

第 1 回 定 期 研 究 会

平成 20 年度 SGST 総会および第 1 回定期研究会 議事録

日時 : 平成 20 年 4 月 16 日(水) 15:00~17:30

場所 : 愛知工業大学 本山キャンパス 2 階 多目的室 A, B

出席者: 久保, 小塩(名城) 青木, 鈴木(愛工大), 山田, 北根, 石川(名大), 永田(名工大)
忠(豊田高専), 村瀬(愛知県), 小川(中日本ハイウェイ), 加藤(長大), 加藤(中日本 C), 原
田, 筒井, 北川(創建), 杉本, 水野(富士 E), 永富, 鷺見(八千代 E), 園部(JIP), 高木
(パシコン), 安藤, 中田(日本工営), 藤澤(新三重), 森谷(海洋架橋), 安井(静岡 C), 中川
(瀧上), 古田土(トピー), 山田, 神頭, 水野, 高橋(日車)

33 名(敬称略)

1. 総会(司会 山田幹事長)

平成19年度関連議事

(1) 代表挨拶 久保代表

(2) 平成19年度活動報告

1) SGST 総会、定期研究会6回について報告を行った。

2) 研究委員会の報告が行われた。

「道路橋示方書の背景WG」(山田幹事長)

3) 平成19年度活動報告集の配布が行われた。

5) 平成19年度会計報告がなされ、承認された。

平成20年度関連議事

(1) 平成20年度の役員構成、紹介を行った。

(2) 平成20年度定期研究会の予定が報告され、承認された。

(3) 平成20年度の研究委員会について

道路橋示方書の背景WGを継続して行うことを報告した。

2. 定期研究会(永田研究会担当幹事)

講演題目 「米国における繊維強化プラスチック材料の道路橋への適用」

講演者 名古屋大学 助教 北根安雄

講演内容

近年注目度の高い繊維強化プラスチックを橋梁に適用した米国での事例を紹介していただいた。米国でもコスト面、標準化や長期特性のデータがないといった問題点が残されているが、FRP の持つ軽い、腐食に強い、施工時間が短縮できるといった特性から、郊外に実験的に FRP 床版が用いられるケースが多い。

また、FRP-コンクリートの合成構造を上部工に適用することを想定した耐荷力試験の紹介をして頂いた。これまでに検討されてきた FRP 橋梁と同様に剛性に支配され、FRP の強度を十分に使用していない感がある。

日本での FRP 材料の橋梁への適用は補強材への適用が多いが、歩道橋、自転車道路などでは FRP 橋梁の施工事例がある。

近年、FRP の研究が活発となっているなか、参加者の関心も高く、疲労特性、接合方法などについて活発な質疑が行われた。

以上//

平成19年度SGST会計報告

平成20年 4月/2 日

平成19年4月1日～平成20年3月31日現在

【収入】

会費収入	499,000円
------	----------

合計	499,000円
----	----------

【支出】

研究会講演謝礼および交通費	220,780円
---------------	----------

ホームページ使用費	111,300円
-----------	----------

郵送費	15,560円
-----	---------

会議費および雑費	49,278円
----------	---------

懇親会費	35,410円
------	---------

印刷費 (H18 活動報告集)	329,721円
-----------------	----------

現場見学会費	198,044円
--------	----------

研究会費残金 (翻訳 WG)	(-) 318,859円
----------------	--------------

研究会費残金 (撤去を伴わない橋梁 WG)	(-) 202,290円
-----------------------	--------------

利息	(-) 6,041円
----	------------

合計	432,903円
----	----------

【次年度繰越金】

昨年度繰越金	4,879,671円
--------	------------

収入合計	499,000円
------	----------

支出合計	(-) 432,903円
------	--------------

次年度繰越金	4,945,768円
--------	------------

以上の報告に相違ありません。

会計監事

鈴木 森品



講演者

名古屋大学 助教 北根安雄

講演題目

米国における繊維強化プラスチック材料の道路橋への適用

講演要旨

繊維強化プラスチック（FRP）材料は、軽量性、耐食性、高比強度などの材料特性を理由に、航空機、船舶、自動車産業分野で主に使用されてきたが、1990年代から土木構造物への構造材料として検討が開始された。近年、その研究成果をもとに、FRP が実際に道路橋の構造材料として適用され始めている。本講演の前半では、米国における FRP の道路橋への適用事例を紹介しながら、FRP の構造部材としての適用の現状および今後の課題について議論する。また講演後半では、そのいくつかの課題を解決するために提案された FRP - コンクリート合成構造を紹介し、橋梁上部構造の 1/5 モデルの耐荷力実験より明らかとなった静的曲げ挙動特性について説明する。

