大きくなる傾向が確認できる。このような傾向は図-8(b)では見られないが、単調載荷試験の際には385～578mmの範囲で局所的な損傷が進んでいた可能性がある。

(2) ひずみの発生状況

ひずみの発生状況の例として、単調載荷供試体の支間中央断面での計測されたひずみを示す。図-9(a), (b)には支間中央断面におけるP- ϵ 曲線を、図-9(c), (d)には支間中央断面のひずみ分布状況を示す。P- ϵ 曲線を見ると、圧縮側の各計測点におけるP- ϵ 曲線（図-9(a)）は多少のばらつきは認められるものの、試験終盤までおおそ線形の関係を保っていることがわかる。引張側では圧縮側の各計測点と同様、線形のP- δ 曲線を示している点が多いが、荷重が125kNを超過したあたりからCB6（断面端部）のひずみゲージのみが少し線形とはずれた挙動を示している。このような挙動は試験の終盤においてCB6付近で局所的な破壊が進行している可能性を示しているものと考えられる。この断面のひずみ分布を確認すると、上面のひずみ分布ではCU1, CU2のある梁の端部（左側）でひずみの分布が乱れていることがわかる。これに対し、下面のひずみ分布は大きな分布の乱れは見えないものの、実験の終盤にあたるP=159.1kNの時点でCB5からCB6（梁の右端）にかけてひずみの値が反対側と比較して大きく低下しているのが確認できるが、それ以前の段階ではほぼ左右対称の分布形状を示していることがわかる。これらのことから、単純載荷供試体では圧縮側では実験開始当初から梁の左端部で損傷が進行していたの

