

FRP を用いたハイブリッドトラス橋の静的および動的解析

東北大学大学院	学生会員	○渡邊 正俊
三井住建道路		坂上 大輔
長岡工業高等専門学校専攻科		多田 一也
長岡工業高等専門学校	正会員	井林 康
東北大学大学院	フェロー	鈴木 基行

1. はじめに

本研究では、繊維強化プラスチック（FRP）を従来から使用されている鋼材と組み合わせて使用した場合のコスト換算重量と固有振動数、および単位長重量について静的FEM解析による検討を行った。またFRP は鋼材に比して剛性がかなり小さく、過大な応答振動が発生する可能性が懸念される¹⁾こと、および1995年の兵庫県南部地震を契機に耐震設計において動的応答解析による設計の検証が重要視されてきていることから、動的FEM解析によって応答加速度及び応答変位についての検討も行い、経済的、動力学的に優れたハイブリッドトラスの考案を行うことを目的とした。

2. 対象素材と解析対象構造

本研究では、鋼材SS400、ガラス繊維プラスチック(Glass Fiber Reinforced Plastics:以下GFRP)、炭素繊維プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastics:以下CFRP)の3素材を解析の対象とした。各素材の設定値を表-1に示す。

表-1 各素材の設定値

	SS400	GFRP	CFRP
引張強度 (N/mm ²)	157	126	686
圧縮強度 (N/mm ²)	124	100	545
ポアソン比	0.3	0.26	0.26
ヤング率 (N/mm ²)	206	25.5	156
素材比重 (tf/m ³)	9.03	2.19	2.19
コスト換算比 C_i	1	7	26.8
減衰定数	0.02	0.03	0.03

解析対象構造モデルは、歩道橋に用いる程度のトラス構造とし、中央領域と梁端領域からなる図-1のような8変数のプラットトラス構造²⁾とした。トラスは等価な連続梁とみなしたときの曲げモーメントを上下弦材のみで負担するとモデル化する。同様にそのせん断力については、全て束材と斜材で負担するとみなす。また、接合部については接合部の計算は行っておらず、素材比重に接合部材量を考慮して15%の割り増しを行ったのみであり、実際の接合方法等については検討していない。

3. 解析方法

3.1 静的解析について

解析手法は、まず各々の部材で使用する素材を選定し、それらを組み合わせたときの最適部材寸法を応力制約条件下で決定する。この際、スパン L 、スパン梁成比 D のうち片方の

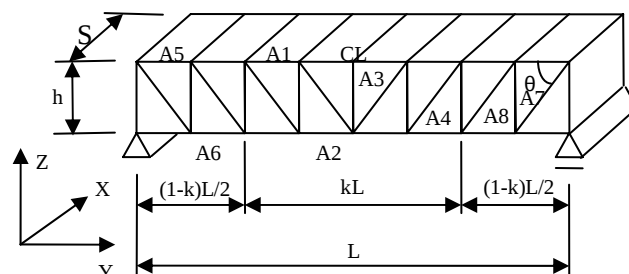


図-1 解析対象構造モデル

パラメータを予め設定し、1個を連続的に広い範囲で変化させる。続いて、得られたデータから有限要素解析を行い、コスト換算重量 F^2 から種々の素材のコストに関する相対的な比較および固有振動数と単位長重量の検討を行った。素材の配置パターンは従来中央領域と梁端領域で使用素材を使い分けるパターンと既往の研究結果から上下弦材にかかる応力が大きく、また曲げを弦材で負担していることから、上下弦材に SS400、斜材と鉛直材に CFRP を用いたパターンで解析を行った。

3.2 動的解析について

動的解析は、スパン L による影響とスパン梁成比 D による影響を把握するために、 $k=0.5$ 、 $\theta=45^\circ$ と一定とし、 L は 50m と 100m、 D は 20 と 40 で各々解析を行った。解析対象トラスは、中央領域に GFRP、梁端領域に SS400 を配したハイブリッドトラスである。解析に用いた地震波データは、兵庫県南部地震神戸海洋気象台、UD 方向、30 秒間である。最大加速度は地震動開始から 4.10 秒後の 332gal である。検討項目は、応答加速度および応答変位とし、応答地点ならびに応答方向は支間中央点下部の上下方向である。

キーワード 繊維強化プラスチック（FRP）、コスト換算重量、固有振動数、単位長重量、応答加速度、応答変位

連絡先 〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻構造設計学研究室 TEL 022-217-7449

4. 解析結果

4.1 静的解析結果

各々の解析パターンにおける固有振動数を表-2 に、単位長重量を表-3 示す。固有振動数については全てのパターンにおいて 0.3 ~ 0.8Hz と 1Hz 以下となっており、歩行との共振が予想される 1.5 ~ 2.3Hz³⁾とは大きく差があることがわかった。しかし、地震による影響に関しては、地震動の卓越周期が 0.1 ~ 2.5sec (0.4 ~ 10Hz) と広い周期帯に渡っていることを考えると地震動の影響についての検討が必要と思われる。また、単位長重量に関しては、単位長重量が概ね 2.0tf/m 以上の大規模な歩道橋では、人間の歩調と共振した場合でも十分な使用性を有するとの報告⁴⁾があったため、解析を行った。この結果から中央領域に CFRP、梁端領域に SS400 を配した D=20 においては 1.5tf/m となっているものもあった。しかし、それ以外では 2.0tf/m 以上となっており、もし共振した場合でも十分な使用性を有すると考えられる。