SGST定期研究会

米国における繊維強化プラスチック(FRP)材料の道路橋への適用

April 16, 2008

名古屋大学大学院
工学研究科社会基盤工学専攻
北根安雄

本日の発表内容

- 米国におけるFRP材料の道路橋床版および上部構造への適用事例
- FRP-コンクリート複合上部構造の開発

2

PART I

米国におけるFRP材料の道路橋床版および上部構造への適用事例

3

SAMPLES OF FRP DECKS



SAMPLES OF FRP SUPERSTRUCTURES



Fiber Reinforced Polymer

- Fiber
 - Glass
 - Carbon
 - Aramid
- Matrix
 - Vinylester
 - Polyester
 - Epoxy



6

STRUCTURAL APPLICATIONS OF FRP COMPOSITES

Advantages

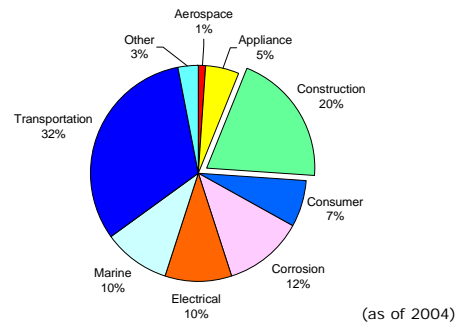
- High specific strength and stiffness
- Corrosion resistance
- Tailored properties
- Enhanced fatigue life
- Lightweight
- Ease of installation
- Lower life-cycle costs

Factors preventing FRP from being widely accepted

- High initial costs
- No specifications
- No widely accepted structural components and systems
- Insufficient data on long-term environmental durability

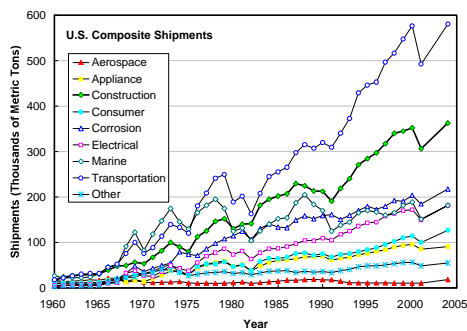
7

MARKET SHARE (FRP COMPOSITES)



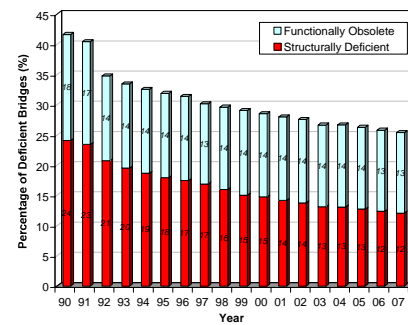
8

FRP COMPOSITE SHIPMENTS



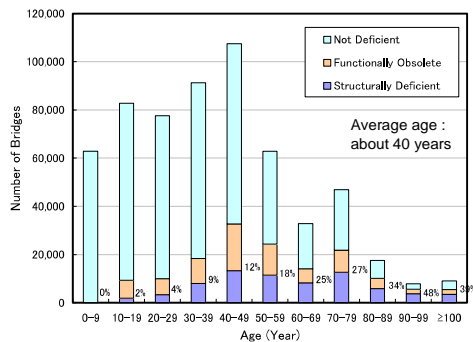
9

CONDITIONS OF BRIDGES



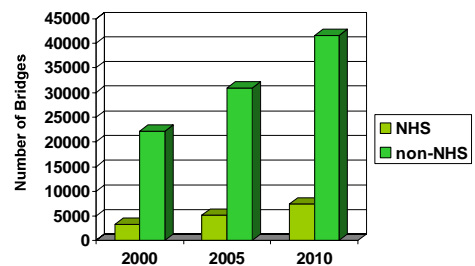
10

AGE OF BRIDGES



(YR 2007)

BRIDGES WITH DEFICIENT DECKS



12

FHWA'S "BRIDGE OF THE FUTURE"

- No maintenance
- Less life cycle cost
- Less construction time
- Adaptable to new demands
- Immunity to flooding, earthquake, and etc.
- ...