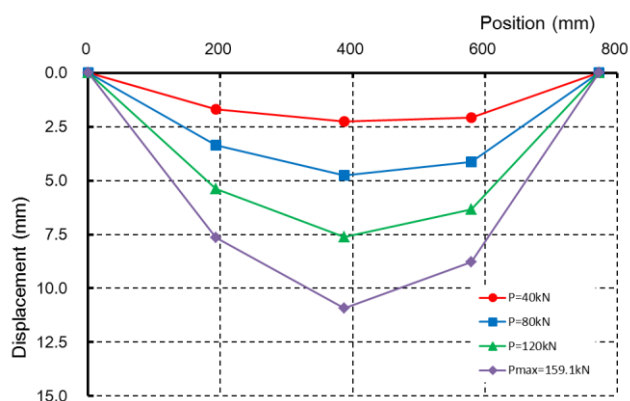


(a) 単調載荷

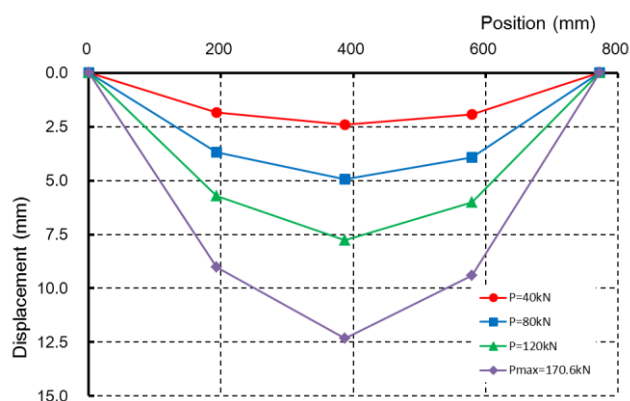


(b) 繰り返し載荷

図-7 P- δ 曲線

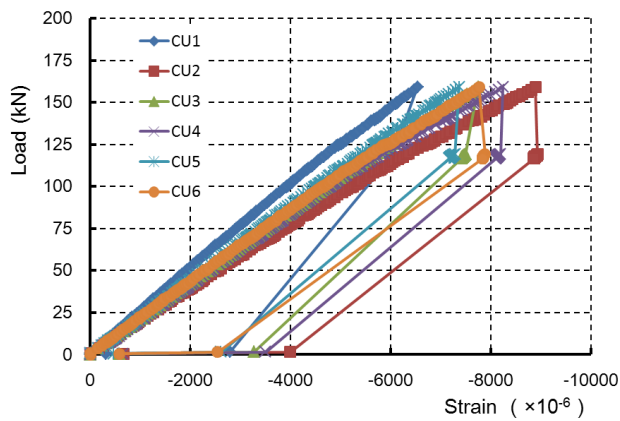


(a) 単調載荷

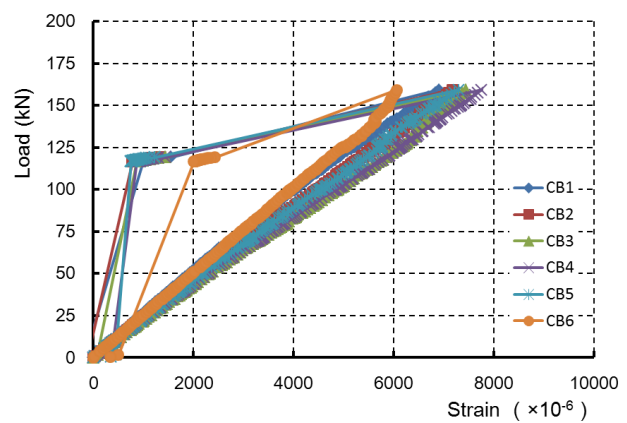


(b) 繰り返し載荷

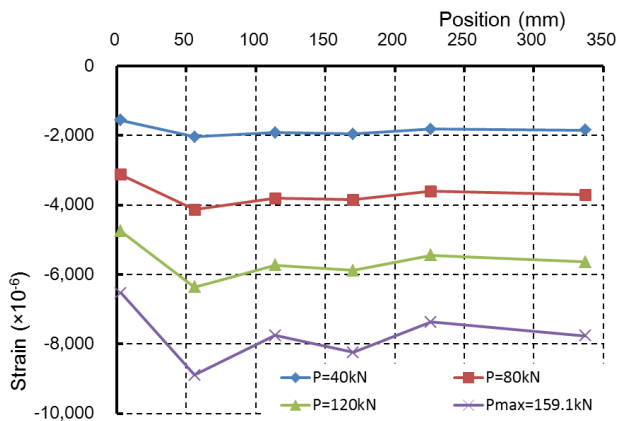
図-8 たわみ分布曲線



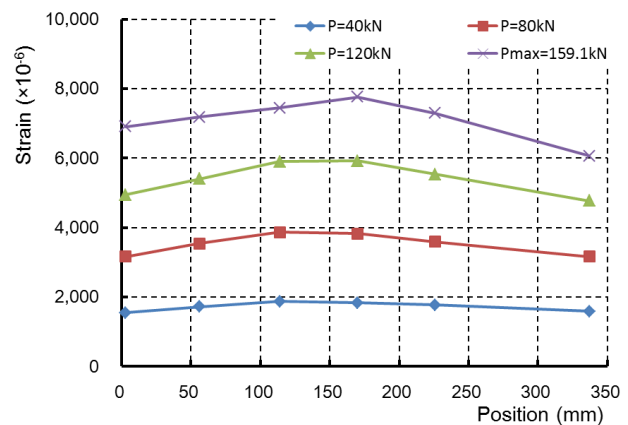
(a) 支間中央上面 (P- ϵ)



(b) 支間中央下面 (P- ϵ)



(c) 支間中央上面ひずみ分布



(d) 支間中央下面ひずみ分布

図-9 ひずみの発生状況 (単調載荷, 支間中央断面)

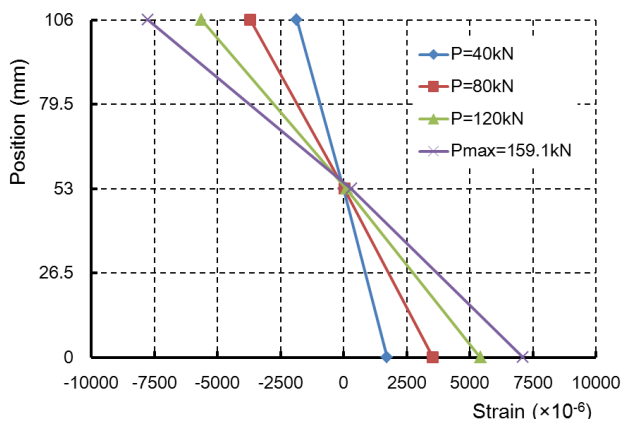


図-10 ひずみの発生状況

(単調載荷, 支間中央断面厚さ方向分布)

