格子構造を有するFRP床版の静的載荷試験

大西 弘志1・山本 竜一2・西田 雅之3

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:t051162@iwate-u.ac.jp
³日本エフ・アール・ピー㈱ 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

我が国では道路橋床版の耐久性が非常に大きな問題となっている.従来の道路橋床版は輪荷重作用による疲労を生じるだけでなく,環境要因の作用に伴う劣化によりその寿命を大きく損なっている可能性がある.このことから,環境要因による影響を受けにくく,さらに疲労耐久性にも優れた床版の開発が求められている.この要求を満たす材料の一つとしてFRPが考えられている.従来のFRPを用いた構造では曲げに対する抵抗を第一に考えた形態が採用されることが多く,床版の疲労耐久性に大きく関与するせん断に対する抵抗が不足する傾向があった.本研究ではせん断にも抵抗しうる構造として格子構造に着目し,格子構造を基本としたFRP床版の基本的な性能を調べるため静的載荷試験を実施した.

Key Words : road bridge deck, italic, grid structure, static loading, fracture mode

1. はじめに

我が国では、道路橋の維持管理が大きな問題として取 り扱われるようになって久しい.道路橋の維持管理にお いては種々の問題が存在するが、その中でも床版の耐久 性の確保は大きな問題として認識されている.この道路 橋床版の耐久性に関しては1970年代から研究対象として 取り扱われており、これまでにも数多くの研究がなされ ている¹⁾.これらの研究の成果として、道路橋床版のう ち鉄筋コンクリート製床版の輪荷重による破損は広義の 疲労問題として扱うことができ、その破壊モデルは図-1 に示されるような形態を示すことが明らかにされている ².通常、輪荷重による道路橋鉄筋コンクリート床版の 破壊形態は押し抜きせん断破壊を呈すことがわかってお り、このことから、鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性 を確保するためにはせん断力に対する抵抗性を確保する ことが重要であることがわかっている.

また、従来の鉄筋コンクリート床版では輪荷重の作用 による疲労損傷だけでなく環境要因の作用に起因する塩 害、凍害、ASR等の現象に伴う損傷の複合的な作用を受 けており、それぞれの現象が単独で作用する場合よりも 大幅に床版の寿命を短縮する可能性がある.このことか ら従来のコンクリート系の材料よりも耐久性に優れる FRPを使った床版の開発が進められている.既往のFRP 製床版では設計時に曲げモーメントに対する抵抗のみを 考える傾向が強く、大部分の床版では図-2に示すような 断面構成を持たせていることが多い.このような断面で



図-1 鉄筋コンクリート床版の押抜せん断破壊時の 応力分布モデル(断面)²



は輪荷重作用時に上下面を構成するFRP板の局所的な変 形に起因する疲労損傷を抑止することは困難であり、ま た、せん断力の作用に対する抵抗も不足する傾向にある ものと考えられる.これらのことから著者らはせん断力 に対する抵抗性に優れる構造として格子構造に着目した 床版を開発している.本論文では格子構造を有するFRP 床版に対し静的載荷試験を行った結果について報告する ものである.

2. 実験概要

(1) 供試体概要

今回使用した供試体は図-3に示す,長さ2000mm,幅

1000mm,厚さ105mmの床版である.今回使用した床版 は格子部(開口部100mm×100mm)をグリッドモールド 成形法で製作し、上下にFRP板を接着した形状となって いる(上下板厚は3mm).使用したFRPは通常のGFRP であり、使用した供試体数は4体である.ただし、うち1 体については床版下面にCFRP(マットタイプ)を1層接 着している(後述Slab #4).

今回の試験では4体の供試体のうち、2体については固定支持条件(図-4(a))で試験を行い、残り2体については単純支持条件(図-4(b))で試験を実施した.ここで、固定支持条件で試験した供試体をSlab #1, Slab #2とし、単純支持条件で試験した供試体をSlab #3, Slab #4 とする. 今回の試験状況を図-7,図-8に、単純支持供試体の支



点部の構成を図-9に、このときの載荷板の設置状況を図 -10に示す.特に供試体の4隅には載荷に伴う支点部の浮 き上がりを防止するために万力による固定を行っている.



図-7 固定支持供試体載荷状況



図-9 単純支持供試体支点設置状況



(2) 測定項目

本研究では載荷試験時に供試体の挙動を確認するための測定項目として、供試体の変位とひずみを計測している.今回の実験における変位計の配置を図-5に、ひずみ



図-8 単純支持供試体載荷状況



図-10 単純支持供試体載荷状況(載荷板)



図-11 載荷プログラム

ゲージの配置を図-6に示す.