(source: Roads & Bridges, July 2003, Vol. 41, No. 7)

13

BENEFITS OF FRP BRIDGE DECKS

- Light weight
- Corrosion resistance
- Quick installation time
- Low life cycle cost
- High strength
- etc.

14

NUMBER OF FRP DECKS AND SUPERSTRUCTURES



(as of 2005)

15

MANUFACTURERS



- Major manufacturer
- Manufacturer supplied only 1 or 2

16

MANUFACTURERS

Company	# of Projects
Martin Marietta Composites (NC)	30
Hardcore Composites (DE)	28
Creative Pultrusions (PA)	9
Kansas Structural Composites (KS)	9
Bedford Plastics (PA)	6
Strongwell (VA)	5
Webcore, FRS, ICI, MFG, Wagner, and others	---

(as of 2005)

17

FRP DECKS



Bedford Plastics (pultrusion)



Creative Pultrusions Inc. (pultrusion)



Hardcore Composites (VARTM)



Strongwell (pultrusion)



Martin Marietta Composites (pultrusion)



Kansas Structural Composites, Inc. (open mold layout)

18

PULTRUSION



PROJECT TYPE

- Superstructure 22%
- Heavy duty deck 64%
- Light duty deck 12%
- Half the projects were new construction.
- 68% of the projects used some kind of special funding.

20

SPECIAL FUNDING

- FHWA's Innovative Bridge Research and Construction Program (IBRC)
 - Established under Transportation Equity Act for the 21st Century (TEA-21)
 - 6-year program from 1998 to 2003
 - Extended for 20 months till 2005
- FHWA's Innovative Bridge Research and Deployment Program (IBRD)
 - 5-year program from 2005 to 2009
- Project 100 of Ohio DOT
 - 6-year program from 2000-2005
 - Closed in 2001 due to lack of State funding

21

DECK WEIGHT

	Typical weight excluding wearing surface (psf)	Typical weight with polymer concrete (psf)	Typical weight with asphalt (psf)
Heavy duty deck	19	24	44
Light duty deck	13	18	38

(1 psf = 4.89 kgf/m²)

FRP bridge decks weigh about 10 to 20 % of a structurally equivalent reinforced concrete deck.

22

DECK COST

	Cost of Manufactured Deck (\$/sf)	Installed Cost (\$/sf)
Heavy duty deck	65-75	70-85
Light duty deck	35-60	45-70

(1 \$/sf = 1,292 Yen/m²)

Typical 8" thick reinforced concrete decks cost \$25 to \$35 per square foot; therefore FRP bridge decks generally cost **twice the equivalent reinforced concrete decks.**

23

RAPID CONSTRUCTION

- Installation of FRP bridge decks takes **only a day or two**.
- Reduction of labor cost
- Reduction of closure time

24

EXAMPLES

- Deck replacement



- Superstructure replacement



25

DECK REPLACEMENT



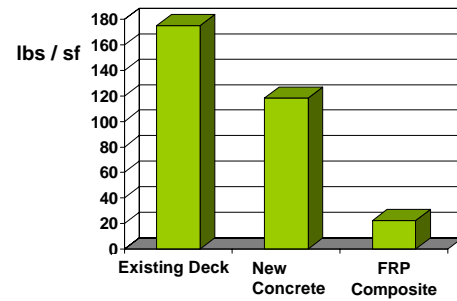
- Length: 49.2m
- Width: 7.7m
- Originally with 14-inch (36 cm) concrete deck

- FRP deck was installed in 2000.
- Martin Marietta Composites



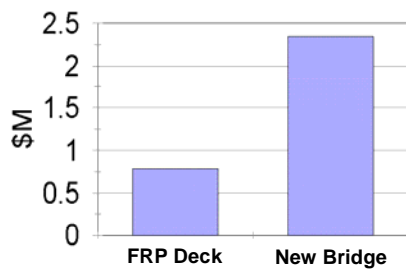


DECK WEIGHT



32

PROJECT COST



33

SUPERSTRUCTURE REPLACEMENT



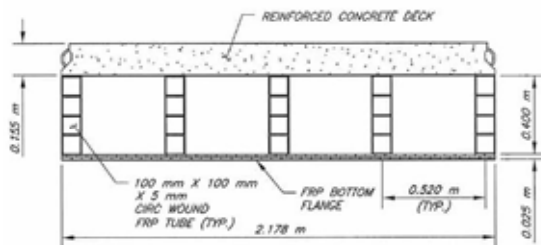
- Span: 8.9m
- Width: 8.5 m



- Superstructure was replaced in 2004.
- Wagners Composite Fibre Technologies



CROSS-SECTION OF SUPERSTRUCTURE



37



41

INSPECTION



- NCHRP Project 10-64
- Field Inspection of In-Service FRP Bridge Decks
- Published in 2006
- Available at http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_564.pdf