に対し、引張側では荷重が120kNを超過したのちに破壊が進展したものと推定される。また、供試体支間中央断面の厚さ方向のひずみ分布を図-10, 11に示す。これらの図を見ると、単調載荷供試体では梁の中立軸の移動がほとんど認められないのに対して、繰返し載荷供試体では試験の進行とともに中立軸が上方に移動していることがわかる。このことは繰返し載荷試験においては梁の破壊（この場合は格子と平板の間の付着の破断）が下面付近から進行したことを示していると考えられる。

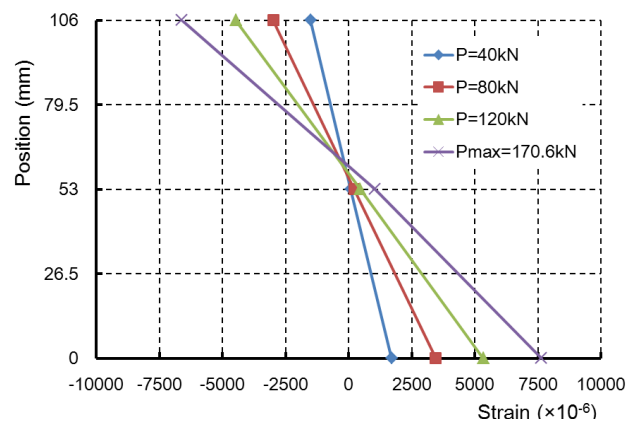


図-11 ひずみの発生状況

(繰返し載荷, 支間中央断面厚さ方向分布)

(3) 破壊状況

今回行った実験での供試体破壊時の概観を図-12に示す。今回の実験では供試体は単調載荷、繰返し載荷の違いに関係なく供試体下面に配置された板の破断に伴う破壊を呈した。破壊時に確認されたFRP板の破断状況を図-13に示す。図-13にも明らかのように、今回の実験ではFRP中のガラス繊維が破断するような破壊形態を示している。なお、今回の実験では破断位置は1か所しか確認できていない。また、破壊時には衝撃の発生も確認できたことから、非常に速度の速い、脆性的な破断に伴う破