4.2 動的解析結果

図-2 は L=50m, D=20 での応答加速度の結果である。最大応答加速度は地震動開始から 7.34 秒後の 511gal であり、入力地震波の最大加速度の 1.5 倍強の応答が記録された。図-3 は L=50m, D=40 での応答加速度であるが、最大応答加速度は 4.7 秒後の 502gal であり、D=20 の場合とほぼ等しく、入力地震波の 1.5 倍強であった。

5. まとめ

本研究では、人の歩調との共振を考慮し、固有振動数ならびに単位長重量の検討 およびコスト換算重量に関する解析を行った。また、実地震波を入力した地震応答解析によって、応答加速度および応答変位に関する検討を試みた。その結果以下のような結論が得られた。

- 1) コストに関しては中央領域と梁端領域で素材を使い分けるより、弦材と腹材で素材を使い分ける方がコストの低減を図ることが出来る。
- 2) 固有振動数の検討では全ての解析パターンにおいて 1Hz 以下であり、歩行との共振が予想される 1.5 ~ 2.3Hz とは大きな開きがあった。
- 3) 単位長重量に関しては概ね 2.0tf/m 以上となり、人間の歩調と共振した場合でも、十分な使用性を有すると思われる。
- 4) 地震応答解析により、応答加速度はスパン梁成比 D の大小にあまり影響はなく、応答変位は D が小さい方が大きくなる。

参考文献

- 1) 山田聖志, 近田純生: FRP 剛接トラス歩道橋の振動解析, 土木学会論文集, No.738/I-64, pp67-74, 2003。
- 2) 山田聖志, 中野はつ子, 最上公彦, 油川真広: 応力制約条件下で最適設計された大スパントラス構造の変形と振動特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp931-932, 1998。
- 3) 小幡卓司, 林川俊郎, 佐藤浩一: 人間の振動感覚に基づいた歩道橋の使用限界状態に関する研究, 土木学会論文集, No.537/I-35, pp217-231, 1996。
- 4) 田中信治, 加藤雅史: 設計時における歩道橋の振動使用性照査法, 土木学会論文集, No.471/I-24, pp77-84, 1993。

表-2 各々のパターンにおける固有振動数(Hz)

L(m)	中央CFRP, 梁端SS400		弦材SS400, 腹材CFRP	
	D=20	D=40	D=20	D=40
50	0.628	0.428	0.952	0.797
60	0.573	0.382	0.868	0.727
70	0.530	0.341	0.804	0.672
80	0.495	0.308	0.752	0.628
90	0.466	0.277	0.708	0.592
100	0.442	0.248	0.672	0.561

表-3 各々のパターンにおける単位長重量(tf/m)

L(m)	中央CFRP, 梁端SS400		弦材SS400, 腹材CFRP	
	D=20	D=40	D=20	D=40
50	1.24	2.22	5.60	6.58
60	1.30	2.63	5.77	7.10
70	1.37	3.27	5.96	7.74
80	1.44	3.99	6.16	8.51
90	1.51	4.96	6.38	9.49
100	1.59	6.34	6.61	10.76

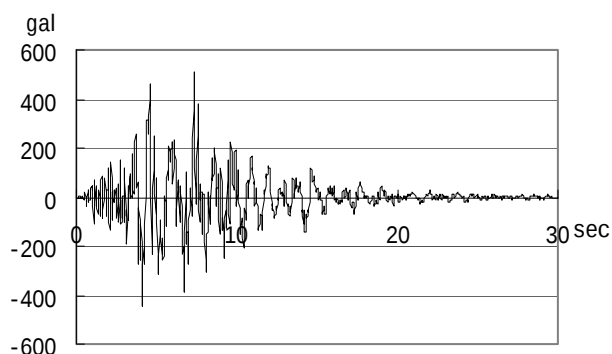


図-2 応答加速度(L=50m, D=20)

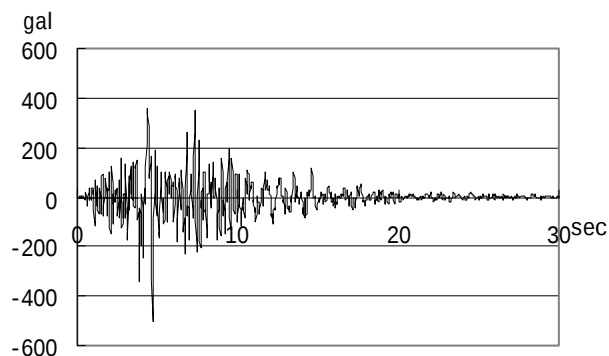


図-3 応答加速度(L=50m, D=40)