42

CONTENTS OF NCHRP REPORT 564

- Inspection manual
 - Deck types
 - Typical installation procedure
 - Deck details and damage types
 - Inspection methods
 - Condition assessment
- Research report
 - Survey findings
 - Literature review

41

PART II

FRP-コンクリート複合構造の開発

42

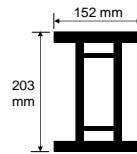
GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP) BOX SECTIONS

- The compressive flange is weaker than the tensile flange.
- A failure of a GFRP box section usually occurs in a catastrophic manner.
- Stiffness controls the design in lieu of strength.

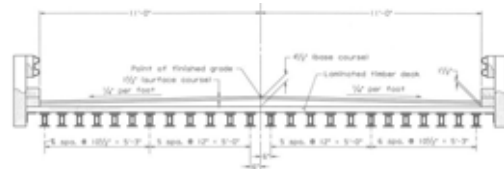
**Hybrid design
or
Special
structural
system**

43

BRIDGE APPLICATIONS – 1 (TOM'S CREEK BRIDGE)



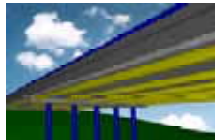
- Virginia Tech and Strongwell
- Pultruded composite beam (hybrid design of glass and carbon fibers and vinyl ester matrix)
- Span : 5.33 m , Width : 7.32 m



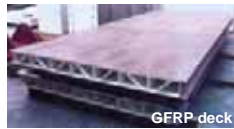
44

BRIDGE APPLICATIONS – 2 (KINGS STORMWATER CHANNEL BRIDGE)

- UC San Diego, Alliant TechSystems, Inc., and Martin Marietta
- Span: 2 x 10 m, Width: 13 m
- Six longitudinal concrete filled carbon tube girders (carbon/epoxy system)
- GFRP deck panel (pultruded trapezoidal E-glass/epoxy tubes with a top skin layer)



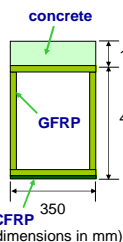
Filament wound
CFRP tube



GFRP deck

BRIDGE APPLICATIONS – 3 (TOOWOOMBA BRIDGE)

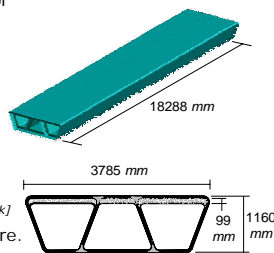
- University of Southern Queensland, Wagners Composite Fibre Technologies, and Huntsman Composites
- Span : 10 m, Width : 5.0 m
- Hybrid box beams : prefabricated concrete, GFRP, and CFRP



CFRP
(dimensions in mm)

PROPOSED HYBRID FRP-CONCRETE BRIDGE

- Single span with a span length of 18.3 m
- AASHTO LRFD Bridge Specifications
 - Live load deflection check
 $d_{LL} < L/800$ under (1+IM) Truck
 - Service I limit
 $DC + DW + Lane + (1 + IM) Truck$
 - Strength I limit
 $1.25DC + 1.5DW + 1.75[Lane + (1 + IM) Truck]$
- Concrete should fail first in flexure.
- A strength reduction factor for GFRP was taken as 0.4.

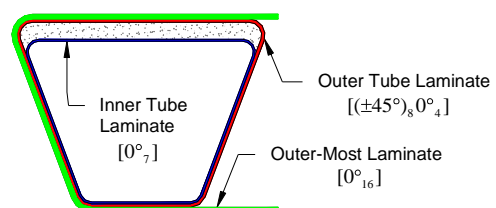


Simple-span one-lane hybrid bridge

47

STACKING SEQUENCES

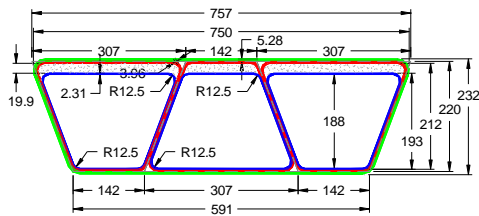
- Thickness of one layer = 0.33-0.40 mm



48

TEST SPECIMEN

- One-fifth scale model
- Span length = 3,658 mm



(dimensions in mm)