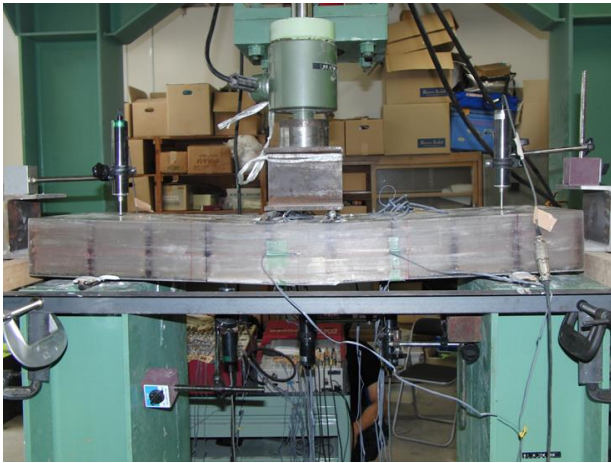


図-12 破壊時試験状況（単調載荷）



図-13 破壊部位（単調載荷）

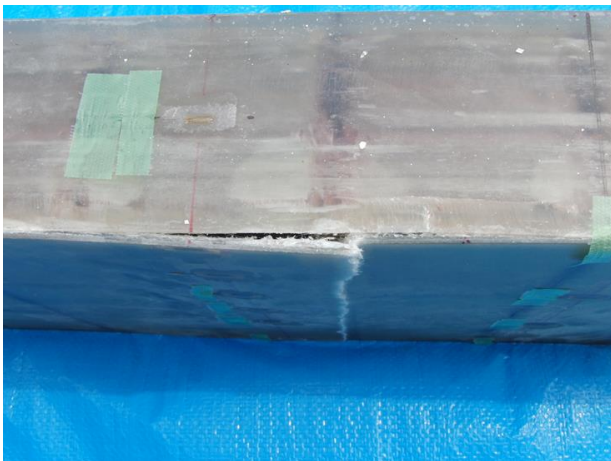


図-14 底板破壊状況（単調載荷）

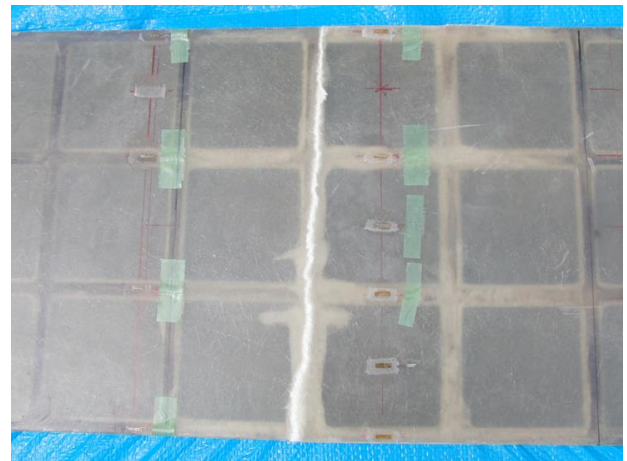


図-15 試験終了後下面状況（単調載荷）

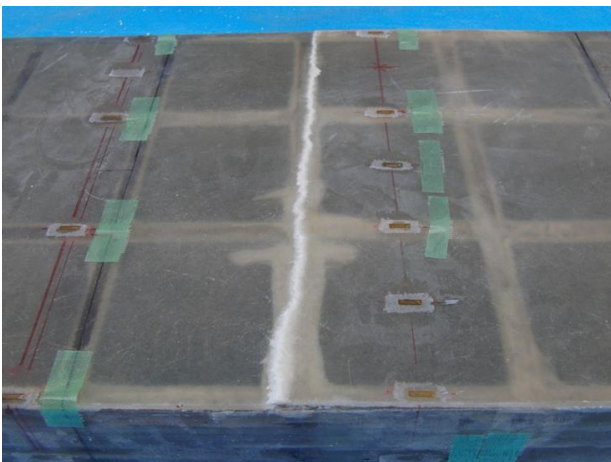


図-16 底板破壊状況（繰返し載荷）

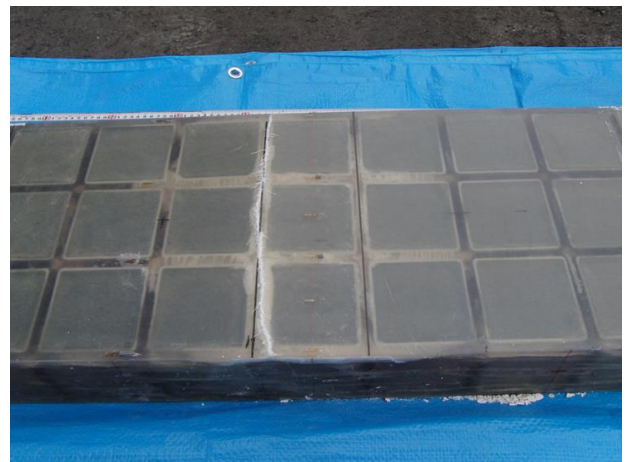
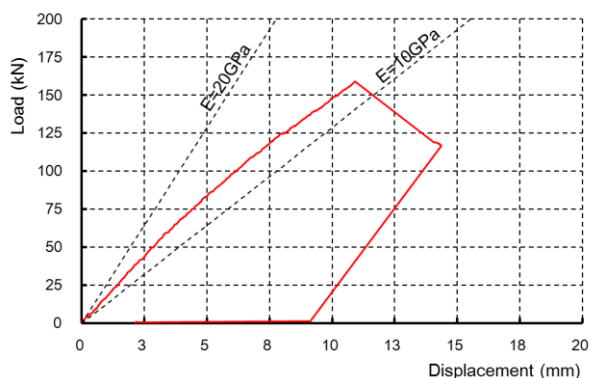


図-17 試験終了後下面状況（繰返し載荷）

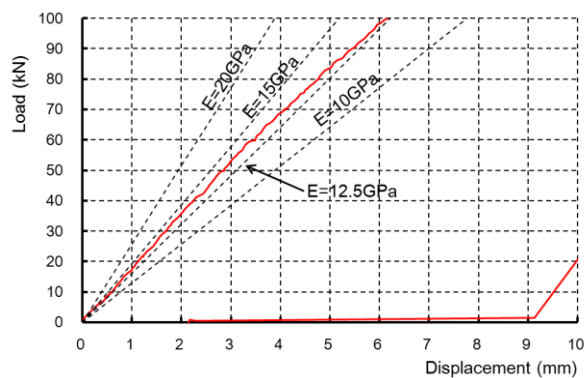
壊が発生したことが確認できた。また、単調載荷供試体では破断後にFRP板が格子部と剥離し、大きく下側に飛び出している様子が確認できた（図-14）。FRP板の剥離範囲を確認すると（図-15）、剥離の範囲は供試体中央の3マス分であり、FRP板の破断位置は載荷位置の直下であることを確認できた。このような傾向は繰返し載荷供試体においても同様であり（図-16, 17）、今回の実験では載荷点直下がFRPにとって最も厳しい状況になっていたことを示唆しているものと考えられる。