(3) 載荷方法

今回の試験では50kNずつ最大荷重を漸増させる繰返 し載荷を行った.試験体の支持条件から固定支持条件時









Measured Position (mm) 0 500 10001500 2000 0 5 10 Displacement (mm) 05 05 -Slab #3 50kN 25 —Slab #3 150kN -Slab #3 200kN 30 35 (c) Slab #3

の載荷と比較して単純支持載荷時では最大荷重が小さく なることが予想されたので、固定支持では最大荷重 300kNまで繰返し載荷を行ったのに対し、単純支持載荷 では200kN超過後は破壊に至るまで載荷を続行した(図 -11).













- 181 -

3. 実験結果

(1) たわみの発生状況

供試体中央で計測された,荷重一変位曲線を図-12, 図-13に示す.固定支持で試験されたSlab #1, Slab #2 で はそれぞれ床版中央のたわみが13.75mm,12.77mmの時 に349.98kN,342.32kNの最大値を示している.最大荷重 を示した後は荷重の増減を繰り返しながら中央の変位が 20mmに至るまで300kN以上の荷重を支えることができて いる.他方,単純支持で試験されたSlab #3,Slab #4 では それぞれ床版中央のたわみが21.94mm,13.53mmの時に 227.08kN,247.57kNの最大値を示している.荷重一変位 曲線の傾きが固定支持の場合に比べて低下しているが, これは支持条件の違いによるものであると考えられる. 単純支持条件では固定支持条件よりも変形が生じやすい こともあり,どちらの供試体においても供試体中央にお いて30mm超の変位を確認できている.なお,今回の実



験ではSlab #3で30mm, Slab #4で35mmの最大変位を確認 しているがこの時点においても床版下面にはFRP板の破 断等の変状は確認できていない. それに対し床版上面に おいてはどの供試体においてもFRP板の格子部からの剥 離に伴うとみられる変形(図-10載荷板手前)を確認し ている. また、供試体表面のゲルコート部もFRPから剥 離しており,一定の変形が発生したのちの床版上面のひ ずみデータは信頼性に問題があると考えるべきである.

今回の実験で確認された,各供試体におけるたわみの 長手方向の分布を図-14に示す.固定支持であるSlab #1, Slab #2では供試体の個体差によると思われる違いはある ものの,おおむね同じようなたわみの分布を示している ことがわかる.また,これらの供試体に関しては載荷長 が永めになっている影響で,たわみが供試体全体に分布 しており,この試験条件においては十分に荷重の分配が できていると判断してよいものと思われる.これに対し, 単純支持条件で載荷試験を行ったSlab #3とSlab #4では荷









重が200kN に至るまでは同程度のたわみの分布を示して いるが,最大荷重前後でSlab #3はたわみを大きく増大さ せているのに対し,Slab #4 ではそれほど増加しておらず, 下面にCFRPを接着した効果が表れているものと考えら れる.また,試験の最終盤でのたわみの分布をみると, 供試体中央のたわみだけが突出して大きくなっているよ うに見えるが,これは固定支持条件での試験時に対して 載荷板の横幅を大幅に縮小したための影響であり,最大 荷重時においても局所的なたわみの増加がそれほど極端 に出ていないことから、本床版においては荷重の分散等、 板部材としての機能は十分にあるものと考えることがで きる.

(2) ひずみの発生状況

固定支持供試体の載荷板付近の点における荷重-ひずみ 曲線を図-15に、単純支持供試体の載荷板付近の点における 荷重-ひずみ曲線を図-16に示す.固定支持供試体では試験 時の最大荷重付近まで荷重-ひずみ関係がほぼ線形を示し









-7500 -10000

-1000

-750

-500

-250

0

Distance from center (mm)

250

500

750

1000

ており、大きな変化はみられないが、最大荷重後になると 特に上面(圧縮側)でひずみの乱れが確認できる.このよ うな現象は最大荷重載荷後に平面保持が崩れる、上面平板 部と格子部の間での剥離の発生等によるものと考えられる. これに対し、単純支持供試体では短辺方向と長辺方向で挙 動が大きく異なっている. 長辺 (長手) 方向のひずみは固 定支持の場合と比較すると、荷重が200kNの時点で、下面の ひずみはほぼ同じ大きさであることが確認できるものの、 上面のひずみは14~15もしくは符号が逆となっている。こ のような現象の原因としては、支持条件の違いによる局所 的な変形の違いによる影響が考えられる. また, Slab #3で確 認されている上面での引張ひずみの発生は載荷板付近の変 形に伴い、早期に上面の平板部が格子部と剥離し、局所的 な浮きを生じていた可能性を示しているものと考えられる. また、短辺方向では荷重が200kNを超過したのちのひずみの 乱れが著しいものの、それまでの挙動としては固定支持時 の挙動と大きく違うことはないことがわかる. また, それ ぞれの供試体の下面のひずみに着目すると、固定支持供試 体では長辺方向のひずみが短辺方向の半分程度となってい るのに対し、単純支持供試体では短辺方向で確認されたひ