FABRICATION – 1



50

FABRICATION – 2



51

EXPERIMENTAL PROGRAM

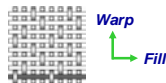
- Materials
 - GFRP
 - Concrete
- Non-destructive tests
 - Flexure
 - Off-axis flexure
- Fatigue test
- Destructive tests
 - Flexure
 - Shear
 - Bearing



52

MATERIALS – GFRP

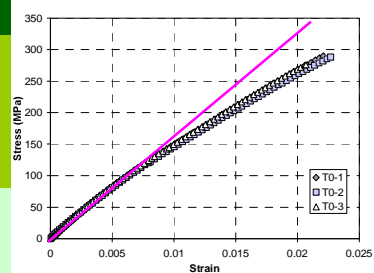
- E-glass woven fabric reinforcement
 - Cheaper than carbon fiber reinforcement
 - Impact resistance
- Vinyl ester
 - High durability
 - Extremely high corrosion resistance
 - Thermal stability



Test	Dir.	E or G (GPa)	ν	Strength (MPa)
Tens	Fill	16.6	0.129	285
	Warp	17.9	0.131	335
Comp	Fill	15.9	0.099	241
	Warp	22.5	0.254	265
Shear	Fill	2.72	--	56.1
	Warp	2.45	--	63.8

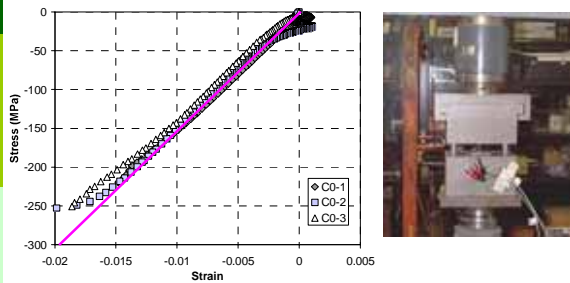
53

GFRP – TENSION



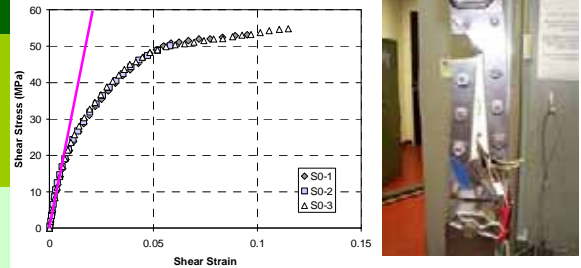
54

GFRP – COMPRESSION



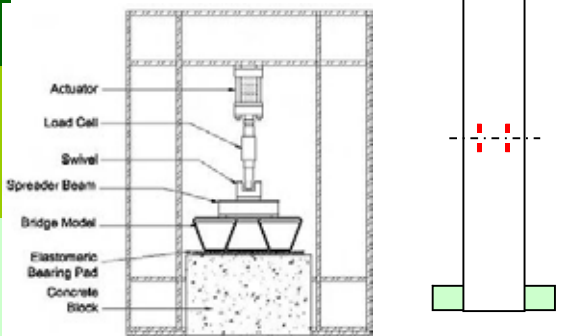
55

GFRP – SHEAR



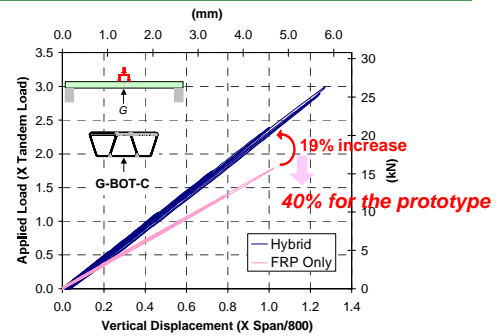
56

TEST SETUP



57

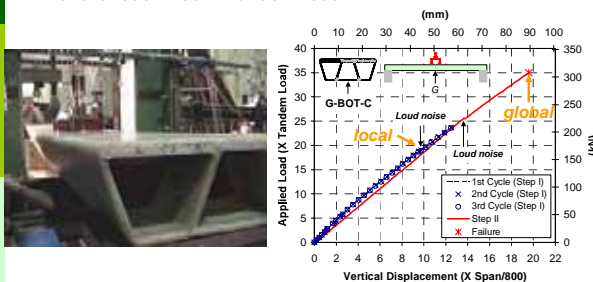
NONDESTRUCTIVE FLEXURE (FORCE-DISPLACEMENT)