(4) 曲げ剛性の評価

今回の実験では梁の損傷程度を表現する方法として曲げ剛性の変動として表現する方法を試みた。本論文では、簡単に表現するための便法として、FRPの見かけの弾性係数が変化していると捉えて記述するものとする。まずは試験結果のうち、 $P-\delta$ 関係に着目してみると、どの $P-\delta$ 曲線の傾きも今回の供試体の剛性から与えられる見かけの弾性係数は12.5GPa程度であることを示している。これに対し、支間中央断面における曲げモーメントと曲げ応力の関係から求めてみた場合には単調載荷が

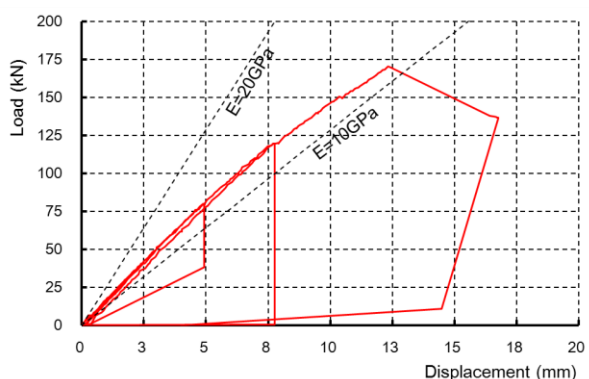


(a) 全体

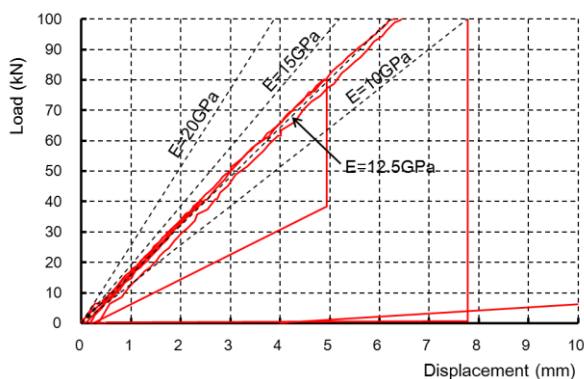


(b) 拡大

図-18 P-δ関係による剛性評価 (単調載荷)



(a) 全体



(b) 拡大

図-19 P-δ関係による剛性評価 (繰返し載荷)

16.0～16.5GPa, 繰返し載荷が16.7～17.0GPaということになり, 変形から算出した場合と乖離が生じることとなる. この原因としては載荷点近傍での局所的な破壊に伴う変形の増大が考えられるが, 今回の実験ではその根拠となるようなデータを確保できておらず, 今後検討を行う必要があるものと考えられる.

4. まとめ

今回の実験において得られた知見は次のものである.

- ① 今回使用したFRP床版は弾性的に挙動し, 破壊の直前まで塑性的な挙動は認められない.

- ② 破壊形態は供試体下面のFRP板の破断であり, その破断位置は1か所である.
- ③ 見かけの弾性係数に食い違いが生じることから, 供試体内の局所的な破壊が変形の増加に寄与している可能性が存在する.

参考文献

- 1) 国土交通省: 平成 24 年度国土交通白書,
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h24/index.html>
- 2) 例えば, 土木研究所: FRP 鈹桁歩道橋,
http://www.pwri.go.jp/team/a_materials/frp_bridge/index.html
- 3) 例えば, 松井繁之編著: 道路橋床版, 森北出版, 2007.10

A static flexural loading test of grid-structured FRP deck

Hiroshi ONISHI, Masayuki NISHIDA, Noriyoshi SHIMIZU and Kuon YAEGASHI

Recently, many researchers try to develop the road bridge with FRP. But it is difficult to control the deformation of bridge members because of lower elastic modulus of FRP. According to former researches, the shear force is more important than flexural moment in the road bridge decks. Then the authors develop the new FRP deck with new structure to support the shear force. The authors carried out the static flexural loading test and outlines of this test was reported in this paper.