-7500

-10000 -1000

-750

-500

-250

(a)

0

Distance from center (mm)

250

500

750

1000

ずみと長辺方向で確認されたひずみがほぼ同じ大きさとなっている.今回の供試体の支持辺の辺長比はほぼ1:2であることから,固定支持供試体、単純支持供試体ともに1方向版としての挙動が卓越しても良い支持条件である.床版下面に着目すると,固定支持供試体では少しその傾向が窺われるが、単純支持供試体ではほぼ等方性と言って良い挙動を示している.このことから,格子構造を基本としたFRP床版は荷重分配性能に優れている可能性が十分にあると考えられる.

次に、各供試体内でのひずみの分布を図-17~図-20に示す. この図の中の長辺方向の分布は長辺方向中心線上のひずみ 分布を、短辺方向の分布は短辺方向中心線上のひずみ分布 を示している.固定支持供試体を見ると、長辺方向では載 荷板から250mm離れた位置(500mm)においてすでに荷重の 影響が認められない状況となっていることがわかる.これ に対し、短辺方向ではどの位置でも大きなひずみの発生が 確認できていることから、固定支持されていたSkb #1、Skb #2の2体の供試体については1方向性板としての挙動が大き く出ているものと考えられる.これに対し、単純支持供試 体では長辺方向への荷重の分散が固定支持の場合と比較し て多少広くなっているものの,500mmの位置ではほぼ荷重 による影響が認められなくなっている.また短辺方向の分 布をみると固定支持の場合と同様,大きなひずみを確認で きることから,単純支持供試体もまた1方向性板としての挙 動を示しているものと判断できる.

図-20に単純支持供試体における,載荷板縁より10mm支 持桁よりの位置で計測した短辺方向のひずみの分布を示す. これらの図を見ると,一部供試体内での平板部と格子部の 剥離に起因すると思われるひずみ分布の乱れは確認できる ものの,非常に広い範囲にひずみが分散していることがわ かり,このことからも格子構造FRP床版が荷重分散性能に 優れていることがわかる.

4. まとめ

本研究では輪荷重走行に伴い作用するせん断力に対する 抵抗性に優れていると思われる格子構造を持たせたFRP床 版に対して静的載荷試験を実施し、その結果から以下の知 見を得ることができた.(a)格子構造FRP床版は固定支持条 件で350kN程度、単純支持供試体で230kN程度の最大荷重を 示した.この違いについては支持条件の違いよりも載荷板 形状の違いの影響の方が大きい可能性がある.また、格子 構造FRP床版は大きな変形性能を示しており、構造形式か ら床版に粘り強さを与えることに成功しているものと判断 できる.(b)たわみやひずみの分布から格子構造FRP床版は 優れた荷重分散性能を有していることが推定される.(c) 今 回の載荷試験では供試体内の上下平板部を格子部の剥離が 比較的早期に発生していることが懸念される挙動も確認で きた.今後はこれらの破壊が有害なものにならないように するための対策について検討を行う必要がある.

謝辞:本研究は平成24年度ものづくり中小企業・小規模 事業者試作開発等支援補助金(申請者:日本エフ・アー ル・ピー株式会社,課題名: FRP覆工板(床版)の開 発)により実施された.ここに記して関係各位に感謝 の意を表す.

参考文献

- 例えば、松井繁之:橋梁の寿命予測-道路橋RC床版の 疲労寿命予測-、安全工学、Vol.30No.6、pp.432-440、 1991
- 例えば、前田幸雄、松井繁之:鉄筋コンクリート床版の 押抜きせん断耐荷力の評価式、土木学会論文集、No.348/ V-1、pp. 133-141, 1984.8
- http://www.compositesworld.com/articles/a-guide-toselection-of-methacrylate-urethane-and-epoxy-adhesives

Static Loading Test of Grating Structured FRP Slab

Hiroshi ONISHI, Ryuichi YAMAMOTO and Masayuki NISHIDA

In Japan, the durability of road bridge decks is one of the most important problems. There are some possibilities to decrease the life period of decks with not only the action of wheel loads but influence of environmental deterioration factors. Then it is required to develop the decks with durable materials for fatigue and environmental effect. FRP is one of the suitable materials for this problem. In the much of existing reseaches, FRP decks are often constructed to resist the flexural moment. The resistance to shear force of FRP decks is sometimes trend to become smaller than requirement.

Then the authors picked up the grating structure for FRP decks. The grating structures have more vertical strengthening members to resist the shear force. In this paper, the authors show the results of some static loading test with the grating structured FRP slab.