58

DESTRUCTIVE FLEXURE (TEST RESULTS – 1)

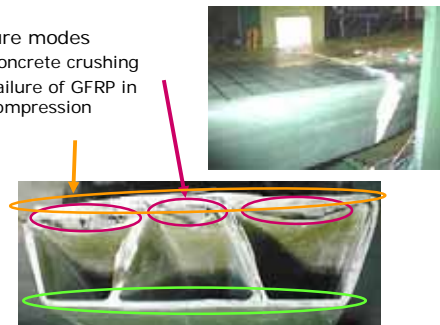
- Failure load = 35 x Tandem load



59

DESTRUCTIVE FLEXURE (TEST RESULTS – 2)

- Failure modes
 - Concrete crushing
 - Failure of GFRP in compression



60

DESTRUCTIVE FLEXURE (FAILURE MODES)



SIMPLE METHODS OF ANALYSIS

- Simple methods
 - Beam analysis
 - Orthotropic plate analysis
- Classical lamination theory
- Use of effective engineering properties of laminates
- Perfect bonding between concrete and GFRP.
- Shear deformation was neglected.
- To obtain deflection under design loads.

62

BEAM ANALYSIS

- The bridge is modeled as a beam with a span length, L , effective flexural rigidity, EI_{eff} , and effective torsional rigidity, GJ_{eff} .

$$EI_{eff} = \int_{A_y} \bar{E}_y \bar{z}^2 dA \quad GJ_{eff} = \frac{4A_{encl}^2}{\int \frac{1}{\bar{G}_{xy}} ds}$$

where

\bar{E}_y : Effective modulus

\bar{G}_{xy} : Effective shear modulus

\bar{z} : Vertical coord. from the neutral axis

A_{encl} : Area enclosed by median lines of the top and bot. flanges and exterior webs

s : Axis along the median line of a component

63

ORTHOTROPIC PLATE ANALYSIS

- The bridge is modeled as an orthotropic plate with span length of L and width of W .

$$D_x \frac{\partial^4 w_0}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w_0}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w_0}{\partial y^4} = q(x, y)$$

where

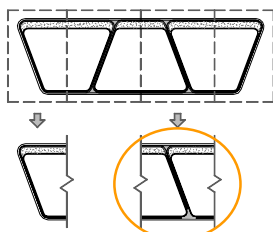
w_0 : Vertical displacement

q : Distributed load on the plate

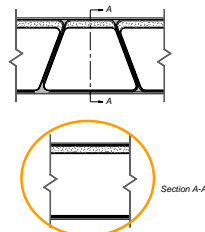
D_x, D_y , and H : Rigidities that can be obtained by using the classical lamination theory

64

REPRESENTATIVE UNITS FOR THE PLATE ANALYSIS



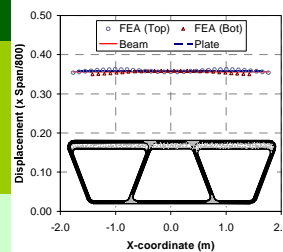
(a) Longitudinal direction



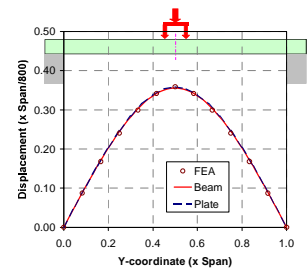
(b) Transverse direction

65

SIMPLE METHODS OF ANALYSIS (UNDER TANDEM LOAD ONLY)



(a) Transverse direction



(b) Longitudinal direction

66

結論

- FRP-コンクリート複合構造を提案し、橋梁上部構造への適用可能性を示した。
- これまでに検討されたFRP橋梁と同様、提案した構造の設計は剛性に支配される。
- 有限要素法で提案した構造の曲げ挙動を正確に捉えることが出来た。
- 梁または直交異方性板理論を用いた簡易計算により、設計荷重下における提案した上部構造の変位を正確に得ることができた。

67 

まとめ

- FRPが道路橋の構造部材として普及するための条件：
 - 初期コストの低下
 - 競争原理
 - 標準示方書の制定
 - 引抜成形材などの標準化
 - 材料に対する理解度の向上
 - ライフサイクルアナリシスの適用

68 

ご清聴ありがとうございました

